# Uplink Open Loop Power Control in Heterogeneous LTE Network

Rashmi Sharan Sinha, Amir Haider, Dae Ik Kim*, Jee Hyeon Na*, Seung Hoon Hwang
Dongguk University, ETRI*

sinharashmisinha@hotmail.com, amirhaider.iiui@gmail.com, dikim@etri.re.kr, jhna@etri.re.kr, shwang@dongguk.edu

ABSTRACT

Uplink power control is a key radio resource management function. It is typically used to maximize the power of the desired received signals while limiting the generated interference. In this paper, the performance analysis of LTE heterogeneous network with uplink power control schemes. The analytical approach for heterogeneous environment is time efficient and the mathematical equations mimics the system level simulator to evaluate the impact of various network parameters on the system performance.

## Ⅰ. Introduction

In LTE, the standardized uplink power control formula contains an open loop component and a closed loop component[1]. In open loop power control (OLPC), the transmitting power is set at the user equipment (UE) using parameters and measures obtained from signals sent by the base station. In this case no feedback is sent to the UE regarding the power to be used for transmission. The closed loop component is considered to improve the performance of FPC by compensating fast variations in channel. An open loop power control would result in simpler implementation and low signaling but would be unable to compensate for channel variations for individual users [2][3].

The paper is organized as follows: Section II Proposed network model and its mathematical analysis is depicted in section III. In section V numerical results are presented. Finally the conclusion of our work is presented.

## Ⅱ. Uplink power control in LTE

The 3GPP specification defines the UE transmit power $P_{Tx}$ (dBm) for LTE-A uplink as [3]:

$$P_{Tx} = \min\{P_{max}, 10\cdot\log_{10}M + P_0 + \alpha \cdot PL + \Delta_{mcs} + f(i)\} \quad (1)$$

where,

- $P_{max}$ is the maximum allowable transmit power i-e 23dBm.
- $M$ is the number of physical resource blocks (PRB). For simplicity, M is set to 1 in this paper.
- $P_0$ is cell/UE specific parameter. $P_0$ is assumed to be cell specific in this paper.
- $\alpha$ is the path loss compensation factor.
- $PL$ is the path loss between the UE and serving eNodeB.
- $\Delta_{mcs}$ and $f(i)$ are closed loop closed loop power control parameters defining the modulation and coding scheme and closed loop correction respectively as defined in the 3GPP standards.

While analyzing the open loop power control, $\Delta_{mcs}$ and $f(i)$ are assumed to be zero.

## Ⅲ. Network model

Fluid model [4] is employed for the analytical analysis of the network. At the eNodeB, Omni-directional antennas are modeled for coverage in one small cell, $R_{nt}$ and R denotes the network range and cell radius respectively. Uniform UEs is assumed over the cell area in this analysis [5].

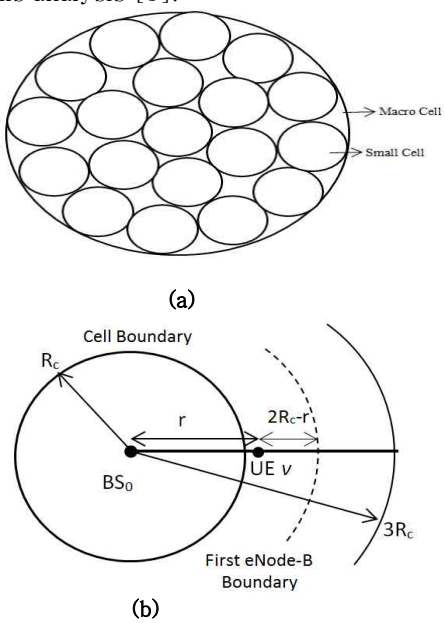



Fig.1:(a) Uniformly distributed small cell. (b) Fluid model for small cell network; separation with neighboring eNodeB is 2R.

For the above described network model, the uplink transmit power $P_{Tx}$ is given as:

$$P_{Tx} = P_o + \alpha\ PL \quad [dBm] \quad (2)$$

The received power at eNodeB is:

$$P_{Rx} = P_o + \alpha\ PL - PL = P_o + (\alpha - 1)\ PL \quad [dBm] \qquad (3)$$

The external interference can be modeled by substituting equivalent density $\rho ue$ for interfering transmitters instead of a fixed finite number as this is the key assumption of fluid model. By this approach the interference expression can be approximated as:

$$I = \int_R^{R_{ext}} \int_0^{2\pi} \rho ue\, p_o\, pl^{\alpha}_{i(e),e}\, pl_{i(e),0}\, r\, dr\, d\theta$$

$$I_{Macro} = p_0 g^{-\alpha}_{v(b),} g_{v(b),0}$$

$$I_{ext} = \sum_{n=1}^{N_c} (I_{n,ext}) + I_{macro} \qquad (4)$$

where i(e) designates UE scheduled by eNodeB e. For a user i, the received power at eNodeB is:

$$S_i = p_0 pl^{\alpha-1}_{i,0} \qquad (5)$$

where $P_o = 10log(p_o)$ ($P_o$ in dBm and $p_o$ in mW). The SINR for user i is given as:

$$\gamma_{i=I+N} \frac{S_i}{} \qquad (6)$$

The impact of noise and shadowing is not considered in this analysis. As an extension of this work, we intend to include these variations in the analysis.

## IV. Performance Evolution

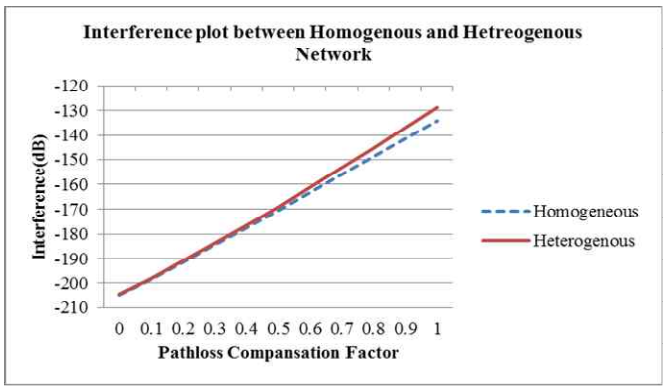



Fig.2. Interference evaluation between Homogenous network and Heterogeneous Network with Macro Cell at r=500m.

The performance of the system is analytically analyzed for homogenous network and heterogeneous network at macro cell radius r=500m. Figure 2 shows the interference is plotted against interference and pathloss compensation factor.

Figure 3 shows that $P_o$ is kept constant and the effect of SINR is analyzed for different values of $\alpha$ path loss compensation factor for homogenous network and heterogeneous network with macro cell r=500m.

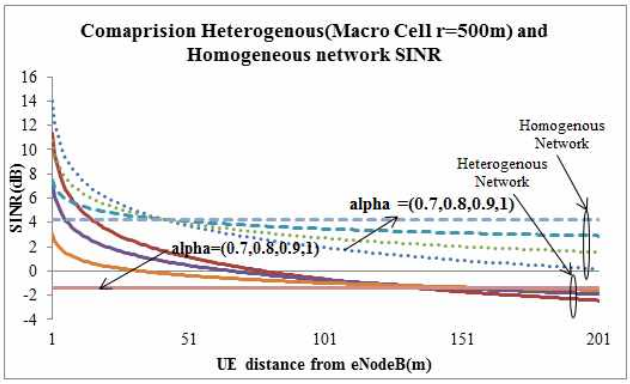



Fig.3: Variation in the SINR at different $\alpha$ in Homogeneous Network [6] and Heterogeneous Network (with Macro Cell r=500m)

## V. Conclusion

In this paper, open loop power control for LTE uplink for heterogeneous network is presented by adopting an analytical approach to compute the SINR of Small Cell and Marco Cell with mobile station at macro cell r=500m of the eNodeB, interference in the network is calculated separately. We show in particular that to achieve best network performance, $\alpha$ =1 and $P_o$ = −100dBm is the appropriate choice

## Acknowledgement

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP) (No.R0101-15-224, Development of 5G Mobile Communication Technologies for Hyper-connected smart services).

## References

[1] 3GPP " E-UTRA Physical layer procedures", TS 36.213 V8.1.0

[2] Li, Jing. "Uplink power control for heterogeneous networks." Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE. IEEE, 2013.

[3] R1-074850 " Uplink Power Control for E-UTRA - Range and Representation of $P_0$".

[4] Kelif, Jean-Marc, Marceau Coupechoux, and Philippe Godlewski. "A fluid model for performance analysis in cellular networks." EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2010

[5] J. M. K'elif and M. Coupechoux. Impact of topology and shadowing on the outage probability of cellular networks. In IEEE International Conference on Communications, ICC, Dresden, Germany, June 2009.

[6] Amir Haider, Lee, Sung-Hee Lee, Dae Ik Kim, Hye Kyung Jwa, Seung Hoon Hwang" On uplink power control for small cell in LTE" KICS Wnnter Conference, Jan 2016

# 3GPP LTE 기반 MTC 모뎀을 위한 채널추정 방식에 관한 연구

송훈근°, 최영민, 이현우

한국산업기술시험원°, 클레버로직, 단국대학교

# A Study of the Channel Estimator for the MTC modem based on 3GPP LTE

Song, HoonGeun°, Choi, YoungMin, Lee HyeonWoo

Korea Testing Laboratory, Clever Logic. Co., Dankook Uni.

hgsong@ktl.re.kr, ymchoi@cleverlogic.co.kr, woojaa@dankook.ac.kr

## 요 약

본 논문은 MTC(Machine Type Communication) 모뎀에 사용된 채널추정(Channel Estimator)방식에 대해 설명한다. MTC 모뎀은 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 기술표준인 LTE(Long Term Evolution) 기반으로 개발되었다. MTC 모뎀 수신성능에 중요한 채널추정방식은 주파수 영역에서 LS(Least Square Estimator) 방법으로 구한 채널추정 값을 다시 시간영역으로 변환하여 일부분을 선택한 후, IFFT 보간 방법으로 주파수영역 채널응답을 구하는 구조를 사용하였다. 실제 모뎀개발에 사용된 링크 레벨 시뮬레이터(Link Level Simulator)를 사용하여 모의실험을 수행하여 성능을 검증하였고, 시간영역 채널응답을 선택하는 방법에 따라 성능차이가 발생하는 것을 관찰하였다. MTC 에 적합한 시간영역 선택방법을 제안하였으며, 또한 해당 선택방법의 성능을 3GPP RAN WG4 (Radio Access Network Working Group 4)에서 정하는 성능요구 조건과 비교하였다.

## 1. 서론

현재 데이터 서비스 수요가 증가함에 따라 3GPP 에서는 LTE 기반 MTC 표준을 개발하고 있다[1], [2]. MTC 기술은 기존 LTE 기술을 기반으로 낮은 데이터 전송률과 사물간 무선 데이터 통신에 필요한 저전력, 긴 사용시간 등을 목표로 삼고 있다. MTC 기술표준에 대한 다양한 후보 기술들이 논의되었지만, 이동통신 사업자들이 가지고 있는 기존 네트워크에 대한 큰 변경 없이 활용할 수 있도록 기존 LTE 기술을 변경하여 MTC 단말에 알맞도록 3GPP 에서 표준기술을 변경하고 있다.

본 논문에서는 낮은 복잡도의 MTC 모뎀에 적합한 채널 추정방법인 주파수 영역 FFT 보간 채널 추정기를 기준으로 설명하였다. 여기에 필요한 시간영역 채널응답 길이에 따른 성능을 모의실험을 통해 관찰하였다. 선택영역에 따라 그 성능 차이가 발생하였고, MTC 사용 환경에 적합한 채널환경을 토대로 시간영역에서 채널응답 영역 선택길이를 제안한다. 모든 모의실험은 MTC 모뎀 개발에 사용된 링크 레벨 시뮬레이터를 이용하였으며, 주파수 영역 FFT 보간 채널 추정 구조가 3GPP TS36.101[1]에서 제공하는 단말 성능 기준을 만족함을 검증하였다.

## 2. MTC 모뎀을 위한 채널추정 방법

주파수 영역 FFT 보간 채널 추정방식은 먼저, 수신된 CRS(Cell-Specific Reference Signal)를 사용하여 LS 구조로 채널의 주파수 응답을 구한다. 이렇게 구해진 주파수 응답을 CRS 심볼별로 각각 IFFT 를 거쳐 시간영역 채널 응답으로 변경한다. 보통 시간영역에서 채널응답의 길이는 CRS 심볼 수보다 상당히 작다고 알려져 있다[3]. 따라서 시간영역 채널응답에서 실제 채널길이를 선택하는 방법이 필요하며, 이렇게 선택하는 방법에 따라 성능이 달라진다. 일정 부분을 선택하고(Windowing), 선택하지 않은 부분은 0 으로 채워두며(zero padding) 다시 FFT 를 하여 채널 주파수 응답을 구한다. 전체 구조는 그림 1 과 같다.

시간영역에서 잡음과 채널응답을 구분하여 주파수 영역 채널 추정 값을 얻어야 한다. LS 방법으로 주파수 영역에서 구한 채널 추정 값들은 잡음에 민감하다. 따라서 이러한 잡음성분들을 시간영역에서 제거한 후에 다시 주파수영역 채널응답으로 변환하면 잡음에 의한 성능열화를 감소시킬 수 있다. 시간영역에서 잡음을 제거하는 다양한 방법이 있지만 다음의 두 가지를 고려하였다. 첫째, 어느 일정 값보다 작은 에너지를 가지는 데이터를 선택하지 않는 방법. 둘째, 채널의 최대 시간 지연 분포 영역만을 선택하는 방법. 이 두 가지 방법 모두 가능하지만 첫째 방법은 매번 채널 응답 에너지가 달라지기 때문에 해당 기준을 정하기가 어려워 사용하지 않았다. 일반적으로 CRS 가 포함된 심볼별로 각각 주파수 응답을 얻은 후, 나머지 심볼구간에 대해서 선형보간 혹은 곡선보간 하거나 채널의 상태에 따라 평균값을 취하여 전체 자원 블록(RB: Resource Block)에 적용 할 수 있다. 채널의 상태에 따라 달라 질 수 있지만, 일반적으로 주파수 영역에서 심볼 별 보간

방법의 성능은 곡선 보간의 성능이 우월하다고 알려져 있다[4].

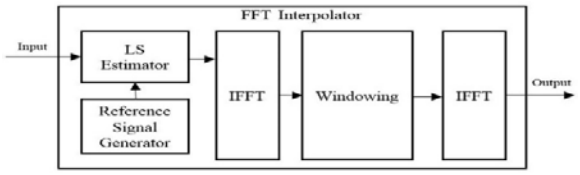



그림 1. 주파수영역 FFT Interpolator 구조

시간영역 채널 응답에서 채널특성에 따라 선택영역 길이가 달라질 수 있기 때문에, 실제 개발된 모뎀에서 해당 선택영역 길이를 소프트웨어로 변경 적용할 수 있도록 설계하였다. MTC 사용환경을 고려하여 주파수영역에서 선형, 곡선 보간법을 사용하지 않고 CRS 심볼들에서 구해진 채널응답들의 평균값을 자원블록에 적용하였다.

## 3. 모의 실험

실제 모뎀성능을 분석하기 위해서 설계 기준이 되는 링크 레벨 시뮬레이터를 이용하여 3GPP 표준문서환경에서 모의 실험하였다. 상세한 실험환경은 문서[1]에 정의된 “8.2.1.1”, “8.2.1.2”를 사용하였으며, PDSCH(Physical Downlink Shared Channel) 패킷 재전송은 최대 4 번으로 설정하였다. 상세환경 및 기준은 표 1 에 정리하였다.

표 1. 상세 환경 및 기준[1]

| Ref. channel | R.7-1 | R.3-1 | R.2 | R.1 | R.11-2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Channel bandwidth [MHz] | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| Modulation | 64QAM | 16QAM | QPSK | 16QAM | 16QAM |
| Fraction of Max. Throughput (%) | 70 | 70 | 70 | 30 | 70 |
| Propagation cond. | EVA5 | EVA5 | EVA5 | ETU70 | EVA5 |
| Max. Throughput averaged over 1 frame [Mbps] | 9.062 | 5.738 | 3.953 | 0.23 | 5.086 |
| TX Antenna | 1 | | | | 2 |

그림 2 는 모의실험 결과이며 가로축은 수신 SNR(Signal to Noise Ratio), 세로축은 정규화 데이터 전송률(NTP: Normalized Throughput)을 나타낸다. 그림 2 에 표시된 (80,16), (160,16), (100,100)은 시간영역 채널응답에서 최대값을 가지는 위치를 기준으로 전, 후로 선택한 채널응답 값의 범위를 나타낸다. LTE 부채널 주파수(15 kHz)와 사용된 FFT 크기로 수식(1)과 같이 시간영역 샘플간격을 구할 수 있다. (EVA: 2 510 ns, 78 샘플), ETU: 5 000 ns, 154 샘플)

$$\frac{1}{15\ \text{kHz}\times 2048} = 32.55\ \text{nsec} \qquad (1)$$

MTC 가 사용되는 저속 이동 환경인 EVA5 에서 시간영역 채널응답길이를 (80,16)으로 선택할 때, 최대 0.5 dB 까지 이득을 보였다. R.7-1 환경에서는 선택범위에 따라 그 성능에 큰 차이가 없으며, 64QAM 모듈레이션을 사용하고 있어 낮은 데이터를 사용하는 MTC 환경에서 사용될 가능성은 적다. R.1 환경은 이동속도가 높아 시간영역 선택 범위가 나머지 모의실험 결과와 차이가 있으며, (100,100) 선택인 경우에 가장 높은 성능을 보였다. 화살표로 표시된 수신 SNR 값들은 기술기준에서 정한 FT (Faction of Max Throughput)를 만족하기 위한 수신 SNR 값들로 표 1 에서 나타낸 기준 SNR 값보다 작은 SNR 에서 만족하였다.

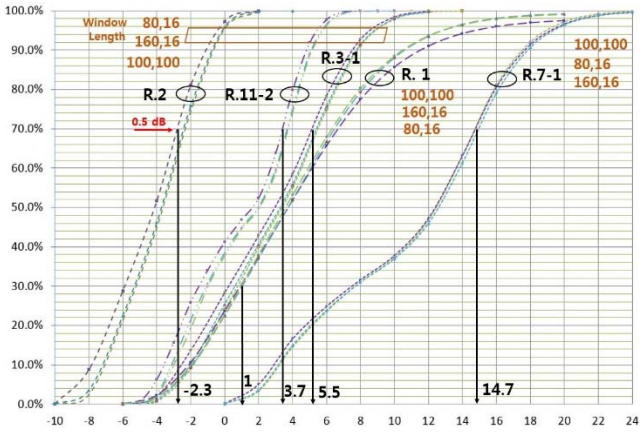



그림 2. 시간영역 선택에 따른 성능영향

표 2 에는 [1]에서 정하고 있는 최소성능 기준과 사용된 채널추정방법의 성능과 그 차이를 정리하였다. 주파수영역 FFT 보간 채널 추정방법으로 해당 기술기준 대비 최소 0.9 dB 이상 이득이 있다.

표 2. 개발 모뎀 성능

| 환경 | 기준 SNR | 목표 NTP | 수신 SNR | Margin(dB) |
|---|---|---|---|---|
| R.2 | -1 | 0.7 | -2.3 | 1.3 |
| R.1 | 1.9 | 0.3 | 1 | 0.9 |
| R.11-2 | 5.9 | 0.7 | 3.7 | 2.2 |
| R.3-1 | 6.7 | 0.7 | 5.5 | 1.2 |
| R.7-1 | 16.7 | 0.7 | 14.7 | 2 |

## 4. 결론

본 논문에서는 MTC 모뎀이 사용되는 채널환경을 고려한 채널추정 방식을 제안하였다. CRS 심볼 위치에서 IFFT 를 통해 얻어진 채널추정치들을 전체 심볼구간에 평균값으로 적용하였고, 시간응답 선택길이에 따른 성능차이를 확인하였다. 제안된 주파수영역 FFT 보간 구조가 3GPP 기술기준에 만족하고 있음을 모의실험 결과로 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 산업통상자원부 산업기술혁신사업의 시스템 반도체 기술개발 과제의 수행 결과입니다.

## 5. 참고 문헌

[1] 3GPP TS 36.101 V13.1.0 (2015-10), 3GPP; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN).

[2] 3GPP TR 36.888 V12.0.0 (2013-06), 3GPP; Study on provision of low-cost MTC UE based on LTE (Rel-12).

[3] Mehmet K. O. *et al.*, “Channel Estimation for Wireless OFDM Systems,” *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, 2nd Quarter 2007, Vol. 9, No. 2.

[4] R. H. *et al.*, “Channel Estimation OFDM System Based on the Linear Interpolation, FFT and Decision Feedback,” in *18th Telecom. forum TELFOR*, pp. 484-488, 2010.

# 빔 형성기를 갖는 밀리미터 웨이브 셀룰러 시스템을 위한 효율적인 프리앰블 설계 기법

한대근°, 김민성, 조용수

중앙대학교 전자전기공학부

# An Efficient Preamble Design Technique for Millimeter-Wave Cellular Systems with Beamforming

Dae Gen Han°, Min Seong Kim, and Yong Soo Cho

School of Electronics Engineering, Chung-Ang University

yscho@cau.ac.kr

## 요 약

밀리미터 웨이브 셀룰러 통신 시스템에서 프리앰블을 이용한 CDM (Code Division Multiplexing) 기반의 빔 트레이닝 기법은 기존의 기법과 비교해서 빔 트레이닝에 요구되는 소요시간을 크게 줄일 수 있다. 본 논문에서는 두 Zadoff-Chu (ZC) 시퀀스의 조합으로 구성된 시퀀스를 통해서 CBID (Cell ID and Beam ID)의 수를 크게 증가시킬 수 있는 새로운 프리앰블 설계 방법을 제안한다. 또한, 복잡도를 크게 줄일 수 있는 효율적인 CBID 검출 기법을 제안한다.

## 1. 서론

2020 년까지 1000 배 이상으로 증가할 것으로 예상되는 데이터 트래픽을 해결하기 위하여 미래의 새로운 대역으로 고려되고 있는 밀리미터 웨이브 대역에서는 신호가 높은 경로 손실을 경험한다. 따라서 송수신단에서는 경로 손실을 보상하기 위한 빔 형성 기술이 요구되며, 이에 따라 안정적인 데이터 링크 형성을 위한 빔 트레이닝 절차가 요구된다. [1]에서는 긴 소요시간이 요구되는 기존의 빔 트레이닝 기법의 문제점을 극복하기 위하여 빔 ID 를 프리앰블로 구별하는 CDM (Code Division Multiplexing) 기반의 빔 트레이닝 기법이 제안되었다. 하지만 이 기법은 소요시간을 크게 줄일 수 있는 대신에 CBID (Cell ID and Beam ID) 검출에서 높은 복잡도를 요구한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 밀리미터 웨이브 셀룰러 통신 시스템에서 CDM 기반의 빔 트레이닝을 위하여 두 개의 ZC 시퀀스의 조합으로 구성된 시퀀스를 이용한 프리앰블 설계 기법을 제안한다. 제안된 기법은 CBID 의 수를 크게 증가 시키며, CBID 검출에서 요구되는 복잡도를 크게 줄일 수 있음을 보인다.

## 2. 제안하는 프리앰블 설계 기법

다음은 제안하는 프리앰블 설계에 이용되는 두 ZC 시퀀스를 나타낸다.

$$Z_s^{r,d}(m) = Z^{r_s}(m+d_s) = e^{-j\pi r_s (m+d_s)(m+d_s+1)/L}, GCD(r_s, L) = 1 \quad (1)$$

여기서 $m \in \{0,1,\cdots,L-1\}, s \in \{0,1\}$

수식 (1)에서 $L$, $s$, $GCD$ 는 각각 ZC 시퀀스의 길이, 두 ZC 시퀀스를 구분하기 위한 파라미터, 최대 공약수 연산을 나타낸다. 그리고 $r_s$ 와 $d_s$ 는 $s$ 번째 ZC 시퀀스의 루트 인덱스와 순환 이동을 나타낸다. 따라서 두 ZC 시퀀스의 루트 인덱스와 순환 이동의 조합으로 생성될 수 있는 프리앰블의 수는 $L^2(L-1)^2$ 이 된다. 따라서 단일 ZC 시퀀스를 이용한 프리앰블 설계 기법보다 더 많은 수의 프리앰블을 이용하여 CBID 를 구분할 수 있다. 하지만 LTE 시스템의 SSS 와 같이 인터리빙된 두 ZC 시퀀스로 구성된 시퀀스를 통해서 생성된 프리앰블은 시간영역에서 단일 ZC 시퀀스의 특성을 유지하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같이 두 ZC 시퀀스의 조합으로 구성된 시퀀스를 이용한 프리앰블 설계 기법을 제안한다.

$$X^{r,d}(k) = \sum_{s=0}^{1} \tilde{X}_s^{r,d}(k) e^{-j2\pi ks/N} \quad (2)$$

여기서

$$\tilde{X}_s^{r,d}\left((k+N_0)_{\%N}\right) = \tilde{X}_s^{r,d}(k)$$

$$\tilde{X}_s^{r,d}\left(\left(m+N_0/2-\lfloor L/2 \rfloor\right)_{\%N_0}\right) = \begin{cases} Z_s^{r,d}(m), & If\ 0 \le m \le L-1 \\ 0 & Otherwise \end{cases}$$

$$k \in \{0,1,\cdots,N-1\}, N_0 = N/2$$

여기서 $N$ 은 OFDM 심볼을 생성하기 위한 FFT 크기를 나타낸다. 수식 (2)와 관련된 제안하는 프리앰블 생성 방식의 개요는 그림 1 을 통해서 확인할

수 있다.

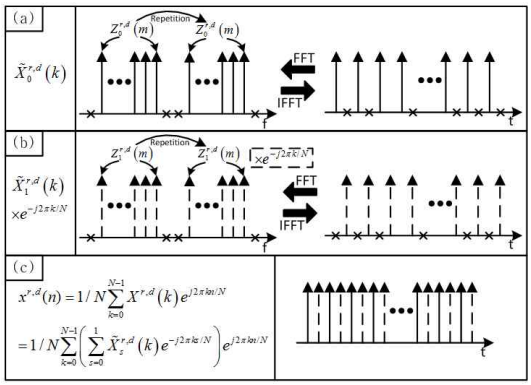



그림 1. 제안하는 프리앰블 생성 방식의 개요

IFFT 를 거친 후 시간영역에서의 제안하는 프리앰블은 아래의 수식으로 표현된다.

$$x^{r,d}(n)=\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}X^{r,d}(k)e^{j2\pi kn/N}$$
$$=1/N\sum_{s=0}^{1}\left(\left(1+e^{j\pi(n-s)}\right)\sum_{k=0}^{N_0-1}\left(\tilde{X}_s^{r,d}(k)e^{-j2\pi ks/N}\right)e^{j2\pi kn/N}\right) \quad (3)$$

여기서 $n\in\{0,1,2,\cdots,N-1\}$

$q$ 를 프리앰블의 홀수 샘플들과 짝수 샘플들을 구분해 주기 위한 파라미터로 정의할 때, 수식 (3)의 $x_d^r(n)$ 는 다시 아래의 식과 같이 표현된다

$$x^{r,d}\left((2n+q)_{\%N}\right)=2/N\sum_{k=0}^{N_0-1}\tilde{X}_{s=q}^{r,d}(k)e^{j2\pi kn/N_0} \quad (4)$$

여기서 $q\in\{0,1\}$

수식 (4)와 그림 1(c)을 통하여 $x^{r,d}(n)$ 의 짝수 샘플들과 홀수 샘플들은 각각 주파수 영역에서 $Z_0^{r,d}(m)$ 와 $Z_1^{r,d}(m)$ 의 성분들로만 구성됨을 알 수 있다. 이와 같은 특성을 통해서 $x^{r,d}(n)$ 은 단일 ZC 시퀀스에 근접한 특성을 가질 수 있게 된다.

## 3. 모의실험

본 절에서는 제안하는 프리앰블 설계 기법의 성능을 평가한다. 밀리미터 웨이브 채널은 라이시안 채널 (K=10dB)로 가정하였으며, 채널 모델링은 SCM 기법이 이용되었다. 기존 기법에서는 길이가 1021 인 단일 ZC 시퀀스가 이용되었으며, 제안된 기법에서는 길이가 509 인 두 개의 ZC 시퀀스가 이용되었다. 그리고 제안된 기법에서는 프리앰블 설계에 이용되는 루트 인덱스의 수에 따라서 Type-1 과 Type-2 로 구분된다. Type-2 에서는 Type-1 과 다르게 시퀀스의 상관특성이 열화되는 단점이 있기 때문에 셀 계획 (cell planning)이 요구되지만, Type-1 과 비교하여 CBID 검출에 요구되는 복잡도를 약 1/3 로 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

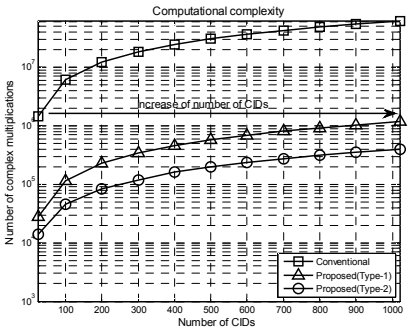



그림 2. 셀 ID 의 총 수에 따른 CBID 검출에 요구되는 복소수 곱셈의 수

그림 2 로부터 셀 ID 의 총 수가 1020 일 때는 제안된 기법의 Type-1 과 Type-2 에 요구되는 복소수 곱셈의 수는 기존 기법과 비교하여 1.9%와 0.6%로 크게 감소될 수 있음을 알 수 있다. 그리고 연산량이 비슷할 때 제안된 기법을 통해서 셀 ID 의 총수는 약 43 배 증가될 수 있음을 알 수 있다.

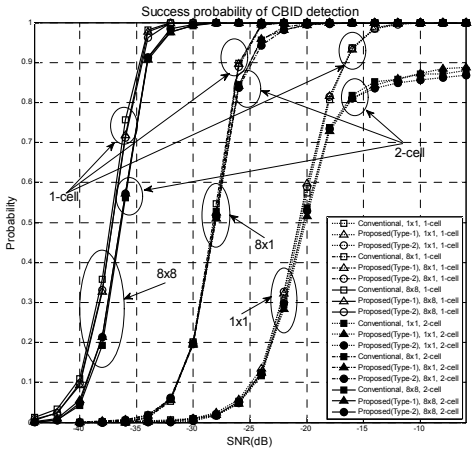



그림 3. CBID 검출 성능

그림 3 은 단일 셀과 두 개의 셀 환경에서 안테나 수 ($1\times1$, $8\times1$, $8\times8$)에 따른 CBID 검출 성능을 보여준다. 그림으로부터 기존 기법과 제안된 기법 모두 거의 같은 성능을 보임을 알 수 있다.

## Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT 연구센터 육성지원사업 (IITP-2016-H8501-15-1007)과 2015 년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2015R1D1A1A01057628)의 연구결과임.

## 참고 문헌

[1] B. W. Ku, D. G. Han, and Y. S. Cho, “Efficient Beam-Training Technique for Millimeter-Wave Cellular Communications,” *ETRI Journal*, Vol. 38, No. 1, pp. 81-89, Feb. 2016

# 3GPP License-Assisted Access (LAA)의 주파수 Reuse-1 을 위한 채널 접속 방식

양찬석°, 김충기, 강충구

고려대학교 전기전자공학과

# Channel Access Scheme for Frequency Reuse-1 in 3GPP License-Assisted Access

Chan S. Yang°, Chung K. Kim, Chung G. Kang

School of Electrical Engineering, Korea University

{hello828°, asnim, ccgkang}@korea.ac.kr

요 약

최근 비허가 대역에서 무선 LAN 과 3GPP LTE 시스템이 공존할 수 있도록 Licensed-Assisted Access (LAA)를 위한 하향링크 채널 접속 방식에 대한 표준화가 완료되었다. 본 논문에서는 LAA 규격에서 채널 접속 방식과 더불어 모든 셀에서 주파수 재사용을 극대화할 수 있는 reuse-1 구현 기법에 대해서 살펴보고, 그 성능을 분석한다.

## 1. 서론

3GPP 에서는 5GHz 비면허 대역에서 LTE 시스템이 WLAN 시스템과 공존할 수 있도록 'License-Assisted Access (LAA) Using LTE' 란 이름으로 Release 13 규격의 표준화를 최근에 완료한 바가 있다. 이 표준에서는 비면허 대역에서 Wi-Fi 와 LAA 의 효율적 공존을 위해 Listen-Before-Talk (LBT) 프로토콜을 근거로 한 무선 channel access 방식을 표준으로 제정하였다. 한편 기존 LTE 가 Wi-Fi 대비 동일 채널 간섭에 강인한 특성을 이용하여 공간적으로 자원을 재사용하는 LAA frequency reuse-1 에 대한 개념이 다루어졌다. 이에 따른 구현 방안이 논의되었으며. 일부 방식은 Release 13 규격에 반영되었다[1]. 본 논문에서는 3GPP 표준에 제정된 LAA 하향링크 동작을 위한 채널 접속 규격 및 이를 활용한 reuse-1 구현 방식에 대해 살펴보고, 그 성능을 분석하고자 한다.

## 2. 본론

### A. LAA 에서의 채널 접속 방식

ETSI 에서는 비허가 대역에서 이기종 규격간의 공존을 위해 LBT 프로토콜을 규정하고 있으며, 이는 Load-Based-Equipment (LBE) 방식과 Frame-Based-Equipment (FBE) 방식으로 구분된다. FBE 는 정해진 시간에만 채널 진입을 시도할 수 있기 때문에 채널 점유 경쟁력에 있어 LBE 보다 낮은 성능을 보인다. 따라서 LAA 표준에서는 LBE 기반의 LBT 를 Wi-Fi 와 LAA 간 효율적 공존을 위한 기본 방식으로 채택하였다. 한편 Wi-Fi 의 CSMA/CA 는 LAA 와 달리 분산 방식의 독립된 시스템간의 공정한 채널 점유 경쟁을 위해 설계되었다. 따라서 LBT 와 달리 DIFS, exponential back-off window 와 같은 구체적인 충돌 회피 절차가 정의되었으며, 이는 CSMA/CA 를 사용하는 시스템과 ETSI LBT 를 사용하는 시스템간의 불공정한 채널 점유 경쟁을 초래한다. 따라서 LAA 규격에서는 이를 극복하기 위해 DIFS 역할을 하는 defer 와 exponential back-off 방식의 contention window size 제어 기법을 도입하여 수정된 LBT 방식을 채택하였으며, 그림 1 은 이에 따른 동작을 예시한 것이다.

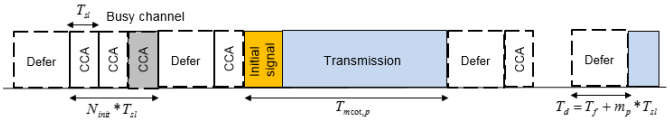



그림 1. LAA 채널 접속 기법의 동작 예시

표준에서는 다양한 트래픽 환경에서 채널 접속 절차를 적용하기 위해 priority class $p$ 를 정의하며, 이에 따라 최대 채널 점유 길이 $T_{m\,\mathrm{cot},p}$, 최소 및 최대 contention window size 의 크기, 그리고 defer 를 위한 파리마터 $m_p$ 를 정의한다. LAA node 가 채널 점유를 처음 시도하는 시점에 우선 defer 를 수행해야 한다. Defer 는 CSMA/CA 의 DIFS 와 같은 역할로 채널 센싱을 하지 않는 idle slot ($T_f = 16us$)과 채널 센싱을 하는 $m_p$ 개의 slot ($T_s = 9us$)으로 이뤄진다. 채널 센싱을 위한 slot 에서는 energy detection (ED) 절차를 진행하여 간섭이 특정 임계치 $X_{\mathrm{th}}$ 이상이 넘어갈 경우에 busy 채널로 판별하며, 그 미만일 경우에는 idle channel 이라고 판단하여 slot count 를 감소시킨다. 초기 접속 시도에 인한 defer 수행 후 idle 채널로 판단되면 back-off 를 위한 slot count $N_{init}$ 를 생성한다. 해당 랜덤 변수는 $[0, CW_p]$ 의 범위에서 uniform 분포를 가진다. 이후 ED 를 통해 채널 센싱을 하여 채널이 idle 할 때마다 slot count 를 감소시키고, 채널이 busy 하다고 판별되면 slot count 를 멈추고 defer 를 통해 채널이 idle 한지 판별한 후 다시 back-off 절차를 수행한다. 만약 slot count 가 0 이 되

면 eNB 는 최대 $T_{m\cot,p}$ 동안 채널 점유를 하거나 아니면 자체적으로 연기할 수 있다. 바로 채널 점유를 시작할 경우에 subframe 동기를 맞추기 위해 현재 subframe 의 종료 지점까지 데이터가 실리지 않는 initial signal 을 송신하며, 그 이후 실질적인 데이터를 전송한다. 만약 slot counter 가 0 이 되어 eNB 가 채널을 진입할 수 있음에도 불구하고 전송을 미루게 된다면 eNB 가 채널을 점유하기 전 반드시 defer 절차를 수행해야 한다.

**B. License-Assisted Access 를 위한 주파수 재사용**

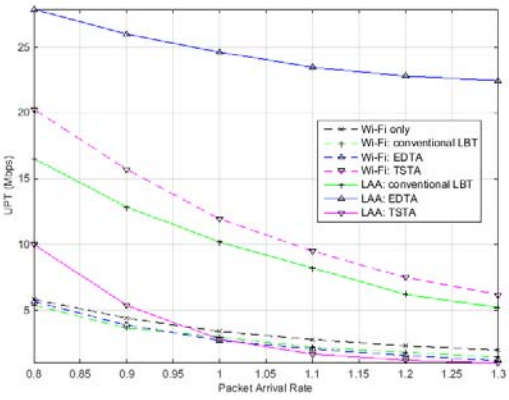
LAA 는 Wi-Fi 와 달리 AMC, HARQ, CoMP 등의 기능을 통해 간섭에 매우 강인하거나 능동적으로 대처할 수 있게 설계되어 있다. 만약 인접한 LAA 노드들이 동시간 대에 채널 사용이 가능하다면 신호대 간섭비(SINR)의 추가적인 열화를 겪더라도 Wi-Fi 및 LAA 노드의 시간 축 자원을 더 확보함으로써 시스템의 전체 성능을 올릴 수 있다. 따라서 표준에서는 동일 LAA 사업자 내에서 LBT 를 변형하여 인접한 LAA 노드간 채널을 동시 사용하는 것을 reuse-1 이라 명명하고, 이를 LAA 설계 목표 중의 하나로 정하였다.

Reuse-1 을 위한 대표적인 구현 방식으로 Transmission Start Timing Alignment (TSTA)와 Energy Detection Threshold Adaptation (EDTA)을 들 수 있다. TSTA 는 자체 연기를 통해 인접 노드간 전송을 동시에 시작하는 방식이다. TSTA 는 표준에 명시된 채널 액세스 절차와 동일하게 진행되며, 다만 slot count 가 0 이 되어 채널 접속이 가능해진 시점 이후 LAA node 간 전송 시점을 맞추기 위해 자체 연기를 하고 최종적으로 채널 진입 전 동시에 defer 를 언제 수행할 것인지 정해야 한다. 채널 진입 전에 동시에 defer 를 수행함으로써 LAA 노드간 간섭을 안보게 되고, 이는 LBT 의 FBE 동작 방식과 매우 유사하다.

TSTA 와 달리 channel sensing 을 하는 동안 간섭이 감지되어도 진입이 가능하도록 하기 위해서는 channel 의 busy/idle 여부를 판별하는 임계치 $X_{\text{th}}$ 값을 낮춤으로써 가능하다. 이러한 방식을 EDTA 라 하며, 해당 방식을 적용할 경우 LAA 노드는 동시에 전송 시작을 하지 않고도 채널 재사용이 가능하다. 표준에 명시된 EDTA 는 LAA 와 같은 채널을 사용하는 다른 시스템이 없을 경우 $X_{\text{th}}$ 값을 낮출 수 있고, 그렇지 않을 경우 값을 높이는 방식이다. 한편 $X_{\text{th}}$ 값은 비면허 대역의 규제 및 표준에 제시된 수식에 따라 제한된다[1].

**C. 시뮬레이션**

본 논문에서 논의된 채널 접속 방식의 성능을 확인하기 위하여 [2]의 indoor 모델에 근거하여 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행한다. 본 논문에서는 정사각형 형태의 건물을 고려하고, 하나의 건물 내부에 각각 4 개의 Wi-Fi AP 와 LAA BS 를 랜덤하게 분포시킨다. 이는 기존 [1]의 일직선 형태의 배치와 달리 LAA BS 간 서로 인접한 형태이므로 기존 LBT 를 사용하게 되면 4 개의 BS 중 1 개만이 채널을 점유할 수 있기 때문이다. 성능 평가를 위한 평가 대상은 다음과 같다: Wi-Fi only (step 1) and Wi-Fi coexistence with LAA when LAA uses the conventional LBT, EDTA, TSTA. EDTA 는 Wi-Fi 간섭의 합이 -82dBm 이하이고 LAA 간섭의 합이 -82dBm 이상일 경우 $X_{th}$ = -52dBm 로 조절하고, 그렇지 않을 경우 기존 값 $X_{th}$ = -82dBm 을 사용하였다. TSTA 의 전송 가능 시작 간격은 0.1ms 단위로 값을 조절하여 0~1ms 사이에서 가장 성능이 좋은 값을 선택하였다. 시뮬레이션을 통해 패킷 도착률에 따른 패킷당 수율 값인 User Perceived Throughput (UPT)를 확인한다. 각 방식에 따른 Wi-Fi 및 LAA UPT 성능은 그림 2 와 같다. EDTA 는 $X_{th}$ 값을 조절함으로써 LAA 의 공격적인 채널 점유로 인한 재사용 이득으로 높은 LAA 수율을 얻으나, 이로 인해 Wi-Fi only 대비 낮은 Wi-Fi UPT 성능을 보인다. 반면 TSTA 는 LAA 의 자체 연기 절차로 인해 기존 LBT 방식의 LAA UPT 보다 채널 진입률이 낮아지고, 이로 인해 기존 방식보다 낮은 LAA UPT 성능을 갖는다. 그러나 TSTA 는 LAA 의 낮은 채널 진입률 및 높은 재사용률에 의해 가장 높은 Wi-Fi UPT 성능을 보인다.




.

그림 2. Packet arrival rate 에 따른 UPT 비교

## 3. 결론

본 논문에서는 3GPP LAA 표준에서 제시된 채널 접속 방식을 기반으로 한 reuse-1 기법에 대한 성능을 살펴보았다. 각 reuse-1 방식은 기존 방식 대비 높은 시스템 용량을 보이나, 트래픽 환경에 따라 Wi-Fi 또는 LAA 성능이 낮게 나온다. 따라서 이를 극복할 새로운 reuse-1 방식에 대한 연구가 요구된다.

## 4. 참고 문헌

[1] 3GPP TR 36.213, v13.0.1: "Physical layer procedures (Release13)", Jan. 2016.

[2] 3GPP TR 36.889, v0.1.1: "Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum (Release13)", Nov, 2014.

# 기지국 가용자원활용도 기반 협력전송 기법

김용강°, 임 혁
광주과학기술원 정보통신공학부

## 1. 서론

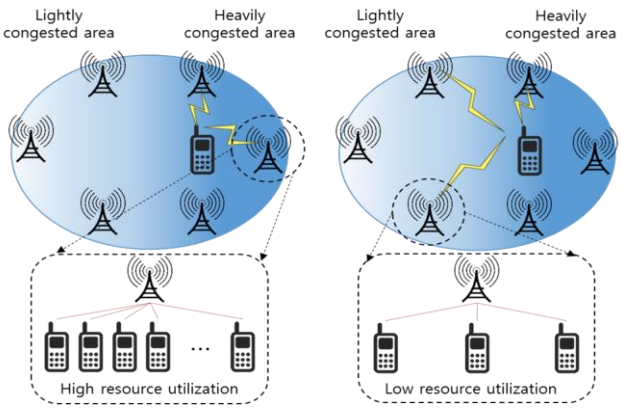
협력 전송 기법은 네트워크 내 셀들 간 정보 교환 및 협력을 통해 여러 기지국들이 동일한 사용자에게 신호를 동시에 전송하는 기술을 말한다. 기지국 간 협력 전송 기법은, 각 셀 내 기지국들이 서로 독립적으로 서비스를 제공하는 기존 방법 대비 높은 네트워크 성능을 보인다. 기지국 간 협력을 위해서는 백홀 네트워크를 통한 정보교환이 필요하기 때문에, 협력 기지국들이 많아질수록 정보교환 오버헤드가 커지므로 모든 기지국들이 협력하기 보다 협력할 기지국을 적절하게 선택하는 방법이 필요하다 [1]. 본 논문에서는 기지국들의 가용 전송 자원량을 고려한 협력 전송 기법에 대해 논한다.

## 2. 기지국 자원활용도 기반 협력 전송

### 2.1. 기지국 자원활용도

기지국들은 서비스 제공을 위해 각 사용자에게 subcarrier 를 할당한다. 각 기지국은 사용자가 요구하는 서비스 트래픽이 많을수록 많은 subcarrier 를 사용자에게 할당한다. 본 논문에서는 기지국이 사용할 수 있는 전체 subcarrier 대비 현재 사용 가능한 subcarrier 의 비율을 가용자원활용도로 정의하고 이를 반영한 협력 전송 기법을 제안한다.

### 2.2. 자원활용도 기반 협력 전송 기법




(a) 수신신호세기 기반 협력 전송 (b) 자원활용도 기반 협력 전송

그림 1. 협력 전송 기법 비교

본 논문에서 제안하는 기지국 자원활용도 기반 협력 전송 방법은 가용자원활용도가 높은 기지국들이 협력하여 사용자들에게 고품질의 서비스를 제공하도록 한다. 높은 가용자원활용도를 갖고 있는 기지국들은 낮은 가용자원활용도를 갖고 있는 기지국들에 비해 보다 많은 추가적인 트래픽 요구량을 처리할 수 있기 때문에 서비스할 수 있는 사용자 수를 늘릴 수 있다.

그림 1 은 기지국 자원활용도를 고려하지 않은 수신신호세기 기반 협력 전송 기법과 자원활용도기반 협력 전송기법을 나타낸다. 그림 1(a)에서와 같이 수신신호세기가 큰 기지국들을 우선적으로 선택할 경우, 트래픽 요구량이 높은 지역에 있는 기지국들에서는 과부화가 발생한다. 반면, 그림 1(b)에서와 같이 높은 가용자원활용도를 갖고 있는 기지국들이 협력 통신 기지국들에 포함되어 협력 통신 기법을 수행할 경우, 기지국들의 트래픽 부하를 분산시킬 수 있다.

## 3. 성능 평가 및 결론

본 논문에서는 MATLAB 을 이용하여 100 명의 사용자들이 밀집하게 분포되어 있고 각 사용자 별로 30 개의 협력 가능한 기지국이 있는 상황에서, 사용자 별로 요구하는 SINR threshold 에 따른 사용자 서비스 비율을 비교하였다. 그림 2 에서 제안하는 기지국 가용자원활용도 기반 협력 전송 기법이 수신신호세기 기반 협력 전송 기법보다 높은 네트워크 성능을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

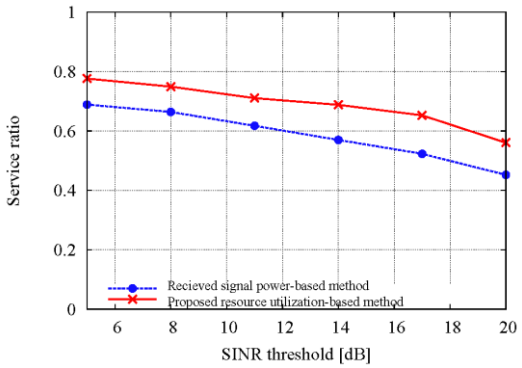



그림 2. 협력 전송 기법 성능 비교

## 4. 참고문헌

[1] J. Zhao, T. Q. S. Quek, and Z. Lei, “Coordinated multipoint transmission with limited backhaul data transfer,” *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 12, no. 6, pp. 2762-2775, 2013.

※ 이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단 중견연구자지원사업(핵심)의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A2A2A01006002).

Email: hlim@gist.ac.kr

# 무선 센서 네트워크에서 자율적 노드 고립 인지 알고리즘

김희원°, 조호신
경북대학교 전자공학부
{hwkim, hscho}@ee.knu.ac.kr

## 1. 서론

현재 재난 방지, 전략적 감시 등 여러 방면에서 무선 센서 네트워크에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 다수의 센서 노드들이 넓은 영역에 배치되어 각자 수집한 데이터를 중앙의 싱크 노드까지 전달하는 구조를 가진다. 무선센서 네트워크의 특성상 각 센서 노드를 구동하는 배터리는 충전 및 교환이 어려우므로 효율적인 에너지 절약 알고리즘이 필요하다. 한편, 센서 노드는 배터리 방전뿐만 아니라 다양한 외부 요인에 의해 고장이 발생하여 네트워크 상에서 유실될 수 있다. 이는 Fig. 1과 같이 하위 계층에서 해당 센서 노드(#3)를 중계(relay) 노드로 활용해왔던 노드, 즉 후손(descendant) 노드들(#4, #5)에 대해 물리적 전송 범위 제약으로 인한 고립(isolation) 문제를 야기시킬 수 있다. 이때 고립된 후손 노드들이 새로운 중계 노드를 계속적으로 탐색하는 것은 배터리 낭비이므로, 스스로 고립되었음을 인지하여 슬립 모드로 전환하도록 함으로써 배터리를 절약해야 한다. 단, 해당 고립 노드들은 중계 노드로서 적절한 후보가 발견되면 슬립 모드에서 깨어나야 한다.

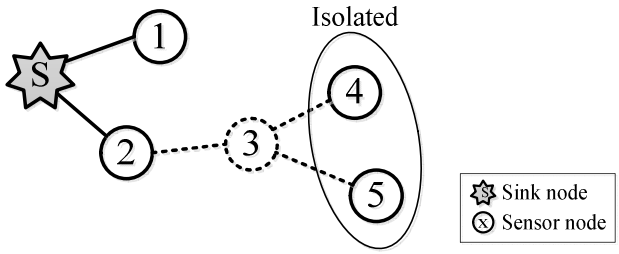



Fig. 1. Isolation problem caused by node loss.

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들이 외부의 제어 없이 자기 조직적으로 노드 고립 상태를 인지할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 성능 분석 결과, 해당 알고리즘을 적용하지 않은 경우에 비해 네트워크 수명을 비롯한 여러 성능들이 향상됨을 확인하였다.

## 2. 고립 인지 알고리즘

모든 센서 노드들은 동일한 전송 범위를 가지며, 각자 이웃 노드들의 정보를 가지고 있다고 가정한다. 각 센서 노드는 자신의 네트워크 레벨, 즉 자신과 싱크 노드간의 홉 수 정보를 알고 있고, 특정 DATA 패킷에 대해서 부모 노드로부터 일정 횟수($N_{MAX\_RETX}$) ACK를 수신하지 못하면 부모 노드가 유실된 것으로 판단한다. 또한 슬립 모드 상태에 있는 센서 노드는 특정 패킷이 도착하면 즉시 수신 모드로 전환한 후 복호화를 수행한다.

본 논문에서는 부모 노드가 유실된 상태에서 새로운 후보 부모 노드를 찾지 못한 노드를 dead end라고 정의한다. 각 센서 노드는 DATA 패킷 전송 시 자신의 레벨 및 dead end 여부를 함께 포함시킨다. dead end인 경우 'Y'값을, 아닌 경우 'N'값을 포함시킨다. 이웃 노드들은 해당 DATA 패킷을 수신하면, 송신자의 dead end 여부를 저장한다. 결과적으로 각 센서 노드는 모든 이웃 노드들의 ID와 dead end 여부를 보유하게 된다. 이후 부모 노드의 유실이 판단되면, 해당 센서 노드는 자신의 이웃 노드 정보를 참조하여 새로운 부모 노드 선정을 시도한다. 이때 후보들 중 가장 상위 레벨에 존재하며 dead end가 아닌 이웃 노드가 선정된다. 그러나 적합한 후보가 존재하지 않는 경우, ISO 패킷을 방송한 후 슬립 모드로 전환한다. 이는 이웃 노드들에게 자신이 고립 상태임을 알리는 것으로써, 이웃 노드들은 해당 ISO 패킷을 수신하면 송신자가 dead end임을 저장한다. 이와 동일한 절차가 반복적으로 수행됨으로써 결국 모든 고립 노드들은 각자 자신이 고립 상태임을 인지한 후 슬립 모드로 전환한다. 이후 각 고립 노드는 dead end값이 'N'인 DATA 패킷이 수신되면, 송신자를 부모 노드로 설정함과 동시에 슬립 모드에서 깨어나 데이터 전달 과정을 재개한다. Fig. 2는 고립 인지 알고리즘을 간략히 나타낸 것이다.

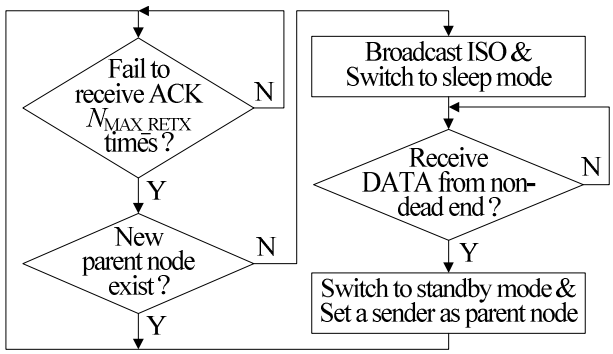



Fig. 2. Algorithm to identify isolation.

## 3. 성능 분석

성능 분석 결과, 본 논문에서 제안하는 고립 인지 알고리즘을 적용한 경우 네트워크 수명 등의 측면에서 향상된 성능을 보였다.

## 감사의 글

이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(분산형 수중 관측 · 제어망 개발).

# 모바일 센서 네트워크에서 라우팅을 활용한 네트워크 확장 알고리즘 개발

박종연°, 이명섭, 박세웅

서울대학교 전기 정보 공학부, 뉴미디어통신공동연구소

# Development of algorithm for expanding network using routing protocol in mobile sensor network

Jongyeon Park°, Myungsup Lee, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

jypark@netlab.snu.ac.kr, mslee@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

## 요 약

빈번한 재해의 발생으로 인해 재난 대응 로봇의 필요성이 증대되고 있다. 재난 상황과 같은 미지의 환경에서의 네트워크 구축을 위해서는 간단하게 구축한 기반 네트워크로부터의 네트워크 확장이 필요하다. 미지의 환경에서 센서 네트워크를 기반으로 라우팅 정보를 활용하여 이동성 노드가 네트워크와의 연결을 유지하며 네트워크의 경계에 도달하여 네트워크를 확장하는 알고리즘을 제안하고 다른 기법과 성능을 비교하였다.

## 1. 서론

세계적으로 재난 재해가 꾸준히 발생하고 이에 따라 재난 대응 로봇의 필요성이 증대되고 있다[1]. 재난 상황과 같이 미지의 환경에 대한 탐사를 진행하기 위해서는 네트워크를 구축해야 할 필요성이 있다. 이 때 최소 기능의 저렴한 센서를 배치해 기반 네트워크를 형성하고, 반복적인 확장을 수행함으로써 네트워크의 구축이 가능하다. 본 연구에서는 기반 네트워크의 형성 이후 확장과 회수 동작 알고리즘에 관해 연구하였다. 이동성 노드가 sink 로부터 출발하여 네트워크와의 연결성을 유지하면서 네트워크의 경계로 도달하여 네트워크 범위를 확장한 뒤, 기반 네트워크보다 상대적으로 비싼 이동성 노드를 회수하기 위하여 다시 sink 로 돌아오는 동작의 구현을 목표로 하였다. 상기 기능을 위하여 Sfax 대학의 CES 연구실에서 제안한 CO-RPL [2] 기법을 토대로 각 노드의 라우팅 정보를 바탕으로 sink 로부터의 물리적인 거리를 추정하였고, 지향성 안테나를 도입하여 송신노드의 방향인식에 사용하였으며 라우팅 정보를 사용하지 않는 간단한 기법과의 비교를 통해서 제안기법의 성능을 확인하였다.

## 2. 본론

### 2.1 제안기법의 설계

제안기법에서는 센서 네트워크에서의 라우팅 기법의 일종인 CO-RPL 을 사용하였다. CO-RPL 은 IETF 에 의해서 IPv6 기반 저전력 네트워크의 표준으로 제안된 Routing Protocol for Low-power Lossy Networks(RPL)을 개량한 기법으로 RPL 에서 네트워크 내 노드가 정적인 경우만을 지원하는 점을 개선하여 이동성 노드도 지원할 수 있다. 또한, CO-RPL 은 Corona 기법을 제안하여 sink 로 부터의 hop 수와 실제 거리를 비례시키는 특징을 갖고 있다.

N. Desphand 외 2 명의 논문[3]에서 제시된 바와 같이 인근 노드로의 방향을 결정하기 위하여 지향성 안테나를 도입하였다. 약 120 ° 의 지향성을 가진 안테나 두 개를 이동성 노드의 좌우에 부착하여 전방 240 ° 영역을 감지할 수 있도록 하고, 각 안테나에서 측정된 한 신호의 수신 전력의 세기 차이를 이용하여 해당 신호가 송신되는 방향을 추정할 수 있다.

제안 기법에서는 상기 서술한 CO-RPL 의 hop 수와 물리적 거리의 비례관계를 이동성 노드가 최대 확장 범위를 갖기 위한 라우팅 경로 설정에 활용하였고, 지향성 안테나의 송신 방향 추정기능은 주행 시 목표지점을 찾아가는데 사용하였다.

<그림 1>은 제안 기법의 주행알고리즘을 도식화한 순서도이다. 알고리즘은 5 개의 state 로 이루어져 있다. Search state 에서는 sink 로부터 얻은 라우팅 경로를 바탕으로 탐색해야 할 노드가 있는지 확인한다. 라우팅 경로 중 추가로 탐색해야 할 노드가 있다면 move state 로 전이하며, 더 이상 탐색해야 할 노드가 없다면 이동성 노드의 회수를 위해 reverse state 로 전이한다. Move state 에서는 지향성 안테나를 이용하여 탐색해야 할 노드 위치로 이동성 노드의 주행방향을 보정하며 탐색 대상 노드로 접근한다.

제안기법의 성능평가를 위해서 비교기법을 설계 및 구현하였다. 첫 번째 비교기법인 greedy 기법은 greedy algorithm 을 이용하여 현재 위치에서 신호가 수신되는 노드들 중 가장 높은 hop 수를 가진 노드를 다음 목표 노드로 선택한다. 두 번째 비교기법인 직진기법은 임의의 노드가 전송하는 신호의 세기가 일정 임계 값 이하로 낮아질 때까지 초기 설정 방향으로 전진한다. 두 비교기법 모두 sink 에서 출발 시 방향은 랜덤하게 정해진다.

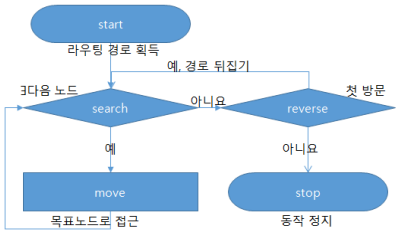



그림 1. 제안기법의 주행 알고리즘

### 2.2 실험환경

통신 모듈은 IEEE 802.15.4 통신을 지원하는 telosb 모트를 사용하였다. 그리고 노드의 이동성을 위해 소형 이동 로봇 shield bot 을 사용하였고, 이를 제어하고 센서 모트의 정보를 수집, Wi-Fi backhaul 로 정보를 제공하기 위해 오픈소스 플랫폼인 Arduino Yun 을 이용하였다. 제안기법의 지향성 안테나는 무지향성 안테나를 변형, 120 ° 의 지향성을 갖도록 하였다.

가로 5.7m, 세로 6.8m 의 바닥에서 실험을 진행하였다. 최대 hop 수 는 6 이다. 전송 세기는 -34dBm, channel 은 Wi-Fi 의 간섭이 적은 15 번 channel 을 사용하였다. 이동 속도는 0.18m/s, 패킷 전송 주기는 0.25 초로 설정하였다. 각 기법에서의 실험은 3 회 반복한 평균값을 사용하였다.

### 2.3 실험결과

<그림 2>는 이동성 노드가 네트워크 경계에 도달하였을 때의 end-to-end 패킷 수신율(PDR)을 보여준다. 세 기법 모두 80%이상의 PDR 을 만족시키며, 네트워크 확장 후에도 이동성 노드의 connectivity 가 확보되는 것을 확인할 수 있다.

<그림 3>은 이동성 노드가 네트워크 경계에 도달하였을 때 해당 노드에서 sink 까지의 거리와 hop 수를 측정한 결과를 보여준다. 제안기법은 다른 기법들에 비해 네트워크 중심부로부터 가장 멀리 도달하였으며, 기존의 최대 hop 수보다 one hop 을 확장하는 것이 가능하였다. Greedy 기법의 경우 greedy 한 선택 때문에 local optima 에 빠지고 직진기법의 경우 직진만을 하여 초기 조건에 크게 의존하여 제안기법에 비해 낮은 확장 거리 및 hop 수를 보인다.

<그림 4>는 각 기법에서의 네트워크 확장 동작의 종료까지 소요되는 수행 시간을 나타낸다. 직진기법은 다른 두 기법에 비해 짧은 평균 종료시간과 작은 분산 값을 보인다. 제안기법과 greedy 기법을 비교하였을 때, 제안기법이 적은 평균 종료 시간을 소요하며, greedy 기법은 큰 분산 값을 보인다. 직진기법은 주행거리가 가장 짧고 탐색 및 방향 보정의 동작 없이 전진 동작만을 하기 때문에 짧은 시간과 작은 분산을 보인다. 또한, 제안기법이 greedy 기법보다 경로 및 확장 동작 후 도달하는 위치가 일정하기 때문에 짧은 동작 시간 및 분산 값을 가진다고 할 수 있다. greedy 기법의 경우 동작 중 경로에 loop 가 생길 잠재적인 위험이 존재하여 소요시간의 upper bound 가 고정되지 않는 단점 또한 존재한다.

| | 제안기법 | Greedy기법 | 직진기법 |
|---|---|---|---|
| PDR(%) | 85.92 | 87.9 | 80.12 |

그림 2. 패킷 수신율

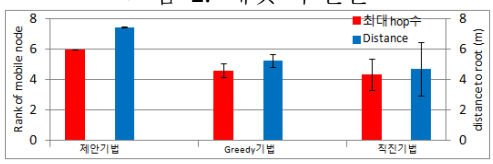



그림 3. 확장 범위 및 확장된 랭크

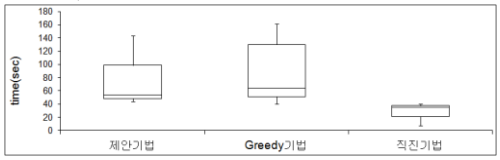



그림 4. 네트워크 확장 소요 시간

## 3. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크에서 네트워크 확장 동작을 위해 라우팅에 의해 얻은 정보와 지향성 안테나를 활용하는 이동성 노드의 자율 주행 기법을 제안하고, 구현 및 비교 기법과의 비교를 통해 그 성능을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0126-15-1017, 주파수 센싱 기반의 스펙트럼 관리 및 미래전파통신 플랫폼 연구]

## 4. 참고문헌

[1] 최주옥, 미래 지능형 엔도모픽 시스템 기반의 재난로봇, 한국정보화진흥원,June. 30. 2014.

[2] O. Gaddour *et al*, "Co-RPL: RPL Routing for Mobile Low Power Wireless Sensor Networks using Corona Mechanism," in *Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES '14)*, pp 200-209, June. 2014.

[3] N. Deshpande *et al*, "TargetLocalization and Autonomous Navigation Using Wireless Sensor Networks-A Pseudogradient Algorithm Approach," *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, VOL.8 ,NO.1, pp 93-103, March. 2014.

# Bluetooth Low Energy 기반 다중 개체 통신 Test-bed 플랫폼 구축

김승환°, 이경섭, 김성륜
연세대학교 전기전자공학부
{shkim, kslee, slkim}@ramo.yonsei.ac.kr

## 1. Introduction

최근 Internet of Things (IoT) 에 관한 사회적인 관심이 지속됨에 따라 이에 관련된 연구들이 활발히 이루어지고 있다. IoT 는 기존의 정의된 기술 개념들과는 확연히 다른 특징을 보인다. 수많은 작은 기기들이 통신 능력을 갖추게 되어 기존 네트워크 보다 훨씬 더 많은 기기들이 네트워크를 구성하게 될 것이다. 연결되는 모든 기기들을 중앙집중적으로 관리하기는 힘들어짐에 따라 분산적 네트워크의 중요성이 점점 커지고 있다. Bluetooth 는 IoT 특성에 맞추어 Bluetooth v4.0 (LE : Low Energy)라는 획기적인 저전력 솔루션을 제시하며 분산적 네트워크를 이루는 통신 방법으로 가장 유력한 후보도 대두되고 있다 [1]. 또한 Bluetooth 는 최근의 v4.2 에서 Internet Protocol Support Profile (IPSP)의 지원으로 IPv6 통한 인터넷 직접 연결이 가능해져 더욱 유망한 통신 프로토콜으로 발전하였다 [2]. 이에 본 연구팀은 Bluetooth 를 이용하여 분산적 네트워크 상황을 가정한 Testbed 플랫폼을 구축하였다. 이를 통해 미래 IoT 상황, 더 나아가 사물들이 지능적으로 Social Network 를 형성하는 Machine Social Network (MSN) 에 대한 연구를 구현하는데 최적의 플랫폼을 제공하고자 한다 [3]. 본 논문에서는 Test-bed 를 이루는 로봇의 기능 및 목적을 소개하고 향후 연구 방향에 응용될 수 있는 부분을 기술한다.

## 2. Robot Testbed Platform

본 Testbed 플랫폼을 이루는 로봇을 구현하는데 고려한 필요사항은 아래와 같다.

- 통신: 로봇은 원하는 조건을 가지는 주변의 다른 로봇들과 자율적으로 통신이 가능해야 한다.
- 구동: 각 로봇이 원활한 통신을 위해 자율적으로 원하는 방향으로 움직일 수 있어야 한다.
- 출력: 로봇은 자신의 상태를 관찰자가 가시적으로 인지할 수 있는 출력을 가져야 한다.

### 2.1 통신

Bluetooth Low Energy (BLE) 스택 및 ARM Cortex M0 을 포함한 nRF51822 칩을 사용한 Redbear BLE Nano 를 사용하였다.

### 2.2 구동

본 로봇은 좌우이동을 위해 상대적으로 낮은 전압으로 구동이 가능한 진동모터를 사용하였다. 왼쪽의 모터가 진동하면 오른쪽으로 회전, 오른쪽의 모터가 진동하면 왼쪽으로 회전한다. 두 모터가 모두 진동하면 앞으로 이동하게 된다. 그림 1 은 이를 나타낸다.

### 2.3 출력

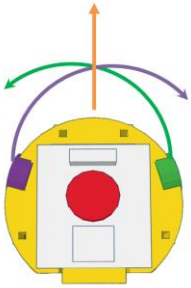


그림 1. 로봇의 구동특성

그림 2. 초소형 저전력 로봇

로봇들이 통신하는 내용은 Packet Sniffer 를 통해 파악할 수 있지만 모든 패킷을 분석하는데 한계가 있기 때문에 전체적인 실험 결과를 표현할 수 있는 출력이 필요하다. 이를 위해 RGB 를 각각 256 단계로 조정할 수 있는 LED 를 사용하였다.

본 연구팀은 그림 2 와 같이 위의 세가지 조건을 만족하는 초소형 (지름 3cm) 저전력 로봇을 제작하였다. 로봇은 ARM-mbed compiler 를 통하여 프로그래밍이 가능하다. 로봇은 프로그래밍된 대로 동작하며 실시간으로 블루투스 이벤트에 반응하며 동작한다. 일정한 상황 및 조건에 따라 통신의 시도를 위해 Advertising 혹은 Scanning 할 수 있다.

## 3. Conclusion

본 플랫폼을 통해 미래 IoT 시나리오를 가정하여 분산적 무선 통신 상황에서 벌어질 수 있는 문제를 구현하여 현실에서 생길 수 있는 문제점을 찾아 해결할 수 있다. 특히 이동성을 활용하여 각 기기들의 거동 특성에 따른 무선 자원 사용을 최적화하는 알고리즘 연구에 도움이 될 수 있다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국방생체모방 자율로봇 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다 (UD130070ID).

## 4. 참고 문헌

[1] Bluetooth SIG, “Bluetooth Core Specification Version 4.0,” Jul, 2010.
[2] Bluetooth SIG, “Bluetooth Core Specification Version 4.2,” Dec, 2014.
[3] I. Bojic, T. Lipic, V. Podobnik, Bio-inspired Clustering and Data Diffusion in Machine Social Networks, Computational Social Networks: Mining and Visualization/editor: A. Abraham, London, Springer Verlag, pp. 51-79, 2012.

# 이동 애드혹 네트워크에서 엿듣기 및 페로몬 확산을 이용한 생체모방 경로 관리 프로토콜[1]

최현호° 노봉수*, 최형석*, 이정륜◇

국립한경대학교 전기전자제어공학과°, 국방과학연구소*, 중앙대학교 전자공학과◇

# Bio-Inspired Route Maintenance Protocol Using Overhearing and Pheromone Diffusion in Mobile Ad Hoc Networks

Hyun-Ho Choi°, Bongsoo Roh*, HyungSeok Choi*, Jung-Ryun Lee◇

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University°,

Agency for Defense Development*, School of Electrical Engineering, Chung-Ang University◇

hhchoi@hknu.ac.kr, {saintroh,chs}@add.re.kr, jrlee@cau.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 이동 애드혹 네트워크에서 생체모방 경로 관리 프로토콜을 제안한다. 제안 방식은 무선 매체의 엿듣기(overhearing) 기능을 사용하여 출발지와 목적지 사이의 최단 경로 주변에 페로몬을 확산시키고, 확산된 페로몬을 기반으로 확률적 경로 탐색을 수행하여 출발지와 목적지 간 유용한 대체 경로를 확보한다. 이와 같은 방식으로 제안 프로토콜은 제어 오버헤드를 줄이면서 최신의 라우팅 정보를 획득할 수 있다. 시뮬레이션 결과 제안하는 생체모방 라우팅 프로토콜은 기존 AODV 및 AntHocNet 프로토콜 보다 우수한 라우팅 성능을 보여주면서 AntHocNet 보다 오버헤드를 크게 감소시킨다.

## 1. 서론

본 논문에서는 생체모방에 기반한 MANET 경로 관리 프로토콜을 제안한다. 제안하는 생체모방 프로토콜은 라우팅 정보를 취득하기 위하여 무선 매체의 엿듣기(overhearing) 기능을 사용한다. 엿듣기를 통해 출발지와 목적지 사이의 최단 경로 주변에만 페로몬(pheromone)을 확산시키고, 이 확산된 페로몬을 기반으로 확률적 경로 탐색을 수행하여 출발지와 목적지 간 유용한 대체 경로를 확보한다. 이는 개미가 최단 경로를 따라 움직일 때 쌓이는 페로몬이 점점 주변으로 확산되어 경로가 끊어져도 확산된 페로몬을 따라 주변 경로를 자연스럽게 이용하는 원리와 유사하다. 이러한 개미의 이동 원리에 착안한 제안 라우팅 프로토콜은 오버헤드를 줄이면서 최신의 유용한 라우팅 정보를 획득할 수 있다.

## 2. 제안하는 생체모방 경로 관리 프로토콜

그림 1 은 제안 라우팅 프로토콜의 전체적인 동작을 보여준다. 각 스냅 샷에서는 다음과 같은 동작을 수행한다.

(a) 엿듣기: 출발지와 목적지의 최단 경로를 왔다 갔다 하는 forward 및 backward exploitation ant 를 주변 노드들이 엿듣는다. 이 경로 주변에서 일정 시간 내에 forward 와 backward exploitation ant 를 모두 엿들은 노드만이 이 출발지-목적지 경로에 대한 1-홉 이웃 노드가 된다.

(b) 페로몬 확산: 1-홉 이웃 노드는 엿들은 ant 패킷을 이용하여 자신의 라우팅 테이블의 페로몬 정보 등을 업데이트 한다. 여기에서 페로몬이라 함은 엿들은 ant 패킷을 송신한 노드를 통하여 출발지 또는 목적지 까지 가는데 필요한 비용의 역수에 해당한다. 또한 추가적인 페로몬 확산을 위하여 1-홉 이웃 노드는 해당 목적지로 향하는 가장 좋은 페로몬 정보를 hello 메시지에 포함하여 주기적으로 방송한다. 본 논문에서는 이렇게 확장된 hello 메시지를 hello+ 메시지라고 정의한다. 이 hello+ 메시지를 수신한 주변 노드들은 해당 목적지에 대한 페로몬을 업데이트한다. 이와 같이 엿듣기와 hello+ 메시지의 수신에 의해 얻게 된 페로몬 정보는 비활성(inactive) 페로몬으로 설정된다.

(c-e) 경로 관리: 출발지 노드는 주기적으로 forward exploitation ant 와 forward exploration ant 패킷을 발생

[1] 본 연구는 국방과학연구소(ADD-IBR-245)의 지원을 받아 수행되었습니다.

시킨다. Forward exploitation ant 는 가장 좋은 활성(active) 페로몬(즉, 라우팅 비용이 가장 작은 다음 노드)을 따라 목적지까지 이동하여 현재 이용 가능한 라우팅 정보 하에서 출발지와 목적지 간에 최단 경로를 유지시켜준다. 반면 forward exploration ant 는 출발지와 목적지 경로 주변에 설정된 비활성 페로몬을 기반으로 확률적으로 목적지까지 이동하여 출발지-목적지간 이용 가능한 대체 경로를 제공한다. 여기에서 exploration ant 가 거쳐 간 경로는 기존 비활성 페로몬에서 활성 페로몬으로 상태가 변경되어 데이터 및 exploitation ant 의 전송에 사용될 수 있다. 그림 1 의 (c)와 (d)에서는 주기적으로 전송되는 exploration ant 에 의해 출발지-목적지 사이의 최단 경로 주변에 대체 경로들이 설정되고 있음을 보여준다. 그림 1 의 (e)와 같이 노드의 이동성에 의해 토폴로지가 변경되면 exploitation ant 는 또 다른 최단 경로를 찾아준다. 이와 같이 토폴로지가 변하는 환경에서 exploitation ant 는 출발지-목적지 사이에서 가장 좋은 경로를 확보하고, exploration ant 는 출발지-목적지 주변에서 대체 가능한 경로를 제공한다.

(f) 데이터 전달: 데이터 및 ACK 패킷은 위의 과정을 통해 확보된 활성 페로몬을 기반으로 확률적으로 다음 홉 노드를 선택하여 목적지까지 전달된다. 확률적 라우팅을 하는 이유는 네트워크 상에 야기되는 데이터 트래픽의 로드 밸런싱을 위함이다.

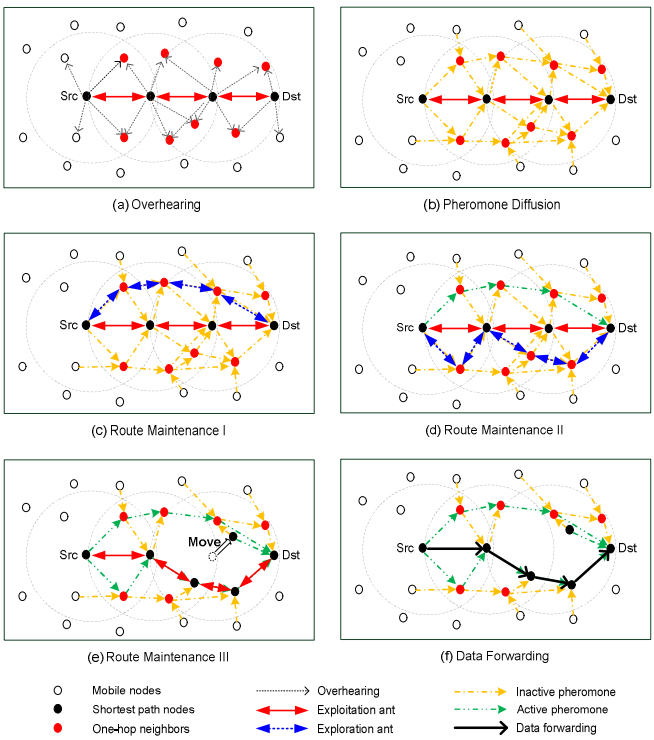



그림 1. 제안 생체모방 경로 관리 프로토콜의 동작

## 3. 결과 및 고찰

성능 평가를 위하여 OPNET 시뮬레이터를 사용하였다. 그림 2 는 이동성(Random Waypoint (RWP) 모델의 최대 속도)의 증가에 따라 전송 중에 손실되지 않고 목적지까지 전달되는 데이터 패킷의 비율을 나타낸다. 그림 3 은 RWP 모델의 최대 속도에 따라 전달된 데이터 패킷의 종단간 평균 지연 성능을 보여준다. 그림 4 는 RWP 모델의 최대 속도에 따라 제어 패킷 오버헤드 량을 보여준다. 시뮬레이션 결과 제안 방식은 패킷 전달률 및 종단간 지연 측면에서 기존 AODV [1] 및 AntHocNet [2] 보다 우수한 성능을 보여주면서 AntHocNet 보다 오버헤드를 크게 감소시킨다.

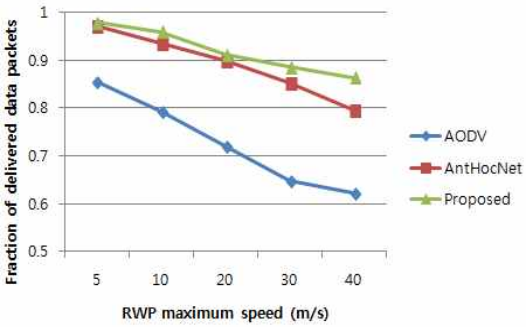



그림 2. RWP 최대 속도에 따른 전달되는 데이터 패킷의 비율

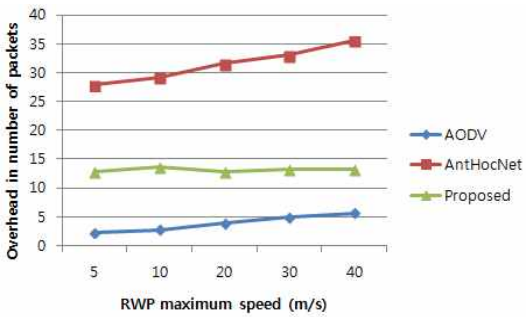



그림 3. RWP 최대 속도에 따른 종단간 평균 패킷 지연

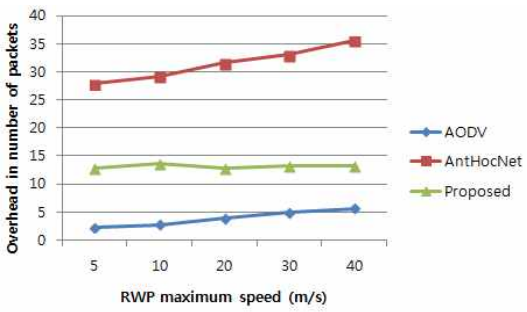



그림 4. RWP 최대 속도에 따른 소요되는 제어 패킷 수

## 4. 참고 문헌

[1] C. E. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," *IETF* RFC 3561, 2003.

[2] G. Di Caro, F. Ducatelle, and L. M. Gambardella, "AntHocNet: an adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc networks," *Eur. Trans. Telecommun. (ETT)*, vol. 16, no. 5, 2005.

# 양방향 릴레이 네트워크에서 동시 무선 정보 전력 전송의 전력 분할 최적화

도푸틴°, 정연진, 윤주흠, 김윤희
경희대학교 전자·전파공학과
yheekim@khu.ac.kr

## 1. 서론

무선 센서 네트워크와 같이 전력이 부족한 통신 환경에서 배터리 수명을 늘리고 전송 영역을 확장하기는 방법으로 릴레이 환경에서 에너지와 정보를 무선으로 동시에 전달하는 방법이 연구되고 있다[1-2]. 특히 릴레이 노드가 다른 통신 노드의 신호를 전달함에 있어 자신의 전력을 사용하지 않고 정보를 전송하고자 하는 원천 노드의 무선 RF 신호 전력을 활용하도록 함으로써 주변 노드의 자발적인 협력을 유도할 수 있는 장점이 있다. 무선 정보 전력 동시 전송은 RF 신호의 전력 분할 또는 시간 분할 수신으로 지원 가능한데[1], 단방향 릴레이 환경에서의 성능 비교 결과 대부분의 경우 전력 분할의 성능이 더 우수함을 알 수 있다.

이에 본 논문은 복호-후-전달 양방향 릴레이 네트워크에서 (DF-TWR) 전력 분할 무선 정보 전력 동시 전송을 적용하고 최적 전력 분할 값을 도출한다. 제안 기법의 성능을 기존의 증폭-후-전달 (AF) TWR의[2] 성능과 비교하여 그 우수성을 보인다.

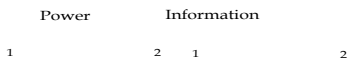



그림 1 무선 정보 전력 동시 전송 양방향 릴레이 프로토콜.

## 2. 시스템 모형

두 통신 노드 과 $S_2$와 릴레이 노드 로 구성된 TWR 시스템을 고려하자. 노드 $S_1$과 $S_2$는 릴레이 도움을 받아 각각 전송률 $R_1$과 $R_2$로 데이터를 두 단계로 교환한다. 이 때 $S_i$와 $Q$의 채널은 가역성을 띄며 평탄 레일리 페이딩 진폭 $_i$을 갖는다.

그림 1과 같이 두 단계의 시간 길이는 $T/2$로 같고, 첫 단계에서 $S$ 과 $S_2$가 심볼 $x_1$과 $x_2$를 동시에 송신하고, 릴레이 $Q$는 전력 분할로 에너지 수확과 정보 복호를 수행한다. 두 번째 단계에서는 릴레이 $Q$가 복호된 $x_1$과 $x_2$의 네트워크 부호화 심볼 $x$ 를 수확한 에너지를 모두 써서 전송한다. 이와 같은 DF-TWR 전송 기법은 [3]에서 자세히 볼 수 있다.[1)]

첫 단계에서 수확한 에너지 $E_H$으로 얻은 릴레이 송신 전력은

$$P_Q = 2E_H/T = \eta\theta(P_1|h_1|^2 + P_2|h_2|^2) \quad (1)$$

이다. 여기서 $P_i$는 $S_i$의 송신 전력, $\theta$는 전력 분할 비, $\eta$는 릴레이 수신단의 에너지 수확 효율이다. 이에 따라 본 시스템이 전송률 쌍 $(R_1, R_2)$를 지원하지 못 할 아웃티지 확률은

$$\begin{aligned} P_{out} &= P\left[\min\{C(\theta\gamma_1), C(\gamma_{2})\} < R_1 \cup \min\{C(\theta\gamma_2), C(\gamma_{Q1})\} < R_2 \right. \\ &\quad \left. \cup\, C(\theta(\gamma_1+\gamma_2)) < R_1 + R_2\right] \\ &= P[\Lambda(\theta) < 1] \end{aligned} \quad (2)$$

이고, 여기서 $C(x) = \frac{1}{2}log_2(1+x)$, $\gamma_i = P_i|h_i|^2/\sigma^2$, $\gamma_{Qi} = P_Q|h_i|^2/\sigma^2$ $= \gamma_i(\gamma_1+\gamma_2)/c_i$, $c_i = P_i/(\eta\sigma^2)$, $i = 1,2$, 그리고

$$\Lambda(\theta) = \min\ \bar{\theta}\Lambda_1, \theta\Lambda_2\} \quad (3)$$

이다. 여기서,

$$\Lambda_1 = \min\ \frac{\gamma_1}{T_1,}\ \frac{\gamma_2}{T_2,}\ \frac{\gamma_1+\gamma_2}{T_\Sigma}\Big\},\ \Lambda_2 = \min\left\{\frac{\gamma_1(\gamma_1+\gamma_2)}{c_1 T_2}, \frac{\gamma_2(\gamma_1+\gamma_2)}{c_2 T_1}\right\} \quad (4)$$

으로, $T_i = 2^{2R} - 1$, $i = 1,2$, $T_\Sigma = 2^{2R_1+2R_2} - 1$이다.

본 논문에서는 채널상태정보 $(\gamma_1,\gamma_2)$를 알고 있을 때 아웃티지 확률을 최소로 하는 최적 전력 분할을

$$\theta^* = \arg\max_{0\le\theta\le 1}\Lambda(\theta) = \Lambda_1/(\Lambda_1+\Lambda_2) \quad (5)$$

와 같이 닫힌 식으로 얻었다.

## 3. 모의실험 결과 및 결론

그림 2는 송신 전력이 $P_1 = P_2 = P$로 동일하고, $\eta = 0.8$, 릴레이가 $S_1$과 $S_2$ 가운데에 위치할 때 기존 방식과 제안 방식의 아웃티지 확률을 보인 것이다. 가로축은 기준 평균 신호대잡음비 $\gamma_T = P/\sigma^2$로 $S_i$와 $Q$ 사이의 평균 신호대잡음비는 $\gamma_i = \overline{\gamma_T}(1/2)^{-3}$이다. 그림에서 DF-OPS와 AF-OPS는 제안하는 DF 기반 TWR과 기존의 AF 기반 TWR에서의 최적 전력할당을 나타내고, DF-EPS와 AF-EPS는 DF와 AF에서 $\theta = 0.5$인 경우이다. 목표 전송률 쌍 $(R_1, R_2)$이 (1,1) bps/Hz일 때와 (1,3) bps/Hz일 때 DF-OPS가 가장 성능이 우수하며, DF-EPS보다 약 2.5 dB의 성능 개선을 볼 수 있다.

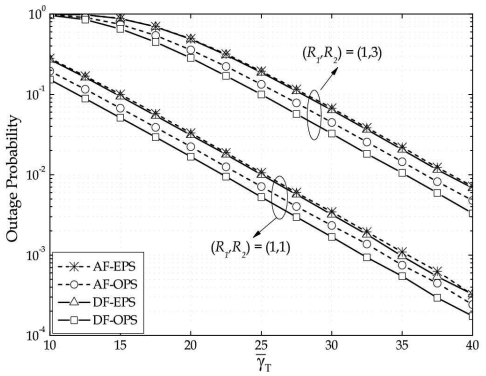



그림 2. 릴레이가 두 통신 노드에서 같은 거리에 있을 때 신호대잡음비 $\overline{\gamma_T}$에 따른 아웃지티 확률

## 4. 참고 문헌

[1] M. C. Ju, K. M. Kang, K. S. Hwang, and C. Jeong, ''Maximum transmission rate of PSR/TSR protocols in wireless energy harvesting DF-based relay networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 12, pp. 2701-2717, Dec. 2015.

[2] 도푸틴, 김윤희, "증폭-후-전달 양방향 릴레이에서 무선 에너지 정보 전송을 위한 최적 전력 할당", *한국통신학회 논문지*, 2016년 2월 (게재 예정).

[3] T. P. Do and Y. H. Kim, ''Outage-optimal power and time allocation for rate-aware two-way relaying aided by digital network coding," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Early access, DOI: 10.1109/TVT.2016.2524039, 2016

※본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원으로 수행됨 (No. NRF-2015R1A2A2A01005390).

# 다중 마이크로그리드 환경에서의 에너지관리시스템을 통한 에너지 최적화 스케줄링

김보람, 최요환, 김홍석°
서강대학교 전자공학과
hongseok@sogang.ac.kr

## 1. 서론

화석연료의 증가로 우리나라는 2013 년 OECD 온실가스의무감축국 6 위로 평가되었다. 이에 정부는 온실가스감축을 위한 대안으로 신재생에너지와 에너지저장장치(ESS: Energy Storage System)의 적극적 활용을 위한 정책을 마련하고 있다. 게다가 2015 년 파리기후협약으로 신재생에너지의 관심도는 전세계로 확산되고 있다. 이와 같이 화학연료를 줄이고 신재생에너지를 늘려 에너지효율을 극대화시키는 마이크로그리드(MG: Micro Grid) 구축은 필수적이다 [1]. 본 논문은 기존 논문들과 다르게 신재생에너지, ESS 와 전력계통 모두 고려한 소규모 독립형 전력망인 다중 MG 의 운영 비용을 최소화하는 연구이다.

## 2. 시스템 모델

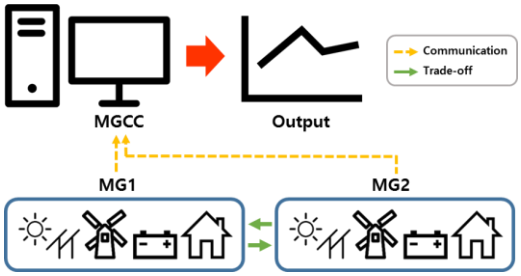



그림 1. 시스템 구성도

그림 1 과 같이 태양광, 풍력, Diesel 로 구성된 분산전원(DG: Distributed Generation)과 ESS 로 구성된 분산자원(DER: Distribut-ed Energy Resource)으로 에너지관리시스템(EMS: Energy Management System) 구성되어 있다. DG 와 DER 은 개별제어(LC: Local Control)를, 전력 손실률은 MGCC 를 통해 분산 에너지관리시스템(EMS: Energy Management System)을 모델링 하였다. 모델링 된 EMS 의 목적은 1) Diesel 과 ESS 비용 최소화 2) MGCC 에서 요금제(TOU: Time Of Use)에 따른 에너지 구매비용 최소화 3) 송배전손실률을 최소화시켜 전체 운영 비용이 최소화하는 것이 목적이다. $C_g(P_g)$와 $C_b(P_b)$는 각각 Diesel 과 ESS 비용함수, $C_0(t,P_0(t))$는 MGCC 에서의 전력 구매 비용함수, $r_{ij}l_{ij}(t)$는 송배전 손실률에 해당한다. ξ와 같은 가중치를 설정하여 비용함수를 아래 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\min \quad \xi_g \sum_{g\in G} C_g(P_g) + \xi_b \sum_{b\in B} C_b(P_b) + \xi_0 \sum_{t\in T} C_0(t,P_0(t)) + \xi_p \sum_{t\in T}\sum_{(i,j)\in E} r_{ij}l_{ij}(t) \qquad (1)$$

## 3. 실험 결과

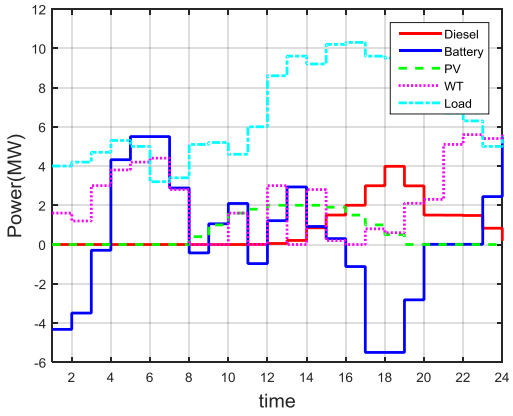



그림 2. 각 구성요소에 따른 최적화 스케줄링

시간간격은 1 시간 간격으로 운영비용 최소화 조건을 만족하는 범위 내에서 다중 MG 를 Main grid 에 연결 혹은 연결하지 않은 시나리오로 실험했다. 그 결과, 그림 2 와 같이 최적화된 Diesel 생산과 ESS 의 충·방전 패턴결과를 도출할 수 있었고, TOU 가 가장 높은 구간(16~19 시)에서 Diesel 은 생산량을 높이고, ESS 는 방전하며 전력망에 되팔아 이득을 취하는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 DG 와 DER 의 운영비용을 최소화하는 다중 MG 를 제안했으며, 예측된 신재생에너지와 부하의 패턴을 활용해 Dies-el 의 생산과 ESS 의 충·방전을 예측·분석 할 수 있었다. 향후 ESS 의 역할로 주목 받고 있는 주파수 응답(FR: Frequency Response)과 전압 조정(VR: Voltage Regulation)을 고려하여 보다 현실성 있는 다중 MG 모델링이 가능할 것으로 판단된다.

## 5. Acknowledge

이 논문은 2015 년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임 (NRF-2014R1A1A1006551)

## 6.참고 문헌

[1] Shi W, Xie X, Chu C, Gadh R. Distributed optimal energy management in microgrids. *IEEE Trans Smart Grid* 2015 ;6(3):1137–46

# 소형 셀 상향링크에서 간섭인지기반 전력제어기술의 에너지효율성 분석

남현우°, 박정홍, 정방철
충남대학교 전자공학과
hyunwoo6677@gmail.com, jhpark81.win@gmail.com, bcjung@cnu.ac.kr

## 1. 서론

최근 지구 온난화에 대한 우려로, 에너지 효율은 이동통신 시스템에서 중요한 이슈가 되었다. 더욱이 사용자는 배터리 기반의 무선단말기를 사용하기 때문에 시스템의 효율적인 에너지 관리에 대한 연구가 필수적이다. 하지만 최근 모바일 데이터 트래픽의 급증으로 주파수 효율성을 중시 하는 연구가 이루어지고 있다. 특히, 소형 셀의 경우 간섭을 고려하지 않을 때 셀의 개수가 증가함에 따라 무선 시스템 용량이 선형적으로 증가하는 특성 때문에 관련 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 셀 기지국의 수가 증가함에 따라 기지국에 속한 사용자간의 간섭이 증가하게 되고 그때 노드들 간의 간섭관리는 이동통신 시스템에서 중요한 문제로 인식되었다. 각 노드들의 간섭 문제를 해결하기 위해 단말기가 다른 셀로 미치는 간섭의 양이 일정 임계값 이하인 단말기만 자원을 할당받는 임계값기반 상향링크 스케쥴링 기법 (threshold-based distributed user scheduling, TDUS)이 제안되었다 [1]. 하지만 TDUS 기법의 경우 서비스 기지국과 단말기간의 채널 상황이 좋음에도 불구하고 다른 셀에 미치는 간섭의 양에 의해 스케쥴링에서 제외되는 문제점이 존재한다. 이런 문제를 해결하기 위해 간섭인지 기반 전력제어 기술(Interference-Aware Power Control, IA-PC)이 제안되었다[2]. IA-PC 는 각 사용자가 측정한 간섭의 양을 미리 정해진 임계값과 비교하여, 자신의 전력을 제어한 후 스케쥴링을 수행하는 기술이다. 본 논문에서는 기존의 스케쥴링 기법 (MinINR, MaxSNR, TDUS)과 IA-PC 기법의 에너지 효율성을 비교 분석한다.

## 2. 시스템 모델 및 전력 효율 분석

본 논문에서는 시분할 간섭 다중접속 채널모델을 고려한다. 전체 셀의 개수와 각 셀당 전체 사용자는 K, N 이라고 각각 나타내고 기지국과 사용자는 단일안테나를 가진다. 이때 $i$번째 기지국에서 수신된 신호 $y_i$는 다음과 같이 주어진다.

$$y_i = \sqrt{P^{[i,j]}} h_i^{[i,j]} x^{[i,j]} + \sum_{k=1,k\neq i}^{K} \sqrt{P^{[k,j]}} h_i^{[k,j]} x^{[k,j]} + z_i \quad (1)$$

여기서 $P^{[i,j]}(\leq P)$와 $x^{[i,j]}$는 $i$번째 셀에 $j$번째 사용자의 송신전력과 심볼을 각각 나타내고, $P$는 사용자의 최대 송신전력이다. 시분할 상호 호환성 특성으로 각 사용자는 모든 기지국으로부터 받은 파일럿 신호를 통해 $i$번째 셀에 $j$번째 사용자와 $k$번째 기지국간의 상향링크 채널 $h_k^{[i,j]}$을 파악 가능하므로, $i$번째 셀에 $j$번째 사용자가 인접 기지국 $k$로 발생시키는 간섭의 양 $\eta_k^{[i,j]}$도 측정 가능하다. 이때 $\eta^{[i,j]}$는 수식 (2)과 같이 가정한다.

IA-PC 는 단말기가 인접셀로 미치는 간섭의 총 합과 미리 설정한 간섭 임계값 $\eta_I$를 비교하여 송

$$\eta_k^{[i,j]} = \|h_k^{[i,j]}\|^2, \qquad \eta^{[i,j]} = \sum_{k=1,k\neq i}^{K} \|\eta_k^{[i,j]}\|^2 \quad (2)$$

신전력을 제어한다. 수식은 (3)과 같이 나타낸다.

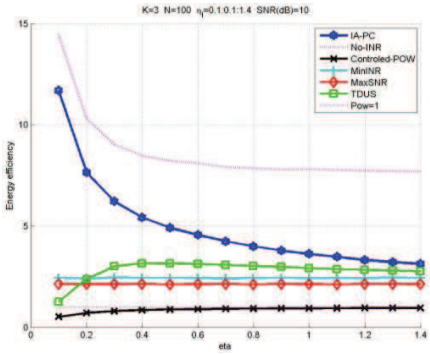
$$P^{[i,j]} = \begin{cases} P & \text{if } \eta^{[i,j]} \leq \eta_I \\ \frac{\eta_I}{\eta^{[i,j]}} \times P & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 채널은 평균이 0 이고 분산이 1 인 복소 가우시안 분포를 따르며, $i, j, k$간의 서로 독립임을 가정한다. $z_k$는 평균이 0 이고 공분산이 $\sigma^2$인 복소 백색 가우시안 잡음으로 가정한다. 이때 본 논문에서 스펙트럴 효율 ($EE$)과 에너지 효율 ($SE$)은 다음과 같이 정의한다.

$$SE = log_2(1 + SINR), \quad EE = \frac{SE}{P} \quad (4)$$

여기서 $SINR$는 신호 대 간섭 잡음비를 나타낸다.

## 3. 시뮬레이션 결과




IA-PC 의 에너지 효율 성능을 분석한 결과, 적절한 임계값에서 기존의 기법에 비해 전력 제어가 적절이 수행되는 동시에, 타 스케쥴링 기법보다 에너지 효율 성능이 월등히 뛰어난 것을 확인할 수 있고 간섭이 없는 이상적인 환경에서의 에너지 효율과의 차이가 적은것을 확인할 수 있다.

## 3. 참고 문헌

[1] H. J. Yang, W. –Y. Shin, B. C. Jung, and A. Paulraj, "A feasibility study on opportunistic interference alignment: Limited feedback and sum-rate enhancement," in Proc. of *Asiloma Conference on Signals, Systems, and Computers*, Nov. 2012.
[2] M. –J. Cho, T. –W. Ban, B. C. Jung, and H. J. Yang, "A distributed scheduling with interference-aware power control for ultra-dense networks," in Proc. of *IEEE ICC*, Jun. 2015.

# 무선 네트워크에서 지연시간과 에너지 소비량을 줄이기 위한 셀 플래싱 기법 연구

정재익°, 김홍석

서강대학교 전자공학과

# On Optimal Cell Flashing for Reducing Delay and Saving Energy in Wireless Networks

Jaeik Jeong°, Hongseok Kim

Department of Electronics Engineering, Sogang University

hongseok@sogang.ac.kr

요 약

To save energy from cellular networks or to increase user-perceived performance, studying base station (BS) switching on-off is actively ongoing. However, many studies focus on either high energy efficiency or improved user-perceived performance, i.e., the tradeoff between energy and performance. In this paper, we propose a simple technique called cell flashing. Cell flashing means that base stations are turned on and off periodically and rapidly satisfying the adjacent base stations are always off so that both energy efficiency and cell edge users performances can be improved. In general, switching off base station to save energy can lead to longer file download time (or delay) to customers. Using flow-level dynamics, we analyze average delay and energy consumption of cellular networks when cell flashing is exploited. Interestingly, we find that both of total energy consumption and average flow-level delay decrease in the case of small cells. Extensive simulations show that cell flashing can significantly save energy of the base station, e.g., by up to 50% and, at the same time, reduce the average delay by up to 75%.

## 1. Introduction

To improve user-perceived performance, specifically focused on energy efficiency and cell edge users, many cell switch-off techniques have been proposed. However, to the best of our knowledge, increasing energy efficiency and cell edge users performances simultaneously by cell switch-off has not been intensively studied in the literature, specifically in a dynamic system. In this paper, we propose a simple technique called cell flashing. Cell flashing means that base stations are turned on and off periodically and rapidly satisfying the adjacent base stations are always off so that both energy efficiency and cell edge users performances can be improved.

To better understand energy saving and the user-perceived performance, we consider stochastic traffic loads where new file transfers, or equivalently flows, are initiated at random and leave the system after being served. This is usually referred to as flow-level dynamics [1]-[3]. Based on flow-level dynamics, we prove that cell flashing can improve both of total energy saving and the average delay in the interference-limited regime, which is typically the case of small cells. This can be achieved because large delay is mainly incurred by cell edge users' poor performances, and thus improved cell edge users performance makes the average delay lower.

Thus cell flashing has three advantages: higher energy efficiency, improved cell edge users performance, and lower average delay in small cells. The benefit is promising because cell densification is essential to achieve higher network-level capacity and lower energy consumption.

## 2. System Model

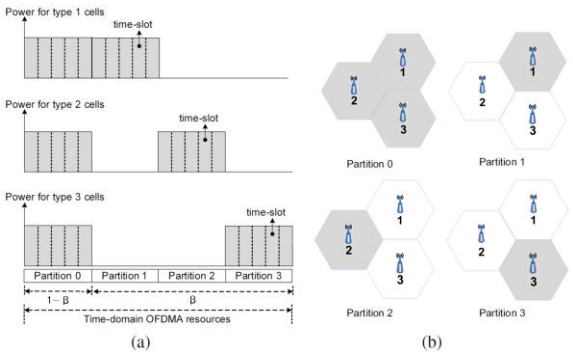



Fig. 1. Example of cell flashing with four partitions. (a) Cell coverage based on SINR, and (b) Power configuration in each parition.

A basic cellular network where each base station (BS) equipped with an omnidirectional antenna is assumed. Fig.

1 depicts the hexagonal cellular networks operated by cell flashing. Fib. 1(a) shows an example when time-domain resources are divided into four partitions, and Fig. 1(b) shows a cluster consisting of three BSs. Let β denotes a fraction of time that cells flash. With a ratio of 1- β, all BSs are on, and with a ratio of β, only one BS is on as shown in Fig. 1(b). So the inter-cell interference can be significantly decreased, and the capacity can be improved seen by cell edge users, which is similar to the case of frequency reuse scheme. We can also increase energy efficiency by switching off BSs which is different from frequency reuse scheme.

We assume that the flashing rate is much faster than the flow arrival process, which is reasonable because, for example, one frame time in LTE-A is an order of msec, which is much shorter than the average file download time that spans seconds to minutes.

## 3. Optimal Flashing Ratio

Our problem is to find an optimal flashing ratio β so as to minimize the system cost function given below. Let the average delay be $\phi(\beta)$ and the average energy consumption be $\psi(\beta)$. We then formulate our problem as optimization as follows.

$$\min f(\beta) = \phi(\beta) + \eta\psi(\beta)$$
$$\text{s.t } 0 \le \beta \le 1$$

Where $\eta \ge 0$ is the parameter that balances the tradeoff between the delay and the energy consumption. We omit the expressions of $\phi(\beta)$ and $\psi(\beta)$ here because of limited space.

## 4. Simulation Results

To evaluate the performance of the proposed scheme, we consider two-tier multi-cell networks composed of 19 hexagonal cells which BS has an omnidirectional antenna.

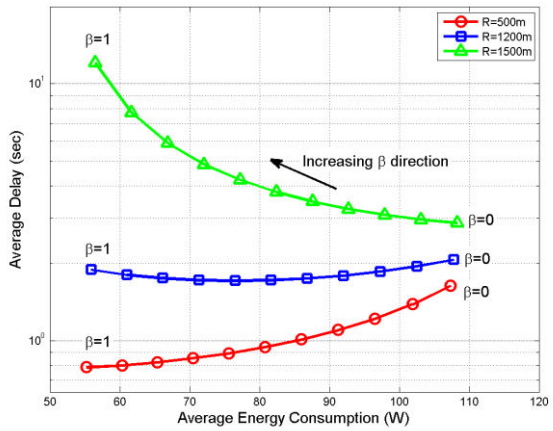



Fig. 2. Relationship between average delay and average energy consumption depending on cell radius.

Fig. 2 shows the relations between the average delay and the average energy consumption when cell radius is 500 m, 1,200 m, 1,500 m, respectively. When cell radius is 500 m, cell flashing monotonically decreases both the average energy and average delay. When cell radius is 1,200 m, the minimum delay exists at the optimal 0< β<1. When cell radius is 1,500 m, there is a tradeoff between minimizing delay and energy consumption, and the operating point is determined by η that balances the tradeoff.

We see that average energy consumption is reduced by up to 50% regardless of cell radius. And we also see that average delay is reduced by up to 75% when cell radius is 500 m. This means the impact of decreased delay of cell edge users is higher than the impact of the increased delay of cell center users. So, we can see that cell flashing is much suitable to small cell networks where lower delay and less energy consumption are achievable.

## 5. Conclusion

In this paper we investigated a technique that turns the BS on and off periodically and rapidly, which is called cell flashing. Because adjacent cells are always off, cell edge users' performances and energy efficiency are increased simultaneously. We formulate an optimization problem with flow-level delay and energy consumption. When cell flashing is exploited in small cells, both overall average delay and energy consumption are significantly improved. This implies that cell flashing used in small cells has three advantage: higher energy efficiency, lower average delay and also improved cell edge users performance. Our extensive simulations show that energy consumption of the BSs can be saved by 50%, and when small cells are considered, the average delay can be reduced by up to 75% by cell flashing.

## 6. Acknowledgement

This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning under Grant NRF- 2014R1A1A1006551.

## 7. References

[1] H. Kim, H. Y. Kim, Y. Cho, and S. H. Lee, "Spectrum breathing and cell load balancing for self organizing wireless networks," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, pp. 1-13, to appear.

[2] H. Kim, G. De Veciana, X. Yang, and M. Venkatachalam, "Distributed α-optimal user association and cell load balancing in wireless networks," *IEEE/ACM Trans. Networking.*, vol. 20, no. 1, pp. 177-190, 2012.

[3] K. Son, H. Kim, Y. Yi, and B. Krishnamachari, "Base station operation and user association mechanisms for energy-delay tradeoffs in green cellular networks," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 29, no. 8, pp. 1525-2536, 2011.

# L1-norm 최소화 방식의 온라인 Robust PCA 알고리즘

이형일°, 이정우
서울대학교 전기정보공학부
Hyungil0113@snu.ac.kr, Junglee@snu.ac.kr

## 1. 서론

Robust PCA(RPCA) 기법이란 주어진 임의의 행렬을 저차원(Low-rank) 행렬과 저밀도(sparse)행렬의 합으로 분해하는 기법을 말한다. 주로 이상점이 많은 환경에서 PCA 의 효과적인 대체가 가능하다.[1,2] 하지만 실시간으로 데이터가 들어오는 환경에서는 기존의 Batch 방식의 RPCA 알고리즘은 데이터가 들어올 때마다, 누적된 데이터를 모두 이용하기 때문에 계산복잡도가 매우 커지게 된다.

위 문제점을 해결하기 위해서 실시간 처리 방식의 온라인 RPCA 알고리즘이 [3,4]에서 연구되었다. 이 논문에서는 누적된 데이터를 모두 RPCA 하지 않고, 새로 들어온 데이터를 기존의 RPCA 의 저차원공간에 사영시킴으로써 계산복잡도를 크게 감소시켰다. 하지만 이러한 방식은 L2-norm 을 최소화 하는 방식이기 때문에 저밀도 부분이 정확하게 추론이 안된다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해서 L1-norm 최소화 방식에 기반한 온라인 Robust PCA 알고리즘을 제안한다. 이 기법은 추가로 들어온 데이터를 저차원공간에 사영시킨다는 점에서는 [4]와 같지만, 사영은 데이터와 저차원공간의 L2-norm 을 최소화 시키는 것이 아닌 L1-norm 을 최소화 시킴으로써, 보다 더 정확하게 저밀도성분을 분리해 낼 수 있다. 이 기법은 RPCA 알고리즘을 실시간으로 정확히 처리해야하는 여러 응용분야에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 본론

Batch 방식의 알고리즘은 계산복잡도가 너무 커서 실시간 처리가 불가능하다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 [4]에서와 같이 새로운 데이터가 들어올 때마다, 모든 데이터를 RPCA 하는 대신 새로운 데이터를 기존 저차원공간에 사영시키는 방법을 생각할 수 있다. [4]에서는 이 사영 알고리즘을 (1)과 같이 L2-norm 최소화 방식을 이용하여 수행하였다.

$$\hat{x} = \arg\min_x \|Ax - b\|_2 \quad (1)$$

$$\hat{x} = (A^H A)^{-1} A^H b \quad (2)$$

실제 저밀도 성분을 보다 정확히 근사하기 위해서는 (3)과 같이 L0-norm 을 minimization 해야 하지만, L0-norm 은 볼록함수가 아니기 때문에 최적화가 불가능하다. 따라서 (4)와 같이 L1-norm 최소화문제로 대체하여 최적화 문제를 풀 수 있다.

$$\hat{x} = \arg\min_x \|Ax - b\|_0 \quad (3)$$

$$\hat{x} = \arg\min_x \|Ax - b\|_1 \quad (4)$$

전체 알고리즘은 아래와 같다.

**알고리즘 : L1-norm 최소화 방식의 온라인 Robust PCA 알고리즘 Algorithm :**

Input: $\{M_1, M_2, \ldots, M_{Tn}\}$(관측 데이터), T(공간 업데이트 주기)

for k=1 to n do

1) Batch RPCA를 이용, 저차원 행렬 계산
$$[M_1 : M_{Tk}] = L_{new} + S_{new}$$
2) SVD를 이용, 저차원 공간 업데이트
$$L_{new} = U_{new} \Sigma V_{new}^H$$
$$U \leftarrow U_{new}$$

for t=1 to T do

1) L1-norm 최소화방식을 이용하여 저차원 부분을 근사
$$\hat{x} = \arg\min_x \|Ux - M_{Tk+t}\|_1$$
$$\begin{pmatrix} \min \sum z \\ Ux - M_{Tk+t} \le z \\ -Ux + M_{Tk+t} \le z \\ 0 \le z \end{pmatrix}$$
$$L_{Tk+t} = U\hat{x}$$
2) 저밀도 부분 계산
$$S_{Tk+t} = M_{Tk+t} - L_{Tk+t}$$

end for
end for

Return $L = [L_1 : L_{Tn}]$(저차원 행렬), $S = [S_1 : S_{Tn}]$(저밀도 행렬)

위와 같이 L1-norm 최소화 방식을 이용하면 기존 방식에 비해 저밀도 성분을 훨씬 높은 정확도로 근사할 수 있지만 단점 또한 존재한다. 기존 L2-norm 최소화 방식의 온라인 알고리즘은 (2)와 같은 닫힌 형식의 해가 존재하기 때문에, 계산복잡도가 데이터 크기에 선형적이지만, L1-norm 최소화 방식의 경우 닫힌 형식의 해가 존재하지 않기 때문에 Iterative 한 방법을 써야 하고, 따라서 계산복잡도가 약간 더 높아지게 된다. 하지만 여전히 기존 Batch 방식의 RPCA 에 비해선 계산복잡도가 크게 줄어든다.

## 3. 참고 문헌

[1] E. J. Candès, X. Li, Y. Ma, and J. Wright, "Robust Principal Component Analysis?," Journal of ACM 58(1), 1-37, 2009

[2] V. Chandrasekaran, S. Sanghavi, P.A. Parrilo and A.S. Willsky, "Rank-Sparsity Incoherence for Matrix Decomposition," SIAM J. Optim., 21(2), 572-596, 2011.

[3] 이혁, 이형일, 조재학, 김민철, 소병현, 이정우 "Robust Principal Component Analysis 기법 소개", 한국통신학회지, 2014

[4] 이형일, 이혁, 이정우, "부공간에의 사영에 기반한 RPCA 기법의 온라인 업데이트 기법" 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집(추계), 2014

# 트리검색 기반의 행렬완성 알고리듬

김상태° 김원준 김진홍 심병효
서울대학교 전기정보공학부
stkim@islab.snu.ac.kr, jhkim@islab.snu.ac.kr, wjkim@islab.snu.ac.kr, bshim@snu.ac.kr

## 1. 서론

최근 행렬완성(matrix completion) 기법은 많은 주목을 받고있다. 행렬완성이란 행렬의 일부 원소가 알려지지 않았을 때에 원행렬의 랭크가 낮다는 정보를 활용하여 알려지지 않은 원소를 알아내는 기법을 일컫는다. 이에대한 여러 알고리듬이 연구 되었으며 본 논문에서는 트리 검색 기반의 행렬완성 알고리듬을 제안하고자 한다. 트리검색 기반의 알고리듬은 기존의 알고리듬에 비하여 반복과정이 더 적게 필요하며 빠른 수렴속도를 보인다. 또한 한번에 다수의 출력 결과를 생성 및 탐색할 경우 반복과정의 수가 현저히 줄어드는 장점이 있다.

## 2. 행렬완성 알고리듬

행렬완성 문제는 일반적으로 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{cases}\min\limits_{X} & rank(\boldsymbol{X}) \\ s.t. & P_{\Omega}(\boldsymbol{X}) = P_{\Omega}(\boldsymbol{M})\end{cases} \quad (1)$$

여기에서 $\boldsymbol{M} \in \mathbb{R}^{n_1 \times n_2}$은 랭크가 r 인 낮은 랭크 원행렬, $\boldsymbol{\Omega}$는 관측 공간, $P_{\Omega}$는 관측 연산자이다. 관측 연산자 $P_{\Omega}$는 다음과 같이 정의한다.

$$P_{\Omega}(\boldsymbol{M})_{ij} = \begin{cases} M_{ij} & if \ \ (i,j) \in \boldsymbol{\Omega} \\ 0 & if \ \ (i,j) \notin \boldsymbol{\Omega} \end{cases}$$

하지만 (1)은 직접적으로 풀기가 어렵고 짧은 시간 안에 풀어낼 수 없다. 또한 랭크 함수는 컨벡스 함수가 아니기 때문에 nuclear norm 이나 Frobenius norm 을 이용한 컨벡스 완화를 통해 문제를 푸는 방법이 고려된다. 하지만 기존의 알고리듬은 추정 행렬의 오류가 상대적으로 크다는 문제점이 있으며 이는 localization 등과 같은 정확한 정보를 요구하는 응용분야에 적용하기 힘들다. 본 논문에서는 다음과 같은 문제를 고려한다.

$$\begin{cases}\min\limits_{X} & \|P_{\Omega}(\boldsymbol{X}) - P_{\Omega}(\boldsymbol{M})\|_F \\ s.t. & rank(\boldsymbol{X}) \le k\end{cases} \quad (2)$$

이 문제를 풀기 위해서는 랭크 k 또는 그 상한이 주어져야 한다. 랭크는 $k \le \min(n_1, n_2)$로 주어지며 정확한 상한을 찾고자 할 때는 랭크를 변화시켜가며 모의실험을 진행하고, 랭크를 감소시키며 모의실험을 한 결과 비용함수가 급증하는 점이 원행렬의 랭크일 것이라 추측할 수 있다.

본 논문에서 제안하고자 하는 알고리듬은 트리 검색에 기반한 알고리듬으로, 매 반복과정마다 L 개의 추정 행렬을 출력하며, 추정행렬이 지수적으로 많아지는 것을 방지하기 위해 $N_{max}$개의 가장 비용함수를 최소화하는 행렬들만 남긴다. 또한 매 반복과정마다 하나의 랭크가 1 인 행렬을 획득하며, 반복과정이 진행될수록 더욱 원행렬에 가까운 추정행렬을 얻을 수 있다.

제안하는 알고리듬은 매 반복과정을 모듈화하여 나타낼 수 있다. 이 모듈에서는 i 번째 반복과정의 추정행렬 $\boldsymbol{X}_i^N$과 해당 시점에 획득한 i-1 개의 랭크 1 행렬 집합 $\boldsymbol{\Phi}_i^N = \{\phi_1, \dots, \phi_{i-1}\}$을 입력으로 받고, i+1 번째 추정행렬 $\boldsymbol{X}_i^1, \dots, \boldsymbol{X}_i^L$과 새로운 랭크 1 행렬 $\psi$을 이전 반복과정의 집합에 추가하여 $\boldsymbol{\Phi}_i^N \cup \{\psi\}$을 출력한다. 각 반복과정에서는 다음과 같은 최소 제곱법 문제를 풀어 출력할 행렬 $\boldsymbol{X}_i^L$과 $\psi$를 구한다.

$$\min_{\alpha} \left\| P_{\Omega}(\boldsymbol{M}) - P_{\Omega}\begin{pmatrix} \alpha_1\phi_1 + \cdots + \alpha_{i-1}\phi_{i-1} \\ + \ \alpha_i\theta_1 + \cdots + \alpha_{i+k-1}\theta_k + \alpha_{i+k}\psi \end{pmatrix} \right\|_F \quad (3)$$

여기에서 다음과 같은 특이치 분해가 사용된다.

$$\boldsymbol{X}_i^N = \boldsymbol{U\Sigma V}^T, \ \boldsymbol{\mathcal{R}}_i^N = \boldsymbol{P_{\Omega}(M)} - \boldsymbol{P_{\Omega}}(\boldsymbol{X}_i^N) = \boldsymbol{RSQ}^T$$

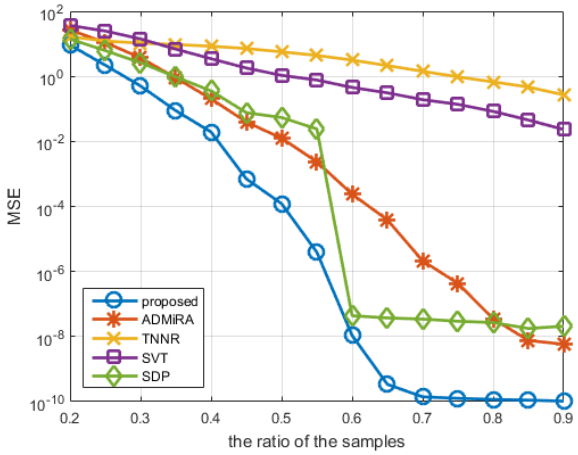
또한 이로부터 다음의 특이 행렬들을 얻는다.

$$\boldsymbol{\Theta}_i^N = \{u_1 v_1^T, \dots, u_k v_k^T\} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k\}$$

$$\boldsymbol{\Psi}_i^N = \{r_1 q_1^T, r_1 q_2^T \dots, r_n q_n^T\} = \{\psi_{11}, \psi_{12}, \dots, \psi_{nn}\}$$

즉, (3)을 모든 $\psi_{ij}$에 대해 계산하여 최소의 값을 갖는 L 개의 결과를 출력한다. 결과적으로 한 반복과정에서 총 $LN_{max}$개의 출력 결과가 생성되며, 이중 가장 작은 비용함수를 갖는 $N_{max}$개만을 선택하여 다음 반복과정으로 진행한다.

## 3. 모의실험 결과




본 모의실험에서는 $50 \times 50$차원의 랭크가 2 인 행렬을 사용하였다. 가로축은 관측치의 수의 비율 $|\Omega|/n_1 n_2$이며, 세로축은 오류 $\|\boldsymbol{M} - \widehat{\boldsymbol{X}}\|_F$이다.

## 4.참고 문헌

[1] K. Lee and Y. Bresler, “Admira: Atomic decomposition for minimum rank approximation,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 56, no. 9, pp. 4402–4416, 2010.

[2] J. F. Cai, E. J. Candes, and Z. Shen, “A singular value thresholding algorithm for matrix completion,” SIAM J. Optimiz., vol. 20, no. 4, pp. 1956–1982, 2010.

## 5.기타

본 연구는 2016 년도 두뇌한국 21 플러스사업과 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업[B0126-15-1017, 주파수 센싱 기반의 스펙트럼 관리 및 미래전파통신 플랫폼 연구] 사업의 일환으로 수행하였음

# S-OMP를 이용한 MMV 문제에서 희소 해(Sparse Solution)

김원준, 김상태, 김진홍, 심병효
서울대학교 전기공학과
wjkim@islab.snu.ac.kr, stkim@islab.snu.ac.kr, jhkim@islab.snu.ac.kr, bshim@ snu.ac.kr

## 1. 서론

최근 압축 센싱 이론은 단일 측정 벡터 (single measurement vector; SMV) 문제에서 다중 측정 벡터 (multiple measurement vector; MMV) 복원 문제로 확장되고 있다. MMV 복원 문제란, 복원하는 대상이 하나의 측정치가 아닌 여러 개의 측정치를 갖는 문제를 일컫는다. MMV 복원 문제의 경우 단일 측정 벡터들을 동시에 처리하는 구조로 볼 수 있기 때문에 SMV의 결과를 일반화 함으로써 MMV와 관련된 이론적인 분석이 가능하다.

## 2. S-OMP 알고리듬 분석

주어진 다중 측정 벡터를 Y, 측정 행렬을 A라고 가정한다면 MMV 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathrm{AX} = \mathrm{Y}$$

MMV 문제에서 측정 행렬은 $\mathrm{Y} \in \mathbb{R}^{m \times L}$, 복원하고자 하는 행렬을 $\mathrm{X} \in \mathbb{R}^{n \times L}$, 행렬의 $i$번째 열을 $\mathrm{X}(i)$라 할 때, 0이 아닌 원소가 포함된 행을 서포트 집합(support set)인 $\mathrm{I(X)}$는 각 열 벡터의 서포트의 합집합(union)으로 정의할 수 있으며, 다음과 같은 수식으로 표현 할 수 있다.

$$\mathrm{I(X)} = \bigcup_{\lambda=1}^{l} I(X(\lambda)) = \{1 \le k \le n \mid x_k(\lambda) \neq 0,\ \lambda = 1,2,\cdots,l\}$$

그러므로 MMV 복원 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{X} = \underset{X}{argmin} |I(X)| \quad s.t. Y = AX$$

MMV 문제에서 각 열의 서포트들이 동일(common)하거나 상관성(correlation)이 있는 경우, 하나의 열에서 서포트를 찾는 SMV 문제보다 더 나은 성능을 얻을 수 있다.

MMV 복원 문제를 풀기 위한 알고리듬으로 greedy 기반의 알고리듬인 S-OMP (simultaneous-OMP)를 살펴보고자 한다. S-OMP는 기존의 SMV 복원 알고리듬인 OMP를 확장한 알고리듬이다. S-OMP는 OMP와 유사하게 매 반복 시행(iteration)마다 측정 벡터와 측정 행렬의 상관성(correlation)을 구하여 이를 가장 최대화하는 열을 서포트로 선택하는 알고리듬이다. S-OMP 알고리듬은 다음과 같이 구성된다. [1]

**Algorithm** S-OMP
**Input:** $\mathrm{Y} \in \mathbb{R}^{m \times L}$, $\mathrm{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $k \in \mathbb{N}$
**Output:** $\bar{X} = \underset{X}{argmin} |I(X)|$
**Initialize:** $r^0 = Y$
  while $i < k$
    $i = i + 1$
    $t^i = argmax_j |< r^{i-1}, \phi_j >|$
    $\hat{T} = \hat{T} \cup \{t^i\}$
    $\bar{X} = argmin_X \|Y - \Phi_T X\|_2$
    $r^i = Y - \Phi_T \bar{X}$
  end

## 2. 모의실험 결과

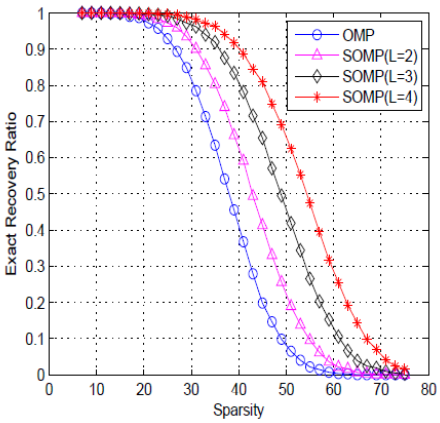



그림 1. MMV 성능 (m = 32, n = 64)

그림 1에서 확인할 수 있듯이 S-OMP의 성능은 SMV의 OMP 알고리듬보다 향상되었음을 알 수 있다. 또한, MMV 문제에서 측정 벡터의 개수가 많아질수록 SOMP 성능이 향상된다는 것을 알 수 있다.

## 4. 참고문헌

[1] Mike E. Davies, Yonina C.Eldar, "Rank Awareness in Joint Sparse Recovery" IEEE Trans. Information Theory., vol.58, no. 2, pp. 1135-1146, Feb. 2012

## 5. 기타

이 논문은 2016년도 두뇌한국21플러스사업과 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2014R1A5A1011478)에 의하여 지원되었음.

# 유의어 사전과 단어 출현 패턴을 이용하는 단어-문서 행렬의 차원 축소

전준우°, 송광호, 김유성

인하대학교 정보통신공학과

# Reducing dimension of term-document matrix using synonym dictionary and term appearance patterns

Joon-Woo Jeon°, KwangHo Song, Yoo-Sung Kim

Department of Information and Communication Engineering, Inha University

yskim@inha.ac.kr

요 약

본 논문에서는 문서 검색의 효율성 증진을 위한 문서 군집화(document clustering) 과정에서 발생하는 단어의 희소성(sparsity)과 '차원의 저주'의 영향을 감소시키기 위한 방안으로 유의어 사전과 문서내 단어들의 출현 패턴을 이용하여 고차원의 단어-문서 행렬(term-document matrix)의 차원을 축소하는 방안을 제안한다. 또한, 실험을 통해 제안된 방법을 이용함으로써 원 데이터 대비 희소성을 개선하고 차원이 축소됨을 확인하였다.

## 1. 서론

최근 문서들의 효율적인 검색, 추천, 표절탐색 등 정보검색 및 자연어 처리와 관련된 서비스에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 연구들은 성능 증진을 위해 여러 가지 방법들을 사용하며 문서 군집화(document clustering)도 성능 증진을 위한 주요한 방법으로 많이 활용되고 있다[2]. 일반적으로 문서군집화에서는 문서내의 단어들의 출현 정보를 벡터화하고 문서들 간의 유사성을 평가하기 위해 단어-문서 행렬을 구성하여 사용한다. 이때, 문서내 출현한 단어의 수가 많고 또한 단어의 희소성(sparsity)이 존재하기 때문에 고차원의 단어-문서 행렬이 구성되어 '차원의 저주'로 인해 문서 군집화를 위한 실행시간 효율성 및 정확도가 크게 저하되는 문제가 발생한다. 본 연구팀에서 개발한 문서 표절탐색 시스템의 실행시간 효율성 및 정확성을 개선하고자 문서 군집화 기법을 적용하려 하였다[3]. 따라서 효과적인 문서 군집화를 위해 단어-문서 행렬의 단어 희소성과 '차원의 저주'를 해소하기 유의어 사전 및 문서 내 단어들의 출현패턴을 이용한 단어-문서 행렬의 차원축소방안을 제안한다.

## 2. 관련 연구

문서 군집화란 문서 내에 존재하는 텍스트 데이터 간의 유사성을 기반으로 문서를 그룹화하는 기법이다. 문서 간 텍스트 데이터의 유사성을 비교할 때, 일반적으로 단어-문서 행렬을 이용하는데 이 행렬은 각 문서를 행(row)로 가지고, 각 키워드 단어들을 열(column)로 가지며, 각 열과 행이 교차하는 셀(cell)에는 해당 열의 단어가 해당 행의 문서에서 나타난 빈도를 값으로 가진다.

문서의 수가 늘어날수록 그에 따라 문서에 출현한 단어의 종류가 다양해지며 따라서 단어-문서 행렬의 차원은 빠르게 늘어나 '차원의 저주' 현상을 일으키게 된다. '차원의 저주'란 각 문서 벡터의 차원이 매우 커서 문서들간의 유사도가 정확하게 계산되지 않는 문제를 의미한다. 또한, 문서마다 다른 키워드 단어들이 사용되기 때문에 한 문서에서 사용된 단어가 다른 문서들에서는 사용되지 않는 경우가 일반적이기 때문에 단어-문서 행렬은 희소 행렬(sparse matrix) 형태를 갖는다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 기존 연구들은 단어-문서 행렬의 셀 값에 가중치를 부여하거나[4], 특이값 분해(singular value decomposition)방법을 사용하거나 주성분 분석(principal component analysis)등의 방법을 사용했다. 그러나 이들 모두 만족할 만한 성능 향상을 보이지는 못했다[5].

## 3. 단어-문서 행렬의 차원 축소

본 논문에서는 유의어사전과 문서 내 단어들의 출현패턴을 이용하여 단어-문서 행렬 내 차원을 축소하는 방법을 제안한다. 제안된 차원 축소 알고리즘은 [그림 1]과 같이 구성된다.

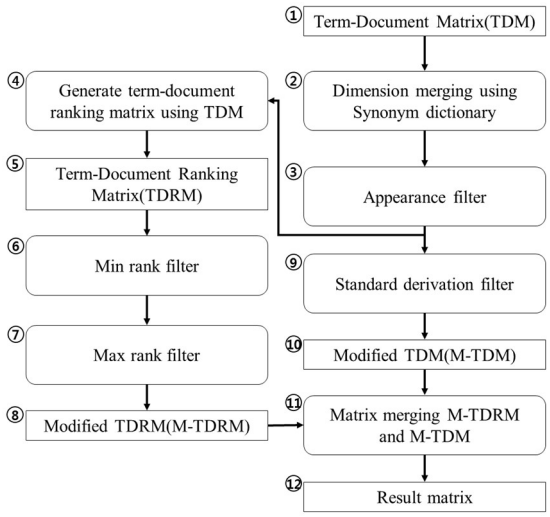



**그림 1. 단어-문서 행렬의 차원축소 과정**

먼저 문서의 텍스트 데이터 중 명사를 추출하여 단어-문서 행렬(①)을 만든다. 이 행렬의 열, 즉 차원을 이루는 단어들 중 서로 비슷한 의미를 지닌 단어들을 유의어사전[3]을 이용하여 대표어로 치환시킨다(②). 예를 들어 '경치', '풍경', '풍광'등의 단어는 추출 시 서로 다른 단어로 추출되어 3 개 차원으로 분리되지만, 서로 의미하는 바가 같기 때문에 '경치'라는 대표어로 병합되어 1 개의 차원으로 축소되며 이때 각각의 셀 값은 각 행에 따라 합산된다. 이렇게 축소된 행렬의 셀에서 각 문서의 길이로 정규화된 빈도 값이 기준 이상인 셀만을 남긴다(③). 이는 임의의 문서에서 기준 이하(예를 들면, 단 1 회)로 출현한 단어는 대부분 그 문서에 대한 대표성을 지니지 않기 때문이다. 단계 ③의 결과로 정리된 행렬(④)을 이용해 단어-문서 랭킹 행렬을 만든다(⑤). 이 행렬은 ③의 행렬의 셀의 값인 문서 내 단어 출현빈도를 기준으로 셀의 값을 문서 별로 순위화한 후 이를 정규화한 행렬이다. 단어-문서 랭킹 행렬에서 단어의 모든 순위가 기준보다 낮은 단어를 제거하는 방법으로 행렬의 차원을 축소한다(⑥). 이는 문서 집합 전체에 걸쳐 모두 적게 출현한 단어는 집합 내 일부 군집에 대한 대표성을 지니기 어렵기 때문에 군집화에 중요한 차원으로 볼 수 없기 때문이다. 또한 단어-문서 랭킹 행렬에서 단어의 모든 순위가 기준보다 높은 단어 역시 집합 내 일부 군집에 대한 대표성을 지니기 어렵기 때문에 군집화에 중요한 차원으로 볼 수 없으므로 이를 제거하여 차원을 축소한다(⑦.) 이러한 단계 ⑥과 ⑦의 결과로 만들어지는 행렬을 수정 단어-문서 랭킹 행렬(⑧)이라 한다. 앞서 ③의 결과 행렬에서 각 단어들의 문서 별 분포를 이용하기 위해 문서 별로 단어의 표준편차(standard derivation)를 구하고 그 표준편차의 분포범위가 모든 문서에서 기준범위 내에 속하는 단어들의 차원을 제거한다(⑨). 이는 문서 집합 전체에 걸쳐 모두 비슷한 분포로 출현하는 단어는 집합 내 일부 군집에 대한 대표성을 지니기 어렵기 때문에 군집화에 중요한 차원으로 볼 수 없기 때문이다. 이 결과로서 만들어지는 행렬을 수정 단어-문서 행렬(⑩)이라 한다. 최종적으로 축소된 ⑧과 ⑩의 행렬의 열을 동기화하여(⑪) 최종 축소행렬(⑫)을 만들고 이를 바탕으로 문서 군집화를 수행한다. 행렬 ⑫의 각 행은 행렬 ①의 각 행이 나타내는 문서와 동일하며 각 열은 각 문서에서 출현했으면서 문서군집화 과정에 중요한 역할을 할 것으로 판단되어 남겨진 주요단어들로 구성된다.

## 4. 차원 축소의 효과 분석

제안된 방법의 성능평가를 위해 먼저 [그림 2]와 같이 단어-문서 행렬(①)과 최종 축소행렬(⑫)간의 차원 수와 축소율을 비교하였다. 제안된 알고리즘을 적용한 행렬 ⑫는 행렬 ① 대비 최대 80.8%의 차원 축소율 및 84.2%의 희소 차원 감소율을 얻을 수 있음을 확인하였다.

| 문서 수 | 단어-문서 행렬 | | 최종 축소 행렬 | | 차원 축소율(%) | 희소값 감소율(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 전체 차원 수 | 희소 차원 수 | 전체 차원 수 | 희소 차원 수 | | |
| 10 | 21,010 | 16,530 | 8,740 | 5,949 | 58.5 | 64.1 |
| 30 | 315,180 | 282,918 | 60,780 | 44,643 | 80.8 | 84.2 |
| 60 | 770,160 | 720,682 | 148,800 | 130,589 | 80.7 | 81.8 |

**그림 2. 문서 개수에 따른 행렬의 차원 축소율**

## 5. 결론

본 논문에서는 문서 군집화를 진행함에 있어 발생하는 단어-문서 행렬의 차원 축소 방안을 제안하였다. 차원 축소를 위해 유의어사전과 단어 출현 패턴을 이용하여 최대 80%의 차원을 축소할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

## 6. 참고 문헌

[1] 장재영, "기계학습을 이용한 단문 오피니언 문서의 효율적 검색 기법" 한국인터넷방송통신학회 논문지, 제 12 권, 제 4 호, pp. 117-126, 2013 년 8 월.

[2] 이상건, 이혜민, 김기령, 서덕호, 이현아, "단어 분별도에 기반한 뉴스 검색 문서 요약", 제 26 회 한글 및 한국어 정보처리 학술대회 논문집, pp. 175-178, 2014 년 10 월.

[3] Kwangho Song, Joonwoo Jeon, and Yoo-Sung Kim, "Design of a feasible document clustering strategy for plagiarism detection of national research report management portal system in Korea", APCAR, Feb. 2016.

[4] R. Baeza-Yates and B. Ribeiro-Neto, "Modern Information Retrieval: The Concepts and Technology behind Search (2nd Edition)", ACM, 2011.

[5] 김도현. "협업적 필터링을 위한 주성분 분석과 특이값 분해 방법의 비교연구", 한국과학기술원, 2002.

## 7. Acknowledgement

본 연구는 문화체육관광부와 한국저작권위원회의 2015 년도 저작권기술개발사업으로 수행된 연구 결과임

# 순환 신경망의 FPGA 기반 가속기 구현

최성욱°, 박진환, 성원용

서울대학교 전기정보공학부

# FPGA based Acceleration of Recurrent Neural Networks

Sungwook Choi°, Jinhwan Park, Wonyoung Sung

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

swchoi@dsp.snu.ac.kr, jhpark@dsp.snu.ac.kr, wysung@snu.ac.kr

## 요 약

신경망 알고리즘은 음성 또는 영상인식 등에서 매우 좋은 성능을 보이지만 많은 연산이 필요하다. 본 논문에서는 순환형 신경망(recurrent neural network)을 위한 FPGA 하드웨어 가속기를 구현하였다. 모든 가중치(weight)의 값을 작은 비트로 양자화하여 온칩 메모리에 저장하였으며, 행렬-벡터 연산을 많은 수의 연산유닛을 이용하여 가속시켰다. Xilinx FPGA 를 이용한 구현결과를 보인다.

## 1. 서론

최근 몇년간 심층 신경망(deep neural network)과 합성곱 신경망(convolutional neural network)을 위한 하드웨어 가속기에 관한 많은 연구가 있었다 [1]. 하지만 보다 복잡한 구조를 가지고 있는 순환 신경망을 위한 하드웨어 가속기는 아직 제대로 연구되지 않고 있다. 순환 신경망 알고리즘은 출력이 입력으로 회귀하는 특성 덕분에 과거의 정보까지 학습하는 능력을 가지고 있다. 그래서 음성 인식과 같은 어플리케이션에서 매우 높은 성능을 보이고 있다. 본 논문에서는 순환 신경망 중에서도 성능이 좋다고 알려진 Long Short-Term Memory (LSTM) [2] 순환 신경망을 위한 FPGA 기반 가속기를 구현하였다. DRAM 등의 외부 메모리는 접근하기 위한 시간 및 에너지 비용이 내장 메모리에 비해 매우 크다. 따라서 효율적인 저전력 가속기 구현을 위해 병렬화 뿐만 아니라 모든 가중치 값을 내장 메모리에 저장하도록 설계하였다. 이를 위해 효율적인 재훈련 방식의 양자화 기법이 적용되었다 [3]. 본 논문은 이미 훈련된 웨이트를 이용하여 실시간 인식을 처리하는 하드웨어 가속기를 구현한다.

## 2. 순환 신경망 하드웨어 가속기 구조

LSTM 순환 신경망 알고리즘은 아래 식과 같이 표현된다.

$$i_t = \sigma(W_i x_t + U_i h_{t-1} + \widetilde{W}_i c_{t-1} + b_i) \quad \text{(수식 1)}$$

$$f_t = \sigma(W_f x_t + U_f h_{t-1} + \widetilde{W}_f c_{t-1} + b_f) \quad \text{(수식 2)}$$

$$o_t = \sigma(W_o x_t + U_o h_{t-1} + \widetilde{W}_o c_t + b_o) \quad \text{(수식 3)}$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c) \quad \text{(수식 4)}$$

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tilde{c}_t \quad \text{(수식 5)}$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t) \quad \text{(수식 6)}$$

t 는 시간을 나타내는 인덱스로, $x_t$ 는 현재의 입력 벡터, $h_t$ 는 시간 t 일 때의 출력값을 뜻한다. $c_t$ 는 시간 t 일때의 LSTM 내부 메모리에 저장된 값을 나타낸다. $W_i$, $U_i$ 는 가중치 행렬들이고 $b_i$, $b_f$, $b_o$, $b_c$ 는 바이어스 값을 나타낸다. $\hat{W}_i$ 는 LSTM 내부의 엿보기 구멍(peephole) 연결을 나타내는 가중치로 대각 행렬이다. 마지막으로 ⊙ 연산자는 벡터의 원소별 곱셈을 뜻한다.

위의 식에서 가장 많이 사용되고 있는 연산은 입력의 벡터와 가중치 행렬(매트릭스)을 곱하는 연산이다. 본 논문의 가속기는 행렬-벡터 곱과 벡터간의 곱을 병렬처리하여 처리 속도를 높인다.

가속기 내에 크게 두개의 연산 모듈이 존재하는데 하나는 Processing Element (PE) Array 이고 다른 하나는 Extra Processing Unit (EPU)이다. PE Array 가 입력 신호에 가중치를 곱하여 누적시키는 행렬-벡터 곱 연산을 행하며, EPU 가 계산된 결과를 이용해 활성 함수(active function)를 적용하고 나머지 남은 연산을 수행하는 구조로 이루어져있다.

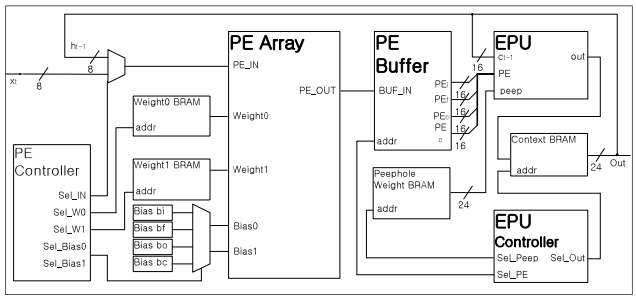
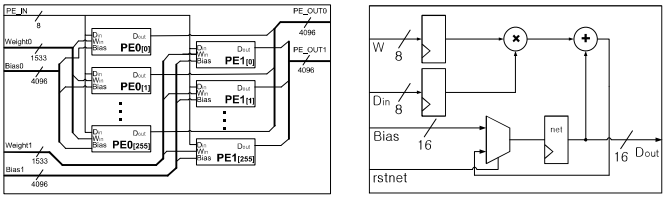



그림 1 전체적인 가속기 구조

PE Array 내부에는 PE 를 2 개의 1D 배열로 맵핑하여 사용하였다. 수식 1 부터 6 까지의 연산을 처리하기 위해서는 총 6 번의 행렬-벡터 곱셈이 필요한

데, PE 내 1D 배열의 개수가 늘면 하드웨어 자원은 많이 들지만 처리속도를 빠르게 할 수 있다. 본 논문에서는 FPGA 의 스펙을 고려하여 2 개의 1D 배열을 사용하였다.




(a) (b)

그림 2 (a)PE Array 내부 맵핑과 (b)PE 의 구조

PE Array 에서 계산된 결과는 PE Buffer 에 저장되는데 EPU 에서는 PE Buffer 의 값을 이용해 최종 출력값을 계산한다. EPU 의 시그모이드 함수와 쌍곡탄젠트(hyperbolic tangent) 함수는 정확도에 큰 손실이 없도록 8bit 입력을 받는 룩업 테이블로 구현하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

동작 확인 및 성능 측정을 위하여 Xilinx 사의 ZC706 평가 보드를 이용하여 실험을 진행하였다. 출력층을 계산하기 위한 심층 신경망 구조의 가속기를 추가하고 동시에 작동되도록 시스템을 구성하였다 [4]. 실험을 위해서 2 층으로 구성된 LSTM 순환 신경망으로 문자 단위 언어 모델(language model)을 학습시켜 결과를 확인하였다. 가중치를 4-bit, 5-bit, 6-bit 로 바꿔가며 양자화 하고 재학습시키는 알고리즘을 적용하여 에러를 줄였다. 이 때 BPC(bit per char)를 이용해 모델의 에러를 측정하여 표 1 에 정리하였다. BPC 수치가 낮을 수록 문자 단위 언어 모델의 확률값이 정확해진다.

표 1 양자화에 따른 BPC 변화

| 비트수 | 32(floating) | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| BPC | 1.28183 | 1.55816 | 1.39136 | 1.31564 |

표 1 에 보이는 바와 같이 가중치의 비트수를 6 으로 두면 부동소수점일 때와 비교해도 크게 성능 변화가 없으면서 메모리 공간을 32 비트 부동소수점 대비 5 배 넘게 줄일수 있다.

신경망의 크기에 따라 가중치의 개수가 크게 달라지고 시스템을 구성하는데 사용되는 리소스의 양이 달라진다. 또 PE 를 많이 할당해 병렬도를 높이면 하드웨어 리소스는 많이 소모되지만 처리율(throughput)을 향상시킬 수 있다. 본 실험에서는 PE Array 내부의 1D 배열하나가 실제 뉴런의 개수와 같도록 PE 개수를 할당하여 실험하였다. 즉, 하나의 입력 벡터를 입력 벡터의 길이($SIZE_{INPUT}$)만큼의 클럭동안 가속기에 입력하면 해당 입력 배열을 이용해 2 개의 행렬-벡터곱이 연산된다. LSTM 순환 신경망은 자신의 값 또한 입력 벡터로 사용되므로 뉴런의 개수를 $N_{NEURON}$ 이라 하면 LSTM 은닉층 하나의 계산을 완료하기 위해서는 $(SIZE_{INPUT} + N_{NEURON}) \times 2$ 클럭이 소모된다. 본 실험에서 사용된 언어 모델의 경우 입력과 출력층만 30 개이고 나머지 LSTM 은닉층은 모두 같은 개수의 뉴런을 사용하였다. 즉, 뉴런의 개수를 256 개라고 가정하면 출력값을 계산하는데 필요한 클럭 개수는 1596 싸이클이 된다. 따라서, 100MHz 클럭을 사용하였을 때 매 초당 약 62,656 회 실행할 수 있다.

표 2 에서 신경망 크기에 따른 가중치의 개수와 PE 개수를 뉴런 개수에 맞춰 할당 했을 때 리소스 소모량을 정리한 것이다. 사용되는 리소스 및 파워 소모량은 Xilinx Vivado 툴을 이용하여 예측하였다.

표 2 순환 신경망 크기에 따른 ZC706 평가 보드의 하드웨어 자원 소모량

| 신경망 크기 | 가중치 개수 | 하드웨어 리소스 소모량 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | FF | LUT | BRAM | DSP |
| 128 | 53,504 | 14,273 | 20,550 | 49 | 293 |
| 256 | 205,312 | 27,885 | 33,728 | 176 | 549 |
| 384 | 466,944 | 41,257 | 62,282 | 326 | 807 |

표 3 100MHz 클럭을 사용할 때 LSTM 은닉층의 크기가 256 인 2 층 언어 모델 시스템의 전력 소모량

| 용도 | Clocks | Signals | Logic | BRAM |
|---|---|---|---|---|
| 사용량(W) | 0.375 | 1.166 | 0.677 | 0.836 |
| 용도 | DSP | PS | 기타 | 총합 |
| 사용량(W) | 0.574 | 1.636 | 0.306 | 5.57 |

## 4. 결론

본 논문에서는 순환 신경망을 위한 하드웨어 가속기 시스템을 제안하였다. 효율적인 가속기 구현을 위해 모든 가중치 값을 6 비트로 양자화 하여 내장 메모리에 저장하여 외부 메모리 접근을 줄였다. 100MHz 클럭을 사용하고 한층의 길이가 256 인 두 개의 층으로 이루어진 LSTM RNN 의 경우 본 하드웨어를 이용하면 매초당 약 62,656 번의 인식을 수행할 수 있다.

## 5. 참고 문헌

[1] J. Du, “ShiDianNao: Shifting vision processing closer to the sensor,” *the 42nd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*, pp. 92-104, Oct. 2014. Jun. 2015.

[2] FA. Gers, NN. Schraudolph, J. Schmidhuber, “Learning precise timing with lstm recurrent networks,” *The Journal of Machine Learning Research*, vol. 3, pp. 115-143, Mar. 2003.

[3] K. Hwang, W. Sung, “Fixed-point feedforward deep neural network design using weights+ 1, 0, and− 1,” *2014 IEEE Workshop on Signal Processing Systems (SiPS)*, pp. 1-6, Oct. 2014.

[4] J. Park, W. Sung, “FPGA based implementation of deep neural networks using on-chip memory only,” arXiv preprint arXiv:1602.01616, 2016.

# 언더레이 무선인지 네트워크에서 1 차 시스템 센싱 기반 버퍼도움 중계기 선택 기법

이충진°, 김준수°, 김수민°

°한국산업기술대학교 전자공학부

# A Buffer-Aided Relay Selection Scheme Based on Primary Sensing in Underlay Cognitive Radio Networks

Chung-Jin Lee°, Junsu Kim°, Su Min Kim°

°Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University

suminkim@kpu.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 언더레이 무선인지 통신 환경에서 1 차 시스템 센싱 기능을 기반으로 하는 버퍼도움 중계기 선택 기법이 제안된다. 제안 기법은 기존 최대-최소 중계기 선택 기법 및 최대-비율 중계기 선택 기법과 비교하여 전송오류율로서 평가된다. 시뮬레이션 결과는 제안 기법이 낮은 1 차 시스템 활성도와 짧은 센싱구간에 대해서 기존 기법들을 상당히 개선함을 보여준다.

## 1. 서론

무선인지 (Cognitive Radio; 이하 CR) 통신은 사용률이 저조한 주파수 자원을 공유하여 사용하도록 함으로써 자원 효율성을 높이는 미래 기술이고 [1], 오버레이 (Overlay), 짜깁기 (Interweave), 언더레이 (Underlay)의 3 가지 주요 형태를 가진다 [2]. 한편, 협력 중계 (Cooperative Relaying) 통신은 자원 효율성과 공간 다이버시티를 동시에 향상시킬 수 있는 유망한 기술로서 [3], 최근에는 중계기에 버퍼 (Buffer)를 장착하여 추가적인 성능향상을 돕는 버퍼도움 중계 (Buffer-aided Relaying) 기술이 많이 연구되고 있다 [4].

본 논문에서는 짜깁기 CR 시스템에서 주로 사용되는 1 차 시스템 센싱 기능을 2 차 시스템에 다수 중계기를 보유한 언더레이 CR 시스템에 적용하여 새로운 버퍼도움 중계기 선택기법을 제안한다.

## 2. 시스템 모델

그림 1 은 본 논문에서 고려하는 시스템 모델이다. 1 차 시스템은 수신기에서 간섭온도 (Interference Temperature) 이하의 수신간섭 요구도를 갖고, 2 차 시스템은 소스노드($S$)와 목적노드($D$) 사이에 다수의 버퍼를 장착한 중계기를 보유하고, 직접 통신은 하지 않는다. 2 차 시스템은 1 차 시스템이 활성(active)일 때만, 1 차 시스템으로부터 간섭을 받고, 1 차 시스템 수신기의 간섭온도($Q$)를 만족시켜야 한다.

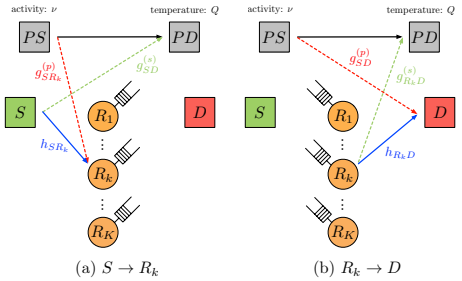



그림 1. 시스템 모델

최대전력 $P_{max}$에 대해서 2 차 시스템 소스노드($S$), 중계기($R_k$)에서의 송신전력은 다음으로 결정된다.

$$P_S = \min\left\{\frac{Q}{|g_{SD}^{(s)}|^2}, P_{max}\right\} \text{ and } P_{R_k} = \min\left\{\frac{Q}{|g_{R_kD}^{(s)}|^2}, P_{max}\right\}.$$

일반화 손실없이, 최대전력과 잡음을 모두 1 로 가정하면, 중계기($R_k$)와 목적노드($D$)에서의 수신신호 대간섭잡음비 (SINR)는 다음과 같다.

$$\gamma_{SR_k} = \frac{|h_{SR_k}|^2 P_S}{\mathbb{I}\{V=1\}|g_{SD}^{(p)}|^2+1} \text{ and } \gamma_{R_kD} = \frac{|h_{R_kD}|^2 P_{R_k}}{\mathbb{I}\{V=1\}|g_{SR_k}^{(p)}|^2+1}.$$

여기서 $V$ 는 1 차 시스템 활성도($\nu$)를 나타내는 확률변수이고, $V=1$ 일 때, 활성이고, $V=0$ 일 때, 비활성이다. $\mathbb{I}\{\cdot\}$는 지시함수로 참이면 1, 거짓이면 0 을 반환한다.

## 3. 제안 기법

제안 기법은 기존 기법과 다르게 데이터 전송 전에 1 차 시스템을 센싱을 하여 활성여부($V$)를 파악한다.

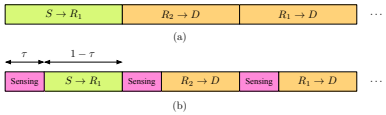



그림 2. 프레임 구조: (a) 기존 (b) 제안

그림 2 는 기존 기법과 제안 기법의 프레임 구조를 보여준다. 제안 기법은 데이터 전송구간 전에 센싱 구간($\tau$)을 추가로 보유하여, 채널 센싱을 수행한다. 전송오류율 (Outage Probability)은 다음으로 정의된다.

$$P_{\text{out}} = \Pr\left\{\frac{1}{2}\log_2(1+\gamma_{\alpha\beta}) < r_0\right\},$$

여기서 $\gamma_{\alpha\beta}$는 링크 $\{\alpha \to \beta\}$의 SINR, $r_0$는 요구전송률이고, 1/2 인자는 단대단으로 2 번의 전송이 요구되기 때문이다. 제안 기법은 센싱구간으로 인해, 요구전송률이 $r_0' = r_0/(1-\tau)$로 실효적으로 증가된다. 제안 기법은 정수형 링크 선택 변수 $l$을 도입하여, 다음과 같이 버퍼 상태를 고려하여 SINR 기반으로 최적 링크 및 중계기 페어를 선택한다.

$$(l^*, k^*) = \underset{l\in\{0,1\},k\in\{1,\cdots,K\},\psi(B_k)\neq L \text{ for } l=1,\psi(B_k)\neq 0 \text{ for } l=0}{\text{argmax}} \left\{l\gamma_{SR_k} + (1-l)\gamma_{R_kD}\right\}$$

여기서 $K$ 는 중계기 수, $B_k$ 는 중계기 $k$ 의 버퍼, $\psi(B_k)$는 버퍼길이, $L$은 최대 버퍼사이즈를 나타낸다. 그리고 제안 기법의 경우, $V=0$ 일 때는, 최대 송신전력 $P_{max}$으로 전송하고, $V=1$ 일 때만, 2 장에서 제시한 송신전력으로 전송한다.

## 4. 시뮬레이션 결과

제안 기법은 시뮬레이션을 통해 기존 버퍼 없는 최대-최소 (max-min) 중계기 선택기법 [5] 및 버퍼 있는 언더레이 CR 네트워크를 위한 신호대간섭비 (SIR) 기반 최대-비율 (max-ratio) 중계기 선택기법 [6]과 전송오류율로서 비교 평가된다. 기본 시뮬레이션 설정은 평균 간섭 채널 이득 3 dB, 평균 2 차 시스템 채널 이득 20 dB, 간섭온도 $Q=0$ dB, 중계기 수 $K=3$, 요구전송률 $r_0=1$ BPCU (Bits Per Channel User)으로 한다.

그림 3 은 1 차 시스템 활성도(ν)에 따른 전송오류율을 보여준다. 센싱구간은 $\tau=0.1$로 설정되었다. 따라서 제안 기법에 대한 실효 요구전송률은 약 $r_0' = 1/0.9 \approx 1.1$이 된다. 최대-비율 중계기 선택 기법과 제안 기법은 $L=1$과 $L\to\infty$의 버퍼사이즈에 대해 나타냈다. 기본적으로 1 차 시스템 활성도가 증가함에 따라 간섭량 증가로 인하여 전송오류율은 증가한다. 최대-비율 중계기 선택 기법은 잡음을 무시하는 SIR 을 기반으로 하여 SINR 과의 미스매치로 인하여 $L\to\infty$ 에서도 성능향상이 크지 않다. 하지만 제안 기법은 기존 기법 대비 활성도가 낮을 때와 버퍼사이즈가 클 때, 획기적으로 성능을 개선한다.

그림 4 는 센싱구간($\tau$)에 따른 전송오류율을 나타낸다. 1 차 시스템 활성도는 $\nu=0.1$로 설정되었다. 제안 기법은 짧은 센싱구간 $\tau<0.3$과 버퍼사이즈가 클 때, 역시 획기적인 성능향상을 보여준다.

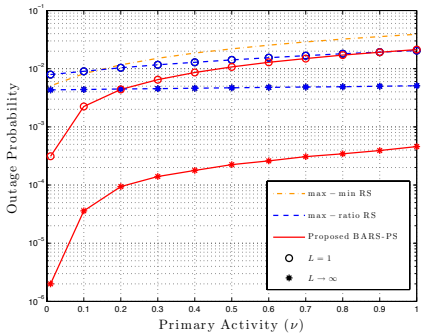



그림 3. 전송오류율 vs. 1 차 시스템 활성도

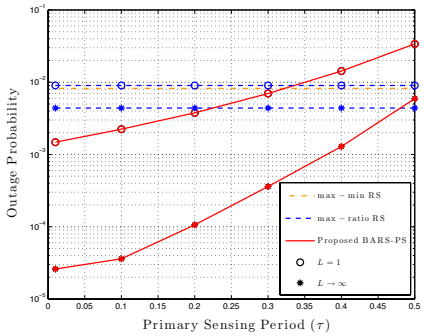



그림 4. 전송오류율 vs. 센싱구간

## 5. 결론

본 논문에서는 언더레이 무선인지 네트워크를 위한 1 차 시스템 센싱 기반 버퍼도움 중계기 선택 기법이 제안되었다. 제안 기법은 무선인지 통신의 일반적인 환경인 낮은 1 차 시스템 활성도와 짧은 센싱 구간에 대해서 전송오류를 획기적으로 개선하였다.

## 6. 참고 문헌

[1] S. Haykin, “Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 23, no. 2, pp. 201–220, Feb. 2005.

[2] S. Srinivasa, and S. A. Jafar, “The throughput potential of cognitive radio: A theoretical perspective,” IEEE Commun. Mag., vol. 45, no. 5, pp. 73–79, May 2007.

[3] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, “Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062–3080, Dec. 2004.

[4] N. Zlatanov, A. Ikhlef, T. Islam, and R. Schober, “Buffer-aided cooperative communications: Opportunities and challenges,” IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 4, pp. 146–153, Apr. 2014.

[5] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, “A simple cooperative diversity method based on network path selection,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 24, no. 3, pp. 659–672, Mar. 2006.

[6] G. Chen, Z. Tian, Y. Gong, and J. Chambers, “Decode-and-forward buffer-aided relay selection in cognitive radio networks,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 63, no. 9, pp. 4723–4728, Sep. 2014.

# 협력적 인지 무선 네트워크의 피드백 오버헤드 분석

배성환, 김홍석°
서강대학교 전자공학과
hongseok@sogang.ac.kr

## 1. 서론

모바일 트래픽이 급증함에 따라 이동통신용 주파수 확보를 위한 다각적인 노력이 필요한 실정이다. 이를 해결하기 위한 인지 무선 기술 및 주파수 공존 기술에 대한 연구가 필요하다. LTE 및 WiFi 통신 기술에 인지 무선 기술을 접목시킨 사례는 기존의 면허 대역의 주파수를 넓게 확장할 수 있는 기회를 제공한다 [1]. 전 세계적으로 정부기관, 기업 및 학계에서는 이동 통신 트래픽의 급격한 증가에 대처하기 위해 부족한 주파수 자원의 효율적 운영 방안을 검토하고 있는 상황에서 인지 무선 기술과 비면허 대역 활용 기술들이 주목 받고 있다 [2]. 본 연구에서는 인지 무선 기술과 비면허 대역 사용 기술에서 필수적인 스펙트럼 센싱을 협력적 센싱으로 확장한다 [3]. 따라서, 협력적 센싱의 성능을 실험적으로 분석하고, 협력으로 발생하는 피드백 오버헤드를 분석하여 주파수 자원의 효율성 향상 기여하도록 한다.

## 2. 연구 내용

단일 노드 센싱에서 통신의 고질적인 문제인 페이딩 및 쉐도잉으로 주사용자를 제대로 센싱할 수 없는 상황이 발생한다. 협력적 센싱은 다양한 노드의 지리적인 특성을 반영하여 주사용자 검출에 협력적 이득을 기대할 수 있다. 하지만 협력을 수행하기 위해서는 융합센터와 지속적인 통신을 해야 한다. 협력적 센싱에 참여하는 노드의 수가 많아질 경우, 센싱 성능은 증가하지만 협력을 위한 피드백 오버헤드가 선형적으로 증가한다. 여기서 피드백 오버헤드는 협력에 참여하는 노드들이 융합센터에게 경판정을 사용하여 자신의 결과를 전송하는 것을 의미한다. 경판정의 경우 0 또는 1 의 신호로 융합센터에게 주사용자의 존재 여부를 알려주는 형태로 다양한 융합 알고리듬이 존재한다.

본 논문에서는 리포딩 방식에서 ON/OFF signaling 방식을 도입하여 협력적 센싱에서 발생하는 피드백 오버헤드를 분석한다. 기존의 선형적으로 증가한 피드백 오버헤드를 감소시키기 위해서 AND 및 OR 기법을 변형한 새로운 융합 기법을 소개한다. Neyman-Pearson criterion 에 기반하여 최종 오경보 확률을 줄이면서 기존의 경판정에서 발생한 피드백 오버헤드를 현저히 줄일 수 있음을 수학적으로 분석하고 그 결과를 검토한다.

## 3. 피드백 오버헤드 분석

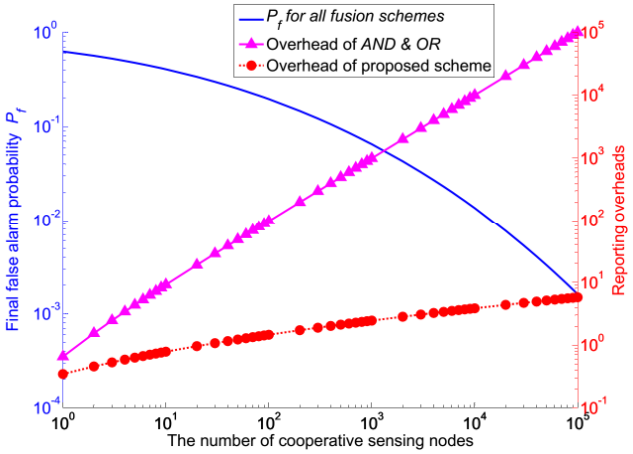



그림 1. 오경보 확률 및 피드백 오버헤드 분석

본 연구에서는 기존의 경판정을 이용한 협력적 센싱 기법과 새로운 융합 기법을 분석하였다. 새로운 융합 기법의 경우, 협력적 센싱에서 동일한 성능을 달성하면서 피드백 오버헤드를 현저하게 줄일 수 있다.

## 4. 결론

본 연구는 인지 무선 네트워크에서 협력적 센싱 노드의 피드백 오버헤드를 분석하고, 이를 감소할 수 있는 새로운 융합 기법을 제시하였다.

## 5. Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A1A1006551)

## 6.참고 문헌

[1] F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, “Five disruptive technology directions for 5G,” *IEEE Commun. Mag.*, vol.52, no.2, pp. 74-80, Feb. 2014.

[2] F. M. Abinader Jr., E. P. L. Almeida, F. S. Chaves, A. M. Cavalcante, R. D. Vieira, R. C. D. Paiva, A. M. Sobrinho, S. Choudhury, E. Tuomaala, K. Doppler, and V. A. Sousa Jr., “Enabling the coexistence of LTE and Wi-Fi in unlicensed bands,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 22, no. 11, pp. 54-61, Nov. 2014.

[3] E. Axell, G. Leus, E. G. Larsson, and H.V. Poor, “Spectrum sensing for cognitive radio: State-of-the-art and recent advances,” *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 29, no. 3, pp. 101-116, May 2012

# Full-Duplex Relay with Wireless Energy Harvesting in a Cognitive Radio System

Van-Dinh Nguyen, Hieu V. Nguyen, and Oh-Soon Shin
School of Electronic Engineering
Soongsil University, Seoul, Korea
E-mail: {nguyenvandinh, hieuvnguyen, osshin}@ssu.ac.kr

***Abstract*—We analyze the performance of both primary system and secondary system in a cognitive radio system in which the secondary system employs a cognitive full-duplex relay (FDR) with wireless energy harvesting capability. In the secondary system, data are assumed to be transferred via the FDR, which along with the secondary transmitter is assumed to have ability to harvest energy from the primary signals and use that harvested energy to transmit/forward data to the destination. In return for access to the primary spectrum and wireless energy harvesting, the FDR helps the PT send its data to the primary receiver. Under this scenario, we analyze achievable rate of both the primary system and secondary system and derive the optimal time splitting for energy harvesting.**

## I. Introduction

We consider a cognitive radio system where data transmission between a secondary transmitter (ST) and a secondary receiver (SR) is entirely performed via a cognitive full-duplex relay (FDR). The secondary system gets access to the primary spectrum in an underlay mode and the ST and FDR harvest energy from the primary transmitter (PT) to transmit data. In return for the spectrum access and energy harvesting, the FDR helps the PT send data to the primary receiver (PR). The amount of harvested energy at the ST and FDR will depend on the strength of the PT's signal, time to harvest energy, and the energy conversion efficiency of devices [1]. In this paper, we derive achievable rate of both the primary system and secondary system and the corresponding approximate rates for the case where the FDR has a large number of transmit antennas. Moreover, we derive the optimal splitting of each time slot to maximize the achievable rate.

## II. System Model

As illustrated in Fig. 1, a cognitive radio system with a primary system and a secondary system is considered. Assuming that there is no direct link between the ST and the SR due to pass-loss and shadowing, an FDR equipped with $N$ receive antennas and $M$ transmit antennas is employed in the secondary system. Let $\{\mathbf{h}_p \in \mathbb{C}^{N\times 1}, \mathbf{h}_s \in \mathbb{C}^{N\times 1}, \mathbf{g}_p \in \mathbb{C}^{1\times M}, \mathbf{g}_s \in \mathbb{C}^{1\times M}, f_{pp} \in \mathbb{C}, f_{ps} \in \mathbb{C}\}$ and $\{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6\}$ denote the channel coefficients and the distances of the links PT→FDR, ST→FDR, FDR→PR, FDR→SR, PT→PR, PT→ST, respectively. $\mathbf{H}_{RR} \in \mathbb{C}^{N\times M}$ models the self interference channel from the FDR transmitter to the FDR receiver [2]. In particular, the self interference channel can be expressed as $\mathbf{H}_{RR} = \sqrt{\rho}\mathbf{H}_0$, where $\mathbf{H}_0 \sim \mathcal{CN}(0,1)$ represents a fading channel and $0 \le \rho \le 1$. We assume that the channel between any two nodes is modeled as independent and flat Rayleigh fading and follows exponential distribution with the parameter $\lambda_{d_i} = d_i^{\beta}$, where $\beta$ denotes the path-loss exponent.

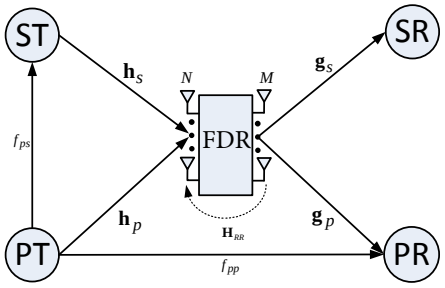



Fig. 1. A cognitive radio system with an FDR.

The ST and FDR are assumed to have no energy source and harvest energy from the signals transmitted by PT. We consider a time switching based relaying (TSR) protocol for joint energy harvesting and information processing, as illustrated in Fig. 2. According to the TSR protocol, the ST and FDR harvest energy from the PT's signal for a fraction $\alpha$ $(0 \le \alpha \le 1)$ of each time slot of duration $T$. The remaining $(1-\alpha)$ fraction of the time slot is used for information transmission. As a result, the amount of energy harvested at the ST and FDR can be expressed as

$$E_s = \eta P_t \left|f_{ps}\right|^2 \alpha T \text{ and } E_r = \eta P_t \left\|\mathbf{h}_p\right\|^2 \alpha T, \qquad (1)$$

respectively, where $0 < \eta < 1$ denotes the energy conversion efficiency, $P_t$ is the transmit power of the PT. Correspondingly, the maximum available power at the ST and FDR for the time duration $(1-\alpha)T$ are calculated as

$$\mathcal{P}_s = \eta P_t \left|f_{ps}\right|^2 \alpha/(1-\alpha) \text{ and } \mathcal{P}_r = \eta P_t \left\|\mathbf{h}_p\right\|^2 \alpha/(1-\alpha). \qquad (2)$$

This work was supported in part by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2013R1A2A2A01011222 & No. 2015056354), and in part by the Human Resources Development program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Trade, Industry and Energy (No. 20134010200570).

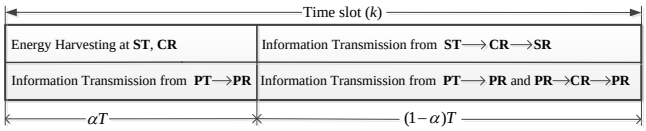



Fig. 2. TSR protocol for joint energy harvesting and information processing.

The received signals at the FDR and at the SR and PR during the time duration $(1-\alpha)T$ at the $k$-th time slot are given as

$$\begin{aligned}\mathbf{y}_r[k] &= \bar{\mathbf{H}}\mathbf{x}[k] + \sqrt{\mathcal{P}_r}\rho\mathbf{H}_0\mathbf{s}[k] + \mathbf{n}_r[k],\\ \mathbf{y}_{pr,sr}[k] &= \sqrt{\mathcal{P}_r}\mathbf{G}^T\mathbf{s}[k] + \mathbf{n}_{sr,pr}[k],\end{aligned} \tag{3}$$

where $\bar{\mathbf{H}} \triangleq \begin{bmatrix}\sqrt{P_t}\mathbf{h}_p & \sqrt{\mathcal{P}_s}\mathbf{h}_s\end{bmatrix}$, $\mathbf{y}_{pr,sr}[k] = [y_{pr} \quad y_{sr}]^T$, $\mathbf{G}^T = [\mathbf{g}_p \quad \mathbf{g}_s]^T$;[1] $\mathbf{x}[k] = [x_p[k] \quad x_s[k]]^T \sim \mathcal{CN}(0,1)$ are transmit symbols of the PT and ST; $\mathbf{n}_r[k]$ and $\mathbf{n}_{sr,pr}[k] = [n_{pr}[k] \quad n_{sr}[k]]^T \sim \mathcal{CN}(0,1)$ denote additive white Gaussian noise (AWGN) at the FDR and at the SR and PR, respectively. At the FDR, a beamforming $\mathbf{A}$ is applied to combat co-channel interference, yielding the transmit signal $\mathbf{s}[k] = \mathbf{A}\mathbf{x}[k-\tau]$, where $\tau$ accounts for the time delay caused by the relay processing. The system is assumed to adopt a zero-forcing (ZF) receiver $\mathbf{W}^T$ and a ZF beamforming $\mathbf{A}$ at the FDR: $\mathbf{W}^T \triangleq \left(\mathbf{H}^\dagger\mathbf{H}\right)^{-1}\mathbf{H}^\dagger$ and $\mathbf{A} \triangleq c\mathbf{G}^*\left(\mathbf{G}^T\mathbf{G}^*\right)^{-1}$, where $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_p \quad \mathbf{h}_s]$ and $c = \sqrt{(M-2)/(\lambda_3^{-1}+\lambda_4^{-1})}$. Furthermore, the PT can transmit data directly to the PR during each time slot and then the received signal at the PR via the direct link is given as[2]

$$y_{pr}^{direct}[k] = \sqrt{P_t}f_{pp}x_p[k] + n_{pr}[k]. \tag{4}$$

## III. Performance Analysis

The estimated data at the FDR can be expressed as $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{W}^T\mathbf{y}_r$. The signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) of the secondary system in each hop can be computed as

$$\begin{aligned}\gamma_{st-r} &= \frac{\mathcal{P}_s\left|\mathbf{w}_s^T\mathbf{h}_s\right|^2}{P_t\left|\mathbf{w}_s^T\mathbf{h}_p\right|^2 + \rho\mathcal{P}_r\left\|\mathbf{w}_s^T\mathbf{H}_0\mathbf{A}\right\|^2 + \left\|\mathbf{w}_s\right\|^2},\\ \gamma_{r-sr} &= \frac{\mathcal{P}_r\left|\mathbf{g}_s^T\mathbf{a}_s\right|^2}{\mathcal{P}_r\left|\mathbf{g}_s^T\mathbf{a}_p\right|^2 + 1},\end{aligned} \tag{5}$$

where $\mathbf{w}_s$ is the second column of $\mathbf{W}$ corresponding to $\mathbf{h}_s$; $\mathbf{a}_p$ and $\mathbf{a}_s$ are the first column and the second column of $\mathbf{W}$ corresponding to $\mathbf{h}_p$ and $\mathbf{h}_s$, respectively. Similarly, the SINR of the primary system in each hop during the time $(1-\alpha)T$ can be found as

$$\begin{aligned}\gamma_{pt-r} &= \frac{P_t\left|\mathbf{w}_p^T\mathbf{h}_p\right|^2}{\mathcal{P}_s\left|\mathbf{w}_p^T\mathbf{h}_s\right|^2 + \rho\mathcal{P}_r\left\|\mathbf{w}_p^T\mathbf{H}_0\mathbf{A}\right\|^2 + \left\|\mathbf{w}_p\right\|^2},\\ \gamma_{r-pr} &= \frac{\mathcal{P}_r\left|\mathbf{g}_p^T\mathbf{a}_p\right|^2}{\mathcal{P}_r\left|\mathbf{g}_s^T\mathbf{a}_s\right|^2 + P_t\left|f_{pp}\right|^2 + 1},\end{aligned} \tag{6}$$

[1]Superscripts $T$, $*$, and $\dagger$ denote the transpose, conjugate, and conjugate transpose, respectively.

[2]For simplicity, we omit the time slot index $k$ hereafter.

where $\mathbf{w}_p$ is the first column of $\mathbf{W}$ corresponding to $\mathbf{h}_p$. Furthermore, the SNR of the primary system for the direct link during the time $\alpha T$ is found as

$$\gamma_{pt-pr} = P_t\left|f_{pp}\right|^2. \tag{7}$$

The end-to-end (e2e) ergodic achievable rate of the secondary system can be expressed as

$$R_s = (1-\alpha)\mathsf{E}\left\{\log_2\left(1+\min\left(\gamma_{st-r},\gamma_{r-sr}\right)\right)\right\}. \tag{8}$$

Similarly, the e2e ergodic achievable rate of the primary system that uses a maximal-ratio-combining (MRC) to combine (6) and (7) can be written as

$$\begin{aligned}R_s = {}&\alpha\mathsf{E}\left\{\log_2\left(1+\gamma_{pt-pr}\right)\right\}\\ &+ (1-\alpha)\mathsf{E}\left\{\log_2\left(1+\min\left(\gamma_{pt-r},\gamma_{r-pr}\right)\right)\right\}.\end{aligned} \tag{9}$$

For the case of $M \gg 1$, an approximate achievable rate of the secondary system, $\bar{R}_s$ and that of the primary system, $\bar{R}_p$ can be derived as

$$\bar{R}_s = (1-\alpha)\log_2\left(1+\min\left(\bar{\gamma}_{st-r},\bar{\gamma}_{r-sr}\right)\right), \tag{10}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_p = {}&\alpha\log_2\left(1+P_t\lambda_5^{-1}\right)\\ &+ (1-\alpha)\log_2\left(1+\min\left(\bar{\gamma}_{pt-r},\bar{\gamma}_{r-pr}\right)\right),\end{aligned} \tag{11}$$

where $\bar{\gamma}_{st-r} = \frac{\eta\alpha\lambda_1\lambda_2M(N-2)P_t}{\rho\eta\alpha\lambda_6(M-2)NP_t+\lambda_1\lambda_6(1-\alpha)M}$, $\bar{\gamma}_{r-sr} = \frac{\eta\alpha N(M-2)P_t}{(1-\alpha)\lambda_1(\lambda_3^{-1}+\lambda_4^{-1})}$, $\bar{\gamma}_{pt-r} = \frac{(1-\alpha)\lambda_1^2M(N-2)P_t}{\rho\eta\alpha(M-2)NP_t+\lambda_1(1-\alpha)M}$, and $\bar{\gamma}_{r-pr} = \frac{\eta\alpha N(M-2)P_t}{(1-\alpha)\lambda_1(\lambda_3^{-1}+\lambda_4^{-1})(P_t\lambda_5^{-1}+1)}$.

*Optimal Fraction $\alpha^*$ of Time Splitting:* Since optimal value of $\alpha$, denoted as $\alpha^*$, depends on $P_t$, we can divide $P_t$ into two regions in (10) as $\bar{\gamma}_{st-r} \geq \bar{\gamma}_{r-sr}$ if $P_t \leq \frac{\lambda_1^2\lambda_2(\lambda_3^{-1}+\lambda_4^{-1})(N-2)M-\lambda_1\lambda_6MN(M-2)}{\rho\eta\lambda_6(M-2)N}\frac{1-\alpha^*}{\alpha^*} \triangleq P_0$, and $\bar{\gamma}_{st-r} < \bar{\gamma}_{r-sr}$ if $P_t > P_0$.

- If $P_t \leq P_0$, then $\bar{R}_s(\alpha) = (1-\alpha)\log_2\left(1+\bar{\gamma}_{r-sr}\right) = (1-\alpha)\log_2\left(1+\frac{\alpha\eta N(M-2)P_t}{(1-\alpha)\lambda_1(\lambda_3^{-1}+\lambda_4^{-1})}\right)$. Taking the first derivative of $\bar{R}_s(\alpha)$ with respect to $\alpha$, the optimal value $\alpha^*$ is the square root of $\frac{d\bar{R}_s(\alpha)}{d\alpha} = 0$, which is given as

$$\alpha^* = \frac{e^{W(\frac{bP_t-1}{e})+1}-1}{bP_t-1+e^{W(\frac{bP_t-1}{e})+1}}, \tag{12}$$

  where $W(x)$ stands for Lambert function.
- If $P_t > P_0$, it is easily to verify that $\frac{d\bar{R}_s(\alpha)}{d\alpha} < 0$, which leads to the optimal $\alpha^*$ as

$$\alpha^* = \frac{\hbar}{\hbar+P_t}, \tag{13}$$

  where $\hbar = \frac{\lambda_1^2\lambda_2(\lambda_3^{-1}+\lambda_4^{-1})(N-2)M-\lambda_1\lambda_6MN(M-2)}{\rho\eta\lambda_6(M-2)N}$.

## References

[1] S. Luo, R. Zhang, and T. J. Lim, "Optimal save-then-transmit protocol for energy harvesting wireless transmitters," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 3, pp. 1196–1207, Mar. 2013.

[2] T. Riihonen, S. Werner, and R. Wichman, "Mitigation of loopback self interference in full-duplex MIMO relays," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 59, pp. 5983–5993, Dec. 2011.

# An Optimal Relaying Scheme with Energy Harvesting in a Cognitive Radio Network

Thanh-Dat Le and Oh-Soon Shin
Soongsil University, Seoul, Korea

***Abstract*—This paper proposes an outage-optimal relaying scheme to improve the performance of wireless energy harvesting in cognitive radio networks. We also derive the analytic expression for the outage probability of the secondary system.**

## I. Introduction

In this paper, we propose a relaying scheme to improve the performance of the secondary system in a relay-assisted cognitive radio network [1]. We assume that the source and relay nodes have the capability of wireless energy harvesting and exploit the benefits of energy harvesting at the multiple decode-and-forward (DF) relays in the relay selection process to propose an outage-optimal relaying scheme. The analytical expression for the outage probability of the secondary system is derived and the performance is evaluated through numerical analysis and simulations.

## II. System Model

We consider a cognitive radio network consisting of a primary system and a secondary system, as shown in Fig. 1. The primary system comprises of a primary transmitter ($PT$) and a primary receiver ($PR$), and a secondary system comprises of a source ($S$), multiple DF relays ($R_k$, $k = 1, 2, \cdots, K$), and a destination ($D$). The secondary system can access the spectrum of the primary system in an underlay mode. There is a direct link between the source and destination. We assume that the destination $D$ is not within the transmission range of $PT$, which implies that there is no interference at the destination $D$. All the nodes in this CR network are assumed to be equipped with a single-antenna and operate in half-duplex mode. According to the time splitting time switching based relaying (TSR) protocol [2], the source $S$ and the $K$ relays harvest energy from the $PT$ for the fraction $\alpha$ ($0 < \alpha < 1$) of each time slot of length $T$. The remaining time slot is split into two halves. In the first half of duration $\frac{(1-\alpha)T}{2}$, the source $S$ transmits its own information to $R_k$ and $D$. At the same time, $R_k$ attempts to decode the signal to forward it to $D$. In the second half, the source $S$ remains silent while $R_k$ forwards the signal received from $S$ in the first hop to $D$. The best selection receiver is adopted at $D$, so that the signal associated with the highest SNR is selected for final decoding [3].

This work was supported in part by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2013R1A2A2A01011222 & No. 2015056354), and in part by the Human Resources Development program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Trade, Industry and Energy (No. 20134010200570).

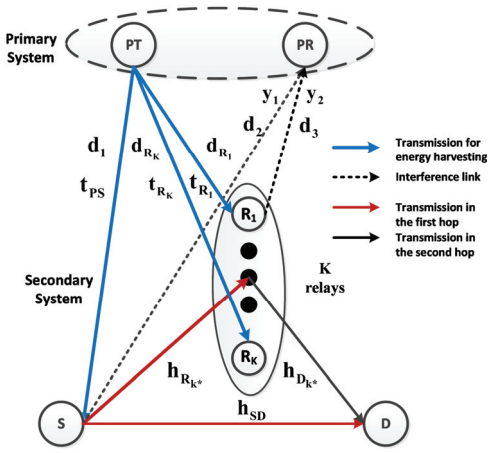



Fig. 1. A cognitive radio network model with energy harvesting capability at the source and relay nodes.

Let $t_{PS}$, $t_{R_k}$ ($k = 1, 2, \cdots, K$), $h_{R_k}$, $h_{SD}$, $h_{D_k}$, $y_1$, and $y_2$ be the channel coefficients of the channel links, as illustrated in Fig. 1. It is assumed that all the channels between any two nodes experience independent and flat Rayleigh fading. The distances of links $PT \to S$, $PT \to R_k$, $S \to PR$, and $R_k \to PR$ are denoted as $d_1$, $d_{R_k}$, $d_2$, and $d_3$, respectively. The noise at each receiver is assumed to be additive white Gaussian noise (AWGN) with zero mean and unit variance.

In order to avoid excessive interference to $PR$ in the primary system, the maximum transmit power at the source $S$ and at the relay $R_k$ is determined as $P_S = \min(\frac{I}{\frac{|y_1|^2}{d_2^m}}, \frac{E_S}{(1-\alpha)\frac{T}{2}})$ and $P_{R_k} = \min(\frac{I}{\frac{|y_2|^2}{d_3^m}}, \frac{E_{R_k}}{(1-\alpha)\frac{T}{2}})$, respectively, where $E_S = \frac{\eta P |t_{PS}|^2}{d_1^m}\alpha T$ and $E_{R_k} = \frac{\eta P |t_{R_k}|^2}{d_{R_k}^m}\alpha T$ denote the harvested energy at $S$ and $R_k$, respectively. Note that $\eta$ ($0 < \eta \leq 1$) is the energy conversion efficiency, $m$ is the path loss exponent, and $P$ is the transmit power of $PT$. In the DF relaying scheme, the overall SNR for the link $S \to R_k \to D$ is given as $\gamma_{SR_kD} = \min(\gamma_{SR_k}, \gamma_{R_kD})$, where $\gamma_{SR_k} = \min(\rho_1 |t_{PS}|^2, \frac{I}{\frac{|y_1|^2}{d_2^m}}) \frac{|h_{R_k}|^2}{\frac{P|t_{R_k}|^2}{d_{R_k}^m}+1}$ and $\gamma_{R_kD} = \min(\rho_{R_k}|t_{R_k}|^2, \frac{I}{\frac{|y_2|^2}{d_3^m}})|h_{D_k}|^2$ are the SNR for the link $S \to R_k$ and for the link $R_k \to D$, respectively. Note that we have replaced the constants $\frac{2\eta P\alpha}{(1-\alpha)d_1^m}$ with $\rho_1$ and $\frac{2\eta P\alpha}{(1-\alpha)d_{R_k}^m}$ with $\rho_{R_k}$ for notational simplicity. For the link $S \to D$ in the first hop, the SNR is defined as $\gamma_{SD} = \min(\rho_1 |t_{PS}|^2, \frac{I}{\frac{|y_1|^2}{d_2^m}})|h_{SD}|^2$.

$$F_{Y_{k^*}}(y) = 1-\exp^{\frac{-y}{X}} \int_0^{\infty} \left( \exp^{\frac{-y}{\rho_{R_{k^*}}|t_{R_{k^*}}|^2}} - \exp^{\frac{-(Id_3^m+y)}{\rho_{R_{k^*}}|t_{R_{k^*}}|^2}} + \exp^{\frac{-Id_3^m}{\rho_{R_{k^*}}|t_{R_{k^*}}|^2}} \frac{y}{y+Id_3^m} \right) \exp^{-(\frac{yP}{Xd_2^m}+1)|t_{R_{k^*}}|^2} d|t_{R_{k^*}}|^2. \quad (4)$$

$$P_{out} = \int_0^{\infty} \left[ \left(1-\exp^{-\frac{\gamma_{th}}{X}}\right) \left( \sum_{k=1}^{k=K} \binom{K}{k} (-1)^k {U_k}^k \right) \right] \cdot \left[ \frac{1}{\rho_1} \exp^{-\frac{x}{\rho_1}} + \left( \frac{Id_2^m}{x^2} - \frac{1}{\rho_1} \right) \exp^{-(\frac{x}{\rho_1}+\frac{Id_2^m}{x})} \right] dx. \quad (5)$$

## III. Outage Probability Analysis

By adopting the proposed energy harvesting scheme at the $K$ relays along with the best selection receiver, the end-to-end SNR of the secondary network is determined as $\gamma_D = \max(\gamma_{SR_{k^*}D}, \gamma_{SD})$, where $k^*$ indicates the best relay $R_{k^*}$ [4]. The SNR threshold for the secondary system in the CR network is defined as $\gamma_{th} = 2^{\frac{2R_{th}}{1-\alpha}} - 1$, where $R_{th}$ is the data rate threshold. The outage occurs when the end-to-end SNR of the secondary system is less than the threshold $\gamma_{th}$. [4]. We define $X = \min(\rho_1|t_{PS}|^2, \frac{I}{\frac{|y_1|^2}{d_2^m}})$ and $Y_{k^*} = \min(X\frac{|h_{R_{k^*}}|^2}{\frac{P|t_{R_k}|^2}{d_{R_k^*}^m}+1}, \min(\rho_{R_k}|t_{R_{k^*}}|^2, \frac{I}{\frac{|y_2|^2}{d_{R_{k^*}}^m}}).|h_{D_k}|^2)$, which are positive random variables. Then, the expression for $P_{out}$ is obtained as

$$P_{out} = Pr\left(\max\left(Y_{k^*}, X|h_{SD}|^2\right) < \gamma_{th}\right). \quad (1)$$

The probability density function ($PDF$) of $X$ can be drived as

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{\rho_1}\exp^{-\frac{x}{\rho_1}} + \left(\frac{Id_2^m}{x^2} - \frac{1}{\rho_1}\right)\exp^{-(\frac{x}{\rho_1}+\frac{Id_2^m}{x})}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Similarly, the cumulative distribution function (CDF) of $Y_{k^*}$ is easily obtained as (4).

**Lemma 1:** *The outage probability $P_{out}$ is obtained as (5).*

*Proof:* Conditioning on $X$, (1) is equivalent to

$$P_{out} = E_X\left[Pr(X|h_{SD}|^2 < \gamma_{th}) \cdot Pr(Y_{k^*} < \gamma_{th})\right]. \quad (3)$$

Since $Y_{k^*}$ corresponds to the SNR of the strongest path among all the links from $S$ to $D$ via $K$ relays, all the other relay paths will fail if the best link fails, i.e., $Y_{k^*} < \gamma_{th}$. Continuing the derivation in (3) and applying the binomial expansion, we have

$$P_{out} = E_X\left[\left(1-\exp^{-\frac{\gamma_{th}}{X}}\right)\left(\sum_{k=1}^{k=K}\binom{K}{k}(-1)^k{U_k}^k\right)\right].$$

By relieving the conditioning on $X$ and applying the $PDF$ of $X$, we obtain the final expression for $P_{out}$ as (5). □

## IV. Numerical Results

Fig. 2 depects the outage probability of the secondary system as a function of $\alpha$. We vary the value of $\alpha$ in the range of $[0.1, 0.9]$. As $\alpha$ increases, more power is harvested at $S$ and $K$ relays. Accordingly, the transmit power at $S$ and $R_k^*$ becomes higher. As a result, $P_{out}$ is shown to decrease. From Fig. 2, however, we also observe that $P_{out}$ only decreases as $\alpha$ increases until a certain point, and after that point, $P_{out}$ begins to increase. This can be explained by the tradeoff between energy harvesting period and data transmission period. To be more specific, if $S$ and the $K$ relays spend more time on energy harvesting process, which leads to more power harvested, the time for data transmission process will be shortened. On the contrary, if less power is harvested at the $K$ relay and the source $S$, which corresponds to less time is used for the energy harvesting process, more time is spent on the data transmission process. In Fig. 2, the analytic results also show exact agreement with the simulation results. From Fig. 2, we can also see that the outage probability decreases as the number of DF relays increases.

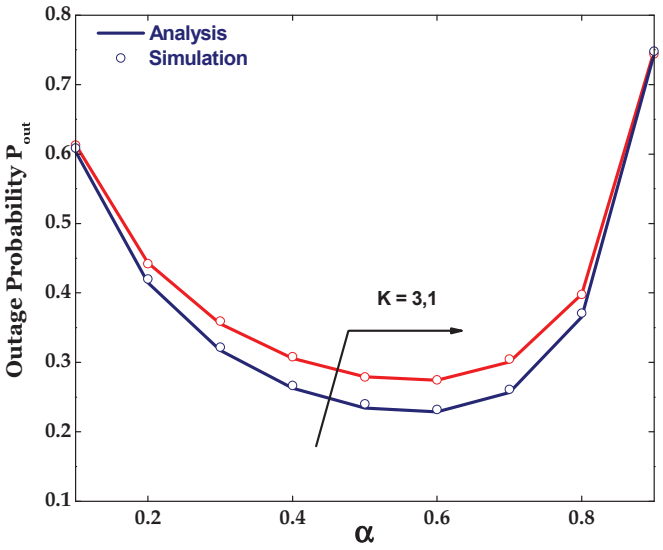



Fig. 2. The outage probability as a function of $\alpha$.

## References


[1] S. A. Mousavifar, Y. Liu, C. Leung, M. Elkashlan, and T. Q. Duong, "Wireless energy harvesting and spectrum sharing in cognitive radio," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC) Fall*, Vancouver, Canada, Sept. 2014, pp. 1–5.

[2] A. A. Nasir, X. Zhou, S. Durrani, and R. A. Kenedy, "Relaying protocols for wireless energy harvesting and information processing," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 49, no. 10, pp. 3622–3636, July 2013.

[3] S. S. Soliman and N. C. Beaulieu, "Exact analytical solution for AF relaying systems with full selection diversity," in *Proc. IEEE Inter. Conf. Commun. (ICC)*, Ottawa, Canada, June 2012, pp. 3995–4000.

[4] T.-D. Le and O.-S. Shin, "Wireless energy harvesting in cognitive radio with opportunistic relays selection," in *Proc. IEEE Inter. Symp. Personal, Indoor, and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, Hong Kong, Aug.-Sept. 2015, pp. 1051–1055.

# 압축센싱 기반의 스펙트럼 센싱 기법

김진홍°, 김원준, 응웬루옹트렁, 심병효
서울대학교 전기정보공학부
jhkim@islab.snu.ac.kr, wjkim@islab.snu.ac.kr, ltnguyen@islab.snu.ac.kr, bshim@snu.ac.kr

## 1. 서론

오늘날 무선통신은 거의 모든 주파수 대역을 사용하고 있다. 하지만, 모든 주파수 대역을 동시에 사용하는 것은 아니다. 이런 특성을 사용하여 최근 대두되고 있는 기술이 인지무선이다. 이 기술을 사용하기 위해서, 1 차 사용자가 주파수 대역을 사용하고 있는지 파악하는 것이 선행 되어야 한다. 본 논문에서는 압축센싱 이론을 이용하여 서브-나이퀴스트(sub-Nyquist) 샘플링을 통한 스펙트럼 센싱 기법[1],[2]을 제안한다.

## 2. 시스템

수신된 신호를 5Ghz 내의 대역을 희소(Sparse)하게 사용하고 있는 주파수 대역으로 가정한다. 5Ghz 의 신호를 사용하고 있으므로 복원 가능한 최소한의 샘플링 속도를 $f_{NYQ}$라 하면 $f_{NYQ}$=10Ghz 이다.

수신된 신호는 m개의 병렬 채널로 나뉘고, 각 채널에 수신된 신호는 주기가 $T_p$인 신호가 곱해진다. i번째 채널에 곱해지는 주기 신호인 $p_i(t)$는

$$p_i(t) = \alpha_{ik}, k\frac{T_p}{M} \le t \le (k+1)\frac{T_p}{M}, 0 \le k \le M-1$$

로 정의되고, $\alpha \in \{+1,-1\}$ 이고, $p_i(t) = p_i(t+nT_p)$인 주기함수 이다. $p_i(t)$는 주기가 $T_p$인 주기함수 이므로, 푸리에 급수를 이용해 나타내면,

$$p_i(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} c_{il} e^{j\frac{2\pi}{T_p} lt}, \quad c_{il} = \frac{1}{T_p}\int_0^{T_p} p_i(t) e^{-j\frac{2\pi}{T_p} lt} dt$$

가 된다. 각 채널에 동시에 수신되고 있는 신호를 $x(t)$라 할 때, 각 채널에서 주기함수와 곱해진 신호 $\hat{x}_i(t) = x(t)p_i(t)$ 라고 하자. 이 $\hat{x}_i(t) = x(t)p_i(t)$에 대해서 주파수 분석을 해보면,

$$\begin{aligned}\tilde{X}_i(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\left(\sum_{l=-\infty}^{\infty} c_{il} e^{j\frac{2\pi}{T_p} lt}\right) e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \sum_{l=-\infty}^{\infty} c_{il}\int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi\left(f-\frac{1}{T_p}\right)t} dt \\ &= \sum_{l=-\infty}^{\infty} c_{il} X\left(f - lf_p\right) \\ &= \sum_{l=-L_0}^{+L_0} c_{il} X\left(f - lf_p\right)\end{aligned}$$

가 된다. 여기서 $L_0$는 모든 스펙트럼의 정보를 담기 위한 최소 이동 상수이다. 따라서, $\tilde{x}_i(t)$의 주파수 응답인 $\tilde{X}_i(f)$는 $X(f)$ 의 형태가 $f_p$ 만큼씩 떨어져서 반복되는 형태가 됨을 알 수 있다. 위의 수식에서 $c_{il}$은 아래와 같이 계산 될 수 있다.

$$c_{il} = \frac{1}{T_p}\int_0^{\frac{T_p}{M}} \sum_{k=0}^{M-1} \alpha_{ik} e^{j\frac{2\pi}{T_p} l\left(t+k\frac{T_p}{M}\right)} dt = d_l \sum_{k=0}^{M-1} \alpha_{ik}\theta^{lk}$$

여기서 $\theta = e^{-\frac{j2\pi}{M}}$이고,

$$d_l = \frac{1}{T_p}\int_0^{\frac{T_p}{M}} e^{-j\frac{2\pi}{T_p} lt} dt = \begin{cases} \frac{1}{M} & l = 0 \\ \frac{1 - e^{(-j2\pi l)/M}}{2j\pi l} & l \ne 0 \end{cases}$$

이다.

위의 수식으로 각 채널의 스펙트럼 정보를 선형 조합으로 나타낼 수 있다. 이를 희소 신호 복원 알고리듬을 이용하면, 수신된 신호가 희소신호 이기 때문에 복원 가능하다.

## 3. 모의실험

모의실험을 진행하기 위해서 수신된 신호인 x(t)는 50Mhz 의 밴드 3 개를 사용중으로 가정한다. -5Ghz 부터 +5Ghz 까지 총 10Ghz 의 구간을 195 개로 나눈 10Ghz/195≈51.2Mhz 마다 신호의 유무를 판단한다. 아래의 그래프는 그 결과이고, x축은 채널의 수이고 y 축은 복원정확도이다. 신호대잡음비는 10dB 에서 실험하였다.

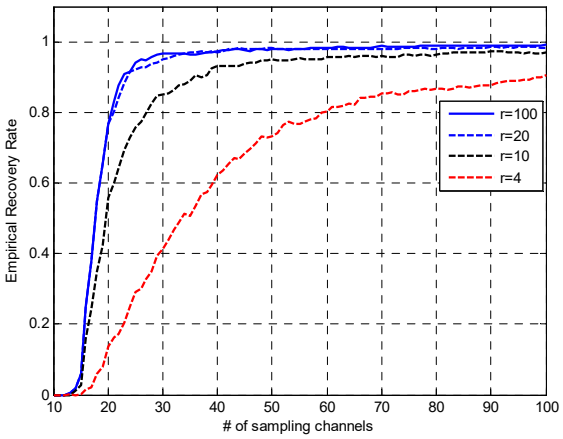



**Figure 1 채널수에 따른 정확복원율**

## 4. 참고 문헌

[1] M. Mishali and Y. C. Eldar, *"From Theory to Practice: Sub-Nyquist Sampling of Sparse Wideband Analog Signals"* IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 4, no. 2, pp. 375-391, Feb. 2010.

[2] M. Mishali; Y. C. Eldar, "Reduce and Boost: Recovering Arbitrary Sets of Jointly Sparse Vectors," *IEEE Transactions on Signal Processing.*, vol. 56, no. 10, pp. 4692-4702, June. 2008.

## 4. 기타

이 논문은 2016 년도 두뇌한국 21 플러스사업과 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2014R1A5A1011478)에 의하여 지원되었음

# 비균질 군집 부분접속복구 부호의 상한계에 대한 연구

김건우°, 이정우
서울대학교 전기정보공학부
bdkim@wspl.snu.ac.kr, junglee@snu.ac.kr

## 1. 서론

최근 분산 저장 시스템에서 일정 정도의 오류 정정능력 하에서 복구가 용이한 반복(replication) 부호와 저장 용량의 효율이 좋은 MDS 부호의 장점을 조합한 여러 가지 부호에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 그 중 부분접속수(locality)를 고려한 부분접속복구 부호가 크게 주목 받고 있다[1-2]. 특히 부분접속수가 하나의 수로 주어진 상황에서 부호 차원(dimension)과 최소거리의 상한계 및 이를 달성하는 최적 부분접속복구 부호를 만드는 몇 가지 방법이 밝혀졌다. 이러한 최적 부분접속복구 부호들은 모두 시스템 노드들의 복구 관계가 군집 형태를 이루고 있고, 이는 분산 저장 시스템의 계층적 구조를 고려할 때 바람직하다.

한편 각 노드 별로 부분접속수가 다른 경우에 대한 연구는 거의 이루어진 바가 없는데, 본 논문에서는 이에 대한 연구 결과를 소개한다. 구체적으로, '군집 부분접속복구 부호'를 정의하고, 각 군집의 부분접속수가 다른 경우를 포괄하는 상한계를 제시한다.

## 2. 본론

**정의.** $\overline{r}=(r_1,r_2,\cdots,r_t)$에 대해 $n=\sum_{i=1}^{t}(r_i+1)$일 때, 길이가 $n$, 차원이 $k$인 $(n,k,\overline{r})$ 군집 부분접속복구 부호는 다음의 성질을 만족한다.

1) 부호 심볼 $n$개를 분할(partition)하는 $t$개의 집합 $S_1,S_2,\cdots,S_t$가 존재하여 모든 $i\in[t]$에 대해 $|S_i|=r_i+1$이며 각 집합은 '복구군집'이라고 칭한다.
2) 임의의 심볼 $x$에 대해 $x\in S_i$일 때, $S_i\backslash\{x\}$에 속하는 심볼들로 $x$를 복구할 수 있다.

이후로는 일반성을 잃지 않고, $r_1\le r_2\le\cdots\le r_t$임을 가정하며, 아래의 두 정리는 각각 군집 부분접속복구 부호의 차원과 최소거리에 대한 상한계이다.

**정리 1.** $(n,k,\overline{r})$ 군집 부분접속복구 부호 $C$의 차원 $k$는 다음의 상한계를 만족한다.

$$k\le n-t=\sum_{i=1}^{t}r_i$$

**증명.** 각각의 복구군집으로부터 임의의 심볼 한 개씩 취하여 만든 집합 $U$는 $[n]\backslash U$로부터 복구 가능하므로 리던던트(redundant)하다. 따라서 $k\le|[n]\backslash U|$이다. □

**정리 2.** $(n,k,\overline{r})$ 군집 부분접속복구 부호 $C$의 최소거리 $d$는 다음의 상한계를 만족한다.

$$d\le n-k+1-p$$

여기서 $p=\max\{q\in(\{0\}\cup[t])\,|\,\sum_{i=1}^{q}r_i<k\}$이다.

**증명.** 복호 가능한 이레이저(erasure)의 개수와 최소거리의 관계로부터 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$d\le n-|I|$$

여기서 $I$는 그로부터 부호의 복호가 불가능한 임의의 심볼 부분집합이다.

복구군집 $S_1,S_2,\cdots,S_p$으로부터 각각 한 개씩의 심볼을 취하여 집합 $U'$을 구성한다. 한편 $p=t$이면 $\sum_{i=1}^{p}r_i<k$인데, 이는 정리 1 과 모순이므로 $p<t$이고, 따라서 $|[n]\backslash U'|=n-p>n-t\ge k$임을 알 수 있다. 이제 $U'$의 심볼들이 속해있는 $p$개의 복구군집의 나머지 심볼들을 전부 취하여 집합 $N$을 구성하고, $|[n]\backslash(U'\cup N)|=|[n]\backslash U'|-|N|\ge k-|N|$이므로 집합 $[n]\backslash(U'\cup N)$에서 임의의 $k-1-|N|$개의 심볼을 취하여 집합 $N'$을 만들 수 있다. $I=U'\cup N\cup N'$으로 놓으면 $|I|=|U'|+|N|+|N'|=p+k-1$이고, 집합 $I$로부터 부호의 복호는 불가능하다. 복호가 가능하다고 가정하면 $U'$는 $N$으로부터 복구 가능하므로 $N\cup N'$으로부터 복호 가능하며, $|N\cup N'|=k-1$이므로 이는 $C$의 차원이 $k$라는 전제에 모순이다. □

정리 2 를 확장하여 아래와 같은 닫힌 형식의 따름정리를 얻을 수 있다.

**따름정리.** $(n,k,\overline{r})$ 군집 부분접속복구 부호 $C$의 최소거리 $d$는 다음의 상한계를 만족한다.

$$d\le n-k-\left\lceil\frac{k}{r^*}\right\rceil+2$$

여기서 $r^*=\frac{\sum_{i=1}^{t}r_i}{t}$이다.

**증명.** $p^*=\left\lceil\frac{k}{r^*}\right\rceil-1$일 때 $p^*r^*<k$임을 쉽게 알 수 있다. 또한 $p^*\ge t$ 라고 가정하면 $\sum_{i=1}^{t}r_i=tr^*\le p^*r^*<k$가 되어 정리 1 과 모순이기 때문에 $p^*<t$이다. 한편 $r_1\le r_2\le\cdots\le r_t$ 이므로 $p^*\ne 0$ 이면 $\frac{\sum_{i=1}^{p^*}r_i}{p^*}\le r^*$이다. 따라서 $\sum_{i=1}^{p^*}r_i\le p^*r^*<k$가 만족하므로 정리 2 에서 $p\ge p^*$이고, $d\le n-k+1-p^*$이다. □

## 3. 참고 문헌

[1] P. Gopalan, C. Huang, H. Simitci, and S. Yekhanin, "On the locality of codeword symbols," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 11, pp. 6925-6934, Nov. 2012.
[2] I. Tamo and A. Barg, "A family of optimal locally recoverable codes," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 8, pp. 4661–4676, Aug 2014.

# 분산 저장 시스템을 위한 동일 복구 모델 Cooperaitive regenerating code 의 저장량-통신량 간의 상충관계에 대한 연구

이혁, 이정우
서울대학교 전기·정보공학부
hyuklee@wspl.snu.ac.kr, junglee@snu.ac.kr

## 1. 서론

HDFS (Hadoop distributed file system)[1]나 Windows Azure Storage[2]와 같은 대규모 분산 저장 시스템은 하나의 대규모의 데이터 파일을 네트워크로 연결된 다수의 노드에 분산적으로 저장한다. 여러 개의 네트워크로 연결된 노드에 분산적으로 저장하는 시스템을 의미한다. 분산 저장 시스템에는 개별적인 노드들의 데이터가 통째로 손실되는 노드 손실(node failure)에 대비하기 위하여 적절한 반복성(redundancy)를 추가할 수 있는 부호화가 필수적이다. Cooperative regenerating code[3]는 분산 저장 시스템에 사용되기 적합하게 설계된 erasure code 의 일종으로, B 크기의 데이터를 n 개의 노드에 $\alpha$씩 나눠 저장하며, 다음의 두 기능을 만족한다.

- 데이터 수집(Data collection) 기능: 사용자들은 임의의 $k(<n)$개의 노드에 접속하여 전체 데이터를 복구 가능하다.
- 노드 복구(Node repair) 기능: $r(<n)$개의 손실된 노드들은 임의의 d 개의 나머지 노드들로부터 $\beta_1$만큼씩의 정보를 받고, 서로 $\beta_2$만큼씩의 정보를 주고받음으로써 복구될 수 있다.

즉, 노드 복구 시, 하나의 손실된 노드의 복구 당 필요한 통신량을 뜻하는 복구 대역폭(repair bandwidth) $\gamma$는 $d\beta_1 + (r-1)\beta_2$와 같다. Cooperative regenerating code 에서, 노드 별 저장량 $\alpha$와 복구 대역폭 $\gamma$은 상충관계(tradeoff)를 가지는데, 손실된 노드를 다른 정보를 가지는 노드로 복구하는 것을 허용하는 기능 복구(functional repair)의 경우 이 상충관계가 완벽히 밝혀진 것에 비해, 손실된 노드를 기존 그대로 복구하는 동일 복구(exact repair) 모델의 경우 그 상충관계가 명확히 밝혀지지 않았다. 본 논문에서는 동일 복구 모델을 가지는 코드의 $\alpha-\gamma$의 관계의 외부 경계(outer bound)를 제안한다.

## 2. 본론

본 논문에서 제안하는 외부 경계는 다음의 정리 1 로 요약할 수 있다.

**정리 1.** 파라미터들이 $k=d=n-r$의 관계를 갖는 임의의 (n,k,d,r)-cooperative regenerating code 가 동일 복구 모델을 갖는다면, 이 코드에 저장 가능한 용량 B 는 다음과 같은 상한을 갖는다.

$$B \le \frac{s-1}{s+1} n\alpha + \frac{2}{s(s+1)} \min_{l} \Delta(\beta_1, \beta_2).$$

여기서, $\boldsymbol{l} = (l_1, \ldots, l_g)$는 1 이상 r 이하의 정수를 원소로 가지며, 원소의 총 합이 k가 되는 임의의 벡터이다. $\Delta(\beta_1, \beta_2)$는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta(\beta_1, \beta_2) = \sum_{h=1}^{g} \sum_{t=1}^{h} l_h l_t \beta_1 + \sum_{h=1}^{g} h l_h (r - l_h) \beta_2.$$

위 정리의 증명과정은 다음과 같다. Cooperative regenerating code 은 선형일 경우, $(n\alpha, B)$-linear code 로 간주할 수 있으며, $(n\alpha - B) \times n\alpha$ 크기의 패리티 검사 행렬 H를 가진다. 노드 복구 기능에 의해 다음과 같이 rank(H)의 하한을 구할 수 있다.

$$\text{rank(H)} \ge \frac{2}{s+1} n\alpha - \frac{2}{s(s+1)} \min_{l} \Delta(\beta_1, \beta_2)$$

$(n\alpha, B)$-linear code 의 경우, 패리티 검사 행렬의 rank 가 $n\alpha - B$ 와 같아야 한다는 조건에 의해, 위의 rank(H) 의 하한을 B 의 상한으로 바꿀 수 있고, 이는 정리의 증명을 완성시킨다.

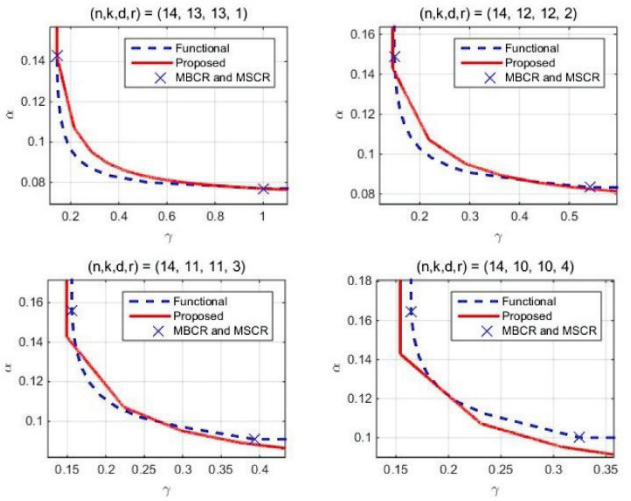



**그림 1. 기능복구의 최적 $\alpha-\gamma$ tradeoff 와 제안된 동일복구의 $\alpha-\gamma$ tradeoff 외부경계(정리 1)의 비교**

위 그림 1 은 기능복구 모델의 최적 $\alpha-\gamma$의 관계와 제안된 동일복구 모델의 외부경계를 비교한 것이다. 실제 동일 복구 모델의 $\alpha-\gamma$ 관계는 제안한 외부경계보다 오른쪽 위에 존재할 것이다. r이 작을수록 제안된 경계의 성능이 좋아짐을 알 수 있다.

## 3.참고 문헌

[1] D. Borthakur, "HDFS architecture guide," *Hadoop Apache Project*, 2008.
[2] B. Calder, J. Wang, A. Ogus et al., "Windows Azure Storage: A highly available cloud storage service with strong consistency," *in Proc. of ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP),* 2011.
[3] K. W. Shum and Y. Hu, "Cooperative regenerating codes," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 11, pp. 7229-7258, Nov. 2013.

# 분산저장시스템을 위한 저밀도 랜덤 선형 파운틴 코드의 로컬리티 분석

백종현°, 허준

고려대학교 전기전자공학과

# Locality Analysis of Low-Density Random Linear Fountain Codes for Distributed Storage Systems

Jonghyun Baik°, Jun Heo

The School of Electrical Engineering, Korea University

{bell211, junheo}@korea.ac.kr

요 약

본 논문에서는 분산저장시스템에 적합한 랜덤 선형 파운틴코드를 제안하고 로컬리티를 분석한다. 본 논문에서 제안하는 랜덤 선형 파운틴 코드는 Systematic 구조를 가지며 비이진 GF(q) 필드에서 정의된다. 실험을 통해 랜덤 선형 파운틴코드가 기존의 부분 복구 파운틴코드와 유사한 밀도로 더 우수한 복호 성능을 보임을 알 수 있었으며, 밀도를 낮춤으로써 낮은 로컬리티를 확보할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

## 1. 제목

최근 빅데이터와 모바일 서비스의 다양화로 인해 데이터가 급속도로 증가하고 있으며, 그에 따라 분산 저장 시스템의 도입이 확산되고 있다. 분산 저장 시스템의 안정성과 신뢰도를 위해 소실 복구를 위한 오류정정부호에 대한 연구가 활발히 진행중이며, 파운틴 코드는 near- Maximal Distance Separable (MDS) 및 rateless 속성에 의해 분산저장시스템에 적합한 코드로 평가되고 있다. 소실 복구를 위해 접속해야 하는 최소한의 저장 노드의 개수를 로컬리티라고 정의하는데, Repairable Fountain (RF) Codes [1]는 K 개의 메시지 심볼에 대해 c·log K 의 로컬리티를 갖는 파운틴코드를 제안하였다. 그러나 대부분의 분산 저장 시스템에서는 짧은 길이의 메시지를 사용하므로 [1]의 코드는 충분히 낮은 로컬리티를 보장할 수 없다. 본 논문에서는 높은 RF 코드와 동일한 평균 차수를 갖는 랜덤 선형 파운틴코드[2]의 로컬리티를 분석하고 RSD 분포를 사용하는 LT 코드[3], RF 코드의 로컬리티와 비교한다.

## 2. 저밀도 랜덤선형파운틴코드의 로컬리티

분산 저장 시스템에서의 로컬리티는 심볼 로컬리티와 코드 로컬리티로 나눌 수 있다. 심볼 로컬리티 R 은 해당 심볼을 복구하는데 접속해야하는 최소한의 저장 노드의 수를 의미하며[4], 코드 로컬리티는 해당 코드의 모든 심볼 로컬리티 중 최대값을 의미한다. 분산 저장 시스템에서는 높은 차원을 갖는 비이진 (GF(q)) 코드를 사용하여 복호성능 대비 낮은 로컬리티를 갖도록 한다. RF 코드는 $\mathrm{c}\cdot\log K$의 단일 차수를 가지는데, 이 경우 코드의 밀도와 심볼 로컬리티는 다음과 같이 $\mathrm{c}\cdot\log K$로 고정됨을 알 수 있다.

$$\mathrm{P}_{RF}(r)=\begin{cases}1, & if\ r=c\cdot\log K\\ 0, & otherwise\end{cases} \quad (1)$$

랜덤 선형 파운틴 (RLF) 코드는 전체 메시지 심볼을 복호하는 데 있어 가장 우수한 ML 복호 성능을 보장하는 코드로 알려져 있다. 그러나 RLF 코드는 매우 높은 밀도, $\mathrm{q}-1/\mathrm{q}$ 때문에 우수한 로컬리티를 보장할 수 없다. RLF 코드의 로컬리티 분포 $\mathrm{P}_{RLF}(r)$ 는 다음과 같다.

$$\mathrm{P}_{RLF}(r)=L\cdot\left(1-\frac{1}{K\cdot q^K}\sum_{i<r} i\binom{K}{i}(q-1)^i\right)^N\cdot\left(1-\left(1-\frac{r\binom{K}{r}(q-1)^r}{K\cdot q^K}\right)^N\right) \quad (2)$$

RF 코드와 동일한 밀도$\mathrm{c}\cdot\log K$ 를 갖는 저밀도 RLF 코드를 사용하는 경우 로컬리티 분포 $\mathrm{P}_{LDRLF}(r)$ 는 다음과 같다.

$$P_{LDRLF}(r) = L \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\left(1 - \frac{c \cdot \log K}{K}\right)^{K} \sum_{i<r} i \binom{K}{i} \rho(k)^{d}\right)^{N} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{r\binom{K}{r}\rho(k)^{r}}{K^{K+1}}\right)^{N}\right) \quad (3)$$

그림 1 에서 알 수 있듯이 RLF 코드의 밀도를 감소시킴으로써 전체적인 심볼 로컬리티를 감소시킬 수 있으며, RF 코드에 비해 낮은 로컬리티를 가짐을 확인할 수 있다. LT 코드의 경우 상대적으로 낮은 심볼 로컬리티를 갖지만 가장 높은 코드 로컬리티를 가지며 낮은 ML 복호 성능을 가지므로 분산 저장 시스템에는 적합하지 않다.

## 3. 결론

본 논문에서는 높은 ML 복호 성능을 갖는 RLF 와 저밀도 RLF 의 로컬리티 분석을 통해 기존의 RF 코드에 비해 낮은 로컬리티를 갖는 파운틴코드를 설계할 수 있음을 확인하였다. 추후 RF 코드와 동일한 복호성능을 갖는 저밀도 RLF 의 로컬리티 최소화를 통해 소실 저장노드의 부분복구에 최적화된 파운틴 코드를 설계할 수 있다.

## 4. Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [R0190-15-2030, 양자암호통신망 구축을 통한 신뢰성 검증기술 및 QKD 고도화를 위한 핵심요소기술 개발]

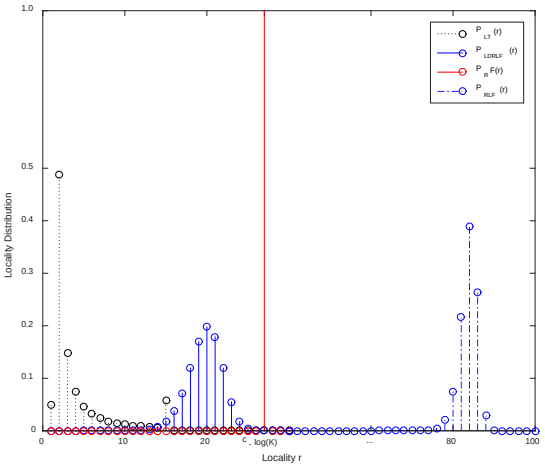



그림 1. RF, RLF, 저밀도 RLF 코드의 로컬리티 분포

## 5. 참고 문헌

[1] M. Asteris and A. G. Dimakis, “Repairable Fountaiin Codes,” *IEEE Journal on Selected Area in Commun.*, vol. 32, no. 5, pp. 1037-1047, May 2014.

[2] B. Schotsch, R. Lupoaie and P. Vary, “The performance of low-density random linear fountain codes over higher order galois fields under maximum likelihood decoding,” in *Proc. Commun., Control, and Computing (Allerton)*, pp. 1004-1011, 2011.

[3] M. Luby, “LT codes,” in *Proc. 2002 ACM Symp. Foundations Comput. Science*, pp. 271-280, 2002.

[4] T. Okpotse and S. Yousefi, “Locality-aware fountain codes for massive distributed storage systems,” in *Proc. 2015 IEEE CWIT*, pp. 18-21, 2015.

# 얽힘 양자를 이용한 그래프 코드의 차원 확장 기법

손일권°, 이성훈, 허 준
고려대학교
{d2estiny, sunghoon89, junheo}@korea.ac.kr

## 1. 서론

최근 양자 정보 처리 기술이 세계적으로 급속히 발전하고 있다. 이러한 발전에 있어, 양자 정보가 오류에 매우 취약하다는 점이 큰 장해물이 되고 있어 양자 오류 정정 부호의 역할이 대두되고 있다.

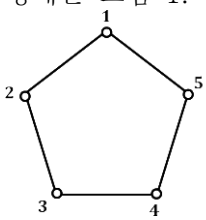
쇼어가 양자 오류 정정 부호가 구성 가능함을 보인 이후로 다양한 양자 오류 정정 부호가 연구되고 있다. 얽힘을 이용한 양자 오류 정정 부호[1]와 양자 그래프 부호[2]는 그 중 하나로 얽힘 양자 오류 정정 부호는 기존 안정 부호의 제한 조건을 해결[3] 가능하며 더 좋은 성능을 가진다. 양자 그래프 부호는 그래프를 통해 안정 부호를 구성하는 간단한 방법을 제시했다. 본 논문에서는 두 부호를 응용해 양자 그래프 부호에 얽힘을 적용하여 손쉽게 부호의 차원 $\boldsymbol{k}$를 증가 시킬 수 있는 방법을 보일 것이다.

## 2. 그래프 부호의 차원 증가 기법

본 절에서는 $\boldsymbol{c}$개의 얽힘 양자 쌍을 추가하여 양자 그래프 부호의 차원 $\boldsymbol{k}$를 증가시키는 방법을 소개할 것이다. 우선 $[[\boldsymbol{n},\boldsymbol{k},\boldsymbol{d}]]$ 부호를 그래프를 통해 구성한다. 그래프 $\boldsymbol{G}$는 실제 큐빗들의 연결 관계를 보여주며 그래프의 인접 행렬 $\boldsymbol{\Gamma}$는 연결 관계를 행렬로 보여준다. 인접 행렬의 직교 벡터 $\boldsymbol{B}$는 부호의 $\boldsymbol{Z}$ 논리 연산자 $\bar{\mathbf{Z}}$가 된다. 그래프 $\boldsymbol{G}$, 인접 행렬 $\boldsymbol{\Gamma}$, 직교 벡터 $\boldsymbol{B}$를 통해 부호의 안정 연산자 생성자를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\boldsymbol{S} = \{(\boldsymbol{\Gamma k}, \boldsymbol{k}) | \boldsymbol{k} \in \ker(\boldsymbol{B}^*)\} \quad (1)$$

이 때 $\ker(\boldsymbol{B}^*)$는 $\boldsymbol{B}^*$의 커널을 나타낸다. 안정 연산자 생성자와 논리 연산자 간의 commutation 관계를 통해 $\boldsymbol{X}$ 논리 연산자 $\bar{\mathbf{X}}$를 구할 수 있다. 이 부호에 $\boldsymbol{c}$개의 얽힘 양자 쌍을 추가하면 $[[\boldsymbol{n},\boldsymbol{k}+\boldsymbol{c},\boldsymbol{d};\boldsymbol{c}]]$의 얽힘 양자 오류 정정 부호를 구성할 수 있다. $[[\mathbf{5},\mathbf{1},\mathbf{3}]]$를 통해 $[[\mathbf{5},\mathbf{2},\mathbf{3};\mathbf{1}]]$ 부호를 구성하는 예시를 통해 기법을 설명하도록 하겠다. $[[\mathbf{5},\mathbf{1},\mathbf{3}]]$ 부호의 그래프는 링 그래프를 가정하며 그래프와 인접 행렬의 형태는 그림 1.과 같다.




$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

그림 1 [[5,1,3]] 부호의 그래프와 인접 행렬

인접 행렬을 통해 구한 직교 벡터 $\boldsymbol{B}$ 는 $[\mathbf{1}\ \mathbf{1}\ \mathbf{1}\ \mathbf{1}\ \mathbf{1}]$이므로 논리 연산자 $\bar{\mathbf{Z}} = \boldsymbol{ZZZZZ}$임을 알 수 있다. 따라서 부호의 안정 연산자 생성자와 논리 연산자 $\bar{\mathbf{X}}$는 다음과 같다.

$$\boldsymbol{S} = \langle \boldsymbol{YYZIZ}, \boldsymbol{XIXZZ}, \boldsymbol{XZZXI}, \boldsymbol{YZIZY} \rangle$$
$$\bar{\boldsymbol{X}} = \boldsymbol{XXXXX} \quad (2)$$

$[[\mathbf{5},\mathbf{1},\mathbf{3}]]$ 부호에 1 개의 얽힘 양자 쌍을 추가하여 안정 연산자 생성자를 구성할 경우 다음과 같다.

$$\boldsymbol{S} = \langle \boldsymbol{YYZIZ}|\boldsymbol{I}, \boldsymbol{XIXZZ}|\boldsymbol{I}, \boldsymbol{XZZXI}|\boldsymbol{I}, \boldsymbol{YZIZY}|\boldsymbol{Z}, \boldsymbol{XZIII}|\boldsymbol{X} \rangle \quad (3)$$

위의 안정 연산자 생성자 중 얽힘 양자 쌍을 추가하여 생성된 $\boldsymbol{XZIII}|\boldsymbol{X}$ 연산자를 $\bar{\mathbf{Z}}$로 고려하면 논리 연산자의 수가 1 개 늘어나면서 $[[\mathbf{5},\mathbf{2},\mathbf{3};\mathbf{1}]]$ 부호를 구성할 수 있게 된다. 이 경우 $[[\mathbf{5},\mathbf{1},\mathbf{3}]]$ 부호의 논리 연산자는 다음과 같이 변환된다.

$$\bar{\mathbf{Z}}_{\mathbf{1}} = \boldsymbol{ZZZZZ}|\boldsymbol{Z}, \bar{\boldsymbol{X}}_{\mathbf{1}} = \boldsymbol{XXXXX}|\boldsymbol{Z} \quad (4)$$

위와 같은 변환은 얽힘 양자 쌍을 추가하여 논리 연산자와 안정 연산자 사이의 commutation 관계가 바뀌기 때문에 연산자 $\boldsymbol{Z}$를 수신자 측에 추가하여 commutation 관계를 유지하도록 한 임의의 변환이다.

위의 안정 연산자 생성자와 3 개의 논리 연산자의 commutation 관계를 통해 추가적으로 생성한 논리 연산자 $\bar{\mathbf{X}}_{\mathbf{2}}$ 와 수신자 측에는 인코딩이 불가능하기 때문에 안정 연산자 생성자를 통해 수신자 측의 $\boldsymbol{Z}$ 연산자를 제거한 $\bar{\boldsymbol{X}}_{\mathbf{1}}$는 다음과 같다.

$$\bar{\boldsymbol{X}}_{\mathbf{1}} = \boldsymbol{ZYXYZ}|\boldsymbol{I}, \bar{\boldsymbol{X}}_{\mathbf{2}} = \boldsymbol{YZIZY}|\boldsymbol{I}$$

이를 통해 $[[\mathbf{5},\mathbf{2},\mathbf{3};\mathbf{1}]]$ 부호를 생성할 수 있음을 확인하였다. 또한 $[[\mathbf{5},\mathbf{2},\mathbf{3};\mathbf{1}]]$ 부호는 양자 singleton bound, 양자 Hamming bound, 양자 Griesmer bound 를 모두 만족하는 우수한 성능의 양자 부호이다.

## 3. 결론

본 논문에서는 그래프 양자 오류 정정 부호에 얽힘 양자 쌍을 추가함으로써 기존 부호의 차원을 증가시키는 방법에 대해 보였다. 얽힘 양자를 사용하여 기존 안정 부호의 성능을 향상 가능하다는 점은 이미 여러 논문에서 밝힌바 있다. 본 논문에서는 이를 얽힘 양자쌍과 관련된 안정 연산자 생성자를 논리 연산자로 사용하는 방법으로 부호의 차원을 간단히 향상시킬 수 있음을 보였다.

## 논문 사사

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음." [R0190-15-2030, 양자암호통신망 구축을 통한 신뢰성 검증기술 및 QKD 고도화를 위한 핵심 요소기술 개발]

## 4. 참고문헌

[1] G. Bowen, "Entanglement required in achieving entanglement-assisted channel capacities" Phys. Rev. A vol. 66, 052313, Nov. 2002.

[2] D. Schlingemann and R. F. Werner, "Quantum error correcting codes associated with graphs" Phys. Rev. A vol. 65, 012308, Jan. 2002

[3] T. A. Brun, I. Devetak, and M.-H. Hsieh, "Correcting Quantum Errors with Entanglement" Science vol. 314, pp. 436-439, Oct. 2006.

# 오류 정정 시스템을 위한 양자화된 가우시안 잡음 발생기

윤길수°[1], 이영주[2], 하정석[1]

한국과학기술원 전기 및 전자공학부[1]

광운대학교 전자공학과[2]

# Quantized Gaussian Noise Generator for Error-Correction System

GilSu Yun°[1], Youngjoo Lee[2], Jeongseok Ha[1]

School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)[1]

Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University[2]

ygs567@kaist.ac.kr, yjlee@kw.ac.kr, jsha@kaist.edu

## 요 약

본 논문에서는 하드웨어 기반의 오류 정정 시스템 실험에서 효율적으로 쓰일 수 있는 가우시안 잡음 발생기를 제안한다. 정밀도가 높은 출력 값을 양자화 하는 기존의 방식과는 달리 양자화된 가우시안 노이즈 모듈을 만들어 복잡도와 면적을 줄였다. 이를 LDPC 복호기를 이용하여 소프트웨어 상에서 검증하였고, 하드웨어로 합성한 결과와 Xilinx 모듈을 비교하여 다른 복호기에서도 유연하게 사용될 수 있음을 확인한다.

## 1. 서론

집적도가 높아지고 있는 스토리지에서 부정확한 정보 저장의 가능성이 커짐에 따라, 이를 해결하기 위한 ECC (Error-Correcting Codes) 가 주목받고 있다. 스토리지의 특성상 낮은 BER (Bit Error Rate)을 확인해야 할 필요성이 있기 때문에 소프트웨어 기반의 실험보다는 빠른 실험을 할 수 있는 하드웨어 기반의 실험이 보다 효율적이다. 하드웨어 기반의 실험은 한정된 공간에서 이루어지므로 각 모듈의 면적을 최소화 하여 설계되어야 한다.

기존의 제안된 가우시안 잡음 발생기 모듈은 높은 정밀도로 출력되기 때문에[1] 이를 모델링 하기 위한 회로가 복잡해지므로, 높은 정밀도의 필요성이 적은 오류 정정 시스템에서는 적절한 방식이 아니다. 또한 ECC 복호기 자체의 면적이 크기 때문에 다른 모듈들의 면적을 최소화 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 오류 정정 시스템에서 합성 면적을 줄일 수 있는 양자화된 가우시안 노이즈 채널을 구현하는 방식을 소개하고, 이를 802.16e[2]의 규격인 (2304,1152) 저밀도 패리티 검사(LDPC)[3] 복호기를 이용하여 검증한다.

## 2. 제안하는 구현 방식

본 논문에서는 높은 정밀도의 가우시안 잡음을 만든 후 양자화 하는 기존 방식과는 달리, 양자화된 가우시안 잡음을 모델링 하는 방식을 제안한다. 양자화된 가우시안 잡음 채널 확률분포는 그림 1 과 같이, 1 과 -1 을 평균으로 하는 두개의 가우시안 pmf (probability mass function)로 나타나게 된다.

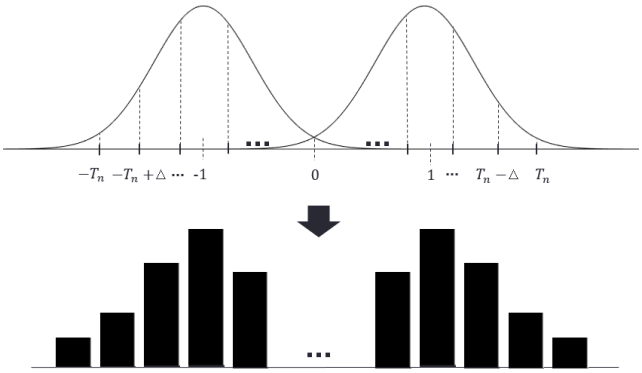



그림 1. 양자화된 가우시안 노이즈 채널 확률 분포

각 구간은 CDF(Cumulative Distribution Function)값에 따라 달라지므로 이를 이용하여 구분될 수 있다. CDF 는 [0,1] 범위의 값이기 때문에 각 구간의 구분되는 Inverse CDF(ICDF)을 알고 있으면 [0,1]의 URNG(Uniform Number Generator)를 이용하여 양자화된 값을 출력 할 수 있다. 따라서 그림 2 처럼 높은 정밀도의 가우시안 잡음 출력 값에 각 SNR(Signal to Noise Ratio)에 해당하는 $1/\sqrt{Eb/N_o}$을 곱한 후에 3~5 비트로 양자화 하는 기존의 방식과 비교해 보면, 복잡한 곱셈 연산 없이 양자화 하는 구간의 ICDF 값만을 이용하기 때문에 복잡도를 줄일 수 있다. 또한 오류 정정 시스템에서는 실험하고자 하는 소

량의 SNR 값을 알고 있으면 되고, 두 pmf가 대칭

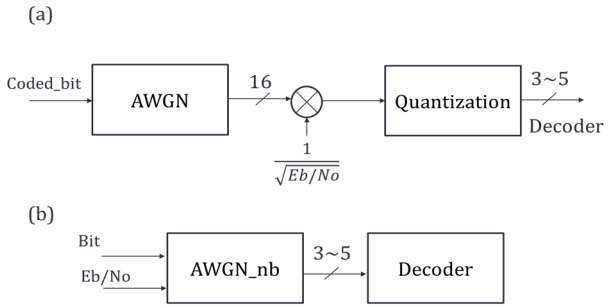



그림 2. (a) 기존의 가우시안 잡음 기반 실험 환경 (b) 제안하는 양자화된 가우시안 잡음 기반 실험 환경

을 이루기 때문에 하나의 가우시안 ICDF 값을 이용하면, 특별한 하드웨어적 기법없이 Look-Up Table(LUT)로써 간단히 구현 할 수 있다. 정확한 모델링을 위해 URNG 는 $2^{19937}$-1 의 주기를 갖고, 현재 연구된 URNG 중 가장 균일하게 랜덤 값을 나타낼 수 있다고 알려져 있는 Mersenne Twister[4]모듈을 사용하였다.

## 3. 실험 환경

본 논문에서 사용한 수 체계는 sign-magnitude 방식이고, 비트 정밀도는 채널 출력 값 5 비트, 복호기 내부 연산 8 비트로 결정했다. 각각 정수 2 비트, 3 비트와 소수 2 비트, 4 비트를 사용했으며 MSB 는 부호를 결정하는 데에만 사용했다. 채널은 5 비트로 균일하게 양자화 했으며 그림 1 에서 $T_n$=1.8125, △= 1/8 로 설정하였다.

LDPC 코드는 반복 복호 횟수 20 번, 0.75 계수의 scaled min-sum 알고리즘을 이용한 소프트웨어 기반으로 복호하여 실험하였다.

## 4. 실험 결과 및 하드웨어 구현

실험 결과는 그림 3 과 같다. SNR 이 2dB 이하일 때에는 부동소수점으로 실험한 결과와 거의 비슷한 결과가 나타났으며, BER 이 $10^{-6}$ 에서 0.25dB 가량 차이가 났다. 이는 802.16e 의 목표 BER 이 $10^{-5}$인 것을 감안하면 타당한 실험 결과이다.

제안한 양자화된 가우시안 잡음 복호기를 Virtex-Ⅳ 기반으로 합성했을 때 Xilinx 모듈[5] 과의 비교는 표 1 과 같다.

| | Xilinx | This work |
|---|---|---|
| Slices | 480 | 253 |
| Block RAMs | 5 | 4 |
| Clock frequency | 100MHz | 100MHz |
| Output bits | 16 | 3 |
| Method | Box-Muller & CLT | ICDF |
| FPGA device | Virtex-II | Virtex-IV |

표 1. Xilinx 모듈과 합성 결과 비교

기본적인 3 비트 양자화 기법으로 합성했을 때 slices 수를 52%로 줄인 결과가 나타났고, Virtex-Ⅱ와 Virtex-Ⅳ의 slices 구성 방식은 동일하므로 적합한 비교대상이 된다. 또한 Xilinx 모듈이 비선형함수를 근사화 하는 방식이기 때문에 제안한 모듈의 복잡도가 더 낮다.

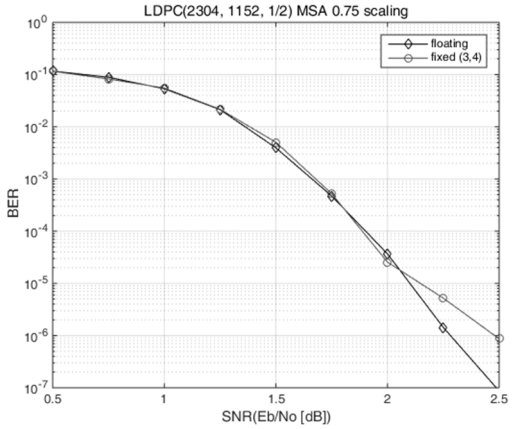



그림 3. BER 그래프

## 5. 결론

제안한 양자화된 가우시안 잡음 복호기를 LDPC 디코더를 이용하여 검증하였고, Xilinx 모듈과 비교해 보았을 때 저복잡도, 저면적의 모듈을 만들 수 있음을 확인하였다. 제안한 방식을 이용하면 LUT 의 수정만으로 어떠한 양자화 기법에도 간단히 적용될 수 있으며, 다른 ECC 복호기에도 유연하게 적용하여 효율적인 하드웨어 기반의 실험을 할 수 있다.

## 6. ACNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2016 년 정보통신 방송(ICT) 연구개발 사업의 연구 결과로 수행되었음.

## 7. 참고 문헌

[1] D. Lee, W. Luk, “A Hardware Gaussian Noise Generator Using the Box-Muller Method and Its Error Analysis,” IEEE Trans. Computers. vol. 55. no. 6. pp. 659-671, June. 2006.

[2] IEEE 802.16e standard, Part 16: Air interface broadband wireless access systems, IEEE P802.16Rev2/D4, April 2008.

[3] R. Gallager, “Low-density parity-check codes,” IRE Trans. Inf. Theory, vol.8, pp.21-28, Jan 1962.

[4] MAKOTO MATSUMOTO and TAKUJI NISHIMURA, “Mersenne Twister A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudorandom Number Generator,” ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Jan. 1998.

[5] Additive White Gaussian Noise (AWGN) Core v1.0, Xilinx Inc., 2002, http://www.xilinx.com

# 얽힌 큐비트를 이용한 연접 양자 오류 정정 부호 구성 기법

신정환°, 허준
고려대학교 전기전자전파공학과
jhsh@korea.ac.kr, junheo@korea.ac.kr

## 1. 서론

연접 양자 오류 정정 부호(Concatenated quantum error correction: CQEC)는 두 개 이상의 양자 오류 정정 부호(Quantum error correction: QEC)기법을 연속적으로 사용하여 양자 정보를 보호하는 기법이다.[1-3] 본 논문에서는 얽힌 큐비트(entangled qubits)를 이용하여 CQEC 의 구조를 개선하고 성능을 향상 시킬 수 있는 기법에 대해 살펴본다.

## 2. 얽힌 큐비트를 이용한 CQEC 기법

CQEC 는 연속적인 QEC 인코딩 과정을 거쳐 양자 정보를 보호한다. 예를 들어, $[n_1,k_1,d_1]$ 와 $[n_2,k_2,d_2]$ 인 두 QEC 인코딩 과정을 수행하는 경우를 생각해보자. $n_1$ 이 $k_2$ 의 배수일 경우 쉽게 인코딩 과정을 수행할 수 있지만, $n_1$ 이 $k_2$ 의 배수가 아닐 경우 첫 번째 인코딩 블록을 두 번재 부호로 인코딩 하기 쉽지 않다. 그림 1.의 (a)는 $n_1$ 이 $k_2$ 의 배수가 아닐 경우 CQEC 를 구성하는 기법을 보여주고 있다. 처음 $k_1$ 블록을 $k_2$ 개 만큼 준비하여 첫 번째 QEC 부호 인코딩 후 각 블록에서 물리적 큐비트를 조합하여 $n_1$ 개의 $k_2$ 블록을 생성한다. 생성된 블록은 두 번째 인코딩 과정을 수행하여 최종 코드워드를 얻게 된다. 이러한 방식을 통해 수행된 최종 CQEC 는 $[n_1n_2,k_1k_2,d]$ 부호가 되며, 이 때 $d \geq d_1d_2$ 를 만족하게 된다. 하지만 이런 기법의 경우 처음 $k_1$ 의 정보 큐비트를 $k_2$ 개 만큼 준비해야 되는 추가적인 과정이 필요하다. 본 논문에서는 $n_1$ 이 $k_2$ 의 배수가 아닌 경우 $c$개의 얽힌 큐비트를 이용하여 $n_1$ 이 $k_2$ 의 배수가 될 수 있는 방법을 소개한다. 첫 부호의 인코딩 과정에서 얽힌 큐비트를 이용한 QEC 부호(EA-QEC)를 고려하여 인코딩을 수행한다. 이 때 일반적인 EA-QEC 는 수신기에 공유된 얽힌 큐비트에 오류가 발생하지 않는 것을 가정하고 구성된다.[4] 하지만 CQEC 의 경우 $n_1^c = n_1 + c$에 공유된 $c$개의 얽힌 큐비트에 오류가 없다고 가정할 수 없다. 따라서, 첫 인코딩 기법에 사용된 얽힌 큐비트의 경우 송신기와 수신기에 공유된 얽힌 큐비트에 모두 오류가 발생한다고 가정해야 한다. 송신기와 수신기에 공유된 얽힌 큐비트 모두에 발생하는 오류로부터 정보를 보호하기 위해 우리는 Entanglement-assisted Code- word stabilized(EA-CWS) quantum code 를 이용하여 첫 번째 블록을 인코딩한다.[5] EA-CWS 부호의 경우 송신기 독립적인 인코딩 기법으로 수신기에 발생한 오류를 정정할 수 있는 방법을 제시한다. 따라서, 그림 1.의 (b)와 같이 $n_1$ 이 $k_2$ 의 배수가 아닌 경우에도 $c$개의 얽힌 큐비트를 이용하여 CQEC 를 구성할 수 있다

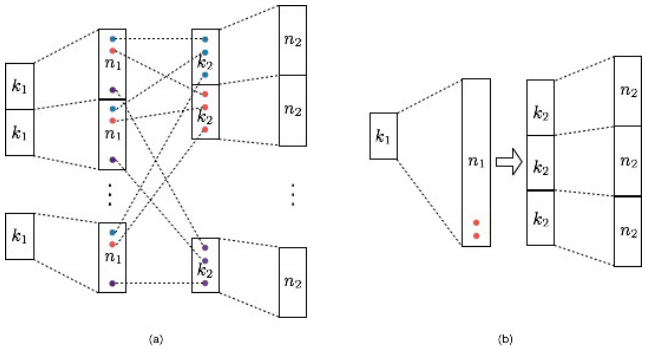



그림 1. 연접 양자 오류 정정 부호의 구성 방법.

## 3.결론

본 논문에서는 얽힌 큐비트를 이용하여 CQEC 기법의 각 인코딩 블록의 크기가 맞지 않는 경우에도 효과적으로 CQEC 를 구성할 수 있는 방법을 소개하였다. 특히, 수신기에 공유된 얽힌 큐비트에 오류가 발생하는 경우를 위해 EA-CWS 부호를 이용하여 CQEC 를 구성할 수 있는 방법을 제시하였다.

## 4.감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015R1A2A2A01006301).

## 5. 참고 문헌

[1] Knill, E. and Laflamme, R., “Concatenated quantum codes,” at http://arXiv.org/abs/quant-ph/9608012 , 1996.
[2] Aharonov, D. and Ben-Or, M., “Fault-tolerant quantum computation with constant error,” in *Proceedings of the twenty-Ninth ACM Symposium on the Theory of Computing*, pp. 176-188., 1997.
[3] Gaitan, F. Quantum, *Error Correction and Fault Tolerant Quantum Computing,* Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Inc. 2007
[4] Brun, T. A., Devetak, I., & Hsieh, M.-H. (2006). “Correcting Quantum Errors with Entanglement,” *Science*, 314(5798), 436–439. 2006.
[5] Shin, J., Heo, J., & Brun, T. A. “Entanglement-assisted codeword stabilized quantum codes,” *Physical Review A*, 84(6), 062321. 2011

# IoT 디바이스 에너지 관리를 위한 RPL Objective Functions 설계

금두호°, 고정길, 고영배

아주대학교 컴퓨터공학과

# Designing RPL Objective Functions for energy management of IoT Devices

DooHo Keum°, JeongGil Ko, Young-Bae Ko

Department of Computer Engineering, Ajou University

dooho1000@ajou.ac.kr, jgko@ajou.ac.kr, youngko@ajou.ac.kr

## 요 약

사물인터넷 (IoT : Internet of Things) 분야가 사람들의 관심을 얻고 지속적으로 발전하면서 많은 장치 및 센서들이 IP 기반으로 데이터를 주고 받는 환경 구축이 요구되고 있다. 따라서 IETF (Internet Engineering Task Force)에서는 사물인터넷 환경에 적합하도록 수천 개의 장치 및 센서를 기반으로 네트워크를 형성할 수 있는 RPL (IPv6 Routing Protocol Low Power and Lossy Networks) 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 본 논문은 RPL 의 경로 선정 방식에 대한 노드 에너지 사용 측면에서의 비효율성과 IoT 환경에서 일부 장치 및 센서의 에너지 방전으로 인해 전체적인 네트워크를 재구축하거나 일일이 충전 및 교체해야 하는 문제를 인지하고 이를 해결하기 위해 장치 및 센서의 에너지 관리 측면을 우선 고려한 효율적인 경로 선정 방식을 제안한다.

## 1. 서 론

사물인터넷 분야가 지속적으로 발전하면서 스마트 홈, 스마트빌딩, 스마트 카, 산업체, 의료서비스 등 사람들의 밀접한 생활 속에서 중요성은 계속하여 조명 받고 있다. 이러한 IoT 환경의 적합한 네트워크 통신을 위해 IETF 에서 IEEE802.15.4 기반의 IPv6 주소체계를 활용하여 수천 개의 장치들까지 네트워크 통신을 할 수 있는 RPL 라우팅 프로토콜을 제안하였다[1]. IETF RPL 은 저전력 저손실 환경에 적합하게 IEEE802.15.4 트리 토폴로지 기반으로 설계되었으며 네트워크 계층에서 경로 생성을 하는 라우팅 프로토콜이다.

RPL 프로토콜은 ETX, Energy, Hop count 등의 각각 속성을 고려하여 네트워크 환경에 적합하도록 경로를 선정을 하게 되는데 선정 후 데이터를 전송할 때 데이터 병목현상, 링크 품질 저하, 소비 에너지 쏠림 현상 등의 여러 문제가 발생한다.

또한 IoT 환경에서 특정 역할을 하는 여러 장치나 센서들의 에너지 방전으로 작동을 하지 않을 경우 응용 전체의 효용성을 확보하기 위해서 전체적인 네트워크 토폴로지를 재설정하고 배터리를 충전 또는 교체 등의 방법을 취해야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 각 노드에 남아있는 에너지 측면을 우선 고려하고 ETX(Expected Transmission Count)를 함께 반영한 알고리즘을 적용한다. 노드들의 효율적인 에너지 관리를 통해 전체적인 네트워크를 안정화시키고 데이터 전송 시 병목현상 해결 및 데이터 링크 품질을 향상 시킬 수 있는 경로 선정 알고리즘을 제안한다.

## 2. 관련연구 및 문제점

RPL 은 저전력 손실 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜로 사물인터넷의 환경의 특성에 적합하도록 배터리와 연산 자원의 제한성을 고려하여 설계되었으며 IEEE 802.15.4 트리 토폴로지와 유사한 형태로 네트워크 계층에서 경로를 설정하고 동작한다 [1].

RPL 은 DIO(DODAG Information Object) 메시지를 통해 비순환형 그래프 (DODAG : Destination Oriented Directed Acyclic Graph) 를 형성하고 주기적으로 그래프 내에 있는 노드에게 메시지를 브로드캐스트하여 토폴로지를 유지하며 DODAG 내의 노드들은 DIO, DAO(Directed Acyclic Object) 등의 메시지를 주고 받아 데이터 패킷을 송수신하거나 토폴로지를 유지하는 등의 역할을 한다.

DIO 의 OFs(Objective Functions) 를 통해 노드 간 RANK, ETX, Energy, Hop count 등을 계산하여 부모 노드를 선정하여 경로를 설정하게 된다 [2].

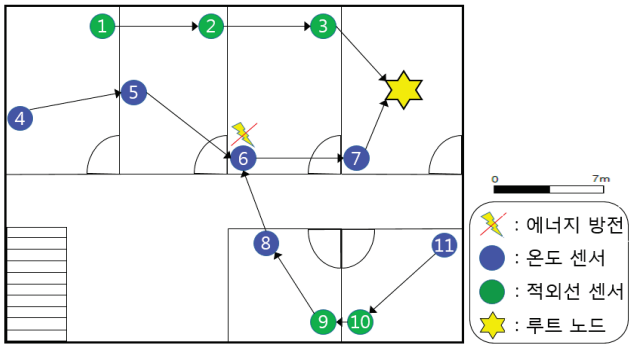



그림 1. 온도 센서 에너지 방전 시나리오

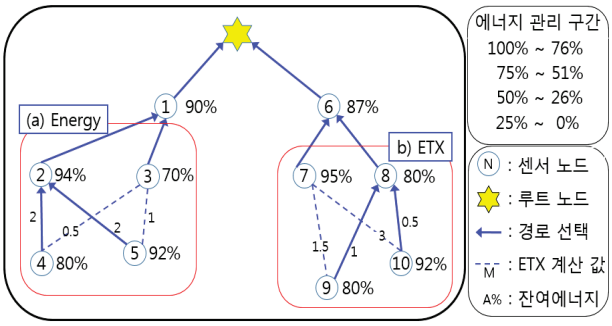



그림2. 경로 선정 제안기법 구성도

OFs 를 어떻게 설정하는지에 따라 부모 노드, 즉 라우팅 경로가 바뀌게 되고 경우에 따라서는 링크 품질 저하, 병목현상, 데이터 쏠림에 의한 장치 및 센서의 방전 등의 문제가 발생한다.

특히 그림 1 에서와 같이 ETX 방식을 선택하여 에너지를 고려하지 않을 시 6 번 온도 센서의 에너지가 방전되면 6 번 센서가 존재하는 객실의 온도 정보를 확인할 수 없는 상황이 되고 응용의 측면에서 시스템의 효용성은 떨어진다. 결국 단 하나의 장치 및 센서라도 방전이 되면 인력이 요구되는 배터리 교체 등의 작업이 요구되므로 최대한 모든 노드가 유사한 시점에 에너지를 방전할 수 있도록 유도하는 OFs 설계가 필요하다.

## 3. 제안 기법

본 논문에서는 잔여 에너지와 ETX 방식을 동시에 고려하여 전체적인 네트워크 노드들의 에너지 관리 및 링크 품질을 동시에 향상시킬 수 있는 효율적인 경로 선정 기법을 제안한다.

DODAG 내의 이웃 노드들 간 DIO 메시지의 주기적인 교류를 통해 각 노드들끼리 보유한 잔여 에너지, Rank, path ETX 등을 확인하며 부모 노드를 선정할 때 1 차적으로 RANK 를 고려하고 2 차적으로 잔여에너지를 100 ~ 76%, 75 ~ 51%, 50 ~ 26%, 25 ~ 0%의 4 단계 구간을 정하여 확인하고 마지막으로 ETX 기반 연산을 통해 부모 노드를 선정한다.[3] 예를 들어 그림 2(a)에서 2 번 노드의 잔여에너지가 94%로 100 ~ 76%안에 포함되어있고 3 번 노드가 70%로 75~51% 구간에 있을 경우 에너지 구간이 높은 2 번 노드를 부모 노드로 선택하여 경로를 선정하게 되고 그림 2(b)와 같이 7 번 노드의 잔여에너지가 95%, 8 번 노드가 80%로 에너지가 동일한 구간에 있을 경우 path ETX 기반으로 8 번 노드를 부모 노드로 선택한다.

제안한 알고리즘 방식을 적용하면 기존의 에너지만을 고려한 방법에 비해 링크 효율성을 높일 수 있으며 ETX 만을 고려한 방식에 비해 병목현상, 링크 품질 저하, 에너지 쏠림 문제를 해결하고 전체적인 노드 잔여에너지를 비교적 균등하게 사용할 수 있다.

또한 주요 장점으로 IoT 환경에 적용하였을 때 25 ~ 0% 구간에 잔여에너지가 전체적으로 부족하다는 것을 인지하고 에너지가 부족한 노드를 한번에 모두 교체하여 시스템 관리에 요구되는 비용을 최소화 할 수 있다.

## 4. 성능평가

성능 평가를 위해 Contiki 기반의 네트워크 환경을 구축하고 COOJA 시뮬레이터를 통해 검증하였다. 총 11 개의 센서노드와 1 개의 루트 노드를 활용하여 RPL 네트워크를 구성하였으며 그림 3 은 각 기반별 루트 노드까지의 평균 path ETX 값을 나타낸다.

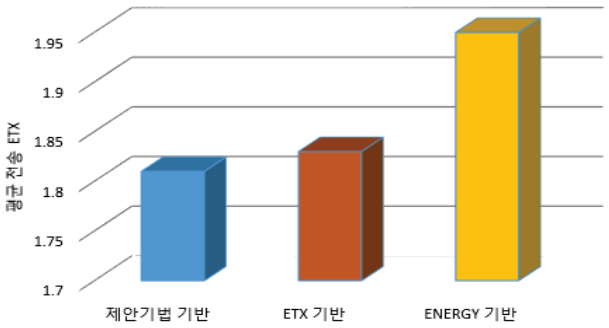



그림3. 평균 전송 ETX 비교

그림에서와 같이 제안 기법을 활용 하면, 각 링크에서 보다 낮은 ETX 의 노드를 부모 노드로 선택하여 보다 효율적인 네트워크를 구성하는데 도움이 된다. 또한 ETX 기반 보다 노드들의 잔여에너지를 비교적 균등하게 사용할 수 있기 때문에 장치 및 센서의 에너지 관리를 효과적으로 할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 IoT 환경에서 효율적인 에너지 관리를 위해 에너지 관리 측면을 우선 고려하고 ETX 방식을 사용한 효율적인 RPL 라우팅 프로토콜을 제안하였으며 제안 기법의 증명을 위해 COOJA 시뮬레이터를 이용하였다.

향후 계획으로 링크단위에서 선택된 최소 ETX 가 전체적인 경로 차원에서 어떤 효율성을 갖는지 연구하고 제안기법의 효과를 다방면으로 분석할 것이며 장치 및 센서의 실제 에너지 값을 실측하여 효과적인 결과를 도출 할 수 있도록 연구 할 계획이다.

## 6. 참고문헌

[1] T. Winter et al, “RPL : IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks”, RTC 6550, IETF, 2012.

[2] J. Ko et al, “Connecting Low-Power and Lossy Networks to the Internet,” *IEEE Comm. Magazine*., vol.49, no.4, pp.96-101,Apr.2011.

[3] J. Vasseur et al, “Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks”, RFC 6551, IETF, 2012.

# DHCP 를 이용한 유무선통합 코어망 접속 시그널링

하정락°, 박노익

한국전자통신연구원

# 5G Convergence Network Access Signaling with DHCP

Jeounglak Ha°, Noik Park

Fixed & Mobile Trust Network Research Dept., ETRI

jlha@etri.re.kr, nipark@etri.re.kr

## 요 약

기존에는 유선망과 무선망의 코어망이 별도로 운영되었으나 미래에는 유무선의 코어망이 통합되며, 유무선의 접속기술과 무관하게 공통의 시그널링 체계를 통해 유무선 통합서비스를 제공받을 수 있을 것이다. 본 논문은 다양한 접속 방식을 제공하는 유무선 통합 코어망에서 접속망과 무관한 시그널링을 제공할 수 있는 방법에 대한 것으로, 어느 하나의 망을 통해 사용자나 단말을 인증하고, 이때 인증받은 정보나 할당 받은 자원을 다른 접속방식의 접속망에서 DHCP 를 이용하여 재활용할 수 있도록 한다. 이렇게 함으로써 접속 미디어와 무관하게 일관된 통신서비스를 제공할 수 있도록 한다.

## 1. 서론

이동통신망의 발전과 유선 통신망의 발전으로 향후 유/무선이 통합된 환경에서 서로 다른 접속망을 통해 일관된 통신서비스를 제공하기 위해서는 접속망 기술과 무관한 시그널링방식이 필요하다. 기존의 통신망은 각 통신망들이 접속 기술과 밀결합되어 각 접속망에 따른 시그널링 방식을 채용함으로써 망의 구축 비용이 높았다.

본 논문은 접속망으로 이동통신망, 무선통신망, 유선통신망을 아울러 통합된 환경에서 서비스를 제공하기 위하여 인증이나 IP 주소할당과 관련하여 이동통신망을 통한 시그널링을 통해 인증이나 IP 주소할당을 수행하고 인증된 정보 및 IP 주소를 무선통신망 및 유선통신망에서도 사용할 수 있도록 한다.

## 2. 5G 를 위한 유무선 코어망

NGMN 은 5G 를 접속기술 인터페이스 옵션으로 5G 네트워크 기능이 5G 의 new RAT 뿐만 아니라 Fixed 와 WiFi 를 함께 서비스 하는 방안을 그림 1 과 같이 제시하고 있다. [1] LTE 에서는 스몰 셀을 이용한 Dual connectivity 를 연구하고 있으며[2], Dual connectivity 를 이용하는 한 방법으로 더 큰 셀로 시그널링을 하고 스몰 셀에서 고속데이터를 이용하는 방법도 연구되고 있다. [3, 4]

본 논문에서는 다른 액세스망을 통한 접근을 지원하기 위해 그림 2 와 같은 구조를 가진 유무선 통합망에서 어느 하나의 접속망을 통해 사용자의 인증이나 자원할당 등의 시그널링을 수행하고 그 인증정보나 할당된 자원을 다른 접속망을 통해서도 DHCP 를 이용하여 재활용하는 방법을 기술한다. 유무선 통합망은 제어평면과 사용자평면을 UCE (Universal control entity)와 CGW(Converged GateWay)로 나누어 처리하며, 이들은 각각 3GPP LTE 의 MME, SGW/PGW 와 유사한 역할을 한다. HSS 는 가입자 정보를 저장한다.

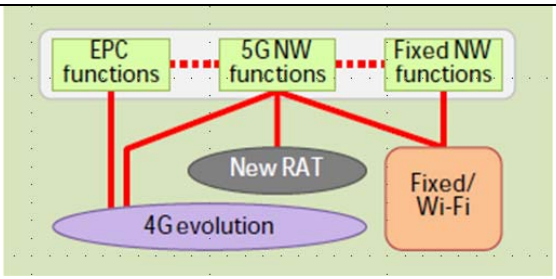



그림 1 NGMN 의 5G 인터페이스 옵션

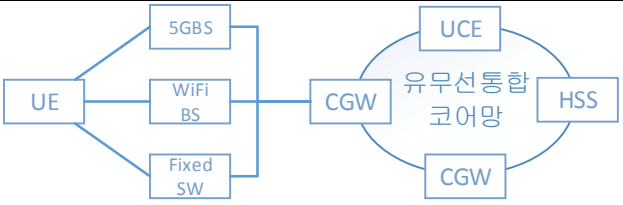



그림 2 유무선 통합 코어망

5G 는 4G 이후에 등장할 새로운 무선접속기술을 나타내며 특히 6GHz 이하의 주파수에서 micro cell 이상의 커버리지를 갖는 것을 간주한다. 5GBS 는 5G 무선접속 기술을 지원하는 기지국이며, WiFiBS 는 WiFi 를 지원하는 기지국이며, FixedSW 는 유선 IP 접속망을 지원하는 L3 switch 이다. 그림 2 에서는 5GBS, WiFiBS, FixedSW 가 CGW 를 통해서 유무선통합코어망에 연결된 것으로 나타내었으나 5GBS, WiFiBS, FixedSW 로부터 UCE 로 바로 접근할 수도

있다.

그림 3 은 시그널링을 위한 프로토콜 스택의 예이다. 단말 UE(User Equipment)와 UCE 는 NAS (Non access stratum) 시그널링 관계를 맺는다, 단말의 여러 접속 기술 프로토콜 스택 중 5G 의 L2/L1 위에 NAS 가 동작하며 이것은 UCE 의 NAS 와 연동한다. NAS 는 WiFi 나 Fixed 의 위에서 직접 동작하지 않고 5G 에서만 동작하며, WiFi 나 Fixed 접속기술과 제어정보를 상호 연동하여 동작한다. NAS 프로토콜은 단말과 UCE 간의 이동성 관리(Mobility Management; MM) 및 세션 관리(Session Management; SM)을 위한 기능을 제공한다. 이들 기능은 인증/보안이나 자원 할당의 기능을 포함한다.

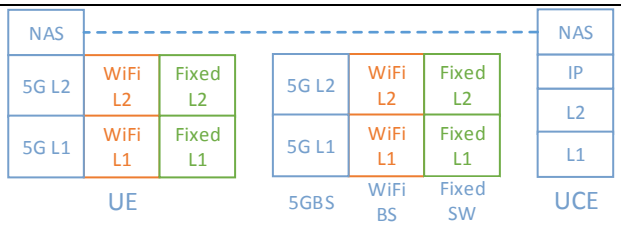



그림 3 유무선 통합 코어망에서의 NAS 프로토콜

그림 4(a)에서는 사용자가 5G 를 통해서 시그널링 접속을 통해 인증하고 IP 주소를 할당받는 절차를 수행한다. 그림 4(b)는 (a)에서 수행한 인증과 할당받은 IP 주소를 재사용해서 5G 에서 데이터 서비스를 사용하기 위한 절차를 보인다. 한편 그림 5(a) 와 (b)는 그림 4(a)에서 수행한 인증과 할당받은 IP 주소를 재사용하여, WiFi 에서는 터널을 설정하고, Fixed 에서는 통상의 routing 을 이용하여 데이터 서비스를 사용하기 위한 절차를 수행한다.

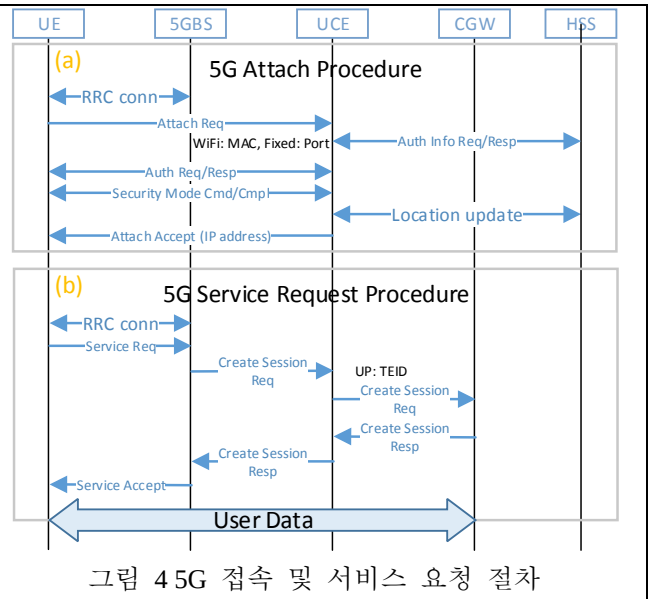



그림 4 5G 접속 및 서비스 요청 절차

그림 5(a) 에서 UE 가 L2 association 후 WiFiBS 로 DHCP Req 를 보낼 때 DHCP Req 의 source ip address 에 그림 4(a)에서 할당받은 GUTI 를 넣는다. WiFiBS 는 단말로부터 전달되는 DHCP Req 메시지를 담은 L2 프레임의 단말 MAC 주소를 와 GUTI 를 포함하여 Create Session Req 를 UCE 로 보낸다. 그림 5(b)에서는 유선 접속망에서 터널을 설정하지 않고 default router 및 subnet mask 정보를 이용하여 routing 을 제공한다.

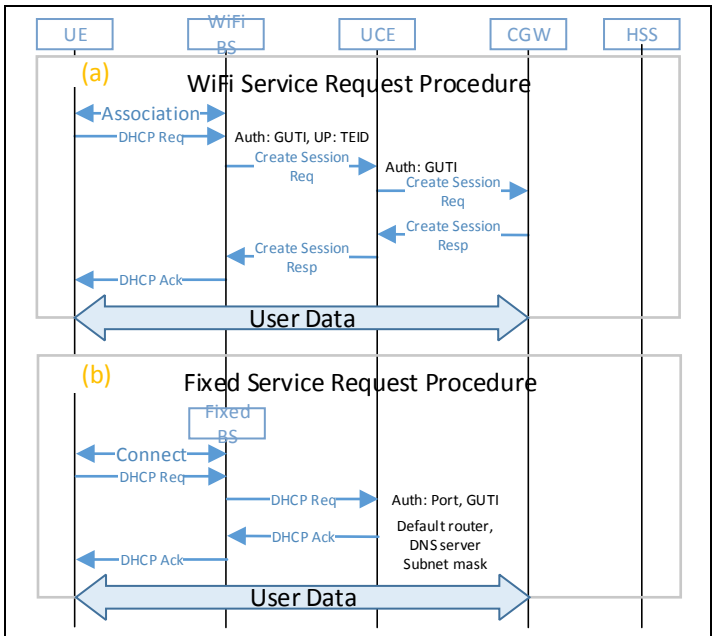



그림 5 유무선 통합 코어망에서의 NAS 프로토콜

## 3. 결론

다양한 접속망 환경에서 접속망의 선택, 접속망간 핸드오버, 둘 이상의 접속망을 사용한 data aggregation 등의 서비스를 이용하기 위한 통합 코어망에서 제안하는 시그널링을 지원함으로써 사업자는 망운용 비용을 절감할 수 있다.

## 4. 참고 문헌

[1] NGMN Alliance, *NGMN 5G White Paper*, March 2015.

[2] Jha, Satish C., et al. "Dual Connectivity in LTE small cell networks." *Globecom Workshops*, pp.1205-1210, 2014.

[3] H. Ishii, Y. Kishiyama, and H. Takahashi, “A novel architecture for lte-b: C-plane/u-plane split and phantom cell concept,” *Globecom Workshops*, pp. 624–630, 2012.

[4] H. Lokhandwala, V. Sathya, and B. R. Tamma. "Phantom Cell Realization in LTE and its performance analysis." *Int’l Conf. on Advanced Networks and Telecommuncations Systems (ANTS)*, 2014.

[5] 신상욱, 홍도원, “3GPP-WLAN interworking 보안 기술,” 제 95 호, pp. 115-125, 2004 년 10 월.

[6] R. Droms, “Dynamic Host Configuration Protocol”, IETF, RFC2131, March 1997

## 5. 기타

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0132-16-1005, 유/무선 액세스에 비종속적인 5G 코어 핵심기술 개발)

# 스마트폰 통신성향을 고려한 TCP 개선방안

이준엽, 김현순, 이웅희, 김황남

고려대학교 전기전자공학과

# Adjusting TCP Algorithm for Smartphone Data Transmissions

Joon Yeop Lee, Hyunsoon Kim, Woonghee Lee, and Hwangnam Kim

School of Electrical Engineering, Korea University

{charon7, gustns2010, tgorevenge, hnkim}@korea.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 저용량 데이터의 전송빈도가 높은 스마트폰의 데이터 통신 성향을 참조하여, 스마트폰의 특성에 알맞은 알고리즘을 제시한다. 본 알고리즘은 리눅스의 Quick ACK 과 Nagle's algorithm 의 조절을 통하여 데이터 통신의 고속화와 체감품질을 향상시키기 위해 개발되었다.

## 1. 서문

최근 스마트폰의 사용량이 증대됨에 따라, 휴대기기를 통한 데이터 통신의 빈도가 증가하고 있다. 스마트폰 어플리케이션에서, 통신이 필요하면서 가장 사용빈도가 높은 어플리케이션을 보면 인터넷과 지도 검색, 게임, 혹은 SNS 이용이 가장 높은 빈도를 차지하며, 이러한 어플리케이션들은 대부분 0.5MB 이하의 저용량 데이터를 불연속 적이고 불규칙한 빈도로 전송하는 통신 성향을 가지고 있다. 저용량 데이터 통신은, 매우 짧은 시간 동안에만 통신하는 경우가 대부분이므로, TCP 로 통신할 경우 Congestion Control 단계로 넘어가기도 전에 Slow Start 단계에서 통신이 끝나는 경우가 대부분이다[1]. 하지만 대부분의 TCP 통신 알고리즘들은 고용량 데이터의 지속적인 전송시에 가장 큰 영향을 주는 Congestion Control 의 개선에 중점을 두었으며, 이러한 저용량 데이터의 불규칙 전송을 고려했다고 보기는 어렵다. 따라서 사용자의 체감 통신품질을 향상시키기 위해서는, 가장 사용 빈도가 높은 상기 어플리케이션의 TCP 통신을 개선하는 것이 필요하다. 또한 스마트폰의 통신환경을 개선하기 위해서는 이러한 전송 데이터의 크기 외에도, 이동성 또한 고려하여야 한다. 스마트폰은 무선으로, 차량, 전철 등의 교통시설 내에서 사용하는 빈도가 높으며, 그만큼 이동성으로 인한 통신 불안정성을 가지게 된다. 이동성으로 인해 handoff 나 통신지역 이탈을 경험할 확률이 높아지므로, 통신시간이 길어지고 지속될수록 사용자의 체감 통신품질은 하향될 수 있다. 따라서 전송속도를 높임으로 써 통신시간 자체를 줄이는 것이 체감 통신품질을 향상시키는 것에 도움이 되며, 최근의 LTE, Wi-Fi 망의 보급률을 생각한다면, 이러한 소량의 데이터를 기존보다 고속으로 보낸다 하여도 회선에 큰 부담이 되지 않는다.

본 논문에서는 이러한 스마트폰의 통신 특성을 고려하여, 저용량 고속통신에 알맞은 TCP 알고리즘을 제시하려 한다. 본 알고리즘은 스트리밍 같은 고용량 데이터의 지속적인 전송 보다는, 게임, SNS, 웹서핑 등에서 발생하는 전송 지속시간이 1 초 이내이거나, 혹은 데이터 크기가 0.5MB 이내인 저용량 데이터의 전송속도 향상을 통해 통신시간을 단축시키는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 고속 데이터 전송을 통해 채널을 사용하는 시간 자체를 줄임으로 써, 이동성에도 대응되고 사용자의 체감 통신품질을 개선하는 것이 가능하리라 생각한다.

## 2. 통신속도 조절 방법

단기적인 통신에서 전송속도를 높이는 방법으로는 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, Slow Start 과정을 변경하면 속도 증가 폭이 너무 크고, 이로 인해 다른 사용자의 통신품질을 크게 해칠 우려가 있다. 혹은 최초 CWND (congestion window)의 크기를 크게 하여 통신을 시작할 수도 있으나, 이는 회선의 통신품질을 전혀 고려하지 않기 때문에 회선의 복잡도만 늘리는 결과를 가져올 수도 있다. 따라서 Congestion Avoidance 가 작동되지 않을 정도의 짧은 통신에서 전송속도를 향상시키기 위해서는, 데이터 전송이 성공하였음을 나타내는 ACK 을 기반으로 전송 속도 컨트롤을 해야 회선의 통신품질을 고려할 수 있다. 송신자가 ACK 을 자주 받도록 함으로 써 그에 따른 CWND 의 크기가 빠르게 늘어나도록 유도한다면 통신 회선과 타 사용자의 통신을 침해하지 않으면서 전송속도를 올릴 수 있다. 이러한 특징을 만족시키기 위해, 본 논문에서는 리눅스의 Quick ACK 과 TCP 의 Nagle's algorithm 을 조정하여, 같은 양의 데이터를 전송하더라도 ACK 을 더 빠르게 자주 받을 수 있도록 유도하는 알고리즘을 제시한다.

## 3. 알고리즘 설명

본 알고리즘은 저용량 데이터 전송인 SNS, 뉴스확인 등의 어플리케이션의 성능향상을 목표로 하고 있다. 따라서 저용량 전송이 필요한 어플리케이션에 선택적으로 적용함으로 써, 스마트폰의 전반적인 체감통신품질을 개선할 수 있으며, 이러한 성능 개선을 실현하기 위해 위해 Delayed ACK 과 Nagle's algorithm 을 조정하였다. 대용량 데이터 전송으로 인해 장기적인 통신이 이루어질 시에는 Delayed ACK 이 효율적이지만, 스마트폰에서 이루어지는 단시간, 저용량 데이터 전송시에는 이러한 Delayed ACK 이 오히려 전송속도를 크게 감소시킬 수가 있다. 이는 데이터 전송량이 적을 수밖에 없는 최초의 통시에도 이러한 문제가 발견되었으며, 이를 해결하기 위해 리눅스에서는 Quick ACK 알고리즘을 사용하고 있다. Quick ACK 은 최초의 2 개의 ACK 에 대해서는 Delayed ACK 알고리즘을 적용하지 않고 ACK 을 즉시 전송하도록 하는 알고리즘이다[2]. 따라서 본 알고리즘에서는 Delayed ACK 을 일시적으로 발동하지 않도록 하는 Quick ACK 알고리즘의 적용범위를 늘렸으며, 이렇게 생성된 다량의 ACK 을 즉시 전송하여 송신자의 CWND 의 크기가 빠르게 커질 수 있도록 유도하기 위해 TCP 에서 기본적으로 사용되는 Nagle's algorithm 을 본 알고리즘에서는 작동하지 않도록 설정 하였다. 기본값인 segment 의 크기가 536B 이므로, 간단한 응답 메시지의 크기를 감안하여 본 알고리즘에서는 Quick ACK 의 적용 값을 기존 값인 2 개의 4 배 값으로 설정하였다. 이를 통해 저용량 데이터 통신시에 항상 Quick ACK 이 적용되도록 하였다. 이 배수는 사용 어플리케이션의 성향에 따라 유연하게 적용한다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 생각한다.

## 4. 실험 환경

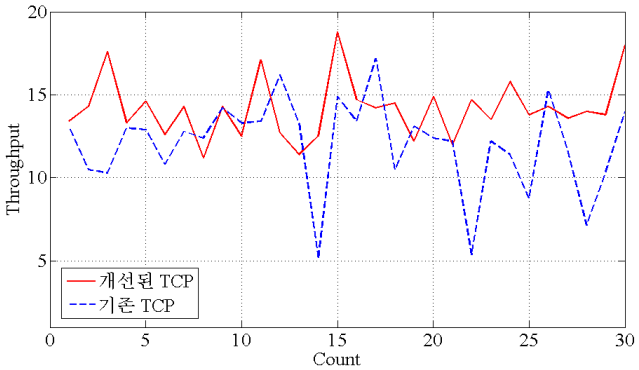
본 알고리즘의 성능을 입증하기 위해, 실제 스마트폰 기기인 갤럭시 넥서스를 활용하여 성능을 입증하였다. 서버 역할을 해줄 odroid 에서 스마트폰 갤럭시 넥서스에 저용량 데이터를 전송하고, 이때의 평균 전송시간과 평균 전송속도를 측정하였다. QuickACK 의 파라미터를 수정한 커널을 갤럭시 넥서스에 탑재하였으며, Nagle's algorithm 을 사용하지 않도록 설정하여 알고리즘이 적용된 상태로 통신을 진행하였다. 사진 전송(0.4MB), 웹서핑(네이버 메인화면의 경우 0.5MB) 구글지도에서 위치 검색(0.41MB) 등의 활동을 고려하여, 0.1MB, 0.3MB, 0.5MB, 1MB 의 데이터 전송을 각각 실행하였고, 이러한 데이터 전송을 30 회씩 실행하였다. 또한 기존의 TCP 방식의 커널이 탑재된 스마트폰으로도 동일한 방식으로 실험하여 전송속도와 전송시간의 평균값을 구하여 결과값을 서로 비교하였다.

[표 1] 평균 전송시간 비교 (sec)

| 데이터 크기 | 기존 TCP | 개선된 TCP |
|---|---|---|
| 0.1MB | 0.107 | 0.100 |
| 0.3MB | 0.267 | 0.207 |
| 0.5MB | 0.367 | 0.300 |
| 1MB | 0.840 | 0.583 |

[표 2] 평균 전송속도 비교 (Mbits/sec)

| 데이터 크기 | 기존 TCP | 개선된 TCP |
|---|---|---|
| 0.1MB | 12.043 | 14.153 |
| 0.3MB | 12.438 | 14.133 |
| 0.5MB | 12.474 | 14.903 |
| 1MB | 12.756 | 14.350 |




[그림 1] 0.1MB 데이터 전송시의 전송속도 변화

## 5. 실험 결과

표 1 에서 보이듯이 총 데이터 전송시간이 줄어들었으며, 표 2 에서 비교하였듯이 실제 전송속도가 증가하였다. 또한 그림 1 에서 보이듯이 기존의 TCP 는 일시적으로 속도가 대폭 저하되는 경우가 있으나, 본 알고리즘을 통해 개선된 TCP 알고리즘에서는 이러한 현상이 없었다.

## 6. 결론

본 논문은 저용량 데이터 전송이 주를 이루는 스마트폰의 통신환경에 어울리는 TCP 통신 알고리즘을 제시하였다. 이를 통해 데이터 전송시간을 감축시켜 사용자의 체감 통신품질을 향상시킬 수 있을 것으로 예상한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1D1A1A01059151)

## 7. 참고 문헌

[1] Zaki, Yasir, et al. "Adaptive Congestion Control for Unpredictable Cellular Networks." *Proceedings of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication. ACM*, 2015.

[2] Ha, Sangtae, and Injong Rhee. "Hybrid slow start for high-bandwidth and long-distance networks." Proc. PFLDnet. 2008.

# SDN 기반 이기종 망에서의 트래픽 제어에 관한 연구

신정완°, 이원진, 이휘영, 정민영*

성균관대학교 정보통신공학부

# Traffic Engineering in the SDN-Based Heterogeneous Network

Jung Wan Shin°, Won Jin Lee, Hwi Young Lee and Min Young Chung*

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

{withmyjw, reign0208, lhy152, mychung}@skku.edu

## 요 약

최근 SDN 기반의 새로운 네트워크 구조를 제공하기 위한 활발한 연구가 진행중이다. 특히, SDN 기반의 네트워크 구조에서는 Global View 를 가지는 중앙 집중형 SDN 컨트롤러를 통해 전체 네트워크를 관리할 수 있기 때문에 트래픽 제어에 대한 연구는 필수적이다. 본 논문에서는 SDN 기반의 이기종 망 환경을 구축하기 위한 시스템 아키텍처 및 ONOS Controller 를 통해 제어 가능한 서비스 우선순위 기반의 트래픽 제어 방법을 제안한다. 이를 통해 SDN 기반의 기업향 네트워크 구조에서 기업 내부 트래픽의 QoS (Quality of Service)를 보장할 수 있다.

## 1. 서론

컴퓨터 네트워크 분야에서 많은 연구자들에게 주목 받는 소프트웨어 정의 네트워킹(Software Defined Networking, SDN)은 데이터 평면과 컨트롤 평면을 분리하고 이를 중앙집중화 된 컨트롤러로 제어할 수 있다. 또한, SDN 은 프로그래머블(Programmable)한 환경을 제공하여 동적으로 네트워크를 구성하거나 관리할 수 있는 특징을 가진다[1]. 이러한 특징을 통해 SDN 은 보다 유연한 네트워크 구조를 제공할 수 있으며, 이를 위해 SDN 기반의 새로운 네트워크 구조에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[2].

트래픽 제어(Traffic Engineering, TE)는 네트워크 관리의 최적화 및 효과적 사용을 위한 핵심 기술이며 기존의 ATM (Asynchronous Transfer Mode), IP (Internet Protocol) 및 MPLS (Multiprotocol Label Switching) 네트워크에서도 꾸준히 연구되어 온 기술이다. 오늘날의 네트워크는 방대한 양의 데이터를 실시간으로 처리하기 위해 더욱 향상된 트래픽 제어기술을 요구한다. SDN 기반의 네트워크 구조는 컨트롤 평면이 분리된 SDN 컨트롤러가 global view 를 가지고 전체 네트워크를 관리할 수 있기 때문에 트래픽 제어에 관한 새로운 패러다임에 대응할 수 있다[3].

본 논문에서는 SDN 기반의 이기종 망 환경에서 서비스 우선순위에 따른 트래픽 제어 방법을 제안한다. SDN 기반 이기종 망 환경의 구축을 위한 OpenFlow, ONOS 및 OpenBTS 에 대해 2 장에서 소개한 뒤 3 장에서는 시스템 아키텍처 및 서비스 제안 기법에 대해 소개한다. 마지막으로 4 장에서는 결론 및 향후 연구계획을 논의한다.

## 2. 관련 연구

OpenFlow 는 SDN 시스템 아키텍처에서 컨트롤 평면과 데이터 평면간의 인터페이스를 제공하기 위해 사용되는 표준 프로토콜이다. Openflow 는 컨트롤러와 스위치 간 통신을 위한 컨트롤 메시지의 규격 및 형태를 정의하며, 플로우 테이블(Flow Table)의 엔트리를 관리한다. OpenFlow 네트워크는 OpenFlow 스위치, Openflow 채널 및 컨트롤러로 구성되며, OpenFlow 스위치는 SDN 컨트롤러로부터 플로우 테이블 정보를 받은 뒤 OpenFlow 채널을 통해 수신되는 패킷을 처리한다[2].

ONOS 는 ON lab 의 주도하에 개발 중인 캐리어 네트워크 급의 SDN 컨트롤러로서 성능, 확장성 및 가용성에 대한 요구를 충족시키기 위한 목적으로 개발된 분산 SDN 컨트롤 플랫폼이다[1]. ONOS 는 Distributed Core 를 통해 확장성 및 높은 가용성을 제공하며, Northbound API 를 지원함으로써 네트워크의 제어, 관리를 위한 Application 개발이 용이하다. 또한, Southbound API 를 통해 OpenFlow 기반의 장비들과 쉽게 연동을 할 수 있도록 지원한다. 또한, 네트워크 토폴로지 뷰(Topology View)를 제공함으로써 관리중인 네트워크의 상태를 쉽게 파악할 수 있다.

OpenBTS 는 Unix/Linux 기반의 오픈 소스 소프트웨어 플랫폼으로서 GSM 네트워크 표준을 구현할 수 있다. USRP(Universal Software Radio Peripheral) 및 GNU 라디오와 연동하여 동작하며 C++ 프로그래밍 언어로 구현된 소프트웨어 모듈은 AGPL 라이선스를 통해 사용 가능하다[4].

## 3. 제안 기법

그림 1 은 SDN 기반 이기종 망에서의 기업향 트래픽 제어를 위한 시스템 아키텍처를 나타낸다. 본 연구를 위한 테스트베드는 네트워크 운용자를 위한 Control Box 및 ONOS Controller, 그리고 OpenFlow 기반의 네트워크로 구성된다. OpenFlow 기반의 네트워크는 OpenvSwitch(OVS), HostAPD 기반의 WLAN AP 및 OpenBTS 로 구성하였다. Control Box 는 전체 네트워크의 상태를 파악하고 ONOS Controller 를 원격으로 제어할 수 있는 Web GUI 및 CLI 인터페이스를 제공한다. ONOS Controller 는 트래픽 플로우 규칙의 생성 및 OpenBTS 와 WLAN AP 로부터 상태 정보를 수집하고 정해진 기준 값 이상의 부하 발생 시, 트래픽 제어를 위한 동작을 수행한다. OVS 는 ONOS Controller 의 명령에 따라 OpenBTS 와 WLAN AP 의 트래픽을 제어한다.

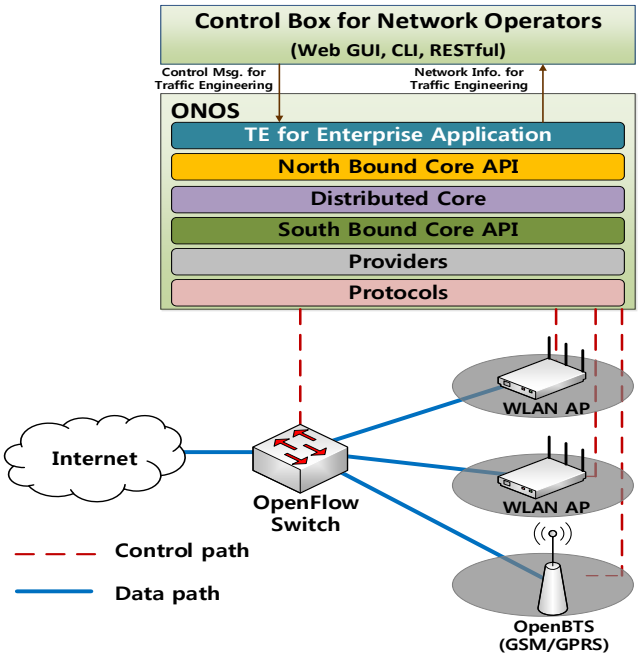



그림 1. SDN 기반 이기종 망에서의 트래픽 제어를 위한 시스템 아키텍처

그림 2 는 서비스 Priority 기반의 트래픽 제어의 예이다. 제안하는 SDN 기반의 이기종 망은 OpenBTS 및 OpenFlow 기반의 WLAN AP 로 구성된 기업 향 네트워크를 대상으로 한다. OVS 는 일정 부하 이상의 트래픽이 발생하는 경우에 ONOS Controller 에게 트래픽 제어를 요청하고, 이 때 사전에 설정 된 서비스 우선순위에 따라서 각 트래픽을 개별적으로 제어한다. ONOS Controller 는 기업 내부 및 외부 트래픽을 구별하고, 각 Application 에서 요구하는 지연 허용량에 따라 서비스 우선순위를 결정한다. 주기적으로 해당 플로우 테이블 정보는 ONOS Controller 가 OVS 에게 제공한 다. 이를 통해 기업 내부 트래픽의 QoS 를 보장 할 수 있다.

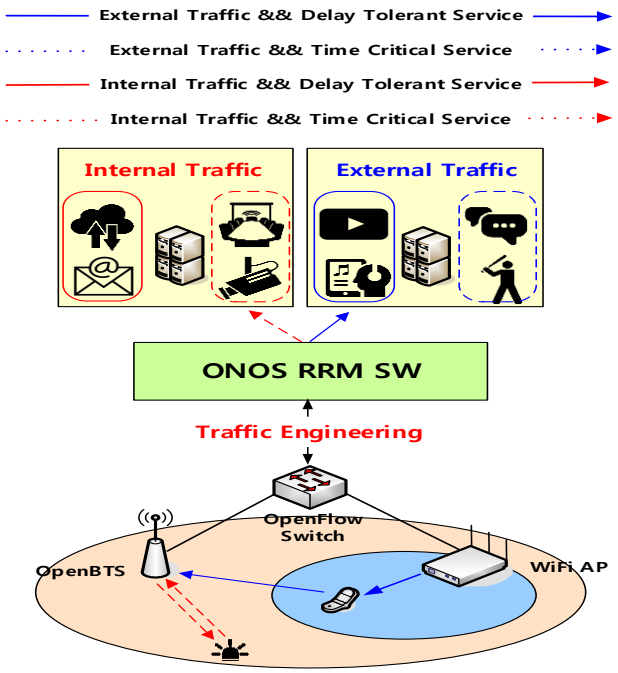



그림 2. 서비스 우선순위 기반의 트래픽 제어 예

## 4. 결론

본 논문에서는 SDN 기반의 이기종 망을 구성하기 위한 시스템 아키텍처 및 ONOS controller 를 통한 서비스 우선순위 기반의 트래픽 제어방법을 제안하였다. 제안 기법을 통해 기업에서 SDN 기반의 네트워크 구축 및 내부 트래픽의 QoS 를 보장 할 수 있다. 향후 연구를 통해 실제 테스트 베드에서의 성능평가를 수행할 예정이다.

## Acknowledgment

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)
교신저자: 정민영(mychung@skku.edu)

## 5. 참고 문헌

[1] 정세연, et al. "다중 컨트롤러 환경에서의 제어 평면 모니터링 및 스위치 배치 방법에 대한 연구." KNOM Review, vol. 18, no. 1,
[2] Yang, Mao, et al. "Software-defined and virtualized future mobile and wireless networks: A survey." Mobile Networks and Applications 20.1 (2015): 4-18.
[3] Akyildiz, Ian F., et al. "A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks." Computer Networks 71 (2014): 1-30.
[4] Mpala, Jacqueline, and Gertjan van Stam. "Open BTS, a GSM experiment in rural Zambia." e-Infrastructure and e-Services for Developing Countries. Springer Berlin Heidelberg, 2012. 65-73.

# 저전력 광역 네트워크 시험 방안 연구

이동호°, 강범구, 장광익

한국정보통신기술협회(TTA) 정보통신시험인증연구소 네트워크시험인증단

# A Study on the Testing Method for Low Power Wide Area Networks

Dongho Lee°, Beom-Ku Kang, Jang Kwang Ick

Network Testing & Certification Dept., ICT Testing & Certification Lab., TTA

ldh7547@tta.or.kr, bk@tta.or.kr, jjkki@tta.or.kr

## 요 약

저전력 광역 네트워크(LPWAN:Low Power Wide Area Networks) 는 저전력, 장거리, 저비용의 특징을 갖는 사물 인터넷을 위한 전용 네트워크이다. 최근 다양한 LPWAN 기술이 등장하여 주도권 경쟁을 하고 있지만 대부분의 기술들은 충분한 검증 방안이 마련되지 않았거나 인증에 대한 정책이 수립되지 않은 상태이다. 본 논문에서는 LPWAN 장비의 기능 및 성능을 검증하여 제품의 신뢰성을 향상시키기 위한 시험 방안을 제안한다.

## 1. 서론

사물 인터넷(Internet of Things)을 위한 전용 네트워크 기술로 LTE(Long-Term Evolution) 이동통신기술이나 WPAN(Wireless Personal Area Network)과 같은 기존 기술들이 거론되었지만 해당 기술들은 사물 인터넷 전용 네트워크의 요구사항에 부합하지 않는 부분이 존재한다. 즉, LTE 이동통신기술은 장거리 전송이 가능하다는 장점이 있으나 사물 인터넷을 운용하기에는 비용이 많이 든다는 단점이 있고 WPAN 기술은 저전력으로 동작하며 비교적 저비용이라는 장점이 있으나 도달거리가 짧아 인프라 구축에 어려움이 있다. 사물 인터넷을 위한 전용 네트워크는 장기간 동작을 위해 저전력으로 동작하여야 하고 저비용으로 운영가능하여야 하며 장거리 전송이 요구된다. 이에 따라 기존 네트워크 기술의 단점을 보완하고 보다 사물 인터넷에 특화된 저전력 광역 네트워크(LPWAN:Low Power Wide Area Networks) 전용 기술의 필요성이 대두되고 있다 [1].

LPWAN 의 대표적인 기술로는 LoRaWAN, Sigfox, Weightless, Ingenu 가 있다 [2]. 해당 기술들은 각기 다른 물리 계층 기술을 사용하였기 때문에 도달거리, 전송속도 등의 특징이 다양하지만 장거리 전송, 저전력 동작에 적합하게 설계되었으며 사물 인터넷을 위한 전용 네트워크 분야의 핵심 기술로 자리잡기 위하여 노력하고 있다. 하지만 위의 기술들은 대부분 신생 기술이기 때문에 충분한 검증 방안이 마련되지 않았으며 인증에 대한 정책 또한 완벽히 수립되지 않은 상태이다. LPWAN 기능을 탑재한 사물 인터넷 장비는 다양한 제조업체에서 다양한 방법으로 개발될 것이기 때문에 프로토콜 적합성 및 상호운용성 시험과 같은 검증 절차가 선행되어야 시장에서 신뢰를 얻을 수 있다. 따라서 해당 분야 기술의 검증, 시험 방안에 대한 연구 및 시험 도구 개발이 활발히 이루어져야 한다.

본 논문에서는 LPWAN 기술의 검증을 위한 시험 방안을 제안하였다. 제안하는 시험 방안은 LPWAN 기술의 공통적인 특징을 바탕으로 설계한 테스트베드, 프로토콜 및 서비스 검증 방안, 시험 절차 예시를 포함하고 있다.

## 2. 관련 연구

LoRa Alliance 에서는 2015 년 LPWAN 를 위한 개방형 표준인 LoRaWAN 을 제정하였다. LoRaWAN 은 End Device, Gateway, Network Server 로 구성되며 스타 토폴로지 구조를 사용하여 동기화 오버헤드를 줄일 수 있다. LoRa Alliance 에서는 2016 년 1 월 LoRaWAN 인증 프로그램을 론칭하여 현재 인증 시험을 제공하고 있다 [3].

Sigfox 는 2009 년 프랑스에서 사물 인터넷을 위한 저전력 네트워크의 필요에 의해 설립된 기업으로 가장 먼저 사물 인터넷을 위한 네트워크 서비스를 제공하였다. Sigfox 는 ETSI GS LTN 표준을 준용하고 있으며 Sigfox 장비를 위한 자체 인증 프로그램을 제공하고 있다 [4].

Weightless 는 Weightless SIG 에서 제정한 LPWAN 을 위한 개방형 표준으로 주파수 대역 및 특성이 각기 다른 세가지 표준을 정의하였다. Weightless 네트워크는 End Device, Base Station, Management System 으로 구성되며 End Device 와 Base Station 의 양방향 통신에 각기 다른 기술을 적용하였다 [5].

기존에 On-Ramp 라는 이름을 사용하였던 Ingenu 는 RPMA(Random Phase Multiple Access) 기술을 사용하

는 LPWAN 기술이다. Ingenu 는 스마트 그리드를 위한 저전력 인프라 모니터링에 적합하게 설계되었으며 다른 LPWAN 기술과 다르게 2.4 GHz 대역을 사용하므로 타 네트워크 신호와의 간섭 문제, 높은 주파수에서 발생하는 전파 손실 문제가 고려되어야 한다 [6].

## 3. LPWAN 시험 방안

본 논문에서는 LPWAN 구성을 End Device, Gateway, Server 로 이루어진 구조로 가정한다. 이와 같은 구조에서 LPWAN 시험을 위한 테스트베드 구성은 그림 1 과 같다.

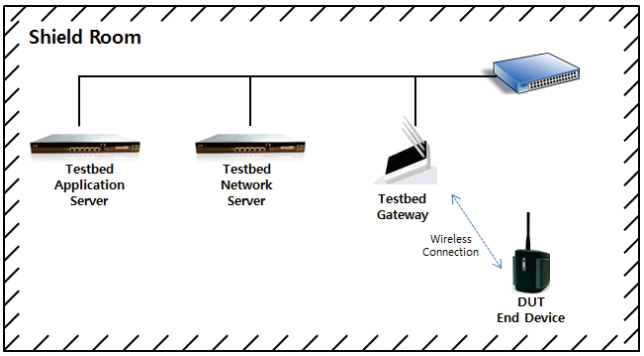



그림 1. 테스트베드 구성도

Testbed Application Server 에는 네트워크 시험을 위한 프로파일이 정의되어 있으며 사용자에 의해 특정 시험 항목에 대한 수행 명령을 Testbed Network Server 에 전달하는 역할을 한다. Testbed Network Server 는 Testbed Application Server 와 유선으로 연결되며 시험 수행 명령을 위한 메시지 혹은 LPWAN 네트워크 전용 메시지를 Testbed Gateway 에 전달한다. Testbed Network Server 와 유선으로 연결된 Testbed Gateway 는 Testbed Network Server 의 메시지를 무선을 통해 End Device 에 전달하거나 End Device 로부터 메시지를 전달받는 역할을 한다. 시험하고자 하는 End Device 인 DUT(Device Under Test)에는 LPWAN 통신 프로토콜 상단에 네트워크 시험을 위한 응용 계층 프로토콜이 구현된다. LPWAN 시험은 전파 간섭을 피하기 위하여 차폐실에서 이루어진다.

LPWAN 프로토콜은 네트워크 접속 및 관리, 데이터 송수신, 파라미터 설정 및 확인과 같은 일반적인 통신 프로토콜 적합성 시험 항목과 이에 따른 세부 동작을 검증하는 시험항목으로 구분하여 시험할 수 있다. 위의 시험 항목 이외에 특정 LPWAN 기술에만 존재하는 기능에 대해서는 사용자가 직접 프로파일을 정의하여 사용하도록 한다. 표 1 은 LPWAN 의 일반적인 시험 항목을 나타낸다.

LPWAN 응용서비스는 End Device 에서 Server 까지 연동시험을 통해 상호운용성을 확인할 수 있다. 즉 DUT 는 탑재된 서비스에서 정의한 동작에 맞게 데이터를 송수신할 수 있어야 하며, 그 결과를 적절히 Testbed Application Server 에 전달할 수 있어야 한다.

표 1. LPWAN 기본 시험 항목

| 대항목 | No. | 소항목 |
|---|---|---|
| Connection | 1 | 접속 및 연결 확인 |
| Management | 2 | MAC 관리 기능 확인 |
| Data Transmission | 3 | Uplink 데이터 전송률 |
| | 4 | Downlink 데이터 전송률 |
| Network Parameters | 5 | 네트워크 파라미터 설정 |
| | 6 | 네트워크 파라미터 확인 |

그림 2 는 LPWAN 시험 항목 중 Connection 시험의 동작 예시이다. 시험은 Testbed Application Server 에서 시험 항목에 대한 Test_Start 메시지를 송신하는 것으로 시작된다. Test_Start 메시지를 수신한 DUT 는 시험 항목 따라 정의된 동작을 수행하고 시험 결과 및 DUT 의 현재 파라미터를 Test_Report 메시지를 통해 Testbed Application Server 에 전달한다.

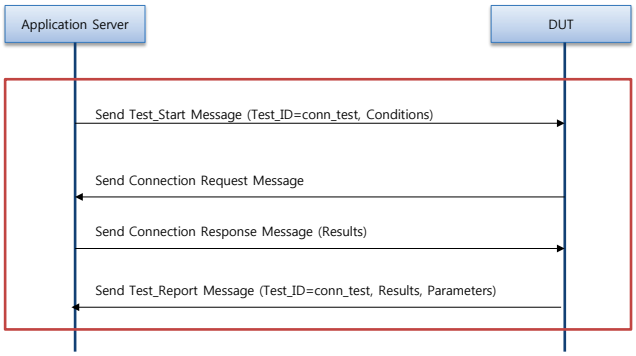



그림 2. LPWAN 프로토콜 시험 예시

## 4. 결론

본 논문에서는 LPWAN 기술의 검증을 위한 시험 방안을 제안하였다. 제안하는 시험 방안을 위한 테스트베드는 LPWAN 의 공통적인 특징을 고려하여 End Device, Gateway, Server 의 3 단 계층화 구조로 설계하였으며 시험 수행을 위한 모듈이 Testbed Application Server 와 DUT 에 구현되어 사용자의 요구에 의하여 시험 항목별로 시험을 수행하고 결과값을 얻을 수 있다.

## 5. 참고 문헌

[1] M. Monton, *IoT Connectivity and Solutions*, World Sensing, 2014.
[2] Link Labs, *A Comprehensive Look at Low Power, Wide Area Networks for Internet of Things Engineers and Decision Makers*, White Paper, 2016.
[3] LoRa Alliance, https://www.lora-alliance.org/.
[4] Sigfox, http://www.sigfox.com/.
[5] Weghtless, http://www.weightless.org/.
[6] Ingenu, http://www.ingenu.com/.

# 노드들 간의 기하학적 위치관계를 이용한 측위 성능 개선 방안에 대한 연구

이병호°, 김영준, 김성철

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소

# A Study of the Localization Algorithm Considering the Geometrical Placement of Nodes

Lee Byeong Ho°, Kim YoungJoon, Kim Seong-Cheol

Department of Electrical and Computer Engineering and Institute of New Media & Communication, Seoul National University

bhlee@maxwell.snu.ac.kr, cylton@maxwell.snu.ac.kr , sckim@maxwell.snu.ac.kr

## 요 약

본 논문은 무선 센서 네트워크 환경에서 다수의 앵커 노드들을 사용하여 타겟 노드를 추정하는 과정에서 노드들 간의 지리적 배치 특성을 고려하여 위치 추정 정확도를 향상시키는 방법에 대한 연구이다. Linear Least Square 기법으로 타겟 노드의 위치를 추정할 때, 높은 측위 정확도를 보장하는 앵커 노드의 집합이 다소 부정확한 위치를 추정할 수 있는 집합으로 분해 가능할 경우, 각 집합에서의 추정위치와 지리적 특성으로부터 계산되는 GDOP 값의 성분을 이용하여 타겟 노드의 위치 추정값을 보정하는 방법을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 실제 타겟의 위치와 추정된 위치 간의 Mean Square Error 를 분석하였다.

## Ⅰ. 서 론

실내와 같이 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 사용하기 어려운 환경에서 노드의 위치를 추정하기 위해 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)를 이용한 거리기반 위치 추정 방법을 활용할 수 있다. 거리를 추정하기 위한 방법으로 RF 의 전파속도를 이용한 TOA(Time of arrival)방식과 수신 신호 세기를 나타내는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하는 방식이 있으며 이러한 방법으로 추정된 거리들을 이용하여 LLS(Linear Least Square)등의 추정 알고리즘을 통해 타겟 노드의 위치를 특정할 수 있다[1].

일반적으로 추정위치의 정확도를 향상시키기 위해서는 많은 수의 앵커 노드를 사용하면 된다. 하지만 앵커 노드의 수를 과도하게 늘리면 계산량이 많아지고, 거리정보가 정확하지 않은 앵커 노드가 포함되어 성능이 나빠지는 문제가 생길 수 있다[2]. [2]에서는 높은 정확도를 보장하는 앵커노드 집합 선택 기법에 대해 제안하고 있으며, GNSS 를 사용하는 환경에서는 지리적 특성을 고려하여 GDOP 값이 최소가 되도록 하는 위성을 선택하는 기법에 대한 선행연구들이 존재한다[3].

이전의 방법들에서는 GDOP 값을 기준으로 선택된 앵커 노드들의 집합을 한 번에 사용하여 거리를 추정하는데, 본 논문에서는 앵커 노드의 집합이 적절한 하위 집합으로 분할될 경우에 이를 이용하여 타겟 노드의 위치를 추정하고, GDOP 성분값에 기반하여 보정을 할 경우 위치 추정 성능이 향상될 수 있음을 보인다.

논문의 II 절에서는 WSN 환경에서 거리기반 추정을 하는 과정과 GDOP 의 영향에 대해 설명하고 III 절에서는 지리적 특성을 고려하여 앵커 노드의 집합을 분할하여 타겟 노드의 위치를 추정하는 방법을 제안한다. IV 절에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 검증하고 V 절에서 결론을 내린다.

## II. RSSI 를 이용한 위치 추정 방법과 GDOP

타겟의 위치 $(x, y)$, $i$ 번째 앵커 노드의 위치를 $(\mathrm{x_i}, \mathrm{y_i})$라 할 때, 타겟 노드에서 측정되는 $i$번째 앵커 노드의 신호세기는 식 (1)과 같다.

$$\text{RSSI [dBm]} = P_0 - 10n\log_{10}(d_i/d_0) + X_{\sigma_i} \qquad (1)$$

$P_0$는 송신 파워, $n$은 path loss exponent, $d_0$는 reference distance 이며 $d_i$는 타겟 노드와 앵커 노드 사이의 거리이다. $X_{\sigma_i}$는 shadowing noise 로 로그스케일에서 분산 $\sigma^2$ 인 가우시안 분포를 갖는다. 식 (1)로부터 추정 거리의 Maximum likelihood estimate 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\widehat{d_i} = 10^{\left(P_0 - \mathrm{RSSI} + X_{\sigma_i}\right)/(10n)} \qquad (2)$$

즉, 식 (3)으로부터 타겟 노드의 위치를 추정할 수 있는데, 주어진 앵커집합으로부터 least square error 가 최소가 되도록 하는 추정 위치 $(\hat{x}, \hat{y})$ 값을 찾기 위해 LLS 또는 변형된 LS 기법을 사용한다.

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} \hat{d}_1 \\ \vdots \\ \hat{d}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_2)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

세 개 이상의 앵커 노드의 집합과 타겟 노드의 위치 관계로부터 GDOP 값을 얻을 수 있는데, GDOP 값은 식 (3)으로부터 유도된 식 (4)에서 식 (5)와 같이 정의할 수 있다[4].

$$\begin{bmatrix} \sigma_x^2 & cov(x,y) \\ cov(y,x) & \sigma_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \sigma_r^2 \quad (4)$$

$$\text{GDOP} = \sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}/\,\sigma_r = \sqrt{G_{11}+G_{22}} \quad (5)$$

$\sigma_x^2$와 $\sigma_y^2$는 각각 추정 위치의 $x, y$성분의 오차 분산, $\sigma_r^2$ 은 측정 거리의 오차 분산 값이다. 이로부터 $G_{11}, G_{22}$ 값은 각각 측정거리오차에 대한 $x, y$성분들의 오차의 민감도로 해석할 수 있다.

## III. 노드간의 지리적 특성을 이용한 위치 추정 기법

최고의 정확도를 보장하는 앵커 노드 다수가 존재할 때, 노드들을 서로 다른 GDOP 성분 값을 갖는 집합들로 분할할 수 있을 경우, 각각의 분할된 집합으로 타겟 노드의 위치를 추정하고, 기존의 LLS 방식으로 추정된 위치를 이용하여 계산한 각 집합의 GDOP 성분값 $G_{11}, G_{22}$들을 비교하여 $x$ 축, $y$ 축 방향의 민감도를 분석한다. 그 뒤 낮은 민감도를 갖는 성분이 높은 가중치를 갖도록 최종 추정 위치를 계산한다. 예를 들어 6 개의 앵커 노드를 3 개씩 2 개의 집합으로 분할한다면, 각 집합에서 추정된 위치 좌표값을 각각의 $G_{11}, G_{22}$값으로 비례배분 한다.

## IV. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션을 위해 $n$=3, $\sigma^2 = 9$인 실내 WSN 환경을 가정한다. 10 m × 10 m 정사각형 공간에 내접하는 원 위에 균등한 거리를 갖도록 6 개의 앵커 노드들을 배치한다. 앵커 노드를 모두 사용하여 LLS 알고리즘으로 타겟 노드의 위치를 추정하는 방법과 앵커 노드들을 홀수, 짝수 번째로 나누어 제안한 알고리즘을 사용해 추정하는 방법의 결과를 분석하였다. 타겟 노드가 항상 (0, 0)에 위치한 경우, 매 시행마다 공간 내의 임의의 위치에 있는 경우에 대해 10 만 번의 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하였다.

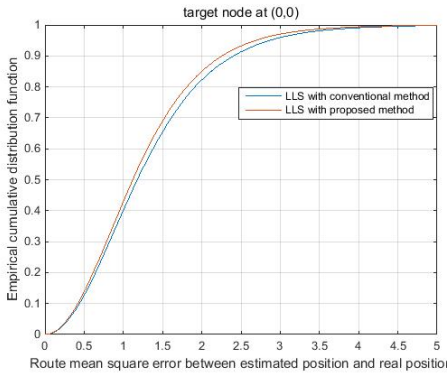



**그림 1 타겟이 (0,0) 에 존재할 경우**

그림 1 은 타겟 노드가 항상 (0,0)에 존재할 때의 시뮬레이션 결과이다. 타겟 노드가 (0,0)에 위치할때 6 개의 앵커 노드들의 집합에 대한 GDOP 값은 0.8164, 정삼각형을 이루는 3 개의 앵커 노드들과의 GDOP 값은 1.154 이며 앵커 노드들과 타겟 노드 사이의 거리는 같으므로, 6 개의 앵커노드를 사용하는 것이 LLS 의 가장 높은 정확도를 보장하는 상황이다. 시뮬레이션 결과 제안한 방법으로 앵커 노드들을 3 개씩 그룹화하고 GDOP 성분을 바탕으로 추정 위치를 보정한 결과가 평균 5% 가량 더 높은 정확도를 보임을 확인할 수 있다.

일반적인 상황을 가정하기 위해 타겟 노드를 설정한 공간 내의 임의의 지점에 배치시켜 시뮬레이션 한 결과, 그림 2 와 같이 제안한 방법으로 위치 추정을 하는 것이 정확도가 더 높음을 확인할 수 있다.

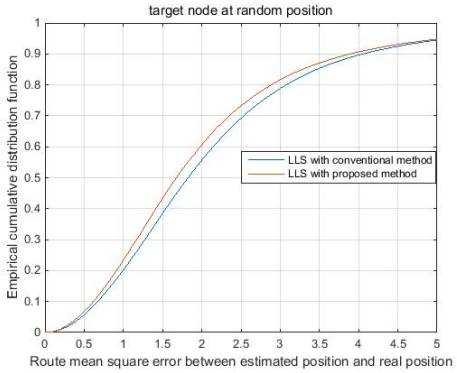



**그림 2 타겟이 임의의 위치에 존재할 경우**

## V. 결론

본 논문에서는 타겟 노드의 위치추정을 위해 정확도를 보장하는 여러 개의 앵커 노드가 사용 가능할 때에, 앵커 노드의 집합을 적절히 분할하여 추정한 타겟노드의 위치를 GDOP 성분에 따라 재결합하여 정확도를 높이는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘이 기존의 모든 노드를 한꺼번에 사용하는 방식보다 5~6%가량 높은 정확도를 보임을 검증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

## VI. 참고 문헌

[1] Neal Patwari, "Locating the Nodes : Cooperative localization in wireless sensor networks," IEEE signal processing magazine, Vol. 22 pp. 54-69, July 2005.

[2] 이정규, 김영준, 김성철, "추정거리에 따른 송신기 선택 방법 연구," 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집, pp 107-108, 2012 년 11 월.

[3] M. Kiharam and T. Okada, "A satellite selection method and accuracy for the global positioning system," *J. Inst. Nav.*, vol. 31, no. 1, pp. 8–20, 1984.

[4] 김영준, 소형민, 김성철," 앵커 노드의 위치 부정확성을 고려하는 GDOP 기반 위치 추정 기법," 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집, pp 226-227, 2015 년 6 월.

# 다차원척도법 기반 측위 시스템에서의 추정위치 보정 기법 연구

유원태°, 김성철

서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

# Correction of Estimated Locations for Localization using Multidimensional Scaling

Yu Won Tae°, Kim Seong Cheol

Department of Electronical and Computer Engineering and INMC, Seoul National University

drakens, sckim@maxwell.snu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 다차원척도법을 이용한 위치 추정 기술에 대해 알아보고, 추정 위치의 오차를 보정하는 기법에 대해서 연구하였다. 다차원척도법은 센서 노드들 간의 연결 정보를 이용하여 노드들의 위치를 추정하는 기술이다. 노드 간의 거리 정보를 통하여 위치 추정이 이루어지나, 부정확한 거리 정보에 의해 추정 위치의 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 다차원척도법을 이용하여 추정된 위치의 오차를 보정하는 기법을 제시하고, 모의실험을 통하여 오차 보정 기법의 성능을 분석하였다.

## 1. 서론

최근 사물인터넷에 대한 관심이 증대되면서, 다양한 관련 기술들이 개발되고 있다. 이에 따라 생활편의 서비스의 제공을 위한 측위 기술이 많이 활용되고 있다. 위치 추정 기술에는 전파 수신강도를 기반으로 하는 FingerPrinting 방식[1]이나 시간 지연을 이용한 TOA(Time of Arrival)와 TDOA(Time Difference of Arrival)[2] 방식, 노드간의 연결 정보를 이용한 다차원척도법[3]이 있다. 이 중에서도 다차원척도법은 노드 간의 상대적 관계를 알아내어 위치를 추정하기 때문에 다른 기법들과 달리 Anchor node(AN)가 적은 환경에도 적용 가능하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경을 가정하고 다차원척도법을 이용하여 각 노드들의 위치를 추정하고, 제안한 기법을 이용한 보정 결과와 비교하여 성능 분석을 진행하였다.

## 2. 다차원척도법을 이용한 위치 추정

N 개의 노드들이 배치되어 있는 센서 네트워크 환경을 가정한다. 각 노드 간의 연결 정보를 $\{\delta_{ij}\}_{i,j=1}^{N}$라 정의하며, 아래의 식과 같이 각 노드 간의 거리 값이 된다.

$$\delta_{ij} = \mathrm{d}_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{(x_i - x_j)^T (x_i - x_j)}$$

$x_i$는 노드 $i$ 의 위치 좌표를 의미한다. 각 거리의 제곱 성분 $d_{ij}^2 = x_i^T x_i - 2x_i^T x_j + x_j^T x_j$ 은 각 노드 간의 내적 형태로 표현할 수 있다. 각 좌표의 제곱 벡터를 $\psi = \{x_1^T x_1, \cdots, x_N^T x_N\}$라 할 때, 거리 제곱의 행렬 $D = \left[d_{ij}^2\right]_{i,j=1}^{N}$ 은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$D = \psi e^T - 2\mathrm{X}^T X + e\psi^T$$

$e$는 모든 값이 1 인 $N$ 차원 벡터이며, $X$는 노드들의 좌표 벡터이다. 위의 행렬 양쪽에 centering operator $H = I - ee^T$를 곱하게 되면,

$$B = -\frac{1}{2}HDH = HX^T XH$$

이 된다. 아래와 같이 $B$의 특이값분해(Singular Value Decomposition, SVD)를 통하여 각 노드의 좌표를 구할 수 있다.

$$B = V\Lambda V^T = V diag\left(\lambda_1, \cdots, \lambda_N\right) V^T$$

$$X = V\Lambda^{1/2} = diag\left(\lambda_1^{1/2}, \cdots, \lambda_N^{1/2}\right) V^T$$

하지만, 다차원척도법을 이용한 위치 추정은 각 노드 간의 모든 거리 정보가 필요한 단점을 가지고 있다. 만약 통신 범위 밖의 노드가 존재하는 경우, 최단 거리 홉 카운트 기법으로 거리 정보를 얻어야 하는 문제가 발생하며, 이는 위치 추정 정확도에 큰 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 위치 보정 기법을 제시하고자 한다.

## 3. 추정 위치 오차 보정 기법

위의 과정을 통해 구해진 노드의 위치 정보는 기본적으로 오차를 지니고 있어 이용하기 어려운 문제가 있다. 따라서 AN들의 정확한 위치 정보 및 위

치 관계를 통해 보정 거리 및 보정 각도를 구하여 추정 위치를 보정하고자 한다.

다차원척도법으로 구한 노드 $k$ 좌표와 AN 간의 거리를 $\hat{d}_{ik}$, 초기 홉 카운트로 구한 거리를 $d_{ik}$ 라 할 때, 두 추정 거리의 차 $e_{ik} = d_{ik} - \hat{d}_{ik}$ 를 계산한다. $e_{ik}$가 작을수록 해당 AN 에 가깝고 거리 정보가 정확하다고 볼 수 있다. 따라서 제일 작은 $e_{ik}$를 보정 거리로 한다. 각 AN $i$ 와 이루게 되는 각도 $\hat{\theta}_{ik}$는 tan 의 역함수로 구할 수 있으며, 이를 보정 각도로 사용한다. 이 값들을 이용하여 아래의 식과 같이 위치를 보정하게 된다.

$$\hat{x}_{k,1} = x_{k,1} - \sum_i w_{ik} e_{ik} cos(\hat{\theta}_{ik})$$

$$\hat{x}_{k,2} = x_{k,2} - \sum_i w_{ik} e_{ik} sin(\hat{\theta}_{ik})$$

$\hat{x}_{i,1}$과 $\hat{x}_{i,2}$는 각각 x 좌표와 y 좌표를 나타낸다. $w_{ik}$는 AN 으로부터 구한 각 $e_{ik}$에 대해 서로의 차이에 대한 가중치를 나타내며, 각 AN 의 보정 각도에 따른 방향으로 보정 거리를 적용하여 위의 식에 따라 추정 위치를 보정하게 된다.

## 4. 모의실험 결과

모의실험은 노드의 통신 반경을 15m 이라 하였을 때, 50m × 50m 크기의 실내 환경을 가정하였다. 각 가장자리에 4 개의 Anchor node 를 배치하고, 노드들의 밀도와 거리 오차에 대하여 삼각측량법과 기존의 다차원척도법과 성능 비교를 하였다.

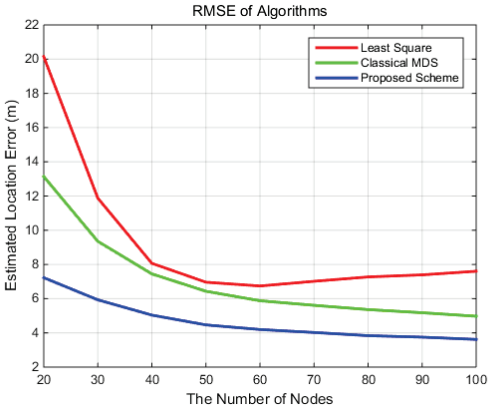



그림 1. 노드 개수에 따른 성능 변화 비교

그림 1 은 추정 거리 오차가 10%인 환경에서 노드 수에 따른 성능 비교 그래프이며, 그림 2 는 노드의 수가 50 개인 환경에서 노드 간 추정거리 오차에 따른 성능 변화를 비교한 그래프이다. 노드 수가 증가함에 따라 노드 간 추정거리가 비교적 정확해지기 때문에 측위 정확도가 향상된다. 하지만 삼각측량법은 노드와 AN 간 홉의 증가로 거리 오차가 증가하여 측위 정확도가 오히려 하락하는 모습을 보였다. 추정 거리 오차가 커지는 경우, 모든 기법에서 정확

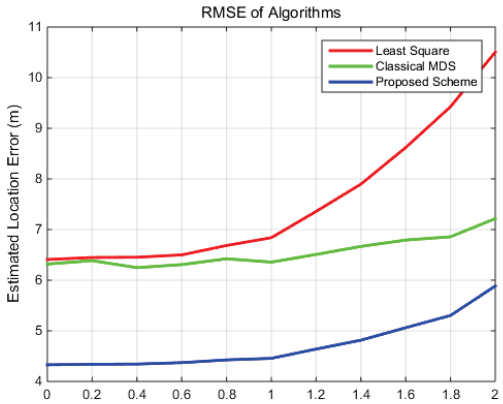



그림 2. 추정 거리 오차에 따른 성능 변화 비교

도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 보정 기법을 적용한 경우, 상황에 따라 기존의 다차원척도법보다 정확도가 약 2~6m 향상되는 것을 확인하였다. 또한, 추정거리 오차가 낮은 환경에서는 환경 크기 대비 10% 이하의 오차를 갖는 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문은 위치 추정 정확도 향상을 위한 다차원척도법에서의 위치 보정 기법에 대하여 연구하였다. 적은 Anchor node 들의 수에도 각 노드 간의 연결 관계를 통하여 위치를 추정할 수 있는 장점이 있으나, 부정확한 거리 정보에 의하여 추정 위치 오차가 전체적으로 발생하게 된다. 따라서, 정확한 위치를 알고 있는 anchor node 들과의 정보를 이용하여 각 연결 관계를 통해 추정된 위치를 보정하는 연구를 진행하였으며, 모의실험을 통하여 측위 정확도가 향상된 것을 확인할 수 있었다.

Acknowledge

This research was supported by a grant to Bio-Mimetic Robot Research Center funded by Defense Acquisition Program Administration

## 6. 참고 문헌

[1] Kaemarungsi, K.; Krishnamurthy, P., "Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting," in Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, pp.14-23, Aug. 2004

[2]Guowei Shen; Zetik, R.; Thoma, R.S., "Performance comparison of TOA and TDOA based location estimation algorithms in LOS environment," in *Positioning, Navigation and Communication, WPNC 2008.* , vol., no., pp.71-78, 27-27 March 2008

[3] Yi Shang; Rumi, W.; Ying Zhang; Fromherz, M., "Localization from connectivity in sensor networks," in *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on* , vol.15, no.11, pp.961-974, Nov. 2004

# Matrix Completion for IoT Localization

Luong T. Nguyen°, Sangtae Kim, Jinhong Kim, Wonjun Kim, Jian Wang, Yunquan Dong, Byonghyo Shim
Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University
{ltnguyen, stkim, jhkim, wjkim, jwang, ydong}@islab.snu.ac.kr, bshim@snu.ac.kr

## 1. Introduction

Recently, Internet of Things (IoT) has received much attention for its plethora of applications, such as healthcare, surveillance, automatic metering, and environmental monitoring. In sensing the environmental data (e.g. temperature, humidity, and object movements), wireless sensor network consisting of hundreds to thousands sensor nodes is popularly used [1], [2]. In order to make a proper reaction to the collected environmental data, location information of sensor nodes should be available at the data center [3]. Since the action in IoT networks, such as fire alarm, energy transfer, emergency request, is made primarily on the data center, an approach to identify the location information of whole nodes at the data center has received much attention in recent years. In this approach, henceforth referred to as localization at data center, each sensor node measures the distance information of adjacent nodes and then send it to the data center. Using the obtained distance information, data center constructs a map of sensor nodes [2]. In measuring the distance, various approaches, such as received signal strength indication (RSSI), difference time of arrival (TDoA), and angle of arrival (AoA), can be used. These approaches are simple and effective in measuring the short-range distance and also can be applied for indoor environments.

## 2. Matrix Completion over Smooth Riemannian Manifold

In this section, we present the proposed CGL-SRM algorithm to recover the Euclidean distance matrix from the partial known entries. In this algorithm, we exploit the smooth manifold structure of the low-rank symmetric PSD matrices to transform the matrix completion problem in (3) into an unconstrained optimization problem on the Riemannian manifold. Loosely speaking, smooth manifold is a generalization of Euclidean space on which the notion of a differentiability exists. For more rigorous definition, see, e.g., [4]. A smooth manifold together with an inner product, often called a Riemannian metric, forms a smooth Riemannian manifold. Since the smooth Riemannian manifold is a differentiable structure equipped with an inner product, all the necessary ingredients for solving optimization problems with quadratic cost function, such as Riemannian gradient, Hessian matrix, exponential map, and parallel translation can be well defined (see [4] and the references therein).

**Lemma I.** *When $n$ sensor nodes are distributed in $k-$dimensional Euclidean space and $n \geq k$, then $rank(\boldsymbol{D}) \leq k+2$.*

$$\begin{cases} \min\limits_{\tilde{\boldsymbol{D}} \in \mathbb{R}^{n\times n}} \frac{1}{2}\left\| \mathcal{P}_E\left(\tilde{\boldsymbol{D}}\right) - \boldsymbol{D}_{obs} \right\|_F^2 \\ s.t. \quad rank\left(\tilde{\boldsymbol{D}}\right) \leq k+2 \end{cases} \tag{1}$$

Noting that the rank constraint ($rank\left(\tilde{\boldsymbol{D}}\right) \leq k+2$) is always true by Lemma I, (1) can be simplified to

$$\min_{\tilde{\boldsymbol{X}} \in \mathbb{R}^{n\times k}} \frac{1}{2}\left\| \mathcal{P}_E\left(\kappa(\tilde{\boldsymbol{X}}\tilde{\boldsymbol{X}}^T)\right) - \boldsymbol{D}_{obs} \right\|_F^2$$

Recalling that $\boldsymbol{Y} = \tilde{\boldsymbol{X}}\tilde{\boldsymbol{X}}^T$, we further have $\min\limits_{\boldsymbol{Y}\in\mathcal{Y}} \frac{1}{2}\|\mathcal{P}_E(\kappa(\boldsymbol{Y})) - \boldsymbol{D}_{obs}\|_F^2$ where $\mathcal{Y} = \{\tilde{\boldsymbol{X}}\tilde{\boldsymbol{X}}^T : \tilde{\boldsymbol{X}} \in \mathbb{R}^{n\times k}\}$. In what follows, we discuss the manifold structure of $\mathcal{Y}$.

Since we assume that sensor nodes are randomly distributed in k-dimensional Euclidean space (i.e., entries of $\boldsymbol{X}$ are i.i.d.), rank($\boldsymbol{X}$) = $k$ almost surely. Thus, we can strengthen the constraint set $\mathcal{Y}$ to $\mathcal{Y} = \left\{\tilde{\boldsymbol{X}}\tilde{\boldsymbol{X}}^T : \tilde{\boldsymbol{X}} \in \mathbb{R}^{n\times k}, rank\left(\tilde{\boldsymbol{X}}\right) = k\right\}$ and the modified problem is $\min\limits_{\boldsymbol{Y}\in\mathcal{Y}} f(\boldsymbol{Y})$, where $f(\boldsymbol{Y}) = \frac{1}{2}\|\mathcal{P}_E(\kappa(\boldsymbol{Y})) - \boldsymbol{D}_{obs}\|_F^2$. Now, if we define $\mathcal{S} = \{\boldsymbol{U} \in \mathbb{R}^{n\times k} : \boldsymbol{U}^T\boldsymbol{U} = \boldsymbol{I}_k\}^2$ and $\mathcal{L} = \{eye([\lambda_1 \dots \lambda_k]^T) : \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k \geq 0\}$, then an element $\boldsymbol{Y} \in \tilde{\mathcal{Y}}$ can be expressed as $\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{Q}\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{Q}^T$ where $\boldsymbol{Q} \in \mathcal{S}$ and $\boldsymbol{\Lambda} \in \mathcal{L}$. That is, $\tilde{\mathcal{Y}} = \{\boldsymbol{Q}\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{Q}^T : \boldsymbol{Q} \in \mathcal{S}, \boldsymbol{\Lambda} \in \mathcal{L}\}$.

Our approach to solve the problem in a smooth manifold is beneficial in two major respects: First, one can easily compute the gradient of the cost function of $f(\boldsymbol{Y})$ using the matrix calculus. Second, we can therefore design the unconstrained optimization algorithm on the smooth Riemannian manifold $\mathcal{Y}$.

In the proposed CGL-SRM method, we solve the problem in (7) using the CG method. Note that CG method is effective in solving sparse symmetric positive definite systems.

## 3. References

[1] M. Delamo, S. Felici-Castell, J. J. Perez-Solano, and A. Foster, "Designing an open source maintenance-free environmental monitoring application for wireless sensor networks," J. Syst. Software, vol. 103, pp. 238–247, 2015.
[2] A. Pal, "Localization algorithms in wireless sensor networks: Current approaches and future challenges," Network Protocols and Algorithms, vol. 2, pp. 45–74, 2010.
[3] P. Rawat, K. D. Singh, H. Chaouchi, and J. M. Bonnin, "Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies," J. Supercomput., vol. 68.1, pp. 1–48, 2014.
[4] P. A. Absil, R. Mahony, and R. Sepulchre, Optimization Algorithms on Matrix Manifolds. Princeton University Press., 2008.

## Acknowledge

This work was partly supported by the Brain Korea 21 Plus Project in 2015, the ICT R&D program of MSIP/IITP [B0126-15-1017, Spectrum Sensing and Future Radio Communication Platforms] and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government(MSIP)(2014R1A5A1011478)

# Precise Localization in Tunnel Environment using Visible Light Communication

Amirul Islam°, Mohammad Arif Hossain, Nam Tuan Le, Chang Hyun Hong, Trang Nguyen, and Yeong Min Jang†

Department of Electronics Engineering, Kookmin University, Korea

°amirul.0903118@gmail.com, †yjang@kookmin.ac.kr

## Abstract

Precise localization has become an attractive topics navigations, position aware systems, and accident minimization for vehicular or tunnel environment. For outdoor localization, GPS is well established but in indoor it has become a challenging task, as GPS cannot work in indoor environment. Most of the modern day's communication use radiofrequency (RF), Wi-Fi, Infrared (IR), Bluetooth and Ultra Wideband (UWB) technology for indoor localization. However, visible light communication (VLC) is an emerging communication technology for indoor localization. Because VLC can transmit data for communication and provide illumination simultaneously. However, indoor positioning system based on VLC is advantageous compared to existing RF technology, Wi-Fi, infrared, and ultrasound for high security, high capacity, and no multipath and electromagnetic interferences. In this paper, we have proposed a precise localization technique for indoor environment, especially in tunnel environment. As in recent days, lot of accidents are taking away the lives of people working in tunnel of indoor environments.

## 1. Introduction

During the last decades, localization has become an attractive issue both indoor and outdoor localization. In outdoor environment, GPS is the best way of positioning and has been used in numerous ways. However, GPS cannot be used in indoor environments because of the signals are heavily attenuated and reflected by building materials, Electromagnetic waves will be scattered, has significant path loss. However, indoor localization has become very significant issues for indoor navigation services, autonomous robot control, sensor applications, monitoring, and automotive safety concerns [1], [2]. However, many researchers have proposed alternative solutions for indoor using RFID, Bluetooth, Ultrasound, infrared, etc [3], [4]. These techniques are not suitable for accurate positioning. Infrared (IR) [5] positioning system is a simple indoor positioning approach. Nevertheless, IR based positioning system has short range and they need many sensors to be installed that makes IR system very costly. Radiofrequency (RF) based localization systems are the most popular and used methods as they used existing wireless local area network (WLAN) [6]. They have multipath and overlapping problems, position error, etc.

Visible light communication is an emerging medium in optical wireless communication (OWC) for indoor positioning which uses visible light [7], [8]. Visible light offers many integral advantages over radiofrequency (RF) systems. One of them is that they do not penetrate to the buildings, which allows precise detection. Furthermore, lights are less affected by multiple path effects than RF, and they are less interfered by other wireless systems and the electromagnetic spectrum. With the combination of illumination and communication, VLC allows ubiquitous communication while taking away the limitations of RF communication. In VLC, the information are transmitted by modulating the intensity of an optical source that operates in the visible range. The visible light operates in the frequency band ranging from 400 THz to 800 THz while radio frequency operates from 3 kHz to 300 GHz. In VLC user can easily receive information by simply pointing an image sensor or mobile phone towards the light sources. VLC can be used in power line communication, indoor communication, vehicle-to-vehicle communication, underwater communication, distributed lighting, remote monitoring and control, etc. In this paper, we proposed a new challenging precise localization approach in the tunnel environment. As in recent days, many accidents are happening in railroad or tunnel environment due to lack of precise communication between the control center and the worker working in the indoor environment.

## 2. Proposed Methodology

Localization in indoor environment has been becoming a challenging problem in recent years. Many solutions are being proposed but these methods have their own limitation for indoor positioning. In this paper, we have

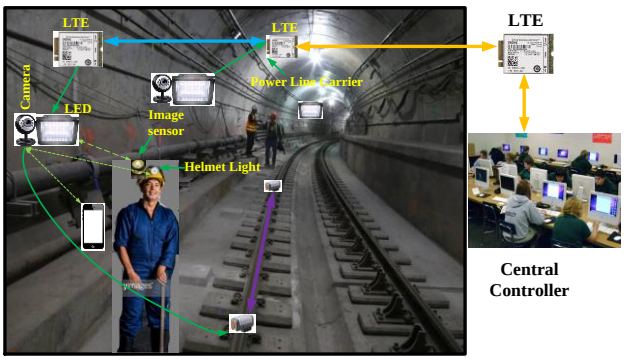



Figure 1: Proposed Architecture for Indoor Localization in Tunnel Environment

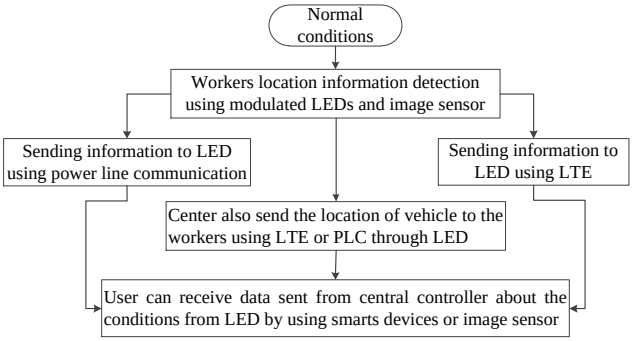



Figure 2: Flow diagram of workers location information detection using modulated LEDs and image sensor

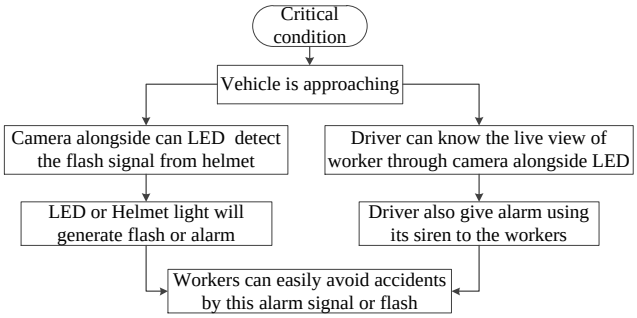



Figure 3: Flow diagram for critical condition in tunnel environment to avoid accidents

proposed a novel approach for precise indoor localization for tunnel environment as in tunnel there has been a lot of accidents for lack of secure and precise localization and communications between users or workers and central controller. Our proposed architecture has been illustrated in figure 1. From figure 1, we can see that the system is comprised of visible lights (e.g.; LEDs), PLC (power line carrier), LTE (Long-Term Evolution) line, camera, and a central controller to monitor and control the whole system. The central controller communicates with the system through LTE and the power line carrier (PLC). The center can transmit the details information of the current conditions by transmitting modulated signal through LEDs. The users or workers can receive the information about the vehicle or anything by only pointing image sensors or smart devices. We have divided our proposed approach into two steps: one is normal stage and another is critical stages when vehicle are coming. Figure 2 and figure 3 represents the flow diagram of our proposed approach for normal and critical conditions respectively. In step 1, the worker and the central controller can learn their position through PLC, visible lights, and LTE. The center can broadcast the position of the vehicle to the worker through LTE by modulating the lights about the detail information of the vehicle. Then the user can receive the information by simply pointing smart devices or image sensors. In step 2 (critical condition), when the vehicles are near to the workers, the workers need to go in safe conditions in order to avoid accidents. The driver can learn the condition of workers from the live view of the camera alongside the data broadcasting LEDs. Then in critical condition driver can give alarm siren to the workers. In another way, the image sensors can receive the information from LEDs and then can flash the LEDs of worker helmets or give the flash signal to avoid accidents. Therefore, we can provide a precise localization of workers working in tunnel environment through our proposed approach.

## 3. Conclusion

In this paper, we have proposed a precise indoor localization approach in tunnel environment to ensure authentic and precise communication between workers working in indoor environment and the control center. This approach will easily remove the limitations of existing RF or IR based indoor localization techniques. We have proposed visible light-based communication techniques where the lights have been modulated to transmit the required data. Then user can easily receive the information by simply pointing image sensor or smart devices.

## Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2013057922).

## 4. References

[1] K. Al Nuaimi and H. Kamel, "A survey of indoor positioning systems and algorithms," in proceedings of International Conference on IIT, pp. 185-190, 2011.

[2] M. A. Al-Ammar *et al*., "Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms," in proceedings of International Conference on Cyber worlds (CW), pp. 245-252, 2014.

[3] A. Yazici, U. Yayan, and H. Yucel, "An ultrasonic based indoor positioning system," in proceedings of Int. Symp. on Innovations in Intelligent Systems and Applications, pp. 585–589, Jun. 2011.

[4] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001

[5] D. Kreiser, D. Martynenko, O. Klymenko, and G. Fischer, "Simple and efficient localization method for IR-UWB systems based on two-way ranging," in proceedings of International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), pp. 1-4, Apr. 2015.

[6] A. Aguilar-Garcia, S. Fortes, R. Barco, and E. Colin, "Enhancing localization accuracy with multi-antenna UHF RFID fingerprinting," in proceedings of International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-9, Oct. 2015.

[7] P. H. Pathak, Xiaotao Feng, Pengfei Hu, and P. Mohapatra, "Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2047-2077, 2015.

[8] M. Yasir, Siu-Wai Ho, and B. N. Vellambi, "Indoor Positioning System Using Visible Light and Accelerometer," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 32, no. 19, pp. 3306-3316, Oct. 2014.

# 이종망에서 다중경로 TCP의 성능 비교

김민섭, 이승현, 이재용, 김병철
충남대학교 전파정보통신공학과
{loveharry28, pse9564, jyl, byckim}@cnu.ac.kr

## 1. 서론

최근 들어 2개 이상의 인터페이스를 제공하는 이동 단말을 통해 다중 경로 TCP를 사용하여 강인성과 더 좋은 성능을 얻는 방안에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 다중 경로 TCP는 IETF를 통해 표준화가 이루어지고 있으며 실제 다양한 운영 체제 하에서 구현되어 있으나 이종 특성을 가지는 망에 적용되었을 경우 RTT 및 대역폭의 차이로 인해 원하는 결과를 얻지 못할 수도 있다[1][2]. 본 논문에서는 이종 망에서 다중 경로 TCP를 사용하여 짧은 데이터를 다운로드 할 경우 전체 다운로드 시간을 분석하고 그 결과를 비교하여 성능에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

## 2. 이종망에서의 다중 경로 TCP 성능 분석

본 논문에서는 클라이언트 단말이 먼저 subflow 1을 $R_1$의 대역폭 및 $RTT_1$의 특성을 가지는 망을 통해 시작하고 향후 $R_2$및 $RTT_2$의 특성($RTT_2=\delta * RTT_1$)을 가지는 망을 통해 subflow2를 추가할 경우 O(bytes)의 크기를 가지는 object를 다운로드 하는데 걸리는 시간을 분석하고자 한다. 각 subflow로 전송되는 세그먼트의 크기는 S-bytes라고 하고 인터넷 트래픽의 주를 차지하는 small download를 분석하고자 slow start 구간 동안 트래픽의 다운로드가 완료된다고 가정한다. 이러한 가정을 바탕으로 이종 망에서의 다중 경로 TCP 성능을 분석하면 아래와 같다. 먼저 RTT 및 R 대역폭을 가지는 단일 경로 TCP로 O = x*S의 크기를 갖는 object를 다운로드 하는 데 걸리는 시간은 [3]에 따르면 아래와 같다

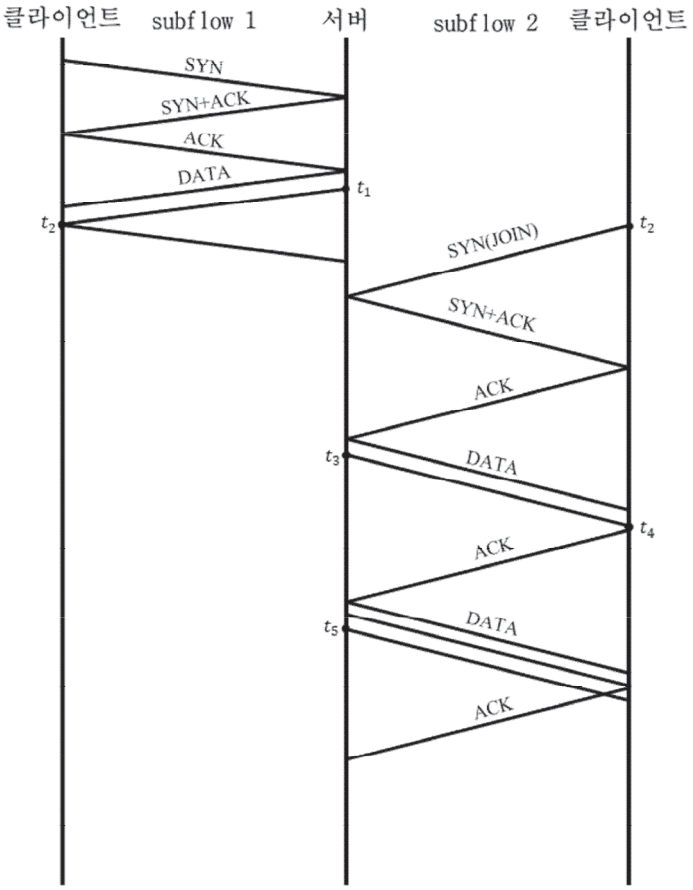
$$D=\frac{x \cdot S}{R}+2RTT+\sum_{k=1}^{P}\left[\frac{S}{R}+RTT-2^{k-1}\frac{S}{R}\right]$$
$$=\frac{x \cdot S}{R}+2RTT+P[RTT+\frac{S}{R}]-(2^{P-1})\frac{S}{R} \quad (1)$$

$$P=\min(K-1.Q)$$
$$K=\lceil \log_2(1+x) \rceil$$

$$Q=\left\lceil \log_2(1+\frac{R}{S}RTT) \right\rceil$$

위에서 K는 object크기에 따른 slow start 라운드 수를 나타내고 Q는 주어진 slow start 라운드 동안 ACK를 수신하기 전까지 세그먼트를 전송하고 idle 한 시간이 주어지는 최대 라운드 수를 나타낸다.

한편 <그림 1>에서 보는 바와 같이 다중 경로 TCP를 사용한 다운로드 시간은 위에서 언급한 환경과 같이 먼저 RTT가 짧은 subflow 1을 시작하고 그 후 RTT가 긴 subflow2를 시작할 경우 아래와 같다. 서버로부터 각 subflow로 전송되는 세그먼트의 수를 구하면




<그림 1> 다중 TCP 데이터 전송 절차

$t_3-t_1$동안 subflow 1으로 전송되는 세그먼트의 수는

$$K_1=\max(k,\frac{k}{R_1}S+RTT_1+\sum_{n=1}^{m}(\frac{S}{R_1}+RTT_1-\frac{2^n}{R_1}S)$$
$$\leq \frac{S}{R_2}+(1+1.5\delta)RTT_1$$

$K_1$개 이며

$$m=\min(m_1,m_2)$$
$$m_1=\lceil \log_2(K_1+2) \rceil-2$$
$$m_2=\left\lceil \log_2(1+\frac{R_1}{S}RTT_1) \right\rceil-1$$

따라서 Object의 크기를 세그먼트 크기의 $x$배라고 할 때 (즉, $O=x \cdot S$) $x \leq (1+K_1)$이면 single TCP로 전송했을 때와 동일한 download time을 가지

며 그 값은 (1)식에서 구할 수 있다. 한편, $t_5-t_2$동안 subflow 1으로 전송되었으나 $t_4$전에 도착한 세그먼트는 $t_4$에 subflow 2에서 세그먼트가 도착할 때 상위계층으로 전달된다. $t_5-t_3$동안 subflow 1으로 전달된 세그먼트의 수가 $K_2$개 이면

$$K_2 = \max(k, \frac{k \bullet S}{R_1} + RTT_1 + \sum_{n=1}^{m}(\frac{S}{R_1} + RTT_1 - \frac{2^n}{R}S)$$
$$\leq \frac{3}{R_2}S + (2.5\delta+1)RTT_1$$

이고 $(1+K_1) < x \leq (1+K_2)$이면 서버가 $RTT_1$으로 $(1+K_2)$개의 세그먼트를 전송하여 클라이언트에 도착하는 delay와 $t_4$ 시간 값 중 큰 값의 지연시간을 가지게 된다. 이러면 다운로드 시간의 분석은 slow start가 유지하는 데이터 크기 내에서 반복적으로 계산할 수 있으며 이에 대한 성능 결과는 다음과 같다.

## 3. 다중 경로 TCP 성능 결과

$O = 1000 \bullet S$ 이고 $RTT_2 = \delta \bullet RTT_1$이며 $\delta$ = 10일 경우 또한 R1=R2=100Mbps이고 $RTT_1$=10msec, $RTT_2$=100msec이라고 가정하면 100Mbps, 10msec 단일 TCP의 download시간 D는 188.6msec이 된다. 한편 MPTCP를 사용하여 1000개의 세그먼트를 다운로드하는 경우 지연시간은 subflow 1으로 997개의 세그먼트가 다운로드되는 시간 $D_1$과 subflow 2로 3개의 세그먼트가 다운로드 되는 시간 $D_2$의 최대값이 되면 $D_1$=188.2msec $D_2 \cong$ 320msec가되어 320msec의 download 시간을 가진다. 즉, MPTCP를 사용하는 경우 작은 크기의 트래픽에 대해 RTT가 긴 경로에 때문에 작업 종료까지의 다운로드 시간이 길어지는 문제가 발생할 수 있다. 향후 분석 결과 검증을 위한 다양한 지연 시간 및 대역폭을 가지는 경우에 대한 실험이 향후 진행 될 예정이며 ns-3를 통한 시뮬레이션과 비교 검증 될 예정이다.

## 4. 결론

다중 TCP를 사용하여 성능을 향상시키고 전송 신뢰성을 향상시키기 위한 노력이 이루어지면서 이종 망에서 발생할 수 있는 순서 어긋남이나 bufferbloat 문제 등도 연구가 이루어지고 있다. 이종 망의 경우 추가되는 subflow의 특성이 기존에 비해 매우 이질적일 경우 작은 크기를 가지는 트래픽 전송에서 문제를 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이종 망을 가지는 망에서 작은 크기의 트래픽을 다운로드 하는데 걸리는 시간을 분석하여 다중 TCP가 가질 수 있는 문제를 살펴보았으며 향후 다양한 환경에서 이러한 분석과 시뮬레이션을 비교 검증할 것이다. 또한 이러한 문제점을 해결하기 위한 MPTCP 계층에서의 흐름제어 및 혼잡 제어, 순서 제어 방안을 제시할 것이다.

## 5. 참고 문헌

[1] Yung-Chih Chen and Don Towsley, “On Bufferbload and Delay Analysis of MultiPath TCP in Wireless Networks”, 2014 *IFIP*

[2] Fan Yang, Qi Wang and Paul D. Amer, “Out-of-order Transmission for In-order Arrival Scheduling for Multipath TCP”, Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2014 28th International Conference

[3] Computer Networking Top-down Approach, James Kurose and Keith Ross, $3^{rd}$. ed., Chapter 3. Transport Layer

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 한국연구재단 이공학개인기초연구지원 지역대학우수과학자 이원사업의 일환으로 수행하였음

[과제명: LTE 기반 차세대 철도 무선망에서의 서비스 품질 및 핸드오버 연구]

# RPL 노드 오작동에 효율적으로 대응 가능한 하향 재전송 기법

김상현°, 백정엽*, 고정길, 고영배

아주대학교 소프트웨어특성화학과, 컴퓨터공학과

중앙대학교 컴퓨터공학부*

# Fast Rerouting Scheme for Non-storing Mode-based RPL Networks with Faulty Nodes

Sang-Hyun Kim°, Jeongyeup Paek*, JeongGil Ko, and Young-Bae Ko

Department of Software Engineering and Department of Computer Engineering, Ajou University

*School of Computer Engineering, Chung-Ang University

sanghyun@uns.ajou.ac.kr, jpaek@cau.ac.kr, jgko@ajou.ac.kr, youngko@ajou.ac.kr

## 요 약

RPL 은 사물인터넷 통신을 위해 네트워크 계층에서 활용 되는 인터넷 표준 IPv6 라우팅 프로토콜이다. 트리 기반 라우팅의 특징을 갖는 RPL 은 상향 라우팅 중심으로 설계 되었으며, 하향 라우팅 경로 상 노드의 손실 및 오작동 시 대체 경로 선택이 어려운 취약점을 갖는다. 본 연구는 RPL 하향 라우팅 방식 중 하나인 Non-storing 모드 운용 중 오작동 노드 발생 시 신속하게 융통성 있는 대체 경로 선택이 가능하도록 하는 재탐색 및 재전송 기법과 전역 최적화 기반 경로 선택 및 재전송 기법을 제안한다.

## 1. 서론

IETF RPL 은 루트 노드를 기준으로 트리 형태의 DODAG(Destination Oriented Directed Acyclic Graph)을 구성하여 라우팅을 수행한다. 루트 노드로 향하기 위한 라우팅은 상향 라우팅(Upward Routing), 루트 노드 이하의 자식 노드들로 향하기 위한 하향 라우팅(Downward Routing)이라고 칭한다 [1].

RPL 의 하향 라우팅을 위한 MOP(Mode of Operation)는 Storing 모드와 Non-storing 모드로 크게 분류할 수 있다. Storing 모드는 트리를 구성하는 중간 노드들 각각에 하향 라우팅의 책임을 분산하는 반면, Non-storing 모드에서는 하향 라우팅의 경로 설정에 대해 오로지 루트 노드에 의존하게 된다. Storing 모드는 네트워크 오버헤드를 줄이는 데 이점이 있으나 다수의 라우팅 상태를 저장해야 한다. 때문에 제한된 메모리를 가진 노드들은 Non-storing 모드로 동작하는 것이 더 적합하며, 사물인터넷 네트워크에서 지향하는 저렴하고 소형화된 장비들은 Non-storing 모드를 지원하도록 설계될 가능성이 높다 [2].

## 2. 관련 연구 및 문제점

RPL 은 상향 라우팅에 중점을 두고 설계된 트리 기반 라우팅 특징을 가지며[3], 하향 라우팅 상 경로 관리 측면에서 취약성을 가지고 있다. 상향 라우팅에서는 경로 상에 선호 부모 노드가 방전, 손실, 오동작 등의 이유로 데이터를 전달하지 못할 경우, 그림 1 에서 보이는 것과 같이 다른 부모를 이용하여 상향으로의 라우팅이 가능하다.

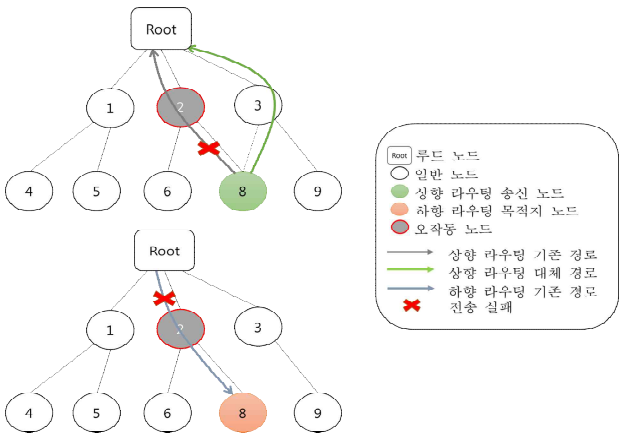



그림 1. 오작동 노드 발생 시나리오 상의 상향 및 하향 라우팅 동작 차이

하지만 하향 라우팅의 경우, 대체 경로 선택을 위한 정보를 루트 노드 혹은 중간 노드가 저장하지 않기 때문에 즉각적인 대체 경로 탐색이 불가능하다.

Non-storing 모드 기반의 DODAG 의 경우, 경로 상 노드의 오작동이 발생하면 루트 노드에서는 기존의 경로를 대체할 경로를 탐색할 수 없다. 그로 인해 오작동 노드를 경로로 활용하는 모든 패킷은 루트 노드 내의 오작동 노드 관련 라우팅 항목이 시간만료되거나 새로운 DAO 를 수신하기 전까지 상당 시간 동안 손실될 수 밖에 없다.

## 3. 제안 기법

본 연구는 상기 명시된 문제에 주목하여 Non-storing

모드 활용 시 하향 패킷에 대한 손실을 완화할 수 있는 FR (Fast-Rerouting) 기법을 제안한다. FR 기법의 수행 절차는 다음과 같다.

1. 루트 노드 상 대체 경로 설정을 가능하도록 하기 위해 각 노드는 DAO 의 Transit Information Option 에 가용한 모든 부모 집합의 주소를 포함한다.

2. CSMA/CA 과정 중 패킷 손실을 감지한 노드는 루트 노드로 링크 목적지 노드에 대한 ICMPv6 UNREACHABLE 메시지를 전달한다. 이는 방전된 노드 연관 링크를 라우팅 항목에서 제외하는 역할을 수행한다.

3. 오작동 노드 관련 링크를 제외하고 기존 목적지에 대한 역경로(Reverse-route)를 탐색하여 재전송을 수행한다.

위의 FR 기법을 적용함으로써, 루트 노드는 각 노드의 부모 노드 주소 정보들을 이용한 하향 라우팅 대체 경로 구성이 가능해진다. 그러나 본래 RPL Non-storing 모드에서의 하향 라우팅은 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)으로 지역 최적화(Local-Optimal)한 경로를 구성한다. 이러한 지역 최적화 기반의 라우팅 경로는 최종목적지로 향하기 위한 이전 노드를 결정하기 위해 경로의 전체 코스트를 고려하지 못하며, 재전송 경로 선택에 융통성(Flexibility) 저하를 야기한다. 예를 들어, 특정 노드로 향하는 링크를 선택하는 후보군이 부모 노드로 한정되어 실제로는 다른 노드(예: 자식 또는 형제 노드)를 거쳐 도달 가능한 경로가 존재함에도 활용 못하는 상황이 생긴다.
이를 고려하여 본 연구에서는 기본 FR 기법을 향상시킨 전역최적화(Global-Optimal) FR 기법을 추가적으로 제안하였다. 전역 최적화한 경로 선정을 위해, DODAG 을 구성하는 노드들은 Transit Information Option 에 자신의 이웃 노드 집합의 주소를 포함한다. 또한 UNREACHABLE 메시지나 새로운 DAO 를 수신한 경우에 다익스트라 알고리즘(Dijkstra Algorithm) 연산을 통해 전역 최적화 연산을 수행하며, 전역 최적화 경로를 하향 라우팅과 재전송에 이용한다. 그림 2 는 FR 과 전역최적화 FR 을 이용했을 경우 각각의 운용 방식을 보여준다.

## 4. 실험 및 성능 분석

실험에는 다양한 표준 프로토콜을 실 구현한 IoT 운영체제인 Contiki OS 를 이용하였다. 기존 Contiki OS 상의 RPL 에 표준 Non-storing 모드를 구현한 후, 기본 재전송 기법과 전역최적화 재전송 기법을 구현하여 실험을 수행하였다. 그림 3 은 DODAG 구성이 완료된 후, 4 개의 토폴로지 각각에서 오작동 노드 시뮬레이션을 위해 임의의 노드 5 개의 라디오 전원을 OFF 시킨 후 데이터 전송을 수행했을 때의 성능 비교 결과를 보여준다. 보이는 바와 같이 기존의 Non-storing 모드에 비해 FR 은 향상된 성능을 보이며, 전역최적화 알고리즘을 추가했을 시 효율적인 경로 설정을 통해 다양한 데이터 패킷 간격 기반의 실험에서 패킷 수신율을 최대화 할 수 있다. 향후 전역최적화 알고리즘 활용을 통한 연산량 증가에 따른 네트워크 성능에 대한 추가 연구를 진행 할 예정이다.

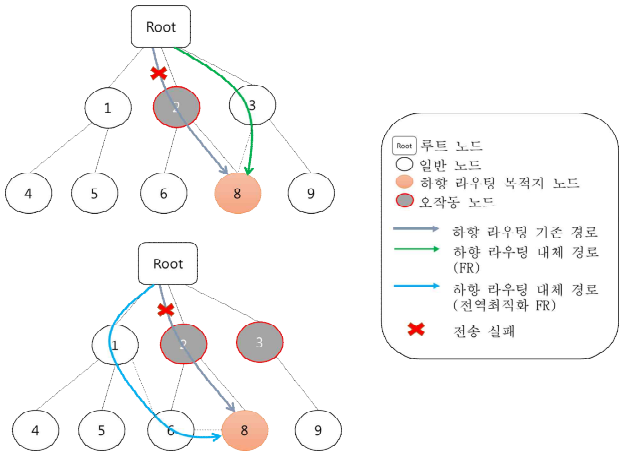



그림 2. 손실 노드 발생 시나리오 상의 FR 과 전역최적화 FR 동작

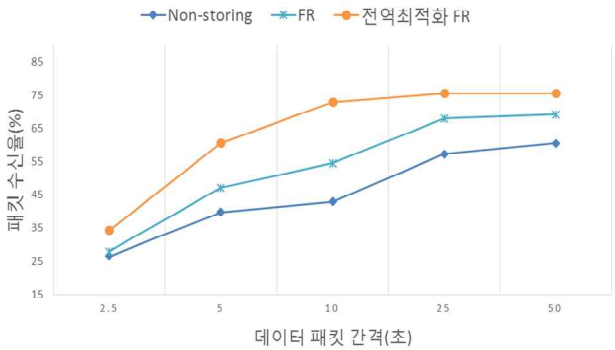



그림 3. 평균 하향 데이터 패킷 수신율 비교

## 5. 결론

RPL 은 사물인터넷에서 널리 쓰일 인터넷 표준 라우팅 프로토콜임에 틀림없다. 하지만 RPL 이 형성하는 DODAG 은 Multipoint-to-point 에 초점을 맞추고 있으며 [3], 이러한 특징은 사물 인터넷에서 사용될 다양한 서비스 요구를 충족시키기에 부족할 수 있다. 제안 기법은 RPL 의 이러한 취약점을 보완하여 사물 인터넷 시장에서 신뢰성 있는 전송을 수행할 수 있도록 기여할 것이다.

## 6. 참고문헌

[1] Winter, T. et al, IETF RFC 6550, 2013, 1–157.
[2] J. Ko et al, “DualMOP-RPL: Supporting Multiple Modes of Downward Routing in a Single RPL Network,” ACM Transactions on Sensor Networks, vol. 11, no. 2, pp. 39:1–39:20, Mar. 2015.
[3] J. Vasseur et al, "RPL: the IP routing protocol designed for low power and lossy netwroks" Internet Protocol for Smart Object (IPSO) Alliance, White Paper, 2011.

# 애드 혹 네트워크 환경에서의 시간동기화 기법

정지영°, 신윤재, 김영재, 유의성, 공으뜸, 이찬재, 이정륜
중앙대학교 전자전지공학과
jiyoung@cau.ac.kr, yunjae@cau.ac.kr, youngj89@cau.ac.kr, uiseong12@cau.ac.kr, etkong@cau.ac.kr, cjleeno22@cau.ac.kr, jrlee@cau.ac.kr

## 1. 서론

한정된 에너지 자원을 이용해 오랜 시간 동안 네트워크를 유지해야 하는 애드 혹 네트워크 환경에서 필수적인 에너지 효율적 통신 프로토콜을 구현하는데 있어 시간 동기화는 모든 노드가 동일한 시간 정보를 가지게 하는 중요한 역할을 한다 [1-2]. 본 논문에서는 특정 노드에 의존하지 않고 수신하는 모든 비컨 신호를 이용해서 노드 스스로 시간 동기를 실행함으로써 이동 노드들의 수가 많은 환경에서도 효율적으로 동작하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

## 2. 본문의 작성

비컨 인터벌에 따른 시간 프로세스를 다음과 같이 표현하였다.

$$T(n) = \beta * nT_B + T(0) \quad (1)$$

여기에서 $n$은 몇 번째 인터벌인지 표현하는 양의 정수, $T_B$는 비컨 신호 주기, $\beta$는 한 비컨 인터벌에 얼마나 어긋났는지를 표현하는 skew time 이다. 본 연구에서 노이즈는 고려하지 않고 초기 drift 시간만을 고려하였다.

앞서 제시한 비컨 인터벌에 따른 시간 프로세스와 군집 모델(Flocking model)을 적용한 분산처리 방식의 제안하는 시간 동기화 알고리즘 Time Synchronization Procedure Toward Average (TSPTA)는 자기수정(Self-correcting) 절차와 지역평균(Local Averaging) 절차에 의해 이루어지며 수도 코드는 다음과 같다.

TSPTA Algorithm

**Start Beacon Interval**(all nodes in the network){
  $\tilde{T}_i^{ini}(n) = \tilde{T}_i^{ini}(n-1) + \beta_i \cdot T_B + \Delta_i(n-1)$
  //node $i_{th}$ time information at the start of $n^{th}$ beacon interval
  //$\beta_i \cdot T_B$ ; the internal frequency
  //$\Delta_i(n-1) = \Delta_i^{sc}(n-1) + \Delta_i^{avg}(n-1)$
}
**Self-Correcting**(all nodes in the network){
  $\Delta_i^{sc}(n)$
  // be determined by node i's the latest time variation by Local Averaging
  $\tilde{T}_i^{sc}(n) = \tilde{T}_i^{ini}(n) + \Delta_i^{sc}(n)$
  // node $i_{th}$ time information after the Self-Correcting procedure
}
**Beacon Contention Window**(all nodes in the network)
**Local-Averaging**(all nodes in the network){
  $\Delta_i^{avg}(n)$
  // be obtained through the average of all received beacon signals
  $\tilde{T}_i^{avg}(n) = \tilde{T}_i^{sc}(n) + \Delta_i^{avg}(n)$
  //node $i_{th}$ time information after the Local Averaging procedure
}
**End Beacon Interval**(all nodes in the network){
  $\tilde{T}_i^{ini}(n+1) = \tilde{T}_i^{ini}(n) + \beta_i \cdot T_B + \Delta_i(n)$
  //$\Delta_i(n) = \Delta_i^{sc}(n) + \Delta_i^{avg}(n)$
}

그림 1 TSPTA 알고리즘 수도 코드

제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해 표 1 과 같이 파라미터를 결정하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

| Parameter | Value |
|---|---|
| Beacon period | 0.1s |
| Clock accuracy | ∓0.01% |
| Area | 250× 250$m^2$ |
| The number of node | 9 |
| Beacon transmission range | 250m |

시뮬레이션 결과 값을 표현하는 Max-min difference는 전체 네트워크에서 가장 빠른 시간 정보를 가진 노드와 가장 느린 시간 정보를 가지 노드의 시간 정보를 차를 표현하는 값으로써 이 값이 크면 네트워크 내 존재하는 노드 간 시간 차가 크다는 것이므로 시간 동기가 맞지 않다는 것을 의미한다.

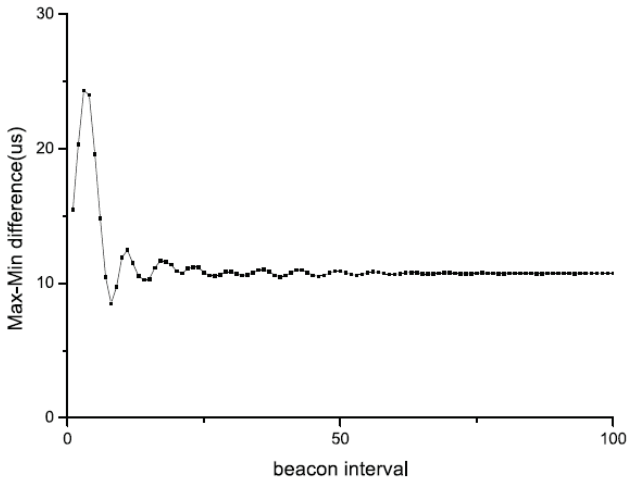



그림 2 Maximum clock drift of TSPTA

시뮬레이션을 통해 제안하는 TSPTA 기법 적용 시 빠른 시간 내에 정확한 시간 동기화를 수행할 수 있음을 확인하였다.

## 3. 참고 문헌

[1] Yu Wang, Hongyi Wu, Nelavelli R., Nian-Feng Tzeng, *Balance-Based Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Sensor Networks*, ICDCS Workshops 2006, pp. 85, Jul, 2006.

[2] P.D.Marco, P.Park, C. Fischione, and K.H.Johansson, *A Dynamic Energy-efficient Protocol for Reliable and Timely Communications for Wireless Sensor Networks in Control and Automation*, SECON Workshops '09, pp.1-3, Jun, 2009.

# 오작동 로봇이 존재하는 다중 로봇 네트워크

박 상 천°, 김 성 륜

연세대학교 전기전자공학과

{scpark, slkim}@ramo.yonsei.ac.kr

## 1. Introduction

사람의 개입 없이 사물과 사물, 혹은 사람과 사물이 통신한다는 M2M (Machine-to-Machine)과 사물 인터넷 (Internet of Things)은 사회적으로 많은 이슈를 불러일으켰다. 점차 기존 사물의 수와는 비교할 수 없는 수많은 사물들이 네트워크를 형성할 것이며 실제로 2020 년 말에는 500 억대의 사물이 네트워크에 연결될 것으로 보고 있다 [1]. 네트워크를 형성하는 사물의 수가 많아지고, 해결해야 하는 문제들이 어려워 질수록 네트워크에서 전체 로봇 간 통신 횟수는 점차 많아질 것 이다. 또한 로봇의 수가 많아지고 정보의 양이 방대해질수록 잘못된 정보의 유출 또한 잦아질 것이다. 따라서 잘못된 정보의 확산이 네트워크에 큰 영향을 미칠 것이며, 이는 통신 횟수가 많을수록 그 영향은 더욱 클 것이다.

본 논문에서는 다수의 이동 로봇의 지도 탐색 상황에서 오작동 (Malfunction) 로봇들이 잘못된 정보를 확산시킬 경우, 로봇 간 통신 횟수가 전체 지도 탐색 속도에 미치는 영향을 분석한다.

## 2. Simulation setting

그림 1 은 시뮬레이터 Netlogo[2]를 10 대의 로봇들이 지도를 탐색하는 상황을 보여준다. 이동 로봇들은 지도의 모든 교차로에 대한 정보가 모일 때까지 지도 탐색을 진행한다. 로봇들은 센싱을 통해 얻은 지도 정보들을 정해진 통신 빈도수에 맞춰 동시에 정보를 교환한다. 이렇게 받은 정보를 이용해 자신의 지도 정보를 갱신하면 기존에 가지고 있던 정보는 삭제된다. 각 통신에서 일어나는 간섭은 없으며, 통신은 실패 없이 항상 성공한다고 가정한다. 총 10 대의 로봇들이 지도를 탐색하며, 2 대의 오작동 로봇들이 교차로에 도착할 때마다 30%의 확률로 '미확인 교차로'라는 잘못된 정보를 전달한다. '미확인 교차로'라는 정보를 받은 다른 로봇들은 이미 탐색을 거쳤던 교차로였어도 다시 교차로를 탐색해야 전체 지도 탐색이 끝난다.

## 3. Simulation Result

그림 1 는 전체 로봇 10 대 중 오작동 로봇이 2 대가 존재할 때 통신 빈도수에 따른 지도 탐색 시간을 보이고 있다. 지도 탐색 시간이랑 1 초동안 전체 로봇이 획득하는 교차로 정보의 수를 나타낸다.

2 대의 악의적인 로봇이 존재할 경우에는 통신 빈도수가 0.02 이하 0.33 이상일 경우에는 통신 횟수가 증가할수록 지도 탐색 속도가 빨라졌지만, 0.02 이상 0.33 이하일 경우에는 통신 횟수가 증가할수록 지도 탐색 속도가 느려지는 것을 볼 수 있다. 이는 오작동 된 정보가 지도 탐색에 미치는 영향이 매우 커지게 되고, 이런 잘못된 정보가 잦은 통신 횟수에 의해 빠르게 퍼지기 때문에 오히려 지도 탐색 속도가 느려지는 이유가 된다.

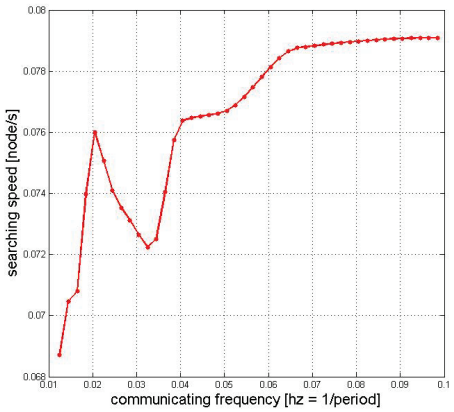



**그림 1 통신 빈도수에 따른 지도 탐색 속도 (10 대 중 2 대의 오작동 로봇)**

## 4. Conclusion

본 논문에서는 이동 로봇들이 협력하여 문제를 해결하는 상황에서 오작동 로봇이 있을 때 통신 빈도수를 늘려가며 이것이 전체 문제 해결에 미치는 영향을 살펴 보았다. 시뮬레이션을 통해, 오작동 로봇의 수가 미치는 영향이 커지면 통신 빈도수를 늘리는 것이 오히려 성능을 저하시킬 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 오작동 로봇의 비율에 따라 통신 빈도수를 최적화한다면 로봇의 문제 해결 속도나 에너지 효율을 극대화 할 수 있을 것이라고 예측한다. 후속 연구로 이를 테스트베드에 올려 실제 상황에서의 변화를 관찰 할 것이다.

## 5. Acknowledgements

본 연구는 국방생체모방 자율로봇 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다 (UD130070ID).

## 6. Reference

[1] Ericsson, More than 50 billion connected devices, Ericsson White Paper, Feb. 2011.

[2] U. Wilensky. NetLogo itself: NetLogo. Available: *http://ccl.northwestern.edu/netlogo/*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, 1999

# ST-DSA 를 위한 다중 캐리어 웨이브폼의 부채널 및 프리엠블 설계 방안

서기환° 이지봉° 서원기° 음수빈°° 이광억°°

㈜넥스윌°

국방과학연구소°°

# A Design Method of Sub-channel & Preamble Allocation for OFDM waveform in ST-DSA (Space Time – Dynamic Spectrum Allocation) System

Ki-Hwan Suh° Ji-Bong Lee° Won-Gi Seo° Soobin Um°° Kwang-Eog Lee°°

Nextwill Inc.°

Agency for Defense Development°°

kelee@add.re.kr

## 요 약

본 논문은 시간에 따라 변화하는 무선채널 환경에 적응하여 강인한 통신링크를 형성 및 유지함과 동시에 주파수 자원의 활용을 극대화하기 위하여 연구 중인 Space Time - Dynamic Spectrum Access(ST-DSA)의 OFDM 기반 TDD 통신방식에서 부채널(sub-channel) 및 프리엠블(preamble)의 제안된 설계방법에 대하여 설명한다. 새롭게 제안된 방식을 사용하면 추가적인 정보교환 없이 메인 통신 노드(node)가 실시간으로 선택하는 다중 캐리어 신호 내에 할당된 부채널을 다른 노드가 인지할 수 있고 동시에 할당된 부채널의 신호를 등화하기 위해 필요한 채널 정보를 획득 할 수 있다.

## 1. 서론

적의 재밍 및 감청을 무력화하기 위한 기존의 주파수 도약 방식 무전기들은 도약할 수 있는 주파수의 범위가 좁고 대역이 고정되어 있어, 날로 증가되는 위협수준을 고려하면 도약 대역폭의 증가가 기본적으로 필요하다. 그러나 무선통신 활용의 급격한 증가에 따른 높은 주파수 점유율에 따라, 광대역 주파수 내에서 기존의 주파수 도약방식이 상당히 제한을 받는다. 그러므로 시간 및 공간에 따라 변화하는 채널환경에 적응하여 실시간으로 주파수, 대역폭 및 전송 파라미터를 변화할 수 있는 새로운 웨이브폼의 개발 필요성이 증대되고 있다.

본 논문은 단일 캐리어에 비해 넓은 대역 내에서 신호의 주파수 및 대역폭 변화가 용이한 다중 캐리어 기반의 웨이브폼에서 부채널을 할당하는 방법과 할당된 부채널에 따라 프리엠블을 정의하는 방식을 제안한다. 채널 환경에 따라 실시간으로 변화하는 전송 파라미터 정보를 주고 받는 제어 신호의 길이가 길어질수록 유효 데이터 전송량이 줄어드는 Dynamic Spectrum Access(DSA) 방식의 특징을 고려하여 제안한 부채널 및 프리엠블을 사용하면 채널 환경에 따라 최소한의 정보교환만으로 다중 캐리어 내에 다양한 조합의 여러 부채널을 선택적으로 사용하여 통신 할 수 있게 된다.

## 2. 부채널 할당 방식

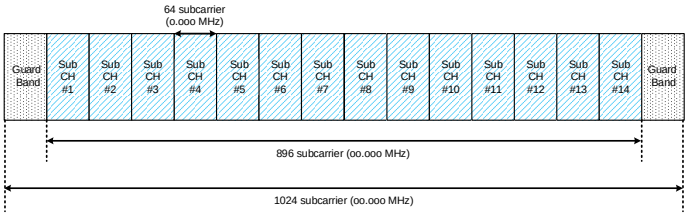



**그림 1. 다중 캐리어 웨이브폼의 부채널 할당 방식**

본 장에서는 다중 캐리어 웨이브폼에서 부채널을 할당하는 방식을 소개한다. 그림 1. 과 같이 시스템에서 가용한 채널 대역폭을 1024 개의 캐리어로 나눈 후, 64 개씩 묶어 하나의 부채널로 정의한다. 이때 가장자리 2 개의 부채널 위치는 보호대역으로 제외하고 총 14 개의 부채널 중 가용한 채널을 할당하여 사용한다. 가용한 채널은 메인이 되는 통신 노드가 각 노드에서 모니터링한 채널 환경을 취합하여

대역을 결정한다. 이 때 할당된 부채널 정보를 다른 노드에게 알려주어야 원활히 통신 링크가 열린다.

메인 노드에서 할당된 부채널 정보를 각 노드에 추가적인 제어 정보를 알리지 않고 바로 통신 링크를 열 수 있도록 프리엠블을 할당하는 방식을 다음 장에서 소개한다.

## 3. 프리엠블 할당 방식

DSA 가 아닌 일반적인 다중캐리어 방식의 프리엠블은 고정된 PN 코드를 사용하는 반면 시간에 따라 할당되는 부채널이 변화하는 경우, 할당된 부채널에 맞는 프리엠블을 정의해야 하고, 변경될 때마다 부채널 정보를 각 노드에 알려주어야 한다.

부채널 정보에 따른 프리엠블을 정의하는 방식은 다음과 같다. 14 개의 부채널을 모두 사용하는 경우의 PN 코드, $P_{n896}$을 수식 (1)과 같이 먼저 정의한다.

$$P_{n896} = [p_1, p_2, \cdots, p_{896}] \quad (1)$$

그리고, 14 개의 부채널을 각각 사용하면 1, 사용하지 않으면 0 으로 매핑한 ASC(t)를 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\mathrm{ASC(t)} = [\,a_1, a_2, \cdots, a_{14}], \; a_n = \begin{cases} 0, when\ off \\ 1, \; when\ on \end{cases} \quad (2)$$

부채널이 가지는 다중 캐리어의 개수만큼의 1 을 가지는 순열을 수식 (3)과 같이 $SC_n$ 으로 정의하면, t 시점에서 사용할 프리엠블, $P_n(t)$ 는 수식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$SC_n = [\,1, 1, \cdots, 1], \; \mathrm{length}(SC_n) = 64 \quad (3)$$

$$P_n(t) = P_{n896} * (\mathrm{ASC(t)} \otimes SC_n) \quad (4)$$

여기서 * 기호는 element-wise product 를, ⓧ 기호는 Kronecker product 를 의미한다.

메인 노드에서 할당된 부채널 정보를 활용하여 수식 (3)에서 생성된 프리엠블을 활용하여 데이터를 전송할 때의 신호 스펙트럼 예를 그림 2. 에 도시하였다. 각 스펙트럼의 아래 블록 중 파란 블록이 현재 할당된 부채널을, 회색 블록이 비 할당된 부채널을 의미한다. 그림 2 의 위 스펙트럼은 모든 부채널을 사용할 때의 예를 보여주고, 아래 스펙트럼은 1,6,10,13 부채널을 제외한 모든 부채널을 사용할 때의 예를 보여준다. 수신을 하는 각 노드들은 그림 2. 의 스펙트럼을 가지는 신호를 수신하게 되고 각 부채널의 프리엠블 정보를 활용하여 등화에 필요한 채널 정보를 얻음과 동시에 현재 사용되는 할당된 부채널의 정보도 자연스럽게 알 수 있게 된다.

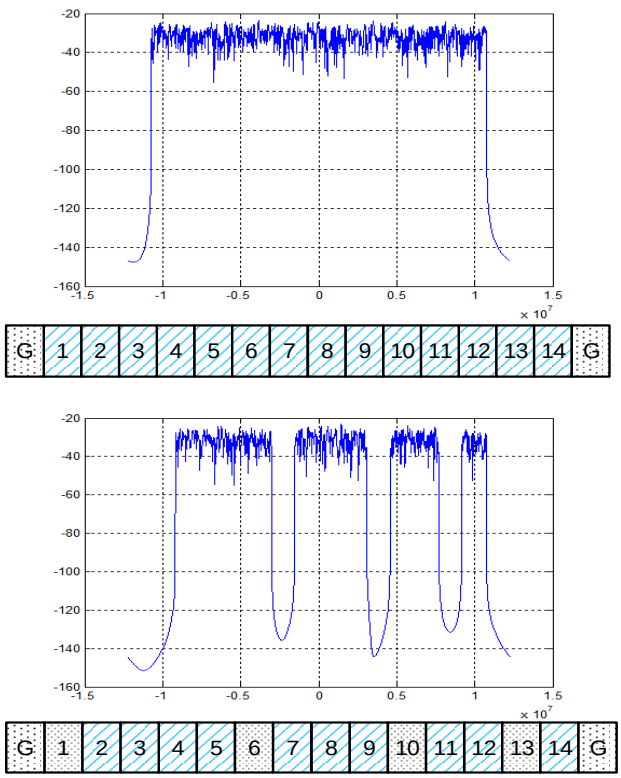



그림 2. 프리엠블 및 데이터 신호 스펙트럼 예

## 4.결론

본 논문에서 제안한 부채널 및 프리엠블 할당 방식을 활용하면 다중 캐리어를 이용한 ST-DSA 통신 시스템을 설계하여 운용하는데 있어서 채널환경에 빠르게 대응하며 유효 데이터 전송량을 증가시키는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 5. 참고 문헌

[1] Cheong Yui Wong, Cheng R.S., Lataief K.B. and Murch, R.D., "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," in *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 17, Issue 10, pp. 1747-1758, Oct. 1999.

[2] Andrea Goldsmith, Wireless Communications Cambridge University Press, 2005.

[3] Rohit Negi and John Cioffi, "Pilot tone selection for channel estimation in a mobile OFDM system," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, Vol. 44, Issue 3, pp. 1122–1128, Aug. 1998.

## 6. 기타

본 연구는 국방과학연구소(ADD)의 "ST-DSA 웨이브폼 SW 코딩 및 실장" 과제의 지원으로 수행하였음.

# SDR 플랫폼을 활용한 고속 송수신 모뎀 개발

이지봉°, 서기환°, 서원기°, 음수빈°°, 이광억°°
㈜넥스윌°, 국방과학연구소°°
kelee@add.re.kr

## 1. 서론

군 통신에서 SDR(Software defined Radio) 및 상용 통신에서 4G 의 LTE(Long Term Evolution)기술 등 첨단기술이 개발됨에 따라, 고속/대용량의 신호처리를 효과적으로 수용하는 모뎀 설계기술이 더욱 중요하게 요구되고 있다. 최근 군 통신에서는 SDR 기술을 기반으로 Cognitive Radio 구현기술이 주목 받고 있으며, 주파수 자원의 효율적으로 활용하기 위한 시간 및 공간을 동시에 고려하는 ST-DSA(Space Time Dynamic Spectrum Access) 웨이브폼 연구가 진행 중에 있다. 본 논문에서는 ST-DSA 웨이브폼의 상용 SDR 플랫폼에 구현을 위한 연구내용을 소개하고, 향후 군용 무전기에 적용할 SDR 플랫폼의 모뎀에 대한 개발방향을 제시하고자 한다.

## 2. SDR 플랫폼

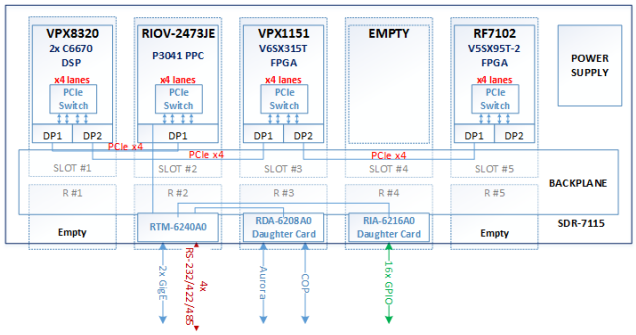



**그림 1. SDR 플랫폼 구조 및 인터페이스**

ST-DSA 웨이프폼을 구현할 SDR 플랫폼은 SSP(Spectrum Signal Processing) 사의 SDR-7115 플랫폼으로 고속 ADC/DAC 소자 및 알고리즘 포팅을 위한 FPGA, DSP, GPP 를 포함하고 있는 플랫폼이다. 그림 1 은 SDR-7115 플랫폼의 구조를 보여준다. SDR-7115 플랫폼은 총 4 개의 카드로 구성되어 있고, 신호처리를 위한 FPGA 카드 2 개, DSP 카드 1 개, GPP 카드 1 개가 포함된다. 각 카드는 PCIe 를 통해 연동된다. 외부 I/O 는 Gigabit Ethernet 2 포트, 시리얼 통신 포트 4 개, Aurora 및 COP 포트, 15 개의 GPIO 가 지원된다.

## 3. 웨이브폼 개발 및 구현

ST-DSA 웨이브폼은 FDD(Frequency Division Duplex) 방식을 사용하고 물리계층은 그림 2 와 같이 구성된다. 그림에서 보듯이, ST-DSA 웨이브폼 물리계층에서는 FEC 을 위해 RS-Code 와 Convolutional Code 가

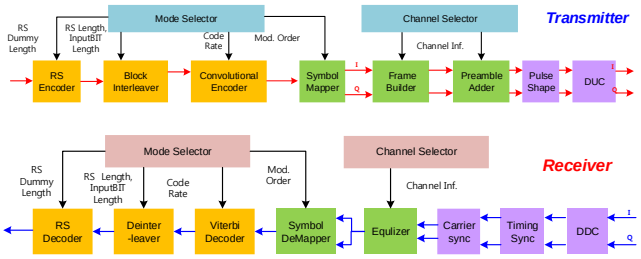



**그림 2. ST-DSA 웨이브폼 물리계층 구성**

적용되었고, Modulation 방식은 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 이 선택적으로 적용되도록 개발하였다. 수신기에는 동기를 위한 Timing Sync, Carrier Sync 블록이 포함되고, DFE(Decision Feedback Equalization) 방식의 등화기를 적용하였다.

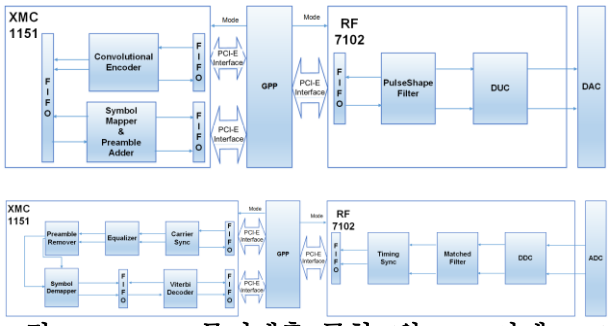



**그림 3. ST-DSA 물리계층 구현 (위: TX, 아래: RX)**

ST-DSA 웨이브폼의 물리계층 알고리즘은 SDR 플랫폼에서 FPGA 에 구현되었다. SDR 플랫폼에서는 2 종의 FPGA 를 제공하는데 실시간성을 보장해야 하는 Pulse Shaping Filter, DUC 및 DDC, 동기관련 블록은 DAC/ADC 와 연동되는 RF7102 카드의 FPGA 에 구현하였고, FEC 및 변복조 블록은 XMC 1151 카드의 FPGA 에 구현하였다. 그림 3 은 SDR 플랫폼에 구현된 ST-DSA 물리계층의 구성을 보여준다.

아래 그림 4 는 SDR 플랫폼에 구현된 ST-DSA 웨이브폼을 통해 6Mbps 영상을 송수신한 결과로 구현된 웨이브폼이 실시간 영상 전송에도 문제없음을 확인할 수 있었다.

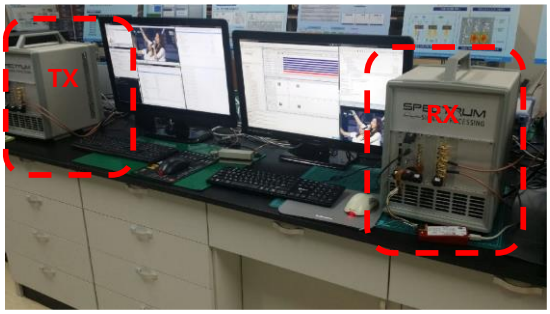



**그림 4. ST-DSA 웨이브폼을 활용한 영상통신 데모**

본 연구는 국방과학연구소(ADD)의 “ST-DSA 웨이브폼 SW 코딩 및 실장” 과제의 지원으로 수행하였음.

# 다중-홉 간섭채널에서의 지연된 채널정보의 활용방안 및 최적 자유도

신원재°, 심병효, 이정우
서울대학교 전기·정보공학부
{wonjae.shin, bshim, junglee}@snu.ac.kr

이병주
Purdue University, ECE
lee1730@purdue.edu

## 1. 서론

최근 스마트폰 사용자의 폭발적 증가에 따른 무선 데이터에 대한 수요 증가로 인해, 작은 반경의 셀을 촘촘히 설치하여 네트워크 용량을 증가시키는 소형셀 기술이 각광받고 있다. 이러한 소형 셀의 등장은 다수의 셀의 영역이 겹치기 때문에 필연적으로 셀간 간섭 현상에서 자유로울 수가 없다,

대부분의 기존 간섭관리 기술들은 모든 송/수신신기에서 네트워크의 모든 채널정보를 순시적으로 정확히 알아야 한다는 가정을 하게 된다. 특히 수신기에서 추정한 채널정보를 상향링크를 통하여 송신기에 피드백 해야 함에 따라 송신기에서 채널정보를 실시간으로 획득하기가 현실적으로 매우 어렵다.

본 논문에서는 이러한 소형셀이 밀집한 환경에서 셀 용량을 최대화하기 위한 현실적인 간섭관리 방안을 제안한다. 특히 송신단의 오버헤드를 줄이기 위하여, 모든 기지국들은 네트워크 전체의 채널 정보를 모른다고 가정하였고, 대신에 단일 중계노드가 채널정보를 수집한다고 가정하였다. 더불어 채널이 빠르게 변하는 환경에서 중계노드가 지연된 채널정보를 확보할 경우에, 해당 지연 채널정보를 효율적으로 활용할 수 있는 최적 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 시스템 모델

다수의 소형셀들이 밀집한 셀룰러 네트워크는 다중안테나 $K$-사용자 간섭 채널로 모델링이 가능하다. (그림 1 참조) 각 기지국은 $M_T$ 개의 송신 안테나를, 각 단말은 1 개의 수신 안테나를 가지고 있다. 여기서 송신기-$i$는 해당 수신기-$i$에게 독립적인 메시지 $W^{[i]}$를 전송하고자 한다. 해당 네트워크에서 추가적으로 $M_R$의 송/수신 안테나를 가진 중계 노드를 도입함으로써 사용자간 간섭을 효율적으로 제어하고자 한다. 단, $M_T, M_R \geq K$ 이 성립하도록 기지국에서 스케줄링이 적절하게 이루어 진다고 가정한다.

모든 기지국은 채널 정보를 알지 못하고, 대신 단일 중계노드가 전체 네트워크의 채널 정보를 수집한다고 가정한다. 이 때, 중계노드가 채널 정보를 수집할 때 발생하는 피드백 지연 문제로 인해 획득한 채널 정보는 모두 완벽히 과거 채널정보(Outdated CSI)라고 가정한다.

## 3. 주요 성능 결과 및 논의

간섭 채널의 연결 상태에 따라 서로 다른 전송기법 및 최적의 자유도 (Degrees-of-Freedom)가 유도된다. 따라서 각각의 경우를 나누어 살펴보자.

### 3.1) *Non-layered* 간섭 채널 모델

먼저, 모든 송/수신기, 그리고 중계노드 사이에 충분히 큰 세기의 무선링크가 존재 한다고 가정해

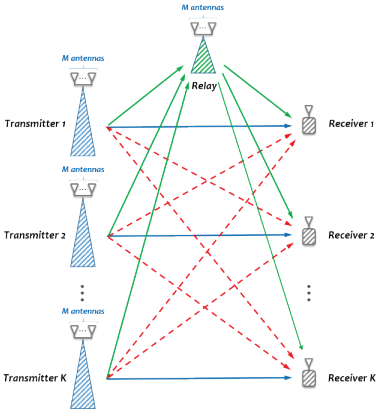



그림 1. 다중-홉 다중안테나 간섭채널 모델

보자. (즉, non-layered 간섭 채널 모델) 위와 같은 채널 환경에서의 최적 자유도는 참고문헌 [1]에서 규명되었으며, 다음과 같다.

$$DoF_{\text{sum}}^{\text{Relay}} = \frac{K}{1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\cdots+\frac{1}{K}} \approx \ln(K) \qquad (1)$$

상기 결과를 통해, 중계노드가 지연 채널을 무시하는 경우의 최적의 자유도 (=1)에 비해 제안하는 전송 기법을 적용 시 현저하게 큰 네트워크 전송 용량 확보가 가능함을 확인할 수 있다.

### 3.2) *Layered* 간섭 채널 모델

본 절에서는, 기지국과 단말사이에는 충분히 떨어져 있어서 링크가 연결되어 있지 않다고 가정해 보도록 하자. 즉, 기지국들과 중계노드, 혹은 중계노드와 단말간에만 서로 연결되어 있기 때문에, layered 간섭 채널로 모델링이 가능하다. 해당 네트워크의 최적 근사 자유도를 계산해보면 다음과 같다. [1]

$$\lim_{K\to\infty} DoF_{\text{sum}}^{\text{Relay, NoDirect}} \approx \ln(K) \qquad (2)$$

### 3.3) 최적 자유도 결과 논의

위 결과의 물리적 의미를 살펴보면 다음과 같다. 송/수신기 수 ($K$)가 충분히 크다면 기지국과 단말사이가 충분히 떨어져 있어서 해당 링크를 활용하지 못하더라도 자유도 감소 (DoF loss)가 전혀 발생하지 않는다는 점이다. 이는 충분히 많은 소형셀이 밀집한 셀룰러 네트워크에서는 기지국과 단말 사이의 링크는 활용할 필요가 없다고 결론 지을 수 있다. 이러한 결론을 통해, 중계기의 채널 정보 수집의 오버헤드를 현저하게 줄일 수 있는 송/수신기 설계 방법론을 제시할 수 있다.

## 4. 참고 문헌

[1] W. Shin, B. Lee, B. Shim, and J. Lee, "A MIMO relay with delayed feedback can improve DoF in $K$-user MISO interference channel," submitted to *IEEE TVT*, Aug. 2015.

# IoT 통신 환경을 위한 경량 암호 기술

문시훈°, 김민우, 권태경

연세대학교 정보대학원

# Lightweight Cryptographic Algorithms for IoT

Si-hoon Moon°, Minwoo Kim, Taekyoung Kwon

Graduate School of Information, Yonsei University

iasucai@gmail.com°, mu.kim@yonsei.ac.kr, taekyoung@yonsei.ac.kr

요 약

IoT 환경에서는 다양한 성능의 기기를 이용하여 통신하게 되며, 특히 8 비트 마이크로 컨트롤러부터 64 비트 CPU 에 이르기까지 여러 목적의 기기들이 활용된다. 안전한 통신을 위해서는 메시지 암호화와 인증을 제공하는 암호 기술이 필수적이지만, 성능이 제약된 IoT 기기에 기존 암호 기술을 그대로 사용하기에는 어려움이 따른다. 본 논문에서는 IoT 실험 기기인 8 비트 아두이노, 16 비트 티모트, 32 비트 라즈베리 파이 2 를 이용하여 경량 암호 기술을 구현 실험한 성능 측정 결과에 대해 논한다.

## 1. 서 론

IoT 통신 환경이 구축되면서 고사양 기기뿐만 아니라 저사양 기기를 사용하는 통신이 증가하면서 그에 따른 보안 위협도 증가하고 있다. 2015 년 휴레 펫커드 사가 발표한 자료에 따르면 약 70%의 IoT 기기들이 보안 분야에서 취약점을 갖고 있다[1]. 통신 환경에서 침입자는 가장 약한 링크를 이용해 침투하므로 저성능에서 고사양까지의 모든 IoT 기기들이 일정 수준의 보안성을 갖춰야 한다. 하지만, 기존 암호 기술을 통신, 계산 기능이 제약된 저사양 기기에 그대로 사용하기에는 어려움이 따라 다양한 경량 암호 기술이 등장하게 되었다.

최근 LEA, SIMOM, SPECK 등 새로운 경량 블록 암호 알고리즘이 등장하고 있으며[2], 이에 대한 성능 측정 연구가 진행되고 있다. eBACS[3], ECRYPTⅡ[4], BLOC[5], XBX[6], ATHENa[7], FELICS[8] 등 다양한 성능 측정 프로젝트가 진행되었지만 하나의 기기만을 사용하거나 시뮬레이션을 이용한 성능 측정으로 실제 기기와 차이가 있을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 최근 제안되는 경량 블록 암호 알고리즘과 대표적인 메시지 인증 코드를 IoT 실험 기기에 직접 실행 시험한 성능 측정 결과를 제시한다.

## 2. 암호 기술 소개

### 2.1 경량 블록 암호 알고리즘

IoT 환경에서 블록 암호는 메시지 암호화 및 인증을 위해 사용된다. 하지만, 성능이 제약적인 기기에서 효율적인 사용을 위해서는 경량화가 요구된다. 이에 안전성을 유지한 채 암호화 및 인증이 가능하도록 개선된 경량 블록 암호들이 등장하게 되었다. 그림 1 은 블록 암호의 개발 현황을 보여준다.

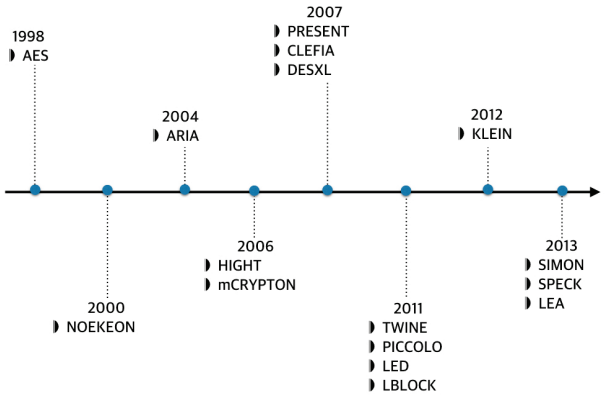



**그림 1. 블록 암호 알고리즘 개발 현황**

### 2.2 메시지 인증 코드

메시지 인증 코드(Message Authentication Code, MAC)는 메시지의 무결성과 함께 이에 대한 인증을 보장하는 보안 기법이다. 인증 태그 생성과 비교의 단순한 연산으로 구성되어 있지만, 안전성과 효율성을 높이기 위한 다양한 메시지 인증 코드가 꾸준히 제안되고 있다. 크게 블록 암호 기반, 해시 함수 기반, 유니버셜 해싱 기반으로 나뉜다. 현재 통신 환경에서 사용되는 대표적인 알고리즘으로 블록 암호 기반 CMAC[9], 해시 함수 기반 HMAC[10], 유니버셜 해싱 기반 Poly1305[11]가 있다.

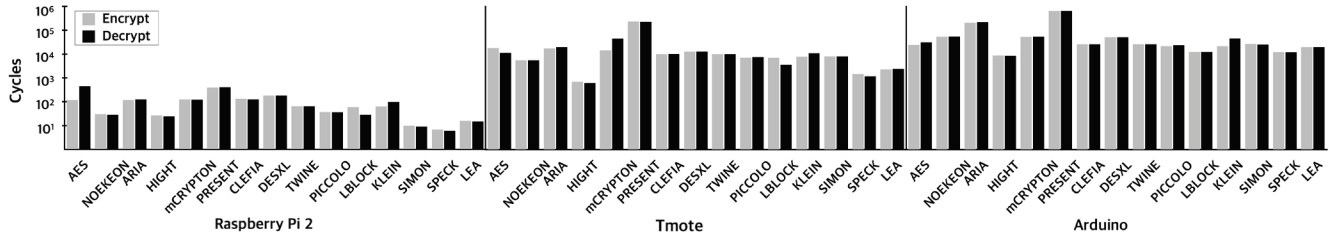



**그림 2. 경량 블록 암호 성능 측정 결과(log scale)**

## 3. 성능 평가

본 절에서는 블록 암호의 성능을 IoT 환경에서 널리 사용되는 실험용 기기인 8 비트 아두이노 우노, 16 비트 티모트, 32 비트 라즈베리 파이 2 를 통해 실험한 결과를 제시한다.

그림 2 는 블록 암호의 성능을 측정한 결과를 보여준다. 측정 결과를 보면 경량 암호의 성능은 기기의 성능이 높아질수록 향상되는 것을 볼 수 있다. 대표적 블록 암호인 AES 는 8 비트 단위의 연산 처리를 하기 때문에 저성능의 아두이노에서는 비교적 좋은 성능을 보였지만, 기기 성능이 향상됨에 따라 성능이 저하되는 모습을 보였다. 반면에 SIMON, SPECK, LEA 는 전반적으로 우수한 성능을 보여주었다. 특히, 32 비트 환경에서 타 환경에 비해 월등한 성능을 보여주었다.

그림 3 은 MAC 성능을 측정한 결과다. 블록 암호 알고리즘과 동일하게 고성능일수록 성능이 향상된다. 저성능의 티모트와 아두이노에서는 수십배의 성능 저하가 나타난다. 특히 HMAC 과 Poly1305 는 8 비트, 16 비트 환경에서 많은 성능 저하를 보여주었다. 반면에 CMAC 은 타 알고리즘에 비해 성능 저하 폭이 작게 나타났다. 32 비트 환경에서는 타 알고리즘에 비해 성능이 떨어졌지만, 8 비트, 16 비트 환경에서는 가장 우수한 성능을 보여주었다.

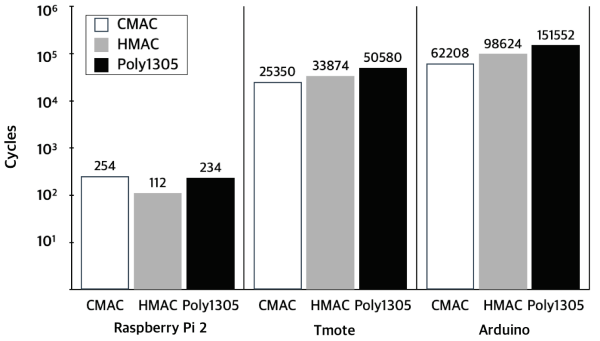



**그림 3. MAC 성능 측정 결과(log scale)**

## 4. 결 론

본 논문에서는 IoT 환경에서 사용되는 대표적인 블록 암호 알고리즘과 메시지 인증 코드에 대한 성능 측정을 수행하였다. 실제 IoT 실험 기기에 각 알고리즘을 직접 실행한 성능 측정 결과를 제시하여, 이전 성능 측정 연구의 한계점을 극복하였다.

실험을 통해 저성능의 기기일수록 알고리즘의 성능이 낮다는 점을 볼 수 있었다. 특히 8 비트 기기에서는 타 기기에 비해 많은 성능 저하를 보였고, 이를 개선하기 위한 연구가 필요함을 인지하였다. 향후에는 저성능 기기에서 경량화 연구를 통해 보다 향상된 성능을 보일 수 있는 연구를 진행할 예정이다.

## 5. 참고 문헌

[1] HP, "Internet of things research study," 2015.

[2] Eisenbarth, T. Paar, C. Poschmann, A. Kumar, S. Uhsadel, "A Surveyof Lightweight Cryptograp y Implementations," Design&Test of Computers, vol. 24(6), pp. 522-533, IEEE, 2007.

[3] DJ. Bernstein and T. Lange, "eBACS: ECRYPT Benchmarking of Cryptographic Systems," http://bench.cr.yp.to/, February 2015.

[4] J. Balasch et al., "Compact implementation and performance evaluation of hash functions in attiny devices," Springer Berlin Heidelberg, 2012.

[5] M. Cazorla et al., "Implementations of lightweight block ciphers on a WSN430 sensor," 2015.

[6] C. Wenzel-Benner, and J. Gräf, "XBX: eXternal Benchmarking eXtension for the SUPERCOP crypto benchmarking framework," *Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, CHES 2010. Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 294-305.

[7] George Mason University, ATHENa Project Website, http://cryptography.gmu.edu/athena/, 2015.

[8] FELICS, https://www.cryptolux.org/index.php/FELICS

[9] T. Iwata and K. Kurosawa, "OMAC: One-Key CBC MAC," *Fast Software Encryption*, vol. 2887, pp. 129-153, 2003.

[10] M. Bellare, R. Canetti, and H. Krawczyk, "Keying Hash Functions for Message Authentication," *Proc. 16th Ann. Int'l Cryptology Conf. Advances in Cryptology* (CRYPTO '96), vol. 1109, pp. 1-15, 1996.

[11] D. Bernstein, "The Poly1305-AES Message-Authentication Code," *Proc. 12th Int'l Conf. Fast Software Encryption* (FSE '05), vol. 3557, pp. 32-49, 2005.

# 재구성 안테나를 통한 K-사용자 간섭 채널의 최대 다중화 이득

양희철°, 신원재, 이정우
서울대학교 전기정보공학부
hee2070@wspl.snu.ac.kr, {wonjae.shin, junglee}@snu.ac.kr

## 1. 서론

최근 무선 데이터 사용량이 급증하고 가용 주파수가 한계에 다다르면서 이를 효율적으로 사용하기 위한 간섭 관리 기법의 필요성이 대두되고 있다. 대표적으로 간섭 정렬 기법이 각광을 받고 있지만 송신단에서 채널 정보를 필요로 하여 실제 적용되기에는 힘든 상황이다 [1]. 최근, 수신단에서 재구성 안테나를 통한 안테나 스위칭 기법을 활용하여 송신단에서의 채널 정보 없이 간섭 신호를 정렬하는 기법이 제안되었다 [2]. 본 논문에서는 *K*-사용자 단일안테나 간섭 채널에서 수신단에서의 재구성 안테나 스위칭을 통해 얻을 수 있는 최대 다중화 (Degrees-of-Freedom) 이득을 구하고, 결과를 송신단에서 채널 정보를 활용하는 기존의 간섭 정렬 기법으로 얻을 수 있는 다중화 이득과 비교하였다. 이를 통해, 재구성 안테나를 통해 얻을 수 있는 다중화 이득에 이론적 한계가 있음을 밝혀내었다.

## 2. 시스템 모델

본 논문에서는 송신단과 수신단이 단일안테나를 가지는 K-사용자 간섭 채널을 가정하였다. 수신단에서는 단일 재구성 안테나를 가지고 있으며 $N$ 개 스위칭 모드 중 안테나 스위칭을 통해 수신하는 채널의 변화 패턴이 결정된다. 또한, 각 채널의 상관 시간은 통신이 이루어지는 주기보다 크다고 가정하였다. 심볼 구간 t 에서 j 번째 수신단의 스위칭 모드를 $l_j(t)$, $i$ 번째 송신단에서 $j$ 번째 수신단으로의 채널을 $h_{j,i}(l_j(t))$, $i$ 번째 송신단에서 보내는 신호를 $x_i(t)$ 라고 하자. 이 때, j 번째 수신단의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_j(t) = h_{j,j}(l_j(t))x_j(t) + \sum_{i=1, i\neq j}^{K} h_{j,i}(l_j(t))x_i(t) + z_j(t)$$

$z_j(t)$ 는 복소 가우시안 잡음 (AWGN)을 의미한다. j 번째 수신단에서 보면, j 번째 송신단에서 오는 신호 외의 다른 신호는 간섭 신호이므로 안테나 스위칭을 통해 정렬한다.

## 3. 최대 다중화 이득

이번 장에서는 수신단에서의 재구성 안테나 스위칭을 통해 얻을 수 있는 최대 다중화 이득을 구하고자 한다. 재구성 안테나 스위칭을 통한 간섭 신호 정렬을 위해 빔포밍 벡터와 채널 행렬이 만족해야 하는 조건이 기존 연구를 통해 밝혀졌다 [3]. 이 조건을 통해 얻은 K-사용자 간섭 채널에서의 최대 다중화 이득은 아래와 같이 표현된다.

$$DoF_{sum} \le \frac{n^* K}{K + n^*(n^* - 1)}$$

위의 식에서 $n^*$ 는 다중화 이득을 최대로 하는 스위칭 모드의 수를 뜻하며, 아래와 같이 결정된다.

$$n^* = \begin{cases} N, & N < \lceil \sqrt{K} \rceil \\ \underset{n=\lfloor \sqrt{K} \rfloor, \lceil \sqrt{K} \rceil}{\arg\min}\ n + \dfrac{K}{n}, & N \ge \lceil \sqrt{K} \rceil \end{cases}$$

전체적인 증명 과정은 참고 문헌 [4]에서 보였다.

재구성 안테나를 통한 최대 다중화 이득은 스위칭 모드의 수 ($N$)가 간섭 채널의 사용자 수 ($K$)에 비해 충분히 클 때, 즉 $N \ge \lceil \sqrt{K} \rceil$ 일 때, $K$ 가 증가함에 따라 $\sqrt{K}/2$ 로 수렴한다. 수신단에서 재구성 안테나를 통한 안테나 스위칭이 없고, 송신단에 채널 정보가 없으면 간섭 채널의 최대 다중화 이득은 1 임이 밝혀져 있다. 또한, 송신단에서 채널 정보를 활용하는 기존의 간섭 정렬 기법을 이용하면 간섭 채널의 최대 다중화 이득은 $K/2$ 로 증가한다. 따라서, 재구성 안테나를 통한 최대 다중화 이득과 비교해보면, 송신단에서 채널 정보가 없더라도 안테나 스위칭을 통해 최대 다중화 이득을 $\sqrt{K}/2$ 로 증가할 수 있지만, 채널 정보를 활용하는 간섭 정렬 기법에 비해 이득의 한계가 있음을 알 수 있다.

## 4. 참고 문헌

[1] V. R. Cadambe and S. A. Jafar, "Interference alignment and degrees of freedom of K-user interference channel," *IEEE Trans, Inf. Theory*, vol. 54, no. 8, pp. 3425-41, Aug. 2008.

[2] T. Gou, C. Wang, and S. A. Jafar, "Aiming perfectly in the dark-blind interference alignment through staggered antenna switching," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 59, no. 6, pp. 2734-44, Jun. 2011.

[3] C. Wang, "Degrees of freedom characterization: the 3-user SISO interference channel with blind interference alignment," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 5, pp. 757-760, May 2014.

[4] H. Yang, W. Shin, and J. Lee, "Degrees of freedom of *K*-user SISO interference channels with blind interference alignment," *in Proc. 49th Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers*, Pacific Grove, CA, Nov. 2015.

# 흡수체 구조를 탑재한 2 포트 지향성 안테나 성능분석

박대희, 조동호°

한국과학기술원 전기 및 전자공학부

# Performance Analysis of Directional 2-port Antenna with Absorber Structure

Daehee Park, Dong-Ho Cho°

School of Electrical Engineering,, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

indeener@kaist.ac.kr, dhcho@kaist.ac.kr°

## 요 약

본 논문은 빔포밍을 효과적으로 지원할 수 있는 2 포트 지향성 안테나를 제안한다. 또한, RF 시스템과 같은 임의의 물체에 집적이 될 경우에도 고유한 방사패턴의 성능을 유지할 수 있는 흡수체를 가지는 안테나 구조를 제안한다. 도체면만 있는 2 포트 지향성 안테나의 성능과 비교하여 제안하는 흡수체를 탑재한 2 포트 지향성 안테나의 방사패턴이 왜곡되지 않고 방사하는 것을 검증하였다.

## 1. 서론

기존의 안테나 빔포밍은 다이폴로 구성된 안테나 배열구조로 제안되었다. 안테나 배열구조의 다이폴 안테나는 모두 같은 방향을 지향하고, 각 다이폴 안테나의 신호에 가중치를 조절하여 빔포밍이 가능하다[1].

하지만, 이러한 다이폴 안테나로 구성된 안테나 배열구조는 크기가 커지는 단점을 가지게 된다. 이러한 단점을 보강하기 위해서 서로 다른 방향을 지향하는 안테나 집적구조가 제안되었다[2].

한편, 기지국을 위한 안테나가 RF 시스템에 연결되기 위해서는 RF 시스템의 연결부인 도체면 위에 근접하게 된다. 이러한 도체면은 안테나에게는 접지면 혹은 반사판 역할을 하여 단위 안테나의 방사패턴이 전면을 지향하도록 하는 특징을 가진다. 이러한 특징은 다이폴 안테나로 구성되는 종래의 안테나 배열구조에서는 긍정적인 역할을 수행했다. 하지만, 서로 다른 방향으로 방사해야 하는 안테나 집적구조에서는 상호 안테나 방사패턴의 왜곡이 유발되는 부정적인 현상이 발생한다.

본 연구에서는 흡수체를 이용하여 안테나 집적구조의 후면 환경에 관계없이 패턴 이득을 안정적으로 얻을 수 있는 2 포트 지향성 안테나를 제안한다.

## 2. 본론

제안한 2 포트 지향성 안테나의 단위 안테나는 지향성 야기 안테나를 소형화하였다[2]. 그림 1 은 제안하는 2 포트 지향성 안테나를 보여주고 있다. 그림 1 a 와 같이 안테나 집적구조의 중심에 대해 2 포트의 단위 안테나가 180 도로 회전된 형태로 집적되어있다. 이는 그림 4 a 와 같이 각 단위 안테나가 서로 다른 방향으로 방사하도록 설계된 것이다. 제안한 2 포트 지향성 안테나의 전체적인 모습은 그림 1 b 에서 보여주고 있다. 제안한 안테나의 기판은 소형화를 위해서 Taconic CER-10 을 사용하였고, 그 두께는 1.6 mm 이다.

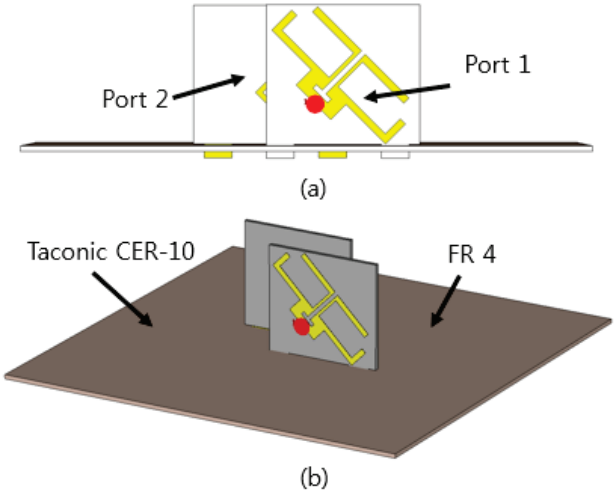



그림 1 제안 2 포트 지향성 안테나
(a) 옆면, (b) 전체모습

제안한 2 포트 지향성 안테나의 S-파라미터는 그림 2 에서 나타내고 있다. 각 단위 안테나는 대칭적인 S-파라미터 값을 가지는 것을 보여주고 있다. 각 단위 안테나가 1.75 GHz 에서 방사하고, - 10 dB 기준으로 약 11 %의 대역폭을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

본 논문에서는 그림 3 a 와 같이 RF 시스템의 도체면이 안테나를 지지하는 기판으로부터 약 40 mm 의 거리를 가지는 형태를 가정하였다. 도체면이 없을 경우와 있을 경우에 대한 2 포트 지향성 안테나의 방사패턴은 그림 4 a, b 에 각각 나타나 있다. 도

체면이 있는 경우, 각 단위 안테나의 방사패턴이 왜곡되어 y 방향의 일정 부분으로 방사하는 것을 확인할 수 있다.

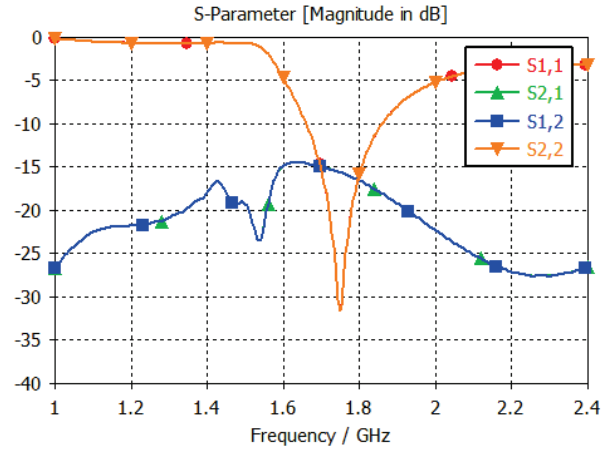



그림 2 제안 2 포트 지향성 안테나의 S-파라미터

본 제안 2 포트 지향성 안테나는 이러한 도체면 위에 그림 3 b 와 같이 흡수체를 부착한 형태를 가지고 있다. 이 흡수체는 1 GHz 기준으로 0.0887 의 상대유전율과 13.96 의 상대투자율을 가지는 물질이다. 도체면에서의 반사파를 흡수체면에서의 반사파로 상쇄시킬 수 있는 흡수체의 두께 h 는 (1)과 같다[3].

$$h = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (1)$$

여기서 c는 빛의 속도, f는 방사 주파수, $\epsilon_r$는 상대유전율, $\mu_r$은 상대투자율이다.

그림 4 c 는 흡수체를 가지는 제안 2 포트 지향성 안테나의 방사패턴을 나타내고 있다. 도체면으로 인하여 발생되는 y 축 방향의 방사 성분을 효과적으로 제거한 것을 확인할 수 있다. 또한, 각 단위 안테나의 방사방향과 일치한 성향을 유지하는 것을 볼 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 2 포트 지향성 안테나를 설계하였다. 또한 흡수체를 이용하여 RF 시스템과 같은 도체면에 연결되어도 그 방사패턴의 성질을 유지할 수 있는 안테나를 제안하였다. 아울러 흡수체의 집적 유무에 따른 안테나의 방사패턴 비교를 통하여 제안 2 포트 지향성 안테나가 도체면에 집적되어도 서로 다른 방향의 방사패턴을 제대로 제공할 수 있는 것을 보였다.

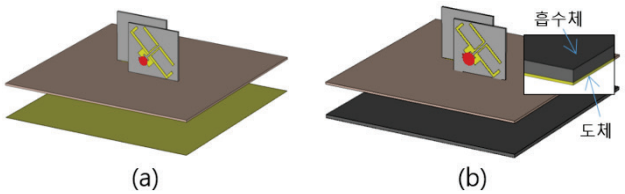



그림 3 제안 2 포트 지향성 안테나 전체 모습
(a) 도체면만 있는 경우,(b) 흡수체와 도체면이 있는 경우

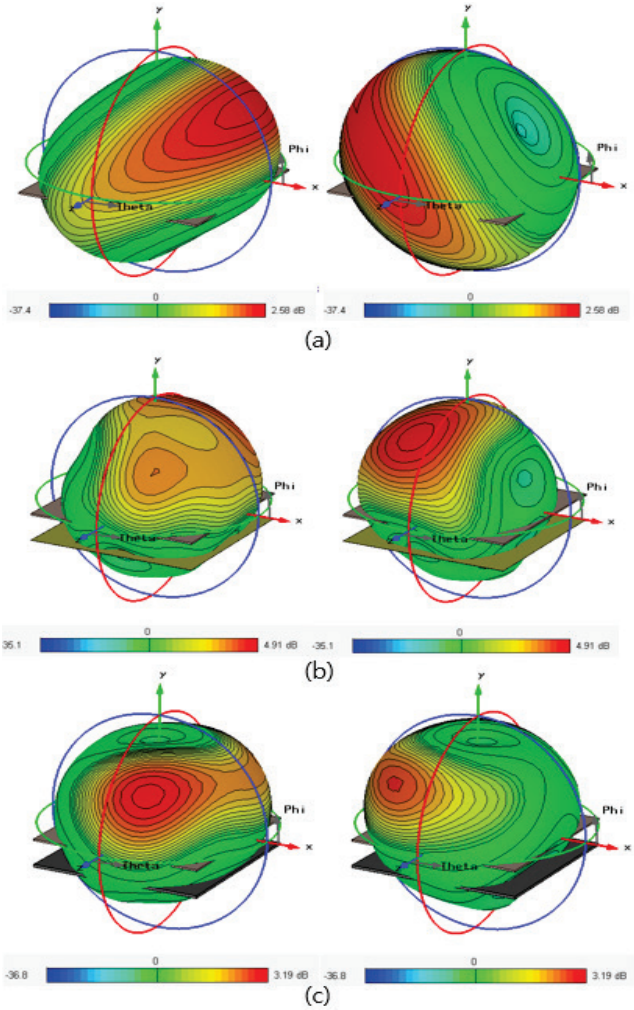



그림 4 제안 2 포트 지향성 안테나의 방사패턴(왼쪽: 포트 1, 오른쪽: 포트 2),
(a) 도체면과 흡수체가 없는 경우, (b) 도체면만 있는 경우, (c) 흡수체와 도체면이 있는 경우

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 방송통신 산업기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [ B0101-15-1309 , 안테나 노드 그룹핑 기반 무간섭 적응빔 접속기술 개발 ]

## 4. 참고 문헌

[1] Wong, K. L., Hsiao, F. R., and Chiou, T. W., “Omnidirectional planar dipole array antenna,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 2, pp. 624-628, Apr. 2004.

[2] Capobianco, A. D., Pigozzo, F. M., Assalini, A., Midrio, M., Boscolo, S., and Sacchetto, F., “A compact MIMO array of planar end-fire antennas for WLAN applications,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 9, pp. 3462-3465, Sep. 2011.

[3] T. Wang, R. Han, G. Tan, J. Wei, L. Qiao, and F. Li, "Reflection loss mechanism of single layer absorber for flake-shaped carbonyl-iron particle composite," Journal of Applied Physics, vol. 112 , no. 10, pp. 104903-104906 Nov. 2012.

# Fresh Detection Scheme for LSAS Using Power Allocation in Multi User Scenario with MMB Channel

Jihye Lee°, Myeonghun Chu, Soonho Kwon, Sangmi Moon, Intae Hwang

Dept. of Electronics and Computer Engineering,Chonnam National University

mypopularity@hanmail.net, diqhq12@naver.com, kwonsho1@naver.com, msm0804@naver.com, hit@jnu.ac.kr

## Abstract

In this paper, we analyze the ergodic spectral efficiency upper bound of a large-scale MIMO and the key technologies, and present new approaches for detection and power allocation. Assuming arbitrary antenna correlation and user distributions, we derive approximations of achievable rates with zero forcing(ZF), maximum ratio combining (MRC), minimum mean squared error (MMSE) and eigen-value decomposition power allocation (EVD-PA). Our simulation results show that our proposal is a better detection scheme than the conventional scheme for LSAS. Also, we used the Millimeter wave Mobile Broadband (MMB) channel.

## 1. System Model and Problem Formulation

Consider a cellular system consisting of BTS l equipped with N antennas and K (where K<<N) UTs, where each UT is equipped with a single antenna, as schematically. The assumption that users have single antennas can be considered as a special case of users having multiple antennas when we treat the extra antennas as if they were additional autonomous users. The composite receiving K×1 vector y at the users can be described as

$$y = \sqrt{\rho}\sum_{l=1}^{K} Hz + n \quad (1)$$

where H is a composite N×K channel matrix given by H= $[h_{l1}, h_{l2}, \dots, h_{lK}] \in \mathbb{C}^{N\times K}$ $\rho$ is the transmission power, z is the transmitted vector across the N antennas, and n is a noise vector with unit variance. The M×1 transmit vector z contains a pre-coded version of the K×1data symbol vector x. Through detection at the receiver side we have

$$z = Gx \quad (2)$$

where G is a N×K detection matrix including power allocation to the data symbols. The vector x comprises data symbols from an alphabet $\chi$, and each entry has a unit average power $\text{i.e.}, \mathbb{E}\{|x_k|^2\} = 1, k = 1, 2, 3, \dots, k$. Taken together, the energy constraints are on the x and z yield power constraint on $G: \mathrm{Tr}(G^H G) = 1$ where Tr (.) is the trace-operator and $(.)^H$ denotes the Hermitian transpose.

**1)** In this section, we analyze ZF, MRC, and MMSE with our proposed EVD-PA scheme. The channel matrix from the BTS to the K multiple UTs can be written as

$$G = HD^{1/2} \quad (3)$$

where $D = diag\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k\}$ the component $\beta_k = \varphi\zeta/d_k^{\alpha}$ consists of path loss and fading, $\varphi$ is a constant related to the carrier frequency and antennas gain, $d_k$ is the distance between BTS and UT k, $\alpha$ is the path loss exponent and $\zeta$ represents shadowing with the distribution of $10log_{10}\zeta \sim N(0, \sigma_{sh}^2)$, here $\sigma_{sh}^2$ is the shadowing variance component and also fast fading channel matrix is given as $H = [h_1^T, h_1^T, \dots . h_1^T]^T$. For a single user based detection scheme the estimated symbol x of UT in its cell by calculating the product of received signal vector and linear vector detector value G. Overall SINR for this case is given as

$$\gamma_k = \frac{|Gh_k|^2}{\mathbb{E}\left[G\left(\frac{1}{\rho_k} + \tilde{h}_K\tilde{h}_l^H - h_K h_l^H + \sum_l H_l H_l^H\right)\rho_k|\hat{H}_l|\right]} \quad (4)$$

and $\mu = 2\ln(5P_e)/3$ is the SNR gap between the Shannon channel capacity and a practical scheme achieving the BER $P_e$ [2].

**1.1)** The design of MRC is based on the combination of CSI combined at BTS, where, H is the channel and c is the constant of power normalization.

$$G_{MF} = c'H^H \quad (5)$$

**1.2)** ZF pre-coding eliminates the interference of transmitting the signals from the users which is nullified in the "direction" of other users. The ZF detector is given as

$$G_{ZF} = H^{\dagger} \quad (6)$$

$H^{\dagger} = H^H(HH^H)^{-1}$ is the pseudo inverse of the channel matrix H.

**1.3)** Here, the transmit weights are taken as the, scalar power constraint, H is the channel, and I is the channel coefficient [2].

$$G_{MMSE} = H(H^H H + 1/p_u I_K)^{-1} \quad (7)$$

This $p_u$ is interpreted as the normalized transmit power per UT. We use the result of [3] in which the sum of the squared errors at all the users' receivers is minimized, and obtained a simple, closed-form solution, as

$$I_K = K\sigma_n^2 \quad (8)$$

**1.4)** Here, we assumed that the element of channel matrix **H** is Rayleigh distributed and the covariance matrix $R_{HH} = E\{HH^H\}$. We now diagonalise $R_{HH}$ using Eigen Value Decomposition (EVD),

$$R_{HH} = U_H D_H U_H^H \quad (9)$$

$D_H = Diag(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$, (.) H is the complex conjugate transpose operator. $U_H$ is unitary and $\lambda_\mu$ denotes the $\mu^{th}$ eigen value of $R_{HH}$. It has been demonstrated that

$U_W = U_H^H$ satisfies the beam direction by using channel with power normalization as

$$G_{EVD} = \xi H^H (H H^H)^{-1} \quad (10)$$

Finally, $\xi$ is the normalization scalar power constraint.

## 2. Fresh optimum Power Allocation Algorithm for LSAS

Random channel vectors $h_l$ are independent of the random vector $h_k$. Denote $\alpha_l \triangleq |h_k h_l^H / \|h_l\||^2$, then $\alpha_l \ (l = 1,2,\dots k-1, k+1, \dots, K)$ are i.i.d. Gaussian Random Variable (GRV) with parameters (1,1) according to [3]. Denote $\alpha_0 \triangleq \|h_l\|^2$, then $\alpha_0$ is also GRV with parameters (N,1). Since the expectation of $\alpha_l$ is E[$\alpha_l$]=1, then,

$$\mathbb{E}\left[\left|h_k \sum_{l=1\neq k}^{K} \sqrt{\rho_l \beta_k} \frac{h_k h_l^H}{\|h_l\|}\right|^2\right] = \beta_k \sum_{l=1\neq k}^{K} \rho_l E[\alpha_l] = \beta_k \sum_{l=1\neq k}^{K} \rho_l \quad (11)$$

$$\mathbb{E}[\rho_k \beta_k \|h_k\|^2] = N \rho_k \beta_k \quad (12)$$

In order to develop the power allocation algorithm, we have to consider the maximum approximation case as [1], by this we consider the simplified SINR values as

$$\gamma_{MRC} = \frac{\beta_k^2}{\sum_{k\neq 00} |\beta_k|^2} \quad (13) \qquad \gamma_{ZF} = \frac{G_{ZF} \beta_k^2}{\sum_{k\neq 00} \tilde{G}_{ZF} |\beta_k|^2} \quad (14)$$

$$\gamma_{MMSE} = \frac{G_{MMSE} \beta_k^2}{\sum_{k\neq 00} \tilde{G}_{MMSE} |\beta_k|^2} \quad (15) \qquad \gamma_{EVD-PA} = \frac{G_{EVD-PA} \beta_k^2}{\sum_{k\neq 00} \tilde{G}_{EVD-PA} |\beta_k|^2} \quad (16)$$

The rate of uplink for the whole l BTS cell is given by

$$R_l^{MRC,ZF,MMSE,EVD-PA} = \mathbb{E}[log_2(1 + \gamma_{MRC,ZF,MMSE,EVD-PA})] \quad (17)$$

## 3. Simulation Results

Figure 2/ 3/ 4 show the spectrum efficiency performance in an MMB-A/ B/ C channel environment. EVD-PA outperforms the conventional algorithms in the case of the MMB-A/ B channel. Compared to the MMB-A/ B channel, the performance is severely degraded and very unstable in the case of the MMB-C channel due to a high delay spread and ISI. The spectral efficiency is considerably reduced in the MMB-C case.

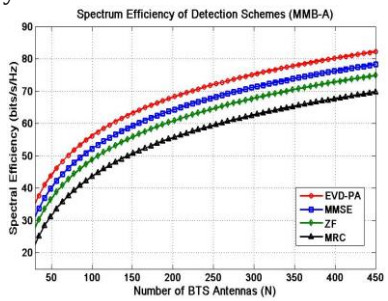



**Figure 2.** Spectrum Efficiency performances of detection technique in MMB-A channel.

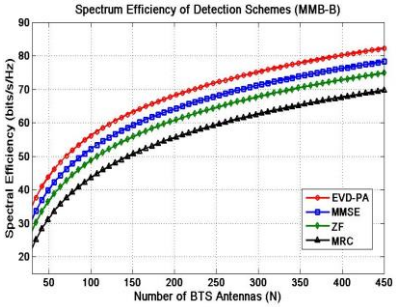



**Figure 3.** Spectrum Efficiency performances of detection technique in MMB-B channel

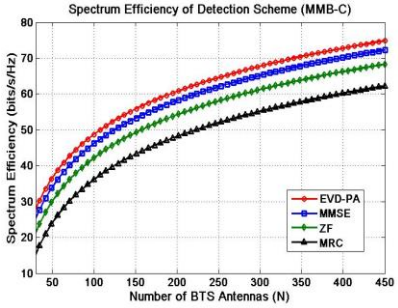



**Figure 4.** Spectrum Efficiency performances of detection technique in MMB-C channel

## 4. Conclusions

We show that the proposed detection scheme, EVD-PA, is well suited for large scale MIMO in a multiuser environment. Lower bounds are considered for power normalization and fading environments. No difference was observed in the detection technique performance. Generally, ZF outperforms MRC, showing an ability to cancel intra-cell interference. However, in a multicell case with strong pilot contamination, this advantage will probably diminish. For future prospects, we can implement the discussed algorithm for channel estimation through pilots and also in an imperfect CSI. Moreover, our proposed EVD-PA can be implemented for the pilot contamination scenario.

## 5. Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2015R1D1A1A01059397). This work was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea(NRF-2014H1C1A1066568).

## 6. Reference

[1] J. Hoydis, S. ten Brink, and M. Debbah, "Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How Many Antennas Do We Need?"IEEE J. Sel.Area Commun., vol. 31, no. 2, pp.160-170, Feb. 2013

[2] C. He et al., "Energy Efficiency and Spectral Efficiency Tradeoff in Downlink Distributed Antenna Systems," IEEE wireless commun., Let.,vol. 1, no. 3, pp. 153-156, June, 2012.

[3] Y. Yang et al., "Transmitter Beamforming and Artificial Noise with Delayed Feedback: Secrecy Rate and Power Allocation," Journal of Communications and Networks, vol. 14, no. 4, pp. 374-384, Aug. 2012.

# Massive MIMO 기반의 패턴편파 빔분할 다중접속 기술에 관한 연구

길계태, 박대희, 이주용, 금승원, 조동호

한국과학기술원

# A study on the performance of massive MIMO based P$^2$BDMA scheme

Gye-Tae Gil, Daehee Park, Ju Yong Lee, Seung-Won Keum, Dong-Ho Cho

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

gategil@kaist.ac.kr, indeener@kaist.ac.kr, jylee1117@gmail.com, keumsw@kaist.ac.kr, dhcho@kaist.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 기존 massive MIMO 방식의 한계를 극복하기 위하여 전체 cell site 를 다수의 빔섹터로 세분화하고 각 빔섹터에서 패턴편파를 사용하여 MIMO 전송을 실현하는 P$^2$BDMA 기술을 제시한다. 또한, 이 새로운 접속기술에 기반한 시스템 구조를 설계하고, 설계된 패턴편파 안테나 array 를 사용한 채널 시뮬레이터를 구현하여 4 가지의 서로 다른 기술에 대한 성능 비교를 통하여 그 유효성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과는 패턴편파 안테나 array 를 사용함으로써 massive MIMO 시스템의 spectral efficiency 와 DoF 를 개선할 수 있음을 보여주었다.

## 1. 서론

Pattern polarization beam division multiple access(P$^2$BDMA)기술은 K 개의 서로 다른 패턴편파 특성을 갖는 안테나 array 들을 사용하여 array 별로 B 개의 빔섹터를 구성하여 빔섹터 간에 주파수를 재사용하고, 동시에 각 빔섹터 안에서 K×K MIMO 채널을 형성하여 셀룰러 시스템의 degree of freedom (DoF)와 spectral efficiency 를 개선할 수 있는 기술로서, 최근 3GPP 에 5G 표준으로서 제안되어 2 개 편파 안테나 소자를 사용하는 2 차원 active antenna array 기반의 full-dimensional MIMO (FD-MIMO)[1]-[4]와 같은 계열의 진보된 기술이다.

본 논문에서는 P$^2$BDMA 기술에 대한 시스템 모델과 채널모델을 설명하고, 4 개의 서로 다른 패턴편파 특성을 갖는(즉, K=4) 패턴안테나 array 들을 사용하는 P$^2$BDMA 시스템을 설계하고, 시뮬레이션을 통하여 제안된 P$^2$BDMA 기술이 기존 기술들에 대해 갖는 성능 이득을 검증한다.

## 2. System model

그림 1 은 본 논문에서 고려하는 시스템 모델을 보여준다. 이 모델에서는 ○, △, □, ◇로 표시된 K=4 개의 서로 다른 type 의 패턴편파 안테나 소자들이 K=4 개의 패턴편파 안테나 array 를 구성한다. 이 패턴편파 안테나 array 는 K 개의 virtual antenna array 들로 분해될 수 있고, 특정 k 번째 virtual antenna array 는 M×N 의 dimension 을 갖는다. 각각의 virtual antenna array 는 대상 service area 를 B 개의 sector 들로 분할하는 데 사용되며, B 개 sector 의 angle of departure (AoD)는 virtual antenna array index k 와는 무관한 값을 갖는다. 따라서, UE 의 수신안테나 수가 $N_r$일 때, K 개 virtual antenna array 들을 갖는 패턴편파 antenna array 를 사용하여 각 sector 마다 $N_r$×K MIMO 채널을 실현시킬 수 있으며, min($N_r$,K)개의 symbol 들이 동일한 시간/주파수 자원을 통하여 각 섹터로 송신될 수 있게 된다. 이 방식을 P$^2$BDMA 라고 일컫는다.

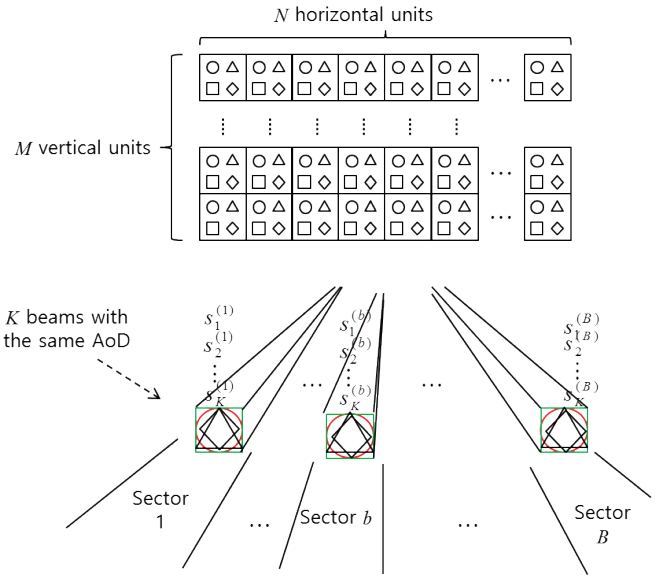



그림 1 P$^2$BDMA 시스템 개념도

## 3. 시뮬레이션 결과

본 논문의 P²BDMA 기술의 성능을 검증하기 위하여 그림 2 에서 보는 바와 같이 4 가지 type 의 패턴 편파 안테나를 설계하여 4 개의 4x8 virtual antenna array 들을 갖는 128 소자 rectangular array 를 구성하였다.

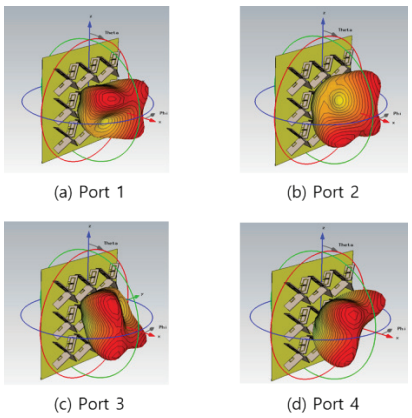
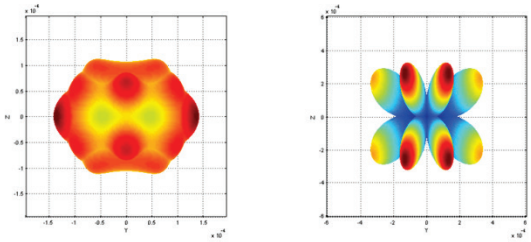



그림 2 CST로 설계된 4가지 안테나 방사패턴



(a) Single sector (B=1) (b) 8 sector (B=8)

그림 3 Sectorization models

이 패턴편파 안테나 array 를 사용하여 그림 3 과 같은 빔섹터를 형성하고 다음과 같이 4 가지 서로 다른 구성을 갖는 시스템에 대한 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하였다.

1) 단일 섹터 4x4 MIMO: 120° sector 구성($N_r$ = 4)
2) BDMA (2x4 sectors, v-pol only) : vertical polarization만을 갖는 4x8 안테나 array 하나를 사용하여 8개 빔섹터 구성(K=1, $N_r$ = 1)
3) BDMA (2x4 sectors, v/h-pol): 2개의 4x8 virtual antenna array을 사용하여 8개 빔섹터 구성. 하나는 vertical polarization, 다른 하나는 horizontal polarization(K=2, $N_r$ = 2)
4) P²BDMA (2x4 sectors, 4-pat/pol): 4개의 패턴 편파 특성을 갖는 4x8 virtual antenna array 들을 사용하여 8개 빔섹터 구성(K=4, $N_r$ = 4)

그림 4 는 상기 4 개의 서로 다른 시스템 구성방식에 대하여 SNR∈[0,40] dB 에서 달성 가능한 spectral efficiency 를 비교한 것이다. 그림에서, MIMO 채널의 DoF 는 채널의 condition number 가 100 보다 작게 되는 eigen mode 들의 수로 정의된다. 그림으로부터, virtual antenna array 들의 수가 증가함에 따라 spectral efficiency 와 DoF 가 모두 그에 비례하여 증가하며 P2BDM 기술이 기존 기술보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다.

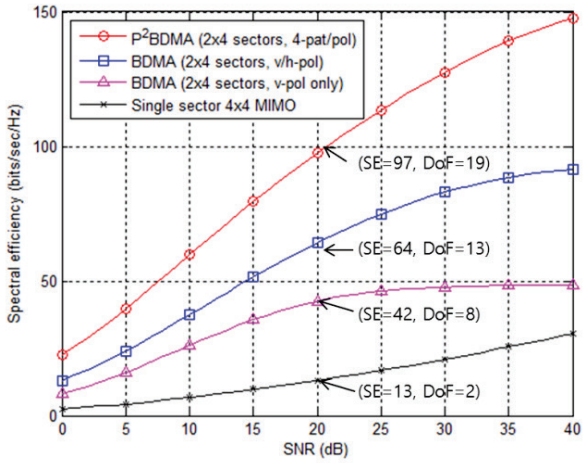



그림 4 SNR 에 따른 downlink SE 와 DoF (SE 는 spectral efficiency 를 나타냄)

## 4. Conclusion

본 논문에서는 P²BDMA 라고 일컫는 새로운 massive MIMO 기술을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 그 유효성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과는 더 큰 K 값을 갖는 패턴편파 안테나 array 를 사용함으로써 massive MIMO 시스템의 spectral efficiency 와 DoF 를 개선할 수 있음을 보여주었다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1309 , 안테나 노드 그룹핑 기반 무간섭 적응빔 접속기술 개발]

## 참고 문헌

[1] Y. H. Nam, B. L. Ng, K. Sayana, Y. Li, J. Zhang, Y. Kim and J. Lee, “Full-dimension MIMO (FD-MIMO) for next generation cellular technology,” IEEE Comm. Mag., vol. 51, no. 6, June 2013.
[2] Y. H. Nam, et. al., “Full Dimension MIMO for LTE-Advanced and 5G,” ITA Workshop, San Diego, CA, 2015, pp. 143-148.
[3] RP-141644, “Study on Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE,” Samsung, Nokia Networks, 3GPP RAN #65.
[4] 3GPP TR 36.897 V1.0.1 Study on Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE, June 2015.

# LoS 채널 환경에서 균일 원형 배열 안테나를 이용한 빔포밍

전유리°, 김민현, 길계태, 정의림, 이용훈
한국과학기술원 전기 및 전자 공학부
{yuri0703, mhkim}@stein.kaist.ac.kr, gategil@kaist.ac.kr, erjeong@hanbat.ac.kr, yohlee@kaist.ac.kr

## 1. 서론

기존의 연구에서는 Line-of-Sight (LoS) 채널 환경에서 다중화 이득을 얻기 힘든 것으로 알려져 왔으나 최근의 연구 결과 [1]-[2]에 의하면 안테나 배치를 최적화 할 경우 LoS 채널 환경에서도 동일한 고유값을 가진 full-rank 의 채널을 얻을 수 있다. 이러한 full-rank 를 얻는 최적화된 안테나 배치 환경에서 추가적인 이득을 얻기 위해서 기존에 널리 사용 되고 있는 uniform linear array (ULA) 에서는 subarray 구조를 사용한다 [3].

최근 ULA 의 대안으로 uniform circular array (UCA) 를 이용한 다중 안테나 시스템이 대두되고 있다. 이는 UCA 구조의 특성상 채널이 circulant 가 되기 때문에 송수신단에서 DFT/IDFT precoder/combiner 로 채널 정보 없이 쉽게 채널을 diagonalization 할 수 있기 때문이다 [4]. 본 연구에서는 위와 같은 UCA 구조의 장점을 유지하며 추가적인 이득을 얻기 위하여 subarray 를 사용한 시스템 (UCA-SA)을 제안한다. 모의 실험을 통하여 제안한 시스템이 기존의 단일 안테나로 이루어진 UCA 시스템과 비교하여 더 큰 주파수 효율을 얻을 수 있음을 확인 한다.

## 2. 시스템 모델 및 빔포밍

본 논문에서 고려하는 시스템은 LoS 채널 환경에서 송수신단에 각각 $N_s$ 개의 subarray 를 원형으로 균일하게 배치한 UCA-SA 시스템이다. 각각의 subarray 는 $M$ 개의 안테나가 정사각형 모양으로 배치된 형태이다 (그림 1).

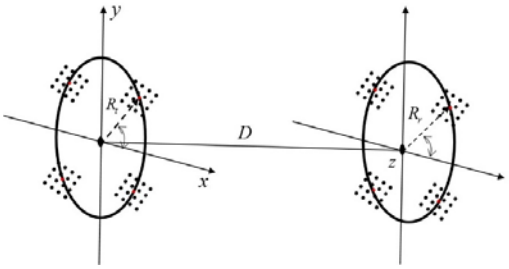



**그림 1. $M$ =16, $N_s$ =4 인 UCA-SA 시스템**

UCA-SA 시스템의 채널 매트릭스 $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{MN_s \times MN_s}$를 circulant matrix 로 만들어 주기 위해 송신단 빔포머 $\mathbf{F} \in \mathbb{C}^{MN_s \times N_s}$와 수신단 빔포머 $\mathbf{G}^H \in \mathbb{C}^{N_s \times MN_s}$를 사용한다. 이 때, 수신단 combiner 를 통과한 수신 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{Q}^H\mathbf{G}^H\mathbf{HFQs} + \mathbf{Q}^H\mathbf{G}^H\mathbf{n} \quad (1)$$

본 연구에서는 위 시스템 모델에서 effective channel $\mathbf{G}^H\mathbf{HF}$ 이 circulant matrix 가 되도록 하는 빔포머 $\mathbf{F}$, $\mathbf{G}^H$ 를 다음과 같이 제안하고, 이러한 빔포머가 채널 용량을 최대화 시킴을 보인다.

$$\mathbf{F} = diag[\mathbf{1}_M, \cdots, \mathbf{1}_M] \text{ 그리고 } \mathbf{G}^H = \mathbf{F}^T. \quad (2)$$

위 빔포머를 사용할 경우, effective channel 이 단일 안테나로 이루어진 UCA 시스템의 채널 매트릭스의 합으로 표현되는 효과를 가지게 되므로 채널 매트릭스가 circulant 가 되고, 채널 용량이 최대화 된다.

## 3. 모의 실험 결과 및 결론

모의 실험은 16 개의 단일 안테나로 구성된 기존의 UCA 시스템과 $M, N_s$ =4 인 UCA-SA 시스템의 거리에 따른 주파수 효율을 측정한다. 반송파 주파수는 75GHz, 송수신 UCA 반지름 0.3m 그리고 수신 SNR = 20dB 로 고정한다. 비교 시스템은 송신단에서 채널 정보를 알아 power control 을 해 준 시스템과 송신단 채널 정보 없이 equal power 로 보낸 시스템으로 나뉜다. 그림 2 에서 보면 제안한 시스템이 송신단 채널 정보가 없을 때, 기존의 단일 안테나 시스템보다 통신 거리 120m 이상에서 주파수 효율이 좋음을 보여준다. 또한, 송신단 채널 정보가 있는 기존의 시스템에 비해서도 거리가 250m 이상 멀어질 경우 성능이 거의 비슷한 것을 확인해 볼 수 있다.

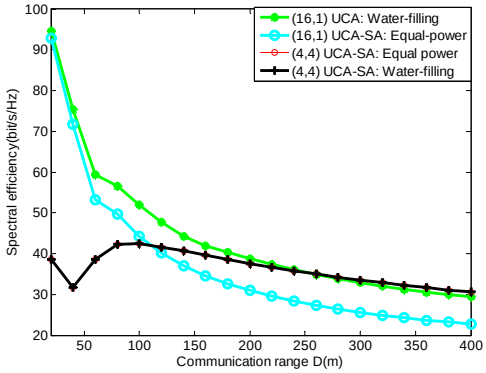



**그림 2 거리에 따른 각 시스템 별 주파수 효율**

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1372, 공간스프레딩 기반 모바일 멀티모드 전송기술 개발]

## 4. 참고 문헌

[1] Liang Zhou and Yoji Ohashi, "Low complexity millimeter-wave LOS-MIMO precoding systems for uniform circular arrays," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Track 1 (PHY and Fundamentals)*, pp. 1293-1297, Istanbul, Turkey, Apr. 2014.

[2] Peng Wang, Yonghui Li and Vucetic, "Millimeter wave communications with symmetric uniform circular antenna arrays," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 8, pp. 1307-1310, Aug. 2014.

[3] Eric Torkildson, Upamanyu Madhow, and Mark Rodwell, "Indoor millimeter wave MIMO: feasibility and performance," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 12, pp. 4150-4160, Dec. 2011.

[4] O. Edfors and A. J. Johansson, "Is orbital angular momentum (OAM) based radio communication an unexploited area?," *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 60, no. 2, pp. 1126-1131, Feb. 2012.

# Elimination of Pilots Contamination Based on Power Coding

Yongpan Feng°, Hyuck Jin Choi, Suk Chan Kim
Pusan National University
sckim@pusan.ac.kr

## 1. INTRODUCTION

Channel state information (CSI) is one of the most important parameters in wireless communication, which decides the network throughput. Too many studies have been done to solve this problem. [1] considered multicell multiuser multi-input multi-output (MU-MIMO) system with massive antennas at based station (BS) and showed the pilot contamination effect dictates the ultimate limit on the system performance as the number of antennas increases infinitely. [2-4] are also assume that there are massive antennas in wireless communication. In this Letter, we consider single input single output scenario and we propose a simple but also efficient method to obtain CSI based on coding transmitted power of users.

## 2. Multicell TDD System Model

Consider a cellular system with K cells numbered 1, 2, ..., K (see Fig. 1). Each cell consists of one BS. Assume that the K BSs share the same frequency band. The pilots in one cell are all orthogonal to each other and the number of pilots in a set is more than or equal to the number of users in the cell so that all the pilots being used are orthogonal to each other. In this Letter, we consider uplink transmission and only focus on one pilot p in the 1st cell that has been contaminated seriously by K-1 users from other cells.

At the beginning of every coherence interval, all the users in all cells transmit training sequences of **p**, which is a N length column vector. The pilot received at the BS in the 1st cell is

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^{K} \mathbf{P}\mathbf{h}_k + \mathbf{w}, \tag{1}$$

where **P** is a circular matrix of vector **p** as following,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_1 & p_N & \cdots & p_2 \\ p_2 & p_1 & \cdots & p_3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_N & p_{N-1} & \cdots & p_1 \end{bmatrix}$$

and $\mathbf{h}_k$ represents the channel impulse response (CIR) from the user who is using pilot p in k-th cell to the BS in 1st cell and w is Gaussian white noise at the receiver of the 1st BS.

## 3. Multicell TDD System Model

In a coordinated system, we can ask every BS to send a command to the user who is using pilot **p** in their cell and tell them to use a certain transmitted power at a certain time. In other words, we can code the transmitted power of the user who is using pilot **p** in time domain, which can be demonstrated by a codebook **A,** where $\mathbf{a}_{ij}$ denotes the square root of the relative transmitted power for the user who is using the pilot **p** in i-th cell during the j-th pilot interval. Here, we require **A** is invertible. As a result, the pilot of the i-th user during the j-th pilot interval can be expressed as

$$\bar{\mathbf{p}}_{ij} = a_{ij}\mathbf{p}, \tag{2}$$

and, correspondingly, the received pilot at the 1st BS during the j-th pilot interval can be expressed as

$$\bar{\mathbf{y}}_j = \sum_{i=1}^{K} \bar{\mathbf{p}}_{ij} \otimes \mathbf{h}_{ij} + \mathbf{w}_j. \tag{3}$$

Combining the K equations, we get

$$\bar{\mathbf{Y}} = \mathbf{P}\hat{\mathbf{H}}\mathbf{A} + \mathbf{W} \tag{4}$$

Then after multiply both sides of the above equation by inverse of A, we can get

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{P}\hat{\mathbf{H}} + \tilde{\mathbf{W}}. \tag{5}$$

## 4. NUMERICAL RESULTS

We suppose the length of CIR is 512, the number of multipath is 20, the transmitted signals are modulated by 4QAM, the power coding book is generated by rand matrix whose every entry follows uniform distribution in [0, 1]. We apply Least Square (LS) method to estimate channel. The plot of MSE of channel error v.s. SNR and $SNR_h$ is shown in Fig. 1.

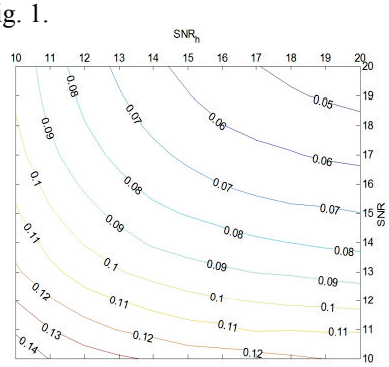



Fig. 1. MSE of error of channel estimation.

## 5. CONCLUSION

This Letter investigates the challenging problem of pilot contamination for multi-cell TDD coordinated systems for uplink transmission in slow fading channel. The proposed method transfers the coding of transmitted power to the power of CIRs, and by taking the codebook, the pure channel estimation equation for main cell was obtained.

## REFERENCES

[1] Marzetta, Thomas L. "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas." Wireless Communications, IEEE Transactions on 9.11 (2010): 3590-3600.

[2] Marzetta, Thomas L. "How much training is required for multiuser MIMO?." Signals, Systems and Computers, 2006. ACSSC'06. Fortieth Asilomar Conference on IEEE, 2006.

[3] Jose, Jubin, et al. "Scheduling and pre-conditioning in multi-user MIMO TDD systems." Communications, 2008. ICC'08. IEEE International Conference on IEEE, 2008.

[4] Ngo, Hien Quoe, Thomas L. Marzetta, and Erik G. Larsson. "Analysis of the pilot contamination effect in very large multicell multiuser MIMO systems for physical channel models." Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2011 IEEE International conference on IEEE, 2011.

# 밀리미터파 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에서 하이브리드 컴바이닝 기법을 적용한 수신기의 소비전력과 전송률 분석

전성배°, 강준혁
한국과학기술원 전기및전자공학부

# Capacity and power consumption analysis of hybrid combining in millimeter wave uplink multi-user MIMO system

Seongbae Jun°, Joonhyuk Kang
School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)
youngnam10@kaist.ac.kr, jhkang@ee.kaist.ac.kr

## 요 약

MIMO 무선통신에서 수신기에 하이브리드 컴바이닝 기법을 이용하면 송수신기의 전력 부하가 경감된다. 밀리미터파 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템에 이를 도입했을 때 전송률과 수신기의 소비전력과의 관계를 분석하였다. 수신기에 사용자 수와 동일한 개수의 RF chain 을 사용하면 소비전력을 크게 낮춤과 동시에 단위 전력당 전송률은 크게 향상되어 하이브리드 컴바이닝을 도입한 목적을 이룰 수 있다.

## 1. 들어가며

밀리미터파 대역을 이용한 통신은 5G 네트워크의 핵심 기술로 각광받고 있다. 2016 년 현재 6GHz 이상의 주파수는 상용화되지 않아 큰 대역폭을 확보하기 용이하다. 이를 개척하여 큰 대역폭의 이점을 십분 이용하면, 5G 에서 요구하는 높은 데이터 전송률을 실현할 것이라 기대한다.

6GHz 이상의 고주파 신호는 높은 주파수로 인해 전파 손실이 크다. 특히 수분이나 산소 등의 장애물에 취약하다. 하지만 짧은 파장으로 인해 송수신 안테나를 좁은 간격으로 많이 설치할 수 있다. 이 점을 이용하여 신호 전달상의 손실을 만회하기 위해 많은 수의 안테나를 사용한다. 그만큼 송수신기의 신호 처리량과 이에 따른 전력소모가 늘어난다 [1].

본 논문에서는 하이브리드 컴바이닝을 적용한 수신기의 소비전력과 전송률과의 관계를 살펴보려고 한다. 수신기의 안테나와 RF chain 숫자에 따른 단위 전력 당 전송률을 비교할 것이다.

## 2. 시스템 설명

### 가. 밀리미터파 채널 모형

밀리미터파 채널 모형으로 IEEE 802.15.3c 표준에서 확장된 double-directional channel model 을 사용한다. 본 모델은 2.4~5GHz 대역의 3GPP/LTE 표준과, 60GHz 대역의 IEEE 802.11ad 표준에 공통으로 적용되어 있어 광범위한 주파수 대역에서 무선 채널 모델링에 적합하다. 무선 채널에서 발생하는 다중 경로 각각의 출발 및 도착 각도를 변수로 반영하여, 이들의 합으로 표현한다 [1], [2].

$$\mathbf{H}_u = \gamma \sum_{l=1}^{L_u} \alpha_{u,l} \mathbf{a}_{\mathrm{MS}}(\theta_{u,l}) \mathbf{a}_{\mathrm{BS}}(\theta_{u,l})^*$$

여기에서 $L_u$ 는 다중 경로 개수이고, $\gamma = \sqrt{\frac{N_{BS} N_{MS}}{L_u}}$ 는 안테나 수에 따른 power 조건 $\mathrm{E}[\|\mathbf{H}_u\|_F^2] = N_{\mathrm{BS}} N_{\mathrm{MS}}$ 을 만족하도록 하는 정규화 인자이다. $\mathbf{a}_{\mathrm{MS}}(\theta_{u,l})$와 $\mathbf{a}_{\mathrm{BS}}(\theta_{u,l})$는 각각 출발과 도착 각도를 변수로 하는 조향벡터로서, 등간격으로 나란히 분포한 다중 안테나 배열인 경우에서는 아래와 같이 나타난다.

$$\mathbf{a}_{\mathrm{ULA}}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta}, \ldots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda}(N-1)\sin\theta}\right]^T$$

### 나. 시스템 모형

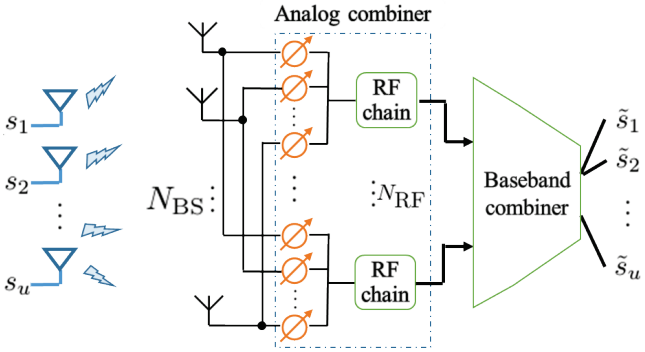



그림 1 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템과 하이브리드 컴바이너

그림 1 은 단일 셀로 이루어진 밀리미터파 상향링크 다중 사용자 MIMO 시스템을 나타낸다. u 명의 사용자는 각각 단일 안테나를 사용하여 symbol 을 하나씩 전송한다. 전체 symbol 의 power 은 P 가 되

도록 한다.

$$\mathbf{s} = [s_1, s_2, \ldots, s_u], \ \mathbb{E}[\mathbf{s}\mathbf{s}^*] = \frac{p}{u}\mathbf{I}_u$$

신호를 받는 기지국의 수신기는 $N_{BS}$ 개 안테나와 $N_{RF}$개 RF chain 으로 구성되어 있다. 이들 장비를 이용하여 각각의 사용자별로 보낸 symbol 을 판독하는데, 이를 컴바이닝이라 한다. 밀리미터파 환경에 적합하도록 하이브리드 컴바이닝 기법을 이용한다 [2].

송신신호와 수신신호, 그리고 컴바이닝을 수식으로는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\mathbf{r} &= \sum_{n=1}^{u}\mathbf{H}_n s_n + \mathbf{n} \\ \tilde{s}_n &= \left(\mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}}\right)^* \mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^* \mathbf{r} \\ &= \left(\mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}}\right)^* \mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^* \sum_{n=1}^{u}\mathbf{H}_n s_n + \left(\mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}}\right)^* \mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^* \mathbf{n}\end{aligned}$$

여기에서 $\mathbf{r}$ 과 $\tilde{s}_n$ 은 각각 수신신호와 컴바이닝을 통해 얻은 사용자 n 에 해당하는 신호가 된다. $\mathbf{W}_{RF}$ 은 아날로그 컴바이너를, $\mathbf{W}_n^{BB}$ 은 사용자 n 에 해당하는 디지털 컴바이너를 의미한다. Gaussian signaling 을 가정하면 사용자 n 의 전송률은 다음과 같다.

$$R_n = \log_2\left(1 + \frac{P\left|\left(\mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}}\right)^* \mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^* \mathbf{H}_n\right|^2}{P\left|\left(\mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}}\right)^* \mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^* \sum_{k\neq n}\mathbf{H}_k\right|^2 + \left|\left(\mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}}\right)^* \mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^*\right|^2 \sigma^2}\right)$$

## 3. 전송률 산정과 전력소모 모형

### 가. 하이브리드 컴바이닝

하이브리드 컴바이닝은 디지털 컴바이닝 전 단계에 아날로그 컴바이닝을 삽입하여, 디지털 컴바이닝의 입력 신호 개수를 줄여준다. 아날로그와 디지털 컴바이너의 크기는 각각 다음과 같다. 디지털 컴바이너 입력 신호가 안테나 개수 $N_{BS}$에서 RF chain 개수인 $N_{RF}$개로 줄었다.

$$\mathbf{W}_{\mathrm{RF}} \in \mathcal{C}^{N_{\mathrm{BS}} \times N_{\mathrm{RF}}}, \ \mathbf{w}_n^{\mathrm{BB}} \in \mathcal{C}^{N_{\mathrm{RF}} \times 1}$$

하지만 아날로그 컴바이너는 크기 조절 기능이 없는 phase shifter 을 사용하기에 신호처리의 유연성은 떨어진다. 즉 다음 조건을 만족하는 신호처리만 가능하다 [2].

$$\left(\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^{(i)}\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^{(i)*}\right)_{l,l} = \frac{1}{N_{\mathrm{BS}}}$$

본 제한 조건을 만족하도록 아날로그 컴바이너와 디지털 컴바이너를 설계하여 전송률 $R_n$을 산정한다.

### 나. 수신기 전력 소모 모형

$N_{BS}$개 안테나와 $N_{RF}$개 RF chain 을 가진 기지국이 소비하는 전력은 다음과 같다 [3].

$$P_{\mathrm{cir}} = P_{\mathrm{PA}} + N_{\mathrm{BS}}P_{\mathrm{LNA}} + N_{\mathrm{RF}}(P_{\mathrm{RF\ chain}} + P_{\mathrm{ADC}}) + P_{\mathrm{BB}}$$

여기에는 안테나가 수신한 신호를 증폭하는 low noise amplifier (LNA)와, 아날로그 컴바이닝에 필요한 phase shifter 와 ADC, RF chain, 이후에 디지털 컴바이너가 소모하는 전력이 포함되어 있다. 각각의 소자별로 살펴보면 다음과 같다.

$$P_{\mathrm{LNA}} = 20mW, \ P_{\mathrm{ADC}} = 200mW, \ P_{\mathrm{RF\ chain}} = 40mW,$$
$$P_{\mathrm{BB}} = 200mW, \ P_{\mathrm{PA}} = N_{\mathrm{BS}} \times N_{\mathrm{RF}} \times 20mW$$

## 4. 시뮬레이션 결과

SNR 10dB 에서 수신기의 안테나와 RF chain 개수별로 상황을 설정한다. 각 상황별로 전송률을 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 구하고, 이를 수신기의 소모 전력으로 나누면, 단위 전력당 전송률을 구할 수 있다. 그림 2 는 이를 사용자 2 명과 3 명일 때 표현한 것이다.

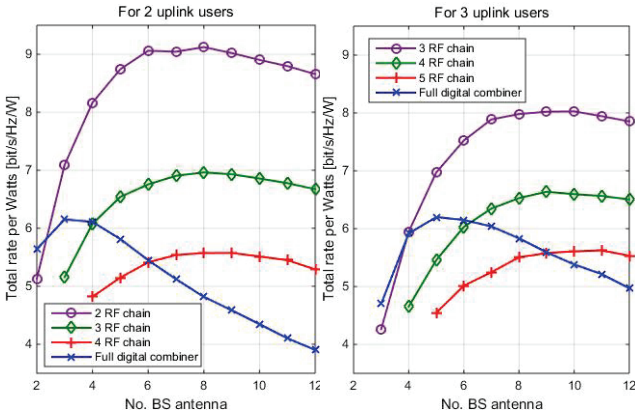



그림 2 안테나와 RF chain 개수에 따른 단위 전력당 전송률

하이브리드 컴바이닝 이용시, 디지털 컴바이닝 대비 단위 전력당 전송률이 1.3~1.4 배 향상된다. 또한 RF chain 개수는, 사용자 숫자와 동일할 때 단위 전력당 전송률 측면에서 가장 좋다. RF chain 개수가 정해졌을 때, 기지국의 안테나가 하나씩 늘어나면 특정 지점까지 이득을 보나 이후에는 전송률 증가폭이 정체되면서 단위 전력당 전송률은 줄어든다.

## 5. 결론

하이브리드 컴바이닝을 도입하여, 수신기의 소비전력을 큰 폭으로 낮추고 단위 전력당 전송률은 향상되었다. 필연적으로 많은 수의 안테나를 사용하는 밀리미터파 환경에서 수신기의 전력 소모 문제가 해소되었다. 따라서 하이브리드 컴바이닝은 밀리미터파 환경에 적합한 기법이라 할 수 있다.

## 6. 참고문헌

[1] O. E. Ayach, S. Rajagopal, S. Abu-Surra, Z. Pi, and R. W. Hearh, Jr., "Spatially Sparse Precoding in Millimeter Wave MIMO Systems," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 13, no. 3. March 2014.

[2] A. Alkhateeb, G. Leus, and R. W. Heath, Jr., "Limited Feedback Hybrid Precoding for Multi-User Millimeter Wave Systems," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 14, no. 11, November 2015.

[3] R. Mendez-Rial, C. Rusu, A. Alkhateeb, N. Gonzalez-Prelcic, and R. W. Heath Jr. "Channel Estimation and Hybrid Combining for mmWave: Phase Shifters or Switches?", *ITA 2015*, Feb. 2015.

# Outage Probability Analysis of Dual-hop Variable-Gain Relaying with Beamforming Over $\eta-\mu$ Fading Channels

Ayaz Hussain°, Jong-Hwan Kim and Sang-Hyo Kim†

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

† iamshkim@skku.edu

## Abstract

In this work, we analyze the outage probability (OP) of a dual-hop relaying with beamforming operating over $\eta-\mu$ fading channels. We consider a case where a variable-gain relay has a single antenna whereas both source and destination have multiple antennas. We obtain the analytical expression for the outage probability (OP) which is applicable to arbitrary values of parameters. We study the impact of beamforming and fading parameters on the proposed system performance. Our expression is justified with extensive Monte Carlo simulation.

## 1. Introduction

Dual-hop relaying is a promising technology to enhance the coverage and capacity performance of wireless networks [1]. Relaying protocols are mainly divided into two main kinds: decode-and-forward (DF) and amplify-and-forward (AF), DF relay re-encodes the received data and sends it to the destination while AF relay simply transmits the received message after amplifying it to the destination. The AF relay protocol offers satisfactory performance and has lower implementation complexity. Further, AF relays are categorized into two types, namely, fixed-gain relay and variable-gain relay [1]. The performance of the variable-gain relaying using beamforming under the $\eta-\mu$ fading channels is studied [2]. Beamforming technique used for directional transmission and reception, and effectively combats fading [3]. However, regarding variable-gain relaying, to the best of the authors knowledge, results for the outage probability (OP) of dual-hop variable-gain relaying with transmit and receive beamforming are not analyzed yet for the $\eta-\mu$ fading channels.

In this paper, we study the end-to-end system performance of a dual-hop variable-gain relay using beamforming over $\eta-\mu$ fading channels. Expression for the OP is derived and analyzed where we observe the impact of fading parameters and multiple antennas on the system performance.

## 2. System and Channel Models

We study a dual-hop system where a variable-gain relay has a single-antenna whereas a source and a destination are employed with $N_1$ and $N_2$ antennas, respectively. The source communicates the destination through the relay into two steps: In the first step, the source sends the signal to the relay with transmit beamforming, and then the relay amplifies the received signal and forwards it to the destination. The destination collects all received signals with receive beamforming. Assuming that the relay and source have average powers normalized to unity to transmit signals. We consider a system model based on the signal transmission scheme of [3], the overall total instantaneous signal-to-noise ratio (SNR) at the destination is written by [3]

$$\gamma_t = \frac{\gamma_1\gamma_2}{\gamma_1+\gamma_2+1} \tag{1}$$

where $\gamma_i = \|\alpha_i\|_F^2 / N_{oi}$ shows the $i$th-hop ($i$=1, 2) instantaneous SNR, $\|\cdot\|_F$ denotes the Frobenius norm, $\alpha_i$ is the $i$th- hop channel vector, and $N_{o1}$ and $N_{o2}$ are the average powers of additive white Gaussian noise (AWGN) at the relay and each destination antenna.

If $i$th hop experiences $\eta-\mu$ fading, the probability density function (PDF) of $\gamma_i$ is given by [2, eq. (8)]

$$f_{\gamma_i}(\gamma) = \Pi_i \frac{\gamma^{N_i\mu_i-0.5}}{H_i^{N_i\mu_i-0.5}}\left(\frac{\mu_i}{\bar{\gamma}_i}\right)^{N_i\mu_i+0.5} \exp\left(-\frac{2\mu_i h_i}{\bar{\gamma}_i}\gamma\right) I_{N_i\mu_i-0.5}\left(2\frac{\mu_i H_i}{\bar{\gamma}_i}\gamma\right) \tag{2}$$

where $\Pi_i = 2\sqrt{\pi}h_i^{N_i\mu_i}/\Gamma(N_i\mu_i)$, $\Gamma(\cdot)$ and $I_v(\cdot)$ denote the gamma and first kind modified Bessel functions [5], $\bar{\gamma}_i$ is the $i$th-hop average SNR, and $\mu_i$ is the number of multipath clusters. In Format-1 of the $\eta-\mu$ fading model [6], $h_i = 2+\eta_i^{-1}+\eta_i/4$, $H_i = \eta_i^{-1}-\eta_i/4$, and the parameter $\eta_i$ indicates the power ratio between the in-phase and quadrature scattered waves in each cluster of multipath [6]. Its cumulative distribution function (CDF) can be obtained using the infinite series of $I_v(\cdot)$ [5, eq. (8.445)] and with the help of [5, eqs. (3.381) & (8.354)] as

$$F_{\gamma_i}(\gamma) = \Pi_i \sum_{n=0}^{\infty}\sum_{r=0}^{\infty} \frac{(-1)^r H_i^{2n}\left(\frac{\mu_i}{\bar{\gamma}_i}\right)^{2N_i\mu_i+2n}\left(\frac{2\mu_i h_i}{\bar{\gamma}_i}\right)^r x^{2N_i\mu_i+2n+r}}{n!r!\Gamma(N_i\mu_i+n+0.5)(2N_i\mu_i+2n+r)}. \tag{3}$$

The $\eta-\mu$ distribution contains some different cases such as Nakagami-$m$ $(\eta \to 1,\ \mu = m/2)$, Hoyt $(\eta \to q^2,\ \mu = 0.5)$, and Rayleigh distributions $(\eta \to 1,\ \mu = 0.5)$ [6].

## 3. Outage Probability

The OP is the probability that the total SNR falls below a predefined value, $\gamma_{th}$. In the considered system, the OP can be obtained using (1) as

$$P_{out}(\gamma_{th}) = F_{\gamma_t}(\gamma_{th}) = \Pr\left[\frac{\gamma_1\gamma_2}{\gamma_1+\gamma_2+1} < \gamma_{th}\right] \quad (4)$$

where $F_{\gamma_t}(\cdot)$ is the CDF of $\gamma_t$. Several authors gave an approximation of $\gamma_t$ using an upper bound as [3]

$$\gamma_t = \min(\gamma_1,\ \gamma_2). \quad (5)$$

Hence, a lower bound $F_{\gamma_t}(\gamma)$ is given by [3]

$$F_{\gamma_t}(\gamma) = 1-\left[1-F_{\gamma_1}(\gamma)\right]\left[1-F_{\gamma_2}(\gamma)\right] \quad (6)$$

where $F_{\gamma_1}(\gamma)$ and $F_{\gamma_2}(\gamma)$ are given by (3), we have

$$F_{\gamma_t}(\gamma) = 1- \left[1-\Pi_1\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{r=0}^{\infty}\frac{(-1)^r H_1^{2n}\left(\frac{\mu_1}{\overline{\gamma}_1}\right)^{2N_1\mu_1+2n}\left(\frac{2\mu_1 h_1}{\overline{\gamma}_1}\right)^r x^{2N_1\mu_1+2n+r}}{n!r!\Gamma(N_1\mu_1+n+0.5)(2N_1\mu_1+2n+r)}\right] \left[1-\Pi_2\sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k H_2^{2j}\left(\frac{\mu_2}{\overline{\gamma}_2}\right)^{2N_2\mu_2+2j}\left(\frac{2\mu_2 h_2}{\overline{\gamma}_2}\right)^k x^{2N_2\mu_2+2j+k}}{j!k!\Gamma(N_2\mu_2+j+0.5)(2N_2\mu_2+2j+k)}\right]. \quad (7)$$

Replacing $\gamma = \gamma_{th}$, we obtain the OP.

## 4. Numerical Results

We simulated our proposed system model for different numbers of antennas at the source and destination and different values of fading parameters, $\eta$ and $\mu$, when $\overline{\gamma}_1 = \overline{\gamma}_2$. Fig. 1 plots the OP against per hop average SNR. It is observed that the lower bound is tight at high SNR. Results show that the outage performance has a positive relation with the number of antennas and fading parameters, $\eta$ and $\mu$. The parameter $\mu$ has noteworthy impact on the performance compared with $\eta$. As expected, increasing number of antennas, improves the system performance.

## 5. Conclusion

We analyzed the outage performance of dual-hop variable-gain relaying with transmit and receive beamforming for $\eta-\mu$ fading channels. The derived expression for the OP is valid for arbitrary-valued parameters, $\eta$ and $\mu$, and number of antennas. We observed that the parameter $\eta$ has a less influence on system performance compared with the parameter $\mu$.

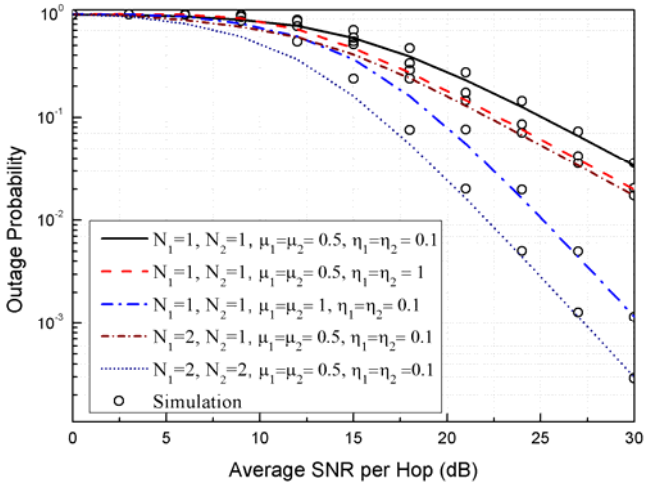



Fig. 1. OP versus average SNR per hop for various parameters at $\gamma_{th} = 10$ dB.

## 6. Acknowledgement

This research has been supported by the Basic Science Research Program through the NRF of Korea, funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2013R1A1A2012453).

## 7. References

[1] M. O. Hasna, "End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh-fading channels," *IEEE Trans. Wire. Commun.*, vol. 2, pp. 1126-1131, 2003.

[2] O. S. Badarneh and R. Mesleh, "Cooperative dual-hop wireless communication systems with beamforming over $\eta-\mu$ fading channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 1, pp. 37-46, 2015.

[3] C. Shaohua and *et. al.*, "On the performance of two-hop amplify and forward relay networks with beamforming over Rayleigh-Rician fading channels," in *Proc. IEEE 72nd VTC*. Ottawa, Canada, pp. 1-4, 2010.

[4] M. S. Simon and M. S. Alouini, *Digital Communications over Fading Channels*, 2nd edn., John Willey and Sons, New York, 2000.

[5] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series and Products,* 7th edn., Academic Press, 2007.

[6] M. D. Yacoub, "The $\kappa-\mu$ distribution and the $\eta-\mu$ distribution," *IEEE Antennas. Propag.,* vol. 49, no. 1, pp. 68-81, 2007.

# 실시간 Software-Defined Network 을 위한 Open vSwitch 우선순위 큐 구성

안남원°, 김성환, 임 혁

광주과학기술원 정보통신공학부

# Configuration of Open vSwitch Priority Queues for Real-time Software-Defined Networks

Namwon An°, Sunghwan Kim, Hyuk Lim

School of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

요 약

본 논문은 software-defined network 에서 실시간 데이터 전송을 위한 Open vSwitch 우선순위 큐 구성 방법을 논한다. 다양한 QoS 설정을 지원하도록 하기 위하여, Open vSwitch 의 우선순위 큐 구성을 사용하여 flow 의 우선순위에 따른 패킷 포워딩을 구현한다. 각 큐의 maximum/minimum rate, burst size, priority 및 큐잉 스케쥴링 정책 선택 통해 우선순위 차별화가 가능하다. 본 논문에서는 Open vSwitch 우선순위 큐 구성을 위한 데이터베이스 구성과 테이블 및 record 의 생성/연결 방법에 대해 자세히 논한다.

## 1. 서론

컴퓨터 네트워크 기술의 발달과 인터넷의 급속한 성장으로 VoIP, IP-TV, e-learning, online game 등 다양한 실시간 어플리케이션이 등장하였고, 비디오, 오디오 등 실시간 데이터의 신속한 전송이 매우 중요해 지고 있다. 실시간 데이터는 네트워크에서 지연시간 데드라인 (delay deadline)내에 source 에서 destination 까지 전송이 돼야 하는 요구사항을 가지고 있고, 이러한 요구사항을 만족시키기 위한 실시간 데이터 전송 기술의 연구가 필요하다.

인터넷에서 데이터 종류에 따른 서비스 차별화 기술로 DiffServ 가 제안된 바 있다. DiffServ 는 데이터의 종류에 따라 클래스를 분류하고, 각 라우터에서 클래스별로 best-effort 서비스를 제공하는 방식이다. 그러나 best-effort 서비스로 인해 실시간 데이터의 지연시간 데드라인 보장이 불가능하고, 제한된 클래스 개수로 인해 서비스 차별화가 제한되어 실시간 어플리케이션의 다양한 요구사항을 만족시키는데 한계를 가진다.

최근 software-defined networking (SDN) 기술을 기반으로 중앙화된 관점에서 네트워크를 제어하기 위한 연구가 이루어지고 있다. SDN 은 네트워크를 제어 망과 데이터 망으로 분리하는 메커니즘으로 SDN 제어기가 제어망을 통해 각 라우터와 연결되어 전체 데이터 망을 중앙에서 관리할 수 있게 된다. 본 논문은 소프트웨어정의 네트워크(software-defined network)에서 flow 우선순위 조절을 통해 지연시간 데드라인을 보장하기 위한 Open vSwitch (OVS) [1] 우선순위 큐 구성 방법에 대해 논한다.

## 2. Open vSwitch 우선순위 큐

### 2.1 Open vSwitch 내부구조

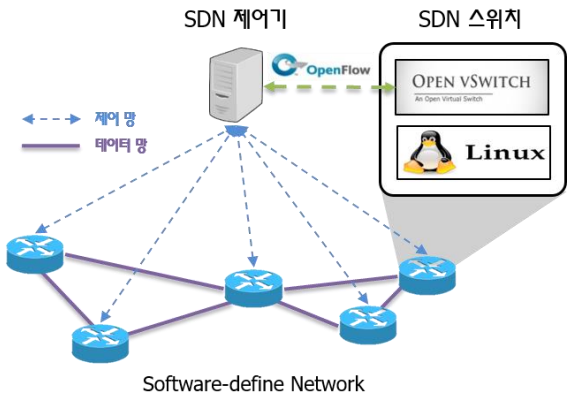



**그림 1. Software-defined Network 및 Open vSwitch**

OVS 는 리눅스 기반의 소프트웨어 스위치로 OpenFlow 프로토콜을 지원하여 소프트웨어정의 네트워크에서 SDN 스위치로 사용될 수 있다. 그림 1 에서 SDN 스위치는 제어망을 통해 SDN 제어기에게 물리 스위치의 포워딩 테이블 관리를 위한 인터페이스를 제공한다.

OVS 는 그림 2 와 같이 커널 모듈과 데몬, 다양한 어플리케이션으로 구성되며, 커널 모듈에서 물리 스위치의 각 포트로 들어오는 패킷을 포워딩 테이블

Email: hlim@gist.ac.kr

에 따라 처리한다. OVS 의 각 포트를 위한 우선순위 큐 구성은 ovs-vsctl 이나 ovsdb-tool 을 통해 ovsdb 에 query 함으로써 이루어 진다. 예를 들어, 그림 2 에서 eth0 NIC 포트에 두 개의 큐를 구성하고, 각각 우선순위 1,2 를 부여하고, maximum rate 으로 10 Mb/s, 큐잉 스케쥴링 정책으로 HTB 를 선택할 때, 이 설정 값을 ovsdb 에 저장함으로써 우선순위 큐를 구성할 수 있다.

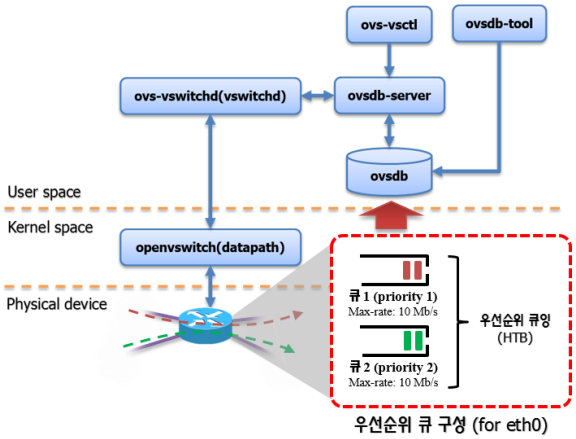



**그림 2. Open vSwitch 내부구조 및 우선순위 큐 구성**

## 2.2 우선순위 큐 구성

그림 3 은 우선순위 큐 구성을 위한 ovsdb 의 테이블 구성을 나타낸다. Interface table 은 각 NIC 별 설정 및 속성 값을 record 로 저장하며, port table 은 OVS 의 각 입출력 포트에 대한 설정 값을 record 로 저장한다. 따라서, 그림 2 의 예와 같이 eth0 NIC 에 두 개의 우선순위 큐를 구성하려고 할 때, port table 에서 eth0 포트에 대한 QoS 필드에 각 큐와 QoS 설정을 queue table 과 QoS table 의 record 로 구성하고 연결할 수 있다. 각 큐의 priority 와 maximum rate, burst size 와 큐잉 스케쥴링 정책을 queue table 과 QoS table 에 설정함으로써 eth0 에 우선순위 큐를 구성할 수 있다.

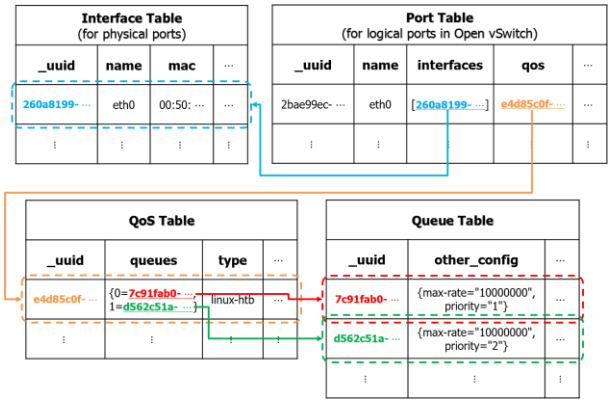



**그림 3. 우선순위 큐 구성을 위한 OVSDB 테이블 구성**

구성한 우선순위 큐를 바탕으로 SDN 제어기에서 enqueue action 을 이용하여 flow 가 어떤 큐에 삽입될지 결정함으로써 flow 의 우선순위를 결정 할 수 있다.

## 3. 실험 및 결론

구성한 우선순위 큐를 검증하기 위해 그림 4 와 같이 HP Pavilion 500 PC 와 Ubuntu 12.04, Open vSwitch 2.1.2 를 이용하여 테스트베드를 구성하였다. 본 실험에서는 테스트베드와 remote server 에 각각 iPerf 프로그램 client 와 server 를 실행하여 총 2 개의 flow 를 구성하였고, 각 flow 에 high priority (1)와 low priority (2)를 부여하였다. Open vSwitch 에는 두 개의 우선순위 큐를 구성하고, 각각 maximum rate 으로 10 Mb/s 를 설정하였다. 그리고 테스트베드와 remoter server 간 링크 대역폭은 10 Mb/s 로 구성하였다. 본 실험에서는 두 flow 의 대역폭을 10 Mb/s 로 설정하고, high priority flow 가 admission 될 때, low priority flow 의 처리량 변화를 실험하였다.

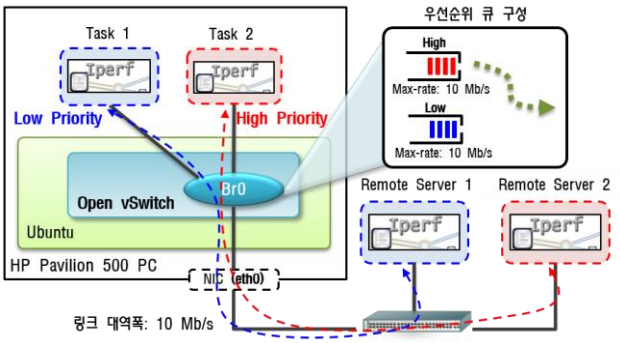



**그림 4. Open vSwitch 우선순위 큐 테스트 베드 구성**

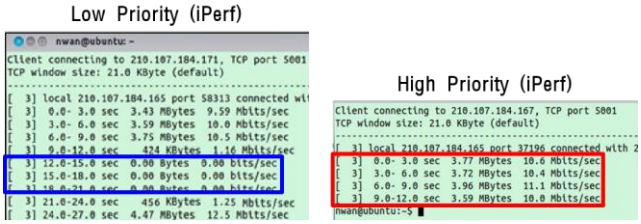



**그림 5. 동시간대 iPerf 성능**

그림 5 에서 low priority flow 에서 10 Mb/s 의 처리량으로 데이터가 전송되고 있고, 중간에 high priority flow 가 admission 되었을 때, low priority flow 의 처리량이 일시적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면, high priority flow 의 처리량은 10Mb/s 로 유지되었다.

본 논문의 우선순위 큐 구성 방법을 통해 우선순위 기반 데이터 처리와 다양한 QoS 설정이 가능한 소프트웨어정의 네트워크의 구성이 가능하며, 이는 실시간 데이터 전송 및 우선순위 기반 데이터 전송을 기반으로 하는 많은 연구의 실험 및 실증적 검증에 크게 기여할 것으로 기대된다.

## 4. 참고 문헌

[1] “Open vSwitch (OVS),” http://openvswitch.org/.

※ 본 연구는 미래창조과학부 재원으로 정보통신기술연구진흥센터 정보통신방송연구개발사업(B0101-15-0557, 고신뢰 CPS 연구센터) 및 한국연구재단 중견연구자지원사업(핵심)의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A2A2A01006002).

# 멀티코어 임베디드 스위치를 활용한 SDN 테스트베드 구축

김성환°, 안남원, 임 혁

광주과학기술원 정보통신공학부

# Construction of SDN Testbed using Multi-core Embedded Switches

Sunghwan Kim, Namwon An, Hyuk Lim

School of Information and Communications, Gwangu Institute of Science and Technology

## 요 약

Internet of things (IoT) 및 cyber-physical system (CPS) 환경에서 임베디드 장치는 인터넷과 연결되어 다양한 응용 및 서비스 제공을 위하여 사용되고 있다. 이러한 임베디드 장치는 기존의 전통적 임베디드 시스템의 활용범위를 벗어나 보다 많은 양의 데이터 처리뿐만 아니라, 다양한 동작 및 서비스를 동시에 수행할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 software-defined networking (SDN) 을 위한 OpenFlow 를 지원하고, 하드웨어를 가상화시켜 다양한 제어/서비스를 virtual machine (VM) 에서 실행할 수 있는 멀티코어 임베디드 SDN 스위치를 개발하였다. 개발된 멀티코어 임베디드 SDN 스위치는 리눅스 기반의 멀티코어 임베디드 보드, 오픈소스 소프트웨어 스위치 Open vSwitch (OVS) 와 Kernel-based Virtual Machine (KVM) 하이퍼바이저로 구성되어 있다. 개발한 스위치들을 SDN 컨트롤러 OpenDaylight 과 연동하여 SDN 테스트베드 네트워크를 구축하고, 동시에 여러 VM 을 구동시킬 수 있다. 가상화 환경에서 CPU 부하에 따른 네트워크 처리 변동량을 측정함으로써 임베디드 스위치의 네트워크 성능 평가를 수행하였다.

## 1. 서 론

인간과 사물, 사물과 사물이 네트워킹을 이루는 사물인터넷 (IoT: Internet of things) 과 사이버물리시스템 (CPS: cyber-physical system) 은 인류사회문명 전반에 걸쳐서 새로운 정보 혁명을 만들어가고 있다. 미래 사회는 모든 사물이 네트워크에 연결되어 센서에서 수집한 센싱 정보를 클라우드 기반 데이터센터로 전송하고, 빅데이터 기술로 계산된 제어/서비스 데이터를 전송 받아 다른 사물들과 데이터를 교환하는 정보시스템으로 구현되어가고 있다. 이러한 IoT, CPS 환경에는 무수히 많은 종류의 사물들이 존재하고, 그만큼 방대한 양의 데이터를 네트워크 상에서 주고받아야 한다. 하지만 기존 네트워크 구조에서는 Command Line Interface (CLI) 를 통해 네트워크 정책들과 프로토콜 설정을 수행해야 하는 경직성, 하드웨어 의존성 및 네트워크에 연결된 장치들의 증가로 인한 라우팅 분산처리의 오버헤드 등의 한계가 있다.

IoT, CPS 환경에서 임베디드 장치로 이루어진 사물들로부터 수집된 데이터를 처리하기 위해서 네트워크를 직접 프로그래밍할 수 있고 수많은 네트워크 장비들을 중앙 집중화된 컨트롤러에서 관리 및 제어할 수 있는 소프트웨어 정의 네트워킹 (SDN: software defined networking) 기술이 적용되고 있다. SDN 은 제어평면을 중앙 집권화하고 데이터평면과 분리 시켜 네트워크 트래픽의 제어를 중앙의 SDN 컨트롤러에서 소프트웨어로 할 수 있게 하여, 하드웨어의 제약 없이 전체 네트워크를 효율적으로 관리할 수 있게 해준다. 이러한 방식은 기존 벤더 중심의 네트워크 환경을 탈피하여 보다 동적인 환경에서 유연하게 네트워크 기반 서비스를 제공할 수 있도록 한다. 또한, IoT, CPS 환경에서 임베디드 장치들은 다양한 응용 및 서비스 제공을 위하여 기존의 전통적 임베디드 시스템을 벗어나 보다 많은 양의 데이터 처리뿐만 아니라, 다양한 동작 및 서비스를 동시에 수행할 수 있어야 할 필요성이 있다.

본 논문에서 멀티코어 임베디드 보드를 이용해 SDN 테스트베드 네트워크를 구성하는 것을 제안한다. 제안된 시스템을 활용하면, 임베디드 장치로 이루어진 사물의 센서로부터 수집된 데이터를 곧바로 원격지 데이터센터로 전송하지 않고, 필요에 따라 virtual machine (VM)을 이용하여 임베디드 장치에서 데이터 압축, 패킷 보안성 검사 등의 기능을 수행한 후 전송하는 것이 가능하게 된다. 즉, 서비스 및 자원의 필요에 따라 임베디드 스위치를 가상화시켜 VM 을 통해 다양한 동작을 SDN 네트워킹과 함께 수행하는 방식의 IoT 네트워킹을 구현하게 할 수 있다.

## 2. 멀티코어 임베디드 SDN 스위치

본 논문에서는 리눅스 기반의 멀티코어 임베디드 보드 컴퓨터 ODROID-XU3 [1] 와 오픈소스 프로젝트 Open vSwitch (OVS) [2] 와 하이퍼바이저 Kernel-based Virtual Machine (KVM) [3] 을 이용하여 스위치

Email: hlim@gist.ac.kr

하드웨어를 가상화 시켜 다양한 제어/서비스를 VM 에서 실행할 수 있는 OpenFlow 지원 멀티코어 임베디드 SDN 스위치를 개발하였다. 그림 1 은 멀티코어 임베디드 SDN 스위치의 구조이다. 8 개의 코어를 가진 멀티코어 임베디드 보드인 ODROID-XU3 에 OVS 2.0.2 버전을 설치하여 OpenFlow 지원 가능한 SDN 스위치로 만들고, 데이터 평면을 위한 네트워크 인터페이스로 USB3.0 허브 1 개를 보드에 연결하고 각 허브에 4 개의 USB3.0 to Gigabits Ethernet 을 연결하였다. 또한, KVM 을 이용하여 ODROID-XU3 가 필요에 따라 다수의 VM 을 생성할 수 있도록 하였다. ODROID-XU3 의 host OS 로는 Ubuntu 14.04 LTS 버전을 사용하였고 커널은 odroidxu3 - 3.10.82 버전을 사용하였다.

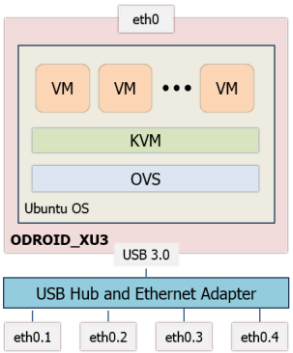



**그림 1 멀티코어 임베디드 SDN 스위치 구조**

## 3. SDN 테스트베드

### 3.1. 테스트베드 구성

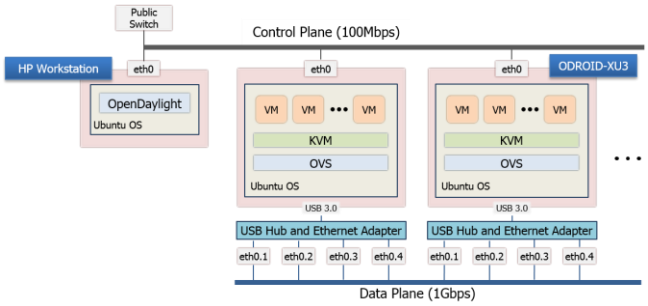



**그림 2 SDN 테스트베드 네트워크 구성**

개발한 멀티코어 임베디드 SDN 스위치들을 오픈 소스 SDN 컨트롤러인 OpenDaylight [4] 과 연동하여 SDN 테스트베드를 구성하였다. OpenDaylight 은 오픈 소스 기반의 SDN 컨트롤러 개발 프로젝트로써 기존 Floodlight, NOX, ONOS 등의 컨트롤러와 다르게 OpenFlow 1.3 버전외에도 BGP, SNMP, LISP, NETCONF 등의 다양한 southbound interface (SBI) 를 지원한다. 또한 클라우드 컴퓨팅 솔루션 Openstack 의 네트워킹 부분을 담당하는 Neutron 과의 연동을 통해 네트워크 기능 가상화 (NFV: network function virtualization) 를 지원한다. 그림 2 는 멀티코어 임베디드 SDN 스위치를 활용하여 구축한 SDN 테스트베드의 구성이다. 멀티코어 임베디드 SDN 스위치의 인터페이스들과 KVM 에 의해 생성된 VM 의 가상 네트워크 인터페이스들은 OVS 를 통해 만든 가상 브리지에 연결하여 데이터평면을 구성하였다. 보드에 내장된 10/100Mbps Ethernet 네트워크 인터페이스는 SDN 컨트롤러로 사용한 OpenDaylight “Helium” 버전과 연결하여 제어평면을 구성하였다.

### 3.2. 테스트베드 성능 평가

SDN 테스트베드의 성능 평가를 위해 각각의 멀티코어 임베디드 SDN 스위치의 CPU 부하에 따른, 네트워크 처리 변동량을 측정해 보았다. CPU 부하 및 모니터링을 위해서는 stress 와 top 소프트웨어를 사용하였고, 네트워크 처리 변동량은 iperf 소프트웨어를 통해 트래픽을 생성하여 측정하였다. 그림 3 은 CPU 부하에 따른 네트워크 처리 변동량을 측정한 결과이다. 측정 결과 CPU 부하가 증가하여도, 제어평면과 데이터 평면 모두 네트워크 처리량이 저하되지 않음을 확인할 수 있다.

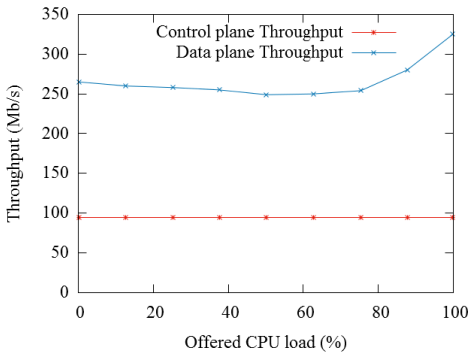



**그림 3 CPU 부하에 따른 네트워크 처리 변동량**

## 4. 결론

본 논문에서 제안한 멀티코어 임베디드 SDN 스위치를 활용한 SDN 테스트베드 네트워크는 Flow Table 생성 및 제거, 포트 상태 제어 등의 OpenFlow 기능들을 수행하여 SDN 을 테스트해볼 수 있고, 임베디드 보드를 가상화하여 VM 을 이용한 다양한 제어/서비스도 동시에 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한, VM 부하에 따른 네트워크 성능 평가를 통해 CPU 부하에도 네트워크 처리량이 감소하지 않는 결과를 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

[1] ODROID-XU3 website, http://www.hardkernel.com
[2] Open vSwitch website, http://openvswitch.org
[3] KVM website, http://www.linux-kvm.org
[4] OpenDaylight website, https://www.opendaylight.org

※ 본 연구는 미래창조과학부 재원으로 정보통신기술연구진흥센터 정보통신방송연구개발사업(B0101-15-0557, 고신뢰 CPS 연구센터) 및 한국연구재단 중견연구자지원사업(핵심)의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A2A2A01006002).

# Open Platform for Network Function Virtualization (OPNFV)를 활용한 네트워크 기능 가상화

송정환, 권태경°

서울대학교 컴퓨터공학부

# Network Function Virtualization Using Open Platform for Network Function Virtualization (OPNFV)

Junghwan Song and Ted Taekyoung Kwon

Department of Computer Science, Seoul National University

jhsong@mmlab.snu.ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr

## 요 약

가상화 기술이 발전함에 따라, 기존에는 물리적인 장비에 구현되었던 네트워크 기능들을 가상화하여 설치 및 관리를 용이하게 하는 네트워크 기능 가상화 (Network Function Virtualization, 이하 NFV) 기술이 대두되었다. 이를 필요로 하는 학계 및 업계의 요구에 맞춰, NFV 플랫폼을 오픈 소스로 제공하는 Open Platform for Network Function Virtualization (OPNFV) 프로젝트가 진행되어 왔고 최근에 그 첫 번째 배포판인 Arno 가 공개되었다. 본 논문에서는 OPNFV Arno 를 활용하여 NFV 플랫폼을 구성하고, 이를 활용하여 네트워크 기능 가상화를 하고자 한다.

## 1. 서론

인터넷이 도입된 후로 50 년이 지난 지금, 대부분의 네트워크 기능들은 하드웨어 장비에 구현되어 있으며 새로운 네트워크 기능을 추가하거나 변경하기 위해서는 하드웨어 장비의 추가 및 교체가 불가피하다. 다시 말해, 기능 추가와 변경을 원할 때마다, 기능 추가와 변경이 필요한 공간에 하드웨어 장비를 전부 추가해야 하며, 또한 그로 인한 전력 소모, 방열 대책 등이 필요하다는 것이다. 이런 문제를 해결하기 위해 네트워크 기능 가상화 기술이 대두되었다.

네트워크 기능 가상화 기술은 가상화를 통해 하드웨어 장비와 그 플랫폼으로부터 소프트웨어로 이루어진 네트워크 기능들을 분리하는 것이다. 이를 통해 네트워크 기능들은 더 이상 하드웨어에 종속되지 않고, 소프트웨어 인스턴스로서 NFV 플랫폼 상에서 생성, 복제, 이동될 수 있다. 따라서 네트워크에 새로운 기능을 추가하고자 할 때, 네트워크 관리자는 더 이상 새로운 하드웨어 장비를 설치할 필요 없이, 이미 구성된 NFV 플랫폼 위에 새로운 가상 인스턴스를 생성하여 해당 네트워크 기능을 설치하면 된다. 이는 네트워킹 서비스를 제공하는 기업들에게는 혁신적인 변화이다. 플랫폼의 유지 및 보수 비용이 크게 절감되며, 수요에 따른 인스턴스의 수를 관리함에 따라 전력 소모를 줄일 수 있고, 새로운 네트워크 기능을 시장에 도입하는데 걸리는 시간을 단축시킨다. [1]

이러한 기술의 대두와 이를 필요로 하는 시장의 요구에 따라, 오픈 소스로서 NFV 플랫폼을 제공하고자 하는 Open Platform for Network Function Virtualization (OPNFV) 프로젝트가 시작되었고 그 첫 번째 배포판인 Arno 가 공개되었다. 본 논문에서는 OPNFV Arno 를 활용하여 NFV 플랫폼을 구축하고, 그 위에 가상화된 네트워크 기능을 구현해보고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 OPNFV 를 활용한 NFV 플랫폼 구축

OPNFV 는 새로운 NFV 제품과 서비스 개발을 촉진하기 위한 오픈소스 NFV 플랫폼이다. 이러한 목적으로 노키아, IBM, 차이나모바일, 델 등의 기업이 참여하여 OPNFV 프로젝트가 진행되었고, 최근에 OPNFV Arno 버전을 배포하였다. OPNFV Arno 는 주로 OpenDaylight, OpenStack, KVM, Open vSwitch 등을 통합하여 NFV 시스템의 기반을 제공하고 그것을 관리하는 것에 초점을 두었다. [2] 따라서 OPNFV Arno 버전은 위에 언급한 컴포넌트들을 통합하여 설치가 가능하도록 Fuel, Foreman 등의 설치 도구를

활용하고, ISO 형식의 배포판에 이를 반영하였다. OPNFV Arno 설치를 위한 필요 조건은 [표 1]과 같다.

| 항목 | 조건 |
|---|---|
| CPU | Intel Xeon E5-2600v2 |
| Disks | 2 x 1TB HDD + 100GB SSD |
| RAM | 32GB |
| NIC | 2 NIC cards, PXE supported |
| # of nodes | 5 |

표 1. OPNFV 플랫폼 구축을 위한 필요 사양

총 5 개의 노드 중 하나는 Jumpserver 라고 불리우는, OPNFV 설치를 위한 마스터 노드로 사용된다. 세 노드는 고가용성을 위해 컨트롤러 노드로 사용되고, 한 노드는 가상화된 자원을 제공하는 컴퓨트 노드로 사용된다. 마스터 노드와 컨트롤러 노드는 OPNFV 의 시스템을 구성하기 위해 사용되는 노드로, 추후 OPNFV 시스템 위에 사용자가 원하는 가상 인스턴스를 생성했을 때에 실제로 사용되는 자원은 컴퓨트 노드들의 CPU, RAM 등이 사용된다. 따라서 최초 설치에 컴퓨트 노드를 한 대를 사용했더라도, 가상 인스턴스를 추가하고 네트워크 기능들을 추가함에 따라 더 많은 컴퓨트 노드가 필요해진다. OPNFV Arno 의 경우 고가용성을 위해, 그 기본이 된 OpenStack 보다 필요 조건이 훨씬 까다롭다. 이를 충족하지 못하는 노드들을 사용해서 OPNFV 시스템을 구축하려고 시도하는 경우, 설치 중에 시간 초과 등의 이유로 설치가 제대로 완료되지 않는다.

[표 1]의 조건을 만족하는 노드를 사용하여 [그림 1] 과 같은 토폴로지를 구성하면 OPNFV 를 구축할 수 있다.

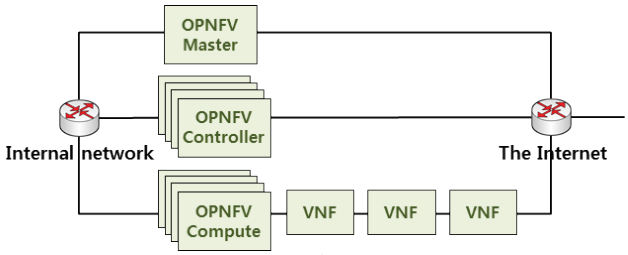



그림 1. OPNFV 플랫폼 구축을 위한 네트워크 구조

Internal network 는 OPNFV 시스템의 관리에 사용되는 네트워크로, 처음 OPNFV 를 설치할 때 PXE 부팅에도 사용된다. 인터넷으로 연결되는 부분은 OPNFV 설치 후에 가상화된 네트워크 기능들을 외부로부터 접근 가능하게 하기 위해 필요하다. 이와 같은 이유로 [표 1] 에서와 같이 네트워크 인터페이스 카드가 2 개 필요하게 된다.

### 2.2 OPNFV 를 활용한 네트워크 기능 가상화

2.1 에 따라 OPNFV 플랫폼을 구축했다면, 해당 플랫폼 위에 가상화된 네트워크 기능을 구현할 수 있다. OPNFV 는 기본적으로 OpenStack 의 대시보드 및 CLI 를 사용하여 가상 인스턴스를 관리하는데, 이를 이용하여 가상 인스턴스를 생성하고 네트워크 기능을 구현할 수 있다. 본 논문에서는 이렇게 생성한 가상 인스턴스에 우분투 클라우드 이미지를 통해 우분투 12.04 LTS 를 설치한 후, 네트워크 기능 중 하나인 RADIUS 서버를 가상화하였다. RADIUS 서버는 오픈소스인 freeRADIUS [3] 를 사용하였다. 그 결과 OPNFV 플랫폼 위에 하드웨어에 종속되지 않은 RADIUS 서버를 구축하였고, 이는 [그림 2]에서 확인할 수 있다.

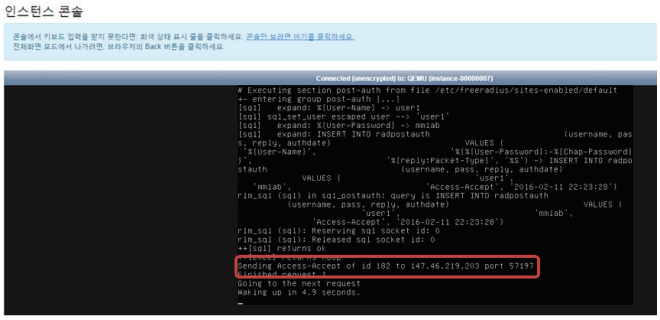



그림 2. OPNFV 플랫폼에서 가상화된 RADIUS 서버

이렇게 생성한 가상 인스턴스 및 가상화된 네트워크 기능들은 스냅샷을 생성하여 복제할 수 있고, 필요에 따라 그 수를 조절할 수도 있는 등 네트워크 기능의 추가 및 변경, 유지 관리가 보다 간단하고 유연해진다.

## 3. 결론

NFV 는 종래에 하드웨어에 종속되어 있던 네트워크 기능들을 하드웨어와 분리시키고 소프트웨어 형태로 개발된 네트워크 기능들을 가상화된 인스턴스에 설치하는 방식이다. 이를 통해 i. 하드웨어 유지보수 비용 감소, ii. 전력 소모 감소, iii. 새로운 네트워크 기능의 빠른 도입 등의 효과를 얻을 수 있다.

## 4. 참고 문헌

[1] B. Han, V. Gopalakrishnan, L. Ji and S. Lee, *Network Function Virtualization: Challenges and Opportunities for Innovations,* IEEE Communications Magazine Vol.53, p.90-97.
[2] OPNFV official website, http://www.opnfv.org.
[3] FreeRADIUS official website, http://freeradius.org

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)

# SDN 기반 WiFi 네트워크 상에서 트래픽 오프로딩 기술 연구

호동혁 [1o], 노현민 [2], 김지환 [2], 송황준 [1,2]

포항공과대학교 정보전자융합공학부 [1]

포항공과대학교 컴퓨터공학과 [2]

# Traffic Offloading System over SDN-based WiFi Networks

Donghyeok Ho[1o], Hyunmin No[2], Jihwan Kim[2], Hwangjun Song[1,2]

Division of IT Convergence Engineering, POSTECH[1]

Department of Computer Science and Engineering, POSTECH[2]

{positiveho, hmnoh, jihwankim, hwangjun}@postech.ac.kr

## 요 약

본 논문은 라즈베리 파이 2 를 기반으로 구축된 WiFi 네트워크 상에서 SDN (Software-Defined Networking) 컨트롤러를 이용한 트래픽 오프로딩 기술을 제안한다. SDN 컨트롤러는 주기적으로 AP (Access Point)의 트래픽 모니터링을 수행하고 지정된 트래픽 임계값을 초과하는 경우, 과다 트래픽 발생 단말을 다른 AP 로 오프로딩 시킨다. 본 시스템은 Hostapd (Host access point daemon)와 Openvswitch 를 탑재한 라즈베리 파이 2 기반의 AP 와 안드로이드 모바일 단말, 그리고 ONOS SDN 컨트롤러를 이용하여 구현되었다.

## 1. 서론

최근, 급증하는 모바일 데이터 트래픽을 좀 더 효율적으로 분산하기 위해 WiFi 네트워크를 통한 데이터 오프로딩 기술의 필요성이 절실하게 요구되고 있다 [1]. SDN (Software-Defined Networking)은 전체 네트워크 자원을 통합적인 관점에서 제어할 수 있다 [2]는 점에서 트래픽 부하도의 균형을 유지함과 동시에 최적의 오프로딩 정책을 결정하는데 효율적이다. 본 논문에서는 SDN 기반의 WiFi 네트워크 상에서 AP 들의 트래픽 부하도를 고려한 오프로딩 기술을 제안한다.

## 2. SDN 기술 개요

제안하는 시스템에서는 SDN 컨트롤러 중 하나인 ONOS [3]를 사용하였다. ONOS 는 ON.Lab 을 선두로 AT&T, CISCO, SKT 등 선도적인 네트워크 통신 산업체들과 함께 개발되고 있는 오픈 소스 소프트웨어 프로젝트이다.

분산 코어 구조 (Distributed core architecture)를 이용하여 기존 SDN 컨트롤러 보다 가용성을 향상시켰고 AngularJS 를 기반으로 한 Web GUI 를 통해 네트워크 상태에 대한 정보를 보다 이해하기 쉽도록 전달한다. 또한 Northbound API 를 다양하게 지원하여 SDN 어플리케이션 개발을 용이하게 하였다. 따라서 네트워크 관리자는 네트워크 운용 목적에 맞게 ONOS 어플리케이션을 개발하고 이를 ONOS 컨트롤러에 적용 및 관리하게 된다. ONOS 는 3 개월 단위의 릴리즈 (Release) 주기를 가지며, 가장 최근에는 Emu (1.4.0)가 2015 년 12 월 16 일에 공개되었다.

## 3. SDN 기반 WiFi 네트워크 상에서 트래픽 오프로딩 시스템 개요

### 3.1. 시스템 구성

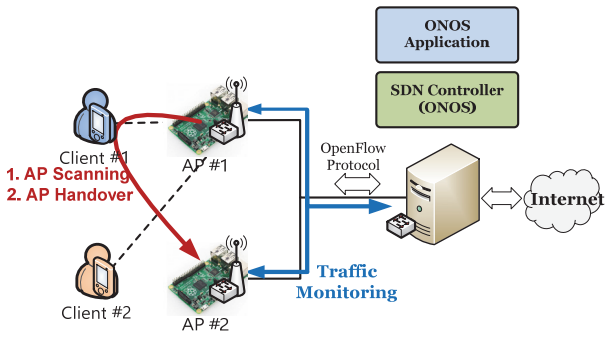



그림 1. 시스템 구성.

제안하는 시스템은 그림 1 과 같이 ONOS SDN 컨트롤러 역할을 하는 서버와 AP 역할을 하는 라즈베리 파이 2 그리고 안드로이드 모바일 단말로 구성된다. 서버 (Ubuntu 14.04)에는 ONOS 1.4.0 및 자체 개발한 트래픽 오프로딩 ONOS 어플리케이션이 설치되었다. 라즈베리 파이 2 는 Hostapd (Host access point daemon)와 Openvswitch 가 설치 되어 AP 의 역할을 수행한다. 마지막으로 안드로이드 모바일 단말은 ONOS 컨트롤러와 제어 메시지를 주고 받으며 AP 탐색과 핸드오버를 수행한다. 그림 2 는 구축된 실제 테스

트 베드 환경을 나타낸다.

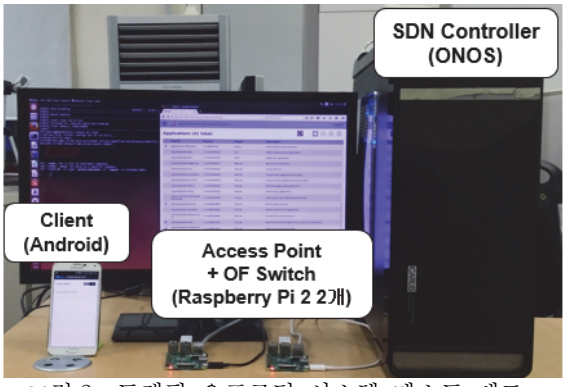



그림 2. 트래픽 오프로딩 시스템 테스트 베드.

### 3.2. ONOS 트래픽 오프로딩 어플리케이션

특정 AP 에 과도한 트래픽이 발생하는 경우 해당 AP 에 연결된 모바일 단말들은 다양한 서비스를 이용함에 있어 충분한 대역폭을 제공받지 못한다. 따라서 이용 가능한 주위 AP 로 일부 모바일 단말들을 핸드오버 시켜 AP 에 과부하 되는 트래픽을 분산시켜야 한다.

ONOS SDN 컨트롤러는 지속적으로 트래픽을 모니터링 하면서 지정된 트래픽 임계값을 초과하는 AP 가 발생하는 경우 해당 AP 에 연결된 단말들의 트래픽 정보와 신호세기를 고려하여 이동할 단말과 이동될 AP 를 결정한다. 표 1 은 이러한 기능들을 제공하는 구체적인 ONOS CLI 명령들을 나타낸다.

표 1. ONOS 어플리케이션 CLI 명령 목록.

| Command | Argument | Function |
|---|---|---|
| client | - | ONOS 가 현재 관리하는 Client list 출력 |
| scan | [client bssid] | Target client 의 주위 AP 정보 탐색 |
| output | [client bssid] | Target client 의 저장된 AP 정보 출력 |
| set | [capacity] | AP 트래픽 임계값 설정 |
| get | [capacity] | 설정된 임계값 출력 |
| connect | [client bssid] [ap bssid] [ap password] | Target client 를 target AP 에 연결 |
| disconnect | [client bssid] [ap bssid] | Target client 를 target AP 로부터 연결 해제 |

### 3.3. 안드로이드 트래픽 오프로딩 어플리케이션

일반적으로 AP 에 연결된 모바일 단말들이 내부 IP 주소를 할당 받기 때문에 컨트롤러가 모바일 단말들을 인지하기 위해서는 단말들의 최소한의 지원이 필요하다. 즉, 모바일 단말들은 초기 접속 시 ONOS SDN 컨트롤러에게 자신의 내부/외부 IP 주소를 전달하고 컨트롤러는 모바일 사용자 관리 목록에 이를 등록한다. 이러한 방식으로 컨트롤러는 제어 가능한 모바일 사용자를 관리할 수 있으며 주기적으로 모바일 단말들과 통신하여 AP 탐색, AP 핸드오버 등과 같은 명령을 수행한다. 그림 3 은 개발된 트래픽 오프로딩 어플리케이션 동작 화면을 나타낸다.

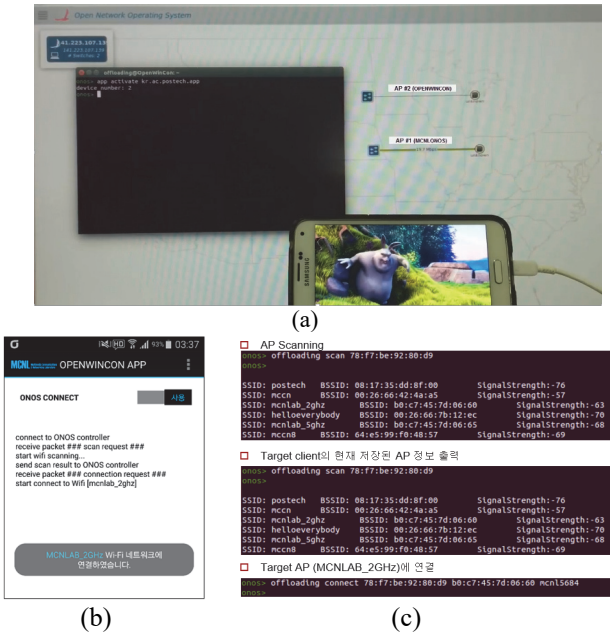



그림 3. 트래픽 오프로딩 어플리케이션 동작 화면: (a) ONOS Web GUI 화면, (b) 안드로이드 어플리케이션 실행 화면, 그리고 (c) ONOS 어플리케이션 CLI 실행 화면.

## 4. 결론

본 논문에서는 SDN 기반의 WiFi 네트워크 상에서 특정 AP 에 과부하 되는 트래픽을 효율적으로 분산시키는 트래픽 오프로딩 시스템을 제안하였다. 기존 WiFi 네트워크 환경에서는 모바일 단말이 주기적인 AP 탐색을 거쳐 임의의 AP 를 스스로 선택하기 때문에 각 AP 들의 트래픽 부하를 고려하지 못하는 한계점이 존재한다. 본 연구는 이를 해결하기 위한 초기 단계로써 ONOS SDN 컨트롤러와 라즈베리 파이 2 기반의 WiFi AP 를 이용한 테스트 베드를 구축하여 전체 AP 들의 트래픽 부하도 균형을 고려한 트래픽 오프로딩 어플리케이션을 구현하였다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신• 방송 연구개발사업 [B0101-15-0033, CCN 기반의 다차원 scalability 를 활용한 5G 이동통신 기술 연구개발]과 [B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발]의 일환으로 수행하였음.

## 참고 문헌

[1] D. Kreutz, F. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, “Software-defined networking: a comprehensive survey,” in *Proc. IEEE*, vol. 10, issue 1, pp. 14-76, Jan. 2015.

[2] J. Schulz-Zander, L. Suresh, N. Sarrar, A. Feldmann, T. Hühn, and R. Merz, “Programmatic orchestration of WiFi networks,” in *Proc. USENIX ATC*, pp. 347-358, Jun. 2014.

[3] ONOS Project. Available: http://onosproject.org.

# SDN 을 이용한 클라우드 버스팅

곡인호° 공석환*

쿨클라우드㈜ *연세대학교 전자공학과

# Cloud bursting to use SDN

REN-HAO CHU° Seok-Hwan Kong*

KulCloud Co., Ltd., *Department of Electronics Engineering, Yonsei University

inhogog2@kulcloud.net *kongseokhwan@yonsei.ac.kr

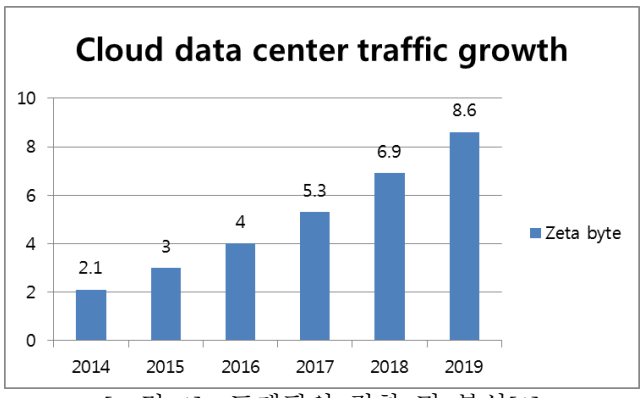
요 약

본 논문에서는 두 개의 클라우드를 하이브리드 방식의 환경으로 구성한 뒤 Spikes 가 감지되는 상황에 클라우드 버스팅을 SDN 을 이용해서 처리하는 방법에 대해 제안하였다.

## 1. 서론

IT 기반 인프라들은 다양한 업무와 예측하지 못한 상황인 Spikes 와 항상 직면하고 있다. 데이터 센터 기반에서의 Spikes 는 사용자와 서비스 제공자 모두에게 큰 위험을 가지고 올 수 있다. 그래서 이러한 Spikes 를 유연하게 처리하는 방법에 대해 점점 더 관심을 기울이고 있고, 많은 시간과 자원이 투자 되고 있다.

이런 Spikes 중 가장 많이 볼 수 있는 것은 트래픽 문제이다. 현재 클라우드 시스템은 나날이 트래픽이 증가하고 있는 추세이다. [그림 1]을 보면 클라우드 데이터 센터의 트래픽이 증가하는 비율을 보면 2020 년 이내에 현재 트래픽보다 2 배이상 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

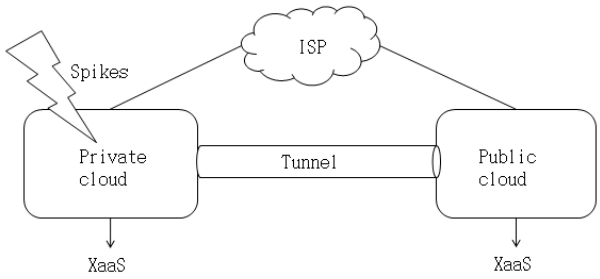



[그림 1] 트래픽의 경향 및 분석[1]

데이터 센터에서 충분히 처리가 가능한 수준의 트래픽이라면 아무런 문제가 없지만, 더 이상 처리하지 못하는 수준의 트래픽이 들어온다면 서비스를 중단하게 되는 문제가 야기된다. 클라우드 서비스에서 연속성을 높이기 위한 방법으로 클라우드 버스팅이라는 기술이 제시가 되고 있다.

클라우드 버스팅은 기존의 Cloud 를 변경하지 않는 상태로 문제를 해결하기 위해서 새로운 환경을 제안한다. [2] Public cloud 를 Private cloud 에 연결시켜 기존의 Private cloud 를 크게 변경하지 않고 새로운 환경을 구축하였다. 본 논문에서는 이것을 하이브리드 환경[그림 2]이라고 말한다.

많은 트래픽이 Private cloud 에 집중하게 되면 더 이상 처리를 하지 못하는 경우까지 도달하게 된다. 이때 On-demand 형태로 외부의 데이터센터에서 처리하고 오는 클라우드 버스팅이라는 기술을 사용해서 Private cloud 에 트래픽을 처리 할 수 있다.



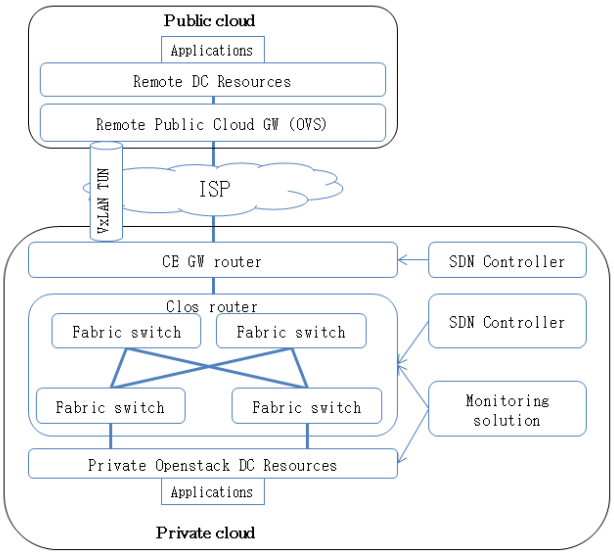

[그림 2] Hybrid 환경

본 논문에서는 두 개의 클라우드를 하이브리드 방식의 환경으로 구성한 뒤 Spikes 가 감지되는 상황에 클라우드 버스팅을 SDN 을 이용해서 처리하는 방법에 대해 제안하였다.

## 2. 본론

본 논문에서는 클라우드 환경에서 Spikes 가 일어날 시 클라우드 버스팅을 SDN 으로 해결하는 방법을 제안한다. 제안된 본 시스템의 자세한

구성은 [그림 3]에서 볼 수 있다. Openstack[3]을 이용한 Private cloud 에 기본적으로 사용되는 White box 스위치를 SDN 을 이용해서 가상라우터로 만들다. 그리고 AWS[4] 같은 Public cloud 에 연결한다. 하지만 Public cloud 에 물리적으로 설치되어있는 스위치를 직접적으로 연결할 수 없기 때문에, OVS[5]를 이용해서 두 Cloud 를 Tunnel 로 연결하는 방법으로 통신이 되게 한다.




[그림 3] SDN Controller 와 white box 스위치

본 연구에서는 Private Cloud 는 내부에서 사용되는 Clos 라우터[1]와 외부와 연결하는 CE[2] 라우터를 사용한다. 그리고 Clos 라우터는 Openstack Data Center Resource 에 연결된다. CE 라우터는 외부와 연결되는 라우터이기에 Gateway 를 붙여서 CE GW 라우터라고 정의했다. 그리고 Public Cloud 와는 Tunnel 을 이용해서 CE GW 라우터와 연결했다.

외부와 연결되는 CE GW 라우터와 Public Cloud GW 라우터 사이에는 하드웨어 가속화된 VxLAN 기반의 Tunnel 을 이용해서 연결했다. 그리고 BGP 를 적용시켜서 eBGP peering 을 통한 네트워크 advertising 을 한다. 내부에서 사용되는 Clos 라우터는 leaf-spine(2 X 2) 구조의 네트워크를 이용해서 구성되어있고, CE GW 라우터와 OSPF 를 적용해서 동적인 최적의 루트를 찾을 수 있다.

본 논문에서는 Spikes 를 예측하기 위해서 Monitoring solution 을 이용한다. Monitoring solution 은 Openstack DC Resource 의 CPU 사용량과 RAM 사용량, Clos 라우터의 패킷 트래픽과 CPU 사용량, Bandwidth 를 실시간으로 분석하는 Solution 이다.

[1] Clos network 를 지원하는 라우터를 뜻한다.
[2] Customer Edge 의 약자이다.

본 연구에서는 네트워크 트래픽에 관련된 실험이기에 실제로는 Openstack DC Resource 를 같이 모니터링 했지만, Clos 라우터의 트래픽 모니터링 값만 사용했다. spikes 를 감지하기 위한 기준으로는 단위시간당[3] CPU, Bandwidth 의 사용률과 증가율을 본다. CPU 사용률이 85%이상이고, 증가율이 5% 이상이며 Bandwidth 사용률이 최대값의 80%이상일 때만 Spikes 라고 가정하였다. 그 외의 경우는 Spikes 가 아니라고 처리한다.

두 경우를 만족할 때 클라우드 버스팅을 실행한다. 작동하는 흐름을 보면 먼저 Public Cloud GW 로 신호를 보낸다. 신호를 받은 Public Cloud 는 필요한 Application 을 설치하게 되고 패킷에 따른 여러 기능들을 수행하게 된다.

이런 방법으로 클라우드 버스팅을 하게 되면 패킷이 Tunnel 을 통해 Public cloud 에 도달하게 된다. 그리고 APP 에서 필요한 기능들을 수행한 뒤 다시 터널로 패킷을 전송한다. 그러면 가상 라우터를 통해서 패킷이 목적지로 전송된다. 이 방법으로 목적지까지 패킷이 전송이 되고 클라우드 버스팅을 처리할 수 있다.

## 3.결론

클라우드 버스팅의 가장 중요한 목적은 continuous service 이다. 본 연구에서는 CPU 사용률 및 증가율과 Bandwidth 사용률을 실시간으로 Monitoring 해서 seamless 한 service 를 제공하는 효과적인 방법을 제안하였다. 이 방법으로 QoS 를 제공하는 것이 가능하고 On-demand 방식의 터널링을 통해 간헐적인 Public cloud 자원을 활용하여 병목현상을 방지할 수 있다. 따라서 Spikes 가 있더라도 서비스 제공자는 안전한 서비스를 제공받을 수 있고, 운영자는 최소한의 비용으로 public cloud 를 사용하기 때문에 경제적 효과를 기대할 수 있다.

## 4.참고 문헌

[1] Cisco White paper, http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud_Index_White_Paper.html
[2] Tian Guo, Upendra Sharma, Timothy Wood, Sambit Sahu, Prashant Shenoy. Seagull: Intelligent Cloud Bursting for Enterprise Applications
[3] Openstack: Cloud Software, http://www.openstack.org/
[4] AWS: Amazon web service, https://aws.amazon.com/
[5] OVS: Open virtual switch http://www.openvswitch.org/

[3] 단위시간은 5 초이다.

# SDN 환경의 가상 네트워크 제어를 위한 토폴로지 구현 모델링

황제승°*, 윤동규*, 박준석**, 염근혁ʃ 교신저자

*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, **부산대학교 물류혁신네트워킹연구소, ʃ부산대학교 전기컴퓨터공학부

# Topology Implementation Modeling to Control Virtual Networks in Software Defined Network Environment

Jeseung Hwang°*, Donggyu Yun*, Joonseok Park**, Keunhyuk Yeom ʃ corresponding author

Department of Electrical and Computer Engineering Pusan National University*ʃ

Research Institute of Logistics Innovation and Networking Pusan National University**

{hjs0790, lodestar692, pjs50, yeom}@pusan.ac.kr

## 요 약

소프트웨어적으로 네트워크를 제어하는 소프트웨어 정의 네트워크(SDN) 패러다임이 제시됨으로써 네트워크 환경에 대한 제어와 프로그래밍이 가능해졌다. SDN 을 적용하여 네트워크 디바이스를 제어하고 네트워크 인프라를 지능적으로 관리하기 위해서는 네트워크 가상화 기술 연구가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 SDN 기반의 네트워크 제어를 위한 참조 모델로써 SDN 가상 토폴로지 구현 모델(vTIM)을 제시한다. 제안한 모델은 SDN 애플리케이션 계층에서 네트워크 제어를 위한 프로그래밍을 지원하는 Northbound API 의 기본 모델로 활용될 수 있다.

## 1. 서론

소프트웨어 정의 네트워크(Software Defined Network, SDN)는 네트워크의 전달 평면(forwarding plane)과 제어 평면(control plane)을 분리하는 것으로, 네트워크의 하부 장비들을 제어 및 관리하기 위한 컨트롤러를 정의하는 개념이다[1].

SDN 의 핵심 특징은 네트워크 환경에 대한 프로그래밍이 가능하다(programmability)는 것이다. SDN 애플리케이션 평면(application plane)은 제어 평면에서 제공하는 API (Northbound API)를 통해서 물리적 네트워크 인프라를 제어할 수 있다. 그러므로, 애플리케이션에서 요청하는 정보나 패킷을 네트워크 환경에 따라 원하는 경로로 전달하도록 프로그래밍하여 구현할 수 있다.

이처럼 SDN 패러다임은 동적으로 변화하는 네트워크의 환경을 중앙에서 제어함으로써 상황에 따라 유연하게 전달할 수 있도록 해주고, 회선의 이용률을 향상시킬 수 있다는 장점이 있어 매우 필요한 기술로 각광받고 있다. 그러나 SDN 환경에 적합한 참조 모델이 부족한 실정이다[2]. 특히 네트워크 가상화를 위해 논리적 토폴로지 모델링에 대한 필요성이 제기되고 있다[3][4]. 따라서 본 논문에서는 SDN 환경에서 가상 네트워크를 제어 및 관리하기 위하여 SDN 의 주요 특징인 프로그래밍화를 지원하기 위한 토폴로지 모델을 제시한다.

"이 논문은 2014 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2014R1A1A2007061)"

## 2. SDN 가상 토폴로지 구현 모델

### 2.1 vTIM 메타모델

SDN 개념에서는 물리적 네트워크를 가상화하여 여러 개의 가상 네트워크 토폴로지를 서로 분리시킨다. 즉 하나의 물리적 네트워크는 여러 가상 네트워크로 나타낼 수 있다. 각각의 가상 네트워크를 슬라이스(slice)라고 하며, 슬라이스는 토폴로지로 구성된다. 가상 네트워크는 애플리케이션의 요구사항과 네트워크 상황에 따라 다른 포워딩 로직을 가질 수 있으며, 프로그래밍을 통해 각 토폴로지를 제어할 수 있다. 따라서 SDN 환경에서 가상의 네트워크 토폴로지를 구성하고 제어하기 위한 모델이 필요하다. 그림 1 은 가상 토폴로지 구현 모델(virtual Topology Implementation Model, vTIM)을 나타낸다.

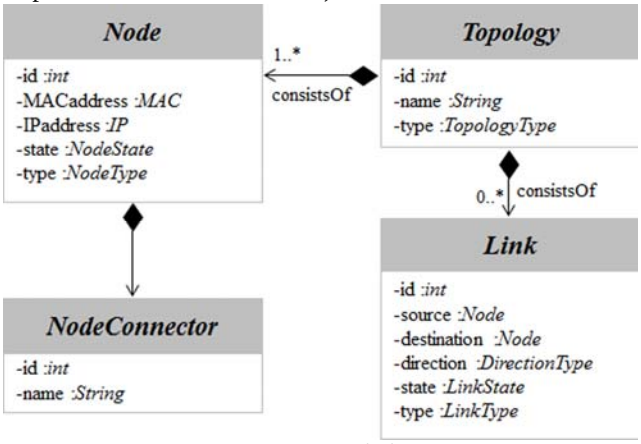



그림 1 vTIM 메타모델

그림 1 에 제시된 바와 같이 SDN 의 가상 네트워크 토폴로지는 노드(Node)와 링크(Link)로 구성된다. 노드는 스위치, 라우터와 같은 네트워크 장비들을 나타내는 것으로, SDN 컨트롤러가 네트워크 토폴로지 상황을 기반으로 설계한 플로우 테이블에 따라 포워딩을 수행한다. 노드의 속성은 ID, MAC 주소, IP 주소, 노드의 상태, 유형이 있다. 노드의 유형은 스위치, 라우터, 호스트 서버, 방화벽 등이 있다. 각 노드는 다른 노드들과 연결하기 위한 노드 커넥터(NodeConnector)를 가지며 노드 커넥터는 포트의 ID, 포트명을 속성으로 가진다. 링크는 노드와 노드 사이를 연결하는 것으로 물리적 링크와 대응되는 가상 링크를 나타낸다. 링크의 속성으로는 링크의 ID, 시작 노드, 목적지 노드, 방향성, 상태, 유형이 있다. 노드와 링크의 상태에 따라 토폴로지가 변환될 수 있으며, 노드와 링크의 상태는 각각의 용량(Capacity)에 의존한다. 노드의 능력을 나타내는 Node Capacity 는 노드가 수용할 수 있는 용량, 한 번에 포워딩 할 수 있는 양과 패킷 버퍼의 크기를 이용하여 나타낸다. 또한 링크의 능력을 나타내는 Link Capacity 는 오버헤드, 전송처리량, 총 대역폭 및 지연시간이 있다.

## 2.2 vTIM 을 활용한 네트워크 제어

vTIM 모델은 SDN 애플리케이션 평면에서 네트워크의 제어를 프로그래밍할 수 있도록 SDN 토폴로지 구현 API 를 지원한다. 아래 표 1 은 vTIM 모델이 지원하는 API 목록을 보여준다.

표 1 SDN 토폴로지 구현 API

| ***Topology Implementation API*** |
|---|
| + getTopologyInformation(int topoID) :Topology |
| + setTopologyRequirement(Topology reqTopo) :void |
| + createTopology(Topology newTopo) :int |
| +transformTopology(int topoID, TopologyType topoType) :int |
| +findOptimalPath(int topoID) :Map<Node, Set<NodeConnector>> |
| … |

vTIM 은 기본적으로 토폴로지를 구성하는 노드, 링크를 관리하기 위한 인터페이스를 제공한다. 즉 노드 및 링크를 추가 및 삭제하는 오퍼레이션을 지원하며 토폴로지를 생성 및 조회하는 기능도 제공한다. 패킷 포워딩에 대한 요구사항은 인터페이스중에 setTopologyRequirement 를 통해 이루어진다. SDN 애플리케이션을 위한 패킷 포워딩 요구사항 설정 후, findOptimalPath 를 통해 최적 경로를 찾을 수 있다. 따라서 SDN 애플리케이션은 제안한 vTIM 모델을 이용하여 토폴로지를 구성 및 제어하며, 토폴로지의 동적 변화(회선 사용률, 트래픽 초과량 등)에 따라 적용되는 패킷 포워딩 룰을 정의할 수 있다.

그림 2 와 같이 vTIM 은 SDN 컨트롤러와 SDN 애플리케이션 사이의 추상화 계층에서 활용될 수 있다.

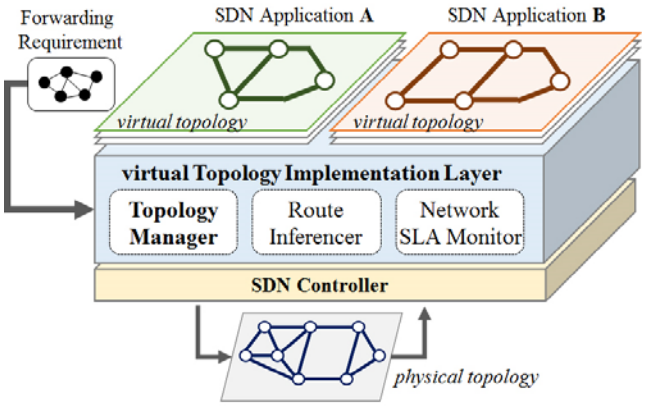



그림 2 vTIM을 통한 네트워크 제어 구조

애플리케이션이 직접 구성한 토폴로지에 대하여 포워딩 룰에 대한 요구사항을 정의하면 가상 토폴로지 구현 계층에서 네트워크의 동적 변화에 대응하여 요구사항에 적합한 최적 경로를 선택하여 포워딩 테이블을 구성한다.

## 3. 결론 및 향후 연구

vTIM 은 SDN 애플리케이션과 컨트롤러가 네트워크 토폴로지를 구성하고 토폴로지에 따라 네트워크 트래픽을 제어할 수 있도록 해준다. vTIM 을 통해 SDN 의 가상 토폴로지에 대한 명세가 가능하며 SDN 애플리케이션을 위한 프로그래밍 인터페이스를 지원할 수 있다. 또한 SDN 애플리케이션의 특성과 요구사항을 인지하고, 적합한 네트워크 서비스를 동적으로 제공함으로써 SDN 제어를 대신 수행하여 단순화된 구조를 제공한다.

향후 연구로는 제안한 vTIM 을 기반으로 네트워크의 상황을 인지하여 네트워크 토폴로지의 동적 변화에 따른 토폴로지 변환 기법 및 최적경로 추론 기법에 관한 연구를 수행할 것이다.

## 4. 참고 문헌

[1] J. R. Jiang, H. W. Huang, J. H. Liao and S. Y. Chen, “Extending Dijkstra's shortest path algorithm for software defined networking”, Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, pp. 1-4, Sep. 2014.

[2] H. J. Einsiedler, R. L. Aguiar, A. Gavras and H. D. Schotten, “A new meta-model for Future Internet architectures”, International Conference on Future Network and Mobile Summit, pp. 1-11, Jul. 2013.

[3] T. D. Nadeau and K. Gray,「SDN: Software Defined Networks」, O’REILLY, Sep. 2013.

[4] F. A. Lopes, M. Santos, R. Fidalgo, S. Fernandes "Model-driven networking: A novel approach for SDN applications development", International Symposium on Integrated Network Management, pp. 770-773, May 2015.

# 가상 파일럿 채널 추정 기법에서의 신뢰도 높은 데이터 선택 방법

박선호, 지형주, 서희진, 임구영, 장계용, Arman Ahmadian, 심병효
서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소
{shpark, hyoungjuji, hjseo, gylim, gyzhang, arm.ahmadian}@islab.snu.ac.kr, bhsim@snu.ac.kr

## 1. 서론

최근 차세대 이동통신을 위한 후보기술 중에 Massive MIMO 시스템이 높은 전송율과 신뢰도로 많은 주목을 받고 있다. 그러나 실제 구현에서 파일럿 오버헤드가 해결해야 할 문제이고, 한가지 해결 방법으로 가상 파일럿을 활용한 채널 추정 기법이 제안되었다[1].

본 논문은 기존에 제안되었던 가상 파일럿 채널 추정 기법에서 신뢰도가 높은 데이터 신호를 가상 파일럿으로 선택하는 방법을 제안한다.

## 2. 시스템 모델 가상 파일럿 선택 기법

MIMO-OFDM 시스템에서 $N_d$ 개의 데이터 신호를 가상의 파일럿으로 선택하였다고 하였을 때, 수신신호는 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix}\mathbf{z}_r\\ \mathbf{y}_r\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\sqrt{\eta_{p,t}}\mathbf{P}_t\mathbf{h}_{r,t}\\ \sqrt{\eta_{d,t}}\mathbf{D}_t\mathbf{g}_{r,t}\end{bmatrix}+\sum_{i=0,i\neq t}^{T-1}\begin{bmatrix}0\\ \sqrt{\eta_{d,i}}\mathbf{D}_i\mathbf{g}_{r,i}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\mathbf{n}_r\\ \mathbf{v}_r\end{bmatrix}$$

위 식에서, $\mathbf{z}_r=[z_0^{(r)},\cdots,z_{N_p-1}^{(r)}]^T$ 와 $\mathbf{y}_r=[y_0^{(r)},\cdots,y_{N_d-1}^{(r)}]^T$ 는 파일럿과 데이터 위치의 수신 벡터, $\mathbf{h}_{r,t}=[h_0^{(r,t)},\cdots,h_{N_p-1}^{(r,t)}]^T$ 와 $\mathbf{g}_{r,i}=[g_0^{(r,i)},\cdots,g_{N_d-1}^{(r,i)}]^T$ 는 채널 벡터, $\mathbf{n}_r=[n_0^{(r)},\cdots,n_{N_p-1}^{(r)}]^T$ 과 $\mathbf{v}_r=[v_0^{(r)},\cdots,v_{N_d-1}^{(r)}]^T$ 는 잡음 벡터, $\mathbf{P}_t=\mathrm{diag}([p_0^{(t)},\cdots,p_{N_p-1}^{(t)}])$ 와 $\mathbf{D}_i=diag([d_0^{(i)},\cdots,d_{N_d-1}^{(i)}]^T)$ 는 각각 파일럿과 데이터 신호이다. 위 식을 이용한 가상 파일럿을 활용한 채널 추정 기법은 다음과 같다[1].

$$\begin{bmatrix}\hat{\mathbf{h}}_{r,t}\\ \hat{\mathbf{g}}_{r,t}\end{bmatrix}=\Omega_{r,t}\Sigma_{r,t}^{-1}\begin{bmatrix}\tilde{\mathbf{z}}_r\\ \tilde{\mathbf{y}}_r\end{bmatrix}$$

위 식에서

$$\Omega_{r,t}=\begin{bmatrix}\sqrt{\eta_{p,t}}C_{h_t,h_t}\mathbf{P}_t^H & \sqrt{\eta_{d,t}}C_{h_t,g_t}\overline{\mathbf{D}}_t^H\\ \sqrt{\eta_{p,t}}C_{g_t,h_t}\mathbf{P}_t^H & \sqrt{\eta_{d,t}}C_{g_t,g_t}\overline{\mathbf{D}}_t^H\end{bmatrix},$$

$$\Sigma_{r,t}=\begin{bmatrix}\eta_{p,t}\mathbf{P}_tC_{h_t,h_t}\mathbf{P}_t^H+\mathbf{I} & \sqrt{\eta_{p,t}\eta_{d,t}}\mathbf{P}_tC_{h_t,g_t}\overline{\mathbf{D}}_t^H\\ \sqrt{\eta_{p,t}\eta_{d,t}}\overline{\mathbf{D}}_tC_{g_t,h_t}\mathbf{P}_t^H & B\end{bmatrix},$$

$$B=\eta_{d,t}(\Lambda_t\otimes C_{g_t,g_t})+\sum_{i=0,i\neq t}^{T-1}\eta_{d,i}(\Lambda_i\otimes C_{e_g,e_g})$$
$$+\sum_{i=0,i\neq t}^{T-1}\eta_{d,i}(\Lambda_i-\overline{\mathbf{d}}_i\overline{\mathbf{d}}_i^H)\otimes\hat{\mathbf{g}}_{r,i}\hat{\mathbf{g}}_{r,i}^H+\mathbf{I}\text{,}$$

$C_{x,y}=Cov(x,y)$ 이다. 또한 $\Lambda_i=\mathrm{diag}([\lambda_0^{(i)},\cdots,\lambda_{N_d-1}^{(i)}]^T)$ 이고, $\lambda_j^{(i)}$ 는 $\overline{d}_j^{(i)}$ 의 이차 통계적 값을 의미하며, $C_{e_g,e_g}=\mathrm{cov}(\mathbf{e}_{r,t},\mathbf{e}_{r,t})$, $\mathbf{e}_{r,i}=\mathbf{g}_{r,i}-\hat{\mathbf{g}}_{r,i}$ 이고, $\otimes$ 는 하다마드(Hadamard) 곱 연산을 뜻한다. 제안된 기법에서 n 번째 심볼을 선택했을 때 MSE 는 다음과 같다.

$$\phi(n)=\mathrm{E}\left\|\begin{bmatrix}h_{r,t}\\ g_n^{(r,t)}\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}\hat{h}_{r,t}\\ \hat{g}_n^{(r,t)}\end{bmatrix}\right\|^2=tr\left(Cov\left(\begin{bmatrix}h_{r,t}\\ g_n^{(r,t)}\end{bmatrix}\right)-\Omega_{r,t}\Sigma_{r,t}^{-1}\Omega_{r,t}^H\right)$$

위 식의 계산된 MSE 를 최소로 만드는 데이터를 선택하면 가상 파일럿 추정 기법에서 개선된 결과를 얻게 된다. 몇 단계의 계산과정을 거치면 (본 논문에서는 지면이 부족하여 생략함) 다음과 같이 간략화된 수식을 얻을 수 있다.

$$\tilde{\phi}(n)=\frac{1}{1-\frac{\left|\overline{d}_n^{(t)}\right|^2}{\sum_{i=0}^{T-1}\eta_{d,i}\lambda_n^{(i)}+1}}+\frac{1}{1-\left\|C_{h_t,g_t}\right\|^2}$$

위 식은 MSE 와 역관계에 있기 때문에 위 식을 최대화하는 심볼을 선택해야 한다. 따라서, 가상 파일럿을 선택하기 위해서는 데이터의 정확도 $\left|\overline{d}_n^{(t)}\right|^2$ 와 기존 파일럿 채널과의 상관도 $\left\|C_{h_t,g_t}\right\|^2$ 가 매우 중요하다. 또한, $\lambda_n^{(i)}$ 의 합이 데이터의 정확도와 연관되어 있는데 이는 다른 안테나로부터 오는 간섭이 적은 데이터를 선택하는 것도 중요하다는 것을 의미한다.

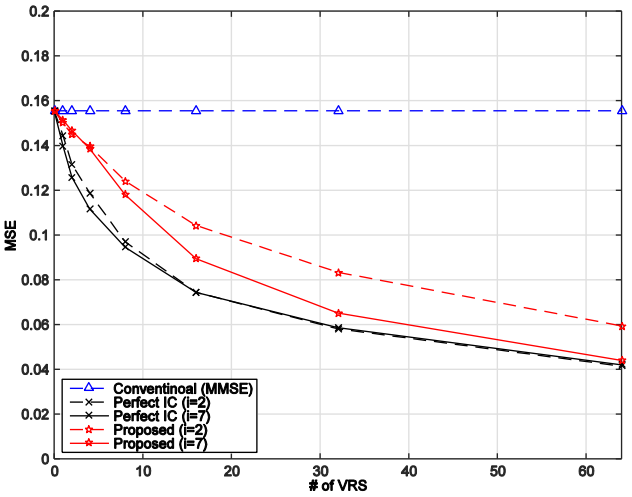



**그림 1 가상 파일럿 선택 기법에 따른 MSE 성능**

## 3. 모의 실험

그림 1 에 제안된 가상파일럿 선택 기법에 따른 MSE 성능을 나타내었다. 제안된 기법의 성능이 오류가 없는 완벽함을 가정한 상황의 성능에 근접하는 것을 보여 제안된 기법이 매우 적절한 가상 파일럿을 선택함을 알 수 있다.

## 4. 참고 문헌

[1] 박선호, 서희진, 심병효, “MIMO-OFDM 시스템에서의 데이터를 이용한 채널 추정 기법,” 제 25 회 통신정보 합동학술대회, 2015 년 4 월.

## Acknowledgement

본 연구는 2016 년도 두뇌한국 21 플러스 사업 및 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업[B0126-15-1017, 주파수 센싱 기반의 스펙트럼 관리 및 미래전파통신 플랫폼 연구]과 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구(2014R1A5A1011478) 사업의 일환으로 수행하였음

# Cyclic Prefix Overhead Reduction for Low-Latency OFDM Communications

*Namik Kim°, *Jinyoup Ahn, **Oh-Soon Shin, *Kwang Bok Lee

*Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University
**School of Electronic Engineering, Soongsil University
*{kimnimcl, ahnjymcl, klee}@snu.ac.kr, **osshin@ssu.ac.kr

## 1. Introduction

Low latency is one of the most critical requirements for 5G mobile communications. To achieve latency as low as 1 ms, the packet duration should be less than 33 μs [1]. However, this cannot be met in the current version of LTE-A, since the OFDM symbol duration in LTE-A is equal to 67 μs. Therefore, the symbol duration needs to be decreased to achieve lower latency [2]. However, the reduced symbol duration will increase the overhead of cyclic prefix (CP) unless the length of CP is changed accordingly. As the required length of the CP is proportional to the delay spread of the channel [3], the delay spread should be reduced to shorten the CP length in accordance with the OFDM symbol duration. The objective of this paper is to develop a precoding scheme to shorten the effective delay spread of the channel so that the CP overhead can be reduced in an OFDM system.

## 2. System Model and Proposed Scheme

We consider the downlink of a MISO-OFDM system with $N$ subcarriers and $M$ antennas at the base station. The channel frequency response of a user corresponding to the $n$-th subcarrier ($n$ = 0, 1, ···, $N$-1) and the $m$-th antenna ($m$ = 1, 2, ···, $M$) and can be expressed as

$$H_m(n) = \sum_{\ell=0}^{N-1} h_m(n) e^{-\frac{j2\pi n\ell}{N}} = \sum_{\ell=0}^{L-1} h_m(\ell) e^{-\frac{j2\pi n\ell}{N}}, \qquad (1)$$

where $L$ denotes the length of the channel impulse response and $h_m(\ell)$ is the channel impulse response. Let $W_m(n)$ be the precoding weight corresponding to $H_m(n)$ and let $X(n)$ denote the transmit symbol on the $n$-th subcarrier, then the received signal on the $n$-th subcarrier is given as

$$Y(n) = \left( \sum_{m=1}^{M} H_m(n) W_m(n) \right) X(n) + v(n), \qquad (2)$$

where $v(n)$ represents the additive noise. As a result, the equivalent channel frequency response in the $n$-th subcarrier after the precoding can be written as

$$H_{eq}(n) = \sum_{m=1}^{M} H_m(n) W_m(n). \qquad (3)$$

Let $h_{eq}(\ell)$ be the channel impulse response corresponding to $H_{eq}(n)$, then the root mean square (rms) delay spread of the equivalent channel can be calculated as [4]

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{1}{E} \sum_{\ell=0}^{N-1} (\ell - \bar{\ell})^2 \left| h_{eq}(\ell) \right|^2}, \qquad (4)$$

where

$$E = \sum_{\ell=0}^{N-1} \left| h_{eq}(\ell) \right|^2 \quad \text{and} \quad \bar{\ell} = \frac{1}{E} \sum_{\ell=0}^{\infty} \ell \left| h_{eq}(\ell) \right|^2. \qquad (5)$$

We design the precoding vector $\mathbf{W}(n) \triangleq [W_1(n)\ W_2(n)\ \cdots\ W_M(n)]$, $n = 0, 1, \cdots, N$-1 that minimizes the rms delay spread in (4). Specifically, we can formulate an optimization problem using an upper bound of (4) as the objective function and constraining the SINR for each subcarrier. The problem is nonconvex and so hard to solve in general. To find the optimal solution, we apply a semidefinite relaxation technique to transform the problem into a convex problem. The details of formulating the problem and finding the optimal precoding matrix are omitted here due to space limitation.

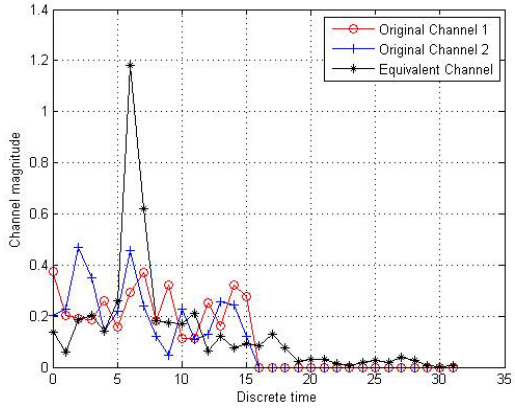



Figure 1. Channel impulse responses of the original channels and the equivalent channel after the proposed precoding, when $M$ = 2.

Figure 1 shows the channel impulse response of the original channels and that of the equivalent channel after the proposed precoding scheme, when the base station is equipped with two antennas ($M$ = 2). The rms delay spreads of the original channels are 4.16 and 4.88 for the two antennas, whereas the rms delay spread of the equivalent channel is 2.28 by using the precoding. This confirms that the rms delay spread can be substantially reduced with the proposed precoding scheme.

## Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (No. 2014R1A2A2A01003637) and Samsung Electronics Co., Ltd.

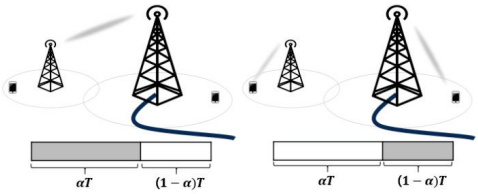
## References

[1] G. P. Fettweis, "The tactile Internet: Applications and challenges," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 64-70, Mar. 2014.
[2] G. Wunder *et al.*, "5GNOW: Non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 97–105, Feb. 2014.
[3] K. Hassan, T. Rahman, M. Kamarudin, and F. Nor, "The mathematical relationship between maximum access delay and the RMS delay spread," in *Proc. Inter. Conf. Wireless Mobile Commun.*, Luxembourg, June 2011, pp. 18-23.
[4] R. Schur and J. Speidel, "An efficient equalization method to minimize delay spread in OFDM/DMT systems," in *Proc. IEEE Inter. Conf. Commun.*, June 2001, pp. 1481-1485.

# 사용자 전송 속도 최대화를 위한 TDM 기반 In-band mmWave 무선 백홀 스케줄링 최적화

차한° , 김승환, 김성륜
연세대학교 전기전자공학과
{chan, shkim, slkim} @ramo.yonsei.ac.kr

## 1. In-band mmWave 백홀링과 셀 구조

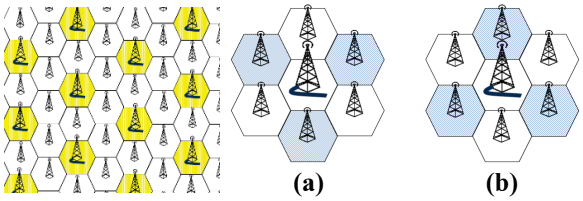



(a) BS-toBS 백홀링 (b) BS-toMS 서비스

$\alpha T$ : 백홀링 시간, $(1-\alpha)T$ : 서비스 시간

<그림1> In-band mmWave 무선 백홀 구조

본 논문에서는 유선 백홀을 가진 기지국(WBS)과 mmWave 무선 백홀을 가진 기지국(UBS) 두가지 기지국으로 이루어진 mmWave 네트워크를 가정한다. WBS는 광케이블을 통해 코어망에 연결되어있는 기지국이다. UBS는 mmWave 무선 백홀망을 통해 WBS와 백홀 데이터를 주고받는다. WBS와 UBS는 사용자(MS)들을 mmWave 무선 백홀망과 같은 대역을 통해 서비스한다. 무선 백홀링과 MS 서비스간 스케줄링은 TDM방식으로 이루어진다. $T$는 TDM 스케줄링의 단위 주기이다.



(a) (b)

<그림2> BS 셀 구조와 백홀링 토폴로지

<그림2> 와 같이 1개의 WBS와 6개의 UBS가 하나의 단위를 이룬다. 한 단위의 WBS와 UBS는 단위 주기 $T$동안 (a)와 같이 한번, (b)와 같이 한번 백홀 데이터를 주고 받는다. 결과적으로, 어느 한 UBS는 근처의 서로 다른 두 WBS에게 두 번 백홀링 받게 되므로 WBS와 UBS는 주기 $T$ 동안 $2\alpha T$ 시간만큼 백홀 데이터를 주고 받는다. 또한, 주기 $T$ 동안 WBS와 UBS는 $(1-2\alpha)T$ 시간만큼 MS를 서비스한다 [1], [2].

## 2. 시스템 모델

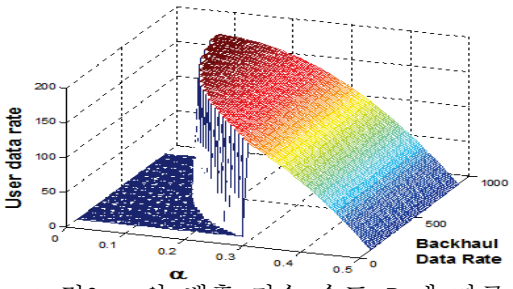
$M$개의 WBS와 $N$개의 UBS가 존재하는 네트워크에서 무선 백홀의 전송 속도를 $R_b$, 전체 MS 서비스 전송 속도를 $R_m$라 하자. MS들은 네트워크상에 무작위로 위치해 있으며, 제일 가까운 BS에게 서비스 받는다. BS의 개수와 MS의 개수는 같다. 이에 대한 목적 함수와 제약 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &Maximize && R_m \\ &Subject\ to && R_b \cdot 2\alpha \geq R_m \cdot (1-2\alpha) \quad (1) \\ & && 0 \leq 2\alpha \leq 1 \quad (2) \end{aligned}$$

$$where \quad R_m = \sum_{i=1}^{M} (1-2\alpha)T \cdot Blog_2(1+SINR_i) + \sum_{j=M+1}^{N+M} (1-2\alpha)T \cdot Blog_2\left(\frac{1+SINR_j}{1+2^{-2\alpha}SINR_j}\right)$$

$R_m$의 첫 번째 summation은 WBS에 할당된 MS들의 전송 속도의 합을 나타내고, 두 번째 summation은 UBS에 할당된 MS들의 전송 속도의 합을 나타낸다 [3].

## 3. 결론




<그림3> α와 백홀 전송 속도 $R_b$에 따른 전체 MS 서비스 전송 속도

위 그래프는 시뮬레이션을 통해 알파에 대한 사용자의 전송 속도 총합을 $R_b$에 따라 그린 그래프이다. 사용자의 전송 속도 총합을 최대화하는 α는 특정한 $R_b$ 구간에서 제약 조건(1)의 등호를 만족하는 값으로 정해짐을 확인할 수 있다. 비교적 낮은 $R_b$로 인해 사용자 데이터 요구량을 처리하려면 그만큼 더 많은 백홀 데이터를 처리해야 하므로 보다 많은 시간이 걸리는 것이다. 실제로, $R_b$ 값이 커질수록 최적의 α는 작아짐을 확인 할 수 있다.

이후 $R_b$가 커지면서 최적의 α값의 감소량이 점점 작아진다. 이는 $R_b$가 커지더라도 최소한의 백홀 데이터 전송 시간이 보장되지 않으면 유저의 데이터 요구량을 처리할 수 없음을 의미한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014R1A2A1A11053234).

## 4. 참고 문헌

[1] R. Taori and A, Sridharan, “Point-to-Multipoint In-Band mmWave Backhaul for 5G Networks,” *IEEE Wireless Commun.*, Vol. 53, No. 1, pp. 186-194, Jan. 2015.

[2] Y. Niu *et al.*, "A Survey of Millimeter Wave Communications (mmWave) for 5G: Opportunities and Challenges." *Wireless Netw.*, pp. 1-20, Apr. 2015.

[3] L. Zhou *et al.*, "Uplink Multicell Processing with Limited Backhaul via Per-Base-Station Successive Interference Cancellation." *IEEE JSAC*, Vol. 31, No. 10, pp. 1981-1993, Oct. 2013.

# 무선랜 기반 적응적 비디오 멀티캐스트의 MCS 선택을 위한 SNR 예측 알고리즘

최준영°, 신연철, 이규진, 구종회, 최성현

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소

# SNR Prediction Algorithm for Rate Adaptive Video Multicast over WLANs

Junyoung Choi°, Yeonchul Shin, Gyujin Lee, Jonghoe Koo, and Sunghyun Choi

Department of ECE and INMC, Seoul National University

{jychoi, ycshin, gjlee, jhkoo}@mwnl.snu.ac.kr, schoi@snu.ac.kr

요 약

비디오 멀티캐스트는 여러 단말에게 동일한 비디오를 동시에 전송하는 것을 가능하게 하는 기술이다. 그러나 멀티캐스트는 전송 시에 가장 낮은 MCS (Modulation and Coding Scheme) 만을 사용하기 때문에 채널이 좋은 상황에서도 효율적으로 전송할 수 없다는 문제가 있다. 따라서 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 피드백을 통해 적응적으로 MCS 를 선택하여 전송의 효율성을 증가시키는 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 본 논문은 long-term 피드백이 있는 환경에서 보수적으로 SNR 을 예측하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘을 ns-3 에 구현하고 그에 따른 시뮬레이션 결과를 제시한다. 시뮬레이션 결과를 기반으로 제안하는 알고리즘이 기존의 비교 알고리즘보다 더 높은 PDR (Packet Delivery Ratio)을 달성하는 것을 보인다.

## 1. 서론

비디오 멀티캐스트는 여러 단말에게 동일한 비디오를 동시에 스트리밍하는 것을 말한다. 동시에 전송하기 때문에 멀티캐스트는 대역폭 측면에서 효율적이다. 따라서 최근 스마트 기기에서 멀티캐스트를 이용한 연구가 이루어지고 있고 멀티캐스트를 통한 비디오 스트리밍의 중요성 또한 증가하고 있다 [1].

멀티캐스트가 대역폭 측면에서는 장점이 있지만 유니캐스트와는 다르게 무선환경에서 재전송을 하지 않아 신뢰성이 낮다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 단점을 극복하기 위해 전송 도중 발생할 수 있는 패킷 손실을 고려하여 추가적인 패킷을 생성하고 전송하는 Network Coding (NC) 을 고려하였다. 또한 기존 멀티캐스트는 송신 시에 가장 낮은 MCS (Modulation and Coding Scheme) 만을 사용하기 때문에 전송의 효율성이 떨어지는 문제가 있어 다양한 MCS 의 사용이 요구된다. 기존에는 EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) 를 이용하여 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 을 예측하는 등 다양한 방법이 제안되어 왔다 [2]. 이러한 연구의 일환으로 본 논문은 long-term 으로 피드백하는 환경에 맞게 보수적인 SNR 예측 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘을 통해서 SNR 을 예측하고 나면 각 MCS 의 PDR (Packet Delivery Ratio) 을 구하고 그 값을 피드백 하게 된다. 이를 통해 전송 단말이 적응적이면서 보수적으로 MCS 를 선택할 수 있도록 한다. 또한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 ns-3 를 이용한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

## 2. 본론

### 1) SNR 예측 알고리즘

하나의 전송 단말이 여러 대의 수신단말에게 멀티캐스트로 패킷을 전송하면 수신 단말은 수신한 패킷에 대한 SNR 을 이용하여 미래의 SNR 을 예측한다. 이러한 SNR 예측 알고리즘은 아래와 같다.

$$S_{est} = S_{avg} - \eta \cdot DEV_{max}, \quad (\eta > 0) \tag{1}$$

$S_{est}$ 는 SNR 예측 알고리즘의 결과값으로 $S_{avg}$ 에서 $\eta \cdot DEV_{max}$ 을 뺀 값이 된다. $S_{avg}$ 는 수신한 패킷의 SNR 의 평균값, $DEV_{max}$ 는 SNR deviation 의 최대값이고 $\eta$ 는 $DEV_{max}$ 의 weighting factor 이다. $S_{avg}$ 와 $DEV_{max}$ 는 패킷을 수신할 때 마다 측정한 수신 SNR $S_{curr}$ 에 따라 아래와 같이 계산된다.

$$S_{avg} = (1-\delta) \cdot S_{avg} + \delta \cdot S_{curr}, \quad (0 < \delta \leq 1) \tag{2}$$

$$S_{diff} = |S_{avg} - S_{curr}| \tag{3}$$

$$DEV_{avg} = (1-\rho) \cdot DEV_{avg} + \rho \cdot S_{diff}, \ (0 < \rho \leq 1) \tag{4}$$

$$DEV_{max} = \begin{cases} DEV_{avg}, \text{ if } DEV_{avg} > DEV_{max}(1 - t/T) \\ DEV_{max}, \text{ else} \end{cases} \tag{5}$$

식 (2)와 같이 EWMA 을 사용하여 매 패킷 마다 $S_{avg}$ 을 계산한다. $S_{diff}$ 는 $S_{avg}$ 와 $S_{curr}$ 의 차이를 나타내고 $DEV_{avg}$ 는 $S_{diff}$ 을 EWMA 한 결과이다 (식 (3), (4)). $DEV_{max}$ 는 $DEV_{avg}$ 의 최대값으로 식 (5)을 통해서 $DEV_{avg}$ 와 $DEV_{max}$ 을 linear 하게 감소시킨 값과의 비교를 통해서 결정된다. 시간 t 는 $DEV_{max}$ 가 업데이트 된 시각과 $DEV_{avg}$ 가 계산된 시각의 차이이고, 시간 T 는 $DEV_{max}$ 값이 linear 하게 감소하여 0 이 될 때까지 걸리는 시간이다 [3]. $DEV_{max}$ 을 linear

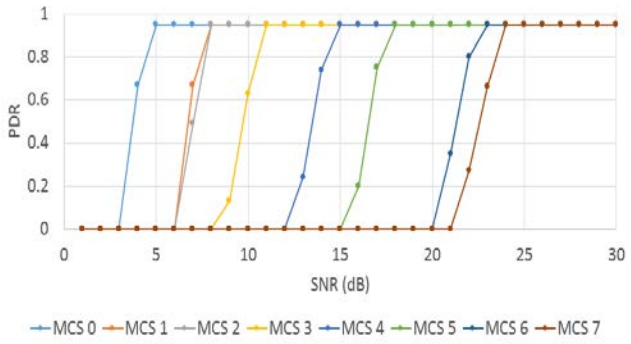



**그림 1. SNR-PDR table 예시.**

하게 감소시킨 값과 $DEV_{avg}$을 비교하여 $DEV_{avg}$의 값이 더 크다면 $DEV_{max}$을 $DEV_{avg}$로 하고 그렇지 않은 경우에는 $DEV_{max}$을 그대로 사용한다. 위를 통해서 적어도 T 초마다 $DEV_{max}$을 업데이트가 된다. 이렇게 하는 이유는 예측하는 SNR 값이 채널의 상태가 좋은 경우에도 계속해서 낮은 SNR 로 예측하는 것을 예방하기 위함이다. 다시 말해, SNR 을 예측하는 과정에서 채널의 상태가 급격하게 나빠지는 경우에 $DEV_{max}$의 값이 상당히 커질 수 있고 이러한 경우 $DEV_{max}$을 그대로 사용한다면 $S_{est}$이 불필요하게 낮아질 수 있다. 그러나 적어도 T 초마다 $DEV_{max}$을 업데이트 한다면 이러한 문제를 해결할 수 있다. 이렇게 위의 과정을 통해서 최종적으로 $S_{est}$을 얻게 되는데 $S_{est}$을 계산할 때 $S_{avg}$에서 $\eta \cdot DEV_{max}$을 뺀 값으로 하는 이유는 현재 자신의 채널 상태보다 보수적으로 SNR 을 예측하여 overestimation 을 방지하기 위함이다.

2) 전송 단말의 MCS와 NC code rate 선택

수신 단말은 SNR 예측 알고리즘을 통해서 $S_{est}$을 구한다. $S_{est}$에 대한 각 MCS의 PDR을 SNR-PDR table을 통해서 구한 후 전송단말에게 주기적으로 MCS별 PDR을 피드백을 한다. 그림 1은 SNR-PDR table 예시이다. 여러 수신단말로부터 피드백을 받은 전송 단말은 가장 낮은 PDR 값을 선택하는 이유는 채널의 상태가 가장 좋지 않은 수신단말까지 제대로 패킷을 수신할 수 있도록 전송하기 위하여 각 MCS에 대해서 가장 낮은 PDR 값을 선택한다. 각 MCS에 대해서 가장 낮은 PDR을 구한 후에는 NC 를 통해 각 MCS 별로 몇 개의 추가적인 패킷을 생성할 것인지 정하게 된다. 전송 단말은 그 패킷들을 모두 전송하는데 소요되는 시간이 가장 적은 MCS 를 선택하고 다음 전송에 사용한다.

3) 시뮬레이션 결과

제안하는 SNR 예측 알고리즘 (Proposed) 을 사용한 것과 식 (2)를 통해 EMWA 만을 사용하여 $S_{est}$을 예측하는 (EWMA) 두 가지 방법을 PDR 관점에서 비교하였다. 표 1 은 시뮬레이션 파라미터를 나타내며 토폴로지는 하나의 전송 단말을 중심으로 10 개

| Protocol | 802.11a |
|---|---|
| Doppler velocity | 0.1 m/s |
| Packet size | 1000 bytes |
| $\eta$ | 1 ~ 5 |
| $\delta$ | 0.1 ~ 0.9 |
| $\rho$ | 0.1 ~ 0.9 |
| Simulation time | 100 s |

**표 1. 시뮬레이션 파라미터**

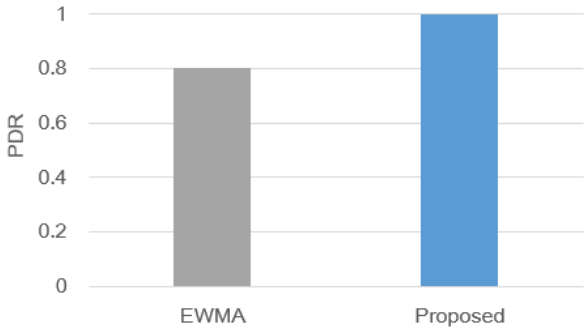



**그림 2. EWMA 와 Proposed 의 PDR 결과.**

의 수신 단말이 5 m 의 정사각형 안에 무작위로 분포한다. 그림 2 는 EWMA 와 Proposed 를 비교한 결과로 Proposed 의 경우에는 여러 파라미터의 조합 중에서 성능이 가장 좋은 조합 ($\eta$=2, $\delta$=0.1, $\rho$=0.1) 에서의 결과이고 EMWA 의 경우 $\delta$는 0.1 일 때의 결과이다. 시뮬레이션 결과를 보면 EWMA 의 PDR 은 0.8 인데 비해 Proposed 의 경우는 0.99 로 모든 수신 단말이 성공적으로 패킷을 수신한 것을 알 수가 있고 이는 사용자가 원활하게 비디오를 볼 수 있다는 것을 의미한다. 성능차이가 발생하는 이유는 Proposed 의 경우 $S_{est}$을 구할 때 overestimation 하기 않아 전송 시 MCS 를 EWMA 보다 보수적으로 선택하기 때문이다.

## 3. 결론

본 논문은 무선랜 비디오 멀티캐스트 전송을 효율적으로 하기 위해서 보수적인 SNR 예측 알고리즘을 제안하였고 전송 단말의 MCS 를 적응적으로 선택하게 하였다. 그에 따라 제안하는 알고리즘이 PDR 을 효과적으로 증가시키는 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

## 4. 참고 문헌

[1] 신연철, 이규진, 최준영, 최성현, “안드로이드 기기에서의 랜덤 선형 네트워크 코딩 코덱 수율 측정,” 통신정보 합동학술대회 (JCCI), 2015 년.

[2] G. Judd, X. Wang, and P. Steenkiste, “Efficient Channel-aware Rate Adaptation in Dynamic Environment,” in *Proc. ACM MobiSys*, 2008.

[3] X. Chen, P. Gangwal, and D. Qiao, “RAM: Rate Adaptation in Mobile Environment,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 11, no. 3, pp. 464-477, Mar. 2012.

# IEEE 802.11ac 의 다중 대역폭과 전송률의 성능 관계 분석

양창목°, 변성호, 최성현
서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소
cmyang@mwnl.snu.ac.kr, shbyeon@mwnl.snu.ac.kr, schoi@snu.ac.kr

## 1. 서론

무선 통신에서 가장 핵심적인 기술 중 하나인 IEEE 802.11 표준은 a/b/g/n 을 거쳐 IEEE 802.11ac 까지 발전해 왔다 [1]. 802.11ac 에서 가장 눈 여겨 볼 기술은 다중 대역폭 지원으로, 5 GHz 대역에서 20 MHz 대역폭부터 40, 80 MHz 의 다중 대역폭을 지원하여 데이터 전송 속도를 비약적으로 향상시킨다.
본 논문에서는 IEEE 802.11ac 환경에서 다중 대역폭 뿐만 아니라 전송률을 적응적으로 함께 조절할 경우 보다 높은 성능 향상을 이룰 수 있음을 보인다.

## 2. 본론

IEEE 802.11ac 표준이 지원하는 다중 대역폭은 primary 20 MHz 채널과 secondary 채널로 구성되어 있으며, 기본적으로 모든 채널이 비어 있어야 전송이 가능하다. 또한 primary 20 MHz 채널과 secondary channel 에서 채널이 비어 있음을 판단하는 기준이 다른데, 같은 신호 세기라고 하더라도 primary 채널에서는 채널이 점유되어 있다고 판단하지만 secondary 채널에서는 채널이 비어 있다고 판단하게 되는 경우도 있다. 이 때 secondary hidden 문제가 생길 수 있다 [2].

**그림 1 시뮬레이션 토폴로지**

IEEE 802.11ac 에서 다중 대역폭을 사용할 때의 성능을 평가하기 위해 우리는 그림 1 과 같은 토폴로지에서 ns-3 [3] 를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 두 개의 BSS 가 있는 환경에서 각 BSS 에는 STA 가 하나씩 존재하며, Target AP 는 80 MHz 또는 40 MHz 대역폭으로 데이터를 전송하고 Hidden AP 는 40 MHz 대역폭으로 전송하다. AP 와 STA 는 5 m 씩 떨어져 있으며, AP 간의 거리를 서서히 늘려 가며 각 AP 에서 각각의 BSS 에 있는 STA 에게 트래픽을 전송하게 하여 시뮬레이션을 수행하였다.
그림 2 는 Target BSS 의 throughput 결과를 나타낸 그래프이고, 그림 3 은 전체 throughput 결과를 나타낸 그래프이다. 그림 2 에서 단순하게 MCS 7 로 전송하였을 경우에 secondary hidden 문제 때문에 throughput 이 낮아지는 구간이 생기는데, 이 때 MCS 를 4 로 낮출 경우 throughput 이 향상될 수 있음을 보이고 있다. 이 양상은 전체 throughput 을 보여주는 그림 3 에서도 동일하다. 또한 두 BSS 가 서로 가까이 있을 경우에는 Target AP 가 대역폭을 40

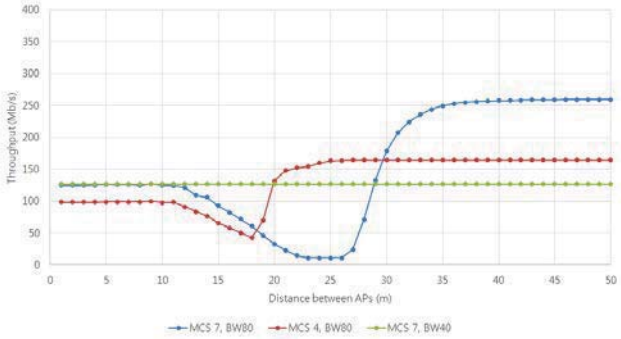



**그림 2 Target BSS 의 throughput**

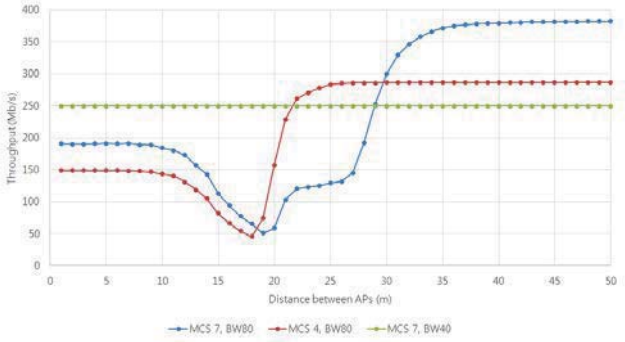



**그림 3 전체 throughput**

MHz 로 줄여서 사용할 경우 전체 throughput 이 증가하는 것을 볼 수 있다.
시뮬레이션 결과를 통해, 무조건 넓은 대역폭과 높은 전송률을 사용하는 것만이 높은 throughput 을 낼 수 있는 것이 아니며, 상황에 따라 알맞은 대역폭과 전송률을 선택해야 최적의 throughput 을 내는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11ac 환경에서 다중 대역폭만으로는 모든 상황에서 완벽한 성능 향상을 이루어내기 어려울 수 있으며, 대역폭과 전송률을 조절하였을 때 성능 향상이 추가적으로 있을 수 있음을 보였다. 따라서 우리는 전송 대역폭과 전송률을 주변 전송 환경에 맞게 적응적으로 조절하는 기법의 개발을 기대하고 있다.

## 4. 참고문헌

[1] IEEE 802.11ac, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Phsical Layer (PHY) specifications: Enhancements for VHT for Operation in Bands below 6 GHz, IEEE Std., Dec. 2013.
[2] S. Byeon, C. Yang, O. Lee, K. Yoon, and S. Choi, “Enhancement of Wide Bandwidth Operation in IEEE 802.11ac Networks,” in Proc. IEEE ICC 2015, London, UK, Jun 8-12, 2015.
[3] Network Simulator 3 (ns-3). http://www.nsnam.org/.

# LTE 기반 V2X 시스템 레벨 시뮬레이터 개발 및 성능 분석

문상미°, 추명훈, 이지혜, 권순호, 황인태

전남대학교 전자컴퓨터공학과

# Design and Performance Analysis of System Level Simulator of LTE-based V2X

Sangmi Moon°, Myeonghun Chu, Jihye Lee, Soonho Kwon, Intae Hwang

Dept. of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

msm0804@naver.com, mypopularity@hanmail.net, diqhq12@naver.com, kwonsho1@naver.com, hit@jnu.ac.kr

요 약

향상된 무선 통신 시스템을 이용하여 교통안전을 개선하기위해 V2X (Vehicle to Everything) 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. V2X 통신은 미래 교통안전 및 이동성의 발전을 위한 하나의 주요 솔루션이다. 본 논문에서는 LTE 기반 V2X 시스템 레벨 시뮬레이터를 개발하고 이에 대하여 성능을 분석한다. 성능 분석은 주기적 메시지 전송에서 Urban 과 Freeway 경우데 대하여 이루어 졌으며, 그 결과 차량 속도가 증가함에 따라 자원 충돌로 인하여 성능이 저하되는 것을 확인 하였다.

## 1. 서론

지금까지의 통신 기술은 사람과 사람 사이의 의사소통이나 정보 전달 목적으로 활용되었지만 최근에는 사람과 사물, 사물과 사물 간의 통신으로 영역이 확대되고 있다. 사람 간의 통신이 아닌 사람 대 사물, 사물 대 사물 간의 통신은 몇 년 전부터 다양한 응용 사례 및 시나리오로 제시되고 있으며, 그 중 일부는 사업화 및 표준화로 추진되어 어느 정도 현실화 단계에 있다. 특히, 최근에는 V2V(Vehicle to Vehicle), V2P(Vehicle to Pedestrian), V2I(Vehicle to Infrastructure)와 같은 V2X(Vehicle to Everything)를 형성하려는 움직임이 빠르게 이뤄지고 있다.

따라서 본 논문에서는 차량 이동환경에서 셀룰라 기반 무선전송 기술을 분석하기 위한 시스템 레벨 개발 및 성능을 분석하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 V2X 시스템 레벨 시뮬레이터 개발에 대하여 기술하고 제 3 장에서는 V2X 시스템 레벨 시뮬레이터의 성능을 분석한다. 마지막으로 제 4 에서 결론을 맺는다.

## 2. V2X 시스템 레벨 시뮬레이터 개발

본 장에서는 V2X 시스템 구조에 대해 기술한다. V2X 시스템은 Evaluation Scenarios, UE Drop and Mobility Model, eNB and RSU deployment, Channel Model, Traffic Model 등을 수행하며, Performance Metric 인 PRR(Packet Reception Ratio) 값을 통해 성능 분석이 이루어진다[1].

### 2.1 Evaluation Scenario

두 차량 단말(UE: User Equipment)의 dropping 경우는 Urban 경우와 Freeway 경우로 정의 할 수 있다. UE drop 모델과 이동성 모델은 2.2 절에서 살펴볼수 있다. 또한 각각 경우에 대한 채널 모델은 2.4 절에서 살펴볼 수 있다. Macro eNB 는 평가 시 배치 되거나 배치되지 않을 수 있다. Macro eNB 가 배치되는 경우, 2.3 절의 가정을 사용한다. Macro eNB 가 배치되지 않은 경우, 간단한 wrap around 가 적용된다.

### 2.2 UE Drop and Mobility Model

차량 단말은 Spatial Poisson Process 에 따라 도로에서 drop 된다. 차량 밀도는 차량 속도에 의해 결정되고, 차량 위치는 시뮬레이션에서 100ms 마다 업데이트 되어야 한다. Urban 인 경우, 차량은 교차로에서 다음과 같이 방향을 변경한다.

- 확률 0.5 로 직진
- 확률 0.25 로 좌회전
- 확률 0.25 로 우회전

### 2.3 eNB and RSU Deployment

Urban 의 경우 Macro eNB 가 배치된다면, Macro eNB 의 ISD(Inter-Site Distance)는 500m 이고 wrap around 모델이 사용된다.

Freeway 의 경우 Macro eNB 가 배치된다면, eNB 는 1732m 의 ISD 로 freeway 에서 35m 떨어져 배치된다.

### 2.4 Channel Model

두 차량 단말 사이의 채널에 대한 가정은 표 1 과 같다.

표 1. Assumptions for vehicle-to-vehicle

| Parameter | Urban case | Freeway case |
|---|---|---|
| Pathloss model | WINNER+B1 Manhattan grid layout | LOS in WINNER+ B1 |
| Shadowing distribution | Log-normal | Log-normal |
| Shadowing standard deviation | 3 dB for LOS and 4 dB for NLOS | 3 dB |
| Decoorelation distance | 10 m | 25 m |
| Fast fading | UMi-NLoS | |

### 2.5 Traffic Model

평가시 사용되는 트래픽 모델은 주기적인 트래픽 경우와 이벤트-트리거 트래픽 경우가 있다. 주기적인 트래픽의 경우는 필수이며, 이벤트-트리거 트래픽의 경우는 주기적인 트래픽과 함께 또는 주기적인 트래픽 없이 평가 될 수 있다.

### 2.6. Performance Metric

V2X 를 위한 제안 기법을 평가하기 위해, PRR 이 고려되어야 한다. 하나의 송신 패킷에 대해, PRR 은 X/Y 로 계산된다. 여기서 Y 는 TX 로부터 범위 (a, b)에 위치한 UE/vehicle 의 수이고, X 는 Y 중 성공적으로 수신한 UE/vehicle 의 수이다.

## 3.V2X 시스템 레벨 시뮬레이터 성능 분석

모의실험은 10 MHz 를 기준으로 50 RB (Resource Block)가 할당 되며 50RB 는 5 개의 sub-channel 로 구성되며 각 sub-channel 은 10 RB 로 구성된다. UE 는 한 subframe 에서 하나의 sub-channel 을 사용하며, 190 및 300 byte 메시지의 경우 각각 연속된 2 개 및 3 개의 subframe 을 이용하여 전송된다.

그림 1 은 Urban 에서 차량 속도 15 km/h 와 60 km/h 에서 PRR 의 CDF 를 나타낸다. 표 2 는 차량 속도 15 km/h 와 60 km/h 에서 평균 PRR 을 보여준다.

그림 2 는 Freeway 에서 차량 속도 70 km/h 와 1400 km/h 에서 PRR 의 CDF 를 나타낸다. 표 3 은 차량 속도 70 km/h 와 140 km/h 에서 평균 PRR 을 보여준다.

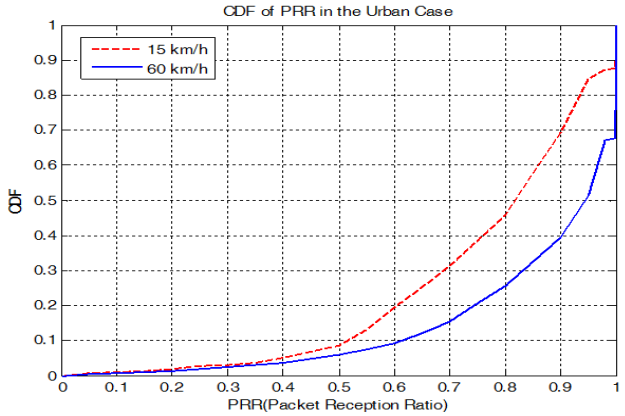



그림 1. CDF of PRR in the urban case

표 2. Average PRR in the urban case

| Range (m) | 15 km/h | 60 km/h |
|---|---|---|
| 20 ~ 40 | 0.95 | 0.94 |
| 60 ~ 80 | 0.88 | 0.87 |
| 100 ~ 120 | 0.80 | 0.80 |
| 140 ~ 160 | 0.73 | 0.72 |
| 180 ~ 200 | 0.65 | 0.64 |
| 220 ~ 240 | 0.57 | 0.57 |
| 260 ~ 280 | 0.48 | 0.48 |
| 300 ~ 320 | 0.36 | 0.35 |
| 340 ~ 360 | 0.25 | 0.24 |
| 380 ~ 400 | 0.15 | 0.16 |
| 420 ~ 440 | 0.09 | 0.10 |
| 460 ~ 500 | 0.04 | 0.04 |
| 500 ~ 520 | 0.02 | 0.02 |

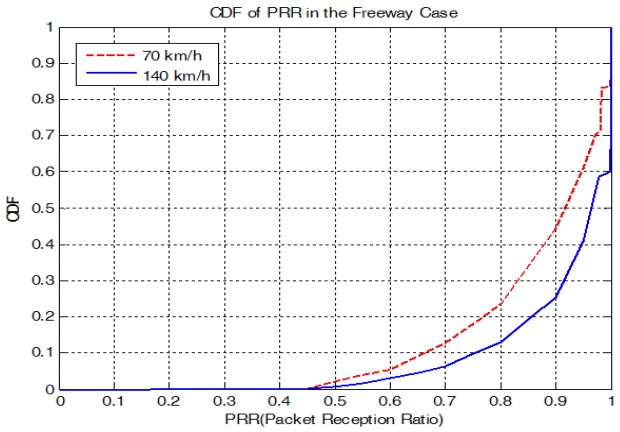



그림 2. CDF of PRR in the urban case

표 3. Average PRR in the freeway case

| Range (m) | 70 km/h | 140 km/h |
|---|---|---|
| 20 ~ 40 | 0.97 | 0.97 |
| 60 ~ 80 | 0.95 | 0.96 |
| 100 ~ 120 | 0.92 | 0.95 |
| 140 ~ 160 | 0.90 | 0.94 |
| 180 ~ 200 | 0.87 | 0.92 |
| 220 ~ 240 | 0.82 | 0.90 |
| 260 ~ 280 | 0.79 | 0.88 |
| 300 ~ 320 | 0.75 | 0.86 |
| 340 ~ 360 | 0.71 | 0.84 |
| 380 ~ 400 | 0.69 | 0.83 |
| 420 ~ 440 | 0.64 | 0.79 |
| 460 ~ 500 | 0.59 | 0.77 |
| 500 ~ 520 | 0.55 | 0.75 |

그림 1, 2 와 표 2, 3 으로부터 속도가 감소함에 따라 차량의 밀도가 증가하여 자원 충돌의 영향으로 간섭이 증가하여 성능이 저하된 것을 볼 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 LTE 기반 V2X 시스템 레벨 시뮬레이터를 개발하고 이에 대하여 성능을 분석한다. 성능 분석은 주기적 메시지 전송에서 Urban 과 Freeway 경우데 대하여 이루어 졌으며, 그 결과 차량 속도가 증가함에 따라 자원 충돌로 인하여 성능이 저하되는 것을 확인 하였다.

## 5. 참고문헌

[1] 3GPP TR 36.885: "Study on LTE-based V2X Services".

## 6. 감사의 글

“이 논문은 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015R1D1A1A01059397)”, “이 논문(저서)은 2014 년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066568)”

# 철도 이기종 음성통신망의 상호연동기술 개발에 관한 연구

이재홍, 김대연, 한정석, 이형의°, 이종성, 김범곤*, 박재학*, 이헌수*
㈜씨그널엔터테인먼트그룹, *한국철도공사
hulee@sicis.co.kr, *mark3552@korail.com

# Development of Inter-Working Technology among Heterogeneous Railway Voice Communication

Lee jae hong, Kim dae yeon, Han jung seok, Lee hyong ui, Lee jong sung,
Bumgon Kim *, Jae-Hak Park*, heonsoo Lee *
Signal Entertainment Group Corp., *Korail

요 약

A Wireless high-speed rail trains increases stability, maintenance and efficiency of the train operation. Thus, providing stable management and compatibility and high-quality services is very important for stable operation of the train and its maintenance work. Current Train radio such as VHF and TRS-ASTRO/TETRA is operated depending on sections and Dedicated railway network, LTE-R, is going to be established in a new route. Train radio operated depending on regions is difficult to repair and maintain efficiency in work. Especially, there might be a problem with an ability to handle in case of emergency and disaster. There will be a growing concern about major accident.
Therefore, the paper analyzes the system of VHF, ASTRO and TETRA which are currently operated for the stable use of interface system for the wired interworking. It lays how to interwork among different models for an expandability of the system when facing emergency and difficulty in considering the way of interface for wireless interworking.

*Keywords* : Dedicated railway network, Wired interworking, Wireless interworking

고속철도 열차무선은 열차 운행의 안정성, 유지보수 및 업무의 효율성을 증대 시킨다. 그러므로 시스템의 안정적인 운용과 호환성, 양질의 서비스 제공은 열차의 안정적 운행과 유지 보수 등의 업무에 매우 중요하다. 현재의 열차무선은 VHF, TRS-ASTRO/TETRA 의 구간에 따라 다르게 운용중이며, 신설노선에 철도전용 통신망인 LTE-R 이 구축 예정이다. 지역별로 다르게 운용되는 열차무선으로 유지보수 및 업무의 효율성이 어려우며, 특히 비상 및 재난 시 대처능력에 문제가 발생할 수 있어 대형 참사에 대한 우려가 있다.
그러므로 본 논문에서는 현재 운용중인 VHF, ASTRO, TETRA 시스템을 분석하여 상호연동 시스템의 안정적 운용을 위하여 유선 연동을 위한 인터페이스 방법을 고려하였으며, 장애 및 비상시 시스템의 확장성을 위하여 무선 연동을 위한 인터페이스 방법을 동시에 고려하여 열차무선 이기종 네트워크 간 연동 방법을 제시하였다.

주요어 : 철도전용통신망, 유선 연동, 무선 연동

## Ⅰ. 서 론

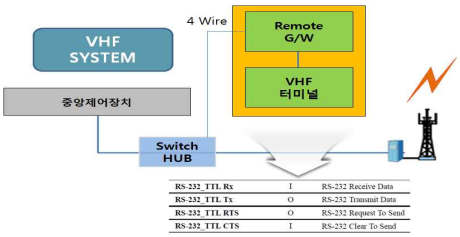
본 논문에서는 철도전용 무선통신망(LTE-R)의 단계적 전환을 위해 현재 열차무선 인터페이스를 분석하여 신뢰성, 안정성을 확보하고, 실용화단계의 연구개발을 통해 내구연한이 지난 이기종 망 시스템의 단계적 마이그레이션을 고려하였다.
고속철도 통신망으로 사용 중인 VHF 는 아날로그 방식, ASTRO 는 FDMA 방식, TETRA 는 TDMA 방식 등 아날로그 와 디지털 방식이 혼용되어 있어 이기종 네트워크 간 상호연동은 패킷을 이용한 IP 네트워크를 구성 하였다. 상호연동서버는 이기종 네트워크 간 호 설정 및 해지, 호의 상태정보를 처리할 수 있도록 하였으며, Remote G/W 을 통한 이기종 네트워크의 시스템 연결과 인터페이스를 구현 하였다.
또한 시스템 운용의 안정성을 위하여 상호연동은 유선(시스템) 연동으로 확장성 및 우회성, 장애 및 비상 대응성을 위하여 무선 연동(터미널)을 고려하여 연구를 진행 하였다.

## Ⅱ. 본론

### 1. VHF 인터페이스

1) VHF 은 지역별로 상이한 규격과 서로 다른 제조사로 인해 System 구현방식이 서로 상이하여 지역 관제 특정 사이트에 교환기에 4Wire 로 유선 인터페이스를 구성하여 Remote G/W 로 System Connection 을 인터페이스 하여 패킷으로 프로토콜 변환한다.

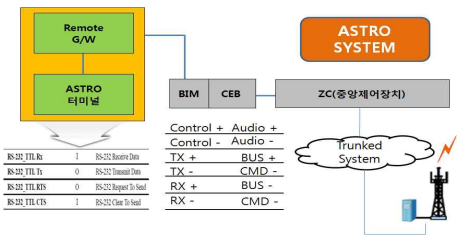
2) VHF 터미널의 RS232_TTL TX, RX, RTS, CTS 방식을 사용하여 Remote G/W 와 인터페이스 하여 System Connection 을 인터페이스 한다.




[그림1] VHF 인터페이스

## 2. ASTRO 인터페이스

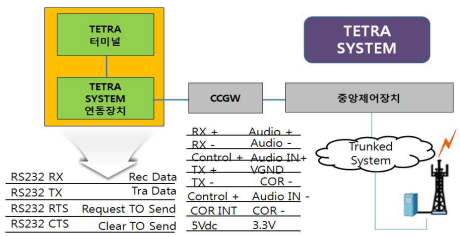
1) ASTRO 시스템 내의 CEB BIM Card(Central Electronics Bank BIM Card) 는 외부 시스템의 확장성을 제공 해 준다. 외부인터페이스 Control 신호를 Remote G/W로 System Connection 을 연결하여 패킷으로 프로토콜 변환한다.
2) ASTRO 터미널은 RS232_TTL TX, RX, RTS, CTS 방식을 사용하여 Remote G/W 와 인터페이스 하여 System Connection 을 인터페이스 한다.




[그림2] ASTRO 인터페이스

## 3. TETRA 인터페이스

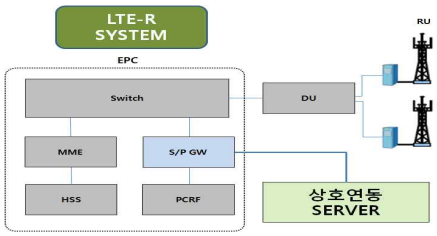
1) TETRA 시스템 내의 CCGW(Conventional Channel Gateway) 는 외부 시스템의 확장성을 제공 해 준다. 외부인터페이스 Control 신호를 Remote G/W로 System Connection 을 연결하여 패킷으로 프로토콜 변환한다.
2) TETRA 터미널은 RS232 TX, RX, RTS, CTS 방식을 사용하여 Remote G/W 와 인터페이스 하여 System Connection 을 인터페이스 한다.




[그림3] LTE-R과 TETRA 유, 무선 인터페이스

## 4. LTE-R 인터페이스

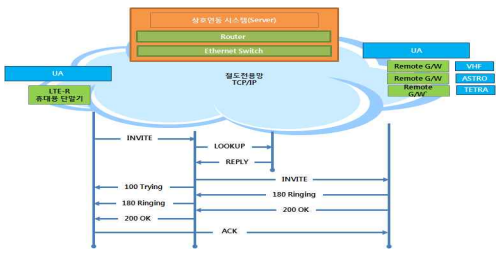
1) LTE-R 시스템 내의 P-G/W 는 상호연동서버와 이더넷으로 인터페이스 되며, 상호연동 시스템 내 등록된 UE 에 대한 IP주소 할당 및 데이터를 전달 할 수 있도록 인터페이스 하였고, 사용자 데이터(UE - eNB - S-GW - P-GW)는 이더넷 통신한다.




[그림4] LTE-R과 TETRA 유, 무선 인터페이스

## 5. 상호연동시스템 호 처리

1) 호 처리 절차는 아래 [그림4] 와 같이 LTE-R 단말기에서 상호연동시스템, Remote G/W, 이기종 망 시스템과 터미널에 패킷 형태로 헤더들과 메시지 바디로 구성되고 요청과 응답 시에 내용을 포함하여 구성한다.
호 처리는 세션을 시작하는 INVITE 시 상호연동서버가 응답에 대한 확인 메시지인 ACK 와 세션을 종료하는 BYE, 탐색을 취소하는 CANCEL, 주소를 서버에 등록하는 REGISTER, 기타 OPTION과 같은 호에 관련된 내용으로 구성된다.




[그림4] 상호연동시스템 호 절차

## Ⅲ. 결론

본 논문에서는 열차무선에서 현재 운용 및 운용예정 방식인 VHF, ASTRO, TETRA, LTE-R 시스템의 상호연동을 위하여 각각 시스템에 대한 인터페이스를 분석하여 상호연동 시스템의 안정적 운용과 확장성 및 우회성, 장애 및 비상 대응성을 위하여 유/무선 인터페이스 방법에 대한 연구를 통해 이기종 네트워크 간 상호연동 시스템의 완성도를 높일 수 있었으며, 철도전용 통신망으로의 단계적 진화에 마이그레이션을 통한 전환 기반을 마련하기 위하여 노력하였다.
상호연동시스템은 미래 철도 시스템으로 진화에 매몰비용 및 중복투자를 방지할 수 있는 최적의 솔루션을 제공할 수 있는 필수적인 요소가 될 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was financially supported by the "Practical Use of General and High-Speed Rail for Wireless Communication and Control Systems(15RTRP-B089552-02)" funded by Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and Planning (KICTEP) of Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, Republic of Korea.

참 고 문 헌

[1] IETF RFC3261 "Session Initiation Protocol"
[2] IETF draft-ietf-sip-call-flows-05 "SIP Call Flow Examples"
[3] 3GPP Public Safety, Emergecy Service, Release 11, 12, 13

# 도플러 효과를 이용한 스마트 자동차용 FMCW 레이더의 거리 정밀도 개선 방법

송원규, 조성호*

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

# A Range Estimation Method Using Doppler Effect in FMCW Radars for Smart Cars

WonKyu Song. Sung Ho Cho*

Department of Electronic and Computer Engineering, Hanyang University

kallio@hanyang.ac.kr, *dragon@hanyang.ac.kr (corresponding author)

## 요 약

최근 스마트 자동차 분야에서 FMCW 레이더를 이용한 거리 탐지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. FMCW 레이더는 저전력으로도 운용이 가능하며, 다른 레이더 시스템에 비해 물체에 대한 거리 분해능이 우수하다. 이러한 차량용 근거리 FMCW 레이더는 도로 위의 차량뿐만 아니라 사람, 동물, 기타 장애물로부터의 거리를 보다 정밀하게 탐지할 수 있어야 한다. FMCW 레이더의 송수신 시간 차이 때문에 발생하는 비트 주파수와 상대속도의 차이로 인해 발생하는 도플러 주파수를 획득하여 거리 및 상대 속도를 구하고 이 정보들을 결합하여 거리의 정밀도를 개선하는 새로운 방법을 제시한다.

## 1. 서론

현재 스마트 자동차의 자동 주행을 위하여 다양한 센서 시스템이 개발되고 있다. 특히 FMCW (Frequency Modulation Continuous Wave) 레이더는 근거리 장애물 탐지를 위해 자동차에 적용되고 있다. FMCW 레이더는 대상으로부터 거리와 상대 속도를 동시에 탐지할 수 있는 매우 효과적인 센서이다[1]. 하지만 일반적으로 레이더를 이용하여 거리 측정을 하는 경우, 잡음 혹은 클러터 등으로 관측 오차가 발생한다. 본 논문에서는 FMCW 레이더의 송수신 시간 차이 때문에 발생하는 비트 주파수와 상대속도의 차이로 인해 발생하는 도플러 주파수를 획득하여 거리 및 상대 속도를 구하고 이 정보들을 바탕으로 거리의 정밀도를 개선하는 새로운 신호처리 알고리즘을 제안한다.

## 2. FMCW 레이더를 이용한 거리 측정 방법

일반적으로 FMCW 레이더는 톱니형 혹은 삼각형의 파형을 FM (Frequency Modulation)으로 변환하여 송신한다. 물체에 반사되어 수신된 신호는 송신 신호와의 주파수 차이를 추출하기 위하여 두 신호를 Mixer 에서 곱한 후 LPF (Low-Pass Filter)에 통과시킨다. 이후에 ADC (Analog-to-Digital Converter)를 거쳐서 순차적으로 데이터를 획득할 수 있다. 이렇게 얻어진 주파수 편차를 비트 주파수라고 한다. 관측하는 대상이 움직일 경우에는 도플러 효과로 인해 도플러 주파수가 비트 주파수에 포함된다[2]. 그림 1-(a)은 FMCW 레이더에서 단일 대상에 대한 송수신 신호의 주파수 변화이다. 움직이는 대상이기 때문에 도플러 주파수가 포함된 것을 알 수 있다. 그림 1-(b)는 시간에 따른 도플러 주파수가 포함된 주파수 편차의 변화를 나타낸다.

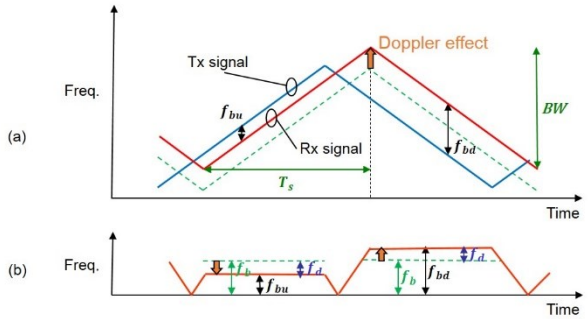



그림 1. 접근하는 대상체의 송수신 신호의 변화
(a) 송수신 신호의 주파수 변화
(b) 도플러 주파수가 포함된 주파수 편차

송신 신호의 주파수가 수신 신호의 주파수보다 높을 때, 비트 주파수를 업 비트주파수라고 하고, 반대 상황일 때, 비트 주파수를 다운 비트주파수라고 한다. 또한 그림 1-(b)에서 알 수 있듯이 업 비트

주파수는 비트 주파수에서 도플러 주파수를 뺀 값이고, 다운비트 주파수는 비트주파수에서 도플러 주파수를 더한 값이다. 이를 수식으로 표현하면

$$f_{bu} = f_b - f_d \quad (1)$$
$$f_{bd} = f_b + f_d \quad (2)$$

와 같이 얻어진다. 또한 업 비트주파수와 다운 비트주파수로부터 비트주파수와 도플러 주파수를

$$f_b = \frac{|f_{bu}+f_{bd}|}{2} \quad (3)$$
$$f_d = \frac{|f_{bu}-f_{bd}|}{2} \quad (4)$$

와 같이 각각 구할 수 있다[3].

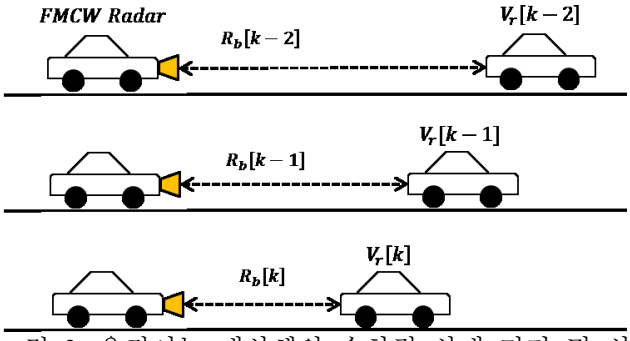



그림 2. 움직이는 대상체의 순차적 상대 거리 및 상대 속도

## 3. 거리 추정 정밀도 개선 알고리즘

이렇게 관측된 데이터는 그림 2.에서 보는 바와 같이 순차적으로 획득할 수 있다. $k$ 번째 순간의 비트 주파수와 도플러 주파수를 각각 $f_b[k]$와 $f_d[k]$로 표기하면 이들을 이용한 상대 거리와 상대 속도는

$$R_b[k] = \frac{cT_s}{2B} f_b[k] \quad (5)$$
$$V_r[k] = V_A[k] - V_B[k] = -\frac{c}{2f_c} f_d[k] \quad (6)$$

와 같이 각각 얻어진다[4]. 여기서 $V_A[k]$는 FMCW 레이더가 부착된 자동차의 절대 속도, $V_B[k]$는 관측되는 대상의 절대 속도, $c$는 빛의 속도, $B$는 대역폭, $f_c$는 중심 주파수, $T_s$는 펄스의 반복 주기를 나타낸다. 펄스 반복 주기는 예를 들어 50ms 정도로 매우 짧다. 이 경우 1초에 약 20번을 관측할 수 있다. 여기에서 $R_b[k]$가 첫 번째 거리 추정치가 된다. 여기에는 각종 관측 오차가 포함되어 있다.

두 번째 거리 추정치 $R_v[k]$는 상대 속도인 $V_r[k]$와 직전에 구한 최종 거리 $R_o[k-1]$로부터 구한다.(4 절 참조) 즉, 두 번째 거리 추정치는

$$R_v[k] = R_o[k-1] + T_s V_r[k] \quad (7)$$

와 같이 정의된다. 여기서 $R_o[k-1]$의 초기값 $R_o[0]$은 $R_b[0]$에 가까운 임의의 값으로 설정한다.

세 번째 거리 추정치 $R_t[k]$는 과거 관측된 거리추정치 $R_b[k]$의 평균값으로서

$$R_t[k] = \alpha R_b[k-1] + (1-\alpha) R_t[k-1] \quad (8)$$

과 같이 얻어진다. 여기서 $0 < \alpha < 1$ 이다.

마지막으로, 측정된 비트 주파수로부터 계산된 $R_b[k]$, 측정된 도플러 주파수로 보정된 $R_v[k]$, 그리고 평균 거리 추정치 $R_t[k]$, 이 세 가지 거리 추정치들로부터 최종 거리 $R_o[k]$를

$$R_o[k] = median\{ R_b[k], R_v[k], R_t[k] \} \quad (9)$$

와 같이 얻는다. 최종 거리의 정밀도는 본 알고리즘이 순차적으로 진행됨에 따라 개선된다.

## 4. FMCW 레이더 시뮬레이션 결과

아래 그림 3.은 거리가 5km/h 일정속도로 가까워지고 있는 상황을 시뮬레이션 한 결과이다. 점선은 비트 주파수로부터 얻은 거리인 $R_b[k]$이고, 실선은 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 결과인 $R_o[k]$이다. 3dB 이상 개선된 것으로 나타났다.

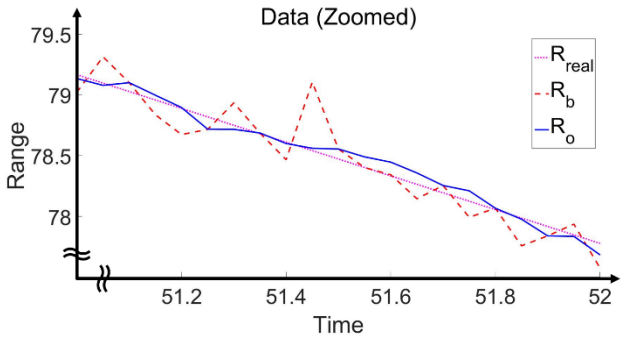



그림 3. 접근하는 물체에 대한 시뮬레이션 결과

## 5. 결론

본 논문에서는 스마트 자동차용 FMCW 레이더를 이용하여 거리와 도플러 주파수로부터 세 가지의 거리 추정치를 도입하여 거리의 정밀도를 개선하는 새로운 알고리즘을 제안하고, 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다.

## 6. 참고 문헌

[1] 민경원, 손행선, "차량용 레이더 센서의 현황 및 연구개발 동향," 전자공학회지, 제 40 권, 제 6 호, pp. 28-38, 2013 년 6 월.

[2] Rohling, H.; Moller, C., "Radar waveform for automotive radar systems and applications," in Radar Conference, 2008. RADAR '08. IEEE, vol., no., pp.1-4, 26-30 May 2008

[3] Cailing Wang, Huajun Liu, Guang Han, and Xiaoyuan Jing, "Automotive FMCW radar-enhanced range estimation via a local resampling Fourier transform." Int J Adv Robot Syst, 2016, 13:13. Doi:10. 5772/62179

[4] Winkler, V., "Range Doppler detection for automotive FMCW radars," in Microwave Conference, 2007. European, vol., no., pp.1445-1448, 9-12 Oct. 2007

# A Data-Gathering Scheme Using Multiple AUVs in Large Scale Underwater Sensor Networks

Jawaad Ullah Khan°, Ho-Shin Cho*
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University
°jawaad_khan@ee.knu.ac.kr , *hscho@ee.knu.ac.kr

## 1. Introduction

Underwater sensor networks are the most promising technologies for underwater exploration and surveying, where otherwise the cost of exploration increases with the increase in the size of the exploration region. However, due to the severe underwater environment, the conventional routing scheme becomes ineffective due to higher energy consumption at the relaying nodes [1]. One of the ways to address the issue of energy consumption is to use a mobile node such as autonomous underwater vehicle (AUV) as a data mule. It traverses the network and carries the data to the sink over a trajectory called tour-path. Nevertheless, in this case, the larger tour-path cannot be achieved due to AUV operational time and limited onboard power resources [2]. This paves the way for the usage of multiple AUVs over the large-scale networks. In [3], authors proposed a number of techniques for multiple AUVs synchronization, where AUVs are operated in the region bounded way to collect the data over a network using multihop transmission between the AUVs. The multihop transmission is achieved through the synchronization of neighboring AUVs at fixed points on the tour-paths called rendezvous points (RP). Such scheme results in the fixed data-forwarding tree in the set of deployed AUVs thus become inefficient in term of energy consumption for AUV. In this paper, we propose a scheme for hierarchical underwater sensor network where AUVs are operated in an unbounded fashion that results in the dynamic data-forwarding tree for the deployed set of AUVs. The unbounded operation of AUVs is achieved through overlapping trajectories and the usage of synchronization node called sync-node in the static layer of the network. Thus, AUVs are able to conserve their energy and can operate for a longer period. Moreover, an efficient AUV recovery procedure can also be implemented over the network.

## 2. System Model

We consider an underwater sensor network with $N_1$ sensor nodes and $N_2$ AUVs arranged in hierarchical architecture as described in [2]. In such network architecture, AUVs are operating at the depth lesser than the static nodes as static nodes require anchoring to have fixed topology. Every AUV moves on a predefined tour-path as shown in Fig. 1. There is a number of tour-points on every tour-path, where an AUV stops and gather data from the sensor nodes. The network starts with the AUVs located at the locations such that their horizontal distance to one other is greater than $D_{AUV}$ in a plane where all AUVs are operating. Then, the AUV that is located nearer to the sink selects a sync-node for every child AUV. In operation phase of the scheme, the parent node in data- forwarding tree such as AUV-1 as shown in Fig. 1, gathers the AUV-2 and AUV-3

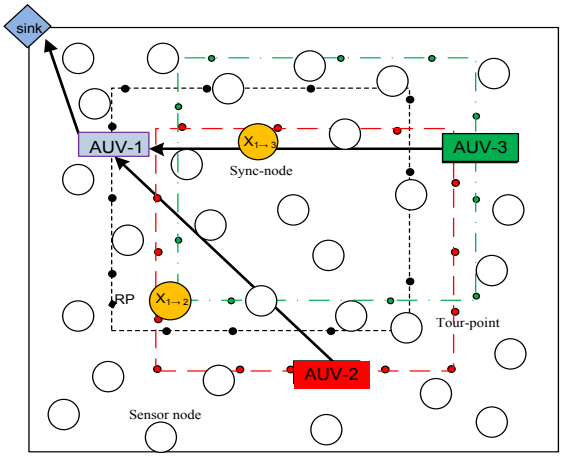



Fig. 1: Underwater Sensor Network with AUVs

status information from their respective sync-nodes, i.e. $X_{1\to2}$ and $X_{1\to3}$. Then, it designs a rendezvous point for both AUVs synchronization. After gathering data from both AUVs, the parent AUV announces the set of tour-points for both child AUVs. Thus, parent AUV limits the free movement of the child AUVs and hence avoid the stringent requirement of constant control. The AUVs rotates their roles according to their location in the network.

## 3. Conclusion

Currently we are working on the discrete event based simulation model for the proposed scheme. We will analyze the proposed scheme with conventional schemes in term of energy consumption for AUVs, data forwarding delay, and overhead required for such synchronization.

## 4. References

[1] M.C. Domingo, R. Prior, "Energy analysis of routing protocol for underwater wireless sensor networks," ELSEVIER. Computer Communications, 31, (2008).
[2] J. U. Khan and H. -S. Cho, "A Distributed Data-Gathering Protocol using AUV in underwater sensor networks," In Sensors, 2015, 19331-19350.
[3] S. Yoon, and C. Qiao, "Cooperative Search and survey using autonmous underwater vehicles (AUVs)," IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, vol. 22, No.3, March 2011.

## 5. Acknowledgement

This research was a part of the project titled 'Development of Distributed Underwater Monitoring & Control Networks' funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

# Onboard-SDK를 이용한 드론 Ad hoc Mesh Network 구현

강완주°, 김세은, 방지환, 이하정, 이지형, 서난솔, 이재문, 이융
한국과학기술원 전기 및 전자 공학부
{soarhigh, sradiant, jhbang1422, hejing, lee.jh, yiyung}@kaist.ac.kr, {solbba, xhxhfh}@add.re.kr

## 1. 서론 및 관련 연구

일반적으로 통신망은 통신사업자의 기지국들과 이를 연결하는 핵심망으로 구성된다. 하지만 홍수, 지진, 전시 상황 등과 같은 재난 및 긴급 상황에서는 기존 통신망을 이용할 수 없는 경우가 빈번하다. 현재는 필요에 따라 사람이 안테나나 통신회선을 직접 설치하는 방법을 써왔으나 시간이 많이 걸리고 비효율적인 문제가 있다. 이때 여러 대의 드론으로 구성된 Ad hoc mesh network 를 활용하면 빠르고 효율적으로 긴급망을 구축할 수 있다.

현재 상용화된 드론은 단일개체 조종과 비디오 촬영 등에 특화되어 있고, 드론 개체 간의 통신이나 여러 드론을 동시에 운영하는 기술은 보편화되지 못하였다. 따라서 드론 Ad hoc mesh network 구현을 위해서는 다수의 드론을 동시에 제어하는 기술과 드론 기반 통신망 운영 기술이 필수적이다.

이와 관련하여 상용 드론을 활용한 Ad hoc network 의 개념이 제시되었다. [1] 또한 다수의 드론을 이용해 Mobile Ad hoc network (MANET)을 구성하여 접근점에서 멀리 떨어진 단말의 연결을 중개하는 실험이 수행되었다. [2] 그러나 효율적인 드론 Ad hoc mesh network 운영을 위해서는 체계적인 드론편대 원격제어 시스템의 구현 방안과 이를 활용한 망 구축 기법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 다수의 상용 드론과 소형 컴퓨터를 이용한 드론편대 원격제어 시스템과 드론 Ad hoc mesh network 구축 기법에 대하여 설명한다.

## 2. 시스템 구현 및 접근 방법

드론 Ad hoc mesh network 의 효율적인 운영을 위해서는 다수의 드론을 실시간으로 제어하는 기술과 Ad hoc mesh network 의 연결 상태 및 topology 변화를 실시간으로 감지하여 routing 을 수행하는 기술이 필수적이다. 현재 상용화된 드론은 대부분 리모콘 또는 스마트폰을 이용하여 각각의 드론을 1 대 1 로 조종하는 방식이다. 이러한 방식은 다수의 드론을 동시에 조종하여 편대를 운영하기에 비효율적이다. 본 연구에서는 onboard-SDK 를 지원하는 상용 드론 Raspberry Pi 를 연결하고, 중앙제어서버가 각각의 Raspberry Pi 와의 소켓 통신을 통해 이륙 및 배치, 이동 등의 명령을 드론에게 전달하도록 하였다. (그림 1-a) 또한 중앙제어서버에서 모든 드론의 GPS 좌표와 드론 간의 연결 상태를 수집하여 그래픽하게 보여줌으로써 직관적으로 드론편대의 상황을 파악하고 운영할 수 있도록 하였다.

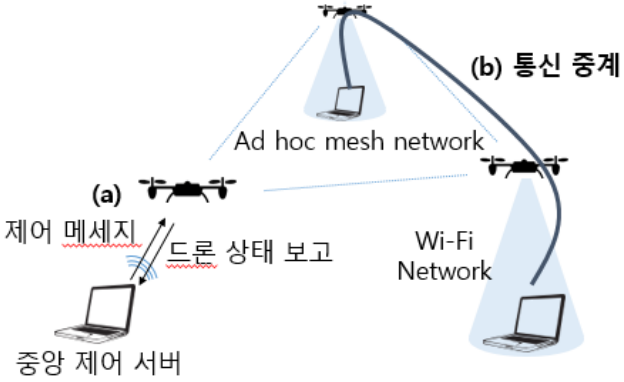



그림 1 (a) 중앙제어서버와 드론 간의 연결 (b) 드론 Ad hoc mesh network 를 활용한 단말간 통신 중계

드론 Ad hoc mesh network 는 드론의 움직임이나 채널 상태 변화 등의 요인으로 각 node 간의 연결 상태 및 network topology 가 빈번하게 변경된다. 이러한 환경에서 망의 변화를 실시간으로 감지하고 자동으로 routing 경로를 변경하지 못하면 원활한 통신을 보장할 수 없다. 본 연구에서는 B.A.T.M.A.N. advanced module[3]을 이용하여 드론 간의 연결 상태 변화를 실시간으로 감지하여 변화된 topology 에 적합한 최적 경로를 지속적으로 탐색하도록 하였다. 또한 각각의 드론을 Wi-Fi 망의 접근점으로 하여 연결된 단말들 간의 통신을 위해 Quagga 의 RIP daemon[4]을 사용하여 네트워크 계층 routing 을 구축하였다. (그림 1-b) 이를 통해 가변적인 드론 Ad hoc mesh network 를 활용하여 멀리 떨어진 여러 단말들 간의 통신을 원활히 중계하는 긴급망 운영 체계를 구성하였다.

## 3. 결론 및 추가 연구

본 논문에서는 onboard-SDK를 지원하는 다수의 상용드론과 Raspberry Pi를 이용한 드론편대 원격제어 시스템 및 드론 Ad hoc mesh network 구축 및 운영에 대하여 설명하였다. 이를 활용하여 여러 단말들의 통신 연결 최적화를 위한 망 구성 알고리즘 연구를 진행할 예정이며, 그 결과로부터 긴급망 구축 및 운영에 필요한 요소 기술을 확보하고 통신 품질을 최적화하여 실제 상용 수준의 드론 통신 및 제어 시스템과 응용 체계를 구축하고자 한다.

감사의 글

해당 연구는 국방과학연구소 (UE155020ED) 우주/공중 기반 기동통신망 개발가능성 연구의 지원을 받아 수행됨.

## 4. 참고문헌

[1] A. Y. Chung *et al*, "Swarming Drones Can Connect You to the Network," *MobiSys*, May 2015.

[2] I. Bekmezci *et al*, "Flying Ad Hoc Networks (FANETs): A survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 11, issue 3, pp. 1254-1270, May 2013.

[3] Open-Mesh batman-adv, Retrieved March 14, 2016, from https://www.open-mesh.org/projects/batman-adv

[4] Quagga Software Routing Suite, Retrieved March 14, 2016, from http://www.nongnu.org/quagga/

# 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템

김종원°, 정연쾌, 이일우
한국전자통신연구원 에너지 IT 기술연구실

# Movable Smart Metering System for an Arbitrary Term

Jong-Won Kim°, Youn-Kwae Jeong, Il-Woo Lee
Energy IT Technology Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute
jongwkim@etri.re.kr°, ykjeong@etri.re.kr, ilwoo@etri.re.kr

## 요 약

스마트 미터링 시스템은 에너지 사용량을 실시간으로 계측하고 통신망을 통한 계량 정보 제공으로 가격 정보에 대응하여 수용가 에너지 사용을 적정하게 제어할 수 있다. 지금까지는 대부분의 스마트 미터링용 센서 및 미터는 한 건물에만 상시 고정형으로 설치하여 사용하였다. 우리는 임의선택기간 동안 전력 소비량, 가스 소비량, 냉난방설비 및 공조설비의 효율, CCTV 영상 등을 모니터링하여 건물의 에너지 소비량 및 설비의 효율 등을 측정, 진단 및 평가하고, 평가가 완료되면 이동형 센서, 미터, 장치들을 탈착하여 다른 건물에 설치함으로써 재활용하는 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템의 개발이 필요하다. 본 논문은 우리가 설계한 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템, 이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치, 이동형 스마트 미터링 제어 장치의 구조를 제시하고, 각 블록의 동작을 설명한다.

## 1. 서론

건물 에너지 효율 향상을 위한 단기 저비용 건물 에너지 통합 평가 진단 시스템 기술은 건물 에너지 생산/소비 정보 프로파일링 및 추계론적 에너지 분석 기술, 패시브/액티브 요소별 에너지 모델 기반 진단분석용 시뮬레이션 기술, 스마트 미터링 기반 통합 평가/진단 네트워크 인프라 구축 기술이 필요하다 [1].

이 가운데 스마트 미터는 일반적으로 “에너지 사용량을 실시간으로 계측하고 통신망을 통한 계량 정보 제공으로 가격 정보에 대응하여 수용가 에너지 사용을 적정하게 제어할 수 있는 기능을 갖는 디지털 전자식 계량기”로 정의하고 있다 [2].

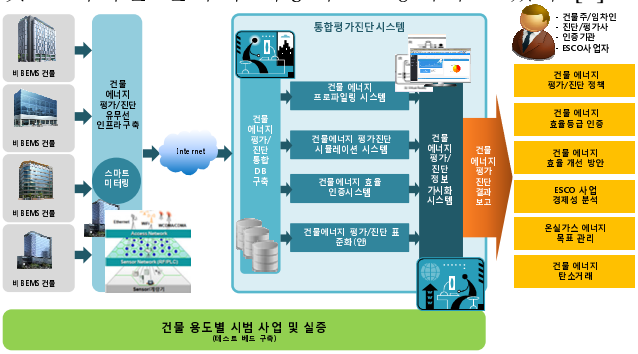



그림 1. 건물 에너지 통합 평가 진단 시스템

지금까지는 대부분의 스마트 미터링용 센서 및 미터는 한 건물에만 상시 고정형으로 설치하여 사용하였다. 우리는 통합 평가/진단 네트워크 인프라 구축을 위하여, 임의의 건물에 이동형 전력 미터, 가스 미터, 초음파 유량계, 풍량계, 열량계, 온도 센서, 습도 센서, 조도 센서, 재실 센서, CO2 센서, CCTV(Closed Circuit TeleVision) 등을 설치하고, IEEE 802.4g 표준으로서 최대 전송 속도 1Mbps, 최대 전송 거리 1Km 의 무선 SUN(Smart Utility Network) 통신으로 데이터를 전송하며, 임의선택기간(1 일, 수일, 1 주일, 1 달, 1 년 등) 동안 전력 소비량, 가스 소비량, 냉난방설비 및 공조설비의 효율, CCTV 영상 등을 모니터링하여 건물의 에너지 소비량 및 설비의 효율 등을 측정, 진단 및 평가하고, 평가가 완료되면 이동형 센서, 미터, 장치들을 탈착하여 다른 건물에 설치함으로써 재활용하는 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템을 구축할 필요가 있다. 본 논문은 우리가 설계한 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템의 구조를 제시한다. 2 장에서는 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템을 기술하고, 3 장에서 이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치를 설명하며, 4 장에서 이동형 스마트 미터링 제어 장치를 기술하고, 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

## 2. 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템

임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템의 블록 구성도는 그림 2 와 같다.

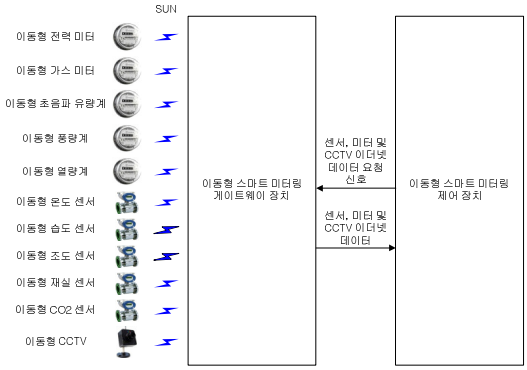



그림 2. 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템의 블록 구성도

그림 2 에서 이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치는 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터 요청 신호를 폴링(Polling) 방식으로 수신하여, 폴링 방식으로 이동형 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터를 요청하는 요청 신호를 송신하는 기능을 수행하고, 요청에 대한 응답으로서 각각의 ID(Identity)와 실시간 누

적값/순시값/이미지를 나타내는 이동형 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터를 수신하는 기능을 수행하며, 수신한 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터를 이더넷 프레임 형태의 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터로 변환하는 기능을 수행하고, 이동형 스마트 미터링 제어 장치로 전달하는 기능을 수행한다. 이동형 스마트 미터링 제어 장치는 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터를 수신하여, 임의선택기간 동안 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터의 실시간 누적값/순시값/이미지를 SSD(Solid State Drive)에 저장하는 기능을 수행하고, 모니터 화면에 표시하는 기능을 수행하며, 임의선택기간 동안 전력 소비량, 가스 소비량, 냉난방설비 및 공조설비의 효율, CCTV 영상 등을 모니터링하여 건물의 에너지 소비량 및 설비의 효율 등을 측정, 진단 및 평가하는 기능을 수행한다.

## 3. 이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치

이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치의 블록 구성도는 그림 3 과 같다. 그림 3 에서 SUN 통신부는 무선 SUN 통신 방식으로, 이동형 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터를 요청하는 요청 신호를 송신하는 기능을 수행하고, 수신한 이동형 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터를 순서대로 정렬하여 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터로 변환하는 기능을 수행한다. SUN 데이터 중앙처리부는 센서, 미터 및 CCTV 무선 데이터 요청 신호를 수신하여, 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터 요청 신호로 변환하는 기능을 수행하고, 센서, 미터 및 CCTV SUN 데이터를 수신하여, 센서, 미터 및 CCTV 무선 데이터로 변환하는 기능을 수행하며, 메모리 데이터를 메모리부로 읽기 쓰기하여, 데이터 처리 기능을 수행한다. 이더넷 통신부는 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터 요청 신호를 수신하여, 센서, 미터 및 CCTV 무선 데이터 요청 신호로 변환하는 기능을 수행하고, 센서, 미터 및 CCTV 무선 데이터를 수신하여, 이더넷 프레임 형태의 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터로 변환하는 기능을 수행한다.

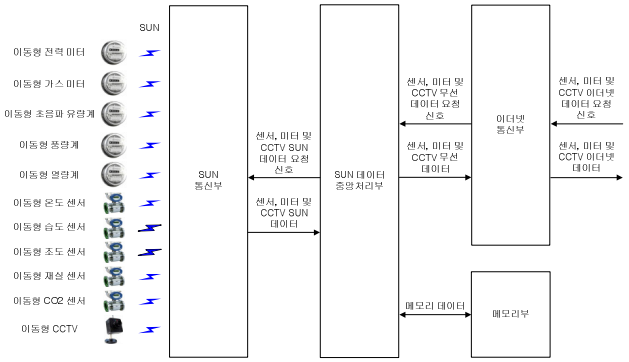



그림 3. 이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치의 블록 구성도

## 4. 이동형 스마트 미터링 제어 장치

이동형 스마트 미터링 제어 장치의 블록 구성도는 그림 4 와 같다. 그림 4 에서 디스플레이부는 A/V(Audio Video) 신호를 수신하여, 모니터 화면에 표시하는 기능을 수행한다. 이동형 스마트 미터링 중앙처리부는 제어부 이더넷 통신부로 이더넷 통신 데이터 요청 신호를 폴링 방식으로 송신하는 기능을 수행하고, 이더넷 통신 데이터를 수신하여, 건물의 에너지 소비량 및 설비의 효율 등을 측정, 진단 및 평가하는 기능을 수행하며, 이동형 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터의 실시간 누적값/순시값/이미지를 A/V 신호로 변환하는 기능을 수행하고, 메모리 데이터를 메모리부로 읽기 쓰기하여, 데이터 처리 기능을 수행하며, SSD 데이터 읽기 기능 및 저장 기능을 수행한다. 제어부 이더넷 통신부는 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터를 수신하여, 이더넷 통신 데이터로 변환하는 기능을 수행하고, 이더넷 통신 데이터 요청 신호를 수신하여, 센서, 미터 및 CCTV 이더넷 데이터 요청 신호로 변환하는 기능을 수행한다.

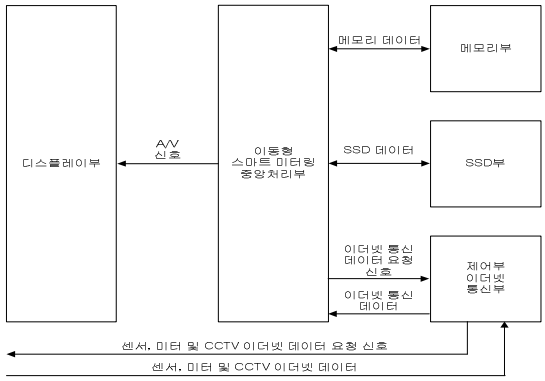



그림 4. 이동형 스마트 미터링 제어 장치의 블록 구성도

## 5.결론

본 논문은 우리가 설계한 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템, 이동형 스마트 미터링 게이트웨이 장치, 이동형 스마트 미터링 제어 장치의 구조를 제시하고, 각 블록의 동작을 설명하였다.

본 논문에서 제시된 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템은 임의선택기간 동안 전력 소비량, 가스 소비량, 냉난방설비 및 공조설비의 효율, CCTV 영상 등을 모니터링하여 건물의 에너지 소비량 및 설비의 효율 등을 측정, 진단 및 평가하고, 평가가 완료되면 이동형 센서, 미터, 장치들을 탈착하여 다른 건물에 설치함으로써 재활용할 수 있다. 향후 연구 과제로는 임의선택기간 이동형 스마트 미터링 시스템의 구현에 대한 연구가 필요하다.

## 6. 감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 에너지기술개발사업의 '건물에너지 효율 향상을 위한 통합평가진단시스템 개발 및 실증 과제' (20142010102370)의 지원을 받아 수행하였습니다.

## 7. 참고 문헌

[1] 신영기, "실시간 모델 기반 건물 에너지 진단 연구," 설비저널 제 42권 2013년 5월호
[2] 에너지 IT 융합시장 사업실태와 전망, 임팩트, 2013.12.13.

# 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크

정종진°, 박종빈°°, 김명진°°°

전자부품연구원 스마트미디어연구센터°, °°, (주)이노그리드 클라우드컴퓨팅연구센터°°°

# User Targeting SaaS Service Mash-Up Framework

Jong-Jin, Jung°, Jong-Bin, Park, Myung-Jin, Kim

Smart Media Research Center, Korea Electronics Technology Institute

Cloud Computing Research Center, Innogrid Ltd.

mozzalt@keti.re.kr, jbpark@keti.re.kr, tough105@innogrid.com

## 요 약

클라우드 기반 서비스 기술의 발달에 따라 응용프로그램이 클라우드 컴퓨팅 인프라 기반 서비스 형태에서 사용자의 요구에 따라 서비스 형태로 제공되는 SaaS(Software as a Service) 구조로 발전하고 있다. 스마트폰의 보급과 더불어 SaaS 서비스의 발전은 다양한 기능 제공이 가능해지며 사용자의 경험을 풍부하게 하였으나, 독립적으로 제공되는 무수한 서비스들로 인하여 사용자는 자신에게 적합한 서비스를 선택하고 운영함에 있어서 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 논문에서는 여러 형태의 SaaS 서비스, 개별 SaaS 서비스 기능들을 사용자 구미에 맞게 메쉬업(연동)함으로써, 신규 서비스 및 부가가치 창출이 가능한 새로운 서비스를 생성 가능하며 클라우드 서비스의 다양성과 개인화 지원을 극대화 할 수 있는 클라우드 서비스(SaaS) 메쉬업을 위한 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크를 제안한다.

## 1. 서론

클라우드 기술이 발전함에 따라, 최근 Cloud Service Brockerage 와 유사한 개념으로 다양한 클라우드 기반 SaaS 서비스를 사용자 구미에 맞게 메쉬업 연동 하려는 움직임이 있다. SaaS Aggregation 은 이러한 다종·다양한 서비스들을 통합된 하나의 환경으로 제공함으로써 서비스 이용과 관리를 더욱 손쉽게 하기위해 나타난 기술이다. 서비스를 통합된 환경에서 이용 및 관리할 수 있는 SaaS Aggregation 의 기본적인 개념에 덧붙여, 독립된 서로 다른 서비스를 연동하여 서비스 개발자가 의도한 기능 이상의 새로운 서비스 이용이 가능한 메쉬업 SaaS Aggregation 서비스가 등장 하였다. 현재 제공되고 있는 메쉬업 SaaS Aggregation 서비스는 기존 사용자가 이용하고 있는 서비스에서 제공되는 기능 몇 가지 중 하나를 선택하여 조건을 결정하고, 다른 서비스 기능 중 하나를 선택하여 수행 내역을 결정하는 단순한 연결 서비스만을 제공하고 있다. 또한 서비스 추천 방식에 있어서도, 가장 많은 사용자가 있거나 평점이 높은 연결 규칙을 리스팅 해주는 수준으로 사용자의 메타정보나 서비스 바인딩 이력을 고려하지 못하고 있다. 따라서 이런 한계를 벗어나 기존 서비스가 제공하는 의존성이 강한 연결 방식에서 벗어나 다양한 연결 규칙을 간편히 정의할 수 있고, 사용자에게 적합한 서비스를 추천, 이용하는 기술과 환경 제공이 가능한 메쉬업 SaaS 서비스 연동이 필요한 시점이다.

## 2. SaaS 서비스 연동 프레임워크

다양한 형태로 제공되는 SaaS 별 독립적으로 제공되던 기능들을 연동하여 새로운 가치 서비스를 제공해주는 메쉬업 서비스를 위한 기술로, 서비스 간 연동 규칙 및 처리와 사용자에게 필요한 기능을 추천해주고, 사용자가 선택한 기능을 연동하여 최종 수행을 해 줄 수 있는 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크이다. 아래 그림 1 은 이를 설명하고 있다.

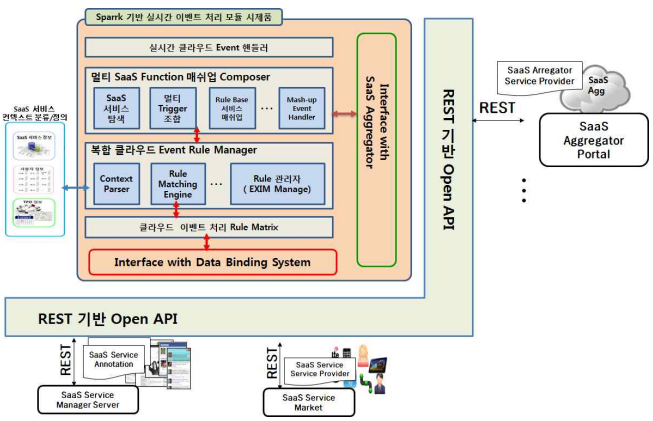



그림 1 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크 설계도

사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동을 위해서는 아래와같은 서브 항목이 필요하다.

① 다양한 SaaS 클라우드 서비스들이 SaaS Aggregation 와의 연동을 할 수 있도록 SaaS Aggregation 연동 서비스를 구성하는 컴포넌트들, 즉 서비스/사용자/상황에 대한 컨텍스트를 분류하고 정의
② 서비스를 이용하는 사용자에게 최적의 메쉬업 연동된 SaaS 서비스를 제공 할 수 있도록 복합 클라우드 이벤트 Rule Matrix 구축
③ 동시에 다수의 클라우드 서비스가 실시간으로 메쉬업 연동 할 수 있게 하여 기존 하나의 서비스 조건에 맞춰 단순 추천하는 단조로움을 벗어나, 다수의 SaaS 서비스의 장점들을 복합 구성하여 전달함으로써 만족도 높은 메쉬업 서비스 구성 모듈

## 2-1. Context 정의 및 분류

SaaS Aggregation 가 사용자별, 서비스 이용 상황별, 최적의 SaaS 서비스를 검색하고 연동하기 위해 필요한 컴포넌트들을 도출하고 체계적으로 분류를 해야 한다. 아르 그림 2 는 이를 위한 Context 분류 체계를 설명한다.

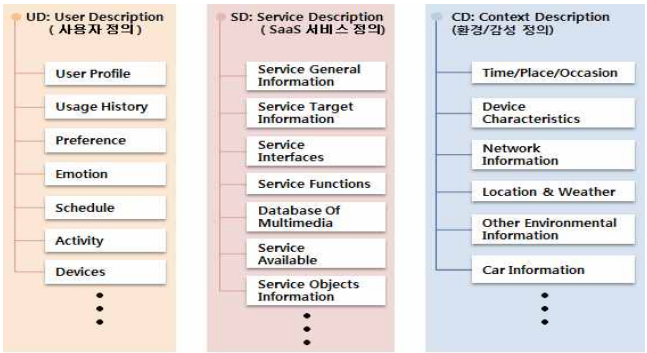



그림 2. SaaS 서비스 연동을 위한 Component 별 컨텍스트 분류 체계 및 정의

위의 컨텍스트 분류 및 추론 기법을 통하여 취득된 SaaS Aggregation 컴포넌트 정보를 기반으로 최적의 SaaS 서비스를 메쉬업 할 수 있도록 한다.

## 2-2. Rule 메트릭스 기반 SaaS 서비스 연동

사용자의 서비스 이용 목적, 상황, 사용자가 사용하는 사용자의 특성 및 상황에 따라 최적화된 SaaS 서비스를 메쉬업 하여 제공하기 위해 연동 Rule 은 Rule Matrix 에 정의되어 있다. 기존 IFTTT 인 경우 1 개의 서비스 Triggering 으로 1 개의 Action 서비스를 제공하는 반면, N 개의 SaaS 서비스의 Function 들이 Triggering / 조합이 가능 할 수 있게 한다.

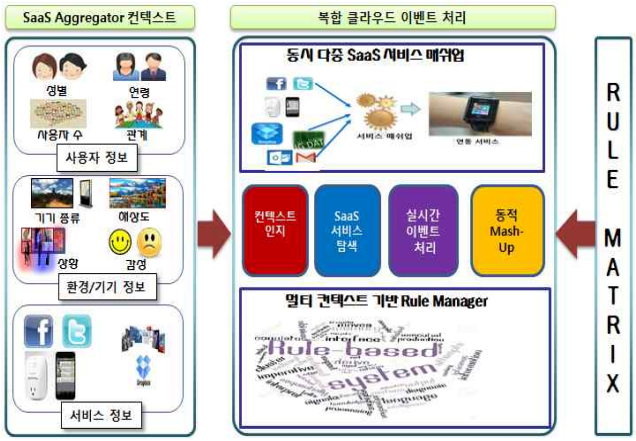



그림 3. Rule 매트릭스 기반 SaaS 서비스 연동

## 3. 결론

본 논문에서는 사용자가 서비스 이용 상황에 맞춰 개인특성, 상황 특성에 따라 가장 최적의 SaaS 서비스, 개별 SaaS 서비스가 가진 기능들을 조합 연동하여 사용자가 원하는 수행결과를 얻는데 도움을 주는 기술을 제안하였다. 최근 전 세계적으로 빅데이터, IoT, 웨어러블 등의 서비스 확산을 바탕으로 다양한 클라우드 서비스를 결합하여 발전하고 있는 상황에서 이 제안 기술은 사용자에게 만족도 높은 서비스를 가져달 줄 수 있는 기술이 될 것이며, 이로인해 SaaS 서비스 활용도가 높아지며, 이는 결국 클라우드 자원 및 서비스들이 융합하는 형태로 생태계가 급속도로 성장 하리라 기대된다.

## 4. 참고 문헌

[1] 정종진, 김명진, “클라우드 서비스 메쉬업을 위한 SaaS Aggregation 기술개발 기획 보고서“ , 2014
[2] 금승우, 육근웅, 문재원, 임태범, “방송 단말에서의 IoT 제어 및 사용자 인터페이스 제공 방법”, 방송과 미디어 특집, 제 20 권 1 호, 2015.1.
[3] Express web application framework for node, Available: http://expressjs.com/
[4] Maria DB, Available: https://mariadb.org.

## 5. Ackknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터(IITP)의 SW 컴퓨팅산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [ 과제번호 (R0113-15-0008), 클라우드 서비스 메쉬업을 위한 SaaS Aggregation 기술개발]

# 전력선 통신에서의 릴레이 도입을 통한 Physical layer security 개선

윤영준°, 김용화, 김성철

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어공동통신연구소

# Improvement of Physical Layer Security by Introducing Relay Node in PLCs

Young-Jun Yoon°, Seong-Cheol Kim

Department of Electrical and Computer Engineering and Institute of New Media and Communications, Seoul National University

{yyj0109, sckim}@maxwell.snu.ac.kr

Yong-Hwa Kim

Department of Electronic Engineering, Myongji University

yongkim@mju.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 전력선 통신에서의 Physical layer security (PLS)를 고려한다. PLS 는 수신자의 채널보다 도청자의 채널이 더 좋은 경우에 성능이 열화 된다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 릴레이를 도입한 협동적 통신 기법의 PLS 를 제안함으로써 도청자의 채널이 수신자의 채널보다 더 좋은 경우에도 PLS 를 확보할 수 있음을 보인다.

## 1. 서론

전력선 통신 (Power line communication)은 기존에 설비되어 있는 전선 배선을 기반으로 통신을 하기 때문에 새로이 통신 매개체를 설비하지 않아도 되는 이점이 있다. 최근에 들어서는 스마트 그리드 (Smart grid)가 대두되면서 좁은 대역의 전력선 통신이 다시금 흥미를 이끌고 있다.

스마트 그리드는 전력 공급자와 사용자가 서로 실시간으로 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하고자 하는 지능형 전력망을 의미한다. 이 때, 전력 공급자와 사용자가 주고 받는 정보는 전력망 통신의 특성상 전력망에 연결되어 있는 모든 사용자들에게 전파가 되는데 이에 따라 전력선 통신에서의 보안 문제가 이슈가 되고 있다.

이러한 보안 문제를 해결하기 위해 전력선 통신에서의 Physical layer security (PLS)가 고려되었다. [1] PLS 는 수신자와 도청자의 채널 차이에서 얻어지는 수신 정보량의 차이로서 이 차이량 만큼의 정보를 도청자가 절대 도청할 수 없다는 것을 의미한다. 이 때, 이 수신 정보량의 차이를 Secrecy rate 라 정의한다. 하지만, PLS 는 도청자의 채널이 수신자의 채널보다 좋을 경우에 Secrecy rate 를 거의 얻을 수 없다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 릴레이 노드를 도입하여 Secrecy rate 를 얻는 기법에 대해 고려해보고자 한다.

## 2. 본론

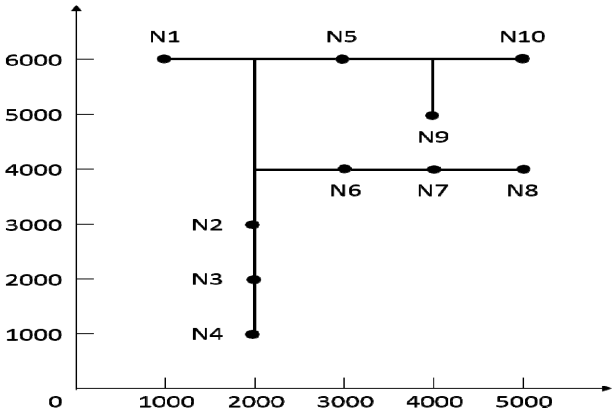
우선, Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)을 기반으로 하는 전력선 통신을 고려한다. OFDM 은 채널이 하나의 반송파가 아닌 여러 부반송파로 이루어지기 때문에 Secrecy rate 를 최대화시키는 각 부반송파에 할당되는 전력 분배를 구하게 된다. Secrecy rate 는 수신자의 채널 용량과 도청자의 채널 용량의 차이 값으로 정의된다.

이러한 Secrecy rate 를 최대화하는 전력 분배는 어떠한 통신 기법을 사용하는지에 따라 달라지게 되는데, 본 논문에서 제안하는 릴레이를 사용한 협동적 통신 기법에 대한 전력 분배는 제한된 원고 분량으로 인해 생략한다. 자세한 전력 분배의 식은 저자의 다른 논문인 [2]에 제시되어 있다

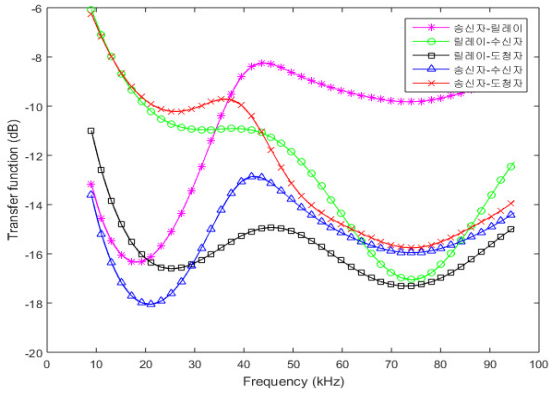
## 3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 기존 논문에서 제시되어 있는 스마트 그리드의 한 부분에 대해서 진행된다. [3] 그림. 1 은 고려된 스마트 그리드를 보여준다. 그림. 1 에서 각 점은 노드를 뜻하고 구분하기 위해 각각에 1 번부터 10 번까지의 번호를 붙인다. 1 번 노드가 송신자이며 4 번 노드가 수신자, 6 번 노드가 릴레이, 10 번 노드가 도청자이다. 각 노드는 전력선 임피던스에 정합되어 있다고 가정한다. 부반송파의 개수는 128 개이며, 대역은 CENELEC A 대역인 9~95kHz 을 사용한다.

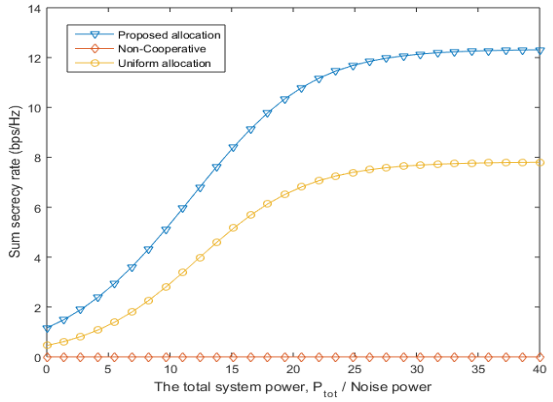
전력선 통신에서의 채널은 무선 통신과 유사하게 송신자와 수신자 간의 거리에 반비례하며, 송신자와 수신자 사이에 있는 분점 (Branch)의 개수와 반비례하는 특성을 지닌다. 그림. 1 에서도 볼 수 있듯이 수신자보다 도청자의 거리가 더 짧고, 분점의 개수




<그림. 1>




<그림. 2>




<그림. 3>

도 더 적기 때문에 도청자의 채널이 수신자의 채널보다 더 좋을 것이라는 것을 예측할 수 있다. 이는 그림. 2 에서 확인할 수 있는데 그림. 2 는 각각 송신자-수신자, 송신자-도청자, 송신자-릴레이, 릴레이-수신자, 릴레이-도청자 간의 주파수 채널을 나타낸 것이다. 송신자-도청자의 채널이 송신자-수신자의 채널보다 모든 주파수 대역에서 더 좋음을 확인할 수 있다.

## 4. 시뮬레이션 결과

그림. 3 은 각각 협동적 통신 기법에서의 본 논문이 제안한 전력 분배와 균일한 전력 분배, 비협동적 통신 기법에서의 전력 분배에 대한 Secrecy rate 의 결과를 나타낸다. 제안된 전력 분배가 균일한 전력 분배보다 더 높은 성능을 나타내는 것을 볼 수 있고, 비협동적 통신 기법은 아무런 성능을 내지 못하는 것을 확인할 수 있다. 이는 도청자의 채널이 수신자의 채널보다 모든 대역에서 좋기 때문에 오히려 도청자에게 더 많은 정보량을 제공할 수 있어 아예 어떠한 정보도 수신하지 않는 것을 의미한다. 이에 반해 릴레이를 사용한 협동적 통신 기법에서는 송신자-릴레이 채널이 송신자-수신자와 송신자-도청자 채널보다 좋고 릴레이-수신자 채널이 릴레이-도청자 채널보다 더 좋은 경우, 도청자보다 수신자에게 더 많은 정보량을 보낼 수가 있다. 그림. 2 에서 이러한 경우가 존재함을 확인할 수 있고, 따라서 송신자-수신자의 채널이 송신자-도청자의 채널보다 좋지 않은 경우에서도 협동적 통신 기법에서는 Secrecy rate 를 확보할 수가 있다. 그림. 3 은 이러한 결과를 잘 드러낸다. 협동적 통신 기법에서 균일한 전력 분배로도 Secrecy rate 를 확보할 수 있지만 Secrecy rate 를 최대화 하기 위해 최적화된 전력 분배가 성능이 더 좋음 또한 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 전력선 통신에서 도청자의 채널이 수신자의 채널보다 좋은 경우에 성능이 열화 되는 PLS 를 보완하고자 릴레이를 도입한 협동적 통신 기법의 PLS 를 제안하였다. 시뮬레이션 결과, 도청자의 채널이 수신자의 채널보다 좋은 경우에 비협동적 통신 기법은 Secrecy rate 를 얻을 수 없는 반면, 협동적 통신 기법의 PLS 는 Secrecy rate 를 확보할 수 있음을 확인하였다. 앞으로 더 나아가 더욱 많은 Secrecy rate 를 확보하기 위해 어떠한 노드를 릴레이로 선택하여야 하는지에 대한 릴레이 선택 방법에 대해 연구해보고자 한다.

## 6. ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2015R1A2A2A03008195 & No. NRF-2014R1A1A1A05005551).

## 7. 참고 문헌

[1] A. Pittolo and A. M. Tonello, “Physical layer security in PLC networks: achievable secrecy rate and channel effects,” in *Proc. ISPLC*, Jonannesburg, South Africa, pp. 273-278, Mar, 2013.
[2] Y.-J. Yoon, J.-W. Choi, and S.-C. Kim, “The optimal power allocation for security in multicarrier relay power line communication,” in *Proc. ISPLC*, in press.
[3] M. Biagi, S. Greco, and L. Lampe, “Neighborhood-Knowledge based Geo-Routing in PLC,” in *Proc. ISPLC*, Beijing, China, pp.7-12, Mar, 2012.

# 국제표준 기반 실감미디어 기술

유수빈, 남윤석°

동국대학교 경주캠퍼스 정보통신공학과

# Technologies for Realistic Media based on International Standardization

Soo-Bin Yoo, Yoon-Seok Nam°

Department of Information and Communications Engineering, Dongguk University at Gyeongju

raysoda@live.co.kr, ysnam@dongguk.ac.kr

## 요 약

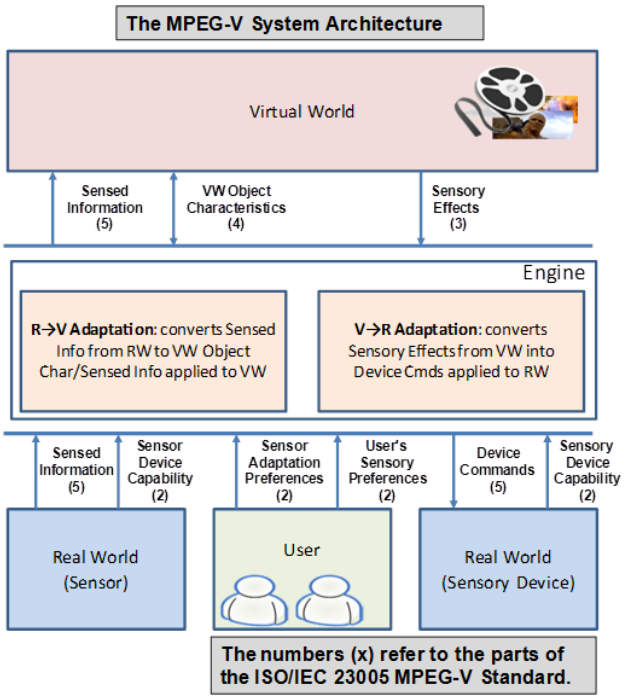
실감미디어는 Tangible Media, Realistic Media 또는 Immersive Media 등으로 일컬어지며, 사용자의 현실감에 대한 느낌으로 표현하는 요소가 강하다. 4D 극장이나 일부 체험관, 그리고 대형 Entertainment 시설 등에서 실감체험서비스가 구현되고 있으며, 가상현실체험(VR)의 일부에서도 서비스되고 있다. 본 논문에서는 실감미디어 관련 표준기술에서의 핵심기술을 살펴보고, 실감미디어 콘텐츠 제작 및 서비스를 지원하기 위한 Test Bed 형태를 예시로 제시하며, 나아가 실감미디어 산업을 확산 발전시키기 위한 방안을 고찰하고자 한다.

## 1. 실감미디어 관련 표준

지식경제용어사전[1]에서는 “현실세계를 가장 근접하게 재현하고자 하는 차세대 미디어로 현재 사용하는 미디어보다 월등히 나은 표현력과 선명함, 현실감을 제공하여 방송, 영화, 게임 등 엔터테인먼트 분야뿐 만 아니라 컴퓨터 그래픽스, 디스플레이, 산업 응용 등 다양한 분야에서 응용이 가능하다” 고 정의한다. 4D 극장이나 테마파크, 대형 Entertainment 시설 등에서 실감체험서비스가 구현되고 있으며, 그 수요가 날로 증가하고 있다. 이러한 요구에 부응하여 MPEG(Moving Picture Experts Group)에서는 ISO/IEC 23005(MPEG-V)를 통해 현실세계(Real World : RW)와 가상세계(Virtual World : VW)를 연결하는데 필요한 정보와 전달형식, 표현방법 등을 정의하고 가능한 다양한 서비스 예시를 보여주고 있다. (그림 1)은 MPEG-V Framework[2]의 시스템 구성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Sensor로부터 얻어진 Sensed Information과 실감재현에 사용될 수 있는 Sensor Device들의 능력, 그리고 사용자의 선호 등은 R→V Adaptation을 거쳐 Sensed Information 자체와 VW 객체 특성 표현 등으로 VW에 등록된다. 실감미디어는 최소한 시청이 가능한 영상과 음향을 포함하는 콘텐츠를 기반으로 하기 때문에 이러한 일반 콘텐츠에 실감효과를 재현하는데 필요한 정보 등을 콘텐츠와 동기화시켜서 등록하게 되며, 이를 본 고에서는 실감콘텐츠로 이름하고자 한다. 실감콘텐츠는 재현하고자 하는 Sensory Effect들과 VW 객체 특성 등을 V→R Adaptation을 거쳐 RW의 Sensor Device들을 제어하는 명령어들을 전송한다. 또한, R→V Adaptation에서는 제작관점에서의 사용자 Sensor Adaptation Preference를 반영하고, V→R Adaptation에서는 체험할 관점에서의 사용자 Sensory Preference를 반영한다.

MPEG-V 연동장치간 제어정보[3] 및 데이터형식[4]은 2013년 기준으로, Sensor는 0x00~0x43까지 67종류가 등록되었으며, Sensor Device는 0x00~0x0F까지 Light, Flash, Heating, Cooling, Wind, Vibration, Sprayer, Scent, Fog, Color correction, Initialize color correction parameter, Rigid body motion, Tactile, Kinesthetic, Global position command, Bubble Device 등의 16종류가 등록되어 있다.

MPEG-V를 이용한 서비스 시나리오는 다음과 같이 3가지로 구분할 수 있다[5]. 첫째, 가상세계의 실감정보가 현실세계의 사용자 장치로 전송 되어 실감효과를 표현하는 경우이다. 이는 가상세계에서 특정 실감효과가 발생했을 때, 현실세계에서 해당 실감효과를 표현하기 위해 매칭된 기기를 통해 사용자에게 동일한 실감효과를 제공한다. 두 번째로는 현실세계의 사용자의 움직임 및 표정 정보 등을 특정 센서를 통해 입력 받아 가상세계에 반영하는 경우이다. 이는 현실세계에서 사용자의 움직임에 따라 가상세계의 객체에 특정한 조작을 가할 수 있다. 마지막으로는 가상세계와 가상세계 간의 인터페이스에 대한 시나리오가 있다. 사용자의 개인에 맞도록 제작된 가상 세계의 객체를 서로 다른 가상세계 에서 동일하게 사용할 수 도 있을 뿐만 아니라, 두 세계의 각각 의 가상객체를 조합하여 새로운 가상 객체를 만들어내는 것 또한 가능하다.

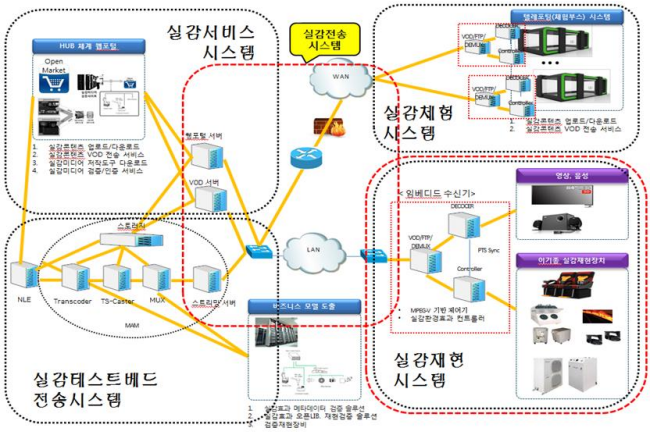



(그림1) MPEG-V Framework 시스템 구성도

이러한 MPEG-V 서비스 시나리오에 비추어 본 고는 첫 번째 서비스 시나리오에 초점이 맞추어져 있으며, 이를 수행함에 있어서 (그림 1)에서와 같이 R→V Adaptation을 수행할 수 있는 센서기반 장비 또는 Tool이 필요하고, 또한 V→R Adaptation 결과를 표준인터페이스로 연동하여 실행할 수 있는 표준 인트페이스 실감재현장치들이 필요함을 알 수 있다.

## 2. 실감미디어 Test Bed

(그림 2)는 2012년 9월부터 정부와 지자체의 지원으로 경주스마트미디어센터에 구축중인 실감미디어 테스트베드 시스템 구성을 나타낸 것이다. 이들 시스템은 관련기업의 장비연동시험 등으로 사용될 수 있으며, 2016년 6월 이후부터는 경주 보문단지 내에 위치한 경주스마트미디어센터에서 운영될 예정이다. 그림에서 실감서비스시스템은 외부의 사용자들이 인터넷으로 접속하여 실감미디어와 관련된 정보 및 자료(실감콘텐츠, 실감 저작 Tool, 미디어대전행사 등) 접근, 테스트베드의 장비사용 신청, 장치실험서비스 신청 등과 같은 기능을 제공한다. 실감테스트베드전송시스템은 다수의 서버시스템이 MAM(Media Asset Management) 인터페이스를 통하여 접속하여 실감미디어 입력/저장/변환/관리 및 전송 등을 수행하는 기능을 제공한다. 실감재현시스템은 영상 및 오디오시스템, 실감재현장치(Motion Chair, 바람, Flash 등) 등의 시스템을 갖추고, 송신측과는 MPEG2-TS 또는 인터넷으로 접속하여 콘텐츠를 수신하여 실감미디어서비스를 제공하는 기능을 수행한다. 실감체험시스템은 Booth 내에 실감재현시스템을 갖추어 원격 실감미디어서비스를 제공한다.




(그림 2) 실감미디어 테스트베드 시스템 구성도

## 3. 고찰 및 결론

4D 기반의 실감재현장치에 대한 인터페이스는 MPEG-V에 잘 정의되어 있으나 실제 사용되고 있는 대부분의 실감재현 편집 Tool 및 장치들은 표준과 다르게 각 제조사의 방식에 따라 동작하고 있다. 현재 4D 기반 서비스를 제공하는 시설들이 드러내고 있는 문제점들과 잠정적으로 내포하고 있는 문제점들을 해결하기 위해서는 우선적으로 표준기술에 기반한 실감미디어산업 조성이 우선적으로 필요하다. 또한 VR서비스 확산과 연계하여 활발한 실감콘텐츠 개발 및 서비스를 유도하기 위해서 우선적으로 표준화가 요구된다. MPEG-V 국제표준규격과 이를 견인하는 국내표준규격이 정의된 상태에서 Open Lab 형태의 실감미디어 테스트베드를 통하여 표준기반의 실감장비들을 갖춤으로써 빠르게 국내 실감미디어산업 및 서비스 확산, 그리고 세계시장에서 선점 등이 가능할 것이다.

Acknowledgement
이 논문은 정부(미래창조과학부), 경상북도, 경주시의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R0101-15-0297. 실감미디어산업 성과확산사업).

## 참고 문헌

[1] 지식경제용어사전, 산업통상자원부, Nov. 2010.
[2] ISO/IEC 23005(MPEG-V) Part 1, "Architecture", Oct. 2014.
[3] ISO/IEC 23005(MPEG-V) Part 1I, "Control Information", Apr. 2013.
[4] ISO/IEC 23005(MPEG-V) Part V, "Data Formats for Interaction Devices", Nov. 2013.
[5] 배효철, 윤경로, "MPEG-V를 중심으로 본 실감미디어 표준화 동향", 한국통신학회지, 제32권, 제3호, pp 11-17, Mar. 2015.

# WLAN 테스트베드 환경에서 OpenWRT 기반의 패킷 릴레이 전송을 통한 서비스 커버리지 확장

이원진°, 신정완, 이휘영, 정민영*

성균관대학교 정보통신공학부

# OpenWRT-Based Service Coverage Extension Scheme Using Packet Relaying in WLAN Testbed Environment

Won Jin Lee°, Jung Wan Shin, Hwi Young Lee and Min Young Chung*

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

{reign0208, withmyjw, lhy152, mychung}@skku.edu

## 요 약

본 논문에서는 다수의 AP(Access Point)가 배치된 환경에서 패킷의 무선 릴레이 전송이 가능한 WLAN(Wireless Local Area Network) 테스트베트 구축을 목적으로 한다. 본 논문에서는 싱글보드 컴퓨터인 라즈베리 파이에 리눅스 기반의 운영체제인 OpenWRT(Open source Wireless Router) 설치를 통해 WLAN AP 를 구현한다. 또한 AP 간 접속을 통해 패킷의 릴레이 전송을 가능하게 하며, 스마트 폰 및 노트북을 이용해 각각의 AP 에 접속하여 데이터 전송률 및 지연시간을 측정하여 실제 WLAN 성능을 분석한다.

## 1. 서론

WLAN(Wireless Local Area Network)은 무선으로 연결된 지역 망 네트워크로 가정 및 기업과 같은 환경에서 무선 인터넷 서비스를 제공하기 위해 사용된다[1]. WLAN 의 노드는 STA (Station) 과 AP (Access Point) 로 구분된다. STA 는 스마트 폰, PC, 노트북 등과 같은 사용자 디바이스 (end-device)을 의미하며, AP 는 STA 에 유선 네트워크 망을 연결시켜주기 위한 연결 노드로 사용된다. WLAN 에서 STA 은 인근 AP 가 전송하는 비콘 신호 수신을 통해 해당 AP 에 접속함으로써 외부 네트워크 망 에 접속이 가능해진다.

본 논문에서는 라즈베리 파이 (Raspberry Pi)에 OpenWRT (Open source Wireless Router)를 설치하여 WLAN AP 를 구현한다. OpenWRT 는 라우터 플랫폼을 지원하는 리눅스 기반의 오픈 소스 운영체제로 WLAN 라우터에 필요한 리눅스 기능들을 패키지 형태로 제공한다[2]. 또한 라즈베리 파이는 ARM 사의 CPU 가 내장된 싱글 보드 컴퓨터로 저렴한 가격으로 구입할 수 있는 장점을 가진다[3].

본 논문의 개발 환경은 그림 1 과 같다. 그림 1 의 AP1 은 외부 네트워크 망과 유선으로 연결되어 직접적으로 인터넷 액세스가 가능하다. 반면, AP2 및 AP3 은 무선링크를 통해 각각 AP1 과 AP2 에 접속한 경우에만 인터넷 액세스를 제공받을 수 있다.

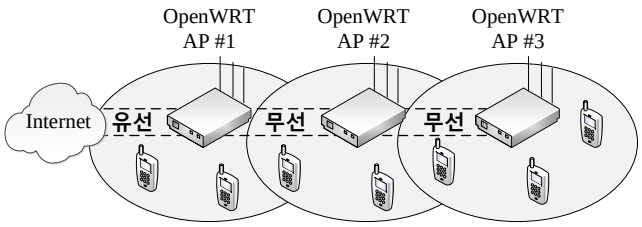



그림 1. 패킷의 무선 릴레이 전송 개발 환경

따라서 본 논문에서는 OpenWRT AP 를 이용해 AP 간 무선 릴레이 링크를 형성을 통해 AP1 이 제공하는 WLAN 서비스 커버리지를 확장할 수 있다.

## 2. WLAN 무선 패킷 릴레이 전송

본 절에서는 실제 라즈베리 파이 및 OpenWRT 를 이용하여 무선링크를 통해 패킷의 릴레이 전송이 가능한 WLAN 테스트베드 구축 과정을 소개한다. 본 논문에서는 사용하는 AP 는 라즈베리 파이에 OpenWRT 를 설치한 후 AP 로 동작을 위한 필수 패키지 파일을 설치를 통해 구현한다. 또한 ipTIME 사의 N600UA 무선랜 카드를 라즈베리 파이와 연결한 후 IP 설정을 해줌으로써 AP 로써 동작을 가능하게 한다.

본 논문에서 실제 구축한 WLAN 테스트베드 환경을 그림 2 에서 보여준다. WLAN 테스트베드 환경에

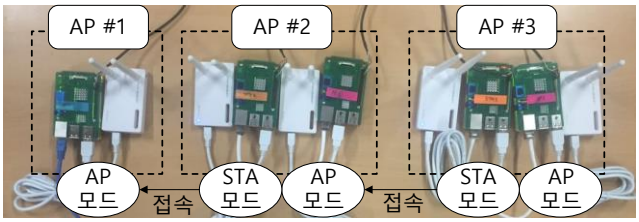



그림 2. 실제 라즈베리 파이와 OpenWRT 를 이용한 테스트베드 구축 환경

서 사용된 하나의 AP 개체는 라즈베리 파이 두 개를 이용해 구현한다. 라즈베리 파이는 각각 STA 모드 및 AP 모드의 OpenWRT 로 동작하며, 두 라즈베리 파이는 유선 랜 케이블을 통해 연결한다. STA 모드 OpenWRT 는 이웃한 개체의 AP 모드 OpenWRT 에 접속을 함으로써 릴레이 통신을 가능하게 한다. 이를 통해 모든 AP 는 유무선 링크를 통해 AP1 에 연결된 유선 네트워크 망으로 접속하여 인터넷 액세스를 제공받을 수 있다.

AP 모드의 OpenWRT 는 비콘 신호 전송을 통해 인근 단말들에게 WLAN 서비스를 제공할 수 있다. 따라서 단말들은 인접 AP 에 접속을 하고, 해당 단말이 전송 또는 수신하는 패킷은 AP 간 릴레이 전송을 통해 외부 인터넷 망과 통신이 가능하게 된다. 이를 통해 WLAN 이 제공하는 커버리지 영역을 AP 간 유선 연결 및 별도의 설치작업 없이 무선 릴레이 AP 를 통해 쉽게 확장할 수 있다.

## 3. 실험 결과

본 절에서는 그림 2 의 WLAN 테스트베드 환경에서 단말이 AP 에 접속을 한 후 AP 간의 릴레이 패킷 전송을 통해 외부 네트워크 망에 액세스의 가능 여부를 확인한다. 또한 노트북 및 스마트 폰을 이용해 각각의 AP 접속을 한 후 단말의 WLAN 성능 테스트를 수행하였다.

각 AP 에 접속한 단말의 속도 및 지연시간을 측정 결과를 표 2 에서 보여준다. 본 테스트를 위해 스마트 폰을 AP 에 접속한 후 BenchBee 속도측정 어플리케이션을 활용해 테스트를 진행하였다. 테스트 결과는 AP 당 10 회의 테스트를 수행한 결과의 평균을 도출하였다. 그 결과 스마트 폰이 AP1 에 접속하였을 때 가장 높은 상하향링크 데이터 전송 속도를 얻을 수 있고, 지연시간이 가장 작게 나오는 것을 확인할 수 있다. 또한 스마트 폰이 AP2 및 AP3 에 접속한 경우, 상하향 링크의 데이터 전송 속도는 상당히 떨어지는 것을 확인할 수 있고, AP 간 릴레이 전송으로 인해 패킷 전송의 지연시간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

또한 단말을 AP3 에 접속시킨 후 데이터 전송을 시도하였을 때, 패킷의 전송 경로 및 패킷 전송 수에 대한 테스트를 수행하였다. 본 테스트를 위해 패킷 분석 프로그램인 와이어샤크를 사용하였으며, 단말은 구글 DNS 서버로 핑을 전송 함으로써 트래픽

표 1. 접속 AP 에 따른 단말의 성능 테스트 결과

| 구분 | 하향 링크 전송률 [Mbps] | 상향 링크 전송률 [Mbps] | 평균 지연 시간 [ms] | 최소 지연 시간 [ms] | 최대 지연 시간 [ms] | 패킷 손실률 [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AP1 | 13.64 | 15.60 | 45.33 | 8.5 | 180.3 | 0.8 |
| AP2 | 1.10 | 3.80 | 55.05 | 11.8 | 200.6 | 0.2 |
| AP3 | 0.57 | 1.32 | 86.28 | 16.0 | 273.2 | 3.0 |

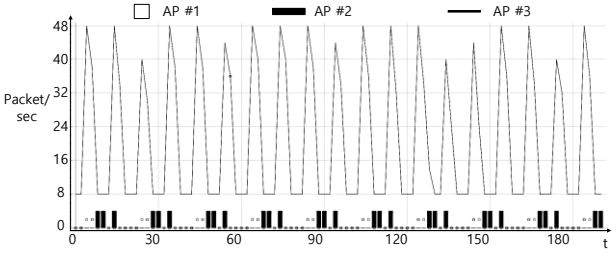



그림 3. 와이어샤크를 통해 분석한 AP 의 패킷 입출력 그래프

을 발생시킨다. 이러한 환경에서 시간이 경과함에 따른 초당 패킷 전송횟수를 그림 3 에서 보여준다. 그림 3 이 보여주듯 AP3 에 전송되는 패킷은 AP2 및 AP1 를 경유하여 릴레이 전송되는 것을 확인할 수 있다. 또한 단말이 직접 접속한 AP3 의 경우, 초당 패킷 전송횟수가 AP1 및 AP2 에 비해 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 라즈베리 파이 및 OpenWRT 를 이용한 패킷의 무선 릴레이 전송이 가능한 테스트베드 환경을 구축하였다. 테스트 결과 단말은 각 AP 에 접속하여 외부 네트워크 망에 액세스할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 WLAN 환경에서 제공하는 서비스의 커버리지를 AP 간 무선 링크를 통해 쉽게 확장할 수 있었다. 또한 단말이 다수의 홉을 경유하는 AP 에 접속할 경우, 짧은 홉을 가지는 AP 에 접속한 경우에 비해 지연시간과 전송률 등의 성능이 다소 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

## Acknowledgment

교신저자: 정민영(mychung@skku.edu)

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)

## 5. 참고 문헌

[1] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, Mar. 2012.

[2] 라즈베리 파이, https://www.raspberrypi.org/

[3] OpenWRT, https://openwrt.org/

# 홈 IoT 서비스 연동을 위한 SaaS 기반 플래너 기술개발

박종우, 정종진°

전자부품연구원(KETI)

# Saas-Based Technology Development for IoT Service Sync

Jong-woo Park, Jong-jin Jung°

Korea Electronics Technology Institute

qkrwhddn89@gmail.com, mozzalt@keti.re.kr

## 요 약

최근 IoT, 웨어러블 기기들이 등장하면서 댁내에서 이들을 활용한 서비스들이 많아지고는 있지만, 서비스를 지원하는 앱들이 독립적으로 제공되어 다양한 기기들을 종합 분석된 서비스가 되지는 않고 있다. 이를 위해 각 기기를 연결하고, 데이터를 수집하여 통합 분석 및 제어하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 Saas 기반 IoT 환경에서 플래너를 통해 각 기기를 연동하여 제어하고 데이터를 분석하여 종합 서비스를 할 수 있도록 하였다. SaaS 기반 플래너는 홈에서 사용자가 특정 상황에 도달하면 상황에 맞는 IoT 기기들이 동작할 조건이 발생하고, 주어진 Rule 에 따라 사용자에게 편리한 서비스를 제공하게끔 각 IoT 기기들이 동작한다. 이 플래너를 통해 한가지 조건을 주고, 그 조건이 충족 시, 어떤 한가지 Action 을 취할 수 있도록 구현하였지만, 통제 가능한 기기의 종류는 아직 제한적이다. 앞으로 1:1 조건에서 복수개(“1:N”or ”N:1”or ”N:M”)가 동시에 가능한 SaaS 서비스를 추천 및 연동과 더 많은 종류의 IoT 기기 및 홈 정보가전기기의 연동이 필요하다.

## 1. 서 론

각 기기의 독립적인 작동의 비효율성을 해소하기 위해 SaaS 서비스를 추천 및 연동이 필요하다. IoT 관련 기술은 현재 표준화가 진행 중임에도 불구하고 이미 다양한 제조사 및 서비스 사업자가 자사의 독립적인 구조 및 프로토콜을 통하여 관련 제품 및 서비스를 시판 중에 있다. 현행 IoT 제품 및 서비스는 제 3 자의 어플리케이션 개발을 지원하는 Open API 를 지원하고 있으나, 일부 제품을 제외하고는 표준과 무관하게 개발되어 있어 API 의 형식 및 구성이 각 제품, 서비스 별로 독립적으로 구성되어 있다. 이러한 독립적인 API 의 구성은 IoT 관련 서비스 개발자에게 개발을 위한 장벽으로 동작하며, 서비스 사용자에게도 각 제품, 서비스를 위한 독립적인 서비스를 사용해야 하는 사용성 저해 요인으로 작용한다. 그래서 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 IoT 기기 및 홈 정보가전기기의 통합 지원을 제공하는 연동 제어 기술을 제공하고, 좀 더 복잡한 Rule 을 적용한 복수개가 동시에 가능한 SaaS 서비스를 추천 및 연동하고자 한다.

## 2. 본 문

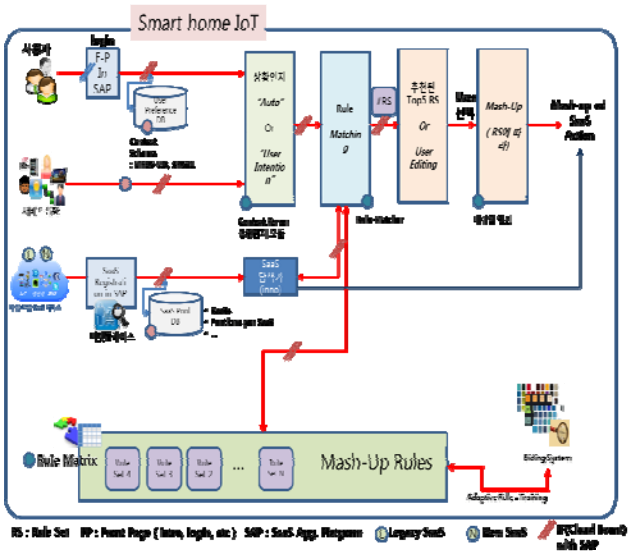
### 2-1. SaaS 기반 플래너 개요

다양한 IoT 기기의 제어를 위한 기술 및 사용자 인터페이스를 구현하였다. 이를 통해 사용자는 자신이 사용하는 단말 종류에 무관하게 Web Browser 혹은 Web App 을 통하여 언제, 어디서든 사용자의 IoT 기기 및 홈 정보가전 기기를 제어할 수 있다.

또한, 각 IoT 기기별로 독립적으로 제공되던 API 의 활용성의 개선을 위하여, 단일 통합 API 를 사용하는 기술 개발을 지원한다. 개발자는 제어 및 연동 서비스의 개발을 위해 각 독립 API 를 활용하는 것이 아닌, 본 서비스에서 제공하는 단일 API 를 활용함으로써 개발의 효율을 높일 수 있다. 이는 웹 기반 기술로 개발되어 있으며 IoT 제어 부분이 Modular 하게 설계되어 있어, 향후 추가되는 IoT 기기를 위한 제어 및 확장이 용이하다.

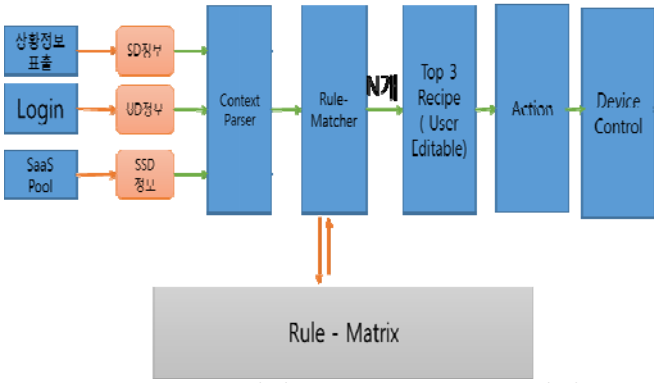
### 2-2. SaaS 기반 플래너 설계

1:1 Rule 은 사용자에게 편리한 환경을 제공한다. 하지만, 좀 더 복잡한 조건(Trigger)과 좀 더 복잡한 반응(Action)으로 이루어진 Rule Matrix 를 사용자에게 제공하고자 한다.




<그림 1>개발 시나리오

<그림 1>과 같은 시나리오를 기반으로 사용자 목적, 상황 등에 맞춰 복수개의 동시 적용 Triggering 이 가능한 실시간 클라우드 이벤트 처리 Rule 을 적용한 기술 설계와 기초 알고리즘 구현이 필요하다. 또한, 복수개가 적용된 다양한 Rule Recipe 를 통해 Rule Matrix 를 설계해야 한다. 설계된 Rule Matrix 를 Rule Matching 을 통해 사용자에게 Rule 을 추천하거나 사용자가 직접 SaaS 서비스를 탐색 및 멀티 Triggering 할 수 있도록 한다.

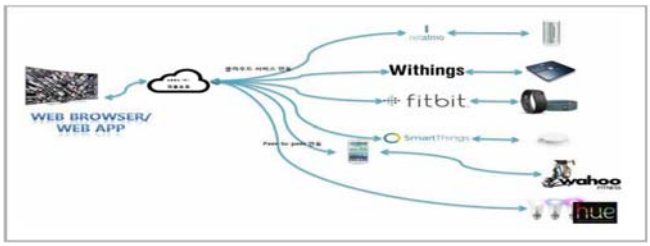



<그림 2>SaaS 기반 IoT Device Control 과정

<그림 2>와 같은 방법으로 멀티 Triggering 할 수 있다. 사용자가 Login 하면 UD[1]를 얻어 오고, UI 를 통해 사용자의 상황정보를 밝혀 SD[2]정보를 얻어오고, SaaS Pool 로부터 SSD[3]정보를 얻어온다. 이 정보들을 Parsing 하여 알맞은 Rule Matching 을 하거나 사용자가 직접 복수개의 Trigger 와 복수개의 Action 을 편집하여 Device 를 Control 할 수 있도록 한다.

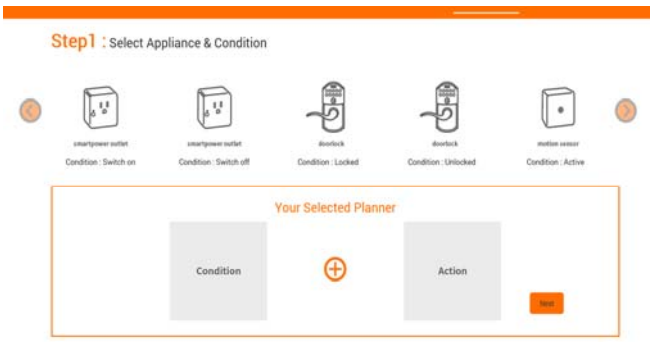
2-3. 연구 진행 결과

[1] User Description(사용자 정보 Context).
[2] Status Description(상황정보 Context).
[3] Saas Service Description(SaaS 서비스 정보 Context).




<그림 3>기술 구현 수준

<그림 3>과 같이 각 제조사에서 API 로 제공되는 IoT 개발 및 사용 환경의 개선을 위해, IoT 를 비롯한 홈 정보가전기기의 통합 제어를 할 수 있는 SaaS IoT 연동모듈을 개발하였다.




<그림 4>SaaS 기반 플래너 웹 앱

<그림 4>와 같이 SaaS IoT 연동모듈을 이용한 SaaS 기반 플래너를 통해 하나의 Rule 을 제작할 수 있다. 즉, 하나의 Trigger 를 정하고, 이것이 충족된다면 어떤 Action 을 줄 수 있도록 하는 것이다. 또한, Recommended plan 을 통해서 사용자에게 Rule 을 추천할 수 있다..

2-4. Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터(IITP)의 SW 컴퓨팅 산업 원천기술 개발사업의 일환으로 수행하였음. [ 과제번호 (R0113-15-0008), 클라우드 서비스 메쉬업을 위한 SaaS Aggregation 기술개발]

## 3.참고 문헌

[1] Seung Woo Kum, JaeWon Moon, Taeboem, Lim, Jong-Il Park, *"A Novel Design of IoT Cloud Delegate ramework to Harmonize Cloud-Scale IoT Services,"* International Conference on Consumer Electronics, ICCE '15, pp.247-248, 2015.
[2] S. Han, G. Lee, N. Crespi, V. Nguyen, K.Heo, M. Brut, and P. Gatellier, "DPWSim:A Devices Profile for Web Services (DPWS) Simulator," IEEE Internet Things Journal, pp. 1–1.
[3] 김은혜, 클라우드 서비스 브로커리지, NET Term, 한국인터넷진흥원, p28
[4] 고정길, 홍상기, 이병복, 김내수, "스마트 디바이스와 사물인터넷(IoT) 융합 기술동향 ", ETRI, 2013 Electronics and Telecommunications Trends

# Enabling Reliable Remote Service Interactions across OSGi Frameworks

Bleza Takouda, Choonhwa Lee

Division of Computer Science and Engineering, Hanyang University

blezat@hanyang.ac.kr, lee@hanyang.ac.kr

**Abstract**—We present a solution to the availability issue in the context of building a middleware on top of the OSGi framework to achieve remote service composition in a cloud infrastructure. It extends the functionality of the Remote Service Admin to ensure service availability in a distributed environment.

Keywords: OSGi, Service Composition, Middleware

## 1. Introduction

A solution for application developers' to cope with the increasing need of users is to compose services by leveraging cloud offerings. Service composition combines ready-to-use services to build complex applications. The OSGi (Open Service Gateway initiative) platform seems to be the right framework for composing services on-the-fly as bundles can be installed/uninstalled while the framework is still running. Previous work favored it for composition [1]. Accordingly, the OSGi model was extended with [2] to work beyond a single JVM. Prior to that, [3] also tried to provide similar remote accessibility/composition capabilities. However, [3] lacked a built-in failure resolver. Although [4, 5] intended to solve the service availability issue by means of migration/replication, their implementations were not based on [2] nor considered dynamic re-binding to alternative services. To sum up, the high availability of services related to remote accessibility is still not fully addressed. Thus, we present an availability solution to handle the dynamic nature of distributed composite applications.

## 2. Service composition in OSGi

In OSGi a service consumer relies on the service interfaces under which a service has been registered with the service registry. Hence, a composite application is simply built by means of service injection. However, to support inter-framework composition remote access is needed. The RSA Admin [2] provides a mechanism for importing/exporting services to local frameworks. It is composed of the *Topology Manager*, *Discovery* and the *RSA*. The *RSA* creates *Endpoints* under the instruction of the *Topology Manager* which detects clients querying services and make use of the *Discovery* to find matching services. The latter one through its *EndpointListener* detects/announces *EndpointDescriptions*. In the presence of multiple providers in a cloud setup, the *Topology Manager* must select the best service with respect a composition plan and switch to an alternative one when a failure occurs. The challenge of building such system is to monitor the availability of distributed services and re-bind a candidate service. It is the main contribution of this paper: failover service.

## 3. Cluster failover service

In an OSGi-enabled PaaS environment with large number of distributable bundles, the cluster failover service resolves service/node failures. As depicted on Fig. 1, our proposed cluster *FailoverService* extends the *Topology Manager*. While the *Topology Manager* instructs the *RSA* to perform import/export processes, the *FailoverService* designed to interact with the *ServiceWatcher* class uses the latter one to monitor the availability of services brought into the scope of a local framework. In turn, whenever notified about an unavailable service due to service errors or runtime flaws from providers' framework, the *FailoverService* dynamically reports the failure and requests the *Topology Manager* to supply an

alternative service. Listing 1 shows the snippet of the prototype implementation.

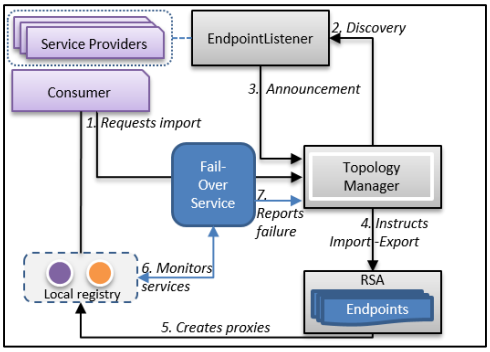



Figure 1: Extended OSGi RSA Admin Model

```
public class ServiceWatcher{
....
  private void monitorCluster() {
     handleAvailability(); }

  private void handleAvailability() {
     ArrayList<ServiceReference> pfwks = new
ArrayList<ServiceReference>(importedServiceList);
    for (ServiceReference ref : pfwks) {
      if (remoteServiceReferences.contains(ref)) {
        return;
      } else {
         synchronized(importableServices){
             synchronized(importedServices){
                 for(String filter : importableServices.values(){
                   for (Map.Entry<ServiceReference, String> entry :
importedServices.entrySet()) {
                      if(filter.matches(entry.getValue())){
                          hasFailed();
                          LOG.info(" Trigger discovery-import from Failover service ->");
                          FailOverService.failureResolver(filter);}
                        } }
                      } }
        importedServiceList.remove(ref); }
      } }
```

Listing 1: *ServiceWatcher* class implementation

## 4. Use case scenario: Smart Pager

To validate our proposal, we considered a Smart Pager composite service which runs over multiple networks (Home, Office, VAN, etc.) as depicted on Fig. 2. The scenario suites the cross-domain composition in the context of pervasive environments populated with smart devices—Smartphones, Smart cars, etc. It is a solution to help people working on multiple sites to cope with their busy schedule. The Smart Pager tracks user's daily schedule on each network, relying on the Calendar services. It depends on the Schedule Tracer to gather events from devices on remote frameworks. And for a scheduled meeting, it can retrieve the party's phone number from the Contact list followed with a beep or an SMS reminder. The cluster failover service being part of the underlying distribution provider helps the Smart Pager counter failures. In case the Smartphone is down by lack of battery, the Schedule Tracer can rely on the Contact service provided by the Tablet PC.

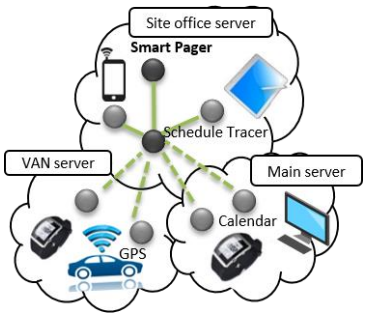



Figure 2: Composite service illustration

## 5. Conclusion

Several middleware architectures for remote service composition on top of OSGi have been proposed in the academia. However, few of them address the problem related to cloud deployments with the solution we propose: a system service monitoring the availability of remote services. We extend the *Topology Manager* with a *Failover Service* for monitoring remote services. We also discussed how a Smart Pager application can take advantage of the proposed solution.

## Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2013R1A1A2007616).

## References

[1] R. Rebeca, V. Ana, C. Manuel, A. José, and L. Rey, "Enhancing Residential Gateways OSGi Service Composition," *IEEE Trans. on Cons. Electr.*, vol. 53, pp. 87-95, Feb 2007.
[2] OSGi Alliance. OSGi Enterprise Release 5, March 2012.
[3] R. Jan, Alonso G., and Roscoe T., "R-OSGi Distributed Applications Through Software Modularization," *Int'l Fed. for Inf. Proc.*, 2007.
[4] R. Jan S. and B. Saurabh, "Dependability as a Cloud Service - A Modular Approach," *IEEE/IFIP 42nd Int'l Conf. on Dep. Sys. and Net. Wkshps (DSN-W),*, pp. 1-6, 2012.
[5] W. Zhang, L. Chen, Q. Lu, P. Zhang, and S. Yang, "Flexible Component Migration in an OSGi Based Pervasive Cloud Infrastructure," *Int'l Conf. on SOC*, pp. 505–514, 2014.

# Synchronization using Excitatory Molecules in Nanonetworks

Ethungshan Shitiri° and Ho-Shin Cho
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University
{ethungshan, hscho}@ee.knu.ac.kr

## 1. Introduction.

Nanonetworks are defined as the internetworking of nano-scaled devices called nanomachines and employ molecules to transfer information[1]. A single nanomachine, minuscule and power constrained, has to coordinate with other nanomachines to accomplish large functions, such as targeted drug delivery. This makes synchronization of great importance in nanonetworks. However, the molecular channel is notoriously known to be highly stochastic and extremely slow, due to which traditional synchronization schemes cannot be directly applied or are not valid for nanonetworks. The limitations in the capabilities of nanomachines coupled with the extremely unfavorable channel conditions calls for either rethinking the existing or designing new synchronization schemes. Until now, very few studies have addressed this issue. In [2], molecules that are population density dependent (autoinducers) were used to achieve global synchronization. The use of autoinducers allowed faster synchronization rates as the network size increased. While in [3], molecules that degrade their own production (autoinhibitory) were used to make the nanomachines oscillate. These molecules would propagate to the adjacent nanomachines, forcing them to converge towards synchronization. In [4], to achieve symbol synchronization, channel delay was estimated using the method of maximum likelihood estimation.
In this paper, we propose a synchronization scheme using excitatory molecules, which we believe is the first.

## 2. Proposed scheme

We assume that each nanomachine is equipped with an excitatory molecule-based oscillator and before we describe the proposed scheme, a brief overview on the oscillator is provided. Such oscillators require a minimum of two types of excitatory molecules, say A and B that can work in tandem to generate the oscillations, and a store that holds B molecules called the reserve unit as shown in Fig. 1. *(1)* A triggers the release of B. *(2)* B diffuses out of the reserve unit, increasing its concentration outside the reserve unit. As B's concentration increases, *(3)* it assists in the regeneration of A, and also *(4)* triggers a reverse pumping action that absorbs B back into the reserve unit. The increase or peaking *(2)* and the decrease *(4)* in B's concentration forms a periodic pattern and constitute the oscillations. Next, we consider A to be sensitive to the synchronous signal, *Sync*, which is also an excitatory molecule. When an oscillator receives *Sync*, it triggers a change (forcing an early concentration peaking) in the concentration of A that resonates a proportionate change in the concentration of B.

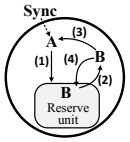



Figure 1: Excitatory molecule based oscillator

Now, to describe the proposed scheme, we consider two oscillators, S and D that have the same period of oscillation (or period between peaks) but are peaking at different times as shown in Fig. 2. The proposed scheme works as follows. To initiate the synchronization, *(a)* Oscillator S transmits *Sync* when it peaks (e.g. at t1) to oscillator D and waits for a response signal, *RSync*. *(b)* When D receives *Sync*, it transmits *RSync* as it peaks at the new time (e.g. at T3') to S. On receiving *RSync*, S checks if it is peaking or not. *(c)* If S is not peaking when *RSync* arrives (e.g. between t5 and t6), it does not consider D to be synchronized and retransmits *Sync*. *(d)* But if S is peaking when *RSync* arrives (e.g. at t10), it considers D to be synchronized and need not retransmit *Sync*. To denote the new times at which the new peaks occur, the new times are superscripted by a prime ('). Therefore, as two *Sync* signals have been sent, the new times are denoted by a single and a double prime corresponding to the first new peak and the second new peak, respectively.

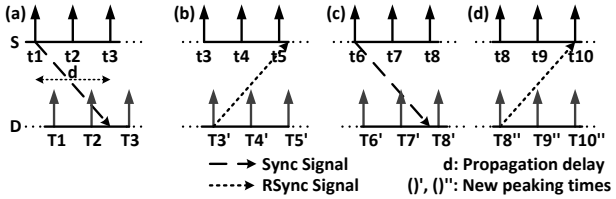



Figure 2: Working of the proposed scheme.

## 3. Conclusion

We have proposed a synchronization scheme using excitatory molecules for nanonetworks and illustrated it for a pair of oscillator. We plan on extending the scheme to more than two oscillators and evaluate the performance of the proposed scheme with existing schemes.

## 4. References

[1] I. F. Akyildiz, F. Brunetti, and C. Blázquez, "Nanonetworks: A new communication paradigm," *Comput. Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2260–2279, 2008.
[2] S. Abadal and I. F. Akyildiz, "Bio-inspired synchronization for nanocommunication networks," *GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conf.*, 2011.
[3] M. J. Moore and T. Nakano, "Oscillation and Synchronization of Molecular Machines by the Diffusion of Inhibitory Molecules," vol. 12, no. 4, pp. 601–608, 2013.
[4] H. Shahmohammadian, G. G. Messier, and S. Magierowski, "Blind synchronization in diffusion-based molecular communication channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2156–2159, 2013.

# 분산 수중 센서 네트워크에서 핸드세이킹 공유 기법을 활용한 코드 분할 다중 접속 방식의 폐루프 전력 제어 기법 설계

서보민° , 조호신
경북대학교 전자공학부
{bmseo,hscho}@ee.knu.ac.kr

## 1. 서론

코드 분할 다중 접속(Code Division Multiple Access: CDMA) 기법은 주파수 선택적 페이딩과 다중 경로 페이딩에 강인할 뿐만 아니라 주파수 재사용 효율이 좋으므로 수중 환경에서의 유망한 매체 접속 제어 기법으로 활발히 연구되고 있다. CDMA 시스템을 효율적으로 운용하기 위해서는 원근 문제(near-far problem)를 해결할 수 있는 전력 제어 기법의 구현이 필수적이다.

본 논문에서는 별도의 중앙 제어 노드가 배치되지 않은 분산 센서 네트워크 (distributed sensor network) 환경에서 핸드세이킹 기반 폐루프 전력 제어(closed-loop power control) 기법을 제안한다. 제안 기법은 핸드세이킹 공유(handshaking sharing) 기법을 활용하여 하나의 수신 노드가 다수의 송신 노드의 데이터를 수신할 수 있으며, 시변 수중 채널(time-varying underwater channel)에서 제어 패킷 교환을 통해 각 센서 노드의 송신 전력을 제어한다.

## 2. 수중 채널 모델

본 논문에서는 수중 채널의 상태가 시간에 따라 변하는 시변 수중 채널을 고려한다. 또한 통신 방향에 따라 채널의 상태가 다른 비대칭 채널(asymmetry channel)을 가정한다.

## 3. 제안 기법

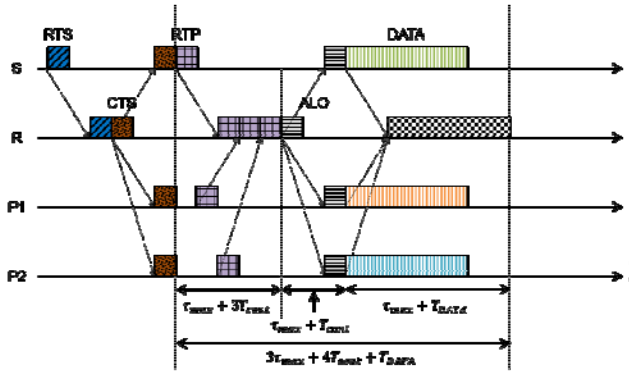



Fig. 1. Operation of proposed scheme

그림 1 은 제어 기법의 동작을 나타낸다. 제안 기법은 기존에 발표된 HSR 프로토콜[1]을 기반으로 설계되었다. 그림 1 에서 S 는 송신 노드, R 은 수신 노드, P1 과 P2 는 참여 노드를 의미한다. 송신 노드는 채널 예약을 위해 RTS 패킷을 수신 노드로 전송하며, 수신 노드는 이에 대한 응답으로 CTS 패킷을 전송한다. CTS 패킷을 수신한 송신 노드와 CTS 패킷을 엿들은 센서 노드 중 수신 노드로 데이터를 전송하고자 하는 센서 노드는 자신이 현재의 채널 예약에 참여한다는 의미로 RTP 패킷을 수신 노드로 전송한다. RTP 패킷은 전력 제어를 위한 송신 전력 정보와 데이터 패킷 전송의 시간 동기화를 위한 전송 시점 정보를 포함한다. 수신 노드는 수신한 RTP 패킷의 수를 바탕으로 데이터 패킷을 전송할 센서 노드의 수를 파악할 수 있으며, RTP 패킷의 수신 전력을 통해 각 센서 노드 사이의 채널 상태를 파악할 수 있다. 수신 노드는 통신에 참여할 센서 노드의 수와 채널 상태를 바탕으로 계산된 데이터 패킷 송신 전력 정보와 RTP 패킷에 포함된 시간 정보를 바탕으로 계산된 데이터 패킷 전송 시점에 대한 정보를 ALO 패킷에 포함하여 송신 노드와 참여 노드로 전송한다. ALO 패킷을 수신한 센서 노드는 ALO 패킷에 포함된 데이터 패킷의 전송 전력 정보와 전송 시점 정보를 바탕으로 수신 노드로 데이터 패킷을 전송하며, 이를 통해 모든 데이터 패킷은 수신 노드에 동일한 수신 전력으로 동시에 수신된다.

성공적인 폐루프 전력 제어 기법을 위해서는 RTP 패킷의 전송 시점부터 데이터 패킷의 수신 시점까지의 시간이 채널의 변화를 의미하는 코히런스 시간(coherence time)보다 작아야 한다. RTP 패킷의 전송 시점부터 데이터 패킷의 수신 시점까지의 시간은 $3\tau_{\max}+4T_{cont}+T_{DATA}$ 로 계산할 수 있으며, 이때 $\tau_{\max}$ 는 최대 전송 지연 시간, $T_{cont}$ 와 $T_{DATA}$ 는 각각 제어 패킷과 데이터 패킷의 프로세싱 시간(processing time)을 의미한다.

추후 제안 기법의 성능을 패킷 전달률 측면에서 분석할 예정이다. 패킷 전달률은 전체 전송된 데이터 패킷 중 성공적으로 수신된 데이터 패킷의 비율을 의미하며, 전력 제어 기법을 사용하지 않을 경우 시변 수중 채널 특성을 반영하지 못하여 제안 기법에 비해 패킷 전달률이 낮을 것으로 예상된다.

## 3. 4. 참고 문헌

[1] J-.W. Lee and H-.S. Cho, “A Hybrid Sender- and Receiver-Initiated Protocol Scheme in Underwater Acoustic Sensor Networks,” *Sensors*, vol. 15, no. 11, pp. 28052-28069, Nov. 2015.

## 감사의 글

이 논문은 2016 년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(분산형 수중 관측 · 제어망 개발)

# 스마트폰 기반 해시 생성 도구 구현 [1]

방제완°

경찰청 사이버안전국 디지털포렌식센터

# Developing a Smartphone-based tool for Hash

Jewan Bang°

Korean National Police Agency°

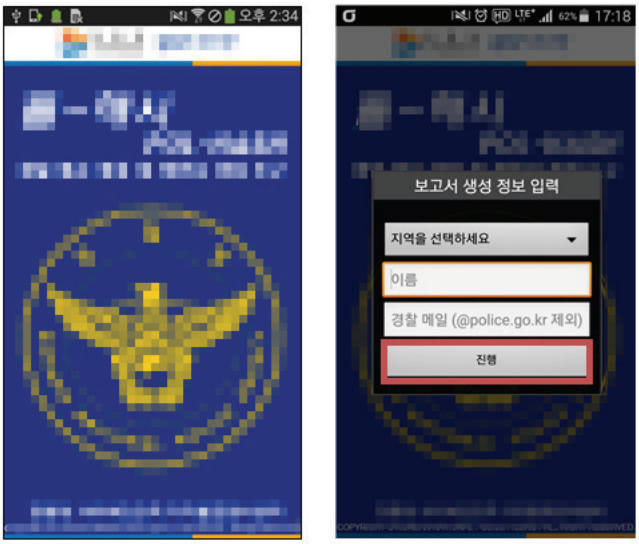
jwbang@police.go.kr°

## 요 약

최근 법원은 USB 저장 매체에 복사하여 압수한 CCTV 동영상의 무결성·동일성 흠결을 이유로 무죄 선고한 바가 있다. 또한 개정 형사소송법과 대법원 판결에서 전자정보 압수수색시 '출력. 복사'를 원칙으로 규정하고 있기 때문에 수사현장에 복제장비 사용 불가피하다. 하지만 모든 환경에서의 장비 활용과 전문 사용법 교육에는 비용, 인력, 상황의 특수성에 따른 현실적 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 안드로이드 기반 스마트폰을 이용해 USB 인터페이스 매체 저장 파일에 대해 해시 값을 계산하고 확인서를 생성하는 응용 프로그램을 개발하였다. 이를 통해 별도의 장비 없이 수사관의 스마트폰으로 현장에서 손쉽게 해시 값을 산출할 수 있도록 하였다.

## 1. 서론

디지털 포렌식 과정에서 데이터의 원본성을 담보하기 위해서는 해당 데이터의 해시 값을 산출하여 기록하고 향후 그 값을 비교하여 변하지 않았다는 것을 증명하는 용도로 사용된다[1].

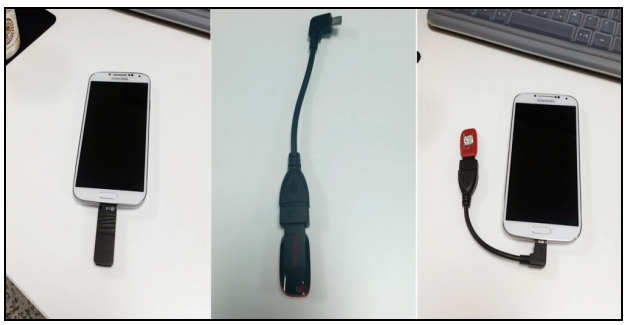



[그림 1] 폴-해시 구동 화면

최근 법원은 CCTV 동영상 확보시 동영상에 대한 해시값을 추출하여 기록해 놓지 않아 무결성·동일성 흠결을 이유로 무죄 선고한 바가 있다. 또한 압수수색시 '출력·복사'를 원칙으로 하기 때문에 복제 과정을 거치고 이에 따른 해시 값 산출이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 스마트폰 기반의 해시 값 산출 도구를 개발하여 별도 장비 없이 현장에서 해시 값을 생성할 수 있도록 하였다.

## 2. 스마트폰 기반 해시 생성 도구 설계

현장에서 수집되는 데이터를 스마트폰에 네트워크를 통해 전송하여 해시 값을 산출하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서 개발한 도구에서는 USB 인터페이스 저장 매체를 스마트폰에 연결하기 위해 OTG(On The Go) 케이블을 이용하였다[2].



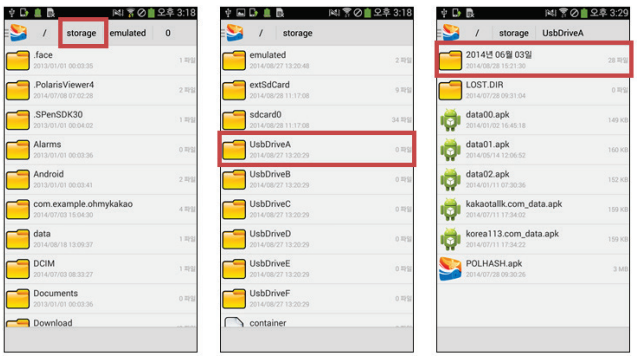
[그림 2] OTG 케이블로 USB 저장매체 연결

[1] 본 연구는 경찰대학교 국제사이버범죄연구센터의 지원으로 수행되었습니다

또한 아이폰의 경우 USB 저장 매체 인식을 위한 앱을 만들기 위해서는 제조사의 별도의 장치 인증을 받아야 하므로 안드로이드 기반으로 개발하였다. 이클립스 IDE 에서 JAVA 를 이용해 개발하였으며 안드로이드 SDK 버전 13(3.2 허니콤)을 사용하여 구형 스마트폰에서도 동작 가능하도록 했다[3]. 또한 해시 알고리즘은 MD5, SHA1 모두 지원하도록 했다.

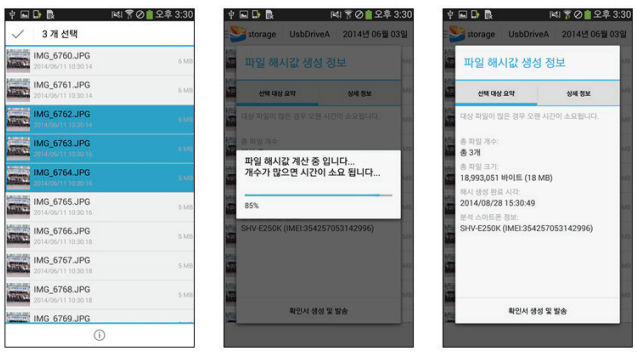
## 3. 스마트폰 기반 해시 생성 도구 개발

현장에서 해시 값을 산출하고자 하는 데이터를 USB 저장매체에 복사한다. [그림 2]의 OTG 케이블을 이용하여 데이터가 담겨 있는 USB 저장매체를 도구가 설치되어 있는 스마트폰에 연결하면 외부 저장 매체 연결 메시지를 확인할 수 있다. 연결이 확인된 상태에서 도구를 구동하면 아래 [그림 3]과 같이 폴더 구조를 확인할 수 있으며 USB 저장매체가 마운트된 폴더로 이동해 파일을 선택할 수 있다.



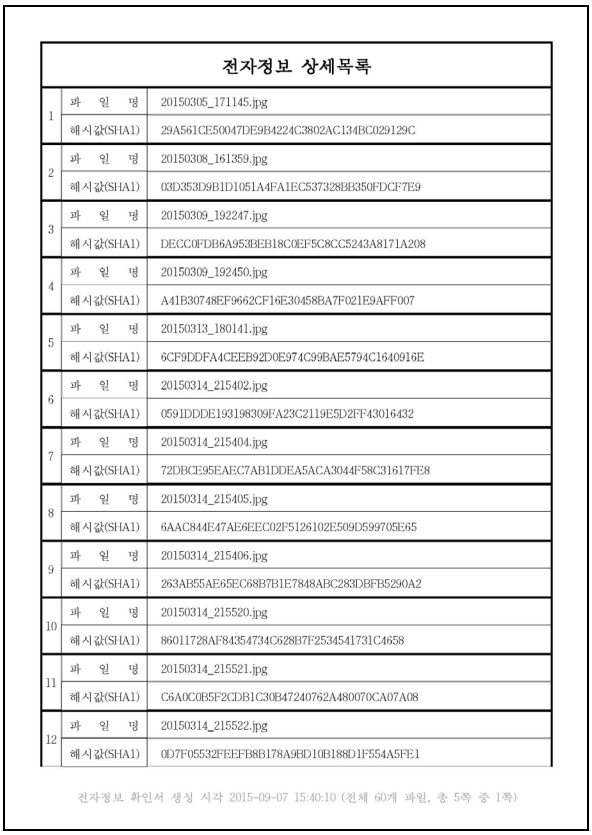

[그림 3] 대상 폴더 탐색

대상 파일이 위치하는 폴더에서 해시 값을 산출하고자 하는 파일을 1 초 이상 누르고 있으면 해당 파일명이 반전되면서 파일이 선택된다. 이 상태에서 단수 혹은 다수의 파일을 선택할 수 있다. 파일을 선택하고 하단의 버튼을 누르면 해시 값 산출을 시작한다. 2015 년 판매 스마트폰 기준으로 1GB 파일의 해시 산출에 약 6 분 정도 소요 된다. 이는 기기 사양에 따라서 달라질 수 있다.




[그림 4] 대상 파일 선택 후 해시 생성

해시 산출이 완료되면 [그림 4]와 같이 총 파일 개수 크기, 생성 시각 정보를 확인할 수 있으며 확인서 생성 및 발송 버튼을 눌러 메일이나 메신저 등을 통해 PDF 로 생성된 보고서를 발송할 수 있다.



전자정보 상세목록

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 파 일 명 | 20150305_171145.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 29A561CE50047DE9B4224C3802AC134BC029129C |
| 2 | 파 일 명 | 20150308_161359.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 03D353D9B1D1051A4FA1EC537328BB350FDCF7E9 |
| 3 | 파 일 명 | 20150309_192247.jpg |
| | 해시값(SHA1) | DECC0FDB6A953BEB18C0EF5C8CC5243A8171A208 |
| 4 | 파 일 명 | 20150309_192450.jpg |
| | 해시값(SHA1) | A41B30748EF9662CF16E30458BA7F021E9AFF007 |
| 5 | 파 일 명 | 20150313_180141.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 6CF9DDFA4CEEB92D0E974C99BAE5794C1640916E |
| 6 | 파 일 명 | 20150314_215402.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 0591DDDE193198309FA23C2119E5D2FF43016432 |
| 7 | 파 일 명 | 20150314_215404.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 72DBCE95EAEC7AB1DDEA5ACA3044F58C31617FE8 |
| 8 | 파 일 명 | 20150314_215405.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 6AAC844E47AE6EEC02F5126102E509D599705E65 |
| 9 | 파 일 명 | 20150314_215406.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 263AB55AE65EC68B7B1E7848ABC283DBFB5290A2 |
| 10 | 파 일 명 | 20150314_215520.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 86011728AF84354734C628B7F2534541731C4658 |
| 11 | 파 일 명 | 20150314_215521.jpg |
| | 해시값(SHA1) | C6A0C0B5F2CDB1C30B47240762A480070CA07A08 |
| 12 | 파 일 명 | 20150314_215522.jpg |
| | 해시값(SHA1) | 0D7F05532FEEFB8B178A9BD10B188D1F554A5FE1 |

전자정보 확인서 생성 시각 2015-09-07 15:40:10 (전체 60개 파일, 총 5쪽 중 1쪽)

[그림 5] 전자정보 상세목록

[그림 5]는 대상 파일에 대한 PDF 로 생성된 전자정보 상세목록 보고서이다. 파일명과 해시 값을 포함하고 있으며 각 장에는 총 페이지 수와 현재 페이지수를 명시하였다. 또한 하단에 생성시각을 표시하였다. 디지털 데이터에 대해서 무결성 보장을 위해 해시 값 산출을 권고하지만 모든 환경에서 적절한 인력과 장치를 활용하기에는 인적 · 비용적 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 본인이 소지한 스마트폰을 이용하 해시 값을 산출할 수 있는 앱을 개발하여 현장에서 활용 가능하도록 하였다.

## 참고 문헌

[1] Carrier, Brian. "Defining digital forensic examination and analysis tools using abstraction layers." International Journal of digital evidence 1.4 2003 1-12.

[2] Woodbridge, Nancy, Enrique Rendon, Mark Fullerton. "USB On-The-Go implementation." U.S. Patent Application No. 10/992,250.

[3] Steele, James, and Nelson To. The Android developer's cookbook: building applications with the Android SDK. Pearson Education, 2010.

# 도파관을 이용한 공간 결합기 설계

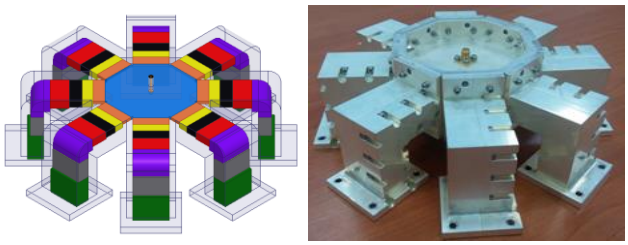
이대웅 [1o], 오준석 [1], 박광근 [2], 한재경 [2], 최호준 [2], 권경훈 [2], 최영수 [2], 안달 [1]
[1] 순천향대학교 전기통신 시스템 공학과, [2] 피플웍스 밀리터리 사업부 개발 2 팀 초고주파파트
Wooong9@nate.com

## 1. 서론

현대 사회에서 무선 통신 시스템의 송수신의 출력단에는 고출력 전력의 결합/분배기가 요구된다. 고출력 전력이 사용되는 결합/분배기는 크게 평면 결합기와 공간 결합기 두 가지로 형태로 분류할 수 있다. 평면 결합기는 일반적으로 2-way 결합기를 이용한 corporate 전력 결합 방식이 사용된다[1]. 대표적인 예로 Wilkinson 결합기가 있으며, 이론적으로 동시에 결합 할 수 있는 소자의 수에 제한이 없는 결합기 이다. 하지만 격리 저항의 연결이 요구되기 때문에, 다단의 Wilkinson 결합기를 사용해야 한다는 점과 2 의 자승에 비례하는 전송선로가 필요하게 되는데 이는 결합하는 소자의 수가 증가 할수록 결합기의 손실이 증가함을 의미한다[2]. 반면, 공간 결합기는 자유공간에서 전력을 결합하는 방식과 도파관 내에서 전력을 결합하는 두 가지의 방식이 있다. 이런 공간 결합기는 소자의 수와 상관 없이 결합 손실은 증가 하지 않는 장점이 있다. 도파관 형태의 공간 결합기는 다른 구조에 비해 전송 손실이 매우 적고 결합 효율은 높일 수 있으므로 고출력 전소에 많이 이용된다[3]. 본 논문에서는 도파관 형태의 공간 결합기를 제안하여 EM 시뮬레이션을 이용하여 설계 및 제작 하였다.

## 2. 도파관 공간 결합기 설계 및 측정

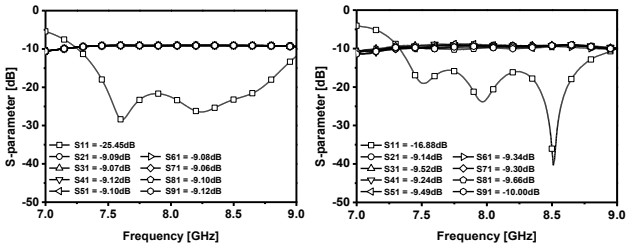
금속관으로 이루어진 도파관은 PCB 형태의 전송선로와 다르게 전력을 전송 할 경우 손실이 적기 때문에 고출력 전송에 이용되며, 결합기의 삽입손실이 적기 때문에 결합 효율을 높일 수 있다. 또한 고출력으로 인해 발생하는 열을 흡수 및 방출해서 열 배출 특성이 매우 뛰어나다. 본 연구에서는 도파관을 이용하여 C-대역 7.9GHz ~ 8.4GHz 에서 동작하는 고출력 공간 결합기를 설계 하는 것을 목표로며, 도파관의 규격은 WR-112 를 사용한다.



(a) (b)

그림 1. 제안된 구조의 (a) 시뮬레이션 구조 (b) 제작된 도파관 공간 결합기

WR-112 는 내부 폭 28.55m 와 높이 12.62mm 의 규격, 7.05GHz ~ 10GHz 의 사용 주파수 그리고 5.26GHz 의 차단 주파수를 갖는다. 그림 1 은 본 논문에서 제안한 결합기의 구조 및 제작된 결과 이며, 전체 시스템은 SMA 형 커넥터, 도파관 임피던스 변환기, 구형 도파관으로 구성되어 있고, 알루미늄으로 설계 하였다. 그림 2 (a)는 시뮬레이션 결과 이며, 그림 2(b)는 제작된 공간 결합기 결과이다. 제작 된 결과의 중심 주파수 8.15GHz 에서 $S_{11}$ 이 -16.88dB, 전송특성은 평균 -9.46dB 의 특성을 얻었다.




(a) (b)

그림 2. 공간 결합기의 (a)시뮬레이션 (b) 제작된 S-parameter 특성

## 3. 결론

본 논문에서는 C-대역주파수인 7.9GHz ~ 8.4GHz 까지 동작 가능한 도파관을 이용하여 전력 공간 결합기를 설계 및 제작하였다. 제안한 결합기는 90% 이상의 효율을 갖고, 수 watt 급의 고출력 전력으로 인해 발생한 열을 도파관을 이용함으로 열에 의한 결합도 저하를 개선 할 것으로 예상된다. 향후 제안된 결합기는 증폭기와 결합하여 무선 통신 분야에 적용 할 수 있을 것이다.

## 4. 참고 문헌

[1] K. J. Russell, “Microwave power combing techniques,” *IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques*, Vol. 27, pp.91-107, Feb 1983.

[2] 이수현, 최길웅, 김형종, 신석우, 김상훈, 김재덕, 김보기, 최진주, “S 대역 동축선로 도파관을 이용한 공간 전력 결합기에 관한 연구,” *2010 한국통신학회 추계종합학술발표회*, pp. 197, 2010.11.

[3] A. Alecanian and R. A. York, “Broadband spatially combined amplifier array using tapered slot transitions in waveguide,” *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 7, pp.42-44, Feb 1997.

[4] M. A. Ali, S. Ortiz, T. Ivanov and A. Mortazawi, “Analysis and measurement of hard horn feeds for the excitation of quasi-optical amplifiers,” *IEEE MTT-S Digest*, Vol. 3, pp.1467-1472, Jun 1998.

# 사이버 보안 훈련을 위한 가상화 시스템을 이용한 시스템 자원 수집 부하 테스트에 관한 연구

정준°,노기성,김태규,김동화,김용현

LIG 넥스원, 나루 시큐리티, LIG 넥스원,국방과학연구소,국방과학연구소

# Research on Load Test Collecting System Resources, using Virtualization System for Cyber Security Training

Jun Jung°, Ki Sung Noh, Tae-Kyu Kim, Dong Hwa Kim, Yong Hyun Kim

LIGNex1 M&S Center, Naru Security, ADD

jun.jung@lignex1.com, ksnoh@narusec.com, taekyu.kim@lignex1.com,

{dhkim, yonghyunkim}@add.re.kr

## 요 약

최근 급격히 증가하는 사이버 위협에 대응하여 정보 자산 및 물리적 자산을 보호하기 위한 능력이 요구되고 있다. 실 운용 시스템에서는 사이버 공격에 대한 방어 훈련이 제약되고 있으며 정보보호 요원을 훈련시키기 위한 시스템의 필요성이 증대되고 있다. 이 논문에서는 가상화 시스템 기반의 사이버 훈련 시스템의 자원 수집 기능에 대한 성능 테스트를 수행하였다. 특히 자원 수집 부하 테스트를 수행 하였으며 수집 가능성을 확인하였다.

## 1. 배경

가상화 운용도구란 VMware 사의 vSphere, NSX, vCenter 등과 같이 가상시스템의 이미지를 제작하고 시스템이미지간의 네트워크를 제작한 후 통합 관리하는 도구를 말한다. 이러한 가상화 운용도구 소프트웨어를 이용하여 시스템 구축 시 원활한 운용을 위해 해당물리 환경에서의 자원 수집 부하의 정도를 측정할 필요가 있는데 이 논문에서는 물리서버를 이용하여 다수의 가상 시스템을 구축하고 시스템 자원 수집 부하 테스트를 실시하여 그 결과를 확인하였다.

## 2. 실험 환경 및 내용

실험 환경은 작성된 가상화 시스템 이미지가 운영될 물리 서버 3 대(2CPU / 128G MEM), iSCSI 10G 스토리지 (RAID10))를 포함한 물리 환경과 가상 호스트 자원으로 구성되며 원활한 운용 테스트를 위해 테스트용 프로그램을 이용하여 실험 하였다. 표 1 과 표 2 는 가상화 호스트자원과 시스템 이미지에 포함되어 시험 시 사용한 테스트용 프로그램을 설명하고 있다.

표 1. 가상 호스트 자원

| 가상 호스트 | 수량 | 역할 |
|---|---|---|
| 윈도우 7 | 150 대 | 가상호스트 자원 수집 및 호스트 I/O 유발<br>부팅시 다양한 구동 프로그램 자동 실행 |
| NFS 서버 | 1 대 | 네트워크 트래픽 중앙 수집 |
| C&C 서버 | 1 대 | 150 대 윈도우 7 원격제어 및 DDoS 트래픽 유발 명령 |
| 웹서버 | 1 대 | DDoS 트래픽 수신 |
| 라우터 | 2 대 | 라우팅 |
| 스위치 | 4 대 | 스위칭 |

표 2. 테스트용 프로그램 역활

| 프로그램 | 수집/동작주기 | 역할 |
|---|---|---|
| PCAP 수집 프로그램 | 실시간 | 가상 호스트 트래픽 수집 및 NFS 를 통한 원격서버 기록 (원격 전송 효과) |
| CPU/MEM/ 프로세스 수집 프로그램 | 30 초 | 가상호스트 CPU/MEM/ 프로세스 수집 |
| 파일시스템 | 실시간 | 파일 시스템 변화 정보 |

| | | |
|---|---|---|
| 정보 수집 프로그램 | | 수집 |
| I/O 유발 프로그램 | 실시간 | 윈도우 7 에서 1M 용량의 파일 10 개 생성/삭제 무한 반복을 통한 부하 및 파일시스템 변화정보 이벤트 생성 |

표 1,2 의 가상시스템을 이용하여 VMware 사의 NSX 를 이용하여 라우터 및 스위치를 해당 서버와 연결하여 네트워크를 그림 1 과 같이 구성하였다.

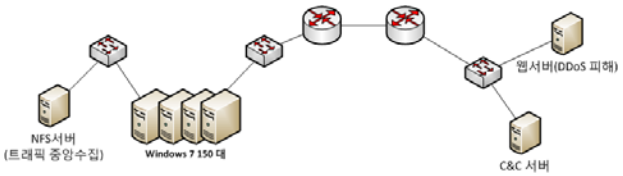



그림 1. 테스트 네트워크 구성

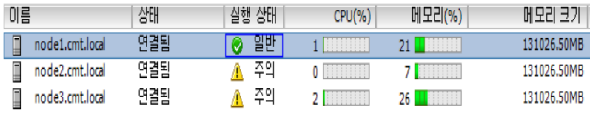
테스트는 파일시스템 I/O 테스트의 경우 윈도우 7 부팅 시 사전에 가상 이미지에 내장해놓은 각종 자원수집 프로그램, I/O 유발 프로그램, 악성코드등을 자동 실행하여 VMware 자원모니터 도구를 통하여 스토리지 I/O 를 관찰하여 가상머신에 실시간으로 기록되는가를 확인하였다.네트워크 트래픽 수집 부하 테스트의 경우 윈도우 7 에서 구동중인 악성코드를 제어하는 C&C 서버를 통해 SYN Flooding 트래픽을 유발하여 수집 트래픽이 중앙 집결되는 NFS 서버에서 Argus 트래픽 분석도구를 통해 정상 수집 여부를 확인하는 방식으로 진행하였다.

## 3. 실험 결과

I/O 테스트의 경우 스토리지에서 테스트용 가상이미지를 읽어들이는 부하를 포함하여 평균 읽기 지연시간이 15ms, 쓰기지연이 1ms 로 측정되었으며 이는 가상화 이미지에 직접 로그인 하여 수집현황을 확인한 결과로 시스템상 지연 및 누락 없이 수집되는것을 확인할 수 있었다. 또한 트래픽 수집 부하 테스트의 경우 C&C 명령을 통해 윈도우 7 가상머신에서 SYN Flooding 트래픽을 10 분간 발생 하고 NFS 서버에 데이터를 원격으로 기록 할 시에 읽기 지연은 8ms, 쓰기 지연은 1ms 미만으로 양호하게 측정되었다. 그림 2 는 다수의 가상머신 동시 부팅 및 스토리지 Read/Write 부하발생시, DDoS 유발시의 스토리지의 부하 시간을 표시하고 있다.

그림 2. 데이터 스토리지 부하도

다수의 테스트용 가상머신을 동시에 구동하거나 SYN Flooding DDoS 트래픽 발생시 물리서버의 CPU 에는 전체용량의 20%정도 자원이 소요됨을 확인 할 수 있었다. 그림 3 은 테스트전 CPU 자원현황을 나타내며 그림 4 는 DDoS 테스트중 CPU 자원 현황을 나타낸다.



| 이름 | 상태 | 실행 상태 | CPU(%) | 메모리(%) | 메모리 크기 |
|---|---|---|---|---|---|
| node1.cmt.local | 연결됨 | 일반 | 1 | 21 | 131026.50MB |
| node2.cmt.local | 연결됨 | 주의 | 0 | 7 | 131026.50MB |
| node3.cmt.local | 연결됨 | 주의 | 2 | 26 | 131026.50MB |

그림 3. 테스트 전 CPU 자원 현황

| 이름 | 상태 | 실행 상태 | CPU(%) | 메모리(%) | 메모리 크기 |
|---|---|---|---|---|---|
| node1.cmt.local | 연결됨 | 일반 | 19 | 91 | 131026.50MB |
| node2.cmt.local | 연결됨 | 주의 | 24 | 93 | 131026.50MB |
| node3.cmt.local | 연결됨 | 주의 | 21 | 95 | 131026.50MB |

그림 4. DDoS 테스트중 CPU 현황

테스트 결과 가상화 운용도구를 이용하여 시스템 및 네트워크를 구현한 후 다양한 시스템 자원 소모 테스트프로그램을 가상화 이미지상에서 실행시에 시스템 자원 수집을 통해 시스템 부하를 확인 할 수 있었으며 이를 통해 원활한 운용을 위한 물리 환경을 확인 할 수 있었다.

## 3. 참고 문헌

[1]The VMware NSX Network Virtualization Platform. , VMWare, 2013.
[2]The VMware DataSheet, VMWare, 2013.
[3]The VMware Esxi-vCenter-Server-601-installation-setup-guide, VMWare, 2013.
[4]The VMware Esxi-vCenter-Server-601-networking-guide, VMWare, 2013.
[5]The VMware Esxi-vCenter-Server-601-resource-management-guide, VMWare, 2013.
[6]The VMware Esxi-vCenter-Server-601-storage-guide, VMWare, 2013.
[7]The VMware Esxi-vCenter-Server-601- virtual-machine-admin-guide, VMWare, 2013.

# 사용자 구매 패턴에 기반한 오픈마켓 상품 관련성 분석연구

천세린°, 최대진, 권태경

서울대학교 컴퓨터공학부

# A Study on Relations of Goods based on Online Purchase Pattern in Open Market

Selin Chun°, Daejin Choi, Ted “Taekyoung” Kwon

Department of Computer Science and Engineering, Seoul National University

{slchun, djchoi}@mmlab.snu.ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr

요 약

오픈마켓은 온라인 이용자가 상품을 등록, 판매 및 구매할 수 있는 플랫폼으로 본 논문에서는 오픈마켓 상에서 온라인 사용자의 상품 구매 패턴에 기반해 상품 간의 연관성을 관측하고 상품 연관성과 관련된 다양한 속성을 조사한다. 결과적으로, 상품의 구매 유사도는 상품의 대분류/소분류가 가장 큰 연관 관계가 있으며 상품명이나 가격도 약한 상관관계가 있음을 관찰하였다. 본 논문에서 분석한 상품 간의 상관관계는 기존의 추천 서비스의 정확도를 향상시키거나 타겟 마케팅 등에 활용될 수 있을 것이라 예상된다.

## 1. 서론

오픈마켓 (Open Market)은 온라인 상에서 개인 및 기업 사용자가 직접 웹 사이트 상에 상품을 등록하여 판매하고, 구매할 수 있는 플랫폼이다. 오프라인 마켓에서의 구매가 시간 및 공간의 동일성이 필수적인 것과는 달리, 오픈마켓 플랫폼은 온라인으로 구매가 이루어져서 시공간적 제약으로부터 사용자들을 벗어나도록 하였다. 또한, 개인 사용자들이 쉽게 제품을 판매하도록 진입장벽을 낮춤으로써, 온라인 사용자에게 편의성을 제공하게 되었다. 이러한 편의성을 기반으로 오픈마켓의 사용자가 크게 증가하였으며, 관련 시장도 지속적으로 성장하고 있다.

이러한 성장세에 따라, 오픈마켓 플랫폼 상에서 온라인 사용자들의 구매패턴을 분석하고 예측하기 위한 많은 연구가 진행되었으며, 최근 아마존 등 대표적인 오픈마켓 서비스를 중심으로 사용자간 및 상품간 유사도 (Similarity)에 기반한 협업필터링 (Collaborative Filtering) 추천 알고리즘, 타겟 (Target) 광고 등 이러한 분석 결과를 활용하고자 하는 시도가 진행되어 왔다. [1, 2]

그러나 오픈마켓에서 사용자들의 구매 패턴 및 예측에 관련된 많은 시도와 연구가 수행되었음에도 불구하고, 상품간의 구매 연관성을 모델링하거나 다양한 상품의 속성에 대한 연구는 아직 많이 수행되고 있지 못하다. 따라서 본 논문에서는 온라인 사용자들의 오픈마켓 구매 로그를 분석하여, 상품 구매 기록에 기반한 상품 간의 연관성을 모델링하고, 관련 있는 상품들에 대해 구매 금액, 분류 등 상품의 다양한 속성들을 비교함으로써, 상품간의 구매 연관성과 관련된 요소를 찾는 연구를 수행한다. 본 논문에서 조사된 요소는 상품 간의 연관도에 기반한 추천 알고리즘인 협업 필터링 기법 등에 주요 속성으로 이용될 수 있을 것이라 예상되며, 이를 토대로 기존 알고리즘의 성능을 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 데이터 설명 및 분석 방법

본 논문에서는 국내 주요 오픈마켓 플랫폼 중 하나의 서비스에 대해서 데이터 분석을 수행하며, 데이터셋은 두 가지로 구성되어있다: 1) 가격, 대/소분류등 상품의 속성, 2) 사용자들의 상품 구매 기록 로그. 상품 속성테이블은 각 상품별 상세 페이지를 크롤링 (Crawling)을 통해 수집하였으며, 사용자 구매 기록 로그는 제 3 자 (third party company)로부터 익명화 (anonymized)된 형태로 제공받아 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 구매 기록은 약 200 만건이며, 구매된 상품의 종류는 약 7 만건이다.

위의 데이터셋에 기반하여 분석은 다음과 같은 두 단계로 수행하였다: 1) 사용자 유사 구매 패턴에 기반한 상품 연관성 모델링, 2) 유사 상품 쌍 (Pair)에 대한 구매 금액, 상품명, 대/소분류 등의 상품 속성 비교.

본 논문에서 두 상품의 연관성은 사용자들의 유사 구매 패턴으로부터 계산된다. 즉 상품 $i_a$, $i_b$ 에 대하여 각각 구매한 사용자의 집합을 $U_{i_a}$, $U_{i_b}$ 라고 하면, 두 상품의 연관성은 두 집합의 자카드 계수 (Jaccard Coefficient)로 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Similartiy}_{(i_a,i_b)} = \frac{U_{i_a} \cap U_{i_b}}{U_{i_a} \cup U_{i_b}}$$

그림 1 에는 상품의 연관성 모델의 예가 나타나 있다. 그림 1 의 상품 $i_1$의 구매자와 상품 $i_2$의 구매자는 모두 5 명이고, 이 중 $u_1$만이 두 상품을 구매하였으므로, 상품 $i_1$과 $i_2$의 연관성은 $1/5 = 0.2$ 로 계산된다. 결과적으로 약 51 만개의 관련 쌍이 생성되

었고, 평균 연관성은 0.035 로 계산되었다.

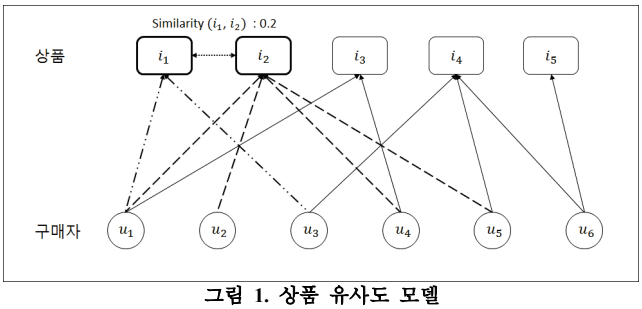



**그림 1. 상품 유사도 모델**

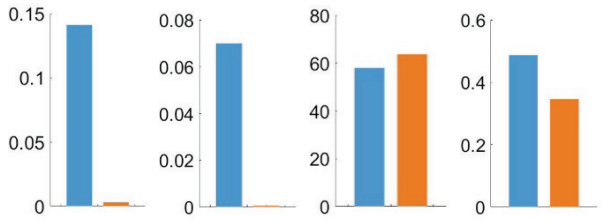
위의 연관성 모델을 기반으로, 이와 연관된 상품 속성을 분석하였다. 유효한 유사 상품 쌍을 대상으로 분석하기 위해 먼저 평균 이상의 값을 가진 쌍들을 선정하고, 상품 쌍의 상품명, 대/소분류, 가격 구간의 연관성을 측정하였다. 상품명의 비교는 레벤슈타인 거리 (Levenshtein distance)로 측정되며, 0 일 경우 완전한 일치를, 값이 클수록 낮은 유사도를 나타낸다. 대/소 분류 유사도는 일치할 경우 1 로, 일치하지 않을 경우를 0 으로 계산하여 평균값을 계산하였고, 따라서 값이 1 에 가까울수록 유사함을 나타낸다. 상품 가격은 그 값이 다양하므로, 상품 가격의 분포 그래프를 참고하여 6 개의 구간 (1 만원 이하, 5 만원 이하, 10 만원 이하, 50 만 이하, 100 만 이하, 100 만원 이상)으로 나누어 같은 구간에 속할 경우 1 을, 다른 그룹에 속할 경우는 0 의 값을 주고 평균값을 통해 유사도를 계산한다.

## 3. 분석 결과

위의 분석 실험 결과를 정확하게 이해하기 위해, 널 모델 (Null Model) 분석을 수행하고, 널 모델의 결과값과 실제 유사 상품 쌍 간의 값을 비교한다. 널 모델 실험은 전체 상품에 대해서 임의로 두 개의 상품을 선택해서 위와 동일하게 상품명, 대/소분류, 상품 가격에 대해 유사도를 계산하는 것을 한 번의 시행으로 하여, 2000 번 수행하여 평균을 측정함으로써 충분한 시행 횟수를 확보하였다. 이러한 널 모델 결과와의 비교를 통해, 널 모델의 결과보다 높은 유사도를 보일 경우, 상품 간 유사도와 관련있는 요소라고 판단할 수 있으며, 널 모델과 비슷할 경우에는 관련성이 없는 요소로 판단할 수 있다.

그림 2 는 유사 상품 쌍과 널 모델과의 실험결과를 나타낸다. 상품명의 경우 유사 상품 쌍의 거리가 짧은 것으로 보아 (그림 2(c)), 사용자들이 유사한 이름의 상품을 함께 구매한 것으로 나타났다. 하지만, 유사 상품 쌍의 경우 절대적인 값이 높고, 널 모델과의 차이가 작은 것으로 볼 때 (약 5.68), 약한 상관성이 존재하는 것으로 보인다.

상대적으로 대/소분류는 강한 상관관계를 보인다. (그림 2(a), (b)) 대분류의 경우, 유사 상품 쌍에 대해 약 14% 정도가 서로 같은 분류에 속한 상품으로 나타났으며, 유사 상품 쌍 중 약 7%가 동일한 소분류에 속해있는 것으로 나타났다. 이는 널 모델의 0.3%, 0.05%에 비해서 약 50~140 배 정도 더 유사한 수치로, 사용자가 특정 대분류, 소분류의 상품을 구매했을 경우, 높은 확률로 해당 대/소분류의 다른 상품을 구매한다는 것을 의미한다. 유사 상품 쌍의 소분류가 대분류의 일치도보다 낮은 것은, 대분류의 개수가 상대적으로 소분류에 비해 더 적어 유사가능성이 높기 때문인 것으로 보인다.




**(a) 대분류 (b) 소분류 (c) 상품명 (d) 가격**

**그림 2. 모델 간 속성 비교 그래프 (좌측: 유사 쌍, 우측: 널 모델)**

가격 구간도 약한 상관성을 보인다. 같은 가격대에 속할 확률이 유사 상품 쌍의 경우, 약 48% 정도에 달하였고, 임의의 쌍은 약 34% 정도로 나타났다.

## 4. 결론

본 논문에서는 오픈마켓 상에서 사용자의 구매 패턴에 기반해 상품의 연관성을 측정하고 구매 연관성과 관련된 요소가 무엇인지를 연구하였다. 대/소분류 속성의 경우 상품의 구매 연관성과 관련이 가장 높았으며, 상대적으로 상품명, 가격대 요소는 관련성이 존재하지만 그 영향은 약한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 오픈마켓 이용자들은 상품의 구매에 있어서 상품명, 분류, 가격대가 같거나 유사한 상품을 구매할 확률이 높고, 그 중에서도 대/소분류가 일치할 확률이 높다고 볼 수 있다. 이러한 관련 요소들은 기존 추천 알고리즘의 주요 속성으로 이용되어 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

## 5. ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)

## 6. 참고문헌

[1] G.Linden, B. Smith, J. York, “Amazon.com recommendations: item-to-item collaborative filtering” *IEEE Internet Computing,* vol 7, pp.76-80, Jan. 2003.

[2] Keng-Chieh Yang, Chia-Hui Huang, Chen-Wei Tsai, “Applying Reinforcement Theory to Implementing a Retargeting Advertising in the Electronic Commerce Website”, *International Conference on Electronic Commerce*, Aug. 2015.

# 산업 무선 센서 네트워크에서 End-to-End Delay 감소를 위한 TSCH 분산 스케줄링 기법

최강훈, 정상화

부산대학교 전기전자컴퓨터공학과

# Distributed TSCH Scheduling Algorithm for Industrial WSN to Reduce End-to-End Delay

Kang-Hoon Choi, Sang-Hwa Chung

Department of Electrical, Electronics & Computer Engineering, Pusan National Univ.

long567890@gmail.com, shchung@pusan.ac.kr

요 약

산업용 무선 센서 네트워크는 높은 신뢰성과 저전력, 그리고 시기 적절한 정보 교환을 요구한다. 이러한 조건들을 만족하기 위해 IEEE 802.15.4e 표준이 등장하게 되었다. 하지만 IEEE 802.15.4e 표준은 스케줄링 방법에 대해 명시하지 않았다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Convergecast 트리 구조 에서 end-to-end delay 를 최소화 하기 위해 time slot 의 수를 최소한으로 줄이는 분산 기반 TSCH 스케줄링 기법을 제안한다.

## 1. 서론

오랜 기간 동안 산업용 네트워크는 견고하고 예측 가능한 통신을 위해 유선 망을 사용해왔다. 그러나 유선 망의 설치 비용과 관리 비용 때문에 WirelessHart, ISA100.11a, IEEE 802.15.4e 같은 산업용 무선 네트워크가 등장 하였다. 기존의 산업용 프로토콜은 모든 통신 스택을 제공하는 반면에 IEEE 802.15e [1] 는 오직 MAC 계층만 정의 되어 있다. 또한 스케줄링 방법에 대해 정의 되어 있지 않는 문제점 때문에 본 논문에서는 산업용 네트워크가 요구하는 높은 신뢰성 및 낮은 지연시간을 만족하기 위한 분산 스케줄링 기법인 Distributed TSCH Scheduling Algorithm (DTSA) 을 제안한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 IEEE 802.15.4e TSCH

IEEE 802.15.4e [1] 는 IEEE 802.15.4 표준을 산업용 무선 센서 네트워크 환경에 맞게 MAC 계층을 개선한 표준이다. Time Slotted Channel Hopping (TSCH) 는 IEEE 802.15.4e 의 모드 중 하나로 높은 신뢰성과 저전력 동작을 보여준다. IEEE 802.15.4e 네트워크 상의 모든 노드들은 동기화 되어진다. TSCH 에서 시간은 slot 단위로 쪼개지며, time slot 의 묶음으로 slotframe 이 구성된다. 모든 노드는 스케줄링된 slotframe 을 계속 반복 하며 time slot 에서 transmit, receive, sleep 중에 하나의 동작을 하게 된다. TSCH 는 채널 홉핑을 통해 외부 간섭과 multi-path fading 같은 문제점을 줄이고 있다. 스케줄은 (slotOffset, channelOffset) 의 2 차원 배열로 나타내어 지며, 배열의 요소는 “cell”로 지칭된다. cell 은 trnasmit 또는 receive 로 스케줄 되면 해당 cell 에서 이웃 노드와 통신을 할 수 있다.

### 2.2 Decentralized Traffic Aware Scheduling

Decentralized Traffic Aware Scheduling (DeTAS) [2] 는 Accettura et al. 이 제안한 스케줄링 기법으로 IEEE 802.15.4e TSCH 네트워크에서의 분산 스케줄링 기법이다. 모든 노드들은 macro-schedule 을 따르며 macro-schedule 은각각의 라우팅 그래프의 micro-schedule 의 결합으로 구성된다. DeTAS 는 버퍼 오버플로우를 피하기 위해 transmit slot 과 receive slot 이 번갈아 가며 할당 된다.

## 3. 분산 기반 TSCH 스케줄링 기법

본 논문에서 제안하는 기법인 Distributed TSCH Scheduling Algorithm (DTSA)은 Convergecast 트리 구조에서 간섭을 최소화 하고, 슬랏의 수를 최소화 하여 end-to-end delay 를 최소화 시키는 분산 스케줄링 이다. DTSA 는 다음 세 가지 목표를 가지고 있다.

1). 하나의 slotframe 안에서 모든 노드들이 생성한 패킷이 루트 노드 까지 도착 해야 한다.

2). 노드 간의 간섭을 최소화하여 신뢰성을 높인다.

3). 슬랏의 수를 최소화하여 end-to-end delay 를 최소한으로 줄인다.

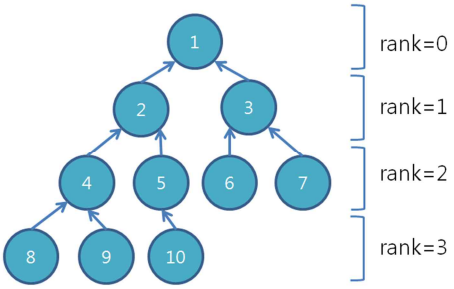



그림 1. 노드 10 개의 라우팅 그래프

DTSA 는 부모 노드가 자식 노드 들의 슬랏을 할당하고 자식 노드로 전송 하면, 자식 노드는 받은 슬랏 할당 정보를 통해 슬랏을 할당하는 방식으로 진행된다. $u \neq Sink$ 가 아닌 노드는 부모 노드로 자신의 필요한 전송 슬랏 개수인 $Trans(u)$와 자신이 받아야 할 수신 슬랏 개수인 $Recv(u)$을 전송한다. 부모 노드는 자식 노드들로부터 받은 Trans 값와 Recv 값이 0 이 될 때까지 슬랏을 번갈아 가면서 할당 한다. 슬랏 할당을 완료하면 자식노드들에게 할당된 슬랏 정보를 전송한다.

DTSA 는 최대한 간섭을 피하기 위해 가용채널을 3 등분 하여 3 홉 안의 노드는 다른 채널을 사용하게 한다. 또한 부모노드는 자식노드에게 ChannelAssignOffset(CAO)을 전송하여 자식 노드는 CAO 을 바탕으로 그들의 자식 노드들의 슬랏 채널을 정하게 된다. CAO 을 통해 최대한 많은 채널을 사용 할 수 있다. 루트 노드는 0 번 채널에 자식 노드들의 슬랏을 할당하고, rank 가 1 인 노드 부터는 수식 1.과 같은 공식을 통해 채널을 할당한다.

$$ch = \left(CAO + \left(\frac{가용채널수}{3}\right) \times (Rank - 1)\%3\right)\%가용채널수$$

수식 1.

slotOffset

| channelOffset | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | 2 | | 2 |
| 1 | | 4 | | 5 | | 4 | | 5 | | 4 | |
| 2 | 6 | | 7 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | 8 | | 9 | | | | | | | | |
| 7 | 10 | | | | | | | | | | |

그림 2. 그림 1. 의 DTSA 스케줄링

그림 2. 는 그림 1. 의 라우팅 그래프에서 모든 노드들이 1 개의 패킷을 생성 하여 전송 할 때 IEEE 802.15.4 의 가용채널 개수인 16 개를 모두 사용 하여 DTSA 을 적용한 스케줄 결과이다. 루트 노드는 2 번, 3 번 노드를 번갈아 가며, 0 번 채널에 슬랏을 할당 한 것을 볼 수 있다. 2 번 노드는 부모 노드 노부터 값이 1 인 CAO 를 받아 1 번 채널 에서 자식 노드인 4 번, 5 번 노드를 번갈아 가며 할당을 하였다. 스케줄링이 완료 되면 11 개의 슬랏 개수 만에 모든 노드들이 생성한 패킷이 루트까지 도착 할 수 있게 된다.

## 3. 실험

실험은 OpenVisualizer 시뮬레이터로 수행하였다. 토폴로지는 이진 트리로 구성하였고, 노드의 수는 10 개부터 50 개 이며, 각 노드는 slotframe 동안 한 개의 패킷을 생성하였다. DeTAS 는 계산식을 통해 슬랏 개수를 계산 하였다. 실험 결과를 살펴보면 DTSA 가 DeTAS 보다 슬랏 개수가 2 배 가량 더 적게 나온 것을 확인 할 수 있다.

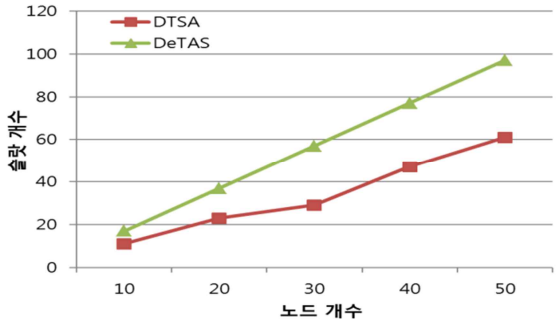



그림 3. 노드 개수에 따른 슬랏 개수 비교

## 4. 결론

본 논문에서는 산업용 무선 센서 네트워크를 위한 IEEE 802.15.4e TSCH 분산 스케줄링 기법인 Distributed TSCH Scheduling Algorithm (DTSA)을 제안했다. DTSA 는 슬랏의 수를 최소화 시켜 end-to-end delay 를 최소한으로 줄여 기존의 TSCH 스케줄링 기법인 DeTAS 보다 2 배 가량 더 적은 슬랏 개수가 나왔다. 추후에 시뮬레이션으로 end-to-end delay 와 end-to-end reliability 를 측정 하고, OpenWSN 을 통해 실구현을 하여 성능 측정을 할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2016 년도 산업통산부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(*No. 20151110200040*)

참 고 문 헌

[1] D. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC Sublayer*, IEEE Standard 802.15.4e-2012, Apr. 2012.

[2] Accettura, Nicola, et al. "Decentralized Traffic Aware Scheduling in 6TiSCH Networks: Design and Experimental Evaluation." *Internet of Things Journal, IEEE* 2.6 (2015): 455-470.

[3] Soua, Ridha, Pascale Minet, and Erwan Livolant. "Wave: a distributed scheduling algorithm for convergecast in IEEE802.15.4e TSCH networks." *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies* (2015)

# 하향링크 중심적 트래픽 시나리오에서 ORPL 라우팅 프로토콜의 성능 평가

강동규°, 김형신, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

# Performance Evaluation of ORPL Routing Protocol in a Downward-centric Traffic Scenario

Dong-Kyu Kang°, Hyung-Sin Kim, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University and INMC

{dkkang, hskim}@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

## Abstract

ORPL is an extension of IPv6 RPL routing protocol with opportunistic routing, which shows lower latency and less energy consumption than existing tree-based routing protocols such as CTP and RPL. To identify the reason for performance degradation of ORPL in a downward-centric scenario, we use Contiki OS to implement testbed simulations with different ratios of upwards and downwards traffic pattern. ORPL only considers upwards traffic for EDC (Expected Duty Cycles) calculation. In a downward-centric traffic scenario, traffic congestion is caused by unnecessary routing set merging operations.

## 1. Introduction

Wireless systems community has developed a number of routing protocols to construct multi-hop low power and lossy networks (LLNs). As results, Gnawali et al. proposed collection tree protocol (CTP) [1] and IETF standardized IPv6 routing protocol for LLN (RPL) [2], which provide reasonable performance of upwards traffic delivery. Recently, Duquennoy et al. designed opportunistic RPL (ORPL) [3], which improves both packet delivery and energy efficiency of RPL with opportunistic routing capability. ORPL uses a routing metric called EDC (Expected Duty Cycles), which is a multipath equivalent of ETX (Expected Transmission Count).

Data collection was the main application for the existing routing protocols. Therefore, they are designed and optimized in upward direction. However, as wireless sensor network applications become diversified, downward-centric traffic scenarios should also be considered to support these new applications (e.g., remote update of electronic price tags [4]). In this paper, we evaluate the performance of ORPL, state-of-the-art routing protocol for low power wireless networks, in an indoor 31 nodes testbed to identify whether it is suitable to deliver downward-centric traffic. Specifically, we observe that ORPL experiences significant packet losses in a downward-centric traffic scenario, and analyze the problem in detail.

The rest of the paper is organized as follows. First we introduce the experiment setup in Section 2. Then we present the experimental results and evaluate them in Section 3. We conclude in Section 4.

## 2. Experiment Setup

We evaluate ORPL in the testbed, which has 31 TelosB nodes spanning the third floor of an institute building, and Figure 1 illustrates our network topology. In all experiments, we set the transmission power of the radio chip to -15dBm. This leads to a diameter of 2.1 hops (averaged over our ORPL runs). In all cases, all traffic is carried in UDP datagrams over 6LoWPAN.

We use a Contiki-based implementation of ORPL that was provided by its authors. We disable the freeze-topology flag so each node continuously updates EDC and routing set. For comparison, we carry out two experiments in both downward-centric and upward-centric traffic scenarios during the working hours to consider link dynamics. In a downward-centric traffic scenario, the sink node generates 40 downward packets per hour for each node, all nodes generate 8 upward packets per hour which are destined to the sink, and vice and versa in a upward-centric traffic scenario.

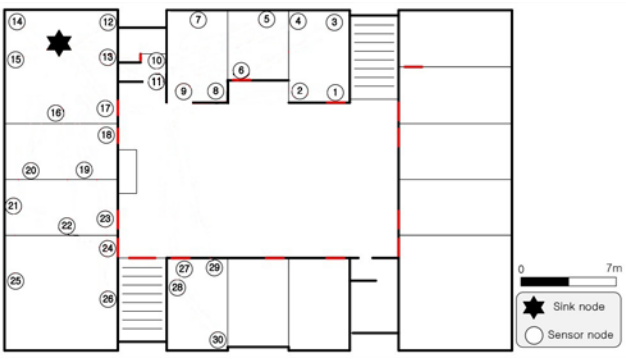



**Figure 1. Topology map of our indoor testbed**

## 3. Evaluation

In this section, we evaluate ORPL experimentally through our implementation. We focus on two key metrics. (1) The Packet Reception Ratio (PRR) is the fraction of packets received over those sent, in end-to-end communication. (2) The routing set size is the number of nodes that are 1-hop neighbor nodes or below in the DODAG (Destination-Oriented Directed Acyclic Graph).

Figure 2 plots both downlink and uplink PRR performance of each node using boxplots, where red plus markers represent outliers. We can observe that the downward-centric scenario provides not only worse average PRR but also larger PRR variance among nodes in both downlink and uplink. Furthermore, for both upward- and downward-centric traffic scenarios, downlink PRR is worse than uplink PRR because ORPL's routing topology is built and optimized in the upward direction.

ORPL only considers upwards traffic for EDC metric calculation, which leads to less EDC updates when upwards traffic is lacking. The slow EDC updates may result in cases, where a node misrecognizes its neighbor node as a child node even though it should be a parent node. This is because EDC metric fails to represent up-to-date topology information in dynamic wireless link environments. Consequently, the node merges the neighbor node's routing set to have bigger routing set size.

Figures 3 and 4 plot routing set size of each node, which is sampled every 30 minutes, in the downward- and upward-centric traffic scenario, respectively. These figures shows that the downward-centric case has more nodes with large routing set and makes the routing set size fluctuate more over time than the upward-centric case. It reveals that the aforementioned anomalies (i.e., falsely merging routing set), especially with nodes around the sink, occur more frequently in the former than the latter and they do not have any positive impact on the overall performance because the average downlink and uplink performances of the experiment 2 is higher. It thus results in traffic congestion because there are more paths that mislead downward traffic to wrong destinations.

## 4.Conclusion

We verified the performance of ORPL in a downward-centric traffic scenario and observed that there is the performance degradation due to lacking upwards traffic. This is because ORPL ignores downwards traffic when calculating EDC metric. Less EDC updates lead to unstable routing set sizes for the nodes around the sink because unnecessary merging operations occur more frequently. Therefore, the overall performance degrades due to traffic congestion. For future work, we will find a measure to tackle the problem.

## 5.Acknowledgment

This research was supported by a grant to Bio-Mimetic Robot Research Center Funded by Defense Acquisition Program Administration, and by Agency for Defense Development (UD130070ID).

## 6. References

[1] O. Gnawali *et al*, "Collection Tree Protocol," in *Proc. ACM SenSys*, Nov. 2009

[2] T. Winter *et al*, "RPL: Ipv6 routing protocol for low-power and lossy networks," in *Internet Enginnering Task Force, RFC 6550*, Mar. 2012

[3] S. Duquennoy *et al*, "Let the tree bloom: Scalable opportunistic routing with orpl," in *Proc. ACM SenSys*, Nov. 2013.

[4] H.-S. Kim *et al*, "Marketnet: An asymmetric transmission power-based wireless system for managing e-price tags in markets," in *Proc. ACM SenSys*, Nov. 2015.

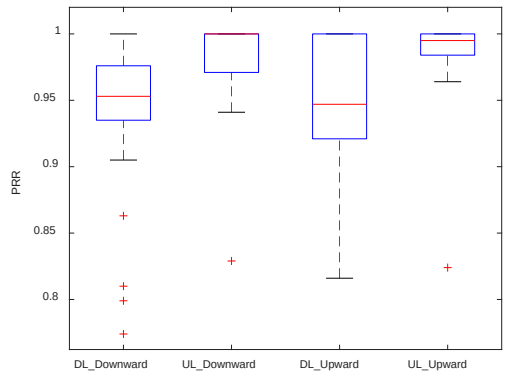



**Figure 2. Downlink and uplink PRR performance of each node for both traffic scenarios**

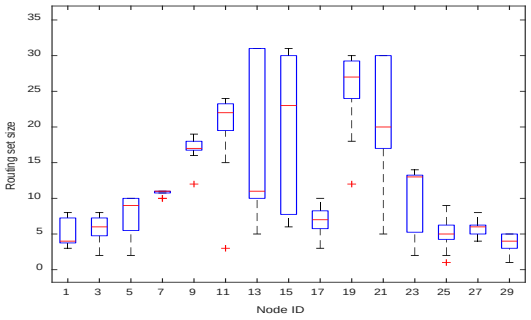



**Figure 3. Routing set size of each node, sampled every 30 minutes, in a downward-centric traffic scenarios**

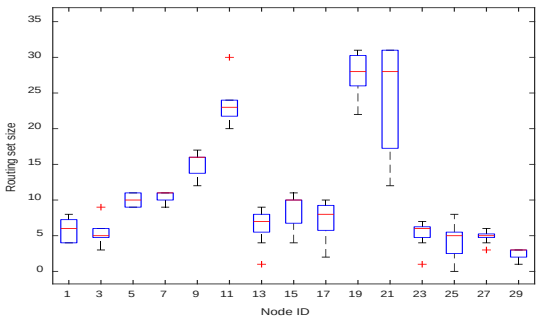



**Figure 4. Routing set size of each node, sampled every 30 minutes, in a upward-centric traffic scenarios**

# 히든싱어: Auto-encoder 기반 가수 구분

채다인, 서다빈, 이영경, 최대선°

공주대학교 의료정보학과

# Hidden Singer: Auto-encoder based Singer Identification

Chae Da-in, Seo Dabin, Young-kyoung Lee, Daeseon Choi°

Department of Medical Information, Kongju University

sunchoi@kongju.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 Auto-encoder 를 이용해 원가수와 모창가수를 구분하는 방법을 제안하고, 컴퓨터의 성능을 인간과 비교하여 제시한다. 제안 방법은 컴퓨터에게 원가수의 원곡 음원을 학습시킨 후 원가수와 모창가수 음원 5 개를 비교하여 가장 유사도가 높은 것을 원가수로 분류하는 방법으로 실험결과 30 곡의 테스트 셋에 대해 60%의 정확도를 보였는데 이는 24 명의 인간 컨테스트 참가자 중 최고 성적과 동일하다.

## 1. 서론

히든싱어는 원가수(original singer)와 모창자(mocking singer)를 구분하는 내용을 담은 JTBC 방송사의 TV 프로그램이다[1]. 1 명의 원가수와 4 명의 모창자가 등장하여 블라인드로 1 곡의 노래를 나눠 부르고 패널들이 모창자를 구분하는 투표를 하는데 모창자들이 잘 훈련되어 있기 때문에, 패널들도 모창자와 원가수를 구분하지 못하는 경우가 많다.

최근 많은 분야에서 인공지능이 인간의 능력을 능가하는 경우가 속속 등장하고 있다. 특히, 패턴인식 분야에서 얼굴인식의 경우 인공지능이 인간의 정확률을 능가하는 97.5%의 정확률(accuracy)을 달성한 것으로 보고되고 있다[2].

본 논문에서는 딥러닝 기법 중 하나인 Auto-encoder 를 활용하여 컴퓨터가 원가수를 구분하는 방법을 제안하고 이를 사람과 비교한다. 컴퓨터에게 원가수의 원곡 음원을 학습시킨 후 원가수와 모창가수 음원 5 개와 비교하도록 하여 가장 유사도가 높은 것을 원가수로 분류하도록 한다.

본 논문은 2 장에서는 관련연구, 3 장에서는 제안방법, 4 장에서 실험 구성과 결과를 제시하고 5 장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

가수 인식(Artist Identification)은 장르 분류, 무드 분류, 악기 인식, 자동 주석 등과 함께 음악 검색(Music Information Retrieval)의 한 분야로 오랫동안 연구되어 왔다[3]. 기존 연구의 정확률은 75% 수준이다[4]. 그러나 우리가 아는 범위에서는 모창자와 원가수를 구분하는 연구는 없었다.

원가수의 음원을 학습시킨 후 모창자의 음원이 포함된 총 5 개에 음원에 대하여 원가수를 찾는 문제는 화자인증과 유사하다. 그러나 화자인증 연구 분야에서도 흉내낸 목소리를 구분하는 연구는 없었다. 한편, 노래를 대상으로 하는 가수인식(singer identification) 문제는 화자인식(speaker recognition) 보다 훨씬 어렵다. 그 이유는 원가수의 목소리 외에 노래의 반주 음악이 포함되어 있기 때문이다[3].

## 3. 제안방법

본 논문에서 제안하는 원가수 구분은 다음 단계에 따라 이뤄진다.

- 원가수의 음원과 모창자의 음원에서 비교할 부분을 추출한다. 이 때 공백을 제거한다.
- **특징 추출**: MFCC 기법을 이용하여 각 음원에서 특징값을 추출한다. MFCC 는 음성인식과 가수인식에서 많이 사용되던 특징값으로 수십 ms 정도의 음성신호에 대한 주파수 대역 별 에너지 값을 추출하여 벡터로 구성한다. 또한 가수의 성별에 따라 주파수 대역을 다르게 필터링한다.
- **정규화**: MFCC 에 의해 ceptral spectrum 이 추출되면, 각 주파수 대역 별로 정규화를 수행한다. 정규화 방법은 평균(mean)을 뺀 후 분산(variance)로 나누는 방법을 사용한다.
- **학습:** 정규화된 특징 벡터를 이용해 Auto-encoder[5]를 학습시킨다. Auto-encoder 는 신경망의 일종으로 입력값에 따라 출력값을 재생산 할 수 있도록 신경망을 학습시키는 기법이다. 그림 1 은 Auto-encoder 구조를 보여준다. 학습은 원가수의 원곡 음원에 대해서만 이뤄진다. 즉, 컴퓨터에게는 원가수의 노래 소리만을 학습시키는

것이다. 학습단계에서는 입력과 출력에 동일한 값을 제공하여 내부 edge 의 weight 를 학습한다.

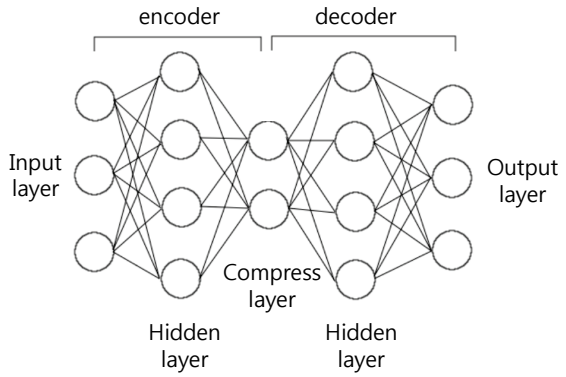



그림 1. Auto-encoder 구조

- **구분:** 구분 단계에서는 원가수와 모창자를 포함한 총 5 명의 모창 음원의 특징 벡터를 Auto-encoder 에 입력한다. 그러면 Auto-encoder 는 출력값을 도출하는데 이 출력값과 입력값의 차이를 계산하는 방법으로 유사도를 구한다. 차이 계산은 Mean Square Error (MSE)를 사용한다. 최종적으로 이 차이가 가장 적은 음원을 원가수의 음원으로 선택하게 된다.

## 4. 실험

### 4.1 실험 구성

제안 방법의 성능을 측정하기 위한 실험 구성이다. **테스트셋**은 히든싱어 방송 프로그램 30 편을 이용하여 30 개로 구성했다. 각기 원가수 원곡 1 개와 원가수와 모창자를 포함한 총 5 명의 모창 음원이 포함된다. 원가수 원곡은 기존에 발표된 음원에서 추출하였고 모창은 30 명의 가수에 대한 각 5 명의 모창 음원을 방송프로그램으로부터 추출하였다.
**특징 추출**은 남성 가수는 80Hz 이하, 여성가수는 150Hz 이하의 주파수를 커팅하였는데, 테스트셋에서 남성 가수는 18 명, 여성 가수는 12 명이었다. MFCC 특징 추출은 음원 샘플링 주파수가 44.1KHz 인 상태에서 256 프레임을 윈도우 사이즈로 사용했다. 각 음원의 특징 벡터는 43 차원으로 모창의 길이에 따라 5,000~10,000 개 정도 생성되었다.
**Auto-encoder** 는 실험에 따라 hidden layer 와 compress layer 의 개수를 변경하며 실험하였다.
**실험환경**은 Ubuntu 15.04 에서 Theano library 를 사용하여 Python 으로 구현하였으며, 3,072 개의 GPGPU 를 탑재한 GTX Titan X 를 사용하여 학습하였다.
한편, **인간과의 비교**를 통해 컴퓨터 능력의 수준을 판단하기 위해, 지원자들을 대상으로 원가수 원곡을 들려준 후 5 개의 모창을 들려주고 이중 원가수를 찾는 컨테스트를 열었다. 컨테스트는 1 등 5 만원 등, 상금을 걸었고 대학생 지원자 24 명이 참가하였다.

### 4.2 실험 결과

실험 결과는 다음과 같다.

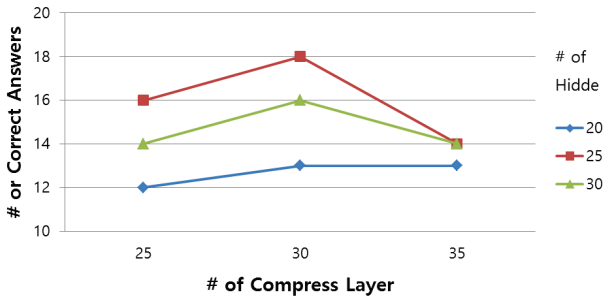



그림 2. 원가수 선택 결과

hidden layer 와 compress layer 의 노드 개수에 따른 정확률은 그림과 같다. 최고 성적은 18 개로 60%이며, Auto-encoder 구성에 따라 성능 저하를 보인다.
인간의 성적은 컨테스트 결과 지원자 24 명의 성적은 다음과 같고, 최고 성적을 거둔 참가자는 컴퓨터와 동일한 18 개를 정답으로 맞추었다.

| 최고 | 평균 | 중간 | 최소 |
|---|---|---|---|
| 18 | 10.5 | 10 | 4 |

## 5.결론

Auto-encoder 기반의 컴퓨터는 제안 방법에 따라 실험한 결과 최대 60%의 정확률을 보였는데, 이는 24 명의 컨테스트 참가자들 중 최고 성적과 동일하며 컨테스트 참가자의 평균값 10.5 보다는 훨씬 높은 성능이다. 향후 연구로, 현재 학습 방법은 원가수의 원곡 1 곡만을 학습하는 것인데 사람은 원가수의 다른 노래도 학습이 되어있는 경우가 많아, 컴퓨터에게도 원가수의 다른 곡을 학습시킴으로써 성능 향상을 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 고도로 훈련된 모창자를 구분하는 본 연구는 화자인증 등의 보안성을 높이는데 활용될 수 있을 것이다.

## 6.참고문헌

[1] 히든싱어, JTBC, http://home.jtbc.joins.com/Event/Event.aspx?prog_id=PR10010362&menu_id=PM10032984.
[2] ExtreamTech, “Facebook’s facial recognition software is now as accurate as the human brain, but what now?”, 2014
[3] Z. Fu, G. Lu, K. M. Ting, and D. Zhang, “A Survey of Audio-Based Music Classification and Annotation”,” in IEEE Trans. on Multimedia, vol.13, no.2, 2011
[4] J. Shen, J. Shepherd, B. Cui, KL TAN, “A Novel Framework for Efficient Automated Singer Identification in Large Music Databases”, ACM Trans. Inf. Syst., vol. 27, no. 3, pp.1-31, 2009
[5] Autoencoder, https://en.wikipedia.org/wiki/Autoencoder

# 모바일 CCN 환경에서 미디어 스트리밍 서비스를 위한 스마트기지국 버퍼링 알고리즘

박기석°, 고윤민, 송황준

포항공과대학교 정보전자융합공학부

# Smart Base Station Buffering Algorithm for Media Streaming Service over Mobile Content Centric Network

Giseok Park°, Yunmin Go, Hwangjun Song

Department of IT Convergence Engineering, POSTECH

{kiseok, yunmin, hwangjun}@postech.ac.kr

## 요 약

본 논문은 모바일 CCN 환경에서 모바일 단말에게 끊김없는 스트리밍 서비스를 제공함과 동시에 모바일 단말의 비디오 시청 중단으로 낭비되는 CCN chunk 의 양을 최소화하는 효율적인 스마트기지국 버퍼링 기법을 제안한다. 스마트기지국은 모바일 단말의 비디오 시청 시간과 채널 상태를 고려하여 적응적으로 CCN chunk 를 버퍼링한다. ndnSim 시뮬레이터를 기반으로 제안하는 스마트기지국 버퍼링 알고리즘을 구현하고 이에 대한 적정성을 검증한다.

## 1. 서론

최근 모바일 기기의 발달로 수 많은 콘텐츠와 서비스가 범람하고 있으며, 모바일 사용자의 급격한 증가로 멀티미디어 서비스 품질 저하가 빈번히 발생되고 있다. 이에 따라 트래픽 과부하 대처 방안으로 인터넷의 근본적 구조 혁신을 제안하는 CCN [1] (content centric network) 기술이 주목 받아 왔다.

CCN 환경에서는 기지국에서 콘텐츠를 버퍼링함으로써 모바일 단말에게 끊김없는 미디어 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 버퍼링 되는 양이 증가할수록 단말의 스트리밍 요청 중단으로 낭비되는 버퍼링 데이터의 양이 증가한다 [2]. 본 논문에서는 단말의 QoE 와 낭비되는 chunk 양을 고려한 스마트기지국 버퍼링 알고리즘을 제안한다. 이러한 알고리즘이 설계된 기지국을 본 논문에서는 스마트기지국이라 정의한다.

## 2. 본론

모바일 단말에게 끊김없는 스트리밍 서비스를 제공하고 낭비되는 버퍼링 데이터의 양을 줄이기 위해 스마트기지국의 적응적 버퍼링 기법을 제안한다. 스마트기지국에서 충분한 양의 chunk 를 버퍼링 함으로써 모바일 단말에 미치는 채널 상태의 영향을 줄이고 단말의 QoE 를 향상시킬 수 있다. 그러나 단말의 QoE 를 향상시키기 위해 스마트기지국에 버퍼링 되는 chunk 의 양을 증가시킬 경우 모바일 단말의 비디오 시청 중단으로 낭비되는 chunk 의 양이 증가한다. 뿐만 아니라, 버퍼링에 소모된 스마트기지국의 content store 와 대역폭 등의 낭비 비용이 발생한다. 본 연구에서는 낭비되는 버퍼링 비용을 줄이고 단말의 QoE 를 보장하기 위해 스마트기지국에 버퍼링되는 chunk 의 양을 결정한다. 단말의 비디오 시청 시간은 비디오 비트율 $R_{video}$, CCN chunk 크기 $S_{chunk}$, 단말에서 요청한 chunk 인덱스 $N_{index}^{access}$ 에 의해서 계산된다.

$$T_{duration} = \frac{S_{chunk} \cdot N_{index}^{access}}{R_{video}}. \quad (1)$$

시간에 따른 단말의 비디오 시청 확률은 Pareto distribution 에 의해서 모델링 가능하다 [3].

$$F(t) = P(X \le t) = 1 - \left(\frac{\beta}{t}\right)^{\alpha}, \text{ for } t \ge \beta, \quad (2)$$

$\alpha$ 와 $\beta$ 는 Pareto 모델 파라미터이다. 스마트기지국에 버퍼링 되어있는 $i_{th}$ CCN chunk 가 단말에 의해 요청되지 않을 확률은 다음과 같다.

$$p_{wastage}(i) = 1 - \left(\frac{R_{video} \cdot T_{duration}}{R_{video} \cdot T_{duration} + S_{chunk} \cdot (i-1)}\right)^{\alpha}, \text{ for } i \ge 1. \quad (3)$$

현재 시점에서 스마트기지국이 $n_{buffer}$ 개의 chunk 를 버퍼링 할 경우 낭비되는 평균 chunk 의 양은 다음과 같다.

$$c_{wastage}\left(n_{buffer}\right)=\sum_{i=1}^{n_{buffer}} S_{chunk}\cdot p_{wastage}\left(i\right). \quad (4)$$

모바일 단말의 QoE degradation 은 버퍼링 chunk 양에 반비례한다. 따라서 QoS degradation 은 다음과 같이 정의된다.

$$c_{degration}^{QoS}\left(n_{buffer}\right)=\frac{K\cdot R_{video}}{S_{chunk}\cdot n_{buffer}}, \quad (5)$$

여기서 $K$ 는 비례상수를 나타낸다. 스마트기지국은 수식 (7)의 CS 공간 제약조건을 만족함과 동시에 수식 (6)을 최소화하는 $n_{buffer}$ 을 결정한다.

$$\lambda\cdot c_{wastage}^{cache}\left(n_{buffer}\right)+\left(1-\lambda\right)\cdot c_{degration}^{QoS}\left(n_{buffer}\right), \quad (6)$$

$$\text{s.t. } n_{buffer}\le \min\left\{N_{chunk}^{block}, \left\lfloor\frac{S_{CS}}{S_{chunk}}\right\rfloor\right\}, \quad (7)$$

여기서 $S_{CS}$ 는 스마트기지국의 버퍼링 공간을 나타내며, $N_{chunk}^{block}$ 는 CCN block 의 chunk 개수를 나타낸다. $\lambda$ 는 낭비되는 chunk 의 양과 QoE degradation 사이의 가중치 요소이다. 위의 문제는 convex optimization problem 으로써 gradient method 를 통하여 최적의 해를 구할 수 있다,

## 3. 실험 결과

본 연구에서는 ndnSIM [4] 시뮬레이터를 통해 제안된 알고리즘의 적정성을 검증한다. 콘텐츠 서버에는 ndn-producer application 을 설치하고, 모바일 단말에는 ndn-consumer-cbr application 을 설치한다. 스마트기지국과 콘텐츠 서버 사이의 Data Rate 는 UniformRandomVariable 로 설정하여 1~5Mbps 범위 내에서 초당 무작위로 변경되도록 하였다. 또한, Data packet 의 사이즈는 1500 바이트로 설정하였다. 스마트기지국은 요청된 Interest packet 인덱스를 기반으로 다음 CCN block 에서 버퍼링 할 chunk 의 양을 결정한다. 또한 버퍼링은 콘텐츠 서버와 스마트기지국 사이의 채널 상태가 비디오 평균 스트리밍율보다 큰 경우에 수행한다. 무작위로 비디오 시청을 중단하여 단말에서 비디오의 정지 시간 및 낭비되는 chunk 의 양을 측정한다. 시뮬레이션 시간과 비디오 평균 스트리밍 율은 100(sec.)와 3(Mbps)로 각각 설정하였다. 그림 1 은 스마트기지국에 버퍼링 되는 chunk 의 양을 보여준다. 단말의 비디오 시청 특성은 heavy-tail 을 따르기 때문에 비디오 시청이 길어질수록 스마트기지국은 점진적으로 많은 chunk 를 버퍼링한다. 또한 채널 상태가 비디오 스트리밍 율보다 작은 경우 버퍼링 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 그림 2 에서 가중치가 감소할수록 QoS degradation 의 중요도가 증가하여 버퍼링되는 chunk 의 양이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 낭비되는 chunk 의 양은 증가한다. 가중치를 조절함으로써 스마트기지국의 버퍼링 효율을 향상시키고 단말의 QoS 를 보장할 수 있다.

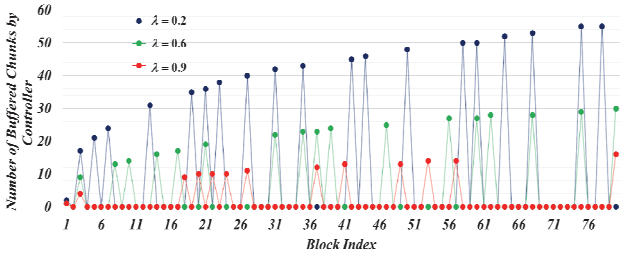
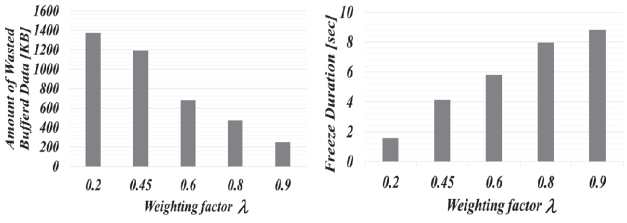



그림 1. 버퍼링되는 CCN chunk 개수.




(a) (b)

그림 2. 가중치에 따른 단말의 비디오 freeze duration 과 스마트기지국의 낭비되는 chunk 관계.

## 4. 결론

모바일 CCN 환경에서 모바일 단말에게 끊김없는 서비스를 제공함과 동시에 버퍼링된 chunk 의 낭비되는 양을 감소시키는 효율적인 스마트기지국 버퍼링 기법을 제안하였다. 단말의 비디오 시청 시간을 기반으로 버퍼링 할 chunk 의 양을 적응적으로 조절하였다. 실험을 통해 가중치를 조절함으로써 스마트기지국에서의 버퍼링을 통해 낭비되는 청크의 양을 감소시킴과 동시에 모바일 단말의 QoE 를 보장할 수 있는 것을 검증하였다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업 [B0101-15-0033, CCN 기반의 다차원 scalability 를 활용한 5G 이동통신 기술 연구개발]과 [B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발]의 일환으로 수행하였음.

## 참고 문헌

[1] V. Jacobson, D.K. Smetters, J.D. Thornton, M.F. Plasee, N. Briggs, R. Braynard, “Networking named content”, Proceedings of ACM CoNEXT, pp. 1–12, 2009.

[2] D. Wu, J. Huang, J. He, M. Chen and G. Zhang, “Toward Cost-Effective Mobile Video Streaming via Smart Cache With Adaptive Thresholding,” IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 61, Issue. 4, pp. 639–650, Dec. 2015.

[3] Y. Li, Y. Zhang, and R. Yuan, “Characterizing User Access Behaviors in Mobile TV System,” IEEE International Conference on Communications, Jun. 2012.

[4] A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, “ndnSIM: NDN simulator for NS-3,” Tech. Rep. NDN-0005, NDN Project, Jul. 2012.

# 수중 셀룰러 네트워크를 위한 시간 동기화 기법

정수민°, 진희태, 김석찬

부산대학교 전자전기컴퓨터공학과

# Time Synchronisation for Underwater Cellular Networks

Sumin Jeong°, HeeTae Jin, Suk Chan Kim

Department of Electronics Engineering, Pusan National University

sckim@pusan.ac.kr

## 요 약

수중 통신에서는 육상 통신과 달리 음파를 사용하기 때문에 전송 지연시간이 매우 길어질 수 밖에 없다. 따라서 시간 동기화 기술에 있어, 이러한 환경을 반영한 클락 스큐와 오프셋을 정확히 보다 추정하여 신뢰성과 정확성을 더 요구한다. 그러한 환경을 반영한 시간 동기화 기술로 Time Synchronisation for High latency(TSHL)이 제안되었으나 스큐 추정 과정이 상당히 복잡하다. 이에 높은 정확성을 유지하면서 보다 간단한 스큐 추정 방식을 새로이 제안하고자 한다.

## 1. 서론

인류가 활동하는 영역은 이제 비단 육지만이 아니다. 하늘은 인간을 이미 품고 있고 바다는 늘 열려 있다. 게다가 바다 속에 잠들어 있는 막대한 양의 해양 자원은 지중해의 세이렌인 마냥 사람들을 매혹시키고 있다. 하지만 수중에서 사람의 활동 가능한 영역이 공간적으로 크게 넓어졌다 하여도 하늘과 바다를 정복했다 하기에는 부족함이 크다. 특히 수중에서는 높은 수압, 산소 공급과 같은 환경적 제약은 인간의 수중 활동을 크게 제한한다.

이러한 환경적 제약을 해결하기 위해 현재 AUV (Autonomous Underwater Vehicle, 수중 무인 탐사정)과 같은 기기들이 인간을 대신하여 바다 속을 헤엄치고 있다. 그리고 바다를 이해하기 위해 다양한 센서들이 해수의 온도, 해양 생태계를 측정하고 적조 현상과 오염 현상 등을 감지 및 조기 대처하기 위해 작동 중이다. 특히나 센서 네트워크와 같은 수중 네트워크는 활용 가능성이 높아 그에 대한 관심이 크게 증가하고 있다.

네트워크를 구현하기 위해서는 시간 동기화 과정의 선행은 필수적이다. 하지만 수중 통신에서는 육상과 달리 전파가 아닌 음파를 사용한다. 음파를 이용하면 수중에서 무선 통신이 가능하나, 전파 속도가 1500 m/s 로 전파에 비해 매우 느리다. 이 때문에 시간 동기화 과정에서 스큐 (skew)가 육상에서와는 달리 심각한 오차 요인이 된다. [1]

스큐 오차를 고려한 시간 동기화 기술 TSHL (Time Synchronisation for High Latency)[1]이 이미 제안되어 있으나 그 스큐 추정 방법이 상당히 복잡하다. 이에 본 논문에서는 스큐를 보다 쉬운 방법에서 추정하는 새로운 시간 동기화 기법을 제안한다.

## 2. 배경 지식

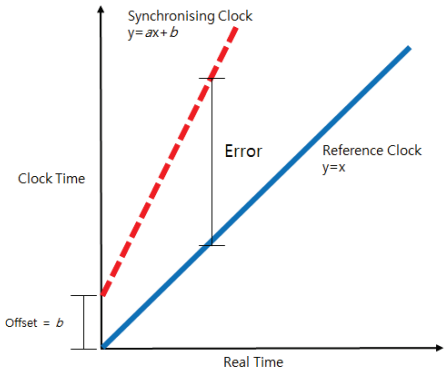



Figure 1. 스큐(Skew) 와 오프셋(Offset) 에러

시간 동기화에 있어서 중요한 오차 요인은 크게 두 개가 있다. 하나는 오프셋(Offset)이고 남은 하나는 스큐 (Skew)이다. 두 오차 요인은 기준 노드에 대해 상대적인 값을 가지므로, 기준 노드와 동기를 맞출 노드를 표현하면 각각 다음과 같다.

$$f_R(t) = t$$
$$f_L(t) = T = at + b \quad (1)$$

여기서 t 는 기준 노드의 기준 시각이고, T 는 로컬 노드의 로컬 시각이다. $a$ 와 $b$ 는 각각 스큐와 오프셋 값이다.

TSHL 은 2 개의 단계를 통해 스큐와 오프셋을 추정한다. 첫 번째 단계는 스큐 추정 단계이고 두 번째 단계에서는 추정된 스큐값을 반영하여 오프셋값을 추정하는 단계이다. 기준 노드가 기준 시각으로 기록된 메시지 전송 시각을 타임 스탬프에 담아 로컬 노드로 전송한다. 로컬 노드는이 메시지를 수신한 시각을 로컬 시각에 시각으로 기록하고, 모델

(1)에 따라 수신 시간에 대한 타임 스탬프는 아래와 같이 도출할 수 있다.

$$T_i = a(t_i + d + e_i) + b \quad (2)$$

이 때, i 는 수신된 메시지의 index 를 의미하며, d 는 전파 지연 시간, $e_i$는 임의의 네트워크 시간 지연을 뜻한다. 최종적으로 송신과 수신 시각의 타임스탬프 집합을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\{t_i, T_i\} = \{t_i, a(t_i + d + e) + b\}, \quad 1 \le i \le N \quad (3)$$

여기서 N 은 기준 노드에서 비콘 메시지 송신 횟수이다. 선형 회귀법을 사용하여 이 타임 스탬프 집합에서 스큐를 추정한다.

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{N} t_i}{N}$$
$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_i(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^{N}(t_i - \bar{t})^2} \quad (4)$$

## 3. 제안 방법

본 논문에서 제안하는 시간 동기화 방법에서도 총 두개의 단계를 통해 스큐와 오프셋을 추정한다. 첫 번째 단계에서 앞서 TSHL 과 같이 기준 노드에서 메시지를 브로드 캐스팅하나, 타임 스탬프가 아닌 메시지 전송 시간 간격을 통해 스큐를 추정한다.

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i, \quad 1 \le i \le N-1$$
$$\Delta T_i = T_{i+1} - T_i, \quad 1 \le i \le N-1 \quad (5)$$

모델 (1)을 이용하면

$$\Delta T_i = \{a(t_{i+1} + d + e_{i+1}) + b\} - \{a(t_i + d + e_i) + b\}, \quad 1 \le i \le N-1$$
$$= a(\Delta t_i + \Delta e_i) \quad (6)$$

으로 로컬 시간에서 시간 간격이 표현이 가능하고 식 (5)와 (6)을 최소 제곱법을 사용하면 스큐 추정값은 아래와 같다.

$$\hat{a} = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\Delta T_i / \Delta t_i}{N-1} \quad (7)$$

이는 TSHL 의 식 (4)에 비해 매우 간단한다. 그리고 두 번째 오프셋 추정 단계에서는 TPSN (Time Synchronisation for Sensor Networks)와 같이 양방향 시간 정보 메시지를 교환하여 추정한다.[2]

## 4. 가상 실험 결과

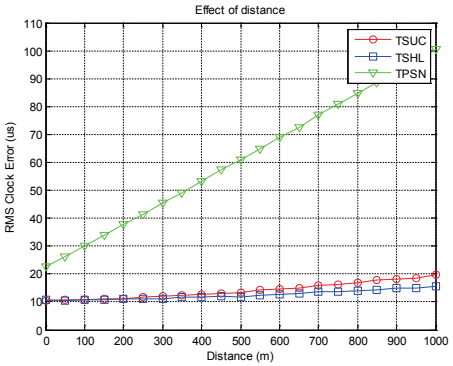



Figure 2. TSUC, TSHL 과 TSPN 의 성능 비교

스큐를 보정하지 않는 TPSN 에 비해 제안하는 TSUC 는 매우 정확하며 TSHL 과 비교하여도 그 정확성이 뒤지지 않는다.

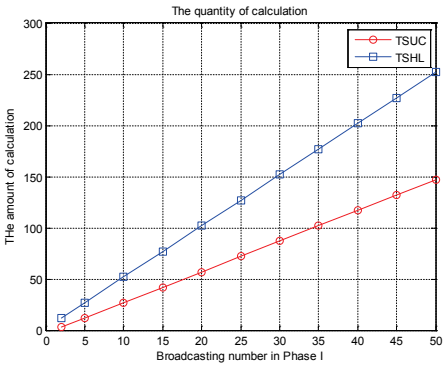



Figure 3. TSUC 와 TSHL 의 계산량 비교

식 (4)와 (7)의 계산량을 비교한 그래프이다. Figure 2 에서 보아 알 수 있듯이 정확성의 차이는 크지 않으나 계산량에서 제안하는 TSUC 아 상대적으로 매우 작음을 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서 제안하는 새로운 시간 동기화 기법은 사용한다면, 기존의 TSHL 과 비교하여 정확성이 뒤지지 않으며 상대적으로 계산량이 매우 적으로 실제 구현에 있어서 더 용이하다.

## 6. 참고 문헌

[1] A.A. Syed and J. Heidemann, “Time Synchronization for High Latency Acoustic Networks,” Proc INFOCOM 2006, Apr. 2006.

[2] S. Ganeriwal, R. Kumar, and M. B. Srivastava, “Timing-sync Protocol for Sensor Networks,” *Proc. 1st International ACM Conference on SenSys*, pp. 138–149, 2003.

[3] J.S.Pettyjohn, D.R.Jeske and J.Li, “Least Squares-Based Estimation of Relative Clock Offset and Frequency in Sensor Networks with High Latency,” IEEE Transactions on Communications, Volume 58, Number 12, Dec. 2010.

# Segment based Quality Adaptation Scheme for MPEG DASH

Sunghee Lee, Hyunsuk Roh, Namkyung Lee

Electronics and Telecommunications Research Institute

sh2@etri.re.kr, ventus@etri.re.kr, nklee@etri.re.kr

## Abstract

Recently, Several quality adaptation schemes have been proposed for improving the quality of DASH. However, previous adaptation schemes based on DASH do not guarantee smooth and seamless playback because they do not considers the VBR characteristics of the contents. In this paper, we propose a QASD(Quality Adaptation Scheme for DASH) to provide seamless and smooth streaming service.

## 1. Introduction

To enable NAT and firewall traversal and to provide QoS features for multimedia streaming, DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) has been proposed by MPEG and 3GPP [1]. DASH provides architecture to support seamless playback of a content by handling the bitrate of contents based on the current network condition.

Several quality adaptation schemes have been proposed for improving the quality of DASH based streaming services. Liu et al. proposed a video quality adaptation algorithm called the RAHS(Rate Adaptation for Adaptive HTTP Streaming) [2]. RAHS adjusts the bitrate of content based on SFT(Segment Fetch Time) and MSD(Media Segment Duration) to prevent client buffer underflow. However, RAHS unnecessarily changes video quality in short-term bandwidth fluctuation.

To reduce the frequent change of video quality, Thang et al. proposed a video quality adaptation algorithm called the ASAC(Adaptive Streaming of Audiovisual Content). ASAC adjusts the bitrate of contents based on the smoothed segment throughput. However, ASAC also fails to prevent quality variation in significant bandwidth fluctuation. Moreover, RAHS and ASAC assume that all segments have the same size. However, as most video has VBR(Variable BitRate) characteristics, estimating the segment throughput for a next segment based on the current segment size leads to discontinuity of playback and unnecessary quality change [3].

In this paper, we propose a new quality adaptation scheme for improving the QoE of DASH. The proposed quality adaptation algorithm appropriately adjusts the bitrate of segments according to the segment throughput, playback buffer status, and VBR characteristics of the contents for seamless playback and smooth change of quality.

## 2. Quality Adaptation Scheme for DASH

To apply proposed quality adaptation scheme, enhanced MPD is used to monitor the VBR characteristics of the content. The proposed system performs segment quality control provide seamless playback and smooth quality. In order to achieve this, information related to the network and device status is monitored by the client. In the client, device monitor measures the remaining frames in a playback buffer, and network monitor calculates the segment throughput based on the segment size of the next segment. To get the size of next segment.

Most of the previous video quality control schemes select the next segment with the highest video bitrate that is lower than the estimated segment throughput.

Therefore, the video bitrate of the next segment is decided on the basis of the SFT of the most recently downloaded segment. Thus, the variation of SFT according to the varying segment size and transient change of the bandwidth leads to unnecessary oscillation of video quality. Furthermore, if the bandwidth drastically decreases after increasing the video quality, the playback buffer would be drained quickly and resulting in buffer underflow. The proposed scheme switches up the quality when the amount of playback buffer is enough to play the video until receiving the next segment even when the available bandwidth drastically decreases. Fig. 1 shows the switch up behavior of the proposed scheme.

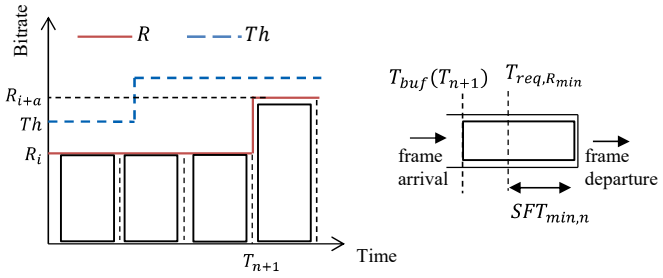



Figure 1. Switch up behavior of QASD

where $Th$ is segment throughput, $R_{min}$ is bitrate of the lowest quality level, $T_{buf}(T_n)$ is the amount of playback buffer in tim at $T_n$ , $SFT_{Rmin}$ is time that it takes to receive a segment when the segment throughput is reduced to . The first condition for switch up is that the throughput of the next segment is higher than the bitrate of next quality level as follows:

This work was supported by the ICT R&D program of MSIP/IITP. [B0184-15-0002, Development of Smart Signage System linked with IoT Standard Platform]

$$Th > R_{i+1,n+1} \quad (1)$$

$R_{i+1,n+1}$ can be calculated as follows:

$$R_{i+1,n+1} = \frac{S_{i+1,n+1}}{MSD} \quad (2)$$

Where *MSD* is media segment duration The second condition for switch up involves receiving the next segment before the buffer underflow, even when the segment throughput drastically decreases after increasing the quality level as follows:

$$T_{buf}(T_{n+1}) \geq \frac{S_{i+1,n+1}}{Th_{min}} \quad (3)$$

By using (3) we can prevent buffer underflow even when the segment throughput decreases to $Th_{min}$ after video quality is increased to $i+a$. We use the minimum bitrate, $R_{min}$, for $Th_{min}$ because streaming cannot be served if the segment throughput is lower than the minimum bitrate of the segment. We can decide the increment of quality level as follows:

$$max\{a \mid S_{i+a,n+1} \leq (T_{buf}(T_{n+1}) \times Th_{min})\} \quad (4)$$

The proposed scheme involves switch down the quality level when the amount of playback buffer is not enough to play the video until receiving next segment in the current quality level. Fig. 2 shows the switch down behavior of proposed scheme.

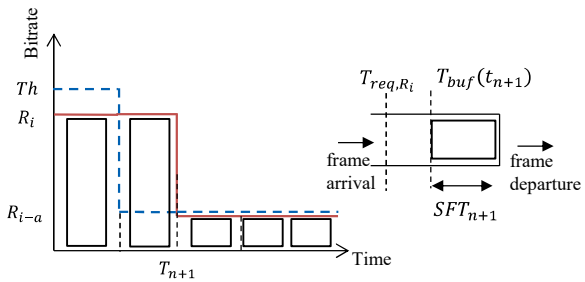



Figure 2. Switch down behavior of QASD

The first condition for switch down is that the throughput of the next segment is lower than the bitrate of the next segment as follows:

$$Th \leq R_{i+1,n+1} \quad (5)$$

The second condition for switch down is that the next segment is received before the buffer underflow as follows:

$$T_{buf}(t) \geq SFT_{n+1} \quad (6)$$

If the $SFT_{n+1}$ is larger than the amount of playback buffer, buffer underflow will occur before receiving the next segment. Therefore the proposed scheme selects the segment that has the maximum video bitrate among video qualities that can be downloaded during the remaining playback buffer time as follows:

$$max\{a \mid S_{i-a,n+1} \leq (T_{buf}(T_{n+1}) \times Th_{n+1})\} \quad (7)$$

## 3. Simulation Results

In this section, we evaluate the evolution of seamlessness and smoothness of QASD. To evaluate the performance of the proposed scheme, we have implemented the proposed scheme in a DASH reference player developed by DASH IF(Industry Forum). We compared the quality changes and the amount of playback buffer among the proposed scheme, RAHS, ASAC, and the default adaptation algorithm of DASH IF player.

Fig. 3 shows the amount of playback buffer in time. The previous schemes caused buffer underflow because they do not consider the status of playback buffer underflow. However, the proposed scheme prevents buffer underflow by sending a request for a lower bitrate to the server based on the status of the playback buffer.

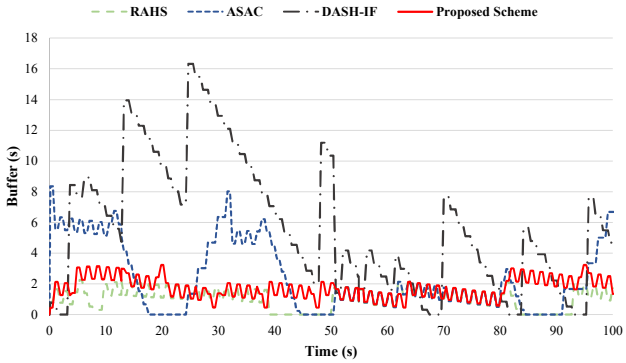



Figure 3. Playback buffer status according to the varying bandwidth

## 4. Conclusion

In this paper, we have proposed a new quality adaptation scheme for DASH to improve the perceived user quality. The proposed scheme provides seamless playback and smooth quality change by deciding the optimal bitrate of content based on the SFT of the next segment, the size of the next segment, playback buffer status. Through performance evaluation, we have proven that the proposed scheme can provide seamless playback, smooth quality change and reductions in latency.

## References

[1] T. Stockhammer, "Dynamic Adaptive Streaming over HTTP: Standards and Design Principles," *in Proc. of ACM MMSys'11*, pp. 133-144, February 2011.

[2] T. Thang, Q. Ho, J. Kang, and A. Pham, "Adaptive Streaming of Audiovisual Content using MPEG DASH," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 58, no. 1, pp. 78-85, February 2012.

[3] S. Lee, K. Youn, and K. Chung, "Adaptive Video Quality Control Scheme to Improve QoE of MPEG DASH," *in Proc. of IEEE International Conference on Consumer Electronics*. pp. 126-127, January 2015.

# HEATSTACK 을 기반으로 한 OPENSTACK 자원 관리

정누리°, 공석환°

쿨클라우드㈜, 연세대학교 전기전자공학과

# OPENSTACK Resource Management based on HEATSTACK

NuRi Jeong°, SeokHwan Kong

KulCloud, Yonsei University

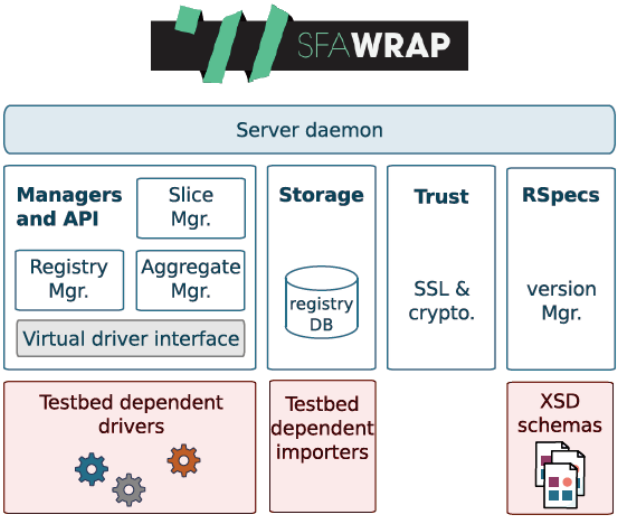
nuri.jeong@kulcloud.net, kongseokhwan@yonsei.ac.kr

요 약

본 논문에서는 국제 시험망 내의 테스트베드 연동 및 HeatStackClient 를 기반으로 하는 OpenStack 리소스 매니지먼트 기법을 다룬다.

## 1. 서론

과거에서부터 현재까지 인터넷은 사용자의 요구에 맞추어 아주 빠르게 발전해왔다. 이러한 인터넷의 발달에 맞추어 미래인터넷은 새로운 요구사항을 수용해야 한다. 이러한 많은 요구사항을 수용하기 위해서는 연구자들이 실험을 하기 위해서는 어느 곳에서 제어 가능한 웹 API 기반 테스트 베드를 필요로 한다. 본 편은 Fed4fire 의 프로젝트인 테스트베드연동을 목적으로 하는 sfawrapper 를 통해 오픈스택 테스트 베드 자원 구성 및 관리를 목적으로 한다.

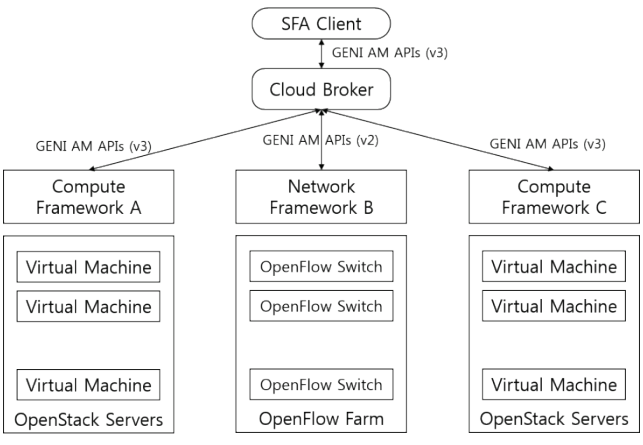



[그림 1] Sfawrapper 구조

## 2. 본론

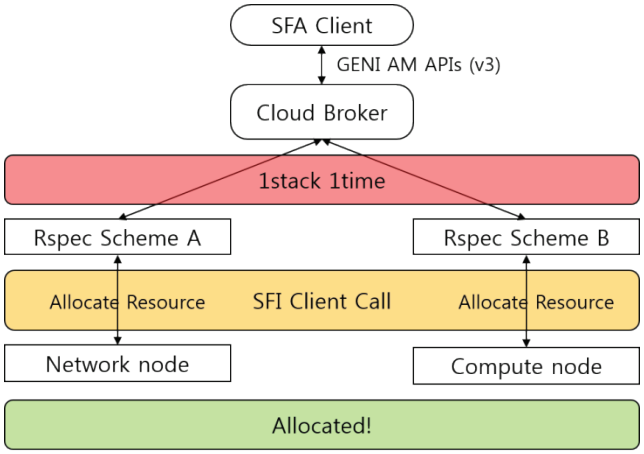
sfawrapper 위 그림과 같이 리눅스시스템 의 서버와 클라이언트로 나뉘는데 클라이 언트의 콜을 API 를 통해 서버와 통신하며 사용자가 원하는 테스트베드(오픈스택)의 자원(Compute, Network, Server 등)을 슬리버별로 정의한 RSpec 파일을 sfi client 콜을 통하여 원하는 자원의 생성 및 관리를 할 수 있다.

사실 sfawrapper 를 기반으로 오픈스택 자원을 생성 및 관리 하는 broker 라는 클라우드 시스템은 이미 존재하고 있다. [그림 2]와 같이 기존의 broker 시스템은 마찬가지로 sfawrapper 의 표준을 따르면서 xmlparser 를 통해 오픈스택의 자원 관리를 제어한다.




[그림 2] 클라우드 브로커 활용 프레임워크

아래 [그림 3]과 같이 Broker 시스템은 RSpec 파일을 사용자가 만들고자 하는 각각 리소스마다 슬리버 별로 정의하여야만 했다.




[그림 3] 클라우드 브로커 시스템

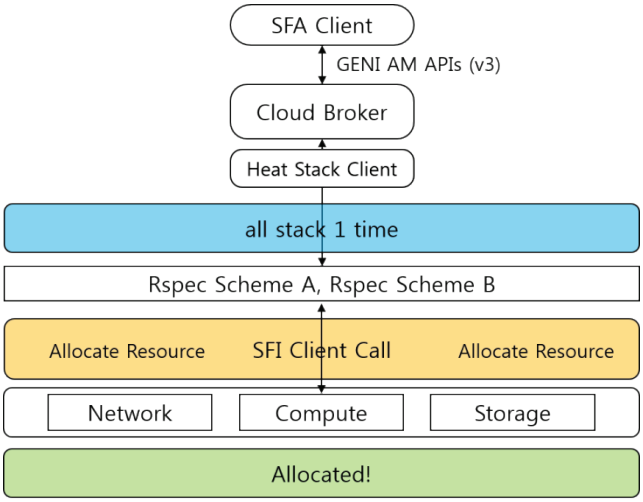
클라우드 컴퓨팅 서비스인 오픈스택은 컴퓨트, 네트워크, 가상머신등 컴퓨터 자원을 가상으로 나누어 사용자가 원하는 것만 모듈별로 제공하는 서비스이다. Broker 시스템은 오픈스택 리소스 생성 및 관리를 sfawrapper 의 등록 관리자의 접근 권한 불가 여부를 통과한 후 슬라이스 관리자에서 해당 슬라이스의 자원 정보를 RSpec 을 반환한후, 통합관리자는 xmlparser 로 전달하고 테스트베드(오픈스택)의 규칙에 맞게 nova, neutron, virtual machine 등의 자원을 각각 생성 및 관리한다. 따라서 내부규칙에 맞게끔 각각의 자원관리가 나뉘어져있다.

*Heat Orchestration Template(HOT)

```
heat_template_version: YYYY-MM-DD
description: Simple template to deploy
compute instance

parameters:
  key_name:
    type: string
    label: Key Name,
    description: Name of key-pair…
```

본 편에서는 오픈스택의 Orchestration Client 인 Heatstack Client 를 활용하여 SFA 기반으로 오픈스택의 자원 구성을 개별적 모듈 관리가 아닌 통합적 모듈 관리를 할 수 있게 되었다. [그림 4]와 같이 SFA Client 로 사용자가 명령을 하면 api 를 통해 broker 에서 heatstack client 를 통하여 오픈스택의 compute, network, stroge 등 여러 자원을 한꺼번에 생성 및 관리를 할 수 있게 업데이트 하였다.




[그림 4] HeatStack 기반 테스트베드구성 시스템

OpenStack 은 리소스별로 개별의 node 로 나뉘어진다. 때문에 sfawrapper 로 Openstack 의 테스트베드 구성 시 각 노드별로 리소스 생성 및 관리를 할 수 있다. HeatStack 이란 OpenStack 의 다양한 Application 을 총괄하는 하나의 Service 이다. HeatStack 의 내부를 보면 RestAPI 로 구현되어있다. OpenStack 에서 제공하는 Heatstack Orchestration Template 는 OpenStack Application 의 기능, Instance 등을 **Resource** 로 제공한다. 예를 들면 OpenStack 의 서비스들중 하나인 Nova 나 Neutron 등이 Resource 에 포함된다. HOT 는 여러 종류의 Resource 가 있고 각 Resource 마다 입력해야하는 Key 의 값이 정해져있다. SFA 의 rspec 에서는 이 Resource 의 정보를 가져온다.

## 3. 결론

기존의 broker 기반의 클라우드 시스템을 따르면서 xmlparser 를 통해 rspec 에 정의된 오픈스택의 자원 생성 및 관리를 함에 있어서 개별적 구성을 지원하였는데 본 편에서는 OpenStack 에서 제공하는 HeatStack Client 를 활용한 자원관리로 개별적 구성이 아닌 통합구성으로 테스트베드 구성에 더욱 더 확장성을 더하였다.

## 4.참고 문헌

[1]Openstack, http://docs.openstack.org/developer/heat/template_guide/hot_spec.html
[2] Resource Specification, http://groups.geni.net/geni/wiki/GeniRspec
[3] Clark, W. & Lheureux, B., "How to Add Value to Your Cloud Service Strategy", Gartner, Oct. 2010.
[4] XML, http://www.w3.org/XML/

# 배터리 웨어 모델이 적용된 지속가능한 무선통신 기지국의 최적 운영 연구

최요환, 김홍석°
서강대학교 전자공학과
hongseok@sogang.ac.kr

## 1. 서론

전세계 이동통신 사업자가 2010 년에 사용한 전력량은 약 120 테라와트시 (TWh) 규모이며 이에 따라 지불하는 전기요금은 연간 약 360 억달러이다. 특히 통신 기지국이 사용하는 전력이 전체 셀룰러 네트워크에서 소비하는 양의 약 80%를 차지하고 있다[1]. 스마트 그리드의 필수 구성요소인 에너지 저장장치 (Energy Storage System, ESS)와 태양광 (Photo-voltaic, PV) 및 풍력과 같은 신재생 에너지가 통신 기지국 시설의 전력원과 결합된다면 에너지를 절약할 수 있는 여지가 충분히 있고, 그에 따른 비용절감을 실현할 수 있을 것으로 판단된다. 게다가 탄소배출 및 지구온난화 등 지구환경 문제에 대한 관심과 규제가 결부되면서 노키아-지멘스, 일본의 NTT 도코모 등의 세계 주요 통신 사업자들은 신재생 에너지가 결합된 기지국 솔루션을 연구개발하는 데에 주력하고 있다.

본 연구에서는 PV 와 ESS 가 결합된 에너지 인프라를 기반으로 하는 다수의 매크로 기지국 환경에서 배터리 웨어 모델이 반영된 최적 ESS 스케줄링 도출을 통해 전체운영 비용의 최소화를 실현하고, ESS 운영자에게 배터리 특성에 따른 활용 범위에 대한 통찰력을 제시한다.

## 2. 시스템 모델

다루고자 하는 문제는 PV 와 DC-AC 컨버터가 연결된 50 여개의 매크로 통신 기지국이 산재해 있는 환경에서 이들을 aggregation 하여 ESS 가 전체 운영비용 최적 스케줄링을 하는 알고리즘 연구이다. 특히 수요 반응과 피크 부하이동 기능을 활용하여 최대 부하를 낮추고 이에 따른 경제성 분석도 수행하였다. 모든 전력 소비 및 생산량은 실제 적용되고 있는 모델과 관련 데이터 및 파라미터를 기반으로 산출된다. 최대 피크로 1.35 kW 의 값을 가지는 실제 매크로 통신 기지국의 전력 소모 모델을 유럽 국가의 평균 통신 트래픽 패턴에 반영하여 로드를 도출한다[2]. 또한 평균 기온 및 일조량 데이터를 기반으로 PV 의 생산 전력이 계산된다. 특히 배터리의 감가상각을 상수 및 단순히 방전심도 (Depth of Discharge, DoD)와 사이클의 반비례 관계로 가정하는 기존의 연구들과는 달리, 충전상태에 따라 가변하는 wear-out 값을 바탕으로 감가상각 밀도함수를 설정하여 이를 동적 프로그래밍(Dynamic Programming, DP)에 적용하였다[3].

## 3. 실험 결과

아래의 그림 1.을 통해 알 수 있듯이, 운영비용과 배터리 비용간에는 트레이드 오프 관계가 성립하며, 특히 전체비용 최소화를 위한 최적화 과정에서 배터리 감가상각 반영 비율 (β) 을 높일수록, 운영비용은 증가, 배터리비용은 감소하는 특성을 확인할 수 있다.

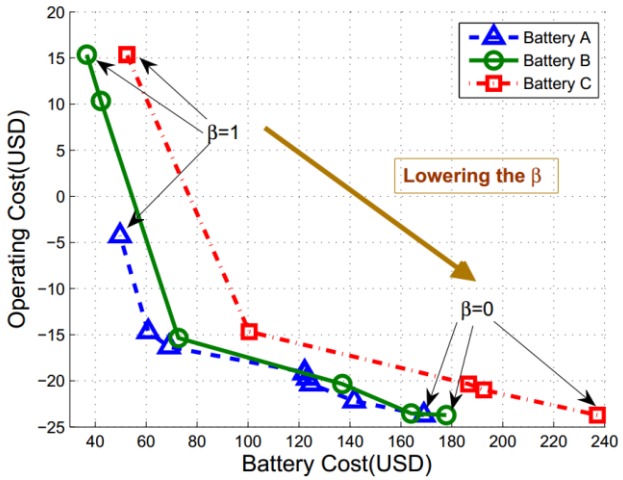



그림 1. β 의 변화에 따른 비용 트레이드 오프분석

## 4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 신재생 에너지 및 ESS 가 결합된 기지국 환경에서 전체 운영비용을 최소화 하는 스케줄링을 도출했으며 배터리 감가상각 비율에 따른 운영비용과 배터리비용 간의 트레이드 오프 결과를 통해 조건별 ESS 사용에 대한 통찰력을 제시하였다.

## 5. Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2014R1A1A1006551)

## 6. 참고 문헌

[1] GSMA, “Mobile’s Green Manifesto”, 2012
[2] Auer, Gunther, et al. "How much energy is needed to run a wireless network?." Wireless Communications, IEEE 18.5 (2011): 40-49.
[3] Han, Sekyung, Soohee Han, and Hirohisa Aki. "A practical battery wear model for electric vehicle charging applications." *Applied Energy* 113 (2014): 1100-1108.

# SmartX-mini Playground를 활용한 FastData 분석엔진과 Data Lake 기능 검증

송지원, 박선, 김종원°

광주과학기술원 정보통신공학부

# Functionality Verification of FastData Analytics Engine and Data Lake employing SmartX-mini Playground

Jiwon Song, Sun Park, JongWon Kim°

School of Information and Communication, Gwangju Institute of Science and Technology

{jwsong, sunpark, jongwon}@nm.gist.ac.kr

요 약

본 논문은 IoT-Cloud 서비스를 지원하기 위한 관제 및 데이터 처리 기능을 갖춘 SmartX-mini Playground의 NUC 클러스터에서 제공하는 Apache Spark/Zeppelin 기반 분석엔진의 FastData 지원과 HDFS 기반의 Data Lake의 기능을 벤치마크 및 실증 서비스 시험을 통하여 검증한다.

## 1. 서론

폭발적으로 확산하는 IoT 서비스들을 위한 Cloud 기반 데이터 처리의 성능한계를 극복하도록 제안되고 있는 에지(edge) 컴퓨팅은 IoT와 Cloud 사이에서 데이터의 처리와 필터링을 담당한다[1]. 에지 컴퓨팅 환경에서 실시간으로 발생하는 데이터 스트림을 빠르게 처리하는 FastData 기능을 지원하기 위해서는 데이터 처리를 담당하는 분석엔진(analytics engine)과 수집/처리된 데이터의 저장을 담당하는 Data Lake가 필요하다[2]. 먼저 분석엔진은 Data Lake에 저장된 BigData 또는 실시간 FastData를 처리하기에 충분한 성능과 용량을 보유해야 하며, 저장/가공된 데이터 및 정보에 대한 시각화 기능을 제공해야 한다. Data Lake는 데이터 저장 기능에 대한 신뢰성을 갖추고 있어야 하며, 분석엔진에서 다루기 적합한 형태로 데이터를 취급할 수 있어야 한다.

SmartX-mini Playground는 컴퓨팅, 네트워킹 및 스토리지 자원을 동적으로 할당하여 필요한 서비스를 지속적으로 지원하는 융합형 SmartX Box 자원집합을 활용하여 설계된 공용개발환경(즉 테스트베드)이다[3]. 본 논문에서는 FastData 분석엔진에서 요구하는 처리성능/용량 및 데이터 시각화와 Data Lake의 고가용성이 SmartX-mini Playground에서 만족하는지를 검증한다.

## 2. NUC 클러스터를 활용한 FastData 지원 기능 설계 및 시험 구축

SmartX-mini Playground는 IoT 단말에 대응하는 µ-Box와 에지 환경의 mini-Box으로 구성된다. µ-Box는 ARM 기반 싱글보드 컴퓨터인 Raspberry Pi 2 가 사용한다. 또한 mini-Box는 Intel의 소형 PC인 NUC D54250WYKH 1 대와 NUC5i5MYHE 3 대를 클러스터로 구성하여 Ubuntu 14.04.3 을 설치하였다. µ-Box와 mini-Box는 Mikrotik 사의 CRS125-24G-1s-2HnD-IN 스위치를 사용한 네트워크에 1Gb 이더넷으로 연결된다.

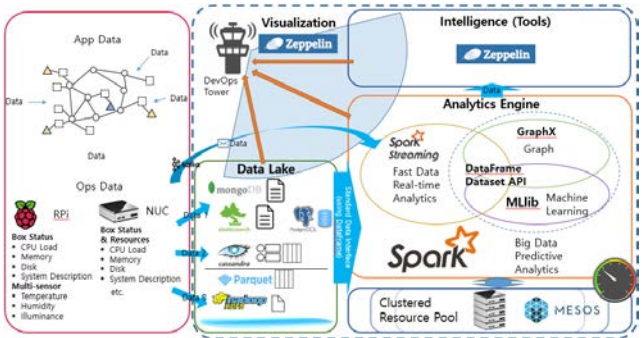



그림 1 SmartX-mini Playground를 위한 Analytics Engine 및 Data Lake 관계도

분석엔진과 Data Lake는 NUC 클러스터에 설치되어 Playground가 요구하는 데이터 처리를 위한 충분한 성능을 제공해야 한다[5]. 그림 1 을 보면 NUC 클러스터에는 클러스터 상의 분산 자원 스케줄링을 담당하는 Apache Mesos가 설치된다. 또한 분석엔진을 구성하는 Apache Spark/Zeppelin이 설치되어 Mesos Framework 형태로 구동된다. 추가로 Data Lake는 MongoDB와 HDFS(HaDoop File

System)로 구성했으며, 클러스터로 구성된 HDFS는 모든 데이터 노드들에 데이터 사본을 저장함으로써 Data Lake에서의 데이터 고가용성을 지원한다. 또한 Raspberry Pi2 에서 생성된 데이터는 Apache Kafka를 이용하여 전달된다. 전달된 데이터 스트림은 Data Lake로 모여 저장되거나 분석엔진의 Spark Streaming 을 통해 요구되는 FastData 기능을 제공하도록 준비된다.

## 3. FastData 지원을 위한 Analytics Engine과 Data Lake 의 성능 검증

분석엔진과 Data Lake의 DataFrame 기반 연결성, FastData 지원 기능/성능 두 가지를 검증해 보자.

**검증 1)** 분석엔진과 Data Lake의 Spark 기반 분석엔진에서 Spark SQL이 제공하는 DataFrame API 기반의 연결성을 검증한다[6]. 먼저 표 1 과 같이 인디애나 대학 평가 데이터 2.7GB의 JSON 파일을 HDFS에서 메모리로 로드(read), 통계 평가(describe), 정렬(sort)에 소요되는 시간을 평가하여 검증한다[7].

표 1. Analytics Engine과 Data Lake의 DataFrame 기반 연결성 평가 결과

| 평가 항목 | 소요 시간(초) |
|---|---|
| read() | 21.824 |
| describe() | 6.875 |
| sort() | 7.770 |

**검증 2)** FastData 지원에 대한 검증은 먼저 지원 기능과 성능 검증으로 각각 구분된다. 먼저 FastData 지원 기능을 검증하도록 Spark Streaming과 Apache Kafka를 이용하여 Raspberry Pi2 의 Resource-level 모니터링 데이터를 NUC 클러스터의 MongoDB에 저장해 보았다. 준실시간으로 전송되는 Kafka 메시지는 Spark에서 Spark Streaming API를 통해 DataFrame 형태로 로드되어 값에 따라 태그 정보를 추가하여 MongoDB에 저장하는 기능이 지속적으로 동작함을 확인하였다.

표 2. NUC 클러스터의 FastData를 위한 성능 평가.

| 평가 항목 | Slave노드 수에 따른 최대처리시간(s) | | |
|---|---|---|---|
| | 1 대 | 2 대 | 3 대 |
| State-by-key | 1.044 | 0.738 | 0.572 |
| Group-by-key | 0.520 | 0.434 | 0.445 |
| Reduce-by-key | 0.398 | 0.380 | 0.372 |

FastData 성능 검증으로는 표 2 와 같이 Spark-perf 벤치마크 툴을 이용하여 클러스터의 머신 수에 따른 Streaming 성능을 평가하였다. 실험 결과 NUC 클러스터는 2 대 이상의 슬레이브 노드가 작동하는 경우 실험에서 적용한 모든 스트리밍 데이터를 Spark Streaming의 기본 micro-batch 간격인 1 초 내에 처리함으로써 충분한 준실시간 처리 성능을 갖춘 것으로 확인된다.

FastData 지원 기능에 대한 데이터 시각화 사례는 다음과 같다. 전술한 Resource-level Monitoring 서비스에서 수집한 데이터를 Spark Streaming 및 Zeppelin 노트북에서 지원하는 Angular.js를 이용하여 실시간으로 시각화할 수 있고, 일정 시간 동안 수집된 데이터에 대해 DataFrame API를 이용하여 준실시간 대화형 데이터 분석이 가능하다.

## 3. 결론

본 논문에서는 SmartX-mini Playground에서의 FastData 분석엔진의 처리 성능/용량, 데이터 시각화 기능, 그리고 Data Lake와의 연결성을 검증하였다. 향후 이러한 분석엔진과 Data Lake를 활용한 Intelligence 제공을 위한 연구를 진행할 계획이다.

## 감사의 글

본 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원(No. B0190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)과 2015 년도 SW 융합기술고도화 사업의 지원(S0170-15-1071)을 받아 수행된 연구임.

## 참고 문헌

[1] M. Patel, B. Naughton, C. Chan, N. Sprecher, S. Abeta, and A. Neal, “Mobile-edge computing: Introductory technical white paper,” *Mobile-edge Computing (MEC) industry initiative*, 2014.

[2] 김남곤, 김종원, “효율적인 자원 활용을 위한 SmartX 노드 가상화 적용,” 2013 년 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, 2013.

[3] 송지원, 김남곤, 김종원, “SmartX-mini Center 를 위한 Apache Spark 기반 Analytics Engine 구축 및 검증,” 한국통신학회 학술대회논문집, 2015.

[4] D. Woods, “BigData requires a big, new architecture,” Forbes, 2011.7. (http://www.forbes.com/sites/ciocentral/2011/07/21/big-data-requires-a-big-new-architecture/)

[5] 송지원, 이준기, 김승룡, 김종원, “SmartX-mini Center 를 통한 NUC 클러스터의 BigData 처리 가능성 검증,” 2015 년 춘계 학술대회, vol, 22, no. 1, 2015.

[6] M. Armbrust, R. S. Xin, C. Lian, Y. Huai, D. Liu, J. K. Bradley, and M. Zaharia, "Spark SQL: Relational data processing in Spark," *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp. 1383-1394, 2015.

[7] M. R. Meiss, F. Menczer, S. Fortunato, A. Flammini, and A. Vespignani, "Ranking web sites with real user traffic," *Proc. ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, pp. 65-76, 2008.

# 안면인식과 빅데이터 분석을 이용한 사용자 중심 서비스 연구

조서희, 박수진, 김세진*

조선대학교 컴퓨터통계학과

# JCCI 2016 Manuscript Format Sample for Page Layout

Seohee Jo, Sujin Park, Se-Jin Kim*

Department of Computer and Statistics, Chosun University

sjkim@chosun.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 안면인식과 빅데이터 분석 기술을 융합하여, 사용자 중심 서비스를 제공하는 연구 및 시스템을 개발한다. 먼저, 안면인식 기반 빅데이터 분석 서비스를 위한 시스템 아키텍처를 설계하고, 각 구성요소들을 소개한다. 이후, 소형 카메라로 검출된 얼굴사진을 이용하여 사용자를 식별하고, 빅데이터 서버에 저장된 다양한 사용자의 히스토리 데이터를 이용하여 식별된 사용자의 행동패턴을 분석하는 절차를 제안한다. 본 연구를 통해 안면인식과 빅데이터 분석 기술을 융합하는 신규 서비스를 개발하고, 다양한 연구분야로 확장될 수 있는 가능성 본다.

## 1. 서론

빅데이터는 디지털 환경에서 생성되는 데이터로 그 규모가 방대하며 생성 주기도 짧고, 형태도 수치 데이터 뿐만 아니라 문자와 영상 데이터를 포함하는 대규모 데이터를 의미한다. 이런 빅데이터를 효과적으로 활용하기 위해서는 빅데이터를 분석하는 방법과 활용분야에 따라 크게 다르다. 이런 이유로 현재도 다양한 빅데이터 정보 수집 및 분석 방법에 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 안면인식과 빅데이터 분석 기술을 융합하여, 사용자 취향에 맞는 환경 제공 및 장치를 제어하기 위한 사용자 중심 서비스 연구 및 시스템을 개발한다. 먼저, 안면인식 기반 빅데이터 분석 서비스를 위한 시스템 아키텍처 소개한다. 이후, 소형 카메라로 검출된 얼굴사진을 이용하여 사용자를 식별하고, 빅데이터 서버에 저장된 다양한 사용자의 데이터를 이용하여 식별된 사용자의 행동패턴을 분석하는 절차를 제안한다.

## 2. 시스템 아키텍처

그림 1 은 안면인식과 빅데이터 분석을 이용한 사용자 중심 서비스를 제공하기 위한 시스템 아키텍처를 나타낸다. 빅데이터 분석 시스템은 클라이언트, 통합서버, 그리고 빅데이터 서버로 구성된다. 먼저, 클라이언트는 소형 카메라를 이용하여 사용자의 얼굴사진을 추출하는 구성요소로, 클라이언트는 사용자의 얼굴을 찾는 모듈을 이용하여 촬영된 사용자

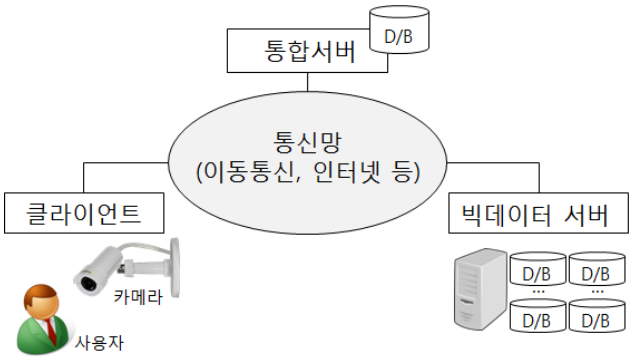



그림 1. 시스템 아키텍처

의 사진에서 얼굴만을 추출해 내는 동작을 수행한다. 통합서버는 클라이언트와 빅데이터 서버를 연결하는 중계자 역할을 수행하는 구성요소로, 통합서버는 자신의 사용자 얼굴사진 데이터베이스(D/B)에서 수신된 사용자 얼굴사진을 식별하여 사용자의 고유 ID 를 찾아내는 동작을 수행한다. 마지막으로 빅데이터 서버는 많은 사용자들의 다양한 정보를 저장하고 분석하는 구성요소로, 빅데이터 서버는 사용자의 고유 ID 와 D/B 에 저장된 사용자의 정보를 시간, 요일, 날짜, 온도, 습도 등에 따라 사용자의 과거 행동패턴을 분석하는 동작을 수행한다.

그림 2 는 그림 1 에서 소개한 빅데이터 서버의 구성요소를 나타낸다. 본 연구에서는 빅데이터 서버를 구축하기 위해 리눅스 CentOS 7 을 운영체제로 사용하였고, 데이터베이스는 MySQL, 분산파일 시스템으로 하둡(hadoop) Ver. 1.2.1, 그리고 데이터베이스

* 교신저자

** 이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2015R1C1A1A01055869)

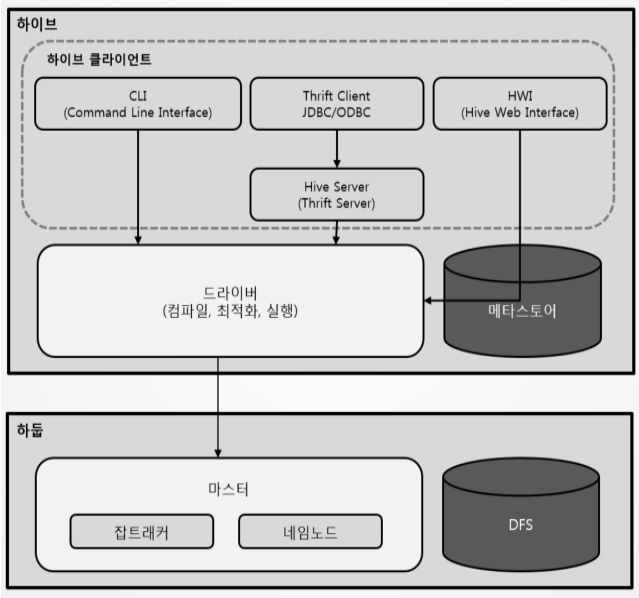



그림 2. 빅데이터 서버의 구성요소

운영을 위한 솔루션으로 하이브(Hive) Ver. 0.9.0 를 이용하였다. 하둡은 대용량의 데이터 처리를 위해 개발된 오픈소스 소프트웨어(open-source software)로, 분산처리를 지원하기 위해 자바를 이용한 '가상 운영체제'와 유사한 의미를 갖는다. 즉, 하둡은 크게 '분산처리' 와 '분산저장'의 기능을 수행하는데, 데이터의 '처리(계산)' 와 '저장' 기능을 수행함으로써 여러 개의 저가형 컴퓨터를 하나인 것처럼 묶어주는 기술이다. 하둡 프로그램을 쉽게 처리하기 위한 솔루션으로 피그(Pig)와 하이브가 있다. 피그는 야후에서 개발되었는데 현재는 하둡 프로젝트에 포함되어 있으며, 데이터를 적재 · 변환하고 결과를 정렬하는 과정을 쉽게 처리하기 위해 만든 프로그램 언어이다. 하이브는 하둡을 데이터 웨어하우스(Data warehouse)로 운영할 수 있게 해주는 솔루션으로, 페이스북에서 개발한 하이브는 관계형 데이터베이스에서 사용하는 Structured query language (SQL)과 유사한 질의 언어(querry language)의 특징을 갖는다.

## 3. 제안하는 안면인식과 빅데이터 분석을 이용한 사용자 중심 서비스 연구

그림 3 은 제안하는 안면인식과 빅데이터 분석 기반 사용자 중심 서비스 제공을 위한 메시지 흐름도를 나타낸다. 클라이언트에서 소형 카메라는 사용자의 사진을 촬영하고 얼굴사진을 추출한 후, 추출된 얼굴사진을 기타 정보(온도, 습도 등)와 함께 통합서버로 전송한다. 통합서버는 수신된 사용자의 얼굴사진을 얼굴인식 모듈을 이용하여 사용자를 식별하여 사용자의 고유 ID 를 찾아낸다. 그리고 사용자 고유 ID 는 수신된 기타 정보와 함께 빅데이터 서버로 전송된다. 이후, 빅데이터 서버는 식별된 사용자의 과거 히스토리 D/B 에서 현재의 다양한 조건들과 일치하는 사용자 주변의 환경설정 및 장치제

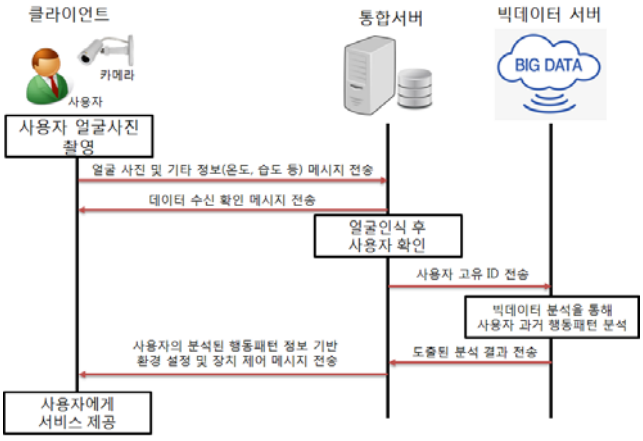



그림 3. 제안하는 안면인식과 빅데이터 분석 기반 사용자 중심 서비스 제공을 위한 메시지 흐름도

어 명령을 빈도 분석을 통해 도출한다. 마지막으로 도출된 결과는 다시 통합서버를 경유하여 클라이언트로 전송되어 사용자에게 서비스를 제공하게 된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 안면인식과 빅데이터 분석 기술을 융합하여, 사용자 중심 서비스를 제공하는 연구 및 시스템을 개발하였다. 먼저, 안면인식 기반 빅데이터 분석 서비스를 위한 시스템 아키텍처를 설계하였고, 각 구성요소들을 소개하였다. 그리고, 구축한 빅데이터 서버의 구성요소에 대해 설명하였다. 이후, 안면인식과 빅데이터 분석 기반 사용자 중심 서비스 제공을 위한 메시지 흐름도를 제안하였다. 본 연구를 통해 안면인식과 빅데이터 분석 기술을 융합하는 새로운 서비스를 개발하였고, 다양한 연구분야로 확장될 수 있는 가능성을 알 수 있게 되었다.

## 5. 참고 문헌

[1] Mike Gualtieri, "The Forrester Wave™: Big Data Predictive Analytics Solutions, Q1 2013", Forrester research, 2013.
[2] Ren´e Zuidhof, Jos van der Til, "Comparison of MapReduce implementations", SC@RUG, 2009.
[3] James Manyika, "Big Data: The next frontier for innovation, competition, and productivity," McKinsey Global Institute, 2011.
[4] OpenStack, http://www.openstack.org/.
[5] Hadoop, https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Hadoop.
[6] Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems, (http://manning.com/marz)
[7] 김병희, "클라우드 컴퓨팅 기반 사물인터넷의 빅데이터 분석 프레임워크에 관한 연구," 한국통신학회 추계종합학술대회, Vol.55, No.1, pp.186~187, 2014.
[8] 이현종, "빅데이터 하둡 플랫폼의 활용," 한국통신학회지 (정보와통신), Vol.29, No.11, pp.43~47, 2012.

# 스마트시티 정보통신 표준화를 위한 생태계모델 프레임워크

안재영°, 이준섭, 김형준

한국전자통신연구원 표준연구센터

# Ecosystem Model Framework for IT Standardization of Smart City

Jae-young Ahn°, Jun Seop Lee, Hyeong Jun Kim

Protocol Engineering Center, ETRI

ahnjy@etri.re.kr°

## 요 약

스마트시티 기술 개발에 있어 기존에 추구해 온 기반시설의 정보화보다 점차 다양한 도시 서비스들 간의 연계와 융.복합이 조명을 받고 있으며, 이를 위해서는 다양한 도시 주체들간의 상호운용성 정립이 필요하다. 본고에서는 이를 위해 복잡한 도시 기능 주체들을 기능공간으로 포획하여 생태계로 정의하고, 향후 발전될 스마트 시티 기능을 고려한 도메인들로 구분 정의한다.

## 1. 스마트시티와 정보통신 표준화

스마트시티란 첨단도시개발을 리드하는 비전으로써, ICT 의 도입을 통해 도시서비스의 품질 및 효율성과 상호운용성을 향상하고, 비용과 자원소모를 저감하며, 시민과 정부간의 소통을 향상시키는 등의 목표를 지향하고 있으며[1], 도시의 각종 자산을 안전하게 관리하기 위해 여러가지 ICT 기술을 종합적용하는 솔루션[2]으로도 인식되고 있다. 그러나 이러한 비전의 현실적인 구현에 있어서는 오히려 새로운 사회경제학적 가치창출의 기회가 주목되고 있으며, 이에 따라 도시 서비스 전체를 거시적인 상호 연계시스템(그림 1) 관점에서 연구하고, 구현에 있어서는 사용자 중심의 국지적인 기술 상용화를 추진하는 유력한 움직임이 있다. [3]

(그림 1) 거시적 관점의 스마트시티 모델[3]

국내의 경우 스마트시티 기술개발 및 도입은 2008 년 제정한 관련법“유비쿼터스 도시의 건설등에 관한 법률” (이하 “u-city 법”)을 기반으로 하고 있는데, 여기에서는 해당 기술을 “도로, 교량, 학교, 병원 등 도시기반시설에 첨단 정보통신기술을 융합하여 유비쿼터스 기반시설을 구축하여 교통, 환경, 복지 등 각종 유비쿼터스 서비스를 언제 어디서나 제공하는 도시”로 정의하고 있다. 이것은 결국 단위 기반시설을 정보통신과 융합하는 개념을 중심으로 하는 것이며, 다양한 도시서비스를 융복합하는 새로운 사회경제적 기회의 발굴 측면을 우선하고 있지는 않다. 실제로 국내에서 전개된 u-city 사업은 주로 도로, 교량, 방범용 CCTV 등을 중심으로 정보화가 진행되었으며, 이를 활용한 국민 안전망의 구축을 중심으로 U-city 서비스를 전국 확산하려는 계획이 진행 중이며, 이를 위해 지역별 관제센터들 간의 상호 연동이 이슈가 되어 있기도 하다[4].

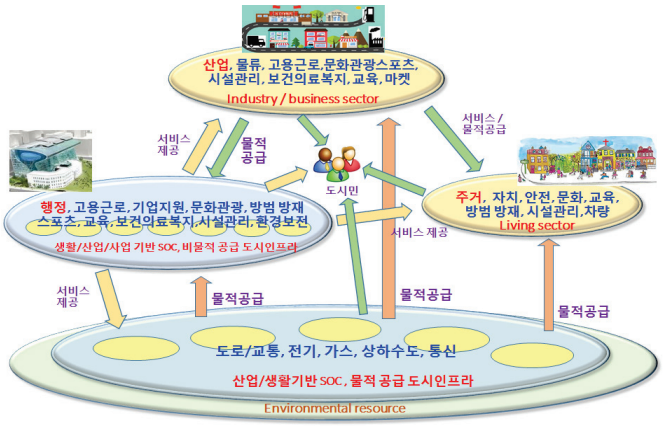
그러나 이러한 정보 연계를 넘어 도시의 다양한 자원공급 및 비용이 발생하는 운영주체들과의 융복합 비즈니스는 새로운 사회경제학적 기회와 시너지를 생성하므로, 현재 국내의 u-city 기술개발은 보다 다양한 도시주체들과의 상호운용성 확보를 필요로 하고 있으며, 이를 위한 정보통신 표준화 모델이 필요한 상태다.

## 2. 도시 기능공간 모델

그러나 표준 상호운용성의 확보를 위해 도시서비스를 제공하는 주체들을 특징 별로 분류하고 관계를 설명하는 일은 일반적으로 쉽지 않다. 도시는 복잡계적인 존재이며, 그 기능들간의 관계가 중첩되고 동적으로 변화할 뿐 아니라 국가별로 다양한 정의가 존재한다. 우리나라의 경우 도시인프라에 대해 정의한 법령[5]을 참조하면 도시의 구조를 (그림 2)에 보는 바와 같이 도식화할 수 있는데, 이것을 도시의 기능적 공간들을 분류한 가장 기본적인 형상으로 전제한다면, 스마트 시티란 이러한 도시 각 영역별로, 또는 조직적으로 ICT 를 적용하여 도시문제의 해결과 경쟁력 향상을 위한 혁신을 이루어 내는

것이라고 정의해 갈 수 있다. 다양하게 얽혀 있는 도시의 기능별 영역은 다음과 같이 구분하여 정의할 수 있다.

(1) 시민들의 생활/주거 영역
(2) 경제활동의 집합 영역
(3) 도시의 비물적 (공공서비스) 인프라
(4) 도시의 물적공급시설과 사회기반시설, 및 환경

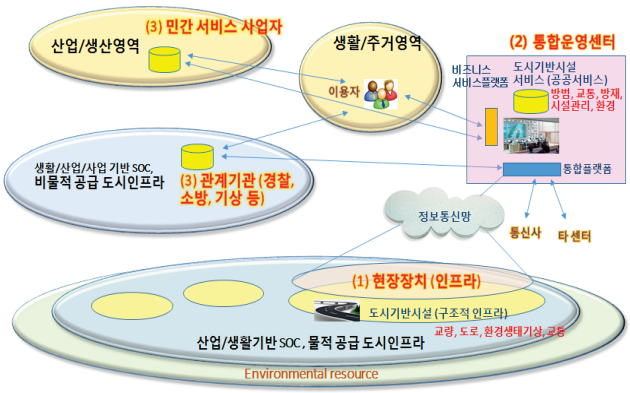



(그림 2) 도시 기능공간 모델

그림에서 보이는 기능공간들은 실제로는 도시의 각 활동 주체들, 즉 actor 들이 활동하는 공간으로, 비록 상호 중첩하여 기능하게 되기는 하나 결국 각 영역별로 그들의 고유한 비즈니스 가치사슬을 구현하는 생태공간이 된다. 따라서 이 기능공간들이 도시의 복잡한 비즈니스 도메인들을 크게 포획하는 생태계를 대표하는 것으로 정의한다.

## 3. U-city 구현 모델

(그림 2) 의 도시 모델 위에 국내에서 현재 진행중인 u-city 의 구현사양을 도식하면 (그림 3) 과 같이 그릴 수 있다.




(그림 3) 도메인 관점의 국내 u-city 구현 사양

국내의 u-city 구현은 제 2 차 계획[4] 의 수립 시점에서 (그림 2) 에 보이는 (1) 현장장치와 (2) 운영센터의 구축에 상당한 성과를 확보한 것으로 평가하고 있으며, 2014 년 이후 (3) 민간 서비스의 확산과 관계 기관 연동 등 정보의 공유, 활용을 통한 서비스 확산을 강조하고 있다.

## 4. 스마트시티 생태계 모델 프레임워크

스마트 시티 기술의 발전은 보다 진보적인 융복합 기술의 도입을 동반할 것이며, 특히 빅데이터, 사물인터넷, 의미론적 연동을 포함한 지능형 처리기술의 광범위한 적용이 예상되고 있다[6]. 결국 (그림 3) 의 구현모델에서 생태계들은 더욱 세분화되고 확장할 것으로 예상하게 되며, 이를 <표 1>로 정리한다.

<표 1> 스마트 시티 생태계 도메인 구분

| 정보 운영 계층 | 도메인 역할 특징 | 영역 구분 |
|---|---|---|
| 운영/관리 | 도시관리 주체 | 비물적 인프라 |
| 서비스 계층 | 소비자(도시민) | 생활/주거 |
| | 서비스 사업 주체 | 산업/생산 |
| 정보 통합 연동 계층 | 데이터 통합연동/ 지능형 처리 | New |
| | 기반설비 통합 운영 | New |
| 물적 인프라 계층 | 도시 기반설비 인프라 | 물적인프라(설비) |
| | 물적 공급기반 인프라 | 물적인프라(공급) |
| | 도시기반 설비 인프라 | 산업, 생활 |

## 5. 결론 및 향후 적용방안

본 논문에서 정리한 스마트시티 생태계 모델의 도메인 구분작업은 도시의 기본 기능 모델 분석에서 시작하여 스마트 시티의 발전모델을 가늠하는 목표로 진행되었으며, 향후 발전할 스마트시티 기술의 상호운용성 정의 및 CoS (Catalog of Standards) 개발에 있어 표준화 우선순위 도출의 기반이 될 것이다.

## 6. 참고 문헌

[1] *"Building a Smart City, Equitable City - NYC Forward"*., NYC Mayor's office of Tech+Innovation, http://www1.nyc.gov/site/forward/innovations/smartnyc.page
[2] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city
[3] Jan Peelen, "*A Dutch Perspective on Smart Cities,*" , Global City Team Challenge 2016, 2016. http://www.slideshare.net/US-Ignite/presentations/2
[4] 제 2 차 유비쿼터스도시 종합계획 (2014~2018), 국토교통부, 2013.9
[5] 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 (제 2 조 6 호), 국토교통부
[6] Ignasi Vilajosana, et al., *" Bootstrapping Smart Cities through a Self-sustainable Model Based on Big data Flow"*, IEEE Communications magazine, June 2013.

## 7. 기타

본 논문은 산업통상자원부 국가표준기술력향상사업 (과제번호: 10048607, 광역 U-city 서비스를 위한 스마트시티 기술 표준화 기반 조성)으로 지원된 연구결과입니다.

# 열 모델 학습을 이용한 캠퍼스 시스템 에어컨 자동 스케줄링 기법

임헌정, 오승환, 김세훈, 송관우, 조혜정

삼성전자 DMC 연구소

# Campus VRF Auto scheduling technique using thermal-model

Hun-Jung Lim , Seong-Hwan OH Se-Hoon Kim, Kwan-Woo Song, Hye-Jung Cho°

DMC R&D Center, Samsung Electronics

{hunjung.lim, sh80.oh, sehoon23.kim, kwanwoo.song, cho1115} @samsung.com

## 요 약

최근들어 에너지 부족으로 전력 절감에 대한 요구가 커지고 있으며 국내 대학교에서도 그린캠퍼스, 신재생 에너지 사용 등을 통해 에너지 절감에 동참하고 있다. 하지만, 강의실 특성상 온도 제어에 대한 관리 주체가 없으며, 공강 등의 부재시 가동이 에너지 낭비의 큰 요인이 되고 있다. 본 논문에서는 그룹 단위의 재실이 이루어 지고 일정한 입실 패턴을 가지는 강의실 특징을 활용하였다. 제안 시스템은 실내 열변화와 시스템에어컨의 운영데이터에 기반한 열 모델을 생성하고 이를 활용하여 시스템 에어컨을 자동 제어(Scheduling)하게 된다. 제안 방안을 국내 대학교의 실 데이터를 활용하여 성능평가 하였으며 평가 결과 실내 온도 차이가 큰 오전 시간에는 86%의 재실 파악 정확도를 보였다.

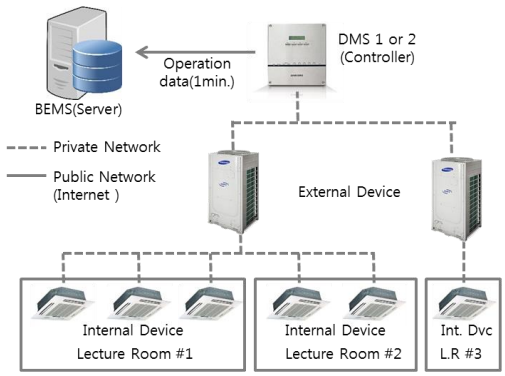
## 1. 개요

국내 전력 에너지 소비률을 살펴 보면 산업용, 일반용, 주택용, 교육용 순으로 소비되고 있다. 교육용 전력 소비의 큰 비중을 차지 하는 대학의 경우 2000 년 130,058TOE 에서 매년 꾸준히 증가 하고 있으며 S 대학의 경우는 연간 183 억원을 전력요금으로 지출 하고 있다. 이에 각 대학에서는 그린캠퍼스, 신재생 에너지, 마이크로 그리드 구축 등을 통해 전력 사용량을 줄이기 위해 노력 하고 있다. 건물내 에너지 소비원은 공조설비, 조명, 사무 기기 순으로 대학교내 공조 설비인 시스템 에어컨의 효율적 운영을 통해 에너지 절감을 유도 할 수 있다. 하지만 대학교 강의실 특성상 학생 자율에 의한 제어나 중앙시스템의 일괄제어로 인하여 공강시간에도 가동되어 에너지가 낭비 되고 있는 실정 이다. 이에 본 논문에서는 시스템에어컨의 온도센서와 운영데이터를 이용하여 강의실내 재실유무를 파악하고 능동적으로 스케줄을 생성/제어할 수 있는 열 모델 기반 제어 방안을 제안 하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 1 장의 개요에 이어 2 장에서는 제안 시스템의 구성에 대하여 기술하고 3 장에서는 기계 학습 방식을 이용한 제안 아이디어의 동작 방식에 대하여 설명 하였다. 4 장에서는 실증 사이트 데이터를 이용하여 성능평가하고 5 장을 통해 결론을 맺었다.

## 2. 시스템 구성

시스템 에어컨의 운영데이터 수집을 위하여 [그림 1]와같은 시스템을 국내 3 개 대학교 142 개 빌딩에 구성 하였다.

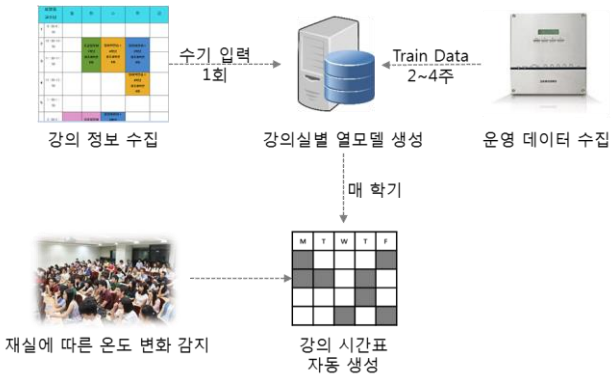



[ 그림 1. 운영 데이터 수집 시스템 구성 ]

각 강의실에는 1 개 이상의 실내기가 설치 되어 있으며 각 실내기는 실외기에 연결이 된다. 1 개 이상의 실외기는 운영데이터를 주기적으로 DMS(Data Management Server)에 전송한다. 데이터 저장 및 분석을 위해 캠퍼스 외부에 별도의 서버(BEMS)를 구축 하였으며 매 1 분 간격으로 DMS 의 데이터를 수집 하여 저장한다.

## 3. 제안 아이디어

강의실 특성상 그룹 단위의 재실이 이루어 지고 일정한 입실 패턴을 보이므로 재실 시 온도 변화와 이에 따른 운영데이터를 분석하여 강의시간표 자동 생성 및 스케줄링이 가능하다.




[그림 2. 열모델 학습 및 강의 시간표 자동 생성]

- 각 강의실 별 열 모델 생성을 위해 최초 1 회 강의 시간표 정보를 입력한다.
- 모델 생성을 위한 Train Data 로 최소 2 주 이상의 운영 데이터를 입력한다.
- 생성된 열 모델은 매 학기 반복 활용이 가능하며, 열모델, 실내온도, 운영데이터를 활용하여 강의 시간표를 생성하여 자동제어를 실시 한다.

## 4. 성능 평가

제안 방식의 성능평가를 위하여 강원대학교 일문학과의 강의 시간표와 운영 데이터를 활용하였다. 검증을 위해서 다중 모델 분석 툴인 Weka 를 활용 하였다[1]. 평가 결과는 <표 1>과 같다.

**<표 1> 성능평가**

| 알고리즘 | ZeroR (Baseline) | RandomForest (오전,오후) | RandomForest (오전) |
|---|---|---|---|
| 정확도 | 49.86% | 65.0% | 86.0% |

ZeroR 을 이용하여 Baseline 49.86%의 정확도를 추출하였으며 Weka 를 이용하여 4 종의 알고리즘 RandomForest, Neural Network, NavieBaye, Baysian Logistic Regression 에 대한 평가를 진행 하였다 [2][3][4][5]. 평가 결과 RandomForest 가 오전/오후에 대한 예측 정확도 65%, 오전에 대한 예측 정확도 86%로 가장 높은 결과를 보였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 강의실 재실자의 변화에 따른 열변화와 시스템에어컨의 운영데이터를 분석하여 강의실 별 열 모델을 생성하고 이를 활용하여 강의시간표를 자동 생성 및 시스템 에어컨을 제어(Scheduling) 하는 방안을 제안 하였다. 제안 방안은 국내 대학교의 실 데이터를 활용하여 성능평가 하였으며 평가 결과 실내 온도 차이가 큰 오전 시간에는 86%의 정확도를 보였다. 향후 지역 및 외기 온도에 따른 정확도 변화에 따른 연구를 진행할 예정이다.

## 6. 참고 문헌

[1] Hall, Mark, et al. "The WEKA data mining software: an update." ACM SIGKDD explorations newsletter 11.1 (2009): 10-18.
[2] Liaw, Andy, and Matthew Wiener. "Classification and regression by randomForest." R news 2.3 (2002): 18-22.
[3] Krogh, Anders, and Jesper Vedelsby. "Neural network ensembles, cross validation, and active learning." Advances in neural information processing systems 7 (1995): 231-238.
[4] Snehal, Kore, et al. "Automatic Categorization of Android Applications Using Bayesian Networks."
[5] Christensen, Ronald. Log-linear models and logistic regression. Springer Science & Business Media, 2006.

# SmartX IoT-Cloud 서비스를 위한 DevOps 자동화

배정주°, 한정수, 김종원

광주과학기술원 정보통신공학부

# DevOps Automation for SmartX IoT-Cloud Service

Jeongju Bae°, JungSu Han, JongWon Kim

School of information and communications, Gwangju Institute of Science and Technology

{bjj, jshan, jongwon}@nm.gist.ac.kr

## 요 약

개발자와 운영자의 긴밀한 협력을 강조하는 새로운 방법론인 DevOps(개발운영병행체제)의 중요한 목표 중 하나는 반복적인 작업을 자동화하여 효율을 증대시키는 것이다. 본 논문에서는 IoT 와 Cloud 를 지능적으로 연계하는 SmartX IoT-Cloud 서비스들을 위한 개발과 운영을 대상으로 DevOps 기반의 자동화된 소프트웨어 통합/배포(Continuous Integration/Delivery)에 대해서 소개한다.

## 1. 서론

최근 IoT 와 Cloud 의 결합이 점점 부상하면서 IoT-Cloud 서비스들에 관련한 연구개발이 증가하여 당면한 서비스 실증 문제들에 효과적으로 대응하도록 지원하고 있다 [1]. 하지만 IoT-Cloud 에 기반한 서비스 실증은 자체로 가진 가능성만큼이나 해결해야 할 숙제들이 다수 존재한다. 특히 지능화된 IoT-Cloud 서비스들의 대표적인 특징인 대량의 노드들을 대상환경에 맞추어 적응적으로 지원하는 확장성은 서비스들의 관리를 복잡하게 만들 수 있다. 예를 들어 개발한 소프트웨어를 대량의 노드들에 수작업으로 배포하고 설정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 나아가 Intel x86 으로 구성된 Cloud 대응 및 ARM 으로 구성된 IoT 대응 자원의 혼합은 소프트웨어를 통합관리하는 것을 어렵게 만든다.

따라서 상기한 확장성 측면의 어려움을 해소하면서, 서비스를 지속적으로 개선하고 배포할 수 있는 방법론이 요구된다. 이를 위해 개발자와 운영자 사이의 긴밀한 협력을 통한 자동화를 강조하는 DevOps 방법론이 부상하고 있다 [2]. 현재 DevOps 방법론의 적용 사례들이 다양하게 나오고 있지만, 본 논문에서 주목하는 IoT 와 Cloud 를 결합한 IoT-Cloud 서비스에 맞춰진 적용 사례는 아직까지도 부족한 상태이다. 본 논문에서는 이에 주목하여 IoT-Cloud 서비스를 실증하는 공용개발환경인 SmartX IoT-Cloud Playground 을 활용하여 선택된 IoT-Cloud 서비스에 대한 DevOps 자동화를 검토하고자 한다.

## 2. DevOps 방법론과 지속적인 통합/배포

DevOps 방법론은 소프트웨어 중심의 IoT-Cloud 서비스 개발/운영에 대한 계획부터 실증까지의 전반에 걸쳐 개발자들과 운영자들이 긴밀하게 협력하는 체제를 일컫는다. 또한 자동화를 최우선적으로 반영함으로써 소프트웨어 혹은 자원집합 인프라의 변화에 효율적으로 대응하도록 한다.

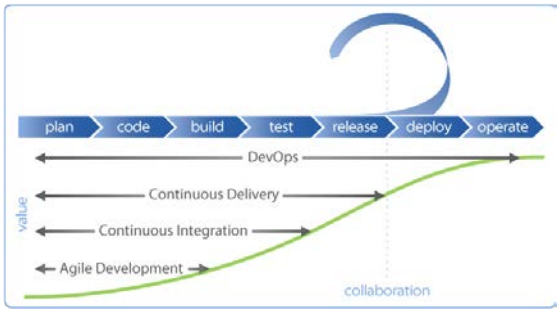



**그림 1. DevOps 자동화 및 관련 절차들.**

DevOps 기반한 IoT-Cloud 서비스 개발/운영은 그림 1 과 같이 소프트웨어 중심의 지속적인 통합과 배포 과정을 포함한다. 통합/배포 과정들은 서비스 실증을 위한 소프트웨어의 계획, 코딩, 빌드, 테스트, 그리고 배포 등의 순서로 이루어진다. 여기에서 코딩, 빌드, 테스트, 그리고 배포의 과정은 반복이 많으므로 자동화를 통해 생산성을 높인다. 즉 개발자와 운영자의 통합적인 협력을 통해 반복되는 과정들을 개선해야 한다. 이를 통해 꾸준하고 빠르게 서비스를 진화시키게 되어, 예상치 못한 변화에도 효율적으로 대응하는 능력을 갖추도록 지원한다.

한편 그림 2 는 IoT-Cloud 테스트베드인 SmartX IoT-Cloud Playground 에서의 자동화된 통합과 배포를 묘사한다. 먼저 SmartX IoT-Cloud Playground 는 13 대의 Intel NUC, 39 대의 Raspberry Pi2 와 OpenStack Cloud 로 구성되어있는 실증형 테스트베드(공용개발환경)이다. 이때 구동되는 IoT-Cloud 서비스에 대한 지속적인 소프트웨어 통합과 배포는 Jenkins 를 중심으로 이루어진다. 해당 과정은 개발자가 소스 코드

를 Git 서버에 commit 하는 것으로 시작되며, Jenkins 서버는 코드를 가져와 작성된 스크립트에 따라 자동으로 빌드하고 배포하게 된다 [3].

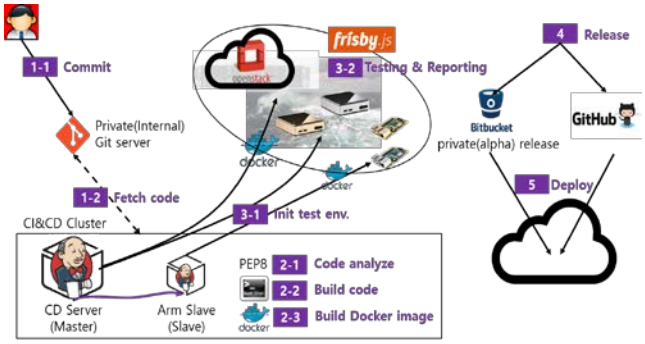



**그림 2. IoT-Cloud 서비스를 위한 통합/배포 자동화.**

## 3. CI/CD 에 따른 서비스 배치 자동화

DevOps 기반의 자동화를 통한 효율적인 IoT-Cloud 서비스 확충을 위해서는 통합/배포 환경뿐 아니라 서비스들의 배치와 운영의 자동화가 필요하다. 본 논문에서는 IoT-Cloud 서비스를 SmartX-mini Playground 에서 효과적으로 다룰 수 있도록 다음의 3 가지에 주목한다.

첫째로 관제의 중앙화를 통해 대규모 노드들에서의 서비스를 효율적으로 제어한다. 둘째로 각종 서비스들이 연계되기 때문에 이들을 효율적으로 배치하고 엮어내는 방법이 필요하다. 마지막으로 자동화 그 자체를 위한 과정을 손쉽게 진행해야 한다. 이에 대한 내용은 아래와 같다.

1. 중앙집중된 IoT-Cloud 서비스에 대한 관제: 여러 OS(운영체제)가 혼합된 IoT-Cloud 대상환경에서의 일관된 구동을 위해 Docker Container 를 활용한다. Docker 는 구동에 필요한 환경을 감싸서 배포하는 대표적인 Container 도구이다[4]. 호스트 OS 의 커널을 활용하여 오버헤드가 적은 가상화를 제공하여 OS 에 따른 종속성을 상당부분 해결한다. 또한 Docker Machine 은 REST API 를 사용하지 않아도 원격지에 소재한 Docker Container 를 관제하는 기능이 있어, 중앙화된 제어에 용이하다. 마지막으로 Docker 사설저장소(private registry)를 사용하여 중앙에서 Docker 이미지들을 관리할 수 있다. 이를 통해 Intel x86 용과 ARM 용 Docker 이미지를 연결시켜 효율적인 IoT-Cloud 를 위한 서비스들의 제공이 가능하다.
2. 효율적인 서비스들의 배치 및 설정: 다수의 서비스들을 배치하고 제어하는 것은 대단히 비효율적이다. 다행히 Docker Compose 는 이를 손쉽게 할 수 있도록 도와준다. 이 도구는 여러 조합으로 유형화된 서비스들의 배치기능을 포함한다. 수명주기(lifecycle) 관리로부터 테스트베드에서 프로덕션 환경으로의 전환, 반복적인 시험/실증까지 쉽고 빠르게 할 수 있도록 한다.
3. 통합 도구들을 활용한 서비스 배치의 자동화: 통합/배포를 위해 사용하였던 Jenkins 는 자동화 도구를 통합하여 쉽게 사용하도록 지원한다. 즉, 전술했던 Docker Machine/Compose 를 Jenkins 에서 자동으로 사용하는 스크립트의 작성이 필요하다. 또한 테스트를 위한 스크립트를 Jenkins 에 대응하여 자동화 수준을 향상시킬 수 있다. Jenkins 클러스터는 Intel x86 과 ARM 머신들을 혼용하여 구성할 수 있고, 하나의 Jenkins 클러스터에서 IoT-Cloud 서비스에 대한 CI/CD 와 서비스 배치 자동화를 모두 수행하도록 한다.

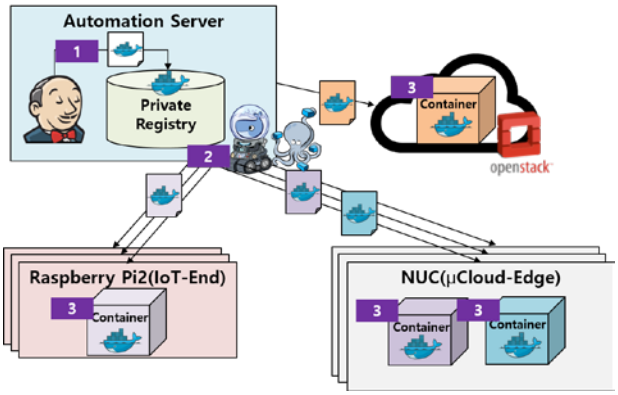



**그림 3. 자동화된 서비스의 배치 과정.**

전체적인 과정은 그림 3 에 묘사된 바와 같다. 자동화된 통합/배포를 마친 Jenkins 서버는 빌드 결과물인 Docker 이미지를 사설저장소에 저장한다. 이후 자동화 스크립트에 따라 Docker Machine/Compose 를 이용하여 IoT-End 와 μCloud-Edge, 그리고 Cloud-Core 에 부합하는 서비스들을 배포한다.

## 4. 결론

본 논문에서는 IoT-Cloud 서비스를 실증하는 통합 개발환경에서의 DevOps 적용이 필요한 이유를 설명한다. 또한 이를 위한 지속적인 통합과 배포, 그리고 서비스 배치 자동화도 함께 다룬다.

## 감사의 말

본 논문은 2015 년 미래창조과학부의 재원으로 SW 융합기술고도화(S0170-15-1071) 사업과 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)

## 참고 문헌

[1] A. R. Biswas and R. Giaffreda, “IoT and Cloud Convergence: Opportunities and Challenges,” in *Proc. IEEE World Forum on Internet of Things* (WF-IoT), 2014.

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/DevOps

[3] Jeongju Bae and JongWon Kim, “An experimental Continuous Delivery framework for SmartX-mini IoT-Cloud Playground,” in *Proc. IEEE ICOIN*, Jan. 2016.

[4] https://www.docker.com/.

# 스마트 깔창을 이용한 걸음걸이 패턴분석

윤설준° , 윤석현
단국대학교 전자전기공학과
sjyoon617@gmail.com

## 1. 서론

최근 스마트 헬스케어 부분의 웨어러블 디바이스가 많이 개발되고 있으면서 족적 데이터 즉 걸음걸이 패턴을 분석하고 연구하는 것이 새로운 이슈로 되고 있다. 사람마다 지문이 서로 다르듯이 걸음걸이 패턴 또한 각 사람마다의 특징이 있어 서로 다르다. 다른 말로 하면 걸음걸이도 하나의 생체정보가 되여 그것으로 인한 개인식별이 어느 정도 가능하다는 것이다.

걸음걸이에 의한 개인식별 요소로는 개인보폭, 걸음당 걸리는 시간, 속도, 좌우 균형 감, 발바닥의 닿는 부위, 특정 부위의 접촉시간과 압력의 세기 등이 있는데 본 논문은 이런 데이터들을 스마트 깔창을 통해 수집하고 분석하여 Matlab 을 이용한 패턴인식 및 기계학습 과정을 통하여 걸음걸이 패턴을 인식하고 그 성능을 평가한다.

## 2. 시스템 모델

본 논문에서는 사용한 깔창은 앞,뒤꿈치에 8 개의 압력감지센서와 3 축 가속도 센서가 다음과 같이 내장 되여 있다.

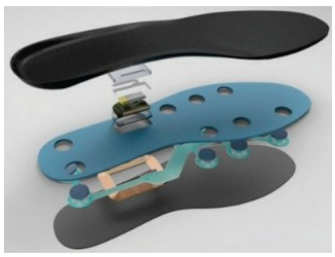


그림 1. 깔창의 압력센서와 가속도 센서

## 3. 데이터 처리과정

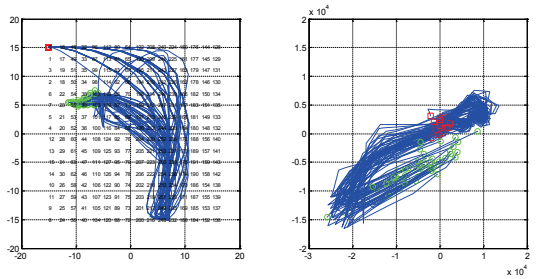


그림 2. 압력 패턴(왼쪽) & 가속도 패턴(오른쪽)

8 개의 압력센서를 통해 입력 받은 값을 통신 변조방식인 256 QAM gray mapping 방식을 이용하고 일련의 과정을 통해 그림 2 와 같은 smooth 한 패턴을 만들어 낸다. 패턴을 인식하는 방법은 여러 가지가 있는데 본 논문에서는 SVM(Support Vector Machine) 분류 방식을 적용하였고 multi-class SVM 의 여러 가지 방법 중 one-against-all 방법으로 각 사람의 패턴을 서로 분류하였다. [1]

분류 시 특징을 추출하는 방법으로는 그래프를 이미지로 변환하고 흑백 변환, 이진화, resize 하여 픽셀 값의 선형변환 값에 의한 합의 분포를 적용하였다.

## 4. 패턴분석 결과

| 유형 | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 분류 율 | 80% | 80% | 70% | 0% |

표 1. 개인식별 결과

결과적으로 one-against-all multi -class SVM 방법은 표 1 에서와 같이 대부분은 좋은 결과를 보이지만 " 유형 D"와 같이 0% 분류 율을 가지는 음영부분이 있음을 보여준다. 이 문제는 보폭 시간이나 가속도 패턴 등과 같은 개인식별 요소 등을 추가 시켜 분류하면 훨씬 좋아질 것으로 보인다.

향후 계획으로는 보폭시간, 가속도 등 개인식별 요소들을 패턴인식 데이터로 추가 시키는 것, 특징 추출 시 시간 관계가 존재하는 순차 데이터를 추가 시키는 것, multi-class SVM 의 다른 방법을 적용해 보는 것 등과 같은 성능을 추가시키는 방면의 연구와 치매 등 환자의 패턴을 분석하고 의료적인 방면과 결부시키는 연구를 진행할 예정이다.

## Acknowledge

본 연구는 미래창조과학 부 및 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2015-R0992-15-1012)

## 6. 참고 문헌

[1] J.Manikandan and B.Vekantaramani, “Design of a modified one-against-all SVM classifier” . in San Antonio TX of IEEE ICSMC 2009, pp. 1869-1874, Oct. 2009.

# 고령자 주거 설계를 위한 건축 및 IT 기술의 융합방식에 대한 연구

배홍민°, 마성훈, 김병서

홍익대학교

# Research on Converging IT and Architectural Design Techniques for Design of Elderly Housing

Hong-Min Bae°, Sung-Hoon Mah, Byung-Seo Kim

Hongik University

hminbae@naver.com, akgns0110@naver.com, jsnbs@hongik.ac.kr

요 약

한국의 고령화가 급속하게 진행됨에 따라 고령자의 삶의 질을 향상시키기 위한 필요성이 증가하고 있으며, 이에 따라 건축 설계방식들도 고령자의 주거 환경 향상 및 행태 변화에 대응하기 위한 모듈러 공법으로 전화되어가고 있으며 고령자들을 위한 다양한 IT 시스템들도 제안되어 오고 있다. 본 논문에서는 앞서 언급한 고령자를 위한 주거설계 기법과 IT 기술들의 배타적인 발전에서 벗어나 건축 설계 초기부터 IT 기술과의 융합적 건축 설계를 하기 위한 방법론에 대하여 논하며, 구체적으로 고령자 행동 및 주거 IT 서비스 계획 요소 분석과 모듈러 주거 공법에서 IT 서비스의 융합의 고려사항들에 대하여 연구하였다.

## 1. 서론

고령인구의 증가와 초 고령 사회로의 진입으로 고령자의 삶의 질 향상과 편안한 주거환경을 지원할 수 있는 기술의 필요성이 증가 되고 있다. 이에 고령자의 행태 변화를 반영할 수 있는 주거 설계 기법이나 스마트 홈, u-Heath 등 IT 서비스를 주거환경에 접목한 연구들이 진행되고 있다[1].

그 중 건축설계 기법인 모듈러 공법은 집단으로 생활하는 고령자들이나, 몸의 기능저하로 인한 생활양식의 변화에 대처가 쉽기 때문에 고령자를 위한 건축으로 이슈화 되고 있다[2].

따라서 본 연구는 모듈러 공법을 통한 고령자의 주택 설계 시에 맞춤형 IT 서비스를 사전에 파악하고 공장 제작 시에 함께 적용 할 수 있도록 하는 기초자료를 제공한다. 이를 위해 고령자의 행동을 분석하고 유형을 나누고, 고령자 주거 서비스 우선순위를 도출한다.

## 2. 고령자의 행동 및 IT 서비스 요소 분석

고령자의 유형을 분류할 때 특히 신체적 기능의 상태는 가정에서 독립적으로 활동할 수 있는지에 여부를 결정하는 주요 요인이다. 이와 같이 신체적 기능 상태를 평가하는 방법으로는 신체 기능상태의 장애 유무 및 그 정도를 측정해야 한다[3].

신체 기능 상태의 따른 고령자의 유형을 분류하기 위해 표 1 과 같은 기본적인 일상생활 활동(K-ADL)과 도구적 일상생활 활동(K-IADL)을 평가하여 다른 사람의 도움이 필요한지를 판단하고 기능 상태를 평가 할 수 있다[4].

**표 1신체 기능 상태에 따른 고령자 유형 평가 항목**

| 영역 | 조사항목 |
|---|---|
| 한국형 일상생활 동작수행능력 | ◦ 식사 ◦ 화장실 이용 ◦ 이동하기 ◦ 옷 입기 ◦ 세수하기 ◦ 목욕하기 ◦ 대소변 조절 |
| 한국형 도구적 일상생활 동작수행능력 | ◦ 몸단장 ◦ 집안일 ◦ 물건구매 ◦ 금전관리 ◦ 식사준비 ◦ 전화사용 ◦ 빨래 ◦ 약 챙겨먹기 ◦ 근거리 외출 ◦ 교통수단 이용 |

이 두 가지 도구를 활용하여 신체적 자립 수준의 활동 정도를 측정할 수 있다. 신체적 자립 수준의 활동 정도를 측정하여 고령자의 유형을 분류한 것과 같이 IT 서비스에서도 고령자의 유형을 완전자립, 부분의존, 완전의존의 세 가지로 분류가 가능하다. 이를 기반으로 주거 설계 측면에서 IT 서비스 요소들을 좀 더 효율적으로 접목시키기 위해서 고령자 유형별 주거공간의 성격들에 맞는 IT 서비스 요소들을 표 2 와 같이 분류하여 작성하였다.

## 3. 모듈러 주거 설계에서 IT 요소의 융합

**표 2 유형에 따른 IT 서비스의 실제 시스템 유형 분류**

| IT서비스의 분류화 작업 | |
|---|---|
| 안전 | 화면을 통하여 집의 침입을 감시할 수 있는 시스템 |
| | 화재, 가스 누출 감지 시스템 |
| | 사용자의 위치를 파악하여 보호자에게 전송 |
| | 낙상이 일어났을 때의 감지 시스템(영상) |
| | 낙상이 일어났을 때의 감지 시스템(기기를 통해) |
| 편의 | 사용자의 위치를 파악 사용자가 없는 곳의 전력을 제어 |
| | 주거환경 밖에서 집안의 서비스를 파악, 제어할 수 있는 시스템 |
| | 운동 서비스를 원격으로 추천해주는 시스템 |
| | 집안의 모든 시스템을 원격으로 제어 해주는 시스템 |
| | 욕실의 온도 및 세척 자동 서비스 시스템 |
| 건강 | 체온, 심박수, 혈압등을 간단히 검진할 수 있는 기기들을 집에 상시 설치하여 건강을 체크 할 수 있는 시스템 |
| | 의복형 생체신호 모니터링 시스템 |
| | 자신이 직접 데이터를 입력하여 서비스를 받을 수 있는 시스템 |
| | 생체 신호를 파악하여 집안의 온도 조절시스템 |
| 사회 | 고령자들을 위한 커뮤니티 시스템 |
| | 고령자를 위한 유용한 서비스 제공 시스템 |

모듈러 공법의 가장 큰 장점은 해체 및 재사용이 가능한 점과 빠른 공사시간을 들 수 있다. 모듈러 건축은 공장에서 오류 없이 공정이 되고 현장에서는 조립하는 과정만이 있기 때문에 BIM(Building Information Modeling)을 통하여 설계를 하는 연구가 진행이 되었다[5].

시공시에 IT 서비스를 융합하는 방법으로는 모듈러 주거 가변적 분석요소에서 IT 서비스를 고려하여 설계에 들어가야 한다.

BIM 설계를 위해 사용하는 프로그램은 Revit 을 사용하였으며, Revit 프로그램에서는 라이브러리를 패밀리라고 정의하고 있고 여러 가지 기호에 맞는 패밀리를 추가할 수 있도록 구성되어 있다.

그림 1 에서 실질적으로 BIM 을 사용한 주거환경 3D 모델에 추가된 센서 패밀리를 이용하여 위치 센서를 설치한 예와 그 센서의 속성을 보이고 있다. 이와 같은 방법을 통하여 건축설계의 처음 단계부터 IT 시스템의 속성을 고려한 설계가 가능하게 되고 이를 통하여 설계부터 시공까지의 비효율적인 과정이 다소 해결될 것이다.

**그림 1 BIM 기반의 3D 주거 모델에 위치센서를 접목**

## 4. 결론

본 연구는 고령자를 위한 스마트 홈에서의 IT 서비스를 분류함으로써 모듈러 주거 설계 기법 중 설계 단계에서 IT 서비스를 고려함으로 고령자 맞춤형 서비스를 확실하게 적용 시킬 수 있게 되었다. 또한 가변적인 모듈러 주거 설계 공법에서 IT 서비스의 분류화로 인해 고령자의 편의를 제공하였다. 향후 고령자의 실제 설문조사를 통하여 고령자 유형에 따른 IT 서비스를 좀 더 세분화하여 고령자에게 제공할 수 있도록 해야 할 것이다.

## 5. 참고 문헌

[1] Hyun Soo, Lee. "A Study on Developing a Smart Home Service Based on The Behavior Patterns of the Elderly." The Journal of Architectural Institute of Korea 28.5 (2012): 159-168.

[2] Chan-Kyoo, Koh"A Study on the Modular Housing Design Methods Based on the Behavior Analysis for the Elderly" T

[3] Kim, Jeong-won, Myung-hwa Oh, and Hyun Chung. "Disabled People of activities of daily living and quality of life relationship." The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences 8.1 (2013): 173-180.

[4] Sung-min, Lim. "A study on the elderly-friendly smart home space planning based on healthcare - focused on user preference" Proceedings of the 2014 Architectural Institute of Korea Spring Conference 34.2 (2014): 113-114.

[5]Yun, Seok-Heon. "Productivity and Quality Improvement of Modular Construction Using BIM." ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA 58.5 (2014): 36-41.

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업과(No. 2014H1C1A1066943)과 2014 년도 미래창조과학부의 재원으로 과학벨트기능지구지원사업(2015K000270)등의 지원을 받아 수행된 연구임

이 글은 JCCI 논문 제출 양식에 따라서 작성되었으니 참조하십시오

# 다중 셀 MU-MIMO 시스템에서의 불완전 채널 상태 정보를 고려한 SINR 분석

*이재원°, *최용인, **임민중, *강충구
*고려대학교 전기전자공학과, **동국대학교 정보통신공학과

# SINR analysis considering imperfect CSIT for multi-cell MU-MIMO

*Jae Won Lee°, *Yong In Choi, **Min Joong Rim, *Chung G. Kang
*Korea University, **Dongguk University
{lijrew, only1korea, ccgkang}@korea.ac.kr

요 약

다중 셀 다중 사용자 MIMO 시스템에서 제한된 피드백을 가정할 때, 단말의 피드백 정보와 채널 상태 (channel quality indicator: CQI)의 불일치를 유발하는 channel direction information (CDI)의 양자화 오류 및 피드백 지연, 그리고 셀간 협력이 없는 상황에서 셀간 간섭으로 구성된 불완전한 채널 상태 정보(imperfect CSIT)의 통계적 특성을 이용하여 수신 신호대 간섭 (SINR)의 조건부 CDF 를 유도한다.

## 1. 서론

다중 사용자 MIMO 는 단일 사용자 MIMO 에서 다중화 이득을 얻기 위해 많은 수의 수신 안테나가 필요했지만, 한 개의 수신안테나만을 가진 여러 사용자들을 동시에 지원할 수 있는 공간적인 자유도를 확보할 수 있다[1]. 최근에 사용할 수 있는 안테나의 수가 획기적으로 늘면서 MU-MIMO 기법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이러한 massive MIMO 시스템에서는 피드백 오버헤드가 가중되면서 제한적인 피드백이 불가피하고, 이에 따른 불완전한 채널 상태 정보(imperfect CSIT)로 인해 발생하는 시스템 성능의 열화에 대한 연구가 많이 이루어졌다 [2-4]. 본 논문에서는 imperfect CSIT 가 유발하는 CQI 불일치 문제를 이해하기 위해, 단말이 피드백하는 정보와 imperfect CSIT 의 통계적 특성을 이용한 수신 신호대 간섭 (SINR)의 조건부 CDF 를 유도한다.

## 2. 시스템 모델

다중 셀 MU-MIMO 하향링크 채널에서, 분석의 편의를 위해 $M$ 개의 송신 안테나를 가진 2 개의 기지국 $C_0$ 과 $C_1$ 를 고려한다. 각 기지국에는 수신 안테나가 1 개인 $K$ 개의 단말이 있다고 가정한다. 기지국과 단말간 채널은 안테나간 상관관계가 없는 i.i.d 레일리 페이딩이고, 단말은 제한된 피드백 시스템에서 채널의 크기를 CQI 로, 피드백 비트 수 $B$ 에 따라 $2^B$ 크기로 구성된 unit norm vector 의 코드북 집합 중에서 단말의 채널 방향과 가장 가까운 코드북을 골라 CDI 로 피드백한다. 기지국 $C_i$ 에서의 스케줄링을 통해 선별된 단말들의 집합을 $\mathsf{S}_i$ 라고 할 때, $|\mathsf{S}_i| = s_i$ 개의 단말들에게 동일한 전력으로 전송한다 ($s_i \le \min(M, K)$, $i = 0,1$). 기지국 $C_i$ 가 MU-MIMO 를 위해 Zero-Forcing Beamforming (ZFBF)을 이용하여 $s_i$ 개의 빔포밍 벡터로 이루어진 pre-coding 행렬 $\mathbf{W}_i$ 을 이용하여 전송한다고 하자. 여기서, $\mathbf{W}_i$ 의 $k$ 번째 열에 해당하는 $\mathbf{w}_i^{(k)}$ 는 $k$ 번째 사용자의 pre-coding 벡터에 해당한다. 기지국 $C_i$ 과 임의의 $k$ 번째 단말 사이의 채널벡터를 $\mathbf{h}_i^{(k)} \in \mathbb{C}^{1\times N_t}$ 라고 할 때, $C_i$ 내에 있는 $K$ 개의 단말 중에서 스케줄링을 통해 선택된 $s_i$ 개의 단말들의 채널로 구성된 채널 행렬은 $\mathbf{H}_i = [\mathbf{h}_i^{(1)}, \mathbf{h}_i^{(2)}, \cdots, \mathbf{h}_i^{(s_i)}]$ 이 된다. 이 때, 각 벡터는 정규화되었다고 가정하며, ZFBF 을 위한 pre-coding 행렬은 $\mathbf{W}_i = \mathbf{H}_i^H (\mathbf{H}_i \mathbf{H}_i^H)^{-1}$ 로 주어진다. $\mathsf{S}_0$ 내에 있는 $k$ 번째 단말의 SINR $\gamma_0^{(k)}$ 은 아래와 같이 주어진다.

$$\gamma_0^{(k)} = \frac{\overbrace{\left|\mathbf{h}_0^{(k)}\mathbf{w}_0^{(k)}\right|^2}^{\gamma_s}}{\frac{s_0}{\overline{\gamma}} + \underbrace{\sum_{l\in\mathsf{S}_0\setminus k}\left|\mathbf{h}_0^{(k)}\mathbf{w}_0^{(l)}\right|^2}_{\gamma_{IUI}} + \underbrace{\sum_{m\in\mathsf{S}_1}\beta s_0 / s_1 \cdot \left|\mathbf{h}_1^{(k)}\mathbf{w}_1^{(m)}\right|^2}_{\gamma_{ICI}}} \quad (1)$$

(1)에서 $\overline{\gamma}$ 는 평균 SNR 이고, $\beta$ 는 단말 $k$ 가 $C_0$ 와 $C_1$ 로부터 겪는 reference signal received power (RSRP) 비율로서 주로 $\beta \in [0, 1)$ 인 상수 값을 가지며, 단말의 피드백을 통해 $C_0$ 가 이를 알고 있다고 가정한다. $C_0$ 와 단말 $k$ 간의 피드백 시점의 채널을 $\hat{\mathbf{h}}_i^{(k)}$ 이라고 하자. 단말과 기지국 사이의 채널은 first-order stationary Gauss-Markov process 를 따른다고 하면, 단말의 피드백 시점으로부터 지연시간 $D$ 이후의 채널은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{h}_i^{(k)} = \rho\hat{\mathbf{h}}_i^{(k)} + \sqrt{1-\rho^2}\mathbf{b}_i^{(k)} \quad (2)$$

(2)에서 $\mathbf{b}_i^{(k)} \sim \mathcal{CN}(0,1)$ 이며, $\rho \in [0,1]$ 는 시간축의 페이딩에 따른 상관 계수를 나타낸다. (2)에 따라 (1)의 $\gamma_s$ 와 $\gamma_{IUI}$ 을 각각 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$\begin{aligned}\gamma_s &\approx \rho^2\underbrace{\left|\hat{\mathbf{h}}_0^{(k)}\mathbf{w}_0^{(k)}\right|^2}_{\hat{\gamma}_s} + (1-\rho^2)\left|\mathbf{b}_0^{(k)}\mathbf{w}_0^{(k)}\right|^2 \\ \gamma_{IUI} &\approx \rho^2\underbrace{\sum_{l\in\mathsf{S}_0\setminus k}\left|\hat{\mathbf{h}}_0^{(k)}\mathbf{w}_0^{(l)}\right|^2}_{\hat{\gamma}_{IUI}} + (1-\rho^2)\left|\mathbf{b}_0^{(k)}\mathbf{w}_0^{(k)}\right|^2\end{aligned} \quad (3)$$

(3)에서 cross term 은 일반적으로 그 값이 작기 때문에 0 으로 근사화하였다. Perfect CSIT 와 달리 $\hat{\gamma}_{IUI}$ 은 단말이 CDI 양자화를 하여 피드백하면서 실제 채널

과 다른 오류가 발생하고, [4]에 의해 $\exp(2^{B/(M-1)})$ 분포를 갖고 (3)의 뒷부분처럼 피드백 지연 오류를 겪게 된다. 또한 스케줄링에 의해 매 시간마다 다른 $|\mathbf{S}_i|$ 와 pre-coding 행렬이 선택된다. 따라서 $\gamma_{ICI}$ 의 평균은 같지만, 분산은 변하기 때문에 셀간 협력적인 스케줄링이 없이 각 단말은 $\gamma_{ICI}$ 를 추정하기 어렵다.

## 3. 수신 SINR 의 조건부 CDF

단말 $k$ 의 피드백과 임의로 설정한 $s_1$ 에 의하여 기지국은 $\mathbf{Q}=\{\hat{\gamma}_s, s_0, s_1, \beta\}$ 의 정보를 가지게 된다. $\gamma_{IUI}$ 와 $\gamma_{ICI}$ 가 서로 독립이라고 가정할 때, $\gamma_{IUI}$ 와 $\gamma_{ICI}$ 는 Gamma-like 분포의 통계적 특성에 따라 분포 $\mathbf{\Gamma}\left(s_0-1, \rho^2 2^{-B/(M-1)}\right)$, $\mathbf{\Gamma}\left(s_0-1, \rho^2\right)$, $\mathbf{\Gamma}\left(s_1, 1-\rho^2\right)$ 의 합으로 표현되며, 그 분포는 [5]를 통해 구할 수 있다. 따라서 $\mathbf{Q}$ 가 주어졌을 때 (1)의 조건부 CDF 는 아래와 같이 구할 수 있으며, 그 유도과정은 지면 관계상 생략한다.

$$F_{\gamma_0^{(k)}|\mathbf{Q}}(x|\mathbf{Q}) = \alpha \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\eta-1} \frac{\delta_n e^{-\psi\lambda_1} (\psi\lambda_1)^m}{\Gamma(m+1)} \times \left\{ 1 - \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2} \right)^{\eta-m} \exp\left((\lambda_3-\psi)\lambda_2\right) \right\} \quad (4)$$

Gamma 분포의 shape parameter 와 scale parameter 를 각각 $\{\mu_j\}_{j=1}^3$ 와 $\{\kappa_j\}_{j=1}^3$ 이라고 할 때, $\kappa_1 = \min\{\kappa_j\}$, $\alpha = \prod_{j=1}^{3} \left(\kappa_1/\kappa_j\right)^{\mu_j}$, $\eta = n + \sum_{j=1}^{3} \mu_j$, $\varepsilon = s_0/\bar{\gamma}$, $\lambda_1 = 1/\kappa_1$, $\lambda_2 = x/(1-\rho^2)$, $\lambda_3 = \rho^2\hat{\gamma}_s/x - \varepsilon$, $\psi = \max(\lambda_3, 0)$, $\delta_0 = 1$, 그리고 $\delta_{n+1} = \frac{1}{n+1} \sum_{m=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{3} \left[ \mu_j \left( 1 - \frac{\kappa_1}{\kappa_j} \right)^m \right] \delta_{n+1-m}$ 이다. 즉, $\mathbf{Q}$ 가 주어지면 고유의 조건부 CDF 가 생성된다.

## 4. Numerical Results

실험에 앞서 $\rho = 0.99$ 로 설정하였고 $\hat{\gamma}_s$ 는 perfect CSIT 일 때 $M - s_0 + 1$ 의 평균을 가지며, [3]의 결과와 같이 $1 - 2^B \cdot beta(2^B, M/(M-1))$ 만큼 감쇄한다고 가정한다(여기서 $beta(\cdot,\cdot)$ 는 beta 함수임). 그림 1 은 $M=16$, $B=32$ 이고 $\bar{\gamma} = (10\text{dB}, 30\text{dB})$, 그리고 $\mathbf{Q}=\{\hat{\gamma}_s, 4, 4, (0.4, 0.9)\}$ 로 주어졌을 때, $\gamma_0^{(k)}$ 에 따른 조건부 CDF 이며, (3)에서 수행한 cross term 에 대한 근사화 오류로 인한 오차를 제외하고 (4)의 결과와 시뮬레이션 결과가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 또한 $\beta$ 가 증가하면 $\gamma_{ICI}$ 의 영향이 큰 셀간 간섭으로 제한된 구간으로 가면서 $\gamma_0^{(k)}$ 의 평균이 점점 작아지는 것을 확인할 수 있다. 그림 2 의 결과로 $M$ 이 많아지면 CDI 양자화 오류를 줄이기 위해

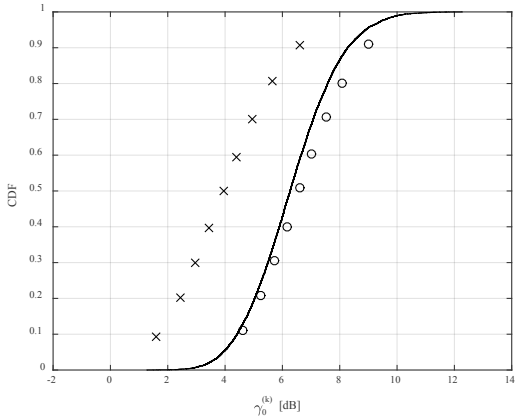



그림 1. Simulation results and approximations for different $\bar{\gamma}$ and $\beta$: $M=16$, $B=32$, $s_0=4$.

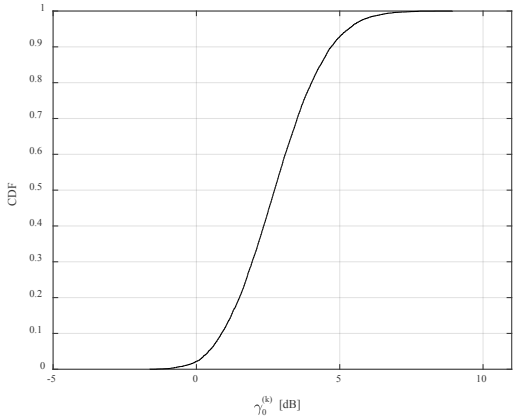



그림 2. Conditional CDF for different $B$, $M$, $s_1$: $s_0=4$, $\beta=0.5$ and $\bar{\gamma}=10\text{dB}$.

$B$ 를 증가시켜야 함을 알 수 있고, $s_1$ 이 감소하면서 $\gamma_{ICI}$ 의 영향으로 $\gamma_0^{(k)}$ 의 분산이 증가함을 확인할 수 있다. 즉, (4)의 결과는 $M$, $B$, $\mathbf{Q}$ 에 따라 $\gamma_0^{(k)}$ 의 분포를 가늠할 수 있기 때문에 추후 이를 이용한 imperfect CSIT 에서 CQI 를 추정할 수 있는 지표가 될 것이다.

**ACKNOWLEDGEMENT**

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음[B0194-15-1002, 한중 5G 초고주파 요소기술 공동연구 및 표준화 추진기반 국제협력]"

**REFERENCE**

[1] D. Gesbert, M. Kountouris, R. W. Heath Jr., C.-B. Chae, and T. Sälzer, "Shifting the MIMO paradigm," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no. 5, pp. 36–46, 2007.

[2] N. Jindal, "MIMO broadcast channels with finite-rate feedback," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 52, no. 11, pp. 5045–5060, Nov. 2006.

[3] C. K. Au-Yeung and D. J. Love, "A performance analysis framework for limited feedback beamforming in correlated fading," IEEE Commun. Lett., vol. 10, no. 5, pp. 344–346, May 2006.

[4] J. Zhang, R. W. Heath, Jr., M. Kountouris, and J. G. Andrews, "Mode switching for the MIMO broadcast channel based on delay and channel quantization," *EURASIP J. Adv. Signal Process.,* vol. 2009, 2009.

[5] P. G. Moschopoulos, "The distribution of the sum of independent gamma random variables," *Ann. Inst. Statist. Math. (Part A)*, vol. 37, pp. 541–544, 1985.

# OpenADR 기반의 실시간 수요반응 프로토콜 설계 및 구현

김세영°, 장병욱, 최진식*

한양대학교 일반대학원 컴퓨터소프트웨어학과, (*교신저자)

# Design and Implementation of Real time Demand Response Protocol Based on OpenADR

Sae-Young Kim°, Byung-Wook Jang, Jin Seek Choi*

Department of Computer Software, Hanyang University

heehouse1@gmail.com, jinseek@hanyang.ac.kr*

## 요 약

본 논문의 목적은 수요반응 표준 프로토콜인 OpenADR 을 기반으로 한 실시간 수요반응 Demand Response (DR) 처리를 위한 확장 형 DR Protocol 의 설계 및 구현에 있다. DR protocol 은 Virtual Top Node 와 Virtual End Node 사이에 전력 수요에 대한 스케줄링을 위한 DR 명령어를 교환하는 프로토콜이다. 본 논문은 밀리 세컨드 단위의 실시간 수요반응 요청과 해당 요청에 대해 검토를 거친 뒤 실시간으로 전력수요를 제어해줌으로써 보다 유연한 전력사용을 가능하게 하기 위한 실시간 DR 프로토콜을 제안한다.

## 1. 서론

최근 날로 치솟는 국제 유가와 함께, 지속적인 지구 온난화 추세로 인한 온실가스 문제가 대두되면서 에너지의 효율적인 사용에 관한 관심이 크게 고조되고 있다[1]. 체계적 에너지 관리를 위해 전력 수요가 공급을 초과하지 않도록 전력 망의 안정을 꾀하는 수요반응이라는 개념이 등장하였다. 수요 반응의 중요성에 대한 인식이 확대됨에 따라 지능적으로 수요 반응을 조절하는 방식이 활발히 연구되고 있다. 이러한 지능적 수요반응 시스템을 위하여 표준화 된 통신 프로토콜을 이용한 데이터의 송수신이 요구되고 있으며 현재 OpenADR Alliance 에서 지능화 된 수요반응 서비스에 대하여 Open Automated Demand Response (OpenADR)을 표준화하고 있다.

본 논문의 목적은 OpenADR 프로토콜을 기반으로 한 Virtual Top Node (VTN)과 Virtual End Node (VEN) 사이의 실시간 수요반응 프로토콜의 설계 및 구현에 있으며 기존의 VTN 이 VEN 에게 한정적인 시간 동안의 에너지 사용에 대한 정책을 내려주는 방식에 반해 여러 VEN 에게 VTN 이 가지고 있는 임계값에 대해 사용 가능한 전력을 실시간으로 요청 및 허가해줌으로써 보다 유연한 전력사용을 가능하게 한다.

## 2. 본론

### 2.1. 수요반응

스마트그리드에서 수요반응이란 소비자들의 최대 전기 사용량 차이를 완화시키고, 전기 공급과 수요의 균형을 맞추기 위하여 일시적으로 전기 사용량을 축소시키기 위해 소비자의 전력사용패턴 변화를 유도하는 기술을 말한다. 수요반응 제도는 소비자가 지불하는 전력 가격을 시간 별로 차등 적용하여 소비자가 이에 반응하여 전력 사용 패턴을 변화시키는 방식인 요금기반 수요반응과 전력 공급자 또는 전력 시스템 운영자의 의해 운영되는 전력 사용을 줄이게 하여 이에 대한 인센티브를 지급하는 인센티브기반 수요반응으로 나누어진다.

이러한 수요반응은 그림 1 에서 보이는 바와 같이 생산량 초과에 따른 최대 수요의 발생을 억제하고 피크 시간대의 부하를 보다 부하가 낮은 경 부하 시간대로 이전하며 경 부하 시간대의 수요를 증대하는 데에 그 목적이 있다.

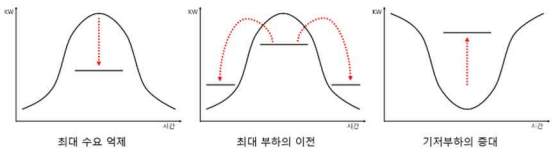



**그림 1 수요반응의 목적**

### 2.2. OpenADR

OpenADR 은 지능형 수요반응에 적용되는 표준 통신 프로토콜이다. 현재 OpenADR 은 1.0 을 거쳐서 2.0 버전까지 나온 상태이며 OpenADR 2.0 은 전송 및 보안 메커니즘을 포함하는 통신 데이터 모델로서 2 개의 노드, 즉 전기 서비스 제공자와 고객 사이의 정보 교환을 제공한다. 또한 DR 신호의 교환을 위하여 비트 구조를 명시하는 일부 통신 프로토콜과 달리 XML 및 IP 와 같은 기존 개방 표준을 사용한다. OpenADR 은 수요반응 이벤트를 제공하는 VTN 과 수요반응 이벤트에서 클라이언트 역할을 하는 VEN

으로 구성되어 있으며 그 수요반응 상호작용은 그림 2 와 같다.

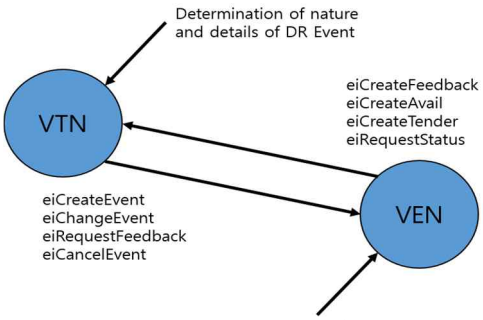



**그림 2 VTN, VEN 간 수용반응 상호작용**

## 2.3. 실시간 OpenADR protocol

본 연구에서 VTN 은 특정 임계 값을 가지고 여러 개의 VEN 에 대한 에너지 사용 이벤트를 관리하게 된다. 반면 본 논문은 VEN 의 수요에 대한 응답을 실시간으로 요청하고 이에 대한 허가를 통해 보다 유연한 수요관리를 제공함에 있다.

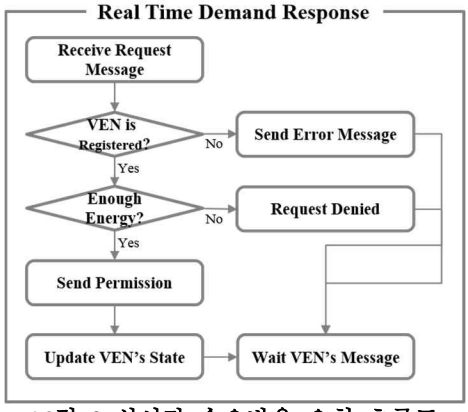



**그림 3 실시간 수요반응 요청 흐름도**

실시간 수요반응 요청에 대한 흐름도는 그림 3 과 같다. 초기에 VEN 은 각각 최저 값의 에너지 사용 허용치를 갖게 된다. 허용치를 넘는 에너지의 사용이 필요한 경우 VEN은 VTN에게 CreatedEvent 메시지를 이용하여 요청을 보내게 되고 VTN 은 해당 메시지에 대한 응답으로 허용 여부를 알려주게 된다. 현재 VTN 에 연결 된 모든 VEN 들의 총 에너지 사용량과 요청 된 에너지 사용량의 합이 VTN 의 임계 값을 넘지 않을 경우 해당 사용에 대한 허가의 표시로 Response Message 에 VEN 의 에너지 사용 허용치를 요청만큼 증가하여 보내주고 임계 값을 넘어갈 경우 거절의 표시로 Response Message 에 VEN 의 에너지 사용 허용치를 그대로 되돌려준다.

## 2.4. 실험 및 결과

본 연구의 실험을 위해 각 3 개의 VEN 을 하나의 VTN 에 연결하였다. VTN 은 1000 의 임계 값을 갖고 VEN 은 초기 요청치를 100 으로 그 후 10 초마다 50 씩 증가 된 에너지 사용 허용치를 요청하도록 하였고 각 실험마다 VEN 의 실행 순서 및 실행 간격을 달리하여 실험을 진행하였다.

실험 결과 그림 4 와 같이 각 VEN 의 에너지 사용 허용치가 달라지더라도 VTN 의 임계 값은 넘어가지 않음으로써 실시간으로 유연한 에너지 사용을 가능하게 하면서 정전이나 에너지 과소비를 방지할 수 있음을 확인하였다.

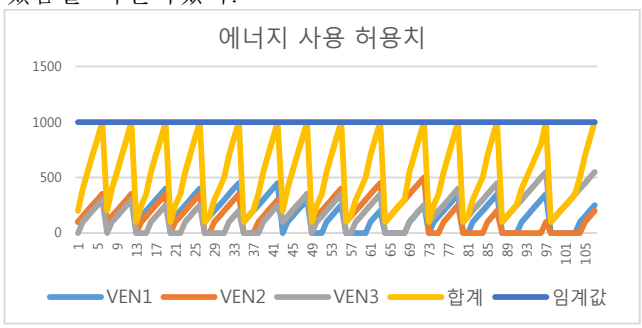



**그림 4 에너지 사용 허용치**

## 3. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 에너지 사용 효율 최적화를 위해 실시간으로 수요 반응에 대한 처리가 가능한 실시간 DR protocol 에 대해 제안하고 그 성능에 대해 분석하였다. 수요반응 프로토콜인 OpenADR 에 실시간으로 수요 반응 처리를 할 수 있도록 프로토콜을 추가하여 임계 값 이하로 에너지 사용량을 유지함을 통해 정전이나 에너지 과소비를 방지할 수 있으면서 실시간 처리를 통해 유연한 에너지 사용이 가능하였다.

단, 본 논문에서 제안한 시스템에서는 모든 VEN 의 에너지 사용량이 지정된 VTN 의 임계 값이 넘어갈 경우 더 이상 에너지를 사용할 수 없게 됨으로 보다 긴급한 상황이 발생했을 경우에도 에너지 사용이 불가하게 된다. 따라서 추 후에 우선순위에 따라 에너지 사용 허용치를 배분할 수 있도록 확장 및 수정이 필요할 것으로 보인다.

## 4. 참고문헌

[1] 김한주. (2009). 녹색성장 국가전략과 그린 IT 역할. *정보과학회지*, 27(11), 11-18.

[2] 장병욱, 델핀, 강성태, 김성일, 김세영, & 최진식. (2014). 빌딩 에너지 관리 시스템을 위한 스마트 그린 게이트웨이 프로토콜의 구현. *한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계) 2014*, 123-124.

[3] http://www.openadr.org/

[4] O. Alliance, "The openADR primer," Ed: Technical report, 2012.

## ACKNOWLEDGEMENT

Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by Ministry of Education, Science and Technology (H6121-2013-1298) supported this research

# 완전고화질 디지털 방송시스템에서의 부가데이터 전송방법

석진환°, 원충호°, 한찬호°

강원대학교 방송영상학과

# Ancillary Data Transmission for Full HD Broadcasting System

Jin-Hwan Seok°, Chung-Ho Won°, Chan-Ho Han°

Dept. of Broadcasting Media Engineering, Kangwon National University

chhan@kangwon.ac.kr

## 요 약

완전 고화질 디지털방송은 위성방송 및 지상파 등에서 서비스되고 있으며, 부가 데이터의 증가로 인하여 비디오 압축에 할당되는 비트가 줄어들어 비디오 화질이 저하되고 있다. 본 논문에서는 이러한 화질저하를 방지하기 위하여, 비디오 압축시 숨은영역(반드시 필요하지만 보이지 않는)에 부가데이터를 N-비트 블록영상으로 삽입하여 전송하는 방법을 제안하고 검증하였다. 제안방법은 비디오 압축에 필요한 비트율을 증가시킬 수 있으므로 보다 향상된 비디오 화질을 제공할 수 있다 또한 제안 방법은 디지털 방송표준에 부합(compatible)하기 때문에, 기존 방송시스템의 변경 없이 데이터 방송 및 영상정보 전송 등에 활용될 수 있다.

## 1. 완전 고화질 방송에서의 부가데이터

완전 고화질(Full HD) 텔레비전 방송은 위성방송 및 지상파 등에서 서비스되고 있으며, 프로그램안내(EPG) 및 자막방송(Closed Caption)과 같은 부가 데이터의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 부가 데이터에 할당되는 비트가 증가할수록 비디오 압축에 할당되는 비트가 줄어들어 비디오 화질이 저하된다.
따라서 기존 대역폭 내에서 추가적으로 데이터를 전달할 수 있는 방법을 개발하여, 부가 데이터를 전송함으로써, 비디오에 할당되는 비트율을 증가시키고 이에 따른 화질향상 방법을 제안한다.

## 2. 부가데이터 전송방법

디지털 방송에서 부가데이터의 증가는 압축된 비디오에 할당된 비트율의 감쇄를 다음 그림 1 과 같이 초래하였다.

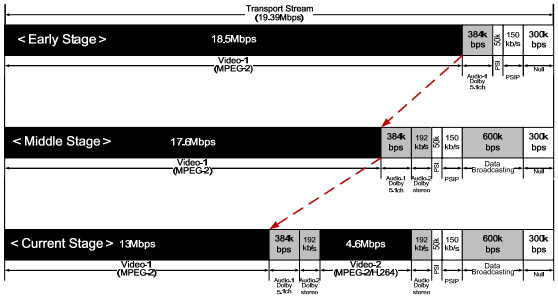



그림 1. 완전 고화질 방송에서의 데이터 할당

이러한 비디오 압축을 위한 비트할당의 감쇄는 비디오 화질에 열화를 초래할 수 밖에 없는 실정이다.

완전 고화질 영상 압축을 위해서 반드시 필요한 영역인 Border Extend 를 활용하여 추가적으로 데이터를 전송하는 방법이다.

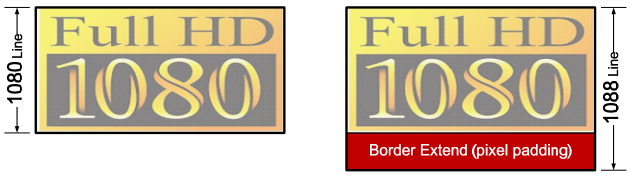



그림 2. 완전 고화질 방송에서의 비디오 크기

완전 고화질 영상의 경우 숨은영역인 DEHA 영역에서 8 라인의 공백이 발생하는데, 이 부분에 데이터를 영상으로 변환하여 압축하고 전송한다. 이 때, 영상의 화질을 저하시키지 않기 위하여 1 바이트의 데이터는 모든 픽셀이 동일한 값을 가지는 1 블록 영상으로 변환한다.

따라서 1920/8=240 바이트의 데이터를 매 프래임 전송할 수 있다. 이론적인 총 데이터 전송율은

240x30=7200 bytes/sec=57.6 Kbit/sec (1)

의 데이터를 전송할 수 있다. 그러나 MPEG-2 비디오 압축과정에서 발생하는 움직임 보상으로 인하여 데이터의 전송은 완벽하지 못하다. 이를 보완하기 위하여 N-비트 데이터 전송방식을 다음 그림 3 과

같이 제안한다.

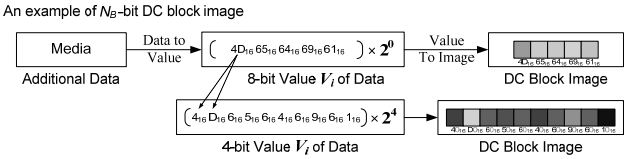



그림 3. 제안된 부가데이터 전송 방법

MPEG-2 움직임 추정으로 인한 비디오 압축에 있어서, 4-비트 데이터 전송방식은 8-비트 데이터 전송방식에 비하여 오류 없이 보다 안정적으로 보낼 수 있다.

## 3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안된 방법은 ITU 의 비디오 화질 검증을 위한 완전 고화질 비디오 소스를 사용하여 그 효과를 검증하였다. 다음 그림 4 는 제안된 부가데이터가 삽입된 영상이다.

그림 4. 제안된 방식의 부가데이터가 삽입된 영상

그림 4 에서 제안 방식으로 삽입된 부가데이터는 기존의 일반적인 수신기로는 화면에 나타나지 않는다. 제안방식이 MPEG-2 비디오 압축과정에서 발생하는 움직임 보상으로 인한 성능을 평가에서, PRBS (Pseudo-random Bit Sequence)를 사용하여 N-비트 부가데이터 전송 오류를 검증한 결과를 다음 그림 5 에 나타내었다.

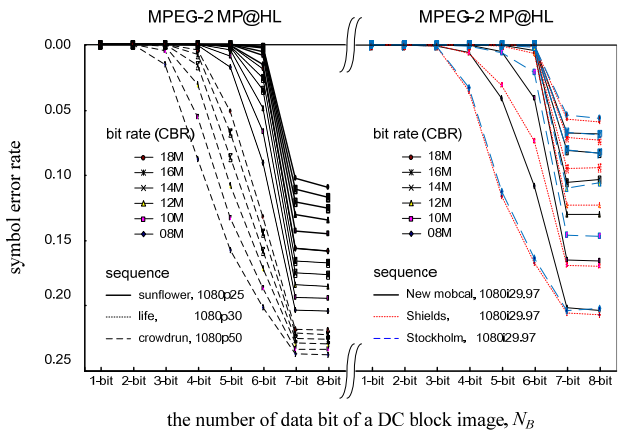



그림 5. 제안 방식의 데이터 전송오류 검증 결과

보편적인 완전 고화질 비디오의 경우, 4-비트/Block 를 오류 없이 전송할 수 있음을 그림 5 에서 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 완전 고화질 영상의 숨은 영역을 사용하여 화질열화 없이 데이터를 추가 전송할 수 있는 방법을 제안하고 실험을 통하여 검증하였다.
이론적으로 8-비트 부가 데이터(57.6kbps)를 전송할 수 있었으나, 실제적으로는 MPEG-2 움직임 추정특성으로 인하여 4-비트 부가데이터 (20kbps) 정도만 추가적으로 전송할 수 있는 것으로 검증되었다.
따라서, 완전 고화질 영상의 숨은 영역을 사용하여 데이터를 추가 전송함으로써 비디오 압축에 필요한 비트율을 증가시킬 수 있으므로 보다 향상된 비디오 화질을 제공할 수 있다. 또한 제안 방법은 디지털 방송표준에 부합(compatible)하기 때문에, 기존 방송시스템의 변경 없이 데이터 방송 및 영상정보 전송 등에 활용될 수 있다.

## 5. 참고 문헌

[1] Digital terrestrial television (2016) http://en.wikipedia.org/wiki
[2] M. Jacklin, P. MacAvock, and A. Oliphant: '*Facts about DVB-T*', the DVB Project Office, PCM110 03.03.99, 1998.
[3] R. Chernock, and M.A. Dolan: 'Metadata Carriage in Digital Television', *Broadcast Engineering Conf*. 57 215, 2003.
[4] Advanced Television Systems Committee standards (2016) http://en.wikipedia.org/wiki
[5] RECOMMENDATION, H. GENERIC CODING OF MOVING PICTURES AND ASSOCIATED AUDIO. 1994.

## Acknowledgements

본 논문은 2015 년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-201510116)

# 비콘 기반의 임산부 좌석시스템

박현진, 신아연°, 장유리, 전미리

한국성서대학교 컴퓨터소프트웨어학과

# Beacon-based Seat Systems for Pregnant Woman

Hyeon-Jin Park, Ah-Yeon Shin°, Yu-Ri Jang, Mi-Ri Jeon

Department of Computer Software, Korean Bible University

hyeonjin8011@gmail.com, cand7005@gmail.com, jyr324@gmail.com, jeonmirimiri@gmail.com

요 약

지하철을 이용하는 임산부들을 배려하기 위해 '임산부 배려석'을 마련하였지만, 실효성이 적어 많은 임산부가 교통약자로서 사회적 배려를 받지 못하고 있다. 기존의 임산부 배려좌석을 활성화하고자 본 논문에서는 현재 상용화되고 있는 근거리 통신 기술 중 실내에서 정확한 위치를 찾아낼 수 있는 비콘(Beacon)과 모바일 애플리케이션(App)을 이용하여 새로운 임산부 배려석 시스템을 제안한다.

## 1. 서론

여성이 임신하게 되면 혈액량 증가로 체내 혈액 순환이 느려져 붓기를 호소한다. 임산부가 장시간 서 있을 경우 신체 하부로 혈액이 몰려 다리가 붓거나 어지러움을 호소할 수 있으며, 심한 경우 실신까지 이룰 수 있기에 공공장소나 교통수단을 이용하는 임산부에 대한 배려가 필요하다. 특히 유산의 위험이 큰 초기 임산부들은 각별한 주의가 요구되지만, 사회적 인식 부족과 외관상 표시지 않는다는 이유로 충분한 배려를 받지 못하고 있다.

이에 서울시는 2008 년 기존 12 석(지정석)이었던 '교통약자 배려석'을 7 석(배려석) 추가 도입하였으며, 2010 년에는 임산부임을 나타내는 상징물(엠블럼)을 개발하여 이를 통한 좌석 양보를 추진하였다. 2013 년에는 지하철 전 차량 중앙좌석 양 끝에 '임산부 배려석'으로 지정하여 운행 중이다.

그러나 앞선 노력에도 불구하고 대중교통에서의 임산부에 대한 배려는 잘 이루어지지 않고 있다. 임산부를 대상으로 한 설문조사결과 응답자의 대부분이 임산부 배려석의 존재를 알고 있었으나 제대로 시행되고 있지 않다고 말한다. 또, 임산부가 엠블럼을 착용한다 하더라도 좌석을 양보 받는 경우가 드물어 실효성이 미비하므로 잘 착용하지 않는다고 답변하였다.[1]

이에 본 논문에서는 대중교통에서의 임산부 배려석 이용문제를 해소하고자 비콘 기반의 임산부 좌석 시스템을 제안한다.

[1] 정보공개센터, 2014,「누구를 위한 자리인가」 http://www.opengirok.or.kr/4078 (2016.03.04)

## 2. BLE(Bluetooth Low Energy) Beacon

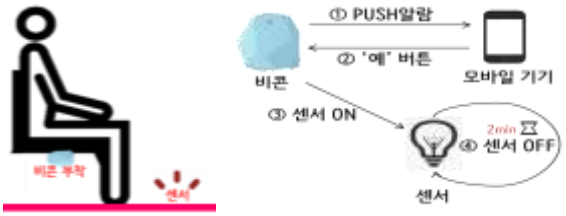
비콘은 사용자에게 일정 범위 내 위치 정보를 전달하기 위하여 어떤 신호를 주기적으로 전송하는 기기를 말하며 전송 신호 방법에 따라 블루투스 비콘, 와이파이 비콘, 저주파 비콘과 LED 비콘 등으로 나누어져 있다.

그 중 BLE (Bluetooth Low Energy) 비콘은 Bluetooth 4.0 기술을 기반으로 한 근거리 무선통신 장치로서 소량(168bit)의 패킷을 사용하며, 최소 5cm 에서 최대 70m 내의 기기들과 정보를 주고받을 수 있어 실내에서 위치 파악이 가능하지 않은 GPS 와 달리 정교한 위치파악이 가능하다. 운영체제로는 IOS 7 · 안드로이드 4.3 이상에서의 지원과 초소형 · 저전력 배터리를 사용하여 저 비용이라는 큰 장점이 있다. 작동 원리로는 비콘 송신기에 주기적으로 자신의 ID 값을 보내어, 스마트 기기를 가진 사람이 인식할 수 있는 도달 범위 내에 들어오게 되면 스마트 기기 속 애플리케이션을 통해 서버로 보내 주어진 정보를 다시 사용자에게 전송한다

**[ Figure 1 ] 비콘 작동원리**

이처럼 BLE 을 기반으로 한 비콘이 현 임산부 좌석을 효율적으로 이용하는 방안으로 적합하여 본 논문의 시스템 설계 시 활용된다.

## 3. 시스템 구성도




**[ Figure 2 ] 시스템 구성도**

지하철 한 좌석당 크기는 약 50cm 이다. 임산부 배려석이 있는 좌석의 총 개수는 7 좌석으로 가운데 한 좌석을 제외하고, 비콘끼리 서로 간섭을 받지 않기 위한 최대 범위는 대략 1m 가 가장 적합하다고 볼 수 있다.

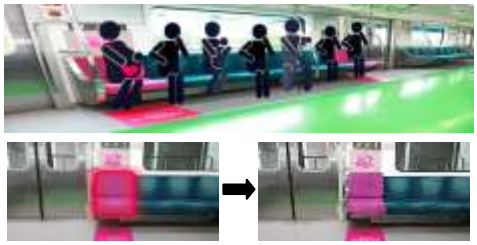
센서는 기존 임산부 배려석 바닥에 설치된 분홍색 스티커 위치에 설치한다. 임산부가 비콘이 인식할 수 있는 범위에 들어오게 되면 센서가 작동하여 분홍색 LED 조명이 들어오도록 하며, 센서에 불이 켜진 후 다시 꺼질 때까지의 시간 간격은 2 분으로 설정한다.

## 4. 시스템 시나리오

① 비콘이 설치된 '임산부 배려석' 으로부터 일정 범위에 들어온 임산부에게 PUSH 를 보낸다.

② 양보받기를 원하는 임산부는 애플리케이션에 접속하여 '예'를 선택한다.

③ 요청을 받은 좌석은 센서를 작동시켜 조명을 통해 임산부의 탑승을 알린다.



④ 알림을 받은 비 임산부의 양보에 따라 임산부가 착석하게 되고 일정시간 이후 센서가 꺼진다.

⑤ 해당 좌석의 임산부가 하차하게 되면 비콘의 최대 범위를 벗어남으로 좌석은 새로운 임산부를 위한 초기화 상태로 돌아간다.

## 5. 시스템 설계 시 고려사항

본 논문의 시스템 설계 시 가장 고려해야 할 사항은 임산부인증방법이다. 이를 위해 임산부는 서비스 앱을 내려받아 등록 후 이용하도록 한다. 이용과정은 임신확인서를 지하철 역무원이 확인함으로써 임산부임을 인증한 후 서비스 앱을 이용할 수 있는 고유번호를 부여한다. 고유번호는 임신 확인 일자로부터 기간(1 년)을 지정하여 출산 후에는 사용할 수 없도록 제한한다.

다른 고려사항으로는 임산부 배려석에 이미 임산부가 착석하고 있을 시 또 다른 임산부가 왔을 경우이다. 임산부가 좌석에 앉을 때 서비스 앱을 통해 '예' 라는 값을 전송하였으므로 해당 좌석의 '예' 값이 사라지기 전까지는 새 임산부가 오더라도 분홍전등이 켜지지 않도록 한다.

## 6. 결론

본 논문에서는 기존의 지하철 내에 지정된 임산부 배려석의 효율성을 높이기 위해 비콘 기반의 새로운 임산부 배려석 시스템을 제안하였다. 좌석 아래에 설치된 비콘이 지하철에 탑승한 임산부를 인지하여 모바일 기기로 알림을 보내고, 임산부의 승인요청에 따라 분홍전등을 작동 시켜 좌석 배려를 유도한다. 비콘 기반의 임산부 배려석은 외관으로 임산부를 판단하여 자리를 양보하기가 어렵다는 문제점을 해소하여 지하철을 이용하는 임산부들이 교통약자로써 더욱 효율적으로 배려 받는 성숙한 배려 문화가 만들어지기를 기대한다.

## 7. 참고문헌

[1] D. Raychaudhuri, "Performance analysis of random access packet-switched code division multiple access systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-29, pp. 895-901, Jun. 1981.

[2] D. Heyman and T. Lakshman, "Source models for VBR broadcast-video traffic," in Proc. IEEE INFOCOM, pp. 664-671, 1994.

[3] 최현경, 조웅(2015), 무선통신 기반 임산부 알림 서비스. 한국전자통신학회 논문지, 10(12), 1361-1365.

[4] 김준호, 이성원(2015), "비콘 기반의 버스 자동 승하차 시스템 구현", 한국통신학회, 한국통신학회 학술대회논문집 , 1390-1391.

# 차세대 이동통신 시스템에서 대규모 연결을 지원하기 위한 반복 패턴 선택

채승엽°, 조상진°, 김수진°, 임민중°, 강충구°°

동국대학교 정보통신공학과°, 고려대학교 전기전자전파공학부°°

# Repeated Patterns Selection for Massive Connectivity in Next Generation Mobile Communication Systems

Seungyeob Chae°, Sangjin Cho°, Sujin Kim°, Minjoong Rim°, Chung G. Kang°°

Dongguk University°, Korea University°°

ment158@paran.com, minjoong@dongguk.edu

## 요 약

차세대 이동통신 시스템의 주요 요구사항 중 하나는 IoT(Internet of Things) 환경에서 매우 많은 수의 MTC(Machine Type Communication) 디바이스를 효과적으로 지원하는 것이다. MTC 디바이스는 실내 등 신호가 도달하기 어려운 환경에 있는 경우가 많을 뿐만 아니라 송신 출력도 낮으므로 기지국에서 낮은 수신 감도에서도 수신이 가능해야 한다. 도달 거리 확장을 위해서 채널 환경이 나쁜 디바이스는 데이터 반복 등을 사용하여 매우 낮은 전송속도로 전송할 수 있다. 그러나 이 때 패킷 길이가 길어짐으로 인해 다른 패킷과 충돌 확률이 증가하여 재전송이 증가할 수 있다. 본 논문에서는 디바이스의 충돌 확률을 줄이기 위한 방안에 대해서 논한다.

## 1. 서론

차세대 이동통신 시스템의 주요 요구사항 중 하나는 IoT(Internet of Things) 환경에서 매우 많은 수의 MTC(Machine Type Communication) 디바이스를 효과적으로 지원하는 것이다 [1-2]. IoT 서비스가 활성화 됨에 따라 MTC 디바이스의 밀도가 매우 높아질 것으로 예상되며 동시에 많은 수의 디바이스가 액세스를 하는 것을 효과적으로 지원하기 위한 대규모 연결 기술이 필요하다 [1-2]. MTC 디바이스는 신호가 도달하기 어려운 환경에 있을 수 있으며 송신 출력도 낮으므로 기지국에서 낮은 수신 감도에서도 수신이 가능하도록 시스템이 설계되어야 한다. 도달 거리 확장을 위해서 채널환경이 나쁜 디바이스는 데이터 반복 등을 사용하여 매우 낮은 전송속도로 전송할 수 있다. 그러나 이 때 패킷 길이가 길어짐으로 인해 다른 패킷과 충돌 확률이 증가하여 재전송이 증가할 수 있다. 길이가 긴 패킷의 재전송이 많아지면 다른 패킷의 충돌 확률도 증가할 수 있다. 또한 채널 상태가 나쁜 디바이스는 최대 송신전력으로 전송해야 하며 패킷 길이도 길어서 전력 소모가 크므로 디바이스가 배터리로 동작할 경우 생존 기간(life time)의 문제가 있다. 본 논문에서는 MTC 디바이스의 생존 기간을 늘리기 위하여 디바이스의 충돌 확률을 줄이기 위한 방안에 대해서 논한다.

## 2. 본론

본 논문에서는 MTC 디바이스들은 일정한 데이터 양의 패킷을 랜덤 액세스한다고 가정한다. 그러나 어떤 디바이스는 채널 상태가 좋을 수도 있으며 다른 디바이스는 기지국에서 멀거나 건물 내에 있어서 채널 상태가 좋지 못할 수도 있다. 디바이스들을 채널의 상태에 따라 몇 개의 클래스로 나누고 클래스에 따라 전송속도 및 패킷의 길이를 결정할 수 있다. 이러한 환경에서 다음과 같은 슬롯 알로하 방법들을 고려한다. 방법 1 은 그림 1 에 있는 것처럼 클래스에 따라 정해진 크기의 패킷을 랜덤한 슬롯 위치에 전송한다. 그림에서 디바이스는 패킷의 길이가 각각 1, 2, 4 슬롯인 3 개의 클래스로 나뉜다. 패킷의 길이가 1 이 넘는 경우 특정 배수의 슬롯에서 시작하도록 함으로써 동일 클래스의 패킷에게는 슬롯 알로하의 형태로 동작하여 충돌 확률을 줄인다. 그러나 패킷 길이가 긴 디바이스는 다른 패킷과 충돌할 확률이 큼으로 인해 성능이 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 방법 2 는 그림 2(a)와 같이 나쁜 채널을 가지는 클래스의 디바이스가 경로 감쇄를 보상하기 위해서 데이터를 반복하여 전송을 할 때 클래스 간에 직교하는 반복 패턴을 가지도록 함으로써 다른 클래스 간의 충돌을 줄이는 방법을 사용한다[3]. 방법 3 에서는 그림 2(b)와 같이 충돌 확률을 더 줄이기 위하여 반복이 필요 없는 클래스 A 를 클래스 B 에 합하여 모든 클래스 간에 충돌이 없도록 한다[3]. 방법 2 와 방법 3 은 한 순간에 하나의 클래스에 디바이스가 몰리는 혼잡이 발생했을 경우 직교하는 패턴의 갖도록 하

는 방법이 효과가 줄어들 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 그림 3 의 방법 4 는 채널 상태가 좋은 클래스 A 의 디바이스가 클래스 B 뿐 아니라 혼잡도가 낮은 클래스로 넘어가 혼잡을 피하는 방법이다. 클래스 A 가 혼잡도가 낮은 클래스로 이동함으로써 충돌 확률 성능의 개선을 기대할 수 있다.

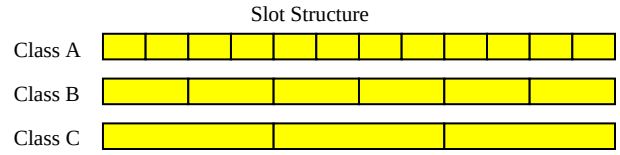
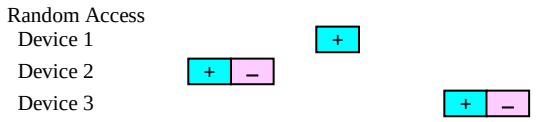
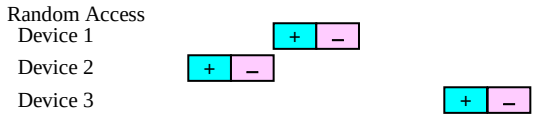



그림 1. 기존의 슬롯 알로하




(a) 방법 2




(b) 방법 3

그림 2. 반복 패턴을 통한 충돌 감소

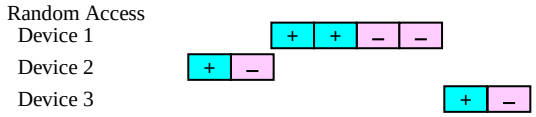



그림 3. 혼잡도가 낮은 클래스로의 이동

## 3. 실험

본 실험에서는 동시에 랜덤 액세스를 시도하는 디바이스의 수에 따라 충돌 확률을 측정하였다. 랜덤 액세스를 위한 슬롯의 수는 128 이고 디바이스는 채널 상태에 따라 4 개의 클래스로 나뉘며 각 클래스의 패킷 길이는 1, 2, 4, 8 슬롯이고 각 클래스의 디바이스의 비율은 3/7, 3/7, 0, 1/7 이다. 클래스 A 는 1 개 슬롯, 클래스 B 는 2 개 슬롯, 클래스 C 은 4 개, 클래스 D 는 8 개의 슬롯 단위의 슬롯 경계에 맞추어 전송한다. 방법 1 에서는 직교하는 패턴을 갖지 않으므로 각 클래스간 충돌이 발생한다. 방법 2 는 클래스 B, C, D 에 직교하는 패턴을 곱하여 클래스간 충돌이 없다고 가정한다. 클래스 B, C, D 는 클래스 A 간에만 충돌이 발생한다. 방법 3 의 경우는 클래스 A 의 디바이스를 모두 클래스 B 의 반복패턴으로 전송함으로써 클래스 A 는 없으며 클래스 간의 충돌이 없다. 방법 4 의 경우는 클래스 A 의 디바이스가 클래스 B, C, D 중 혼잡도가 낮은 클래스의 반복 패턴으로 전송하며, 본 실험에서는 각 클래스의 디바이스 비율을 고려하여 클래스 A 디바이스의 1/3 은 클래스 B 로 2/3 은 클래스 C 의 패턴으로 전송한다. 방법 4 역시 클래스 간의 충돌은 없다. 그림 4 는 평균 충돌 확률을 보여주고 있다. 방법 1 의 경우 서로 다른 클래스끼리 충돌이 발생하였을 때 슬롯 알로하가 되지 않음으로 인해 성능이 좋지 않으며 특히 반복횟수가 많은 클래스 D 로 인해 성능이 네 가지 방법 중 가장 나쁜 것을 볼 수 있다. 방법 2 의 경우 클래스 A 는 반복 패턴이 없어서 다른 클래스와 충돌이 발생한다. 방법 3 의 경우 클래스 A 를 없애 모든 클래스간 충돌이 없어졌지만 클래스 B 의 혼잡도가 높아지는 문제가 발생한다. 방법 4 의 경우 클래스 A 가 혼잡도가 낮은 클래스 B 와 클래스 C 에 나누어 이동함으로써 전체적인 혼잡도가 낮아지며 가장 우수한 성능을 보인다.

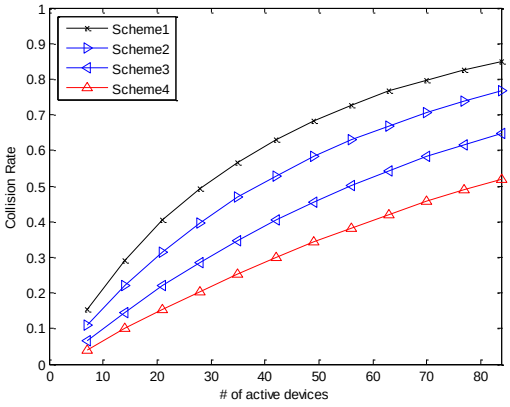



그림 4. 평균 충돌 확률

## 4. 결론

본 논문에서는 디바이스들이 채널 상태에 따라 데이터 반복과 직교하는 패턴을 통해서 패킷 길이를 늘려 랜덤 액세스를 할 때 전체적인 혼잡도를 낮추어 충돌 확률을 개선하는 방안을 제안하였다. 본 논문에서는 서로 직교하는 반복 패턴을 사용하여 다른 그룹의 디바이스의 신호들은 간섭이 없이 수신을 할 수 있다고 가정하였으나 디바이스마다 데이터의 길이가 다르고 정확한 동기가 맞지 않으며 채널이 변할 수 있는 등의 실제 환경에서는 이들 간에 간섭이 남아 있을 수 있으므로 이에 대한 연구가 더 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0194-15-1002, 한중 5G 초고주파 요소기술 공동연구 및 표준화 추진기반 국제협력]

## 5. 참고문헌

[1] K. Zheng, S. Ou, J. Alonso-Zarate, M. Dohler, F. Liu, H. Zhu, "Challenges of Massive Access in Highly Dense LTE-Advanced Networks with Machine-to-Machine Communications," IEEE Wireless Communications, Vol.21, No.3, pp.12-18, Jun. 2014.

[2] M.T. Islam, A.M. Haha, S. Akl, "A Survey of Access Management Techniques in Machine Type Communications," IEEE Communication Magazine, Vol.52, No.4, pp.74-81, Mar. 2014.

[3] S. Chae, S. Cho, S. Kim, M. Rim, C. G. Kang, " Repeated Transmission Patterns for Massive Connectivity in Next Generation Mobile Communication Systems," in Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2016 (KICS ICC 2014), jungsun, Korea, January. 2016.

# 영상 공유 기반의 스마트 북 시스템 개발

나재찬°, 강민정, 최윤연, 김상욱

경북대학교 컴퓨터학부

# Development of Smartbook System based on Video Sharing

Jaechan Na°, Minjung Kang, Yunyeon Choi, Sangwook Kim

School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

jcna@media.knu.ac.kr, mjkang@knu.ac.kr, yychoi@knu.ac.kr, kimsw@knu.ac.kr,

## 요 약

본 논문에서는 영상 공유 기반의 스마트 북 시스템을 구현하고 주변 환경에 따른 인식률을 평가한다. 스마트 기기를 사용하여 스마트 북 페이지를 인식하고 서버는 해당 영상을 클라이언트에게 제공한다. 스마트 기기는 영상의 인식 범위나 인식 크기 등을 지정하여 효율적으로 페이지를 인식한다. 다수의 사용자가 함께 영상을 제공받을 수 있게 서버는 스트리밍으로 영상을 제공한다. 마지막으로 영상을 인식 할 때 효율적인 인식 방법과 최적의 인식 환경을 제안한다.

## 1. 서론

대부분의 영상 인식 시스템은 가상현실이나 증강현실 등의 기능을 지원한다. 이러한 시스템은 컨텐츠의 수가 부족하고 컨텐츠가 특정 기기에 종속되는 등의 문제점이 발생한다. 본 논문에서 제안하는 스마트 북 시스템은 스마트 기기를 사용하여 페이지를 인식하고 결과를 다른 기기나 서버에 전송한다. 서버는 전송 받은 데이터에 맞는 영상을 스트리밍으로 제공한다. 서버는 글꼴에 따른 영상을 저장하고, 스마트기기는 해당 트레이닝 파일을 저장한다. 이러한 방법은 이미 제작된 책과 영상을 활용하여 다양한 컨텐츠를 제공할 수 있다.

본 논문의 2 장에서는 관련된 연구를 소개한다. 3 장에서는 개발한 영상 공유 기반의 스마트 북 시스템을 설명하고, 4 장에서는 주변 환경에 따라 평가한다. 그리고 5 장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

대부분의 영상 인식 기술은 그림을 영상처리하여 특징을 추출하고 특정 그림데이터만 이용한다. 그림을 대신해서 마커를 사용하는 경우도 있다. 이러한 방법은 지정된 위치 인식하고 컨텐츠를 제공함으로써 컨텐츠 제작에 많은 비용이 발생한다[1]. 영상을 인식하는 분야에서는 HOG(Histogram of oriented gradients), LBP(Local binary patterns) 등의 다양한 방법이 사용된다. LBP 방법은 영상에서 대상을 검출하는 속도는 빠르지만 조도의 차이로 의한 오차가 크게 발생한다[2]. HOG 방법은 조도의 영향은 적게 받지만 다른 방법에 비해 검출 속도가 느리다[3].

## 3. 영상 공유 기반의 스마트 북 시스템

그림 1 은 개발한 스마트 북 시스템의 개요를 보여준다. 사용자가 스마트기기에서 책 페이지를 인식하면 인식페이지에 맞는 영상을 스트리밍으로 사용자에게 제공한다. 사용자는 인식 정보를 다른 사용자에게 전달 할 수 있고, 전달받은 사용자는 같은 방법으로 영상을 제공 받는다. 서버는 데이터베이스에 영상콘텐츠를 저장하고, 사용자의 스마트 기기에는 글꼴에 대한 트레이닝파일을 저장한다.

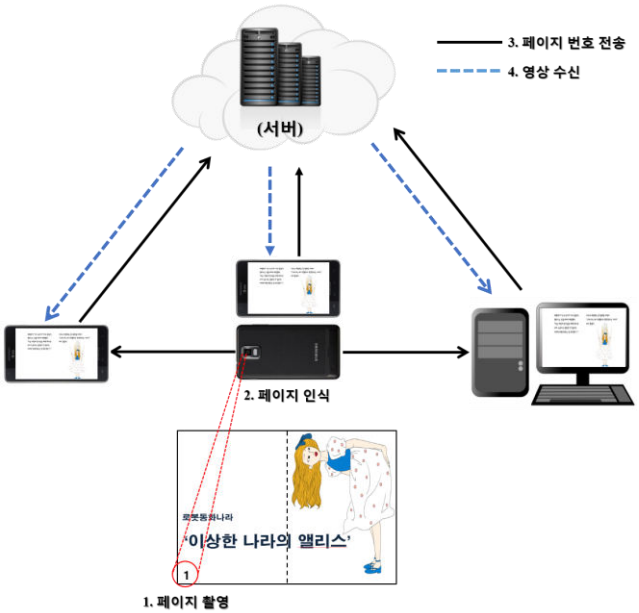



**그림 1 스마트 북 시스템 개요도**

그림 2 는 개발한 스마트 북 시스템의 구조를 나타낸다. 서버는 영상을 저장하고 클라이언트에서 영상을 요청하면 스트리밍 형태로 제공한다. 클라이언

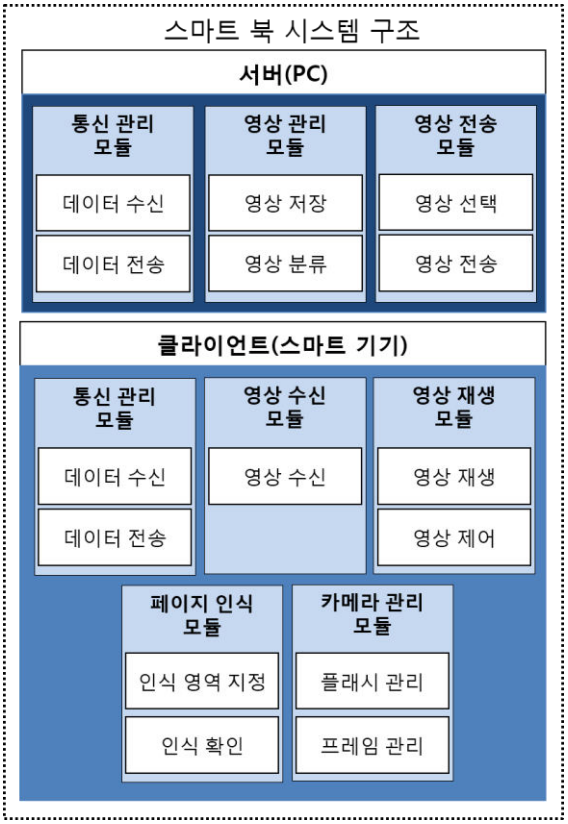



그림 2 스마트 북 시스템 구조도

트는 페이지는 인식하는 모듈, 인식된 페이지를 서버로 전송하는 모듈, 영상을 재생하는 모듈 등으로 나누어진다. 영상 인식 모듈에서는 영상의 인식영역이나 인식할 크기를 지정함으로써 효율적인 인식이 되도록 한다. 페이지를 인식하면 인식한 정보를 서버로 보내고, 해당 영상을 스트리밍으로 전송 받는다. 이와 함께 영상을 공유할 디바이스에 페이지 번호를 전송해서 함께 영상을 재생할 수 있다.

## 4.평가

구현된 스마트 북 시스템은 조도와 인식할 숫자의 조건에 따라 인식률과 인식 속도에 차이가 발생한다. 평가는 조도, 카메라와 인식할 책 사이의 기울기를 조건으로 했다.

### 4.1 조도에 따른 인식 횟수 차이

카메라 영상에서 숫자를 인식할 때, LBP cascade 방식을 사용했다. LBP 는 이미지에서 밝기 차이를 이용하여 분석하는 방법이다. 이로 인해 영상을 인식 환경의 조도에 따라 인식률이 크게 차이 난다.

그림 3 의 (a)는 조도에 따라 변화하는 인식 속도의 차이를 나타낸 그래프다. 빛의 양이 너무 적거나 클 경우에 차이가 나는 것을 보여준다.

### 4.2 기울기에 따른 오류 횟수 차이

카메라 영상에서 숫자를 촬영하면 현재 카메라와 숫자의 위치에 따른 영상 왜곡이 발생한다. 이로 인

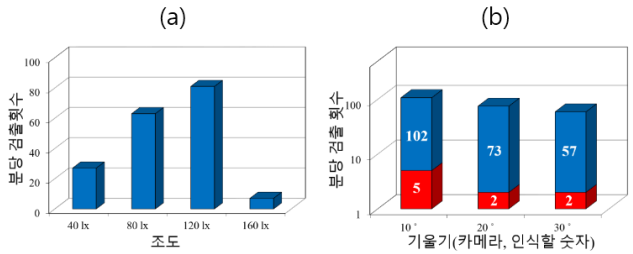



그림 3 조도와 기울기에 따른 인식률

해 인식 속도의 차이가 발생하고, 잘못된 대상을 검출하는 오차가 발생한다.

그림 3 의 (b)는 기울기에 따른 검출 횟수와 오류 횟수를 나타낸다. 막대의 위쪽은 검출 횟수, 아래쪽은 오류의 수를 나타낸다. 숫자를 트레이닝 할 때 기울기는 0 ° 다. 따라서 0 ° 에 가까울수록 높은 인식률을 나타내지만, 사용자의 편의성을 고려하면 최적의 기울기는 20 ° 로 예상된다.

## 5.결론

본 논문에서는 영상 공유 기술을 적용한 스마트 북 시스템을 구현하고 인식 환경을 기준으로 평가했다. 스마트 북 시스템에서 카메라 영상에 영역을 지정함으로써 효율적인 분석을 제안했다. 결과 정보를 활용해서 사용자에게 영상컨텐츠를 제공했다. 또한 인식 크기이나 기울기 등을 지정하여 사용자의 편의성을 향상시켰다. 본 논문에서 제안하는 기술을 다른 인식 분야에 적용하면 인식의 효율성을 증대시킬 수 있을 것이다.

## 사사

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 SW 중심대학지원사업(R2215-15-1004:SW 창의형) 과 2012 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보・컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012M3C4A7032185)

## 6.참고 문헌

[1] J. A. Preston and J. Chastine, “Mobile technology for games and augmented reality,” ACM-SE '11 Proceedings of the 49th Annual Southeast Regional Conference, vol.52, no.6, pp.136-145, 2011

[2] K. Kadir, M.K. Kamaruddin, and et al., “A comparative study between LBP and Haar-like features for Face Detection using OpenCV,”, Engineering Technology and Technopreneuship (ICE2T), pp.335-339, 2014.

[3] A. Timo, A. Hadid and M. Pietikainen, "Face description with local binary patterns: Application to face recognition," Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.28, issue.12, pp.2037-2041, 2006

# 의료용 무선 통신 환경에서 효율적인 응급 데이터 전송을 위하여 개선 된 MAC Protocol

김 래 현, 김 정 곤°

한국산업기술대학교 전자공학과

# An Efficient MAC Protocol for urgent data transmission in wireless healthcare monitoring sensor networks

Rae Hyeon Kim, Jeong Gon Kim°

Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University

hjkl525@naver.com, jgkim@kpu.ac.kr

## 요 약

최근 진보 된 무선 통신기술 및 활성화 된 Ubiquitous 네트워크 환경으로 인해 WBSN(Wireless Body Sensor Network)의 응용분야가 확대되고 있는 추세이다. WBSN 환경은 인체 내부 및 외부에서 다양한 형태로 발생하는 직, 간접적인 생체신호 데이터를 측정하고 이를 활용해 환자의 상태를 모니터링 하기 위하여 단말 간 데이터를 처리하는 네트워크 환경이다. 본 논문에서는 WBSN 환경 및 시스템에서의 개별적으로 발생하는 응급데이터를 효율적으로 처리하기 위해 응급데이터의 비율에 따라 적용 가능한 두 가지의 적응 형 MAC 프로토콜을 제안한다.

## 1. 서론

WBSN 환경은 WBAN(Wireless Body Area Network) 환경 및 파생 된 WSN(Wireless Sensor Network) 을 기반으로 하는 환경에서 인체 내, 외부 데이터 통신을 위해 진보 된 네트워크가 적용 된 환경이다. [1][2] 향 후, WBSN 은 기존 의료 진찰 및 모니터링의 유선 기반 환경을 대체할 것으로 예상된다. [3] 기존의 CSMA/CA 기법은 다수의 센서 네트워크 환경에서 주로 적용되는 MAC 프로토콜이지만 주파수의 빈번한 유휴 청취 상태 및 빈번한 Packet 충돌이 발생하기 때문에 응용시스템에서의 극도로 높은 에너지 소모가 발생한다. [4] 따라서 이러한 CSMA/CA 기법의 극심한 에너지 소모 및 Packet 충돌에 따른 전송 지연이 유발하는 단점 대비 동일한 측면에서 TDMA(Time Division Multiple Access) 기법이 유리하다는 수 많은 기존연구들이 존재한다. [5][6] 기존의 IEEE 802.15.4 MAC Protocol[7]은 Node 에게 채널을 할당할 시, 경쟁 기반 할당 방식 (CAP: Contention Access Period)과 비경쟁 기반 할당 방식(CFP: Contention Free Period) 두 가지 방식을 모두 적용하였다. 하지만 IEEE 802.15.4 의 CFP(GTS) 방식은 Node 가 채널 할당을 위해 코디네이터로 데이터를 전송 할 때의 요청한 순서대로 채널을 할당하는 FIFS(First In First Service) 기법[8]을 적용하기 때문에 필연적인 전송 지연을 유발한다. 본 논문에서는 기존에 WBSN 환경의 적용을 위해 연구 된 DTD-MAC Protocol[9]은 응급데이터가 발생하지 않는 환경에서의 각 생체신호 데이터의 전송을 고려하였기 때문에 실시간으로 데이터 전송 및 처리를 요구하는 응급 데이터 처리환경에는 적합하지 않다.

## 2. 본론

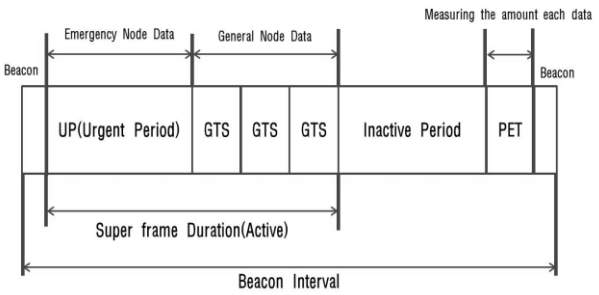



그림 1. MED-MAC 프로토콜 슈퍼 프레임 구조

그림 1 은 제안하는 MED-MAC 프로토콜의 슈퍼프레임 구조를 나타낸 것이다. Beacon 구간은 슈퍼프레임의 동기화를 수행하는 구간이고 UP(Urgent

Period)는 응급데이터를 전송하는 구간이며 각 GTS 는 일반데이터를 전송하는 구간이다. Inactive Period 구간은 휴면구간으로 전송하는 데이터의 전송 량에 비례하여 가변적으로 구간의 길이가 변한다. PET 구간은 UP, GTS, Inactive 구간의 길이 설정 및 데이터 전송 순서를 결정하는 구간으로서 CSMA/CA 기반 방식을 따른다. 또한 PET 구간에서 생성 된 정보는 다음 주기의 Beacon 으로 이동하여 다음 주기의 슈퍼 프레임 구조에 영향을 미친다. 제안하는 MED-MAC 프로토콜은 응급 데이터 및 일반데이터의 유동적인 구성 비율의 변화에 따른 환경을 고려하여 적응 형 알고리즘 두 가지를 제안한다.

| Average Data Transmission Delay | Data | DTD-MAC | | MED-MAC(1) | | MED-MAC(2) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | General | Emer. | General | Emer. | General | Emer. |
| E.D = 10% G.D = 90% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 999 | 959.12 | 640.337 | 22.12 | 936.23 | 962.5 |
| | EMG | 5634.2 | 5270.83 | 1791.71 | 42.47 | 6628.5 | 7180.8 |
| E.D = 20% G.D = 80% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 955.1 | 883.57 | 467.718 | 53.31 | 1014.295 | 1076.17 |
| | EMG | 6317.9 | 5164.38 | 1206.3 | 107.24 | 6214 | 5467.16 |
| E.D = 30% G.D = 70% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 918.6 | 901.63 | 387.18 | 96.34 | 995.15 | 1036.6 |
| | EMG | 5850.6 | 6160.95 | 984.31 | 226.72 | 6838.7 | 6596.32 |
| E.D = 50% G.D = 50% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 961.4 | 978.76 | 359.658 | 164.22 | 962.1 | 994.8 |
| | EMG | 5747.2 | 5679.6 | 989.806 | 484.1 | 6457.3 | 6379.45 |

표 1. 평균전송지연(전체 데이터 Traffic: 240%)

| Packet-Loss | Data | DTD-MAC | | MED-MAC(1) | | MED-MAC(2) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | General | Emer. | General | Emer. | General | Emer. |
| E.D = 10% G.D = 90% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 6222 | 628 | 5318 | 74 | 6506 | 514 |
| | EMG | 7619 | 764 | 7012 | 102 | 7842 | 151 |
| E.D = 20% G.D = 80% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 6271 | 1261 | 4643 | 252 | 6563 | 1018 |
| | EMG | 7637 | 1526 | 6521 | 456 | 7809 | 323 |
| E.D = 30% G.D = 70% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 6352 | 2093 | 4096 | 702 | 6528 | 1679 |
| | EMG | 7702 | 2571 | 6373 | 1249 | 7828 | 568 |
| E.D = 50% G.D = 50% | ECG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | EEG | 6233 | 3129 | 4084 | 1582 | 6472 | 2555 |
| | EMG | 7653 | 3805 | 6407 | 2550 | 7872 | 836 |

표 2. Packet 손실(전체 데이터 Traffic: 240%)

제안하는 첫 번째 MED-MAC(1) 기법은 일반데이터에 비해 상대적으로 응급데이터가 빈번하게 발생하는 환경에서 응급데이터의 전송 지연을 감소시키기 위한 기법이다. 응급데이터와 일반데이터가 동시에 발생하였을 시, 기존 최대 전송지연기준조건(250ms)을 배제하고 응급데이터를 우선적으로 전송하는 방식이다. 따라서 응급데이터는 일반데이터에 비해 항상 우선적으로 채널 할당을 받게 된다. 제안하는 두 번째 MED-MAC(2) 기법은 응급데이터와 일반데이터의 비율이 비슷한 환경에서 일반데이터의 일정한 전송을 보장하고 전체적인 패킷 손실을 감소시키기는 방식이다. 응급데이터의 최대 전송지연기준조건은 100ms 이며 100ms 이내로 전송하는 것을 원칙으로 한다. 또한 일반데이터의 경우, 기존과 같이 250ms 이내에 전송하는 것을 원칙으로 한다. 따라서 전반적인 전송 지연이 증가하지만 전체적인 데이터 패킷의 손실률은 감소시키는 방식이다. 표 1 은 전체 데이터 Traffic 240% 환경에서 응급데이터와 일반데이터의 구성비율에 따라 각 기법의 평균 전송지연을 나타낸 것이다. 표 2 는 표 1 과 동일한 환경에서의 각 기법의 Packet 손실을 나타낸 것이다.

## 3. 결론

본 논문에서는 WBSN 환경에서 발생하는 응급데이터의 전송 지연 및 Packet 손실의 감소를 목적으로 두 가지 종류의 MAC 프로토콜을 제안 및 평가하였다. 첫 번째 제안 된 MED-MAC(1) 프로토콜은 응급데이터에 절대적인 데이터 전송우선순위를 부여하여 효율적인 처리를 제공한다. 두 번째 제안 된 MED-MAC(2) 프로토콜은 응급데이터의 최대전송지연조건을 100ms 로 제한 함으로서, 일반데이터의 일정한 성능의 지속적인 전송을 보장한다.

## 4. 참고 문헌


[1] Choi, J.S., Kim, J.G.: An Improved MAC Protocol for WBAN through modified frame structure. Int. j. smart home.8 (2) (2014)

[2] Kim, J.S., Lee, J.H., Rim, K.W.: Energy Efficient Key Management Protocol in Wireless Sensor Networks. International Journal of Security and Its Applications 4 (2), pp. 1--12 (2010)

[3] Morchon, O.G., Baldus, H., Sanchez, D.S.: Resource Efficient Security for Medical Body Sensor Networks, Wearable and Implantable Body Sensor Networks. In: Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2006. International Workshop on, pp. 4-pp. IEEE

[4] LAN-MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society.: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. IEEE. New York (1997)

[5] Gopalan, S.A., Park, J.: Energy Efficient MAC Protocols for Wireless Body Area Network: Survey. In: Ultra Modern-Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010 International Congress on, pp.739--744 (2010).

[6] Kwon, H., Lee S.: Energy-efficient multi-hop transmission in Body Area Networks. In: IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 2141--2146, Tokyo (2009).

[7] IEEE 802.15.4 Standard-2003.: Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPANs). IEEE Computer Society (2003)

[8] Lee, H.G., Lee, K.H., Shin, Y.T.: A Priority Based MAC Protocol for Emergency Data Transmission in Wireless Body Area Networks. Telecommunication Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, vol.49 (4) (2012)

[9] Kim, R.H., Kim, J.G.: Delay Reduced MAC Protocol for Bio Signal Monitoring in the WBSN Environment. 6th International Workshop Series, Advanced Science and Technology Letters, vol. 94 (Networking and Communication 2015), pp.42--46 (2015).

# 가스·전기 융합 안전관리를 위한 ICT 인프라 구축*

도윤미°, 이은주, 문영백

한국전자통신연구원 IoT 융합연구부 IoT 플랫폼연구실

# Building up an ICT Infra for Gas & Electricity Convergence Safety Management

Yoonmee Doh°, Eunju Lee, Youngbag Moon

IoT Convergence Research Department, ETRI

{ydoh, leeej, moonyb}@etri.re.kr

## 요 약

에너지 사용 밀집지역 동일 구역 내에 가스·전기 설비가 설치되어 있으면 두 에너지원의 연관성에 의한 안전사고 가능성이 높다. 지금까지는 에너지원 별로 독립적으로 설비안전관리가 운용되므로 융합형 안전관리는 배제되어 왔다. 본 논문에서는 에너지 안전관리 시스템의 현주소와 가스·전기 에너지원 재해 연관성을 분석하고 융합형 안전관리를 위한 요구사항을 도출하였다. 제시한 ICT 기반 에너지 안전관리 인프라는 에너지원의 연관성에 의한 안전관리의 수용뿐만 아니라 단일 에너지원에 대한 안전관리도 설비 개수 및 증축에 대해 용이한 특징을 가진다.

## 1. 서론

최근 전력 IT(Information Technologies) 및 스마트그리드에 관련한 활발한 연구개발과 함께 전력사용량 및 과금 정보뿐만 아니라, 마이크로그리드, 신재생에너지와 같은 새로운 환경에서의 정보 정의 및 전달 방법을 포함한 안전관리기술 확보도 점차 중요해지고 있다.

국가 안전관리 시스템 선진화를 위한 효과적인 수단으로 RFID/USN(사물인터넷(Internet of Things)의 전신)과 같은 첨단 IT 기술을 적용한 통합적인 유비쿼터스 안전감시 기술이 개발되어 왔다[1][2]. 전기안전을 위해서는 누전, 과부하, 아크 등에 의한 전기화재 예방을 위해 체계적인 감시, 대응체계 기술을 개발하였고 에너지 설비안전을 위해서는 LNG 저장설비, 중화학 및 정유설비, 송유관이나 가스관 설비, 전기설비 등 에너지관련 설비의 사고위험도를 최소화할 수 있도록 전산설비관리시스템(CMMS) 기술을 개발하였다. 그러나 이들 안전정보는 보호장치에 일대일로 대응되는 관리요소로서 효과적인 안전사고예방을 위한 정보로서의 한계를 가지고 있다. 더구나 상호운용성의 부재로 인한 정보 유실의 가능성은 에너지 재해 예방용 정보로서의 유효성을 떨어뜨린다. 또한 확장성, 호환성 미비로 이어져 설비 개수 및 증축에 대한 대응을 어렵게 만들 수 있다.

에너지 안전 측면에서는 국민들의 인식개선에 힘입어 안전사고의 발생건수 및 인명피해 건수가 지속적으로 감소되어 왔으나 에너지 사용 밀집지역 또는 안전서비스 제공 취약지역의 안전사고 발생 가능성은 증대하고 있다. 우리나라의 단위면적당 에너지 소비량은 세계 1 위로 에너지 시설이 밀집되어 대형사고 가능성이 상존하여, 선제적 예방을 위하여 국가 안전관리 시스템 선진화에 대한 노력이 필요하다. 특히, 전통시장, 지하상가 등과 같은 에너지 사용 밀집지역은 가스 · 전기 설비가 동일구내에 설치되어 두 에너지원의 연관성에 의한 사고 가능성이 높으나(일반공장 가스화재 약 17%가 전기로 촉발), 안전관리는 독립적으로 이루어져 왔다.

본 논문에서는 가스·전기 에너지원 재해 연관성을 분석으로부터 융합형 에너지 안전관리를 위한 요구사항을 도출하고 단독 및 융합 에너지 안전관리를 수용할 수 있는 ICT 기반의 에너지 안전관리 인프라 구조를 제안한다.

## 2. 전기·가스 재해

### 2.1 전기, 가스 재해 연관성

최근 5 년간('11~15.6.) 전통시장 화재 316 건 발생 중 발화요인 별 화재 발생 현황을 살펴보면 전기적 요인이 157 건으로 거의 절반(49.7%)을 넘고, 화재의 10 건중 6 건(316 건 중 191 건, 60.4%)은 영업시간 이전(저녁 8 시~아침 9 시)에 발생한 것으로 나타났다[3].

그리고 최근 10 년('05~14)간 가스별 1,717 건의 가스사고를 살펴보면 LPG(71.5%), 도시가스(18.6%), 고압가스(10.0) 순이고 발생장소 별로는 주택(43.3%), 식품접객업소(지하상가식당 포함)에서 (14.1%), 허가업소(6.5%), 제 1 종 보호시설(시장 포함, 5.9%), 공장(6.3%) 순으로 발생했다. 또한 최근 5 년('10~14 년)간 발생한 가스사고 총 626 건의 유형은 폭발

(38.7%)과 화재(25.9%), 누출(13.7%)의 순이었다[4].

가스·전기 설비가 동일구내에 설치되는 지역에서의 재해발생을 분석해보면 그림 1과 같다. 가스설비에서의 일정 수준이상의 가스누출(가스재해)은 인근 전기설비에서의 과전류, 누설전류, 아크 등에 의해 폭발/화재로 연계된다. 전기설비에서의 누전, 낙뢰, 지락 등으로 인한 화재는 인근 가스설비의 손상, 파단을 야기하여 가스누출과 함께 폭발/화재로 연계된다. 두 가지 모두 가스누출과 점화원 존재(전기적 요인 또는 불꽃)에 따라 폭발로 이어지는 특성을 가진다.

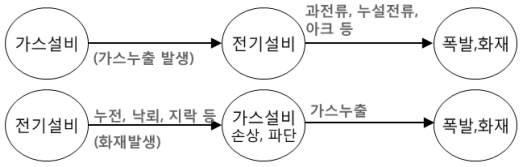



**그림 1. 가스·전기 재해 연관성**

### 2.2 가스·전기 융합 안전관리 시나리오

LPG 와 LNG 각각 공기 중 농도 2%, 5% 이상에서 폭발 위험을 가지며 폭발 위력은 농도에 비례하므로 LNG 폭발의 피해가 훨씬 크다. (가스배관, 연결부 등) 가스 누출이 발생하면 폭발 한계선 이전까지 배기하고 폭발 한계 농도에 이르는 경우는 전기설비에 의한 점화원을 제거하여야 폭발/화재에 이르지 않고 안전할 수 있다. 따라서 (가스누출), (과전류, 누설전류, 아크, 누전, 낙뢰, 지락 등)의 재해요인을 감시하고 재해 인자 발생을 방지하는 것이 가스·전기 융합 안전관리를 위해 무엇보다 중요하다. 예를 들어 일정 농도 이상의 가스 누출 감지시에는 전기설비의 전기유입을 차단하여 폭발, 화재의 요인인 과전류, 누설전류, 아크 발생을 막아야 한다. 융합 안전관리 서비스를 위해서는 에너지설비에서 발생하는 안전관리 정보(재해요인)의 호환, 공유가 필수적이며 이를 지원할 수 있는 효과적인 방법이 요구된다.

## 3. 가스·전기 융합 안전관리 요구사항

가스·전기 융합 안전관리에 대한 분석을 통하여 개별 에너지뿐만 아니라 융합 에너지에 대한 안전관리가 가능하도록 하는 ICT 기반 융합 안전관리 요구사항을 살펴보면 다음과 같다.

- 에너지 사용 환경에서의 복수 에너지원간의 재해 연관성 분석
- 선제적 에너지 재해 예방 조치를 위한 사고(전조) 발생 예측 모델의 확보
- 융합 에너지 안전관리를 위한 규제 정의 및 설치 운용 가이드라인 확보
- 융합형 안전관리 서비스의 통신기술에 대한 투명성 확보 및 인터페이스 정의
- 복수 에너지 안전관리 서비스를 위한 공통 정보 모델 정의
- 이벤트 및 차단 데이터 전달 및 처리에 대한 실시간성 확보

## 4. ICT 기반 에너지 안전관리 인프라 구조

에너지 안전관리를 위한 ICT 기반 인프라 구조를 그림 2에 제안한다. 가스·전기 안전관리 서비스 플랫폼과 가스·전기 설비 안전진단 플랫폼을 OSI 7 계층으로 표현하였는데, 데이터는 XML(eXtensible Markup Language) 기반 웹 서비스를 통해 수집하거나 공통정보 모델 형태로도 교환하여 공유, 통합한다. 지금까지 설비 안전 감시진단 서비스는 가스, 전기 별로 적용된 종속적, 폐쇄적인 수직 구조에서 이루어졌다고 할 수 있다. 가스전기 설비 안전 감시진단에 공통으로 용이한 구조는 통합, 공유, 호환, 확장이 가능한 수평적 구조의 ICT 기반 인프라 구조이다. 에너지원의 추가에 따른 에너지 융합형의 안전관리 서비스 제공뿐만 아니라 개별 에너지원 설비 개수 및 증축에 대한 대응이 용이한 구조로 구축할 수 있다.

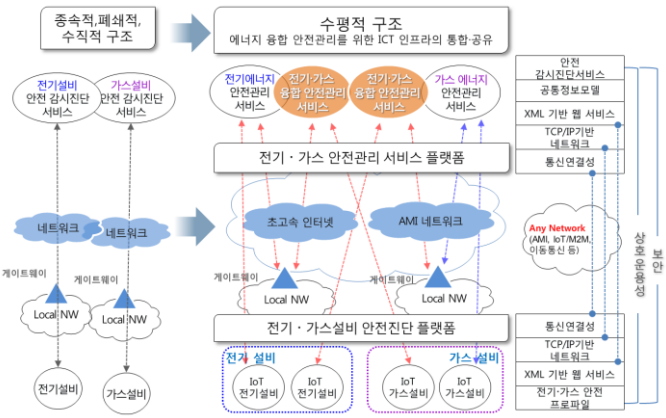



**그림 2. ICT 기반 에너지 안전관리 인프라 구조**

## 5. 참고 문헌

[1] 최정우, 윤기봉, "에너지 안전 기술의 현황 및 개발 전략," 에너지공학, 제 17 권 제 4 호, pp. 175~181, 2008

[2] 윤기봉, *차세대 에너지안전 첨단관리시스템 실증*, 중앙대학교, 2012

[3] 국민안전처 중앙소방본부, "최근 5 년간 전통시장 화재 발생 및 인명·재산 피해 현황" 2015.9

[4] 한국가스안전공사, *2014 년 가스사고연감*, 2015.5.

*본 논문은 2015 년도 산업통상자원부 에너지기술개발사업의 지원으로 수행된 연구결과임 (과제번호: 20152010500080, "에너지 사용 밀집지역용 융합형 안전관리 플랫폼 개발")

# 스몰셀 네트워크 환경에서 네트워크 에너지 효율 증대를 위한 SDN 기반 하향링크 전송 전력 할당 기법

권범, 이경오, 이상훈°

연세대학교 전기전자공학과

# SDN-based Downlink Power Allocation Method for Network Energy Efficiency in Small Cell Network

Beom Kwon, Kyoungoh Lee, Sanghoon Lee°

Department of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University

{hsm260, kasinamooth, slee}@yonsei.ac.kr

요 약

본 논문은 스몰셀 네트워크 환경에서, 전체 네트워크의 에너지 효율 증대를 위한 SDN(software-defined network)기반 스몰셀 프레임 워크를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 SDN 기반 스몰셀 프레임 워크에서는 SDN 컨트롤러가 스몰셀들을 관리/제어하고, 스몰셀 내에 위치하는 이동단말로부터 피드백 받은 채널정보를 기반으로 전체 네트워크 에너지 효율 증대를 위한 각 스몰셀들의 하향링크 전송 전력을 할당한다.

## 1. 서론

최근 다수의 스몰셀 및 네트워크가 공존하는 이동통신 시스템 환경이 도래됨에 따라, 전체 네트워크의 에너지 효율에 대한 이슈가 활발히 논의되고 있다. 에너지 효율은 단위 소비 전력당 얻을 수 있는 채널 용량으로 정의되며, 에너지 효율을 증대시키기 위해서는 스몰셀들 간의 능동적인 협력을 통해 각 스몰셀들의 하향링크 전송 전력을 할당하는 기술 개발이 필수적이다. 하지만 기존의 스몰셀들의 운영 방식은 셀 내 이동단말들의 채널 용량을 최대화하기 위해서 최대 전송 전력을 사용하는 것이 일반적이었다. 각 스몰셀들이 최대 전송 전력을 하향링크 전송 전력으로 할당할 경우, 인접 스몰셀들간의 간섭 문제로 이동단말들의 채널 용량이 떨어지는 문제가 발생하기 때문에, 에너지 효율 관점에서는 매우 비효율 적인 운영 방식이라고 할 수 있다[1]-[5].

이에 본 논문에서는 다수의 스몰셀들이 공존하는 스몰셀 네트워크 환경에서, 전체 네트워크의 에너지 효율 증대를 위한 SDN(software-defined network)기반 스몰셀 프레임 워크를 제안한다. 제안하는 SDN 기반 스몰셀 프레임 워크에서는 SDN 컨트롤러가 스몰셀들을 관리 및 제어하고, 스몰셀 내 이동단말로부터 피드백 받은 채널정보를 기반으로 에너지 효율 최적화 문제를 풀고, 이를 통해 찾아낸 최적해 값들을 각 스몰셀들의 하향 링크 전송 전력으로 할당한다.

## 2. 본론

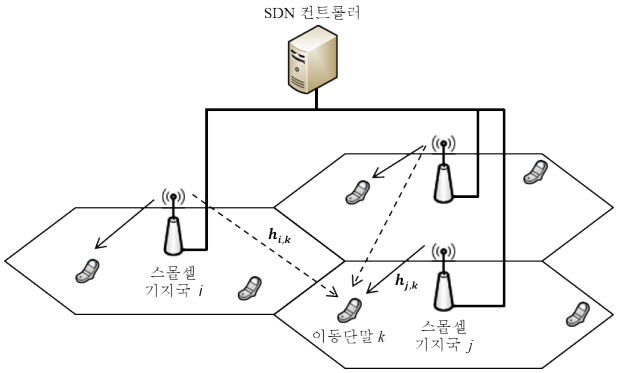



**Fig. 1** 제안하는 SDN 기반 스몰셀 프레임 워크의 구조도

Figure 1 은 중앙의 SDN 컨트롤러가 다수의 스몰셀들을 관리/제어하는 SDN 기반 스몰셀 프레임 워크의 구조도이다. SDN 컨트롤러와 각 스몰셀들은 유선으로 연결되어 있으며, 이 유선망을 통해 각 스몰셀들은 셀 내에 위치하는 이동단말로부터 피드백 받은 채널정보를 SDN 컨트롤러에게 전달한다.

제안하는 프레임 워크에서, 스몰셀 $i$ 에 위치한 이동단말 $k$ 가 시간 $t$ 에서 수신하는 수신신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y_{i,k}(t) = \sqrt{p_i(t)}h_{i,k}(t)x_i(t) + \sum_{j=1,j\neq i}^{M}\sqrt{p_j(t)}h_{j,k}(t)x_j(t) + n_{i,k}(t) \quad (1)$$

(1)에서 $p_i(t)$ 는 스몰셀 $i$ 의 하향링크 전송 전력, $h_{i,k}(t)$ 는 스몰셀 $i$ 와 이동단말 $k$ 사이의 무선채널, $x_i(t)$ 는 스몰셀 $i$ 가 전송하는 데이터 신호, $M$ 은 전체 스몰셀의 개수, $n_{i,k}(t)$ 는 스몰셀 $i$ 와 이동단말 $k$ 사이의 잡음이다. 스몰셀 $i$ 에 위치한 이동단말 $k$ 가 시간 $t$ 에서의 채널 용량은 $N$ 은 잡음 전력이라고 했을 때 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C_k(t) = \log_2\left(1 + \frac{\left|h_{i,k}(t)\right|^2 p_i(t)}{N + \sum_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{M} \left|h_{j,k}(t)\right|^2 p_j(t)}\right) \quad (2)$$

본 논문에서 스몰셀 네트워크 전체의 에너지 효율은 스몰셀 네트워크가 단위 시간당 소비하는 소비 전력 대비 각 셀의 이동단말들이 얻을 수 있는 채널 용량으로 다음과 같이 정의된다.

$$EE(t) = \frac{\sum_{i=1}^{M} C_{i,k}(t)}{\sum_{i=1}^{M} p_i(t) + p_{i,cir}} \quad (3)$$

(3)에서 $p_{i,cir}$ 은 각 스몰셀이 하향링크 전송과 상관 없이, 동작을 위해 매시간 소비하는 소비 전력으로 본 논문에서는 상수로 가정하였다. 전체 네트워크의 에너지 효율을 증대시키는 각 스몰셀들의 하향링크 전송 전략을 구하는 것은, (3)을 목적함수로 하는 아래의 최적화 문제를 푸는 것과 같다.

$$\begin{aligned} &\underset{\mathbf{p}(t)}{\text{maximize}} \quad EE(t) \\ &\text{subject to} \quad 0 \le p_i(t) \le p_{i,\max}, i = 1, \cdots, M \end{aligned} \quad (4)$$

(4)의 최적화 문제에서 제약식은 각 스몰셀들의 하향링크 전송 전력 값이 0 과 최대 전송 전력 $p_{i,\max}$ 사이에서 결정된다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 [1]의 알고리즘을 이용하여 (4)의 해를 구하였다.

## 3. 실험결과

제안하는 기법의 성능 평가를 위해 표준문서 [6]를 참조하여 Table 1 과 같은 실험 환경을 구축하였다.

**Table 1** 실험 환경 파라메터

| Parameters | Assumptions |
|---|---|
| Pico BS noise figure | 6 dB |
| Maximum Pico TX power | 24dBm |
| Min separation UE to Pico BS | 2 m |
| Scheduling algorithm | Round Robin |
| Duration of a time slot | 10 ms |

**Table 2** 실험결과 비교표

| | 소비 전력 [W] | 채널 용량 [bps/Hz] | 에너지 효율 [bps/Hz/W] |
|---|---|---|---|
| 기존 방법 | 179.27 | 1895.67 | 10.57 |
| 제안 방법 | 53.34 | 1412.46 | 26.48 |

Table 2 는 기존 방법(최대 전송 전력을 사용하는 방법)과 제안하는 기법의 실험결과를 보여준다. 기존 방법의 경우 각 셀 내의 이동단말의 채널 상태와는 상관 없이, 매 time slot 마다 최대 전송 전력을 각 스몰셀의 하향링크 전송 전력에 할당한 것으로써, 제안 방법 대비 많은 소비 전력을 소비하는 동시에 채널 용량도 보다 많이 얻는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 에너지 효율 관점에서는 제안하는 방법이 기존 방법 대비 약 2.5 배 더 높은 성능을 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

## 4. 결론

본 논문에서는 스몰셀 네트워크 환경에서, 전체 네트워크 에너지 효율을 증대 시키기 위해서 SDN 기반의 스몰셀 프레임 워크와 각 스몰셀들의 하향링크 전송 전력을 할당하는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 중앙의 SDN 컨트롤러에 의해서 수행되며, SDN 컨트롤러는 스몰셀들로부터 셀 내 이동단말들의 채널 피드백 정보를 전달받아 이를 토대로 각 스몰셀의 하향링크 전송 전력을 할당한다. 제안하는 기법의 성능 평가를 위해서 LTE 표준문서를 참조하여 실험 환경을 구축하였고, 기존 기법과의 성능 비교를 통하여 제안하는 기법의 우수성을 검증하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2013 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2013R1A1A2A10011764)

## 5. 참고 문헌

[1] B. Kwon, et al. “A downlink power control algorithm for long-term energy efficiency of small cell network,” Wireless Networks, vol. 21, no. 7, pp. 2223-2236, Oct. 2015.

[2] Seonghyun Kim and Sanghoon Lee, “Coordinated multicast based on MIMO relay station in a single frequency network,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 2, pp. 685-698, Feb. 2016.

[3] Beom Kwon, et al. “Virtual MIMO Broadcasting Transceiver Design for Multi-Hop Relay Networks,” Digital Signal Processing, Vol. 46, pp. 97-107. November 2015.

[4] Beom Kwon, et al. “A Target position decision algorithm based on analysis of path departure for an autonomous path keeping system,” Wireless Personal Communications, Vol. 83, No. 3, pp. 1843-1865, Aug. 2015

[5] Seonghyun Kim and Sanghoon Lee, “Link capacity-energy aware WDC for network lifetime maximization,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 14, No. 8, pp. 1615-1628, Aug. 2015.

[6] 3GPP TR 36.931 V13.0.0 (2016-01).

# RF-EH CR 네트워크에서 2 차 사용자의 Energy Outage 분석

오선애°, 신요안*
숭실대학교 전자정보공학부
{sunae0814, yashin}@ssu.ac.kr
* 교신저자

## 1. 서론

Radio frequency (RF) 신호는 정보와 에너지를 모두 포함하고 있으며 주변에 늘 존재하고 있기 때문에, RF 신호로부터 에너지를 수집하는 RF energy harvesting (RF-EH) 기술은 최근 들어 Self-sustainable 에너지 공급 기술로 각광받고 있다. 또한 스펙트럼 사용 효율을 개선하는 인지 라디오 (Cognitive Radio; CR) 기술과 결합하여 스펙트럼 및 에너지 효율을 개선하려는 연구들이 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 CR 네트워크에서 RF-EH 기능을 갖는 2 차 사용자 (Secondary User; SU)가 에너지를 완전히 소모할 확률 (Energy Outage)을 수식적으로 도출하고 실험을 통해 제안하는 분석의 정확성을 검증한다. RF-EH SU 는 1 차 사용자 (Primary User; PU)가 사용하지 않는 스펙트럼을 검출하면 데이터를 전송하고, PU 가 사용하는 스펙트럼을 검출하면 전송을 포기하거나 다른 스펙트럼 검출을 시도하는 기존의 SU 와 달리 PU 의 RF 신호로부터 에너지를 수집한다 [1].

## 2. RF-EH SU 의 Energy Outage 분석

본 논문에서는 PU 에 의한 스펙트럼 점유를 그림 1 에서와 같이 서로 상관된 2 개의 상태로 구현하였다. PU 의 신호와 잡음은 모두 circularly symmetric complex Gaussian (CSCG) 신호로 가정하였으며 [2], EH SU 는 항상 전송해야 할 데이터가 있다고 가정하였다. 따라서 스펙트럼에 접근하기 위해 EH SU 는 각 슬롯의 시작점에서 일정 시간동안 스펙트럼 센싱을 진행하며, 센싱 결과 $\theta$ 에 따라 다음과 같이 에너지 레벨이 변하게 된다.

1) 에너지를 소모하는 경우: 슬롯 $n$ 에서의 센싱 결과가 $\theta_n = 0$ 이면 SU 는 해당 스펙트럼에서 데이터를 전송 및 에너지를 소모한다.
2) 에너지를 수집하는 경우: 슬롯 $n$ 에서 PU 가 사용하고 있는 스펙트럼을 정확하게 검출하여 에너지를 수집한다.
3) 에너지 레벨이 변하지 않는 경우: 슬롯 $n$ 에서 PU 가 사용하지 않는 스펙트럼의 센싱 결과가 $\theta_n = 1$ 이면 EH SU 는 데이터를 전송하지 않는 동시에 에너지도 수집할 수 없게 된다.

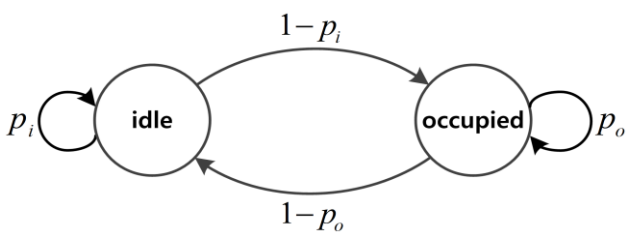



그림 1. 스펙트럼 상태 천이 다이어그램

스펙트럼 센싱이 소모하는 에너지를 고려하지 않았으며, 한 슬롯에서 데이터 전송에 사용되는 에너지와 수집한 에너지의 양이 동일하다고 가정하였다. EH SU 의 배터리 사이즈가 $L$ 일 때 에너지 레벨 0 부터 $L-1$ 에서의 천이확률을 분석하여 Markov 모델을 구축하였으며, 해당 모델로부터 에너지 레벨이 $l = 0$ 이 되는 안정상태 확률을 도출하였다.

## 3. 시뮬레이션 결과 및 결론

제안하는 분석의 정확성을 입증하기 위해 다양한 스펙트럼 점유 환경을 고려하여 EH SU 에서 측정한 PU 의 signal-to-noise ratio (SNR)에 따른 Energy Outage 확률의 이론 값과 시뮬레이션 값의 비교를 진행하였다. EH SU 는 100 ms 구간의 각 슬롯의 시작점에서 2 ms 동안 1 MHz 의 샘플링 주파수로 샘플링을 진행하며 배터리 사이즈는 100, 오경보 확률은 0.01 로 고정하였으며, 시뮬레이션 결과는 그림 2 에서 도시한다. 그림 2 로부터 EH SU 가 측정한 PU 의 SNR 이 증가하면 탐색확률이 증가하여 EH SU 의 스펙트럼 접근 빈도가 감소하는 반면에 많은 양의 에너지를 수집하기 때문에 Energy Outage 확률이 점차 감소하는 것을 알 수 있다.

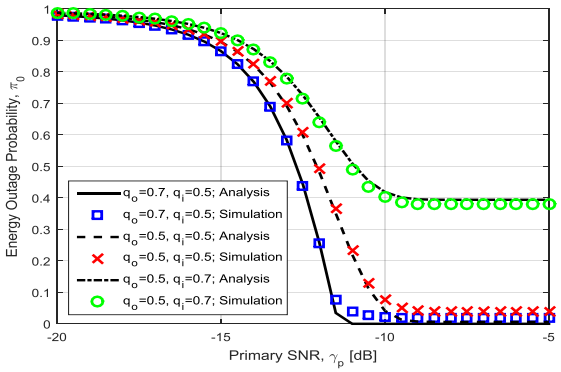



그림 2. PU 의 SNR 에 따른 EH SU 의 Energy Outage 확률

## 4. 감사의 글

본 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A5A1011478).

## 5. 참고 문헌

[1] D. Hoang, D. Niyato, P. Wang, and D. I. Kim, "Opportunistic channel access and RF energy harvesting in cognitive radio networks," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, vol. 32, no. 11, pp. 2039-2052, Nov. 2014.

[2] Y.-C. Liang, Y. Zeng, E. Peh, and A. T. Hoang, "Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 4, pp. 1326-1337, Apr. 2008.

# 두 Decimate 된 수열 간의 상호 상관도의 상한

*조창민°, *이위직, *노종선, **김영식

*서울대학교 전기정보공학부

**조선대학교 정보통신공학과

# Upper Bound on the Cross-Correlation Magnitude of Two Decimated Sequences

*Chang-Min Cho°, *Wijik Lee, *Jong-Seon No, and **Young-Sik Kim

*Department of ECE, Seoul National University

**Department of ICE, Chosun University

ccm8686@ccl.snu.ac.kr, leewj422@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, iamyskim@chosun.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 홀수인 소수 $p$, $n=2m$, $p^m \equiv 1 \pmod 4$일 때에 m-수열의 서로 다른 두 개의 decimate 된 수열, $s(2t+i)$와 $s(2(p^m+1)t+j)$ 간의 상호 상관도(cross-correlation)를 분석한다. 두 수열 간의 상호 상관도의 절대값의 상한 값이 $\frac{3}{2}p^m+\frac{1}{2}$로 주어진다는 것을 Weil 의 exponential sum 에 대한 bound 를 이용해서 증명한다.

## 1. 서론

유사잡음수열(PN sequence)은 CDMA, 대역확산, 암호, GPS 등의 다양한 통신 분야에서 활용되는 신호이다. 이러한 수열이 가져야 하는 특성으로 낮은 상관도(correlation) 값이 있으며, 이를 만족하는 수열군을 생성하기 위한 방법으로 m-수열과 이를 decimate 한 수열 간의 상호 상관도를 구하는 연구들이 이루어졌다. [1]-[5]

한편, 최근에는 m-수열을 2 로 decimate 한 수열과 또다른 decimate 된 수열 간의 상호 상관도를 구하고, 이 수열들을 이용하여 새로운 수열 군을 생성하는 연구가 진행되었다. [6]-[9]

본 논문에서는 홀수인 소수 $p$, $n=2m$, $p^m \equiv 1 \pmod 4$ 일 때에 대하여, 2 로 decimate 된 수열 $s(2t+i)$ 와 $2(p^m+1)$ 으로 decimate 된 수열 $s(2(p^m+1)t+j)$ 간의 상호 상관도에 대하여 분석한다. 상호 상관도 함수는 $p$와 $n$, $i$ 및 $j$에 따라 다양한 값을 가지고, 이때의 상호 상관도의 절대값의 상한은 $\frac{3}{2}p^m+\frac{1}{2}$로 주어진다.

## 2. 배경 이론

소수 $p$와 양의 정수 $n$에 대하여, $F_{p^n}$은 $p^n$개의 원소를 가지는 유한체(finite field)이고, $F_{p^n}^* = F_{p^n} \setminus \{0\}$이다. 이때 $F_{p^n}$에서 $F_{p^m}$ $(m|n)$으로의 trace 함수 $\mathrm{tr}_m^n(\cdot)$을 다음과 같이 정의한다.

$$\mathrm{tr}_m^n(x) = \sum_{i=0}^{\frac{n}{m}-1} x^{p^{mi}}$$

다음으로, group $G$ 상에서의 character 는 $G$에서 multiplicative group $U$로의 group homomorphism 으로 정의되며, 이때 $U$의 원소는 크기가 1 인 복소수이다. 유한체에서는 additive character 와 multiplicative character 의 두 가지 character 를 정의할 수 있으며, additive character 는 trace 함수를 이용해 다음과 같이 정의된다.

$$\chi(c) = e^{\frac{2\pi i \mathrm{tr}_1^n(c)}{p}} \quad \text{for all } c \in F_{p^n}$$

한편 multiplicative character 는 다음과 같이 정의할 수 있다. $\alpha$가 유한체 $F_{p^n}$의 원시근(primitive element) 이고, $j = 0,1,\dots,p^n-2$에 대해서

$$\psi_j(\alpha^k) = e^{\frac{2\pi i j k}{p^n-1}} \quad \text{for } k = 0,1,\dots,p^n-2$$

으로 나타낼 수 있다. 이러한 multiplicative character 중 한 가지로, $j=\frac{p^n-1}{2}$ 로 설정했을 경우 이를 quadratic character $\eta(x)$으로 표기하며, 이 함수는 $x$ 의 값이 quadratic residue 일 때는 1 이 되고, quadratic nonresidue 일 때에는 -1 이다.

다음은 character 의 합의 크기에 대한 Weil 의 bound 로, 본 논문의 결과의 증명에 사용된다.

**사전정리 1** (Weil's bound): [10] $\chi$와 $\psi$가 각각 $F_q$의 additive character 와 order $m$인 multiplicative character 라 하자. $f, g \in F_q[x]$이고, 어떠한 $h \in \bar{F}_q[x]$에 대하여 $f \neq h^p - h$ 또는 $g \neq h^m$이 성립할 경우, 다음 식이 성립한다.

$$\left|\sum_{x\in F_q}\psi(g(x))\,\chi(f(x))\right| \le (e+s-1)\sqrt{q}$$

여기서 $e$는 $f$의 차수이고, $s$는 $g$의 $\bar{F}_q[x]$에서의 서로 다른 근의 개수이다.

## 3. 상호 상관도 분석

두 수열 $s(2t+i)$와 $s(2(p^m+1)t+j)$ 간의 상호 상관도 함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{\frac{p^n-1}{2}-1} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(\alpha^{2(t+\tau)+i}-\alpha^{2(p^m+1)t+j}\right)} \\ &= \frac{1}{2}\sum_{t=0}^{p^n-2} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(\alpha^{2(t+\tau)+i}-\alpha^{2(p^m+1)t+j}\right)} \\ &= \frac{1}{2}\sum_{x\in F_{p^n}^*} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ax^2-bx^{2(p^m+1)}\right)} \end{aligned}$$

여기에서 $x=\alpha^t$, $a=\alpha^{2\tau+i}$, $b=\alpha^j$이다. $y=x^2$으로 놓으면 위 식을 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$C_b(a) = \frac{1}{2}\left[\sum_{y\in F_{p^n}^*} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)} + \sum_{y\in F_{p^n}^*} \eta(y)\omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right]$$

이제 상호 상관도 크기 $|C_b(a)|$의 상한을 구한다. 위 식에서 첫 번째 항은 $p$진 Kasami 수열[5]의 상호 상관도 특성으로부터

$$\left|\sum_{y\in F_{p^n}^*} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right| \le p^m+1$$

임을 알 수 있다. 다음으로,

$$\left|\sum_{y\in F_{p^n}^*} \eta(y)\omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right| \le 2p^m$$

이 된다. 이는 함수 $\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)$와 $\mathrm{tr}_1^n(a'z-b'z^2)$이 변수 $a,b,a',b'$의 값을 잘 선택함으로써 동일한 값을 얻을 수 있음을 보이고, 여기에 Weil's bound를 적용하여

$$\left|\sum_{y\in F_{p^n}^*} \eta(y)\omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right| = \left|\sum_{z\in F_{p^n}^*} \eta(g(z))\omega^{\mathrm{tr}_1^n(a'z-b'z^2)}\right| \le 2p^m$$

임을 보일 수 있다. 여기에서 $g(z)$은 $z$에서 $y$로의 하나의 서로 다른 근을 가지는 함수이다.

따라서, 상호 상관도 크기 $|C_b(a)|$의 상한은

$$\begin{aligned} |C_b(a)| &= \frac{1}{2}\left|\sum_{y\in F_{p^n}^*} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)} + \sum_{y\in F_{p^n}^*} \eta(y)\omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right| \\ &\le \frac{1}{2}\left(\left|\sum_{y\in F_{p^n}^*} \omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right| + \left|\sum_{y\in F_{p^n}^*} \eta(y)\omega^{\mathrm{tr}_1^n\left(ay-by^{p^m+1}\right)}\right|\right) \\ &\le \frac{3}{2}p^m+\frac{1}{2} \end{aligned}$$

으로 주어진다.

## 4. 참고 문헌


[1] T. Helleseth, "Some results about the cross-correlation function between two maximal linear sequences," *Discr. Math.*, vol. 16, pp. 209–232, 1976.

[2] E. N. Muller, "On the cross-correlation of sequences over $GF(p)$ with short periods," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 45, no. 1, pp. 289 –295, Jan.1999.

[3] J. Luo, "Cross correlation of nonbinary Niho-type sequences," *Proc. IEEE Int. Symp. Information Theory*, pp. 1297-1299, Austin, USA, Jun. 2010.

[4] Y. Xia and S. Chen, "Cross-correlation distribution between a *p*-ary m-sequence and its decimated sequence with decimation factor $\frac{(p^m+1)^2}{2(p^e+1)}$," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E97-A, no. 5, pp. 1103-1112, May 2014.

[5] S. C. Liu and J. F. Komo, "Nonbinary Kasami sequences over $GF(p)$," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 38, no. 4, pp. 1409-1412, Jul. 1992.

[6] J. Y. Kim, S. T. Choi, J. S. No, and H. Chung, "A new family of *p*-ary sequences of period $\frac{p^n-1}{2}$ with low correlation," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, no. 6, pp. 3825-3830, Jun. 2011.

[7] Y. Xia and S. Chen, "A new family of *p*-ary sequences with low correlation constructed from decimated sequences," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 9, pp. 6037-6046, Sep. 2012.

[8] W. Lee, J. Y. Kim, and J. S. No, "New families of *p*-ary sequences of period $\frac{p^n-1}{2}$ with low maximum correlation magnitude," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E97-B, no.11, pp.2311-2315, Nov. 2014.

[9] C. M. Cho, J. Y. Kim, and J. S. No, "New *p*-ary sequence families of period $\frac{p^n-1}{2}$ with good correlation property using two decimated m-sequences," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E98-B, no. 7, pp. 1268-1275, July 2015.

[10] A. Weil, "On some exponential sums," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, USA, vol.34, no.5, pp. 204-207, 1948.

# 스마트폰 기반의 동력 보조형 상지 재활 로봇 제어 시스템 설계

임종국°, 최용근

단국 대학교 응용컴퓨터학과

# Smartphone-based motor-driven arm rehabilitation robot for stroke patient

Jongkuk Lim°, Younggeun Choi

Department of Applied Computer Engineering, Dankook University

Lim.JeiKei@gmail.com, younggch@gmail.com

## 요 약

뇌졸중의 재활 치료는 지속적인 반복 운동 요구되기 때문에 많은 시간이 소요된다. 그러나 이에 필요한 인력이나 시설이 부족한 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 환자가 의료시설을 방문하지 않고 집에서도 상지 재활 훈련을 할 수 있으며 스마트폰 어플리케이션에 기반한 동력 보조형 상지 재활 로봇을 설계함으로서 상황에 따라 목적에 맞는 재활 훈련 어플리케이션 구동이 가능한 시스템을 설계하였다.

## 1. 서론

뇌졸중은 전 세계적으로 사망의 중요한 원인이 되고 있다. 매년 전 세계적으로 1,600 만명 이상의 신규 환자가 발생하는 추세이며 뇌졸중으로 인한 사망자 수는 약 560 만명에 이른다[1]. 뇌졸중은 뇌조직의 혈액공급이 중단되면서 뇌손상이 발생하는 등의 장애가 발생하게 된다. 이는 감각 및 운동 기능의 손상을 유발하는 것으로 이어지게 된다[2]. 손상된 뇌의 기능을 치료하기 위해서는 많은 시간의 물리치료를 시행하는 것이 일반적이나 그에 비해 필요한 인력이나 시설이 상당수 부족한 편이다[3]. 재활치료는 그 특성상 치료시간이 재활의 양을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것은 일반적으로 알려진 사실이나[4] 뒷받침을 해줄 부족한 의료시설로 인한 많은 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 의료시설을 방문하지 않고 집에서 환자 혼자서도 재활 치료가 가능한 재활 로봇을 제안하였다. 해당 재활 로봇은 스마트폰 어플리케이션에 기반한 재활 로봇으로서 한가지 목적에만 부합하는 것이 아닌 원하는 응용 어플리케이션을 제작할수 있다는 점에서 다목적 재활 로봇이라고 할 수 있다.

## 2. 구조

로봇의 구조는 그림 1 과 같으며 실제 구동 모습은 그림 2 와 같다.

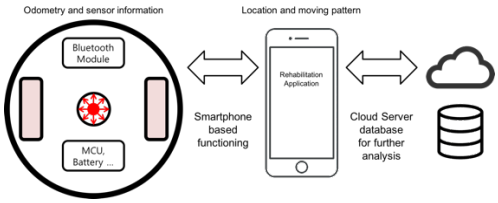



그림 1 스마트폰 기반 동력 보조형 상지 재활 로봇 구조

그림 2 [왼쪽] 제작된 재활 로봇 모습 [오른쪽] 재활 훈련을 실시하는 모습

하단부에는 2 개의 동력 장치가 들어가며 상단부에는 한개의 손잡이형 입력장치가 들어간다. 여기에 블루투스 통신을 통하여 로봇은 명령을 받거나 현재 로봇의 상태를 전송하게 된다. 전송 받은 데이터는 추가적인 분석을 위한 데이터베이스 서버로 저장된다. 해당 로봇은 평상시에는 그림 3 에서 나오는 것과 같이 손잡이형 입력장치의 입력값을 기준으로 재활 환자가 이동하려는 방향을 감지하여 로봇을 해당 방향으로 움직임에 힘을 더해주어 재활 훈련을 돕는다. 스마트폰과 접속이 되어 통신을 하는 경우에는 오직 블루투스 통신에 의해서 사전에 규약된 명령어를 통해서만 움직이는데 이에 따라 목적에 맞는 재활 훈련 어플리케이션을 작성하여 재활 훈련이 가능하다. 로봇과 스마트폰이 주고받는 데이

터는 크게 감지 데이터와 명령 데이터로 나눌 수 있다. 감지 데이터는 로봇에서 나올 수 있는 데이터로서 손잡이형 입력장치의 현재 각도값과 로봇에 부착된 동력 장치의 주행 거리 측정값이다. 명령 데이터는 스마트폰에서 로봇에게 전달하는 것으로서 주로 동력 장치의 구동 명령을 의미한다.

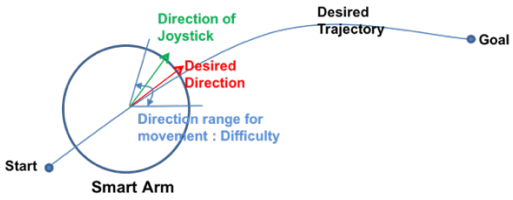



그림 3 입력장치의 방향과 실제 움직여야 하는 측정과 궤적 계산 그래프

## 3. 재활 어플리케이션 예제

뇌졸중 환자의 재활 치료를 위하여 본 연구에서 제안한 스마트폰 기반 어플리케이션의 전체적은 구조는 그림 4 와 같다. 환자는 상지 움직임 훈련시 어떤 모양으로 움직여 훈련할지를 선택 후, 스마트폰 어플리케이션과 함께 훈련을 한다. 이때 훈련하는 모드는 3 가지로 분류 할 수 있다. 첫번째는 환자 능동 제어로서 환자가 로봇의 손잡이형 입력장치를 제어하는 대로 로봇이 움직이는 방식이다. 이는 어느정도 손상 정도가 약하거나 재활 훈련 진전을 보이는 환자가 사용하기에 적합한 모드이며 로봇의 입력장치를 원하는대로 제어하기에 어려움을 겪는 환자의 경우는 두번째 모드인 수동적 도움 모드를 이용할 수 있다. 수동적 도움 모드는 재활 훈련 환자가 입력 장치의 입력 방향과 상관없이 사전에 훈련하기로 선택한 모양대로 로봇이 움직이는 모드이다. 따라서 마음대로 움직임이 어려운 환자의 움직임을 보정해준다. 본인의 의사대로 또는 아예 움직임이 어려운 환자의 경우도 있다. 그러한 경우는 세번째 모드인 능동형 보조 모드를 활용한다. 이는 환자의 입력과 무관하게 사전에 선택한 모양대로 로봇이 움직여 환자의 상지 움직임 재활을 돕는다.

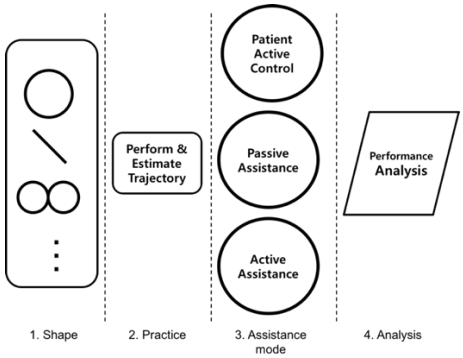



그림 4 스마트폰 기반의 재활 어플리케이션 구조

재활 훈련을 하는 과정에서 환자가 이동한 경로는 모두 스마트폰 어플리케이션 내부에서 기록이 되어 목표로 삼은 모양대로 잘 움직였는지에 대한 판단 기준이 된다. 실제 어플리케이션에서 추적하고 기록이 된 화면을 그림 5 에서 보여주고 있다.

그림 5 [왼쪽] 상지 재활 훈련을 위해 움직이기로 선택한 모양. [오른쪽] 재활 환자가 실제 움직인 경로.(빨간색이 원래 경로, 파란색이 실제로 움직인 경로이다)

## 4. 결론 및 향후 방향

재활 환자의 상지 움직임을 도와주며원하는 목적에 맞게 적응이 가능한 스마트폰 어플리케이션 기반 동력 구동 로봇을 제작하였다. 향후에는 환자의 재활훈련을 위한 로봇의 기구물 향상을 할 예정이며, 환자가 재활 훈련 시 움직임과 제시한 모양의 유사도를 측정 후 알맞는 훈련을 추천해주는 알고리듬 개발을 할 계획이다.

## 5. 사사

이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2014-050-005-064, 빅데이타 기반 협업 보조 훈련 스마트 재활 플랫폼 개발]

## 6. 참고 문헌

[1] Strong, Kathleen, Colin Mathers, and Ruth Bonita. *Preventing stroke: saving lives around the world*, The Lancet Neurology 6.2 : 182-187, 2007

[2] Gillen, Glen. *Stroke rehabilitation: a function-based approach*, Elsevier Health Sciences, 2015.

[3] Brandt Jr, Edward N., and Andrew M. Pope, eds. *Enabling America :: Assessing the Role of Rehabilitation Science and Engineering*, National Academies Press, 1997.

[4] Wolf, Steven L., et al. *Repetitive task practice: a critical review of constraint-induced movement therapy in stroke*, The neurologist 8.6 : 325, 2002

# 초음파와 블루투스를 활용한 실내 위치특정

한재훈°, 전재욱, 진성근
대구대학교 컴퓨터 IT 공학부
sa2622@live.daegu.ac.kr, takor88@live.daegu.ac.kr, sgjin@daegu.ac.kr

## 1. 서론

위치기반서비스는 스마트폰의 보급 이후 무선인터넷과, Global Positioning System(GPS)탑재 단말 확산 등 사회에서 급 부상하고 있는 서비스이다. 이러한 위치기반 서비스는 대게 실외의 정보를 요구하지만 최근에는 쇼핑, 실내레저, 업무 등 대부분이 실내에서 이루어 지고 있어 실내의 사용자 정보를 요구한다. 그러나 GPS 기술에 의지한 위치기반 서비스는 실내에서 제공할 수 없는 단점이 있다. 이로 인해 실내 공간을 대상으로 제공되는 다양한 형태의 위치기반서비스가 주목 받기 시작하였다. 이에, 본 논문에서는 향후 주요 응용서비스의 한 부류가 될 실내위치기반서비스의 제공을 위해 필요한 실내위치를 특정 할 수 있도록 그 활용성이 대두되고 있는 사물인터넷을 통해 블루투스와 초음파를 사용하고 실내위치를 특정하는 방법 활용 계획에 대하여 소개한다.

## 2. 초음파와 블루투스를 이용한 거리측정

본 논문에서는 IoT 에 활용할 장비를 개발 하는 것인 만큼, 크기가 작고 전력소모가 적은 Intel Edison 을 통해 블루투스, 초음파를 사용하고 그를 통해 실내에서 위치를 특정할 방법에 대하여 소개한다. 먼저 Edison 은 작은 크기에 통신모듈로써 WiFi, Bluetooth 를 제공하며 Yocto Linux 를 운영체제로 사용하고, IoT 를 겨냥하여 출시된 제품인 만큼 스피커 센서를 통제할 I/O port 도 충분하다.

Edison 에서 사용되는 Yocto Linux [1]에는 블루투스 환경을 위해 Bluez [2]사에서 제공하는 Bluetoothctl 툴을 사용할 수 있다. 이를 활용하면 다른 블루투스 기기와의 페어링을 위한 handshake 과정을 이룰 수 있다. 페어링까지의 과정 이후로는 Python 의 serial 라이브러리를 통한 Python 소켓통신으로 데이터를 송수신하는 방법을 통하여 사용자의 스마트폰 및 다른 블루투스를 지원하는 기기와의 메시지를 주고 받을 수 있었다.

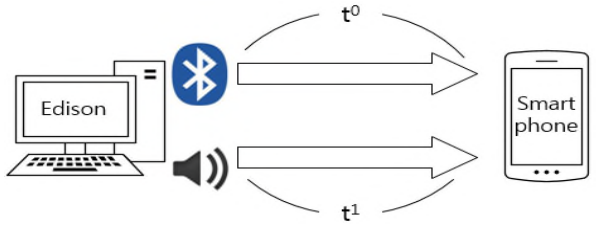



**그림 1. Edison 에서 스마트폰으로 블루투스와 초음파 신호 동시송신.**

그림 1. 에서 설명하는 것은 Edison 과 사용자 기기간의 초음파와 블루투스를 활용한 위치특정을 위해 사용할 방법을 간략하게 표현한 그림이다. 먼저 $t^0$ 는 Edison 에서 송신하는 블루투스 신호가 사용자의 기기에 전달되는데 걸리는 시간이다. 그리고 $t^1$ 은 Edison 에서 출력되는 초음파신호가 사용자기기에 도착하는 시간을 표현하였다.

초음파는 사람이 듣지 못하는 가청주파수(0~20Khz) 이상의 음파이다. 음속은 섭씨 15℃를 기준으로 약 340 m/s 의 속도를 가진다. 우리는 Edison 에서 초음파를 송신하여 사용자의 스마트 폰 마이크를 통해 수신 받는 시간차를 이용하여 사용자의 거리를 계산한다. 실내에서 설치된 Edison 을 통하여 사용자의 기기에 시간정보를 포함한 블루투스 신호를 보내고, 응답을 받음으로 기기간의 블루투스 송수신 속도를 알아낼 수 있다. 그 정보를 통해 다음번 송신 때는 사용자 기기 측으로 초음파 수신 대기 신호와 초음파를 동시에 송신하고, 사용자 기기 측에서는 초음파를 수신하게 되면 Edison 측으로 블루투스 신호를 보내어 Edison 에서 시간을 기록하는 것으로, 송수신 때 남겨진 시간정보를 통하여 기기간의 거리를 예측할 수 있다.

## 3. 결론

본론에서 소개된 속도를 이용한 방법으로는 사용자의 정확한 방향을 특정할 수 없으나, 초음파 발생원으로 사용되는 Edison 이 하나가 아닌 다수를 통하여 사용자의 위치를 삼각측량 방법으로 특정할 수 있다. 향후 이를 이용하여 사용자를 식별하고, 정밀한 위치를 알게 되어 사용자에게 필요한 행동을 제공할 수 있게 되는 지능형 오토메이션 시스템의 알고리즘을 만들 것이다.

## 참고문헌

[1] https://www.yoctoproject.org/.
[2] https://www.bluez.org/.

## 감사의 글

이 논문은 2014 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(사사번호 NRF-2014R1A1A2058490).

# 무선랜을 위한 Full-Duplex Radio 기술기반의 전송률 선택 알고리즘

양호준°, 박헌웅, Hu Jin, 김준수†

한양대학교 전자통신공학과, † 한국산업기술대학교 전자공학부

# A Full-Duplex Radio Technique Embedded Rate Adaptation Algorithm for WLANs

Ho Joon Yang°, Heon Woong Park, Hu Jin, and Junsu Kim†

Department of Electronics and Communication Engineering, Hanyang University

† Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University

{omnibusor, phu6842, hjin}@hanyang.ac.kr, † junsukim@kpu.ac.kr

## 요 약

무선랜 시스템에서의 Rate Adaptation Algorithm 의 하나인 Auto Rate Fallback (ARF)은 충돌과 채널 에러를 구분하지 못하기 때문에, 여러 단말이 존재하는 환경에서는 성능이 저하된다. 이에 대한 해결책으로 Loss Differentiating-ARF (LD-ARF) 알고리즘이 제안되었지만, RTS/CTS 메커니즘을 사용했기 때문에 오버헤드가 길어지는 문제점을 추가로 안고 있다. 본 논문에서는 최근 각광받고 있는 물리계층에서의 Full-Duplex (FD) Radio 기술을 도입하여 충돌과 채널에러를 구분하고, 오버헤드의 문제가 없는 FD-ARF 알고리즘을 제안한다. 또한, 시뮬레이션을 통해 FD-ARF 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 획기적인 성능 향상이 있음을 보여준다.

## 1. 서론

IEEE 802.11 무선랜 프로토콜의 성공적 연착 후 스마트폰, 태블릿 PC 등의 등장은 단말의 폭발적인 증가를 초래했고 이는 무선랜 표준의 성능향상을 위한 기술 요구로 이어졌다. 최근 성능을 향상시킬 수 있는 후보 기술로 송수신이 동시에 가능한 Full-Duplex (FD) Radio 가 각광을 받고 있다 [1].

효율적으로 무선 자원을 사용하기 위하여 채널의 상태에 따라 데이터 전송률을 조정하는 Rate Adaptation Algorithm 이 있었다. 높은 전송률은 채널 에러가 많이 발생할 수 있기에 반드시 높은 Throughput 을 보장해주진 못한다. 하여 채널의 상태에 따라서 낮은 전송률로 전송할 때 더 좋은 성능을 보여줄 수도 있다. 따라서, 채널의 상태에 따라 적절한 전송률을 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 전통적으로 사용되고 있는 Auto Rate Fallback (ARF) 알고리즘은 ACK 의 수신여부로 전송 성공 및 실패를 판단하고, 이 정보를 토대로 전송률을 조절하는 귀납적 방법이다 [2]. ARF 는 간단하고 효율적으로 전송률을 조정할 수 있지만, 여러 Station (STA) 및 Access Point (AP)가 있는 상황에서는 충돌로 인한 실패로 인해 좋은 채널 상황임에도 불구하고 전송률이 낮아지는 문제가 발생한다.

Pang 은 [3] 에서 Loss Differentiating ARF (LD-ARF) 알고리즘을 제안하여 이 문제를 해결했는데, CTS 를 성공여부 판단에 포함하면서 효율적인 판단을 유도했다. 결과적으로 채널에러와 충돌을 구분하게 되었지만, RTS/CTS 메커니즘을 사용함에 따라 오버헤드가 길어지는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 FD 기술을 기반으로 한 FD-ARF 알고리즘을 제안한다. FD 기술의 도입으로 STA (또는 AP)가 충돌감지 (Collision Detection)를 할 수 있게 되고 이 기능은 불필요한 Throughput 감소를 방지할 수 있게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2 장에서는 FD-ARF 알고리즘을 설명한다. 제 3 장에서는 시뮬레이션을 통한 성능분석을 한다. 마지막으로 제 4 장에서는 결론을 다룬다.

## 2. FD-ARF 알고리즘

FD 는 동일한 채널에서 동시에 송수신이 가능하다. FD 가 가능한 STA 는 송신 중에 다른 STA 가 송신하는 것을 감지할 수 있다. 즉 충돌감지 기능을 지원할 수 있다.

제안하고자 하는 FD-ARF 는 다음과 같이 충돌과 채널에러를 구분한다. 송신 STA 가 전송하는 동안 다른 STA 의 신호를 감지 하지 못했고, ACK 를 받지 못했다면 이는 채널 에러로 인한 전송 실패라고 판단한다. 반면, 송신 STA 가 전송하는 동안 다른 STA 의 전송신호를 FD 기술을 통해 감지하게 되면, 그 즉시 송신 STA 는 송신을 중단하고, 이를 충돌로 인한 전송 실패라고 판단한다. 하여 FD-ARF 는 LD-ARF 처럼 RTS/CTS 를 먼저 주고 받을 필요가 없다.

FD-ARF 의 자세한 알고리즘은 다음과 같다. 송신 STA 가 성공적으로 ACK 를 수신하면, down_count 를 0 으로 만들고 up_count 를 1 증가시킨다. up_count 가 10 이 되면, 다음 전송 시 전송률을 한 단계 올린다.

채널에러로 인해 ACK 를 수신하지 못할 경우, down_count 를 1 증가시키고 up_count 를 0 으로 만든다. 전송률을 올린 직후에 채널에러로 인해 ACK 를 수신하지 못할 경우, down_count 를 2 로 만든다. Down_count 가 2 가 되면, 다음 전송 때 전송률을 한 단계 낮춘다. 충돌로 인해서 ACK 를 받지 못하는 경우는 전송률을 조절하지 않는다.

## 3. 성능 분석

시뮬레이션 환경으로 8 개의 전송률을 지원하는 IEEE 802.11g 표준을 고려한다. 또한, 그림 1 과 같은 K-State Channel Model 을 채널로 고려했다. 각 State 는 표준이 지원하는 전송률의 값을 오름차순으로 가지고 있다. 예를 들어, 본 논문이 사용한 표준인 IEEE 802.11g 는 8 가지의 전송률을 지원하기 때문에, State 개수가 8 개이며, $S_0$ 는 6 Mbps, $S_7$ 은 54 Mbps 의 값을 갖는다. State 는 매 슬롯마다 인접 State 로 이동할 수 있고 그 이동 확률은 그림 1 에서 표시한 바와 같다. 본 논문에서는 그림 1 에서처럼 $S_3$ 을 Reference State 로 정하였는데 x 가 클수록 $S_3$ 에 머무는 확률이 높다. 실제 시스템에서는 STA 마다 서로 다른 Reference State 를 가질 수 있다. 시뮬레이션 상에서는 x 를 0.7 로 설정했다. 송신 STA 가 채널의 현재 State 보다 높은 전송률로 전송하면 채널 에러로 인해 전송이 실패하고, 현재 State 보다 같거나 낮은 전송률로 전송하면 채널 에러는 발생하지 않는다.

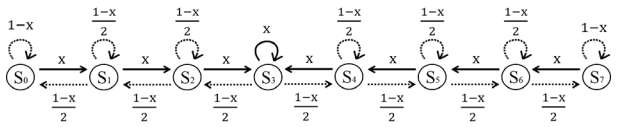



그림 1. K-State Channel Model.

네트워크 시나리오로 Uplink 만 존재하는 BSS(Basic Service Set)을 가정했고, 각 STA 의 채널은 독립적으로 변하고, 모든 STA 는 항상 보낼 패킷이 있는 Saturation 상황을 고려하였다. Payload 는 100 bytes 와 1,000 bytes 로 설정하였다. FD-ARF 와의 성능 비교를 위해, 같은 환경에서 기존의 ARF 와 LD-ARF 를 함께 고려했다.

그림 3 은 각 알고리즘의 Throughput 을 보여준다. STA 가 10 개이고 Payload 가 100 bytes 일 때, FD-ARF 는 LD-ARF 에 비해서 약 60%의 성능향상이 있음을 보여준다. 또한 STA 가 10 개이고 Payload 가 1,000 bytes 일 때, FD-ARF 는 LD-ARF 에 비해서 약 20%의 성능향상이 있다. 이는 FD-ARF 가 LD-ARF 에 비해 적은 오버헤드를 사용하기 때문이다. 또한, STA 의 개수가 적을 때에는 STA 간 충돌이 거의 발생하지 않기 때문에 ARF 는 FD-ARF 와 비슷한 Throughput 을 나타내지만, STA 수가 증가 할수록 급격한 차이를 보여준다. 이는 FD-ARF 가 충돌과 채널에러를 구분할 수 있는 반면, ARF 는 구분할 수 없기 때문에 나타나는 결과이다.

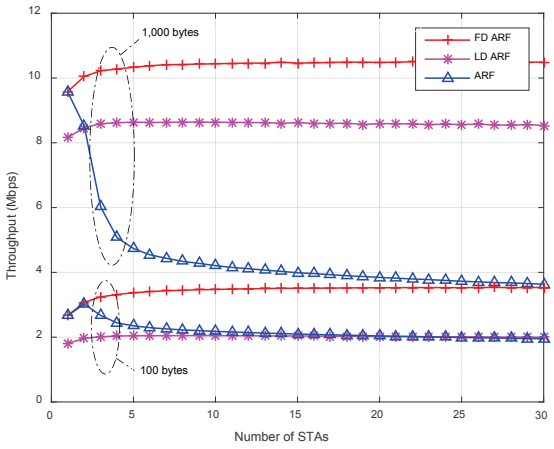



그림 3. Throughput vs. STA 개수

## 4. 결론

본 논문에서는 기존 ARF 방식에서 충돌로 인해 발생되는 불필요한 전송률 감소와 LD-ARF 방식에서 긴 오버헤드 문제를 줄이기 위하여 Full-Duplex Radio 기술을 이용한 FD-ARF 알고리즘을 제안하였다. FD-ARF 알고리즘은 충돌을 감지할 수 있어 충돌과 채널에러를 구별가능하기에 불필요한 전송률 감소를 미리 방지할 수 있다. 또한, 충돌구별을 위하여 RTS/CTS 와 같은 컨트롤 프레임을 사용하지 않기에, 오버헤드 문제를 해결할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 FD-ARF 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 획기적으로 높은 Throughput 성능을 보여줄 수 있음을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2015R1C1A1A01053857).

## 5. 참고 문헌

[1] D. Bharadia, E. McMilin, and S. Katti, “Full duplex radios,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 43, no. 4, pp. 375-386, Aug. 2013.

[2] Ad Kamerman and Leo Monteban, “WaveLAN®- II: A High-Performance Wireless LAN for the Unlicensed Band,” *Bell Labs Technical Journal*, vol. 2, no.3, pp. 118-133, Aug. 1997.

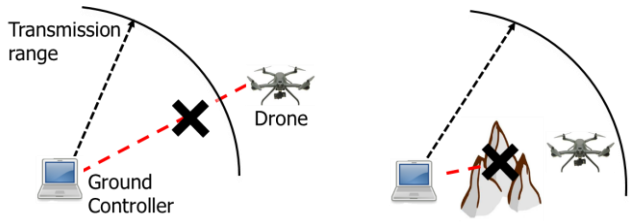
[3] Q. Pang, V. C. M. Leung and S. C. Liew, “An enhanced autorate algorithm for wireless local area networks employing loss differentiation,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, pp. 521-531, Jan. 2008.

# 드론 제어 범위 확장을 위한 멀티 드론 릴레이 기법

김건환°, 남재충, 조유제
경북대학교 전자공학부
{kgh76, jch-nam, yzch}@ee.knu.ac.kr

## 1. 서론

초기 군사용으로 개발됐던 무인항공기인 드론(drone)은 최근 다양한 영역에서 그 응용이 확대되고 있다. 드론은 적의 타격이나 감시/정찰과 같은 군사용뿐만 아니라 항공촬영, 재난감시, 택배 서비스 등 민간 상업용으로 널리 이용되고 있다. 드론은 크게 미리 입력된 데이터와 인식기능을 이용해 자율 비행을 하는 드론과 컨트롤러를 통한 제어에 따라 비행하는 드론으로 구분할 수 있다. 후자의 경우 컨트롤러-드론 간 연결성 확보가 무엇보다 중요하다. 하지만, 그림 1 과 같이 통신 범위 이탈, 장애물로 인한 링크단절로 인해 컨트롤러-드론 간 연결이 끊어지게 되면 드론의 분실, 충돌, 낙하 등과 같은 다양한 문제들이 발생될 수 있다[1].




(a) 통신 범위 이탈 (b) 장애물로 인한 링크단절

그림 1. 컨트롤러-드론 간 링크단절

따라서, 본 연구에서는 드론 컨트롤러의 통신 범위 내에 있는 드론을 중계기로 사용하여 컨트롤러의 통신 범위 밖에 있는 드론에 연결성을 지원할 수 있는 멀티 드론 릴레이 기술을 제안하고 구현한 테스트베드에 대해 소개한다.

## 2. 멀티 드론 제어를 위한 테스트베드 구현

멀티 드론 릴레이 통신을 위해서는 지상의 제어센터와 드론 간의 통신뿐만 아니라 드론-드론 간의 다중 홉 통신이 가능해야 하며, 하나의 컨트롤러를 통해 다수의 드론을 제어할 수 있어야 한다. 이는 이동 애드혹 네트워크 기술의 한 형태로 볼 수 있다. 본 연구에서는 드론의 통신 범위 확장을 위한 멀티 드론 릴레이 기술 구현을 위하여, 드론 기반 애드혹 네트워크 테스트베드를 개발하였다.

개발한 테스트베드에서는 그림 2 와 같이, 컨트롤러 및 다수의 드론 간 애드혹 네트워크를 구성하고 드론에 제어 메시지를 전달하기 위하여 초소형 컴퓨터인 라즈베리파이 2(Rpi2)를 활용하였다[2]. 또한, 개발에 사용된 드론은 Ar.drone 2.0 으로 Linux 를 기반으로 동작하며, 내장된 WiFi 모듈을 통해 스마트폰이나 태블릿으로 직접 제어할 수 있다[3]. Rpi2 는 드론의 몸체 위에 부착되었으며, 드론과의

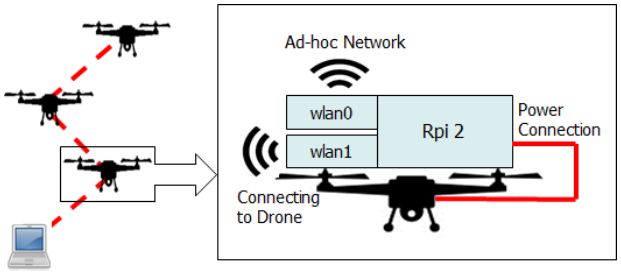



그림 2. 테스트베드 개발 구성도

직접적인 연결을 통해 전력을 공급받아 작동한다. 또한, Rpi2 에는 두 개의 USB 무선 랜 모듈(wlan0, wlan1)을 연결하였다. wlan0 는 드론간 애드혹 네트워크 구성을 위해 사용되며, 이를 위해 무선랜 모듈의 기본 설정 상태에서 코드를 수정하여 WiFi 애드혹 모드로 동작시켰다. wlan1 은 컨트롤러로부터 전달 받은 제어 메시지를 드론에 전달하기 위하여 사용되며, 드론에 내장된 WiFi 모듈과 직접 통신하도록 설계하였다. 테스트베드에서는 노트북 기반 컨트롤러 1 대 및 개발용 드론 3 대를 이용하여 애드혹 네트워크를 구성하였다. 구성된 멀티 드론 기반 애드혹 네트워크에서는 wlan0 의 IP 를 각 드론의 ID 로 하여 컨트롤 메시지를 전달한다. 라우팅 프로토콜은 RIP 를 사용하였으며, 실험을 통해 멀티 홉(3-hop) 드론 제어를 확인하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 드론 제어 범위 확장을 위한 멀티 드론 릴레이 기술을 소개하고 테스트베드를 통해 멀티 홉 드론 제어를 확인하였다. 향후, 다수 드론의 효율적인 제어를 위하여 OLSR, AODV 등 다양한 MANET 라우팅 프로토콜을 테스트베드 상에 구현하여 추가적인 성능 분석 연구를 수행할 예정이다.

## 4. 참고 문헌

[1] 정지훈 외 6 인, “드론의 발전역사와 향후 시장 전망,” *KISA Report*, 2015 년. 5 월.
[2] 라즈베리파이 2, http://www.raspberrypi.org
[3] Ar.Drone 2.0, http://ardrone2.parrot.com

## 5. ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터[10041145, 자율군집을 지원하는 웰빙형 정보기기 내장 소프트웨어 플랫폼 개발]와 한국연구재단[NRF-2015R1D1A1A01059623]의 지원을 받아 수행된 연구임

# ADC 의 제한된 동적 범위를 고려한 Full-Duplex DF 중계 시스템의 Outage 성능 분석

정민우°, 고재현, Hu Jin

한양대학교 전자통신공학과

# A Study on Outage Performance of Full-Duplex DF Relaying Systems with Limited Dynamic Range of ADC

Minwoo Jung°, Jae Hyun Ko, and Hu Jin

Department of Electronics and communication Engineering, Hanyang University

{wjdalsdn6, magicnet2, hjin}@hanyang.ac.kr

요 약

본 논문은 1 개의 송신기와 1 개의 목적지, 그리고 1 개의 중계기로 구성된 Decode-and-Forward (DF) 중계시스템에서 중계기가 Full-Duplex (FD) Radio 방식을 지원할 때의 성능을 분석한다. 특히 FD 를 지원하기 위하여 중계기에서 루프 간섭신호를 제거하여야 하는데 그 과정에서 서 Analog-to-Digital Converter (ADC)의 제한된 동작범위로 양자화 잡음이 생기게 된다. 이러한 잡음을 고려한 전체시스템 Outage 확률을 모의실험을 통하여 분석하였으며 또한 가장 좋은 Outage 성능을 발휘할 수 있는 중계기의 송신전력이 존재함을 확인하였다.

## 1. 서론

Full-Duplex (FD) Radio 기술은 데이터를 전송할 때 동시간에 양방향으로 전송이 가능한 특징이 있다 [1]. 이는 기존의 Half-Duplex (HD) 방식에서 송신과 수신을 2 번에 걸쳐서 보내던 방식과 비교하여 이론적으로 전송 시간을 반으로 줄일 수 있는 효과가 있다. 하여 최근 FD 방식을 이용한 여러 가지 통신시스템들이 많이 연구 되고 있다 [2].

본 논문에서는 중계기를 이용한 두 노드간 통신 모델에서 중계기가 FD 방식으로 작동하는 시스템을 고려한다. 중계기는 송신기에서 전송하는 데이터를 수신하는 동시에 목적지로 데이터를 전송함으로써 기존 시스템에 비해 같은 시간 동안 더 많은 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있다. 이러한 FD 방식에서 가장 큰 문제는 중계기가 송신기로부터 전송되는 신호를 복구 할 때 중계기가 목적지로 보내는 신호가 간섭을 주는 것이다 [1]. 이상적인 상황에서 중계기가 자신 목적지로 보내는 신호를 알고 있기 때문에 간섭신호를 제거할 수 있다. 하지만 간섭신호 제거 이전 Analog-to-Digital Converter (ADC)에 간섭신호를 포함한 신호의 양자화 잡음 (Quantization Noise)이 존재한다. [3][4]에서는 이와 같은 양자화 잡음이 Gaussian 분포로 모델링 할 수 있음을 제시하였다. 본 논문에서는 이러한 현상을 고려한 FD Decode-and-Forward (DF) 중계시스템의 Outage 성능을 분석하고자 한다.

## 2. 시스템 모델

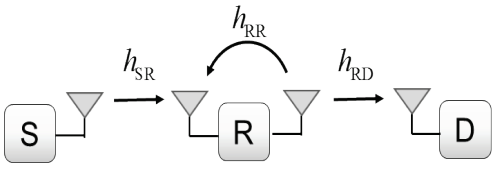



그림 1. 시스템 모델 설명도

그림 1 에서와 같이 본 논문에서는 송신기 S, 목적지 D, 그리고 Full-Duplex 전송을 지원하는 중계기 R 로 구성된 DF 중계 시스템을 고려한다. S 와 D 는 멀리 떨어져 있어 직접적인 무선 링크가 없다고 가정한다. 하여 S 에서 D 로 데이터 전송은 총 두 단계를 걸쳐서 일어난다. 첫 번째 단계에서는 R 에 정보가 전달되며 $n$ 번째 시간에 수신된 신호 $y_R[n]$ 은 다음과 같다.

$$y_R[n] = \sqrt{P_S} h_{SR}[n]x[n] + \sqrt{P_R} h_{RR}[n]x[n\text{-}1] + n_R[n] \quad (1)$$

여기에서 $P_S$ 와 $P_R$ 은 S 와 R 의 송신전력을 나타내며 $h_{SR}$ 와 $h_{RR}$ 는 각각 S 와 R 사이의 채널, R 의 루프 간섭채널이다. 또한 $x[n]$ 과 $x[n\text{-}1]$ 은 S 와 R 의 송신 시그널이고 $n_R[n]$ 은 R 에서의 분산이 $N_0$ 인 Gaussian 잡음을 나타낸다. 여기에서 R 이 루프 간섭신호를 추정하여 제거할 수 있는데 ADC 의 양자화 잡음을 반영하면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$y_R[n] = \sqrt{P_S} h_{SR}[n]x[n] + n_R[n] + n_q[n] \quad (2)$$

여기에서 $n_q[n]$ 는 분산이 $\kappa(P_S|h_{SR}|^2 + P_R|h_{RR}|^2 + N_0)$ 이고 평균이 0 인 양자화 잡음을 나타나며 $\kappa$ 은 1 보다 작은 ADC 의 양자화 성능을 표현하는 상수이다 [4].

두 번째 단계에서는 R 로부터 D 에 정보가 전달되며 D 에서 수신된 신호 $y_D[n]$ 는 다음과 같다.

$$y_D[n] = \sqrt{P_R} h_{RD}[n]x[n-1] + n_D[n] \quad (3)$$

여기에서 $h_{RD}$ 는 R 와 D 이의 채널이고 $n_D[n]$ 은 분산이 $N_0$ 인 Gaussian 잡음이다. 하여 R 과 D 에서의 SINR 및 SNR 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SINR_{SR} = \frac{P_S|h_{SR}|^2}{N_0 + \kappa(P_s|h_{SR}|^2 + P_R|h_{RR}|^2 + N_0)} \quad (4)$$

$$SNR_{RD} = \frac{P_R|h_{RD}|^2}{N_0} \quad (5)$$

SR 링크 또는 RD 링크에서 정보전송이 실패 할 때 Outage 가 발생하게 되며 데이터 전송율이 $\gamma_{th}$ 일 때 Outage 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{P}_{out} = \Pr\{\log_2(1+SINR_{SR}) < \gamma_{th} \text{ or } \log_2(1+SNR_{RD}) < \gamma_{th}\} \quad (6)$$

따라서 R 에서의 송신전력에 따라 Outage 확률이 다름을 관찰할 수 있으며 그 최적의 중계기 송신전력을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_R^* = \arg\min_{P_R>0}\{\mathbf{P}_{out}(\kappa, P_S, \gamma_{th}, P_R)\}. \quad (7)$$

## 3. 모의실험 결과

모의실험은 $h_{SR}, h_{RR}, h_{RD}$ 을 평균이 1 인 Rayleigh 채널, 전송율 $\gamma_{th}$ 은 1, $N_0$ 는 1 로 가정하고 실험을 수행하였다. 그림 1 은 양자화 잡음의 $\kappa$ 값을 -30 dB 로 놓고 송신기의 송신전력이 30 dB, 40 dB 일 때 Outage 성능을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 중계기의 송신전력이 증가할수록 불능확률이 낮아지는 일반적인 시스템과 달리 양자화 잡음으로 인해 송신전력이 SR 링크의 Interference 에 영향을 미치므로 최적의 중계기 송신전력이 존재함을 확인할 수 있다.

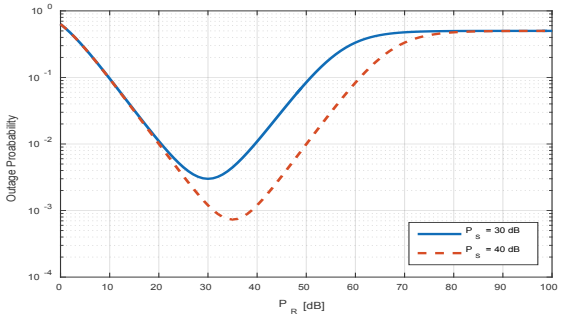



그림 1. Outage 확률 vs. $P_R$.

그림 2 는 $\kappa$ 값에 따른 최적의 중계기 송신전력과 그에 따른 최적의 Outage 확률을 보여준다. $\kappa$ 가 작을수록 간섭영향이 작아지므로 성능이 좋아지며, 송신기의 송신전력이 클수록 중계기에서의 SINR 이 커지므로 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

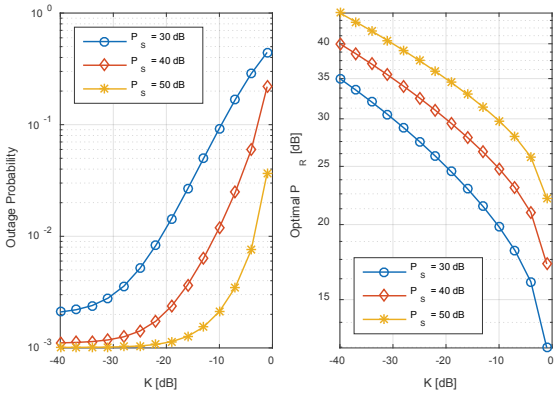



그림 2. $\kappa$ 에 따른 Outage 확률 및 최적의 $P_R$

## 4. 결론

본 논문에서는 중계기에서 FD 방식을 지원하는 중계 시스템의 성능을 모의실험을 통하여 분석하였다. 중계기에서 발생되는 루프 간섭신호로 인한 제한된 동적 범위를 가지는 ADC 의 영향을 Gaussian 잡음으로 모델링 하였으며 모의실험을 통하여 Outage 확률이 가장 낮아지는 중계기의 최적 송신전력이 존재함을 확인 하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1C1A1A01053857).

## 5. 참고문헌

[1] A. Sabharwal, P. Schniter, D. Guo; D. W. Bliss, S. Rangarajan, R. Wichman, "In-band full-duplex wireless: challenges and opportunities," *IEEE J. Sel. Areas Commun*, vol. 32, no. 9, pp.1637-1652, Sept. 2014.

[2] A. Ikhlef, J. Kim; R. Schober, "Space full-duplex max-max relay selection for relays with buffers," in *Proc. GLOBECOM,* pp. 4404-4409, Dec. 2012.

[3] B. P. Day, D. W. Bliss, A. R. Margetts, P. Schniter, "Full-duplex bidirectional MIMO: Achievable rates under limited dynamic range," in *Proc. ASILOMAR,* pp. 1386-1390, Nov. 2011.

[4] N. Won, "Modeling and analysis of nonlinearities and mismatches in AC-coupled direct-conversion receiver," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 1, pp. 163-173, Jan. 2005.

# 매클로린 급수 기반 근사화된 신뢰 전파 복호기를 사용한 극 부호의 성능

김정현° , 송홍엽

연세대학교 전기전자공학과

# Performance of Polar Codes with Approximate Belief Propagation Decoder using Maclaurin's Series

Jung-Hyun Kim°, and Hong-Yeop Song

School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

{jh kim06, hysong}@yonsei.ac.kr

## 요 약

본 논문은 극 부호(Polar codes)의 매클로린 급수(Maclaurin's series) 기반 단순화된 신뢰 전파(belief propagation) 복호 알고리즘을 제안한다. 제안된 복호 알고리즘은 낮은 복잡도로 기존의 단순화된 신뢰 전파 복호 알고리즘 중 하나인 최소-합(min-sun) 복호 알고리즘보다 나은 성능을 보이며 이보다 개선된 정규화된 최소-합(normalized min-sum) 복호 알고리즘과 오프셋 최소-합(offset min-sum) 복호 알고리즘과 유사하거나 더 나은 성능을 보임을 실험을 통해 확인하였다.

## 1. 서론

극 부호(Polar codes)[1]는 낮은 부호화, 복호화 복잡도로 이진-입력 이산 무기억 채널에서 무한한 길이일 때 이론적 용량 한계에 근접하는 부호로 알려져 있다. 그러나 실용적인 길이에서는 성능 열화가 나타남에 따라 최적화된 복호 기법에 대해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 극 부호의 대표적인 복호 알고리즘으로 연속 제거(successive cancelation)[1], 연속 제거 리스트(successive cancelation list)[2], 신뢰 전파(belief propagation)[1] 등이 있다.

본 논문에서는 극 부호 복호를 위한 신뢰 전파 알고리즘에 대해 다룬다. 신뢰 전파 복호 알고리즘은 반복 횟수에 따라 성능이 개선되는 반면 복잡도는 선형적으로 증가하므로 반복 횟수당 연산 복잡도를 최소화하는 것이 중요하다. 이를 위하여 최소-합(min-sum)[3], 정규화된 최소-합(normalized min-sum)[4], 오프셋 최소-합(offset min-sum)[5] 기법 등이 소개되었다. 정규화된 최소-합 기법과 오프셋 최소-합 기법은 최소-합 복호 기법보다 좋은 성능을 보이지만 부호 파라미터와 채널의 상태에 따라 최적화가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 극 부호의 부호 파라미터와 채널에 독립적으로 사용이 가능한 매클로린 급수(Maclaurin's series)[6] 기반 단순화된 신뢰 전파 복호 알고리즘을 제안한다.

## 2. 극 부호의 근사화된 신뢰 전파 복호 알고리즘

극 부호의 신뢰 전달 복호 알고리즘은 Forney 에 의해 제안된 팩터 그래프(factor graph)로 표현된다. 일반적으로 $(N,K)$ 극 부호는 $(n+1)N$ 개의 노드로 구성된 $n$-단계(stage) 팩터 그래프에서 반복적으로 복호를 수행한다. 각 노드의 인덱스를 $(i,j)$로 정하면 $i$는 0부터 $n-1$범위의 정수로 단계의 번호를 의미하고, $j$는 0부터 $N-1$범위의 정수로 부호어 심볼의 번호를 의미한다. 그림 1 은 부호 길이가 8 인 극 부호를 팩터 그래프로 나타낸 것이다. 총 3 단계로 구성된 팩터 그래프에서 각 단계는 4 개의 처리 단위로 구성된다. 각 처리 단위는 전파 메시지를 업데이트하는 역할을 하며 그림 2 와 같이 표현된다.

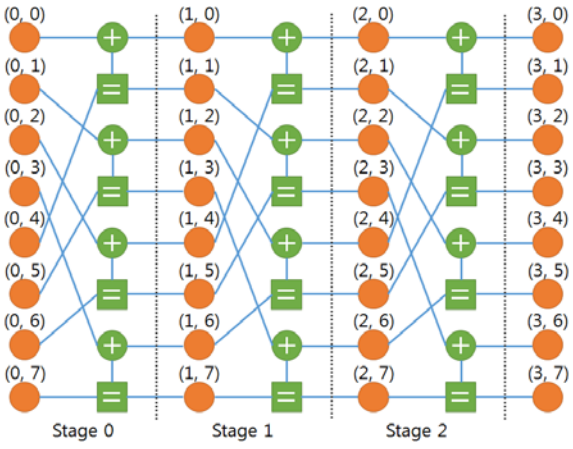



그림 1. 부호 길이 8 인 극 부호의 3 단계 팩터 그래프 표현

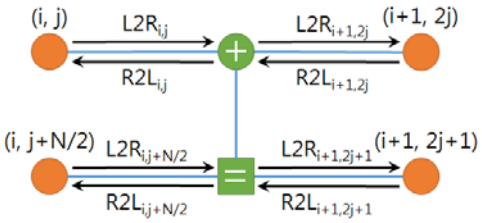



그림 2. 신뢰 전파 복호기의 처리 단위에서 메시지 업데이트 다이어그램

그림 2 에서 $L2R_{i,j}$와 $R2L_{i,j}$는 노드 $(i,j)$에 대해 각각 왼쪽에서 오른쪽으로 전달되는 메시지와 오른쪽에서 왼쪽으로 전달되는 메시지를 나타낸다. 이 두 값은 복호 과정에서 반복적으로 다음 수식에 의해 업데이트된다.

$$R2L_{i,j} = f\left(R2L_{i+1,2j},\ R2L_{i+1,2j+1} + L2R_{i,j+\frac{N}{2}}\right),$$

$$R2L_{i,j+N/2} = f\left(L2R_{i,j},\ R2L_{i+1,2j} + L2R_{i+1,2j-1}\right),$$

$$L2R_{i+1,2j} = f\left(L2R_{i,j},\ R2L_{i+1,2j+1} + L2R_{i,j+N/2}\right),$$

$$L2R_{i,j} = f\left(L2R_{i,j},\ R2L_{i+1,2j} + L2R_{i,j+\frac{N}{2}}\right), \quad (1)$$

여기서 $0 \le i \le n-1, 0 \le j \le N-1$ 이고 $f(x,y) = \log\left(\frac{1+e^x e^y}{e^x+e^y}\right)$이다.

위의 $f(x,y)$는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$f(x,y) = \log\left(\frac{1+e^x e^y}{e^x+e^y}\right)$$
$$= \mathrm{sgn(x)sgn(y)}\min(\mathrm{x,y}) + \log\left(1+e^{-|x+y|}\right) - \log\left(1+e^{-|x-y|}\right) \quad (2)$$

위 (2)식을 최소-합 복호기, 정규화된 최소-합 복호기, 오프셋 최소-합 복호기에서는 각각 다음과 같이 근사화한다.

$$f_{MS}(x,y) = \mathrm{sgn(x)sgn(y)}\min(\mathrm{x,y}), \quad (3)$$
$$f_{nMS}(x,y) = \mathrm{sgn(x)sgn(y)}\min(\mathrm{x,y})/\alpha, \quad (4)$$
$$f_{oMS}(x,y) = \mathrm{sgn(x)sgn(y)}\max(0, \min(\mathrm{x,y}) - \beta), \quad (5)$$

여기서 스케일링 값 $\alpha > 1$이고 오프셋 값 $\beta > 0$이다. 이 값들은 부호 파라미터와 채널 상태에 따라 최적화되어야 한다.

제안하는 복호기를 설명하기 위해 (2) 식을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$f(x,y) = \mathrm{sgn(x)sgn(y)}\min(\mathrm{x,y}) + \max(0, g(|x+y|)) - \max(0, g(|x-y|)) \quad (6)$$

여기서 $g(z) = \log(1+e^{-z})$이다.

$g(z)$는 매클로린 급수 표현인 $g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{g^{(n)}(0)}{n!} z^n$을 통해 무한 급수로 표현된다. 이때, 이 중 일부만을 선택하여 $g(z)$를 근사화할 수 있다. 예를 들어 이 식을 4 차까지 근사화한 경우는 $g(z) \approx \log(2) - \frac{1}{2}z + \frac{1}{8}z^2 - \frac{1}{192}z^4$으로 표현된다.

## 3. 실험 결과 및 결론

실험을 위해 부호 길이는 1024, 부호율은 0.5 인 극 부호를 사용하였다. 제안한 복호기를 위해 매클로린 급수의 4 차 근사화 식을 사용하였고, 정규화된 복호기를 위해 $\alpha = 1.07$, 오프셋 복호기를 위해 $\beta = 0.15$로 최적화 하였다. 그림 3 은 제안한 복호기와 기존의 최소-합 복호기, 정규화된 최소-합 복호기, 오프셋 최소-합 복호기를 사용하여 성능을 비교한 것이다. 이를 통하여 제안하는 복호기가 기존의 최소-합 복호기보다 좋은 성능을 보이며, 정규화된 최소-합 복호기와 오프셋 최소-합 복호기 보다 좋거나 유사한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 따라서 제안하는 복호기는 파라미터와 채널의 상태에 따른 최적화가 필요한 정규화된 최소-합 복호기와 오프셋 최소-합 복호기를 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

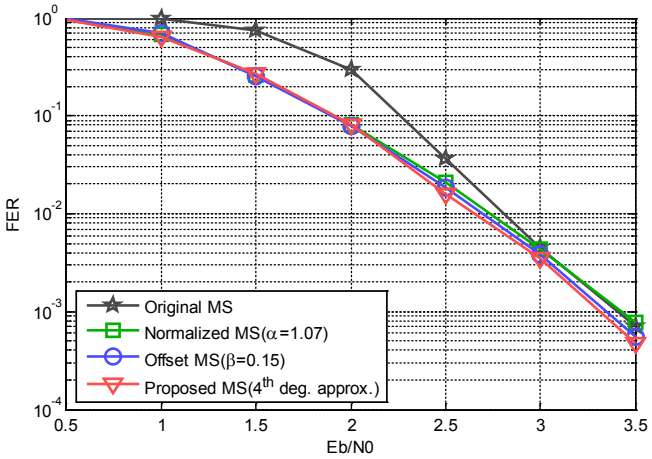



그림 3. (1024, 512) 극 부호의 복호기 종류에 따른 프레임 오류율 성능 비교

## Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2013R1A1A2062061).

## 4. 참고 문헌

[1] E. Arikan, "Channel polarization: A method for constructing capacity achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels," *IEEE Trans. On Inf. Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3051–3073, July 2009.

[2] I. Tal and A. Vardy, "List decoding of polar codes," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 61, no. 5, pp. 2213–2226, May 2015.

[3] A. Pamuk, "An FPGA implementation architecture for decoding of polar codes," in Proc. *of Int. Symp. on Wireless Commun. Syst.(ICWCS)*, pp. 437-441, Nov. 2011.

[4] B. Yuan and K.K. Parhi, "Early Stopping Criteria for Energy-Efficient Low-Latency Belief-Propagation Polar Code Decoders," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 62, no. 24, pp. 6496-6506, Dec. 2014.

[5] J. Chen and M. P. C. Fossorier, "Density evolution for two improved BP-based decoding algorithm of LDPC codes," *IEEE Communication Letters*, vol. 6, no. 5, pp. 208-210, May 2002.

[6] D. Zwillinger, CRC Standard Mathematical Tablesand Formulae, 32th ed. *CRC Press*, 2012.

# Image Sensor based Indoor Localization Scheme using Fuzzy Logic in Ambient Intelligent Environments

Amirul Islam°, Mohammad Arif Hossain, Chang Hyun Hong, and Yeong Min Jang†

Department of Electronics Engineering, Kookmin University, Korea

°amirul.0903118@gmail.com, †yjang@kookmin.ac.kr

## 1. Introduction

Ambient Intelligent (AmI) is a new information paradigm that aims to empower humans through digitally connected environments. These devices should be aware of our presence and context and are sensitive, responsive, and adaptive to our preferences and needs [1], [2]. AmI also provides us seamless, invisible and proactive services. Therefore, in order to provide the services of an ambient intelligence environment, it is necessary to provide the exact location of the user. There is various localization scheme for outdoor localization that is mainly based on triangulation methods. But in the indoor environment, their functionalities is limited, and not effective and accurate. However, in recent years, there has been various in indoor localization scheme. But these localization schemes mainly focus on using wearable devices in the indoor environment. Though most of the indoor localization systems need high processing time, and costly hardware. So, it is very necessary to provide new indoor localization system which will ensure precise localization, cheap, and no need to install any new hardware equipment's. There also have some localization system based on Wi-Fi [3], RSSI [4] but these localization schemes are subjected to noise, uncertainty, and imperfection. However, it is very crucial to provide a precise location of users to ensure exact services according to the user's context aware in the ambient environment. In this paper, we have proposed a camera based localization system in the ambient environment. Then, the data from the camera can be introduced into a fuzzy controller to provide exact services to the users. Our proposed scheme can be used in the different ambient intelligent environment such as ambient-assisted housing (for people with disabilities or older), marketing environment, automatic management of a smart house to reduce power consumption.

## 2. Proposed Image Sensor based Localization

Camera based localization has becoming an interesting subject in recent days. The camera can monitor or detect the condition of any place such as house, market, and the condition of disable or older people. The camera can easily detect that how many users are in there or empty, where the user is, or it is day or night. Using the data from the camera we can design fuzzy controller with its membership function and easily provide the required services according to the rule set in the controller. The fuzzy controller also can intelligently provide services from its previous stored experiences. Figure 1(a) describes the architecture of our proposed scheme and fig. 1(b) the working process of our proposed fuzzy logic controller. It mainly consists of a camera, fuzzy controller, and the user preferences or needs.

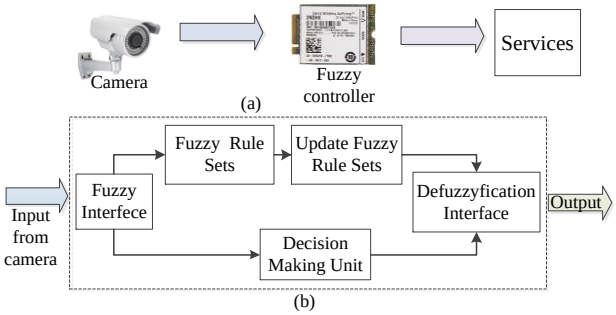



Figure 1: (a) Proposed architecture, (b) proposed fuzzy controller design

For example, we can consider a single room in-building environment. We can assign input such as day or night, winter or summer, and etc. We can define three membership function such as empty, single user, and multiple users. Then we can provide the efficient preferences or services for the user according to the rule sets in the fuzzy controller.

## 3. Conclusion

In this paper, we have proposed an image sensor based localization scheme using fuzzy logic in the ambient intelligent environment. Our proposed scheme will be able to provide the exact context aware of user's preference and needs. Camera based localization will provide the exact location of users then it will be very easy to provide services using fuzzy intelligence controllers logics.

## Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2013057922).

## 4. References

[1] G. Acampora, V. Loia, and A. Vitiello, "Distributing emotional services in ambient intelligence through cognitive agents," *Serv. Oriented Comput. Appl*., vol. 5, no. 1, pp. 17–35, 2011.

[2] K. Ducatel et al., "Scenarios for ambient intelligence," Inf. Soc. Technol., Advisory Group (ISTAG), Inst. Prospective Technol. Stud. (IPTS), Feb. 2001.

[3] T. Garcia-Valverde et al. "A Fuzzy Logic-Based System for Indoor Localization Using WiFi in Ambient Intelligent Environments," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 21, no. 4, pp. 702-718, Aug. 2013.

[4] U. Ahmed et al., "Context-Aware Fuzzy ArtMap for Received Signal Strength Based Location Systems," in proc. IJCNN, pp. 2740-2745, Aug. 2007.

# LED 광원의 흡수 및 반사 영상을 이용한 위조지문검출 기술 연구

백영현°, 김선동

㈜유니온커뮤니티 기술연구소

# The Fake Fingerprint Detection Technology using Absorption and Reflection Image of the LED light source

Young-Hyun Baek° , Sun-Dong Kim

Research Institute UNION COMMUNITY Co., Ltd

neural76@unioncomm.co.kr

## 요 약

본 논문은 생체 지문인식 기술 응용 시 입력되는 지문 상태를 판단하여 생체지문과 위조지문을 효과적으로 구분할 수 있는 기술에 관한 것이다. LED 광원을 조사하여 생체 지문이 가지는 특이한 색상과 지문 입력 창에 접촉되는 피부표면에 흡수되고, 반사되는 영상 분석 및 처리를 제안한다. 이와 같은 방법은 종이, 실리콘, 젤라틴과 같이 위조 지문 검출을 하는데 우수함을 나타내며, 실험 결과 제안한 방법이 효과적인 위조지문검출을 얻음을 보였다.

## 1. 서론

생체 인식 방법은 그 유일성과 높은 불변성에 기인하여 개인의 인증을 위해 널리 이용되고 있다. 이러한 생체 인식 방법에서도 지문인식은 사용이 편리하고 간단하여 다른 생체 인식 분야에 비해 오래되고 가장 일반화된 인식방법이 되었다[1,2]. 실제로 지문인식장치는 출입제어, 전자상거래, 금융거래, 개인용 컴퓨터(PC)의 보안 및 사무적 결재체계 등과 같이 인증이 필요한 다양한 실제로 지문인식장치는 출입제어, 전자상거래, 금융거래, 개인용 컴퓨터(PC)의 보안 및 사무적 결재체계 등과 같이 인증이 필요한 다양한 분야에 보급되고 있다. 그러나 지문인식장치는 인증의 편리성과 정확성 및 경제성에 불구하고, 위조지문에 의한 허위인증의 문제가 있다. 이 때문에 위조지문에 의한 허위인증의 피해를 개선 및 방지하기 위한 다양한 알고리즘이 개발되고 있다. 위조지문검출은 지문이 인쇄된 종이나 필름에 물이나 기름과 같은 투명한 액체를 묻히거나 적셔서 만들거나, 실리콘이나 고무와 같이 피부 조직과 유사한 속성을 가진 소재를 이용하여 만든다. 통상의 지문인식장치는 이러한 위조지문을 그대로 인식하여 허위인증을 수행하게 된다. 본 논문에서는 LED 광원의 고유특징을 기반으로 실제 사람피부에 흡수 및 반사되어 착상되는 영상분석을 통한 효과적인 위조지문 검출 알고리즘을 제안한다.

## 2. 광원(LED)에 따른 색 온도 특징

LED 광원은 그림 1 과 같이 빛의 파장영역 중 가시광선 대역에 포함되며, 색 온도 Warm White(색 온도_2600~3700K), Natural White(색 온도_3700~5000K), Pure White(색 온도_5000~8300K)으로 표현된다[3,4].

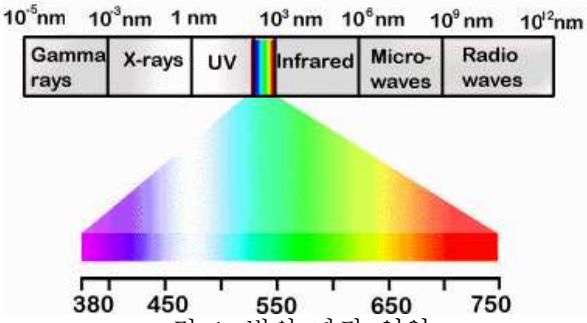



그림 1. 빛의 파장 영역

색 온도에 따른 White LED 광원은 그림 2 와 같이 표현되며, 각 색 온도에 따라 지문 피부표면에 흡수 및 반사되는 이미지의 차가 발생한다.

(a) Warm (b) Natural (c) Pure

그림 2. 색 온도에 따른 광원 이미지 결과

즉, 색 온도에 따라 빛의 발산이 차별화 되며, 컬러(Red, Green, Blue)색상의 특성 표현이 된다. 결과적으로 위조지문 검출기술 적용 시 지문색상 변화를 측정하는데 효과적이다.

*This research was supported by the Advanced Technology Center (No. 10051484).*

## 3. 제안된 기술 및 실험

본 논문에서는 LED 광원 색 온도마다 지문 피부 표면에 흡수 및 반사 영상 변화를 분석하여, 위조지문 재질과 생체지문을 검출하는 방법을 제안한다. 그림 3 과 같이 색 온도 스펙트럼의 R,G,B 파장을 가변적으로 조정하여, 다양한 재질의 위조지문마다의 특징값을 추출하고 생체지문과의 특징차를 학습하여 위조지문검출에 효과적인 특징 벡터를 찾고, 적용함을 확인한다.

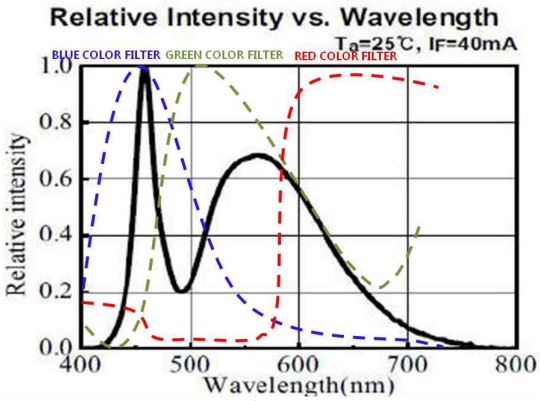



그림 3. 색 온도 Spectrum 설정

그림 4 와 같은 위조지문 재질 별 영상을 상기 색 온도 파라메터를 조정하여 취득한 후 각각 영상분석을 수행한다.

그림 4. 재질 별(실리콘,고무,젤라틴) 위조지문 샘플

각 재질 별 특징을 분석하고, R,G,B 값을 조정한 후 최종 위조지문 검출 테스트를 수행한 결과는 그림 5 와 같다.

(a) 위조지문 1 (b) 위조지문 2

(c) 위조지문 3 (d) 위조지문 4

그림 5. 위조지문검출 결과 영상

그림 5 와 같이 위조지문 재질 별 흡수 및 반사영상의 특징을 분석하여 최종 가중치와 설정 값을 결정한다. 설정된 값을 바탕으로 위조지문 방어 테스트를 수행하였다.

표 1. 생체지문 검출율 비교표

| 위조지문 재질 | 방어율(%) | |
|---|---|---|
| | 기존 방법 (IR 검출법) | 제안된 방법 (흡수/반사영상) |
| 반투명 실리콘 1 | 40% | 90% |
| 반투명 실리콘 2 | 40% | 90% |
| 반투명 실리콘 3 | 40% | 100% |
| 투명 실리콘 1 | 30% | 90% |
| 투명 실리콘 2 | 30% | 90% |
| 피부 유사색 실리콘 | 40% | 100% |
| 종이 타입 | 100% | 100% |

표 1 과 같이, 기존 위조지문검출방법은 종이를 제외한 모든 재질에서 낮은 검출율을 보인 반면 제안한 방법은 평균 90%대의 우수한 방어율을 보임을 확인하였다. 향후, 지문인식제품에 적용 시 발생할 수 있는 FRR 에 대한 연구 수행이 필요한 것으로 사료됩니다.

## 4. 참고 문헌

[1] Maltoni D, Maio D, Jain A K, et al. Handbook of fingerprint recognition[M].

[2] J. Zhou, F.L Chen, J.W. Gu, A novel algorithm for detecting singular points from fingerprint image, iEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 31(7), 2009, pp.1239-1250.

[3] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, “Indoor Visible Light Transmission System Utilizing White LED Lights”, I E I CE Trans. on Commun. , Vol. E86-B, No. 8, pp. 2440-2454, 2003. 8.

[4] T. Komine, M. Kakagawa, “Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED lights”, I EEE Trans. on Consumer Electron. , Vol. 50, No. 1, pp. 100-107, 2004. 2.

# 저전력 무선 센서 네트워크에서 네트워크 부호화에 기반한 효율적인 데이터 전송 기법

박다빈°, 김정현, 송홍엽
연세대학교 전기전자공학과

# Network Coding based Efficient Data Transmission Technique in Low-Power Wireless Sensor Network

Dabin Park°, Jung-Hyun Kim, Hong-Yeop Song
School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University
db.park@yonsei.ac.kr, jh.kim06@yonsei.ac.kr, hysong@yonsei.ac.kr

요 약

본 논문은 계층적 네트워크 구조를 갖는 센서 네트워크 환경에서 하위 계층의 제한적 컴퓨팅 능력과 배터리 소모를 고려한 센서노드들의 효율적인 데이터 전송 방법을 제안한다. 컴퓨팅 능력을 고려하여 전체 네트워크에서 발생하는 연산을 최소화하고, 배터리 효율을 위해 총 전송횟수를 줄이는 기법을 제안한다. 패킷 20개, 헤드노드 2개, 센서노드 50개의 경우, 제안하는 방식의 총 전송횟수가 순차적 네트워크 부호화 대비 약 18%, 랜덤 네트워크 부호화 대비 약 8% 감소하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

## 1. 서론

무선 센서 네트워크는 무선으로 작동하는 센서가 네트워크를 이루어 데이터를 전송하는 기술이다. 무선 센서 네트워크에서는 다수의 센서들이 분산되어 여러 정보를 주고받는다. 이와 같은 네트워크 망에서는 지속적인 망 관리 정보 전달이 필요하다. 또한 시스템 업데이트를 위해서 모든 센서노드에 데이터를 전송해야 한다.

센서 네트워크는 센서의 크기에 따른 제한적인 컴퓨팅 능력과 한정된 배터리의 제약이 있다. 따라서 한정된 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 방법을 찾는 것이 중요하다. 센서의 주된 에너지 소모 요인은 데이터의 송·수신이다. 그러므로 효율적 에너지 소모를 위하여 전체 센서노드의 데이터 전송 횟수를 줄이고 전체 센서노드가 균등하게 에너지 소모하는 것이 중요하다.

[1]에서는 선형(Line) 네트워크 토폴로지에서 네트워크 부호화를 통하여 네트워크 비부호화 전송 대비 총 데이터 전송 횟수를 감소시킨다. [1]의 선형 네트워크는 특수한 환경을 고려한 것이므로 본 논문에서는 임의의 공간에 센서가 임의의 위치에 분산된, 보다 일반적인 환경을 고려한다.

또한 제한적인 컴퓨팅 능력 및 배터리 제약을 고려해 처음 센서의 위치가 정해지는 경우에 한해서 전송 순서를 위한 연산만 수행한다. 이후 네트워크 부호화를 위해 전송 노드에 한해서만 인접 노드로부터 피드백을 받는 연산을 수행하여 전체 연산량을 최소화하고자 하였다.

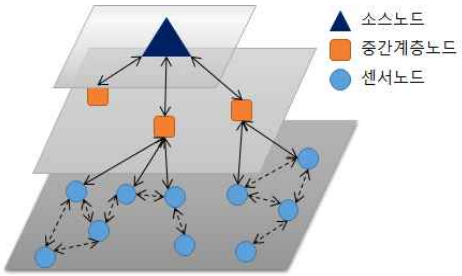



그림 1. 계층적 구조의 네트워크

## 2. 본론

### 2.1 시스템 모델

본 논문에서는 [1]의 계층적 네트워크를 고려한다. 중간계층노드가 하위 모든 센서노드에 데이터를 전달할 경우 중간계층노드의 과부하로 수명이 짧아진다. 이 경우 하위 센서노드의 에너지 존재 유무와 상관없이 네트워크가 기능을 상실하는 에너지 홀 문제[2]가 발생한다. 이를 방지하기 위하여 중간계층노드는 하위 센서노드 중 임의의 센서노드들에 데이터를 전송하고 하위 센서노드간 데이터를 전송을 통해 데이터를 얻는다. 이때 중간계층노드로부터 임의로 데이터를 전송받은 노드를 헤드노드라 한다.

선택된 $i$번째 헤드노드($N_i$)는 상위 중간계층노드로부터 선택된 헤드노드 수에 반비례하게 패킷($d$) $L$개 중 균등한 양의 데이터를 받는다. 헤드노드 개수를 $K$개라 할 때 최초 $i$번째 헤드가 보유하게 되는 데이터 패킷에 대하여 다음과 같이 표현 가능하다.

$$N_i = \left\{ d_{\left\lceil \frac{(i-1)L}{K} \right\rceil + 1}, d_{\left\lceil \frac{(i-1)L}{K} \right\rceil + 2}, \ldots, d_{\left\lceil \frac{iL}{K} \right\rceil} \right\}$$

2.2 제안하는 기법

제안하는 전송 기법은 센서 네트워크의 제한적 컴퓨팅 능력을 고려하여 처음 데이터 전송 순서 선정 시와 네트워크 부호화 전송을 위하여 전송 노드에 한해서만 인접 노드로부터 피드백을 받는다.

전송 순서 선정 방법은 다음과 같다. 먼저 랜덤하게 선출된 헤드노드 중 인접노드가 가장 많은 헤드노드부터 순차적으로 전송한다. 이후 헤드노드로부터 1홉 내에 존재하는 노드 중 인접노드가 많고 헤드로부터 멀리 떨어진 순서로 우선순위로 선정하여 모든 노드에 전송순서를 부여한다. 1홉 내의 노드에 대하여 우선순위를 선정한 경우 헤드로부터 2홉, 3홉, ..., $n$홉 내의 노드들에 대하여 위와 같은 방법으로 모든 노드에 순위를 부여한다. 이후 위의 순위로 고정하여 데이터를 전송한다.

이와 함께 네트워크 부호화 전송 시, 단순히 부호화 가능한 데이터 패킷만을 확인하여 전송하지 않고 부호화 전송 가능한 패킷 중 가장 많은 노드가 전송받을 수 있는 패킷을 부호화하여 전송한다. 단일 패킷 전송 시에도 노드가 가장 많이 받을 수 있는 패킷을 전송한다.

2.3 실험 결과

제안한 기법에 대하여 순차적 네트워크 부호화 방식과 랜덤 네트워크 부호화 방식을 실험을 통해 비교하였다. 순차적 네트워크 부호화 방식은 헤드노드로부터 가장 가까운 위치에 있는 노드를 우선순위로 선정해 전송했으며 랜덤 네트워크 부호화 방식은 전송 노드를 랜덤하게 선택하도록 하였다. 두 방법 모두 네트워크 부호화 가능한 패킷이 존재하는 경우 부호화 패킷을 전송하고 그렇지 않은 경우 단일 패킷을 전송하는 방식을 사용하였다.

실험 환경은 40×40의 공간에 센서노드를 임의로 분산시켰으며 하나의 노드가 송·수신 가능한 1홉 거리를 10으로 설정하였다. 전송 오류는 없는 것으로 가정하였으며 총 전송횟수는 모든 센서노드가 모든 데이터를 전송받을 때까지의 전송횟수이며, 그래프의 값은 10000번 반복수행하여 얻은 값의 평균값이다.

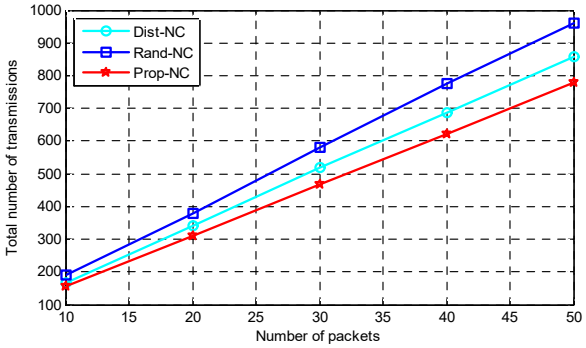



그림 2. 패킷 수 증가에 따른 전송 횟수
(센서노드: 50개, 헤드노드: 2개)

패킷 증가에 따른 총 전송 횟수를 비교해보면 패킷이 증가할수록 제안하는 방식의 총 전송횟수가 순차적 네트워크 부호화 및 랜덤 네트워크 부호화 방식에 비해 적은 것을 확인할 수 있다. 패킷 수가 50에서의 경우, 제안하는 방식의 총 전송횟수가 순차적 네트워크 부호화 대비 약 19%, 랜덤 네트워크 부호화 대비 약 9% 감소한다.

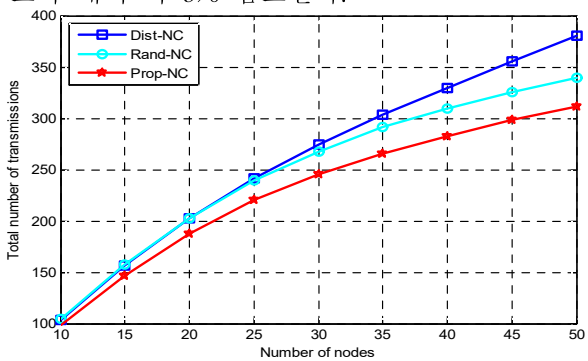



그림 3. 노드 수 증가에 따른 전송 횟수
(패킷: 20개, 헤드노드: 2개)

노드 증가에 따른 총 전송 횟수 비교에서도 노드가 증가할수록 제안하는 방식의 총 전송횟수가 순차적 네트워크 부호화 및 랜덤 네트워크 부호화 방식에 비해 적은 것을 확인할 수 있다. 노드 수가 50에서의 경우, 제안하는 방식이 순차적 네트워크 부호화 대비 약 18%, 랜덤 네트워크 부호화 대비 약 8% 감소한다.

## 3. 결론

본 논문에서는 계층적 구조의 센서 네트워크에서 인접한 노드가 많은 노드 중 헤드와 멀리 떨어진 노드를 우선순위로 네트워크 부호화를 사용하는 기법과, 가장 많이 받을 수 있는 데이터를 우선순위로 전송하는 기법을 제안했다. 이를 통해 순차적 네트워크 부호화 및 랜덤 네트워크 부호화보다 더 효율적인 성능을 보이는 것을 실험을 통해 확인하였다.

본 논문에서는 채널 상태를 고려하지 않았으나 향후 채널 상태를 고려한 전송 기법과 헤드 노드 선택 기법, 더 효율적인 전송 순서 선정 기법 등을 고려하고자 한다.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(No. 2013R1A1A2062061)

## 참고 문헌

[1] 김정현, 박다빈, 송홍엽, “네트워크 코딩을 이용한 저전력 IoT 네트워크 망에서의 전송 기법,” 2015 한국통신학회 추계종합학술발표회, 서울대학교, 2015년 11월 21일.

[2] M. K. Watfa, H. Al-Hassanieh, S. Salmen, “A novel solution to the energy hole problem in sensor networks,” Elsevier Journal of Network and Computer Applications, vol. 36, no. 2, pp.949-958, March, 2013.

# 5G 네트워크에서 IP 이동성 관리 구조

김재호°, 박노익°

한국전자통신연구원°

# Architecture of IP Mobility Management in 5G Network

Jae Ho Kim°, Noik Park°

Electronics and Telecommunications Research Institute

rdins@etri.re.kr°, nipark@etri.re.kr°

## 요 약

ITU-R, 3GPP 등과 같은 표준화 단체와 주요 이동통신 서비스 및 장비 업체에서 5G 서비스와 요구사항을 정의하고 있다. 본 논문에서는 5G 서비스의 요구사항을 만족시키기 위해 기존 이동통신 네트워크의 이동성 관리 구조 및 메커니즘이 가지는 한계점을 분석하고, 5G 네트워크에서의 이동성 관리 구조를 제안한다.

## 1. 서 론

ITU-R 은 5G 서비스를 3D Video, UHD 등 대용량 트래픽이 발생하는 Enhanced Mobile Broadband 서비스와 무인자동차, e-Health 등을 포함하는 Ultra-reliable and Low Latency Communications 서비스, Smart Home, IoT 등을 포함하는 Massive Machine Type Communications 서비스로 분류하고 있으며 이들을 수용을 위한 Capability Set 을 정의하고 있다[1].

네트워크 측면에서 5G 서비스를 수용하기 위한 기존 이동통신망의 이동성 관리 구조의 한계를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 5G 네트워크는 대용량 트랙픽을 edge 네트워크에서 분산 수용할 수 있어야 하며, 다중 접속네트워크를 통해 분산 전송할 수 있어야 한다. 하지만, [그림 1]과 같은 현재 EPS Data plane 은 P-GW 와 S-GW, eNB 간의 계층적 터널링을 기반으로 이동성을 관리하여 데이터가 P-GW 에 집중화 및 Anchoring 되는 구조이다. 그리고, 콘텐츠 및 서비스는 항상 P-GW 를 통해 연결되는 PDN 에 위치할 수 밖에 없어 edge network 으로 콘텐츠 및 서비스 분산이 어려운 구조이며, 콘텐츠 서버가 단말과 인접한 곳에 위치하더라도 항상 코어네트워크 최 상단에 위치한 P-GW 를 통해 간접적으로 연결될 수 밖에 없어 저지연 서비스를 제공하는데도 비효율적인 구조적 한계를 가지고 있다. 둘째, 복잡 다양한 5G 서비스 요구사항을 수용하는 유연한 망구조를 가지기 위해 Control / Data 기능이 분리되어야 하며, 다양한 유.무선 접속네트워크를 공통적으로 수용할 수 있어야 한다. 하지만, EPS Control plane 은 접속 네트워크 별로 상이하게 MME 와 SGSN, S-GW, P-GW 에 분산배치 되어 있으며, Data plane 과 완전히 분리되어 있지 않다. 또한, 4G EPS 는 접속 네트워크의 유형에 따라 상이한 이동성 제어 구조를 가진다. E-UTRAN 의 경우 제어는 MME, 데이터는 S-GW 와 연결되지만, TWAN(Trusted Wireless Access Network)은 제어와 데이터 모두 P-GW 를 통해 연결된다. 이러한 비 대칭적 접속네트워크 수용 구조로 인해 이종망간 동시 다중 접속 환경에서 비효율적인 이동성 제어가 이루어질 수 밖에 없다. 마지막으로, 기존 이동통신망은 모든 단말 및 응용에 이동성 서비스를 제공한다. 하지만, 고정 IoT 단말과 IP 서비스 연속성을 요구하지 않는 응용에 이동성 서비스를 제공하는 것은 제어 측면에서는 이동성 제어 시그널링 및 데이터 측면에서는 터널링이 발생하므로 비효율적이다.

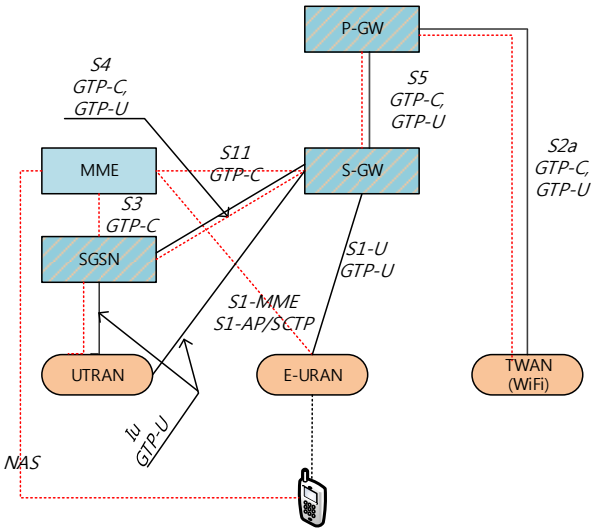



그림 1. 3GPP EPS 참조 모델[2]

## 2. 5G 네트워크 이동성 관리 구조

5G 네트워크는 ITU-R 의 IMT-2020 비전에서 정의된 다양한 서비스를 지원하고, 기존 4 세대 이동통신 네트워크의 이동성 관리 구조의 문제점들을 해

결하기 위해 다음과 같은 요구사항을 고려해야 할 것으로 예상된다[3,4].

- 네트워크의 확장성과 유연성을 제공하고, SDN/NFV 기술 수용이 용이하도록 Control plane 과 Data plane 의 명확한 분리 구조
- 대용량 트래픽 처리와 네트워크 edge 에서 콘텐츠 및 서비스 제공을 위해 Edge 네트워크에 분산된 게이트웨이간 이동성 제공
- 단말 및 응용의 이동 특성에 적응적 및 선택적인 이동성 제공 구조
- Fixed 네트워크를 포함한 다양한 유.무선 접속 네트워크 수용 및 Inter-RAT 이동성 제공
- 사용자 데이터가 특정 이동성 제공 엔터티에 앵커링되어 비효율적인 경로로 라우팅이 되지 않는 구조

이러한 요구사항을 만족하는 5G 네트워크 구조는 그림 2 와 같다. Control plane 은 CPE(Control Plane Entity)와 eCPE(Edge CPE)로 구성된다. eCPE 는 네트워크 edge 에 분산 배치되어 특정 지역내의 이동성을 제어한다. CPE 는 eCPE 가 변경되는 지역간 이동성을 제어한다. GW 는 Data plane 엔터티이며, 대규모 트래픽을 네트워크에서 효과적으로 분산 수용하기 위해 네트워크 edge 에 분산 배치된다. GW 는 다중 유.무선 접속네트워크와 연결되며, 이동성 제공을 위해 사용자 트래픽을 터널링한다. 사용자 트래픽을 제외한 제어 트래픽은 Control plane 에서 처리되며, 그 결과를 이용하여 Data plane 의 이동성 제공을 위한 동적 경로와 및 QoS 를 제어한다.

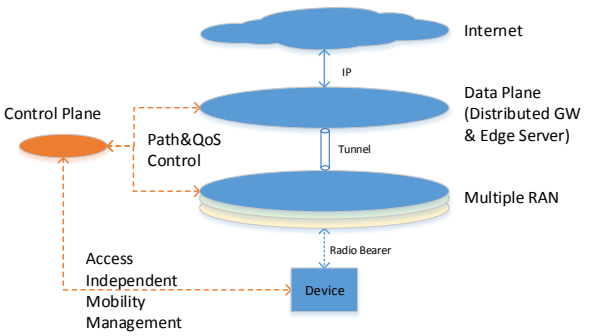



그림 2. 5G 네트워크 구조

5G 네트워크의 이동성 관리 구조는 그림 3 과 같다. Intra-GW HO 는 동일 액세스 네트워크 내에서의 이동성 제공을 위한 Intra-RAT(Radio Access Technology) HO 와 이종 액세스 네트워크간의 이동성 제공을 위한 Inter-RAT HO 로 구분된다. UE 는 다중 인터페이스를 가져도 GW 내에서는 단일 IP 주소를 가지고, 5G 네트워크는 액세스 네트워크에 독립적인 공통의 이동성 관리 제어 및 동적 경로 제어를 제공한다.

Inter-GW HO 는 UE 가 분산 배치된 GW 간을 이동할 때 이동성을 제공한다. Inter-GW HO 를 위한 UE 의 위치는 CPE 에서 GW 단위로 관리되며, Intra-GW HO 시 UE 의 위치는 eCPE 에서 BS 단위로 관리된다. 5G 네트워크에서는 UE 가 새로운 GW 로 이동하여 새로운 트래픽 세션을 연결 할 때 새로운 IP 주소를 할당함으로써 동적로 최적 경로를 제공하는 GW 를 할당한다. 또한, 기존 GW 에서부터 지속되는 트래픽 세션은 CN 노드가 접한 CGW 와 UE 의 새로운 CGW 간에 Inter-GW 경로 최적화 HO 를 지원하여 Anchor-free 이동성 관리를 제공한다.

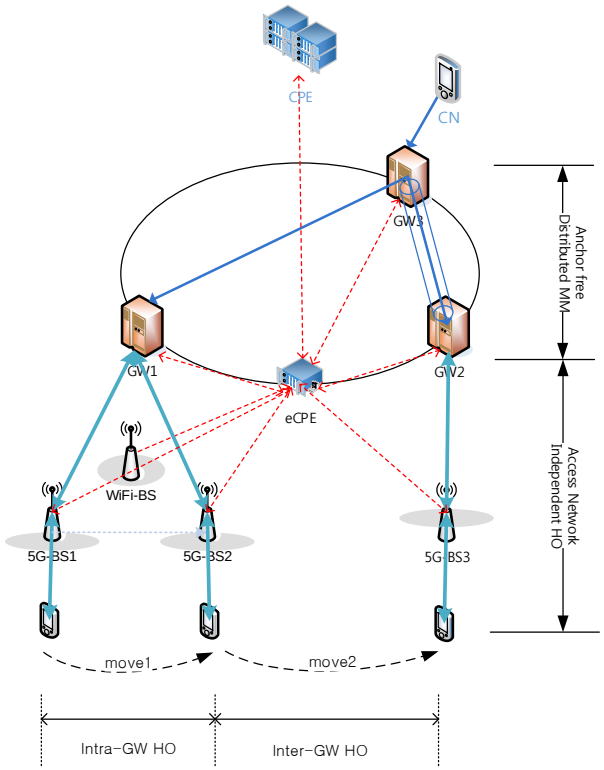



그림 3. Intra-GW, Inter-GW 이동성 제어 구조

## 3. 결 론

본 논문에서는 5G 네트워크에서의 이동성 관리 구조를 개략적으로 살펴보았다. 추후 다중 접속 환경에서의 효과적인 주소할당 및 가상 논리 인터페이스 제공 방안, 위치관리, IP flow 핸드오버 등과 같은 구체적인 연구를 수행할 예정이다.

## 4. 참고 문헌

[1] ITU-R: “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” Recommendation ITU-R M.2083-0, Sep. 2015

[2] 3GPP TS 23.402: "Architecture enhancements for non-3GPP accesses," Dec. 2014

[3] NGMN White Paper, “5G Vision,” Feb. 2015

[4] 4G Americas, “Recommendation on 5G Requirements and Solutions,” Oct. 2014

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0132-15-1005, 유/무선 액세스에 비종속적인 5G 코어 핵심기술 개발)

# 인메모리 DBMS 에서 사용자 정의 자료형을 활용한 이동객체 데이터 저장 구조 설계

정성훈°, 한혁, 진성일

리얼타임테크

# A Design of Moving Object Data Structure Using User Defined Type in In-Memory DBMS

Sung-Hoon Jung°, Hyeok Han, Sung-Il Jin

REALTIMETECH Co.,Ltd.

jsh236, hhan, sijin (@realtimetech.co.kr)

## 요 약

이동객체 데이터는 시간의 흐름에 따라 객체의 위치 정보뿐만 아니라 객체의 다양한 속성 정보도 함께 변하는 특성을 가진다. 이러한 시계열 공간융합 정보를 데이터베이스에 저장하는 경우, 응용 및 객체 유형에 따라 상이한 자료구조로 표현된 이동객체 데이터를 효율적으로 저장할 수 있어야 한다. 이에 본 논문에서는 DBMS 가 제공하는 사용자 정의 타입(UDT)을 활용하여 다양한 형태의 이동객체 속성 정보와 위치 정보를 함께 저장 할 수 있는 방안을 설계 한다.

## 1. 서론

최근 이동 단말의 확산, 통신 기술 및 센서 기술의 발달로 이동객체의 위치 정보를 획득 할 수 있는 방법이 다양해지고, 실로 방대한 양의 위치 데이터가 생성되고 있다. 이동객체는 사람, 자동차, 비행기, 미사일 및 이동형 센서 등의 이동형 객체를 의미하며, 이동객체 데이터는 변화하는 시간상의 위치 정보뿐만 아니라 이동객체에 부착된 센서를 통해 획득할 수 있는 다양한 정보를 포함한다. 특히, USN 환경에서 획득할 수 있는 이동형 센서 정보는 센서의 위치를 포함하여 온도, 습도, 방향, 속도 등 센서 종류만큼 다양하다. 이러한 이동객체의 다양한 정보들을 DBMS 에 저장하기 위해서는 이동객체마다 상이한 형태의 저장 구조로 표현 되어야 하기 때문에, DBMS 의 저장 구조를 특정할 수 없는 문제가 있다.

본 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위해 사용자 정의 자료형(이하 UDT)를 활용하여 이동객체의 위치 데이터와 속성 데이터를 효율적으로 융합 저장할 수 있는 방법을 제시한다.

## 2. 연구 배경

이동객체 데이터는 객체로부터 취득할 수 있는 위치 정보가 가장 중요하게 다루어지고 있고, 이 정보를 활용한 다양한 위치 기반 서비스(LBS)가 개발되고 있다. 이를 지원하기 위한 이동객체 데이터 기반 기술 연구가 활발히 진행 되어 왔는데, 주로 이동객체 위치정보에 대한 모델링 방법, 색인 방법, 연산 방법 등에 대한 연구가 주를 이루었고[1], 최근에는 이동객체의 궤적 분석 및 Mining 에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[2]. 최근에는 이동객체에 다양한 센서를 부착하여 위치정보 외에 여러 가지 센싱 정보를 함께 취득할 수 있어 관련 기술 활용도가 더욱 높아지고 있고, 이러한 정보를 효과적으로 저장·관리하고 및 분석할 수 있는 데이터베이스 시스템 기술이 요구되고 있다.

현재 국내에 출시된 상용 이동객체 DBMS 에서는 이동객체 데이터의 궤적 정보를 저장하기 위해 시간, X 좌표, Y 좌표로 구성된 시·공간 정보를 하나의 테이블 Column 에 순차적으로 저장하는 궤적 자료구조 및 관련 시·공간 연산자를 지원하고 있다. 특히, 최근 국방 표적관리에 이동객체 DBMS 를 적용하면서 표적에 대한 위치 및 속성 정보를 융합 저장 해야 할 필요성이 대두되고 있고[3], 이에 따라 기존 궤적 저장 구조의 개선이 요구되고 있는 실정이다.

## 3. UDT 를 활용한 속성데이터 저장 방법

UDT(User Defined Type)는 사용자가 직접 DBMS 에서 제공하는 기본 자료형을 조합하여 새로운 데이

*본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음[B0101-15-0428, 공간 정보융합 서비스를 위한 3D 고성능 공간 DBMS 개발]

터 구조를 정의할 수 있는 국제 표준(SQL99) 규격의 DBMS 기능으로, 응용 및 객체 유형에 따라 서로 상이한 자료구조를 갖는 이동객체 자료 구조를 표현하기에 가장 효율적인 기술이다.

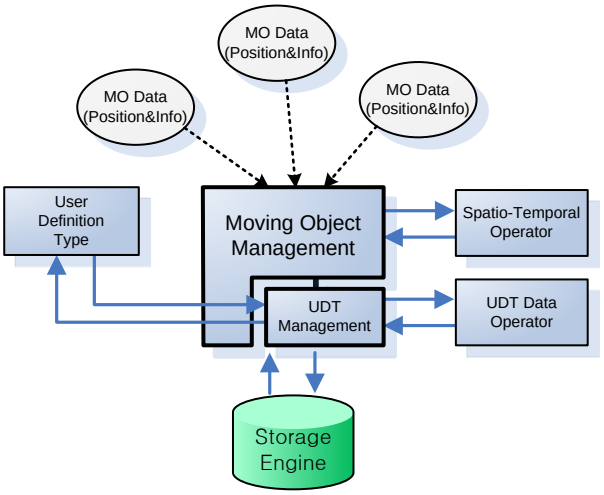



그림 1. UDT 를 이용한 이동객체 저장 시스템 구조

[그림 1]은 UDT 를 이용한 이동객체 데이터 저장 시스템 구조이다. 우선 사용자가 저장할 속성 정보 저장 구조를 UDT 로 정의하여 새로운 자료형을 생성(CREATE TYPE)한 후, 테이블 생성시 이동객체 Column 의 위치 정보(시간, X, Y)와 신규로 정의한 속성정보 UDT 를 함께 저장 할 수 있도록 설계 한다. 이러한 저장 방식은 UDT 로 정의된 속성 데이터를 기반의 다양한 관계형 연산과 궤적 데이터 기반의 시·공간 연산을 모두 포함하는 SQL 질의 처리를 효율적으로 수행토록 지원한다.

이동객체 정보는 이진 데이터 형태로 데이터베이스의 논리적 저장소(페이지)에 저장되며, 아래 그림은 기존 시스템에서 이동객체의 시·공간 정보만을 저장하는 저장 자료구조와 속성 UDT 를 포함한 저장 자료구조를 비교하여 표현하였다.

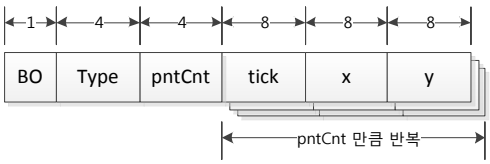



그림 2-a. 기존 이동객체 데이터 저장구조

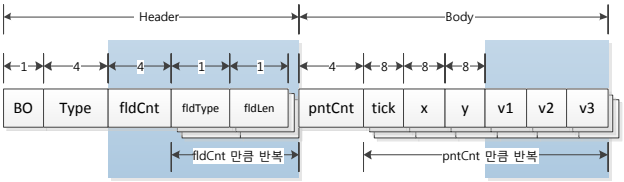



그림 2-b. 신규 이동객체 데이터 저장구조

기존 저장구조(그림 2-a)는 단순히 이동객체의 위치정보 즉, 시간, x, y 값을 매 시간 누적해서 저장하는 구조라면, 신규 저장구조(그림 2-b)는 Body 부분에 위치정보와 사용자가 UDT 로 정의한 속성정보를 함께 저장하는 것에 차이점이 있다.

이동객체 데이터 저장구조의 Header 영역에는 사용자가 정의한 UDT 를 구성하는 Element 의 타입 정보를 포함 시켜 Body 영역의 속성 값에 대한 세부 구조를 파악할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

아래는 UDT 를 정의하고 이를 이용한 이동객체 테이블을 생성하는 질의 문 예이다.

```
CREATE TYPE car_type AS OBJECT (
    velocity DOUBLE,  -- 속도
    head     DOUBLE,  -- 방향
    accel    DOUBLE   -- 가속도
);
```

```
CREATE TABLE cars (
    id         INT,
    plate_num  CHAR(16),
    position   ST_MPOINT(car_type)
);
```

그림 3. 이동객체 테이블 생성 예

[그림 3]의 질의 문으로 생성한 이동객체 테이블은 자동차의 정보를 획득한 시간 및 위치와 함께 속도, 방향, 가속도 정보를 모두 저장하여 관리할 수 있다.

이렇게 UDT 를 활용하여 다양한 특성을 가지는 이동객체의 속성 정보에 대한 저장구조를 사용자가 직접 정의할 수 있는 방법을 제공하고, 이를 기반으로 이동객체 데이터 저장/검색/연산 등을 할 수 있도록 함으로써 이동객체 DBMS 에서 이동객체의 위치뿐만 아니라 다양한 속성 정보를 효율적으로 융합 저장할 수 있는 저장 구조를 설계하였다.

## 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 지속적으로 변하는 이동객체의 위치정보와 속성정보를 함께 저장할 수 있는 방안에 대해 제안 하였다. 이는 기존 이동객체 DBMS 에서 위치 데이터만 저장하여 사용하는 단순한 위치 기반 서비스를, 위치 데이터와 함께 다양한 센싱 정보를 저장하고 이용하는 서비스까지 확장 적용할 수 있는 모델로 활용 가능하다.

향후에는 본 연구 내용을 바탕으로 UDT 를 적용한 이동객체 통합 데이터 저장 기능과 이를 활용하는 시공간 연산자를 개발 하여 산업 현장에 시범 적용하고 성능 시험을 진행 할 예정이다.

## 5. 참고 문헌

[1] Ouri Wolfson, Bo Xu, Sam Chamberlain, Liqin Jiang, "*Moving Objects Databases: Issues and Solutions*" Proc. 10th Int. SSDBM '98. p. 111-122, 1998.

[2] M. Jang, M Yoon, J Chang, "*A Survey on Moving Object trajectory Mining Techniques in Location-based Services*", ISSN 1598-9798, Database Society, 2012.

[3] E.M Oh, C.S Kim, J.S H, "A Method for Managing Targets using Moving-Object DBMS", 2014 Korea Computer Congress, 2014

# UHD 콘텐츠 스트리밍 서비스를 위한 캐시 파일 시스템

최요셉°, 박우출

전자부품연구원

# Cache File System for UHD Contents Streaming Service

Yo-Seph Choi°, Woo-Chool Park

Korea Electronics Technology Institute

yschoi, wcpark@keti.re.kr

## 요 약

정보 통신 기술의 발달로 초고속 데이터 통신이 보편화되고 4K/8K UHD 콘텐츠를 지원하는 스마트 TV 와 모바일 기기 등이 시장에 나오면서 UHD 콘텐츠에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데 UHD 콘텐츠 관련 서비스를 제공하는 기술의 연구와 개발도 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 대용량의 UHD 콘텐츠의 안정적인 스트리밍 서비스를 위하여 캐시 파일 시스템을 제안하고 테스트 하였다.

## 1. 서론

최근 정보통신기술의 발달과 LTE, Gigabit 인터넷 등 초고속 데이터 통신망의 보급으로 언제 어디서나 고품질의 콘텐츠를 이용할 수 있게 되었다. 특히 4K/8K UHD 콘텐츠를 지원하는 스마트 TV 와 모바일 기기 등이 시장에 나오면서 UHD 콘텐츠 관련 서비스에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 4K UHD 콘텐츠의 경우 1080p FHD 콘텐츠보다 4 배 이상의 데이터 크기를 가지고 있기 때문에 기존의 FHD 콘텐츠 환경의 시스템으로 UHD 콘텐츠를 서비스 하기엔 적합하지 않다.[1][2]
따라서 본 논문에서는 대용량의 UHD 콘텐츠의 안정적인 관리 및 스트리밍 서비스를 위하여 캐시 파일 시스템을 제안한다.[3][4]

## 2. UHD 콘텐츠를 위한 캐시 파일 시스템

UHD 급 대용량 콘텐츠 전체를 동기화 하는 것은 물리적으로 많은 시간이 소요된다. 따라서 원본 스토리지를 개별 캐시서버들이 로컬 드라이브로 인식할 수 있도록 하여 사용자 요청에 즉시 응답을 할 수 있도록 하는 기능이 UHD 급의 대용량 파일을 동기화 하는 최선의 방식이라 할 수 있다. 캐시파일 시스템은 물리적으로 떨어진 대용량 스토리지를 개별 캐시 서버들이 다이렉트로 마운트하여 로컬 드라이브로 인식할 수 있게 하는 기능을 한다.

### 2.1 캐시파일시스템 구조도

[Fig. 1.] 은 캐시파일 시스템의 구성도이다. End-User 가 Application Server 에 접속하여 영상파일을 호출하면 로컬디스크에 해당 파일이 존재하는지 Storage Cache 에서 탐색한다. 해당 파일이 존재하지 않을 시, Storage Cache 는 원본 파일을 저장하고 있는 Origin Storage 로부터 End-User 가 요청한 콘텐츠를 호출하여 전송해준다. 이 과정에서 대용량 콘텐츠를 안정적으로 전송하기 위하여 Relay Cache 가 Origin Storage 와 Application Server 를 Direct 로 Mount 하도록 개발하였다.

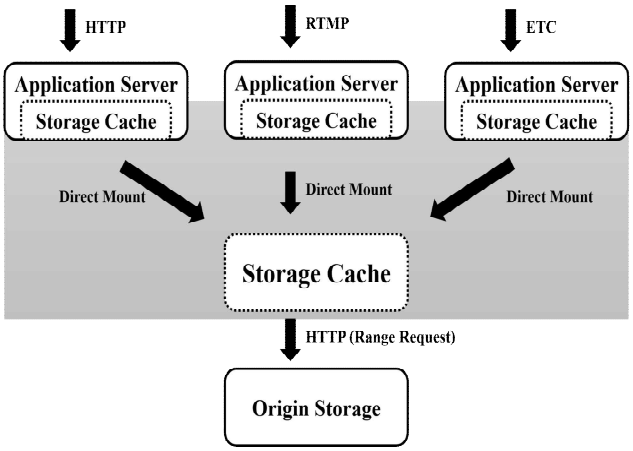



**Fig. 1. 캐시파일 시스템 구성도**

### 2.2 캐시파일시스템 기능

캐시파일 시스템은 5 개의 기능으로 나뉘어지며 각각의 역할은 다음과 같다.

#### 2.2.1 파일 캐시 기능

시스템의 로컬 디스크에 없는 파일에 대한 접근 시, 원본 데이터 서버로부터 해당 파일을 가져옴과 동시에 전달한다. 이후 동일파일 접근 시, 원본 데이터 서버로의 데이터 요청 없이 로컬의 데이터를 가지고 서비스를 한다.

2.2.2 메모리 캐시 기능
시스템에 자주 접근되는 파일은 메모리에 적재하여 이 후 해당 파일에 대한 접근 시 메모리 상에서 바로 서비스하여 디스크 I/O 부하를 줄이는 역할을 한다.

2.2.3 Health check 기능
원본 서버에 발생한 수정/삭제 등의 특정 파일 변동에 대해서 자동으로 감지하여 로컬의 파일과 원본 서버의 파일을 동일한 것으로 일치시켜준다.

2.2.4 디스크, 캐시 관리 기능
디스크와 메모리의 크기와 설정에 따라 최대로 사용할 수 있는 디스크 사용량과 메모리 캐시 사용량을 조절하는 역할을 한다.

2.2.5 파일 aging 기능
시스템에 캐시 되어 존재하는 파일들이 access 와 관련된 aging 정책을 따를 수 있게 한다.

2.4 인증 예외 처리 규칙

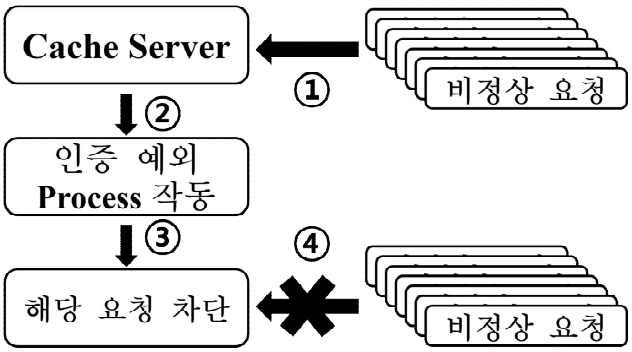



**Fig. 2. 인증 예외 처리 프로세스**

물리적 캐시서버는 DDOS 등의 외부 공격 시, 그 기능을 상실할 수 있으며 해당 공격 시 캐시서버의 특성상 트래픽 집중 현상으로 캐시서버의 순차 중단으로 이어질 수 있다. 따라서 외부로부터 존재하지 않는 파일에 대한 요청이 비정상적으로 증가하는 경우, [Fig. 2.]과 같이 일정 시간 동안 해당 요청을 차단하여 외부 공격으로부터 캐시서버를 보호할 수 있는 인증 예외 처리 프로세스를 개발하였다.

2.5 클라우드 기반 UHD 콘텐츠 네트워크 전송 품질 관리 및 멀티레벨 보안 기술이 적용된 시스템 관리 기술

네트워크 Throttling 기법을 사용하여 트래픽이 튀는 현상을 최소화하여 [Fig. 3.]과 같이 네트워크 효율을 극대화 하고 높은 서버 가용성을 확보할 수 있도록 하였다.

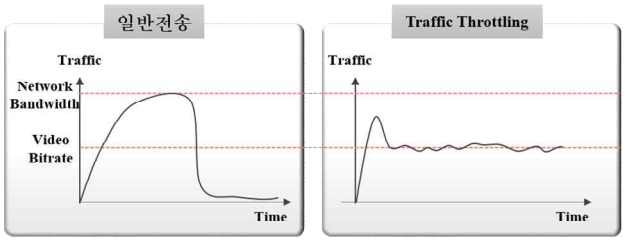



**Fig. 3. Traffic Throttling 작동 예시**

## 3. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 대용량의 UHD 콘텐츠의 안정적인 관리 및 스트리밍 서비스를 위하여 캐시 파일 시스템을 개발하여 시스템에 적용하여 테스트 하였다. 사용자가 영상의 링크를 클릭하여 실제 스토리지 서버에 업로드 되어 있는 UHD 콘텐츠가 초기 버퍼링을 거쳐 실제로 재생되기 까지 걸리는 시간이 평균 4.38 초로 스트리밍 서비스를 하기에 충분한 결과라 판단되었다. 향후 다양한 환경에 적합하도록 캐시 파일 시스템을 더 고도화 할 예정이다.

## 4. 참고 문헌

[1] J. H. Seo, B. M. Lim, H. M. Eum, H. M. Kim, and N. H. Hur,“Trend of Technology Development and Standardization for Digital,” 2014Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 29, No. 3, pp. 27-36,June 2014.
[2] J. Kutzner, S. Pizzi, “Current Status of ATSC 3.0“, 20 February 2013
[3] Schwan, Philip, “Lustre: Building a file system for 1000-nodeclusters,” Proceedings of the 2003 Linux Symposium, 2003
[4] Shvachko, Konstantin, et al., “The hadoop distributed filesystem,” Mass Storage Systems and Technologies (MSST), 2010 IEEE 26th Symposium on. IEEE, 2010

## 5. ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R010-14-283, 클라우드 기반 UHD 방송콘텐츠 스트리밍 서비스 기술 개발)

# UHD 콘텐츠를 위한 스케일러블 스트리밍

최요셉°, 박우출

전자부품연구원

# Scalable Streaming for UHD Contents

Yo-Seph Choi°, Woo-Chool Park

Korea Electronics Technology Institute

yschoi, wcpark@keti.re.kr

## 요 약

LTE 와 Gigabit 인터넷과 같은 초고속 데이터 통신망의 보급과 TV, Mobile, PC 등과 같은 다양한 디바이스를 중심으로 콘텐츠 서비스가 보편화 되고 있으며 최근 4K 이상의 UHD 콘텐츠를 지원하는 디바이스들이 시장에 나오면서 UHD 콘텐츠를 제공하는 서비스에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 대용량의 UHD 콘텐츠를 다양한 네트워크 및 디바이스 환경에서 원활히 서비스 하기 위해 스케일러블(SVC)기반의 DASH 스트리밍 서버 기술을 제안한다.

## 1. 서론

최근 정보통신기술의 발달과 LTE, Gigabit 인터넷 등 초고속 데이터 통신망의 보급으로 언제 어디서나 고품질의 콘텐츠를 이용할 수 있게 되었다. 특히 4K/8K UHD 콘텐츠를 지원하는 스마트 TV 와 모바일 기기 등이 시장에 나오면서 UHD 콘텐츠 관련 서비스에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 4K UHD 콘텐츠의 경우 1080p FHD 콘텐츠보다 4 배 이상의 데이터 크기를 가지고 있기 때문에 기존의 FHD 콘텐츠 환경의 시스템으로 UHD 콘텐츠를 서비스 하기엔 적합하지 않다.[1][2]
따라서 본 논문에서는 UHD 콘텐츠를 다양한 네트워크 및 디바이스 환경에서 사용할 수 있도록 스케일러블 (SVC) 기반의 DASH 스트리밍 서버 기술을 제안한다.[3][4]

## 2. UHD 콘텐츠 스케일러블 스트리밍 및 서버 기술

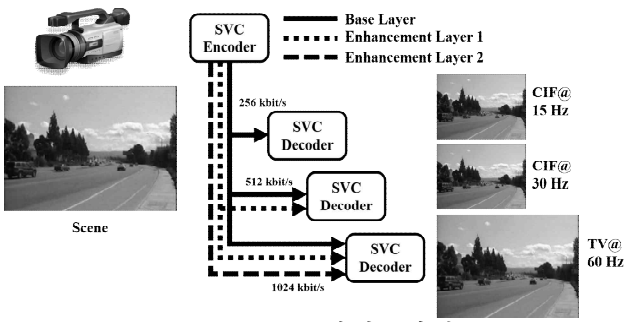



**Fig. 1. SVC 파이프라인**

[Fig. 1.]은 스케일러블(SVC)-DASH 의 특성을 나타낸 그림이다. 콘텐츠를 최고 화질로 스트리밍 하기 위해서는 Base Layer 와 Enhancement Layer1, Enhancement Layer2 모두 필요로 하는 것을 알 수 있다.
다양한 품질로 생성된 미디어 파일(세그먼트 파일)과 각 파일에 관한 MPD 가 서버에 저장되어 있는 상태에서, 서버와 클라이언트간의 통신은 HTTP 프로토콜을 이용하여, 클라이언트의 요청과 이에 대한 서버의 응답을 통하여 이루어진다.
클라이언트는 서버에 MPD 를 요청하게 되고, 전달된 MPD 를 통하여 서버에 저장되어 있는 해당 파일에 관한 정보를 인식하여 원하는 콘텐츠에 대한 세그먼트파일을 요청한다. 이에 서버는 해당 세그먼트파일을 클라이언트에게 제공함으로써 스케일러블(SVC)-DASH 서비스가 이루어진다.
이와 같은 스케일러블(SVC)-DASH 의 특성 상 Base Layer 는 모든 화질 요청에서 기본적으로 원활히 서비스가 되어야 하는 필요조건이 발생한다.
따라서 스트리밍 서버는 모든 클라이언트가 네트워크가 충분한 환경에서 접속하여 최고화질의 서비스를 요구한다고 하더라도 스트리밍 서버가 보유한 네트워크의 한정된 자원에서 효율적인 자원배분을 통하여 스케일러블(SVC)-DASH 스트리밍 서비스를 적절히 수행할 수 있는 기능이 필요하다.

## 3. Client Session Tracking 을 통한 QoS 채널링

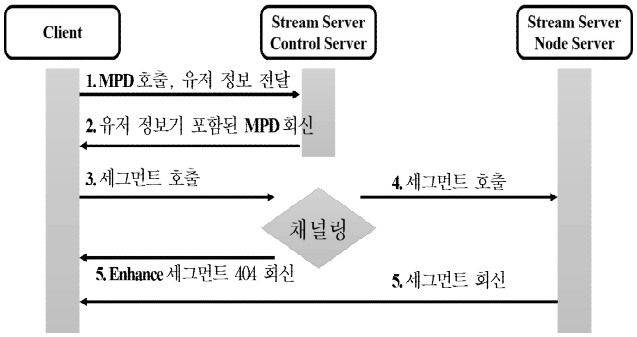



**Fig. 2. 스트리밍 서버 호출 순서도**

스트리밍 서버는 한정된 네트워크 자원을 가지고 있기 때문에 내부 네트워크 구성 시 전체 네트워크 대역폭에서 해상도별 스트리밍 서버에 적절한 대역폭을 할당한다. 예를 들어 전체 6Gbps 의 네트워크 환경이라면 UHD 스트리밍 서버에는 3Gbps, FHD 스트리밍 서버에는 2Gbps, SD 스트리밍 서버에는 1Gbps 로 할당한다. 그렇기 때문에 정해진 대역폭에 따라 컨트롤 서버에서 클라이언트에 발급 가능한 세션의 수가 달라진다.

### 3.1 스트리밍 서버의 동작

[Fig. 2.]를 보면 우선적으로 클라이언트는 컨트롤 서버 쪽으로 영상 콘텐츠의 MPD 파일을 호출한다. 컨트롤 서버는 호출된 MPD 파일에 클라이언트의 유일한 정보를 담아 전달한다. 클라이언트는 MPD 분석만으로 세그먼트 파일 호출 시 자동적으로 클라이언트 정보가 같이 전달한다. 컨트롤 서버는 전달받은 클라이언트 정보로 세션을 맺고 관리 한다.

### 3.2 스트리밍 서버의 QoS 채널링

스트리밍 서버는 클라이언트가 호출한 세그먼트의 종류에 따라 [Fig. 3.]과 같이 동작하게 된다. 호출한 세그먼트 파일이 Base layer 라면 해당 해상도의 서버로 연결시키고 상기 세그먼트를 클라이언트로 전달한다. 그렇지만 Base layer 가 아닌 경우 클라이언트의 세션을 확인한다. 만약 서버에서 해당 해상도의 세션수가 일정 기준치 이상이고 호출한 클라이언트가 세션이 맺어져 있지 않다면 오류 코드를 클라이언트로 보낸다. 이미 세션이 맺어진 상태라면 s 서버에 연결시키고 동시에 해당 세션의 유효시간은 갱신된다. 서버의 세션 수가 기준치 이하이고 호출한 클라이언트와 세션이 맺어져 있지 않다면 클라이언트와 서버는 세션을 맺고 유효 시간 동안 컨트롤 서버에서 해당 세션 정보를 관리한다.

서버의 클라이언트 Session Tracking 을 통한 QoS 채널링 기능에 따라 클라이언트의 호출로부터 Base layer 를 보장함으로써 네트워크 대역폭 변화에도 기존 클라이언트에 대해서 지속적으로 고화질 스트리밍이 가능하다. 서버 채널을 분리함으로써 네트워크 상의 지연 시간이나 데이터 손실률을 보장하고 좀 더 안정적으로 클라이언트로 해상도별 콘텐츠를 제공할 수 있다.

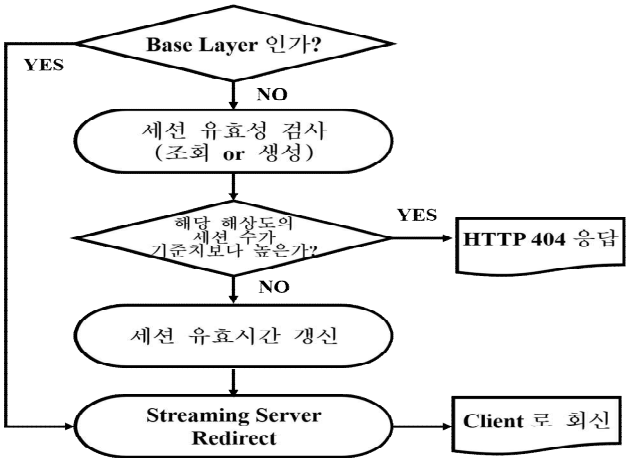



**Fig. 3. 스트리밍 서버의 QoS 채널링**

## 4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 UHD 콘텐츠를 다양한 네트워크 및 디바이스 환경에서 사용할 수 있도록 스케일러블(SVC)기반의 DASH 스트리밍 서버 기술을 제안하고 테스트 하였다. DASH 의 특성 상 컨트롤의 역할이 클라이언트에 치중됨으로 인하여 기존 사용자의 QoS 유지 문제가 존재하였지만 동적 MPD 발행 등을 통한 클라이언트 Session Tracking 을 통해 QoS 문제 해결하였고 약 700 대의 클라이언트가 동시에 접속해 서비스를 요청했을 때도 문제없이 스트리밍이 가능하였다. 향후 약 1000 명 이상의 동시 접속 서비스가 가능할 수 있도록 고도화할 예정이다.

## 5. 참고 문헌

[1] J. H. Seo, B. M. Lim, H. M. Eum, H. M. Kim, and N. H. Hur,“Trend of Technology Development and Standardization for Digital,” 2014Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 29, No. 3, pp. 27-36,June 2014.

[2] J. Kutzner, S. Pizzi, “Current Status of ATSC 3.0“, 20 February 2013

[3] E. Nygren, R. K. Sitaraman, and J. Sun. The akamai network: a platform for high-performance internet applications. SIGOPS Oper. Syst. Rev., 44(3):2–19, August 2010.

[4] L. Kontothanassisy, R. Sitaramanz, J. Weinz, D. Hongz, R. Kleinbergzx, B. Mancusoz, D. Shawz, and D. Stodolsky. A Transport Layer for Live Streaming in a Content Delivery Network. In Proceedings of the IEEE, Special Issue on Evolution of

## 6. ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R010-14-283, 클라우드 기반 UHD 방송콘텐츠 스트리밍 서비스 기술 개발)

# 이종간 Multipath TCP 환경에서 RTT 를 고려한 효율적인 패킷 전송 기법

김형직°, 최선웅

국민대학교 보안-스마트 전기 자동차 학과

# Efficient Packet Transmission Scheme considering RTT in Heterogeneous Multipath TCP

Hyungjik Kim°, Sunwoong Choi

Dept. of Secured Smart Electric Vehicle, Kookmin Univ.

bisbaden@lycos.co.kr, schoi@kookmin.ac.kr

## 요 약

Multipath TCP(MPTCP)는 신뢰성을 보장하는 TCP 프로토콜을 기반으로 다수의 경로로 데이터를 전송한다. 다수의 경로를 이용하기 때문에 기존의 TCP 보다 처리율을 향상시킬 수 있지만 여러 가지 변수를 고려해야 한다. 본 논문에서는 Round Trip Time(RTT)이 MPTCP 의 Flow Completion Time 에 미치는 영향을 분석하여 서로 다른 네트워크 환경을 사용하는 두 개의 경로를 이용하여 데이터를 전송할 때 하나의 경로의 RTT 가 다른 경로에 비해 상대적으로 클 경우 RTT 가 작은 경로만을 사용하여 데이터를 전송하는 것이 더 나은 Flow Completion Time 을 보이는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 새로운 전송 경로가 맺어진 경우 해당 전송 경로로 데이터를 전송할 것인지를 결정하는 기법을 제안하였다.

## 1. 서론

Multipath TCP(MPTCP)는 인터넷 표준화 단체인 IETF 에서 표준화한 통신 프로토콜로 기존의 TCP 를 기반으로 개발하였다[1][2]. MPTCP 는 여러 통신 프로토콜을 사용하여 다수의 경로로 subflow 를 생성하여 데이터를 전송할 수 있다. 다수의 경로를 사용하여 처리율을 높이는 것을 목적으로 한다. 하지만 다수의 경로를 사용하기 때문에 여러 가지 변수를 고려해야 한다. 데이터를 전송하는 경로의 상태가 좋지 않다면 그 경로 때문에 Flow Completion Time 이 기존의 TCP 보다 오히려 증가하여 데이터 전송의 QoS 를 보장할 수 없다[3].

본 논문에서는 고려해야 할 여러 가지 변수 중에서 각 전송 경로의 Round Trip Time(RTT)이 Flow Completion Time 에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 2 장에서는 RTT 에 따른 MPTCP 의 Flow Completion Time 의 변화를 기존의 TCP 와 비교하고 이러한 문제점을 개선하기 위한 기법을 제안하였다. 3 장에서는 제안하는 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 증명하고 4 장에서 결론을 맺는다.

## 2. RTT 를 고려한 패킷 전송 기법

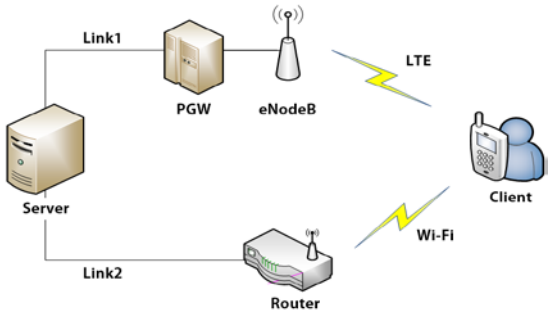



그림 1. MPTCP 성능 분석을 위한 토폴로지

본 논문에서는 두 개의 다른 네트워크를 사용하는 경로를 사용하여 데이터를 전송하는 MPTCP 환경에서 RTT 로 인한 Flow Completion Time 의 효율을 높이는 기법을 제안한다. 먼저 기존의 MPTCP 를 분석하기 위해 그림 1 의 토폴로지를 구성하고 각 링크는 표 1 과 같이 설정하였다.

표 1. 각 링크의 설정 값

| Parameter | Value |
|---|---|
| Link's Data rate | 100Mbps |
| Link1's Delay | 30ms |
| Link2's Delay | 50 - 150ms |
| Flow Size | 100 - 10000Kbyte |

Link1 의 Delay 는 30ms 로 고정하고 Link2 의 Delay 값을 변경하여 MPTCP 의 성능을 분석하였다. 비교를 위하여 Link1 만 사용하는 SPTCP(Single path TCP)의 성능도 함께 분석하였다. 분석을 위한 시뮬레이터로는 NS-3 를 사용하였고 분석한 결과는 그림 2 에 나타내었다[4][5].

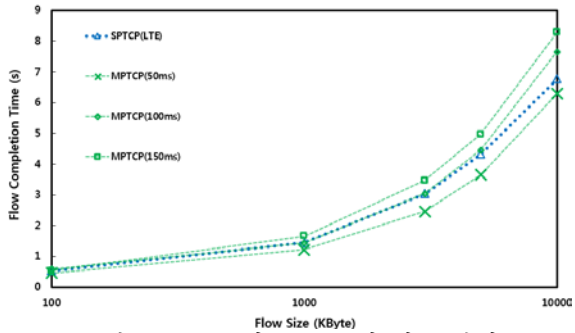



그림 2. MPTCP 와 SPTCP 의 성능 분석

그림 2 를 보면 MPTCP 의 두 Link 의 Delay 차이가 작은 경우 MPTCP 가 더 좋은 성능을 보이지만 Delay 의 차이와 Flow Size 가 커질수록 MPTCP 의 Flow Completion Time 이 증가하여 SPTCP 의 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

$$\frac{Remained\ Packets}{Throughput_1} \geq RTT_2 \qquad (1)$$

$RTT_2$ : Link2의 RTT

Remained Packet: 현재 시점에서의 남은 패킷의 수

$Throughput_1$ : 현재 시점까지의 Link1의 Throughput

MPTCP 가 Link1 과 Link2 를 사용하여 데이터를 전송해서 Link1 만을 사용하는 SPTCP 보다 Flow Completion Time 이 증가하는 것을 막기 위해서 Link2 를 사용하는 새로운 subflow 가 생성된 시점에 수식 1 의 부등식이 만족하는 경우 새로운 전송 경로를 사용하지 않는 것을 제안한다. 서버와 클라이언트가 Link2 의 RTT 만큼의 시간을 가지고 연결을 맺는 상황에서 Link2 의 Delay 가 Link1 의 Delay 보다 큰 경우에 Link1 은 이미 연결을 마치고 데이터를 전송하고 있다. 서버와 클라이언트가 Link2 를 통해서 연결을 맺는 그 시점에서 Link1 의 Throughput 이 남은 패킷들을 Link2 의 RTT 시간 내에 모두 전송할 수 있으면 SPTCP 와 같이 Link1 으로만 전송하는 것이 효율적이다. Remained Packets / Throughput1 이 RTT2 보다 클 때에는 MPTCP 를 사용하는 것이 SPTCP 보다 더 나은 Flow Completion Time 을 보장한다.

## 3. 성능 평가

3 장에서는 2 장과 같은 시뮬레이션 환경에서 제안하는 기법을 적용한 MPTCP 의 성능을 분석하였다. 분석한 그래프는 그림 3 에 나타내었다.

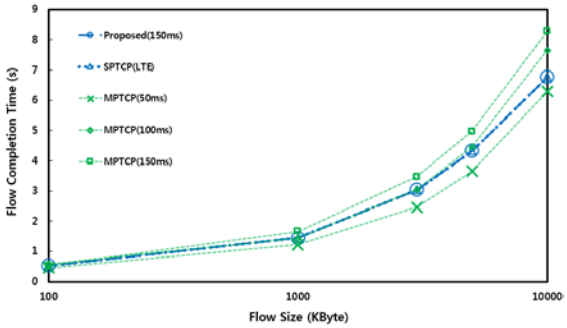



그림 3. 제안한 기법을 적용한 MPTCP 의 성능 분석

그림 3 을 보면 제안하는 기법을 적용한 MPTCP 는 Link1 만을 사용하여 전송하기 때문에 SPTCP 만큼의 성능을 보장 할 수 있다. 수식의 RTT2 가 큰 구간에서는 Link2 도 사용하여 데이터를 전송하기 때문에 MPTCP 의 성능도 보장할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

MPTCP 는 SPTCP 를 기반으로 만들어진 프로토콜로 다수의 경로를 이용하여 데이터를 전송하여 SPTCP 보다 향상된 처리율을 보장한다. 하지만 다수의 경로를 사용하기 때문에 여러 가지 변수를 고려하지 않으면 QoS 를 보장할 수 없다.

본 논문에서는 MPTCP 를 사용하여 데이터를 전송할 때 전송 경로의 RTT 를 고려하지 않는 경우 성능이 저하되어 Flow Completion Time 의 QoS 를 보장하지 못하는 상황을 방지하는 기법을 제안하여 MPTC 를 그대로 사용하는 것보다 SPTCP 를 사용하여 Flow Completion Time 을 보장하였다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(2011-0023856).

## 5. 참고 문헌

[1] C. Raiciu, M. Handley, and D. Wischik, “Coupled congestion control for multipath transport protocols,” IETF RFC 6356, Oct. 2011.
[2] A. Ford, C. Raiciu, M. Handley, and O. Bonaventure, “TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses,” RFC 6824, IETF, Jan. 2013.
[3] Jaehyun Hwang, Joon Yoo“Packet Scheduling for Multipath TCP”, ICUFN 2015
[4] Network Simulator ns-3: http://www.nsnam.org/
[5] MPTCP Code Project: http://code.google.com/p/mptcp-ns3/

# Distributed Antenna System 을 위한 광대역 전력증폭기 설계

이석희*°, 김기진*, 안광호*, 방성일**

전자부품연구원 ICT 디바이스패키징연구센터*, 단국대학교 전자전기공학부**

# A Design of Wideband Power Amplifier for Distributed Antenna System

Suk-hui Lee*°, Ki-Jin Kim*, K.H. Ahn*, Sung-il Bang**

ICT Device Packaging Research Center, Korea Electronics Technology Institute*

Department of Electronics Engineering, Dankook University**

sshviole@keti.re.kr

## 요 약

Distributed Antenna System 은 기지국의 신호를 건물내부 및 건물 외 음영지역에 전달하는 역할을 한다. 기존 DAS 구조는 협대역 구조를 가지고 있어 다양한 통신사업자와 통신 서비스를 지원하기 위해서는 다수의 모듈이 필요한 단점이 있다. 본 논문에서는 Multi Band In-Building DAS 를 단일 전력증폭기로 구현할 수 있는 광대역 전력증폭기를 설계하였다. 설계된 전력증폭기 모의실험으로 성능을 검증하였다. 이득은 44.428 dB 이상이며, P1dB 출력은 36.88 dB 이상, 효율은 17%이상의 특성을 나타내었다.

## 1. 서론

DAS(Distributed Antenna System)는 기지국 Down Link 신호를 수신하거나 Up Link 신호를 기지국으로 전송하는 MU(master unit) 시스템과 건물 내 전파 음영지역에 설치하여 Down Link 신호를 안테나를 통해 방사 하거나 안테나를 통해 단말기 신호를 수신하는 RDU(remote distribution unit) 시스템으로 구성된다. 기존의 DAS 시스템은 통신 표준과 통신 사업자에 따라서 개별 모듈들이 건물에 설치됨으로써 OPEX 와 CAPEX 의 증가와 건물 미관상의 부정적 측면이 존재한다. 현재 국내에서 기술 개발하여 상용화하고 있는 DAS RF 의 시스템의 경우 대역폭이 최대 200 MHz 정도로 2G ~ 4G 서비스를 모두 커버하기 위한 700 ~ 2700 MHz 의 시스템을 구성하기 위해서는 다수의 RF 모듈 기술을 필요로 하고 있다. 해외 통신사업자의 경우 역시 효율적인 DAS 운영을 위하여 3 개 이상의 주파수 대역에서 20 MHz 이상의 대역폭으로 다양한 서비스를 필요로 하고 있다. 기존 중계 장치의 협대역, 저효율 구조는 DAS 의 효율적인 서비스 제공을 제한하고 있다. 본 논문에서는 2G, 3G, 4G 장비(CDMA/EVDO/GSM/WCDMA/LTE)와 연동이 가능한 Multi Band In-Building DAS 시스템의 핵심모듈인 광대역 전력증폭기를 설계하고자 하였다.

## 2. 광대역 DAS 전력증폭기 설계

본 논문에서 설계하고자 하는 광대역 전력증폭기가 기존 DAS 시스템의 전력증폭기 모듈을 대체하기 위해서는 기존 전력증폭기 모듈의 RF 성능은 만족하여야 한다. 제안한 광대역 전력증폭기의 설계목표는 다음과 같다.

<표 1. DAS 전력증폭기 설계 목표>

| Item | Unit | Specification |
|---|---|---|
| 1. RF Operating Range | MHz | 700-2700 |
| 2. Output Power | dBm | ≥ 35 |
| 3. Gain | dB | ≥ 42 |
| 4. Power Added Efficiency | % | ≥ 10 |
| 5. Flatness | dBp-p | ≤ 2 |

설계규격을 만족하기 위한 광대역 DAS 전력증폭기는 이득 확보를 위한 3 단의 이득블록과 최종출력을 위한 최종단으로 그림 1 과 같이 구성하였다.

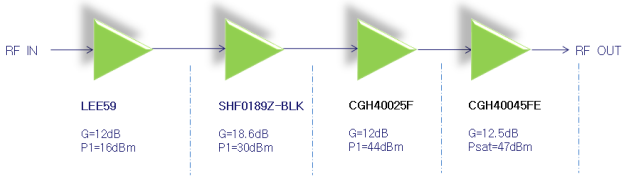



그림 1. 광대역 DAS 전력증폭기 구성도

GaN 소자는 기본적으로 음의 게이트 동작점을 가지며, 음전압이 공급되지 않은 상태에서 드레인 전압이 인가되면 안정된 동작영역에서 벗어나게 되어 과전류 등으로 인한 주변 전원 회로의 손상이나 소자 자체 손상이 야기될 수 있다. GaN 소자의 안정

적인 동작을 위해서 사용되는 순차 바이어스 회로는 비교 회로와 스위칭 회로로 구성되며, 비교 회로는 차동 비교기를 사용하여 음전압의 설정 전압 유지 여부를 판단하는 회로이고, 스위칭 회로는 비교 회로의 출력전압에 따라 GaN 소자의 Drain 에 전압을 공급/차단하는 역할을 한다. 그림 2 는 순차바이어스 회로 구성도이다.

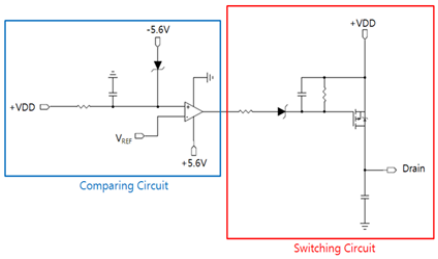



그림 2. GaN 증폭소자의 순차바이어스회로 구성도

## 3. 광대역 DAS 전력증폭기 모의실험

설계된 광대역 DAS 전력증폭기는 상용 설계 프로그램을 이용하여 성능을 검증하였다. 최종단에서 최대 출력전력과 효율을 얻기 위해서 Load-pull 기법을 이용하여 모의실험을 진행하였다. 그림 3 은 최종단의 Load-pull 특성을 나타낸다. 최대출력과 효율을 가지기 위한 최적의 임피던스를 결정하였다.

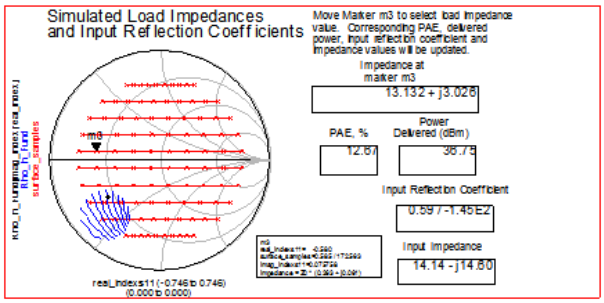



그림 3. 최종단의 Load-pull 특성

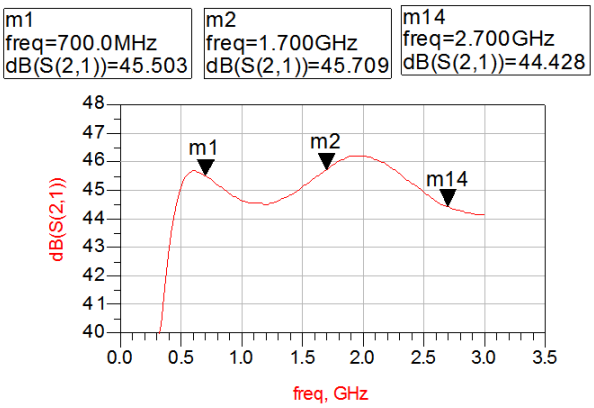



그림 4. 광대역 DAS 전력증폭기의 이득특성

그림 4 에서 보는 바와 같이 구동단과 최종단의 최종 이득특성은 사용대역에서 44.428 dB 의 최소이득을 보였다. 그림 5 는 중심주파가 1700 MHz 에서의 효율특성을 나타낸다. 동작출력 레벨인 35 dBm 에서의 약 17%의 효율특성을 보였다.

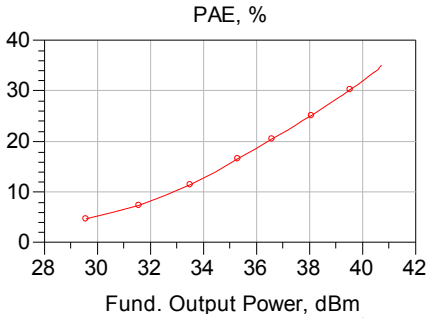



그림 5. 광대역 DAS 전력증폭기의 효율특성

그림 6 은 순차바이어스 회로의 응답특성 모의실험 결과이다. 설계된 순차 바이어스 회로는 음전압이 인가되고 약 25msec 후 드레인 전압이 인가되었다.

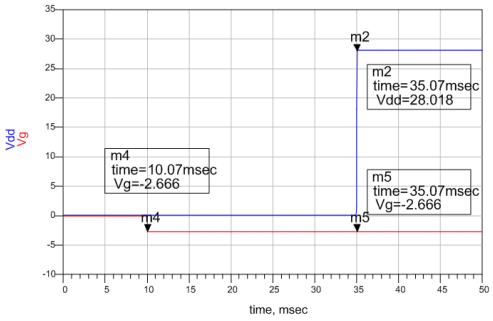



그림 6. 순차 바이어스 회로의 응답특성

## 4. 결론

본 논문에서는 Multi Band In-Building DAS 를 단일 전력증폭기로 구현할 수 있는 광대역 전력증폭기와 바이어스에 의한 GaN 증폭소자의 손실을 방지하기 위하여 순차바이어스 회로를 설계하였다. 설계된 전력증폭기 모의실험으로 성능을 검증하였다. 이득은 35.428 dB 이상이며, P1dB 출력은 36.88 dB 이상, 효율은 17%이상의 특성을 나타내었다.

## 5. Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R-20150604-001531, 다 밴드 지원 PA 와 Transceiver 통합형 분산 안테나 시스템 개발)

## 6. 참고 문헌

[1] P. B., Kenington, *High-Linearity RF Amplifier Design,* Artech House Inc, Norwood, MA, 2000.

[2] 이석희, 조갑제, 방성일, "GaN Doherty 증폭기의 메모리 효과 보상을 통한 성능개선," *전자공학회 논문지, 49 권 TC 편 1 호,* pp.47-52, January 2012.

# 개방형 무선 이종망 연동 테스트 베드 구축

최윤철°, 이형호°, 정윤필°°, 이완직°°

°한국전자통신연구원, °°부산대학교

# Test Bed Establishment for Open Wireless Heterogeneous Network Interworking

Yunchul Choi°, Hyeong Ho Lee°, Yoon Pil Jung°°, Wan Jik Lee°°

°Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI), °°Pusan National University

{cyc79, holee}@etri.re.kr, whitecrist@naver.com, wjlee@pusan.ac.kr

## 요 약

무선 데이터 사용량이 급속히 증가함에 따라 서로 다른 특성을 갖는 다양한 무선 접속망간에 끊김 없는 통신을 지원하는 개방형 무선 이종망 연동 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 개방형 이종망 연동 기술과 이를 지원하기 위한 오픈 소프트웨어 기술을 살펴보고, 소프트웨어 정의 네트워크 환경에 적용한 이종망 연동 테스트 베드의 구축에 대해 기술한다.

## 1. 서론

글로벌 이동통신 시장에서 다양한 형태의 스마트 디바이스들의 활용이 증가하면서 무선 데이터 사용량이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이러한 많은 양의 데이터를 전송하기 위해서는 셀룰러 망을 확충하거나, 보다 안정적인 무선랜 서비스를 제공해야 한다. 그러나 제한적인 주파수 대역 및 서비스 영역의 중첩 문제가 발생하면서, 서로 다른 특성을 갖는 다양한 무선 접속망간에 끊김 없는 통신을 지원하는 개방형 무선 이종망 연동 기술에 대한 관심이 증가하고 있다[1-3]. 이러한 사용자 요구나 네트워크 환경의 변화에 따라 다양한 접속망(셀룰러, 무선랜, WPAN 등)들을 사용자의 멀티모드 단말과 최적의 조건으로 끊김 없이 연결해 주는 것이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 이종망 연동 기술과 이를 지원하기 위한 오픈 소프트웨어 기술을 살펴보고, 개방형 하드웨어에 적용한 이종망 연동 테스트 베드의 구축에 대해 기술한다.

## 2. 관련 연구

IEEE 802.21 WG[4]에서는 미디어 독립 핸드오버(MIH: Media Independent Handover) 지원을 위한 표준을 제정 하였고, 2013 년이후부터는 미디어 독립 서비스 프레임워크와 미디어 독립 서비스에 대한 표준화를 진행하고 있다. 이와 관련된 오픈소스인 ODTONE(Open Dot Twenty ONE)[5]은 다중 플랫폼(Linux, Windows, Android 등) 환경에서 미디어 독립 핸드오버 프로토콜 및 프레임워크를 지원하고, MIH-user 모듈, MIHF(MIH Functions) 모듈, LINK-SAP 모듈로 나뉘어 진다. MIH-user 모듈은 MIHF 모듈에서 제공하는 MIH 기능을 사용하는 응용으로서 무선 자원 관리와 이동성 제어와 같은 응용 등이 있을 수 있다. LINK-SAP 모듈은 물리적인 링크와 네트워크 인터페이스에 관련된 작업을 담당하는 모듈로서 물리적인 링크와 네트워크 인터페이스에서 발생하는 링크 탐지, 링크 단절과 같은 이벤트들을 MIHF 모듈로 전달하거나 MIHF 모듈이 요구하는 명령들을 처리하는 역할을 수행한다. LINK-SAP 모듈은 시스템에 존재하는 물리적인 인터페이스 종류 개수만큼의 모듈이 존재해야 하고, 현재는 IEEE 802.3 이더넷(Ethernet) 인터페이스와 802.11 무선랜(WLAN) 인터페이스를 지원한다.

OpenWRT(Open Wireless Router)[6]는 무선 라우터와 같은 임베디드 디바이스를 위한 리눅스 배포판으로서 임베디드 기기 응용을 패키지 수준에서 쉽게 지원해주는 패키지 관리 툴과 프로그램 개발을 지원해주는 개발 환경을 제공한다. 새로운 응용 지원을 위한 펌웨어를 개발할 때에는 OpenWRT 기본 시스템 위에 새로운 응용 지원에 필요한 패키지를 추가하거나, 기본 시스템에 포함되어 있는 불필요한 패키지를 삭제하여 펌웨어 구성하고 여기에 새로운 기능을 패키지 형태로 추가할 수 있다.

OVS(Open vSwitch)[7]는 멀티 레이어를 지원하고, 다양한 가상머신(Kernel-based VM, VirtualBox, Xen) 시스템들과의 동작을 지원하는 오픈소스 기반의 가상 스위치 프로그램이다. OVS 는 스위치 데몬과 스위치의 각종 설정 정보와 데이타 경로, 제어 경로를 설정하는데 필요한 정보를 저장하는 서버 DB 데몬으로 구성이 된다. 제어 경로에 필요한 정보는 다른 서버 혹은 데몬에 저장하는 것도 가능하다. 제어 경로와 데이타 경로를 분리하는데 필요한 프로토콜 중의 하나인 오픈 플로우도 지원이 된다. OVS 에서 오픈 플로우 프로토콜 지원 기능을 활성화 하는 경우 OVS 는 SDN(Software Defined Networking) 기반 스위치로 동작이 가능하다.

OpenDayLight[8]는 SDN 의 제어기 기능을 수행하는 오픈 소스 플랫폼이다. 그리고 OpenDayLight 는 SDN 프로토콜로 사용되고 있는 오픈플로우 프로토콜뿐만이 아니라 레거시 네트워크 환경에서 지원하는 SNMP, BGP, NETCONF 등과 같은 다양한 프로토콜을 지원한다. OpenDayLight 는 JVM(Java Virtual Machine) 형태의 소프트웨어로 구현되었기 때문에 하드웨어 플랫폼과 운영체제에 독립적으로 동작이 가능하고, 지원하는 각종 기능은 모듈 형태로 실행 도중 혹은 배포시에 구성이 가능하다.

## 3. 시스템 구성

본 장에서는 앞에서 살펴본 기술들을 활용한 개방형 무선 이종망 연동 테스트 베드의 구축에 대해 기술한다. 이종망 연동 기술을 지원하는 액세스 포인트는 무선 라우터 또는 유무선 공유기에 OpenWRT 운영체제와 이종망 핸드오버 기술을 지원하는 ODTONE 을 설치하여 구성한다. OpenWRT 패키지 상에 ODTONE 을 추가 설치 하기 위해서는 네트워크 상에서 올라오는 정보를 활용하기 위한 libnl 모듈과 C++ 범용 라이브러리의 일종인 boost library 설치가 선행 되어야 한다. OpenWRT 패키지 구성시 의존적인 패키지를 선택하고, ODTONE 을 추가로 구성하여 빌드를 하면 ODTONE 을 지원하는 OpenWRT 펌웨어가 생성이 된다. 이렇게 생성된 펌웨어를 Buffalo 사의 WZR-HP-AG300H 모델에 설치하여 액세스 포인트를 구성하고, 단말에 ONTONE 패키지를 추가하여 노드를 구성하였다.
상기 액세스 포인트의 OpenWRT 빌드 시에 OVS 패키지를 선택함으로써 SDN 기술을 적용하여 새로운 기술을 적용하기 용이한 구조로 변경하였다. 또한 OpenDayLight 를 설치한 제어 서버를 따로 구성하였다.

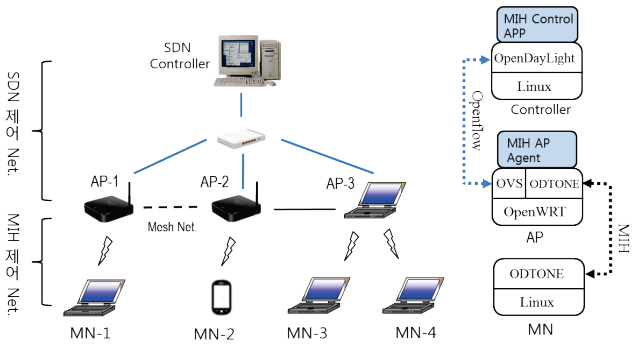



그림 1. 개방형 무선 이종망 연동 테스트 베드 구성도

이와 같이 구성한 그림 1 의 개방형 무선 이종망 연동 테스트 베드의 동작 여부를 단말과 액세스 포인트 간 및 액세스 포인트와 제어기 간으로 분리하여 시험하였다. 즉, 단말의 MIH 정보가 액세스 포인트에 전달이 되는지를 확인하였고, SDN 제어기에서 네트워크 구성 연결 상태를 그림 2 와 같이 확인하였다.

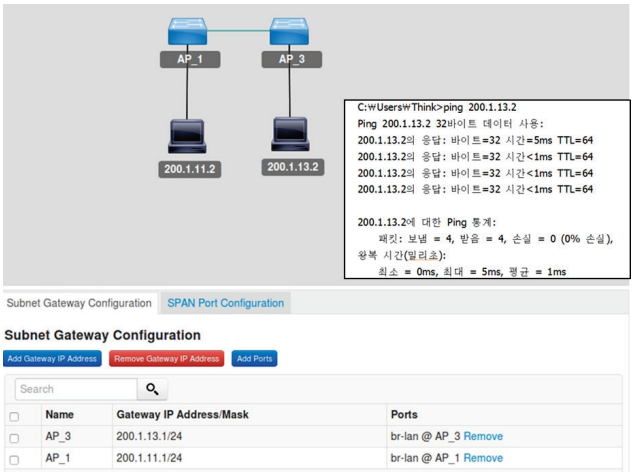



그림 2. 무선 환경 구성에 대한 OpenDayLight 인터페이스 및 연결 테스트 화면

MIH 정보를 제어기 상에서 제어하고자 하는 경우 액세스 포인트로 올라오는 MIH 정보를 SDN 제어기로 전달하고, 이를 SDN 제어기 응용에서 처리하여 액세스 포인트로 전달해주는 과정이 필요하다.

## 4. 사사

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임[R0127-16-1055, 개방형 무선이종망 (Multi-RAT) 연동 및 제어 기술 표준개발].

## 5. 참고 문헌

[1] 이형호, “개방형 무선 이종망 연동 및 제어 표준화 연구”, 한국통신학회 2015 년도 하계종합학술발표회 논문집, 제 57 권, pp. 240~241, 2015 년 6 월.
[2] Hyeong Ho Lee, Hyunho Park, and Jin Seek Choi, “Radio Resource Management Based on IEEE 802.21 Media Independent Service Framework,” Proc. ICACT2015, pp. 309-314, Phoenix Park, Korea, July 2015.
[3] Yiannis Yiakoumis, Manu Bansal, Adam Covington, Johan van Reijendam, Sachin Katti, and Nick McKeown, “BeHop: A Testbed for Dense WiFi Networks,” Proceedings of the 9th ACM MobiCom Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation and Characterization, WiNTECH 2014, pp. 1-8, Sept. 2014.
[4] IEEE 802.21, http://www.ieee802.org/21/
[5] ODTONE: Open 802.21, http://helios.av.it.pt/projects/odtone
[6] OpenWRT, https://openwrt.org/
[7] Open vSwitch, http:// www.openvswitch.org/
[8] OpenDaylight Platform, https://www.opendaylight.org/

# HLA 와 DDS 간 데이터 변환 오류 검증 방법과 구현

차우석 [1], 조재연 [1], 박승민 [1], 이준혁 [2]

[1]□□□□□□□□□, [2]한국플랫폼서비스기술

# Method and Implementation of the Error Verification for Data Conversion between HLA Object and DDS Topic

Woosuk Cha[1], Jaeyeon Jo[1], Seung-min Park[1], Junhyeok Lee[2]

[1]Electronics and Telecommunications Research Institute, [2]Korea Platform Service Technology

{wscha, jaeyeonjo, minpark}@etri.re.kr, jun@kpst.co.kr

## 요 약

현재 군 훈련은 실제 전장과 같은 환경에서 다양한 전투, 전술 훈련이 가능한 모의 전투를 실시하기 위해 L 체계와 V 체계, C 체계를 연동하여 LVC (Live-Virtual-Constructive) 통합 훈련 체계를 구축하고 있다. LVC 체계간 연동은 실제 전장 환경에서 수많은 전투·전술 훈련 기능을 제공하기 때문에 다양한 이종 전투체계를 통합 운용할 수 있는 연동 미들웨어 및 연동 통합체계 기술을 필요로 한다. 본 논문은 LVC 연동 통합 시스템에서 LVC 연동 게이트웨이에서 DDS 토픽(Topic)과 HLA 객체(Object)를 상호 변환한 후에 데이터 변환의 오류 유무를 검증하는 방법에 대해서 기술한다.

## 1. 서 론

현재 군 훈련은 실제 전장과 같은 환경에서 다양한 전투, 전술 훈련이 가능한 모의 전투를 실시하기 위해 L 체계와 V 체계, C 체계를 연동하여 LVC (Live-Virtual-Constructive) 통합 훈련 체계를 구축하고 있다.

L 체계는 실 병력이 실 장비를 가지고 수행하는 군 훈련체계를 의미하며, V 체계는 실 병력이 모의 시뮬레이터 장비를 가지고 수행하는 훈련 체계, C 체계는 가상 병력이 가상의 모의 장비를 사용하여 수행하는 훈련체계를 의미한다.

논문에서 기술하는 LVC 연동은 대규모 데이터의 실시간 공유용 통신 미들웨어 기술인 DDS(Data Distribution Service)와 기존 연합 연습훈련에 광범위하게 적용되어온 HLA(High Level Architecture)를 통합, 연동하는 개념을 의미한다.

본 논문은 LVC 연동 통합 시스템에서 LVC 연동 게이트웨이에서 DDS 토픽(Topic)과 HLA 객체(Object)를 상호 변환한 후에 데이터 변환의 오류 유무를 검증하는 방법에 대해서 기술한다.

## 2. LVC 연동 통합 시스템

LVC 연동 통합 체계는 LVC 연동 미들웨어 및 LVC 연동 종합상황도(LVC COP)를 기반으로 L 체계와 C 체계, V 체계를 연동하는 통합 훈련 체계를 의미하며, 각 체계에서 발생하는 데이터는 LVC 연동 게이트웨이를 경유하여 상호 송수신된다.

LVC 종합상황도는 LVC 연동 통합체계를 통합 제어하는 역할을 하며 L 체계와 C 체계, V 체계 사이에 상호 교환하는 데이터를 수집하고, 필요한 데이터를 상황도에 도식하는 기능과 전체 훈련 상황을 제어하는 기능을 수행한다.

LVC 연동 통합체계에서 L 체계를 모의하기 위해 UAV(unmanned Aerial Vehicle) 모의 시스템과, KCTC(Korea Combat Training Center) 실기동 훈련체계 모의 시스템을 포함하고, C 체계를 모의하기 위해 전투 21 모델을 이용하며, V 체계를 모의하기 위해 K1A1 전차 모의 시뮬레이터를 적용하였다.

그림 1 은 LVC 연동 시스템의 구성도를 도식한다.

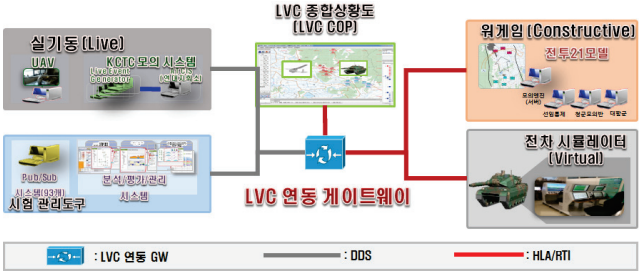



그림 1. LVC 연동 통합 시스템 구성

## 3. 데이터 변환 오류 검증 방법

LVC 연동 통합 시스템은 L 체계에서 발생하는 DDS 데이터는 10 개의 토픽(Topic)을 포함하며, C 체계와 V 체계에서 발생하는 HLA 데이터는 14 개의 객체(Object)를 포함한다.

그림 2 는 DDS 에서 UAV 를 의미하는 AIRCRAFT 토픽 포맷을 나타나며, 그림 3 은 HLA 에서 UAV 를 의미하는 AIRCRAFT 객체 포맷을 나타낸다.

```
typedef int16_t   HLAinteger16BE;
typedef int32_t   HLAinteger32BE;
typedef int64_t   HLAinteger64BE;
typedef float     HLAfloat32BE;
typedef double    HLAfloat64BE;
typedef int16_t   HLAoctetPairBE;
typedef int16_t   HLAinteger16LE;
typedef int32_t   HLAinteger32LE;
typedef int64_t   HLAinteger64LE;
typedef float     HLAfloat32LE;
typedef double    HLAfloat64LE;
typedef int16_t   HLAoctetPairLE;
typedef int8_t    HLAoctet;
typedef uint16_t  UnsignedShort;

// 항공기 정보
typedef struct AIRCRAFT
{
        //entitytype
        HLAoctet EntityKind;
        HLAoctet Domain;
        HLAinteger16BE CountryCode;
        HLAoctet Category;
        HLAoctet Subcategory;
        HLAoctet Specific;
        HLAoctet Extra;
        //EntityIdentifierStruct
        HLAinteger16BE SiteID;
        HLAinteger16BE ApplicationID;
        HLAinteger32BE EntityNumber;
        //WorldLocation
        HLAfloat64BE X;
        HLAfloat64BE Y;
        HLAfloat64BE Z;
        //DamageState
        HLAinteger32BE DamageState;
        //ForceIdentifier
        HLAinteger32BE ForceIdentifier;
} AIRCRAFT;
```

그림 2. DDS AIRCRAFT 토픽 구조

| Attributes | Datatype | Size | 실 Size | Type | Field Name | 설명 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EntityType (항공기정보) | EntityTypeStruct | 8bit | 8bit | HLAoctet | EntityKind | • 항공기 종류( UAV)<br>- EntityKind(1) - Platform<br>- Domain(2) – Air<br>- Country(119/120) - North, South<br>- Category(50) - Unmanned<br>- Subcategory(3) - Maneuver UAV<br>- Specific(0) – UAV 종류<br>- Extra(0) - Unused |
| | | 8bit | 8bit | HLAoctet | Domain | |
| | | 16bit | 16bit | Unsignedinteger16BE | CountryCode | |
| | | 8bit | 8bit | HLAoctet | Category | |
| | | 8bit | 8bit | HLAoctet | Subcategory | |
| | | 8bit | 8bit | HLAoctet | Specific | |
| | | 8bit | 8bit | HLAoctet | Extra | |
| EntityIdentifier (항공기ID) | EntityIdentifierStruct | 16bit | 16bit | Unsignedinteger16BE | SiteID | • FederateID |
| | | 16bit | 16bit | Unsignedinteger16BE | ApplicationID | • 소속부대ID |
| | | 16bit | 32bit | Unsignedinteger16BE | EntityNumber | • 유일한 식별자 ID |
| WorldLocation (위치) | WorldLocationStruct | 64bit | 64bit | HLAfloat64BE | X | • 개체의 utm x/y 좌표 |
| | | 64bit | 64bit | HLAfloat64BE | Y | |
| | | 64bit | 64bit | HLAfloat64BE | Z | |
| DamageState (피해상태) | DamageStatusEnum32 | 32bit | 32bit | HLAinteger32BE | DamageState | • 파손(0:피해없음 1:경파 2:중파 3:완파) |
| ForceIdentifier (피아구분) | ForceIdentifierEnum8 | 8bit | 32bit | HLAinteger32BE | ForceIdentifier | • 신원(0:소속되지 않은 1:정군 2:통군 3:중립국) |

그림 3. HLA AIRCRAFT 객체 구조

DDS 토픽과 HLA 객체는 자신을 식별할 수 있는 Entity Type 필드와 유일한 식별자 필드를 가지고 있다. LVC 연동 게이트웨이에서 DDS 토픽 데이터와 HLA 객체 데이터를 상호 변환한 후에 변환된 Entity Type 필드와 유일한 식별자 필드 값을 비교하면 데이터 변환의 오류를 확인할 수 있다.

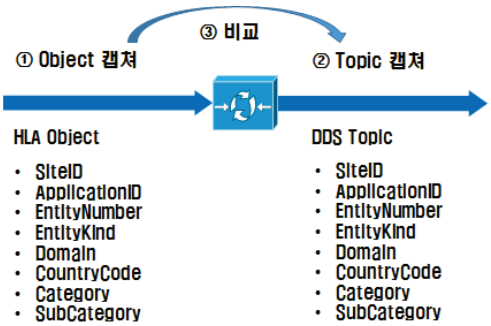



그림 4. 데이터 변환 후 오류 검증 과정

그림 4 는 DDS 토픽 데이터와 HLA 객체 데이터를 상호 변환 후에 변환 오류를 검증하는 절차를 나타낸다. DDS 토픽 데이터와 HLA 객체 데이터의 Entity Type 필드와 유일한 식별자 필드 값이 동일하면 데이터 변환에 오류가 없음을 의미한다.

Entity Type 필드와 유일한 식별자 필드 값을 확인하기 위해 WinpCap 도구를 이용하여 캡쳐한 HLA 객체와 DDS 토픽을 캡쳐하고, 해당 필드 값을 확인하였다.

그림 5 는 WinpCap 도구를 이용하여 캡쳐하고 분석한 HLA 객체와 DDS 토픽 포맷을 도식한다.

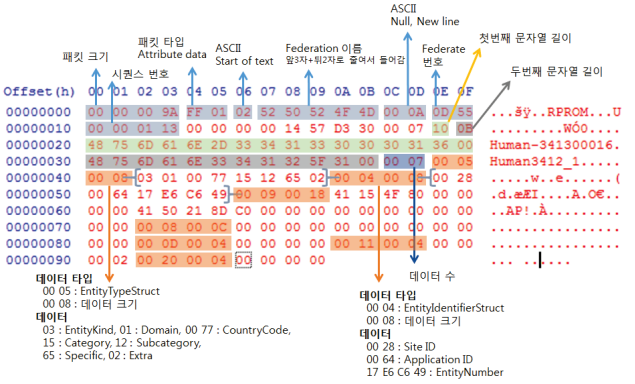



그림 5. HLA 객체 포맷

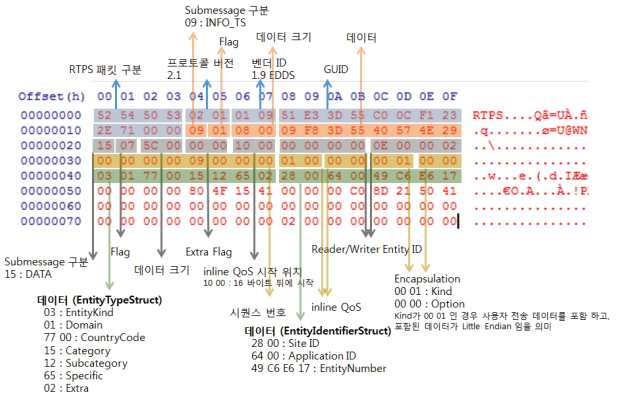



그림 6. DDS 토픽 포맷

## 4. 결 론

본 논문은 LVC 연동 통합 시스템 구성과 DDS 토픽과 HLA 객체 구조에 대해서 기술하였다. 또한, LVC 연동 게이트웨이를 중심으로 DDS 토픽과 HLA 객체가 상호 변환된 후에 변환 오류를 검증하는 방법을 기술하였다.

[Acknowledgement]
본 연구는 산업통산자원부와 방위사업청 주관의 민군기술협력진흥센터의 지원으로 수행되었습니다.

## 5. 참고 문헌

[1] 백옥현, 이태호, 이상진, 노승일, 우유원, “L-V-C 연동 통신미들웨어 프레임워크 시험을 위한 시뮬레이션 설계”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2014 년

# 실시간 L-V-C 연동을 위한 HLA-DDS 게이트웨이 시험 분석

조재연°, 차우석, 박승민

한국전자통신연구원

# HLA-DDS Gateway Test for Real Time L-V-C Integration

Jaeyeon Jo°, Woosuk Cha, Seung-min Park

Electronics and Telecommunications Research Institute

jaeyeonjo, wscha, minpark@etri.re.kr

## 요 약

국방 M&S 체계는 사람 및 군 장비가 훈련에 참여하는 정도를 기준으로 하여 Live, Virtual, Constructive 로 분류한다. 이러한 각 체계를 L-V-C 체계로 통합하여 훈련한다면 대규모 단위의 훈련을 효율적으로 실시 및 평가할 수 있다. L-V-C 연동을 위해서는 이종 미들웨어간 연동이 필요하며 이를 위해서 이종 미들웨어를 연동하는 게이트웨이 구현이 필수적이다. HLA 와 DDS 를 연동하는 게이트웨이를 구현하였으며, 이를 시험하기 위한 연동 프레임워크, 시뮬레이션 시나리오 및 데이터 구조를 정의하였다. 게이트웨이를 시험한 결과, 패딩 호환 및 엔디안 호환 등의 문제가 발생하였으며, 이를 해결하여 연동 시험을 완료하였다.

## 1. 서 론

실제 군사 훈련 및 전쟁 상황 예측을 위해서 많은 비용이 소요되기 때문에, 현대에는 이러한 비용 소모를 줄이기 위해서 IT 기술력을 바탕으로 하여 모델링 및 시뮬레이션(M&S) 개발 기술이 연구되고 있다. 각 시뮬레이션 체계로써 실기동 모의 훈련인 L(Live)체계, 모의 장비 훈련인 V(Virtual)체계, 전투지휘 훈련인 C(Constructive) 체계 3 가지의 요소가 있다. L 체계는 실 병력 및 실 장비를 가지고 전투를 모의하며 전투 훈련장에서 모의 통제를 한다. V 체계에서는 실 병력과 모의장비를 가지고 전투모의를 하며 각종 전투장비 시뮬레이터가 필요하다. C 체계는 모의 병력 및 모의 장비를 사용하여 전투모의를 한다. 이를 위하여 워게임, 모델, 분석 도구 등을 사용한다. 현재 국내에서는 각 체계들을 연동하기 위한 연구가 진행되고 있다. 각 체계는 고유한 시뮬레이터를 사용하여 가상 훈련을 실행하며, 다른 시뮬레이터와 통신을 하기 위하여 통신미들웨어를 사용한다. 주로 사용되는 통신 미들웨어들은 High Level Architecture(HLA), Distributed Interactive Simulation(DIS), Test and Training Enabling Architecture(TENA), Common Training Instrumentation Architecture(CTIA) 그리고 Data Distribution System(DDS) 등이 있다. 이러한 미들웨어들을 활용하여 각 체계를 연동하기 위한 연구가 진행되고 있다.

각 체계를 연동하는 통신미들웨어 프레임워크를 시험 및 시연하기 위하여 참여 L, V, C 체계를 식별하여 개념적인 시나리오를 구성하였으며, 해당 시험 체계를 이용하여 통신 미들웨어 프레임워크를 시연하였다. 본 논문에서는 이를 시연한 결과에 관하여 논한다.

## 2. L-V-C 연동 체계

L-V-C 통신미들웨어 프레임워크를 시험하기 위하여 그림 1 에 표현한 대로 L-V-C 연동 통신 미들웨어를 시험할 수 있는 환경을 구성하고 연대급의 L-V-C 체계의 시나리오를 시험하였다[1].

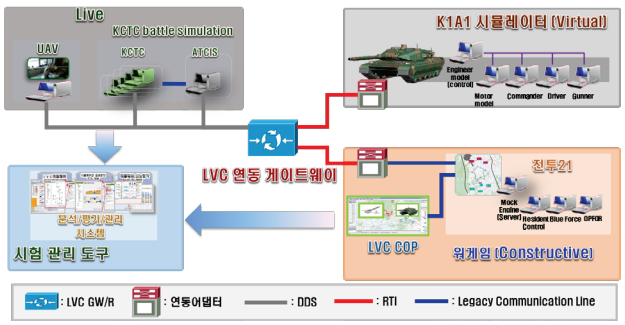



그림 1. L-V-C 통합 시스템

L 체계는 UAV 모의 시뮬레이터, DDS 데이터 발생기, RASIT, ATCIS 등으로 구성한다. V 체계는 K1A1 전차를 모의하기 위해 공학모델, 기동모델, 전차장, 조종수, 포수 들을 모의한다. C 체계는 전투 21 모델을 시뮬레이션하기 위하여 모의엔진, 선임통제, 장군 모의반, 대항군 등으로 구성한다. 시뮬레이션을 통제하기 위하여 연동통제 프로그램을 연동하

였다. 게이트웨이는 C++언어를 사용하여 Mak RTI 와 EDDS 를 연동하도록 구현했다 [2]. 시험 관리도구는 각 통신개체들이 주고받는 트래픽을 감시하여 패킷의 분석 및 평가를 하는 역할을 한다. V 및 C 체계는 RTI 연동을 이용하였으며 L 체계는 DDS 연동을 이용하였다. 각 RTI 개체 및 게이트웨이는 시뮬레이션에 참여하기 위해 Federation 을 생성하고 연결하여 발간 및 구독을 할 준비를 한다. 이에 대응하여 DDS 개체에서는 시뮬레이션에 참여하기 위해 발간자 및 구독자를 생성하고 토픽을 생성하여 시뮬레이션에 참여할 준비를 한다. 각 시뮬레이션이 상호 데이터를 교환하기 위해서 FOM 을 정의하고 RTI 개체에서 FOM 문서를 읽어들여 교환할 객체를 생성하였다. DDS 에서는 FOM 을 사용하지 않으므로 FOM 을 Topic 으로 변환하여 데이터를 변환하였다.

L-V-C 연동 미들웨어를 시험하기 위한 시나리오는 다음과 같다. 연동 통제기에서 각 시뮬레이션 개체에 Start 를 요청하기 위해서 모든 모델에게 움직임을 요청한다. 시뮬레이션 개체들은 각 개체가 소유한 모델의 현재 상태들을 전송한다. 현재 상태 전송이 완료되었다면, 각 체계는 시뮬레이션을 시작할 준비를 한다. 먼저 UAV 에게 정찰 명령을 내려서 정찰을 하면서 적군을 탐지하여 아군에게 정보를 전달하도록 한다. L 체계로부터 탐지된 적군의 목록이 게이트웨이를 통하여 C 체계로 전달된다. 적군이 표시되었다면 L 체계에 진격을 요청하고 전투가 시작된다. 전차 시뮬레이터에서는 전차를 움직이고 포격하는 역할을 한다.

## 3. 시험 결과

L-V-C 개발 미들웨어 프레임워크를 시험하기 위하여 그림 2 와 같이 시스템을 구성하였으며. 연동 시험 모듈은 패킷들을 수집하여 Gateway 가 성공적으로 각 데이터들을 교환하였는지 감시하기 위하여 패킷 수집 모듈을 각 연동 개체에 설치하였다. 근거리 네트워크 환경을 구성하기 위하여 라우터 및 허브를 이용하여 각 시스템들을 연결하였다. 각 시스템의 설치가 완료 및 연동이 준비된 뒤에 연동 시나리오를 실행하였으며, 연동 시나리오대로 각 체계가 동작하는 것을 시험의 목표로 삼았다.

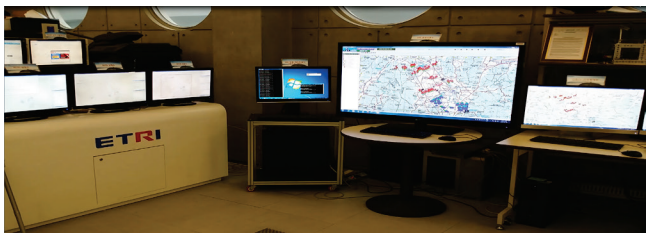



그림 2. L-V-C 통합 시스템 시연 화면

L-V-C 연동 프레임워크를 시나리오에 나온 대로 시험하여 게이트웨이를 테스트 하였다. 그 결과 표 1 에 기술한 문제가 있었으며 이를 해결하여 시나리오를 성공적으로 수행하였다. Endian 이 달라서 데이터의 변환에 실패하였다. Endian 은 데이터의 바이트 순서 결정하는 것으로써 Endian 이 플랫폼마다 다르다면 성공적인 변환을 위해서 위해서 이를 변환 시킬 필요가 있다. 게이트웨이는 여러 개의 DDS 수신 쓰레드를 실행한다. 이 쓰레드에서는 RTI 의 인스턴스들을 관리하기 위해 C++ STL Map 을 사용하였다. Map 을 이용하여 인스턴스 핸들을 저장하고 탐색하는 과정에서 오류가 발생하였다. 데이터 변환 과정에서도 오류가 있었다. 변환을 위해서 토픽을 정의하고 이를 게이트웨이 DDS 를 통하여 수신 하였으나 변환 과정에서 데이터에 임의의 값이 들어가는 문제가 발생하였다. 이는 DDS 토픽에서 사용할 구조체의 데이터 형을 정의할 때 Padding 을 고려하지 않아서 발생하였다.

표 1. 결함 내용

| 분류 | 결함 내용 | 해결 조치 |
|---|---|---|
| Endian | Gateway 에서 수신한 속성의 값와 이를 변환하여 송신한 속성의 값이 일치하지 않음 | BigEndian 변환 설정 |
| C++ STL 사용 | 게이트웨이가 실행 오류를 발생시킴 | STL map 사용하지 않음 |
| 속성의 값이 누락 | 데이터 변환시 임의의 값이 누락됨 | 속성 값의 데이터 사이즈 조정 |

## 4. 결 론

본 논문에서는 실시간 L-V-C 통신 미들웨어 프레임워크를 시험하기 위한 환경을 구축 하고 시나리오를 이용하여 시험하였다. 향후에는 DDS, HLA 이외의 이종 미들웨어를 연동할 것이며, 다른 기능들을 추가 및 확장할 것이다.

## Acknowledgement

본 연구는 산업통산자원부와 방위사업청 주관의 민군기술협력진흥센터의 지원으로 수행되었습니다.

## 5. 참고 문헌

[1] 백옥현, 이태호, 노승일, 강장병, “L-V-C 연동 통신미들웨어 프레임워크 프레임워크 통합 시험환경 개발”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp 1661-1662, 2015 년

[2] Hyung Kook Jun, Kyeong Tae Kim, Woosuk Cha, Won Tae Kim, Young Ik Eom, L-V-C Gateway Architecture based on DDS and HLA for L-V-C interoperability, ISET 2014, 1994.

# 네트워크 협력에 기반한 셋톱박스와 IoT 기기의 전력 절감

박현호°, 변성원, 김정학, 권은정, 정의석, 이현우, 이용태

한국전자통신연구원 스마트플랫폼연구부

# Power Saving of Set-Top Boxes and IoT Devices based on Network Assistance

Hyunho Park°, Sungwon Byon, Junghak Kim, Eunjung Kwon, Eui-Suk Jung, Hyunwoo Lee,

Yong-Tae Lee

Smart Platform Research Department, Electronics and Telecommunications Research Institute

hyunhopark@etri.re.kr, swbyon@etri.re.kr, junghak@etri.re.kr, ejkwon@etri.re.kr, esjung@etri.re.kr, hwlee@etri.re.kr,

ytlee@etri.re.kr

## 요 약

본 논문은 네트워크 협력에 기반하여 셋톱박스와 IoT(Internet of Things) 기기의 전력 저감하는 방안을 제안한다. 현재의 셋톱박스는 가정용 네트워크를 위한 게이트웨이(Gateway)로 역할을 수행하고 있으며, 가정용 IoT 기기의 모니터링 및 제어에 대한 역할도 기대되고 있다. 본 논문에서 제안하는 전력 절감 방법은 전력관리서버가 셋톱박스와 IoT 기기의 센싱정보(예: 온도, 습도, 조도 정보)와 시간대별 사용여부 정보를 네트워크를 통해 받아 사용 프로파일(Profile)로 기록하고, 사용 프로파일을 분석하여 셋톱박스와 IoT 기기가 잘 사용되지 않는 시간대에는 최소 전력모드로 동작하도록 제어하는 방법이다. 본 논문의 전력 절감 방법은 통해 댁내 가전기기의 통합 전력 절감 및 제어가 가능하고, 그에 따라 국가적 전력 절감에도 기여할 것이다.

## 1. 서론

셋톱박스는 전력절감을 필요로 하는 기기이자, 댁내 IoT 제어 기기로 주목을 받고 있다. 댁내 가전기기가 평균대기전력이 1W 인데 비하여, 셋톱박스의 평균대기전력은 10W 이상을 소모하므로, 셋톱박스의 대기전력 감소는 국가적으로 중요한 문제이다[1, 2, 3, 4, 5]. 또한, 셋톱박스는 가정용 네트워크를 위한 게이트웨이(Gateway)로의 역할도 수행하고 있어, 가정용 IoT 기기의 외부 네트워크와의 연결을 가능하게 한다[6, 7]. 이러한 셋톱박스의 특성으로 인해 셋톱박스는 IoT 기기의 전력 제어에도 쓰일 수 있다.

본 논문에서는 네트워크 협력에 기반한 셋톱박스와 IoT 기기의 전력 저감 방법을 제안한다. 본 논문의 네트워크 협력 기능은 외부 네트워크에서 셋톱박스와 IoT 기기의 시간대별 사용여부 정보를 셋톱박스와 접속한 네트워크를 이용하여 모니터링하고, 모니터링한 정보를 프로파일로 기록하여, 시간대에 따라 셋톱박스와 IoT 기기의 전력모드 제어하는 기능을 포함한다. 네트워크 협력 기능을 이용해 기기들이 잘 사용되지 않는 시간대에서는 최소전력모드로 동작하게 하여, 그로 인해 셋톱박스와 IoT 기기의 전력소모의 절감을 가능하게 한다. 또한, 네트워크 협력 기능은 IoT 기기중 IoT 센서에서 수집된 온도, 습도, 조도 등의 센싱정보를 기반한 네트워크를 통한 IoT 기기의 제어도 포함한다. 본 논문은 네트워크 협력 기능을 위한 셋톱박스의 동작을 설명하고, 전력제어 서버, 시그널링, 프로토콜을 제안한다.

## 2. 네트워크 협력 기반 제어

본 절은 셋톱박스 및 IoT 기기의 제어를 위한 네트워크 협력 기능을 소개한다. 네트워크 협력 기능을 위해서는 그림 1 과 같이 네트워크와 연동이 가능한 셋톱박스, 셋톱박스에 유무선으로 접속한 IoT 기기들, 셋톱박스와 IoT 기기들의 전력모드를 제어하는 전력제어 서버가 필요하고 이들 사이의 시그널링을 가능하게 하는 프로토콜이 필요하다.

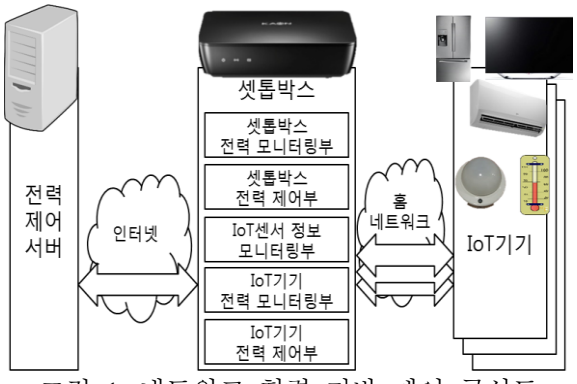



그림 1. 네트워크 협력 기반 제어 구성도

셋톱박스는 셋톱박스 전력 모니터링부 및 제어부, IoT 센서 정보 모니터링부, IoT 기기 전력 모니터링부 및 제어부의 논리 기능부들(logical entities)을 가지고 있다. 셋톱박스 전력 모니터링부는 셋톱박스의 동작모드나 전력소모 상태를 모니터링하고, 셋톱박스 전력 제어부는 셋톱박스 사용이력에 따라 시간대별 동작모드를 제어하거나 전력제어서버로부터 받은 전력제어 정보를 받아 시간대별 전력제어를 한다. IoT 센서 정보 모니터링부는 IoT 센서로부터 수집한 온도, 습도, 조도 등의 센서 정보를 시간대별로 모니터링한다. IoT 기기 전력 제어부는 IoT 센서정보와 IoT 기기 전력정보를 같이 고려하여 IoT 기기의 동작모드를 제어함으로써 IoT 기기의 전력을 제어하는 역할을 한다.

셋톱박스와 IoT 기기 전력 제어가 필요할 때, 전력제어서버가 주체적으로 전력 제어 하는 경우와 셋톱박스가 주체적으로 전력 제어를 하는 경우로 나눌 수 있다. 셋톱박스는 IoT 기기의 게이트웨이 역할을 함으로 IoT 기기의 센서 및 전력 정보의 모니터링이 가능하므로 셋톱박스가 전력제어의 주체가 될 수 있다. 전력제어서버는 셋톱박스에서 모니터링한 정보보다 더 많은 정보를 누적하고, 이를 이용하여 좀 더 사용자 맞춤형 전력 절감을 가능하게 한다.

그림 2 는 전력제어서버, 셋톱박스, IoT 기기 간의 시그널링을 보여준다. IoT 기기는 자신의 동작모드,센서정보, 전력소모 정보를 셋톱박스에 전달하면, 셋톱박스는 취합한 IoT 기기의 정보와 셋톱박스 자신의 동작모드와 전력소모정보를 전력제어서버에게 전달한다. 전력제어서버는 셋톱박스 혹은 IoT 기기의 동작모드 변경을 명할 수 있다.

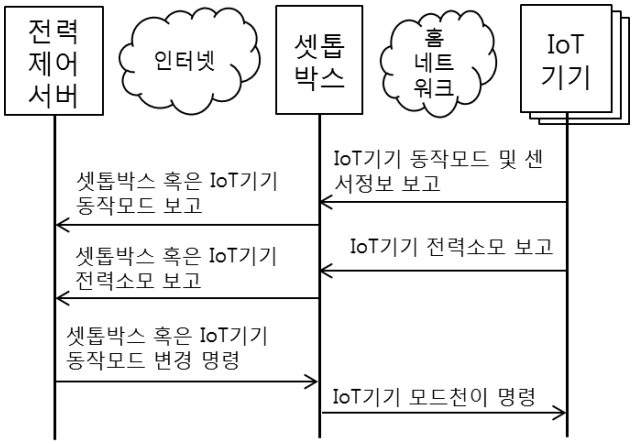



그림 2. 네트워크 협력 기반 제어 시그널링

그림 3 은 네트워크 협력 기반 제어 프로토콜을 보여준다. 본 프로토콜은 TCP/IP 상위에서 전달될 것이며, 그림 3 과 같이 STB_id, Mes_type, Mes_body 로 이뤄진다. STB_id 는 셋톱박스의 식별자로 셋톱박스의 MAC(Media Access Control) 주소가 될 수 있다. Mes_body 는 보고에 필요한 센서 및 전력 측정 정보나 변경할 모드 이름을 나타낼 수 있다.

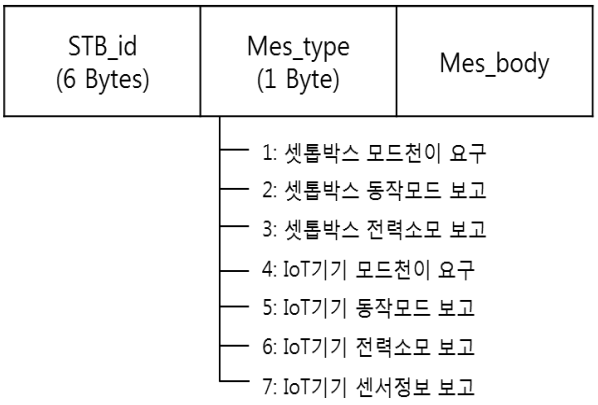



그림 3. 네트워크 협력 기반 제어 프로토콜

## 3.결론

본 논문은 셋톱박스와 IoT 기기의 전력 절감을 위한 방법으로 네트워크 협력 방안을 제안하였다. 또한, 본 논문은 네트워크 협력 방안과 관련한 셋톱박스, 전력제어서버, 시그널링, 프로토콜을 제안하였다. 본 논문의 네트워크 협력 기능을 이용하여 셋톱박스와 IoT 기기의 전력제어를 가능하게 함으로써 국가적인 전력 제어에 기여를 할 수 있을 것이다.

## 4. 참고 문헌

[1] “Program Requirements for Set-top Boxes”, ENERGY STAR® , Oct. 2014.

[2] H. Park et al., “Activation pattern based standby mode scheduling for power-efficient set-top box,” in *Proc*. ICTC, pp. 22-25, Oct. 2015.

[3] H. Park et al., “Standby mode control based on network assistance for power saving of a set-top box,” in *Proc*. ICTC, pp. 144-146, Oct. 2015.

[4] Z. Zhao et al., “An optimal power scheduling method applied in home energy management system based on demand response,” ETRI Journal, vol. 35, no. 4, Aug. 2013, pp. 677-686.

[5] TTAK.KO-04.0150/R1, “댁내 디지털 콘텐츠 공유 기능이 내장된 셋톱 박스 에너지 저감 기법”, 한국정보통신기술협회, 2013 년 3 월.

[6] A. Pal, C. Bhaumik, J. Shukla, and S. Kolay, “Energy Information Gateway for Home,” in *Proc*. ISMS, pp. 235-240, Jan. 2011.

[7] J.Kim, E-S. Jung, Y-T. Lee, and W. Ryu, “Home Appliance Control Framework Based on Smart TV Set-top Box,” IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 61, pp. 279-285, Aug. 2015.

## 5.사사

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신• 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[R0101-15-0251, 유료방송용 셋톱박스 소비전력 저감 기술 개발]

# 사이버-물리 생산시스템(CPPS: Cyber-Physical Production System)에서 생산설비 제어서비스 연동을 위한 파서 설계

이수형°, 전형국, 전인걸

한국전자통신연구원, CPS 연구실

# Design of Parser for Integrating Manufacturing Device Control Service in CPPS (Cyber-Physical Production Systems)

Soo-Hyung Lee°, Hyung-Kook Jun, In-Geol Chun

Electronics and Telecommunications Research Institute, CPS Research Lab.

{soohyung, hkjun, igchun}@etri.re.kr

요 약

제조 산업의 혁신을 가져올 것으로 예상되는 스마트팩토리의 핵심 생산 구조인 사이버-물리 생산시스템은 이종의 대규모 생산 설비를 연동하여 제어할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 사이버-물리 생산시스템 상에서 다양한 생산 설비가 연동되기 위해서 제공되는 해당 설비의 제어 인터페이스를 규정한 문서를 해석하여 스마트팩토리 내 정보시스템 및 타 장비와의 연동 기반을 제공하는 파서의 설계에 대한 내용을 기술한다.

## 1. 개요

사물인터넷, 사이버-물리시스템(CPS: Cyber-Physical Systems) 등의 발전된 ICT 기술은 제조 산업 분야에도 패러다임의 변화를 가져와 스마트팩토리의 등장과 더불어 제 4 의 산업혁명이 도래할 것으로 예상되고 있다. 스마트팩토리는 사물인터넷, CPS 등 정보 기술이 제조 설비와 융합되어 개별 사용자 요구를 반영할 수 있는 맞춤제조, 소프트웨어를 활용한 가상제조, 전 제품 가치사슬 연동을 통한 협업 제조가 가능하게 되고 그 핵심 생산구조는 사이버-물리 생산시스템(CPPS: Cyber-Physical Production Systems)이 될 것이다 [1], [2].

CPPS 에서는 다양한 스마트팩토리용 정보시스템과 생산 현장에 있는 많은 수의 이종의 생산 설비를 효과적으로 통합하여 연동할 수 있어야 한다. 이를 위해 한국전자통신연구원은 CPSP 용 생산 설비 연동 미들웨어 프레임워크를 개발하고 있다[3]. 하지만 생산 설비가 각기 다른 벤더에 의해 개발될 뿐만 아니라 산업 통신 표준도 20 개 이상이 난립하여 연동이 용이하지 않은 상태이다. 이를 극복하기 위해 해당 생산설비가 제공하는 제조서비스 및 제어서비스에 대한 인터페이스를 정의할 수 있는 XML(eXtensible Markup Language) 기반의 SFDL(Smart Factory Description Language)를 개발하고, 장비 연동 시 SFDL 을 해석하여 연동할 수 있는 기반을 제공할 파서를 설계 개발 중에 있다[4]. 본 논문에서는 SFDL 파서의 설계 내용에 대해 기술하도록 한다.

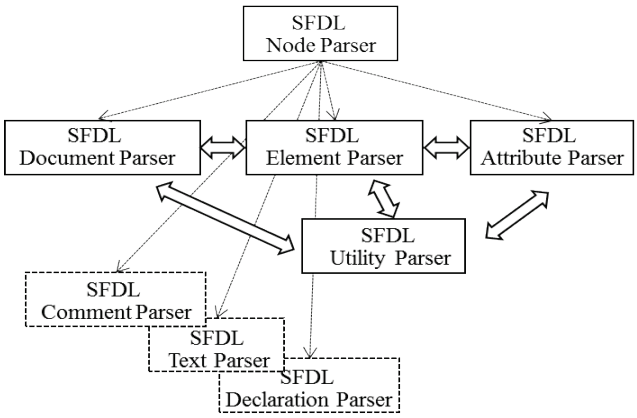
SFDL 언어는 사용자가 사용할 수 있도록 데이터 및 인터페이스 정의 규칙을 제공하고, CPPS 미들웨어를 통해 타 장비와 상호 연동이 가능하도록 동작 방식 빛 데이터, 인터페이스에 대한 정합 방법을 고려하여 설계되어야 한다. SFDL 파서는 제어서비스 정보를 추출해 주는 기능을 제공해야 하며 CPPS 미들웨어가 데이터 배포 및 제어 서비스 기능을 지원하도록 설계 구현되어야 한다. 이후 파서를 통해 해석된 결과를 바탕으로 CPPS 미들웨어 프레임워크에서 미들웨어 간 연동을 쉽게 제공하기 위하여 개발자 개입 없이 연동에 필요한 인터페이스 코드를 제공할 수 있도록 서비스 패키지 코드 생성기와 연동을 제공할 수 있는 확장구조를 가져야 한다.

## 2. SFDL 파서 구조

SFDL 서비스 패키지 파서는 SFDL 파일을 입력으로 받아서 파싱한 후 파싱 정보를 SFDL 데이터 저장소에 저장하여 CPPS 연동 미들웨어 프레임워크에서 산업 장비 간 데이터 및 서비스 연동을 수행할 수 있는 연동 데이터 및 제어 서비스에 대한 정보를 제공해 주는 기능을 수행한다.

서비스 패키지 파서 모듈을 SFDL 문서 전체를 관리하는 SDFL 도큐먼트 파서와 SFDL 도큐먼트 각 구성요소인 엘리먼트를 처리하는 SFDL 엘리먼

트 파서, 각 엘리먼트의 세부 속성을 처리하는 SFDL 애트리뷰터 파서로 구성된다. 특히 SFDL 도큐먼트 파서와 SFDL 엘리먼트 파서, SFDL 애트리뷰트 파서 모듈은 모두 SFDL 노드 파서에 의해서 상속 받고 있으며, SFDL 노드 파서는 SFDL 문서에 대한 자료 구조를 트리 형태로 구성하여 SFDL 파서 사용자가 SFDL 문서의 각 노드에 쉽게 접근하여 관리할 수 있는 기능을 제공해 준다. 그 외에 SFDL 콤멘트 파서와 SFDL 텍스트 파서, SFDL 선언문 파서 등이 존재하는데 현재 기능적으로는 구현되어 있지만 본 SFDL 파서와 기능적인 연관성이 없어서 본 논문에서는 생략한다.

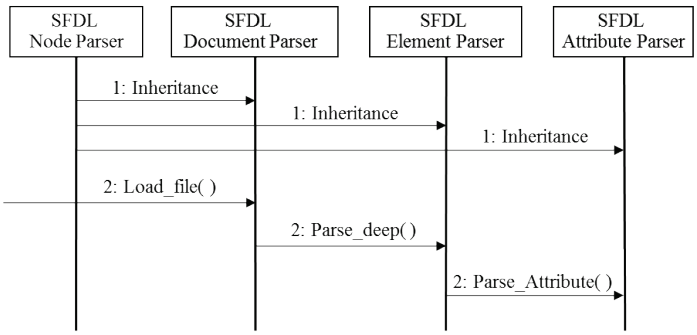



| 모듈 | 주요 수행 기능 |
|---|---|
| SFDL 노드 파서 | SFDL 문서의 파싱 정보를 트리 형태로 저장하여 사용자가 SFDL 문서에 쉽게 접근 관리할 수 있는 기능을 제공해 주는 모듈 |
| SFDL 도큐먼트 파서 | SFDL 문서의 최상의 구조로 SFDL 문서에 대한 시작점 및 SFDL 문서의 모든 정보를 유지하고 있는 구조체 |
| SFDL 엘리먼트 파서 | SFDL 문서에 존재하는 각 엘리먼트에 대한 정보를 유지 관리하는 자료 구조 |
| SFDL 애트리뷰트 파서 | SFDL 문서의 각 엘리먼트에 대하여 속성 정보를 유지 관리하는 자료 구조 |
| SFDL 유틸리티 파서 | SFDL 문서에 존재하는 문자, 문자열, 공백등을 처리하기 위하여 제공되는 기본적인 SDFL 처리 루틴 |

## 3. SFDL 파서 실행 절차

SFDL 파서에서의 실행 프로시저는 다음과 같다.

- SFDL 노드 파서는 클래스 정보를 SFDL 도큐먼트 파서와 SFDL 엘리먼트 파서, SFDL 애트리부트 파서에 상속
- SFDL 도큐먼트 파서는 외부로부터 호출된 Load_file() 함수를 통해서 SFDL 파일을 입력으로 제공 받음
- SFDL 도큐먼트 파서는 Parse_deep() 함수를 이용하여 SFDL 엘리먼트 파서의 파싱 기능을 요청
- SFDL 엘리먼트 파서는 Parse_attribute() 함수를 이용하여 SFDL 애트리뷰트 파서의 파싱 기능을 수행
- SFDL 애트리뷰트 파서는 각 엘리먼트에 있는 파싱 정보를 바탕으로 각 애트리뷰트를 파싱하여 유지, 관리하는 기능을 제공
- SFDL 유틸리티 파서는 XML 기본 문법에 따른 문서의 문자, 문자열, 공백 등 파서의 기본적인 역할 수행을 위하여 필요한 기능을 제공




## 3. 참고 문헌

[1] German National Academy of Science and Engineering (acatech), "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0", http://www.acatech.de, Apr. 2013..

[2] 이수형, 전형국, 한왕원, “사이버물리 생산시스템에서 다양한 산업 통신 지원을 연동 미들웨어 게이트웨이 실행구조 설계,” 한국임베디드공학회 2016 추계학술대회.

3] H.K. Jun, S.H. Lee and Y.I. Eom, “Communication Middleware for Interworking of Manufacturing Instruments in Cyber-Physical Production Systems,” in *Proc. International Symposium on Embedded Technology,* 2015.

[4] 전형국, 이수형, 전인걸, 박우수, “사이버-물리 생산 시스템 연동을 위한 스마트 팩토리 명세 프레임워크 설계,” 한국임베디드공학회 2016 추계학술대회.

## Acknowledgment

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [R0101-15-0307, 사이버-물리 생산시스템 구현을 위한 생산설비 연동 미들웨어 개발]

# 셋톱박스 전력절감을 위한 상황인지 제어

박현호°, 변성원, 김정학, 권은정, 정의석, 이현우, 이용태

한국전자통신연구원 스마트플랫폼연구부

# Context-Aware Control of Power Saving of a Set-Top Box

Hyunho Park°, Sungwon Byon, Junghak Kim, Eunjung Kwon, Eui-Suk Jung, Hyunwoo Lee,

Yong-Tae Lee

Smart Platform Research Department, Electronics and Telecommunications Research Institute

hyunhopark@etri.re.kr, swbyon@etri.re.kr, junghak@etri.re.kr, ejkwon@etri.re.kr, esjung@etri.re.kr, hwlee@etri.re.kr,

ytlee@etri.re.kr

요 약

본 논문은 셋톱박스의 전력절감을 위한 상황정보 기반 셋톱박스 제어를 제안한다. 셋톱박스와 같은 가전기기는 계절, 장소 등에 따라 사용자의 가전기기 사용경향이 달라질 수 있다. 예를들면, 여름과 겨울의 계절이나 도시와 농어촌의 장소에 따른 사용자의 사용경향이 다를 수 있다. 본 논문에서는 계절 및 장소의 상황정보를 이용하여, 셋톱박스의 사용경향을 예측하고, 사용빈도가 낮은 시간대에서는 최소 전력 모드로 사용빈도가 높은 시간대에서는 셋톱박스의 활성화를 준비하도록 한다. 본 논문의 셋톱박스의 상황인지 제어를 통해, 국가적인 전력난을 해소하고 사용자 편의도 향상시킬 수 있을 것이다.

## 1. 서론

셋톱박스는 전력저감을 필요로 하는 가전 기기로 주목을 받고 있다. 가전기기가 자신의 주 기능(예: 셋톱박스의 경우 방송 서비스)을 행하지 않는 대기상태에서 소모하는 전력을 대기전력이라 한다. 1W 미만의 가전기기의 평균 대기전력을 10 배 이상을 상회하는 10W 이상의 대기전력으로 인해, 셋톱박스의 대기전력 감소는 국가적으로 큰 관심을 받고 있다[1, 2, 3, 4].

셋톱박스의 대기전력을 줄이기 위해 대기상태의 동작을 위한 수동대기 및 능동대기 모드가 제안되었다[5, 6, 7, 8]. 수동대기모드의 셋톱박스는 거의 모든 기능 블록을 비활성화시키고, 1W 미만의 전력을 소모한다. 이에 비해 능동대기모드의 셋톱박스는 영상출력 기능 외에는 셋톱박스의 거의 모든 기능 블럭을 활성화시키며, 5~10W 범위의 전력을 소모하는 편이다[8]. 수동대기모드는 대기전력 소모적인 측면에서는 이점을 가지나, 능동대기모드는 셋톱박스를 대기상태에서 활성화시킬 때 짧은 지연시간을 가져 사용편의성에서 이점을 가진다.

본 논문에서는 계절이나 셋톱박스를 사용하는 장소정보와 같은 상황 정보를 이용하여 셋톱박스의 사용 경향을 예측하고, 예측된 사용 경향에 따라 능동대기모드와 수동대기모드를 할당하는 상황인지 제어를 제안한다. 예를 들면 본 논문의 상황인지 제어는 여름에는 실외활동이 잦으므로 셋톱박스를 대기상태에서 주로 수동대기모드로 동작하게 하여 전력소모를 줄일 수 있다. 그리고 농어촌 지역에서는 저녁 11 시 이후의 시간에 시청하는 확률이 적으므로, 셋톱박스를 11 시 이후에 수동대기모드로 동작하게 함으로써 셋톱박스의 대기전력 소모를 줄일 수 있다. 그리고, 상황인지 제어는 주로 사용되리라 예측되는 시간대에는 셋톱박스를 능동대기모드로 동작시켜 사용자의 편의를 향상시킨다.

## 2. 상황인지 제어

셋톱박스는 계절이나 장소와 같은 상황에 따라 다른 사용 경향을 보인다. 이전의 시청률 조사에 따르면 시청률은 동일 시간대에서 1 월에서 가장 높았고 8 월에 가장 낮은 편이었다[9]. 또한 저녁 6 시의 시청률이 이러한 계절변화에 더욱 민감한 경향을 보였다. 그리고, 표 1 과 같이 농어촌 지역에 해당하는 읍·면부는 60 대 이상의 인구의 비중이 높으며, 이에 비해 도심 지역에 해당하는 동부는 60 대 이하의 인구분포를 보였다. 표 2 와 같이 60 대 이상은 저녁 11 시 이후부터 시청을 기피하는 경향을 보임을 알 수 있었다[10]. 이러한 조사된 상황정보는 셋톱박스의 사용 경향 예측을 가능하게 하고, 예측된 사용 경향에 따라 적절한 셋톱박스의 대기모드를 할당한다면, 셋톱박스의 전력소모를 줄이면서도 사용자의

편의성을 향상시킬 수 있을 것이다.

표 1. 가구주 연령과 가구원 수별 가구 현황 [10]

| 지역 | 가구주 연령 | 가구원 수 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1인 | 2인 | 3인 | 4인 이상 |
| 동부 | 39세 이하 | 1,438,799 | 830,142 | 814,087 | 1,043,041 |
| | 40~59세 | 992,542 | 1,166,474 | 1,715,502 | 3,018,720 |
| | 60세 이상 | 812,723 | 1,157,276 | 590,157 | 451,606 |
| 읍·면부 | 39세 이하 | 163,700 | 109,305 | 128,721 | 210,727 |
| | 40~59세 | 226,494 | 331,999 | 294,182 | 458,459 |
| | 60세 이상 | 507,907 | 609,856 | 153,116 | 113,887 |

표 2. 연령별 매체 이용률 (주중) [10]

| | 22:00 | 22:30 | 23:00 | 23:30 | 24:00 | 24:30 | 1:00 | 1:30 | 2:00 | 2:30 | 3:00 | 3:30 | 4:00 | 4:30 | 5:00 | 5:30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10대 | 26.0 | 32.1 | 32.6 | 25.2 | 19.6 | 10.2 | 10.1 | 5.5 | 4.4 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.2 | - |
| 20대 | 35.5 | 44.4 | 43.8 | 33.3 | 30.1 | 17.2 | 14.0 | 6.5 | 5.8 | 1.7 | 1.1 | 0.7 | 0.7 | - | - | 0.1 |
| 30대 | 49.1 | 51.2 | 49.5 | 31.0 | 26.5 | 12.8 | 11.6 | 3.9 | 2.3 | 1.1 | 1.0 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | - |
| 40대 | 60.1 | 52.8 | 51.0 | 28.8 | 25.5 | 10.4 | 9.9 | 2.9 | 1.9 | 1.1 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 |
| 50대 | 63.1 | 53.1 | 49.0 | 27.8 | 24.3 | 10.3 | 7.3 | 2.7 | 1.8 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | - | - | 0.0 |
| 60세 이상 | 56.9 | 36.8 | 31.6 | 13.2 | 10.6 | 2.4 | 2.0 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.4 |

그림 1 은 상황정보를 이용하여 셋톱박스를 제어하는 상황인지 제어 절차를 설명한다. 1 단계에서는 셋톱박스가 시간 정보나 셋톱박스의 IP 주소 정보를 추출하여 상황 정보를 추출한다. 2 단계에서 셋톱박스는 상황정보를 이용하여 셋톱박스 사용경향을 예측한다. 본 논문에서 셋톱박스 사용경향을 예측하기 위해 상황 정보 별로 시간대별 시청률을 정리한 서버인 상황정보 서버를 제안한다. 상황정보 서버는 여러 대의 셋톱박스의 계절, 장소 등의 상황 별 시간대별 시청률을 조사하는 서버이다. 셋톱박스에서 상황정보 서버에 자신의 상황 정보를 전달하면, 상황정보 서버에서는 그 상황에 해당하는 시간대별 시청률을 정리하여 전달한다. 단계에서는 2 단계에서 셋톱박스는 예측한 시청확률을 바탕으로, 예측 시청확률이 특정 임계값보다 낮은 시점에서는 수동대기모드를 할당하여 전력소모를 줄이고 임계값보다 높은 시점에서는 능동대기모드를 할당하여 셋톱박스의 활성화를 준비함으로써 셋톱박스 활성화 대기시간을 감소시킨다. 시청확률과 비교하는 기준으로서의 임계치는 사용자가 설정하거나 셋톱박스 사업자가 설정할 수 있다.

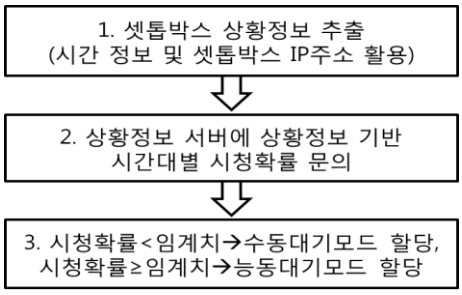



그림 1. 상황인지 제어 알고리즘

## 3.결론

본 논문은 셋톱박스의 전력 절감을 위한 방법으로 상황인지 셋톱박스 제어 방안을 제안하였다. 상황인지 셋톱박스 제어 방안은 셋톱박스가 시간과 셋톱박스의 IP 주소 등의 정보로 셋톱박스의 상황정보를 추출하고, 추출된 상황정보를 바탕으로 상황정보 서버에 시간대별 예상 시청확률을 문의를 하여, 예상 시청확률에 따라 능동대기모드와 수동대기모드를 할당한다. 상황인지 셋톱박스 제어 방안을 이용하여 사용자의 편의를 보장하는 선에서 셋톱박스의 전력을 줄일 수 있다. 본 논문의 상황인지 제어 방안을 이용함으로써 국가적인 전력 제어에 기여를 할 수 있을 것이다.

## 4. 참고 문헌

[1] “Program Requirements for Set-top Boxes”, ENERGY STAR® , Oct. 2014.

[2] 산업통상자원부 고시 2015-28 호, “효율관리기자재 운용규정”, 산업통상자원부, 2015 년 2 월.

[3] “2011 년 전국 대기전력 실측 조사”, 한국전기연구원, 2012 년 6 월.

[4] Z. Zhao et al., “An optimal power scheduling method applied in home energy management system based on demand response,” ETRI Journal, vol. 35, no. 4, Aug. 2013, pp. 677-686.

[5] TTAK.KO-04.0150/R1, “댁내 디지털 콘텐츠 공유 기능이 내장된 셋톱 박스 에너지 저감 기법”, 한국정보통신기술협회, 2013 년 3 월.

[6] H. Park et al., “Activation pattern based standby mode scheduling for power-efficient set-top box,” in *Proc.* ICTC, pp. 22-25, Oct. 2015.

[7] H. Park et al., “Standby mode control based on network assistance for power saving of a set-top box,” in *Proc.* ICTC, pp. 144-146, Oct. 2015.

[8] J.Kim, E-S. Jung, Y-T. Lee, and W. Ryu, “Home Appliance Control Framework Based on Smart TV Set-top Box,” IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 61, pp. 279-285, Aug. 2015.

[9] P. Danaher, T. Dagger, and M. Smith, “Forecasting television ratings,” International Journal of Forecasting, vol. 27, pp. 1215–1240, Oct. 2011.

[10] “2014 년 방송매체이용행태조사 보고서”, 정보통신정책연구원, 2015 년 3 월.

## 5.사사

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신• 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[R0101-15-0251, 유료방송용 셋톱박스 소비전력 저감 기술 개발]

# LTE/LTE-A Scheduling: The Case of a Massive MTC Experiment in ns-3

Yared Zerihun Bekele° and Young-June Choi

Department of Computer Engineering, Ajou University

{yaredzerihun, choiyj}@ajou.ac.kr

## ABSTRACT

It has become apparent that the plethora of MTC (Machine Type Communications) devices brings challenges when it comes to supporting them under the current LTE/LTE-A infrastructure, which has through extensive experiments proved itself as being a primary candidate for supporting next generation services. We have tested how the current scheduling algorithms perform in an LTE MTC environment. ns-3 is used to assess the performance of the algorithms in a massive MTC scenario that will reflect a smart metering environment. Finally, we have interpreted our findings of scheduling in the specified scenario. Our studies helped us understand the necessary improvements, with respect to scheduling, that should be considered to include MTC in LTE/LTE-A. We have also assessed the capacity of ns-3 to simulate such a scenario.

## 1. INTRODUCTION

In academia, recently, researchers are paying an enormous attention to ways of moving the MTC/M2M (Machine-to-Machine) communication environment to the cellular network, LTE/LTE-A, and there is an active progress within 3GPP in this regard. The motivation is that LTE/LTE-A is the next generation standard with the outperforming advantages: wider coverage, relatively low deployment cost, high level of security, the simplicity of management, higher data rate, and low latency. M2M services also demand a network that offers some if not all of such advantages.

Moving MTC under LTE/LTE-A brings some challenges that are being currently studied and solutions are sought thereof. The starvation of regular H2H (Human-to-Human) users due to the scheduling of MTC devices could be regarded as one of the challenges. We need efficient ways of scheduling MTC and H2H devices. The scheduler must consider some of the very well-known policies such as improving spectral efficiency, fairness, and QoS provisioning, but now additionally making sure that starvation will not cause performance degradation in H2H user class. In light of this, we are working towards achieving a better scheduling algorithm that is fully aware of the M2M traffic.

## 2. RELATED WORKS

MTC refers to the communication between Machines with little or no involvement of humans. The communication could be in D2D mode or using eNodeBs. According to [1], MTC devices are the key communicators in MTC. The authors in [2] discuss scheduling performance assuming an H2H environment. The authors in [3] called for a total network architecture change to support MTC traffic. The authors in [4] conducted an experiment to see if the current RACH of LTE can support massive communication, which also is another challenge faced by the introduction of the MTC traffic under LTE/LTE-A.

## 3. SCHEDULING

Scheduling refers to the assignment of radio resources—from the available radio resource grid—to MTC devices. A radio resource grid refers to the possible number of radio resource blocks that can be calculated from the operational bandwidth. For example, there are six radio resource blocks in a 1.4MHZ bandwidth. A scheduling algorithm is responsible for allocating radio resources to users in such a way that some performances metrics/keys are optimized. Performance metrics/keys are nothing but policies that the scheduling algorithm will be guided by while assigning radio resource blocks to users. For example, a Maximum Throughput (MT) scheduler's policy is to maximize the spectral efficiency of the system by allocating resources to a user that is achieving a good channel quality. A Blind Equal Throughput (BET) scheduler favors users whose channel quality was poor previously in the hope of improving fairness throughout the system. A Proportional Fair(PF) scheduler, on the other hand, provides a good balance between MT and BET.

Let the $SNR$ of a certain user over a physical radio block ($PRB$) in a transmission time interval $TTI$ time t is denoted by:

$$SNR^{t}_{PRB,i} = \frac{P_{Tx} * G_{PRB,i}}{\varphi},$$

where $P_{Tx}$ , $G_{PRB,i}$ and $\varphi$ represent the transmission power, channel gain, and some noise respectively. To

calculate the spectral efficiency based on the SNR value, we can use Shannon's formula:

$$DataRate(t) = \log[1 + SNR^{t}_{PRB,i}].$$

The average SNR over a past time window of $W$ can be calculated by:

$$\overline{SNR}^{t}_{PRB,i} = \frac{\sum_{j=t-W}^{t} SNR^{t}_{PRB,i}}{W}.$$

The considered schedulers are governed by the formula stated below, where the rule is that: Select a user j from among all the active users $N$ whose $m_{PRB,j}$ is higher in the current $PRB\ and\ TTI$.

$$\forall N: j_{PRB,i} = \underset{i \epsilon N}{\text{argmax}}\ m^{t}_{PRB,i}$$

Each of the $m_{PRB,j}$'s for the considered schedulers are given below:

Table 1: Schedulers and metrics

| Scheduler | Metric ( $m^{t}_{PRB,i}$) |
|---|---|
| MT | $SNR^{t}_{PRB,i}$ |
| BET | $1/(SNR^{t}_{PRB,i})$ |
| PFF | $\frac{(SNR^{t}_{PRB,i})}{\overline{(SNR}^{t}_{PRB,i})}$ |

## 4. SIMULATION RESULT AND DISCUSSION

A maximum of 250 MTC devices is considered. Devices are distributed in a random fashion inside a planar disc arrangement. The geometrical center of the planar disc is located 100 meters away from a single eNodeB. This arrangement is to reflect an environment of smart meters that are grouped together performing some measurements. An FDD setting with a 1.4MHZ system bandwidth is configured. Devices require a data rate of up to 10kbps. The radio environment map (see Figure 1) shows our environment settings in terms of SNR distribution. Because of the lack of space, we will not list out all the simulation parameters.

We have tested three main schedulers; namely, MT, BET and PF. The multi-user diversity concept, the increase in spectral efficiency as the increase in the number of users, is well demonstrated. All of the algorithms have a very close spectral efficiency in an MTC only scenario. See Figure 2. This is because smart meters grouped in some fixed location will not experience notable fading differences and the current data rate among the devices remains the same over the considered simulation time. Figure 3 shows the fairness index of the system. As expected, when the number of devices within the serving eNodeB increases, BET has a good fairness index. We have learned that the majority of classes of MTC devices need a scheduling algorithm that may not consider the channel quality of the devices, but a variety of QoS requirements.

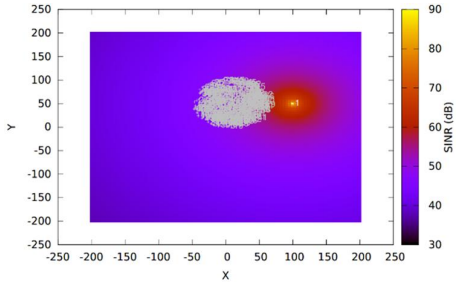



Figure 1. SNR distribution

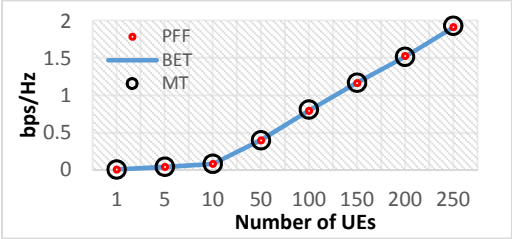



Figure 2. Spectral efficiency of LTE MTC

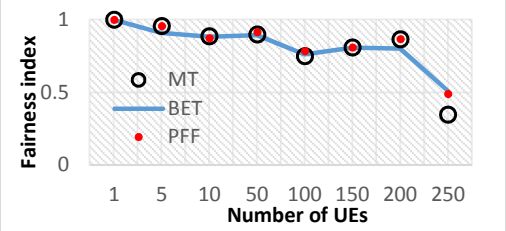



Figure 3. System fairness of LTE MTC

## 5. CONCLUSION AND FUTURE WORK

Extensive experiments by means of simulation and/or analytical modeling should be conducted to learn the adaptability of the LTE/LTE-A system to support M2M communications. In this work, we have gained important insights about the behavior of the schedulers in an LTE MTC scenario.

## 6. REFERENCES

[1] 3GPP TS 22.368, *Service requirements for Machine-Type Communications (MTC)*, Stage1, Release 11.

[2] Capozzi, Francesco, et al. "Downlink packet scheduling in LTE cellular networks: Key design issues and a survey." *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, pp678-700, Feb.15, 2013.

[3] Condoluci, Massimo, et al. "Toward 5G densenets: architectural advances for effective machine-type communications over femtocells." *Communications Magazine, IEEE* 53.1 pp 134-141,2015.

[4] Laya, Andres, Luis Alonso, and Jesus Alonso-Zarate. "Is the random access channel of LTE and LTE-A suitable for M2M communications? A survey of alternatives." *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, pp 4-16, 2014.

# 28GHz 대역에서의 Hybrid Ray-Tracing 을 통한 교외의 채널특성 분석

이경규, 오성준
고려대학교 전파통신공학과
dgmstt@korea.ac.kr, seongjun@korea.ac.kr

## 1. 서론

4G 가 상업적으로 정착된 이래 data traffic 은 exponential 하게 증가하고 있다. 더 빠른 전송속도와 더 많은 용량의 필요성은 기존의 주파수 대역에서 벗어나 mmWave 에 이르고 있다. IMT service 가 mmWave 에서 실현되려면 그 첫 번째 목표는 채널 특성을 이해하는 것이다. mmWave 대역의 채널 특성은 계속 연구 중이며, 28GHz, 38GHz 등의 측정이 이루어졌다[1]. 그렇기 때문에 mmWave 대역에서 Ray-Tracing 활용이 중요해지고 있다. Ray-Tracing 을 통해서 측정값을 보완할 수 있기 때문이다. [2]에서는 Ray-Tracing 을 활용해 statistical 한 channel model 을 만들었다. 저자는 Ray-Tracing 을 통해서 실측 값을 대체할 수 있다고 주장한다.

이번 논문에서는 Hybrid Ray-Tracing 을 사용하여 28GHz 의 교외 환경의 특성을 살펴보았다. Hybrid Ray-Tracing 은 Shooting and Bouncing Ray(SBR)와 Image Method(IM)을 혼합한 방법이다. SBR 로 대략적인 경로를 찾은 다음에 IM 으로 정확한 경로를 찾는 방식을 사용하였다. Simulation 은 대전 월평동 지산빌딩(25m)에 Tx 가 있다고 가정하고, 실제 지형을 모델링 하여 실행하였다.

## 2.Hybrid Ray-Tracing 방법 및 분석

Hybrid Ray-Tracing 은 먼저 SBR 방법으로 대략적인 전파경로를 찾는다. SBR 은 Tx 에서 전파를 일정한 간격의 각도로 발사를 하여, 반사와 회절을 통해서 Rx 에 수신하게 한다. 수많은 전파를 생성하여 진행하기 때문에 불규칙한 지형에 쉽게 적용을 할 수 있다. 그러나 Rx 가 reception sphere 를 통해서 수신을 하기 때문에 정확도가 떨어지는 것이 단점이다. 그렇기 때문에 IM 을 사용하여 정확한 전파 경로를 찾아야 한다. IM 은 정확한 경로를 찾을 수 있지만, 지형이 불규칙해지고, 반사 횟수가 늘어나면 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 이런 단점을 SBR 이 어떤 건물의 어느 지점에서 반사 또는 회절을 했는지에 대한 정보를 주어서 IM 이 가지고 있던 단점을 상쇄시킨다.

mmWave 인 28GHz 를 가정했기 때문에 반사회수는 12 번, 회절은 1 번으로 제한을 하였다. 그림 1 은 거리에 따른 경로 손실을 나타낸다. 교외환경의 이론적인 값인 ITU-R P.1411 over-rooftops 모델과 비교를 하였다. 그림 2 는 지도의 지점에서의 경로 손실을 나타낸다.

## 3. 결론

본 논문에서는 교외 환경을 Hybrid Ray-Tracing 으로 채널의 경로 손실을 분석해 보았다. 실제 환경을 모델링 하는 과정에서 여러 가지 단순화 한 점이 있기 때문에 오차는 생길 수 밖에 없다. 향후에는 현재 개발한 Hybrid Ray-Tracing 과 실제 측정값을 대조하고, small scale parameter 를 구해볼 예정이다.

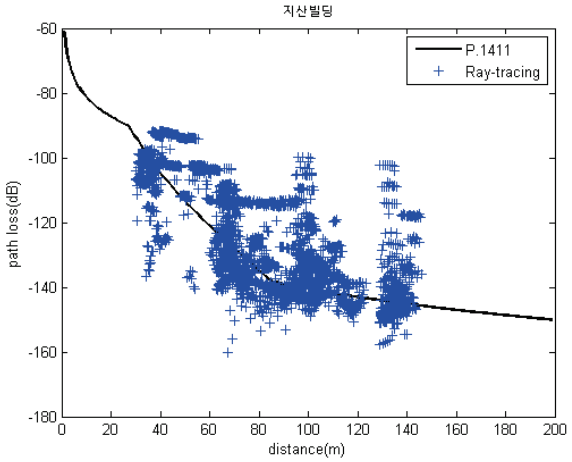



그림 1 거리에 따른 경로 손실

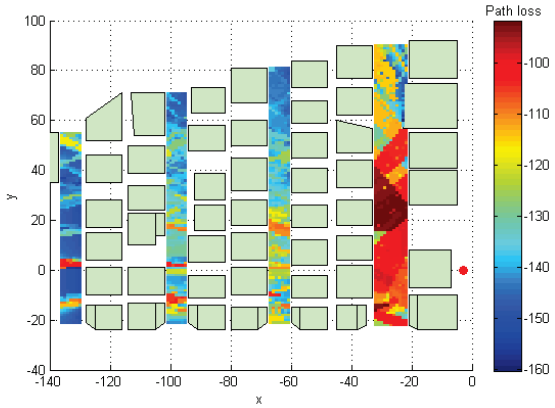



그림 2 대전 월평동 지산빌딩 경로 손실

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술·연구진흥센터의 정보통신방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0194-15-1002, 한중 5G 초고주파 요소기술 공동연구 및 표준화 추진기반 국제협력]

## 4. 참고 문헌

[1] Shuai Nie, George R, MacCartney Jr., Shu Sun, Theodore S. Rappaport, “A 38GHz cellular outage study for an urban outdoor campus environment,” *IEEE ICC 2014- Wireless Communication Symposium*., 2014.

[2] Qian Li, Hooman Shirani-Mehr, Tommaso Balercia, et, al, "Validation of a Geometry-Based Statistical mmWave Channel Model Using Ray-Tracing Simulation," in Proc. IEEE VTC 2015 Spring 'pp. 1-5, May. 2015.

# SDN 기반 WLAN 환경에서 IoT 서비스별 QoS 보장을 위한 대역폭 제어 기법

문재원, 정상화, 손민식°

부산대학교 전기전자컴퓨터공학과

# Bandwidth Control for Quality of IoT Service in SDN-based WLAN

Jae-Won Moon, Sang-Hwa Chung, Min-Sik Son°

Department of Computer Science Engineering, Pusan National University

{moonjw, shchung, funkydj1}@pusan.ac.kr

## 요 약

최근 클라우드 서비스 및 모바일 동영상 스트리밍등의 다양한 모바일 서비스로 인해 무선 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다. 또한, 무선 트래픽을 사용하는 IoT 서비스가 빠르게 증가하고 있다. 따라서 효율적인 IoT 서비스를 제공하기 위해 서비스의 요구조건에 따른 트래픽 관리를 통해 QoS 를 보장할 필요가 있다. 본 논문에서는 SDN 기반 WLAN 환경에서 대역폭을 서비스에 따라 효율적으로 관리하기 위해 가상 AP(Access Point)를 이용한 대역폭 제어 기법을 제시한다. 또한, 실제 테스트베드를 구성하여 본 논문에서 제안하는 대역폭 제어 기법을 검증한다.

## 1. 서론

최근 클라우드 서비스 및 모바일 동영상 스트리밍 등의 다양한 모바일 서비스로 인해 무선 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다. 또한, 무선 트래픽을 사용하는 IoT 서비스가 빠르게 증가하고 있다. 따라서 효율적인 IoT 서비스를 위해 서비스의 요구조건에 따른 트래픽 관리를 통해 QoS 를 보장할 필요가 있다. 본 논문에서는 SDN 기반 WLAN 환경에서 대역폭을 서비스에 따라 효율적으로 관리하기 위해 가상 AP(Access Point)를 이용한 대역폭 제어 기법을 제시한다. 다양한 서비스의 트래픽을 제어하기 위해 각각의 서비스를 가상 AP 와 매칭시킨다. 그리고 각각의 가상 AP 는 제어기의 명령에 따라 대역폭을 제어한다. 또한, 최근 많은 관심을 불러일으키는 SDN(Software Defined Network)기술을 통해 각 서비스의 요구조건을 반영한다. SDN 은 제어평면과 전달평면을 분리함으로써 네트워크 관리자가 한 곳에서 벤더에 의존하지 않고 전체 네트워크를 제어하고 설계와 운용을 단순화 시키는 장점이 있다.[1]

## 2. 본론

본 논문에서 제안하는 SDN 기반 WLAN 의 구조는 그림 1 과 같다. 제어기는 각 가상 AP 에 서비스의 요구조건에 따라 기 정의된 대역폭 비율을 기반으로 대역폭 제어 알고리즘을 수행한다. 제어기는 알고리즘을 통해 계산된 대역폭 제어 파라미터들을 OpenFlow[2] 메시지를 통해 AP 에 전달한다. AP 는 각 스테이션의 다운링크 대역폭을 조절하고 각 스테이션과 연결된 가상 AP 를 통해 업링크 조절 파라미터(Contention Window, txop) 값을 비콘프레임을 통해 전달한다.

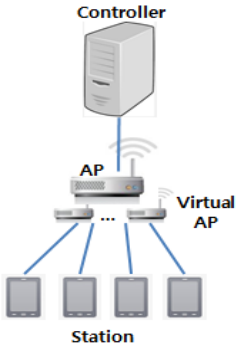



그림 1 SDN 기반 WLAN

### 2.1 OpenFlow AP 구조

그림 2 는 OpenFlow AP 의 구조이다. AP 가 OpenFlow 제어기의 명령에 따라 대역폭을 제어하기 위해 추가적인 기능이 필요하다. 우선 제어기와 연결 및 추가적인 컨트롤 메시지를 주고받기 위해 hostapd 에 OpenFlow Module 을 추가했다. OpenFlow Module 은 AP 와 제어기의 연결을 담당하고 가상 AP 생성, 네트워크 트래픽 정보, 대역폭 제어 명령 등의 컨트롤 메시지를 송·수신한다. 그리고 제어기로부터 받는 대역폭 제어 명령을 수행하기 위해 Bandwidth Allocation Module 을 추가

했다. Bandwidth Allocation Module 은 제어기의 대역폭 할당 명령에 포함된 다운링크 비율 정보를 netlink 를 통해 MAC 계층에 전달한다. 또한 제어기의 대역폭 할당 명령에 포함된 스테이션의 네트워크 파라미터를 비콘프레임에 포함시킨다. Packet Classification Module 은 WLAN 에서 다운링크를 제어하기 위해 패킷을 가상 AP 별로 분류한다. 분류된 패킷을 기반으로 Packet Scheduling Module 에서는 Bandwidth Allocation Module 로부터 받은 다운링크 비율 정보대로 다운링크 대역폭을 조절한다.

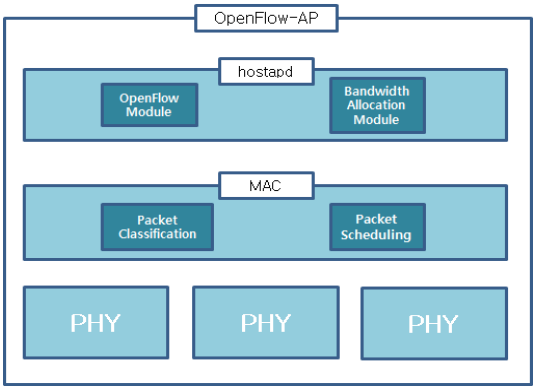



그림 2 OpenFlow AP 구조

### 2.2 대역폭 제어 알고리즘

표 1 은 각 가상 AP 에 기 정의된 대역폭 비율에 따라 대역폭 제어 파라미터를 계산하는 알고리즘이다. 우선, txop 값을 계산하기 위해 한 프레임 전송을 위한 시간 TXTIME 을 정의한다. uplinkRatioi 와 downlinkRatioi 는 가상 AP 에 기 정의된 업링크와 다운링크 대역폭 비율이다. 스테이션의 CW (Contention Window)는 AP 를 기준으로 계산한다. 또한, 스테이션의 업링크 대역폭은 CW 와 반비례하고 txop 와 비례한다.[3,4] 따라서 표 1 의 6~8 번 줄과 같이 스테이션의 업링크 파라미터 값을 계산할 수 있다.

표 1 대역폭 제어 알고리즘

1. TXTIME is transmission time for one frame
2. $uplinkRatio_i$ = pre-defined ratio of the virtual Api
3. $downLinkRatio_i$ = pre-defined ratio of the virtual APi
4. sumDownLinkRatio = $\sum_i downlinkRatio_i$
5. **For** every virtual $AP_i$
6. $CW_i$ = CWap * sumDownlinkRatio / $uplinkRatio_i$
7. $CWmin_i$ is the smallest power of 2 greater than $CW_i$
8. txop = TXTIME * $CWmin_i/CW_i$
9. **End For**

## 3. 실험

AP 와 스테이션은 RouterStation Pro 를 기반으로 구현하였고 SDN 제어기는 OpenMUL 을 기반으로 구현하였다. 그림 3 은 본 논문에서 제안하는 가상 AP 를 이용한 대역폭 제어를 수행한 결과이다. 스테이션 1 : 스테이션 2 : 스테이션 3 : 스테이션 4 = 2 : 2 : 1 : 1 의 비율로 대역폭 제어를 수행하였다. 스테이션 1 과 스테이션 2 는 평균 3.3Mbps, 스테이션 3 과 스테이션 4 는 평균 1.6Mbps 의 대역폭을 사용하였다. 실험 결과로 보아 서비스에 따라 기 정의된 대역폭 비율(2 : 2 : 1 : 1)에 맞게 대역폭이 제어된 것을 확인할 수 있다.

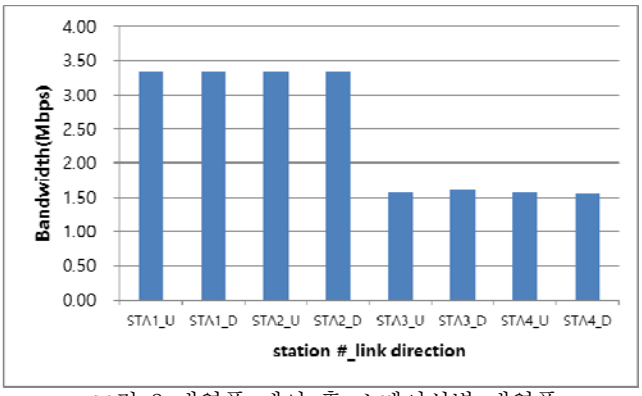



그림 3 대역폭 제어 후 스테이션별 대역폭

## 4. 결론

본 논문에서는 SDN 기반 WLAN 환경에서 IoT 서비스별 QoS 보장을 위한 대역폭 제어 기법을 제안하였다. 가상 AP 를 이용하여 스테이션의 업링크와 다운링크 트래픽을 제어하였고, 실제 테스트 베드를 구성하여 실험한 결과 서비스 요구조건에 따라 기 정의된 대역폭 비율에 알맞게 제어되는 것을 확인할 수 있었다. 향후 네트워크 상황에 따라 동적으로 대역폭을 관리할 수 있는 기법에 대한 연구가 필요하다.

## 5. ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2016 년도 산업통산부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 20151110200040)

## 6. 참고 문헌

[1] Open Networking Foundation, "Software-defined networking: the new norm for networks," white paper, 2012.

[2] Open Networking Foundation, "OpenFlow Switch Specification version 1.5.0", 2014.

[3] J. Yoon, S. Yun, H. Kim, and S. Bahk, "Maximizing differentiated throughput in IEEE 802.11e wireless LANs," Proc. of the IEEE LCN, 2006.

[4] F. Peng, H. Alnuweiri, and V. Leung, "Analysis of burst transmissions in 802.11e WLANs", Proc. of the IEEE ICC, 2006.

# 마이크로그리드 공통 참조모델 적용 방안 연구

이현기°, 정명현, 이광근

한국스마트그리드협회 표준 R&D 실, 품질인증센터

# A study on the application method of common reference model for microgrid

Lee Hyeon Gi°, Chung Myung Hyun, Lee Kwang Kun

Standard R&D Division, Quality&Certification Center, Korea Smart Grid Association

smart@ksga.org, jmh815@ksga.org, kklee@ksga.org

## 요 약

본 논문에서는 유럽의 SG-CG 의 스마트그리드 아키텍처 모델을 기반으로 마이크로그리드의 표준 상호운용성 확보를 위한 참조모델을 제시하였다. 참조모델의 상호운용성 계층 중 component layer, communication layer, information layer, function layer 의 4 계층에 대해 매핑하여 마이크로그리드 설계 및 구현에 상호운용성 표준측면을 고려할 수 있도록 설계하였다. 제안된 참조모델은 캠퍼스, 군용, 도서지역 등 다양한 어플리케이션에 적용할 수 있다.

## 1. 서론

마이크로그리드(MicroGrid, MG)는 분산자원을 활용하여 에너지효율을 최적화하는 스마트그리드 기술로써 전세계적으로 활발히 연구되고 있는 분야이다. 이 논문에서는 유럽의 스마트그리드 코디네이션 그룹(Smart Grid-Coordination Group, SG-CG)에서 개발한 스마트그리드 아키텍처 모델(Smart Grid Architecture Model, SGAM)을 기반으로 MG 범위 내에서 구축되는 시스템 및 인터페이스 구조와 요구사항, 기능 등을 기술하고, 범위 외부 시스템들과의 인터페이스를 정의하여 공통 참조모델을 제시하였다.

## 2. 유럽의 스마트그리드 아키텍처 모델

SGAM 은 기술 중립적인 관점에서의 스마트그리드 활용사례를 표현하고 분석하기 위한 참조모델이며 스마트그리드의 상호운용성을 확보하기 위해서는 SGAM 을 사용하여 스마트그리드를 설계 또는 레거시 시스템을 상호운용 시스템으로 변환하고 활용사례 요구사항을 도출하여 시험을 통해 검증을 하여야 한다.

SGAM 상호운용성 계층은 GWAC(GridWise Architecture Council) 모델의 7 계층과 기본적으로 다른 레벨을 갖으나 의미적으로 맵핑이 가능하며 SGIMM(Smart Grid Interoperability Maturity Model)과도 상호 연계가 가능하다. SGAM 은 5 개의 추상적 계층으로 나타내었으며, 각 계층은 비즈니스 목표 및 프로세스, 기능, 정보 교환 및 모델, 통신 프로토콜 및 구성요소로 구분된다.

그림 1. SGAM 상호운용성 계층

각 계층은 전력 공급에 관한 프로세스의 차원에서 5 개의 도메인(발전, 송전, 배전, 분산자원, 소비자 구내) 및 정보 관리의 차원에서 6 개의 구역(프로세스, 필드, 스테이션, 운영, 기업, 시장)으로 구분되어 스마트그리드 평면을 구성한다. 이 스마트그리드 평면은 전력 시스템 관리의 어떤 수준(계층 구역)에서 도메인 간 또는 단일 도메인 내의 상호 작용이 어떻게 발생하는지를 표현할 수 있다.

SGAM 프레임워크는 스마트그리드 평면과 GWAC 스택에서 제시한 상호운용성 계층의 개념을 융합시키면서 수립되었으며, 그 결과로 3 차원에 걸친 참조모델이 생성되었다.

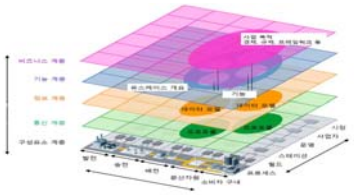


그림 2. 스마트그리드 참조모델

SGAM 을 활용한 프로파일링 프로세스는 기능분석을 통해 활용사례를 정의하고 객체 사이에 필요한 물리적 인터페이스와 통신 및 정보 계층을 정의한다. 각 계층 내 인터페이스에 대한 표준을 선택하고 적합성 및 시험의 갭을 식별한다.

위에서 식별된 표준에 기반하여 상호운용성 프로파일링을 통해 BAP(Basic Application Profiles)와 상호운용성을 달성하기 위해 상호운용성 테스트 부분까지 확장한 BAIOP(Basic Application Interoperability)를 구성한다.

## 3. 마이크로그리드(MG) 참조모델

SGAM 프로세스에 따라 SGAM 평면에서 MG 의 영역은 배전 도메인에서 기존 그리드 내 소비자에게 전력을 공급하는 인프라 및 기관을 나타내는 소내 배전계통(Onsite Grid, OG) 과 MG 내부 소비자들에게 전력을 공급하는 인프라와 기관을 나타내는 MG 배전계통으로 나누어지며, MG 범위는 MG 배전 도메인을 포함하여 나타내면 그림 3 과 같다.

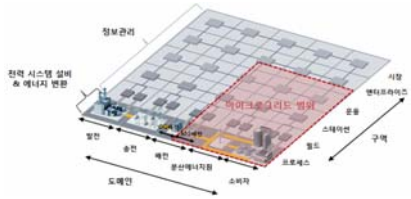


그림 3. SGAM 평면에서의 MG 범위

MG 의 구성요소는 주요 분산자원, 기타 분산자원, 부하, 그리고 이들을 제어하기 위한 제어기들이 설치되어있어 MG 운영시스템에서 이들을 원격으로 제어할 수 있어야 한다. 또한 계통의 원활한 연계 및 분리를 위한 MG 스위치와 전력 설비가 존재한다. 상위 시스템으로는 MG SCADA, MG EMS 가 존재하는데 이를 그림으로 나타내면 아래와 같다.

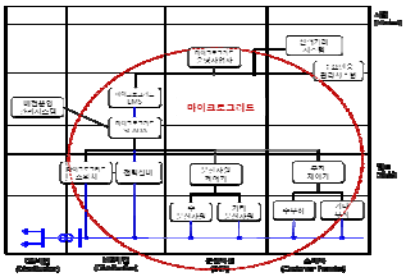


그림 4. MG 구성요소

MG 참조모델은 MG 내에 존재하는 다양한 영역의 시스템의 통합 운영을 지원하고 MG 환경 내 장치 및 시스템간 상호운용성 제공을 목적으로 SGAM 을 기반으로 상호운용성 계층 중 구성요소, 통신, 정보, 기능의 4 개 계층 관점에서 분석하였고 그 결과는 아래와 같다.

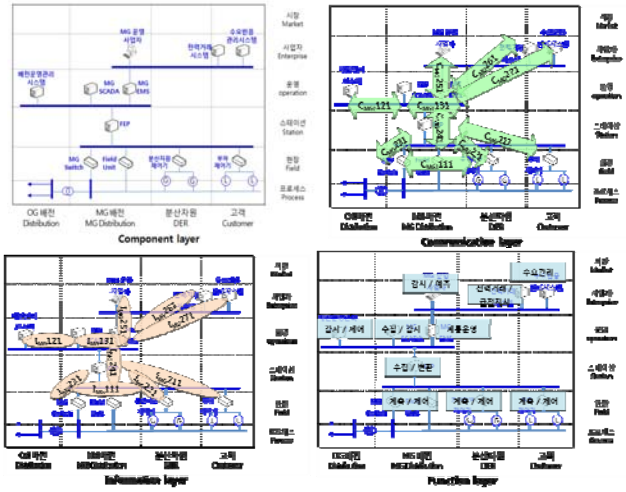


그림 5. 상호운용성 계층별 매핑 결과

통신 계층은 모든 도메인 및 영역에 걸쳐 각 구성요소간 상호운용이 가능한 정보를 교환하기 위한 프로토콜과 메커니즘을 기술한 통신 표준을 아래 표 1 에 제시하였다.

표 1. MG 통신 계층

| ID | 구간 | 통신 표준 |
|---|---|---|
| $C_{MG}211$ | 부하 제어기 ↔ FEP | RS-232C, TCP/IP |
| $C_{MG}221$ | 분산자원 제어기 ↔ FEP | IEC 61850-8, DNP 3.0, Modbus |
| $C_{MG}231$ | Field Unit, MG Switch ↔ FEP | IEC 61850-8, DNP 3.0, Modbus |
| $C_{MG}241$ | FEP ↔ MG SCADA | IEC 61850-8 |
| $C_{MG}251$ | MG EMS ↔ MG 운영사업자 | IEC 61968-100 |
| $C_{MG}261$ | MG EMS ↔ 전력거래시스템 | IEC 61968-100, OpenADR 2.0b, OPC-UA |
| $C_{MG}271$ | MG EMS ↔ 수요반응관리시스템 | IEC 61968-100, OpenADR 2.0b, OPC-UA |
| $C_{MG}111$ | MG Switch ↔ 분산자원제어기 | IEC 61850-8, DNP 3.0, Modbus |
| $C_{MG}121$ | MG SCADA ↔ 배전운영관리시스템 | IEC 61968-100, OPC-UA |
| $C_{MG}131$ | MG SCADA ↔ MG EMS | IEC 61968-100, OPC-UA |

정보 계층은 모든 도메인 및 영역에 걸쳐 기능, 서비스, 구성요소 사이에서 교환되고 사용되는 정보를 기술하였고 표 2 와 같다.

표 2. MG 정보 계층

| ID | 구 간 | 정보 | 정보모델 |
|---|---|---|---|
| $I_{MG}111$ | MG Switch → 분산자원제어기 | 주파수정보, 전압 및 역률 정보 | IEC 61850 DNP 3.0, Modbus |
| $I_{MG}121$ | 배전관리시스템 ↔ MG SCADA | 전압 및 역률 프로파일 상태정보, 제어정보 | IEC 61970 |
| $I_{MG}131$ | MG SCADA ↔ MG EMS | 전압 및 역률 프로파일, 제어정보 | IEC 61970 |
| $I_{MG}211$ | 부하 제어기 ↔ FEP | 계측 및 상태정보, 제어명령 | IEC 61850 |
| $I_{MG}221$ | 분산자원 제어기 ↔ FEP | 계측 및 상태정보, 제어명령 | IEC 61850 |
| $I_{MG}231$ | MG Switch ↔ FEP | 계측 및 상태정보, 제어명령 | IEC 61850 |
| $I_{MG}241$ | FEP ↔ MG SCADA | 계측 및 상태정보, 제어명령 | IEC 61850 |
| $I_{MG}251$ | MG EMS ↔ MG 운영사업자 | 계측 및 상태정보 예측정보, 제어명령 | IEC 61970 / 61968 |
| $I_{MG}261$ | MG EMS ↔ 전력거래시스템 | 입찰 및 계약정보, 전력가격정보 | IEC 61970 / 62325 OpenADR 2.0 |
| $I_{MG}271$ | MG EMS ↔ 수요반응관리시스템 | DR 시행정보, 고객정보, 예측정보 | IEC 61970 OpenADR 2.0 |

## 4. 결론

본 연구에서는 SGAM 의 3 차원 참조모델을 활용하여 MG 시스템의 상호운용성 확보를 위한 활용사례 맵핑에 따른 적용 표준을 도출하였다. SGAM 에 매핑한 결과 MG 의 통신 및 정보 계층에 적용 가능한 적절한 표준은 하위 기기 간에는 IEC 61850, DNP3.0, Modbus 등이 현행 표준으로 적용이 가능할 것으로 보이며, 상위 배전운영 시스템과 MG SCADA 등에는 IEC 61850, IEC 61968, OPC-UA 표준을 적용, 전력거래를 위한 시장 시스템과의 통신은 IEC 61968, OpeanADR 2.0, OPC-UA 등의 표준이 활용할 수 있는 것을 확인하였다. 향후 상호운용성을 달성하기 위해 BAP 구성뿐만 아니라 상호운용성 테스트 부분까지 확장한 BAIOP 에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

## 5. 참고 문헌

[1] CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, SGCG/M490/G_Smart Grid Set of standards, Version 3.1, 2014.10

# V2V 통신을 위한 위치 기반 무선 자원 할당 기법

김도윤°, 최영준
아주대학교 컴퓨터공학과
seya@ajou.ac.kr, choiyj@ajou.ac.kr

## 1. 개요

자율 주행 시스템과 대용량 인포테인먼트(Infotainment) 시스템의 등장으로 차량 간 통신 기술(V2V, Vehicular-to-Vehicular communication)의 중요성이 부각되고 있다. 3GPP 에서는 V2V(Vehicular-to-Vehicular) 통신을 구현하기 위하여 LTE D2D 통신을 활용하는 연구를 진행하고 있다. LTE D2D 통신은 짧은 종단간 지연시간과 ProSe 를 통한 커버리지 밖의 통신도 지원하며 기존의 인프라구조를 재활용할 수 있다는 점에서 V2V 통신을 위한 기반 기술이 되기에 적합하다. 차량 간 통신 기술은 차량 운행 안전과 관련된 서비스를 지원해야 하므로 지연시간은 10~10ms, 신뢰성은 10^-5, 위치 정확도는 30cm 의 기존 통신보다 매우 엄격한 요구사항을 가진다 [1]. 그러나 LTE 기반 D2D 통신은 긴 기기 탐색(Device discovery) 주기가 10 초로 이며 이는 주변 노드가 빠르게 변동되는 V2V 통신 환경에는 적합하지 않다. 또한 고속으로 이동하는 차량 특성상 가용 자원 풀(Pool), 연결 기지국, 연결 인접 차량이 매우 동적으로 변화되어 이로 인해 할당 무선 자원의 유효성이 저하될 수 있다. 이는 반복적인 자원 재할당을 초래할 수 있으며 그 결과 지연 시간 증가 및 통신 품질 저하가 발생한다.

## 2. 본문

본 연구의 핵심은 자원 재할당을 위해 필요한 기지국과 차량, 차량과 차량간의 통신절차를 줄여 지연시간을 줄이는 것이다. 본 연구에서 모든 차량은 기지국과 연결되어 있으며 V2V 통신에 대한 제어 메세지를 기지국으로부터 수신한다. 또한 각 차량의 위치는 GPS 를 통해 파악할 수 있다.

V2V 통신을 위한 자원을 할당할 때 차량은 자신이 사용할 자원을 기지국에 요청하고 이를 수신한 기지국은 각 V2V 페어(Pair)에 시드 정보를 전송한다. 이 때 기지국은 전체 V2V 통신을 위한 가용 자원 풀을 고려하여 동일한 무선 자원을 사용하는 차량들의 수를 적합하게 결정할 수 있는 시드 정보를 생성하여 차량들에 부여한다.

각 차량은 자신의 위치정보와 전송 받은 시드 정보를 기반으로 해시 함수를 사용하여 가용 자원 풀의 인덱스를 결정하고 이를 기반으로 자신이 사용할 무선 자원을 자율적으로 선택한다. 이 때 사용되는 차량의 위치는 차량이 속한 기지국의 통신영역을 격자방식으로 나뉜 구역의 ID 이다. V2V 페어가 선택하는 자원은 동일한 주파수 상에서 서로가 데이터를 송수신할 수 있도록 각 차량마다 시간을 분할하여 할당한다. 차량은 자신의 위치가 일정 범위 이상 변화할 때마다 자신의 통신 자원을 스스로 새롭게 선택한다. 따라서 특정 지역에서 각 차량들이 V2V 통신을 위해 사용될 자원은 차량의 위치에 따라 기지국의 개입 없이 차량 스스로가 결정할 수 있게 된다.

기지국이 직접적인 무선 자원 할당을 하지 않고 이를 차량에 위임하고 간접적인 자원 할당 방안을 사용함으로써 차량이 사용할 무선 자원의 재선택에 필요한 기지국과 차량간의 통신을 최소화할 수 있다. 뿐만 아니라 통신 차량 둘이 공유하는 시드 정보와 서로 동일한 위치 정보를 기반으로 사용 자원을 결정하기 때문에 차량 간의 메시지 교환 없이도 통신에 사용할 새로운 자원을 선택할 수 있다. 그림 1 은 위치기반 자원 할당의 예를 나타낸 그림이다.

그림 2 는 UE 수에 따른 handover 의 자원 재설정에 필요한 지연시간을 측정한 결과이다. UE 수에따라 평균 0.078~0.082 초의 지연시간이 발생함을 확인할 수 있으며 제안기법에 의해 이러한 지연시간을 줄일 수 있다.

그림 1. 위치기반 자원 할당의 예

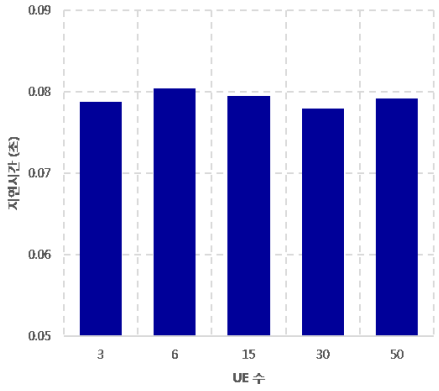



그림 2. Handover 시 재설정에 필요한 지연시간

## 3. 참고 문헌

[1] 5G-PPP, “5G Automotive Vision - White Paper on Automotive Vertical sector”, Oct, 2015

# 5G 코어 네트워크 구조 및 제어 시그널링 기술

김창기°, 박노익°

한국전자통신연구원°

# 5G Core Network Architecture and Control Signaling Technology

Changki Kim°, Noik Park°

Electronics and Telecommunications Research Institute

ckkim1@etri.re.kr°, nipark@etri.re.kr°

## 요 약

본 논문에서는 5G 코어 네트워크 구조 및 제어 시그널링 기술에 대해 제안한다. 최근 ITU-R 의 5G 비전 제시와 함께 통신 사업자를 중심으로 5G 서비스 및 핵심 요소 기술에 대한 기능 검증 및 효율적인 네트워크 운영을 위해서 다양한 방법을 적용하여 5G 네트워크 상용화를 준비하고 있다. 3GPP 에서는 5G 표준화를 2015 년 후반 이후 본격적으로 진행하고 있고, 이중의 하나는 현재 New RAT, Evolved LTE 그리고 non-3GPP 액세스 및 액세스 종속성의 최소화를 목표로 SA2 에서 5G 시스템 아키텍처 작업이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 3GPP SA2 에서 지향하는 목표중의 하나인 non-3GPP 액세스 및 액세스 비종속적인 아키텍처에 맞도록 차세대 이동통신망, 유선 및 WiFi 의 액세스를 모두 수용 가능한 차세대 융합 5G 코어 네트워크의 구조의 일례를 제안하고 해당 구조에 따른 효율적인 제어 시그널링 기술을 제시한다.

## 1. 서 론

ITU-R 의 5G 비전 제시와 함께 국내외 이동통신 서비스 사업자, 장비 밴더 및 이들로 구성된 포럼 등을 중심으로 4G 대비 새롭게 부각될 차별화된 서비스와 이를 제공하기 위한 5G 의 요구사항과 핵심 기능에 대한 성능을 검증하고 있다. 또한 시장의 요구와 함께 3GPP 에서는 2015 년 12 월에 개최된 RAN 기술총회에서 5G 표준화에 대한 전반적인 일정과 개념을 2 개의 Phase 로 구분하여 접근하고, Phase 1 에서는 시장 요구사항에 따른 주요 기능을 완료하고, Phase 2 는 ITU 의 IMT-2020 후보기술 제안을 위한 표준규격 완료를 목표로 하기로 하였다. 이에 따라 SA2 에서는 Next generation mobile network 의 System Architecture 작업을 위한 SI 를 만들어 2016 년 하반기에 TR 작성을 목표를 가지고 표준화가 한창 진행 중이다[1].

본 논문에서는 3GPP SA2 에서 표준화중인 시스템 아키텍처의 목표의 주요 원칙 중 하나인 액세스 의존성의 최소화와 non-3GPP 액세스의 수용의 관점에서의 유 무선 융합 5G 코어 아키텍처를 제안한다. 이와 더불어 액세스에 비종속적인 제어 시그널링을 제시함으로써 4G 까지의 각 세대별 별도의 이동통신망과 non-3GPP 망의 최소한의 인터워킹 수준을 벗어나 효율적으로 통합 수용가능 하도록 하는 제어 시그널링 기술을 제시한다.

## 2. 5G 코어 네트워크 아키텍처

### 2.1 5G 코어 네트워크 구조 및 기능 정의

이동통신 코어 네트워크 구조는 2G 부터 현재 상용서비스 중인 LTE 인 4G 까지 각 세대별 많은 진보적 변화를 가져오면서 진화 되어 왔다. ITU-T 의 5G 서비스 요구사항 및 4G LTE 의 한계점 분석을 바탕으로 한 5G 시스템 아키텍처의 기본 요구사항 중의 하나는 non-3GPP 수용과 액세스망의 의존성을 최소화하는 Distributed and Flat 구조의 non-3GPP 망을 수용하는 5G 융합 아키텍처이다.

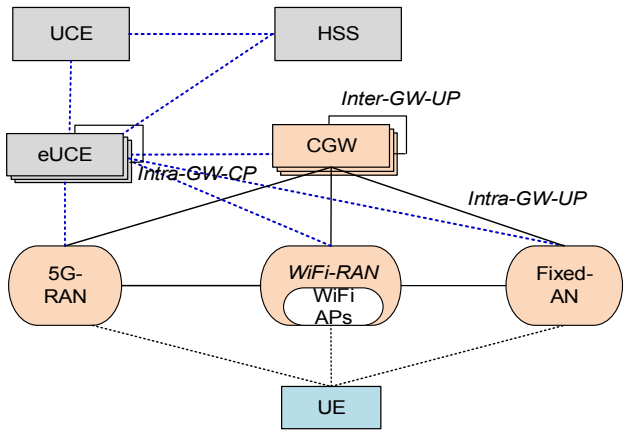



그림 1. 액세스에 비종속적인 5G 코어 네트워크 구조

그림 1은 액세스에 비종속적인 5G 코어 네트워크 아키텍처의 일례이다. 기본적으로 non-3GPP 액세스 네트워크인 WiFi 및 나아가서 유선 네트워크를 수용하는 구조이며, 기존 4G LTE의 계층적 구조의 기능엔티티인 SGW 및 PGW 와 MME를 그 기능의 재배치와 함께 eUCE(edge Unified Control Entity) 및 CGW(Convergence Gateway)와 CGW간의 이동성을 위한 UCE로 구성되어 있다. 이러한 구조에서 다양한 액세스망을 수용하기 위해서는 제어 시그널링을 설계함에 있어서 액세스 의존성 유무의 시그널을 구분하여야 한다. 또한 SDN/NFV 기반의 코어 네트워크로의 진화를 잘 수용 가능하도록 기능 엔티티 및 제어 시그널링을 설계해야 한다.

## 2.2 5G 코어 네트워크에서의 제어 시그널링

그림 2는 액세스에 비종속적인 5G 코어 네트워크 아키텍처 에서 5G RAN을 통한 UE의 코어 네트워크로의 초기 접속과정을 나타내는 제어 시그널링 절차이다. 이는 다양한 액세스 만의 수용과 SDN/NFV의 기반의 코어 네트워크로의 확장성 및 경량 시그널링의 원칙을 가지고 설계가 되어서 기존 4G의 초기 접속 절차와 상이하다. 각 절차의 간략한 설명은 아래와 같다.

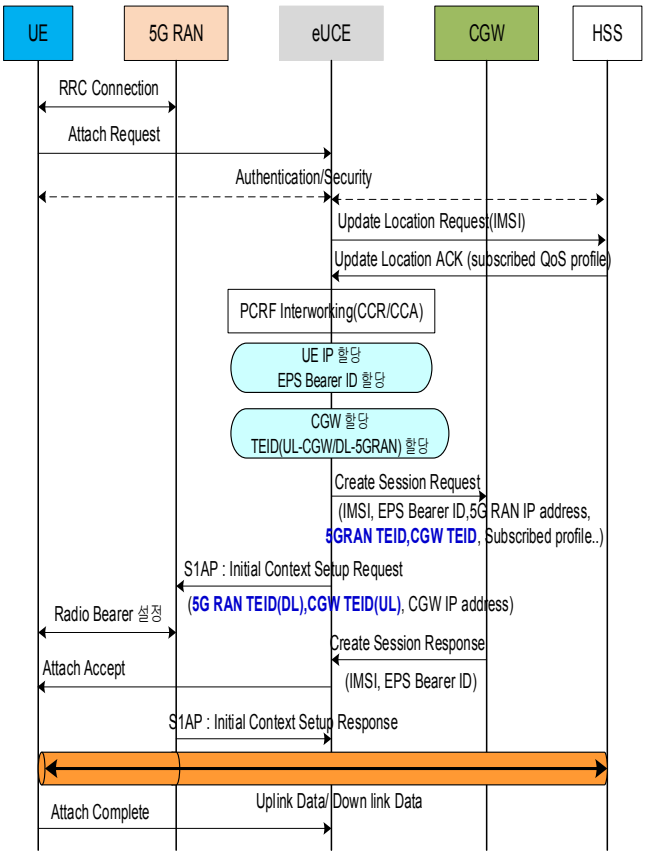



그림 2. 5G RAN통한 UE의 초기 접속 절차

● UE 는 RRC 연결 및 설정 이후, NAS 메시지인 Attach Request 메시지를 5G RAN 을 통해서 eUCE 로 전송한다. 이후 eUCE 는 인증 및 HSS 와의 Update Location Request 절차를 수행한다. 이는 기존의 4G LTE 의 초기 접속절차와 동일하다.

● 이후 기존의 PGW 와 PCRF 와 세션 설정의 시그널링 절차를 향후 CGW 의 CP(Control Plane)과 UP(User Plan)의 기능 분리을 통한 SDN/NFV 확장을 용이하게 하기 위해서 해당 기능을 eUCE 에서 담당한다.

● eUCE 는 UE IP 주소와 TEI(Tunnel ID)의 할당 및 해제의 책임을 가진다. 이는 기존의 PGW 및 eNB 의 역할 이었으나, SDN/NFV 의 기반의 코어 네트워크로의 확장성 및 경량 시그널링의 원칙으로 CGW 가 아닌 제어 노드인 eUCE 에서 관리 하도록 한다.

● eUCE 는 Create Session Request 및 Initial Context Setup Request 를 통하여 할당된 TEID 를 양쪽 노드에 모두 분배하여 5G RAN 노드와 CGW 사이의 터널을 생성한다. 5G RAN 주소 CGW 의 주소 또한 이때 전달된다. 이때 할당한 UL/DL 의 양방향 TEID 를 모두 분배한다. 이를 통하여 기존 대비 터널을 설정하는 때 짧은 시간과 시그널링의 갯수 감소를 가져온다.

● eUCE 는 UE 로부터 Attach Complete 를 수신하고 5G RAN 으로부터 Initial Context Setup Response 를 수신한다. 기존에는 MME 가 해당 메시지를 eNB 로부터 수신하면 Modify Bearer Request 를 통하여 SGW 로 eNB 주소와 eNB TEID 를 전송했으나 본 절차에서는 해당 절차가 불필요하게 된다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 5G 코어 네트워크의 구조의 일례와 이에 따른 새로운 제어 시그널링의 절차를 제안한다. 이에 따르면 기존의 UE IP 및 TEID 의 할당을 UP 노드에서가 아니라 CP 노드에서 할당함으로써, 효율적인 터널의 설정과 시그널링 감소도 가능하다. 이를 통해 5G 코어 네트워크의 SDN/NFV 로의 확장에 용이함과 경량 시그널링의 효과를 가져온다. 추후에는 다양한 액세스 망의 비 종속적인 NAS 시그널링에 대한 연구가 필요하다.

## 4. 참고 문헌

[1] 김대중, “5G 이동통신 표준화 현황 및 전망”, TTA Journal Vol 163, 2016. 01.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0132-16-1005, 유/무선 액세스에 비종속적인 5G 코어 핵심기술 개발)

# OpenADR 기반의 VEN 스마트 게이트웨이 설계 및 구현

장병욱, 최진식*

한양대학교 일반대학원 컴퓨터소프트웨어학과, (*교신저자)

# Design and Implementation of VEN Smart Gateway Based on OpenADR

Byung-Wook Jang°, Jin Seek Choi*

Department of Computer Software, Hanyang University

Jbus2580@naver.com, jinseek@hanyanc.ac.kr*

요 약

본 논문은 건물 내 에너지 사용의 최적화를 위한 스마트 게이트웨이 설계 및 구현에 있다. 스마트 게이트웨이는 디바이스들의 에너지 최적화를 위한 제어 프록시 역할을 한다. 동시에 수요반응 프로토콜 기반의 Virtual End Node 로서 Virtual Top Node 와 Energy Management System 등 자율화된 실시간 에너지 구성 및 제어기의 역할을 한다.

## 1. 서론

최근 한정된 에너지 자원을 효율적으로 관리하기 위한 에너지 관리 시스템 (Energy Management System: EMS)과 에너지 효율이 최적화된 스마트 홈 및 Internet of Things (IOT)에 대한 관심이 높아지고 있다. EMS 가 전력기기들을 관리하기 위해서는 기기들 전력 사용량을 모니터링하고 에너지 사용량을 제어하기 위한 스마트 게이트웨이가 필요하다. 스마트 게이트웨어는 에너지 수요상태를 모니터링하고, 전력기기들 사이에 에너지를 효율적으로 분배하고, 사용자 요구 제어를 통해 불필요한 에너지 소비를 줄이기 위한 에너지 수요관리 기능을 제공한다.

본 논문의 목적은 Open Automated Demand Response (OpenADR) 기반 수요반응 게이트웨이의 설계 및 구현에 있다. 제안된 게이트웨이는 EMS 시스템과 연동을 통해 전력기기들에 대한 에너지 최적화 제어 기능을 제공한다. OpenADR 프로토콜 기반의 스마트 홈 제어 프로토콜은 에너지 사용량에 대한 모니터링과 피크 타임 전력을 제어하여 정전 사태와 같은 상황에 방지한다.

## 2. 본론

### 2.1 수요반응이란?

수요반응이란 스마트 그리드 인프라 환경에서 양방향 통신기능을 활용하여 에너지 가용 정보에 반응하여 소비자가 에너지 사용량을 조절하는 모델이다[1]. 수요반응을 구현하기 위해서는 수요자원을 관리하는 수요반응 서버 즉 VTN(Virtual Top Node)와 이 서버에서 이벤트 발생시 실제 전력 기기를 제어하는 수요반응 클라이언트 즉 VEN(Virtual End Node)가 필요하다. VEN 과 VTN 사이에는 OpenADR 수요반응 프로토콜이 필요하다.

### 2.2 수요반응 시스템 구현

그림 1 은 OpenADR ALLIANCE 에서 제공하는 OpenADR2.0b 프로토콜을 이용한 스마트 게이트웨이의 구조이다. 구현된 게이트웨이는 MQTT 프로토콜을 이용해 전력기기의 전력 사용을 제어한다. 또한 OpenADR 프로토콜을 이용하여 VTN 에게 수용반응 이벤트를 발생시키거나 VTN 수요반응 요구에 따라 에너지 사용량을 제어한다.

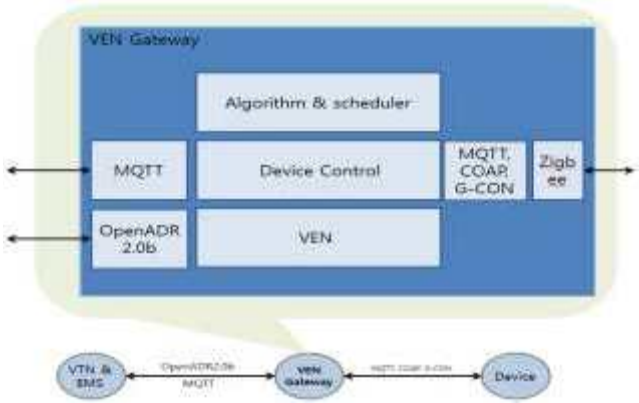



그림 1. VEN 게이트웨이 통신 및 구조

OpenADR 2.0B 은 오픈 소스 프로토콜로 Openwrt 를 기반으로 공유기에 C++로 구현 하였으며 SimpleHTTP (Hypertext Transfer Protocol) 기반으로 VTN 서버와 XML (eXtensible Mark-up Language) 형식의 데이터를 전송 받아 처리한다. VEN 게이트웨이와 VTN 서버와의 통신 절차는 그림 2 와 같다. VTN 서버는 이벤트를 통해 VEN 에게 수요반응에 대한 명령을 전달하고 이를 확인한 VEN 은 이벤트를 생성하여 VTN 서버에게 이벤트를 등록한다. 이

벤트를 생성한 VEN 게이트웨이는 이벤트 시간이 되면 제어명령을 통해 기기들의 에너지 사용량을 제어 한다.

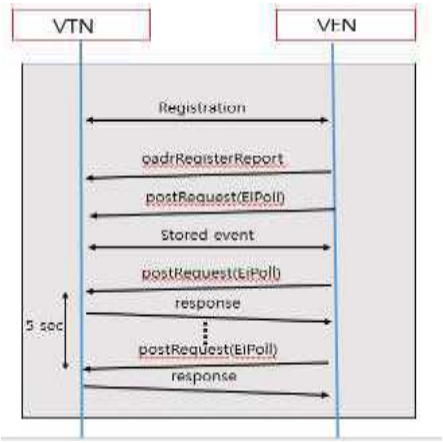



그림 2. VTN 과 VEN 의 통신절차

## 2.3 에너지 스케줄링

수요반응에 따른 기기들은 기기 별로 우선순위를 두어 중요도의 척도로 이용하여 기기들의 에너지 사용량을 스케줄링 한다. 이를 토대로 이벤트 발생시 임계 값에 기반하여 기기들의 에너지 사용을 관리한다.

또한 무분별한 제어를 막기 위해 게이트웨이에서 기기 별로 on/off 상태 변화를 모니터링하고 이를 토대로 최근 사용량을 분석한 후 같은 중요도 내의 기기에 대한 게임이론을 통해 같은 우선순위 내에서 조금 더 중요하고 덜 중요한 기기를 선정하여 이벤트 시간 동안 최적의 에너지 사용량을 가질 수 있도록 기기를 제어한다.

## 2.4 실험 및 결과

실험은 게이트웨이에서 가상의 기기 15 개와 아두이노와 LED 를 이용하여 만든 5 개 기기 등 총 20 개의 전력 기기를 기준으로 각각의 기기는 45~55 Watt 의 전력을 소모한다고 가정하고 실험하였다. 실험 시 미리 구성해 놓은 기기별 ON/OFF 시나리오를 기준으로 게이트웨이의 총 에너지 사용량을 측정하였다.

그림 3 에서 붉은색으로 블록되어 있는 부분이 수요반응 이벤트 발생의 시간이다. 이 그림처럼 수요반응을 통한 이벤트 발생시 게이트웨이의 기기제어를 통해 주어진 임계값인 700Watt 를 넘지 않는 선에서 기기 제어가 이루어지는 것을 알 수 있다. 피크타임때 수요반응을 통해 전체 에너지사용량이 완만하게 조절 될 수 있음도 나타낸다.

## 2.5 검토 및 고찰

본 논문에서는 수요반응을 고려한 VEN 스마트 게이트웨이를 구현하고 이를 토대로 수요반응이 일어나는 상황에서의 에너지 관리에 실험을 실시하였다.

그림 3.실험 결과

하지만 현재의 수요반응은 서비스 제공자가 일방적으로 미리 정해둔 이벤트에 따라서 적용되기 때문에 실시간으로 변하는 에너지 사용량에 대처 하기 어려울 뿐만 아니라 사용자의 만족도 떨어지게 된다. 향후 실시간으로 대응 가능한 실시간 수요반응 서비스의 개발이 필요하다.

## 3. 결론

본 논문에서는 수요반응 프로토콜을 통해 전력 기기를 제어하는 스마트 게이트웨이를 설계하고 수요반응 서비스를 위한 성능을 분석하였다.

수요반응 이벤트 발생시 에너지 사용 최적화를 위한 스케줄링을 통해 무분별한 에너지 사용을 줄이고 효율적인 Quality of Experience 제공이 가능하였다. 사용자의 기기별 사용량을 기준으로 에너지 사용량을 제어함으로써 사용자에게 최대한의 만족도를 제공하면서도 임계값 이하로 에너지 사용량을 유지 관리함으로서 정전과 같은 에너지 과수요를 방지할 수 있었다.

단, 본 논문에서 제안하는 방법은 주어진 에너지만을 이용하여 제어하였기 때문에 추후 에너지사용량을 늘릴 수 있거나 필요하다면 다른 게이트웨이에서 여유분의 에너지를 받아서 쓸 수 있도록 프로토콜 및 시스템을 확장 및 수정할 필요가 있는 것으로 보인다.

## 4. 참고 문헌

[1] 윤재원, 이인규, 최중인 “오픈소스를 활용한 지능형 수요반응 플랫폼 개발” The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 8 2014 년

[2] 델핀, 신용섭, 장병욱, & 최진식. (2013). 빌딩 내 에너지 관리를 위한 자율형 스마트 그린 네트워크 시스템 설계 및 구현. *한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계) 2013*, 919-921.

[3] 장병욱, 델핀, 강성태, 김성일, 김세영, & 최진식. (2014). 빌딩 에너지 관리 시스템을 위한 스마트 그린 게이트웨이 프로토콜의 구현. *한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계) 2014*, 123-124.

[4] www.openadr.org/

**ACKNOWLEDGEMENT**

Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by Ministry of Education, Science and Technology (H6121-2013-1298) supported this research

# 통신장비용 전원장치의 가속수명시험

김제민°, 조윤성, 이관훈

전자부품연구원 신뢰성연구센터

# JCCI 2016 Manuscript Format Sample for Page Layout

Je-Min Kim°, Yun-Seong Jo, Kwan-Hun Lee

Reliability Research Center, KETI

jemini@keti.re.kr

요 약

통신장비에 사용되는 전원장치는 통신장비의 특성 상 24 시간, 365 일 안정적인 작동이 필수적이다. 대표적인 전원장치인 SMPS(Switching Mode Power Supply)는 동작 중 발열이 있고, 구성부품이 약 100 여개에 달하므로 설계단계에서부터 신뢰성을 고려해야 한다. 본 논문에서는 통신장비에 사용되는 100W 급 SMPS 에 대한 가속수명시험을 설계하고 진행하였다. 그 결과 신뢰수준 60%에서 수명(MTTF)이 100,000 시간 이상임을 보증할 수 있다.

## 1. 서론

통신장비에 사용되는 전원장치는 통신장비의 특성 상 24 시간, 365 일 안정적인 작동을 하도록 요구받는다. 대표적인 전원장치는 SMPS (Switching Mode Power Supply)로 동작 중 발열이 있고, 구성부품이 약 100 여개에 달하므로, 설계단계에서부터 신뢰성을 고려하여야 한다[1,2]. 본 논문에서는 통신장비에 사용되는 100W 급 SMPS 에 대한 가속수명시험을 진행하고 그 결과를 분석하였다.

## 2. 본론

SMPS 의 수명(MTTF)을 평가하기 위해 그림 1 과 같은 샘플 9 개를 준비하였다. SMPS 는 동작 중에 발열이 있는 제품이므로, 가속스트레스를 고온으로 설정하였다. 표 1 과 같은 조건에서 80% 정도의 부하조건을 인가하여, SMPS 의 출력전압을 DAQ 로 1 시간마다 측정하였다.

그림 1. 100W 급 SMPS

표 1. 가속수명시험 조건

| 시험항목 | 시험온도 | 시료수 |
|---|---|---|
| 고온동작시험 | 60°C | 5 |
| | 75°C | 4 |

그림 2 와 같이 3,500 시간 이상 시험을 진행하였다. 그 결과, 그림 3 과 같이 3,500 시간 이상의 시험시간 동안 출력전압의 변동은 있었으나, 고장으로 판정될 정도의 변화는 나타나지 않았다. 그림 4 와 같이 외관상 이상도 없었다.

그림 2. 고온동작시험 모습

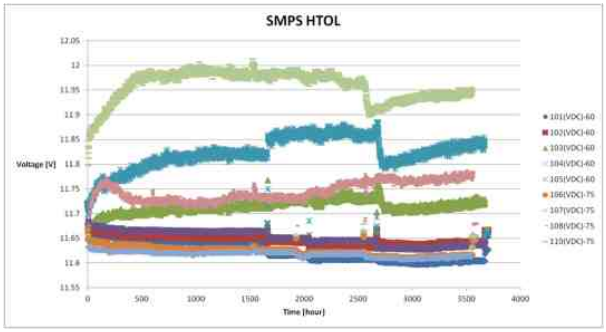
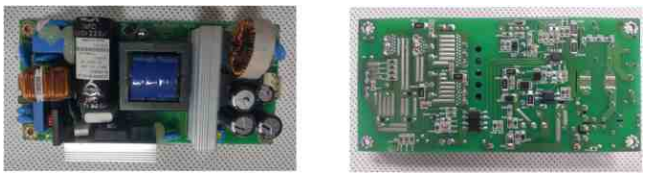
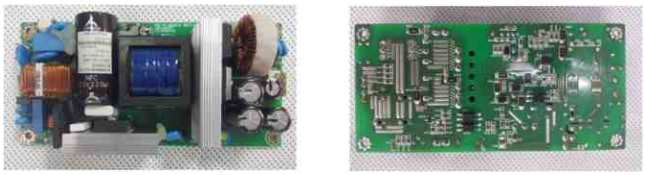



그림 3. SMPS 고온동작시험 중의 출력전압 변화



(a) 60 °C



(b) 75°C

그림 4. 고장시험 후 외관

이런 경우, 고장시간 데이터가 없으므로, 통계분석에 의한 수명(MTTF) 산출은 불가능하다. 따라서, 고장률 보증방식에 의한 고장률을 보증하고, 이를 수명(MTTF)으로 전환하였다. 이때, SMPS 는 다수의 전자제품으로 구성된 모듈 단위의 제품이므로, 수명분포를 지수분포로 가정할 수 있다. 이 경우, 고장률의 역수가 수명이 되므로, 보수적인 관점에서 SMPS 의 수명(MTTF)를 구할 수 있다.
표 2 의 고장률보증시험표[3]와 온도에 의한 가속모델인 10℃ 법칙[4]에 따라, 식 (1)과 같이 가속계수(Acceleration Factor; AF)는 4 로 계산된다.

$$\text{가속계수} = 2^{(\text{가속온도}-\text{정상온도})/10} = 2^{(60-40)/10} = 4 \qquad (1)$$

표 2. 고장률보증시험표 (신뢰수준 60%, 고장수=0)

| 고장률 (Failure Rate) [/h] | Component hour |
|---|---|
| 1.0E-6 | 916,290 |
| 1.0E-5 | 91,629 |
| 1.0E-4 | 9,163 |

Component hour 91,629 ≤ 시료수 x (정상온도에서의 시험시간) = 시료수 x (가속계수 x 가속온도에서의 시험시간) = 9 x (4 x 2, 550) (2)

식 (2)에 따라, 시료수 9 개가 가속조건 60℃ 에서 2,550 시간 동안 고장이 없으면, 정상사용조건 40℃, 신뢰수준 60%에서 고장률이 1e-5/h 이하임이 보증되므로, 수명(MTTF)는 고장률의 역수인 100,000 시간 이상임을 보증할 수 있다.

## 3. 결론

통신장비에 사용되는 전원장치인 SMPS 에 대해 가속수명시험을 설계하고 진행하였다. 그 결과, 신뢰수준 60%에서 수명(MTTF)이 100,000 시간 이상임을 보증할 수 있다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부에서 시행한 부품소재 신뢰성평가기반구축사업의 지원결과물입니다.

## 5. 참고 문헌

[1] 김제민, 박인호, 이관훈, “설계단계에서의 SMPS 신뢰도 예측 사례 연구,” 정보 및 제어 학술대회, pp. 495-496, 2014 년 10 월.
[2] Jemin Kim, Taegu Lee, Kwanhun Lee, “Failure-rate prediction in design phase for SMPS,” in *Proc. ICEIC*, pp. 540-543, 2015.
[3] 기술표준원장, *신뢰성용어 해설서*, 산업자원부 기술표준원, 2003.
[4] 이상용, *신뢰성공학*, 형설출판사, 1992.

# Tamo-Barg 부분 복구가능 부호를 위한 인증 방식

김영식° 박호성°°
°조선대학교 정보통신공학과, °°전남대학교 전자컴퓨터공학부
hpark1@jnu.ac.kr (°°교신저자)

## 1. 서론

최근 분산 저장장치의 효율성을 높이기 위해서 부분 복호 가능 부호(locally repairable code)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Tamo 와 Barg 는 RS 부호를 일반화하여 효율적인 최적의 LRC 부호를 제안하였다[1].

그러나 분산 저장 시스템은 오류 정정 부호를 사용한다고 하더라도 외부 공격자에 의해서 저장 노드 중 일부가 침해되어 저장된 메시지가 변조되는 경우 부분 복구 과정에서 전혀 다른 값을 복구하게 되어 오류가 확산되는 오염 공격(pollution attack)이 일어날 수 있다. 따라서 오염 공격을 차단하기 위해서는 복구된 값을 검증할 수 있는 인증 방식이 도입되어야 한다. 이 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해서 Tamo-Barg 가 제안한 LRC 를 위한 인증 방법을 제시하고자 한다.

## 2. Tamo-Barg 부분 복구가능 부호의 인증

Tamo 와 Barg 가 제안한 부분 복구가능 부호는 다음과 같이 정의된다. 먼저 부호의 길이는 $n = (r+1)m$ 이고, $n$ 개의 원소로 구성된 집합 $A$ 가 있다고 하자. 각 원소는 유한체 $F_q$ 상의 원소이다. 이 때 집합 $A$ 는 $r+1$ 원소들로 구성된 $n/(r+1)$개의 부분 집합으로 나누어지고 각 부분 집합을 $A_i$라 한다. 이 때 $0 \le i \le m-1$ 이다. Tamo 와 Barg 는 RS 부호를 일반화 시켜서 부분 복구가능 부호를 만들었다. 이 때 중요한 요소는 차수가 $r+1$ 인 다항식 $g(x)$이다. 이 다항식 $g(x)$은 부분 집합 $A_i$ 에 속한 원소에 대해서 항상 상수 값을 갖는다. 즉, $a$, $\beta$가 $A_i$ 의 원소일 때, $g(a) = g(\beta)$가 항상 성립한다.

이제 $(n, k, r)$ LRC 부호의 생성은 다음과 같다. 먼저 $n \le q$ 가 부호 길이라 하자. 그러면 $A \subset F_q$, $|A| = n$ 이라 하자. 메시지 벡터 $a \in F_q^k$ 를 위한 부호어(codeword)는 다음과 같이 생성된다. 이 때 $a$ 를 다음과 같이 나타내자. $a = (a_{ij}, i = 0, \ldots, r-1, j = 0, \ldots, k/r - 1)$. 그러면 인코딩 다항식은 다음과 같다.

$$f_a(x) = \sum_{i=0}^{r-1} f_i(x) x^i$$

여기에서

$$f_i(x) = \sum_{i=0}^{k/r-1} a_{ij} g(x)^j$$

이다. 이 때 $f_i$ 는 계수 다항식(coefficient polynomial) 이라 부른다. 메시지 $a$ 에 대한 부호어는 인코딩 다항식 $f_a$ 를 $A$ 상의 모든 원소를 대입하여 얻을 수 있다. 즉, $(n, k, r)$ LRC 부호 $C$ 는 다음과 같은 $n$ 차원 벡터의 집합으로 정의된다.

$$C=\{(f_a(a), a \in A: a \in F_q^k\}$$

이 때, 집합 $A$ 의 원소는 위치(location)라 부르고, $f_a(a)$는 부호어의 심볼이라 부른다. 부호 부호가 생성된 후에 부분 복구는 같은 부분 집합에 속한 위치(location)들에서 일어난다. 따라서 MAC 역시 다음과 같이 같은 위치에서 일어나야 한다.

부호가 생성된 후에 모든 $a_{ij} \in A_i$ $(0 \le j \le r)$에 대해서 심볼을 $f_a(a_{ij})$로 나타내자. 이 때 부호를 생성한 서버에서 각 부분 집합 $A_i$ 별로 비밀키 $k_i$ $(0 \le i \le m-1)$를 생성한다.

그런 후 LRC 의 각 부분집합의 인증 심볼 $h_i$ 은 다음과 같이 생성한다.

$$h_i = H(f_a(a_{i0}), f_a(a_{i1}), \ldots, f_a(a_{ir}), k_i)$$

여기에서 $H(.)$는 $F_q^{r+1}$ 에서 $F_q$ 로의 암호학적 해시 함수이다. 이를 통해 총 $m = n/(r+1)$개의 인증 심볼이 만들어진다. 인증 심볼들은 부호어와 별도의 서버에 저장되고, 각 인증 심볼들은 각 부분 집합에 속한 위치들의 인증에 사용될 수 있다.

검증을 위해서는 부분집합 $A_i$ $(0 \le i \le m-1)$에 저장된 심볼이 삭제된 경우, 먼저 부분 복구를 실시한다. 부분 복구가 완료가 되면, 인증 심볼을 사용해서 부분 집합 $A_i$ 를 위한 인증 심볼 $h_i$'를 다시 생성하여 저장된 인증심볼 $h_i$ 와 비교하여 같으면 인증이 성공한 것으로, 다르면 실패한 것으로 간주한다.

제안하는 방식의 보안 수준은 사용하는 유한체의 크기 $q$ 에 따라 달라진다. 또한 사용된 부분집합들의 비밀키는 부호를 생성한 서버에 저장되어 있고, 검증을 수행할 때에도 부호를 생성한 서버에서 검증이 이루어지기 때문에, 외부로 전송하지 않고 서버 내에 안전하게 보관하게 된다.

## 3. 참고 문헌

[1] I. Tamo and A. Barg, "A family of optimal locally recoverable codes," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 8, pp. 4661-4676, Aug. 2014.

## Acknowledgements

이 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며 (NRF-2014R1A2A2A01006870), 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2015R1D1A1A01060941).

# 분산 저장 장치를 위한 준최적 부분 반복 부호 설계

박호성°
전남대학교 전자컴퓨터공학부
hpark1@jnu.ac.kr

김영식
조선대학교 정보통신공학과
iamyskim@chosun.ac.kr (교신저자)

## 1. 서론

분산 저장 장치에서 손실 노드 복구시 전체 데이터 트래픽을 최소화하기 위한 부호로서 재생성 부호 (regenerating codes)가 제안되었다 [1]. 재생성 부호를 설계함에 있어 각 노드별로 저장하는 데이터의 양과 손실 노드 복구에 필요한 데이터 트래픽의 양 간에 균형관계(trade-off)가 있으며 [2], 이 균형관계의 양 끝 점은 각각 최소 저장 재성성 (minimum storage regenerating; MSR) 부호와 최소 대역폭 재생성 (minimum bandwidth regenerating; MBR) 부호에 해당한다.

한편 손실 노드 복구시 원래 저장하고 있던 데이터를 그대로 복구하는 것 (exact regeneration)이 더 선호되며, 그 과정에서 필요한 연산과 데이터 입출력을 최소화하여 각 노드의 부담을 덜어줄 필요가 있다. 이를 위해 제안된 부호가 부분 반복 (fractional repetition; FR) 부호이며 [3], MBR 부호의 변형에 해당한다. 본 논문에서는 $p$진 $m$-시퀀스를 이용한 새로운 FR 부호의 설계 방법을 제안하고, 이 부호가 저장할 수 있는 데이터의 양 측면에서 최적에 가까움을 보인다.

## 2. 새로운 부분 반복 부호의 설계

$(n, \alpha, \rho)$ FR 부호는 $\{1,2,\dots,\theta\}$의 $n$개의 부분집합 $N_1, \dots, N_n$이며 다음을 만족한다.

1) $n\alpha = \rho\theta$
2) $|N_i| = \alpha$
3) $\{1,2,\dots,\theta\}$의 각 심볼은 부분집합들에 정확히 $\rho$번 포함된다.

즉, $(n, \alpha, \rho)$ FR 부호에 의해 분산 저장 장치의 $n$개의 노드들은 각각 $\alpha$개의 심볼들을 저장하게 된다. FR 부호는 $n \times \theta$ 접속 행렬을 이용하여 정확히 표현될 수 있다. 그리고 $(n, \alpha, \rho)$ FR 부호는 보통 외각부호인 $(\theta, M)$ MDS 부호와 연접해서 사용된다. 이 경우 사용자는 분산 저장 장치에 저장된 $M$개의 심볼을 모두 읽고 싶을 때 $k$개의 노드에 접속한다. 그러면 $M$은 $k$의 함수이며 다음과 같이 표현된다.

$$M(k) = \min_{\substack{I \subset \{1,\dots,\theta\} \\ |I|=k}} |\cup_{i \in I} N_i|$$

잘 설계된 FR 부호에 대하여 $M$은 MBR 용량보다 클 수 있음이 알려져 있다.

$$M(k) \geq k\alpha - \binom{k}{2}$$

FR 부호에서 파일 크기 $M$의 한계용량을 FR 용량이라고 부르며 $A(n, k, \alpha, \rho)$로 표시한다. FR 용량은 아직 정확히 알려지지 않았고, 대신 상한값만 알려져 있다 [3].

$$A(n, k, \alpha, \rho) \leq \phi(k), \quad \text{where}$$
$$\phi(1) = \alpha, \phi(k+1) = \phi(k) + \alpha - \left\lfloor \frac{\rho\phi(k) - k\alpha}{n-k} \right\rfloor$$

모든 $k \leq \alpha$에 대하여 FR 용량을 달성하는 FR 부호를 최적이라고 부른다 [4].

주기가 $p^2 - 1$인 $p$진 $m$-시퀀스를 생성하고 각 $\mathbb{F}_p$ 상의 원소에서 1 은 1 로, 나머지는 0 으로 대응시키는 이진 사상을 이용하여 새로운 FR 부호의 접속 행렬을 구성할 수 있다. 예를 들어 $p = 3$인 경우 접속 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

일반적으로 제안하는 설계방법으로 $(p^2 - 1, p, p)$ FR 부호를 설계할 수 있으며 실험을 통하여 $p = 3$인 경우 FR 용량을 달성하고 $p = 5$인 경우 FR 용량의 상한값에 거의 근접하는 $M$값을 달성하는 것을 확인하였다. 그리고 이는 $k \leq \alpha$에 대하여 $m$-시퀀스의 균형 특성을 이용하여 이론적으로 증명된다.

## 3. 참고 문헌

[1] A. G. Dimakis, P. B. Godfrey, M. J. Wainwright, and K. Ramchandran, "Network coding for distributed storage systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun.*, Anchorage, AK, May 2007, pp. 2000–2008.

[2] Y. Wu, A. G. Dimakis, and K. Ramchandran, "Deterministic regenerating codes for distributed storage," in *Proc. the 45th Annu. Allerton Conf. Control, Comput., Commun.*, Urbana-Champaign, IL, Sep. 2007.

[3] S. E. Rouayheb and K. Ramchandran, "Fractional repetition codes for repair in distributed storage systems," in *Proc. the 48th Annu. Allerton Conf. Control, Comput., Commun.*, Urbana-Champaign, IL, Sep. 2010, pp. 1510–1517.

[4] N. Silberstein and T. Etzion, "Optimal fractional repetition codes based on graphs and designs," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 61, no. 8, pp. 4164–4180, Aug. 2015.

## 4. 감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며 (No. NRF-2015R1D1A1A01060941), 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014R1A2A2A01006870).

# 저밀도 패리티 체크 부호의 사후 처리 복호 기법을 위한 중단 기법에 대한 연구

*양필웅°, *전보환, *노종선, **박호성

*서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

**전남대학교 전자컴퓨터공학부

# A stopping criterion for backtracking post-processing scheme for LDPC codes

*Pilwoong Yang°, *Bohwan Jun, *Jong-Seon No, and **Hosung Park

*Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

** School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

yangpw@ccl.snu.ac.kr, netjic@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, hpark1@jnu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 LDPC 부호의 사후 처리 복호 방식으로 이용되는 backtracking 기법을 위한 중단 기법을 제안한다. 복호 실패를 선언하기 위해 허용된 최대 반복 횟수만큼의 복호를 수행 하는 기존의 방식에 비해 제안된 중단 기법은 높은 오류 탐지율과 함께 필요한 반복 횟수를 현저히 줄일 수 있었으며 이를 모의 실험을 통해 검증한다.

## 1. 서론

순방향 오류 정정(forward error correction, FEC) 부호로서의 저밀도 패리티 체크 (low-density parity-check, LDPC) 부호는 피드백 없이도 채널 한계 용량에 근접한 성능으로 다양한 통신 시스템, 저장 매체에 적용 되어 널리 사용되고 있다. 허나 LDPC 부호는 유한한 길이로 적용될 때 높은 신호 대 잡음비(SNR)에서 성능 향상 폭이 급격히 감소하는 오류 마루 현상을 보인다.

오류 마루 현상은 부호의 작은 최소 해밍 거리(minimum Hamming distance) 또는 트래핑 집합(trapping set)과 같은 부호 내의 특정한 구조에 의해 발생 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 오류 마루 현상을 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 최소 순환 길이를 늘리고 컴퓨터 검색을 통해 특정 트래핑 집합을 미리 제거하는 LDPC 부호의 설계 방법을 제안 하거나 첫 번째 복호 실패 후 사후 처리 복호를 통해 오류 마루를 제거하는 연구들이 이에 해당한다. 사후 처리 복호를 통해 오류 마루를 제거 하는 경우, 첫 번째 복호의 실패 후 얻은 정보를 이용하여 재 복호를 시도하므로 높은 성능을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 한 번의 복호 실패를 판정 하기 위해 한계 반복 횟수 만큼의 시간 및 복잡도를 필요로 한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 사후 처리 복호 방법을 위한 첫 번째 복호 시 빠른 판정을 위한 중단 기법을 제안하고 이를 다른 중단 기법과 비교 분석 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장과 3 장에서는 각각 LDPC 부호의 사후 처리 복호기법을 소개하고 이를 위한 기존의 중단 기법과 새로운 중단 기법을 제안하도록 한다. 4 장에서는 제안한 중단 기법의 성능을 살펴보고 마지막으로 결론을 맺는다.

## 2. LDPC 부호의 사후처리 복호기법

오류 마루 현상을 줄이기 위한 다양한 LDPC 부호의 사후 처리 복호 기법이 제안 되어 왔으며, 본 논문에서는 backtracking 사후처리 복호기법을 위한 중단 기법을 제안하고자 한다. [1], [2]에 제안된 사후 처리 복호기법이 이에 해당하며, 의심스러운 변수 노드의 순서를 정한 뒤 순차적으로 값에 변형을 가한 후 반복적으로 복호를 시도해보는 사후 처리 방식을 따른다. Backtracking 사후처리 기법은 아래와 같은 복호 방식을 따른다.

1) 모든 변수 노드를 채널 값으로 초기화
2) 첫 번째 BP 복호를 수행, 매 반복 복호 때마다 불만족 체크 노드($C$)를 저장
3) 복호에 성공했다면 종료, 실패 시 사후 처리 복호기법 시작
4) 첫번째 BP 복호의 수행 시 저장된 불만족 체크 노드 중 가장 적은 수의 체크 노드를

저장한 반복 시기로 돌아가, 해당 체크노드들에 연결된 변수 노드 $N(C)$를 저장

5) 변수 노드의 초기 채널 값, 정지 시의 복호 값 등 여러 정보를 종합하여 변수 노드 $N(C)$의 신뢰도를 파악
6) 낮은 신뢰도의 변수 노드부터 변형을 가한 뒤 처음으로 돌아가 BP 복호기 수행
7) 복호에 성공 시 종료, 실패 시 6)에서의 변형을 복구 하고 다음 신뢰도를 가진 변수 노드에 변형을 가한 후 재 복호를 수행

위의 과정 중 5)와 6)에 해당하는 변수 노드 $N(C)$의 신뢰도 파악 및 변수 노드의 변형은 각 논문에 따라 다르게 적용 된다. 허나 이러한 backtracking 방식은 2)와 4)에 나타낸 것과 같이 반복 복호 중 불만족 체크 노드를 기록 하여 이 중 가장 적은 수의 불만족 체크 노드를 선택 한다는 공통점이 있다.

## 3. 제안된 중단 기법

이전 단락에서 소개한 방식의 사후 처리 복호에서는 첫번째 복호에서 불만족 체크 노드의 수를 체크한 후, 복호 실패 판정 시 이 중 가장 적은 수의 불만족 체크 노드의 수를 기록했던 때의 체크 노드를 기준으로 사후 처리 복호가 진행된다.
일반적으로 복호 실패를 판정하기 위해서는 최대 허용 반복 복호 횟수에 도달할 때까지 모든 체크 노드를 동시에 만족시키지 못해야 한다. 따라서 수십 회의 불필요한 반복 횟수가 필요하며, 이로 인한 복호 시간 및 불필요한 복잡도가 요구 된다.
본 논문에서 제안하는 중단 기법은 최대한 빠른 시간에 복호의 실패를 감지하여 사후 처리 복호 기법으로 들어가도록 하며, backtracking 사후 처리 복호에서 필요로 하는 최소 개수의 불만족 체크 노드를 효과적으로 판단 하는 것을 목표로 한다. $i$ 번째 반복 횟수 시기 때의 불만족 체크 노드의 개수를 $C(i)$라 할 때, 아래와 같은 상태를 만족할 때 첫번째 복호를 중단 하고 사후 처리 복호를 시도하도록 한다.

$$C(i) \le C(i+1) \le C(i+2) \le \ldots \le C(i+t), C(i) \le \tau$$

여기서 $t$ 는 관찰하고자 하는 최대 반복 횟수 이다. 즉, 불만족 체크 노드의 수가 더 이상 감소 하지 않고 증가 하거나 혹은 정지 상태 일 때, 복호기가 복호를 실패했음을 선언하고 사후 처리 복호에 들어가도록 한다. 이 때 사후 처리 복호를 위한 불만족 체크 노드의 세트는 $C(i)$개의 불만족 체크 노드가 된다. 또한, $C(i)$개의 불만족 체크 노드의 수는 $\tau$로 제한되어, 사후처리복호에 들어가도 복호가 불가능한 불안정한 오류를 탐지해내거나 목표로 하는 트래핑집합의 크기를 결정하는 임계 값 역할을 한다.

## 4. 모의 실험

본 모의 실험에서는 제안한 중단 기법이 기존의 중단기법과 비교하여 얼마나 효율적인지 알아본다. 비교 대상이 되는 중단 기법은 불만족 체크 노드의 개수가 특정 개수 이하가 되면 중단 하는 기법[1], 또한 불만족 체크 노드의 개수가 수 회 반복 동안 변하지 않고 유지 될 때 중지 하는 기법[2]이다. 802.16e 표준의 2304 길이의 1/2, 3/4 부호를 예시로, 제대로 복호 될 수 있는 부호어를 잘못 감지 하는 부정확한 오류 탐지 비율, 정확한 오류 탐지 비율, 탐지 시의 평균 반복 횟수를 비교로 한다.

| | 부정확한 오류 탐지 | | |
|---|---|---|---|
| | [1] | [2] | Proposed |
| 802.16e R=1/2 | 39.70% | 0.47% | 0.62% |
| 802.16e R=3/4 | 26.62% | 0.02% | 0.03% |
| | 정확한 오류 탐지 | | |
| | [1] | [2] | Proposed |
| 802.16e R=1/2 | 95.87% | 88.46% | 99.00% |
| 802.16e R=3/4 | 66.72% | 76.06% | 97.39% |
| | 정확한 탐지 시 평균 반복 횟수 | | |
| | [1] | [2] | Proposed |
| 802.16e R=1/2 | 6.88 | 9.46 | 7.59 |
| 802.16e R=3/4 | 6.42 | 10.11 | 5.60 |

제안된 부정확한 오류 탐지율이 높은 [1]의 방식에 비해 높은 탐지율을 가지며 [2]에 비해 정확한 오류 탐지를 보이면서도 필요한 평균 반복횟수를 줄일 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 LDPC 부호의 backtracking 사후 처리 복호 방식에 적합한 중단 기법이 제안 되었다. 제안된 기법은 기존 기법에 비해 높은 오류 탐지율을 가지며 평균 반복 횟수를 유의미하게 줄일 수 있었다.

## 6. 참고문헌

[1] J. Kang, Q. Huang, S. Lin, and K. A.-Ghaffar, “An iterative decoding algorithm with backtracking to lower the error-floors of LDPC codes,” IEEE. Trans. on Comm., vol. 59, no. 1, pp. 64-73, Jan. 2011.
[2] X. Zhang and S. Chen, “A two-stage decoding algorithm to lower the error-floors for LDPC codes,” IEEE Comm. Lett., vol. 19, no. 4, pp.517-520, Feb. 2015.
[3] T. Richardson and R. Urbanke, "The capacity of low-density parity-check codes under message-passing decoding," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, no. 2, pp. 599–618, Feb. 2001.
[4] S. Lin and D. J. Costello, Jr., *Error Control Coding, 2nd Ed. NJ: Prentice Hall*, 2004.

# 뇌졸중 환자의 재활을 위한 팔 움직임을 보조하는 이동형 로봇의 설계 및 제작

김창호° · 유경환 · 최용근

단국대학교 컴퓨터학과

# The Design and Production of Mobile Robot to Assist Arm Movement for Rehabilitation of Stroke Patients

Changho Kim° · Kyunghwan Yoo · Younggeun Choi

Department of Computer Engineering, Dankook University

ckdgh3232@naver.com · robotbrain@naver.com · younggch@gmail.com

## 요 약

같은 동작의 반복과 다수의 재활치료사가 필요한 기존의 재활치료 환경은 환자에게 재활치료에 대한 흥미를 감소시키고 고비용이 발생하게 되는 문제를 야기한다. 또한 기존에 쓰이는 움직임 보조형 재활기기는 부피가 크고, 고액의 장비들이 대부분을 차지하고 있는 실정이다.
이에 센서를 사용하여 환자가 가고자 하는 방향을 파악한 후 모터를 통하여 움직임을 보조하고, OID(Optical ID)센서를 사용하여 현재 위치에 대한 위치 값을 디스플레이기기에 보내어, 게임 및 재활 보조가 가능한 이동형 로봇을 설계 및 제작에 대해 보고한다.

## 1. 서론

고령화 사회와 현대적인 생활습관으로 인해 뇌졸중 환자는 지속적으로 증가 하고 있다. 특히 뇌졸중 환자의 경우 근육의 경직 등 운동장애가 나타나며, 물리치료를 비롯한 여러 재활치료에 많은 시간과 큰 비용이 요구된다[1]. 물리치료가 필요한 뇌졸중 환자의 경우에는 재활치료사의 도움이 반드시 필요하며, 환자에게 동기부여가 될 수 있는 유익한 훈련의 개발은 필수적이다.
이에 재활치료사의 도움을 적게 받고도 능동치료가 가능하도록 모터와 센서를 사용한 이동형 로봇을 설계하였다. 조이스틱을 이용하여 환자가 가고자 하는 방향을 로봇에 알리고, 모터는 환자의 움직임을 보조하도록 설계했다. 재활치료 효과를 높이기 위한 목적으로 게임과 연동하기 위해 로봇의 위치를 파악할 수 있는 센서를 추가하였다. 디스플레이기기로는 안드로이드 OS 를 기반으로 하여 Bluetooth 통신을 이용해 데이터 통신을 한다. 게임을 통하여 환자에게 목표를 제공하고 환자는 로봇으로 움직임을 보조 받는 동시에 자신의 현재상황을 모니터링 할 수 있도록 하였다.
본 논문에서는 팔 움직임을 보조하는 이동형 로봇(이하, 스마트 마우스)의 하드웨어적 설계 및 동작을 위한 Firmware 설계에 대해 제안한다.

## 2. 스마트 마우스 설계 및 제작

### 2.1 기구 설계

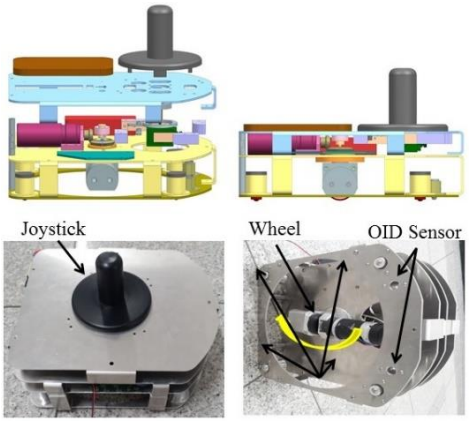



그림 1. 기구물 설계 및 구성

스마트 마우스 기구 설계의 중점은 환자의 움직임에 맞게 최대한 직관적으로 설계하는 것이다. 자동차 혹은 로봇 청소기 등에서 쓰이는 방식은 방향을 바꾼 후에 차체가 이동하므로, 환자가 가고자 하는 움직임과는 다를 수가 있다. 따라서 1-Wheel 을 차체 정가운데에 두고 이를 회전하여 움직이는 방식을 사용하였다. 이 방식은 환자가 움직이고자 하는 방향으로 직관적으로 움직일 수 있고, 게임 연동 등을 위한 위치추정도 2 축 직교좌표로 표현하기에

적합하다. Joystick의 경우 기존제품을 그대로 사용하면 손잡이가 기울어지기 때문에 손의 움직임이 불편한 환자에게는 적용하기가 힘든 부분이었고, 따라서 기울임 없이 사용 할 수 있도록 설계하였다.

### 2.2 조이스틱의 위치 측정

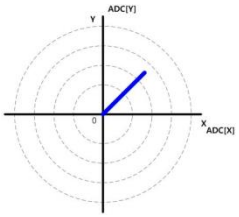



그림 2. 조이스틱의 방향과 기울기

조이스틱으로 방향과 기울임 정도를 측정하여 환자가 가고자 하는 방향과 힘을 알 수 있다. 그림 2.의 ADC[X]와 ADC[Y]는 조이스틱의 X 값과 Y 값을 의미하며, 직교좌표에서는 (X,Y)좌표로 나타낼 수 있고, 이 좌표를 이용하여 각도를 추정할 수 있다. 두 점과의 거리는 크기를 알아낼 수 있다[2].

### 2.3 Encoder를 사용한 위치추정

$$X = Odometer * cos(Goniometer)$$
$$Y = Odometer * sin(Goniometer) \quad (1)$$

스마트 마우스는 방향을 제어하는 모터와 전, 후진만 제어하는 2개의 DC 모터를 가지고 있고, 각각의 모터엔 Encoder가 부착되어 회전량과 방향을 알 수 있다. 회전방향은 Odometer로 표기하고, 회전량은 Goniometer로 표기했을 때, 이동한 (X, Y) 좌표는 (1)으로 알아 낼 수 있다[3]. 하지만 Encoder의 값으로만 추정하기에는 Slip 현상 등으로 인해 오차가 심하다.

### 2.4 OID 센서를 사용한 위치보정

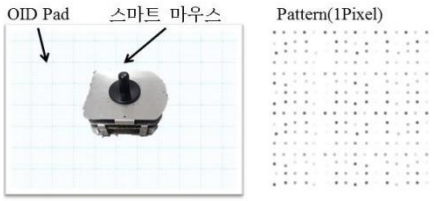



그림 3. OID Pad 및 OID Pattern

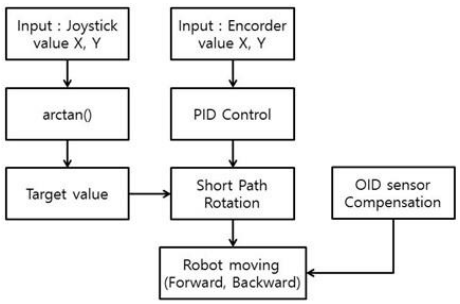



그림 4. 스마트 마우스 동작 알고리즘

OID 센서는 인쇄된 특정 Pattern을 인식하여 Index값을 읽을 수 있는 센서이다. 이 Pattern으로 Pad를 만들어 로봇에 설치된 OID 센서로 읽어내면, Pad 위에서의 절대좌표를 알 수 있다. 하지만 로봇이 움직이는 만큼 빠른 속도로 값을 읽어낼 수 없다는 단점을 가지고 있다. 따라서, Encoder를 사용하여 오차범위를 갖는 위치를 추정하고 로봇이 멈추었을 때, 위치 값을 보정하는 용도로 사용할 수 있다.
스마트 마우스에는 몸체의 방향을 알 기 위해 두 개의 OID 센서를 부착하였다.

## 3. 협업훈련을 위한 다중연결 및 협업 게임

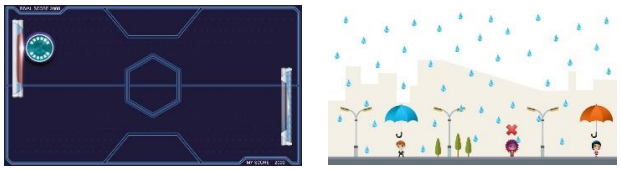


그림 6.두 대의 기기를 이용한 협업 재활훈련 게임

Bluetooth는 1대의 Master 기기에 Slave 기기 여러 대가 연결이 가능하며, 스마트 마우스 플랫폼은 Android 기기를 Master로, 스마트 마우스를 Slave로 연결이 가능하다. 따라서, 2대 이상의 스마트 마우스 기기를 이용하여 협업 재활훈련이 가능하고, 이를 이용하여 <에어하키>, <우산 씌워주기>등의 게임을 개발하였다.

## 4. 결론 및 향후 계획

스마트 마우스 Prototype을 제작하여 실제 환자에게 적용해본 결과, 로봇의 힘이 부족하고 팔꿈치가 들리는 현상이 있었다. 또한 조이스틱을 형태의 손잡이는 손이 불편한 환자에게 적용이 힘들다는 점이 있으며, 이를 보완하기 위해 다양한 형태의 손잡이 모양을 설계하기로 하였고, 조이스틱 외에도 환자의 움직임을 감지할 수 있는 다른 센서를 부착한 연구도 진행 계획이다.

## 5. 참고 문헌

[1] E. N. Brandit, et al.Enabling America : *assessing the role of rehabilitation science and engineering. Washington, D.C :* National Academy Press, 1997

[2] Russo, Massimo Andrea. *The design and implementtation of a three degree of freedom force output joystick*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 1990.

[3] Shanahan, Murray. "Robotics and the Common Sense Informatic Situation'."*ECAI*. PITMAN, 1996.

## 6. 기타

이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신 기술 진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.
[2014-050-005-064, 빅데이터 기반 협업 보조 훈련 스마트 재활 플랫폼 개발]

# 안드로이드 앱 역공학 방지를 위한 암호화 및 진입점 변환기법

임경환°, 정윤식†, 임지혁††, 조상욱†, 심형준†, 조성제†

단국대학교 컴퓨터학과°†, 단국대학교 소프트웨어학과††

# Encrypting Executable Codes and Changing Entry Point of Them for Preventing Android Apps against Reverse Engineering

Kyeonghwan Lim°, Younsik Jeong†, Jihyeog Lim††, Sangwook Cho†, Hungjoon Shim†, Seong-je Cho†

Department of Computer Science, Dankook University°†

Department of Software, Dankook University††

{khlim, jeongyousik, marnitto, anaislover, ggudwns, sjcho}@dankook.ac.kr

## 요 약

안드로이드 앱의 역공학 방지를 위해 renaming, 제어흐름 변경, API 은닉 등 난독화 기법들이 도입되었다. 난독화 기법들은 역공학에 소요되는 시간을 증가시키지만, 역공학에 의한 소스코드 유출을 방어하는데는 한계가 있다. 본 논문에서는 안드로이드 앱을 역공학으로부터 효과적으로 방어하기 위해, 실행코드인 DEX 파일을 AES 알고리즘으로 암호화하여 배포하고 관리하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 정상 실행시에 무결성을 검증하고 암호화된 DEX 를 복호화하여 복호화된 코드로 진입점을 변경하여 준다. 제안 기법의 실용성 판단하기 위해 구글 앱스토어에서 인기 있는 앱 25 개를 선정하여 실험한 결과 20 개의 앱에 본 기법을 적용 가능하였다.

## 1. 서론

현재 스마트폰의 시장에 보급되어 있는 운영체제 중 가장 많이 사용되고 있는 것은 안드로이드 운영체제이다[1]. 안드로이드 앱은 주로 자바(Java) 언어로 작성되어 있고, apktool[2]등 역공학 도구가 다수 존재하기 때문에 역공학에 의한 코드 유출이 쉽다. 이에 구글에서는 ProGuard[3] 등의 난독화 도구 사용을 권장하고 있지만, 난독화 기법은 소스코드 유출을 방지하는 데는 한계가 있다. 난독화 기술 외 역공학 방지를 위한 연구가 진행되어 왔다[4, 5]. 최근 제안된 연구는 Triple DES 알고리즘을 이용하여 DEX 파일을 암호화한 후 동적 로딩을 이용한다[6]. [6]의 연구에서는 암·복호화 키 생성 후 키를 앱 내부에 저장해야 하며, 복호화 시 자바 레벨에서 진행되지만, 제안 기법은 암·복호화 키를 동적으로 생성하며, 생성 과정이 네이티브 수준에서 진행된다.

본 논문에서는 역공학으로부터 안드로이드 앱을 효과적으로 보호하기 위한 원본 앱 암호화 및 진입점 변환 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 원본 앱 DEX 파일을 암호화하여 특정 위치에 저장하고, 이를 실행하기 위해 원본 DEX 파일 대신 stub DEX 를 생성하여 삽입한다. 이 기법이 적용된 앱을 사용자가 스마트폰에 다운로드 하게 된다. 스마트폰에서 앱이 실행될 때, 원본 DEX 복호화, 기존 파일 무결성 검증, 복호화 실행코드로 실행 흐름을 변경해 주는 진입점 변환 과정을 거친 뒤 원본 앱이 실행된다.

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1A2A1A15053738)

## 2. 제안 기법

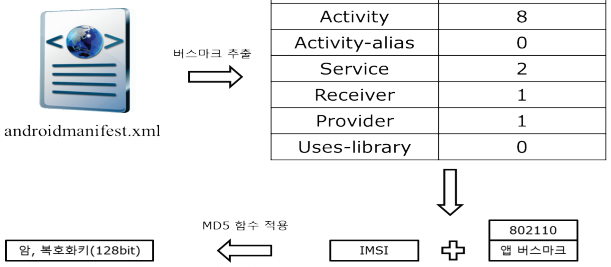
제안 기법은 원본 앱의 DEX 파일 암호화, 원본 DEX 복호화 및 진입점 변환의 두 개 부분으로 구성된다. 다음 2.1 절에서 암호화 시 필요한 키 생성 기법을 상세히 다루고 2.2 절에서 암호화된 앱이 기기에서 복호화된 후 실행되는 과정을 다룬다.

### 2.1 원본 앱 DEX 파일 암호화

안드로이드 앱의 구성요소 중, 실행 파일인 DEX 파일은 주요 소스코드가 컴파일되어 생성된 class 파일들을 모아 놓은 것으로 DEX 파일을 역공학하면 앱의 핵심 기능들을 알 수 있다. 따라서 해당 DEX 파일을 암호화 대상으로 삼는다. DEX 파일을 암호화하기 위해서 먼저 암호화 키를 생성해야 한다. 암호화 키는 앱 고유정보인 버스마크와 국제 이동가입자 식별번호 (IMSI: International Mobile Subscriber Identity)를 이용하여 생성한다. 암호화를 위한 키 생성은 사용자가 앱 구매 요청 시 생성된다. 앱 구매 요청 시 마켓으로 사용자의 IMSI 가 전송되고 마켓에서 앱 고유정보인 버스마크를 추출한다. 본 연구진은 안드로이드 앱 버스마크 생성 연구를 수행한 바 있다[7]. 제안기법에서는 암호화 키 생성시 AndroidManifest.xml 파일의 주요 컴포넌트들의 개수를 버스마크로 이용한다.

사용자로부터 받은 IMSI 정보와 버스마크를 조합하여 문자열 데이터를 생성한 후, 생성된 문자열의

MD5 해시값을 암호화 키로 사용한다. 암·복호화 키 생성에 대한 개요는 그림 1 과 같다. 본 논문에서는 생성한 암호화 키를 이용하여 앱의 원본 DEX 파일을 암호화한 후 패키지 내 asset 폴더에 저장한다.




| 컴포넌트 | 갯수 |
|---|---|
| Activity | 8 |
| Activity-alias | 0 |
| Service | 2 |
| Receiver | 1 |
| Provider | 1 |
| Uses-library | 0 |

그림 1. 버스마크 추출 및 암, 복호화 키 생성과정

그리고 암호화된 원본 DEX 파일을 복호화 및 실행시키기 위한 stub DEX 파일을 생성하여 삽입 한 후 재패키징을 거쳐 사용자에게 배포한다. 암호화된 원본 DEX 파일 대신 stub DEX 가 우선 실행되어야 하기 때문에, AndroidManifest.xml 의 Application 엘리먼트를 stub DEX 의 클래스명으로 치환하여 stub DEX 가 먼저 수행하게 된다. 전체 과정은 그림 2 와 같다.

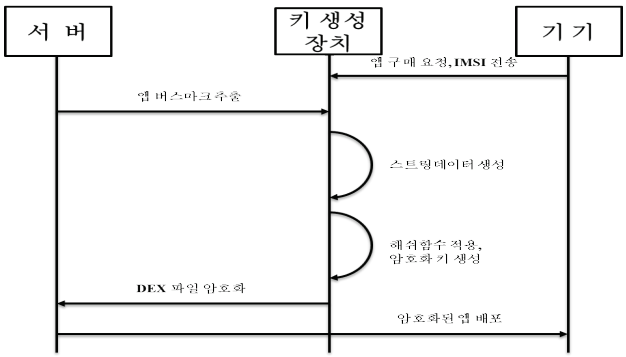



그림 2. 키 생성 및 암호화 과정

## 2.2 원본 DEX 복호화 및 진입점 변환

기법이 적용된 앱을 사용자가 실행하면 stub DEX 파일이 먼저 실행된다. stub DEX 파일은 원본 DEX 파일의 무결성 검증 과정을 거친 뒤, 서버에서 키를 생성했던 방식과 동일한 방식으로 복호화 키를 생성한다. 생성된 키를 이용하여 암호화된 원본 DEX 파일을 복호화하고, DexClassLoader() 메소드를 이용하여 stub DEX 파일의 클래스 로더를 원본 DEX 의 클래스 로더로 치환한다.

클래스 로더 치환 과정이 정상적으로 수행되면, '진입점 변환' 과정을 수행한다. '진입점 변환' 의 구체적인 과정은 다음과 같다. 원본 DEX 파일로 실행흐름을 변경하기 위해 mloadedApk 객체 필드를 실시간으로 수정한다. mloadedApk 객체는 실행되고 있는 앱의 클래스 로더, Activitythread list 등을 유지하고 있는 객체이다. mloadedApk 객체 필드 값을 정상적으로 수행하고, 최종적으로 makeApplication() 메소드를 호출하여 원본 앱 시작 컴포넌트의 onCreate() 메소드를 호출한다. 진입점 변환기법은 자바 리플렉션 (Reflection) 기법을 이용하여 구현하며, stub DEX 에서 원본 DEX 의 복호화 과정 이후에 수행된다.

## 3. 실험결과

본 논문에서 제안한 암호화 및 진입점 변환 기법의 유효성을 평가 하기 위해 넥서스 4 기기(안드로이드 버전 4.3)에서 적용 여부를 실험하였다. 실험에 사용한 앱은 구글 앱스토어에서 많이 다운로드 되는 앱 25 개를 선정하였다. 적용 결과, 총 25 개 앱 중 20 개는 제안한 기법이 적용되었지만 5 개는 무결성 검증 및 재패키징 실패 등으로 적용되지 않았다.

| 적용 성공 | 적용 실패 |
|---|---|
| 쿠팡, IBK ONE 뱅킹, 클래시 오브 클랜, 라디오 카카오톡, 11 번가, 알바몬 소모임, 네이버 메일, 네이버 플레이어, 배달통 네이버 웹툰, 실시간 날씨, 스마트 택배, 물 다이어리, 코코아북, 도미노 피자, EBS 반디, 우체국 | 가사도우미, Kine master, 모바일결제 ISP, 위메프, 요기요 |

## 4. 결론 및 향후 연구

안드로이드 앱 역공학으로 인한 저작권 피해, 금전적 피해 등이 증가하고 있으며, 이에 난독화 기법 등 역공학을 방지하기 위한 기법이 연구되고 있다. 하지만, 난독화 기법들은 역공학에 소요되는 시간을 증가시키지만, 역공학에 의한 소스코드 유출을 방어하는데는 한계가 있다 따라서, 본 논문에서는 안드로이드 앱을 역공학으로부터 효과적으로 방지하기 위해 DEX 암호화 및 진입점 변환 기법을 제안하였다. 향후에는 기법이 적용되지 않는 앱을 대상으로 적용할 수 있는 방안에 대한 연구를 수행한다.

## 5. 참고 문헌

[1] Market Share, http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp
[2] Apktool, http://ibotpeaches.github.io/Apktool/
[3] ProGaurd, http://developer.android.com/intl/ko/tools/help/proguard.html
[4] 심형준, et al. "실행코드 암호화 및 무결성 검증을 적용한 안드로이드 앱 보호 기법." 2014 년 한국소프트웨어감정평가학회 논문지.
[5] 최병하, et al. "안드로이드 앱 변조 방지를 위한 APK 덮어쓰기 기법." 한국통신학회논문지 39.5 (2014): 309-316.
[6] 김지윤, et al. "안드로이드 환경에서 자바 리플렉션과 동적 로딩을 이용한 코드 은닉법." 정보보호학회논문지 25.1 (2015): 17-30.
[7] 심형준, et al. "안드로이드 앱 보호를 위한 기기 고유정보 및 앱 버스마크 기반의 암호화 키 생성." 한국정보과학회 2013 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 (2013): 130-132.

# 비닐 포장 물체 영상 품질 향상을 위한 조명 적용 연구

강상승° 김계경 이재연
한국전자통신연구원 지능형인지기술연구부
kss@etri.re.kr

## 1. 서론

산업 현장에서 사람의 시각과 판단 능력을 바탕으로 검수하는 과정을 대신 하는 머신 비전 시스템은 생산성을 증대하고 비용 대비 효율성을 향상시키는 것이 목적이다[1]. 자동으로 영상을 획득하고 획득한 영상에 대한 해석과 판단을 수행하고 시스템 통합 및 응용 과정까지 포함하는 일련의 과정에서 영상 획득 단계는 매우 중요하며, 적절한 카메라의 종류와 위치 및 해상도의 선택과 조명의 종류와 위치 및 밝기 등의 선택은 중요한 요소이다. 이와 같이 조명은 적은 비용으로 효과적인 생산성을 가져올 수 있는 수단이며, 조명의 적용 방법에 따라 물체 인식 성능에 있어서 정확도와 안정성에 큰 영향을 준다[2-3]. 특히 비닐 포장된 물체를 인식할 때 비닐 표면에서 강한 조명 반사로 인해 카메라 센서가 포화되고 획득한 영상에 하이라이트를 발생시켜 물체를 정확하게 인식할 수 없게 되는 문제가 있으므로, 카메라와 조명에 따른 하이라이트 발생 정도에 대한 분석이 필요하다.

본 논문은 비닐 포장된 물체의 인식과 관련한 조명의 영향을 분석하고 조명 확산판과 편광 필터를 적용하여 반사 하이라이트의 발생 정도를 감소시킨 사례를 소개한다. 반사 하이라이트는 비닐 물체 표면에 강한 조명 반사광으로 인해 발생하므로 확산판을 이용하여 빛을 분산시키고, 특정 방향의 편광된 빛만 투과하도록 편광 필터를 적용하는 실험을 수행하였다. 조명 확산판과 편광 필터의 적용은 동일 광원에 대한 해상도와 콘트라스트를 증가시켜 주고 비닐 포장된 물체의 표면에서 발생하는 반사 하이라이트의 발생 정도를 최소화시켰다. 결과적으로 획득 영상의 품질을 향상시켜 물체 인식의 정확도를 개선하는데 도움이 되었다.

## 2. 조명 적용

대상 물체의 획득 영상 품질 향상을 위한 조명 적용 과정에서 조명의 방향과 패턴, 조명의 컬러와 파장 변화를 고려할 필요가 있다. 비닐 포장 물체의 반사 하이라이트를 최소화하기 위해 조명의 입사광과 물체 표면이 이루는 최적의 각도를 추정하고, 조명의 색상과 색온도에 따른 영향을 분석하고, 단일 조명의 특정 방향에서의 입사로 인한 음영 문제를 해결하기 위한 다중 조명의 영향을 분석하였다. 비닐 포장된 물체에서 발생하는 반사 하이라이트를 제거하기 위해 광원의 세기를 줄임으로써 반사 하이라이트 발생 정도를 감소시킬 수 있지만 제한적이고 콘트라스트를 저하시키는 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 먼저 빛을 확산시켜주는 확산판을 적용하였다. 확산판은 시각 센서 및 다른 조명 조건과 잘 매칭하여 적용하여야 한다. 또한 확산판과 함께 편광 필터를 적용하였다. 편광판은 한 방향의 선형편광의 빛을 선택적으로 흡수하거나 굴절시켜 그 방향에 수직한 선형 편광만을 통과시키는 역할을 한다[4]. 편광 필터는 카메라 렌즈부에 부착하여 시각센서로 편광된 빛만 들어가도록 하는 방법과 조명부에 부착하여 특정 방향의 편광된 빛만 투과하도록 하는 방법을 모두 실험하였다.

우리는 휴대폰 포장 공정에 사용되는 비닐 포장된 휴대폰 액세서리 부품을 대상으로 한 실험에서 카메라, 렌즈, 조명을 모두 동일하게 고정한 다음, 조명부에 확산판과 편광 필터를 미부착 상태와 부착 상태에서 피사체를 찍은 영상 데이터를 획득하였다. 카메라 센서의 노출 값은 사전에 정의한 몇 가지 값으로 바꾸어 가며 실험하였고, 동일 노출 값에 대해 획득한 영상을 비교하였다. 또한 카메라와 함께 설치한 LED 조명 이외에 다른 빛의 영향으로 인한 실험 결과의 왜곡을 줄이기 위해 자연광과 실내등에 의한 영향이 최소가 되도록 환경을 설정하였다.

상기 실험을 통해 획득한 영상을 분석한 결과, 확산판과 편광 필터를 사용하지 않고 획득한 영상은 비닐 포장 표면부에 강한 반사 하이라이트의 정도가 심하게 나타난 반면 확산판과 편광 필터를 사용하여 획득한 영상에서는 밝기가 고르게 분포되어 있고 콘트라스트가 높으며 대부분의 반사 하이라이트가 제거되었다. 또한 확산판과 편광 필터를 사용하여 획득한 영상이 그렇지 않은 영상보다 세그멘테이션 및 인식 성능이 상대적으로 높게 나타났다.

## 3. 참고 문헌

[1] Nello Zeuch, *Understanding and Applying Machine Vision*, Revised and Expanded, CRC Press Book, 2000.

[2] Daryl Martin, “A Practical Guide to Machine Vision Lighting,” *Advanced illumination whitepaper*, 2007.

[3] G. Gao and X. Wu, “Light optimal design for machine vision based on reflection,” in *Proc. IEEE ICIA*, pp. 185-190, Aug. 2013.

[4] A. G. Andreou and Z. K. Kalayjian, “Polarization Imaging: Principles and Integrated Polarimeters,” *IEEE Sensors Journal*, Vol.2, No.6, pp.566-576, Dec. 2002.

## 4. 기타

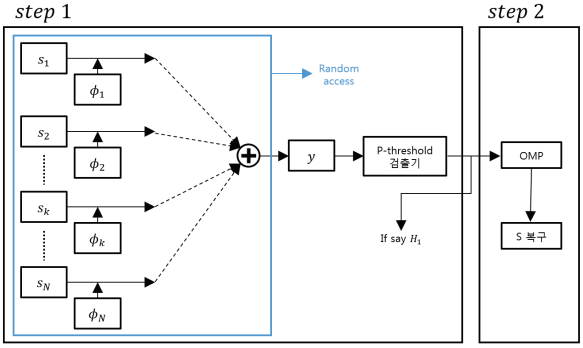
본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10038660, 양팔 작업을 위한 센서융합 인지 기반 제어기술 개발 및 다중로봇 협업생산공정 적용 기술 개발]

# 저전력 사물인터넷 구현을 위한 희소성 기반의 랜덤접속 사용자검출 기법

안유빈. 최준원.°
한양대학교 전기생체공학부
yubinahn@spo.hanyang.ac.kr, junwchoi@hanyang.ac.kr

## 1. 서론.

본 논문에서는 N 명의 임의의 사용자 또는 디바이스가 엑세스 포인트(AP)에 동시에 랜덤하게 접속하는 랜덤 다중 사용자 접속 시스템을 고려한다. 그림 1 에서와 같이 1 명 이상의 사용자가 각자 고유의 시그너처 신호를 통해 접속을 시도한다. 랜덤 접속 환경에서는 실제로 사용자가 언제 패킷을 전송하는지 알 수 없으므로 AP 에서는 꾸준히 사용자들을 검출하는 알고리즘을 수행해야 한다. 시스템에서 받아들일 수 있는 사용자의 수가 증가하는 경우 AP 에서는 모든 사용자의 시그너처 신호간 직교성을 높이기 위해 데이터 패킷의 길이가 길어져야 하고 모든 신호에 대해 정합필터 (Matched filter)를 적용해야 하므로 복잡한 사용자 검출 기법이 필요하다. 하지만 실제로 접속하는 사용자의 수가 전체 사용가능한 접속자의 수에 대에 일반적으로 훨씬 적기 때문에 시그너처 신호 길이를 줄이는 대신 사용자 분포의 희소성을 이용하는 압축센싱 기반의 다중사용자 검출 기법이 제안되었다 [1]. 그럼에도 불구하고 압축센싱의 복원 알고리즘은 상당히 높은 연산량을 요구한다. 실제로 랜덤접속환경에서 많은 기간 동안 사용자의 접속이 없는 비활성화 (idle)상태로 존재한다. 이러한 비활성화 상태에서 압축센싱을 끊임없이 수행함으로써 많은 연산자원이 소모되게 된다. 본 논문에서는 그림 1 과 같이 사용자 접속의 시간적인 분포를 이용하여 먼저 적어도 1 명의 이용자가 있는지 확인하는 사용자 유/무 검출 단계를 수행한 후 검출이 된 경우 압축센싱을 사용하여 특정 사용자 신호를 검출하는 2 단계 사용자 검출 방법은 제안한다. 이러한 사용자 활동 검출방법에서도 사용자 접속의 희소성을 이용하는 기법을 제안하였다. 사용자 유/무 검출 기술은 압축센싱에 의한 사용자 복원 기술에 비해 적은 수의 측정값이 필요하고 연산량도 작기 때문에 비활성화 상태에서 소모되는 에너지와 연산량을 상당히 줄일 수 있다.




## 2. 제안하는 저전력 사용자 검출 시스템

앞에서 언급했듯이 다중 사용자 검출을 위해서는 먼저 사용자의 유무를 검출 한 뒤 적어도 1 명의 사용자가 검출된 경우 접속한 특정 사용자를 검출하게 된다. 본 논문에서는 사용자의 유무를 검출하는 사용자 희소성을 이용하는 p-threshold 기반의 검출 방법을 소개한다. 먼저 입력 신호가 있는 경우를 $H_1$ 신호가 없는 경우를 $H_0$ 라고 하면 두 경우를 각각 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$H_1 : y = \Phi s + n \qquad H_0 : y = n$$

여기서 $y$ 는 $M \times 1$ 관측벡터이다. $\Phi = [\phi_1, \phi_2, ..., \phi_N]$ 는 각 이용자에게 할당 되는 시그너쳐신호를 열로 갖는 행렬이다. 벡터 $s$ 는 각 사용자에 대한 랜덤접속 채널의 크기를 나타낸다. 이용자의 분포가 희소한 경우에 $s$ 의 대부분의 원소가 0 값을 갖게 된다. K 는 $s$ 의 원소중 0 이 아닌 원소의 개수이다. $n \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 노이즈 벡터이다. 제안하는 방법에서는 수신신호와 $\Phi$ 의 열벡터와의 내적의 절대값을 취하고 그 중에 가장 큰 T 개의 합과 나머지와의 합의 비를 이용하여 이를 threshold 와 비교하게 된다. 검출을 위한 알고리즘은 다음과 같다.

1. Find set H with $|H| = T$ such that $\|\phi_l^H y\| \geq \|\phi_j^H y\|$ for all $l \in H, j \notin H$
2. set $\Phi_h = [\phi_{h_1}, ..., \phi_{h_T}] \quad (h_1, ..., h_T \in H)$ and $\Phi_l = [\phi_{l_1}, ..., \phi_{l_T}] \quad (l_1, ..., l_T \in H^c)$
3. If $\dfrac{norm(\Phi_h^H y_1)}{norm(\Phi_l^H y_1)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} threshold$

제안하는 검출 방법을 랜덤접속 환경에 적용하여 시뮬레이션 한 결과 적은 연산량으로 사용자의 유무 여부를 효과적으로 검출할 수 있었다.

## 참고 문헌

[1] F. Fazel, M. Fazel, and M. Stojanovic, “Random access compressed sensing over fading and noisy communication channels,” IEEE Trans. Wireless Commun. Vol. 12, no. 5, pp. 2114-2125, May 2013.

# 기기 간 자율적 상호작용을 지원하는 IoT 플랫폼 설계

강민정, 나재찬, 류신혜°, 최윤연, 김상욱

경북대학교 컴퓨터학부

# Design of a IoT Platform supporting Autonomous Interaction between Devices

Minjung Kang, Jaechan Na, Shinhye Ryu°, Yunyeon Choi, Sangwook Kim

School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

media@media.knu.ac.kr

요 약

기존의 시스템은 정해진 업무를 효과적으로 처리하거나 대응하는 등의 서비스를 지원하도록 설계되었다. 그래서 사용자의 상황과 현재 공간과 같은 실시간 정보를 반영하기 어렵다. 본 논문에서는 IoT 환경에서 수집한 데이터를 이용하여 자율적인 서비스를 제공하는 플랫폼을 제안한다. 플랫폼은 서비스 및 기기 간의 상호작용을 분석하여 적합한 기기들을 중심으로 커뮤니티를 형성한다. 그리고 기기 간 협업을 통한 자율적인 서비스를 제공하여 사용자의 편의성을 향상시킨다.

## 1. 서론

최근 IoT 기기를 연결하여 서비스하는 개방형 플랫폼에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 대부분 기기가 중심으로 사용자의 상황과 공간을 고려하지 않는다. 상황을 고려하더라도 단일 종류의 데이터 분석이나 공유로는 상황을 판단하여 원하는 서비스를 찾기 어렵다.

개인이 관리하고 이용하는 IoT 서비스의 수가 증가함에 따라 사용자 중심 서비스를 제공하는 시스템이 필요하다[1]. 또한 맞춤형 서비스를 위해서는 특정 정보가 어떤 상황에서 필요한지 인지해야 한다[2]. 이를 위해 본 논문에서는 자율적 상호작용을 기반으로 한 IoT 플랫폼을 제안한다. 해당 플랫폼은 수집한 데이터로 연결된 기기 간의 상호작용 관계를 파악하고, 서비스를 기준으로 기기의 커뮤니티를 형성하여 자율적인 상호작용을 지원한다. 이를 바탕으로 사용자의 상황에 맞는 능동적인 서비스를 제공한다.

본 논문의 2절에서는 관련된 연구를 기술하고, 3절에서는 제안하는 플랫폼 모델, 구조 및 동작을 설명한다. 그리고 4절에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

기존 연구 중 상황 인지를 통해 센서를 찾고 순위를 매겨서 최종 선정하는 IoT 미들웨어에 관한 논문이 있다[3]. 센서로 수집한 원시 정보를 시맨틱 기반으로 분석한다. 그리고 사용자를 기준으로 유클리디안 거리 기반의 클러스터링을 통해 센서들의 순위를 매긴다. 최종적으로 사용 가능성, 적절성, 신뢰성 등 다양한 요인을 고려하여 사용할 센서를 선정한다. 이는 서비스를 기준으로 가장 적합한 하나의 센서를 찾아내고 선정한다. 그러나 다중 기기를 복합적으로 활용하여 서비스를 제공하는 것에는 한계가 있다.

다른 연구로는 사용자가 입력한 정보를 중심으로 서비스 커뮤니티를 형성하여 사용자 맞춤형 서비스를 제공하는 논문이 있다[4]. 그래프 알고리즘이 적용된 시맨틱 웹을 기반으로 사용자가 요청한 내용과 기존 정보와의 유사성을 발견한다. 결과적으로 입력 정보와 관련이 있는 서비스를 지원한다. 이는 사용자의 요청을 기준으로 하기 때문에 서비스를 자율적으로 제공할 수 없다.

## 3. 자율적 상호작용을 지원하는 IoT 플랫폼

본 논문에서는 기기 간의 자율적인 상호작용을 통해 서비스를 지원하는 IoT 플랫폼을 이하 PAI(Platform for Autonomous Interaction) 라고 기술한다.

### 3.1 PAI 모델

PAI 모델의 개요는 위의 그림 1 과 같다. IoT 기기는 종류가 다양하고 분포가 넓기 때문에 동일한 서비스를 이용할 때도 사용하는 기기가 상황에 따라 차이가 크다. 그래서 제안하는 플랫폼은 현재 제공할 현재 서비스를 기준으로 기기 간 커뮤니티를 형성한다.

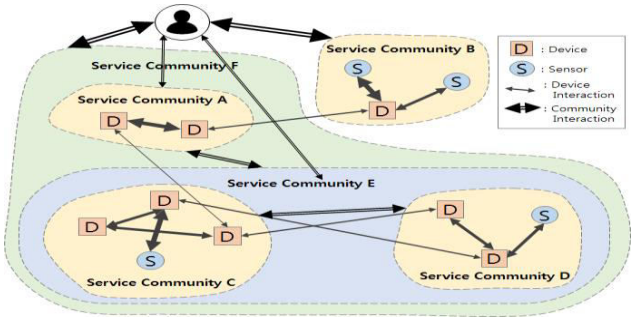



**Figure 1. A Graph for Interaction Awareness**

3.2 PAI 의 세부 구조

제안하는 PAI의 구조는 아래 그림 2와 같다. PAI 의 IoT 서비스 프레임워크 계층은 4개의 모듈로 구성된다.

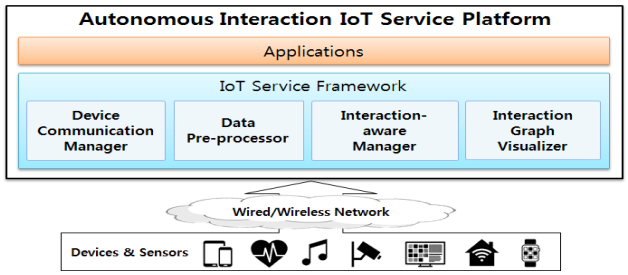



**Figure 2. Architecture of a Platform for Autonomous Interaction IoT Service**

각 모듈의 세부적인 내용은 아래와 같다.

- Device Communication Manager
  - PAI 에 직접적으로 연결된 기기뿐만 아니라 현재 주변의 사용 가능한 기기도 함께 관리
  - 유무선 네트워크로 연결된 다양한 디바이스, 센서의 정보를 송수신하고 이를 저장 및 관리
- Data Pre-processor
  - Fraud Detection 알고리즘을 적용
  - 서비스 사용, 기기 사용 트랜잭션과 사용자의 정보를 중심으로 표준화
  - 현재 필요한 서비스에 관련된 정보를 제공
- Interaction-aware Manager
  - Fuzzy 이론을 기반으로 현재 상황에서 서비스를 제공하기에 적합한 기기로 커뮤니티 형성
  - 커뮤니티 내 기기의 우선 순위 결정
  - 순위에 따라 기기를 탐색하며 결합 여부 판단
  - 다중 기기를 결합한 서비스 제공
- Interaction Graph Visualizer
  - 각각의 모듈에서 처리된 정보를 기준으로 형성한 커뮤니티를 시각화
  - 기기와 사용자를 노드로 구성하고 상호작용 강도에 따라 간선 굵기와 커뮤니티의 범위 지정
  - 커뮤니티 간의 관계성에 따라 그래프 제공

응용 계층은 PAI 의 프레임워크를 사용하여 지원할 수 있는 서비스들로 현존하는 IoT 서비스를 포괄한다. 예시로는 특정 사용자의 커뮤니케이션을 중점적으로 파악하여 정보 수신의 형태를 바꾸어 주거나, 주로 사용하는 서비스를 분석하여 관리하는 것 등이 있다.

3.3 PAI 의 동작

PAI 의 동작은 다음과 같이 이뤄진다.

- Server 에서 연결 가능한 기기를 관리
- 기기에서 데이터를 수집 후 저장
- 수집한 Raw data 중 신뢰성이 낮은 정보 전처리
- 현재 제공 서비스와 정보의 시맨틱을 분석
- 각 기기 별 퍼지 측도 결정
- 서비스 적합도에 따라 기기의 우선 순위 판단
- 상위의 기기를 선정 후 단일 기기가 사용자에게 서비스를 지원할 수 없다면 다른 기기를 결합
- 사용자의 상황에 맞는 능동적인 서비스 지원

## 4. 결론

본 논문에서 제안하는 플랫폼은 네트워크로 연결된 기기의 정보를 관리하고 표준화하여 현재 사용자에게 필요한 서비스를 기준으로 분류한다. 이후 상황 인지 정보를 반영하여 커뮤니티를 형성하고 자율적인 상호작용을 지원한다. PAI 를 적용하면 상황과 공간에 맞는 서비스가 가능하다. 향후에는 제안한 플랫폼을 개발하고 이를 서비스에 적용한다.

## 사사

이 논문(저서)은 교육부 및 한국연구재단의 BK21 플러스 사업 (경북대학교 컴퓨터학부 Smart Life실현을 위한 SW인력양성사업단)으로 지원된 연구임 (21A20131600005)

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012M3C4A7032185)

## 참고 문헌

[1] Mikko Pitkanen, et al. “SCAMPI: service platform for social aware mobile and pervasive computing.” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 42, No. 4, pp. 503-508. 2012.

[2] Charith Perera, et al. “Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey”, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, Vol. 16, No. 1, pp. 414-454, 2014.

[3] Charith Perera, et al. "Context-aware sensor search, selection and ranking model for internet of things middleware.", IEEE Mobile Data Management 14th International Conference, Vol. 1, pp. 314-322, 2013.

[4] Liu Xuanzhe, et al. “Discovering Homogeneous Web Service Community in the User-Centric Web Environment”, IEEE on Services Computing, Vol. 2, pp. 167-181, 2009.

# 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반 고가용성 네트워크 제어 및 관리 방안

김기정, 이성원°

경희대학교 컴퓨터공과

# An SDN based High-Availability Network Control and Management using Switch Agent

Gijeong Kim, Sungwon Lee°

Department of Computer Science and Engineering,

Kyung Hee University

{kimgijeong, drsungwon}@khu.ac.kr

## 요 약

SDN (Software Defined Networking)은 control plane과 data plane의 완전히 분리된 구조와 소프트웨어 기반 control plane을 구현함으로써 네트워크 프로그래머빌리티와 중앙 집중형 네트워크 제어 및 관리를 가능하게 한다. 하지만 SDN 네트워크에 유입된 패킷을 SDN 컨트롤러가 네트워크 장치로부터 수신함으로써 컨트롤 채널과 컨트롤러의 부하가 가중되는 문제가 발생하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 경량화된 네트워크 모니터링을 수행하는 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반의 고가용성 네트워크 제어/관리 아키텍처를 제안한다. 제안방안을 통해서 컨트롤러 부하를 낮추고 고가용성으로 네트워크를 제어함으로써 네트워크 사용률을 극대화할 수 있다.

## 1. 서론

낮은 하드웨어 성능과 불안정한 전송기술을 전제로 발전한 기존의 네트워크는 control plane이 네트워크 장치에 분산 배치되어 control plane과 data plane이 통합 구현된 구조를 가지고 있었다. 이는 라우팅과 같은 분산 알고리즘을 통해서 하드웨어 및 소프트웨어의 낮은 기술 수준을 보완하고, 지금보다 상대적으로 작은 규모의 네트워크에서 고장을 식별하여 유지보수를 용이하게 할 수 있었다 [1][2][3].

하지만 인터넷의 성장과 발전으로 네트워크의 규모와 복잡도가 커지고, 지속적으로 발생하는 요구사항에 대한 프로토콜 도입으로 네트워크 장치의 복잡도가 증가하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 네트워크 패러다임으로 control plane과 data plane의 완전히 분리된 구조를 가지며 소프트웨어 기반의 중앙 집중형 control plane 구조를 가지는 SDN (Software Defined Networking)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이를 통해서 control plane 소프트웨어의 추가 및 수정만으로 새로운 네트워크 요구사항을 도입할 수 있으며, 중앙 집중형 control plane 구조를 통해서 네트워크 유지보수 및 관리 비용을 낮출 수 있을 것이라 기대하고 있다.

하지만 SDN은 control plane에 부하가 집중되는 문제가 있어 OpenDaylight, ONOS와 같은 SDN 컨트롤러 소프트웨어는 분산 구조를 지원하고 있다. 이와 같은 방식은 컨트롤러 부하를 분산시킬 수 있지만 근본적으로 컨트롤러 부하를 낮출 수는 없다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 네트워크 모니터링을 수행하는 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반 고가용성 네트워크 제어 및 관리 방안을 제안한다.

## 2. 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반 고가용성 네트워크 제어/관리 아키텍처

SDN 환경에서 네트워크에서 발생하는 네트워크 트래픽을 모니터링 하기 위해서는 SDN 스위치로 유입된 패킷을 컨트롤러가 모두 수신을 하는 방식으로 측정하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 그림 1과 같이 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반 고가용성 네트워크 제어/관리 아키텍처를 제안한다. 고가용성 네트워크 제어를 하기 위해서는 액세스 네트워크에서 코어 네트워크 사이를 구성하는 네트워크의 경로를 생성하고 네트워크 트래픽 상황에 따라 네트워크 사용률이 향상시킬 수 있도록 적절하게 플로우 제어를 수행해야 한다.

SDN 스위치 에이전트 및 컨트롤러 에이전트의 구조 및 동작과정은 그림 2이 나타낼 수 있다. SDN 스위치 에이전트는 Ingress, Transparent,

* 본 논문의 교신저자는 이성원(drsungwon@khu.ac.kr)임.

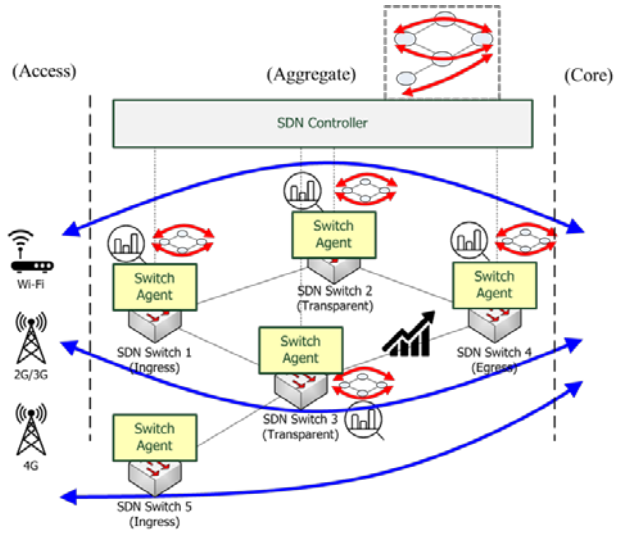



**그림 1. 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반 고가용성 네트워크 제어/관리 아키텍처**

Egress와 같은 3가지 Role 중 한 가지를 설정하게 된다. 그리고 에이전트는 설정된 Role을 SDN 컨트롤러의 SDN 컨트롤러 에이전트로 리포트 하게 된다. SDN 컨트롤러 에이전트가 스위치의 Role정보를 이용해 경로 생성 알고리즘을 이용해 액세스 네트워크와 코어 네트워크 사이의 다중 경로를 생성하게 된다.

Role 정보 보고 후 SDN 스위치 에이전트는 지속적으로 트래픽 모니터링을 실시하고 모니터링 결과를 요약하여 경량화된 트래픽 정보를 SDN 컨트롤러 에이전트로 전송한다. 경량화된 모니터링 정보는 네트워크로 유입된 모든 패킷을 컨트롤러가 수신하는 것이 아니라 통계치를 수신함으로써 스위치와 컨트롤러 간 통신 부하 및 컨트롤러의 처리 부하를 낮출 수 있다. SDN 컨트롤러 에이전트는 SDN 스위치 에이전트로부터 수신한 트래픽 정보를 이용해 고가용성으로 네트워크가 사용되도록 플로우 제어 명령을 할당하게 된다.

더 나아가 새로운 SDN 스위치가 네트워크가 추가될 경우, 액세스 네트워크와 코어 네트워크 사이의 다중 경로를 재생성하는 확정성 또한 제공되어야 한다. 새로운 SDN 스위치 에이전트가 설정된 Role 정보를 SDN 컨트롤러 에이전트에 전송하고, SDN 컨트롤러 에이전트가 네트워크 토폴로지 및 경로 정보를 갱신함으로써 확장성을 제공할 수 있다. 스위치 Role 정보는 네트워크 정보를 생성하고 확장성을 제공하기 위한 알고리즘의 복잡도를 낮출 수 있기 때문에 SDN 환경에서는 매우 유용한 기법이라 말할 수 있겠다.

SDN 컨트롤러 에이전트가 컨트롤러에 탑재되는 것을 기본으로 하지만, SDN 컨트롤러 에이전트를 SDN 컨트롤러와 독립적인 네트워크 장치에 위치함으로써 컨트롤러의 부하를 분산시킬 수도 있다. 이와 같은 구조는 RESTful API를 이용해 구현함으로써 유연한 아키텍처를 제공할 수 있다.

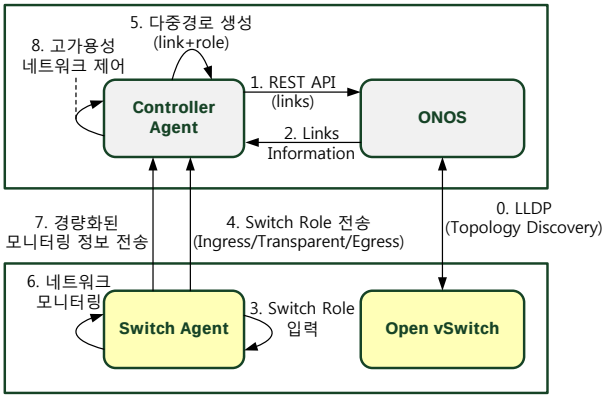



**그림 2. SDN 스위치/컨트롤러 에이전트 구조 및 동작과정**

## 3. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 SDN 컨트롤러의 부하를 낮추고 고가용성 네트워크 제어/관리를 제공하는 스위치 에이전트를 활용한 SDN 기반 고가용성 네트워크 제어/관리 아키텍처에 대해서 소개하였다. 향후 연구계획으로 스위치 Role을 기반으로 다중경로를 생성하는 알고리즘을 구체화하고, 트래픽 모티터링 정보를 활용한 고가용성 네트워크 제어를 지원하는 플로우 제어 알고리즘에 대해서 연구할 예정이다. 더 나아가 제안방안 검증을 위해 그림 2와 같이 Open vSwitch, ONOS 등을 활용한 테스트베드 구축 및 실증실험을 진행할 예정이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)

## 4. 참고 문헌

[1] David D. Clark, “The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols,” in Proc. SIGCOMM ‘88, Computer Communication Review, Vol. 18, No. 4, pp. 106–114, Aug., 1988.

[2] Postel, J.B., “Internetwork Protocol Approaches,” IEEE Transactions on Communications, Vol. 28, No. 4, pp. 604 – 611, April, 1980.

[3] Thomas D. Nadeau, Ken Gray, “SDN: Software Defined Networks,” O'Reilly Media, Aug., 2013.

# X-대역 질화갈륨 고출력증폭기 MMIC 설계

노윤섭°, 염인복

한국전자통신연구원 방송·미디어연구소

# Design of X-band GaN High Power Amplifier MMIC

Youn Sub, Noh° and InBok Yom

Broadcasting·Media Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

nohys@etri.re.kr

## 요 약

X 대역 질화갈륨(GaN) 고출력증폭기 MMIC 를 상용 0.25um GaN HEMT 공정을 이용하여 2 단 증폭기로 개발하였다. 제작된 고출력증폭기는 28V 의 드레인 전원 조건에서 출력전력 42.1dBm, 전력부가효율 37.75% ~ 41.55%의 성능을 8.5 ~ 10.5GHz 대역에서 갖는다. MMIC 의 크기는 3.65mm X 2.5mm 의 크기로 제작이 되었다.

## 1. 서론

고출력증폭기는 능동위상배열 안테나 시스템의 송수신 모듈(Transmit/Receive Module, TRM)의 핵심 부품으로 사용된다. 최근 GaN 소자 기반의 TRM 이 AESA[1]와 위성 SAR 시스템[2]-[4] 용으로 개발된 사례가 보고되고 있다.

최근 GaN 공정이 안정화 되면서 2009 년부터 미국의 Triquint 사가 상용 파운드리 서비스를 시작하였고, 2013 년에 유럽의 UMS 사와 2014 년에 대만의 WIN Semiconductors 사가 상용 파운드리 서비스를 본격적으로 시작하게 되었다. GaN HEMT 는 높은 출력전력과 높은 효율을 특징으로 GaAs 공정에 비해 약 4 배의 큰 출력전력 특성을 갖는다.

본 연구에서는 AESA 및 SAR 에 적용이 가능한 X 대역 고출력증폭기 MMIC 를 대만의 WIN Semiconductors 사의 0.25um GaN 공정을 이용하여 설계, 제작, 측정을 수행한 첫 번째 Iteration 결과로, 8.5~10.5GHz 대역에서 28V 의 드레인 전원 조건에서 출력전력 42.1dBm 및 효율 37.75%이상의 결과를 보인다.

## 2. 고출력증폭기 MMIC 설계 및 제작

X 대역 2 단 고출력증폭기 MMIC 는 대만의 WIN Semiconductors 사의 NP25-00 GaN HEMT 4-인치 공정을 이용하여 설계하였다. 이 공정은 항복전압 120V, 차단주파수 24.5GHz 와 28V 의 드레인 전압 조건에서 4W/mm 의 전력밀도 특성을 갖는다.

설계에 사용된 단위 트랜지스터는 8F125(8 finger, gate width=125 um)로 총 1mm 의 게이트 크기를 갖는다. 트랜지스터의 최대 출력전력 및 효율 특성을 확인하기 위하여 Source-pull 과 Load-pull 시뮬레이션을 수행하였고, 높은 출력전력과 높은 효율을 동시에 갖는 최적으로 선정된 소스 임피던스 ($Z_S$)는 2.2 + j11.1 Ohm, 로드 임피던스($Z_L$)는 12.7 + j30.5 Ohm 이다. 이 때의 8F125 HEMT 의 최대 출력전력은 37.1dBm 과 효율은 52%로 시뮬레이션 되었다. 초단은 8F125 1 개와 출력단에는 4 개를 사용하였으며, 모든 정합회로는 계산된 소스 및 로드 임피던스에 정합하였다.

제작된 고출력증폭기 MMIC 사진은 그림 1 과 같으며, 그 크기는 3.65mm X 2.5mm 에 기판의 두께는 0.1mm 이다.

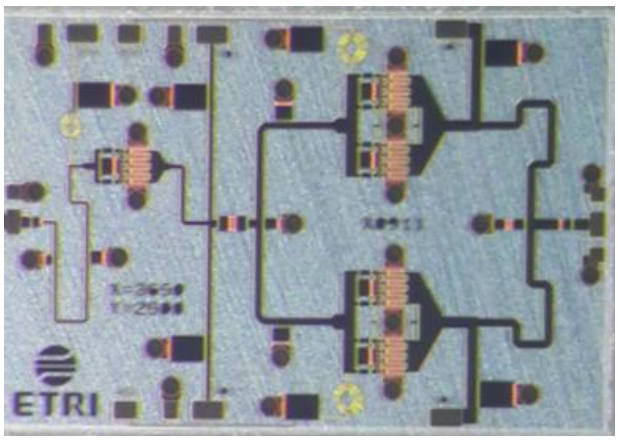



그림 1. 제작된 X 대역 GaN 기반 2 단 고출력증폭기 MMIC 사진

## 3. 고출력증폭기 MMIC 시험

X 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 를 시험하기 위하여 그림 2 와 같이 시험 지그를 제작 및 조립하였다.

2mm 두께의 CuW 재질의 캐리어 위에 MMIC 와 50 옴 알루미나 기판을 조립하고 MMIC 위와 아래에는 전원용 보드를 조립하였다. MMIC 는 유테틱 공정을 이용하였고 와이어 본딩은 1-mil 두께를 사용하여 조립하였다.

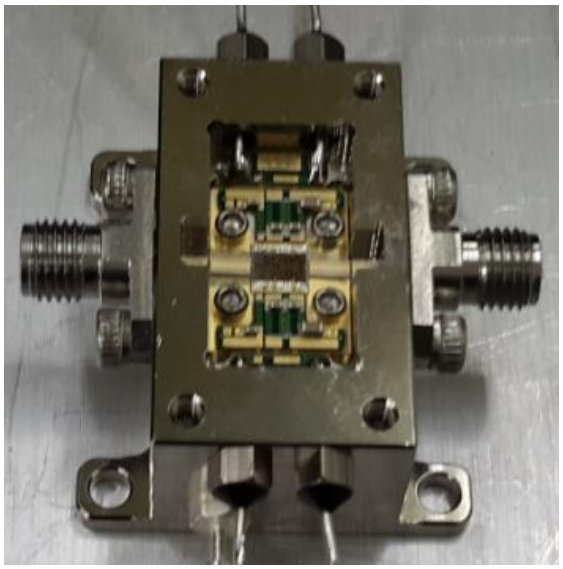


그림 2. 제작된 X 대역 GaN 기반 2 단 고출력증폭기 MMIC 시험 지그 사진

소신호 S-parameters 시험은 상온, CW 및 드레인 전압 28V 의 조건에서 수행되었으며, 동작점 전류가 250mA 가 되도록 게이트 전압을 설정한 후 시험하였다. 측정된 이득($S_{21}$)은 8.5~10.5GHz 대역에서 21.5 ~ 24dB 의 값을 보인다. 그리고 입력 및 출력 반사 손실은 같은 주파수 대역에서 $S_{11}$ 은 -7.4dB, $S_{22}$ 는 -10.1dB 보다 우수하다 (그림 3).

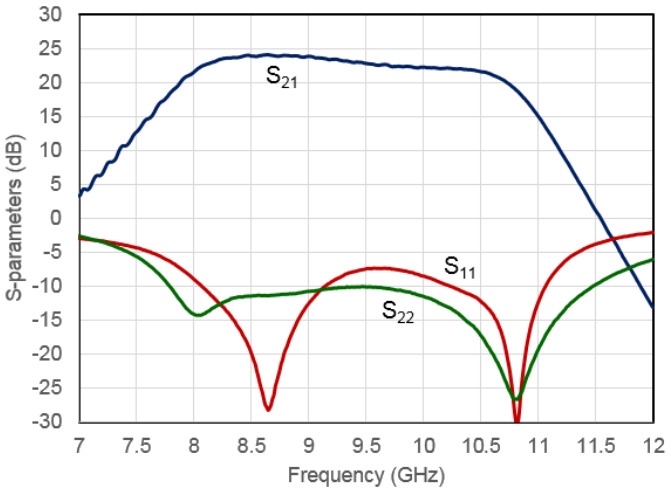



그림 3. 제작된 X 대역 GaN 기반 2 단 고출력증폭기 MMIC 의 S-parameters 시험결과

X 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 의 대신호 특성을 분석하기 위하여 펄스 시험을 수행하였다. 펄스폭 100 us, 듀티 10%으로 시험환경을 구축하였고 MMIC 는 동작점 전류 250mA 로 유지한 상태에서 RF 신호를 펄스 신호와 동기화 하여 입력하였다. 그림 4 는 MMIC 의 드레인 전압을 28V 와 30V 의 조건에서 입력전력 26dBm 에서의 결과이다. 28V 전압의 시험결과는 출력전력 약 42dBm 에 효율 약 40%의 성능을 보이며, 30V 조건에서는 출력전력 약 42.5dBm 에 효율 약 40%의 특성을 갖는다.

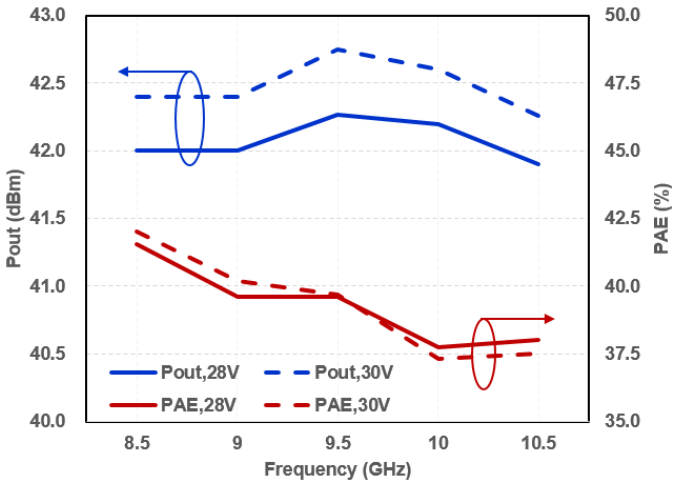



그림 4. 제작된 X 대역 GaN 기반 2 단 고출력증폭기 MMIC 의 대신호 시험결과

## 4. 결론

X 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 를 대만의 WIN Semiconductors 사의 NP25-00 HEMT 공정을 이용하여 첫 번째 Iteration 한 결과가 시험까지 성공적으로 수행되었다. 출력전력 42dBm(16W)급에 효율 40%의 우수한 성능을 보이며, 이 MMIC 는 AESA 와 다양한 SAR 시스템의 고출력증폭기로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 5. 참고 문헌

[1] R. Rieger, A. Klaaßen, P. Schuh, and M. Oppermann, "GaN Based Wideband T/R Module for Multi-Function Applications," *European Microwave Conference, Paris*, pp. 514-517, September 2015.

[2] A. Barigelli *et al.*, "Development of GaN based MMIC for next generation X-Band space SAR T/R module," *European Microwave Integrated Circuits Conference, Amsterdam*, pp. 369-372, October 2012.

[3] R. Giofre, P. Colantonio, and F. Giannini, "X-band MMIC GaN Power Amplifier for SAR Systems," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, pp. 2611-2616, November 2013.

[4] D. Resca *et al.*, "X-Band GaN Power Amplifier for Future Generation SAR Systems," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 24, pp. 266-268, April 2014.

## 6. Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (위성용 MMIC 기반 X-band GaN SSPA 개발)

# Ku-대역 15W 급 GaN 고출력증폭기 MMIC

노윤섭°, 염인복
한국전자통신연구원 방송·미디어연구소
nohys@etri.re.kr

## 1. 서론

차세대 Ku 대역 위성통신 기술에 고성능의 GaN 기술이 각광받고 있으며, 최근 기술의 성숙과 더불어 Ka 대역까지도 GaN HPA MMIC 가 개발이 되고 있다[1]. 기존의 GaAs 고출력증폭기는 9W 까지의 출력전력 특성을 보이며[2]-[3], GaN 고출력증폭기는 17.5W 의 출력전력을 나타낸다. [4].
본 논문에서는 대만의 WIN Semiconductors 사의 NP25-00 공정을 이용한 Ku 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 를 개발하였고, 12.5 ~ 15GHz 대역에서 출력전력 약 42dBm, 효율 약 27%의 특성을 갖는다.

## 2. Ku 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 설계

0.25um GaN HEMT 단위 트랜지스터로 8F75(8Finger, gate width=75 um)로 총 0.6mm 의 게이트 크기를 갖는다. 2 단 고출력증폭기 구조로 초단에는 4 개, 출력단에는 8 개의 단위소자가 사용되었고, 단위 소자의 Source-pull 과 Load-pull 시뮬레이션을 통한 최적의 임피던스에 입력. 중간단, 출력단 정합회로를 설계하였다.
그림 1 은 제작된 Ku 대역 GaN 2 단 고출력증폭기 사진으로 크기는 3.7mm X 4mm 이다.

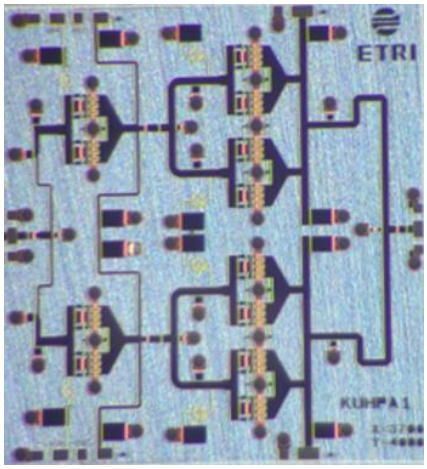



그림 1. 제작된 Ku 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 사진

드레인 전압 28V 및 동작점 전류 300mA 조건에서 시험된 MMIC 의 이득($S_{21}$)은 12.5~15GHz 대역에서 18.8dB 이상, 입력($S_{11}$)과 출력($S_{22}$) 반사손실은 모두 -9dB 이하이다 (그림 2). 대신호 특성으로 최대 출력전력은 12.5~15GHz 대역에서 41.37 ~ 42.5dBm, 효율은 23~29.8%의 성능을 갖는다 (그림 3). 2 차 설계는 높은 주파수 특성을 개선하여 14.5GHz 대역까지 출력 42dBm 이상 및 효율 28% 이상의 성능이 가능할 것으로 판단된다.

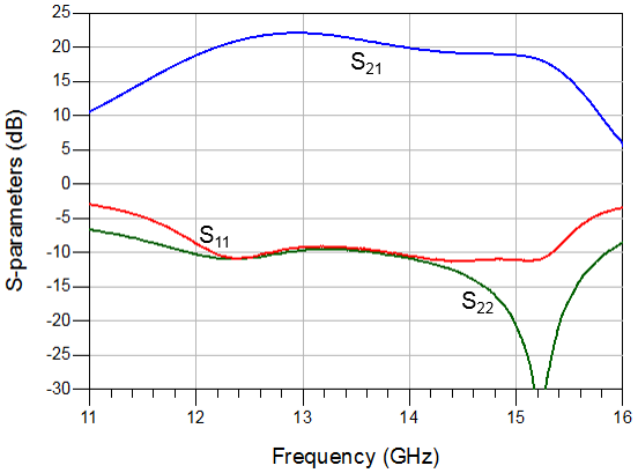



그림 2. Ku 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 소신호 성능

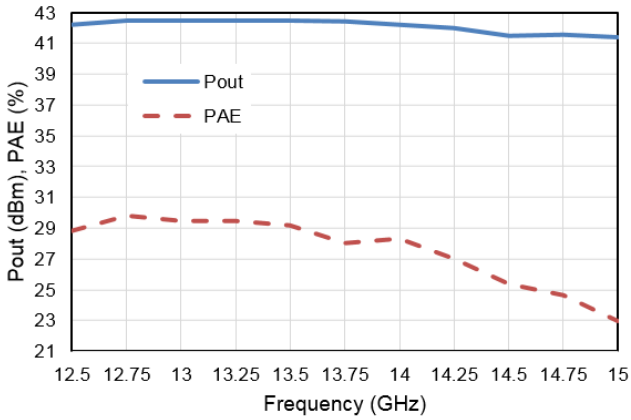



그림 3. Ku 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC 대신호 성능

## 3. 참고 문헌

[1] Campbell, C., *et al*., 'GaN Takes the lead', *IEEE Microwave Magazine*, 2012, pp. 44-53
[2] Zhang, Q., and Brown, S., 'Fully Monolithic 8 Watt Ku-Band High Power Amplifier', *IEEE IMS*, 2004, pp. 1161-1164.
[3] Lin, C., *et al*., "A Fully Matched Ku-band 9W PHEMT MMIC High Power Amplifier," *IEEE CSICS*, 2006, pp. 165-168
[4] Y.S. Noh, Y.H. Choi and I.B. Yom, 'Ku-band GaN HPA MMIC with high-power and high-PAE performances', *IET EL*, 2014, pp. 1361-1363

## 4. 기타

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (위성용 MMIC 기반 X-band GaN SSPA 개발)

# L-band 지원 Class-J 급 고효율 광대역 전력증폭기 설계

최세환°, 명봉식, 이호준

전자부품연구원 ICT 디바이스·패키징연구센터

# Class-J mode High Efficiency and Wideband Power Amplifier for L-Band

Sehwan Choi°, Bongsik Myeong, Hojun Lee

ICT Device and Packaging Research Center, KETI

shchoi@keti.re.kr

## 요 약

본 논문에서는 GaN HEMT 소자를 이용하여, 1250 MHz ~ 1850 MHz 대역에서 동작하는 전력증폭기를 설계하였다. 전력증폭기의 광대역과 고효율 특성을 동시에 얻기 위해 Class-J 급으로 설계되었으며, 시뮬레이션 결과로써, L-Band 에서 출력 48 dBm, PAE 68%, Gain 13.8 dB 를 얻을 수 있었다.

## 1. 서론

이동통신의 발전과 함께 초고속통신의 통신속도 증가가 지속되고 있다. 이와 함께, 통신 시스템의 광대역화가 진행되고 있으며, 이를 위해서는 전력증폭기의 광대역화와 효율개선이 요구되고 있다. 최근 군의 전략전술 체계분야에서도 전술정보 통신체계(TICN)망 구축이 진행되고 있으며, TICN 망의 안정된 시스템 구축과 백업을 위한 중계기 시스템이 필수적인 상황이다. 이 시스템에서도 초광대역을 지원하는 전력증폭기의 효율개선, 높은 선형성, 넓은 대역폭을 갖는 전력증폭기가 연구되어야 한다.

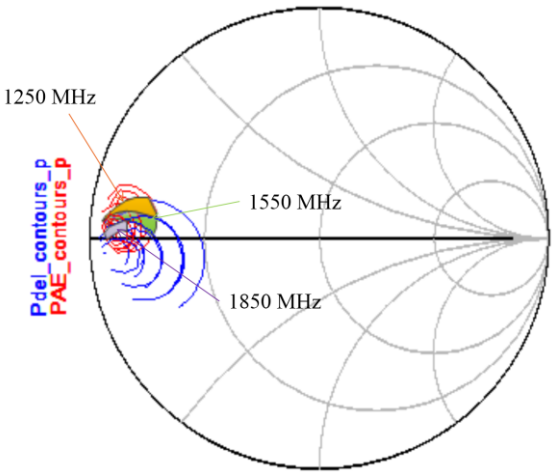
높은 효율을 갖는 전력증폭기에는 Class-E, Class-F 와 같은 스위칭 모드 전력증폭기가 있으나, 이러한 전력증폭기는 선형성이 좋지 않고, 구현이 어려운 단점이 있다[1][2][3]. 본 논문에서는 GaN HEMT 소자를 이용하여 스위칭 모드 전력증폭기의 고효율 특성과 선형 전력증폭기의 높은 선형성과 광대역 특성을 모두 갖는 Class-J 급 전력증폭기를 설계하였다.

## 2. 본론

GaN HEMT 소자를 이용하여 Class-J 급 전력증폭기를 설계하기 위해서는, 패키징되어 있는 트랜지스터의 내부에 존재하는 드레인-소스 캐패시턴스를 이용하여 3 차 하모닉 이상의 성분들을 모두 단락 시켜야 한다. 또한, 각 트랜지스터에 따라 최대 전력을 전달 할 수 있는 1 차 하모닉 임피던스와 2 차 하모닉 임피던스를 찾아내어, 이에 임피던스 정합 회로를 구성하여야 하고, 특히, 2 차 하모닉 임피던스는 리액턴스 성분이 저항성분보다 큰 값을 갖도록 정합 회로를 구성하여, 1 차 하모닉의 전압과 전류 위상차를 조율하여 전력 손실이 최소가 되도록 설계되어야 한다.

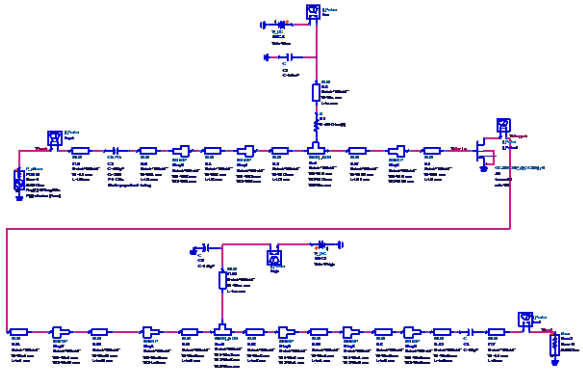
본 논문에서는 63W 의 Class-J 급 전력증폭기를 설계하기 위해서, CREE 사의 120W GaN HEMT 소자인 CGH40120F 를 사용하였고, 전력증폭기 회로는 CREE 사에서 제공하는 비선형 모델을 RF 회로 시뮬레이터인 Advanced Design System 에 넣어 로드풀과 소스풀 시뮬레이션을 수행하여 설계되었다.

바이어스 포인트를 결정하기 위해 B($V_{GS}$ = -3.3 V)급과 AB($V_{GS}$ = -2.7 V)급을 비교하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 바이어스에 따라 매칭을 위해 요구되는 임피던스의 차이가 존재하였고, 출력과 효율 사이의 trade-off 가 존재하였지만, 그 결과 차이는 적어, 선형성을 고려하여 AB 급 바이어스로 결정하였다.




<그림 1. 로드풀 시뮬레이션으로 얻어진 주파수에 따른 $P_{del}$ 과 PAE Circle 변화>

Class-J 급 동작을 위해 필요한 2 차하모닉의 임피던스를 리액턴스 성분만을 갖는 가상의 임피던스로 설정한 후, 로드풀 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 그림 1 과 같이 주파수가 높아질수록 스미스차트에서 반시계 방향으로 변해야 하며, 원하는 파워와 효율을 얻기 위한 임피던스 범위가 좁아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 1 차 하모닉 임피던스를 가상의 임피던스로 설정하고, 2 차 하모닉 주파수에 대한 로드풀 시뮬레이션을 수행한 결과, 중심주파수인 1550 MHz 대역에서 가장 좁은 임피던스 범위가 나타났으며, 2 차 하모닉 임피던스는 0 ~ +j20 ohm 사이의 값을 가져야 함을 알 수 있었다.

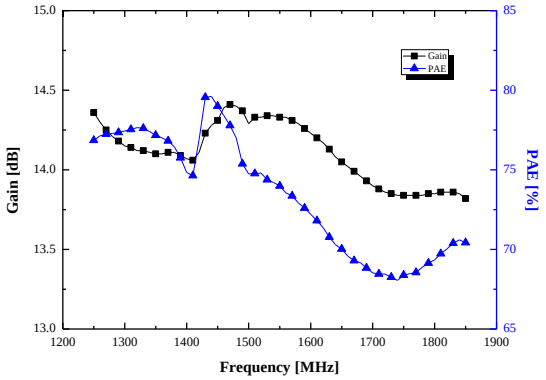


<그림 2. GaN HEMT 를 이용한 Class-J 급 전력증폭기 회로도>

유사한 방식으로 입력 임피던스를 알아보기 위한 소스풀 시뮬레이션을 수행하였으며, 상당히 넓은 대역에서 비교적 안정적인 임피던스 범위를 가지고 있었고, 1 차 하모닉 주파수 임피던스가 잘 설정이 되면, 2 차 하모닉 임피던스와는 상관없이 72% 이상의 효율이 나오는 것을 알 수 있었다.

이러한 과정을 통해 1250 MHz ~ 1850 MHz 대역에서 68% 이상의 효율과 48 dBm 의 출력 파워를 얻기 위한 입출력 임피던스가 결정되었다. 결정된 입력 임피던스와의 매칭회로는 2 차 하모닉의 영향이 적기 때문에 광대역 특성을 위해 2 차 하모닉 임피던스를 고려하지 않고 매칭회로를 구성하였다. 출력 임피던스의 경우에는 2 차 하모닉 임피던스에 따른 효율 변화가 크기 때문에 2 차 하모닉 임피던스를 최적화하는 형태의 매칭회로를 구성하였고, 입력 임피던스가 변화할 경우, 1 차 하모닉 출력 임피던스가 크게 조정됨에 따라, 68% 이상의 효율이 나올 수 있는 형태에 중점을 두어 매칭회로를 설계하였다. 그림 2 는 이와 같이 설계된 Class-J 급 전력증폭기의 회로도를 보여주고 있다.

설계된 전력증폭기의 최종 특성을 살펴보면, 입력이 34.2 dBm 인 경우, 600 MHz 전 대역에 걸쳐 48 dBm 의 출력전력을 얻을 수 있었으며, 이때, Gain 은 13.8 dB, PAE 는 68% 이상의 결과로 나타났다. 그림 3 은 L-band 에서의 최종 설계된 전력증폭기의 Gain 과 PAE 의 성능 특성을 나타내고 있다.




<그림 3. 설계된 전력증폭기의 Gain 과 PAE 결과>

## 3. 참고 문헌

[1] P. Wright, J. Lees, J. Benedikt, P. J. Tasker and S. C. Cripps, "A Methodology for Realizing High Efficiency Class-J in a Linear and Broadband PA," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 57, no. 12, pp. 3196-3204, Dec. 2009.

[2] S. Rezaei, L. Belostotski, F. M. Ghannouchi and P. Aflaki, "Integrated Design of a Class-J Power Amplifier," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 61, no. 4, pp. 1639-1648, April 2013.

[3] Jing Xia, Xiao-Wei Zhu and Lei Zhang, "A Linearized 2–3.5 GHz Highly Efficient Harmonic-Tuned Power Amplifier Exploiting Stepped-Impedance Filtering Matching Network," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 24, no. 9, pp. 602-604, Sept. 2014.

## 4. Acknowledgement

본 연구는 민·군기술협력사업(15-CM-MC-07), Digital Pre-Distortion (DPD) 기법을 적용한 L-band Class-J 고효율 전력증폭기 개발의 연구결과로 수행되었습니다.

# 위성통신을 위한 4W 급 Ka 대역 GaN 전력증폭기 MMIC

최윤호°, 노윤섭, 염인복
한국전자통신연구원
wing0123@etri.re.kr, nohys@etri.re.kr, ibyom@etri.re.kr

## 1. 서론

전자전(EW) 시스템 및 위성통신(SATCOM) 등에 적용되는 Ka 대역 전력증폭기는 민수/군수 분야에서 중요한 부분 중 하나이다. 이러한 Ka 대역 전력증폭기는 최근에 GaN (gallium nitride) 기술이 GaAs (gallium arsenide) 기술을 대신해 적용됨으로 인하여 시스템 전반의 크기를 줄이는 동시에 높은 전력밀도와 고효율 특성을 보이고 있다. [1]

## 2. 본론

Ka 대역 전력증폭기 MMIC 는 상용 4 인치 0.15um GaN HEMT 를 사용하여 설계하였다. 사용된 0.15um GaN 트랜지스터는 60V 의 항복전압과 65GHz 의 Cut-off 주파수, 20V 의 드레인 전압에서 3.45W/mm 의 출력전력밀도를 갖는다.

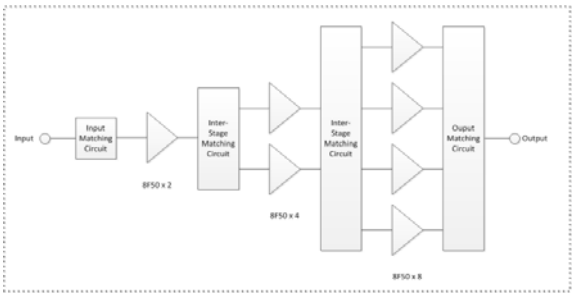



그림 1. Ka 대역 GaN 전력증폭기 Block Diagram

그림 1 은 3 단의 Ka 대역 GaN 전력증폭기의 Block Diagram 이다. 1:2:4 구조로 설계되었으며, 입력 및 출력 정합회로는 단위 셀 트랜지스터(8x50um, 8F50)의 Load-Pull/Source-Pull 시뮬레이션 결과를 기반으로 하여 최대 출력전력과 전력 부가효율을 얻을 수 있도록 최적화하였다.

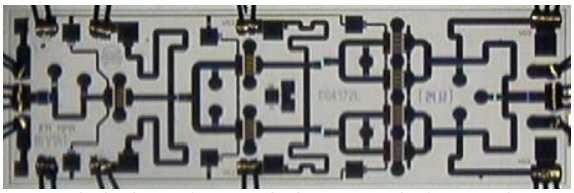
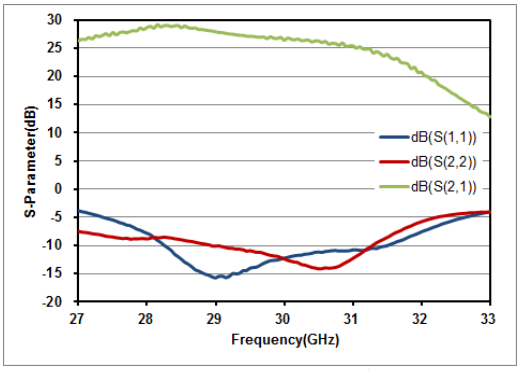


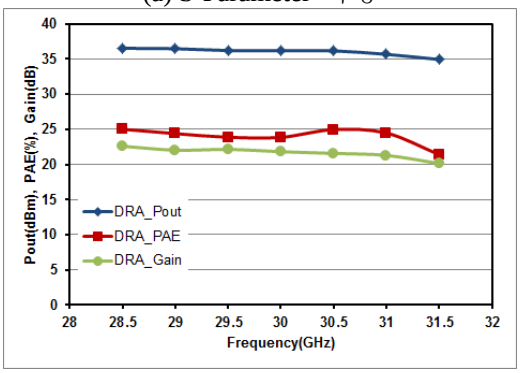
그림 2. 제작된 3 단 Ka 대역 GaN 전력증폭기 MMIC

그림 2 는 제작된 3 단의 Ka 대역 GaN 전력증폭기 MMIC 를 보여준다. 전력증폭기 MMIC 의 크기는 3.4mm x 1.2mm 이며, 두께는 100um 이다.

측정된 소신호 S-Parameter 특성과 입력전력 14dBm 에서 주파수에 따른 출력전력 및 전력부가효율, 이득을 그림 3 에 나타내었다. CW 조건에서 드레인 전압 20V 와 280mA 의 동작전류에서 측정하였다. 29~31GHz 의 주파수 대역에서 소신호 이득(S21)은 25.4dB 이상으로 측정되었다. 그리고 이 주파수 대역에서 35.7~36.5dBm 의 출력전력과 23.9~25.0%의 전력부가효율 특성이 측정되었다.




(a) S-Parameter 특성




(b) 주파수에 따른 출력전력, 전력부가효율 및 이득 특성 (@Pin=14dBm)

그림 3. Ka 대역 GaN 전력증폭기 측정결과

## 3. 결론

0.15um GaN HEMT 기술을 사용한 3 단의 고출력, 고효율 Ka 대역 전력증폭기 MMIC 가 설계, 제작, 측정되었다. 29~31GHz 의 주파수 대역에서 4W 의 출력전력과 24%의 전력부가효율의 결과를 얻었다. Ka 대역 전력증폭기는 3.4x1.2mm$^2$ 의 크기로 제작되었으며, 이는 출력전력밀도가 약 980mW/mm$^2$ 임을 나타낸다.

## 4. 참고 문헌

[1] Cheron, J. et al, “High-Efficiency Power Amplifier MMICs in 100nm GaN Technology at Ka-band Frequencies,” *Proc. Eur. Microw. Integ. Circuits Conf.(EuMIC)*, 2013, pp. 492-495.

## 5. Acknowledgment

본 연구는 방위사업청/산업통상자원부 및 민군기술협력센터의 민군겸용기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [13-DU-EE-10, Ka 대역 GaN MMIC 기반 SSPA 개발]

# 5G 이동통신을 위한 GaN 고출력증폭기 MMIC

최윤호°, 노윤섭, 염인복
한국전자통신연구원
wing0123@etri.re.kr, nohys@etri.re.kr, ibyom@etri.re.kr

## 1. 서론

5G 이동통신을 위한 전력증폭기는 높은 PAPR 을 갖는 신호의 특성 때문에 원하는 출력전력보다 높은 출력을 갖는 고출력증폭기가 필요하다. 그뿐만 아니라 이동통신의 특성상 저비용/고출력/고효율의 시스템이 요구되고 있다.

GaN 기술 기반의 고출력증폭기는 같은 면적을 가지는 GaAs 기반의 고출력증폭기에 비해 5 배 이상의 출력전력을 낼 수 있기 때문에, 적은 수의 고출력 GaN MMIC 가 많은 수의 저출력 GaAs MMIC 를 대체할 수 있다. 이는 시스템 전반의 크기를 줄임으로 인하여 개발 비용이 줄어드는 것을 의미한다. [1]

## 2. 본론

3 단의 고출력증폭기 MMIC 는 상용 4 인치 0.15um GaN HEMT 를 사용하여 설계하였다. 사용된 0.15um GaN 트랜지스터는 60V 의 항복전압과 65GHz 의 Cut-off 주파수, 20V 의 드레인 전압에서 3.45W/mm 의 출력전력밀도를 갖는다.

GaN 기술 기반의 전력증폭기는 8x50um(8F50)의 단위 셀을 이용하여 1:2:4 구조로 설계되었으며, 입력 및 출력 정합회로는 단위 셀 트랜지스터의 Load-Pull/Source-Pull 시뮬레이션 결과를 기반으로 하여 최대 출력전력과 전력 부가효율을 얻을 수 있도록 최적화하였다.

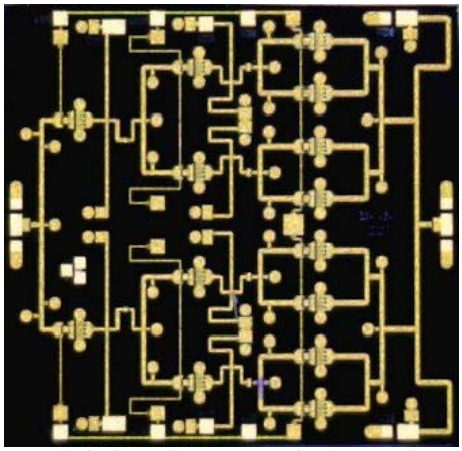
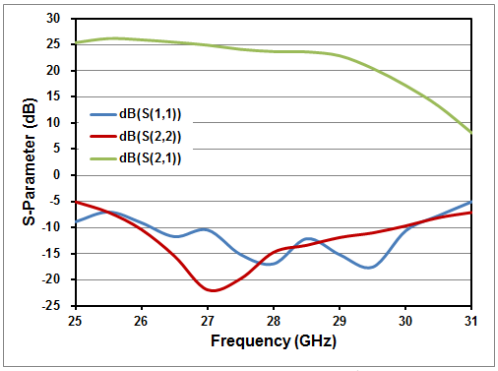


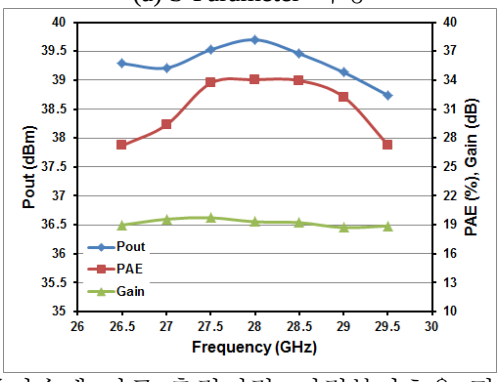
그림 1. 제작된 3 단 GaN 고출력증폭기 MMIC

그림 1 은 제작된 3 단의 GaN 고출력증폭기 MMIC 를 보여준다. 전력증폭기 MMIC 의 크기는 3.4mm x 3.3mm 이며, 두께는 100um 이다.

측정된 소신호 S-Parameter 특성과 입력전력 20dBm 에서 주파수에 따른 출력전력 및 전력부가효율, 이득을 그림 2 에 나타내었다. 고출력증폭기 MMIC 는 드레인 전압 20V 와 560mA 의 동작전류 조건에서 측정하였다. 27~29GHz 의 주파수 대역에서 소신호 이득(S21)은 22.9dB 이상으로 측정되었다. 그리고 이 주파수 대역에서 39.1~39.7dBm 의 출력전력과 29.4~34.1%의 전력부가효율 특성이 측정되었다.




(a) S-Parameter 특성




(b) 주파수에 따른 출력전력, 전력부가효율 및 이득 특성 (@Pin=20dBm)

그림 2. GaN 고출력증폭기 측정결과

## 3. 결론

5G 이동통신을 위한 3 단의 고출력, 고효율의 고출력증폭기 MMIC 가 0.15um GaN HEMT 기술을 사용하여 설계, 제작, 측정되었다. 27~29GHz 의 주파수 대역에서 8.7W 의 출력전력과 32.7%의 전력부가효율의 결과를 얻었다. 고출력증폭기 MMIC 는 3.4x 3.3mm$^2$ 의 크기로 제작되었으며, 이는 출력전력밀도가 약 778mW/mm$^2$ 임을 나타낸다.

## 4. 참고 문헌

[1] Nicholas J. Kolias et al, “GaN Technology for Microwave and Millimeter Wave Applications,” *IEEE MTTS-IMS*, 2010.

## 5. Acknowledgment

본 연구는 방위사업청/산업통상자원부 및 민군기술협력센터의 민군겸용기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [13-DU-EE-10, Ka 대역 GaN MMIC 기반 SSPA 개발]

# 임펄스성 잡음 환경에서 M-PSK 성능 분석

오형국, 남해운

한양대학교 전자통신공학과

# Performance Analysis of M-PSK in Impulsive Noise Environment

Hyungkook Oh, Haewoon Nam

Department of Electronic Communication Engineering, Hanyang University

{ohhk,hnam}@hanyang.ac.kr

## 요 약

대부분의 통신 시스템은 가우시안 잡음 환경을 가정하지만 그 가정이 틀릴 수 있다. 특히, 비가우시안 잡음의 경우에 대부분 임펄스성 잡음으로 가정한다. 수많은 임펄스성 잡음환경 중, Middleton class A 잡음이 물리적 및 통계적 특징을 반영하므로 이 잡음을 가정한다. 이 논문은 Middleton class A 잡음 환경에서 M-phase shift keying 통신시스템에 관해 성능 분석을 한다. 실험 결과는 성능 분석 및 실험 결과를 비교분석한다.

## 1. 도입

가우시안 잡음에 최적화된 대부분의 통신 기기들은 비가우시안 잡음 환경에서 최적화된 성능을 내지 못한다. 이러한 비가우시안 잡음 환경에서 대부분 임펄스성 잡음으로 가정한다. 대부분의 임펄스성 잡음중에서 Middleton class A 잡음이 물리적 및 통계적 특징을 반영하기 때문에 본 논문에서 이 잡음을 가정한다 [1]. 기존의 가우시안 잡음 환경에 최적화된 수신기는 임펄스성 잡음 환경에서 최적화된 성능을 보여주지 못하므로 이 수신기에 대한 성능 분석이 필요하다. [2]는 전력선통신의 직교 주파수 분할 변조 (OFDM) 시스템이 Ricean 채널 및 임펄스성 잡음 환경에서의 성능을 분석했다. [3]은 임펄스성 잡음과 가우시안잡음이 혼재한 잡음 환경에서 M-phase shift keying (M-PSK) 의 성능을 분석한다. 하지만 [3]의 분석 결과는 적분식으로만 표현되어 있다. 지금까지 연구결과는 오버샘플링 없이 성능분석을 하였다. 하지만 비선형블락을 사용한 수신기는 오버샘플링을 이용하므로 오버샘플링을 고려한 성능분석이 필요하다. 본 논문은 기존의 연구와 달리 오버샘플링을 하였을 때의 성능을 분석한다. 다음 장에서 시스템의 설명 및 성능 분석 그리고 실험결과 및 결론을 말한다.

## 2. 본문

Middleton class A 잡음의 확률 밀도 함수 (PDF)는 아래와 같이 정의한다.

$$f_X(x) = \sum_{m=0}^{\infty}\left[\frac{A_A^m}{m!}\exp(-A_A)\right]\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_m^2}}\exp\left(-\frac{x^2}{2\,\sigma_m^2}\right) \quad (1)$$

$A_A$ 는 Class A 모델에서의 중첩 지수 또는 충격지수(impulsive index)인데 단위 초(second)당 평균 노이즈 신호 방사 수와 신호의 평균 방사 길이를 곱한 형태로 구해진다. 그리고, $\sigma_m^2$ 는 아래와 같이 정의한다.

$$\sigma_m^2 = \frac{(m/A_A + \Gamma_{A'})}{(1+\Gamma_{A'})} \quad (2)$$

그리고 $\Gamma_{A'} = \sigma_{G^2}/\Omega_{2A}$ 로 정의되며 $\sigma_{G^2}$ 은 노이즈 신호에서 가우시안 성분의 평균 전력이고 $\Omega_{2A}$ 는 비가우시안 성분의 평균 전력이다.

수신신호는 아래와 같이 정의한다.

$$Y = X + I \quad (3)$$

(3)에서 X 는 오버샘플링된 M-PSK $x_i$ 의 심볼의 벡터이고 I는 오버샘플링된 Middleton class A 잡음 샘플 $I_i$의 벡터이다. 그리고 Y는 오버샘플링된 수신 신호의 샘플 $y_i$ 이다. 기저대역 (Baseband) 에서 M-PSK 심볼은 $\left\{\exp\left(\mathrm{j}\left(2\pi\cdot\frac{1}{\mathrm{M}}\right)\right),\cdots,\exp\left(\mathrm{j}\left(2\pi\cdot\frac{(M-1)}{\mathrm{M}}\right)\right)\right\}$ 이고 파워는 $\sigma_s^2$ 이다. (3)에 기반하여 가우시안 잡음 기반의 기존의 수신기는 아래와 같이 정의한다.

$$\hat{x} = \min_{x_i}\left( ang\left(\sum_{i=1}^{N} y_i\right) - ang(x_i)\right) \quad (4)$$

(4)에서 $ang(x)$은 $x$의 위상이다.

(4)에 기반한 M-PSK 의 성능 분석은 아래와 같이 진행한다. 큰 신호대비잡음 파워비 $\rho_s$(SNR)와 M 덕분에 아래와 같이 식이 정리 된다 [5].

$$\begin{aligned} P_S &\approx 1 - \int_{-\frac{\pi}{M}}^{\frac{\pi}{M}} \sqrt{\frac{\rho_s}{\pi}} \cos\theta\, e^{-\rho_s(\sin\theta)^2} d\theta \\ &\approx \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{2\rho_s}\sin\left(\frac{\pi}{M}\right)}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du \\ &= 2Q\left(\sqrt{2\rho_s}\sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right) \\ &= 2Q\left(\sqrt{2\log_2 M \left(\sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right)^2 \frac{\sigma_s^2}{M\cdot N_0}}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

(5)에서 $N_0$ 은 가우시안 잡음의 파워이고 $\log_2 M$ 은 밑이 2 이고 대수가 $M$ 인 로그함수이다. (5)는 기존의 가우시안 잡음에 대한 수신기의 M-PSK 시스템에서의 심볼 오류율 (SER)을 보여준다. (1)과 (5)를 사용하여 Middleton class A 잡음에 관한 M-PSK 의 SER 은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} P_S &\approx \sum_{m=0}^{\infty}\left[\frac{\boldsymbol{A_A^m}}{\boldsymbol{m!}}\exp(-\boldsymbol{A_A})\right] \\ 2Q&\left(\sqrt{2\log_2 M \left(\sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right)^2 \frac{\sigma_s^2}{M\cdot\sigma_m^2}}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

오버샘플링된 $x_i$를 더하면 $N\cdot\sigma_s$이고 파워는 $N^2\cdot\sigma_s^2$ 이다. 또한 오버샘플링된 $I_i$ 를 더하면 (1)은 poisson 부분의 $A_A$는 $N\cdot A_A$으로 대체되고 가우시안 부분에서 $\boldsymbol{\sigma_m^2}$은 $\boldsymbol{\sigma_{mN}^2}$으로 아래와 같이 바뀐다 [6].

$$\sigma_{mN}^2 = \frac{(m/A_A + N\cdot\Gamma_{A'})}{(1+\Gamma_{A'})} \quad (7)$$

(7) 및 오버샘플링까지 고려하여 $\sigma_s^2 \to N^2\sigma_s^2$ 및 $\sigma_m^2 \to \sigma_{mN}^2$를 대입하여 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_S &\approx \sum_{m=0}^{\infty}\left[\frac{N^m\boldsymbol{A_A^m}}{\boldsymbol{m!}}\exp(-\boldsymbol{N\cdot A_A})\right] \\ 2Q&\left(N\sqrt{2\log_2 M \left(\sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right)^2 \frac{\sigma_s^2}{M\cdot\sigma_{mN}^2}}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

## 3. 실험 결과 및 결론

실험환경은 (3)에 기반하고 M 은 8 그리고 16 이다. 오버샘플링은 10 이다. 파리미터 조합 $(\boldsymbol{A_A}, \Gamma_{A'})$은 (0.35,0.0005) 및 (0.1,0.1)이다. 그림 1 은 실험환경 설정에 따른 성능 분석 이론과 실험결과를 표현한다. SNR 이 너무 낮으면 SER 이 약간의 오차를 보이지만 SNR 이 충분히 크면 SER 의 이론과 실험결과는 오차가 거의 없다. 또한 M 이 커질수록 이론과 실험결과의 오차 또한 점점 적어진다.

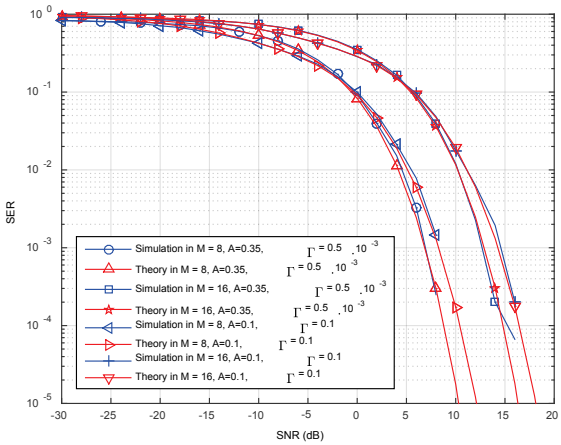



**그림 1. 실험환경에 따른 기존의 수신기의 성능 분석 이론 및 실험 결과.**

기존의 연구결과와 다르게 본 논문은 오버샘플링된 수신신호의 SER 을 성능 분석을 간단한 식으로 유도하였고 실험결과와 비교하였다. 결론적으로 SNR 과 M 이 충분히 크다면 그 오차가 거의 없음을 보였다.


## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터의 지원을 받아 수행되었음.


## 4. 참고 문헌


[1] D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-19, no. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.

[2] S.P. Majumder and M.M. Rahman, "Performance analysis of a power line communication with fading over non-white impulsive noise channel," in *Information Technology, Towards New Smart World, 2015 5th National Symposium on*, pp. 1-5, Feb. 2015.

[3] S. Oshita, "PePeroformance of Chohrent M-ary PSK Systems in an Impulsive and Gaussian Noise Environment," *IEEE Transactions on Communication*, vol. 30, no. 11, pp. 2458-2464, Nov. 1982.

[4] J. G. Proakis and M. Salehi, *Essentials of Communication Systems Engineering*, Prentice Hall, 2005.

[5] Y. Matsumoto, K. Gotoh and K. Wiklundh, "Band-Limitation Effect on Statistical Properties of Class-A Interference," in Proc. IEEE. EMCEUROPE, Sept. 2008, pp. 1-5.

# 유한체 상의 노름 함수를 이용한 복소 상관특성이 좋은 주기 $p^2-1$인 p진 수열군 생성

송민규, 송홍엽, 이장용*

연세대학교, 국방과학연구소*

# A p-ary sequence family of period $p^2-1$ with good complex correlation property constructed by using field norm

Min Kyu Song, Hong-Yeop Song, and Jang Yong Lee

Yonsei University, Agency for Defence Development

{mk.song, hysong}@yonsei.ac.kr, flukelee@add.re.kr

요 약

본 논문에서는, 유한체 상에서 정의되는 노름 함수를 이용하여 생성한 주기 $p^2-1$인 p진 수열을 분석하고, 이를 이용한 간단한 수열군 생성 방법을 제안한다. 제안하는 수열군의 크기는 $p-1$이고, 비 자명 최대 자기/상호상관 절대값은 $p+1$로 상계된다.

## 1. 서론

복소 상관 특성이 좋은 수열군은 코드분할 다중접속(CDMA) 등의 무선통신 시스템 에서 다양하게 사용되고 있다[1]. 대부분의 실제 시스템에서는 구현의 용이함 때문에 주로 이진 수열들을 채택하고 있지만, 다중위상 수열군의 설계 및 응용에 대한 연구 또한 지속적으로 이루어지고 있다.

본 논문에서는 유한체 상의 노름 함수(norm function)을 이용한 수열 생성을 제안/분석하고, 이를 이용한 간단한 수열군 생성 방법을 제안한다.

## 2. 노름 함수를 이용한 수열군 생성

임의의 소수 p 에 대해, 크기가 $p^2$ 인 유한체 $GF(p^2)$와 $GF(p^2)$의 어떤 원시원소 $\alpha$를 생각해 보자. 이때, 노름 함수 $N_1^2(x)$는, 유한체 $GF(p^2)$의 어떤 원소 x를 $GF(p)$로의 원소로 대응시키는 함수로써,

$$N_1^2(x) = x^{1+p}$$

로 정의된다. 이 노름 함수를 이용하여, 정의 1 과 같은 수열의 생성을 생각 할 수 있다.

**정의 1** : 임의의 소수 p에 대해, 수열 n(t)를 다음과 같이 정의한다.

$$n(t) = N_1^2(\alpha^t + 1)$$

여기서, $t = 0,1,\cdots,p^2-2$ 이다.

**정리 1** : 정의 1 에 따라 생성한 수열 n(t)의 주기는 $p^2-1$이다.

증명 : 수열의 주기와 노름 함수의 정의를 생각해 보면, 수열 n(t)의 주기가 $p^2-1$임을 쉽게 알 수 있다. 수열 n(t)의 주기가 L이라고 가정하면,

$$n(t) - n(t+L) = (\alpha^t+1)^{1+p} - (\alpha^{t+L}+1)^p = 0$$

을 만족해야 한다. 이때, $\alpha$ 가 $GF(p^2)$의 원시원소이기 때문에, 이를 만족시킬 수 있는 L이 $q^2-1$의 배수가 되는 것은 자명하다. ■

노름 함수의 특성으로부터, 수열 n(t)에서 0 이 한 번, 0 이 아닌 원소가 정확히 $\frac{p^2-1}{p-1} = p+1$ 번 나타나는 것을 쉽게 알 수 있다.

**정리 2** : 임의의 순환 지연 $\tau \not\equiv 0 \pmod{p^2-1}$에 대해, 정의 1 에 따라 생성한 수열 n(t)의 주기적 복소 자기 상관을

$$C_n(\tau) = \sum_{t=0}^{p^2-2} e^{j\frac{2\pi}{p}[n(t)-n(t+\tau)]}$$

같이 정의 할 때, $|C_n(\tau)|$는 다음의 상계를 갖는다.

$$|C_n(\tau)| \le p+1.$$

증명 : $|C_n(\tau)|$의 상계는 $n(t)-n(t+\tau)$의 심볼 분포를 통해서 유도할 수 있다. 임의의 $GF(p)$상의 원소 $\delta$가 $n(t)-n(t+\tau)$에서 나타나는 위치는

$$n(t) - n(t+\tau) - \delta = (\alpha^t+1)^{1+p} - (\alpha^{t+L}+1)^{1+p} - \delta = 0$$

의 해이다. 전개의 편의를 위해 $\alpha^t$를 x로 치환하면, 위 식은

$$(x+1)^{1+p} - (\alpha^L x+1)^{1+p} - \delta = 0$$

이 된다. 따라서, 이 식은 x에 대한 $p+1$차 다항식이 되고, $GF(q^2)$에서 최대 $p+1$개의 근을 갖는다. 따라서, 이를 통해 $n(t)-n(t+\tau)$에서 임의의 $GF(p)$상의 원소가 최대 $p+1$번 나타남을 알 수 있다.

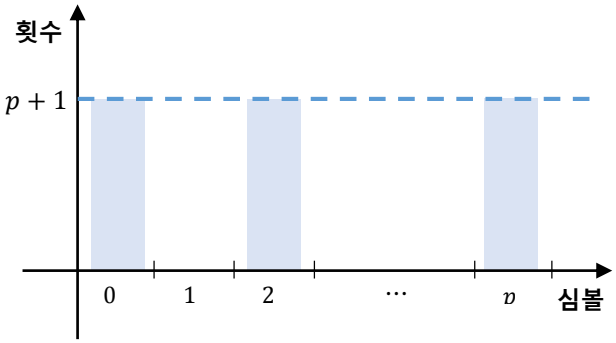



**그림 1. $n(t)-n(t+\tau)$에서 나타나는, 복소 상관 절대값이 최대가 되는 심볼 분포**

이를 총 $p^2-1$ 개의 같은 또는 다른 원소들이 $n(t)-n(t+\tau)$에서 나타난다는 점과 연관시켜서, 각 원소들이 $n(t)-n(t+\tau)$에서 나타나는 횟수를 히스토그램으로 그려볼 수 있다. 이때 최악의 경우는, 그림 1 과 같이 하나의 원소는 전혀 나타나지 않고, 다른 모든 원소들이 고르게 나타나는 상황이다. 식에 의해 최악의 경우, $n(t)-n(t+\tau)$에 나타나는 모든 원소가 정확히 $p+1$번 나타남을 알 수 있고. 이는 곧 최악의 경우에서의 복소 상관값이 $p+1$임을 의미한다. 따라서, 임의의 $\tau \not\equiv 0 \pmod{p^2-1}$ 에 대해

$$|C_n(\tau)| \le p+1$$

이다. ■

**정의 2** : 수열 n(t)를 이용하여, 수열군 N을 다음과 같이 생성한다.

$$N = \{cn(t) | 1 \le c \le p-1\}$$

**정리 3** : 정의 2 에 따라 생성한 수열군 N에서 임의의 서로 다른 두 수열 $c_1 n(t)$, $c_2 n(t)$를 선택했을 때, 순환 지연 $\tau$에서 이들의 복소 상호 상관 $|C_{1,2}(\tau)|$는 다음과 같은 상계를 갖는다.

$$|C_{1,2}(\tau)| \le p+1.$$

증명은 정리 2 의 증명과 유사하기에, 생략한다.

그림 2 와 그림 3 은 각각 $p=5$일 때 생성한 수열 n(t)의 자기상관 값과 3n(t)와의 상호상관 값을 그림으로 나타낸 것이다. n(t) 의 자기상관 절대값의 최대는 약 5.394, 3n(t)와의 상호상관 절대값의 최대는 6 으로, 모두 붉은색 도트라인으로 표시된 정리 3 의 상계 $p+1=6$보다 작거나 같음을 알 수 있다. 또한, 이를 통해 정리 3 에서 구한 상계가 상호상관의 실제 최대값과 일치함을 확인할 수 있다.

어떤 수열군 S의 비 자명 최대 복소 자기/상호상관 절대값을 $C_{max}(S)$라고 할 때, [2]에 따르면, 제안된 주기가 $p^2-1$인 p-ary 수열로 이루어진 크기가 $p-1$인 수열군 N의 비 자명 최대 복소 자기/상호상관 절대값 $C_{max}(N)$는

$$C_{max}(N) \ge (p^2-1)\sqrt{\frac{p-2}{(p-1)(p^2-1)-1}}$$

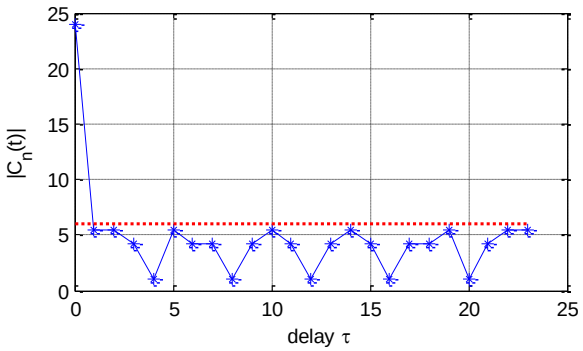



**그림 2. 주기 24인 5-ary 수열 n(t)의 자기상관**

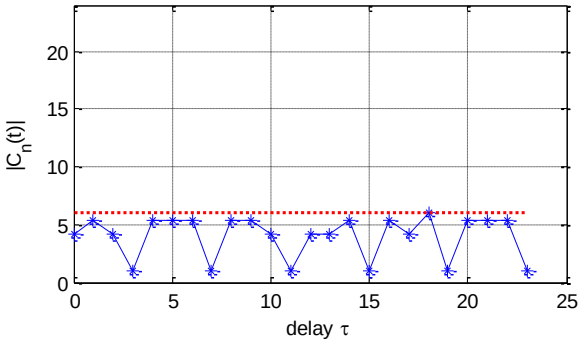



**그림 3. 주기 24 인 5-ary 수열 n(t)와 3n(t)의 상호상관**

와 같이 하계를 갖는다. 이때, 충분히 큰 p에 대해서,

$$(p^2-1)\sqrt{\frac{p-2}{(p-1)(p^2-1)-1}} \simeq p$$

가 되므로, 정의 2 에서 제시한 수열군은 [2]의 Welch bound 와 1 의 차이를 보인다.

## 3.결론

본 논문에서는 유한체 상에서 정의되는 노름 함수를 이용하여 주기 $p^2-1$인 p-ary 수열을 제안/분석하고, 이를 이용한 간단한 수열군 생성을 제안하였다. 제안한 수열군의 비 자명 최대 자기/상호상관 절대값의 상계는 p가 충분히 클 때, Welch bound 보다 1 만큼 더 큰 값을 갖는다.

## Acknowledgment

This work has been supported by the National GNSS Research Center Program of Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development.

## 4.참고 문헌

[1] S. W. Golomb and G. Gong, *Signal Design for Good Correlation: For Wireless Communication, Cryptography, and Radar*, Cambridge University Press, 2005.

[2] L. R. Welch, "Lower bounds on the maximum cross correlation of signals (Corresp.)," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 20, no.3, pp. 397-399, May. 1974.

# 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크

정종진°, 박종빈°°, 김명진°°°

전자부품연구원 스마트미디어연구센터°, °°, (주)이노그리드 클라우드컴퓨팅연구센터°°°

# User Targeting SaaS Service Mash-Up Framework

Jong-Jin, Jung°, Jong-Bin, Park, Myung-Jin, Kim

Smart Media Research Center, Korea Electronics Technology Institute

Cloud Computing Research Center, Innogrid Ltd.

mozzalt@keti.re.kr, jbpark@keti.re.kr, tough105@innogrid.com

## 요 약

클라우드 기반 서비스 기술의 발달에 따라 응용프로그램이 클라우드 컴퓨팅 인프라 기반 서비스 형태에서 사용자의 요구에 따라 서비스 형태로 제공되는 SaaS(Software as a Service) 구조로 발전하고 있다. 스마트폰의 보급과 더불어 SaaS 서비스의 발전은 다양한 기능 제공이 가능해지며 사용자의 경험을 풍부하게 하였으나, 독립적으로 제공되는 무수한 서비스들로 인하여 사용자는 자신에게 적합한 서비스를 선택하고 운영함에 있어서 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 논문에서는 여러 형태의 SaaS 서비스, 개별 SaaS 서비스 기능들을 사용자 구미에 맞게 메쉬업(연동)함으로써, 신규 서비스 및 부가가치 창출이 가능한 새로운 서비스를 생성 가능하며 클라우드 서비스의 다양성과 개인화 지원을 극대화 할 수 있는 클라우드 서비스(SaaS) 메쉬업을 위한 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크를 제안한다.

## 1. 서론

클라우드 기술이 발전함에 따라, 최근 Cloud Service Brockerage 와 유사한 개념으로 다양한 클라우드 기반 SaaS 서비스를 사용자 구미에 맞게 메쉬업 연동 하려는 움직임이 있다. SaaS Aggregation 은 이러한 다종·다양한 서비스들을 통합된 하나의 환경으로 제공함으로써 서비스 이용과 관리를 더욱 손쉽게 하기위해 나타난 기술이다. 서비스를 통합된 환경에서 이용 및 관리할 수 있는 SaaS Aggregation 의 기본적인 개념에 덧붙여, 독립된 서로 다른 서비스를 연동하여 서비스 개발자가 의도한 기능 이상의 새로운 서비스 이용이 가능한 메쉬업 SaaS Aggregation 서비스가 등장 하였다. 현재 제공되고 있는 메쉬업 SaaS Aggregation 서비스는 기존 사용자가 이용하고 있는 서비스에서 제공되는 기능 몇 가지 중 하나를 선택하여 조건을 결정하고, 다른 서비스 기능 중 하나를 선택하여 수행 내역을 결정하는 단순한 연결 서비스만을 제공하고 있다. 또한 서비스 추천 방식에 있어서도, 가장 많은 사용자가 있거나 평점이 높은 연결 규칙을 리스팅 해주는 수준으로 사용자의 메타정보나 서비스 바인딩 이력을 고려하지 못하고 있다. 따라서 이런 한계를 벗어나 기존 서비스가 제공하는 의존성이 강한 연결 방식에서 벗어나 다양한 연결 규칙을 간편히 정의할 수 있고, 사용자에게 적합한 서비스를 추천, 이용하는 기술과 환경 제공이 가능한 메쉬업 SaaS 서비스 연동이 필요한 시점이다.

## 2. SaaS 서비스 연동 프레임워크

다양한 형태로 제공되는 SaaS 별 독립적으로 제공되던 기능들을 연동하여 새로운 가치 서비스를 제공해주는 메쉬업 서비스를 위한 기술로, 서비스 간 연동 규칙 및 처리와 사용자에게 필요한 기능을 추천해주고, 사용자가 선택한 기능을 연동하여 최종 수행을 해 줄 수 있는 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크이다. 아래 그림 1 은 이를 설명하고 있다.

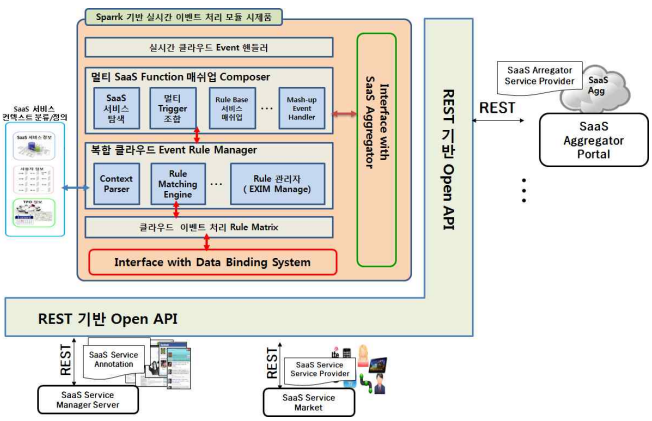



그림 1 사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동 서비스 프레임워크 설계도

사용자 맞춤형 SaaS 서비스 연동을 위해서는 아래와같은 서브 항목이 필요하다.

① 다양한 SaaS 클라우드 서비스들이 SaaS Aggregation 와의 연동을 할 수 있도록 SaaS Aggregation 연동 서비스를 구성하는 컴포넌트들, 즉 서비스/사용자/상황에 대한 컨텍스트를 분류하고 정의
② 서비스를 이용하는 사용자에게 최적의 메쉬업 연동된 SaaS 서비스를 제공 할 수 있도록 복합 클라우드 이벤트 Rule Matrix 구축
③ 동시에 다수의 클라우드 서비스가 실시간으로 메쉬업 연동 할 수 있게 하여 기존 하나의 서비스 조건에 맞춰 단순 추천하는 단조로움을 벗어나, 다수의 SaaS 서비스의 장점들을 복합 구성하여 전달함으로써 만족도 높은 메쉬업 서비스 구성 모듈

## 2-1. Context 정의 및 분류

SaaS Aggregation 가 사용자별, 서비스 이용 상황별, 최적의 SaaS 서비스를 검색하고 연동하기 위해 필요한 컴포넌트들을 도출하고 체계적으로 분류를 해야 한다. 아르 그림 2 는 이를 위한 Context 분류 체계를 설명한다.

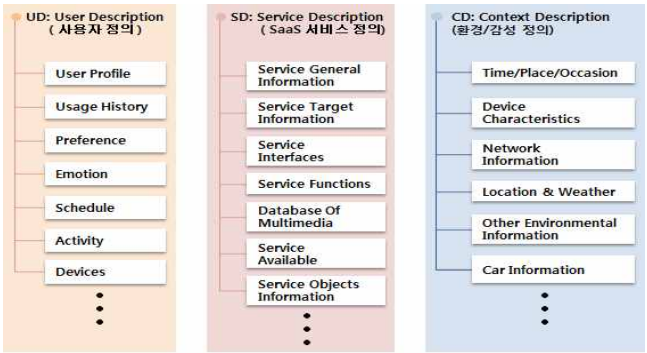



그림 2. SaaS 서비스 연동을 위한 Component 별 컨텍스트 분류 체계 및 정의

위의 컨텍스트 분류 및 추론 기법을 통하여 취득된 SaaS Aggregation 컴포넌트 정보를 기반으로 최적의 SaaS 서비스를 메쉬업 할 수 있도록 한다.

## 2-2. Rule 메트릭스 기반 SaaS 서비스 연동

사용자의 서비스 이용 목적, 상황, 사용자가 사용하는 사용자의 특성 및 상황에 따라 최적화된 SaaS 서비스를 메쉬업 하여 제공하기 위해 연동 Rule 은 Rule Matrix 에 정의되어 있다. 기존 IFTTT 인 경우 1 개의 서비스 Triggering 으로 1 개의 Action 서비스를 제공하는 반면, N 개의 SaaS 서비스의 Function 들이 Triggering / 조합이 가능 할 수 있게 한다.

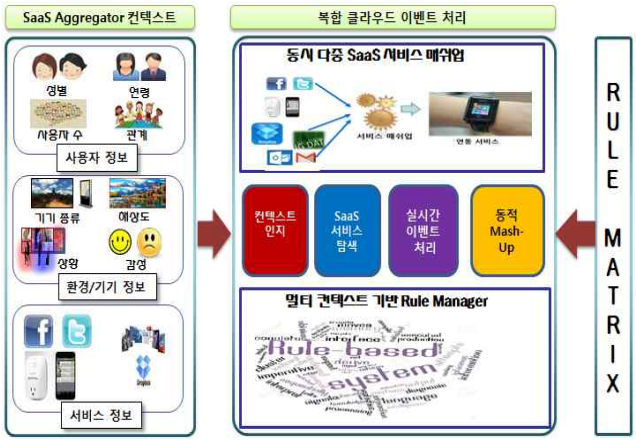



그림 3. Rule 매트릭스 기반 SaaS 서비스 연동

## 3. 결론

본 논문에서는 사용자가 서비스 이용 상황에 맞춰 개인특성, 상황 특성에 따라 가장 최적의 SaaS 서비스, 개별 SaaS 서비스가 가진 기능들을 조합 연동하여 사용자가 원하는 수행결과를 얻는데 도움을 주는 기술을 제안하였다. 최근 전 세계적으로 빅데이터, IoT, 웨어러블 등의 서비스 확산을 바탕으로 다양한 클라우드 서비스를 결합하여 발전하고 있는 상황에서 이 제안 기술은 사용자에게 만족도 높은 서비스를 가져달 줄 수 있는 기술이 될 것이며, 이로인해 SaaS 서비스 활용도가 높아지며, 이는 결국 클라우드 자원 및 서비스들이 융합하는 형태로 생태계가 급속도로 성장 하리라 기대된다.

## 4. 참고 문헌

[1] 정종진, 김명진, “클라우드 서비스 메쉬업을 위한 SaaS Aggregation 기술개발 기획 보고서“ , 2014
[2] 금승우, 육근웅, 문재원, 임태범, “방송 단말에서의 IoT 제어 및 사용자 인터페이스 제공 방법”, 방송과 미디어 특집, 제 20 권 1 호, 2015.1.
[3] Express web application framework for node, Available: http://expressjs.com/
[4] Maria DB, Available: https://mariadb.org.

## 5. Ackknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터(IITP)의 SW 컴퓨팅산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [ 과제번호 (R0113-15-0008), 클라우드 서비스 메쉬업을 위한 SaaS Aggregation 기술개발]

# 분산형 자동차 네트워크의 피드백 감소 스케줄링 기법

서동호°, 남해운

한양대학교 전자통신공학과

# Low feedback Scheduling scheme for distributed vehicular network

Dongho Seo°, Haewoon Nam

Department of Electronics Communications Engineering, Hanyang University

{johnseo@hanyang.ac.kr, hnam@hanyang.ac.kr}

## 요 약

본 연구에서는 분산형 시분할다중접속(Distributed TDMA)에 기반하는 스마트 카 네트워크에서 V2I 링크의 셋업 시그널 피드백을 줄이기 위하여 Score-based splitting 알고리즘 스케줄링을 이용하여 그 성능을 분석한다.

## 1. 서론

최근 상용차 업체들이 자동차와 ICT 기술을 활용하는 스마트 카 개발이 대표적인 융합 산업으로 대두되고 있으며 이는 ICT 기술 접목을 통하여 다양한 차량용 어플리케이션을 제공하며 운전자나 동승자에게 다양한 콘텐츠를 제공하며 운전자에게는 운행 패턴, 실시간 교통정보 및 주행에 관한 인포테이먼트를 제공하는데 그 목적이 있다. 더불어, 이를 통해 사고에 대한 원천적인 예방 및 사고 발생시 인명 피해를 최소화하는 것 또한 중요한 목표 중 하나이다. 하지만 스마트 카 기술개발은 여전히 업체별로 서로 상이한 솔루션과 단일 차량에만 적용하고 있어 제한적인 서비스 제공과 확장 범위가 그리 넓지 않다는 한계점을 갖고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 차량과 도로 시설물 간(Vehicle-to-Infrastructure; V2I), 차량 간(Vehicle-to-Vehicle; V2V) 통신 등 V2X 로 불리는 기술을 활용하여 보다 넓은 서비스와 실제 상황을 반영한 정보를 전달할 수 있는 차량 네트워크(Vehicular Ad-hoc Networks)에 대한 기술 연구 및 개발이 필요하다. VANET 가 기존 MANET(Mobile Ad-hoc Networks)와 구별되는 가장 큰 특징은 VANET 의 노드는 차량으로 이루어져있기 때문에 각 노드가 시시각각 고속으로 이동한다는 점이다[1], [4]. 이로 인해 네트워크의 Topology 가 수시로 변하는 상황이 발생할 수 있으며, 네트워크의 단절이 빈번히 발생하고 네트워크 링크 연결 시간이 짧아 네트워크의 전체적인 연결 상태가 불안정하다는 점이다. 따라서 기존의 고정형 네트워크보다 네트워크 연결도(Network connectivity)의 역할이 매우 중요하다[1].

VANET 중 차량과 도로에 설치되어있는 시설물간의 V2I 링크는 하나의 시설물(eNode B; eNB)에 다수의 차량과 연결되어 이루어지기 때문에 업링크 환경에서 네트워크가 내부적으로 복잡하게 구성될 수 있어 이러한 혼잡을 피하기 위해서 효율적인 연결 스케줄링 알고리즘이 필요하며[1], 네트워크 링크 연결시간이 짧기 때문에 낮은 지연시간과 eNB 와 차량간의 초기 링크 셋업을 위한 셋업 시그널의 피드백을 최대한 줄여야 한다. 따라서 본 논문에서는 초기 링크 셋업을 위한 링크 셋업 시그널의 피드백을 줄일 수 있는 TDMA 기반의 분산형 자동차 네트워크의 피드백 감소 스케줄링의 성능을 분석하도록 한다.

## 2. 시스템 모델

N 개의 노드로 구성되어있는 시분할 이중통신(Time Division Duplex; TDD) 네트워크로 이루어져있으며, 스케줄링이 시작되면 모든 노드가 중앙 노드(eNB)로 송신한다. 또한 일정 시간 동안에는 노드의 수는 변하지 않으며 각각의 노드는 오직 자기 자신만의 채널 상태를 알고 있으며 스케줄링이 시작되면 eNB 에게 자신의 채널 상태 및 속도에 관한 자신의 정보만을 전송하다. 또한 각각의 유저 모두는 Rayleigh block fading channel 을 겪으며, 시스템은 TDMA(Time Division Multiple Access)를 이용한다고 가정한다. 타임슬롯의 길이는 상관시간(coherence time)보다 짧으며 하나의 타임 슬롯은 여러 개의 미니슬롯으로 구성되어 있다.

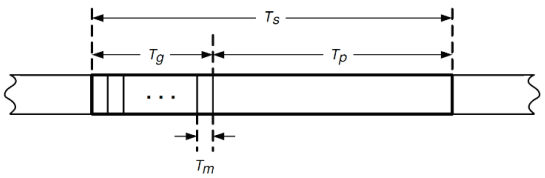



**그림 1. TDMA system frame structure**

그림. 1 은 TDMA 시스템의 프레임 구조를 나타내고 있으며, $T_S$, $T_g$, $T_p$, $T_m$ 은 각각 타임슬롯 길이, 가드시간, 유효시간, 미니슬롯길이를 나타낸다.

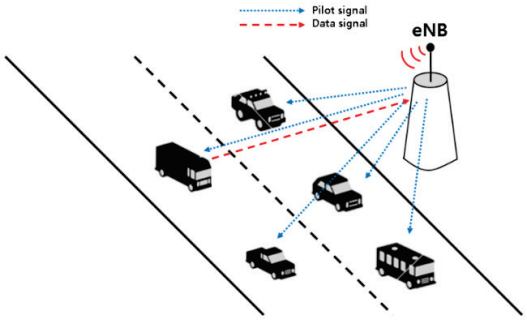



그림. 2 네트워크 모델

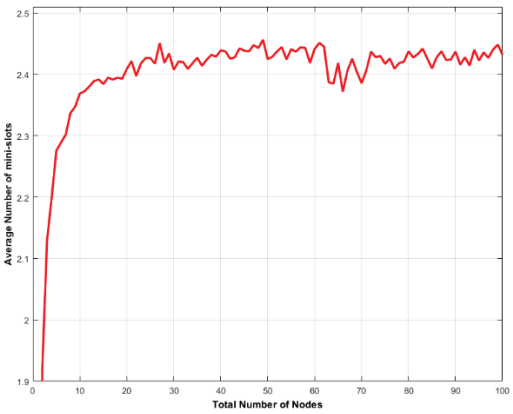



그림. 3 노드 수에 따른 평균 미니슬롯

그림. 2 에서 보여주듯이 네트워크는 하나의 eNB 와 여러 개의 노드로 이루어져있으며, eNB 와 각 노드는 아래의 프로토콜을 따른다. eNB 는 정해진 기준 값을 주기적으로 브로드캐스팅을 하며, 매 타임슬롯이 시작될 때 각 노드는 정해진 윈도우 동안 측정한 자신의 채널상태를 계산하여 eNB 로부터 받은 기준 값과 비교하여 더 높은 값을 갖고 있는 노드만 그 다음 미니슬롯에 업 링크 파일럿 신호를 보낸다. eNB 는 수신된 파일럿 신호를 확인하여 다른 노드와의 충돌 여부에 대해서 확인하며 충돌이 생겨 eNB 가 여러 파일럿 신호를 수신했을 경우 정해진 다음 미니슬롯에 정해진 알고리즘에 따라 기준 값을 조정하여 다시 브로드캐스팅 하는 방식으로 오직 하나의 파일럿 신호만 받을 때까지 반복한다. 하나의 파일럿 신호를 받았다면 그 타임슬롯의 남은 미니슬롯은 모두 그 노드가 데이터 전송하는데 사용된다.

## 3. 시뮬레이션 및 분석

그림. 3 의 시뮬레이션 결과는 네트워크를 구성하고 있는 노드 개수의 변화에 따른 필요한 평균 미니슬롯 개수를 나타내고 있으며, 미니슬롯은 eNB 가 데이터 전송을 하기 위한 하나의 노드를 선택할 때까지 필요한 미니슬롯의 개수를 의미한다. 정해진 윈도우 환경에서 노드의 수가 증가함에 따라 필요한 미니슬롯의 개수가 증가하지만 일정 개수 이상이 될 경우는 노드의 증가와 상관없이 필요한 미니슬롯의 개수가 일정해짐을 알 수 있다.

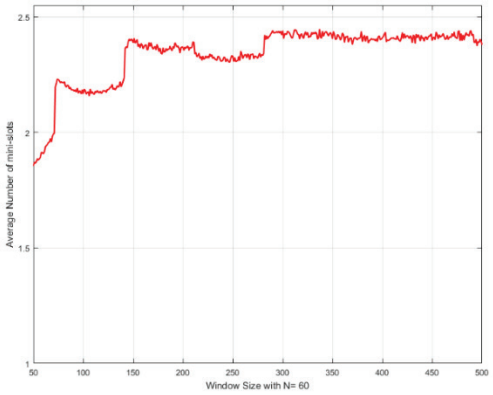



그림. 4 윈도우 수에 따른 평균 미니슬롯

그림. 4 는 윈도우 수의 변화에 따른 평균 미니슬롯에 대한 결과를 보여주고 있다. 노드수가 일정할 경우 윈도우 수가 증가함에 따라 필요한 미니슬롯의 개수가 꾸준히 증가하지만 그림. 3 과 마찬가지로 윈도우의 크기가 약 150 이상이 될 경우 윈도우의 사이즈에 따른 평균 미니슬롯의 개수가 크게 늘어나지 않는다는 것을 알 수 있다.

## 4. 결론 및 개선점

유저나 윈도우의 크기 변화에 따라서 평균 미니슬롯의 개수가 비례하게 증가하지 않음을 알 수 있으며 속도, 채널상태 등 기타 요소에 대한 가중치를 최적화 한다면 V2I 링크의 연결도와 처리량의 성능을 증가시킬 수 있을 것이라 생각된다.

## 5. 참고 문헌

[1] R. Zhang, X.Cheng, L. Yang, X. Shen and B. Jiao , "*A Novel Centralized TDMA-Based Protocol for Vehocular Networks", IEEE Trans. Intelligent Transportation*, vol. 16, No.1, Feb, 2015

[2] M. Hadded, P. Muhlethaler, A. Laouiti, R. Zagrouba and L. A. Saidane, "TDMA-Bsed MAC Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey, Qualitative Analysis, and Open Research Issues," *IEEE Commun.*, vol. 17, No. 4, Fourth Quarter, 2015

[3] T. Bonald, "A score-vased opportunistic scheduler for fading radio channels," *in Proc. European Wireless Conf, (EW), Barcelona, Spain*, Feb. 2004.

[4] 황태욱, "IT 융합 기반 V2X 차량 통신 기술개발 동향," 한국방송통신전파진흥원, 통권 54 호, pp. 4-19, 2012 년 10 월.

[5] 정책연구본부 융합정책연구부, "V2X 통신, 지능형교통시스템의 핵심 기술로 부상", 한국방송통신전파진흥원 방송통신진흥본부 ICT 산업진흥부, Vol. 73, pp.41-52, 2014 년 4 월

## 6. Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2014R1A1A2057210).

# GaN HPA MMIC 를 이용한 Ka 대역 위성통신용 25 W 급 SSPA

지홍구 [0], 노윤섭, 최윤호, 염인복

한국전자통신연구원

# The 25 W SSPA for Ka band Satellite Communications using GaN HPA MMIC

Hong-gu Ji[0], Youn-sub Noh, Youn-ho Choi, In-bok Yom

Electronics and Telecommunications Research Institute

hkji@etri.re.kr nohys@etri.re.kr wing0123@etri.re.kr ibyom@etri.re.kr

## 요 약

Ka 대역 위성통신을 위한 25W 급 SSPA 를 제작하기 위하여 0.15 um GaN 공정을 이용하여 구동 증폭기 및 고출력 증폭기를 단일 집적회로로 설계 및 제작하고 주요 부품인 MS-to-WR28 변환기, WR28 전력합성기를 설계 및 제작 하여 특성평가 하였다. 제작 결과 주파수 29 ~ 31 GHz 대역에서 포화 출력 44.2 dBm 이상, 전력부가효율 16.6% 이상, 전력 이득 39.2 dB 의 특성을 나타내었다.

## 1. 서 론

최근 위성통신은 점차 많은 데이터양과 주파수 활용 문제로 인하여 Ka 대역인 초고주파대역까지 사용 하게 되었다.

GaN 는 그 물질의 특성이 단위면적당 출력 전력이 높고 고효율의 특성을 나타내어 군수 및 민수 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 위성통신대역인 29 ~ 31 GHz 주파수 대역에서 상용 0.15 um GaN 공정을 이용한 구동 및 고출력 증폭기를 단일집적회로로 설계 및 제작하고 이를 전력합성하여 25 W 급 SSPA(Solid State Power Amplifier)를 특성 평가하는 과정을 기술한다.

## 2. SSPA 구성

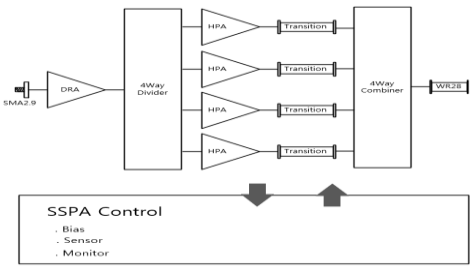



그림1. Ka대역 SSPA의 구성도

그림 1 은 GaN 구동 및 고출력증폭기를 이용한 SSPA 의 구성도 이다. SSPA 는 크게 RF 증폭부와 전원제어부로 구성하였다. RF 증폭부는 증폭도 및 전력을 고려하여 1:4 구조와 WR28 구형 도파관으로 전력 합성을 하도록 설계 하였으며 전원제어부는 전원공급과 온도 및 전류를 모니터 할 수 있도록 설계 하였다.

### 2-1. GaN 구동증폭기 집적회로

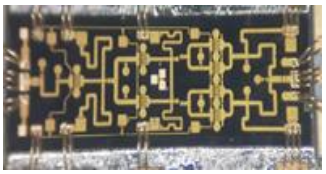


그림2. GaN 구동증폭기 집적회로 사진

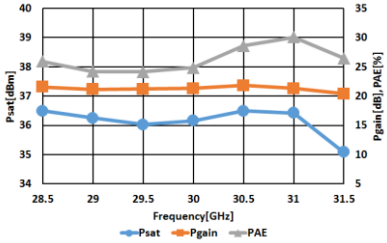



그림3. GaN 구동증폭기 전력특성(Vd=20V)

그림 2 는 0.15um GaN 상용공정을 사용하여 게이트 폭 8x50um 소자를 1:2:4 구조로 배치한 3 단 설계하여 제작한 구동증폭기 집적회로의 사진이다. 최종 칩 크기는 3.4x1.2 $um^2$ 이며 Vd=20 V 일때 주파수 29~31 GHz 대역에서 대신호 측정 결과 포화전력 36 dBm, 전력부가효율 24.2%의 특성을 나타내었다.

### 2-2. GaN 고출력증폭기 집적회로

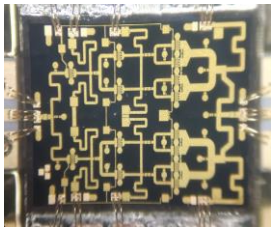


그림4. GaN 고출력증폭기 집적회로 사진

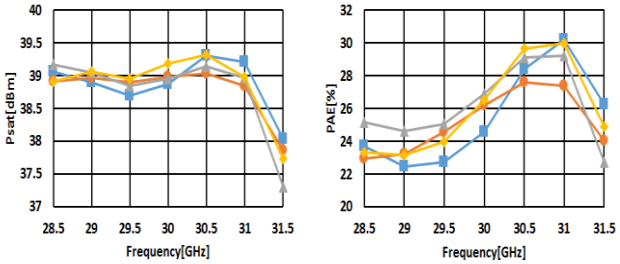



그림5. GaN 고출력증폭기 전력특성(Vd=20V)

GaN 고출력증폭기 역시 0.15 um GaN 상용공정을 사용하였으며 상용공정에서 제공한 게이트 폭 8x50 um 소자를 로드풀 시뮬레이션을 통하여 최적 임피던스를 찾아 8 개를 병렬 연결하여 설계 제작 하였다. 제작된 GaN 고출력증폭기는 총 4 개를 시험한 결과 포화 전력 38.7 dBm, 전력부가효율 22.4% 이상의 특성을 나타내었다. 그림 4 는 설계해서 제작된 크기 3.4x2.5 $mm^2$ 의 GaN 고출력증폭기 사진이며 그림 5 는 측정된 전력특성을 도식한 그림이다.

### 2-3. MS-to-WR28 변환기 및 WR28 전력합성기

SSPA 를 위한 고출력증폭기를 손실없이 4 개 병렬 전력합성하기 위하여 WR28 구형 규격의 전력합성기를 설계 제작하였다. 그러나 고출력증폭기는 MS(Micro Strip) 전송선으로 종단되어 있어 WR28 구형 도파관 전력합성기와 결합하기 위하여 전송선 변환기가 반드시 필요하다. 그림 6 과 그림 7 은 각각 실제 제작된 MS-to-WR28 변환기와 WR28 구형 규격의 전력합성기 이다. MS-to-WR28 변환기는 주파수 29~31 GHz 대역에서 빽투빽(Back to Back) 측정한 결과 전달계수가 -0.5 dB 로 측정 되어 삽입손실은 0.25 dB 판단되었으며 WR28 전력합성기는 측정하지 않은 포트를 단락 시키고 2 포트 측정 결과 전달계수가 -6.3 dB 가 측정 되어 삽입손실 0.3 dB 로 측정 되었다. 다음 그림 6 은 제작된 변환기와 전력합성기의 사진이다.

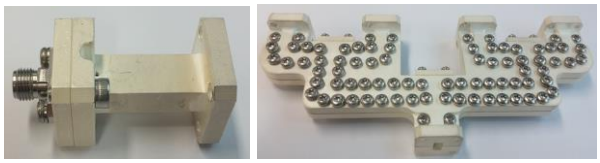


그림6. MS-to-WR28 변환기와 WR28 전력합성기 사진

## 3. SSPA 측정 및 고찰

그림7. Ka대역 SSPA 사진

그림 7 은 실제 제작된 Ka 대역 SSPA 의 제작 사진이다. 특성 평가는 소신호 분석과 대신호 분석으로 이루어 졌으며 측정에 사용된 대표적인 계측기는 Keysight 사의 PNAX 회로망 분석기와 N1912 전력분석기를 이용하였다. 주파수 29~31GHz 대역에서 소신호이득 46.5 dB, 입력정합 -5.8 dB 의 특성을 나타내었으며 대신호 측정 결과 포화전력 44.2 dBm, 전력부가효율 16.6%, 전력이득 39.2 dB 의 특성을 나타내었다. 이때 DC 공급전압은 단일 전압 20 V 를 인가 하였다. 다음 표 1 은 제작된 Ka 대역 SSPA 의 특성을 정리한 것이며 제작된 SSPA 및 부속품은 Ka 대역 위성통신뿐만 아니라 레이더 등의 부품 산업에 기여 할 것으로 예상된다.

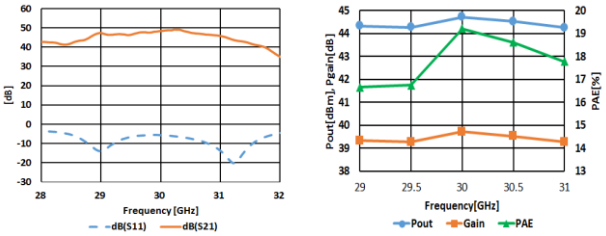



그림8. Ka대역 SSPA 특성(Vd=20V)

표1. Ka대역 SSPA 특성

| | Unit | |
|---|---|---|
| Frequency | GHz | 29 ~ 31 |
| Psat | dBm | > 44.2 |
| PAE | % | > 16.6 |
| Power Gain | dB | > 39.2 |

## 4. 참고 문헌

[1] Ng., C.Y. et al, “A 20-watt Ka-band GaN high power amplifier MMIC,” *Microwave Conference (EuMC)*, 2014. pp. 1348-1351, Oct. 2014.

## 5. Acknowledgment

본 연구는 방위사업청/산업통상자원부 및 민군기술협력센터의 민군겸용기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [13-DU-EE-10, Ka 대역 GaN MMIC 기반 SSPA 개발]

# 기기간 직접통신을 위한 위치 정보 기반 기기 식별 기법의 실험적 검증

박윤수, 임화원, 안성준, 강준혁 °

한국과학기술원

# Experimental Verification of Location-based Device Identification for Device-to-Device Communication

Yoon Sue Park, Hwa Won Lim, Sungjun Ahn, Joonhyuk Kang °

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

dbstn8920@kaist.ac.kr, haohni@kaist.ac.kr, sungjunahn@kaist.ac.kr, jhkang@ee.kaist.ac.kr

## 요 약

최근 멀티미디어 기반 이동통신 컨텐츠가 다양화되고 또한 사물인터넷이 주목 받게 됨에 따라, 기기간 직접통신 (D2D)에 대한 수요가 증가하고 있다. 사용자의 편의성을 고려한 D2D 통신 대상 기기 인식법으로서 등장한 위치 정보 기반 기기 식별 기법은 고유 식별 정보를 목록으로 표시해 사용자가 대상 기기를 직접 선택하는 기존의 방식과는 달리, 직관적인 대상 기기 식별을 가능케 한다. 본 논문에서는 위치 정보 기반 기기 식별 기법을 검증하기 위해 실내 및 실외 실험을 수행하였다. 실험으로 얻은 결과값을 바탕으로, 인접 기기를 구분하기 위해 필요한 유효 기기 간 최소 각거리를 계산하여 분석하였다.

## 1. 서론

최근 대용량 멀티미디어 서비스의 급격한 증가에 따른 기지국의 부담 증대 및 이동통신 컨텐츠의 다양화로 인해, 기기간 직접통신 (device-to-device, D2D)에 대한 수요가 늘고 있다. 특히, 사물인터넷 (internet of things, IoT)이 집중적으로 조명을 받음으로써, 기지국을 거치면서 발생하는 비용을 절감하고, 소규모 네트워크를 효율적으로 운용할 수 있는 기술에 대한 연구가 주목을 받고 있다 [1], [2].

D2D 통신을 구현하기 위해서는 통신 대상 기기를 정확하게 인식하고 해당 기기와의 링크를 형성하는 것이 필수적인데, 기존의 기술은 주로 개별 기기의 고유 식별 정보 (ID)를 받아 대상 기기를 판별하는 방법을 채택해왔다. 이 경우 사용자가 연결 가능 기기의 ID 목록에서 직접 통신 대상 기기를 찾아 선택하여야 하는데, 사용자가 대상 기기의 ID 정보를 알아야 하기 때문에, 보다 편리하고 직관적인 식별을 위하여 사용자 기기 화면 내에서 대상 기기를 인식하여 통신 링크를 형성하는 기법인 point-and-link 기법이 제안되었다 [3].

참고문헌 [4]에서는 위치 정보 기반 기기 식별 기법의 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 유효성을 검증하였다. 다수의 독립적인 요인에 의해 방향 센서 오차가 발생한다는 점에 착안하여, [4]에서는 위치 정보 오차를 가우시안 분포를 따르는 변수로 설정하였다. 하지만, 실제 환경에서는 오차 원인의 독립성이 보장되지 않고 또한 복잡하게 연관된 다수의 요인이 영향을 미치게 되므로 이 가정은 현실적이지 못하다. 따라서, 본 논문은 실제 환경에서의 실험을 통해 위치 정보 기반 기기 식별 기법을 검증하여 그 실용화 가능성을 논한다.

## 2. 통신 대상 인식 시스템 모델

본 논문에서는 한 통신 주체 기기가 시야 내 존재하는 다수의 통신 대상 후보군 중 정중앙에 위치하는 기기를 선별하여 링크를 형성하는 시나리오를 가정한다. 이 때, ID 기반 식별 기법과는 달리 각 통신 후보 기기는 ID 정보가 아닌 위치 정보를 통신 주체 기기로 전송한다.

통신 주체 기기는 통신 후보 기기 중 화면 정중앙에 위치하는 기기를 통신 대상 기기로 판별하여 통신 링크를 형성한다. 따라서, 사용자가 통신을 하고자 하는 기기가 통신 주체 기기로부터 상대각

(a) (b)

그림 1. 실험 환경 (a) 실내 실험 (b) 실외 실험

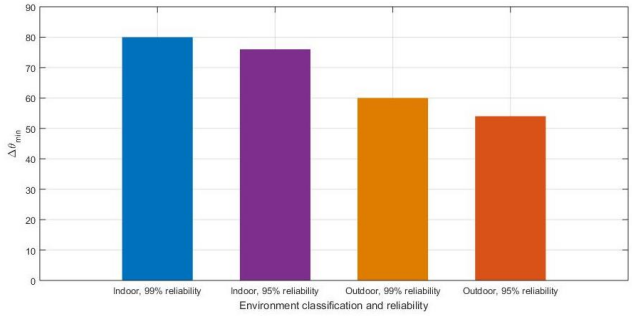



그림 2. 통신 대상 인식 시행의 신뢰도 99%와 95%를 보장하는 인접 기기간 최소 각거리

$\theta_{TD}$ 만큼 떨어져 있고 그의 최인접 기기가 $\theta_{ND}$ 만큼 떨어져 있을 때, 통신 주체 기기는 상대각의 크기가 작은 기기를 선택한다.

각 기기는 자신의 위치 정보를 지자기 센서 및 GPS 정보로 알게 되는데, 이 값들에 오차가 발생하게 되면 통신 대상 인식 오류가 발생할 수 있다. 사용자가 통신을 하고자 하는 기기와 인접 기기 간 각거리 $\Delta\theta = |\theta_{TD} - \theta_{ND}|$가 주어졌을 때, 오차 변수 n에 의한 통신 대상 인식 오류 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathrm{P_e} = \Pr\left[n \geq \frac{\Delta\theta}{2}\right] \quad (1)$$

이를 바탕으로, 오차값의 분포가 주어진다면 통신 대상 인식 시행의 신뢰도 $\mathrm{r} = 1 - \mathrm{P_e}$를 보장하는 두 인접 기기 간 최소 각거리 $\Delta\theta_{min}$을 계산할 수 있다.

## 3. 실험 및 결과

위치 정보 기반 기기 식별 기법을 검증하기 위해 실내 및 실외 실험을 수행하였다. 실제 이동통신 서비스에서의 활용성을 반영하기 위해, 범용 장비인 스마트폰과 타블렛 PC를 사용하여 실험을 진행하였다. 통신 주체 기기인 타블렛 PC로부터 통신 대상 기기까지의 거리는 1m로 설정하였으며, 통신 대상 기기가 주체 기기의 정면에 위치하도록 설정하여 위치 정보 오차를 측정하였다. 기기 간 상대각의 측정값은 지자기 센서를 통해 얻은 각 기기의 방위각의 차로 계산하였다.

그림 2는 통신 대상 인식 시행의 신뢰도 99%, 95%를 각각 보장하는 인접 기기 간 최소 각거리를 나타낸다. 실내보다 실외에서 높은 대상 인식 정확도가 얻어짐을 확인하였다. 95%의 신뢰도로 계산한 경우 통신 대상 인식에 필요한 최소 각거리는 실외에서 54°, 실내에서는 76°로 나타났다. 실내의 경우, 건물 내 위치한 설비들이 자기 센서에 영향을 주어 방위각 측정 오차가 늘어나기 때문에 실외보다 위치 정보가 부정확하게 얻어졌다.

## 4. 결론

본 논문에서는 기존 D2D 통신 기법의 사용자 편의성 측면에서의 단점을 극복하기 위해 제안된 위치 정보 기반 기기 식별 기법을 중점적으로 살펴보았으며, 기술의 실용화 가능성을 검증하기 위해 실제 환경에서의 실험을 수행하였다. 대상 기기를 정확하게 인식하기 위해 필요한 인접 기기 간 최소 각거리를 계산하여 기기 식별 기법의 유효성을 보였다. 건물 내 배치된 설비들로부터의 자기적 영향으로 인한 오차가 발생하여, 실외보다 실내에서 두 인접 기기를 구분하기 위해 필요한 각거리 차이가 더 크게 나타났다.

## 5. 참고 문헌

[1] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Riberio, and K. Hugl, “Device-to-device communication as an underlay to LTE-Advanced networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.

[2] C. –H. Yu, K. Doppler, C. B. Riberio, and O. Tirkkonen, “Resource sharing optimization for device-to-device communication underlaying cellular networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 8, Aug. 2011.

[3] B. –J. Kwak, S. –A. Kim, Y. –H. Kim, and N. –O. Song, “Random jetter beamforming for point-and-link communications,” in *Proc. IEEE Statistical Signal Process. Workshop (SSP)*, pp. 496-499, Ann. Arbor, U.S.A., Aug. 2012.

[4] E. Park, J. Kang, “Location-based identification algorithm for device-to-device communication,” J. KICS, vol. 38A, no. 10, pp. 893-897, Oct. 2013.

# 파이프라인 네트워크 코딩 기반의 HMAC을 이용한 메시지 인증 및 Null-Vector를 이용한 노드 인증

안명기○, 조영종, 강경란

아주대학교 컴퓨터공학과

# Pipeline Network Coding based Message Authentication using HMAC and Node Authentication using Null-Vector

Myeong-gi Ahn○, Young-jong Cho, Kyungran Kang

Department of Computer Engineering, Ajou University

amg0323@ajou.ac.kr, yjcho@ajou.ac.kr, korykang@ajou.ac.kr

요 약

네트워크 코딩은 무선 네트워크에서 데이터 전달 효율을 높일 수 있는 방안으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 네트워크 코딩 메시지를 파이프라인 형태로 전송함으로써 네트워크 성능을 향상시키는 기법이 제안되었다. 그러나 네트워크 코딩은 패킷을 전달하는 중계 노드가 패킷을 위·변조 하여 네트워크에 삽입할 경우 오염된 패킷으로 인하여 전체 네트워크의 성능을 저하시키는 취약점이 있다. 이러한 공격을 방어하기 위해 메시지 인증과 노드 인증에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 파이프라인 네트워크 코딩 환경에서 악의적인 공격자로 인한 오염 공격을 방어하기 위해 HMAC 을 사용한 메시지 인증과 실제 소스의 역할을 대신하는 가상 소스에 대한 인증을 하기 위해 null-vector 를 사용한 인증 방식을 제안한다.

## 1. 서론

네트워크 코딩은 중계 노드들이 수신한 메시지를 인코딩(Encoding)하여 전달하여 네트워크 성능을 향상시키는 기법으로 연구가 진행되어 왔다[1]. 최근 네트워크 코딩을 수행하는 중계 노드가 실제 소스가 생성하는 네트워크 코딩 메시지를 대신 전달하여 네트워크 처리율을 향상시키는 라우팅 프로토콜로인 CodePipe 가 제안되었다[2].

CodePipe[2]는 네트워크 코딩 메시지를 파이프라인 방식으로 전달함으로써 네트워크 성능과 노드들의 fairness 를 향상시켰다. 하지만 CodePipe[2]에서 중계 노드가 네트워크 코딩 메시지 권한을 요청할 때 악의적인 공격자가 자신이 적합한 노드인것처럼 위조하여 권한요청을 함으로써 메시지 전달 권한을 얻을 수 있다. 이와 같은 취약점을 악용하여 공격자는 위·변조된 메시지를 네트워크에 주입시키는 오염 공격(Pollution attack)을 수행하여 네트워크 성능을 저하시키기 때문에 권한요청이 적합한 노드로부터 온 것인지 확인하는 인증절차가 필요하다.

또한, 네트워크 코딩 환경에서 오염 공격을 방어하기 위해 오염된 메시지 탐지 및 폐기를 위한 메시지 인증 코드(Message Authentication Code) 기법이 연구되어 왔다[3].

본 논문에서는 앞서 언급한 보안적인 문제점을 해결하기 위해 HMAC 을 이용한 오염 메시지 인증 및 null-vector 를 이용한 가상 소스 노드 인증 기법을 제안한다.

## 2. 네트워크 모델

본 논문에서 고려하는 무선 네트워크는 CodePipe 에서 제안한 네트워크 환경을 참조하였으며 그림 1 과 같다[2]. 각 노드들은 각자의 역할에 따라 기능들을 수행한다. 소스 노드는 네트워크 코딩 메시지를 주변 노드들에게 전달한다. 이때 악의적인 공격자로 인한 오염 공격을 방어하기 위해 메시지 인증 코드를 추가하여 전송한다. 코딩 포인트는 네트워크 코딩이 가능한 노드로써 수신한 메시지에 대한 인증 및 전달을 수행한다. 가상 소스는 코딩 포인트의 역할을 수행함과 동시에 소스에게 네트워크 코딩 메시지 전달 권한을 요청한다. 가상 소스는 디코딩이 가능한 만큼의 충분한 메시지를 수신하면 원본 메시지를 복구하여 이에 대한 null-vector 를 생성하여 소스에게 전달한다. 목적지 노드는 수신한 메시지에 대한 인증 및 디코딩을 수행한다. 전달 노드는 네트워크 코딩을 수행하지 못하는 노드로써 오직 메시지 전달만을 수행한다.

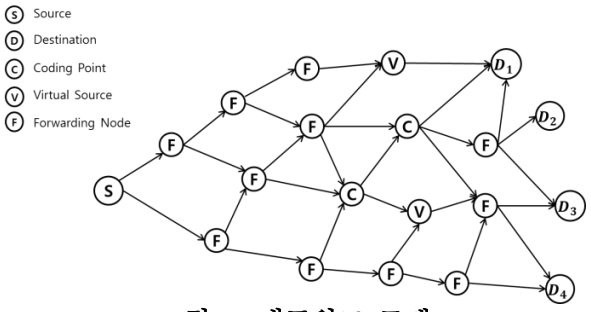



**그림 1. 네트워크 모델**

## 3. 제안기법

### 3.1 HMAC 기반 메시지 인증

본 절에서는 적합한 노드가 악의적인 공격자로 인해 위·변조된 메시지를 탐지 및 폐기하기 위해 HMAC 을 사용한 인증 절차를 설명하며 그림 2 와 같다. 네트워크 구성 요소 중에 seed 를 배포하는 키 분배 센터(Key Distribution Center, KDC)가 있다고 가정한다.

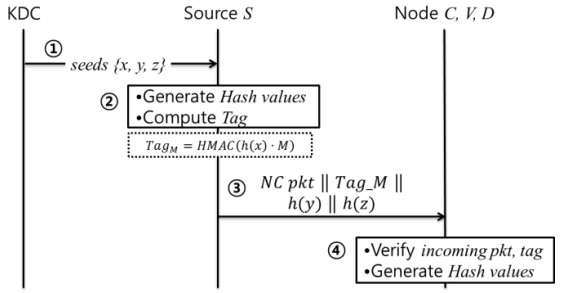



**그림 2. HMAC 기반 메시지 인증 절차**

① KDC 는 hash value 생성에 필요한 임의의 seed x,y,z 를 소스에게 전달한다.

② 소스는 seed 를 사용하여 hash value 를 생성한다. 생성된 hash value 들은 (1)과 같은 관계가 성립하며, $n$ 은 generation size 를 의미한다. 소스는 $h(x)$를 private key 로 하여 네트워크 코딩 메시지에 대한 tag 를 생성한다[3].

$$h^n(y) \cdot h^n(x) = h^n(z) \quad (1)$$

③ 소스는 생성된 tag, 네트워크 코딩 메시지, public key 로 사용되는 *h(y), h(z)*를 메시지 인증을 수행하는 노드들에게 전달한다.

④ 메시지 인증을 수행하는 노드들은 수신한 tag, 네트워크 코딩 메시지, *h(y), h(z)*를 사용하여 tag 에 대한 검증을 수행하며, (2)를 통해 좌변과 우변이 일치하면 메시지가 인증되었음을 확인한다.

$$h(z) \cdot M_n = h(y) \cdot h(x) \cdot M_n = h(y) \cdot Tag \quad (2)$$

### 3.2 Null-vector 기반 노드 인증

본 절에서는 가상 소스가 네트워크 코딩 메시지를 실제 소스대신 전달하기 위해 null-vector 를 사용한 인증 절차를 설명하며 그림 3 과 같다.

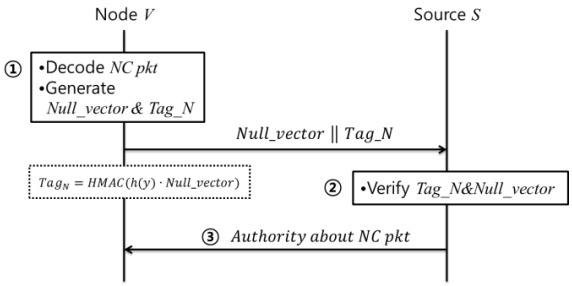



**그림 3. Null-vector 기반 노드 인증 절차**

① 가상 소스는 디코딩이 가능한 만큼의 네트워크 코딩 메시지를 받으면 가우시안 소거법을 사용하여 원본 메시지를 구한다. 가상 소스는 원본 메시지에 대한 null-vector, tag 를 생성하여 실제 소스에게 전송한다.

② 소스는 tag 검증과 오리지널 패킷과 null-vector 를 내적하여 zero vector 가 나오면 패킷을 보낸 노드가 적합한 노드라는 것을 확인한다.

③ 가상 소스가 적합한 노드로 판별되면 소스는 현재 배치의 메시지에 대한 네트워크 코딩 권한을 가상 소스에게 위임한다.

## 4. 향후 연구 및 결론

본 논문에서는 파이프라인 네트워크 코딩 기반 환경에서 발생할 수 있는 공격에 대한 방어 기법으로 HMAC 기반 메시지 인증과 null-vector 를 사용한 노드 인증 기법을 제안하였다. 특히 가상 소스가 실제 소스와 같은 역할을 할 때 인증절차를 제시하였다는 데 의의가 있다.

향후 연구로는 가상 소스에 대한 인증뿐만 아니라 일반적인 노드 인증에 대한 기법을 제안하고 그에 대한 안전성을 분석할 것이다.

## 5. 참고 문헌

[1] A. K. Haddad, and R. H. Riedi, "Bounds on the benefit of network coding for wireless multicast and unicast," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 13, pp. 102-115, Jan. 2014.

[2] P. Li, S. Guo, S. Yu, and A. V. Vasilakos, "Reliable multicast with pipelined network coding using opportunistic feeding and routing," *IEEE Trans. Parall. Distrib. Syst.*, vol. 25, pp. 3264-3273, Dec. 2014.

[3] X. Wu, Y. Xu, C. Yuen, and L. Xiang, "A tag encoding scheme against pollution attack to linear network coding ," *IEEE Trans. Parall. Distrib. Syst.*, vol. 25, pp. 33-42, Jan. 2014.

# LTE 멀티케리어 환경에서 네트워크 로드 분산 방법

최민석° 최용석

한국전자통신연구원

# Load Distribution Method in LTE Multi-carrier Enviroment

Min-Suk Choi° Yong-Seouk Choi

Electronics and Telecommunications Research Institute

yerocker@etri.re.kr, choiys@etri.re.kr.

## 요 약

멀티셀, 멀티케리어 환경은 증가하는 사용자 트래픽 용량을 충족시키고 서비스의 품질을 높이기 위해 통신 사업자에 의해 구축 되고 있다. 하지만 전파 환경 특성 상 특정 주파수 영역에 네트워크 부하가 편중되어 사용자의 서비스 질이 급격히 떨어지는 문제가 발생 할 가능성이 있다. 상기 문제를 해결하기 위해 특정 셀에 사용자가 집중되지 않도록 분산시켜줌으로써 네트워크의 로드를 줄이고 사용자 throughput 을 증가시켜 서비스 품질을 향상시키고자 한다. 본 논문에서는 단말 연결접속 상태일 때, 단말로부터 전송된 SINR 정보를 기반으로 FA 리스트를 생성하고 해당 정보를 단말에게 전송하여 최적의 FA 를 선택한 후 선택된 FA 를 통해 최적의 셀로 단말을 이동시킬 수 있는 방법과 절차를 제안한다.

## 1. 서론

5G 이동통신으로의 진화로 인해 다가올 미래에는 초고용량 실감형 데이터 서비스, 초실시간 처리 서비스, 증강현실 서비스, 초연결 서비스 등 대용량의 데이터 처리가 요구된다. 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 방법으로 통신 사업자는 부족한 네트워크 용량 증대를 위해 트래픽이 밀집된 지역에 펨토셀과 같은 소형 기지국을 증설하여 서비스 품질 요구에 맞추려 하고 있다. 그러나 과도한 기지국 증설은 오히려 사용자 단말에게 과도한 전파 간섭 영향을 일으키고 있으며 특정 셀에 많은 트래픽 부하가 집중될 가능성이 있다. 그 결과 기지국으로 원활한 접속이 되지 않거나 throughput 이 현저히 떨어져 서비스의 질이 저하된다. 최근 전파 간섭을 제거하고 네트워크 부하를 분산 시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

3GPP 에서는 CoMP 기술을 제공하고 있다. 상기 CoMP 기술은 단말의 throughput 을 높이기 위해 이웃 셀들과 협력하여 서빙 셀 뿐만 아니라 다른 인접 셀로부터 통신할 수 있도록 해줌으로써 셀들 간의 간섭을 줄이고 셀들의 경계에서 단말의 throughput 을 높이는 기술이다. 또한, ICIC 기술을 제공하고 있다. 상기 ICIC 기술은 3GPP release 8 에 정의되어 있는 LTE 시스템의 간섭 제어 기술로서 인접한 셀들 간에 단말들이 서로 다른 주파수 자원을 사용함으로써 셀들 간의 간섭을 줄이는 기술이다. 상기 ICIC 를 제공하는 기지국은 X2 인터페이스를 통해 이웃 셀들의 간섭 상황을 파악하고 간섭을 피하도록 단말에게 무선 자원을 할당할 수 있다.

MLB 알고리즘은 셀들의 부하를 분산하기 위해 제안된 방법 중 하나이다. 각 셀별로 부하의 양을 계산하여 계산된 부하의 양이 인접한 셀보다 상대적으로 적다면 핸드오버의 영역을 줄이고, 반대로 계산 양이 많다면 핸드오버의 영역을 증가시키는 방법이다. 그 결과 셀 외곽에 위치한 사용자의 강제 핸드오버를 유발함으로써 해당 셀의 부하가 감소하는 효과를 볼 수 있다. 본 논문에서는 전파 간섭을 해결하여 단말의 throughput 을 올리거나 셀의 부하를 측정하여 단말의 이동을 발생시키는 방법과 다르게 단말의 간섭 상태를 기반으로 기지국에서 최적의 셀로 단말을 이동시키기 위한 정보를 정의하고 단말과 기지국 간 정보를 송수신하여 단말이 이동할 최적의 셀을 찾는 방법과 절차를 제안한다. 그리고 해당 절차와 기존의 SINR 을 이용한 단말 이동 절차와 비교하여 성능을 분석하도록 한다.

## 2. 본론

단말이 최적의 기지국으로 접속하기 위해서는 단말 내부에서 측정하는 SINR 혹은 RSRQ 값을 계산하고 계산된 값을 기지국으로 전달한다. 기지국은 현재 계산된 신호세기 값을 기반으로 단말에게 최적의 기지국으로 이동하도록 메시지를 전송한다. 하지만 신호의 세기만을 이용하여 로드 분산할 경우, 밀집된 전파 환경에서는 특정 기지국에 단말이 집중될 수 있다. 본 논문은 단말의 SINR 값을 이용하여 distribution information 을 정의하고 단말과 기지

국 간 해당 정보를 송수신하는 절차를 제안한다. 해당 방법은 3GPP 표준 문서에 기반하여 절차를 정의하였다. 성능 검증은 SINR 을 기반한 네트워크 분산 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 시뮬레이션하여 일정 시간 동안 특정 단말의 throughput 수치를 비교하였다.

본 논문에서 제안하는 로드 분산 방법은 단말의 SINR 을 통해 주변 기지국의 간섭 정보를 측정하여 현재 단말이 간섭 영향을 받고 있는지, 또는 간섭을 받고 있다면 어느 기지국으로부터 받고 있는지에 대한 정보를 수집할 수 있다. 단말은 자체 내부에서 현재 단말이 영향을 받는 주변 기지국 SINR 값을 측정하고 측정된 SINR 값을 기반으로 기지국 간섭 정보(eNB interference information)를 생성할 수 있다. 해당 간섭정보를 measurement report 를 통해 기지국으로 전송한다. 기지국은 measurement report 를 통해 전송된 measurement report 내의 SINR 정보를 분석하여 단말의 간섭 상태 별로 접속 가능한 FA 리스트를 SIB 정보를 통해 단말로 전송한다. 기지국으로부터 SIB 를 전달받은 단말은 현재 측정한 SINR 정보와 기지국으로부터 전달 받은 FA 리스트를 기반으로 최적의 FA 즉, 기지국을 선택하고 해당 정보를 단말이 RACH 절차 후 기지국으로 UL CCCH 의 RRC Connection Request 메시지에 포함하여 전송된다. UL CCCH 의 RRC Connection Request 메시지를 수신한 기지국은 메시지를 분석하고, 분석된 정보를 기반으로 간섭을 최소화할 수 있는 FA 를 선택하여 Connection reconfiguration 메시지에 포함시켜 단말로 전송한다. 단말은 해당 메시지를 분석 후 추출된 FA 정보를 기반으로 최적의 무선 자원을 할당 받을 수 있는 기지국으로 이동한다. 그림 1 은 위 절차를 도식하였다.

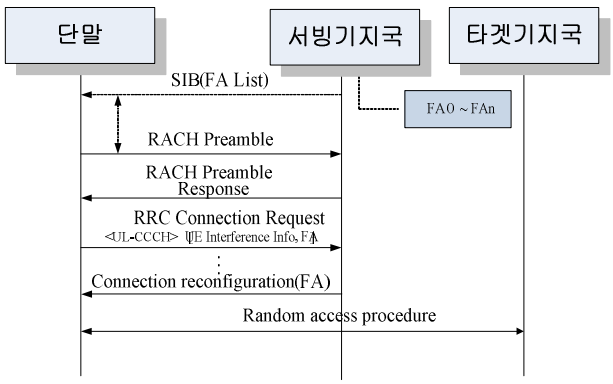



그림 1. 네트워크 로드 분산 절차

그림 2 는 본 논문에서 제안하는 방법과 SINR 통한 로드분산 시 사용자에게 제공되는 throughput 증가 추세를 평균적으로 나타내었다. 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 단말의 속도는 5ms, 셀 수는 7 개, 최대 용량은 3Mbps, 최소 용량은 0.3Mbps 이다. 단말은 20 개를 7 의 셀에 랜덤하게 위치시켰으며 특정 단말의 평균 throughput 을 그래프로 나타내었다.

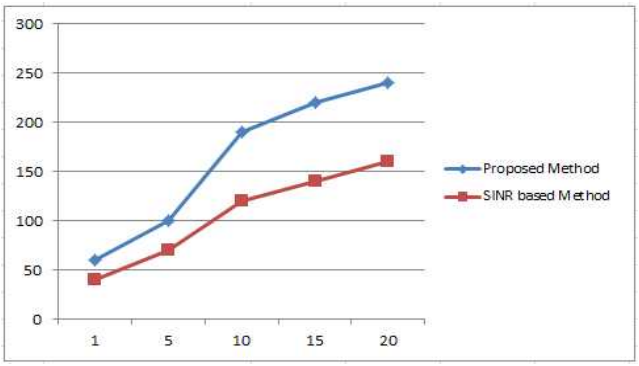



그림 2. 단말 평균 속도

## 3. 결론

본 논문은 단말이 측정한 간섭 정보를 기반으로 interference information 를 생성하고 공유함으로써 기지국은 단말에게 최적의 FA 를 선택하고 해당 기지국으로 이동할 수 있도록 하여 간섭을 최소화한 무선 자원을 단말에게 할당하는 방법을 제안하였다. 또한 신호세기를 기반으로 단말을 분산시키는 방법과 비교하여 시뮬레이션 한 결과 본 논문에서 제안하는 방법이 네트워크 로드 분산하는데 탁월한 결과를 보였다. 본 논문에서 제안한 방법을 통신 시스템에 적용할 수 있다면 해당 통신 시스템은 최적의 자원을 사용자에게 할당해줌으로써 원활한 무선 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 특정 기지국에 집중되는 트래픽 부하도 분산시킬 수 있다. 향후 연구과제는 간섭 정보를 기반으로 기지국뿐만 아니라 단말에서 최적의 기지국을 선택하여 이동할 수 있는 방법을 연구 할 예정이다.

## 4. ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행하였음.

## 5. 참고 문헌

[1] 방승찬, 홍승은, 송종태, 김일규, 박애순, 이문식, 장성철, “5G 이동통신 기술 방향”, 한국통신학회지, 제 30 권, 제 12 호, pp.25-36, 2013 년 11 월.

[2] 3GPP RAN2 R2-151596, Deployment scenarios and requirements for Idle mode Load Balancing, Verizon Disc,2015, ftp://ftp.3gpp.org/tsg_ran/WG2_RL2/TSGR2_89bis/Docs/R2-151596.zip

[3] 3GPP RAN RP-150491, New WI proposal: Multicarrier Load Distribution in LTE, 2015, ftp://ftp.3gpp.org/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_67/Docs/RP-150491.zip

[4] Chung-Hsin Lee, Study of Load Balance in 3GPP Femto-cell Network: Network Operations and Management Sysposium 13th Asia-Pacific, 2011.

[5] Chungang, Concurrent Mobility Load Balancing in LTE Self-Organized Networks: IEEE 978-1-4799-5141-3/14, 2014.

# 하이브리드 매질을 이용한 안테나 설계 및 인체 영향 분석

이호준, 염인수°

전자부품연구원

# The antenna by using Hybrid material and analysis the effect on human body

Ho-Jun Lee, In-Su Yeom°

ICT Device • Packaging Research Center, KETI

hjlee@keti.re.kr

## 요 약

본 논문에서는 WBAN 에서 활용 가능한 소형의 안테나를 설계하였다. 기본적인 형태의 3 종류(다이폴/루프/모노폴)의 안테나가 고안되었다. 제시된 안테나는 각각 AMC 구조와 투자율( $\mu$ =1.7)의 페라이트를 적용하였고 2.4GHz 대역에서 동작하고 - 10dB 이하의 반사손실을 보여주고 있음을 확인 할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 설계, 분석하였고, 실제 인체(사람 팔)에 적용하여 인체에 대한 영향을 분석하였다.

## 1. 제목

일반적으로 AMC/ENG/MNG/인공 자성체 계열 이방성 매질을 통틀어 하이브리드 전파매질이라 칭한다. 본 논문에서는 WBAN 인체통신에 적용 가능한 wearable 형태의 다이폴/루프/모노폴 형태의 안테나를 설계하였다. WBAN 시스템은 인체 내부 및 인체 표면에서 동작하므로 고 유전율 및 고 도전율을 갖는 인체 매질에 대한 영향을 고려해야 하며, 특히 안테나는 근역장 매질 특성에 따라 안테나 의 방사 특성 및 반사 손실 특성이 변하게 되므로, 이를 고려한 안테나 설계가 요구된다. 이에 AMC 구조와 투자율( $\mu$ =1.7) 전파매질을 이용하여 인체 전자파 저감형 안테나를 제시하였다.

## 2. 본문의 작성

최근 무선의료 서비스, 및 이동통신분야의 분야의 활용도가 높은 WBAN(Wireless Body Area Network) 기술에 관한 연구가 계속 발전하고 있다.[1] 인체 매질이 통신 성능에 미치는 영향이 달라지며, 특히 안테나가 포함되어 있는 주변의 매질 특성에 따라 안테나의 방사 특성과 정재파 특성이 변하게 된다. 이에 본 논문에서는 AMC 구조와 투자율( $\mu$ =1.7) 전파매질을 이용하여 안테나를 설계하였고, 실제 인체에 영향에 관한 분석을 하였다.[2-3] 다이폴/루프/모노폴 형태의 안테나를 설계하였고, CST 해석 툴을 이용하여 분석하였다. 그림 1 은 설계된 안테나의 구조를 보여준다. 그림 1 (a)는 다이폴 안테나, 그림 1 (b)는 루프, 그리고 그림 1(c)는 모노폴 안테나를 보여준다. 기판은 상대 유전율 ( $\varepsilon_r$=4.4), tan $\delta$ =

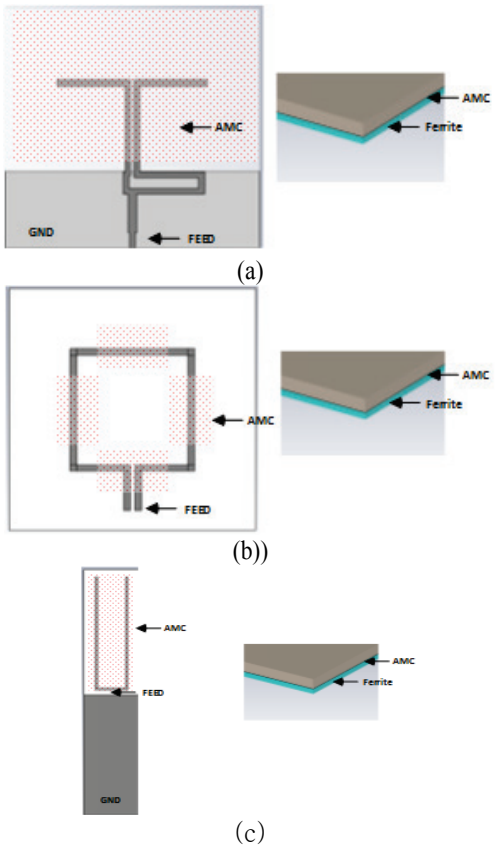
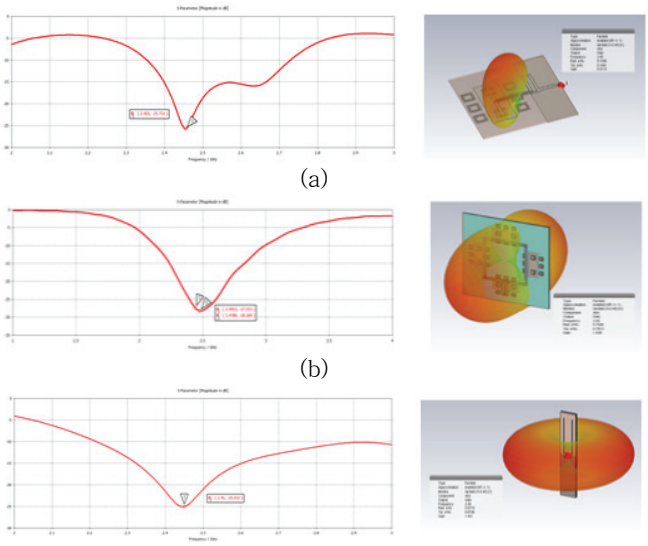



그림 1. 안테나구조 (a) 다이폴 안테나 (b) 루프 안테나 (c) 모노폴 안테나

0.02 인 FR-4 를 사용하였다. 두께는 1mm 이다. 사용된 페라이트(ferrite)는 투자율( $\mu$ =1.7)이고 유전율 ( $\varepsilon_r$)은 4.8 이다. 그림 2 는 제안된 안테나의 반사손



(a) (b) (c)

그림 2. 제안된 안테나 반사 손실 계수 및 방사패턴 @ 2.45GHz (a) 다이폴 안테나 (b) 루프 안테나 (c) 모노폴 안테나

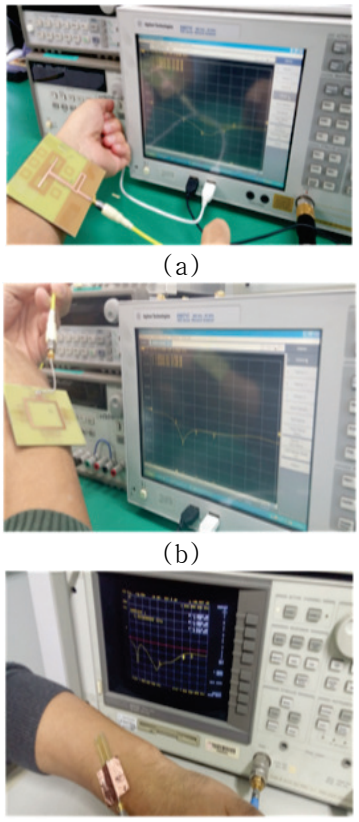
실 및 방사패턴을 보여준다. 각각의 안테나의 반사 손실은 동작 주파수 대역(2.45GHz)에서 - 10dB 이하이다.

다이폴 안테나의 방사패턴은 그림 2(a)에서 보여 주고 있다. 그림에서처럼 2.45GHz 대역에서 안테나의 이득은 0.5dB 이고 방사효율은 15%를 보여주고 있고, AMC 구조를 사용하기 위해 발룬(Balun)구조를 이용하여 설계하였다. 그림 2(b)는 루프 안테나의 방사패턴과 방사효율을 보여주고 있다. 그림에서처럼 2.45GHz 대역에서 안테나의 이득은 1.53dB 이고 방사효율은 78%이다. 마지막으로 그림 2(c)에서는 모노폴 안테나의 방사효율 및 방사패턴을 보여준다. 1.45dB 이득을 보여주고 있고 87%를 나타나고 있음을 확인 할 수 있다.

그림 3 은 실제 측정된 안테나를 인체에 적용한 후 S-parameter 측정 결과 및 측정과정을 보여주고 있다. 인체 표면(사람 팔)에 실제 적용함으로써 WBAN 에서의 적용에 활용가능하고 시뮬레이션 결과와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 AMC 구조와 Ferrite 의 적층 구조의 제안된 안테나는 주파수의 대역폭이 확대되고 주파수가 고유전율의 인체에 접촉했을 때 천이가 크게 나타나고 있지 않음을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 WBAN 에서 활용 가능한 소형의 안테나를 설계하였다. 기본적인 형태의 3 종류(다이폴/루프/모노폴)의 안테나가 고안되었다. 제시된 안테나는 각각 AMC 구조와 투자율( $\mu$ =1.7)의 페라이트를 적용하였고 2.4GHz 대역에서 동작하고 - 10dB 이하의 반사손실을 보여주고 있음을 확인 할 수



(a) (b) (c)

그림 3 인체적용 (안테나+AMC+페라이트)메타적용 전후 제안된 안테나의 실체 측정된 반사계수 (a) 다이폴 안테나 (b) 루프 안테나 (a) 모노폴 안테나

있다. 시뮬레이션을 통해 설계, 분석하였고, 실제 인체 (사람 팔)에 적용하여 인체에 대한 영향을 분석하였다. WBAN 통신에 사용가능한 다양한 종류의 안테나를 목적에 따라 활용가능 할 것으로 보이며, 추가적인 SAR 연구와 AMC 구조 연구가 필요할 것으로 보인다.

** *본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음[2014-044-047-001]*

## 4. 참고 문헌

[1] 윤영중, 이상훈, 김기준, "WBAN 안테나 설계 기술", 한국통신학회지, 25(2), pp. 32-40, 2008 년 2 월

[2] 장건호, 강승택, "직각 링과 용량성 결합된 마이크로 스트립 패치 구조의 새로운 2 차원 메타 재질 구조 CRLH 0 차 공진 안테나의 설계", 한국전자파학회논문지,2010 년 2 월

[3] C. H. Lin, K. Saito, M. Takahashi, and K. Ito, "Acompact planar inverted-F antenna for 2.45 GHz on-body communications", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.60, no. 9, pp. 4422-4426, Sep. 2012

# Zadoff-Chu 시퀀스 기반 OFDMA 시스템 공존 성능 분석

김형윤° 남해운

한양대학교 전자통신공학과

# A study on co-existence of OFDMA systems based on Zadoff-Chu sequence

Hyeongyun Kim° and Haewoon Nam

Department of Electronics and Communication Engineering, Hanyang University

{Nagne03, Hnam}@hanyang.ac.kr

요 약

본 연구에서는 서로 다른 OFDMA 시스템이 서로 공존하는 환경에서 Zadoff-Chu 시퀀스를 이용한 OFDMA 성능을 분석하도록 한다.

## 1. 서론

사물 인터넷 환경이 확대되면서, 여러 통신기기 제조 업체들은 앞다투어 제품을 내어놓고 있다. 하지만 이러한 제품들이 체계화된 주파수 사용이 어려워 보이는데, 이로 인해서 여러 통신시스템이 한정된 공간에서 서로 동일한 주파수를 사용하면서 생기는 간섭으로 인해 통신 속도 및 성능을 저하시키게 된다. 또한 여러 통신시스템을 제어하는 통합 컨트롤러가 없는 상황에서, 여러 신호들은 동기가 맞지 않은 채 각 시스템의 수신기로 흘러들어가 간섭을 일으킨다. 서로 다른 시스템으로부터 송신된 여러 신호들의 충돌 가능성이 항상 있다라는 것을 가정하고, 각 신호간에 직교성 및 상관성이 좋은 특성을 가진 코드를 활용하여 간섭의 영향을 최소화하는 것이 하나의 좋은 대안이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 LTE 시스템 내에서 동기화 과정 및 랜덤 다중접속 과정에서 사용되고 있는 자도프-추(Zadoff-Chu) 코드를 활용하여 이기종 직교주파수분할 다중접속방식(Orthogonal Frequency Division multiple access: OFDMA) 시스템이 공존시 성능을 분석하도록 한다.

## 2. 시스템 모델

해당 논문에서 고려하고 있는 통신 시스템의 개략적인 모습을 그림 1 에서 나타내고 있다. 사물 인터넷 기기들의 활용 및 기능의 우선순위에 따라 서로다른 프로토콜을 사용하고 있는 상황이지만, 해당 연구 시스템 모델에서는 OFDMA 시스템을 사용하는 와이파이와 같은 통신시스템 및 기기를 고려한다. 각 통신 기기들은 각각의 통신 시스템에 속해있고 각 통신시스템 간의 통제 및 조절은 어려운 상황이다. 이러한 상황에서 간섭제어가 어렵고

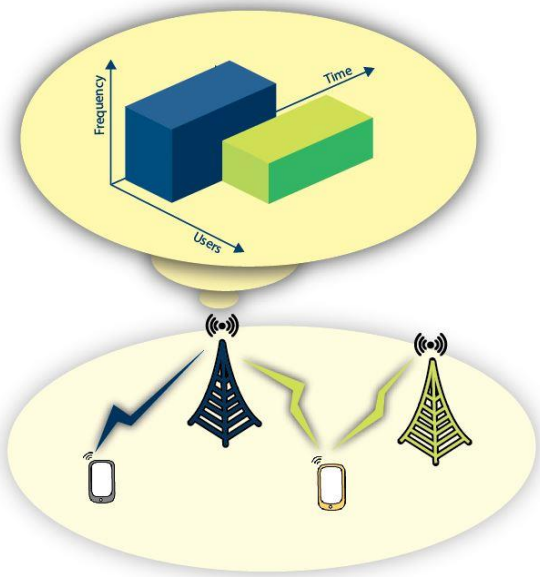



**그림 1. 이 기종 통신 시스템이 공존하는 환경**

시간 축에서 동기가 맞지 않아 인접 주파수 신호조차 간섭으로 영향을 미친다. 주파수 축에서는 신호의 밴드가 동일하거나 혹은 서브캐리어가 겹쳐서 간섭이 이루어지는 경우를 고려한다. 이 때 간섭의 세기가 충분히 강한 경우 신호를 복구하는 것이 어렵다. 동일 주파수 내 간섭이 혼재하는 것을 미리 중재하고 회피하는 것이 불가능하다고 했을 때, 각 신호의 직교성 및 상관성을 이용한 신호 인식 방법을 고려하는 것은 의미 있는 방법이 될 수 있다. 본 논문에서는 LTE 시스템의 랜덤 다중접속 및 동기화 과정에서 쓰이고 있는 직교성 및 상관성이 뛰어난 자도프-추 코드를 사용하고자 한다. 자도프-추 코드는 특정 코드길이에 대해 동일 코드 근(Root index)사용하여 코드를 생성하더라도 순환적 자리이동을 하는 것으로 여러 개의 직교하는 코드를

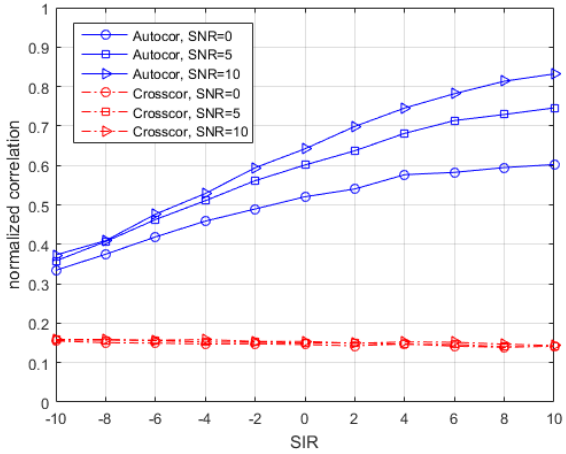



**그림 2. 각 SNR 및 SNR 에 따른 자기상관과 상호상관 분포**

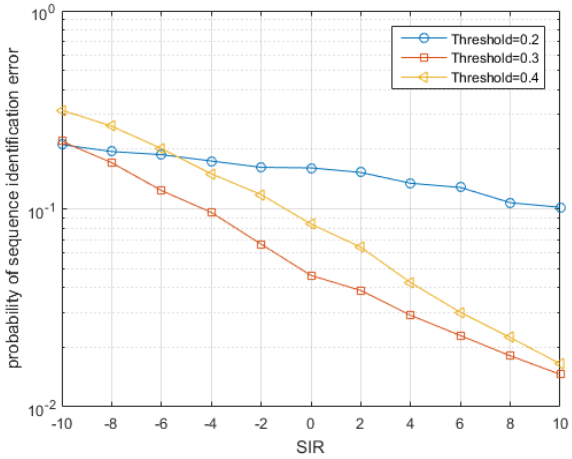



**그림 3. 각 문턱값 및 SIR 에 따른 자도프-추 코드인식오류 분포**

생성할 수 있으며, 뛰어난 직교성 특성과 코드 간 뛰어난 상관성 특성을 보인다[1-2]. 또한 [3]에서 보이는 것과 같이 코드 길이와 코드의 코드 근 값에 따라 상호상관 값을 예측하는 것이 가능하다. 이러한 자도프-추 코드의 특성을 이용하여 각 OFMDA 시스템으로 송신되는 신호의 서브캐리어에 자도프-추 코드가 삽입되어 있는 상황을 고려한다.

## 3. 시뮬레이션 및 분석

A 시스템에서는 두 개의 코드 근으로 생성된 자도프-추 코드 중 하나를 랜덤하게 송신하고, B 시스템에서는 자도프-추 코드를 삽입한 OFDMA 심볼이 간섭으로 영향을 미친다. 이 때 송신된 신호와 수신된 신호의 코드 근을 비교하여 코드 인식 에러 확률을 고려한다. 코드 인식에 있어서 각 코드를 구분하기 위해 상호 상관 및 자기 상관 값을 이용한다. [3]의 이론적으로 예측 가능한 상호상관 값을 얻기 위해서는 동기 상황과 동일 FFT 사이즈를 사용하는 것이 불가피하다. 따라서 동기 및 동일 FFT 사이즈를 사용하는 경우를 고려하였다. [3]에 따라 상호 상관 값을 최소로 하는 코드 근들로 설정한 후 SNR 및 SIR 에 따른 상호상관과 자기상관 분포를 그림 2 에서 보이고 있다. 상호상관은 SIR 과 SNR 에 크게 관계없이 평균적으로 일정함을 보이며, 자기상관은 점진적 증가 형태를 보인다. 상호상관 값은 초과하며 자기 상관 값 보다는 작은 문턱 값을 설정하고 문턱 값을 초과하는 코드를 해당 코드로 인식하도록 한다. 레일리 채널 환경시 각 문턱 값에서 SIR 에 따른 코드 인식 에러율을 그림 3 에서 보인다. 그림 2 에서 보인 상호상관과 자기상관 값의 사이 값이 되는 지점이 문턱 값이 될 때 각 SIR 값에서 상대적으로 낮은 인식 오류율을 보인다.

## 4.결론 및 추후 과제

각 SNR 과 SIR 에 따른 상호상관과 자기상관 값의 사이값을 문턱 값으로 설정하여 동일 주파수 내 간섭 신호 속에서 인식 가능한 성능을 보인다. 시뮬레이션 상에서는 코드 길이가 비교적 짧게 설정되었으나, 코드의 길이가 길어짐에 따라 상호상관값이 낮아지게 되고, 이로 인한 문턱 값으로부터 상관 값까지 거리 증가로 향상된 인식오류율을 기대할 수 있다. 코드 간의 상호상관 값은 SIR 과 SNR 에 크게 영향 받지 않고 각 코드의 파라미터에 의하여 거의 일정한 것으로 보여지므로 문턱 값 설정시 각 코드의 파라미터 설정이 중요하게 작용할 것이다. 추후 동기 및 비동기적인 상황에서 SNR 과 SIR 을 고려한 최적의 문턱 값을 도출하는 알고리즘 연구가 필요할 것으로 보인다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터의 지원을 받아 수행되었음.

## 5. 참고 문헌

[1] R. L. Frank and S. A. Zadoff, “Phase shift pulse codes with good periodic correlation properties,” *IRE Trans. Inf. Theory*, vol. 8, no. 6, pp. 381–382, Oct. 1962.

[2] D. C. Chu, “Polyphase codes with good periodic correlation properties,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-18, no. 4, pp. 531–532, Jul. 1972.

[3] J. W. Kang, Y. Whang, B. H. Ko, and K. S. Kim, “Generalized crosscorrelation properties of Chu sequences,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 1, pp. 438–444, Jan. 2012.

# 고밀도 소형 셀 환경에서 유선 이동 셀을 이용한 핸드오버 감소 방안 연구

박진웅° 오성준
고려대학교 컴퓨터전파통신공학과° 고려대학교 사이버국방학과
jwpis@korea.ac.kr seongjun@korea.ac.kr

## 1. 서론

최근 이동통신시스템에서 폭발적인 데이터 수요 증가를 감당하기 위해 매크로 셀 위에 소형 셀을 중복 설치하는 이종네트워크 기술이 많은 관심을 받고 있다. [1]에서는 네트워크 전송 속도와 용량 증가를 위해 점점 많은 셀이 설치 될 것으로 예측하고 있다. 소형 셀이 초고밀도로 설치 되면 기지국과 사용자간의 거리가 줄어 들게 되어 좋은 신호 환경을 보장 할 수 있을 뿐만 아니라, 매크로 셀의 음영 지역을 보완하고 주파수 재사용율을 높일 수도 있다. 그러나 소형 셀이 초고밀도로 설치면서 생기는 간섭제어, 에너지 효율, 잦은 핸드오버 발생 등의 문제는 아직 해결해야 할 문제로 남아 있다. 본 논문에서는 초고층 실내 건물 환경에서 소형 셀이 초고밀도 설치 되어있을 때 핸드오버 수를 감소시키기 위해 엘레베이터를 활용하는 방안을 제시한다.

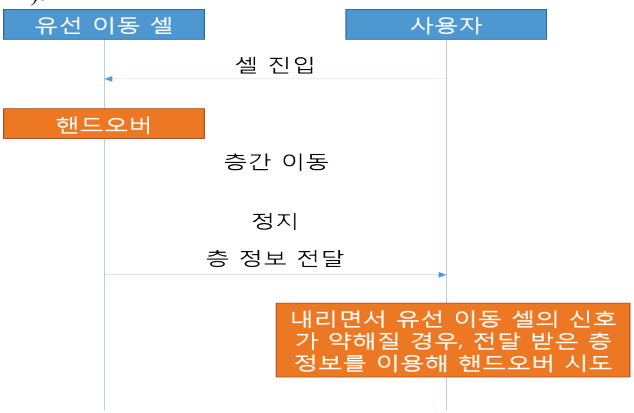
## 2. 본론

최근 소형 셀은 실,내외를 구분 없이 범용적으로 설치하는 것을 고려하고 있다. 특히 사무실이나 쇼핑몰 같이 좁은 지역에 인구밀도가 급격히 높아지는 곳에서는 소형 셀을 설치 함으로써 데이터 수요를 감당 할 수 있을 것이다. 그러나 좁은 지역에 소형 셀이 초고밀도로 설치 됨에 따라 단말은 잦은 핸드오버를 경험하게 된다. 잦은 핸드오버의 발생은 단말의 배터리 사용량을 증가 시킨다. 본 논문에서는 초고층 빌딩에서 소형 셀이 초고밀도로 설치 되어 있을 때 이를 해결하기 위해 아래와 같은 방법을 제안 한다.

우선 엘리베이터에 안에 소형 셀이 설치 된다(유선 이동 셀). 이 유선 이동 셀은 엘리베이터와 연동되어 해당 층에 정보를 알 수 있도록 설계한다. 유선 이동 셀은 건물내부에 해당 층에 정지 할 경우 내부의 단말에게 해당 층의 정보를 전달 해준다. 유선 이동 셀 내부에서 서비스 받는 단말은 유선 이동 셀로부터 층의 정보를 전달 받고 있는 경우(엘레베이터가 정지 상태)가 아닐 때에는 핸드오버를 시도하지 않는다. 엘리베이터 내부의 공간은 충분히 작은 편이면서 전파 지연 등의 지연 현상이 발생하지 않아 단말<->유선 이동 셀간의 통신은 지연 없이 된다고 가정하였다.

유선 이동 셀의 장점은 엘리베이터안 사용자가 엘레베이터를 타고 이동하는 동안 핸드오버를 경험하지 못한다는 장점이 있다. 저/고속으로 수십 혹은 수 층을 이동하는 동안 사용자는 오직 유선 이동셀에서만 서비스를 받게 된다. 또한 엘리베이터 내부의 셀이 있기 때문에 엘레베이터 내부에서 신호 환경이 급격히 나빠지는 현상을 해소 할 수 있을 것으로 기대된다.

두 번째로 엘리베이터를 내리는 사용자에게 해당 층의 정보를 전달함으로써 주변 기지국 탐색과 신호 환경이 나쁜 셀로의 잘못된 핸드오버를 제한 할 수 있다. 예를 들어 사용자가 엘레베이터에서 n 층에 내리는 경우 단말은 n-1 층의 소형 셀과 n+1 층의 소형 셀 등으로 잘못된 핸드오버를 시도 할 수 있으며 또한 상 하층의 셀을 탐색하는 로드가 추가로 발생하게 된다. 그러나 본 논문에서 제안 하는 기법처럼 유선 이동 셀이 해당 층의 정보를 핸드오버하기 전 단말에게 사전에 제공함으로써 최적화된 셀로의 핸드오버를 시도 시켜줄 있다(하단 그림 참조).




## 3. 결론

이 논문에서 우리는 초고층 건물에 소형 셀이 초고밀도 설치된 환경에서 핸드오버를 감소시키기 위한 방법을 제안하였다. 잘못된 핸드오버와 잦은 핸드오버를 감소시키기 위해 건물 내부에 설치된 엘레베이터를 활용하여 유선 이동 셀이라는 개념을 도입하였다. 아직 기본적인 아이디어만이 나와 있는 개념이지만 사물인터넷 환경과 결합하여 상용화 할 수 있는 기술이 된다면 소형 셀 네트워크 구현에 도움일 될 것이라 판단된다.

## 4. 참고 문헌

[1] I. Hwang, B. Song, and S.S. Soliman, “A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks ,” IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 6, pp. 20-27, Jun. 2013

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[B0194-15-1002,한중 5G 초고주파 요소기술 공동연구 및 표준화 추진기반 국제협력]

# 인터넷 환경에서 WOL 패킷 전달에 대한 연구

변성원 °, 권은정, 정의석, 이현우, 이용태

한국전자통신연구원 스마트플랫폼연구부

# A Study on Delivering WOL Packet in Internet

Sungwon Byon°, Eunjung Kwon, Eui-Suk Jung, Hyun-Woo Lee, Yong-Tae Lee

Smart Platform Research Department, Electronics and Telecommunications Research Institute

swbyon@etri.re.kr, ejkwon@etri.re.kr, esjung@etri.re.kr, hwlee@etri.re.kr, ytlee@etri.re.kr

## 요 약

인터넷 환경에서 사용되는 IT 단말은 전력 사용을 줄이거나 수명을 연장할 목적으로 단말을 비활성화 상태에 두고 필요에 따라 단말을 깨워 요구되는 작업을 수행토록 할 수 있다. 단말이 비활성화 상태일 때 원격에서 단말을 깨우기 위한 방법으로 WOL(Wake On LAN) 기술을 적용할 수 있다. WOL 패킷은 CPU 와 독립적으로 단말의 LAN 장치에서 인식되며 이를 통해 비활성화 단말을 활성화 상태로 천이시킬 수 있다. WOL 을 이용하여 원격에서 비활성화 단말을 상태를 바꾸려면 WOL 패킷이 단말의 LAN 장치에 전달되어야 하지만 인터넷의 네트워크 환경에서는 이를 보장할 수 없다. 본 논문은 WOL 패킷을 전달이 이루어지지 않는 원인을 설명하고 WOL 패킷을 전달을 위한 한 가지 방안을 제안한다.

## 1. 서론

PC 의 소비전력 저감을 위해 일정 기간 사용자 입력이 없을 경우 상태를 비활성화시키는 방안이 일반적으로 제공되고 있다. 비활성화 상태의 PC 는 사용자 입력이 발생하면 활성화된다. 이런 비활성화는 활성화 상태로 전환에 소요되는 1~3 초의 지연을 제외하면 별다른 불편이 없어 폭넓게 활용되고 있다. PC 와 사용자가 동일한 장소에 있지 않을 경우 사용자 입력을 통해 비활성화 상태 PC 를 활성화 시킬 수 없다. 원격지에서도 필요에 따라 PC 를 활성화 할 수 있다면 장소를 이동하는 노력이 필요가 없으므로 PC 를 활성화 상태로 유지할 필요가 줄어든다. 대학 캠퍼스 같이 많은 PC 를 사용하는 시설에서 원격에서의 상태 통제를 제공하여 사용 편의성을 유지하는 동시에 소비전력을 낮추려는 [1]과 유사한 시도가 있어 왔다.

[1]은 각 PC 에 대한 정보를 수집, 관리하는 서버와 각 PC 에 설치되는 클라이언트 프로그램으로 구성된다. 클라이언트는 PC 의 IP 주소, MAC 주소, 현재의 상태를 서버에 보고하고 서버는 클라이언트와 연동하여 이들 정보를 수집하며 사용자에게 PC 의 상태를 제어하는 인터페이스를 제공한다. 사용자는 서버가 제공하는 인터페이스를 이용하여 PC 의 상태를 schedule 하거나 interactive 하게 변경시킬 수 있다.

비활성화 상태의 PC 나 IT 기기를 활성화로 천이시키기 위한 방법으로 WOL magic 패킷이 널리 사용되고 있다. WOL magic 패킷은 LAN 장치의 MAC 주소를 특정 패턴으로 배치한 것으로 CPU 에서 제공하는 computing 없이 LAN 장치에서 인식된다. WOL magic 패킷에 의한 wakeup 을 지원하는 LAN 장치는 자신의 MAC 으로 구성된 magic 패킷이 도착하면 이를 인지하고 interrupt 등의 수단으로 CPU 를 깨운다.

그림 1. 상황인지 제어 알고리즘

그림 1 은 네트워크 상에서 원격에 존재하는 외부 Node 에서 PC 에 WOL magic 패킷을 보내는 환경을 나타낸 것이다. 외부 node 는 PC 의 IP 주소와 MAC 주소를 유지하고 있으며 이를 이용 WOL magic 패킷을 생성하고 PC 의 IP 주소로 송신한다. 이때, PC 는 비활성화 상태이므로 UDP 를 이용하여 WOL magic 패킷을 송신한다. 송신된 WOL 패킷은 네트워크 인프라를 구성하는 PC 측 최종 라우터에 도착한 후 최종 라우터에서 PC 의 LAN 장치가 연결된 포트로 WOL 패킷을 전송한다.

## 2. 최종 라우터의 WOL 패킷 배달 보장

최종 라우터를 R, wakeup 대상 PC 를 P 이라 할 때, R 에 WOL 패킷이 전달되면 R 은 WOL 패킷의 destination IP 주소를 보고 P 에 대한 경로를 결정한다. 이때, R 은 내부적으로 P 에 대한 라우팅 정보를 유지하고 있으며 이 정보는 ARP(Address Resolution Protocol)에 의해서 유지된다. 최종 라우터는 PC 의 IP 주소(layer3 의 주소)와 PC 에 장착된 네트워크 장치가 갖는 mac 주소(layer2 의 주소)를 매칭시키는 ARP(Address Resolution Protocol) 정보를 유지하고 있다. 기본적인 ARP 정보는 (129.254.63.101, 78:24:af:88:dc:9b)와 같이 IP 주소와 MAC 주소의 쌍으로 구성된다. 라우터에서 IP 계층의 데이터 패킷이 다음 노드로 전달되려면 IP 계층 데이터 패킷에 source MAC 주소, destination MAC 주소 등이 추가된 layer2 계층의 데이터 패킷으로 변환되어야 한다. 이때, IP 주소에 대한 MAC 주소를 찾기 위해 ARP 정보가 이용된다.

ARP 정보는 설치 환경에 따라 별도의 수명 없이 영구적으로 유지될 수도 있으나 일반적으로 라우터의 경우 3~10 분 정도 수명을 갖도록 관리되고 수명이 끝나면 버려진다. PC 가 활성화 상태에 있는 경우 최종 라우터의 PC 에 대한 ARP 정보는 정상적으로 유지된다. ARP 수명이 지난 상태에서도 PC 를 향한 데이터 패킷이 도착하면 최종 라우터는 PC 가 연결된 네트워크로 ARP 요청을 broadcast 하고 PC 는 이 요청에 ARP 응답을 함으로 ARP 정보가 갱신 유지된다. PC 의 비활성화 상태에서는 PC 가 최종 라우터의 ARP 요청에 응답하지 않으므로 최종 라우터의 ARP 정보의 수명 종료 시 PC 에 대한 정보가 없어진다. 최종 라우터의 ARP 정보가 없으면 외부 네트워크에서 보낸 WOL 패킷은 PC 의 LAN 장치로 전달하지 못한다. 따라서, 최종 라우터에 도착된 WOL 을 비활성화된 목표 PC 의 LAN 장치에 전달하려면 항상 목표 PC 에 대해 유효한 ARP 정보를 유지해야 한다. 최종 라우터의 ARP 정보를 지속적으로 유지하기 위해 두 가지 방법이 있다.

첫째, ARP 정보를 고정적으로 설정.

ARP 정보를 고정적으로 설정하면 수명에 무관하게 유지됨으로 최종 라우터에 도착한 WOL 패킷의 전달이 보장될 수 있다. 이 경우, PC 측에서 추가적인 기능 없이 원격 wakeup 을 이용할 수 있으나 최종 라우터의 설정에 대한 권한이 없는 경우는 사용할 수 없다.

둘째, 수명 만료 전 ARP 정보의 갱신 및 수명 연장.

ARP 정보의 수명을 검출한 후 수명 만료 전 최종 라우터의 ARP 정보를 갱신하는 작업을 수행할 수 있다. 수명 만료 전 ARP 정보가 갱신되면 만료 시점이 연장된다. ARP 정보의 갱신을 반복적을 수행하면 지속적으로 ARP 정보의 유지할 수 있다. 이 경우, ARP 정보의 수명을 검출이 필요하고 반복적인 ARP 갱신을 위한 주기적 wakeup 으로 비활성화 상태의 시간이 줄어드는 단점이 있으나 최종 라우터의 설정 변경을 위한 권한 없이 구현될 수 있다.

ARP 정보의 주기적 갱신의 경우 PC 의 wakeup 과 ARP 정보 갱신의 소요시간을 5 초 이내로 추정되며 갱신주기를 3~10 분으로 가정하면 ARP 정보 관리를 위해 PC 가 활성화되는 시간이 대기 시간의 0.5~2.7% 정도를 점유한다.

## 3.결론

본 논문은 LAN 장치를 갖는 PC 등 IT 기기를 위한 원격 상태 전환 방안을 제안하였다. WOL 을 이용하여 원격에서 비활성화 상태의 IT 기기를 wakeup 시키려면 IT 기기 측 최종 라우터의 ARP 정보가 필수적으로 유지되어야 한다. ARP 정보의 지속적인 유지를 위한 방안으로 고정 ARP 정보 할당 외에 일반적으로 사용할 수 있는 ARP 정보 수명 갱신 방안을 제시하였다. ARP 수명 갱신 방안은 라우터의 ARP 수명에 길수록 더 오랜 기간 단말이 비활성화 상태에 머물 수 있으며 일반적인 인터넷 환경의 라우터에서 수명 갱신을 위한 활성화 상태를 대기 시간의 0.5~2.7% 정도의 낮은 비율로 유지할 수 있다. 본 논문에서 제안한 ARP 정보 수명 갱신을 이용하여 PC 등 IT 기기를 비활성화에 두는 동시에 원격에서 필요에 따라 wakeup 시켜 작업을 수행시킬 수 있어 편리성 확보와 함께 전력 절감을 기대된다.

## 4. 참고 문헌

[1] L. Chiaraviglio and M. Mellia, “Polisave: Efficient Power Management of Campus PCs”, International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2010.

[2] Z. Zhao, W. C. Lee, Y. Shin and K. Song, ”An Optimal Power Scheduling Method Applied in Home Energy Management System Based on Demand Response,” ETRI Journal, vol.35, no.4, pp. 677-686, Aug. 2013

[3] S.W. Byon, E.J. Kwon, E.K.Jung, Y.T. Lee and W. Ryu, “An Implementation of PC State Management in IP Networks”, International Conference on ICT convergence(ICTC), 2015, pp. 915-917

[4] RFC 826 – Ethernet Addresss Resolution Protocol(Or Converting Network Protocol Address to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware), 1982

[5] Lawrence Berkeley National Laboratory, “Standby power summary table”, http://standby.lbl.gov/, 2012 “Program Requirements for Set-top Boxes”, ENERGY STAR®, Oct. 2014.

## 5.사사

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신• 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[R0101-15-0251, 유료방송용 셋톱박스 소비전력 저감 기술 개발]

# Similarity Analysis for Invisibility in Image Sensor Communication

Mohammad Arif Hossain°, A. Islam, C. Hong, N. T. Le, T. Nguyen, and Yeong Min Jang

Department of Electronics Engineering, Kookmin University

yjang@kookmin.ac.kr

## Abstract

The invisibility of an image renders to information hiding in the image without any notification to user or observer. It has gained a massive recognition to the people due to its practicality lately. However, the emergence of camera and display has bestowed the invisibility in the image with more acquaintance by developing a new method of invisible communication in image sensor communication (ISC). The illumination of the environment has the great effect of the communication technology. In addition, the movement of the image sensor during the transmission can create a blur effect that can hamper in decoding the desired data. With a view to keeping the communication system errorless, we have implemented an invisible communication technology to acquire the transmitted data in the receiver flawlessly. The main objective of this paper is to analysis the similarity between the original image and data embedded an image with the impact of noise from the environment. The performance analysis of our implemented work shows the similarity of the original image and the data embedded image largely, which implies the invisibility of the proposed technology.

## 1. Introduction

Invisible communication is one of the new approaches for image sensor communication. The pervasiveness of display device and camera device has made it more attractive to use in the application of our daily life. Digital signage, billboard, display TV, monitor etc. have become the source of application for invisible communication. The key modules for any communication system consist of transmitter and receivers. The light emitting devices such as a display, digital signage etc. are acted as the transmitter while the image sensor such as camera, photodiode are used as the receiver for invisible image sensor communication. However, the invisible communication has introduced favorable circumstance to accomplish dual use of display so that the user can enjoy the broadcasting of any advertisement and data reception simultaneously. This communication technology can be used for data transmission, coupon sending, URL sending, online payment, online booking etc. effectively [1]. In addition, localization and navigation at the time of emergency circumstances can be other likely cases for invisible communication method [2]. Besides, device-to-device communication can be one of the promising sectors for the invisible communication because the invisibility can give the security for communication [3]. Furthermore, digital signage can be one of the important applicable fields for this technology [4]. However, the benefits of invisible image sensor communication are alike to the advantages of the optical wireless communication (OWC). This communication cannot be limited by the constraints of the bandwidth and optical signal does not make any interference with the RF signal. There is no health risk related issue in this communication too [5].

This communication is not free from limitations. The environmental illumination is one of the great problems of this communication because the data the embedded in the image and retrieved from the received image in the camera receiver which can be full of error as the illumination can contribute to the pixel of the transmitter image. Many research works have performed in order to mitigate the illumination problem in the image sensor communication [6]. Although the illumination problem has solved to a certain extent, some proposed scheme for invisible communication might some problems. Our proposed invisible communication has the advantage of working better under the circumstances of illumination. In this paper, the detailed scheme has not been discussed rather than the similarity between the transmitted image and received image has been analyzed in order prove the robustness of invisibility of our proposed scheme.

## 2. Proposed Approach

We have implemented an invisible image sensor communication that is based on the digital watermarking technology. The similarity between two images can be evaluated using the structural similarity (SSIM) function that has proposed previously for DCT based steganography method [7]. The SSIM analysis involves comparison of two similarly aligned and scaled image. The SSIM function makes comparison for luminance, contrast, and structure between two image signals. In this case, the original image is taken as a reference signal.

$$Lm(x,y)=\frac{2\mu_a(x,y)\mu_b(x,y)+P_1}{\mu_a^2(x,y)+\mu_b^2(x,y)+P_1} \quad (1)$$

$$Cn(x,y)=\frac{2\sigma_a(x,y)\sigma_b(x,y)+P_2}{\sigma_a^2(x,y)+\sigma_b^2(x,y)+P_2} \quad (2)$$

$$St(x,y)=\frac{\sigma_{ab}(x,y)+P_3}{\sigma_a(i,j)+\sigma_b(x,y)+P_3} \quad (3)$$

However, the similarity between the two images for luminance is calculated by considering the mean intensity of the images. The contrast similarity is dependent on the

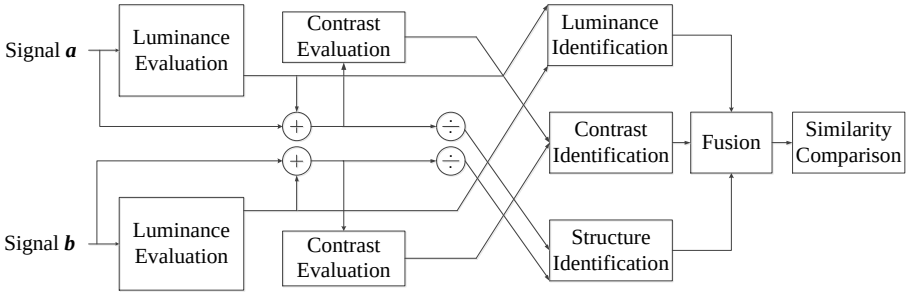



Figure 1: Architecture for structural similarity (SSIM) analysis.

standard deviation (square root of variance) of the images while the similarity analysis for structure is estimated by matching the normalized standard deviation of the image signals. The mathematical formula for luminance similarity, *Lm*, contrast similarity, *Cn* and structure similarity, *St* has given by (1), (2) and (3), respectively. The mean intensity and standard deviation of the image *a* and *b* are denoted by $\mu_m$, $\mu_n$, and $\sigma_m$, $\sigma_n$, respectively. $P_1$, $P_2$, and $P_3$ are the constants that depend on an empirical function. Here, *x* and *y* denotes the pixel coordinate of the images. The SSIM procedure has given in Fig. 1. The formulae for SSIM function has shown by (4).

$$SSIM(x,y) = [Lm(x,y)].[Cn(x,y)].[St(x,y)] \quad (4)$$

## 3.Performance Analysis

The SSIM value for an image of 256x256 size and 24-bit depth has been analyzed that is shown in Fig. 2. The rate of change of SSIM value has calculated with respect to the variation of data rate i.e. bit per second (bps) while the frame rate has found as 30 fps. The changes in the rate of SSIM is very negligible when the data rate was low which indicated low distortion in the image. However, the SSIM maintains a certain range of variation while the data rate has been varied significantly.

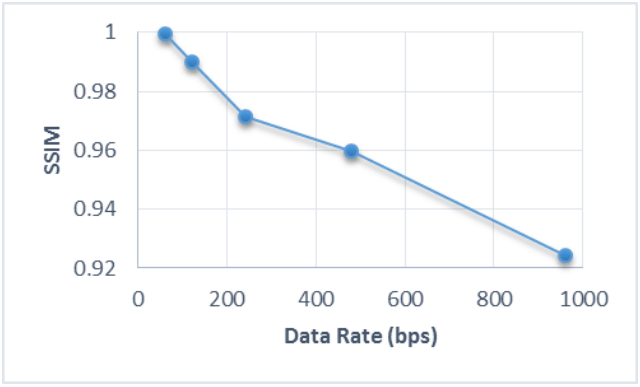



Figure 2: Comparison of SSIM value considering a change in data rate.

## 4.Conclusion

The invisible communication method has opened a new era for image sensor communication. The advantages of this proposed technology have surpassed the limitations. The performance analysis of our work demonstrates the adequate capability to deploy it for real world application. However, the geometric problem during communication process has not considered in this work whereas the photometric variation has taken into consideration.

## Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2013057922).

## 5. References

[1] J. She, J. Crowcroft, Hao Fu, and Pin-Han Ho, "Smart Signage: A Draggable Cyber-Physical Broadcast/Multicast Media System," *IEEE Trans. Emerg. Topics Comput.*, vol. 1, no. 2, pp. 232-243, Dec. 2013.

[2] M. S. Ifthekhar, N. T. Le, M. A. Hossain, T. Nguyen, and Y. M. Jang, "Neural Network-Based Indoor Positioning Using Virtual Projective Invariants," *Wireless Pers. Commun.* vol. 86, pp. 1813-1828, Feb. 2016.

[3] Xiong Xiong; K. Zheng, Rongtao Xu, Wei Xiang, and P. Chatzimisios, "Low Power Wide Area Machine-to-Machine Networks: Key Techniques and Prototype," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 64-71, Sep. 2015.

[4] T. Tung, R. Gomez, T. Kawahara, and T. Matsuyama, "Multiparty Interaction Understanding Using Smart Multimodal Digital Signage," *IEEE Trans. Human–Mach. Syst.*, vol. 44, no. 5, pp. 625-637, Oct. 2014.

[5] A. Sevincer, A. Bhattarai, M. Bilgi, M. Yuksel and N. Pala, "LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETworks — A Survey," in *Commun. Surveys Tuts.*, vol. 15, no. 4, pp. 1620-1641, Apr. 2013.

[6] Mohammad Arif Hossain, C. H. Hong, M. S. Ifthekhar and Yeong Min Jang, "Mathematical modeling for calibrating illuminated image in image sensor communication," *in Proc. IEEE ICTC*, pp. 797-800, 2015.

[7] Mohammad Arif Hossain, Y. T. Lee, H. Lee, W. Lyu, C. H. Hong, T. Nguyen, N. T. Le, and Y. M. Jang, "A Symbiotic Digital Signage system based on display to display communication," in *Proc. IEEE ICUFN*, pp. 124-128, 2015.

# 개인용이동수단용 안전주행지원장비의 군집주행 지원기술 개발

주현태°, 정용무, 민수영

전자부품연구원

# A Development of Platooning Support Technology of Safe Driving Support Equipment for Individual Vehicles

Hyuntae Ju°, Yong Mu Jeong, Soo Young Min

Korea Electronics Technology Institute

{oskernel, ymjeong, minsy}@keti.re.kr

## 요 약

개인용이동수단용 안전주행지원장비는 Lidar 와 초음파 등의 센서를 활용하여 위험 상황을 감지하고 LED 광원이나 스마트기기 등과 연동하여 위험에 대한 경고를 제공하여 자전거나 전동휠 등의 개인용이동수단 탑승자의 안전주행을 지원할 수 있도록 설계되었다. 본 논문에서는 개인용이동수단용 안전장비의 단독 기능 수행뿐만 아니라 군집을 이루어 주행할 때 필요한 상호연동 기술을 개발하고 이에 관하여 논한다.

## 1. 서론

개인용 이동수단용 안전주행지원장비는 주행상황을 기록하거나 감지된 위험정보에 관하여 탑승자에게 경고를 주어 단독 주행시 안전을 지원할 수 있도록 설계되었다.

한편, 개인용이동수단은 단독 주행뿐만 아니라 가족이나 동호인 등이 무리를 지어 주행하는 군집주행이 요구되는 경우가 많다는 것이 자동차와는 다른 특성 중의 하나이다. 이에 따라 본 논문에서는 안전주행지원장비를 탑재한 개인용이동수단이 군집주행을 하고자 할 때 상호간에 필요한 데이터를 공유하며 군집의 안전을 지원할 수 있도록 하는 개인용이동수단용 안전주행지원장비의 군집주행 지원기술을 개발하였다.

## 2. 개인용이동수단용 안전주행지원장비

개인용이동수단용 안전주행지원장비는 Lidar 및 초음파 등의 센서를 통해 접근 위험 물체의 탐지와 접근 패턴 및 거리 등의 감지를 위한 센싱 유닛과 위험도 산출을 위한 임베디드 컴퓨팅 유닛, 그리고 산출된 위험도에 따라 LED 또는 레이저 등으로 주위 바닥면에 경고를 표시하는 광원 유닛으로 구성된다. 또한 스마트 디바이스 또는 블랙박스와 같은 기능의 주행상황기록장치와 연동하면 주행 위치와 당시의 영상 및 위험감지정보를 기록하도록 할 수도 있다. 이는 자전거나 전동휠과 같은 개인용이동수단에 탑재되어 후방 또는 측방에서 접근하는 자동차 등의 위험요소에 대하여 정상주행상태 및 접근위험경고, 방향지시와 같은 안전 정보를 제공함으로써 주행의 안전성을 도모할 수 있도록 하고 있다.

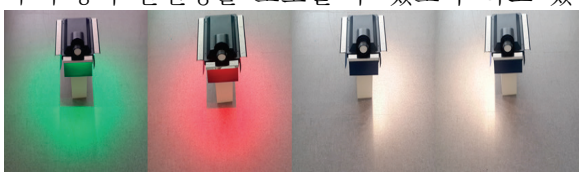


**Figure 1 안전주행지원장비 동작 예시**

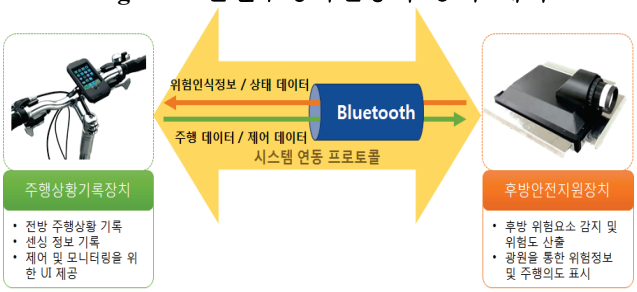



**Figure 2 주행상황기록장치 연동기능 개요**

## 3. 군집주행 지원기술

자전거를 비롯한 개인용이동수단의 특징 중의 하나는 단독주행뿐만 아니라 단체가 무리지어 주행하는 경우도 많다는 것이다. 군집주행을 할 때는 안전을 위해 기본적으로 수신호 등으로 상호간 주행 상황에 대한 정보를 공유하고 후방에서 다가오는 차량에도 주의를 기울여야 할 뿐만 아니라 사고나 낙오자 발생과 같은 갑작스런 상황에 대한 대처 방안도 필요하다.

**Figure 3 군집주행 개념도**

개인용이동수단용 안전주행지원장비 탑재시 군집 주행 지원을 위해 본 논문에서 개발한 군집주행지원기술은 군집 구성원들을 역할에 따라 Leader 와 Member 로 구분하여 각종 센싱 데이터 및 제어 정보 등을 공유하며 군집 주행을 지원할 수 있도록 하였다.

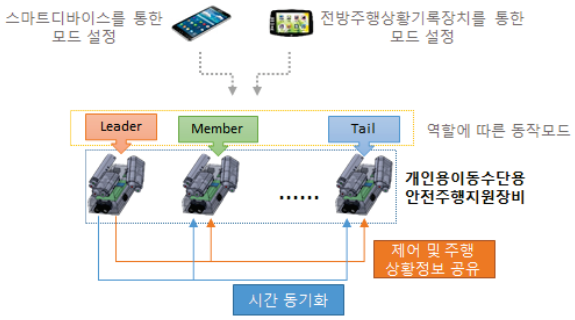



**Figure 4 군집주행 지원기술 개념도**

군집주행 지원기술은 군집내의 역할에 따라 Leader 와 Member 모드로 설정 가능하도록 하고 있으며, Member 는 또다시 일반 Member 와 Tail 로 구분하고 있다. 모드 설정은 연동 가능한 스마트디바이스 또는 전방주행상황기록장치에서 제공하는 애플리케이션의 GUI 를 통해 설정할 수 있으며, 향후 기능 고도화를 통해 위치정보를 통한 자동 설정도 가능하도록 개발할 계획이다.

Leader 는 군집내 멤버들의 자격 검증과 경고정보 전달, 시간 동기화, 방향지시와 같은 각종 제어 데이터 전달 역할을 수행하며, Member 는 Leader 의 제어에 따라 경고 정보를 표시하고 수집 데이터를 Leader 와 공유하는 기능을 수행한다. Member 중에서 특히 Tail 은 대열의 최후방에 위치하며 후방 접근 위험정보를 수집하는 역할을 수행한다.

개인용이동수단용 안전주행지원장비는 군집으로 묶이게 되면 군집 구성원들이 수집하고 공유하는 모든 데이터의 생성 시점을 동일하게 맞추기 위하여 가장 먼저 시간 동기화를 수행하게 된다.

시간 동기화는 먼저 Leader 가 현재 시각 정보를 전파한 다음 Leader 와 나머지 구성원간의 데이터 패킷 전송 지연시간을 산출하여 시간 값을 보정하는 방법으로 수행된다.

한편, 군집주행지원기술은 데이터의 공유나 제어 정보의 전달 뿐만 아니라 네트워크 신호 감도 기반의 대열이탈감지기술까지 포함하고 있어 군집주행 시 발생할 수 있는 여러 유형의 위험 상황에 대비할 수 있도록 하고 있다.

## 4. 결론

자전거나 전동휠과 같은 개인용이동수단은 전자적 시스템뿐만 아니라 구조적인 안전장치가 마련되어 있는 자동차와 달리 사고 발생시 인명피해에 취약하다. 따라서 접근 위험정보를 감지하고 충돌로 인한 사고를 사전에 방지할 수 있도록 하는 것이 개인용이동수단을 위한 안전장치에 요구되는 핵심적인 기술이라 할 수 있다. 아울러 가족이나 친구, 동호인 등의 무리가 대열을 이루어 군집 주행을 할 수 있는 개인용이동수단의 특성상 단독 안전지원 기능 수행 외에 군집주행시의 안전 지원 기능을 수행해야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 상기와 같은 개인용이동수단에 요구되는 안전주행지원 기능과 그 특성에 따라 개인용이동수단용 안전주행지원장비에 무선 네트워크 연동 기반의 군집주행 지원 기술을 개발하였다. 이는 제어 정보와 수집 데이터의 공유를 통하여 군집을 하나의 커다란 개체로 인식할 수 있도록 할 뿐만 아니라 대열을 이탈하는 구성원이 있는지도 감지할 수 있도록 함으로써 군집 주행시 발생 가능한 여러 가지 유형의 위험에 대응할 수 있도록 하고 있다.

향후 추가적인 연구와 개발을 통해 위치정보 등을 활용한 군집내 역할 자동 설정 기능이나 위험상황 발생시 구난 기관과의 연계 등과 같이 보다 능동적으로 위험에 대처할 수 있는 고도화된 기술을 개발할 계획이다.

## 5. 참고 문헌

[1] 김병훈, “자전거의 거의 모든 것”, 원앤원스타일, 2014.

[2] 박상현 외 3 인, “자동차 IT 융합을 위한 다중 센서 데이터 변환기술”, 한국정보기술학회지, Vol.9 No.1, 2011.

[3] 김재환 외 4 인, “LIDAR 기반 차량-인프라 연계 상황인지를 통한 사고다발지역에서의 차량 종방향 능동제어 시스템 연구”, 제어로봇시스템학회 논문지 18, 2012.5.

[4] 마석범, “개방형 플랫폼 아두이노 : 아두이노의 조명제어용 컨트롤러 활용”, 한국조명 · 전기설비학회, 조명 · 전기설비 28 , 2014.11.

## 6. Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부의 글로벌전문기술개발사업(10048561, 개인용 이동수단의 주행안전 확보를 위한 주행상황기록 및 후방안전지원장치 개발)의 지원을 받아 수행하였음

# 비 직교 분할 다중접속을 위한 제로 포싱 빔 형성 기반 클러스터링 기법

유승훈°, 안성준, 김종목, 강준혁

한국과학기술원

# Zero-forcing beamforming based-clustering algorithm for non-orthogonal multiple access

Seunghun Yu°, Sungjun Ahn, Jongmok Kim, Joonhyuk Kang

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

sh.yu@kaist.ac.kr, sungjunahn@kaist.ac.kr, jm.kim@kaist.ac.kr, jhkang@ee.kaist.ac.kr

## 요 약

비 직교 다중분할 접속은 중첩 코딩을 이용하여 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 기법으로써, 대용량 데이터 전송을 목표로 하는 5세대 통신 연구에서 많은 주목을 받고 있다. 직교 다중분할 접속과는 달리 비 직교 다중분할 접속은 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 발생하는 간섭의 영향이 크기 때문에, 이를 완화하고자 공간 자원을 효율적으로 활용하는 클러스터링 기법이 등장하였다. 본 논문에서는 향상된 전송률로 사용자를 지원하기 위한 제로 포싱 빔 형성기반 클러스터링 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

## 1. 서론

최근 5 세대 통신을 지향하는 무선통신 영역에는 제한된 자원을 활용하여 대용량 데이터 서비스 제공을 초점으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 이를 위한 방안으로 제시된 비 직교 분할 다중접속 (non-orthogonal multiple access, NOMA)은 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하는 기법으로 주목 받고 있다 [1].

기존 다중접속 시스템에서 가장 대표적인 기법은 직교 주파수 분할 다중접속 (orthogonal frequency division multiple access, OFDMA)으로 각 사용자를 지원하는 주파수 대역이 서로 중첩되지 않도록 분할하는 방법을 통해 서비스를 제공한다. 그러나 대용량의 데이터 전송을 위해서는 직교 주파수 분할 다중접속은 주파수를 사용자마다 나눠 사용하기 때문에 주파수 효율이 떨어지는 단점이 생긴다. 이러한 단점을 보완한 것이 비 직교 분할 다중접속이다. 비 직교 분할 다중접속은 지원받는 사용자끼리 같은 주파수를 사용하고, 사용자가 받으려는 신호에 따라 전력을 다르게 할당하여 다중화로 지원한다. 비 직교 분할 다중접속으로 지원받을 때 채널 이득이 상대적으로 큰 사용자의 경우 그렇지 않은 사용자의 신호를 연속적 간섭 제거 (successive interference cancellation, SIC)를 통해 원하는 신호를 얻고, 채널 이득이 상대적으로 작은 사용자는 원하는 신호를 제외하고는 모두 간섭으로 처리하여 신호를 얻는다.

이러한 비 직교 분할 다중접속의 전송량을 높이기 위하여 수행된 기존 연구에서는 지원받는 유저들을 묶는 클러스터링 기법, 사용자 지원 전력 할당, 그리고 이에 맞는 빔 형성기법들을 제안 하였다. 특히, 클러스터링 기법연구에는 기존에 제로 포싱 빔 형성을 통해 사용자간 상관관계 (correlation)만으로 클러스터링한 연구가 있었고 [2], 또한 제로 포싱 빔 형성에 더욱 최적인 알고리즘 [3]을 이용해 클러스터링을 제안한 연구도 있었다 [4]. 본 논문은 제로 포싱 빔 형성에 맞는 클러스터링을 [3]의 알고리즘을 이용하되 [4]보다 제로 포싱 빔 형성에 관점에 맞도록 상관관계와 채널이득을 고려한 클러스터링 알고리즘을 제시하고 성능을 확인했다.

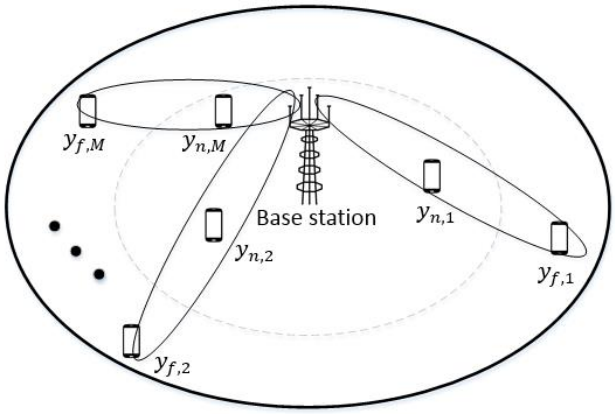



그림 1. 시스템 모델

## 2. 시스템 모델 및 알고리즘 제안

### 2.1 시스템 모델

본 논문에서는 $M$ 개의 안테나를 가진 기지국이 기지국과 가까이 있는 $K/2$명의 사용자 (Near user)와 기지국 지원범위의 가장자리에 위치한 $K/2$명의 사

용자 (Far user)가 있어서 각각 $M$ 명씩 선택하여 총 $2M$ ($K>2M$)명에게 서비스를 지원하게 된다. 사용자들은 $1$ 개의 안테나를 갖고 있다. 위와 같은 사용자가 각각 짝지어져 그림1과 같이 $M$개의 클러스터로 구성된다. $i$ 번째 클러스터에서 가까운 사용자가 받는 신호를 $s_{n,i}$, 먼 사용자가 받는 신호를$s_{f,i}$라고 하면 $i$번째 클러스터에 보내는 신호 $x_i$는 (1)과 같다.

$$x_i = \sqrt{\beta_i}s_{n,i} + \sqrt{1-\beta_i}s_{f,i} \quad (1)$$

여기에서 $\beta_i$는 전력 할당을 의미한다. 이를 통해 받은 가까운 사용자와 먼 사용자가 받은 신호는 각각 $y_{n,i}$, $y_{f,i}$이라면 (2), (3)와 같이 표현할 수 있다.

$$y_{n,i} = \mathbf{h}_{n,i}\boldsymbol{w}_i x_i + \sum_{j=1,j\neq i}^{M}\mathbf{h}_{n,j}\boldsymbol{w}_j x_j + n_{n,i} \quad (2)$$

$$y_{f,i} = \mathbf{h}_{f,i}\boldsymbol{w}_i x_i + \sum_{j=1,j\neq i}^{M}\mathbf{h}_{f,j}\boldsymbol{w}_j x_j + n_{f,i} \quad (3)$$

$\boldsymbol{w}_i$는 가까운 사용자의 채널을 이용한 제로 포싱 프리코딩의 $i$ 번째 열벡터로 열벡터마다 정규화를 하였다. $\boldsymbol{h}_{n,i}$, $\boldsymbol{h}_{f,i}$는 각 사용자의 레일리 (Rayleigh)채널이고, $1xM$벡터이다. $n_{n,i}$, $n_{f,i}$은 잡음으로 평균값이 0이고 분산이 1 을 따른다. (2)식을 가지고 가까운 사용자는 먼 사용자의 신호를 SIC 를 통해 완벽히 제거하고, (3)식을 가지고 먼 사용자는 원하지 않는 신호를 간섭으로 취급하면 가까운 사용자와 먼 사용자의 전송률을 (4), (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$R_{n,i} = \log_2\left(1 + \frac{\beta_i|\boldsymbol{h}_{n,i}\boldsymbol{w}_i|}{\sigma_n^2}\right) \quad (4)$$

$$R_{f,i} = \log_2\left(1 + \frac{(1-\beta_i)|\boldsymbol{h}_{f,i}\boldsymbol{w}_i|^2}{\sigma_{f,i}^2+\beta_i|\boldsymbol{h}_{f,i}\boldsymbol{w}_i|^2+\sum_{j=1,j\neq i}^{M}|\boldsymbol{h}_{f,i}\boldsymbol{w}_i|^2}\right) \quad (5)$$

## 2.2 클러스터링 알고리즘

- 지원받는 사용자의 상관관계와 채널이득을 고려하여 가까운 사용자와 먼 사용자의 채널을 가지고 $v_{ij} = |\boldsymbol{h}_{n,i}\cdot\boldsymbol{h}_{f,j}|$, $(1 \le \mathrm{i,j} \le \mathrm{K}/2)$와 같이 행렬 $\boldsymbol{V}$를 형성한다.
- $\boldsymbol{V}$ 의 성분 $v_{ij}$에서 값이 큰 것을 순서대로 가까운 사용자와 먼 사용자가 중복되지 않게 짝지어지도록 나열한다. 이중 가장 값이 큰 것으로 짝지어진 가까운 사용자와 먼 사용자를 1 번째 클러스터로 한다.
- 위의 선택된 사용자들을 제외하고 1 번째 클러스터의 가까운 사용자를 이용하여 [3]의 알고리즘을 만족하면서 다음으로 높은 $v_{ij}$ 를 선택하여 이에 해당하는 가까운 사용자와 먼 사용자를 2 번째 클러스터로 한다.
- 위 방법을 반복하여 $M$번째 클러스터를 구하면 된다. 즉 $M$번째 클러스터를 구할 때는 $1, 2, \ldots, M\text{-}1$번째 클러스터의 가까운 사용자를 가지고 [3]의 알고리즘을 만족하면서 가장 값이 큰 $v_{ij}$를 선택하여 이에 해당하는 가까운 사용자와 먼 사용자를 M 번째 클러스터로 한다.

## 3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서는 $\mathrm{M}=2$, $\beta_i = 0.4$로 설정하였다. 가까운 사용자와 먼 사용자의 채널 차이를 두기 위해서 채널 이득과 잡음의 비를 각각 $|\boldsymbol{h}_{n,i}|^2/\sigma_{n,i}^2 = 20dB$, $|\boldsymbol{h}_{f,i}|^2/\sigma_{f,i}^2 = 0dB$로 가정하였다.

그림 2 에서는 본 논문에서 제안된 클러스터링 기법을 이용한 것과 [4]의 클러스터링 기법을 이용한 것을 비 직교 분할 다중접속 그리고 제안된 클러스터링 기법을 사용한 후 직교 분할 다중접속을 적용했을 때 가까운 사용자의 총 전송률, 먼 사용자의 총 전송률 그리고 셀 내 총 사용자의 전송률을 나타낸 것이다. 셀 내 총 사용자의 총 전송률은 기존 기법 대비 약 2% 상승하였고 특히, 먼 사용자의 총 전송률은 최대 25%까지 성능이 향상되었다. 따라서 제안된 기법이 먼 사용자의 서비스 품질을 더욱 만족시킬 수 있음을 의미한다.

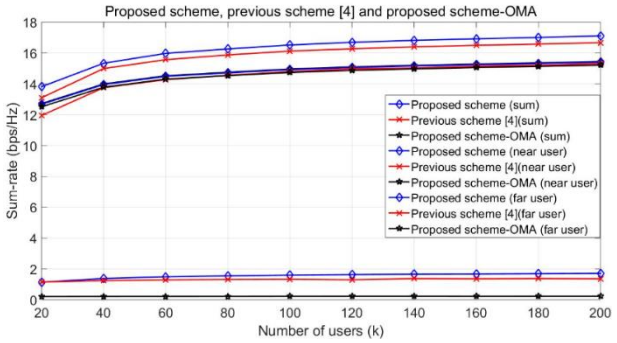



그림 2. 제시한 클러스터링 기법 성능

## 4. 결론

본 논문에서는 비 직교 분할 다중접속에서 전송량을 높이기 위해 새로운 클러스터링 기법을 제안하였다. 또한 제안된 클러스터링 기법의 성능을 기존의 클러스터링 기법 [4]및 직교 분할 다중접속과 비교하여 확인하였다. 제안된 기법은 제로 포싱 빔 형성을 이용하는 것을 착안하여 미리 가까운 사용자와 먼 사용자의 상관관계 및 채널이득을 고려하면서 제로 포싱 빔 형성에 최적화된 알고리즘을 이용하였다. 시뮬레이션을 통해 셀 내 총 사용자의 전송률을 약간 향상되고, 특히 먼 사용자의 총 전송률은 크게 성능향상 되었음을 확인하였다.

## 5. 참고 문헌

[1] A. Benjebbovu, Y. Saito, Y. Kishiyama, et al., " *Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access* ", In Proc. IEEE Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS) 2013.

[2] B. Kim, S. Lim, H. Kim, S. Suh, J. Kwun, S. Choi, C. Lee, S. Lee and D. Hong, " *Non-orthogonal multiple access in a downlink multiuser beamforming system* ", in Proc. IEEE MILCOM, San Diego, CA, USA, Nov. 2013.

[3] T. Yoo and A. Goldsmith. "*On the optimality of multi antenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming*", Selected Areas in Communications, IEEE Journal on 24.3 (2006): 528-541.

[4] S. Liu, C. Zhang and G. Lyu, "*User Selection and Power Schedule for Downlink Non-Orthogonal multiple access (NOMA) System*", in IEEE ICCW, London, UK, Jun 2015.

# IoT 서비스 인증 인가 프레임워크 설계

김현욱°, 김정미°, 박성은°

(주)케이사인

# A Design of IoT Service Authorization and Authentication Framework

Mr. Hyunwook Kim°, Mrs. Jungmi Kim°, Mr. Sungeun Park°

Research Institute, KSIGN CO.,LTD.

khw@ksign.com

## 요 약

상호 데이터와 유용한 정보를 교환하는 수십억의 사람, 기기, 서비스들로 이루어지는 IoT(Internet of Things) 환경에서 기기 및 데이터에 대한 사용자의 인증, 인가에 대한 보안 이슈가 대두되고 있다. 이에 본 논문에서는 IoT 서비스 환경에서 기기 및 기기자원의 보호를 위한 소유자 중심의 통제를 기반으로 통합접근관리를 위한 IRM(Identity Relationship Management) 시스템 및 프레임워크를 설계한다.

## 1. 서론

IoT 서비스에서의 보안공격으로 인한 피해는 사람의 생명까지 위협할 수 있을 정도의 심각성을 지니고 있음으로, IoT 이용의 활성화를 위해서는 보안이 담보되어야 한다. 이에 인증, 인가, 기밀성에 대한 보장을 위한 기술 연구가 최우선적인 해결 과제로 대두되고 있다[1].

특히, IoT 서비스 환경에서 기기 및 기기자원의 보호를 위해 다양한 참여자(기기(Device, Appliance), 서비스 프로바이더(Service Provider), 어플리케이션(Application), 사용자(User))에 대한 소유자 중심의 통제에 기반한 통합접근관리기술인 IRM(Identity Relationship Management)[2] 기술에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.

이에 본 논문에서는 Kantara Initiative 에서 소개된 개념을 기반으로 OAuth 2.0, OpenID Connect, UMA(User-Managed Access) 와 경량의 기기에 대한 인증, 인가를 위해 IETF ACE WG 에서 제시한 Active Internet Draft[3]을 참고하여, 다양한 패턴의 통신과 복잡한 Architecture 로 구성되는 IoT 환경을 구성하는 기기, 서비스, 사람 간 효율적인 인증, 인가 및 프라이버시 관리를 제공하는 인증 인가 프레임워크를 설계하였다.

## 2. IRM 인증 인가 프레임워크 제안

본 논문에서 제안하는 인증 인가 프레임워크는 아래 그림 1 과 같은 IRM 시스템을 기반으로 하고 있다.

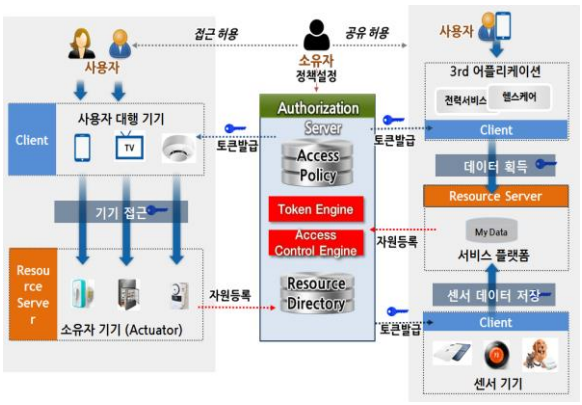



**Figure 1. IRM System Structure**

IRM System 은 Resource Owner(RO), User, Client, Resource Servers(RS), Authorization Server(AS)로 구성된다. RO 는 리소스를 호스팅하는 기기 또는 서비스 플랫폼에 저장 및 관리되는 리소스에 대해 소유권을 가지는 사용자이며, User 는 리소스에 접근하는 사용자이다. Client 는 사용자가 접근하고자 하는 기기이며, RS 는 리소스를 호스팅하는 기기 또는 웹 서비스 또는 Native-Application 이 될 수 있다. AS 는 Back-End 에 위치하여 인가 서비스를 제공하는 서버이다.

인증 인가 프레임워크는 기기-소유자 관계 관리, 리소스 통합 관리, 접근 권한 관리, 인가 토큰 발급 및 검증, End-to-End 보안 기능으로 정의된다.

첫 번째, 기기 소유자 관리는 기기의 법적 소유권을 가지는 RO 가 Authorization Service 를 통해 신규 RS 기기와의 바인딩을 통해 이루어진다. 바인딩 과정은 아래 그림 2 와 같다.

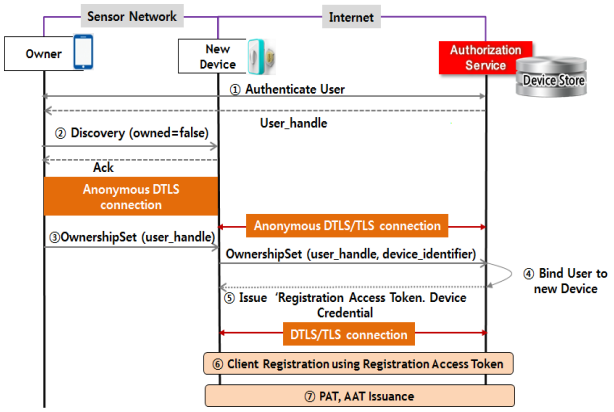



**Figure 2. Device Ownership Binding**

두 번째, 리소스 통합 관리 기술은 다음과 같다. 사용자가 소유하는 기기 자원 또는 서비스플랫폼에 저장되는 소유기기 자원 과 같이 여러 위치에 산재되어 있는 리소스를 통합 관리하기 위해 AS 는 Resource Directory 를 운영한다. 각 RS 역할의 Service Provider 와 Device 는 RO 를 대신하여 AS 에 리소스 메타 정보를 등록을 위해 UMA-Protection API 를 호출한다. 자원 관리 기술은 OAuth 2.0 Resource Set Registration 의 규격을 준수해야 한다. RS 는 Protection API 호출 시 인증 및 인가 받기 위해 이전에 발급 받은 PAT 을 제출한다. PAT 은 'uma_protection' scope 을 가지는 OAuth 2.0 Access Token 으로서, 'OAuth 2.0 Authorization Framework' 에서 제시하는 절차 중 RS 의 Capability 에 해당 하는 인가 절차에 따라 Token 을 발급 받는다

세 번째, Access Policy 지원을 위해서 AS 는 자원 소유자가 자원에 대해 접근 또는 공유 정책을 설정 할 수 있는 User Interface 를 제공한다. 이때, 자원 소유자에 의해 설정된 정책은 ABAC(Attribute-Based Access Control) 모델[4]에 기반하여 접근/공유 대상 자원 및 자원의 Scope(GET, PUT, POST, DELETE 등), 허용된 사용자의 ID 또는 Identity Claim, 조건(Optional) 정보를 포함해야 한다.

네 번째, 인가 토큰에 대한 발급 및 검증은 아래 그림 3 과 같이 정의된다.

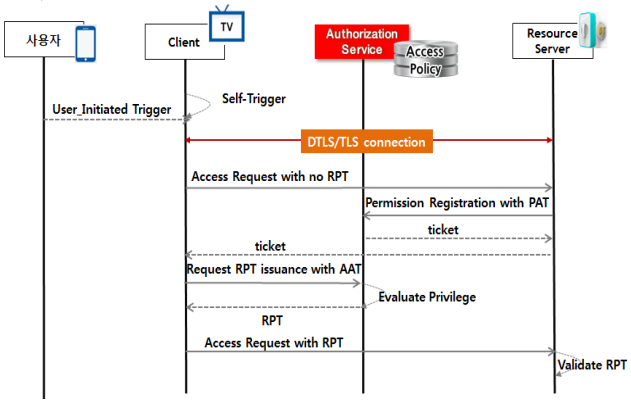



**Figure 3. 인가토큰 발급 및 검증 절차**

마지막으로 다섯 번째, End-to-End Security 는 은 Client 와 RS 간 사전에 신뢰관계가 존재하지 않는 상태에서 중앙의 AS 에 인증, 키 생성 및 배포를 위임함으로써 Client 와 Server 간 동적인 신뢰관계 형성을 구현해야 하며, 신뢰 관계 형성을 위한 End-to-End Security 절차는 아래 그림 4 와 같다.

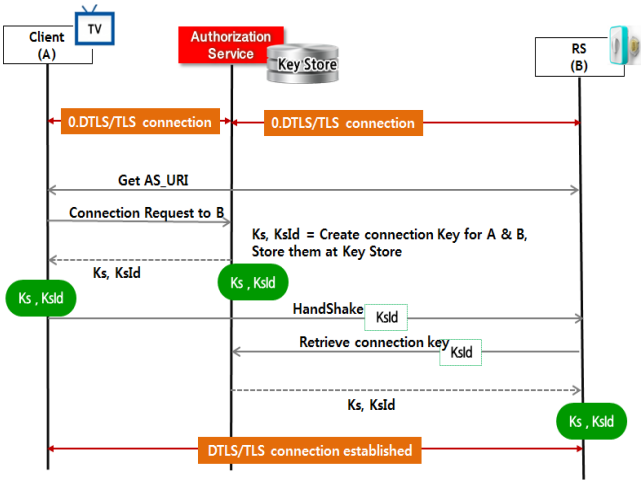



**Figure 4. End to End Security 형성 절차**

## 4. 결론

본 논문에서는 IoT 서비스 환경에서의 소유자 중심의 기기 및 기기자원 보호를 위한 통합접근관리 기술인 IRM 시스템을 제안하였다. 그리고 이를 구현하기 위한 프레임워크 모델을 제시하였다.

지속적인 연구를 통해 제안한 프레임워크를 구현하여 IoT 서비스 환경에서의 통합접근관리시스템을 구축하고, 이를 통해 제안한 시스템 및 프레임워크의 취약점을 도출하고 보완해 나갈 것이다.

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술혁신사업(우수기술연구센터(ATC)사업, 10052435)의 일환으로 수행되었음.

## 5. 참고 문헌

[1] J.Gubbi, R.Buyya, S.Marusic, M.Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions", Future Generation Computer Systems, Volume 29, Issue 7, pp. 1645-1660, September, 2013

[2] Abomhara, M., Koien, G.M., "Security and Privacy in the Internet of Things : Current Status and Open issues", Privacy and Security in Mobile Systems (PRISMS), 2014 International Conference on, May 11-14, 2014

[3] Architectural Considerations in Smart Object Networking, https://tools.ietf.org/html/rfc7452

[4] E. Yuan and J. Tong, "Attributed Based Access Control (ABAC) for Web Services," in Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2005). pp. 561–569., July 11-15, 2005

# 사물인터넷 환경에서 신뢰성 있는 객체 관리를 위한 시각화 기술

오현택°, 안상홍, 양진홍°°, 최준균

KAIST 전기및전자공학부

KAIST 정보통신공학과°°

# Trust visualization based object management for Internet of Things

Hyeontaek Oh°, Sanghong Ahn, Jinhong Yang°°, Jun Kyun Choi

School of Electrical Engineering, KAIST

Department of Information and Communications Engineering, KAIST°°

hyeontaek@kaist.ac.kr, ancom21c@kaist.ac.kr, sunupnet@kaist.ac.kr, jkchoi59@kaist.edu

## 요 약

본 논문에서는 사용자 입장에서 사물인터넷 환경의 다양한 장치 및 서비스 관리를 위한 효과적인 시각화 기술을 제안한다. 이를 위해 필요한 시스템을 제안하고, 시스템을 기반으로 한 시각화 기술을 통해 객체들의 관계와 상호작용을 어떻게 사용자가 인식하기 쉽게 표현하는지를 알아본다. 또한, HTML5 표준을 이용한 웹 기반의 데모 구현을 통해 사용자 이메일 정보를 이용한 신뢰도 측정 알고리즘을 이용하여 나온 사용자들의 신뢰도 값을 표현함으로써 효과적인 시각화 기술을 제안하였다.

## 1. 서론

최근 사물인터넷 (Internet of Things) 기술의 출현을 통해 네트워크 및 컴퓨팅 기반의 플랫폼 중심적이었던 ICT 가 센서장치나 단말 그리고 사용자 관련 기술로 까지 그 범위를 확장하고 있다. 사물인터넷은 기존의 ICT 인프라에 해당하는 코어 네트워크 및 대규모 컴퓨팅 플랫폼 이외에도 개별적인 컴퓨팅 모듈 및 분산형 피어 네트워크 등의 ICT 기술들을 폭넓게 이용하고 있으며, 각 기술요소들은 관련된 사실 표준 (De facto standard) 또는 오픈소스 등을 기반으로 하고 있다.

집안 환경뿐 아니라, 교통, 의료 등 다양한 곳에서 그 활용이 확대되고 있는 사물인터넷 기술의 특성상 이를 둘러싼 다양한 ICT 요소들에 대한 신뢰성에 대한 논의가 다방면으로 대두되고 있다. 기존 ICT 기반의 서비스 및 관련 산업은 이들이 이용하고 있는 ICT 인프라의 암묵적 신뢰 수준으로는 의료, 실시간 서비스 등과 같이 특정 영역에서의 그 한계를 보이고 있다.

사물인터넷 환경에서의 신뢰성은 기술적 측면의 신뢰뿐 만 아니라 소셜네트워크와 같은 사용자들에 관련된 신뢰관계 정보들도 사물인터넷 서비스 환경에서 이용되고 있다. 특히, 공유 경제의 발전은 ICT 기반의 서비스 환경에서 사용자의 신뢰도를 근간으로 비즈니스를 제공하고 있다. 특히 이들이 사용하고 있는 사용자의 신뢰도 시각화 기술 (Trust visualization)은 사용자가 시스템의 신뢰 여부를 판단하는 척도로 사용할 수 있는 기술 중 하나이다 [1]. 사용자는 시각화된 정보를 통해 어떤 장치나 서비스 또는 사용자가 신뢰할 만한지 아닌지를 파악하고 그 결과를 통해 사용자의 판단을 효과적으로 도와줄 수 있는 수단이다.

본 논문에서는 사물인터넷 기술을 응용한 공유 경제 환경에서 다른 사용자의 신뢰도를 표현하는 시각화를 지원할 수 있는 시스템과 시각화 방법에 대해서 제안한다.

## 2. 제안 시스템

이 장에서는 사물인터넷 환경에서 신뢰성 있는 객체 관리를 위한 시각화 기술을 위한 신뢰 관리시스템에 대해 설명한다. 신뢰관리시스템은 크게 객체 관리 모듈 (Entity management), 데이터 관리 모듈 (Data management), 신뢰 엔진 모듈 (Trust Engine), 신뢰관계시각화 모듈 (Trust visualization)의 4 가지 구성요소로 이루어져 있다. 각 4 가지 모듈에 대한 간략한 소개는 다음과 같다.

### 2.1 객체 관리 모듈 (Entity management)

객체 관리 모듈은 신뢰관리시스템에 등록되는 객체들 (장치, 서비스 그리고 사람 등)을 관리하는 모듈로 객체등록, 인증, 접근권한, 소유관계 등 시스템 이용에 필요한 전반적인 객체 관리를 담당한다.

### 2.2 데이터 관리 모듈 (Data management)

데이터 관리 모듈은 신뢰관계시스템에서 신뢰 엔진의 계산에 필요한 데이터를 수집/관리 하는 모듈로 주로 서드 파티 (3rd party) 서비스와 연동하여 신뢰

엔진 모듈에서 필요한 데이터를 수집하거나 신뢰도 계산에 필요한 전반적인 데이터를 관리를 담당한다.

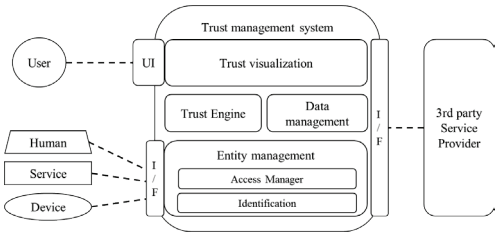



그림 1. 신뢰관리시스템 구조도

2.3 신뢰 엔진 모듈 (Trust engine)

신뢰 엔진 모듈은 수집된 데이터를 바탕으로 객체 간의 신뢰도를 계산하는 모듈이다. 객체들은 서로 연결되어 있으면서 상호작용할 수 있으므로 그래프 구조로 나타낼 수 있으며 이러한 데이터 구조를 응용하여 신뢰관계를 계산하게 된다. 본 연구에서는 사용자들 간의 신뢰관계를 중점으로 연구하였다. 사용자들의 신뢰관계는 여러 방법으로 계산될 수 있으며, 본 연구에서는 이메일 송수신 내역을 활용하여 사용자간의 신뢰관계를 계산하였다. 사용자 A 와 사용자 B 가 이메일을 주고 받을 때 일어날 수 있는 행동은 크게 이메일을 주고 받는 것 (대화 신뢰 - Conversation Trust)과 이메일을 전달하는 것 (전달 신뢰 – Propagation Trust)으로 나눌 수 있다 [2].

이메일 환경에서 대화 신뢰는 4 가지의 척도가 있다: 서로 주고 받은 메일 개수, 메일을 주고 받은 기간, 이메일 송수신 기록이 고른 정도, 첨부파일의 유무. 전달 신뢰는 간접적인 신뢰 관계로 사용자 A 의 메일을 사용자 B 가 다른 사용자인 C 에게 자주 전달하면, 사용자 B 는 사용자 A 를 신뢰한다고 할 수 있다. 이는 신뢰의 속성이 대칭적이지 않기 때문에 필요한 척도로써, 사용자 A 와 사용자 B 가 서로 꼭 같은 정도로 신뢰한다고 볼 수 없기 때문이다.

2.4 Trust visualization

신뢰 엔진 모듈에서 계산된 사용자 간의 신뢰도 값을 바탕으로 사용자의 입장에서 다른 사람의 신뢰도가 어떻게 되는지 그래프 기반을 통해 나타낸 것이 그림 2 이다. 그림 2 에서는 사용자 간의 신뢰도를 나타내기 위해 신뢰도 점수에 따라 연결 선의 굵기와 다른 사용자의 아이콘의 굵기 및 색을 다르게 표현함으로써 사용자가 시스템이 판단하고 있는 신뢰도 점수를 쉽게 인지하게 하였다.

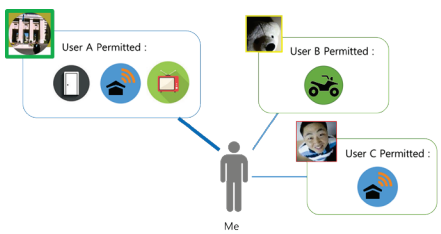



그림 2. 사용자 간의 신뢰도 관계 및 그에 따른 서비스 허용 정도를 나타낸 시각화 예시

그림 2 의 예제에서 신뢰도가 높은 사용자 A 의 아이콘은 굵은 초록색테두리로 표시되었고, 신뢰도가 낮은 사용자 C 의 아이콘은 얇은 붉은색테두리로 표시되었다. 또한, 각 사용자 영역에 표시되어 있는 둥근 아이콘은 자신이 해당 사용자에게 허가해준 장비/서비스 접근 권한을 나타낸다. 이는 앞으로 공유 경제 상황에서 자신이 가지고 있는 자원을 다른 사람들과 같이 사용하게 되는 경우가 많아졌을 때, 해당 자원들을 관리하기 위한 방법으로써 제안되었다. 그림 2 에서 사용자 A 는 문 잠금 장치, 무선인터넷 그리고 TV 를 사용할 수 있는 권한이 부여되었으며, 사용자 C 는 무선인터넷의 사용 권한만 부여되었다.

## 3. 구현

시스템 구현을 위한 외부메일서비스는 G-mail 을 이용하였으며, HTML5 표준을 기반으로 하여 제작되었다. 그림 3 은 실제 메일 송수신 기록을 기반으로 신뢰 엔진의 계산 결과를 바탕으로 사용자 간의 신뢰도를 나타낸 결과이다. 앞서 2.4 절에서 설명한 것과 같이 그래프의 노드와 간선의 차이를 통해 사용자가 신뢰도 정보를 인식하기 쉽게 표현하였다.

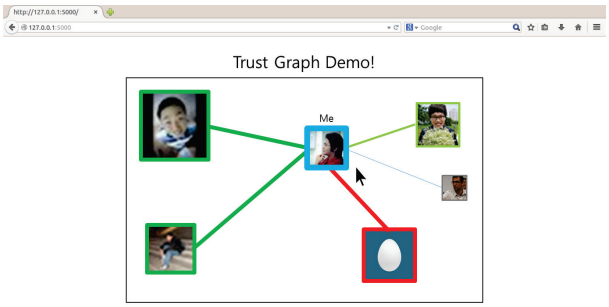



그림 3. 사용자 신뢰도 시각화 데모

## 4. 결론

본 논문에서는 사물인터넷 환경에서 객체 관리를 위한 시각화 기술을 위해 필요한 기능을 알아보고 실제 사용자 신뢰도 정보를 기반으로 다른 사용자와의 신뢰관계를 표현하는 방법을 제안하였다.

## 5. 참고 문헌

[1] W. Sherchan et al., “A Survey of trust in social networks,” *ACM Comput. Surv.*, vol. 45, no. 4, Aug. 2013.

[2] S. Adali et al., Measuring Behavioral Trust in Social Networks, ISI 2010

## 6.기타

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [R0190-15-2027, 고신뢰 사물지능 생태계 창출을 위한 TII(Trusted Information Infrastructure) S/W 프레임워크 개발]

# 다이나믹 환경에서의 스파스 구조 검출 기법

유진혁°, 최준원°

한양대학교 전기공학과

# Sparse Structure Recovery of Time-Varying Signals

Jin-Hyeok Yoo°, Jun-Won Choi°

Electrical Engineering, Hanyang University

jhyoo@spo.hanyang.ac.kr, junwchoi@hanyang.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 소스 신호의 크기와 위상은 빠르게 변하는 반면 신호의 스파스 구조는 상대적으로 느리게 변하는 환경에서 신호 복원을 할 수 있는 통계적 압축센싱 기법을 제안한다. 제안한 기법은 칼만 추정 방법을 이용하여 기존 방법에 비해 낮은 연산량을 갖는다. 제안하는 기법을 스파스 신호 추정에 적용한 결과 제안하는 기법이 기존의 신호 복원 기법에 비해 월등히 좋은 성능을 나타냈다.

## 1. 서론

최근에 여러 개의 관측 벡터(Multiple Measurement Vector, MMV)에서 공통 스파스 구조를 갖는 경우에 이를 이용하여 소스신호를 추정하는 기법이 제안되었다[1]. 본 논문에서는 일정 시간 동안 동일한 스파스 구조일 때 관측 벡터들을 이용하여 스파스 구조와 스파스 신호 값들을 정확히 추정해 내는 압축센싱 기법을 제안한다. 소스 신호와 스파스 구조를 Expectation-Maximization (EM) 기법을 이용하여 추정하는데, 소스 신호 벡터는 칼만 스무딩을 이용하여 구하고, 스파스 구조 파라미터는 Semedefinte relaxation (SDR) 기법을 이용하여 추정하였다.

## 2. 본론

1) 스파스 신호 모델

시간에 따라 소스신호가 변화하는 환경에서 관측 신호 벡터 $y_n$은 다음과 같이 표현된다.

$$y_n = B_n h_n + n_n$$

여기서 $B_n$은 $N \times M$ 센싱행렬, $h_n$은 $M \times 1$ 스파스 신호 벡터, $n_n$은 $N \times 1$ 노이즈 벡터를 나타낸다. 소스 신호 벡터 $h_n$은 시간에 따라 변화한다고 가정한다. 한편 신호의 스파스 구조는 $T(i-1) \le n < Ti$, 즉 매 $T$ 초의 시간 동안 일정하다고 가정한다. 제안한 방법에서는 $h_n$의 시간적 변화를 1 차 가우스-마르코프 모델인 $g_n = A_i g_{n-1} + v_n$로 표현한다. 여기서 $A_i$, $g_n$, $v_n$은 상태진화행렬, 상태벡터, 그리고 프로세스 노이즈를 의미한다. $i$번째 블록에서의 스파스 신호 구조를 바이너리 파라미터 벡터 $s_i$라고 하면 스파스 신호 모델은 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} g_n &= A_i g_{n-1} + v_n \\ h_n &= diag(s_i) g_n \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $s_i$의 각 원소는 소스 신호 벡터 각 원소의 신호 존재 유무에 따라 1 또는 0 의 값을 갖는다. $n_n$는 $CN(0, \sigma_n^2 I)$ 분포를 갖고 $v_n$는 $CN(0, V_i)$ 분포를 갖는다고 가정한다.

2) 통계적 압축센싱 기법 유도

제안하는 기법은 $T(i-1) \le n < Ti$ 구간에서 $T$ 개의 관측벡터들로부터 $s_i$와 $g_n$를 함께 추정한다. 먼저 위의 (1) 식의 신호 모델에서 Maximum Likelihood (ML) 방법을 이용하여 $s_i$를 추정하면 주변화(marginalization)를 해야 하므로 계산이 복잡하다. 이러한 경우 Expectation-Maximization (EM) 기법을 사용하면 ML 추정값을 쉽게 얻을 수 있다. 제안한 기법에 EM 기법을 적용하면 다음과 같다.

- Expectation step (E-step)

$$Q(s_i; s_i^{(l)}) = E[\ln \Pr(y_{1:T}, g_{1:T}; s_i) \mid y_{1:T}, s_i^{(l)}]$$

- Maximization step (M-step)

$$s_i^{(l+1)} = \arg\max_{s_i \in \{0,1\}^M} Q(s_i; s_i^{(l)})$$

여기서 $s_i^{(l)}$는 EM 알고리즘의 $l$번째 반복에서 $s_i$의 추정치이다. 위의 Expectation step 은 다음과 같이 유도된다.

$$Q(s_i; s_i^{(l)}) = 2\,\mathrm{Re}[\sum_{n=T(i-1)}^{Ti-1} y_n^H B_n diag(\hat{g}_{n|1:T})]s_i \quad (2)$$
$$-s_i^H[\sum_{n=T(i-1)}^{Ti-1} conj(B_n^H B_n)\square\ (P_{n|1:T} + \hat{g}_{n|1:T}\hat{g}_{n|1:T}^H)]s_i$$

여기서 $\square$ 는 두 행렬의 원소별 곱을 의미한다. 식 (2)에서

$$\hat{g}_{n|1:T} = E[g_n \mid y_{1:T}; s_i^{(l)}]$$
$$P_{n|1:T} = Cov[g_n \mid y_{1:T}; s_i^{(l)}]$$

는 $s_i^{(l)}$ 이 주어졌을 때 채널 추정치의 2 차 통계값으로 이는 칼만 스무딩 알고리즘에 의하여 간단히 얻어진다. E-step 의 과정이 끝나면 $Q$ 를 최대화하는 $s_i^{(l+1)}$ 를 찾는 M-step 을 수행한다. 편의상

$$d_i = \mathrm{Re}[\sum_{n=T(i-1)}^{Ti-1} y_n^H B_n diag(\hat{g}_{n|1:T})]$$

$$J_i = \sum_{n=T(i-1)}^{Ti-1} conj(B_n^H B_n)\square\ (P_{n|1:T} + \hat{g}_{n|1:T}\hat{g}_{n|1:T}^H)$$

로 두면 $Q$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$Q = d_i^H s_i - s_i^H J_i s_i$$

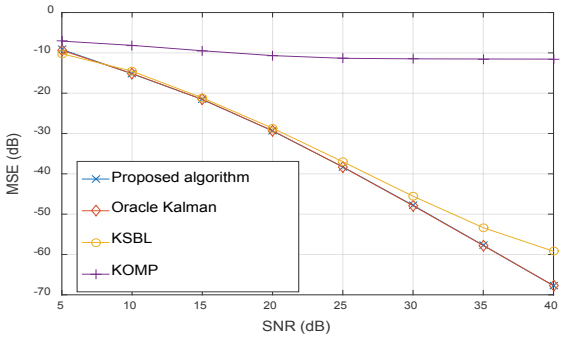
M-step 에서 가능한 모든 $s_i$ 중 $Q$ 를 최대화하는 $s_i$ 를 찾아야 하는데 모든 $s_i$ 에 대해 연산을 수행하면 연산량이 지수적으로 증가하게 된다. 따라서 제안한 방법은 Semidefinite relaxation(SDR) 기법을 이용하여 효율적인 연산량으로 최적의 $s_i$ 를 찾게 된다. 최대화 해야 하는 $Q$ 함수가 $s_i$ 에 대한 이차식이므로 QCQP 꼴의 SDR 기법을 이용하기 위해 M-step 의 식을 다음과 같이 정리하여 SDR 기법을 적용한다.

$$\max_{s_i \in \mathbf{R}^M,\, t \in \square} \begin{bmatrix} s_i^T & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -J_i & d_i \\ d_i^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_i \\ t \end{bmatrix}$$

$$s.t. \quad t^2 = \frac{1}{4}, \sum_{j=1}^{M} s_{i,j} = K,$$
$$0 \le s_{i,j} \le 1 \qquad (j = 1, \ldots, M)$$

3) 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안한 방법의 성능을 분석하기 위하여 식 (1)에서 제시한 환경으로 임의의 데이터를 만들어서 시뮬레이션을 수행하였다. $s_i$ 의 블록 사이즈 $T$ 는 200, 소스 신호 벡터의 크기 $M$ 은 200, 관측 신호 벡터의 크기 $N$ 은 40 으로 설정하였다. 또한 신호의 스파시티 $K$ 는 15 로 설정하였다. $B_n$ 행렬은 i.i.d 가우시안 분포를 이용해 생성했다. [그림 1] 은 제안한 방법과 기존의 신호 복원 알고리즘들을 시뮬레이션 하여 SNR 에 따른 MSE (Mean Square Error)성능을 비교하고 있다. 시뮬레이션 결과 제안한 방법은 일반 칼만과 OMP 기법[2]에 비해 월등한 성능을 나타냈고 KSBL 기법[3]에 비해 높은 SNR 에서 MSE 가 5 dB 이상 줄어드는 좋은 성능을 나타냈다. 제안한 방법은 오라클 칼만 스무더와 근접한 성능을 나타내었다.




[그림 1]

## 3. 결론

본 논문에서는 소스 신호의 크기와 위상은 시간에 따라 빠르게 변하는 반면 신호의 스파스 구조는 상대적으로 느리게 변하는 환경에서의 신호 복원기법을 제안했다. 제안한 방법은 일정한 구간 내에 동일한 스파스 구조를 가지는 관측 벡터에 의해 스파스 구조와 상태 신호 벡터를 정확히 복원해낸다. 제안한 방법은 칼만 추정 방법을 이용함으로써 기존 기법들에 비해 낮은 연산량을 가진다. 또한 EM 기법을 이용하여 소스 신호 벡터는 칼만 스무딩을 이용하여 구하고, 스파스 구조 파라미터는 SDR 기법을 사용하여 추정하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 방법은 스파스 신호 복원 성능이 오라클 기반 칼만 스무더의 성능에 근접하였으며 기존의 스파스 신호 복원 기법들에 비해 월등한 성능을 나타내었다.

## 4. 참고문헌

[1] S. F. Cotter, B. D. Rao, K. Engan and K. Kreutz-Delgado, “Sparse solutions to linear inverse problems with multiple measurement vectors,” *IEEE Trans. Signal Processing,* vol 53, pp. 2477-2488, Jul. 2005.

[2] J. A. Tropp and A. C. Gilbert, “Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit,” *IEEE Trans. Information Theory,* vol. 53, pp. 4655-4666, Dec. 2007.

[3] R. Prasad and C.R. Murthy, “Joint Approximately Sparse Channel Estimation and Data Detection in OFDM Systems Using Sparse Bayesian Learning,” *IEEE Trans. Signal Processing,* vol. 62, pp. 3591-3603, Jul. 2014.

## 5. 기타

이 글은 JCCI 논문 제출 양식에 따라서 작성되었으니 참조하십시오

# 웹 서비스를 위한 효율적인 에너지 절감 기법

장수민, 온진호, 안백송, 이병규, 전성익

한국전자통신연구원

# An Efficient Energy Saving Method for Web Service

Su Min Jang, Jin Ho On, Baik Song Ahn, Byung Gyu Lee, Sung Ik Jun

Electronics and Telecommunications Research Institute

{jsm,onjinho,bsahn,bglee86,sijun}@etri.re.kr

## 요 약

본 연구는 웹 서비스에서 에너지 절감을 최대화하는 에너지 인지형 절감 기법에 관한 연구이다. 최근에 주요 IT 서비스의 규모가 점점 커지고 그 응용 범위가 확대되는 방향으로 진행되고 있고, 에너지 소비의 규모가 매우 커지는 경향을 보여주고 있다. 본 연구는 IT 서비스에서 그 비중이 높은 웹 서비스 부분에서 서비스의 성능을 보장하는 동시에 에너지 절감하기 위한 에너지 인지형 스마트 거버너와 스마트 로드밸런스를 제안한다. 성능평가는 기존 방식에 비하여 제안하는 기법이 크게는 약 35% 이상의 에너지 효율성을 제공하는 우수성을 보여준다.

## 1. 서론

최근 글로벌 IT 시장의 규모를 살펴보면 IT 서비스 시장은 하드웨어보다 규모가 더 큰 시장으로 성장하고 있다. 특히나 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터 등 다양한 서비스가 도입으로 데이터센터의 수가 증가하고 있으며, 이들이 사용하는 전력량도 급증하고 있다[1]. 그림 1 은 전세계의 IT 서비스에 필요한 전력 및 냉각장치, 서버 관리 및 새로운 서버 도입의 비용을 보여준다. 2010 년부터 2018 년까지 꾸준히 증가를 예상하고 있다.

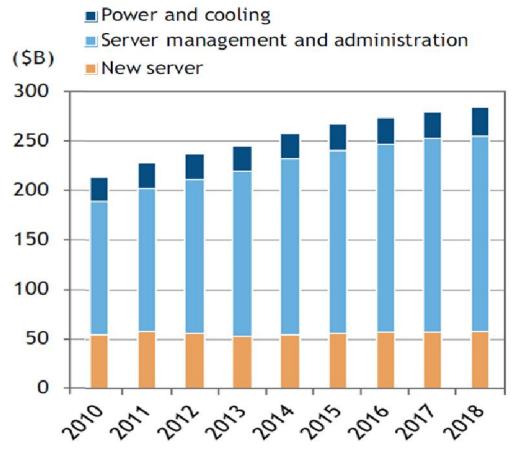



그림 1. 세계 IT 서비스를 위해 소비되는 연간비용

컴퓨팅 기술의 발전으로 IT 서비스가 확대될수록 에너지 사용량은 폭발적으로 증가하기 때문에 그 서비스 중에서 가장 많은 비중을 차지하는 웹 서비스에 대한 에너지 절감 기술이 필수적이다[2].

## 2. 웹 서비스를 위한 스마트(Smart) 거버너

시스템을 구성하는 여러 디바이스들 중에 가장 많이 에너지를 소모하는 부분이 CPU 이다. 그래서 대부분 에너지 절감에 관련된 이전 연구들은 에너지 소모를 최소화하기 위하여 CPU 동작 주파수를 동적으로 변경하기 위한 방법으로 DVFS (Dynamic Voltage Frequency Scaling)를 사용하며 이는 거버너(Governor)를 통해서 제어한다. 본 연구에서는 CPU 부하에 따른 에너지 소모량을 분석하여 성능 저하를 최소화하면서 에너지 절감을 최대화할 수 있는 Average 거버너를 제안한다. Average 거너버의 특징은 몇 분/ 몇 초 전의 CPU 의 평균 부하 및 I/O 나 CPU 바운드와 같은 태스크의 종류에 따라 CPU 의 DVFS 를 변경하여 적용하는 방식이다. 그림 2 는 Intel XEON-D 시스템에서 기존에 주로 사용하는 Ondemand 거버너[3]와 제안하는 Average 거버너를 사용하여 CPU 부하 특성에 따른 에너지 사용량 측정한 결과를 보여준다. CPU 부하가 6% ~ 75%의 구간에서 Average 거버너가 Ondemand 거버너보다 전체적으로 에너지를 적게 사용하는 것을 보여준다. 그러나 CPU 부하가 75% 이상일 경우 에너지 사용량이 비슷한 것을 보여준다. 전체적으로 제안한 Average 거버너가 Ondemand 거버너보다 약 30% 정도 에너지를 절감하는 것을 알 수 있다. 에너지 사용량뿐만 아니라 하나 더 고려 대상은 웹 서비스의 QOS(Quality of Service) 값이다. 그래서 본 연구에서 사용하는 기준은 에너지 사용량에 따른 웹 서비스 연산량을 고려한 WPPW(Web Performance Per Watt)을 사용한다. 제안하는 스마트(Smart) 거버너는 WPPW

을 기준으로 효율성이 높은 거버너로 자동 적용하는 방식을 사용한다.

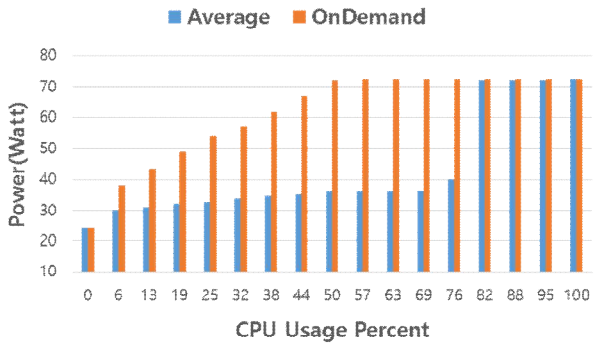



그림 2. CPU 부하별 Ondemand 거버너와 Average 거버너의 에너지 사용량 측정

그림 3 은 CPU 부하별 Ondemand 거버너와 Smart 거버너의 WPPW 성능을 측정한 결과를 보여준다. 제안한 Smart 거버너가 Ondemand 거버너보다 약 35% 정도 효율성이 향상된 결과를 보여준다.

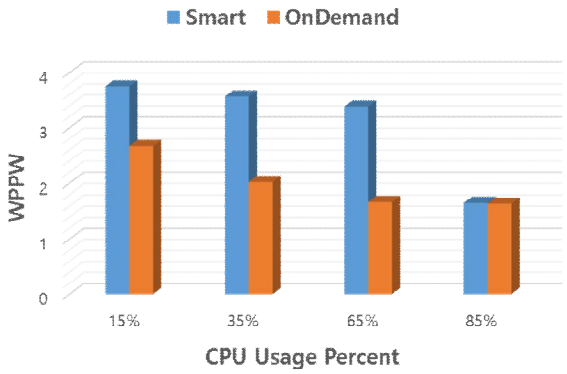



그림 3. CPU 부하별 Ondemand 거버너와 Smart 거버너의 WPPW 성능평가

## 3.에너지 인지형 스마트 로드밸런스 연구

제안하는 웹 서비스를 위한 로드밸런스의 핵심 원리는 CPU 부하에 따른 WPPW 변화에 초점이 맞추어져 있다. 다중 노드에서 WWPW 의 변화가 가장 적은 노드를 선택하는 기법이다. 그림 4 는 본 논문에서 제안하는 에너지 인지 스마트 로드밸런스 EASLB (Energy-Aware Smart Load Balancer) 의 구성도이다. 맨 아래 층에는 다중 CPU 를 갖은 여러 노드들이 있고 상위에 크게 세 개의 핵심 부분으로 구분되어 있다. 첫 번째 부분은 웹 서비스에 대한 부하를 분산시키는 역할을 하는 LDA (Load Distributing Agent)이다. 두 번째는 LDA 를 도와주는 에이전트들로 각 노드 들의 CPU 부하를 모니터링하는 CLMA (CPU Load Monitoring Agent), 시스템 부하의 과거 데이터를 기반으로 부하를 예측하는 SLPA (Service Load Predicting Agent) 그리고 적용되는 시스템의 전력 소비에 대한 로드별 특성데이터를 추출하기 위한 PCBA (Power Consumption Benchmark Agent)로 구성되어 있다. 마지막 부분은 관련 메타데이터와 로그데이터를 데이터베이스에 백업하는 LDBA (Log Data Backup Agent)이다.

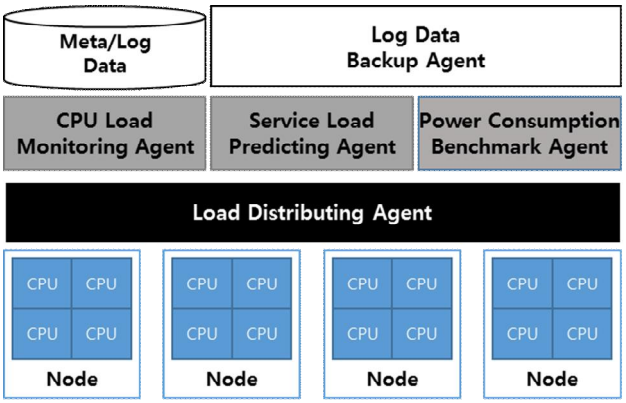



그림 4. 에너지 인지 스마트 로드밸런스 구성도

대규모 웹 서비스를 위한 다중 노드 구성에 대하여 부하 분산을 각 노드의 에너지 사용량과 웹 서비스 성능을 동시에 고려한 스마트 로드밸런스는 실 서비스에서도 에너지 효율성을 극대화할 것이다.

## 4.결론

본 연구는 웹 서비스에 대한 에너지 소비를 낮추기 위한 에너지 인지형 절감 기법을 제안하였다. 본 연구의 에너지 소모량 및 웹 성능 테스트 분석 결과를 토대로 기존 방식에 비하여 웹 서비스의 품질을 보장하면서 최대 약 35%까지 에너지 효율성을 제공한다. 향후 연구로 대규모 다중 서버에 대한 에너지 인지형 스마트 로드밸런스 개발하여 실 서비스에 적용하여 웹 서비스에 최적화된 에너지 절감기술을 다양한 성능평가를 통하여 검증할 예정이다.

## Acknowledgments

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0101-16-237, 고집적 저전력 프로세서 기반 30% 이상 에너지 절감 범용 운영체제 및 가상화 핵심기술 개발)

## 5. 참고 문헌

[1] Y Lee and Albert Y. Zomaya, "Energy efficient utilization of resources in cloud computing systems.", The Journal of Supercomputing, 268-280, 2012

[2] S Jang, J On, B An, B Lee, SI Jun, "Energy Saving Mechanism for Web Services ", Computer Science and its Applications, 2015 - Springer, 947-952, 2015.

[3] The Ondemand Governor, Proceedings of 2006 Ottawa Linux Symposium, August, 2006.

# 재난안전망용 배낭형 이동기지국

송지훈°, 서현석°, 유호상°°, 이경수°°°, 정섭, 강상기°

군산대학교°, 이노넷(주)°°, ㈜주니코리아°°°, KT

# A Backpack-Mounted Mobile Station for Disaster Safety Networks

Ji-Hun Song°, Hyun-Suk Seo°, Hosang Yu°°, Kyung-Su Lee°°°, Seob Jung, Sanggee Kang°

Kunsan National Univ. °, INNONET°°, Juni Korea°°°, KT

skkang@kunsan.ac.kr

요 약

휴대형 재난안전시스템은 국가 재난안전망에서 발생할 수 있는 소규모의 음영지역 해소, 긴급 재난지역의 트래픽 과부하 해소 그리고 도로 유실 등으로 접근이 어려운 지역의 긴급 재난안전망 복구 등에서 긴요하게 사용할 수 있기 때문에 국가 재난안전망의 구축에 반드시 필요하다. 본 논문에서는 휴대성과 망구축의 용이성을 고려한 무선 및 위성 백홀 기반의 개인휴대 PS(Public Safety)-LTE 이동기지국 시스템을 설계 및 구현하였다. 본 논문에서 구현한 배낭형 이동기지국은 TVWS 를 무선 백홀로 이용하기 때문에 재난안전망의 구축이 용이하다는 장점이 있다.

## 1. 서론

개개인의 안녕과 복지에 대한 관심과 요구가 증가하고 있는 반면에 자연적 또는 인위적 요인에 의해서 대형 재난/재해가 빈번하게 발행하고 있다. 최근에 세계 각국에서는 국가 재난 상황에 자국민을 안전하게 보호하고, 중요 시설물에 대한 피해를 최소화하기 위한 수단으로 공공안전통신망(public safety communication network)을 구축하고 있다. 우리나라에서도 2015년 국가 재난안전통신망 구축 사업의 정보화 전략계획에 대한 수립 결과가 발표되었고, 시범사업을 평창 동계올림픽을 유치하는 지역인 강릉, 정선, 평창에서 PS-LTE 방식의 재난안전망을 적용해 봄으로써 PS-LTE가 재난안전망으로 적합한지 여부를 검증하고, 2016년 9개 시도에서도 기존의 무선통신망을 PS-LTE 망으로 전환 및 확산 구축하며, 2017년에 PS-LTE 방식의 재난안전망 구축을 완료하는 것을 목표로 계획 및 추진하고 있다.

전국망으로 설치되는 재난안전망은 지리적인 여건에 따라서 음영지역이 있을 수 있으며, 트래픽의 과부하로 통신이 되지 않거나, 재난이 발생한 지역에 접근이 어려운 경우도 발생할 수 있다. 전국적으로 설치되는 재난안전망과 더불어 소형의 이동형 재난안전망을 보조적으로 구축한다면, 소규모의 음영지역, 재난지역의 트래픽 과부하 해소 그리고 접근이 어려운 지역에서 신속하게 재난 무선망의 구축이 가능하다.

본 논문에서는 기존 유선망으로 재난안전망의 구축이 어려운 도서산간 및 농어촌 지역 등에서 TVWS를 무선 백홀로 사용함으로써 재난안전망의 구축 기간 및 비용을 절감할 수 있고, 트래픽 등으로 인한 재난안전망의 불통 및 도로 유실 등으로 접근이 어려운 지역에서 신속하게 재난안전망을 복구할 수 있으므로 인해서 국민의 생명과 자산을 효과적으로 보호할 수 있는 이동형 재난안전 통신시스템의 설계 및 구현에 대해서 기술한다.

## 2. 설계 및 구현

배낭형 이동기지국(BMeN:Backpack Mobile eNB)을 이용한 휴대형 재난안전망의 시스템 구성도는 (그림 1)과 같고, 이동형 재난안전망은 PS-LTE 기능과 TVWS를 이용한 통신을 지원하는 이동기지국, TVWS를 이용한 통신을 지원하는 RF 백홀 브릿지(bridge), RF 백홀 도너(BMeN donor) 및 NMS 서버로 구성된다. (그림 1)에 나타나 있듯이 배낭형 이동기지국은 700MHz 대역에서 PS-LTE로 단말기와 송수신이 가능하며, 위성 및 RF 백홀로 TCP/IP 네트워크와 연결된다. 이동기지국은 배터리가 내장되어 있고, AC220V의 교류 전압 외에도 독립전원(태양광, 풍력 및 발전기 등)으로 전원 공급이 가능하도록 설계하였다. RF 백홀은 TVWS를 통해서 6MHz(또는 12MHz) 대역폭으로 MIMO 송수신하며, 전송속도는 최대 35 ~ 40Mbps까지 가능하다. RF 백홀 브릿지는 서비스 거리를 확장하기 위하여 사용되며, TVWS 신호를 디지털로 완전히 복조해서 TVWS로 신호를 재송신할 수 있으며, RF 백홀 브릿지도 휴대성을 고려하여, 백팩 형태로 구현한다. RF 백홀 도너는 TVWS 무선망 신호를 유선망과 연결하기 위하여 사용하며, RF 백홀 도너는 TVWS 장치의 위치 기반 정보를 바탕으로 TVWS DB 서버에 접속하여, TVWS 가용채널을 획득하는 역할을 한다. RF 백홀 도너도 휴대성을 고려하여 백팩 형태로 설계 및 구현한다.

NMS(Network Management System) 서버는 전체시스템의 상태감시 및 제어를 담당한다. <표 1>에는 배낭형 이동기지국의 주요규격을 나타내었고, 배낭형 이동기지국을 착용한 실제 모습은 (그림 2)와 같고, 실제 구현한 이동기지국도 함께 나타내었다. 배낭형 기지국은 TVWS를 이용하기 때문에 -55dBc 이상의 스펙트럼 방사특성을 만족해야 하며, (그림 3)에는 6MHz 그리고 12MHz 대역폭에서 측정한 스펙트럼 특성과 출력특성을 나타내었다. 구현한 시스템의 throughput은 (그림 4)와 같다.

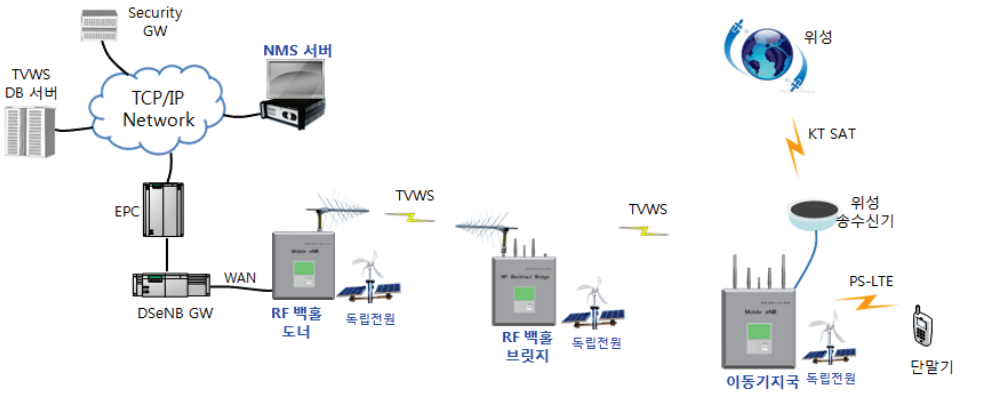
<표 1> 배낭형 이동기지국의 주요 규격

| 항 목 | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|
| 이동기지국 주파수 | 718~728MHz(Up), 773~783MHz(Down) | 서비스 주파수 |
| 이동기지국 출력 | 20dBm | 2x2 MIMO |
| TVWS 백홀 대역 | 470 ~ 698MHz | 백홀(도너-브릿지) |
| TVWS 백홀 출력 | 28dBm | 도너, 브릿지 |
| TVWS 백홀 출력 | 30dBm | 이동기지국 |
| 백홀 Throughput | Typ. 32Mbps | BW 12MHz, MIMO |
| 백홀 서비스 거리 | Typ. 10km | 백홀(도너-브릿지) |

(a) BMeN 초기모델 착용사진

(b) BMeN 과 BMeN 도너 사진

(그림 2) 배낭형 이동기지국(BMeN 과 BMeN 도너)



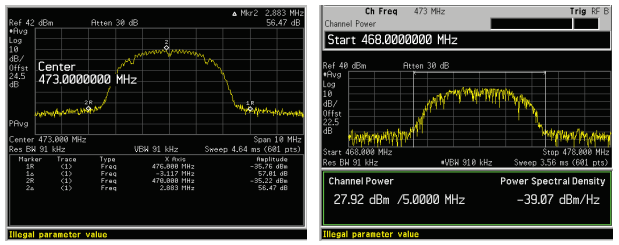

(그림 1) 배낭형 이동기지국을 이용한 재난안전망 구성도

## 3. 참고 문헌

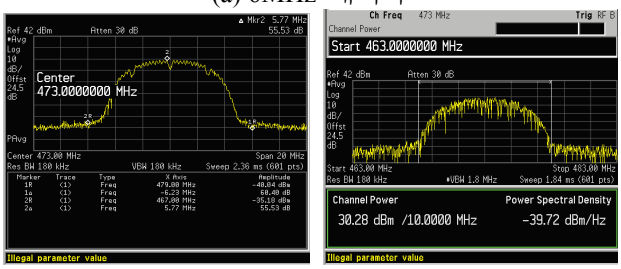
[1] 3GPP TS 36.521, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception

[2] IEEE Std. 802.22-2011, Part-22: Cognitive Wireless RAN MAC and PHY Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands

[3] IEEE Std. 802.22-2011, Part-22: Cognitive Wireless RAN MAC and PHY Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands




(a) 6MHz 대역폭




(b) 12MHz 대역폭

(그림 3) 스펙트럼특성과 출력전력

(a) 6MHz 대역폭 (b) 12MHz 대역폭

(그림 4) 인터넷 연결속도 측정 결과

# 수동소자 내장형 PCB 기술을 이용한 소형 모듈 연구

유종인, 김해진, 김준철
전자부품연구원 ICT 디바이스●패키징연구센터
aceryu@keti.re.kr

## 1. 서론

최근 들어서 기기들이 고집적화되고 다양한 기능을 가지고 있으며, 이를 작게 만드는 추세이다. 이에 따른 각각의 디바이스 또한 소형화 연구가 진행되고 있다. 소형화와 관련하여 SiP, SoP, SoC 등의 다양한 기술이 연구되고 있으며, 이를 구현하기 위한 공정 기술들로 LTCC, PCB, Silicon 등을 이용한 연구가 진행되고 있다[1]-[2]. 본 연구에서는 PCB 기판 내에 수동소자를 내장하는 연구를 기반으로 하였으며, 다양한 값을 가지는 여러 종류의 커패시터를 기판 내에 내장하고 이에 관련된 연구를 진행하였다.

## 2. 설계 및 구현

제안된 연구에서는 그림 1 과 같은 단면 구성도를 가진다. GPS IC 와 Bluetooth IC 는 맨 위에 SMT 되도록 하였다. 배선의 편리성을 위한 미세라인을 가지는 인터포저가 연결되고, 맨 밑에 수동소자가 내장된 PCB 가 연결되는 형태이다. PCB 에 내장된 것은 각각의 IC 가 필요로 하는 매칭용 커패시터와 전원단 노이즈 제거용 커패시터들이다. 여러 종류의 커패시터는 각각의 IC 가 필요로 하는 위치에 최대한 가깝게 최적화 하여 배치하였다. chip-first 내장 공정을 사용하여 커패시터들이 내장되고, 압착공정을 거쳐 PCB 가 제작된다.

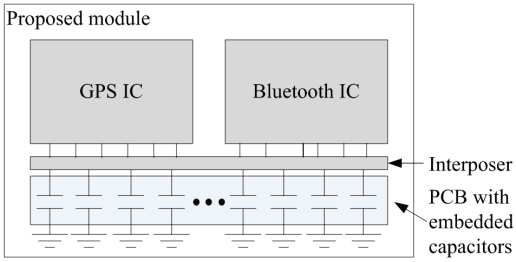
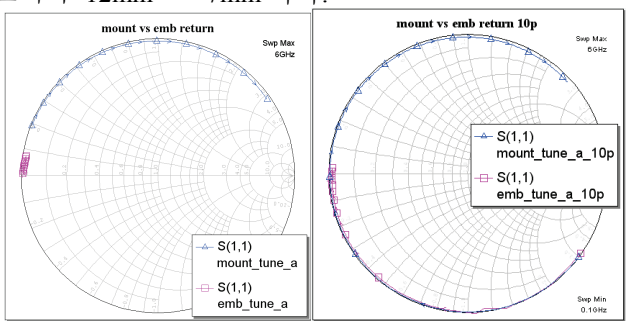


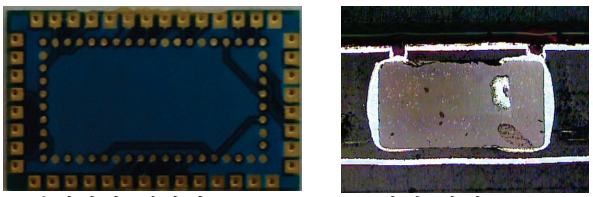

그림. 1 제안된 모듈의 구성 모습

내장되는 커패시터의 성능을 분석하기 위하여 내장 된 커패시터 경우와 SMT 된 커패시터 경우를 비교하였으며, 그림 2 와 같은 결과를 얻었다. 그림 2(a)는 0.1uF 값을 테스트 한 결과이며, 그림 2(b)는 10 pF 을 측정한 것이다. 각각의 그림에서 붉은 선은 커패시터 내장된 경우이고, 파란 선은 SMT 된 경우를 나타낸 것이다. 그림 2(a)에서 SMT 의 경우, 스미스 차트에서 trace 가 inductor 영역으로 넘어 가는 특성이 나타나고, 내장된 경우에는 영향을 작게 받아 일정한 값을 가지는 특성을 나타내었다. 그림 2(b)에서 SMT 커패시터는 주파수에 따라 인덕터의 특성을 나타내는 경우가 있으나, 내장된 커패시터는 커패시터 영역 내에서만 그 값이 나타났다. 분석 결과, 내장된 기술을 이용한 커패시터의 특성 변화가 훨씬 작음을 확인할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 그림 3 과 같은 모듈을 구현하였다. 그림 3(a)는 내장형 PCB 구현 모습이며, 그림 3(b)은 그 단면을 확인한 것이다. 그림 3(C)는 구현된 모듈의 모습이며, 크기가 12mm × 7mm 이다.

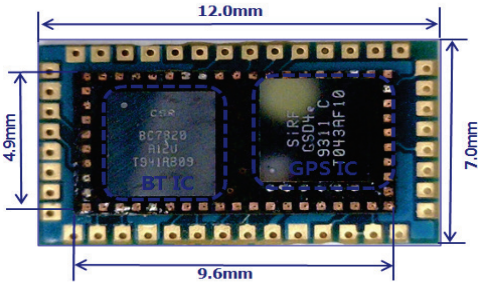



(a) 0.1 uF 비교 (b) 10 pF 비교

그림.2 내장된 커패시터와 SMT 커패시터의 성능분석



(a)커패시터 내장된 PCB (b) 단면 사진




(c)구현된 모듈

그림.3 내장형 PCB 를 이용한 소형 모듈 구현

## 3. 결론

구현된 모듈의 시스템 성능을 측정한 결과, Bluetooth 의 송신과 수신크기는 6 dBm 과 - 72 dBm 이었으며, GPS 의 수신감도는 - 162.1 dBm/Hz 이었다. 커패시터 임베딩의 기술을 사용하여 소형화를 구현하였으며, 성능이 이상 없음을 확인할 수 있었다.

## 4. 참고 문헌

[1] N. Kumbhat, F. Liu, V. Sundaram, G. Meyer-Berg, and R. Tummala, "Low cost, Chip-Last Embedded ICs in Thin Organic Cores," in Proceeding of the Electric Components and Technology Conf., pp. 43-47, 2011

[2] J. Ryu, D. Kim, J.C. Park H. Kim and J. C. Kim, "A System-on-Package Module by Fully Embedding Chip Components in Organic Substrate," in Proc Eur. Microwave. Conf., PP.313-316, 2010.

# 위상오차와 레일리 페이딩 환경에서 MPSK 와 MDPSK 의 성능분석

박홍원°, 김환우

°한국항공우주연구원(충남대학교), 충남대학교

# Performance Analysis of MPSK and MDPSK systems in the presence of phase error and Rayleigh fading

Hong Won Park°, Whan Woo Kim

°Korea Aerospace Research Institute(Chungnam University), Chungnam University

°hwpark@kari.re.kr, wwkim@cnu.ac.kr

## 요 약

본 논문은 위상 추정 시 발생하는 위상오차(ϕ)의 크기에 따라 시스템의 성능 열화가 큰 MPSK 성능과 위상오차에 강한 MDPSK 와의 성능 비교를 통하여 스케일러블 비디오 및 이미지 데이터 전송 시 특정 타겟 비트오류율에서 스루풋을 높이고자 할 경우 보다 효율적인 변조 방식의 선정에 관한 연구이다. MPSK 시스템의 성능 열화는 가우시안 분포(평균 0, 표준편차 $\sigma_\phi$)를 갖는 위상오차로 가정하였고 레일리 페이딩 환경에서 위상오차의 표준편차($\sigma_\phi$)의 변화에 따라 수치 적분을 통해 분석하였다.

## 1. 서론

일반적으로 코히어런트 위상편이변조(PSK)의 성능은 동일한 조건을 고려 시 차등 위상편이변조(DPSK)보다 성능이 우수하며, 페이딩 환경에서는 높은 신호대잡음비에서 약 3dB 의 성능 차이를 보인다[1]. 그러나 코히어런트 시스템의 경우 위상정보를 이용하여 복조를 수행 시 완벽한 위상동기 구현이 쉽지 않아 위상오차가 발생할 가능성이 높으며, 이는 성능열화를 가져온다. 따라서 위상오차가 없는 경우는 MPSK 가 더 우수하나 수신신호의 위상오차의 크기에 따라 MPSK 의 성능이 열화가 됨에 따라 위상오차에 강인한 MDPSK 의 성능이 더 좋게 되는 교차점이 발생하게 된다. 본 논문에서는 위상오차에 대한 특성을 가우시안 분포로 모델링 한 후 레일리 페이딩 채널 환경 하에서 BPSK 와 8PSK 의 수치 적분을 통해 위상오차의 표준편차의 변화에 따른 성능 열화 정도를 분석한다. 그리고 비교 성능으로 DBPSK 와 D8PSK 에 대해 동일하게 수치 적분을 통해 두 변조 시스템의 성능을 비교하여, 두 성능의 교차점 분석을 통해 스케일러블 비디오 및 이미지 데이터 전송 시 전송 패킷의 특징에 따라 특정 타겟 비트오류율에서 더 높은 스루풋을 확보하기 위해 더 적합한 변조 방식을 선정하는 경우에 대한 기준으로 적용할 수 있다.

## 2. 본문

주파수 비선택적 페이딩 및 저속 페이딩 채널 환경을 고려하고 수신 신호에 대한 위상오차가 발생하는 경우를 가정한 BPSK 와 8PSK 의 성능을 먼저 유도하고, 실질적인 환경에서 인접 심볼 간 정도의 짧은 구간의 경우 채널 정보가 변하지 않는 상황 즉, 위상오차에 영향을 받지 않는 DBPSK 와 D8PSK 의 성능을 유도하여 두 신호 간의 성능 변화를 분석하고자 한다. 먼저 신호 $s_l(t)$가 전송된 경우 수신기에서 수신된 저역통과 등가신호 $r_l(t)$는 다음과 같이 표현된다.

$$r_l(t) = \alpha e^{-j\phi_r} s_l(t) + n(t),\ 0 \le t \le T \qquad (1)$$

여기에서 $\alpha$ 는 채널의 페이딩 크기, $\phi_r$ 은 채널로 인한 위상 변이, $n(t)$는 AWGN, 그리고 $T$는 하나의 신호 구간을 각각 나타낸다. 채널의 페이딩 크기인 $\alpha$가 레일리 분포를 가지고 랜덤하게 변화하는 경우 $\alpha^2$은 자유도 2 를 가진 카이제곱(chi-square) 분포를 갖는다. 수신기의 평균 신호대잡음비(SNR)은 $\bar{\gamma}_b = \frac{E_b}{N_0} E(\alpha^2)$ 으로 계산되므로, $\gamma$ 의 확률밀도함수는 식 (2)와 같이 표현된다. $E(\alpha^2)$은 $\alpha^2$ 의 단순 평균값을 의미한다.

$$f_\Gamma(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}_b} e^{-\gamma/\bar{\gamma}_b},\ \gamma \ge 0 \qquad (2)$$

불완전 동기로 인한 위상오차 $\phi = \phi_r - \phi_e$이며, $\phi_r$는 수신신호의 위상이고, $\phi_e$ 는 추정된 수신신호의 위상이다. 따라서 위상오차는 랜덤변수로 볼 수 있고, 성능 계산 시 모델링된 확률밀도함수를 가우시안 분포로 가정 시 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_{\Phi}(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\phi}} e^{-\frac{(\phi-\phi_m)^2}{2\sigma_{\phi}^2}} ; -\pi \le \phi \le \pi \quad (3)$$

여기에서 $\phi_m$ 는 위상오차의 평균, $\sigma_{\phi}$ 는 표준편차이다.

위상오차($\phi$)가 있을 경우 AWGN 에서 BPSK 성능은 다음과 같다.

$$P_{b,BPSK}(\gamma,\phi) = \frac{1}{2}\mathrm{Q}\left(\sqrt{2\gamma}\cos\phi\right) \quad (4)$$

따라서 식 (4)를 이용하여 위상오차와 레일리 페이딩 채널을 고려한 BPSK 성능은 위상오차에 대한 확률밀도함수인 식 (2)와 레일리 페이딩 채널의 확률밀도함수인 식 (3)을 이용하여 다음과 같이 최종적으로 계산된다.

$$P_b(BPSK) = \int_{\phi=-\pi}^{\pi}\int_{\gamma=0}^{\infty} P_{b,BPSK}(\gamma,\phi) f_{\Gamma}(\gamma) f_{\Phi}(\phi) d\gamma\, d\phi \quad (5)$$

여기에서 식 (5)에 포함되어 있는 Gaussian Q 함수는 기존의 함수를 적용하여 수치 적분 시 아규먼트가 적분의 하한값에 포함되어 있으므로 해석적 어려움이 발생하므로, Craig [2]가 제안한 다음의 Gaussian Q 함수를 적용하였다.

$$\mathrm{Q}(x) = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi/2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sin^2\theta}\right) d\theta \quad (6)$$

BPSK 와 유사하게 위상오차와 페일리 페이딩을 고려한 8PSK 성능은 [3, 식 7]과 앞서 계산한 확률밀도함수를 적용하면 다음과 같다.

$$P_b(8PSK) = \frac{1}{(bg_2 8)\cdot\pi}\int_{\phi=-\pi}^{\pi}\int_{\gamma=0}^{\infty}\int_{\theta=0}^{\pi/2}\sum_{n=0}^{3}\exp\left(-\frac{(bg_2 8)\cdot\gamma}{\sin^2\theta}\sin\left(\frac{(2n+1)\pi}{M}+\phi\right)^2\right) f_{\Gamma}(\gamma) f_{\Phi}(\phi)\, d\theta d\gamma d\phi \quad (7)$$

반면에 DBPSK 는 앞서 가정한 채널환경에서 위상오차의 영향이 없으며, 성능은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_b(DBPSK) = \int_{\gamma=0}^{\infty}\frac{1}{2}e^{-\gamma} f_{\Gamma}(\gamma) d\gamma \quad (8)$$

그리고 Pawula[4]에 의해 처음으로 유도된 D8PSK 수신기의 심볼 오류 확률은 다음과 같다.

$$P_{s,D8PSK} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)}{2\pi}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\frac{\exp\left\{-\left(\frac{E_s}{N_0}\right)\left[1-\cos\left(\frac{\pi}{8}\right)\cos\theta\right]\right\}}{1-\cos\left(\frac{\pi}{8}\right)\cos\theta} d\theta \quad (9)$$

그러므로 레일리 페이딩에서 D8PSK 의 평균 심볼 오류 확률은 식 (2)와 (9)을 이용하여 다음과 같다.

$$P_s(D8PSK) = \int_{\gamma=0}^{\infty}\frac{\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)}{2\pi}\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\frac{\exp\left\{-\left(\frac{E_s}{N_0}\right)\left[1-\cos\left(\frac{\pi}{8}\right)\cos\theta\right]\right\}}{1-\cos\left(\frac{\pi}{8}\right)\cos\theta} d\theta\, f_{\Gamma}(\gamma) d\gamma \quad (10)$$

8PSK 와 D8PSK 의 동일 성능 기준으로 비교하고자 식 (10)은 다음의 관계식을 이용하여 평균 비트 오류 확률로 변경하였다.

$$P_{b,D8PSK} \cong \frac{P_s(D8PSK)}{bg_2 8} \quad (11)$$

위상오차를 고려한 BPSK 와 DBPSK 그리고 8PSK 와 D8PSK 를 이용한 수치 적분을 정리한 결과는 표 1 과 표 2 와 같다.

표 1. 교차점 분석 및 선호 변조방식 @ 1e-2

| 위상오차 (Degrees) | BPSK | DBPSK | 교차점 (dB) | 성능 (BER) |
|---|---|---|---|---|
| 20 | Better | Worse | 없음 | - |
| 25 | Better | Worse | 35.32 | 1.46e-4 |
| 30 | Better | Worse | 18.23 | 7.40e-3 |
| 35 | Worse | Better | 10.65 | 3.94e-2 |

표 2. 교차점 분석 및 선호 변조방식 @ 1e-2

| 위상오차 (Degrees) | 8PSK | D8PSK | 교차점 (dB) | 성능 (BER) |
|---|---|---|---|---|
| 6 | Better | Worse | 없음 | - |
| 8 | Better | Worse | 22.91 | 0.0038 |
| 10 | Worse | Better | 14.54 | 0.0234 |
| 12 | Worse | Better | 12.27 | 0.0444 |

표 1 과 표 2 로부터 타겟 비트오류율을 1e-2 으로 설정할 경우 위상오차의 표준편차가 35 도 미만인 경우 BPSK 변조 방식을 적용하는 것이 스루풋 측면에서 유리함을 알 수 있다. 그리고 위상오차에 더 민감한 8PSK 의 경우 위상오차의 표준편차가 10 도 이상이 되는 경우 즉시 D8PSK 보다 1.3dB 이상의 성능 열화가 발생하게 되어 이 경우 D8PSK 변조 방식을 적용하는 것이 스루풋 측면에서 더 적합한 변조 방식이라고 할 수 있다.

본 결과의 응용의 예로써, 기저계층(Base Layer)와 증대계층(Enhancement Layer)으로 구성되는 스케일러블 소스의 경우 기저계층은 증대계층보다 중요한 블록이며, 비트 스트림 상의 특정 패킷에서 송수신 과정에서 에러가 발생하게 되면 해당 패킷보다 스트림상의 뒤쪽에 위치한 패킷들은 에러가 없더라도 사용할 수 없게 되므로[5] 위상오차가 존재하는 경우 1e-2 을 타겟으로 설정 시 기저계층에는 BPSK 를 적용하고, 증대계층은 D8PSK 를 선택하는 것이 더 나은 품질을 얻을 수 있을 것으로 판단할 수 있다.

## 3. 참고 문헌


[1] Simon, M. K., Alouini, M. S. *Digital Communication over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

[2] J. W. Craig, "A new, simple and exact result for calculating the probability of error for two-dimensional signal constellations," *IEEE MILCOM'91 Conf. Rec*., Boston, pp. 25.5.1-25.5.5.

[3] Y. Jang, D. Yoon, and S. K. Lee, "Generalized BER Expression of MPSK in the Presence of Phase Error," *IEEE Commun*., vol. 17, pp. 2213-2216, Dec. 2013.

[4] R. F. Pawula, S. O. Rice, and J. H. Roberts, "Distribution of the phase angle between two vectors perturbed by Gaussian noise," *IEEE Trans. Commun*., vol. COM-30, August 1982, pp. 1828-1841.

[5] Hyosun Yang, Seok-Ho Chang, Jaewook Song, Sukhyon Yoon, Hyungsung Jung and Gyoungil Kwak, "A Study on the Transmission of Scalable Video and Image in Mobile Digital Broadcasting Systems," in *Proc. Of Symposium of KICS*, pp. 824-825, June 2014.

# 선박 데이터 융합을 통한 표적 정확도 개선

조관태°, 이병길°

한국전자통신연구원°

# Track Accuracy Improvement via Ship Data Fusion

Kwantae Cho°, Byung-Gil Lee°

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)°

kwantaecho@etri.re.kr, bglee@etri.re.kr

## 요 약

국내에서 운용중인 VTS(Vessel Traffic Service) 시스템에서 전시되는 표적은 다수의 레이더 및 선박자동식별장치로부터 획득한 데이터를 기반으로 융합 처리되어 전시된다. 본 논문에서는 실 선박에 탑재된 GPS 장비로부터 얻은 데이터, 단일 레이더 및 선박자동식별장치로부터 획득한 입력 데이터(실 데이터)와, 개발중인 융합처리 모듈을 통한 출력 데이터와의 비교를 통해 표적 정확도 개선 정도를 알아본다.

## 1. 서론

해상교통관제센터(VTS 센터)는 해상 교통 상황을 실시간으로 모니터링하며, 선박 간 충돌 사고 예방을 위하여 선박에 안전정보를 제공하는 역할을 수행한다. 현재 VTS 센터는 인천, 부산 등 국내에 18 곳에 설치되어 운용 중이며, 2021 년까지 8 곳을 추가 설치하여 운영할 예정이다.

선박을 모니터링하고 이에 대한 안전 여부를 관제사가 판단하기 위해서는 VTS 센터의 관제사 운용 화면의 선박의 표적 정보(수평 위치, 속력, 침로)에 대한 신뢰도가 높아야 한다. VTS 시스템은 여러 시스템으로 구성되어 있으며, 그 중 데이터융합처리시스템은 선박 정보의 정확도를 향상시키기 위한 중요한 역할을 수행한다. 데이터융합처리시스템은 선박의 전시 정보를 생성하기 위하여 레이더표적 데이터와 선박자동식별장치(AIS, Automatic Identification System)로부터 획득한 AIS 데이터를 입력 값으로 활용하여, 선박의 표적 정보 정확도 향상에 기여한다.

하지만 국내 VTS 센터에서는 외산 데이터융합처리시스템을 구축하여 운용 중이다. 따라서 국산 VTS 시스템을 개발하기 위해서는 국내에서 자체적으로 데이터융합처리 시스템에 대한 융합처리 모듈 개발이 시급하다.

본 논문에서는 실제 레이더 및 선박자동식별장치로부터 수집한 레이더표적 및 AIS 데이터와, 개발중인 융합처리 모듈을 통하여 출력된 융합 표적 데이터와, 동 시간대에 수집한 GPS 정보를 비교하여 표적 정확도 개선 결과를 보여준다.

## 2. VTS 시스템 모델

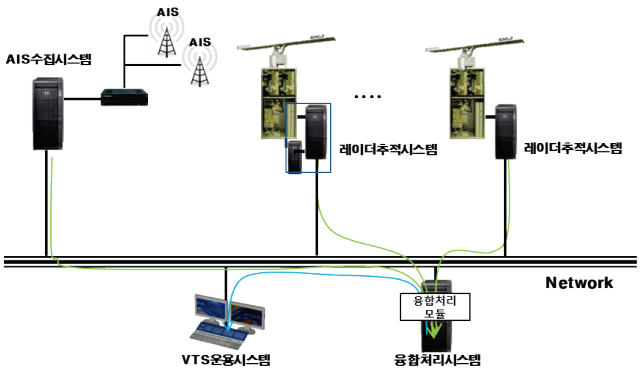



**그림 1. 시스템 모델 설정**

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 VTS 시스템 모델이며, AIS 수집시스템, 레이더추적시스템, VTS 운용시스템의 3 가지로 구성된다. 현재 VTS 센터에서 운용중인 시스템 구성도는 서브시스템상태감시 시스템, CCTV 제어 시스템 등 그림 1 보다 복잡하게 구성되어 있으나, 본 논문에서는 융합처리모듈과 관련된 시스템만으로 VTS 시스템을 구성하였다. 각 시스템 객체의 역할은 아래와 같다.

1) AIS 수집시스템 : 선박에 설지된 AIS 단말기로부터 AIS 및 AtoN(Aid to Navigation) 데이터 등을 실시간으로 수집하여 융합처리시스템으로 전송한다.

2) 레이더추적시스템 : 레이더 수신기로부터 아날로그 데이터를 수신하여 신호처리를 한 후, 관련 영상정보를 VTS 운용시스템으로 전송한다. 이와 동시에, 레이더표적 데이터를 생성하여 융합처리시스템으로 전송한다.

3) 융합처리시스템 : AIS 전송시스템으로부터 AIS 데이터를 수신하고, 다수의 레이더추적시스템으로부터 레이더표적 데이터를 획득하여, 이를 융합처리 모듈을 통해 표적 정보를 생성한다. 생성된 표적정보는 VTS 운용시스템으로 전송한다.

4) VTS 운용시스템 : 관제사가 현재의 해상교통상황을 신속히 파악하고 이를 통제할 수 있도록, 융합처리시스템으로부터 수신한 표적정보를 전자해도 위에 전시한다.

## 3. 융합처리모듈 개요

융합처리시스템은 융합처리모듈을 통해 레이더추적시스템으로부터 수신한 레이더표적 데이터와 AIS 수집시스템로부터 수신한 AIS 데이터를 융합 처리한다.

레이더표적 데이터와 AIS 데이터는 비동기적으로 수신되기 때문에, 먼저 동시간대로 예측한다. 예측 후, 레이더표적 데이터와 AIS 데이터를 융합한다. 기본적인 융합 방식은 아래와 같다.

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{P}_{k|k}\left(\sum_{i=1}^{N} (\hat{P}_{k|k}{}^{i})^{-1}\hat{x}_{k|k}{}^{i}\right)$$

$$\hat{P}_{k|k} = \left(\sum_{i=1}^{N} (\hat{P}_{k|k}{}^{i})^{-1}\right)^{-1}$$

단, $\hat{x}_{k|k}$ 는 k시점에 융합된 상태벡터, $\hat{P}_{k|k}$ 는 k시점에 융합된 오차공분산, $\hat{P}^{i}_{k|k}$ 는 k시점에 i번째 표적의 갱신된 오차공분산, $\hat{x}^{i}_{k|k}$ 는 k시점에 i번째 표적의 갱신된 상태벡터를 의미한다.

## 4. 표적 정확도 개선 비교

융합처리모듈의 성능을 파악하기 위해, GPS 장비가 탑재된 시험 선박을 운행하여, 위도 및 경도, 속력, 침로에 대한 정보를 수집하였다. 그리고 동시간대의 레이더표적 데이터와 AIS 데이터를 수집하고, 융합처리모듈로부터 획득한 융합표적을 기록하였다. 아래 그림 2~4 는 각각 융합표적-GPS, AIS 표적-GPS, 레이더표적데이터-GPS 데이터에 대한 수평위치(XY) 오차 및 속력 오차 및 침로 오차를 비교한 결과 그래프다.

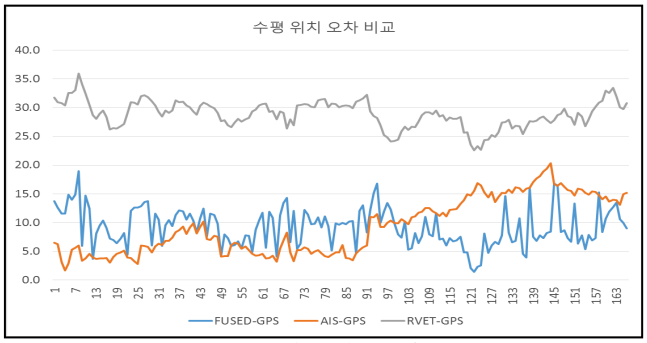



그림 2. 수평위치 오차 비교

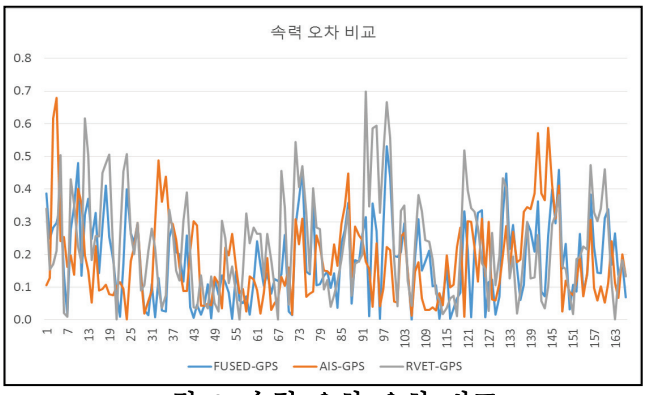



그림 3. 속력 오차 오차 비교

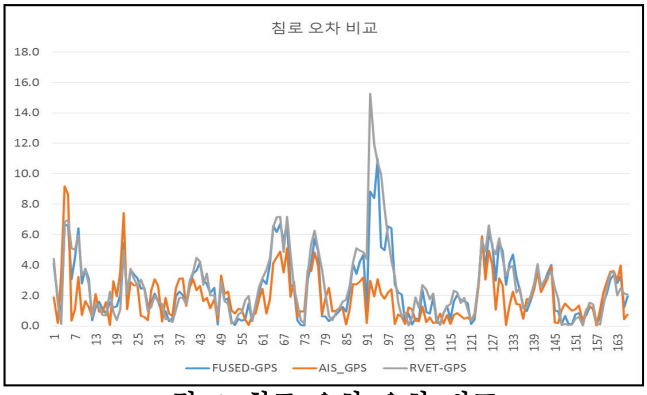



그림 4. 침로 오차 오차 비교

표 1. 성능분석 시험 결과 (RMS)

| 성능 구분 (오차) | 시험결과 (GPS 와 비교) | | |
|---|---|---|---|
| | 융합표적 | AIS | 레이더표적 |
| 수평위치 (m) | 9.79 | 10.42 | 28.95 |
| 침로 (°) | 3.17 | 2.43 | 3.61 |
| 속력 (knot) | 0.22 | 0.22 | 0.27 |

## 5. 결론

표 1 및 그림 2~4 에서 확인 가능하듯이 융합처리모듈을 통하여 획득한 융합표적의 정확도는 레이더표적에 비하여 정확도가 개선되었다는 것을 확인할 수 있다.

## 6. Acknowledgement

본 연구는 국민안전처/한국해양과학기술진흥원의 미래해양개발사업 연구비지원(ETRI 수행 과제번호 20090403)에 의해 수행 되었습니다.

## 7. 참고 문헌

[1] D. L. HALL., and J. LLINAS, “An Introduction to Multisensor Data Fusion,” Proceedings of the IEEE. Vol, 85. No 1. 1997.

# 개인용이동수단용 주행안전지원시스템에 적용되는 영상인식기반 복합 센싱 소프트웨어 개발

박은애°, 주현태, 정용무, 민수영

전자부품연구원

# A Development of Complex Sensing Software based on a Vision Recognition for Safe Driving Support Equipment for Individual Vehicles

Eunae Park° , Hyuntae Ju, Yong Mu Jeong, Soo Young Min

Korea Electronics Technology Institute

{eunae, oskernel, ymjeong, minsy}@keti.re.kr

## 요 약

친환경 이동수단과 건강 증진 및 교통 약자를 위한 이동수단으로 자전거나 전동휠체어와 같은 개인용 이동수단의 수요가 증가하는 추세이다. 이에 따라, 개인용 이동수단의 탑승자를 보호하기 위한 개인용 이동수단의 주행안전 지원시스템의 필요성이 증가하고 있다. 개인용 이동수단의 주행안전 지원시스템은 안전거리 측정을 위해 주로 초음파 센서나 라이다 센서를 사용하는데, 노이즈 발생 및 인식거리 증가에 비례하여 센서의 단가가 상승하는 단점이 있다. 본 논문에서는 영상인식기반 물체 검출 및 거리 측정 방법을 개인용 이동수단의 주행안전 지원시스템에 적용하여, 개인용 이동수단의 주변 물체를 확인하고 주행상황 및 위험정보를 판단하고 초음파 및 라이다 센서에 상응하는 거리 측정 결과를 확인한다.

## 1. 서론

근거리 이동 수단 및 건강 증진을 목적으로 하는 친환경 이동수단인 자전거와 교통 약자를 위한 이동수단인 전동휠체어와 같은 개인용 이동수단의 수요가 증가하고 있다. 개인용 이동수단은 자동차와 달리 사고 발생시 탑승자 사고율이 높아, 사고를 미연에 방지할 수 있는 개인용 이동수단의 주행안전 지원시스템이 필요하다[1].

개인용 이동수단의 주행안전 지원시스템은 보편적으로 초음파 센서, 라이다 센서와 같은 센싱기반 거리 측정방법을 사용한다. 하지만 초음파 센서는 인식거리가 증가할수록 센서 단가가 급격히 상승하고 노이즈에 의해 인식률이 감소한다는 단점이 있고, 빛을 이용한 레이더 방식인 라이다 센서는 측정인식 범위가 좁아 광범위한 범위에서의 사용이 어렵고 센서 단가가 높은 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 영상인식을 기반으로 하는 거리 측정 방법을 개인용 이동수단의 주행안전 지원시스템에 적용했다. 적용된 영상인식기반 주행안전 지원시스템으로 개인용 이동수단의 주변 물체 검출 및 검출된 물체와의 거리를 측정하고 주행상황을 주변에 전달한다.

## 2. 주행안전 지원시스템 개발

### 2.1. 차간거리 경보시스템

운전자의 안전을 확보하기 위한 다양한 주행안전 지원시스템 중에서도 차간거리 경보시스템은 가장 기본이 되는 시스템이며, 이동수단 간의 충돌사고를 방지하기 위한 시스템이다.

### 2.2. Centroid Neural Network applied Tracking-Learning-Detection (CNN-applied TLD)

CNN-applied TLD 알고리즘은 물체 검출 및 검출된 물체를 추적하는 알고리즘으로, 물체 추적 알고리즘인 TLD 알고리즘에 무감독 경쟁 학습 알고리즘인 CNN 알고리즘을 적용한 알고리즘이다[3].

TLD 알고리즘은 추적하면서 학습하고 검출한다는 새로운 개념의 추적 프레임워크로, 그림 1 에 TLD 알고리즘의 구조 블록 다이어그램을 표현했다[4].

CNN 알고리즘은 기존 무감독 학습 알고리즘과 달리 능동적으로 연결가중치 및 학습시간을 결정하여 학습하며 안정적인 군집 결과를 가진다[5].

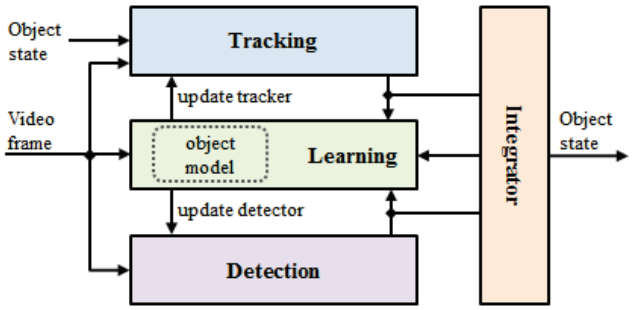



그림 1. TLD 구조 블록 다이어그램

CNN-applied TLD 알고리즘은 TLD Detector 의 2 단계인 통계적 조건부 확률로 직관적으로 물체 여부를 판단하는 ensemble classifier 단계를 CNN 알고리즘으로 변경하여 물체 검출 능력을 향상시킨 알고리즘이다. 또한 물체 검사 영역인 window 의 이동 간격을 땅, 하늘과 같은 면이 되는 배경 영역(물체가 존재할 확률이 낮은 영역)에서 중첩 검사를 진행하지 않도록 변경하여 물체 검출 속도를 향상시킨 알고리즘이다.

2.3. 영상인식기반 주행안전 지원시스템

본 논문에서 개발한 영상인식기반 주행안전 지원시스템은 주행 중에 나타나는 물체를 감지하고 검출된 물체와의 거리를 측정한다. 거리 측정을 위해 평행식 스테레오 카메라 시스템을 구성했으며, 카메라 간의 거리는 10cm, 카메라 상수는 57 로 설정했다. 물체가 기준 거리에서 좌우로 이동하는 실험영상을 사용하며, 표 1 에는 초음파 센서와 라이다 센서를 사용한 거리측정 결과를 영상인식기반 거리 측정결과와 비교했다. 영상인식기반 거리 측정결과는 물체 검출 결과가 정상인 경우 측정된 평균 및 오차거리이다.

| 거리 (m) | 측정방식 | 평균거리 (m) | 오차거리 (m) | 정확도 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 10.0 | 영상인식 | 9.826 | 0.174 | 98.261 |
| | 초음파센서 | 9.634 | 0.366 | 96.344 |
| | 라이다센서 | 9.891 | 0.109 | 98.909 |
| 30.0 | 영상인식 | 28.362 | 1.638 | 94.541 |
| | 초음파센서 | 27.110 | 2.890 | 90.368 |
| | 라이다센서 | 28.433 | 1.567 | 94.775 |

표 1. CNN-applied TLD 의 거리 측정 실험 결과

## 3.결론 및 향후 연구 방향

제안한 영상인식기반 주행안전 지원시스템의 정확도는 기준거리 10m 와 30m 일 때, 각각 98.26%와 94.54%로 확인했다. 이는 초음파 센서보다 1.92%와 4.87% 향상된 결과이고, 라이다 센서보다 0.65%와 0.23% 낮은 결과임을 확인했다.

영상인식기반 주행안전 지원시스템의 거리 측정결과가 센싱기반 주행안전 지원시스템과 비슷하거나 향상된 결과를 가진 것을 확인했다. 하지만 영상인식기반 주행안전 지원시스템의 거리측정 정확도는 물체 검출 결과에 대한 의존도가 높아 물체검출 정확도가 중요하고, 단가 절감을 위해 단일 카메라를 사용해야 한다. 따라서, 물체 검출 정확도 향상을 위한 알고리즘 연구 및 단일 카메라 거리 측정 방법에 대한 연구가 필요하다.

향후 연구를 통해 영상인식기반 장애물 검출 처리 성능을 개선하여 센서를 대체하기에 손색없는 고도화된 알고리즘을 개발할 계획이다. 또한 내부 모듈 간의 통신 및 실시간성을 보완하여 보다 많은 이동수단에 적용 가능한 주행안전 지원 시스템을 개발하고자 한다. 특히, 영상인식 알고리즘의 인식 성능 개선을 통해 단순 장애물 존재여부뿐만 아니라 인식 대상체의 종류(자동차, 보행자, 기타)까지 식별 가능한 고도화된 알고리즘을 개발할 계획이다.

## 4. 참고 문헌

[1] Philippe Crist, “주요국 자전거 교통사고 현황과 안전 개선 방향,” 한국교통연구원, 월간교통 제 190 권, 2013 년 12 월.

[2] 길성호, 김경환, “온라인 학습을 이용한 비전 기반의 차량 검출 및 추적,” 한국통신학회지, 제 39 권, 제 1 호, pp. 1-11, 2014 년 1 월.

[3] Eunae Park, Hyuntae Ju, Yong Mu Jeong and Soo-Young Min, “Tracking-Learning-Detection Adopted Unsupervised Learning Algorithm”, *Proc. Intl 7th IEEE Conf. Knowledge and Systems Engineering*, pp. 234-237, Oct. 2015.

[4] Z. Kalal, K. Mikolajczyk, and J. Matas, “Tracking-Learning-Detection,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 7, pp. 1409-1422, Jul. 2012.

[5] Dong-Chul Park. “Centroid Neural Network for Unsupervised Competitive Learning,” *IEEE Trans. Neural Network*, vol. 11, no. 2, pp. 520-528, Mar. 2000.

## 5. ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부의 글로벌 전문기술 개발사업(10048561, 개인용 이동수단의 주행안전 확보를 위한 주행상황기록 및 후방안전지원장치 개발)의 지원을 받아 수행하였음.

# OFDMA 기반 광대역 분산 이동메쉬 기술

박철, 김한나, 권동승

한국전자통신연구원

# Wideband Distributed Mobile Mesh Technology based on OFDMA

Chul Park, Han-Na Kim, Dong-Seung Kwon

Electronics and Telecommunications Research Institute

pchul@etri.re.kr, rtkim@etri.re.kr, dskwon@etri.re.kr

## 요 약

본 논문에서는 GPS 가 없는 환경에서도 동기를 이루는 분산 동기, 시간과 주파수 영역에서 무선자원을 인접노드간 효율적으로 사용하기 위한 분산 자원 할당을 제공하는 OFDMA 기반의 새로운 분산 이동메쉬 기술을 제안한다. 제안된 기술은 노드간 최대 30Km 의 통달거리와 최대 250Km/h 까지 상대 이동 속도를 제공하며, 5.87bps/Hz 의 최대 전송효율, 1 초 이하의 동기 회복 시간의 성능을 나타냄을 OPNET 기반으로 개발된 시뮬레이터를 이용하여 분석하였다.

## 1. 개요

지금까지의 IEEE802.11 과 IEEE802.15.5 의 무선메쉬 기술은 비면허대역에서 기존 AP 와 단말간 통신 규격을 메쉬 네트워크로 확장한 기술로서의 기본적인 제약 사항이 있으며[1], IEEE802.16d 에서의 무선메쉬 기술은 OFDM 기반으로 무선자원의 효율적 사용의 제한이 있다[2][3]. 본 논문에서는 GPS 가 없는 환경에서도 동기를 이루는 분산 동기, 시간과 주파수 영역에서 무선자원을 인접 노드간 효율적으로 사용하기 위한 분산 자원 할당 기술을 제공하는 OFDMA 기반의 새로운 분산 이동메쉬 기술을 제안한다. 2 장에서는 분산 이동메쉬 기술의 주요 특징을 설명하고, 3 장에서는 구축한 OPNET 기반의 시뮬레이터를 이용하여 제안한 분산 이동메쉬 기술의 최대 이동속도, 최대 전송속도 및 통달거리, 최대전송효율, 노드간 분산 동기 및 빔 포밍 등에 대한 성능 분석 결과를 제시한다.

## 2. OFDMA 기반 분산 이동메쉬 기술

본 논문에서 제안하는 분산 이동메쉬기술은 메쉬를 구성하는 각 노드간 GPS 유무에 관계없이 시간/주파수/클럭 동기를 맞출 수 있는 분산동기 기술, OFDMA 기반으로 각 노드간 간섭을 고려하여 제어채널의 분산 액세스 및 트래픽 채널의 분산 자원할당 기술, QoS 를 보장하는 라우팅 기술 및 망 재구성 기술을 제공한다. 분산 이동메쉬를 위한 프레임 구조 및 프로토콜 구조를 각각 그림 1 과 2 에 나타내었다. 그림 1 의 프레임은 망 제어 정보를 전송하는 NCF(Network Control Frame)와 데이터를 전송하는 SDF(Scheduling and Data Frame)로 구성된다. 특히, SDF 에는 코드북 기반의 2 차원 빔포밍 기술을 적용하여 통달거리 및 전송효율을 증가시켰다[4][5]. 그림 2 의 프로토콜은 Control/Data plane 으로 구성된 CPS(Common Part Sublayer)와 상위계층 데이터의 Classification/PHS(Payload Header Suppression) 기능을 가지는 CS(Convergence Sublayer)로 구성된다. MAC CPS 의 Control plane 은 network entry management, network reconfiguration, mesh routing, mesh group management, connection management, mesh access control/resource allocation, distributed synchronization 그리고, PHY 와 연관된 interference management, ranging, link adaptation, channel quality management 등의 기능을 가진다. Data plane 은 end-to-end ARQ, MAC relay transmission 등의 기능을 가진다.

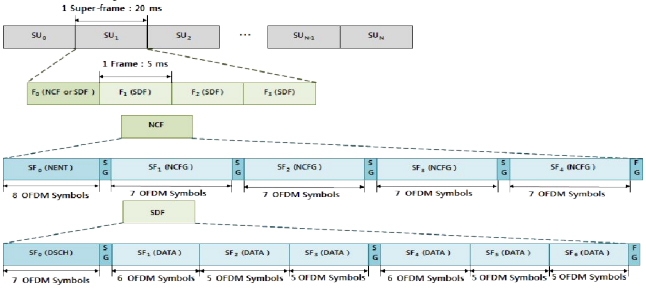



그림 1. 노드의 PHY 프레임 구조

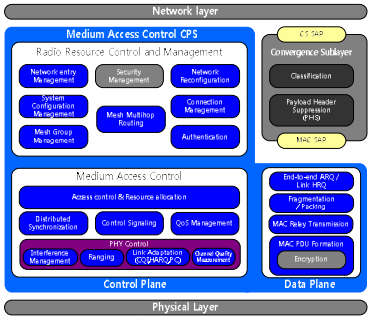



그림 2. 노드의 MAC 프로토콜 구조

## 3. 성능분석 결과

본 논문에서는 OPNET 기반의 시뮬레이터를 구축하여 OFDMA 기반 광대역 분산 이동메쉬의 성능을 검증하였다. 성능검증 시뮬레이터는 트래픽을 발생하는 응용 계층, 망 진입 및 구성, 라우팅 알고리즘, 자원 스케줄링, 분산 접속 제어 등 MAC 계층, 추상화된 물리계층, 무선채널 모델[6]을 OPNET 으로 구현하였다. 그림 3 은 과 같이 최대 전송속도 및 전송효율 성능을 분석을 위한 시나리오이고, 그림 4 의 성능분석 결과에서 알 수 있듯이 평균 최대 전송속도는 112.8 Mbps 이며, 20MHz 에서 5.87 bps/Hz 의 최대 전송효율을 가짐을 알 수 있다.

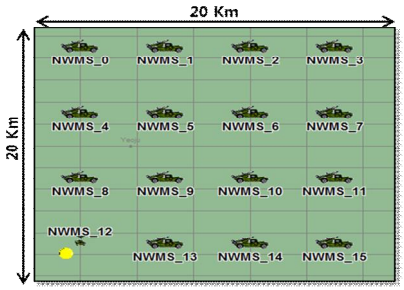



그림 3. 최대 전송속도 및 전송효율 시나리오

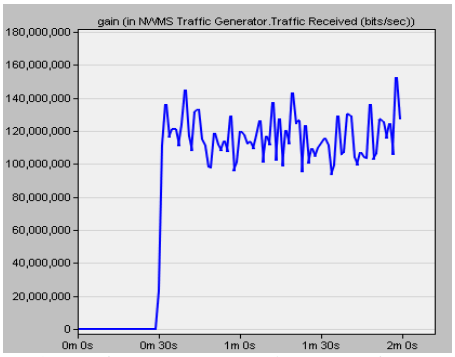



그림 4. 최대 전송속도 및 전송효율 성능

그림 5 는 5 개 노드를 30Km 간격에서 하나의 노드가 각 노드에게 데이터를 송신할 때 빔 포밍 알고리즘을 적용한 경우와 빔 포밍 알고리즘을 적용하지 않은 경우의 전송속도를 나타내었다. 빔 포밍 알고리즘을 적용한 경우 평균 데이터 수신량은 5.8Mbps, 빔 포밍 알고리즘을 적용하지 않은 경우 평균 데이터 수신량은 4.4Mbps 로 빔 포밍 알고리즘을 적용한 경우가 약 25% 정도 성능이 좋음을 알 수 있다.

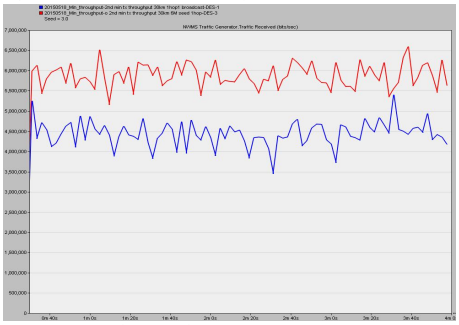


그림 5. 빔 포밍 성능 결과

노드간 동기 회복 시간을 분석하기 위하여 그림 6 과 같이 하나의 노드가 임의로 동기를 잃게 하는 시나리오를 구성하여 이웃 노드와 동기 회복에 소요되는 시간이 0.32 초임을 확인하였다.

위에서 제시한 성능 외에도 다양한 시나리오를 구성하여 검증한 OFDMA 기반 분산 이동메쉬의 성능을 표 1 에 나타내었다.

그림 6. 노드간 동기회복시간 시나리오

표 1. OFDMA 기반 분산 이동 메쉬 의 성능

| 성능 항목 | 성능 결과 |
|---|---|
| 최대 전송 거리 | 30 km |
| 최대 전송 속도 | 평균 112.8 Mbps |
| 최대 전송 효율 | 평균 5.87 bps/Hz |
| 최대 상대 이동 속도 | 250km/h 에서 제어 채널 수신 성공률 98% 이상 달성 |
| 노드간 동기 회복 시간 | 0.32 sec |

## 4.결론

본 논문에서는 OFDMA 기반 광대역 분산 이동메쉬기술을 제안하고, OPNET 기반 시뮬레이터를 이용하여 제안 기술에 대한 최대전송거리, 최대전송속도, 최대전송효율, 최대 상대 이동속도, 그리고 빔포밍 기능 등에 대한 성능분석 결과를 제시하였다. 향후 본 논문에서 제시한 성능분석 결과 이외에 OFDMA 기반 광대역 분산 이동메쉬 기술에 대한 추가적인 성능분석 연구가 진행될 필요가 있다.

## 5. 참고 문헌

[1] IEEE P802.11s™/D5.0, “Part 11: Wireless LAN MAC and Physical Layer specifications,” 2010.4.

[2] IEEE Std 802.15.5™-2009. “Part 15.5: Mesh Topology capability in Wireless Personal Area Network(WPANs),” 2009.5.

[3] Petar Djukic, Shahrokh Valaee, “Distributed Link Scheduling for TDMA Mesh networks,” *IEEE International Conference*, pp3823-388, 2007

[4] 안종민, 이동규, 박철, 김한나, 정재학, “코드북 기반 SIR 향상 빔 형성 기법,” 한국통신학회지, 제 40 권, 제 8 호, pp. 1469-1476, 2015 년 8 월.

[5] 이동규, 안종민, 박철, 김한나, 정재학, “무선 메쉬 네트워크 환경에서 빠른 빔형성을 위한 개선된 유전알고리즘,” 한국통신학회지, 제 40 권, 제 9 호, pp. 1686-1692, 2015 년 9 월.

[6] ITU-R M.2135, *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced,* ITU-R, 1997.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 민·군 겸용 기술사업(Dual Use Technology Program)의 지원을 받아서 작성되었습니다.

# Technical Considerations of Visible 2D Sequential Color Code for Design and Implementation

Trang Nguyen, Nam Tuan Le, Mohammad Arif Hossain, and Yeong Min Jang*
*Chairman of IEEE 802.15.7r1 Task Group
Kookmin University, Seoul, Korea
*yjang@kookmin.ac.kr

## Abstract

This paper introduces some technical considerations of 2D Sequential Color Code in the perspective of design and implementation. In order to support a high rate MIMO reliable link, an asynchronous transmission algorithm, real-time detection and processing, rotation and perspective distortion, and image sensors compatibility support will be presented.

## 1. Introduction

The advantages of using Li-Fi technology was revealed in [1], the blooming of visible light services along with technical standardization of Visible Light Communication [2] are proving strongly the fact that the light is going to be not only just illumination now a service in the not-too-distant future. As a promising application of visible light services, Optical Camera Communications which enables scalable data rate, positioning, localization and message broadcasting, etc. using devices such as the flash, display and image sensor as the transmitting and receiving devices [3], is getting more interests from companies and universities researchers.

Being approved in December 2014, the Task Group has been formed by IEEE 802.15 in order to write a revision to IEEE 802.15.7-2011 (shorten name TG7r1) as that accommodates infrared and near ultraviolet wavelengths, in addition to visible light, and adds options such as: Optical Camera Communications, LED-ID, and LiFi technologies [3]. Optical Camera Communications (OCC), also known as Image Sensor Communications, is of interest in this paper.

Related to ISC technology, some of contributions and proposals had been presented in the TG7r1 recently. Specifically, high rate Multiple Input Multiple Output (MIMO) OCC sequential code is discussed on the call-for-proposal (CfP) meetings [5]. Discussion and comment are continuing added, and the next CfP meeting on March 2016 will witness more valuable technical proposals from companies and universities. The high rate 2D-sequential code could be collaboration between all concerned proposers.

## 2. Technical Considerations

### A. System Architecture

Figure 1 shows an example of the architecture and flow chart of functionality in the design of a 2D sequential code as a transmitter and a camera as a receiver in an ISC system. Different from a statistic QR code our 2D-sequential code transmitter clocks out data sequentially to a camera receiver. There is an encoder that's map a packet of data along with some asynchronous bits into a symbol for showing on the code interface. Respectively, on a receiver side owns a decoder that de-maps data asynchronously into a set of data. In order to explain the operation and then to give a guidance in designing the code, the necessary of technical considerations is explained below.

### B. Technical Considerations

#### i. Image Sensor Compatibility

Since the TG7r1 Technical Consideration Document (TCD) [4] had been discussed and being agreed, the

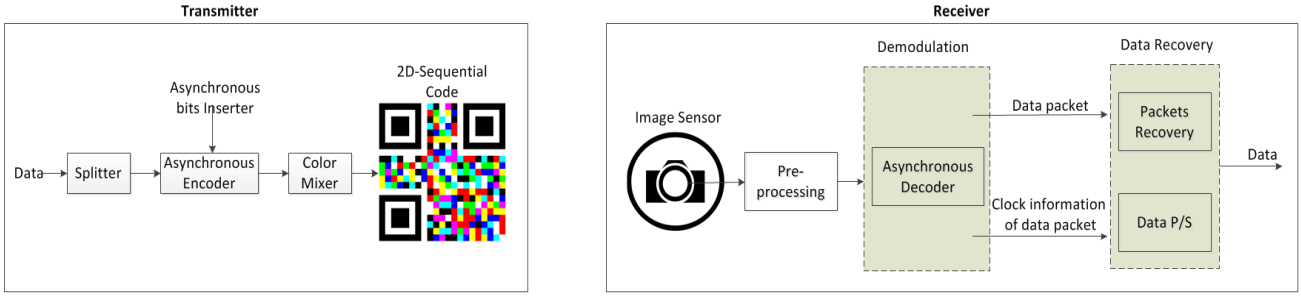



**Figure 1: A system architecture of 2D-Sequential Color Code for Image Sensor Communications**

directions ask the proposers and implementers to rethink about a concerned technology to resolve plenty of related problems. The first requirement should be the support feature in being compatible to various types of images sensors those available on the market currently. Rolling shutter image sensors are outstanding in popularity compared to global shutter image sensors. However, rolling mechanism that creates a challenge to get data from a multiple LEDs transmitter (rolling effect on image) might be presented and resolved as an indispensable design aspect.

ii. Asynchronous Transmission

On a specific unidirectional broadcasting mode, a beacon broadcasting for example, a receiver does not know the transmitting symbol rate of a receiver. The asynchronous transmission hence becomes a critical issue. Moreover, a camera receiver has frame rate variation as concluded from our previous works in [6] and was agreed on the TGr71 TCD at [4], leading to a challenge in implementing a 2D sequential code with multiple LEDs.

iii. Rotation and Perspective Distortion

The consideration comes from the fact that a 2D sequential code is an expression of or developed from a QR code form. The interface of a code shall support for rotation under a condition of rotating a camera receiver. A perspective distortion, which is caused by a relative angle of camera viewing and the transmitter surface, is also considered in decoding procedure. Our previous work [6] has shown a design to mitigate any perspective distortion, however the rotation is limited.

iv. Spatial MIMO Design and Real-time Processing

MIMO technique brings a benefit to data rate up to Mbps. Evidently there is a tradeoff between the number of LEDs on the transmitter and the range of transmission. On the other hand, the processing time of a huge-sized 2D code is over than that of a small-sized one. A design of 2D sequential code interface shall consider and overcome the drawback.

## 3. Conclusion

Technical considerations play an importance roll before starting any design or implementation. After the TCD document gave a valuable guideline for TG7r1 OWC proposers, this document hopefully brings helpful information to any researcher who gets interested in OCC technology and high rate OCC modes. A brief architecture has been given and issues on technical point of view were presented.

## Acknowledgment

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2013057922).

## References

[1] Li-Fi gets ready to compete with Wi-Fi. http://www.webcitation.org/6feocIZHe

[2] 802.15.7-2011 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light. Available online: http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.7-2011.html

[3] IEEE 802.15.7r1 (TG7r1) official link. http://www.ieee802.org/15/pub/IEEE%20802_15%20WPAN%2015_7%20Revision1%20Task%20Group.htm

[4] TG7r1 Technical Considerations Document. Available online: https://mentor.ieee.org/802.15/documents?n=2&is_dcn=DCN%2C%20Title%2C%20Author%20or%20Affiliation&is_group=007a

[5] IEEE 802.15. Documents TG7r1, Available online: https://mentor.ieee.org/802.15/documents?n=2&is_dcn=DCN%2C%20Title%2C%20Author%20or%20Affiliation&is_group=007a

[6] Trang Nguyen, Nam Tuan Le, and Yeong Min Jang, “Practical Design of Screen-to-Camera based Optical Camera Communication,” in 2015 International Conference on Information Networking (ICOIN), pp. 369-374, 12-14 January 2015.

# k-NN 알고리즘을 이용한 IoT 기반 온도조절 서비스 방법 제공

허영주°, 김홍진, 장주욱

서강대학교 전자공학과

# Providing IoT-based temperature control service using the k-NN algorithm

Young Ju Heo°, Hong Jin Kim, Ju Wook Jang

Department of Electronics Engineering, Sogang University

protoheo@sogang.ac.kr, chii92@sogang.ac.kr, jjang@sogang.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 IoT 센서와 제품에 머신 러닝을 적용하여 자동 온도 조절 서비스 제공 방법에 대해 제안 하였다. 서버, IoT 센서와 IoT 온도제어 제품을 이용하여 일정 기간 동안 k-NN 알고리즘을 이용하여 사용자의 온도 조절 패턴을 학습 한다. 학습기간이 끝나면 해당 조건에 맞는 온도/습도가 되면 자동으로 온도 조절 장치를 작동하게 하는 서비스 방법에 대해 제안하였다.

## 1. 서론

네스트랩스(Nest Labs)의 대표 제품인 Nest Thermostat[1]은 기계학습을 통해 사용자의 개입을 최소화하는 IoT 비즈니스 플랫폼중 하나이다. 약 일주일 동안 사용자의 사용패턴을 학습하여 온도를 자동으로 스케줄링 해주며 집집마다 다른 온도/습도/날씨를 분석하여 효율적인 지시를 내린다. 그리고 사용자의 패턴을 학습하면 할수록 동작이 정교해진다.

본 논문에서는 Nest Thermostat 에 착안하여 DB 에 저장된 데이터를 기반으로 학습하여 입력된 온도/습도 데이터에 따라 온도조절 장치 제어를 목표로 하였다.

## 2. 관련 이론

k-NN 알고리즘[2]

그림 1 과 같이 데이터들이 산발적으로 흩어져 있을 때 입력된 데이터가 어디 그룹에 속할지를 판단하는 알고리즘이다. 가장 많이 쓰는 방법은 유클리드 거리공식으로, 입력된 데이터로부터 가까운 거리에 있는 데이터가 더 영향을 주게 되는 것이다. 그림 1 에서와 같이 k 의 값이 3 이면 거리가 가장 가까운 3 개의 데이터 중에서 같은 그룹의 데이터가 많은 쪽으로 속하게 된다.

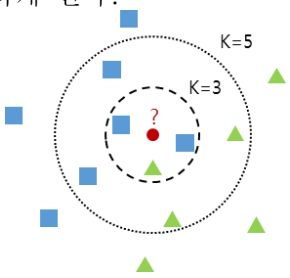



그림. 1 데이터 분포 중 k 에 따른 입력 값 결정

## 3. 본론

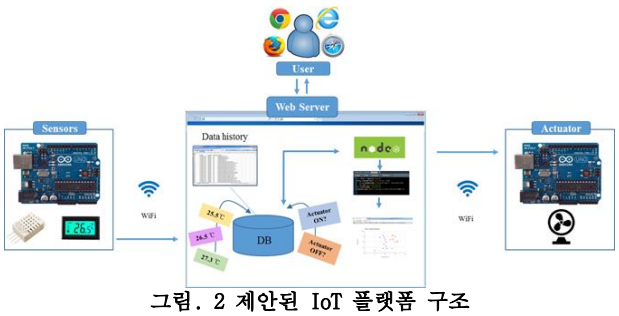



그림. 2 제안된 IoT 플랫폼 구조

본 논문에서는 서버 애플리케이션 중 하나인 Node.js[3]와 NoSQL 중 하나인 MongoDB[4]를 이용해 웹 서버와 DB 를 구축하였고 IoT 센서와 온도제어 장치는 Open Source H/W 중 하나인 Arduino 를 사용하였다. Arduino 는 온도/습도 데이터와 온도제어 장치의 상태(ON/OFF) 들을 서버 쪽으로 송신하고 서버는 이런 데이터들을 수신하여 저장 및 온도 제어 추론을 하게 구성하였다.

먼저 서버는 IoT 센서를 통해 온도/습도 정보를 입력 받게 되는데 DB 에는 크게 두 종류의 데이터가 들어있다. 사용자가 직접 IoT 제품을 제어하여 서버 DB 에 저장된 고정된(fixed)데이터와 학습기간 이후 사용자의 패턴을 학습하여 자동적으로 IoT 제품을 제어하여 서버에 저장된 학습된(learn)데이터이다. 고정된(fixed) 데이터는 학습 기간 동안 사용자가 제품의 ON/OFF 시의 온도/습도 데이터가 구분되어 저장된다. 학습기간 이후에는 이 고정된 데이터를 바탕으로 특정 조건의 온도/습도 데이터를 수신 하게 되면 IoT 온도 조절 제품의 ON/OFF 가 자동적으로 결정되고 결정된 데이터 값이 서버에 저

장된다. 이 저장된 데이터가 학습된 데이터이다. 따라서 학습기간 중 데이터의 입력수가 많아지면 서버에 저장되는 데이터가 점점 많아지게 되고 온도/습도 데이터가 새로 입력되었을 때 더 정확한 상태(ON/OFF)로 판단될 수 있다. ON/OFF 가 판단되는 과정은 다음과 같다. 온도/습도데이터가 새로 입력되면, 서버는 기존 데이터들과 새로 받은 데이터를 바탕으로 k-NN 알고리즘을 이용하여 온도 제어 장치 제어(ON/OFF)를 결정한다.

## 4. 결론

센서 Node 쪽의 결과 확인은 Arduino 의 Serial Monitor 를 통해 확인 할 수 있다. 먼저, IoT 디바이스들을 Wi-Fi 에 접속 후 온/습도를 측정 하게 되어 있으며 온도 23 도 습도 37% 임을 Serial Monitor 를 통해 확인 하였다(그림. 3).

센서 Node 에서 송신한 온도/습도 데이터를 데이터를 서버 쪽에서 수신 한 모습을 아래 그림. 4 에서 확인 할 수 있다. 또한 k-NN 알고리즘을 이용하여 온도 조절 장치 제어를 판단하는 과정도 이곳에서 하고 있다.

```
Attempting to connect to SSID: MONET
SSID: MONET
IP Address: 192.168.0.59
signal strength (RSSI):-53 dBm
temperature:23.00 humidity:37.00
Send POST DATA
```

그림. 3 Arduino Serial Monitor 통한 상태 출력

```
mongo client connected
Express server listening on port 3000
{ temp: '23.00', hum: '37.00' }
OFF
```

그림. 4 서버에서 센서 데이터 수신

서버는 센서 Node 에서 받은 온/습도 정보를 토대로 k-NN 알고리즘을 이용하여 사용자가 선풍기를 켤지 끌지를 추론한다. 그림. 5 는 임의의 온도/습도 값을 주고 온도조절 장치 제어를 서버가 결정하고 있다.

```
Express server listening on port 3000
GET /edit 200 32ms - 490b
{ temp: '32.00', hum: '50.00' }
ON
```

그림. 5 서버에서의 추론

사용자는 이를 웹 서버에서 확인 할 수 있는데 그림. 6 에서 파란 점과 빨간 점은 과거 사용자 스스로가 ON/OFF 했던 데이터들이며 노란색 점은 현재 온도/습도 정보를 토대로 서버가 OFF 명령을 내린 점이다.

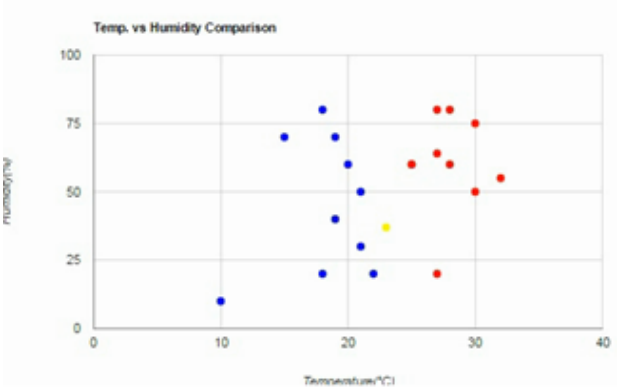



그림. 6 웹 페이지 상의 온도/습도 데이터 및 추론 결과

## ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2016-H8501-16-1017)

## 5. 참고문헌

[1] Hernandez, G., Arias, O., Buentello, D., & Jin, Y. Smart nest thermostat: A smart spy in your home. Black Hat USA. ISO 690. 2014.

[2] Larose, D. T. k-Nearest Neighbor Algorithm. Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining, 90-106. ISO 690. 2005.

[3] Tilkov, S., & Vinoski, S. Node. js: Using javascript to build high-performance network programs. IEEE Internet Computing, 14(6), 80.ISO 690. 2011.

[4] Banker, K. MongoDB in action. Manning Publications Co. ISO 690 pp.3-4. 2011

# HomePlug Green PHY 저전력 대기모드 성능 분석

윤성국°
숭실대학교 전기공학부
sgyoon@ssu.ac.kr

## 1. 서론

스마트그리드를 위한 최신의 전력선 통신인 HomePlug Green PHY 는 저전력 대기모드를 정의하고 있다 [1]. 본 논문에서는 HomePlug Green PHY 는 저전력대기모드에 대한 소개와 성능을 분석한다.

## 2. HomePlug Green PHY 저전력 대기모드

통신 기기의 전력소모를 줄이기 위해서는 송수신 시간을 제외한 시간에 통신 모듈을 수면 상태로 만들어야 한다.

HomePlug Green PHY 에서의 저전력 대기모드는 수신할 패킷이 없을 때 수신 대기와 수면 상태를 적절히 조절하는 것이다. PSP(Power save period)를 수신 대기 상태의 시간과 수면 상태의 시간으로 정의한다. 표준에 의해 PSP 는 2 의 승수만 가질 수 있다. 즉, PSP 는 $k \in [0,10]$ 일 때 $2^k$ 이다. 또한 표준에서는 PSP 를 변경할 수 없다. 즉, 한 번 저전력 대기모드에 진입한 노드는 설정한 PSP 를 저전력 대기모드가 끝날 때까지 유지해야 한다.

저전력 대기모드에 진입하기 위해서는 각 노드는 CCo(Central Coordinator)에게 고지하여야 한다. 노드는 CCo 에게 본인의 PSP 를 알리고 저전력 대기모드에 진입한다. 저전력 대기모드에 있는 노드끼리 통신하기 위하여 HomePlug Green PHY 에서는 공통으로 수신 대기 상태에 있어야 하는 곳을 지정하고 CCo 가 모든 노드의 PSP 를 비콘에 담아 방송한다. 따라서 저전력 대기모드에 있는 노드와 통신하길 원하는 노드는 먼저 CCo 의 비콘을 수신하여 상대 노드의 수신 대기 시간에 맞춰 데이터를 송신한다.

## 3. 성능분석

802.16e 의 수면 성능 분석과 유사한 방식을 통해 해석한다[2]. 수면 상태의 시간이 동일하고 PSP 를 변경할 수 없기 때문에 PSP 주기는 항상 $P = (A+S)/T_{BP}$ 이다. 여기서 A 는 수신 대기 시간, S 수면 상태 시간이고 $T_{BP}$ 는 비콘 주기의 시간이다. $\lambda$ 는 패킷 도착 주기이고 패킷은 Possion 도착 프로세스를 따른다고 가정한다. $N_{Const}$ 을 상대 노드가 그 패킷을 전송받기 위해 걸리는 PSP 주기의 수의 확률변수라 정의하면, 그 확률 변수의 확률 밀도함수를 수식적으로 구할 수 있다.

$X_{Const}$ 는 그 패킷을 기다리는데 사용한 전력의 확률변수라 가정하면, 임의의 패킷을 수신하는데 소모된 전력의 기대값을 수리적으로 구할 수 있다.

## 4. 시뮬레이션 결과

위 수리분석이 정확성을 확인하기 위하여 본 논문에서는 시뮬레이션 결과와 수리분석 결과를 비교하였다. 수리분석과 시뮬레이션에서 사용한 HomePlug Green PHY 환경 변수는 HomePlug Green PHY 표준 문서와 802.11n 의 전력 소비 자료를 사용하였다.

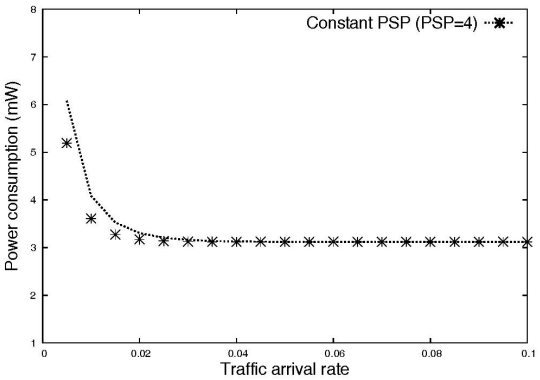



그림 1.수리분석과 시뮬레이션 결과 비교

그림 1 은 수리분석과 시뮬레이션의 결과를 비교한 것이다. 시뮬레이션과 수리 분석의 결과가 평균 오차 2.1%로 거의 비슷한 결과를 가진다.

## 5. 결론

최신의 전력선 통신 표준은 통신 기기의 에너지 사용을 줄이기 위하여 저전력 대기모드를 정희하고 있다. 본 논문에서는 스마트그리드를 위한 전력선 통신인 HomePlug Green PHY 의 저전력 대기모드에 대한 소개와 그 성능을 분석하였다.

## 6. 참고문헌

[1] HomePlug Powerline Alliance, “Homeplug Green PHY specification,” Feb. 2012. Release Version 1.1.

[2] Y. Xiao, “Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 9, no.7, pp. 595-597, Jul. 2005.

## 감사의 글

본 연구는 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2015R1C1A1A02037774).

# 차량 네트워크에서 이더넷 메시지의 IPv6 어드레싱 방법

오성민°, 나세형, 장주욱

서강대학교 전자공학과

# IPv6 Addressing method for Ethernet message in vehicle network

Sungmin Oh°, Se Hyung Ra, Ju wook Jang

Department of Electronic Engineering, Sogang University

dangkuk@sogang.ac.kr, birdtype@sogang.ac.kr, jjang@sogang.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 차량 내부의 Electronic Control Unit (ECU)에서 생성된 메시지를 이더넷 메시지로 재구성하여 이더넷 백본을 통해 전송할 때에, 상황에 적합하게 이더넷 메시지의 어드레스를 부여하는 차량 네트워크에서의 이더넷 메시지의 어드레싱 방법을 제시한다. Controller Area Network(CAN), FlexRay BUS 에 연결된 차량 ECU 가 발신하는 메시지를 유니캐스트 및 멀티캐스트 통신으로 구분하여 각각의 상황에 적합한 어드레싱 기법을 제시함으로써 효과적으로 차량 내 이더넷 백본을 이용한 다양한 응용을 가능하게 한다.

## 1. 서론

최근 들어 차량에 관련된 전자기술 및 통신기술이 급격하게 발전함에 따라 차량에 구비되는 전자 장비의 수와 종류가 크게 늘어나고 있다. 차량에 구비되는 전자 차량 제어 시스템, 에어백 시스템 등의 안전 시스템, 정보 및 멀티미디어 재생 시스템, 후방 감지 시스템, Around View Monitoring 시스템, 차선 이탈 경보 시스템, 충돌 방지 시스템 등이 있다. 이러한 전자 장비들은 효율적인 구성 및 다양한 기능들의 지원을 위해 통신 네트워크를 통해 서로 연결되며, 상기 통신 네트워크는 고대역폭 및 높은 유연성, 결정적(deterministic) 동작을 제공하는 프로토콜들을 요구하고 있다. 이를 위해 기존의 CAN, FlexRay 등의 차량 네트워크 BUS 를 이더넷 백본에 연결하여 가격대비 대역폭이 큰 이더넷의 장점을 활용하는 연구가 활발하다. 하지만 기존의 연구는 주로 IPv4 를 사용하거나[1] 단순 테이블 매핑 기법에 그쳐[2] 메시지 헤더에 담을 수 있는 정보가 한정적이었다. 또한 기존 어드레싱 방법을 그대로 사용할 경우 전체 BUS 중 일부만을 선택적으로 메시지를 전송하기는 어려워 차량내 효율적인 구성 및 다양한 기능의 실현에 한계가 있었다.

또한 차량내 전자장비에서 생성된 메시지를 그대로 이더넷 프레임의 데이터 필드에 인캡슐레이션(encapsulation)할 경우에는 이더넷 헤더 다음의 데이터 필드에 다시 메시지 ID 가 오게 되므로, 대역폭 낭비 및 변환 속도 저하가 발생하는 문제가 있었다. 본 논문에서는 상기의 문제를 해결하기 위한 새로운 어드레싱 방법을 제시한다.

## 2. 통신 방법

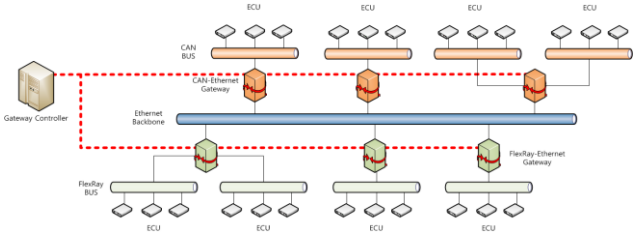



그림 1. 차량 내부 네트워크 구조도

위의 [그림 1]은 이더넷 백본에 연결된 차량 네트워크의 형태를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 차량 내부 통신 방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 우선 차량 내부의 어느 한 전자장비에서 메시지를 생성되면 이를 자신이 속한 BUS 에 브로드캐스팅 전송한다. 해당 BUS 에 연결된 전자장비들은 그 메시지를 전송받아 처리한다.

그리고 게이트웨이는 메시지가 수신되면, 그 메시지가 다른 BUS 에 연결된 전자장비로의 메시지인지를 체크한다. 메시지의 목적지가 자신이 속한 BUS 내부에 있다면 게이트웨이는 해당 메시지를 무시한다. 이와 달리 상기 메시지가 다른 통신 방식의 전자장비로 전송되는 메시지이면, 메시지를 이더넷 메시지로 재구성하여 이더넷 백본을 거쳐 해당 목적지 BUS 의 게이트웨이로 전송한다. 여기서 본 연구에서 제안하는 방법에 따라 이더넷 메시지의 재구성을 위한 어드레싱이 이루어진다.

인캡슐레이션된 이더넷 메시지를 수신받은 게이트웨이는 그 이더넷 메시지를 원래 메시지로 복원하여 목적지 BUS 를 통해 전자장비들로 전송한다.

## 3. 어드레싱 방법

(1) 소스 어드레스(Source Address)

그림 2. 소스 어드레스 규칙

[그림 2]는 소스 어드레스(Source Address)를 정하는 규칙을 나타낸다. 전체 어드레스는 크게 4 개의 필드(field)로 구성된다.
각 필드는 다음의 규칙에 의해 작성된다.
첫 번째 8bit 는 표준 MAC 어드레스 규칙상, 주소의 Globally Unique/Locally Administrated 여부 및 유니캐스트/멀티캐스트 여부를 표시한다[3]. 일반적으로 차량 내부에서는 항상 Locally Administrated 된 주소를 사용한다고 가정할 수 있으며, 소스 어드레스의 경우에는 유니캐스트/멀티캐스트 여부에 상관없이 유니캐스트로 지정한다.
두번째 필드는 해당 전자 장비의 ECU 혹은 메시지가 어느 네트워크의 것인가를 나타내는 네트워크 타입 필드이다. 예를 들어, 0000 일 경우 CAN 을, 0001 일 경우 FlexRay 를 나타내는 것으로 정의할 수 있다.
세 번째 필드는 네트워크 ID 필드이다. 각각의 BUS 는 Gateway/Bus Controller 에 의해 고유한 7bit 의 Network ID 가 부여되어 있다. Source Address 의 경우 보내는 쪽의 Network ID 를 이 field 에 표시한다.
마지막 네번째 필드는 메시지 ID 필드로 전자 장비의 ECU 에서 발생한 메시지의 Message ID 를 그대로 기록한다. 이때 최대 29bit 가 필요하기 때문에(CAN 2.0 의 확장 Message ID 의 경우), 상기 메시지 ID 필드에는 29bit 가 할당된다.

(2) 유니캐스트 데스티네이션 어드레스 (Unicast Destination Address)

그림 3. 유니캐스트 데스티네이션 어드레스 규칙

[그림 3]은 메시지가 유니캐스트로 전송될 때의 데스티네이션 MAC 어드레스를 정하는 규칙을 나타낸다. 이는 도 4 에 도시한 바와 같이 유니캐스트 indicate 를 위해 8bit, 네트워크 타입을 위해 4bit 을 할당하며, 메시지를 받아야 할 전자장비의 ECU 가 속한 네트워크 ID 7bit 를 할당한다. 그리고 나머지 29bit 는 전부 0 으로 처리한다. 이와 같이 소스 어드레스와 데스티네이션 어드레스를 작성한 후, 이더넷 프레임의 메시지 필드에 최초 전자장비의 ECU 가 보낸 메시지 내용을 삽입함으로서 이더넷 메시지의 조합을 완료한다.

(3) 멀티캐스트 데스티네이션 어드레스(Multicast Destination Address)

그림 4. 멀티캐스트 데스티네이션 어드레스 규칙

[그림 4]는 메시지가 멀티캐스트로 전송될 때의 데스티네이션 MAC 어드레스를 정하는 규칙을 의미한다. 상기 멀티캐스트 indicate 를 위해 8bit, 네트워크 타입을 위해 4bit 을 할당하며, 나머지 36bit 는 메시지를 수신할 BUS 들의 그룹을 표시한다. 이 그룹은 게이트웨이/BUS 컨트롤러에 의해 미리 정의되어 있다. 여기서, 7bit 를 할당해 네트워크 ID 를 부여하므로, 이론상 최대 128 개의 BUS 가 존재할 수 있으며, $2^{128}$-129 개의 그룹 조합이 가능하다. 또한 한 그룹에 하나의 BUS 포함되거나, 하나도 포함되지 않는 경우가 총 129 가지이므로 이를 제외한다. 이와 같이 본 발명은 36bit 를 이용해 최대 $2^{36}$ 개의 조합을 나타낼 수 있으므로 모든 조합을 표현하는 것은 불가능하지만, 차량내 네트워크임을 고려하면 $2^{36}$ 개 역시 충분히 많은 수라고 할 수 있다. $2^{36}$ 개의 표현 범위를 넘어선 그룹 지정이 필요할 경우, 브로드캐스트를 해서 모든 BUS 가 메시지를 받을 수 있게 한다.

## 4. 결론

본 연구에서는 이더넷 백본을 활용하는 자동차 네트워크에서의 효율적 어드레싱 방법을 제시하였다. 메시지의 목적지 위치 및 유니캐스트/멀티캐스트 여부에 따라 어드레싱을 구분함으로써 다양한 차량 전자장비에 대응할 수 있도록 하였다. 또한 메시지 ID 이더넷 데이터 필드가 아닌 이더넷 헤더에 포함시킴으로써 대역폭 및 변환속도에서의 이득을 기대할 수 있다.
향후에는 최근의 Connected Car 연구 동향에 맞추어 차량 외부 통신망과의 연결 상황까지 확장된 어드레싱 기법에 대해 연구할 것이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A2011856)

## 참고 문헌

[1] Selvatici et al., "Advanced gateway services for real-time in-vehicle ethernet network." Industrial Technology (ICIT), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015.
[2] 김인수, 배재성, “차량 네트워크를 위한 CAN-이더넷 주소변환 메커니즘의 설계”, 한국자동차공학회 학술대회 및 전시회, pp. 801-802, 2014 년 11 월.
[3] IEEE Standards Association, “Standard Group MAC Addresses - A Tutorial Guide”, 2015.

# A Review of Image Sensor Communications Recent Activities in IEEE 802.15.7r1 Task Group (TG7r1)

Trang Nguyen, Nam Tuan Le, Mohammad Arif Hossain, Hong Chang Hyun, Amirul Islam, and Yeong Min Jang*
*Chairman of IEEE 802.15.7r1 Task Group
Kookmin University, Seoul, Korea
*yjang@kookmin.ac.kr

## Abstract

This paper provides an overview of the IEEE 802.15.7 revesion-1 Task Group (TG7r1) that targets Optical Wireless Communication, mainly on Image Sensor Communication, which is a subsection of the TG7r1. The introduction on recent meeting activities on the Task Group and a brief viewing on research discussions and contents those come from all interested proposers are given.

## 1. Introduction

Approved in December 2014, the Task Group has been formed by IEEE 802.15 in order to write a revision to IEEE 802.15.7-2011 (shorten name TG7r1) as that accommodates infrared and near ultraviolet wavelengths, in addition to visible light, and adds options such as:

- **Optical Camera Communications** which enables scalable data rate, positioning/localization, and message broadcasting, etc. using devices such as the flash, display and image sensor as the transmitting and receiving devices.
- **LED-ID** which is wireless light ID (Identification) system using various LEDs.
- **LiFi** which is high-speed, bidirectional, networked and mobile wireless communications using light.

The official link providing the definitions, current status, schedule, and contact information can be found at [1]. Noticeably, the TG7r1 has been calling for proposals from near the end of 2015 till now February 2016, and scheduling to finalize a first draft of the standard for letter balloting near the end of 2016 and finalization of the standard near the end of 2017. The latest updated milestones and schedule can be found at [2].

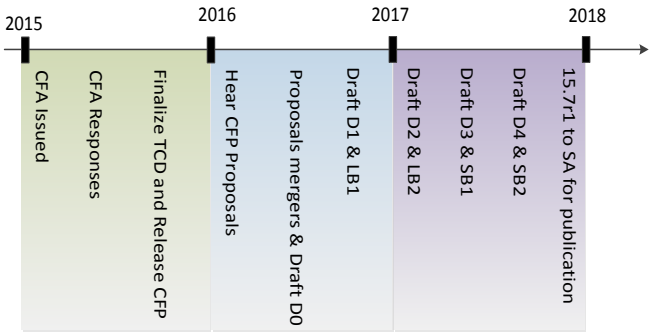



**Figure 1: IEEE 802.15.7r1 OWC Timeline Summary**

[1] Other names for Image Sensor Communications, High Rate PD Communications, and Low Rate PD Communications are Optical Camera Communications (OCC), LiFi, and LED-ID respectively.

Until January 2016 meetings, the TG7r1 has been attracting plenty of related companies and universities researchers from all around the world such as Panasonics (Japan), Intel (USA), China Telecom (China), pureLiFi (USA), Ozyegin Universiy (Turkey), Seoul National University of Science & Technology - SNUST (Korea), California State University Sacramento (USA), Fraunhofer Heinrich Hertz Institute (Germany), Kookmin Universiy (Korea), Istanbul Medipol University (Turkey), National Taiwan University (Taiwan), Fudan University (China), Huawei Technologies (China), LG Electronics (Korea), and so on. Since numerous contributors and proposers are getting interested in, the proposals merging process and the creation process of the first draft of the TG7r1 standards document were agreed. Please refer to the January meeting minutes [4] for more detail.

## 2. Research Content

### A. A brief Summary of OWC

After the final version of Technical Consideration Document available at [3] had been approved by the TG7r1 committee on November 2015, three subsections had been formed in order to call for proposals submission, including Image Sensor Communications, High Rate PD Communications, and Low Rate PD Communications. Most recently, the first meeting call-for-proposals on January 2016 has been witnessed the number of submission and discussion. Let us review the proposals submitted at this time. For detailed understanding of proposed technologies, we recommend the reader to refer to submitted presentations those are online available at [5].

On the first call-for-proposal meeting on January, there were PHY and MAC Image Sensor Communication proposal presentations successfully from Intel, National Taiwan University, Panasonic, Kookmin University, SNUST, and California State University Sacramento. Meanwhile, on the LiFi subsection, proposals were

contributed and presented at the meeting by pureLiFi, Ozegin University, Huawei, Fudan University, HHI, Texas A&M University, Boston University and Albany University. The remaining proposals will be continued presented on the next meeting. Last but not least, Low Rate PD Communications is considered in specific applications and use cases as concluded in [3], however, getting less attraction compared to Image Sensor Communications and High Rate PD Communications. This is because the High Rate PD Communications already describes fully the mechanisms of PD communications. One of the remaining works for this subsection could be low-overhead transfer modes feasible for a specific scenario and service to be proposed on the next meeting.

### B. A Review of ISC

The ISC technologies are of interest to be discussed on this paper. Evidently, the popularity of rolling shutter cameras is outstanding compared to global shutter cameras. Therefore, taking the consideration, submitted proposals all support at least a PHY mode for rolling shutter receiver. Related proposed rolling shutter modulation schemes include OOK (Kookmin), PWM (Panasonic), Multiple-FSK (NTU and Kookmin), and Offset-VPPM (SNUST). Meanwhile, a hybrid modulation scheme for either global shutter camera or rolling shutter camera or both is proposed by Intel and Kookmin on different way. Specifically, to target high performance on global shutter camera receivers, there are VPPM modulation scheme proposed by Intel and dimmable Spatial-PSK modulation scheme proposed by Kookmin. Last but not least, a high data rate MIMO-OCC PHY mode (up to Mbps) would be continuing updated and merged by concerned proposers.

To summarize, the basic review of presented documents is only to give an overview on the activity of the TG recently. Any refer to original documents would be appreciate.

## 3. Conclusion and Discussion

Until now, March meeting will be final for proposals submission therefore any interested company or university are welcome to submit their proposals on time. Later, the merging process of submitted proposals is of interest. According to [4], the merging proposals should avoid having multiple ways that do the same thing. Specifically, merged proposals should have value-added for various situations. Fortunately, all the proposers are giving best effort to find the best way in merging contents of different PHY/ MAC modes in every single subsection to be ready in March discussion.

Finally, for the creation of the First Draft of the IE EE 802.15.7r1 standards document, the below process was proposed and voted.

i. Committee drafts the Table of Content
ii. Committee votes on any modifications to the Table of Content
iii. Merge all the technical contents and then present the merged documents
iv. Committee votes on the content
v. A sub-editor is assigned to that technical section that will generate the text
vi. A first draft is integrated

Any interest and question please visit the official link in [1].

## Acknowledgment

This work was supported by the Technological Innovation R&D Program (S2175838) funded by the Small and Medium Business Administration (SMBA, Korea).

## References

[1] IEEE 802.15.7r1 official link. http://www.ieee802.org/15/pub/IEEE%20802_15%20WPAN%2015_7%20Revision1%20Task%20Group.htm
[2] TG7r1 Milestones and Schedule. https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0274-03-007a-suggested-15-7r1-milestones-and-schedule.pptx
[3] TG7r1 Technical Consideration Document. https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0492-05-007a-technical-considerations-document.docx
[4] TG7r1 January Meeting Minutes. https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/16/15-16-0133-00-007a-january-2016-minutes.docx
[5] https://mentor.ieee.org/802.15/documents?is_dcn=minu&is_group=007a

# 차세대 IoT 네트워크 인프라를 위한 기계학습 기반 실시간 트래픽 분류

김현수°, 정문용, 장주욱

서강대학교 전자공학과

# ML-based Real Time Traffic Classification for Future IoT Network Infrastructure

Hyun-soo Kim°, Moon Yong Jung, Ju Wook Jang

Department of Electronic Engineering, Sogang University

vbiqve@sogang.ac.kr, myjung@sogang.ac.kr jjang@sogang.ac.kr

## 요 약

급증하는 트래픽 문제를 해결하기 위한 방안으로서 소프트웨어 정의 네트워크가 주목을 받고 있다. 본 논문은 소프트웨어 정의 네트워크 기반 라우터로 들어오는 임의의 플로우로부터 수집된 네트워크 트래픽을 기계학습 알고리즘 기반 분류기로 분류하는 방법을 제안한다. 또한 분류함에 있어 실시간성 제공과 다양한 서비스 및 애플리케이션 분류를 시도하여 기존 관련 연구 대비 높은 실효성을 갖는다.

## 1. 서론

Cisco[1]에 의하면 향후 5 년 간 IP 트래픽이 3 배 가까이 증가할 것이다. 이러한 트래픽 급증은 기존 네트워크의 품질 저하 등의 문제를 발생시킨다.

최근 들어 단순 설비 투자를 늘리는 것의 대안으로 소프트웨어 정의 네트워크(SDN: Software Defined Network)를 활용한 트래픽 엔지니어링을 통하여 트래픽 급증 문제를 해결하려는 연구가 다방면에서 진행되고 있다[2][3].

본 논문에서는 [그림 1]과 같이 소프트웨어 정의 네트워크 기반 라우터에 들어오는 임의의 플로우가 어떤 서비스 및 애플리케이션인지 분류한 다음 해당 서비스 및 애플리케이션이 필요로 하는 QoS 에 맞도록 트래픽 엔지니어링을 수행하는 차세대 네트워크 인프라를 지향하며, 그 가운데 임의의 플로우로부터 수집된 네트워크 트래픽을 기계학습 기법으로 분류하는 방법을 제안한다. 또한 분류함에 있어 실시간성 제공과 다양한 서비스 및 애플리케이션 분류를 시도하여 기존 관련 연구 대비 보다 실효성을 높이는 것을 목표로 한다.

논문의 구성은 2 장에서 본 논문에서 분류하고자 하는 트래픽을 정의하고, 데이터셋을 생성한 다음 기계학습 알고리즘 기반 분류기를 학습시킨 후 성능평가 및 분석을 실시한다. 그리고 3 장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 본론

본 논문에서는 총 5 개의 트래픽 종류를 정의한다.

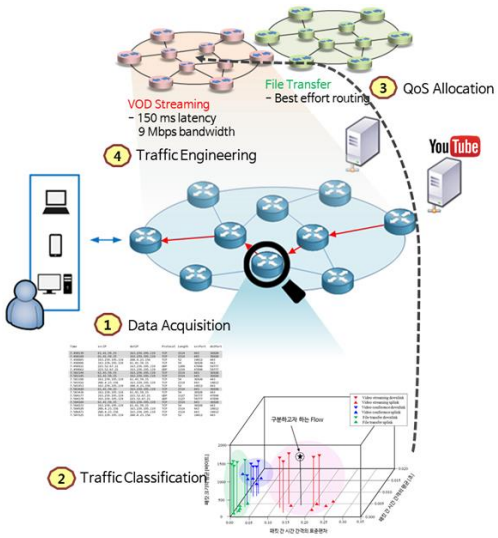



그림 1. 본 논문이 지향하는 차세대 네트워크 인프라

(1) Live Streaming: 실시간으로 보내지는 영상 스트림으로 서버→클라이언트의 형태로 데이터가 전송된다.

(2) VOD Streaming: 서버에 저장되어 있는 영상 스트림으로 서버→클라이언트의 형태로 데이터가 전송된다.

(3) File Transfer: 서버나 클라이언트에 저장되어 있는 데이터 파일을 서버→클라이언트의 형태로 전송한다.

(4) VoIP: 두 클라이언트 사이의 음성대화로 양방향성의 형태를 갖는다.

(5) Video Conference: 두 클라이언트 사이의 영상회의로 양방향성의 형태를 갖는다

- Data Acquisition and Preprocessing

기존 네트워크 트래픽 데이터셋으로는 WIDE, CAIDA 등이 존재한다. 하지만 상기 두 데이터셋들은 포트 번호를 중심으로 HTTP, HTTPS, FTP, P2P 등으로 분류하였다. 따라서 본 논문에서 오픈소스 패킷 분석 툴인 Wireshark 를 사용하여 네트워크 트래픽 데이터를 수집하였다. 수집된 CSV 형태의 데이터는 데이터 분석 소프트웨어인 R 을 사용하여 앞서 정의한 5 개의 트래픽 종류 가운데 해당되는 종류로 분류한다.

- Data Sampling

실시간 트래픽 분류를 위해 각 서비스 및 애플리케이션 플로우 별로 연속된 $k$ 개의 패킷을 샘플링하여 평균 패킷 길이(MPL: Mean Packet Length), 패킷 길이의 표준편차(SDPL: Standard Deviation of Packet Length), 평균 패킷 간 시간 간격(MIAT: Mean Interp-packet Arrival Time), 패킷 간 시간 간격의 표준편차(SDIAT: Standard Deviation of Interpacket Arrival Time) 총 네 개의 feature 들로 이루어진 데이터셋을 [그림 2]와 같이 생성한다. 예를 들어 한 플로우의 트래픽이 총 100 개의 패킷으로 구성되어 있을 경우, 연속된 25 개($k$)의 패킷으로 구성된 서로 다른 집합을 20 개 생성하여 앞서 정의한 feature 의 값들을 구함으로써 우리는 20 개로 구성된 데이터셋을 얻게 된다. 이처럼 5 개 종류의 트래픽 모두에 대하여 다양한 데이터셋을 생성한 다음, 80:20 의 비율로 훈련 집합과 검증 집합으로 나누어 훈련 집합으로는 기계학습 기반 분류기를 학습 시키고, 검증 집합으로는 분류기의 정확도를 측정하는데 사용한다.

| Time | SRC | DST | Length | class |
|---|---|---|---|---|
| 6.188589 | 163.239. .111:7053 | 203. .92.145:443 | 1478 | 1 |
| 6.198529 | 203. .92.145:443 | 163.239. .111:7053 | 1514 | 1 |
| 6.198530 | 203. .92.145:443 | 163.239. .111:7053 | 1514 | 1 |
| 6.198562 | 163.239. .111:7053 | 203. .92.145:443 | 54 | 1 |
| 6.199324 | 203. .92.145:443 | 163.239. .111:7053 | 1514 | 1 |
| 6.199325 | 203. .92.145:443 | 163.239. .111:7053 | 1514 | 1 |

| | MPL | SDPL | MIAT | SDIAT | class |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1439.4 | 284.3337 | 0.001666 | 0.005317 | live_down |
| 2 | 1415.88 | 288.2005 | 0.007033 | 0.019821 | live_down |
| 3 | 1405.04 | 308.3534 | 0.003471 | 0.010658 | live_down |
| 4 | 1409.72 | 297.6118 | 0.003244 | 0.008748 | live_down |
| 5 | 1490.28 | 83.87467 | 0.00258 | 0.006802 | live_down |

그림 2. 수집된 데이터를 샘플링 하여 데이터셋 생성

- 성능평가 및 분석

훈련 집합을 사용하여 C4.5 Decision Tree 알고리즘, Naïve Bayesian 알고리즘, k-NN 알고리즘 기반 분류기를 학습시킨 후, 검증 집합으로 분류 정확도를 측정하였다. C4.5 Decision Tree 로 학습시킨 분류기의 경우 평균 분류 정확도가 0.9560 이었으며, Naïve Bayesian 으로 학습시킨 분류기의 평균 분류 정확도는 0.9125, 마지막으로 k-NN 기반 분류기는 평균 분류 정확도가 0.9641(for k = 5)이었다. 관련 연구[4][5] 대비 유사한 정확도를 보이면서 동시에 더 많은 서비스 및 애플리케이션을 분류함을 알 수 있다.

| 항목/기관 | 본 논문 | Calgary Univ. [4] | Swinburne Univ. [5] |
|---|---|---|---|
| 정확도 | 91~96% | 80~95% | 87~99% |
| 실시간 분석여부 | 가능 | 불가능 | 가능 |
| 분류대상 | Live Streaming, VOD Streaming, File Transfer, VoIP, Video Conference | Web, Email, P2P, DB, others | Online game, VoIP, others |
| 사용 알고리즘 | C4.5, k-NN, Naïve Bayesian | k-Means | C4.5, Naïve Bayesian |

표 1. 관련 기존 연구 비교표

## 3. 결론

본 논문은 급증하는 트래픽을 소프트웨어 정의 네트워킹으로 해결하기 위하여 임의의 플로우로부터 수집된 네트워크 트래픽을 기계학습 기법으로 분류하는 것을 제안하였다. 또한 분류함에 있어 실시간성 제공과 다양한 서비스 및 애플리케이션 분류를 시도하여 기존 관련 연구 대비 보다 실효성을 높일 수 있었다.

향후 추가적인 feature 들을 제안하여 분류기의 정확도 향상을 목표로 하고, 사물인터넷 디바이스들에 의해 대량으로 발생될 새로운 종류의 트래픽 특성을 분석하여 차세대 네트워크 환경에 적합한 분류기를 연구할 예정이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (NRF-2013R1A1A2011856)

## 참 고 문 헌

[1] “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014-2019 White Paper.” 2015 [Online] Available at: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_ paper_c11-481360.html

[2] Ongaro, Francesco, et al. "Enhancing the quality level support for real-time multimedia applications in software-defined networks." Computing, Networking and Communications (ICNC), 2015 International Conference on. IEEE, 2015.

[3] Agarwal, Sankalp, Murali Kodialam, and T. V. Lakshman. "Traffic engineering in software defined networks." INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE. IEEE, 2013.

[4] Erman, Jeffrey, et al. "Identifying and discriminating between web and peer-to-peer traffic in the network core." Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. ACM, 2007.

[5] Nguyen, Thuy TT, et al. "Timely and continuous machine-learning-based classification for interactive IP traffic." IEEE/ACM Transactions on Networking (TON) 20.6 (2012): 1880-1894.

# 효과적인 협대역 교란 신호 제거에 관한 연구

이인석[1]° , 오성준[1], 한진희[2]
[1]고려대학교, [2] (주)텔에이스
insukee@korea.ac.kr, seongjun@korea.ac.kr, hjh@telace.co.kr

## 1. 서론

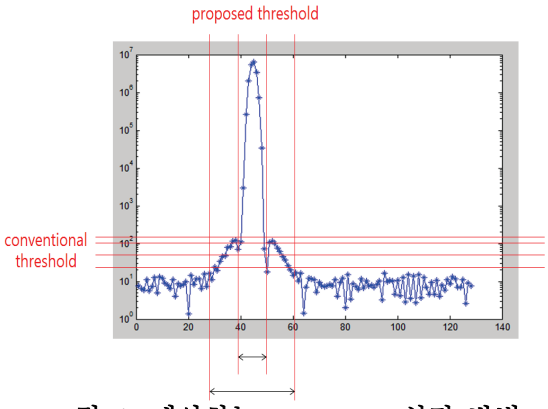
현재 널리 이용되는 내비게이션과 같은 항법 장치의 대부분은 GPS(Global Positioning System)를 이용한다. GPS 는 본래 미국에서 군사 목적으로 개발한 위성을 이용한 위치 측정 시스템이지만 현재 민간용으로도 널리 쓰이고 있다. 하지만 위성으로부터 지면에 도달하는 신호는 매우 약해서 교란 신호에 약하다는 단점이 있다[1]. 본 논문에서는 수신된 GPS 신호에서 교란 신호가 존재할 경우, 효과적으로 교란 신호를 제거하는 방법에 관하여 연구하고자 한다.

## 2. 본론

본 논문에서는 수신된 GPS 신호에 협대역의 교란 신호가 존재한다고 가정한다. 협대역의 교란 신호의 경우, GPS 칩 내부에서 교란 신호 제거 블록을 구성하여 제거할 수 있다. 이 때, 교란신호를 적절히 제거하기 위한 Threshold 설정이 성능을 크게 좌우하게 될 것이므로, 기존의 방법보다 효과적인 교란 신호 제거 알고리즘을 제안하고자 한다. 먼저, 교란 신호 성분의 제거 방법은 FFT 를 이용한다. 수신된 GPS 신호를 FFT 를 통하여 주파수 성분들로 표현할 수 있다. 식(1)에서 수신 신호를 FFT 하는 수식을 보이고 있으며 N 은 FFT 포인트 수이고 x(n)은 수신된 시간축의 신호, X[k]는 변환된 주파수축의 신호이다[2].

$$X[k]=\sum_{n=0}^{N-1}x(n)\,\mathrm{e}^{-2j\pi kn/N} \qquad k=0,1,\ldots,N-1 \quad (1)$$

FFT 를 거친 X[k] 성분들 중에서 파워가 비정상적으로 높은 성분들이 교란 신호가 더해진 성분으로 볼 수 있다. 따라서 일정한 기준 이상의 파워를 가지는 성분은 0 으로 만들어 제거한 후, IFFT 를 거쳐 원 신호로 복원한다. 하지만 성분을 제거하는 과정에서 원 신호도 같이 제거하게 되므로 이로 인한 성능 저하는 감수하여야 하며, 주파수 성분을 제거하는 기준이 되는 Threshold 를 적절히 정하는 것이 성능을 좌우하는 데에 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 기존의 방법들로는 N-sigma, K-median 등의 방법이 있다. N-sigma 는 FFT 를 거친 주파수 성분들의 표준편차와 평균을 구해 평균과 표준편차에 N 배를 한 값의 합을 기준으로 하는 방법이다. K-median 은 주파수 성분들의 중간 값을 구해 그 값에 K 배를 취하여 기준을 정하는 방법이다. N-sigma 는 통계적인 값을 찾아야 하기 때문에 복잡도가 높고, K-median 은 복잡도는 낮으나 상수 K 에 의해 성능이 크게 좌우되는 단점이 있다.




**[그림 1] 제안하는 Threshold 설정 방법**

본 논문에서는 새로운 Threshold 를 정하는 방법을 제안한다. [그림 1]에서 보이는 바와 같이 기존의 방법들은 파워의 크기에 제한을 두어, 일정 파워를 넘어가는 성분을 모두 제거하는 방식이었다. 제안하는 방법은 가장 큰 파워를 가진 성분을 찾은 후 그것을 중심으로 좌우로 대칭되도록 일정한 개수의 주파수 성분을 제거하는 방식이다. 이는 가장 높은 파워의 성분만 검출하면 되기 때문에, 구현이 간단하고 안정적인 성능을 보일 수 있을 것으로 기대된다.

## 3.결론

본 논문에서는 협대역의 교란 신호가 존재할 때, 효과적으로 교란 신호를 판별하고 제거하는 새로운 방법을 제안하였다. 교란 신호를 제거할 시에 원 신호의 손실을 최소화하는 것이 성능을 판별하는 열쇠가 될 것이다. 기존의 몇 가지 방법에 비해 구현이 간단하고, 기준이 확실하여 최적의 성능을 보이는데 용이한 장점이 있다. 하지만 실제로 교란 신호를 제거하는 칩을 구성할 때에는 Threshold 설정 이외에도 성능에 영향을 미치는 많은 요소들이 존재하기 때문에 다른 요인을 고려한 효과적인 교란 신호 제거 방법에는 좀 더 연구가 필요해 보인다.

## 4. 참고문헌

[1] GPS Jamming and the Impact on Maritime Navigation JOURNAL OF NAVIGATION; APR, 2009, 62 2, p173-p187, 15p.
[2] What is the fast Fourier transform? IEEE Transactions on Audio & Electroacoustics; 1967, Vol. 15 Issue 2, p45-55, 11p

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2014 년도 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명: 고감도 다중위성 통합항법 칩 및 항법장치개발, 과제번호: 14-PD-AS-01)

# On Latency of Windowed Decoder with Two Different Decoding Termination Methods

Inayat Ali°, Hyunjae Lee, Sang-Hyo Kim†

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

†iamshkim@skku.edu

## ABSTRACT

In this paper, we analyze the latency of windowed decoder for decoding spatially coupled (SC) LDPC codes with two different methods for terminating the decoding process. We show that the latency of windowed decoder can be reduced by ending the decoding process when the horizontal step of window reaches the last block of check nodes and finishes the window decoding step. We also show that the performance remains almost same for both methods.

## 1. Introduction

Terminated LDPC Convolutional Codes (LDPCCC) or Spatially Coupled (SC) LDPC Codes universally achieve capacity under iterative belief-propagation (BP) decoder [2]. These codes were first introduced in [1] as unterminated LDPCCC, Lentmaier et al. [3] observed improved BP thresholds when these codes are terminated. It turned out that the BP threshold of these codes reach the maximum a-posteriori (MAP) threshold of same degree LDPC codes, and termed as 'Threshold Saturation' phenomenon in [4], where it was also analytically proven for BEC. In [2], the proof was extended for BMS channels.

Due to termination, SC LDPC codes suffer rate-loss, that can arbitrarily be reduced by taking a sufficiently large coupling length $L$. Decoding this large length code with BP decoder requires a large latency and buffer requirement for storing each received bit. *Windowed Decoder* (WD) was proposed as a solution to reducing latency, and the tradeoff with decoding performance was analyzed in [5]. The step like structure of SC LDPC codes makes it expedient to be decoded in constrained window, since the variable nodes are only connected with the neighbors through the conjoint check nodes, constrained by convolutional structure. The BP decoder is operated with messages only passed between the nodes inside the window's dimensions. It is obvious that by constraining the message passing decoder to a portion of graph reduces the decoding performance, but for a code with large coupling length $L$, the performance is traded off with latency. The size of the window $W$ can be increased to improve the performance, but at the cost of latency. Nevertheless, for applications where good decoding performance is required with nominal latency, $W$ can be adjusted effectively. Since latency is a prime parameter of concern for large coupling length $L$ SC LDPC codes, therefore in this paper, we analyze the latency of windowed decoder with different decoding termination methods.

## 2. Spatial Coupling of Protographs

We follow the method given in [5] for construction of SC LDPC codes from protograph. The base matrix of a protograph is defined as a matrix exhibiting edge connectivity between variable and check nodes. In order to make a specific length LDPC code, the protograph is copied multiple times and then the edges are permuted with distinct permutation order. For spatial coupling of protographs, $L$ copies of protograph are chosen and edge spreading technique is applied to all individual protographs. The spread protographs are then coupled in such a way that the degree profile of every protograph is equal to the original protograph (without edge spreading) as shown in Figure 1. We can notice that the degree profile at both boundaries are different then the degree profile in the middle of the graph. Due to this low code rate at the boundaries, the good information propagates from boundaries to the middle of the graph in a wave-like manner [4]. The base matrix $B_{[L]}$ of SC LDPC code is shown by (1), Individual protographs are coupled with coupling width $w$ and length $L$. It can be noted that the component matrices $B_i$ (where, $0 \le i \le w$) at the boundaries are fewer than in the middle of matrix $B_{[L]}$.

$$B_{[L]} = \begin{bmatrix} B_0(1) & & & \\ B_1(1) & B_0(2) & & \\ \vdots & B_1(2) & \ddots & \\ B_w(1) & \vdots & \ddots & B_0(L) \\ & B_w(2) & \ddots & B_1(L) \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & B_w(L) \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 3. Windowed Decoding and Termination Methods

The band diagonal structure of SC LDPC codes with step like configuration of check nodes makes it viable to be BP decoded within a window [5]. The window slides down the graph when the decoding condition gets satisfied, and output the target symbols (target symbol can be viewed as a single protograph position in the SC LDPC chain) as decoded. In this paper, we analyzed the windowed decoder in terms of two decoding termination methods when the window reaches the tail of the graph. The first method is the same as

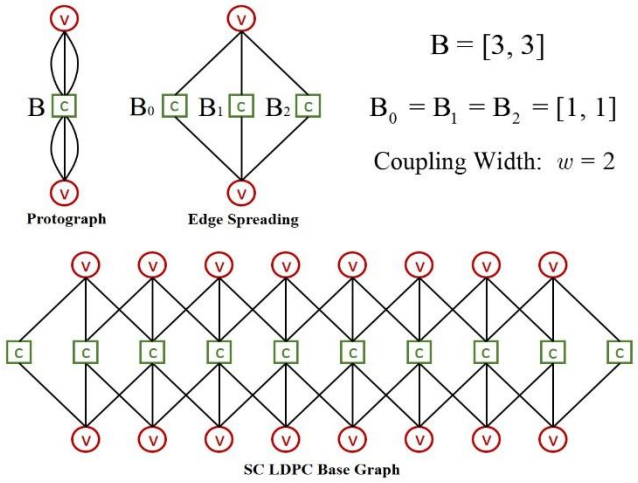



Figure 1. SC LDPC base graph made from coupling $L$=8 protographs from edge spreading of individual protograph.

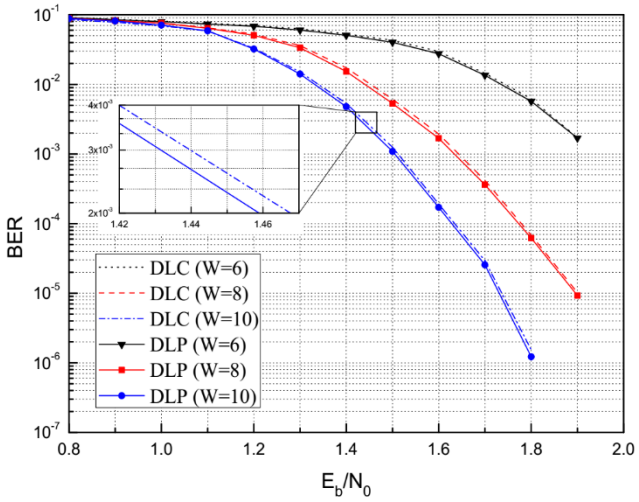



Figure 2. BER performances of DLC and DLP.

discussed in [5]. In this method, the window decoder slides and decode for all target symbols, until it reaches the last target symbol. At the right extremity of the graph, we assume that window size $W$ is bounded by the boundaries of the parity check matrix (PCM), this is due to sliding of window beyond the boundary of PCM. We call this termination method as DLP (Decode till Last Protograph). Whereas, in the second method, we terminate the decoding when the last check node gets involved in the window and decoding step at that position has finished. We call the second method as DLC (Decode till Last Check node). The latency of DLP is given by the fraction $l = W/L$ in contrast to decoding latency of the entire frame, however the latency of DLC reduces to fraction $l = W/(L–W+w+1)$, respectively. We can note that, as the window size $W$ increases the latency of DLC improves proportionally. It is noticeable that at last decoding position of the window in DLC, there is no particular target symbol, rather we decode all the symbols in one shot.

## 4. Simulation Results and Conclusion

We considered AWGN channel for simulation of WD, where random noise was added to each bit at the receiver. We employed graph lifting method for constructing code using the base-matrix $B_{[L]}$, which is made from base-protograph B = [3,3] as shown in Figure 1. The progressive edge growth (PEG) algorithm is used for making quasi cyclic (QC) SC LDPC code by confining the permutation of edges in a M×M circulant matrix. We fixed $L$ = 16 and M = 1024, to get a code with block length N = 16384. The coupling width $w$ of this code is 2 (since protographs are at most connected to two neighboring protographs). The maximum number of iterations at each window position and maximum frame error count was fixed at 200 and 50, respectively. It was observed from simulation results that the FERs for different window sizes $W$, are exactly the same for both decoding termination cases, whereas the BER has very small difference (approximately 0.01dB) as shown in Figure 2. This gap in the performance is very small and is due to the fact that DLP employs a higher number of computations than DLC. We conclude that DLC has lesser latency and complexity than DLP with comparable performance.

## 5. Acknowledgement

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2015R1D1A1A01058975).

## 6. References

[1] A. J. Felström and K. S. Zigangirov, “Time-varying periodic convolutional codes with low-density parity-check matrix,” *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 45, no. 6, pp. 2181-2191, 1999.

[2] S. Kudekar *et al.*, “Spatially coupled ensembles universally achieve capacity under belief propagation.” *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 59, no. 12, pp. 7761-7813, 2013.

[3] M. Lentmaier *et al.*, “Iterative decoding threshold analysis for LDPC convolutional codes.”, *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 56, no. 10, pp. 5274 – 5289, 2010

[4] S. Kudekar *et al.*, “Threshold saturation via spatial coupling: Why convolutional LDPC ensembles perform so well over the BEC.” *IEEE Trans. Info Theory*, vol. 57, no. 2, pp. 803-834, 2011.

[5] A. R. Iyengar *et al.*, “Windowed decoding of protograph-based LDPC convolutional codes over erasure channels.” *IEEE Trans. Info Theory*, vol. 58, no. 4, pp. 2303-2320, 2012.

# 딥러닝 기반 모바일 동적 서명 인식

남승수°, 최대선°°, 서창호°

공주대학교 융합과학과°, 의료정보학과°°

# Deep learning based mobile dynamic signature recognition

Seung-Soo Nam°, Dae-Seon Choi°°, Chang-Ho Seo°

Dept. of Conversions Science°, Dept. of Medical Information°°, Kongju University

sunchoi@kongju.ac.kr°°

## 요 약

서명인식은 생체 인식 중에서 적은 비용에 비해 높은 성능을 보이는 효율적인 생체 인식 기술 중 하나이다. 본 논문에서는 모바일 환경에서 자필서명으로 동적 서명인식에 대해 정확도를 높일 수 있는 방법을 제안하고, 좌표/시간정보의 실험(Data1)과 좌표/시간정보와 가속도계를 추가한 실험(Data2)을 비교하여 높은 인식률을 제시한다. 제시한 방법은 모바일 환경에서 10 명이 20 번씩 손가락으로 테스트를 하였다. SVM 을 실험한 결과 Data1 은 86%를 보였고, Data2 는 93%의 정확도를 보여 줬으며, MLP 를 실험한 결과 Data1 은 92%를 보였으며, Data2 는 95%의 정확도를 보였다. 실험 결과 좌표/시간 정보로 만을 실험한 것보다 가속도계를 추가한 실험의 서명에 대한 정확도가 높은 것을 확인 할 수 있다.

## 1. 서론

최근 모바일기기 사용 증가에 따른 모바일 환경의 확장과 함께 다양한 장치의 보안 솔루션으로 활용할 수 있는 능동적 생체 인식 방법이다. 서명인식은 서명자마다 그 특성이 다르고, 동일한 필기자의 경우에도 필기 자세, 감정 상태나 사용된 서명 입력 장치 등에 따라 조금씩 다르게 나타나며 동일한 조건에서도 시간에 따라 다소 다르게 나타나게 된다. 서명인식 방법에는 오프라인 서명인식과 온라인 서명인식이 있다. 오프라인 서명은 필기된 서명 혹은 도장을 의미하며, 온라인 서명은 터치스크린 등의 장치를 이용해 실시간으로 입력하는 서명을 뜻한다. 온라인 서명인식은 모바일 환경에서 스타일러스가 아닌 손가락으로 서명한 동적서명인식에 대한 학계의 연구가 수행되고 있다[1]. 스타일러스 서명은 좌표, 속도, 압력과 같은 특징을 사용하지만, 손가락 서명은 압력에 대한 특징을 가용할 수 없어 가속도계(Accelormeter)를 사용하는 것을 제안한다.

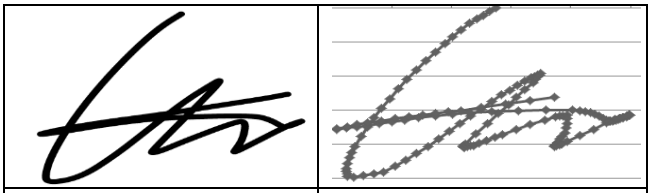
그리고 서명인증 시스템에서 주로 고려해야 할 요소는 서명들의 특징을 어떻게 효과적으로 비교하여 정교한 상관관계를 측정할 것 인가 하는 문제이다.

서명들의 특징을 비교하기 위해서는 RMS(Root Mean Square)방법 이나 HMM(Hidden Markov Model) 등이 사용된다. RMS 는 대응하는 두 함수를 좌표/시간에 따라 비교하여 서로 다른 좌표의 차이를 누적시키는 선형 대응 방법으로 약간의 왜곡에도 큰 상관관계를 나타낸다. HMM 은 은닉 관측열(Hidden Observation)을 갖는 Markov chain 이다. 이는 관측 symbol 을 구성하는 확률함수 및 상태와 상태간의 천이 확률로 구성할 수 있다. RMS 는 미세한 왜곡에는 오차율이 높고, HMM 은 서명데이터의 용량에는 강인하지만 학습자료가 충분하지 않으면 학습과정을 정확히 수렴하지 못하거나 오히려 부정확한 모델을 만들어 낼 수 있는 단점이 있다[2]. 위의 문제를 해결 하기 위해 SVM(Support Vector Machine)[3]과 딥러닝(Deep Learning) 기법 중에서 MLP(Multi-Layer Perceptron)를 활용하여 좌표/시간 정보만 학습한 결과와 가속도계를 추가하여 학습한 결과를 비교하여 기존의 방법과 제안한 방법의 성능을 비교한다.

본 논문에서는 2 장 서명 특징정보 및 딥러닝한 방법 3 장 실험구성과 결과 4 장 은 결론 및 향후 연구과제에 대해 서술 할 것이다.

## 2. 서명 특징 정보

서명 특징 정보는 스마트폰을 이용해 체크카드, 금융 IC 카드 장치에 안전하게 인증서를 발급/관리하고 동적 서명 인증이 필요한 거래 시점에 금융 IC 카드를 스마트폰에 터치 하면 전자서명을 생성하여 다양한 응용 서비스에 제공 한다. 서명특징 정보를 분석하기 위해서는 1 절 좌표/시간정보의 특징을 설명하고, 2 절은 1 절에서 검출한 특징들을 딥러닝을 이용한 비교 분석 한다.



(a) 기존 서명 (b) 정규화된 서명

Figure 1. 기존서명과 정규화된 서명비교

1. 좌표/시간정보의 특징

본 연구에서 제안한 서명의 주요 특징 정보는, 서명할 때 손가락이 Touch Down 시에 나타나는 속도 정보, 획 순서, 전체 획 수 등을 나타내는 좌표 시간정보이다. 이러한 좌표들은 특징 정보로서 방향 정보와 속력정보로 나눌 수 있다. 그리고 모바일에 장착된 센서에서 가속도계를 검출하여 개인고유의 특성에 대한 정보를 정확하게 나타낼 수 있다. 개인정보를 쉽게 누출될 가능성을 낮게 만들어 지고, 상대적으로 다른 사람에게 쉽게 누출이 되지 않아 보안성이 높은 특징을 지니고 있다. Figure1. 에서 (a)는 기존 서명을 보여주는 것이며 (b)는 정규화(Normalization)와 리샘플링(Resampling)을 활용한 서명 데이터를 서명을 보여준다[4]. 기존서명에서 정규화로 인해 잃어버린 좌표를 추적 탐지하여 인식의 정확도를 높일 수 있도록 하였다.

2. 딥러닝을 이용한 학습

1 절은 서명에 추출되는 두 점 사이의 방향정보와 속력정보로 구분하였고, 가속도계 정보를 추가 함으로써 전체 오검출율에 영향을 주지 않으면서 보안성은 높아졌다. 하지만 메모리 용량이 늘어나고, 처리속도가 낮은 단점이 발생할 수 있다. 이를 개선하기 위해 통계적 방법 딥러닝을 이용하여 분석하였다. 딥러닝은 여러 비선형 변환기법의 조합을 통해 높은 수준의 추상화를 시도하는 기계학습(Machine learning) 알고리즘의 집합으로 정의 된다. 딥러닝 기법중의 하나인 SVM 과 MLP 를 활용하여 학습속도를 올리며, 오검출율을 줄이는데 효과적이다.

## 3. 실험

1. 실험 구성

제안 방법의 성능을 측정하기 위한 실험 구성이다. 실험인원은 1 인당 20 번씩 총 10 명의 서명을 얻어 200 개의 테스트 샘플을 수집했다. 샘플로 4 개의 테스트군을 만들었다. Data1 은 좌표/시간정보 + 방향정보, Data2 는 가속도계+ 좌표/시간정보로 이루어졌다. 서명은 GalaxyS3 에서 실험데이터를 추출했다. 실험환경은 Ubuntu 15.04 에서 Python 으로 구현했다. 3,072 개의 GPGPU 를 이용하여 SVM 과 MLP 모델을 사용하여 학습하였다.

2. 실험 결과

획득한 10 명의 서명 데이터 중 10 개를 트레인서명으로 분류하고, 나머지 10 개는 테스트 서명으로 분류 한다.

표 1. 좌표/시간정보와 가속도계+좌표/시간정보

| SVM | | MLP | |
|---|---|---|---|
| Data1 | Data2 | Data1 | Data2 |
| 86% | 93% | 92% | 95% |

표 1 에서 보는 바와 같이 Data1 은 좌표/시간정보만을 사용한 것이고, Data2 는 가속도계+ 좌표/시간정보의 데이터로 이루어져 있다. SVM 으로 학습한 결과 Data2 가 Data1 보다 7%의 인식률이 좋아졌고, MLP 로 학습한 결과 Data2 가 Data1 보다 3%의 인식률이 좋아졌다.

## 4. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 일반적으로 계산된 서명데이터에 가속도계를 추가하여 인식의 정확도를 높이려는 방법을 제안하였다. 좌표/시간정보만을 계산한 정확도보다 가속도계와 좌표/시간정보를 추가한 정확도가 높은 것을 확인할 수 있다. 현재 위치 정보만을 사용한 모바일 서명인증의 최고 수준은 NYU 의 97%이다. 향후 연구로는 모바일에서 가용할 수 있는 센서들을 추가하여 동적서명인증의 정확도를 높여야 할 것이다.

## 5. 참고 문헌

[1] S.B. Nap, et.al, “Online Signature Verification on Mobile Devices”, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2014.

[2] J.W. Kim, J.H Cho.”동적 서명의 특징 정보에 대한 통계적 분석에 관한 연구”, *한국해양정보통신학회논문지*, 13.8, 1693-1698, 2009.

[3] A. Mendaza-Ormaza, O. Miguel-Hurtado, R. Sanchez-Reillo, J. Uriarte-Antonio, “Analysis on the resolution of the different signals in an on-line handwritten signature verification system applied to portable devices”, *IEEE Tans. Int. Carnahan Conf. on Security Technology*, 2010.

[4] P. O. Kristensson, et.al, “Continuous recognition of one-handed and two-handed gestures using 3D full-body motion tracking sensors,” *Proc. of ACM Int'l. Conf. on Intelligent User Interfaces*, pp. 89-92, 2012.

[5] Z. J. Wang, H. Gao, "A Unifying Lifting Collocation Penalty Formulation Including Discontinuous Galerkin, Spectra Volume/Difference Methods for Conservation Laws on Mixed Grids," *Journal of Computational Physics*, Vol. 228, pp. 8161~8186, 2009.

# 다중 SDN 컨트롤러 환경에서 플로우 설치 지연시간 분석

이재욱°, 서동은, 백호성, 백상헌
고려대학교 전기전자공학과
{iioiioiio123, fever1989, gh1emd, shpack}@korea.ac.kr

## 1. 서 론

SDN 기술의 특징은 네트워크의 제어 평면과 데이터 평면을 분리시키는 것과 논리적으로 중앙 집중된 컨트롤러를 통해 네트워크 제어 기능을 제공하는 것이다.

고 가용성과 확장성을 보장하기 위해서는 다중의 컨트롤러들을 통해 제어 평면을 구축하여야 한다. 또한, 신뢰성을 보장하기 위해 OpenFlow 1.2 이후 버전의 다중 컨트롤러 지원 기능을 통해 스위치가 여러 컨트롤러들과 연결을 맺어야 한다 [1]. 즉, 스위치는 각 컨트롤러 마다 master 혹은 slave 권한을 유지한다. 스위치는 모든 asynchronous 메시지를 자신의 master 컨트롤러에게만 전송하고, 자신의 master 컨트롤러에서 전송한 controller-to-switch 메세지만을 수락한다. 또한 스위치는 자신의 slave 컨트롤러들에게 asynchronous 메세지를 전송하지 않는다.

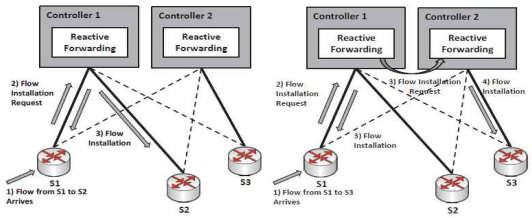
한편, 이러한 다중의 컨트롤러 환경에서, 플로우가 다른 master 컨트롤러들을 할당받은 스위치들이 포함된 경로를 지나는 경우, 해당 플로우에 대한 설치 지연시간이 증가하게 된다. 따라서 이는 지연시간에 민감한 어플리케이션에게 치명적이다 [2]. 본 논문은 다중 SDN 컨트롤러 환경에서 master 컨트롤러의 할당이 플로우 설치 지연시간에 미치는 영향을 분석한다.

## 2. 플로우 설치 지연시간 분석

그림 1 은 다중 컨트롤러 환경에서의 플로우 설치 과정을 나타낸다. 실선은 스위치와 master 컨트롤러간의 연결을 의미하고, 점선은 스위치와 slave 컨트롤러간의 연결을 의미한다. 모든 컨트롤러들은 서로 연결 되어 있으며, 동기화된 전체 네트워크 뷰 (view)를 유지한다.

그림 1(a)은 동일한 master 컨트롤러를 갖는 스위치들을 지나는 플로우 (즉, S1 에서 S2 로의 플로우)에 대한 플로우 설치 과정을 나타낸다 (즉, S1 로부터 S2 를 지나는 플로우). S1 으로 해당 플로우가 유입되면, S1 은 플로우 엔트리를 가지고 있지 않기 때문에 Controller1 에게 플로우 설치 요청메시지를 전송한다. Controller1 은 S1, S2 의 플로우 테이블을 설치한다. 프로세싱 지연시간이 무시할 만큼 작고, 스위치와 컨트롤러간의 전송지연시간이 $d_{cs}$로 동일하다고 가정하면, 해당 플로우 설치 지연시간, $D_S$, 은 $2d_{cs}$로 계산된다.

그림 1(b)는 다른 master 컨트롤러들을 갖는 스위치들을 지나는 플로우 (즉, S1 에서 S3 로의 플로우) 에 대한 플로우 설치 과정을 나타낸다. 스위치




**(a)** **(b)**

**그림 1. 플로우 설치 과정**

해당 플로우가 들어오면, S1 은 플로우 엔트리를 가지고 있지 않기 때문에, Controller1 에게 플로우 설치 요청 메시지를 전송한다. 그 후. 요청메시지를 받은 Controller1 은 S1 에게 플로우 테이블을 설치하고, 동시에 S3 의 master 컨트롤러인 Controller2 에게 플로우 설치 요청메시지를 전송한다. 해당 요청 메시지를 받은 Controller2 는 S3 에게 플로우 테이블을 설치한다. 컨트롤러간의 전송지연시간을 $d_{cc}$ 로 가정하면 플로우 설치 지연시간, $D_M$, 은 $2d_{cs} + d_{cc}$ 로 계산된다.

따라서 그림 1 을 통해 스위치들의 master 컨트롤러 할당 방법에 따라 플로우 설치 지연시간이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 컨트롤러의 부하 또한 master 컨트롤러의 할당 방법에 따라 달라질 수 있는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문은 다중 SDN 컨트롤러 환경에서의 플로우 설치 지연시간에 대해 분석하였다. 향후에 최적화 기법을 통해 플로우 설치 지연시간과 컨트롤러간의 로드 불균형을 줄이는 기법에 대해 연구 할 것이다.

## 4. 감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개 소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)

## 5. 참고 문헌

[1] The OpenFlow Switch Specification. Available at http://OpenFlowSwitch.org.

[2] K. He et al., “Measuring Control Plane Latency in SDN-enabled Switches,” in Proc. ACM Sigcomm Symposium on SDN Research (SOSR) 2015, Santa Clara, CA, June 2015.

# OpenDaylight SFC 의 서비스 기능 경로 선택기법 분석

백호성°, 서동은, 이재욱, 백상헌*
고려대학교 전기전자공학과
{gh1emd, fever1989, iioiioiio123, shpack}@korea.ac.kr

## 1. 서 론

SDN (Software-Defined Networking) 제어관리에서 서비스 기능 체인(Service Function Chain) 기술이 중요한 요구사항으로 각광받고 있다. SFC 기술은 서비스 기능의 순서 집합으로 구성된 서비스 기능 체인을 정의하고 네트워크 트래픽이 이러한 순서에 따라 서비스를 제공받도록 한다. 오픈소스 기반의 SDN 컨트롤러 개발 프로젝트인 OpenDaylight [1]에서는 이러한 요구사항에 따라 서비스 기능 체인 기술을 제공하고 있다. 한편, 체인의 실제 네트워크 경로를 나타내는 Service Function Path (SFP)를 결정하는 것은 지연 시간, 서비스 기능 인스턴스의 부하 등에 영향을 미치기 때문에 중요한 문제이다.

본 논문에서는 오픈소스 기반의 SDN 컨트롤러 개발 프로젝트인 OpenDaylight [1]에서 제공하는 Service Function Chaining (SFC) 기능에서 서비스 기능 스케줄러가 Service Function Path (SFP)를 결정하는 방식에 대해 알아본다.

## 2. OpenDaylight 의 서비스 기능 스케줄러

그림 1 은 OpenDaylight 의 서비스 기능 스케줄러가 SFP 를 결정하는 과정을 나타낸다. 서비스 기능 스케줄러는 $SF_x$ 가 체인에 정의된 $x$ 번째 서비스 기능을 나타낼 때, $SF_1$, $SF_2$ 로 구성된 Chain 1 을 인풋으로 받아 각 타입에 대해 서비스 기능 인스턴스를 결정한다. 이 때, $SF_{xy}$ 는 $SF_x$ 에 대해 선택 가능한 인스턴스들 중 $y$ 번째 인스턴스를 나타내며 그림 1 에서는 최종적으로 $SF_{12}$ 및 $SF_{23}$ 이 선택되었음을 알 수 있다.

한편, OpenDaylight 에서는 서로 다른 목적을 갖는 서비스 기능 스케줄러들을 제공한다. 현재 제공하는 서비스 기능 스케줄러로는 Random 스케줄러, Round Robin 스케줄러, Load Balancing 스케줄러 그리고 Shortest Path 스케줄러가 있다.

Random 스케줄러는 임의의 서비스 기능에 대해 선택 가능한 모든 서비스 기능 인스턴스들 중 하나를 랜덤하게 선택한다.

Round Robin 스케줄러는 임의의 서비스 기능에 대해 선택 가능한 모든 서비스 기능 인스턴스들을 리스트 형태로 유지하고, 해당 리스트 상에 포인터를 유지하여 포인터의 위치에 해당하는 서비스 기능 인스턴스를 선택한다. 포인터는 리스트의 맨 앞에 위치한 인스턴스를 시작으로 매 인스턴스가 선택 될 때마다 다음 인스턴스로 이동되어, 최종적으로 매 선택마다 다른 인스턴스가 선택되도록 한다.

Load Balancing 스케줄러는 임의의 서비스 기능에

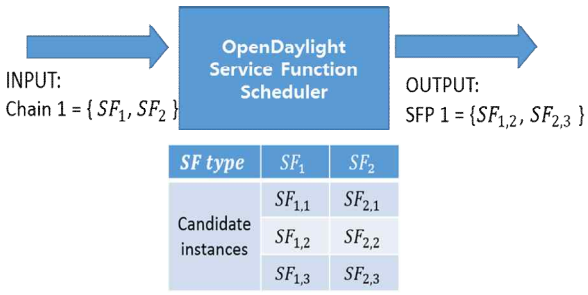



그림 1. OpenDaylight 의 서비스 기능 스케줄러 예시

대해 선택 가능한 모든 서비스 기능 인스턴스들의 CPU 사용량을 활용한다. 해당 스케줄러는 부하 분산을 목적으로 가장 낮은 CPU 사용량을 갖는 서비스 기능 인스턴스를 선택한다.

Shortest Path 스케줄러는 체인의 첫번째 서비스 기능에 대한 인스턴스는 랜덤으로 선택한다. 다음 서비스 기능에 대한 인스턴스를 선택할 시, 이전에 선택된 서비스 기능 인스턴스로부터 모든 선택 가능한 서비스 기능 인스턴스 까지의 최소 경로 길이를 Bread-First Search (BFS)를 통해 계산하여, 최종적으로 가장 낮은 최소 경로 길이를 갖는 인스턴스를 선택한다.

## 3. 결 론

본 논문은 OpenDaylight 에서 제공하는 서비스 기능 체인 기술이 실제 서비스 체인의 경로를 어떻게 결정하는지에 대해 분석하였다. 향후 연구로는 서비스 기능 인스턴스간의 경로 길이와 서비스 기능 인스턴스의 부하를 동시에 고려하는 서비스 기능 스케줄러를 개발하고 이를 OpenDaylight 상에 구현할 예정이다.

## 4. 감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개 소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)

## 5. 참고 문헌

[1] OpenDaylight: a Linux foundation collaborative project. [Online]. Available: http://www.opendaylight.org

# Challenges and Issues in Invisible Watermarking based Image Sensor Communications

Chang Hyun Hong°, Mohammad Arif Hossain, Nam-Tuan Le, Yeong Min Jang
Department of Electronics Engineering, Kookmin University
yjang@kookmin.ac.kr

## 1. Introduction

Image sensor communication (ISC) is the revised form of the visible light communication (VLC) technology. Of late, the ISC has become popular around the world which has brought many companies and universities together in the standardization meeting of IEEE 802.15 TG7r1. Invisible watermarking is a newly developed idea for communication purposes that has used the ISC technology. The promising applicable fields of the invisible watermarking based communications are display-to-camera (D2C) communication, device-to-device (D2D) communication, augmented reality (AR), smart advertising, online payment, indoor navigation, location based services (LBS) etc. Research have been carried out during the recent years on the invisible communication [1], [2]. Some research have proposed for the geometric and photometric issues for the image sensor communication. Nevertheless, there are some limitations existing to be solved for the invisible communication. The challenges and issues of the invisible communication has been illustrated in the next section.

## 2. Challenges and issues

**Ambient Light:** Illumination is one of the most challenging issues in the invisible communication. The environmental light such as sun, moon and the light from surrounding objects, for example, fluorescent light and incandescent light can cause great hamper during the transmission of data [3].

**Flicker effect:** Flickering effect can be a matter of concern for the invisible communication as the changing of the data embedded in the image can distort the image quality and make the user aware of the communication.

**Perspective distortion:** The invisible communication uses the image for data transmission. However, the geometric distortion of image due to the movement of user and rotation of camera can make the communication erroneous. This problem can be solved with the reduction in transmission speed.

**Motion blur:** Motion blur is another restriction to the communication. The blur caused by the movement of the user make the image unreadable to the camera receiver. The data hidden in the image can be lost too.

**Data rate:** The most challenging issue of the invisible communication is the data rate. There is a trade-off among the data rate, distance, screen (transmitter) size, and screen resolution. In order to make the communication invisible the data rate has to be decreased. In addition, the small size and low resolution of image can contribute to dropping the data rate too. For instance, we have implemented a prototype of invisible watermarking technology in which a 35 cm transmission distance has been achieved with a transmitter image size of 17.35cm x 9.75cm. A transmission distance of 1.5m can be acquired in our system with an image size of 40 inch x 40 inch.

**Transmission distance:** The distance of transmission of the system is inversely related to the data rate and proportionally related to the screen size and resolution.

**Transmitter size:** The size of a screen (transmitter) has proportional effect on the data rate and distance which has described previously. More data can be added in the image to increase the data rate while the distance can be increased keeping the data rate low.

**Image quality:** The quality of an image has a great impact on the communication. The resolution can augment the data rate and simultaneously. In addition, the viewing angle can be enhanced too.

**Viewing Angle:** The viewing angle of the receiver is one of the important issues of this system. The system has a disadvantage for wider viewing angle because the user of the system can move anywhere. The more the angle of view, the less the data rate and distance.

## 3.Conclusion

The invisible watermarking based ISC technology is a new area for communication. There are various challenging issues in this topics. The most advantageous point of this communication is that the license-free optical band and the dual use of screen and camera is quite feasible.

## Acknowledgment

본 연구는 산업통상자원부가 지원한 2014 소재부품기술개발사업 중 수요자연계형기술개발사업 SW융합형부품(스마트 입체 사이니지용 플렉서블 IoT 통신 모듈 및 인터렉션 플랫폼 개발)사업의 지원으로 수행됨.

## 4. Reference

[1] Mohammad Arif Hossain, Y. T. Lee, H. Lee, W. Lyu, C. H. Hong, T. Nguyen, N. T. Le, and Y. M. Jang, "A Symbiotic Digital Signage system based on display to display communication," in *Proc. IEEE ICUFN*, pp. 124-128, 2015.

[2] Chang Hyun Hong, Mohammad Arif Hossain, Nam-Tuan Le, Trang Nguyen, Amirul Islam, and Yeong Min Jang "Alpha Channel based Invisible Image Sensor Communication," in *Proc. KICS 2016 Winter Conference*, pp. 777-778, 2016.

[3] Mohammad Arif Hossain, C. H. Hong, M. S. Ifthekhar and Yeong Min Jang, "Mathematical modeling for calibrating illuminated image in image sensor communication," in *Proc. IEEE ICTC*, pp. 797-800, 2015.

# Binary CDMA 를 이용한 영상 전송스케줄링 연구

권대길, 조진웅
전자부품연구원 실감정보플랫폼연구센터
tgkwon@keti.re.kr, chojw@keti.re.rk

## 1. 서론

현재 대부분의 영상 전송 시스템은 신뢰성 있는 데이터를 전송하기 위하여 인터넷에서 기본적으로 사용하고 있는 네트워크 기술인 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 패킷을 전송 한다. 일반적으로 TCP 프로토콜의 전송방식은 송신단에서 여러 개의 데이터를 한번에 연속으로 전송하면 수신단에서 그결과를 ACK 를 통했어 성공 수신여부를 알려주게 된다. 그 이후 송신단은 ACK 패킷을 참고하여 다음 패킷을 어떻게 전송할지를 결정하는 방식으로 동작하는 ARQ 기법인 Slide Window[1] 전송 프로토콜을 사용한다. 이러한 처리방식에 따라 송신단은 입장에서는 ACK 신호를 얼마나 빨리 받는냐에 따라서 송신속도에 영향이 많을 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서 TCP 프로토콜에 적합한 Binary CDMA 기반의 영상전송 스케줄링을 연구하고자 한다.

## 2. 본론

Binary CDMA 네트워크는 그 역할에 따라 마스터(Master)와 슬레이브(Slave)로 구별된다. 마스터는 피코넷 전체를 관리하고 비콘을 브로드캐스팅 함으로 해서 슬레이브를 제어한다. 슬레이브는 마스터의 통제에 따라 데이터를 송수신할 수 있다.

무선구간의 전송스케줄링의 기본단위인 슈퍼프레임 구조는 크게 3 부분으로 구성되며 비콘 구간에서는 마스터가 슬레이브들에게 네트워크 기준 정보를 가지고 있는 비콘 패킷을 전송한다. 경쟁구간에서는 슬레이브와 마스터가 명령 패킷을 임의 접근 방식으로 전송한다. 할당 구간동안은 각 스테이션이 자신에게 배분된 시간 슬롯동안 매체에 대해 독점적으로 접근하게 된다. [2][3]

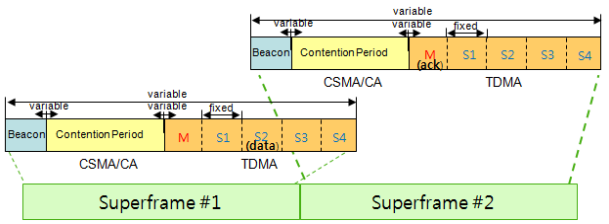



그림 1. 1:N 구조의 영상전송스케줄링

그림 1 는 TCP 프로토콜을 적용한 일반적인 1:N 구조의 무선구간의 전송방식을 나타내고 있다. 예를 들어 S1(슬레이브 1)에서 M(마스터)에게 TCP 패킷을 보내면 Superframe #1 의 S1 할당구간에서 데이터를 보내고 Superframe #2 에서 M(마스터) 구간에서 ACK 를 보내게 된다. 이럴 경우 마스터나 슬레이브들의 할당구간이 1/N 방식으로 동일하기 때문에 슬레이브들의 데이터를 주로 마스터에게 연속적으로 보낼 경우 비효율적인 전송방식의 무선스케줄링 구조이다. 왜냐하면 슬레이들은 마스터에게 최대한 많은 데이터를 보낼려고 하고 마스터는 단순한 ACK 정도의 패킷만 보내면 되기 때문이다.

Slide Window 방식의 ARQ 를 사용하는 TCP 의 전송방식의 특성을 고려하여 그림 2 와 같이 슈퍼프레임의 전체크기를 20msec 으로 가정했을 때 스케쥴링을 비율을 슬레이브와 마스터 간에 비대칭(3:1)으로 설정함으로서 TCP 프로토콜의 Slide Window 의 특징을 고려하여 마스터(M)로부터 ACK 를 받기전에 연속으로 많은 데이터 보낼 수 있도록 슬레이들의 할당구간을 최대한 크게 할당하고 즉시 ACK 신호를 받기 위해 마스터의 할당구간 최소화하였다. 그 이유는 TCP 프로토콜을 사용하는 Data 의 최대크기는 1500 바이트 이지만 Ack 의 크기는 100 바이트 이내이기 때문이다. 따라서 주어진 슈퍼프레임 크기에 따라 슬레이브의 할당구간에서 최대 8 개이내의 데이터가 전송될 수 있도록 전송구간을 할당하고 마스터는 Ack 신호만 전송할 수 있는 전송구간을 할당하여 TCP 프로토콜에 최적화 전송효율을 발휘할 수가 있도록 하였다.

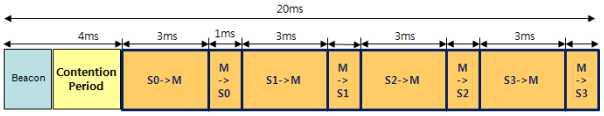



그림2. 제안된 영상전송스케줄링

ACKNOWLEDGMENT
※ 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 "R&D 재발견프로젝트"의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (N0001535, 2015)

## 3. 결론

본 논문에서는 TCP/IP 의 ARQ 기법인 Slide Window 특성을 고려하여 영상전송 스케쥴링 기법을 설계하고 그 효율성을 검증하였다. 실험결과 MAC 계층의 전송속도 대비 TCP 패킷은 평균 71 ~ 73% 높은 전송효율 보여주었다.

## 4. 참고 문헌

[1] W.Richard Steves, "TCP/IP Illustrated Volume 1",The Protocols,Addison-Wesley Professional , 1993
[2] 조진웅, 주민철, 서경학, 류승문, “WPAN 용 Binary CDMA 기술,” 한국통신학회지, Vol.19 No. 5, pp. 135-146, 2002.
[3] KETI, “Guardian 표준규격서, 물리 계층과 데이터 링크 계층 규격 버전 ISO/IEC standard 24771, 2014

# 소스 업데이트를 이용한 개미 군집 최적화 라우팅 에이전트 구현과 성능 평가

심영보[1]°, 이승관[2], 이성원[1*]

경희대학교 컴퓨터공학과[1], 경희대학교 후마니타스대학[2]

# The implementation and performance evaluation of the ant colony optimization routing agent using the source update algorithm

Sim Young-Bo°, SeungGwan Lee, Sungwon Lee

Department of Computer Engineering[1], Humanitas College[2]

KyungHee University

ybsim@khu.ac.kr, leesg@khu.ac.kr, drsungwon@khu.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 개미 군집 최적화를 이용한 실제 네트워크에서 동작하는 라우팅 에이전트를 개발하고 소스 업데이트 방안을 적용하여 성능 평가를 하였다.

## 1. 서론

개미 군집 최적화란 M. Dorigo 에 의해서 제안 및 정립된 최적화 이론으로서 개미의 행동양상을 분석하여 모형을 제시한 생체 모방 알고리즘 중 하나이다. 이 알고리즘은 확률을 기반으로 하는 발견법(휴리스틱, heuristic) 방식에 기반을 두고 있다. 특히 이 개미 군집 최적화는 최적경로를 찾기 위한 해법으로서 많이 쓰이며 대표적으로 외판원 문제(TSP) 또는 Vehicle Routing Problem 문제[1, 2, 3], 네트워크 라우팅 문제[4, 5] 등에 쓰이고 있다. [5]에서는 병렬 처리 기법을 적용한 네트워크 라우팅 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션 분석을 한 논문이다. 특히 이 논문에서 소스 업데이트 방식을 제안하는데 병렬 처리 기법을 중심으로 설명하기에 소스 업데이트 알고리즘의 분석이 미미하다. 이에 본 논문 이 소스 업데이트 알고리즘을 중심으로 하여 실제 네트워크에서 동작하는 라우팅 에이전트를 구현하고 소스 업데이트 알고리즘 적용 여부에 따른 성능을 평가하고자 한다.

## 2. 소스 업데이트

기존 Ant Density[1], Ant System[1], Ant Colony System[2], Ant-Q[3], Ant Quantity[6] 모델 등의 페로몬 갱신은 개미 패킷을 인접 노드에 송신함과 동시에 송신 노드에서 개미 패킷의 목적지에 대한 페로몬 갱신이 이루어진다. 이 경우 인접노드를 통해 목적지에 도달하지 못하는 경우에도 페로몬을 증가

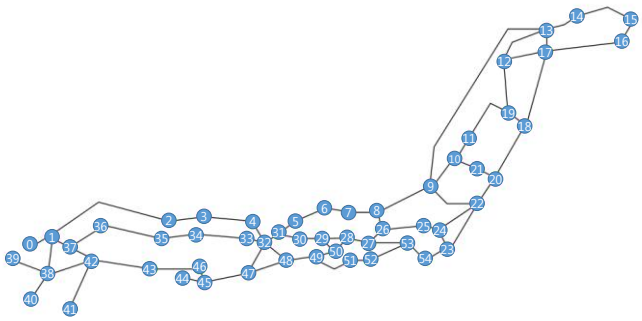


그림 1. 실험에 이용된 일본 백본 네트워크

시키는 단점이 있다. 하지만 [5]에서 제안한 소스 *업데이트*는 기존 방안과 다르게 패킷을 인접노드에게 송신하게 되면 개미 패킷을 송신한 노드가 아니라 개미 패킷을 수신한 인접노드에서 페로몬을 업데이트한다. 개미 패킷을 수신한 노드는 개미 패킷의 송신지 정보를 바탕으로 개미 패킷을 전달한 노드에 대해서 페로몬을 증가 시키기 때문에 앞서 언급한 방법과는 다르게 항상 도달 할 수 있는 방법으로 올바른 페로몬 증가가 이루어지게 된다.

## 3. 실험

실험은 [4]에서 사용된 일본 네트워크 백본(NTTnet)을 이용하여 Mininet[7] 에뮬레이터를 이용한 가상 머신을 사용하여 이루어 졌다. 본 토폴로지는 55개의 노드와 71개의 링크를 가지며

* 본 논문의 교신 저자.

표 1. 실험 통제 변수

| 통제변수 | 값 |
|---|---|
| 실험 1 회 패킷 | 500 개 |
| 반복 횟수 | 10 회 |
| 출발지 | 0 번 노드 |
| 목적지 | 15 번 노드 |
| TTL | 128 |
| 패킷 손실률 | 0 |

각 노드의 번호를 그림 1과 같이 임의로 부여하였다. 실험 공통 통제변인은 표 1과 같으며 실험을 통하여 본 논문에서 구현한 라우팅 에이전트의 경우 Ant System의 경우 증발 계수가 0.05, 소스 업데이트가 적용된 Ant System의 경우 0.10 일 때 최적 값임을 알 수 있었다. 이 최적 증발 계수를 이용하여 일반 Ant System, 소스 업데이트가 적용된 Ant System, 두 가지 모두 적용된 복합 경우의 세 가지 실험 결과가 그림 2에 표현되어 있다. 그림 3은 동일 실험을 경로에 대한 히스토그램으로 표현한 것이다.

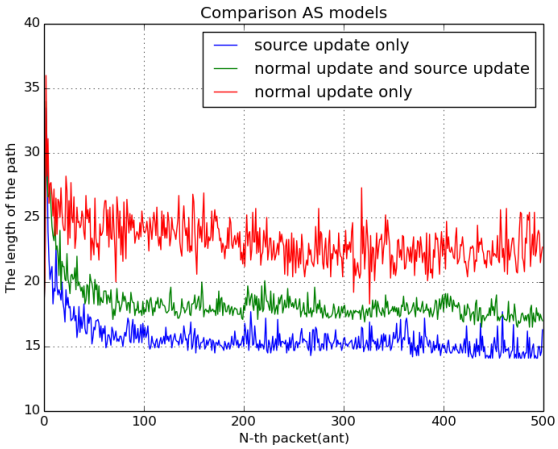



그림 2. Ant System 모델의 시간에 따른 평균 개미의 경로 길이 변화

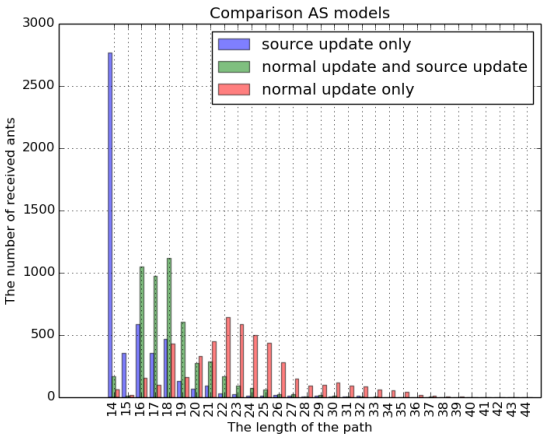



그림 3. Ant System 모델의 경로 길이에 대한 수신 패킷 개수 히스토그램

## 4. 결론

본 논문에서 구현한 라우팅 에이전트를 이용, 개미 군집 최적화 모델을 실험을 수행 하였다. 특히 세 가지의 실험 중 Ant System 모델에 소스 업데이트 알고리즘만 적용 하였을 때 최적의 결과를 얻을 수 있었다. 이 소스 업데이트 알고리즘은 특정 개미 군집 최적화 모델에만 적용 되는 것이 아니라 일반적인 개미 군집 최적화에 모두 적용한 알고리즘이므로 폭 넓은 활용이 예상된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임. (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1366, 자율 제어 네트워킹 및 자율 관리 핵심 기술 개발]

## References

[1] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, “Ant system: optimization by a colony of cooperating agents,” Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on, vol. 26, no. 1, pp. 29–41, 1996.

[2] M. Dorigo and L. M. Gambardella, “Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem,” Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 1, no. 1, pp. 53–66, 1997.

[3] Dorigo, Marco, and L. M. Gambardella. "Ant-Q: A reinforcement learning approach to the traveling salesman problem." Proceedings of ML-95, Twelfth Intern. Conf. on Machine Learning. 2014.

[4] G. Di Caro and M. Dorigo, “Antnet: Distributed stigmergetic control for communications networks,” Journal of Artificial Intelligence Research, pp. 317–365, 1998.

[5] M. T. Islam, P. Thulasiraman, and R. K. Thulasiram, “A parallel ant colony optimization algorithm for all-pair routing in manets,” in Parallel and Distributed Processing Symposium, 2003. Proceedings. International. IEEE, 2003, pp. 8–pp.

[6] M. Dorigo, “Optimization, learning and natural algorithms,” Ph. D. Thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.

[7] http://minient.org

# 브로드캐스팅 시스템에서의 공간 스케일러블 비디오 전송

최희재, 김선영, 장석호

단국대학교 모바일시스템공학과

# Scalable Video Transmission in Broadcasting Systems

Heejae Choi, Sun Young Kim, and Seok-Ho Chang

Department of Mobile Systems Engineering, Dankook University

seokho@dankook.ac.kr

## 요 약

본 논문은 비디오 브로드캐스팅 시스템에서 서로 다른 영상 스크린 해상도 및 수신 안테나를 가지는 모바일 디바이스들이 서비스 영역 안에 혼재되어 있을 때의 효율적인 전송 기법을 연구한다. 제안된 기법은 공간 스케일러블 비디오 소스코딩과 더불어, 다중안테나 시스템에서의 송신 다이버시티 기법 및 공간다중화 기법을 결합한다. 제안된 기법은 높은 해상도의 영상 스크린과 많은 수의 수신 안테나를 보유한 대형 디바이스에 대해서는 비디오의 peak-signal-to-noise ratio (PSNR) 성능을 크게 향상시킨다. 한편, 낮은 해상도의 영상 스크린과 적은 수의 수신 안테나를 보유한 소형 디바이스에 대해서는 일반적인 PSNR 관심 영역에 해당하지 않는 아주 높은 영역에서만 PSNR 수치를 감소시킴으로써 전체적으로 시스템 성능을 향상시키게 된다.

## 1. 서론

다중안테나 (multiple-input multiple-output) 시스템은 단일안테나 시스템에 비해서 시스템 용량 과 신뢰성 측면에서 큰 이득을 제공한다 [1]. 다중안테나 기술은 크게 공간 다중화 기법 (spatial multiplexing) 과 송신 다이버시티 기법 (transmit diversity)으로 분류될 수 있다. 송신 안테나의 개수를 $N_t$, 수신 안테나의 개수를 $N_r$ 이라고 할 때 $N_r \geq N_t$ 이면 공간 다중화를 통해 데이터 전송률을 $N_t$ 배 만큼 증가시킬 수 있다. 이에 반해 만약 $N_r = 1$ 이면 공간 다중화를 사용할 수는 없으며 송신 다이버시티 기법을 통해 다이버시티 이득만을 $N_t$ 배 만큼 얻을 수 있다. 일반적으로 높은 데이터 전송률이 요구되는 상황에서는 송신 다이버시티 기법보다는 공간 다중화 기법이 더 나은 성능을 제공한다.

비디오 브로드캐스팅 시스템의 경우, 각기 다른 개수의 수신 안테나를 보유한 단말기들이 서비스 영역 안에 혼재해 있다. 따라서 송신단 입장에서는 가장 적은 개수의 수신안테나를 가지는 단말기에서도 디코딩이 가능한 다중안테나 기술만을 사용하여 데이터를 전송할 수밖에 없다. 가령 공간 다중화 기법을 사용하여 데이터 전송률을 $N_t$ 배 높일 경우, $N_r < N_t$ 인 수신 안테나를 보유한 단말기들은 송신 신호를 수신 할 수 없기 때문이다. 그러나 만약 기지국에서 송신 다이버시티 기법을 사용하여 비디오를 전송한다면, 여러 개의 수신 안테나를 보유한 디바이스들은 채널용량 혹은 영상신호의 평균왜곡 측면에서 손해를 보게 될 것이다. 본 논문에서는 이와 같은 상황에서 효율적인 비디오 전송 방안에 대해 연구한다.

## 2. 본론

본 논문에서는 그림 1 에 도시된 바와 같이 공간 스케일러블 (spatially scalable) 비디오 [2]와 중첩 (superposition) 시공간부호가 결합된 브로드캐스팅 시스템을 제안한다. 디바이스의 안테나 수는 주로 디바이스의 물리적인 크기에 의해 제약을 받게 된다. 또한 디바이스에 부착된 영상 스크린의 해상도 역시 주로 디바이스의 크기에 의해 제약을 받는다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같이 간단한 2 가지 형태의 모바일 디바이스를 상정한다.

i) 소형 디바이스 (small device): 512×512 해상도 스크린 및 안테나 1 개를 보유한 디바이스

ii) 대형 디바이스 (big device): 1024×1024 해상도 스크린 및 안테나 2 개를 보유한 디바이스

공간 스케일러블 비디오에서는 기저층 (base layer)이 수신되면 저해상도로 영상을 복구할 수 있으며 증대층 (enhancement layer)까지 수신 되면 기저층 신호와 더해져서 고해상도로 영상을 복원할 수 있게 된다. 본 논문에서는 기지국의 송신 안테나 개수를 4 개로 가정하였다. 그림 1 에서 보듯이 제안된 기법에서는 공간 스케일러블 비디오의 기저층에는 quasi orthogonal space-time cod (QOSTBC)와 같은 송신 다

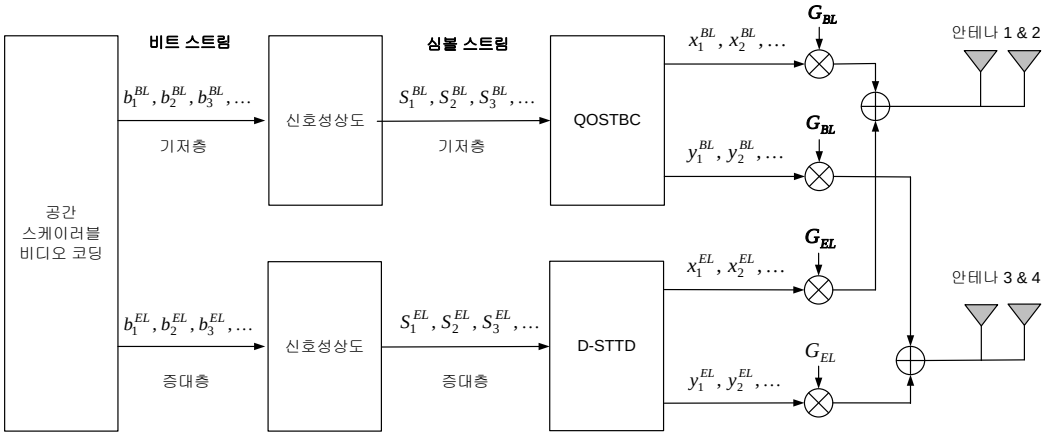



그림 1. 제안한 브로드캐스팅 기법

이버시티 기법을 적용하고, 증대층에는 double space-time transmit diversity (D-STTD)와 같은 공간다중화 기법이 적용된 방법을 적용한다. 이 경우 소형 디바이스와 대형 디바이스 모두 기저층을 수신할 수 있지만 증대층의 경우는 대형 디바이스만이 수신할 수 있다. 이와 같이 제안한 이유는 다음과 같다.

i) 대형 디바이스는 고해상도의 영상품질을 충족시키기 위해서 많은 수의 소스 비트를 필요로 한다. 반면에 소형 디바이스의 저해상도 영상은 적은수의 소스 비트만으로도 쉽게 그 품질을 만족시킬 수 있다. 따라서 소형 디바이스 입장에서는 공간 스케일러블 비디오의 기저층만이 수신되더라도 관심 PSNR 영역에서의 영상품질은 결코 나빠지지 않는다.

ii) 복수개의 수신안테나를 보유한 대형 디바이스 입장에서는 QOSTBC 와 같은 송신 다이버시티 기법보다는 D-STTD 와 같은 공간 다중화기법이 적용된 방법으로 증대층을 전송할 경우 영상품질을 크게 향상시킬 수 있다.

그림 1 에서 보듯이 기저층및 증대층은 각기 다른 다중안테나 기법으로 코딩된 후에 서로 다른 송신 이득이 곱해져서 중첩되어 전송된다. 송신 안테나 사이의 전력을 차등화하는 이유는 스케일러블 비디오에 요구되는 차등오류보호 (unequal error protection)를 구현하기 위함이다. 기저층은 저해상도의 영상정보와 더불어, 코딩 모드, 저주파 전환 계수, 모션 벡터 등 가장 중요한 정보들을 운반하며, 증대층은 단지 영상의 해상도를 향상시키는 정보를 운반한다. 따라서 기저층은 전송과정에서 오류가 발생하지 않도록 아주 강하게 보호되어야 한다. 송신 전력을 차등화하는 또 다른 이유는 기저층이 증대층보다 큰 송신 전력으로 전송될 경우 소형 디바이스 입장에서 두 신호가 중첩되어 수신되더라도 기저층의 디코딩이 가능하기 때문이다. 결과적으로 수신안테나 개수가 2 개인 대형 디바이스에서는 차등 송신전력이 기저층과 증대층 사이의 차등오류보호만을 제공해주는 역할을 한다. 제안된 기법을 기존의 브로드캐스팅 전송방법인 i) 공간 스케일러블 비디오 코딩을 계층적 성상도 (hierarchical modulation)를 통해 전송하는 기법, ii) 비 스케일러블 비디오 코딩을 일반 성상도를 통해 전송하는 기법과 비교한 결과를 그림 2 에 도시하였다. 그림에서 보듯이 제안 기법은 대형 디바이스의 PSNR 성능을 크게 향상시킨다.

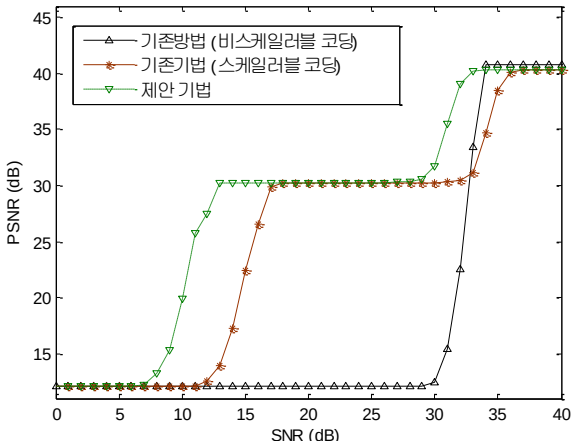



그림 2. 제안기법의 대형 디바이스 PSNR 성능

## 3. 참고 문헌

[1] C. Oestges and B. Clerckx, *MIMO Wireless Communications*, Orlando, FL: Academic, 2007.

[2] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, “Overview of the scalable video coding extension of H.264/AVC, ” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 17, pp. 1103-1120, Sept. 2007.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2013R1A1A2065143).

본 연구는 미래창조과학부 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행하였음.

# 셀룰러 네트워크에서 D2D 릴레이 통신을 위한 최적 자원할당 기법

강길모°, 김현민, 신오순

숭실대학교

# Optimal Resource Allocation Scheme for D2D Relay Communications Underlaying Cellular Networks

Gil-Mo Kang°, Hyeon Min Kim, and Oh-Soon Shin

Soongsil University

{gilmokang, hminplus, osshin}@ssu.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 셀룰러 네트워크에서 릴레이를 이용한 단말간 직접 통신(Device-to-Device: D2D)을 위한 셀룰러 상향링크 최적 자원할당 알고리즘을 제안한다. D2D 릴레이 링크와 셀룰러 상향링크의 자원 공유에 따른 상호 간섭이 존재하는 상황에서 D2D 단말이 빔포밍을 하는 경우 D2D 릴레이 링크의 성능을 향상시킬 수 있는 자원할당 최적화 문제를 제시하고 최적해를 구하는 알고리즘을 제안한다.

## 1. 서론

단말간 직접 통신(Device-to-Device: D2D)이란 셀룰러 네트워크에서 인접한 단말들이 기지국을 거치지 않고 직접 통신을 하는 기술이다. D2D 통신을 통해 셀룰러 단말의 자원을 공간적으로 재사용함으로써 셀룰러 네트워크의 주파수 효율을 향상시킬 수 있다[1]. 또한 D2D 통신을 이용하여 단말간 릴레이 통신을 구현할 수 있고 이를 통해 셀룰러 시스템의 커버리지를 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 D2D 링크가 셀룰러 상향링크 자원을 공유하는 상황에서 단말 릴레이를 이용한 D2D 통신에 적용할 수 있는 자원할당 최적화 문제를 수립하고 최적해를 구하는 알고리즘을 제안한다.

## 2. 시스템 모델

그림 1 과 같이 셀룰러 네트워크에서 D2D 링크가 $K$ 개의 자원블록(Resource Block)으로 구성된 셀룰러 상향링크 자원을 공유한다고 가정한다. D2D 링크는 정보를 제공하는 송신 단말($S$), 복호후전달(Decode-and-Forward) 모드로 동작하는 릴레이 단말($R$), 정보를 수신하는 수신 단말($D$)로 구성되고, $S \rightarrow R$ 링크와 $R \rightarrow D$ 링크가 동일한 셀룰러 자원을 시분할 형태로 공유한다고 가정한다. 즉, 각 시간 슬롯의 반은 $S \rightarrow R$ 링크에 할당되고 나머지 반은 $R \rightarrow D$ 링크에 할당된다. 따라서 $S \rightarrow R$ 링크와 $R \rightarrow D$ 링크 모두 동일한 자원을 할당 받는 셀룰러 링크로부터 간섭을 받는다. 그림 1 에서 실선은 통신 링크를 나타내고 점선은 간섭 링크를 나타낸다. 각 통신 링크

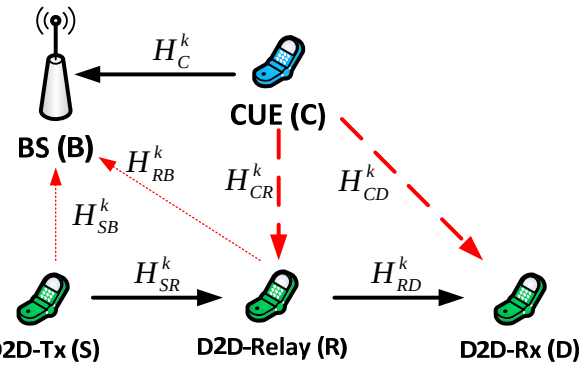



그림 1. 셀룰러 네트워크에서의 D2D 릴레이 통신 모델

또는 간섭 링크의 채널 행렬은 대문자 $H$ 에 해당 링크의 송수신 단말을 나타내는 아래첨자와 사용하는 셀룰러 자원의 인덱스를 나타내는 위첨자를 첨가하여 표현한다. D2D 링크가 셀룰러 자원 $k$ ($k$ = 1, 2, ···, $K$)를 할당받는 경우 릴레이 단말 $R$ 과 수신 단말 $D$ 에서의 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_R = H_{SR}^k T_S x_S + H_{CR}^k T_C x_C + w_R \quad (1)$$

$$y_D = H_{RD}^k T_R x_R + H_{CD}^k T_C x_C + w_D \quad (2)$$

여기서 $T_n$ 은 노드 $n$ 의 송신 빔포밍 벡터를 의미하고 $x_n$ 은 노드 $n$ 의 송신 심볼을 나타낸다. $w_n$ 은 노드 $n$ 에서의 Gaussian 잡음을 나타내며 평균은 0, 분산은 $\sigma^2$ 으로 동일하다고 가정한다. 릴레이 디코딩이 정확하다고 가정하면 릴레이 송신 심볼 $x_R$ 은 $x_S$ 의 시간 지연된 신호라고 할 수 있다.

## 3. 최적 자원할당 기법

D2D 릴레이 링크에 셀룰러 자원블록 $k$ 가 할당된 경우 $S \rightarrow R$ 링크와 $R \rightarrow D$ 링크의 신호대간섭비 (SIR)를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma_{SR}^k = \frac{\left\| R_R^k H_{SR}^k T_S^k \right\|^2}{\left\| R_R^k H_{CR}^k T_C^k \right\|^2}, \quad \gamma_{RD}^k = \frac{\left\| R_D^k H_{RD}^k T_R^k \right\|^2}{\left\| R_D^k H_{CD}^k T_C^k \right\|^2} \tag{3}$$

여기서 $R_n$ 은 노드 $n$ 의 수신 빔포밍 벡터를 의미한다. 각 링크의 최적의 송수신 빔포밍은 채널 행렬의 최대 Singular Value Decomposition 에서 최대 Singular Value 에 해당되는 벡터로부터 구할 수 있다[2]. 또한 D2D 단말이 스펙트럼 센싱을 통해 간섭 채널의 전력 값을 추정할 수 있다고 가정하면, 식 (3)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{SR}^k = \frac{\lambda_{SR}^k P_S}{\left\| R_R^k \right\|^2 I_R^k}, \quad \gamma_{RD}^k = \frac{\lambda_{RD}^k P_R}{\left\| R_D^k \right\|^2 I_D^k} \tag{4}$$

여기서 $\lambda_\ell^k$ 은 링크 $\ell$ ($\ell = SR, RD$)에 해당되는 채널의 최대 Singular Value 를 의미하며, $P_n$ 은 노드 $n$ 의 송신 전력을 나타낸다. 할당되는 빔포밍 송신전력을 의미한다. $I_R^k \approx \left\| H_{CR}^k T_C^k \right\|^2$, $I_D^k \approx \left\| H_{CD}^k T_C^k \right\|^2$ 는 각각 릴레이 단말과 수신 단말에서 추정한 셀룰러 링크로부터의 간섭을 나타낸다. 또한 $\left\| R_R^k \right\|^2$ 와 $\left\| R_D^k \right\|^2$ 는 Identity 행렬이 된다. 각 링크의 수신 SIR 이 일정 문턱값 $\Gamma$ 이상일 때 최소한의 전송률로 데이터 전송 및 디코딩이 가능하다고 가정하면 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$\frac{\lambda_{SR}^k}{I_R^k} P_S \geq \Gamma, \quad \frac{\lambda_{RD}^k}{I_D^k} \geq \Gamma \tag{5}$$

D2D 릴레이 링크의 End-to-End 성능은 $S \rightarrow R$ 링크와 $R \rightarrow D$ 링크의 성능의 최소값에 따라 결정되므로 [3], 이를 목적함수로 하고 식 (5)의 제한 조건을 만족하도록 하는 자원할당 최적화 문제를 다음과 같이 수립할 수 있다.

$$\max_{k \in \{1,2,\cdots,K\}} \min\left( \frac{\lambda_{SR}^k}{I_R^k} P_S, \frac{\lambda_{RD}^k}{I_D^k} P_R \right),$$
$$\text{subject to} \quad \frac{\lambda_{SR}^k}{I_R^k} P_S \geq \Gamma, \tag{6}$$
$$\frac{\lambda_{RD}^k}{I_D^k} P_R \geq \Gamma.$$

식 (6)의 D2D 자원할당 문제의 해를 구하는 알고리즘을 표 1 에 제시하였다. Step 1 은 식 (5)의 제한 조건을 만족하는 후보 자원블록을 판별하는 단계이고, Step 2 는 Step 1 에서 구한 자원블록 후보들 중에서 End-to-End SIR 값이 가장 큰 자원블록을 순차적인 탐색 방식으로 계산하는 과정이다.

표 1. 자원할당 최적해 계산 알고리즘

**Algorithm:** Resource allocation for D2D relay

**Step 1** Initialize $S = \phi$

for $k$ = 1:$K$

Compute SVD $H_\ell^k = R_\ell^k \sum_\ell^k (T_\ell^k)^H$ , $\ell = SR, RD$ and estimate $I_n^k, n = R, D$.

Compute $\frac{\lambda_{SR}^k}{I_R^k} P_S$, $\frac{\lambda_{RD}^k}{I_D^k} P_R$ .

If $I_R^k \ \frac{\lambda_{SR}^k}{I_R^k} P_S \geq \Gamma$ and $\frac{\lambda_{RD}^k}{I_D^k} P_R \geq \Gamma$ ,

$S := S \cup \{k\}$

end

end

**Step 2** for $k \in S$

Compute $M_k = \min\left( \frac{\lambda_{SR}^k}{I_R^k} P_S, \frac{\lambda_{RD}^k}{I_D^k} P_R \right)$.

end

Determine $k$ associated with maximum $M_k$.

## 4. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 네트워크에서 D2D 릴레이 통신을 위한 자원할당 최적화 문제를 수립하였다. 최적화 목적함수는 릴레이 링크의 End-to-End SIR 로 설정하였으며, 각 링크의 최소 SIR 를 제한 조건으로 두었다. 제시한 최적해를 구하는 알고리즘은 Exhaustive Search 형태로서 복잡도를 줄일 수 있는 방안과 성능 평가를 후속 연구로 진행할 계획이다.

## 감사의 글

본 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2013R1A2A2A01011222, No. 2015-056354) 및 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구임(No. 2013-4010200570).

## 참고 문헌

[1] 강길모, 김현민, 남종현, 신오순, “LTE-Advanced 기반 D2D 통신 기술 표준화 동향,” 전자파기술, 제 24 권 5 호, pp. 52-64, 2013 년 9 월

[2] A. Paulaj, R. Nabar, and D. Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*. Cambridge Univ. Press, 2003.

[3] T. Wang, A. Cano, G. B. Giannakis, and J. N. Laneman, “High performance cooperative demodulation with decode-and-forward relays,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 7, pp. 1427-1438.

# Multi-Party Quantum Key Distribution

Junaid ur Rehman, Saad Qaisar, Youngmin Jeong, and Hyundong Shin
Department of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University, Korea
Email: hshin@khu.ac.kr

***Abstract*—In this paper, we present a multi-party quantum key distribution protocol. This protocol is useful in a single server, multi-user environment. Each transmitted signal contributes to exchange of a single bit of key. The main advantage of this protocol is a reduced load of quantum operations on the server. Security of protocol is discussed briefly. The proposed protocol is limited by the number of users in the network in case of same key for all users, otherwise it can support the unlimited number of users. This scheme can be implemented readily with the current available technology of quantum communication.**

## I. Introduction

Reliable and secure communication is the need of hour. Modern day classical communication achieves reliability but its security depends on the unproved assumptions of complexity [1] of certain mathematical problems. In the classical information theory, one-time pad is an encryption technique which provides information theoretic security. The implementation of one-time pad is hindered by the difficulty of storing and securely communicating long secret keys. Quantum mechanics provides some effects which have no counterpart in classical physics. Entanglement and superposition of qubits, and uncertainty principle are prominent examples of such effects. Using these phenomenon, we can perform tasks which cannot be performed in the classical domain. Quantum key distribution is one prestigious example of such feats [2].

Quantum key distribution protocols usually involve two users, Alice, and Bob. Sometimes a third party helps Alice and Bob to perform key distribution e.g., Charles in measurement-device independent quantum key distribution [3]. The goal of these two or three parties is to successfully exchange a secret string between Alice and Bob such that this string can be used as a key for the one-time pad encryption scheme. Another party usually termed as Eve is also assumed to be present. The goal of Eve is to eavesdrop and steal maximum information on the secret string being exchanged between the legitimate parties. Several quantum key distribution protocols with proved security have been proposed up to date [4], [5]. These protocols are although performing well in a two key-sharing parties scenario are not fit to implement in multi-party case. Load on the sending party in terms of qubit generation and the required operations is high when the number of users increase in such key distributing network. Therefore, tailor made protocols for multiparty quantum key distribution are required.

## II. System Model

We consider a star network, as illustrated in Fig.1, where a server and clients are connected using a quantum, as well as a classical communication channel. The server intends to broadcast a secret message to all users. The server can make use of the secure direct communication protocol [6] but it is infeasible because of the large number of operations involved and a formidable requirement of a quantum memory. It is more feasible to distribute an identical key among all users using a quantum key distribution scheme and later encrypt the message using this key, thus making it impossible for an eavesdropper to decipher the encrypted message. All users having the same key can decrypt the transmitted encrypted message on their local systems.

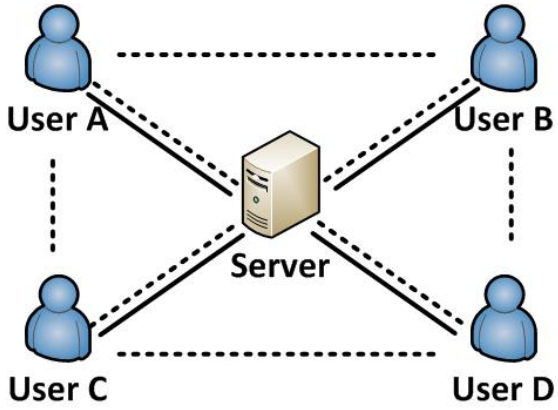



Fig. 1. A system model with four users. Dashed lines show the classical communication channel, solid lines represent the quantum channel.

In order to reduce the load on the server, qubit generation is performed at the user end. The server only needs to perform Pauli $X$ or Pauli $Z$ gate as required. The Pauli $X$ gate and the Pauli $Z$ gate are defined as:

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}. \tag{1}$$

The Pauli $X(Z)$ gate acts as a NOT gate in the computational (Hadamard) basis while introducing an undetectable global phase in the Hadamard (computational) basis.

## III. Protocol

The key is transmitted by the server but the qubits are generated at the user end. The following steps are repeated for each user one after the other until a key is shared between all users in the network:

1) User prepares a qubit randomly in the computational or the Hadamard basis and transmits it to the server via quantum channel.

TABLE I
WORKING OF PROTOCOL.

| **Qubit #** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Preparation Basis** | $+$ | $+$ | $\times$ | $+$ | $\times$ | $\times$ | $+$ | $\times$ | $\times$ | $+$ | $\times$ | $+$ | $\times$ | $+$ | $\times$ | $\times$ | $+$ | $\times$ |
| **Qubit State** | $\|0\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|0\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|0\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|0\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|0\rangle$ | $\|-\rangle$ |
| **Server Operation** | $X$ | $Z$ | $X$ | $X$ | $Z$ | $X$ | $Z$ | $X$ | $Z$ | $Z$ | $Z$ | $X$ | $X$ | $Z$ | $X$ | $Z$ | $X$ | $X$ |
| **User Measures** | $\|1\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|+\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|0\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|-\rangle$ | $\|1\rangle$ | $\|-\rangle$ |
| **Key bit** | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |

2) The server applies Pauli $X$ gate for transmitting a 1 and Pauli $Z$ gate for transmitting a 0, and sends the qubit back to the user.
3) After receiving the qubit, user measures the qubit in the preparation basis. If user prepared the qubit in the computational(Hadamard) basis and the value of qubit has changed, it means that the server applied $X(Z)$ gate, otherwise it applied $Z(X)$ gate. Thus, the user is able to read the key transmitted by the server.

The user repeats above steps until a key of a sufficient length is shared between the user and the server. After that they move to the next user and the same steps are repeated. Table I shows the step-wise execution of protocol for a single user.

Once a key is shared among all users, a random subset of the key is announced by the server for error estimation and correction. Depending on the error rate, privacy amplification is applied in order to decrease the amount of leaked information for Eve.

## IV. DISCUSSION AND POSSIBLE ATTACKS

We first begin by introducing a statement of uncertainty principle. The uncertainty principle states that it is not possible to know the value of two non-commuting variables of a quantum system with certainty. The computational and the Hadamard bases represent one such pair of non-commuting variables of a quantum system. In the case of electron, for example, the computational basis can represent its spin on vertical axis, and the Hadamard on the horizontal axis. On the both axes, spin value can either be spin up or spin down. If an eavesdropper tries to measure the value of spin of the system, with the probability of $1/2$ she will choose the wrong basis. This measurement in the wrong basis thus introduces errors and can be detected by the legitimate parties.

Eve can perform an intercept-and-resend attack on the ongoing quantum communication. She needs to perform this attack on the quantum communication in both directions. In the case of availability of single photon source, intense eavesdropping attempts on a single user would generate an error rate of $25\%$. This error will be detected by the server and the user in error estimation part and they will be alarmed. Any attempt with the lower error rates will not leak full key to Eve and thus privacy amplification can be utilized to reduce her amount of information.

In the case of same key for all users, proposed scheme is limited by the number of users in the network. Increasing the number of users allows Eve to distribute the errors among all users evenly. Thus, reducing error rate for each user. This is a very unfavorable scenario thus this scheme is best suited for the small network of upto 10 users. Error tolerance should be reduced with the increased number of users in the network. However, if groups of users are formed who require to communicate with each other or are intended recipient of same message from the server, the unlimited number of users can be supported.

Main contrast of multi-party quantum key distribution protocols from the two party ones is reducing the load on the key generating server. In our proposed scheme, the only quantum operation required on the server is the application of one of two Pauli operators. This can be easily performed using translucent mirrors in the case of photons, and using ions in the case of electrons.

Another advantage of our proposed scheme is the reduced requirement of classical communication between users and the server. Classical communication is required for the error detection and privacy amplification step only. Additionally, our scheme does not require the use of the entanglement or of a quantum memory which are currently far from implementation.

It is important to note here that we have considered the specific scenario of communicating the same key with all users or for at least a group of users in the network. This scheme can also be utilized in the traditional two party environment.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was supported, in part, by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (2013-R1A1A2-019963), and the ICT R&D program of MSIP/IITP [R0190-15-2030, Reliable crypto-system standards and core technology development for secure quantum key distribution network].

## REFERENCES

[1] R. L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman, "A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems," *Commun. ACM*, vol. 21, no. 2, pp. 120–126, 1978.
[2] H.-K. Lo, M. Curty, and K. Tamaki, "Secure quantum key distribution," *Nat. Photonics*, vol. 8, no. 8, pp. 595–604, 2014.
[3] H.-K. Lo, M. Curty, and B. Qi, "Measurement-device-independent quantum key distribution," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 108, no. 13, p. 130503, 2012.
[4] M. Curty, F. Xu, W. Cui, C. C. W. Lim, K. Tamaki, and H.-K. Lo, "Finite-key analysis for measurement-device-independent quantum key distribution," *Nat. Commun.*, vol. 5, 2014.
[5] M. Tomamichel, C. C. W. Lim, N. Gisin, and R. Renner, "Tight finite-key analysis for quantum cryptography," *Nat. Commun.*, vol. 3, p. 634, 2012.
[6] F.-G. Deng and G. L. Long, "Secure direct communication with a quantum one-time pad," *Phys. Rev. A*, vol. 69, no. 5, p. 052319, 2004.

# First Passage Time in Molecular Communication with Random Distance

Dung Phuong Trinh, Youngmin Jeong, and Hyundong Shin
Department of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University, Korea
Email: hshin@khu.ac.kr

***Abstract*—In this paper, we consider a first passage time (FPT) problem in anomalous diffusion with random distance. Specially, we use a versatile family of statistical distributions—namely, Fox's $H$-variate—to model the random distance. We derive the exact expressions for the probability density function and cumulative distribution function of FPT in terms of Fox's $H$-functions.**

## I. Introduction

In molecular communication, the normal diffusion (Brownian motion) channel with fixed distance between molecules and receive nanomachines has been widely used for ideal diffusion environments [1]–[3]. However, various experimental data of molecular communication can not be limited in these ideal environments, the anomalous propagation should be considered [4]. The information molecules which are not absorbed by the receive nanomachines will act as inter-symbol interference [5]. The interference and information molecules lead to dynamic variation of molecules concentration in nanonetworks. Motivated by the practical diffusion channel and the random locations of molecules, we consider anomalous diffusion with random distance between molecules and receive nanomachines.

## II. Anomalous Diffusion Model

In this paper, we consider a one-dimensional anomalous diffusion propagation based on space-time fractional derivative diffusion without skewness parameter such that

$$\frac{\partial^{\beta}}{\partial t^{\beta}} w\left(x,t\right) = K \frac{\partial^{\alpha}}{\partial \left|x\right|^{\alpha}} w\left(x,t\right) \tag{1}$$

where $K$ is the diffusion coefficient, $0 < \alpha \leq 2$ and $0 < \beta \leq 1$ are related to the divergence of jump length and waiting time, respectively. The anomalous diffusion model can encompass the subdiffusion ($\frac{2\beta}{\alpha} < 1$), superdiffusion ($\frac{2\beta}{\alpha} > 1$), and normal diffusion ($\frac{2\beta}{\alpha} = 1$) scenarios depending on the mean squared displacement in the asymptotic limit of large $t$ as $\left\langle \Delta x^2 \right\rangle \sim t^{\frac{2\beta}{\alpha}}$ [6].

## III. First Passage Time with Random Distance

Let $\mathcal{T}$ be the first passage time (FPT) such that a molecule starting at position $x = 0$ reaches the receive nanomachines at distance $x = R$, for the first time:

$$\mathcal{T} = \inf\left\{t : x\left(t\right) \geq R\right\}. \tag{2}$$

For a given $R = r$, the probability density fucntion (PDF) $f_{\mathcal{T}}\left(t\right)$ and cumulative distribution function (CDF) $F_{\mathcal{T}}\left(t\right)$ of first passage time for $\alpha \geq \beta$ in anomalous diffusion are given by [7]

$$\begin{aligned} f_{\mathcal{T}}\left(t\right) &= r^{-\alpha/\beta} H_{3,3}^{2,1}\left(r^{\alpha/\beta} t^{-1}; \mathbf{P}_{\mathsf{detp}}\right) \\ F_{\mathcal{T}}\left(t\right) &= 1 - H_{4,4}^{2,2}\left(r^{\alpha/\beta} t^{-1}; \mathbf{P}_{\mathsf{detc}}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{\mathsf{detp}} = &\left(\tfrac{2K^{1/\beta}}{\alpha}, \tfrac{1}{K^{1/\beta}}, \left(1+\tfrac{1}{\beta}, 2, 1+\tfrac{\alpha}{2\beta}\right), \right. \\ &\left. \left(1+\tfrac{\alpha}{\beta}, 1+\tfrac{1}{\beta}, 1+\tfrac{\alpha}{2\beta}\right), \left(\tfrac{1}{\beta}, 1, \tfrac{\alpha}{2\beta}\right), \left(\tfrac{\alpha}{\beta}, \tfrac{1}{\beta}, \tfrac{\alpha}{2\beta}\right)\right) \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{\mathsf{detc}} = &\left(\tfrac{2}{\beta}, \tfrac{1}{K^{1/\beta}}, \left(1,1,1,1\right), \left(1,1,1,0\right), \right. \\ &\left. \left(\tfrac{\alpha}{\beta}, \tfrac{1}{\beta}, 1, \tfrac{\alpha}{2\beta}\right), \left(\tfrac{\alpha}{\beta}, \tfrac{1}{\beta}, \tfrac{\alpha}{2\beta}, \tfrac{\alpha}{\beta}\right)\right). \end{aligned} \tag{5}$$

In order to characterize the random distance between the molecules and receive nanomachines, we use the Fox's $H$-variate for nonnegative random distance $R \sim \mathcal{H}_{p,q}^{m,n}\left(\mathbf{P}\right)$.

*Proposition 1 (PDF of First Passage Time):* Let $R \sim \mathcal{H}_{p,q}^{m,n}\left(\mathbf{P}\right)$ be the random distance between the molecules and receive nanomachines. Then, the PDF of first passage time $f_{\mathcal{T}}\left(t\right)$ for $\alpha \geq \beta$ can be written in terms of the $H$-transform as follow:

$$f_{\mathcal{T}}\left(t\right) = \frac{\beta}{\alpha} \mathbb{H}_{3,3}^{2,1}\left\{H_{p,q}^{m,n}\left(r; \langle -\tfrac{\alpha}{\beta} | \mathbf{P}\right); \left\langle 1, \tfrac{\beta}{\alpha}, 0 \right| \mathbf{P}_{\mathsf{detp}}\right\}\left(t^{-\beta/\alpha}\right). \tag{6}$$

Using Mellin operation [8, Proposition 4], the $H$-function representation for the PDF of first passage time $f_{\mathcal{T}}\left(t\right)$ is given by

$$\begin{aligned} f_{\mathcal{T}}\left(t\right) &= \frac{\beta}{\alpha} H_{q+3,p+3}^{n+2,m+1}\left(t^{-\beta/\alpha}; \left\langle 1, \tfrac{\beta}{\alpha}, 0 \right| \mathbf{P}_{\mathsf{detp}} \boxdot \langle -\tfrac{\alpha}{\beta} | \mathbf{P}\right) \\ &= H_{q+3,p+3}^{n+2,m+1}\left(t^{-1}; \mathbf{P}_{\mathsf{fptp}}\right) \end{aligned} \tag{7}$$

where the parameter sequence $\mathbf{P}_{\mathsf{fptp}}$ is

$$\mathbf{P}_{\mathsf{fptp}} = \left(\frac{2K^{1/\beta}\mathcal{K}}{\alpha c^{1-\alpha/\beta}}, \frac{1}{c^{\alpha/\beta} K^{1/\beta}}, \acute{\boldsymbol{a}}, \acute{\boldsymbol{b}}, \acute{\boldsymbol{\mathcal{A}}}, \acute{\boldsymbol{\mathcal{B}}}\right) \tag{8}$$

with

$$\begin{cases} \acute{\boldsymbol{a}} = \left(1+\tfrac{1}{\beta}, \mathbf{1}_q - \boldsymbol{b} + \left(\tfrac{\alpha}{\beta} - 1\right)\boldsymbol{\mathcal{B}}, 2, 1+\tfrac{\alpha}{2\beta}\right) \\ \acute{\boldsymbol{b}} = \left(1+\tfrac{\alpha}{\beta}, 1+\tfrac{1}{\beta}, \mathbf{1}_p - \boldsymbol{a} + \left(\tfrac{\alpha}{\beta} - 1\right)\boldsymbol{\mathcal{A}}, 1+\tfrac{\alpha}{2\beta}\right) \\ \acute{\boldsymbol{\mathcal{A}}} = \left(\tfrac{1}{\beta}, \tfrac{\alpha}{\beta}\boldsymbol{\mathcal{B}}, 1, \tfrac{\alpha}{2\beta}\right) \\ \acute{\boldsymbol{\mathcal{B}}} = \left(\tfrac{\alpha}{\beta}, \tfrac{1}{\beta}, \tfrac{\alpha}{\beta}\boldsymbol{\mathcal{A}}, \tfrac{\alpha}{2\beta}\right). \end{cases} \tag{9}$$

*Theorem 1 (CDF of First Passage Time):* Let $R \sim \mathcal{H}_{p,q}^{m,n}\left(\mathbf{P}\right)$ be the random distance between the molecules and receive nanomachines. Then, the CDF of first passage time $F_{\mathcal{T}}\left(t\right)$ for $\alpha \geq \beta$ is given by

$$F_{\mathcal{T}}\left(t\right) = 1 - H_{q+4,p+4}^{n+2,m+2}\left(t^{-1}; \mathbf{P}_{\mathsf{fptc}}\right) \tag{10}$$

where $\mathbf{P}_{\mathsf{fptc}}$ is given by

$$\mathbf{P}_{\mathsf{fptc}} = \left(\frac{2\mathcal{k}}{\alpha c}, \frac{1}{c^{\alpha/\beta}K^{1/\beta}}, \hat{\boldsymbol{a}}, \hat{\boldsymbol{b}}, \hat{\boldsymbol{\mathcal{A}}}, \hat{\boldsymbol{\mathcal{B}}}\right) \tag{11}$$

with

$$\begin{cases} \hat{\boldsymbol{a}} = \left(1, 1, \mathbf{1}_q - \boldsymbol{b} - \boldsymbol{\mathcal{B}}, 1, 1\right) \\ \hat{\boldsymbol{b}} = \left(1, 1, \mathbf{1}_p - \boldsymbol{a} - \boldsymbol{\mathcal{A}}, 1, 0\right) \\ \hat{\boldsymbol{\mathcal{A}}} = \left(1, \frac{1}{\beta}, \frac{\alpha}{\beta}\boldsymbol{\mathcal{B}}, 1, \frac{\alpha}{2\beta}\right) \\ \hat{\boldsymbol{\mathcal{B}}} = \left(\frac{\alpha}{\beta}, \frac{1}{\beta}, \frac{\alpha}{\beta}\boldsymbol{\mathcal{A}}, \frac{\alpha}{2\beta}, 1\right). \end{cases} \tag{12}$$

*Example 1:* We consider that the random distance $R$ follows Rayleigh distribution with parameter $\sigma$ as

$$\begin{aligned} &R \sim \mathsf{Rayleigh}\left(\sigma\right) \\ &\overset{\mathrm{d}}{=} \mathcal{H}_{0,1}^{1,0}\left(\mathbf{P}_{\mathsf{Ray}} = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2}}, \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}, -, \frac{1}{2}, -, \frac{1}{2}\right)\right). \end{aligned} \tag{13}$$

Then, the CDF of first passage time $F_{\mathcal{T}}\left(t\right)$ in Theorem 1 can be reduced to

$$F_{\mathcal{T}}\left(t\right) = 1 - H_{5,4}^{2,3}\left(t^{-1}; \mathbf{P}_{\mathsf{fptcRay}}\right) \tag{14}$$

where the parameter sequence of $\mathbf{P}_{\mathsf{fptcRay}}$ is given by

$$\mathbf{P}_{\mathsf{fptcRay}} = \left(\frac{2}{\alpha}, \frac{\left(\sigma\sqrt{2}\right)^{\alpha/\beta}}{K^{1/\beta}}, \hat{\boldsymbol{a}}, \hat{\boldsymbol{b}}, \hat{\boldsymbol{\mathcal{A}}}, \hat{\boldsymbol{\mathcal{B}}}\right) \tag{15}$$

with

$$\begin{cases} \hat{\boldsymbol{a}} = \left(1, 1, 0, 1, 1\right) \\ \hat{\boldsymbol{b}} = \left(1, 1, 1, 0\right) \\ \hat{\boldsymbol{\mathcal{A}}} = \left(1, \frac{1}{\beta}, \frac{\alpha}{2\beta}, 1, \frac{\alpha}{2\beta}\right) \\ \hat{\boldsymbol{\mathcal{B}}} = \left(\frac{\alpha}{\beta}, \frac{1}{\beta}, \frac{\alpha}{2\beta}, 1\right). \end{cases} \tag{16}$$

## IV. Numerical Examples

The extraordinary effects of anomalous diffusion on the first passage time in Example 1 can be ascertained by referring to Fig. 1, where the CDF of first passage time in anomalous diffusion channel for the Rayleigh distance with $K = 10^{-10}[\mathrm{m}^2/\mathrm{s}]$ and $\sigma = 3.99 \times 10^{-6}$ is depicted when: i) $(\alpha, \beta) = (2, 1)$ for normal diffusion; ii) $(\alpha, \beta) = (2, 0.8)$ for subdiffusion; and iii) $(\alpha, \beta) = (1.8, 1)$ for superdiffusion. We observe that, in general, the anomalous diffusion has large dispersion in propagation compare to normal diffusion.

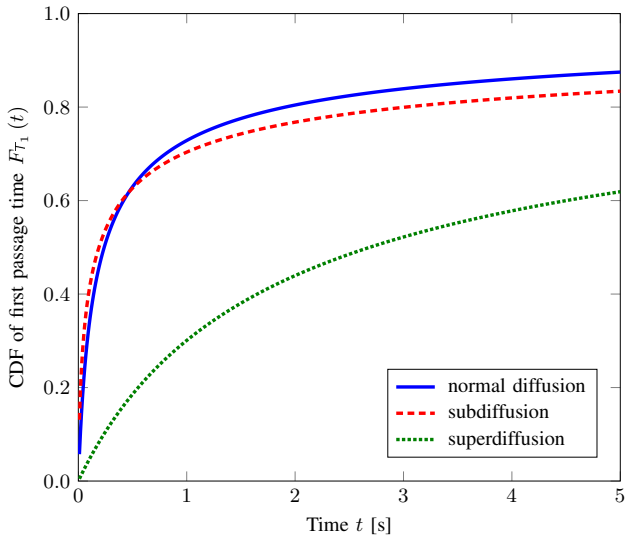



Fig. 1. CDF of first passage time in anomalous diffusion channel for the Rayleigh distance with $\sigma = 3.99 \times 10^{-6}$ for three diffusion cases: i) $(\alpha, \beta) = (2, 1)$ for normal diffusion; ii) $(\alpha, \beta) = (2, 0.8)$ for subdiffusion; and iii) $(\alpha, \beta) = (1.8, 1)$ for superdiffusion.

## Acknowledgment

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (2013-R1A1A2-019963).

## References

[1] K. V. Srinivas, A. W. Eckford, and R. S. Adve, "Molecular communication in fluid media: The additive inverse Gaussian noise channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, no. 7, pp. 4678–4692, Jul. 2012.

[2] N. R. Kim and C. B. Chae, "Novel modulation techniques using isomers as messenger molecules for nano communication networks via diffusion," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 31, no. 12, pp. 847–856, Dec. 2013.

[3] M. Pierobon and I. F. Akyildiz, "A statistical-physical model of interference in diffusion-based molecular nanonetworks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, no. 6, pp. 2085–2095, Jun. 2014.

[4] L. F. Richardson, "Atmospheric diffusion shown on a distance-neighbour graph," *Proc. Roy. Soc. A*, vol. 110, no. 756, pp. 709–737, Apr. 1926.

[5] A. Noel, K. C. Cheung, and R. Schober, "A unifying model for external noise sources and ISI in diffusive molecular communication," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 12, pp. 2330–2343, Dec. 2014.

[6] F. Mainardi, Y. Luchko, and G. Pagnini, "The fundamental solution of the space-time fractional diffusion equation," *Fract. Calc. Appl. Anal.*, vol. 4, no. 2, pp. 153–192, 2001.

[7] T. N. Cao, D. P. Trinh, Y. Jeong, and H. Shin, "Anomalous diffusion in molecular communication," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 10, pp. 1674–1677, Oct. 2015.

[8] Y. Jeong, H. Shin, and M. Z. Win, "$H$-transforms for wireless communication," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 61, no. 7, pp. 3773–3809, Jul. 2015.

# Low-Power Operating Quantum Key Distribution

Saad Qaisar, Junaid ur Rehman, Youngmin Jeong, and Hyundong Shin
Department of Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University, Korea
Email: hshin@khu.ac.kr

***Abstract*—In this paper, a power efficient quantum key distribution (QKD) protocol is presented. The objective of our protocol is to distribute a secret key between a server and a user, where the user needs to operate in low-power mode. Qubit generation will be done on the server end. To further preserve the power resources of the user, the bidirectional classical communication performed for adversary checking in other QKD protocols is shifted to server end only. Each qubit generated can be used as part of secret key. All the proposed equipment are practically implementable. The security of the protocol is guaranteed using laws of quantum physics.**

## I. Introduction

In the domain of communication, low-power operating mode is often needed to be selected by users. Specifically, in case of mobile communication, if the battery of user is about to end or if the user is operating at the edge of the cell, to preserve the power resources of the user, minimum signals should be transmitted from the user end. Similarly for ground to satellite communication or inter satellite communication, the power resources are given high cost weight-age. Therefore, there is a need to establish a secure and power efficient solution for a device having low power resource.

To securely transmit a message between two parties, there should be a common key shared between them. To distribute a secret key between two users the most famous protocol was proposed in 1984 by Bennett and Brassard known as BB84 protocol [1]. Many other protocols have also been proposed [2]–[4]. The security of these protocols are guaranteed by laws of quantum physics [5].

In this paper, we provide a solution to establish a secure communication link in a scenario where a user is operating in a low-power mode. The server is considered to have enough power resources to carry out most of the communication. The qubit generation step in QKD protocols of [2]–[4] needs the use of laser resources and hence has a high power cost. To save power resources of the user, all qubits will be generated by the server. The key $k$ to be established will be generated by the user, who will embed the key in the qubits sent by the server and will just loop back the qubits without performing measurement. Few of the incoming qubits will be measured by the user to perform security, but as compared to other QKD protocols [2]–[4] where there should be bidirectional classical communication between the key establishing parties, in our proposed solution, the server will announce this information for qubits not looped back to the server.

## II. Protocol

Our framework is similar to [6]. The difference is in the classical eavesdropper detection step. The user is operating in the low power mode operation. To send a message securely from the server end to the user there should be a secret share between the sender and receiver. To power efficiently send the key, the following protocol is proposed:

1) The server generates photons in different basis state, according to two different random generated strings $s$ and $B$, where $s \in \{0, 1\}$ and $B \in \{X, Z\}$ basis.
2) The server sends the photon to the user.
3) The user receives a photon and performs one of two task:
   a) Either the user will measure the photon in X or Z basis and saves the result that will be used for security checking.
   b) OR the user will perform encoding according to a uniform secret random generated key $k$. After encoding the user loops back the qubit to the server. The encoding will be performed according to below rules: To encode 0, I-gate (identity) is applied, to encode 1, Y-gate (Pauli-Y gate) is applied.

   In case of measurement performed by the user, the photon will not be looped back to the server as shown in Fig. 1. In time interval $t_4 - t_3$ the server didn't receive the qubit, so there can be two reasons for it, either the photon has been lost or the photon was measured by the user for security checking. To save user power consumption, instead of having a bidirectional conversation or the user himself announcing the result of his measurement, the server sends the classical information about the result the user should get if he has measured the qubit in correct basis. As shown in Fig. 1, the server did not receive photon within RTT, hence transmits classical results the user should get.
4) The server further announces the location of few of the qubits and their results. These results should match with the encoded values by the receiver in case of no Eavesdropping.
5) User calculates $Q_{\text{tolerance}}$, probability to abort the protocol. If $Q_{\text{tolerance}} < \varepsilon$, then the protocols continues, where $\varepsilon$ is the error rate calculated by measuring qubits in step 4.
6) In the final step server and user performs information reconciliation and privacy amplification to obtain the final secret key $k'$ of length less than $k$ .

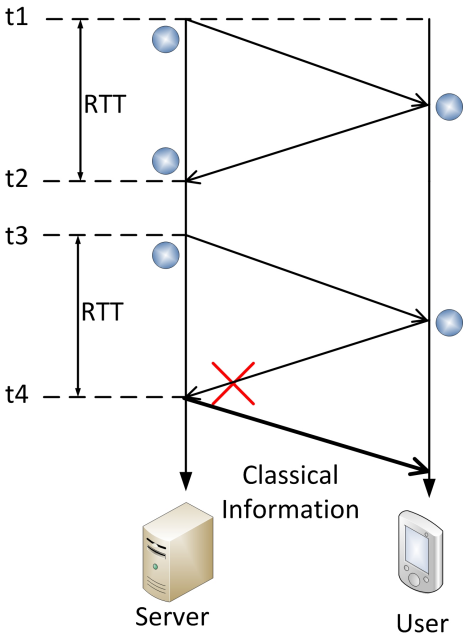



Fig. 1. Bidirectional communication between a server and a user.

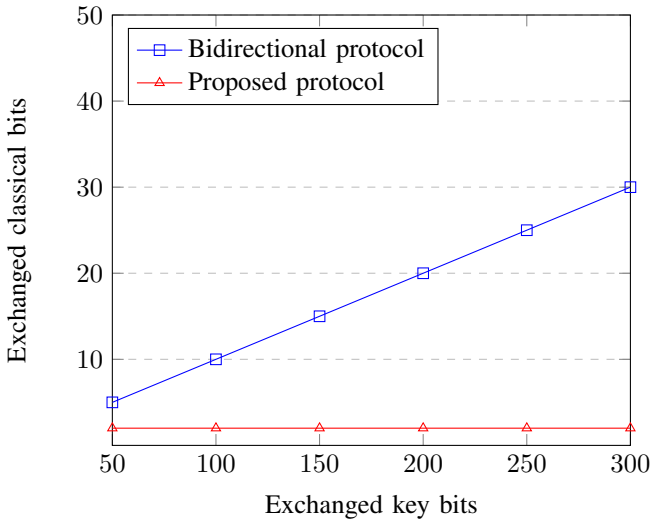



Fig. 2. Exchange classical bits as a function of exchanged key bits for bidirectional and proposed protocol.

## III. Conclusion

Fig. 2 represents the reduce in classical transmission as compared to [6] for case of a perfect uniform key of various lengths. The classical communication required in bidirectional protocol increases with the key length, whereas in our proposed protocol the classical communication required by the user is constant for any key length. The exchange classical message by the user is our proposed protocol is just to indicate the result of error detection performed to expose Eve.

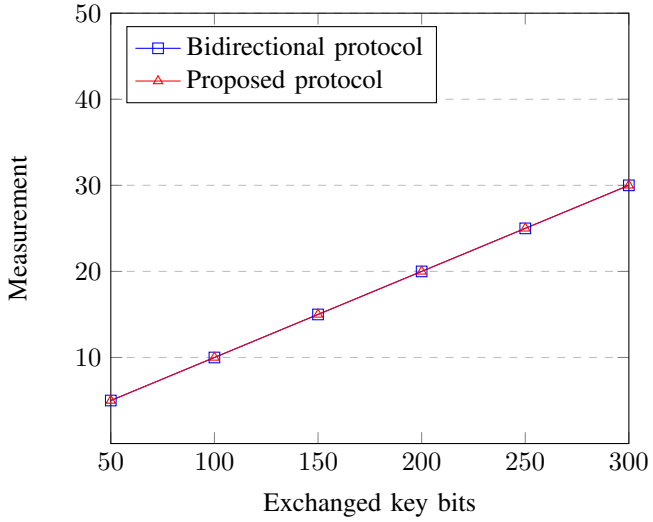



Fig. 3. Measurement operation needed in case of proposed protocol vs [6].

The measurement operations needed to perform by the user is same in our protocol as with [6] as shown in Fig. 3 . 10% of measurement is performed out of total exchange key bits between server and user for adversary detection.

## IV. Acknowledgment

This research was supported, in part, by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (2013-R1A1A2-019963), and the ICT R& D program of MSIP/IITP [R0190-15-2030, Reliable crypto-system standards and core technology development for secure quantum key distribution network].

## References

[1] C. H. Bennett and G. Brassard, "Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing," *Proceedings of the IEEE International Conference on Computers, Systems, and Signal Processing*, pp. 175–179, 1984.

[2] V. Scarani, A. Acin, G. Ribordy, and N. Gisin, "Quantum cryptography protocols robust against photon number splitting attacks for weak laser pulse implementations," *Physical review letters*, vol. 92, no. 5, p. 057901, 2004.

[3] H.-K. Lo, X. Ma, and K. Chen, "Decoy state quantum key distribution," *Physical review letters*, vol. 94, no. 23, p. 230504, 2005.

[4] H.-K. Lo, M. Curty, and B. Qi, "Measurement-device-independent quantum key distribution," *Physical review letters*, vol. 108, no. 13, p. 130503, 2012.

[5] P. Busch, T. Heinonen, and P. Lahti, "Heisenberg's uncertainty principle," *Physics Reports*, vol. 452, no. 6, pp. 155–176, 2007.

[6] F.-G. Deng and G. L. Long, "Bidirectional quantum key distribution protocol with practical faint laser pulses," *Physical Review A*, vol. 70, no. 1, p. 012311, 2004.

# 뇌전증 발작 탐지를 위한 뇌파의 적응적 멀티스케일 엔트로피 분석

최영석

광운대학교 전자통신공학과

# Adaptive Multiscale Entropy Analysis of EEG recordings for Detection of Epileptic Seizures

Young-Seok Choi

Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University

yschoi@kw.ac.kr

요 약

뇌전증은 가장 일반적인 신경 장애 질환으로써 일시적이고 예측불가능한 뇌의 전기적 불안전 상태로 인해 발생하게 된다. 뇌파 (EEG)는 뇌의 전기적 활동도를 평가하기 위해 사용되는 중요한 도구로 뇌의 여러 생체상태에 대한 정보를 내포하고 있다. 이러한 뇌파의 객관적 수치화를 위해 멀티스케일기반의 정보량을 추출할 수 있는 적응적 멀티스케일 엔트로피 기법을 제안한다. 본 제안 기법은 뇌파의 태생적인 멀티스케일 특징을 추출하기 위한 Empirical mode decomposition 기법을 사용하고 그 결과물의 엔트로피를 구하는 과정으로 구성된다. 뇌전증 뇌파와 정상 뇌파의 차이점을 효과적으로 구분함으로써 뇌전증 발작의 탐지의 효과적인 결과를 보여준다.

## 1. Introduction

Epilepsy is a chronic disorder of the central nervous system that predispose individuals to experiencing recurrent seizures [1][2]. Seizure detection is often accomplished through quantitative analysis of EEG as an effective diagnosis tool of epilepsy. A number of entropy measures have been utilized for dealing with nonlinearity and nonstationarity in EEG. Entropy is a measure of the complexity or the regularity of a time series, thus being able to describe nonlinear dynamics. The permutation entropy (PE) has been promising tool for analyzing EEG signals [3]. However, PE is based on single scale computation, thus fail to represent the characteristics across multiple temporal scales. We present a multiscale framework of entropy measure by incorporating intrinsic mode functions from the empirical mode decomposition (EMD) [4] into computing PE.

## 2. Adaptive Multiscale Entropy

### A. Permutation Entropy (PE)

PE is a parameter that can quantify the organization degree of a given time series [5]. The time series is transformed into a series of ordinal patterns. Based on the counting of ordinal patterns, PE quantifies the relative frequencies of occurrence of the distinct ordinal patterns.

For a given time series $\{x(i), i = 1,\ldots,N\}$, we can embed the time series in a *m*-dimensional space to obtain a reconstruction vector $\mathbf{X}(i) = [x(i), x(i+\tau),\ldots,x(i+m\tau)]$, where $m$ is the embedding dimension, and $\tau$ is the time lag. Then, $\mathbf{X}(i)$ is arranged in an increasing order of magnitude as $\mathbf{X}(i) = [x(i+(j_1-1)\tau),\ldots,x(i+(j_m-1)\tau)]$ where $x(i+(j_1-1)\tau) \le \ldots \le x(i+(j_m-1)\tau)$. Accordingly, any vector $\mathbf{X}(i)$ can be mapped onto a group of symbols as $S(g) = [j_1, j_2,\ldots,j_m]$, where $g = 1,2,\ldots,k$, for $k \le m!$. When each permutation is thought as a symbol, then the vector $\mathbf{X}(i)$ is represented by a symbol sequence. Then PE is formulated as $\mathrm{PE}(m,\tau) = -\sum_{g=1}^{k} P_g \ln P_g$, where $P_g$ is a probability distribution for the distinct symbols such that $\sum_{g=1}^{k} P_g = 1$, where $k \le m!$.

## B. Empirical Mode Decomposition

EMD extracts the highest frequency oscillation from the underlying time series, referred to as an intrinsic mode function [4]. The remaining part after the extraction contains lower frequency oscillatory components.

Let $s(i)$ denote the raw sampled EEG signal. Then EMD is composed of the followings:

1) Identify all the local maxima and minima of $s(i)$.

2) Interpolate between local maxima and minima respectively, getting an upper envelope $e_u(i)$ and a lower envelope $e_l(i)$.

3) Compute the mean between $e_u(i)$ and $e_l(i)$, i.e., $\mu(i) = [e_u(i) + e_l(i)]/2$.

4) Subtract the mean from the original signal $d(i) = s(i) - \mu(i)$.

5) Repeat steps 1-4 until $d(i)$ satisfies the above two criteria to be an IMF. If $d(i)$ satisfies conditions, it becomes the first IMF that contains the finest temporal scale in the signal. Also denote as $d_1(i)$.

6) Compute the residue $r_1(i) = s(i) - d_1(i)$.

Iterate through steps 1)-6) with $r_1(i)$ instead of $s(i)$ until the residue satisfies some stopping criterion. A commonly used stopping criterion is the sum of difference. After the whole process, the EEG signal $s(i)$ is represented as

$$s(i) = \sum_{k=1}^{K} d_k(i) + r_K(i) \quad (1)$$

where $K$ is the number of all extracted IMFs, $d_k(n)$ is the $k^{\text{th}}$ IMF, and $r_K(n)$ is the final residue. The last residue $r_K(n)$ can be considered as the last IMF. From eq. (1), it is evident that EMD is complete, i.e., $s(n)$ can be reconstructed from the resulting IMFs and the final residue.

## C. Adaptive Multiscale Permutation Entropy (AMPE)

The proposed AMPE measure is calculated as follows:

1) Perform the EMD to obtain IMFs of EEG.

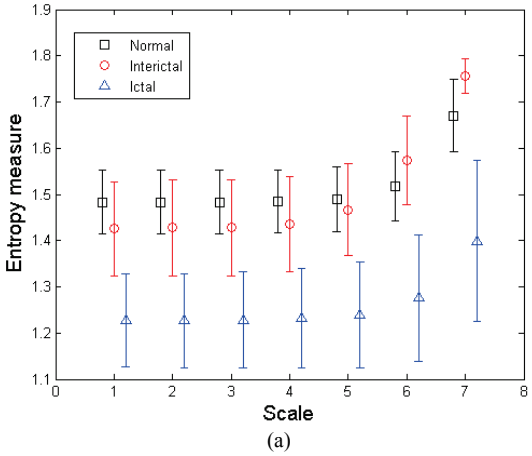
2) Select the adaptive scales of EEG by consecutively getting rid of the low frequency IMFs, starting from the last IMF such as $S^k = \sum_{i=1}^{N+1-k} \text{IMF}_i, k \le N$.

3) The AMPE is obtained by adopting PE over each scale, which is given by

$$\text{AMPE}(k, m, \tau) = \text{PE}(S^k, m, \tau) \quad (2)$$

## 3. Results and Conclusions

This study used an EEG dataset which is publicly available online for epilepsy research literature [6]. The sets N and F have been recorded in seizure-free intervals from five patients in the epileptic zone (set F) and from the hippocampal formation of the opposite hemisphere of the brain (set N), which are referred to as interictal EEG recordings. Finally, the set S has been taken in ictal periods from patients, containing seizure activity. All EEG signals were sampled with 173.61 Hz using 12-bit A/D resolution and ranges in the spectral bandwidth from 0.5 to 85 Hz. Here, $m = 3, \tau = 1$ are chosen in this study. Fig. 1 represents the entropy estimation results of AMPE with 4 sec window. It shows that AMPE is able to discriminate three neurological states across multiple temporal scales. In addition, the entropies of normal EEG recording were higher than those of ictal recordings. Experimental results using normal and epileptic EEG signals have confirmed that the AMPE measure serves as a reliable monitoring tool for detecting epilepsy seizure using EEG.



(a)

Fig. 1. Sample EEG recordings of three states. (a) normal EEG signal (Group Z). (b) interictal (seizure-free) EEG signal (Group N). (c) ictal (seizure) EEG signal (Group S).

## 4. Reference

[1] K. Lehnertz, F. Mormann, T. Kreuz, R. G. Andrzejak, C. Rieke, P. David, *et al.*, "Seizure prediction by nonlinear EEG analysis," *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE,* vol. 22, pp. 57-63, 2003.

[2] E. R. Kandel, J. H. Schwartz, and T. M. Jessell, *Principles of neural science* vol. 4: McGraw-Hill New York, 2000.

[3] N. Nicolaou and J. Georgiou, "The use of permutation entropy to characterize sleep electroencephalograms," *Clinical EEG and Neuroscience,* vol. 42, pp. 24-28, 2011.

[4] N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, M. C. Wu, H. H. Shih, and Q. Zheng, "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," *Proceedings: Mathematical, Physical and Engineering Sciences,* vol. 454, pp. 903-995, 1998.

[5] C. Bandt and B. Pompe, "Permutation entropy: a natural complexity measure for time series," *Physical Review Letters,* vol. 88, p. 174102, 2002.

[6] R. G. Andrzejak, K. Lehnertz, F. Mormann, C. Rieke, P. David, and C. E. Elger, "Indications of nonlinear deterministic and finite-dimensional structures in time series of brain electrical activity: dependence on recording region and brain state," *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys,* vol. 64, p. 061907, Dec 2001.

# Consideration Issues for MIMO Camera Communications

N.T. Le, M. A. Hossain, A. Islam, C.H. Hong, T. Nguyen, Thithanhnhan Le and Y.M. Jang

Department of Electronics Engineering, Kookmin University

yjang@kookmin.ac.kr

## Abstract

The multiple-input-multiple-output (MIMO) technique for optical camera communication (OCC) is a solution for enhancing the data rate performance. Keeping similarity to the original MIMO concept in RF communication, the multiple elements of the light emitting array and cell demodulation in display devices are broadcasted through the optical channel. Every cell will modulate for one bit-stream. The pixels in camera image are viewed as an array of high directional received elements. This paper will discuss some consideration issues for transmitter design and receiver configuration.

## 1. Introduction

Optical Camera Communication (OCC) is a new approach for visible light communication (VLC). OCC technique inherits and takes advantage of VLC without any modification and increment in the cost of hardware of for the receiver. The main cost of OCC system depends on the built-in camera controlling software. The architecture of OCC system is shown in Figure 1. Currently, it is one candidate for revision specification of IEEE 802.15.7 visible light communication standard [1]. One of the most consideration limitations of OCC is data rate. With the common commercialize camera or webcam, the sampling frame rate is 30 or 60 fps. At this rate, the throughput of OCC system is only a few bits on the traditional modulation scheme. For data rate enhancement, MIMO is the best solution. Similarly, with traditional MIMO concept, MIMO OCC is implemented base on multiple transmitter light source. All light sources will send independent data stream. At the receiver, the MIMO streams are represented by a group of color pixels in the captured image. Using computer vision algorithm, the image is classified into independent streams and decoded to original data. Figure 2 shows the architecture of MIMO OCC. In this paper, we will discuss the consideration issues of MIMO camera communication includes transmitter design and receiver.

## 2. OCC Consideration Issues

### 2.1 OCC receiver

With the current development status of semiconductor, camera image sensor is categorized in two modes: global shutter and rolling shutter. The architecture and image generating the process of two techniques are different as Figure 3, so their performances are also different. With global shutter, all pixels absorb the light at the same time. This technique can apply for MIMO scenario easily. With rolling shutter, the image is captured by pixel rolls. Therefore, the MIMO technique can be applied to the low rate transmission. However, the channel model is a critical issue for the MIMO technique of OCC that has not been discussed in this paper.

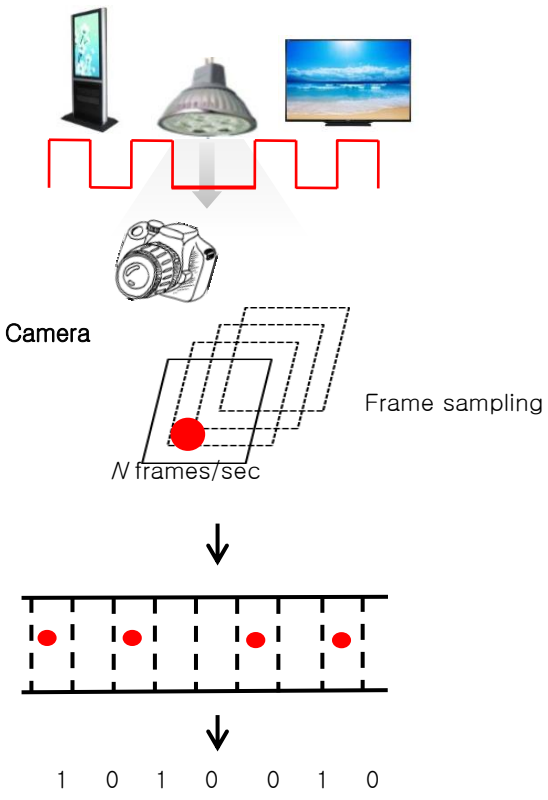



Figure 1. OCC architecture.

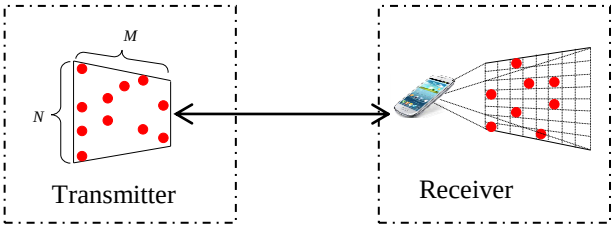



Figure 2. MIMO OCC

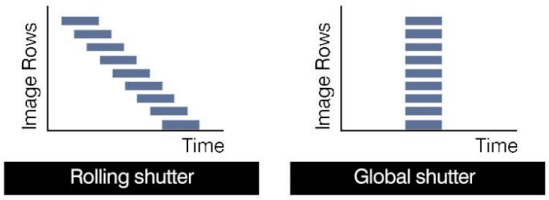



Figure 3. MIMO OCC [3]

## 2.2 OCC Transmitter

One of the most important considerations for MIMO design is the effect of image resolvability. Depending on the link distance, the captured image is considered as MIMO topology or diversity topology as Figure 4. For different application service scenario, the minimum separation distance between two cells must be considered for MIMO scenario or diversity scenario.

Figure 4. MIMO OCC

## 3. Conclusion

OCC MIMO is an important issue in the revision of the 802.15.7 specifications. This paper has given a reference model for the consideration issues for MIMO OCC.

## Acknowledgements

This work was supported by the Technological Innovation R&D Program (S2175838) funded by the Small and Medium Business Administration (SMBA, Korea).

## References

[1] IEEE 802.15.7 Standard for Local and Metropolitan area networks. (2011). Part 15.7: Short-range Wireless Optical Communication Using Visible Light.

[2] Rolling Shutter vs. Global Shutter, Technical Note, www.qimaging.com, 2014.

# Opportunities from Invisible Watermarking for Device-to-Device Communication

Mohammad Arif Hossain°, A. Islam, N. T. Le, T. Nguyen, C. H. Hong and Yeong Min Jang
Department of Electronics Engineering, Kookmin University
yjang@kookmin.ac.kr

## 1. Introduction

The world has observed a revolutionary change in the field of technology lately. Device-to-device (D2D) communication is one of the recent invention that has contributed in the change. The continually growing demand for higher data rate and bandwidth capacity has brought the idea of D2D communication in the next generation 5G network. The D2D communication of the 5G network has proposed for the purpose of cooperative communication [1]. This cooperative communication helps the devices to share the information by relaying among the devices that results in a spatial diversity. Most of the challenging issue of the RF networks is the bandwidth limitation. However, the optical wireless communication (OWC) can be one of the good candidate for recovering the bandwidth problem of the RF networks since the optical band spectrum is free of cost. In addition, the optical communication is free from electromagnetic interference that is safe for human health. Inheriting the advantages of the OWC technology, invisible watermarking has emerged one of the promising area for the D2D communication. There is no need to modify the hardware for the invisible watermarking based communication. The light emitting devices such as display, monitor, digital signage etc. are used as the transmitter and the image sensor such as camera are deployed as the receiver for this communication. The device-to-device communication has been proposed based for display based on the OWC previously [2]. However, this communication technology is not free from limitation. The illumination from other lighting devices and the environmental illumination can cause interference during the communication [3]. The opportunities of the invisible communication for the D2D communication has been explained in the next section.

## 2. Scopes for D2D communication

The invisible watermarking has paved the way for the D2D communication that is operated based on OWC technology. The invisible watermarking has several advantages to use for D2D communication over the RF technology. The most effective point of the invisible watermarking is that it uses the optical band spectrum that is license-free. Besides, the dual use of the display or light emitting device has added more importance for the D2D communication. For instance, the transmission of data is quite feasible during broadcasting of the advertisement in the digital signage. In addition, the system is cheap and electro-magnetic radiation free.

The D2D communication can be of two basic types such as (a) direct communication and (b) relay operation. The direct communication is one of the important feature of the

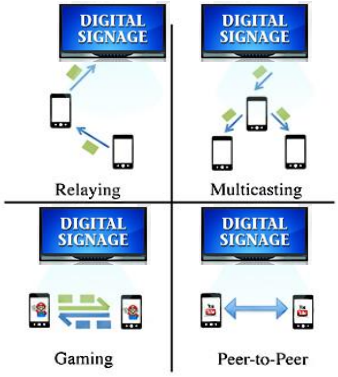



**Figure 1:** Illustration of device-to-device (D2D) communication based on relaying operation.

invisible watermarking in which all of the devices need image sensor to receive data and display to transmit data. On the contrary, the relay operation is likely to work when there is a display to transmit data and image sensor to receive data and relay the data to other devices. Various operations for the D2D communication has been illustrated in Fig. 1. The relay, multicasting, peer-to-peer communication are the favorable ways for the D2D based communication.

## 3. Conclusion

The invisible watermarking can be one of the promising ways for the D2D communication because the benefits of this technology have exceeded its restrictions and this technology is easy to deploy with the existing architecture.

## Acknowledgment

This research was supported by a grant from the Fundamental R&D Program for Technology of Materials & Components funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy, Republic of Korea.

## 4. References

[1] M. N. Tehrani, M. Uysal and H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions," in *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 86-92, 2014.

[2] Mohammad Arif Hossain, Y. T. Lee, H. Lee, W. Lyu, C. H. Hong, T. Nguyen, N. T. Le, and Y. M. Jang, "A Symbiotic Digital Signage system based on display to display communication," in *Proc. IEEE ICUFN*, pp. 124-128, 2015.

[3] Mohammad Arif Hossain, C. H. Hong, M. S. Ifthekhar and Yeong Min Jang, "Mathematical modeling for calibrating illuminated image in image sensor communication," in *Proc. IEEE ICTC*, pp. 797-800, 2015.

# 콘텐츠 중심의 LTE 이동망에서 비디오 스트리밍 성능평가

권성혁°, 정성호

한국외국어대학교 정보통신공학과

# Performance Evaluation of Video Streaming in the CCN-based LTE Mobile Networks

Seong-Hyuck Kwon°, Seong-Ho Jeong

Department of Information and Communications Engineering

Hankuk University of Foreign Studies, Korea

{seonghyuck99, shjeong}@hufs.ac.kr

## 요 약

CCN(Content-Centric Networking) 은 콘텐츠의 이름을 토대로 콘텐츠에 접근하는 새로운 네트워킹 패러다임이다. 본 논문에서는 CCN 을 LTE 이동망에 적용하여 단말이 이동하는 무선환경에서 비디오 스트리밍 서비스를 제공하는 구조를 제시하고 그 성능을 평가한다. 성능측정을 위해 탭 브리지와 DCE (direct code execution) 기반의 시뮬레이션을 사용하는데, DCE 는 실제 머신과 애플리케이션, 그리고 네트워크 시뮬레이터를 통합하는 역할을 한다. 제시된 시뮬레이션 프레임워크는 다양한 유무선망의 성능평가에 활용이 가능하다.

## Ⅰ. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿 PC 와 같은 이동 기기들의 수가 급격히 증가함에 따라 무선 인터넷에 접속해 고품질 이미지와 고화질 비디오 등 대용량 멀티미디어를 전송하는 경우들이 많아져 트래픽의 양이 폭발적으로 증가하고 있으며, 이로 인해 콘텐츠의 고속 전송이 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 미래 인터넷 기술 중 효율적이며 고속의 응답 속도를 제공할 수 있는 콘텐츠 중심 네트워킹 (Content-Centric Networking: CCN) [1]이 각광받고 있다.

CCN 은 호스트 중심의 구조가 아닌 콘텐츠 이름을 기반으로 한 새로운 네트워킹 패러다임이다. CCN 을 이용하여 사용자는 원하는 콘텐츠의 저장 위치를 알 필요 없이 콘텐츠를 신속하고 안전하게 전달받을 수 있다. CCN 노드는 데이터 캐싱을 제공하여 콘텐츠를 요청하는 인접한 클라이언트에게 고속으로 해당 콘텐츠를 전달할 수 있다. CCN 노드는 두 가지의 메시지 타입을 정의하고 있다. 하나는 콘텐츠를 요청하기 위한 Interest 패킷으로 원하는 콘텐츠 이름이 포함되어 망으로 전송된다. Interest 패킷을 수신한 CCN 노드는 콘텐츠 이름을 확인하고 해당 콘텐츠(데이터)가 있으면 Data 패킷에 담아 클라이언트에게 응답한다.

CCN 노드는 포워딩 엔진을 가지고 있는데, 이 포워딩 엔진은 FIB(Forwarding Information Base), CS(Content Store), PIT(Pending Interest Table)로 구성된다. FIB 는 Interest 를 포워딩할 인터페이스 정보를 가지고 있고, PIT 는 콘텐츠 요청 메시지인 Interest 의 기전달 여부를 기록한다. CS 는 콘텐츠를 캐싱하는 저장소이다.

본 논문에서는 단말이 이동하는 상황에서 안정적인 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 CCN 을 LTE 망에 적용하는 구조를 제시하고 그 성능을 평가한다. 제 II 절에서는 비디오 스트리밍 서비스를 지원하는 CCN 기반의 LTE 망의 구조를 제시하고 성능평가 환경을 기술한다. 제 III 절에서는 제시된 구조를 기반으로 한 성능을 측정하고 분석하며, 제 IV 절에서는 결론을 제시한다.

## Ⅱ. CCN 기반 LTE 이동망에서의 실시간 비디오 스트리밍

### A. 구조 및 실험 환경 구축

그림 1 은 CCN 기반 LTE 이동망에서 비디오 스트리밍을 제공하는 구조를 나타내고 있으며, 실제 성능평가를 위한 시뮬레이션 테스트베드의 모습을 나타내고 있다. 3 대의 실제 컴퓨터를 사용하고 있으며, 각 컴퓨터는 비디오 스트리밍 서버, 클라이언트, 그리고 네트워크 시뮬레이션을 수행한다. 성능비교를 위해 두 가지 환경을 구성하였는데, 하나는 LENA 에서 제공하는 기

존 LTE 망이고 다른 하나는 CCN 기반의 LTE 망이다. 그림 1 에 나타낸 PC1 은 서버 기능을 수행하고, PC2 는 시뮬레이션 환경을 제공하며, PC3 은 콘텐츠를 요청하고 제공받는 클라이언트(UE) 기능을 수행한다.

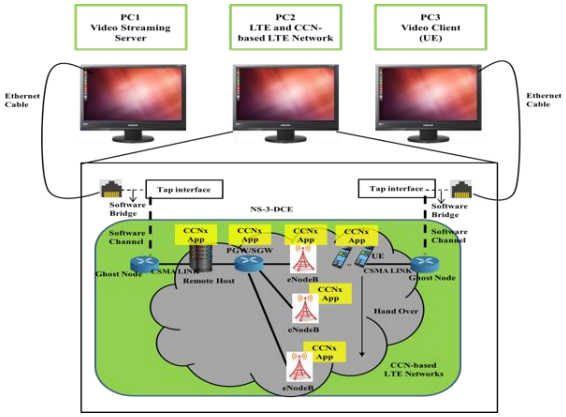



그림 1. CCN 기반 LTE 망 시뮬레이션 환경

B. 실제 머신과 시뮬레이터의 연결

현재 널리 사용되고 있는 네트워크 시뮬레이터인 NS-3 는 LTE 망 시뮬레이션을 위해 외부 머신과의 직접적인 연결을 지원하지 않기 때문에, 본 논문에서는 라우팅 기능을 수정하여 비디오 스트리밍 서버가 그림 1 과 같이 LTE 모듈을 통해 클라이언트(UE) 와 연결될 수 있도록 하였다. 또한 시뮬레이터 내의 노드는 CCNx 애플리케이션을 직접 이용할 수 있도록 DCE (direct code execution) 환경을 사용하였는데, DCE 는 실제 머신과 애플리케이션, 그리고 네트워크 시뮬레이터를 통합하는 역할을 한다.

C. 망 토폴로지와 시나리오

성능평가를 위한 망 토폴로지는 원격호스트와 PGW/SGW, 3 개의 eNodeB, 10 대의 UE 로 구성된다. 그 중 실제 머신과 연결된 UE 는 50m/s 의 속도로 500m 떨어진 eNodeB 들 사이를 통과하는 시나리오를 적용하여 이동 중 LENA 기반의 LTE 망과 CCN 기반의 LTE 망에서 비디오 스트리밍 성능을 각각 측정한다.

## III. 성능 평가

CCN 기반의 LTE 망과 기존 LTE 망의 성능을 측정하고 비교 분석하기 위해 본 논문에서는 그림 1 의 테스트베드를 사용하였다. UE 의 수를 증가시키면서 모든 UE 가 동일한 콘텐츠를 동시에 요청하도록 하였고, 실제 머신과 연결된 UE 는 50m/s 의 속도로 500m 떨어진 eNodeB 들 사이를 통과하면서 2 회의 X2 핸드오버가 발생하는 환경에서 비디오의 품질을 측정하였다. 그림 2 와 그림 3 에서 알 수 있듯이 CCN 기반의 LTE 망에서 양질의 비디오 스트리밍 서비스가 제공되는 것을 알 수 있다.

그림 2. LTE 망에서 측정한 비디오 품질

그림 3. CCN 기반 LTE 망에서 측정한 비디오 품질

## IV. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 CCN 기반의 LTE 망에서 비디오 스트리밍 서비스를 제공하고 성능을 측정하는 시뮬레이션 테스트베드의 구조를 제시하였다. 아울러, 제시한 구조의 성능을 측정하고 기존 구조와 비교 분석하였다. 분석결과, CCN 기반의 LTE 망에서 측정한 비디오 품질이 더 좋은 것을 확인하였는데, 이는 CCN 노드가 LRU 방식으로 콘텐츠를 캐싱하여, 이동중인 UE 의 X2 핸드오버 시 eNodeB 와 PGW/SGW 에 캐싱된 콘텐츠를 사용하기 때문이다. 제시된 시뮬레이션/에뮬레이션 구조는 다양한 시나리오에서 미래 인터넷 등의 비디오 품질 개선을 위한 효과적인 도구로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0101-16-0033, CCN 기반의 다차원 scalability 를 활용한 5G 이동통신 기술 연구개발)

## 참고 문헌

[1] V.Jacobson, et al, “Networking Named Content”, in Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies, ser. CoNEXT ’09. New York, NY, USA:ACM, 2009.

[2] Abdurrahman Fouda, Ahmed N. Ragab, Ali Esswie, Mohamed Marzban, Amr Naser, Mohamed Rehan, Ahmed S. Ibrahim “Real-Time video Streaming over NS3-based Emulated LTE Networks”. IJECCT ,2014, Volume 4 Issue 3 May 2014.

# 모바일 센서네트워크에서 아두이노를 이용한 압축센싱기법 기반의 저전력 데이터 전송 시스템 구현

홍지연°, 권정민, 박형곤
이화여자대학교 전자공학과
{jiyeons77, jungmin.kwon}@ewhain.net, hyunggon.park@ewha.ac.kr

## 1. 서론

최근 사물들이 지능적으로 정보를 주고받는 사물 인터넷 환경이 발전함에 따라 이동성이 높은 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 특히, 사물 인터넷은 기존의 고성능 스마트 단말과는 달리 저가의 배터리 기반 저사양 센서 기능을 수행하는 단순단말로 구성되는 특징을 가지므로 저전력으로 데이터를 송수신하는 연구는 매우 중요하다. 이에 따라 압축센싱기법(Compressed Sensing)을 이용하여 높은 안전성과 저전력 통신을 보장하는 모바일 센서네트워크에서의 데이터 전송 기법에 관한 연구가 진행되어 왔다 [2]. 본 논문은 아두이노를 활용하여 압축센싱기법을 이용한 모바일 센서네트워크에서 저전력으로 데이터를 송수신하는 방법에 관한 구현 시스템에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 제안 시스템

본 논문은 지역적으로 넓게 분포된 이동성이 높은 단순 단말들로부터 높은 안전성과 저전력으로 데이터를 통신하는 아두이노 기반의 시스템 구현에 관한 논문이다. 배터리를 이용하여 동작하는 단순 단말의 소모 전력 중 대부분은 데이터 전송 시 발생하는 것으로 알려져 있으며 특히 데이터의 전송 거리가 멀어짐에 따라 소모되는 전력의 양은 제곱배로 증가하게 된다. 따라서 본 논문은 [2]에서 제안된 것과 같이 싱크노드를 중심으로 전송 가능 범위를 설정함으로써 각 기기에서 데이터를 전송할 때 발생되는 전송 소모 전력을 최소화하고 압축 센싱 기법을 이용하여 모든 데이터를 근사적으로 복원 가능한 시스템을 구현하고자 한다.

본 시스템은 $N$개의 이동성을 가진 기기들에 대하여 자연 정보를 습득하는 특징에 따라, 전송할 데이터 $\boldsymbol{P}$는 센서로부터 수집한 데이터 $\boldsymbol{X}$와 해당 센서 값의 위치를 나타내는 GPS 값 $\boldsymbol{Y}$로 구성된다. $n$번째 센서에서 수집한 $j$번째 데이터 $\boldsymbol{P}_n^{(j)}$는 그림 1 과 같이 $l$ bit 의 센서값 $\boldsymbol{X}_n^{(j)}$과 $k$ bit 의 GPS 값 $\boldsymbol{Y}_n^{(j)}$을 포함한다.

각 기기의 행동양식은 데이터 수집부와 위치 이동부로 구성된다. 데이터 수집부에서 각 기기들은 일정한 $L$시간동안 $i$개의 데이터를 수집한다. 이 때 수집한 데이터는 싱크노드로 전송하지 않는다. 이후 위치 이동부에서 각 기기들은 일정한 $m$시간 동안 이동을 하며, 이동을 하는 가운데 싱크노드와의 지리적 거리를 측정한 후 전송한계범위와 비교하여 범위 내에 들어올 경우 데이터 패킷을 전송한다.

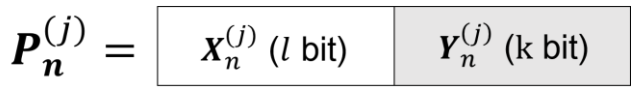



**그림 1. $n$번째 단말기기의 메모리에 저장되는 데이터 패킷 형태**

전송한계범위는 싱크노드를 중심으로 Γ만큼 떨어진 지역 이내를 나타내며, 각 기기는 GPS 모듈을 통해 추출한 경도와 위도 값을 이용하여 다음과 같은 수식을 바탕으로 싱크노드로부터의 거리를 계산한다.

$$d_n = \text{acos}(\sin\varphi_0 \times \sin\varphi_n + \cos\varphi_0 \times \cos\varphi_n \times \cos(\lambda_0 - \lambda_n)) \times \frac{180}{\pi} \times 60 \quad (1)$$

이때, $d_n$는 $n$번째 기기에 대한 싱크노드와의 거리, $\varphi_0$과 $\lambda_0$는 각각 싱크노드의 위도와 경도 값, $\varphi_n$과 $\lambda_n$는 각각 $n$번째 기기의 위도와 경도 값을 나타낸다. 이를 통하여 계산한 $n$번째 기기와 싱크노드 사이의 거리 $d_n$은 전송한계범위 Γ와 비교하여 $d_n < (\Gamma + \varepsilon)$일 경우 데이터 $\boldsymbol{P}$를 전송한다. 한편, 본 구현에서는 $\varepsilon = 0$으로 가정하였다. 이후 싱크노드는 논문 [2]의 '2.2 데이터 수집 및 복호화 방법 알고리즘'을 바탕으로 수신 받은 데이터 패킷을 게이트웨이로 전송하고, 최종적으로 게이트웨이에서 이를 근사복원한다.

## 3. 결론

본 논문에서는 아두이노 보드를 활용하여 자연 데이터를 수집하는 센서와 GPS 모듈을 기반으로 하는 저전력 데이터 전송 시스템을 구현하고 유효성을 검증하였다. 이를 통하여 전송 한계 범위를 설정함으로써 전송 소비 전력을 감소시키고 최종적으로 압축센싱기법을 이용하여 전송한계범위 밖의 데이터를 전송하지 않는 경우에 대하여도 근사적으로 데이터 복원이 가능 한 것을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터 대학 ICT 연구센터 육성지원사업(IITP-2015-H8501-15-1007)의 지원을 받아 수행되었으며, 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. NRF-2014R1A2A1A11051257)을 받아 수행된 연구임.

## 참고 문헌

[1] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," Future Generation Computer Systems, vol. 29, pp. 1645-1660, Sep. 2013.

[2] 권민혜, 권정민, 박형곤, "모바일 센서네트워크에서 압축센싱기법을 이용한 저전력 데이터 전송 방법," 제 24 회 통신정보 합동학술대회, 2014 년 4 월.

# 베조종결식을 이용한 3 차원 위치추적알고리즘의 GPU 병렬화 성능분석

이호철°[1], 이동명 [2]

소나테크㈜[1], 동명대학교 컴퓨터공학과 [2]

# Performance Analysis of the GPU-based Parallel Processing for 3D-Localization Algorithm with Bezout Resultant

Ho-Chul Lee°[1], Dong Myung Lee[2]

SonaTech[1], Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University[2]

calmtot@gmail.com[1], dmlee@tu.ac.kr[2]

## 요 약

본 논문에서는 4 개의 비콘을 이용한 3 차원 위치추적 방법에 대해 논하고, 다변수연립고차방정식의 효과적인 풀이를 위한 베조 종결식 기반 실베스터 행렬식을 소개한다. 이 때 행렬식 연산에 의해 발생하는 시스템 성능저하 문제는 병렬논리구조의 GPGPU 기법을 적용하여 해결하였고, 시스템의 성능을 단일논리 시스템과 비교 분석하였다. GPGPU 기법을 적용한 병렬논리 시스템 수행속도는 단일논리 시스템보다 약 430% 정도 향상됨을 확인하였다

## 1. 베조 종결식 기반 3 차원 위치 추적 개요

본 논문에서는 3 차원 위치추적을 하기 위해 4 개의 비콘을 이용한 위치추적 방법에 대해 논한다. 각 비콘과 이동물체와의 거리를 이용해 아래 표 1 과 같이 한 점의 좌표를 도출할 수 있다[1].

표 1. 4 개의 비콘을 이용한 위치추적 과정

| Intersection | Equivalency | Result |
|---|---|---|
| Two spheres | Circle | Circle |
| Three spheres | Circle ∩ Spheres | Two points |
| Four spheres | Two points ∩ Spheres | One point |

위의 표를 기반으로 4 개의 비콘을 이용한 3 차원 위치추적시스템에서 위치추정에 필요한 연립방정식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}+ct_B=d_1 \\ \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2}+ct_B=d_2 \\ \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2}+ct_B=d_3 \\ \sqrt{(x-x_4)^2+(y-y_4)^2+(z-z_4)^2}+ct_B=d_4 \end{cases}$$

미지수 $x, y, z$는 위치를 추정하고자 하는 이동 물체의 좌표이며 각 방정식은 이 미지수를 중점으로 가지는 구의 방정식이다. 여기서 시스템 처리 지연시간으로 인한 오차가 발생하므로 지연시간만큼 거리보상을 하여야 한다. 보상 값인 $ct_B$는 빛의 속도와 수신 클럭의 오프셋을 곱한 거리 값이다[2].

4 개의 비콘에서 측정된 거리를 기반으로 기하학적인 관점에서 살펴보면, 아래의 그림 1 과 같이 구 A 와 B 의 방정식을 연립할 경우 C 의 원의 방정식을 도출 할 수 있다.

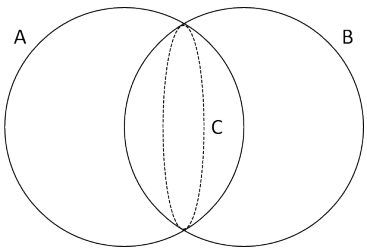



그림 1. 2 개의 구의 연립

다음으로 원의 방정식 C 를 3 번째 구의 방정식 D 와 연립하면 아래의 그림 2 와 같이 2 개의 점 E, F 를 구한다.

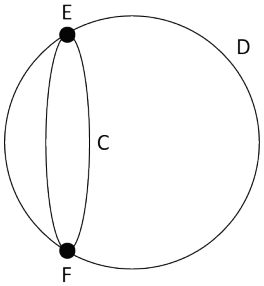



그림 2. 1 개의 원과 1 개의 구의 연립

마지막으로 두 점 E, F 를 4 번째 구의 방정식 G 와 연립하면 아래의 그림과 같이 한 점 H 를 구해 추적좌표를 결정한다.

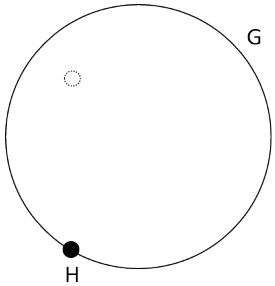



그림 3. 2 개의 점과 1 개의 구의 연립

일반적인 연립일차방정식은 오일러, 가우스 소거법으로 여러 미지수 중 특정 미지수를 소거하고 간단한 연립체계를 구축하여 근을 구할 수 있지만, 3 차원 좌표를 구하기 위한 연립방정식은 다변수연립고차방정식이므로 이러한 방법을 사용하는 것은 효과적이지 않다. 따라서 베조의 종결식을 적용하여 아래와 같은 실베스터 행렬식으로 해결할 수 있다 [3][4].

$$f(x) = a_m x^m + \cdots + a_1 x + a_0, \quad g(x) = b_n x^n + \cdots + b_1 x + b_0$$

$$Syl(f,g) = \begin{bmatrix} a_m & a_{m-1} & \cdots & \cdots & a_1 & a_0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_m & a_{m-1} & \cdots & a_2 & a_1 & a_0 \\ b_n & b_{n-1} & \cdots & b_1 & b_0 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots & \vdots & \ddots & & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & b_n & b_{n-1} & \cdots & \cdots & b_2 & b_1 & b_0 \end{bmatrix}$$

그러나 이와 같은 실베스터 행렬식은 다량의 행렬식 연산을 요구하므로 위치추적시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 다음 장에서는 행렬식 연산의 성능저하를 개선하기 위해 GPGPU(General-Purpose computing on Graphics Processing Units)를 활용한 병렬논리 시스템의 구축에 대하여 논한다.

## 2. GPGPU 를 이용한 베조종결식 위치추적 시스템의 성능분석

실시간 위치추적 시스템에서는 전파의 반사 및 굴절에 의해 오차가 발생하게 된다. 이를 보정하기 위해서는 다량의 위치추적 데이터가 필요하므로 정해진 단위 시간 당 얼마의 수신데이터를 계산할 수 있는지에 따라 보정성능에 영향을 미친다. 따라서 C++ 언어로 작성된 단일흐름 논리구조를 구현하고 그림 4 와 같은 3 차원 GUI 위치추적 시뮬레이터를 구현하였다.

먼저 GPGPU 를 이용해 병렬화가 적용되지 않은 단일흐름 논리구조의 위치추적알고리즘의 성능을 측정한다. 3 차원 시뮬레이터를 이용해 1,000 번의 실베스터 연산을 수행하고 수집된 데이터의 단위시간 당 계산속도를 도출한다. 그 다음, 보정성능 향상을 위해 단일흐름 논리구조를 병렬흐름 논리구조로 변경한 후 단일흐름구조 대비 성능향상율을 도출한다.

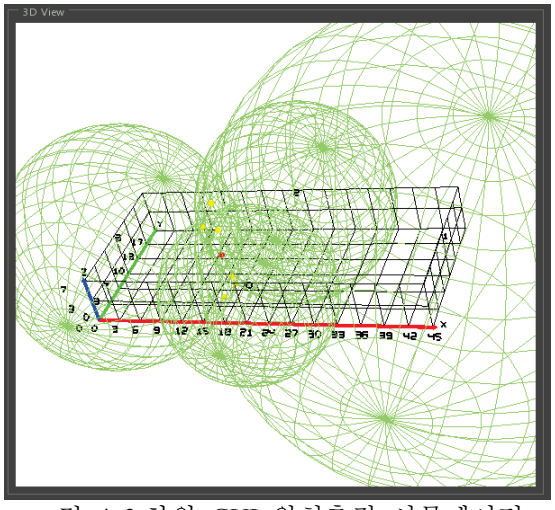



그림 4. 3 차원 GUI 위치추적 시뮬레이터

아래 그림 5 와 같이 GPGPU 를 적용한 병렬논리 시스템 수행속도가 단일논리 시스템 보다 약 430% 정도 향상됨을 알 수 있다.

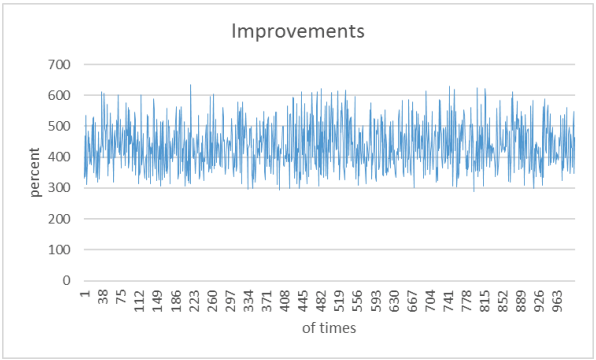



그림 5. GPGPU 병렬논리 시스템의 성능향상 그래프

## 3. 참고 문헌

[1] Michael Kennedy Bk, “The Global Positioning System and GIS: An Introduction CD ROM edition,” Ann Arbor Press Inc., ISBN: 1575040174, 1996.

[2] Kevin Monahan, Don Douglass, “GPS Instant Navigation: A Practical Guide from Basics to Advanced Techniques,” Fine Edge Productions, ISBN: 0938665480, 1998.

[3] Choi Eun Mi, “Historical analysis of System of Equations - Focused on Resultant,” The Korean Journal for History of Mathematics, Vol. 26 No. 2-3, pp. 149–161, 2013.

[4] A. Morozov and S. Shakirov, “New and old results in resultant theory”, Theoretical and Mathematical Physics, 163, pp.587–617, 2010.

## 사사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1D1A1A01061369)

# 밀리미터파 채널 추정을 위한 하이브리드 MIMO 시스템의 트레이닝 빔 설계

이준호 [1], 길계태 [2], 이용훈 [1]
[1] 한국과학기술원 전기 및 전자공학부
[2] 한국과학기술원 IT 융합연구소
{junho515, gategil, yohlee}@kaist.ac.kr

## 1. 서 론

최근 큰 차원의 밀리미터파 채널을 하이브리드 MIMO 시스템에서 보다 작은 수의 트레이닝 빔들만을 이용하여 효율적으로 추정하는 압축센싱 기반 기법이 제안되었다 [1]. 압축센싱의 추정성능은 센싱행렬 구조에 크게 의존하게 되는데 기존 [2]에서는 센싱행렬에 대응되는 트레이닝 행렬을 랜덤하게 설계하였다. 본 논문에서는 하이브리드 MIMO 시스템의 트레이닝 빔들을 최적 설계하여 개선된 밀리미터파 채널 추정성능을 달성하는 방법을 제안한다.

## 2. 시스템 모델 및 CS 기반 채널추정 방법

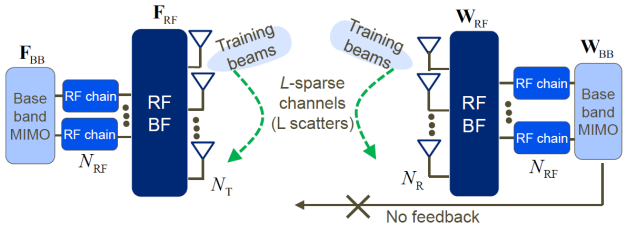



그림 1. 하이브리드 MIMO 채널추정 시스템

$N_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Beam}}$ 송신 트레이닝 빔들과 $N_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Beam}}$ 수신 트레이닝 빔들에 대한 전체 수신 행렬 $\mathbf{Y}\in\mathbb{C}^{N_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Beam}}\times N_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Beam}}}$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$\mathbf{Y}=\sqrt{P}\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}^{H}\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^{H}\mathbf{H}\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}+\mathbf{N}, \tag{1}$$

$\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}\in\mathbb{C}^{N_{\mathrm{T}}\times N_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Beam}}}$ 와 $\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}\in\mathbb{C}^{N_{\mathrm{R}}\times N_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Beam}}}$ 는 각각 송신/수신 트레이닝 빔 행렬을, $\mathbf{H}\in\mathbb{C}^{N_{\mathrm{R}}\times N_{\mathrm{T}}}$ 는 밀리미터파 채널 행렬을, $\mathbf{N}\in\mathbb{C}^{N_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Beam}}\times N_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Beam}}}$ 는 수신단의 잡음 행렬을 정의한다. 수식 (1)의 밀리미터파 채널의 특징은 양자화된 후보 AoDs/AoAs 에 대응되는 array response 벡터들로 구성된 $\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}$ 와 $\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{R}}$ 을 이용하여 적은 수$(L)$의 non-zero 값을 갖는 $\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}$ 로 재표현 된다.

$$\mathbf{H}=\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{R}}\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}^{H}+\mathbf{E}, \tag{2}$$

$\mathbf{E}$ 는 양자화 잡음 행렬이다. 수식 (2)를 (1)에 대입하고 vectorization 을 통해 아래의 수식에 도달한다.

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{y}}&=\sqrt{P}\left(\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}^{T}\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}^{T}\otimes\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}^{H}\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^{H}\right)\cdot\left(\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}^{*}\otimes\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{R}}\right)\cdot\mathrm{vec}\left(\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}\right)+\bar{\mathbf{e}}+\bar{\mathbf{n}}\\&=\sqrt{P}\bar{\mathbf{Q}}\cdot\mathrm{vec}\left(\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}\right)+\bar{\mathbf{e}}+\bar{\mathbf{n}},\end{aligned} \tag{3}$$

$\bar{\mathbf{Q}}\triangleq\left(\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}^{T}\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}^{T}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}^{*}\otimes\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}^{H}\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^{H}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{R}}\right)$ 는 equivalent 센싱행렬로 정의된다. 수식 (3)으로부터 CS 기반 채널추정 문제를 아래와 같이 세울 수 있다 [1].

$$\mathrm{vec}\left(\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{CS}}\right)=\arg\min_{\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}}\left\|\bar{\mathbf{y}}-\sqrt{P}\bar{\mathbf{Q}}\cdot\mathrm{vec}\left(\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}\right)\right\|_{2}\ \text{s.t.}\ \left\|\mathrm{vec}\left(\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}\right)\right\|_{0}=L, \tag{4}$$

수식(4)의 해로부터 추정된 행렬은 $\bar{\mathbf{H}}^{\mathrm{CS}}=\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{R}}\bar{\mathbf{H}}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{CS}}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}^{H}$ 과 같이 얻게 된다.

## 3. 트레이닝 빔 설계

최적화 문제 (4)의 CS 기반 채널추정 성능을 최적화하기 위해 수식 (3)에서 정의된 equivalent 센싱행렬$\left(\bar{\mathbf{Q}}\right)$의 total coherence $\mu^{t}\left(\bar{\mathbf{Q}}\right)$가 최소화 되도록 트레이닝 빔들을 설계한다. 즉

$$\left(\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}\mathbf{F}_{\mathrm{BB}},\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}\right)=\arg\min\mu^{t}\left(\bar{\mathbf{Q}}\right), \tag{5}$$

여기에서 $\mu^{t}\left(\bar{\mathbf{Q}}\right)\triangleq\sum_{m}^{G}\sum_{n,m\neq n}^{G}\left(\bar{\mathbf{Q}}(m)^{H}\bar{\mathbf{Q}}(n)\right)^{2}$. 최적화 문제 (5)에서 joint 설계의 어려움을 피하기 위해 $\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}$ 와 $\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}$ 이 unitary 행렬임을 가정한다.

*Lemma 1:* $\mu^{t}\left(\bar{\mathbf{Q}}\right)$는 다음과 같이 upper-bound 된다.

$$\mu^{t}\left(\bar{\mathbf{Q}}\right)\leq\mu^{t}\left(\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}^{T}\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}^{T}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}^{*}\right)\cdot\mu^{t}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}^{H}\mathbf{W}_{\mathrm{RF}}^{H}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{R}}\right). \tag{6}$$

우리는 Lemma 1 에 기반하여 $\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}$ 와 $\mathbf{W}_{\mathrm{BB}}$ 를 독립적으로 설계한다.

*Theorem 1:* $\mu^{t}\left(\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}^{T}\mathbf{F}_{\mathrm{RF}}^{T}\bar{\mathbf{A}}_{\mathrm{T}}^{*}\right)$의 최소값을 달성하는 $\mathbf{F}_{\mathrm{BB}}$ 행렬의 sub-block 행렬의 구조는 다음과 같다.

$$\mathbf{F}_{\mathrm{BB},i}^{\mathrm{opt}}=\bar{\mathbf{U}}\left[\mathbf{I}_{\alpha}\ \mathbf{O}_{\alpha,N_{\mathrm{RF}}-\alpha}\right]^{T}\bar{\mathbf{V}}^{H},i=1,\ldots,\frac{N_{\mathrm{T}}}{N_{\mathrm{RF}}},\alpha\triangleq\frac{N_{\mathrm{RF}}N_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Beam}}}{N_{\mathrm{T}}}. \tag{7}$$

$\bar{\mathbf{U}}\in\mathbb{C}^{N_{\mathrm{RF}}\times N_{\mathrm{RF}}}$ 와 $\bar{\mathbf{V}}\in\mathbb{C}^{\alpha\times\alpha}$ 는 임의의 unitary matrix 이다.

## 4. 모의실험 결과 및 결론

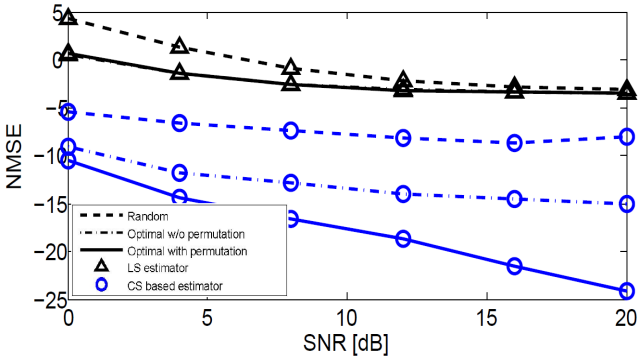



그림 2. 트레이닝 빔 별 채널추정 성능

모의실험 파라메터( $N_{\mathrm{T}}=N_{\mathrm{R}}=32$ , $N_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Beam}}=N_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Beam}}=24$ , $L=5$ ) 환경에서 제안하는 트레이닝 빔(optimal with permutation)을 사용한 압축센싱 기반 채널추정 기법이 가장 낮은 NMSE(normalized mean square error) 채널추정 성능을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 참고문헌

[1] J. Lee, G.-T. Gil, and Y. H. Lee, "Exploiting spatial sparsity for estimating channels for hybrid MIMO systems in millimeter wave communications," in *Proc. IEEE Global Commun. Conf.*, Dec. 2014.
[2] W. U. Bajwa, J. Haupt, A. M. Sayeed, and R. Nowak, "Compressed channel sensing: A new approach to estimating sparse multipath channels," *Proc. IEEE*, vol. 98, no. 6, pp. 1058-1076, June 2010.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음. [LTE-A 기반 단일 RF 다중 스트림 지원 소형 기지국 기술 개발]

# Massive MIMO 시스템의 Pilot Contamination 경감을 위한 트레이닝 신호설계

한용희°, 이정우
서울대학교 전기·정보공학부
yhan@wspl.snu.ac.kr°, junglee@snu.ac.kr

## 1. 서론

기지국에서 수십-수백 개의 많은 안테나를 활용하는 massive MIMO 기술은 주파수 효율을 기존에 비해 크게 높일 수 있어 5G 셀룰러 시스템의 핵심적인 기술로 기대되고 있다 [1], [2]. 안테나 수가 증가함에 따라 서로 다른 이용자의 채널이 서로 직교해져 maximal ratio combining (MRC)와 같은 단순한 필터링만으로도 사용자간 간섭을 제거할 수 있다. 하지만, 채널 추정을 위해 사용되는 상향링크 파일럿이 직교하지 않을 때는 추정된 채널이 다른 사용자의 채널에 의해 오염되는 pilot contamination 현상은 안테나 수의 증가로 해결할 수 없어, massive MIMO 시스템의 성능의 병목으로 여겨지고 있다.
본 논문에서는 다중 셀 massive MIMO 시스템에서 pilot contamination 의 영향을 최소화하는 트레이닝 신호를 설계해 주파수 효율을 극대화하고자 한다.

## 2. 다중 셀 Massive MIMO 시스템

$L$ 개의 셀로 이루어진 다중 셀 massive MIMO 시스템을 고려한다. 각 셀은 $M \gg 1$개 안테나를 탑재한 기지국과 1 개의 안테나를 갖는 $K$ 개의 단말로 구성될 때, 셀 $j$의 기지국이 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_j = \sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\sqrt{\rho_u}\mathbf{h}_{jlk}x_{lk} + \mathbf{n}_j. \qquad (1)$$

여기에서 $\mathbf{h}_{jlk}$는 셀 $l$의 사용자 $k$와 셀 $j$의 기지국 사이의 채널 벡터이고, $x_{lk}$은 셀 $l$의 사용자 $k$가 송신하는 심볼을, $\mathbf{n}_j$는 잡음 벡터이다.

매 coherent 블록마다 $T_p$ 만큼의 심볼이 상향링크 트레이닝에 활용된다고 할 때, 그 기간 동안 수신된 신호는 다음과 같은 행렬로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y}_{T,j} = \sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\sqrt{\rho_u}\mathbf{h}_{jlk}\boldsymbol{\phi}_{lk}^{H} + \mathbf{N}_{T,j}. \qquad (2)$$

여기에서 $\boldsymbol{\phi}_{lk}$는 $T_p \times 1$의 트레이닝 신호이고, 각 셀의 다른 사용자는 서로 직교한 신호를 사용한다고 가정한다. 각 기지국은 이 값을 활용, least square 방식으로 채널을 추정할 수 있다.

## 3. 트레이닝 신호 설계

안테나의 수 $M$이 무한히 증가할 때, 네트워크의 achievable sum-rate 는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$R_{\text{net}}^{\text{sum}} \geq \frac{B-T_p}{B}LK\log_2 1\left(+\frac{T_p^2}{\frac{1}{LK}\sum_{j=1}^{L}\sum_{\substack{l=1\\ l\neq j}}^{L}\mu_j^l\left\|\boldsymbol{\Phi}_j^H\boldsymbol{\Phi}_l\right\|_F^2}\right). \qquad (3)$$

여기에서, $\boldsymbol{\Phi}_l$는 셀 $l$의 사용자들이 사용하는 트레이닝 신호로 이루어진 $T_p \times K$ 행렬이고, $\mu_j^l$는 셀 $l$에서 셀 $j$에 미치는 간섭의 상대적인 크기이다. 따라서, 본 연구는 에서는 $\sum_{j=1}^{L}\sum_{\substack{l=1\\ l\neq j}}^{L}\mu_j^l\left\|\boldsymbol{\Phi}_j^H\boldsymbol{\Phi}_l\right\|_F^2$ 를 최소화하는 트레이닝 신호를 설계했다.

## 4. 결론

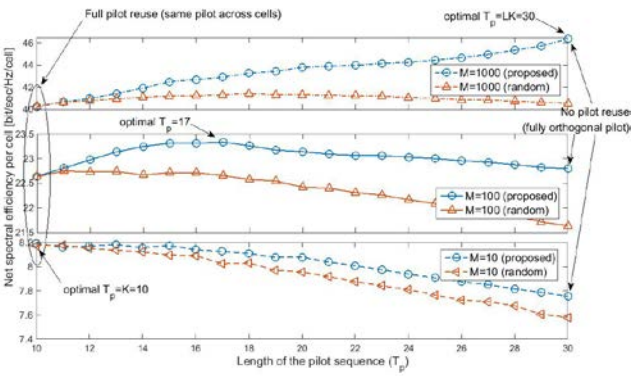



**그림 1. 셀 당 주파수 효율**

제안한 트레이닝 신호 설계를 통해 랜덤 설계 방식 대비 높은 주파수 효율을 얻을 수 있음을 확인했고, 임의 길이를 갖는 트레이닝 설계를 최초로 제안하여 massive MIMO 시스템의 주파수 효율을 보다 높일 수 있음 또한 확인했다.

## 5. 참고 문헌

[1] T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, Nov. 2010.
[2] F. Rusek, D. Persson, B. K. Lau, E. G. Larsson, and T. L. Marzetta, "Scaling up MIMO: opportunities and challenges with very large arrays," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 30, no. 1, pp. 40-60, Jan. 2013.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported in part by Basic Science Research Program through the NRF funded by the Ministry of Education (NRF-2013R1A1A2008956), Bio-Mimetic Robot Research Center funded by DAPA (UD130070ID), and BK21 PLUS.

# Millimeter Wave 시스템에서의 새로운 RF 빔선택 기법

오태석°, 김재인, 이인규

고려대학교 전기전자공학과

# A New RF Beam Selection Method in Millimeter Wave Systems

Taeseok Oh°, Jaein Kim, Inkyu Lee

School of Electrical Eng., Korea Univ., Seoul, Korea.

{jets00, kji_07, inkyu}@korea.ac.kr

## 요 약

본 논문은 millimeter wave 주파수 대역의 단일 radio frequency (RF) chain 을 갖는 무선 통신 시스템에서 기존 RF 빔선택 기법에서 발생하는 숨은 노드 문제에 대해 빔선택 지연시간을 늘리지 않고 해결할 수 있는 새로운 RF 빔선택 기법을 제시한다. 본 논문에서는 제안하는 기법과 기존 기법의 성능을 비교하고, 제안하는 기법의 우수성을 검증한다.

## I. 서 론

최근 높은 전송률 요구량을 충족시킬 수 있는 millimeter wave (mmWave) 시스템이 큰 주목을 받고 있다. mmWave 시스템은 매우 짧은 파장의 주파수 대역을 활용하므로 많은 안테나 소자들을 작은 폼팩터에 넣을 수 있게 된다. 이 때, 많은 안테나 소자들을 활용한 빔포밍 기법 [1], [2]을 잘 적용하게 되면 mmWave 시스템에서 발생하는 큰 경로손실을 상쇄할 수 있다.

하지만 이와 같은 방법들은 기지국에서 모든 채널 정보를 명확히 알고 있을 때에만 적용이 가능하기 때문에, 채널 정보를 알기 어려운 mmWave 시스템에서는 현실적으로 구현하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 IEEE 802.11ad WLAN standards 에서 채널 정보를 모르는 상황에서 연속적인 하향-상향링크 RF 섹터 스윕을 통해 최적의 RF 빔을 찾는 알고리즘을 제안했다 [3]. 하지만 상향링크에서의 RF 섹터 스윕의 경우, 단말의 낮은 송신전력과 낮은 안테나 이득에 의해 단말의 훈련신호가 기지국에 도달하지 못하는 숨은 노드 문제가 생길 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 송수신 RF 빔 쌍을 전부다 찾아보는 full search 기법을 사용할 수 있지만, 빔선택 지연시간이 너무 길어진다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 빔선택 지연시간을 증가시키지 않으면서 숨은 노드 문제를 해결할 수 있는 새로운 RF 빔선택 알고리즘을 제안한다.

## II. 본 론

본 논문에서는 기지국과 단말이 모두 단일 RF chain 에 연결되어 있고, 각각 $N_t$, $N_r$ 개의 송수신 안테나를 갖는 mmWave 통신 시스템을 가정한다. 이 경우 mmWave 채널 행렬 $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ 는 다음과 같이 $N_p$ 개의 전송경로를 갖는 형태로 표현될 수 있다 [4].

$$\mathbf{H} = \sum_{l=1}^{N_p} \lambda_l \mathbf{a}_{r,l} \mathbf{a}_{t,l}^H$$

여기서 $\lambda_l$ 은 $l$ 번째 전송경로의 복소 이득이고, $\mathbf{a}_{r,l}, \mathbf{a}_{t,l}$ 은 각각 $l$ 번째 전송경로에 해당하는 수신/송신 array response 벡터이다. 편의를 위해 $\{\lambda_i\}$ 는 내림차순으로 정렬되어 있다고 가정한다.

IEEE 802.11ad standards 에서 제안한 RF 빔선택 기법은 위와 같은 채널 $\mathbf{H}$ 가 주어졌을 때, 연속적인 하향-상향링크 RF 섹터 스윕을 통해 최적의 송수신 RF 섹터를 찾는다. 구체적으로 설명하면, 먼저 하향링크에 대해서 기지국이 RF 섹터를 순차적으로 바꿔가며 훈련신호 [5]를 전송하고 단말은 이를 quasi-omni 모드로 수신한다. 이 때 단말에서 수신하는 $i$ 번째 수신신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_{\mathrm{DL},i} = \mathbf{w}_{\mathrm{omni}}^H \mathbf{H} \mathbf{f}_i s_{\mathrm{DL}} + n_{\mathrm{DL},i}$$

여기서 $\mathbf{w}_{\mathrm{omni}}$ 는 단말이 사용한 quasi-omni 모드 수신 벡터 [3]이고, $\mathbf{f}_i$ 는 기지국의 $i$ 번째 섹터에 해당하는 송신 벡터이다. 또한 $s_{\mathrm{DL}}$ 은 하향링크 훈련신호이고 $n_{\mathrm{DL},i}$ 는 $i$ 번째 타임슬롯에 작용한 잡음이다. 단말은 다음 수식을 이용해 기지국의 최적 섹터를 찾는다.

$$\underset{\{\mathbf{f}_i \in \mathcal{F}\}}{\operatorname{argmax}} \gamma_{\mathrm{DSS},i}$$

여기서 $\gamma_{\mathrm{DSS},i} = P_{BS} \left| \mathbf{w}_{\mathrm{omni}}^H \mathbf{H} \mathbf{f}_i \right|$ 이고, $\mathcal{F}$ 는 미리 정

의된 RF 섹터 코드북이다. $P_{BS}$ 는 기지국에서 훈련 신호를 보낼 때 사용하는 송신전력이다. 단말은 상향링크 RF 섹터 스윕을 수행할 때 기지국의 최적 섹터를 피드백 해준다. 상향링크 섹터 스윕은 기지국과 단말이 서로의 역할을 바꿔서 진행하게 된다. 이 때, 기지국은 위와 같이 수신신호들의 세기를 비교해 단말의 최적 섹터를 결정하게 된다. 하지만 상향링크 섹터 스윕 과정에서 단말의 낮은 송신전력과 낮은 안테나 이득에 의해 훈련신호가 기지국까지 도달하지 못해, 빔선택 알고리즘이 실패하는 경우가 생긴다. 이러한 숨은 노드 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 다음과 같은 빔선택 기법을 제안한다.

제안하는 기법은 숨은 노드 문제가 발생할 수 있는 상향링크 섹터 스윕을 수행하는 대신, 하향링크 섹터 스윕을 한 번 더 수행해 기지국과 단말의 최적 섹터를 찾는다. 첫 번째 하향링크 섹터 스윕은 기존의 알고리즘과 같으므로 이를 이용해 단말이 기지국의 최적 섹터를 찾을 수 있다. 두 번째 하향링크 섹터 스윕에서는 단말이 quasi-omni 모드로 수신하지 않고, 단말 또한 기지국의 송신 섹터 스윕에 맞춰 수신 섹터를 스윕한다. 이 경우 단말에서 $i$ 번째 타임슬롯에 수신한 신호의 세기 $\gamma'_{\mathrm{DSS},i}$ 는 다음과 같다.

$$\gamma'_{\mathrm{DSS},i} = P_{\mathrm{BS}} \left| \mathbf{w}_i^H \mathbf{H} \mathbf{f}_i \right| \qquad (1)$$

첫 번째 하향링크 섹터 스윕에서 구한 $\gamma_{\mathrm{DSS},i}$ 와 (1)을 이용해 다음과 같이 새로운 선택 메트릭을 제안한다.

$$T_i = \frac{\gamma'_{DSS,i}}{\gamma_{DSS,i}} = \left| \frac{\mathbf{w}_i^H \mathbf{H} \mathbf{f}_i}{\mathbf{w}_{\mathrm{omni}}^H \mathbf{H} \mathbf{f}_i} \right|$$

이를 이용해서 단말은 $T_i$ 를 최대로 하는 자신의 수신 섹터를 최적 섹터로 결정한다. 이 경우 기존의 기법과 마찬가지로 두 번의 연속적인 섹터 스윕을 통해 기지국과 단말의 최적 송수신 섹터를 결정했기 때문에 빔선택 지연시간에는 변동이 없다. 하지만, 기지국의 높은 송신전력과 안테나 이득을 활용하기 때문에 기존 기법에서 발생하는 숨은 노드 문제를 해결할 수 있다.

## III. 시뮬레이션 결과 및 결론

본 시뮬레이션 파트에서는 현실적인 mmWave 시스템을 가정한다. 우선 기지국과 단말이 각각 $N_t = 16$, $N_r = 8$ 개의 안테나 소자를 갖고, 그것들이 uniform linear array (ULA)를 이룬다고 가정한다. 또한, 시스템 주파수 대역과 잡음 지수를 각자 500 MHz 와 7dB 로 설정하고 기지국의 송신전력 $P_{\mathrm{BS}} = 40$ dBm 으로 설정한다. 그리고 기지국과 단말 이 모두 8 개의 섹터를 후보로 갖고, 그것들이 120° 의 방위각을 채운다고 가정한다. 마지막으로 채널의 경로손실은

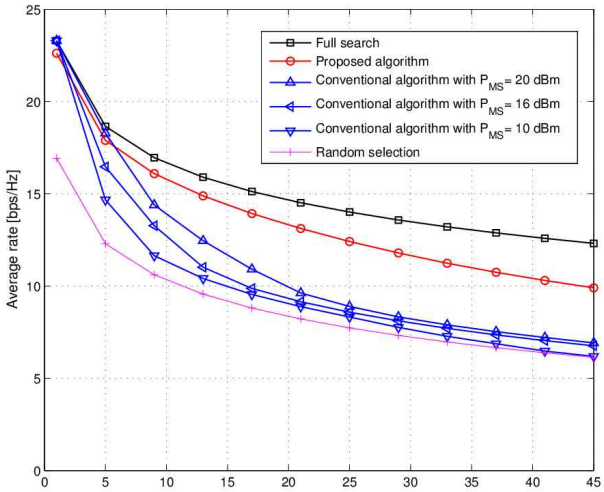


그림 1. 기지국과 단말 사이의 거리에 따른 평균 전송률 비교

$PL\,[\mathrm{dB}] = 32.5 + 20\log_{10} f + 20\log_{10} D$ 와 같이 설정한다. 여기서 $f$ 는 반송주파수로써 60 GHz 로 고정시켰고, $D$ 는 기지국과 단말 사이의 거리이다.

그림 1 은 $N_p = 4$ 이고 $|\lambda_1 / \lambda_2|$ = 10 dB 인 mmWave 채널에서 기지국과 단말 사이의 거리를 변화시키며 평균 전송률을 비교해 그린 것이다. "*Random selection*" 기법은 단말의 최적 섹터를 임의로 결정하는 것으로 전송률 성능의 하한을 보인다. 기지국과 단말이 아주 가까운 경우, 기존의 기법의 성능과 "*Full search*" 기법의 성능이 비슷하게 나오지만 거리가 멀어짐에 따라 심각한 성능 열화를 겪는다. 하지만 본 논문이 제안하는 기법은 거리가 멀어져도 상대적으로 적은 성능 열화를 보인다. 이를 통해 제안하는 기법이 거리가 멀어짐에 따라 발생하는 숨은 노드 문제를 해결했다는 것을 확인할 수 있다.

## IV. 참고 문헌

[1] H. Sung, S. Lee and I. Lee, "Generalized Channel Inversion Methods for Multiuse MIMO Systems," IEEE Transactions on Communications, Vol.57 No.11, pp.3489-3499, Nov. 2009.

[2] H. Lee, B. Lee and I. Lee, "Iterative Detection and Decoding with an Improved V-BLAST for MIMO-OFDM systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol24, Issue 3, pp.504-513, Mar. 2006.

[3] IEEE 802.11 WG, "IEEE 802.11ad, Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band," 2012.

[4] M. Park and H. K. Pan, "A Spatial Diversity Technique for IEEE 802.11ad WLAN in 60 GHz Band," IEEE Communications Letters, Vol.16, pp. 1260-1262, Aug. 2012.

[5] C. Song, H.Park, H. Lee, and I. Lee, "Robust Beamforming Designs for Non-regenerative Multi-pair Two-way Relaying Systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Aug. 2015.

# 밀리미터파 대역에서의 랜덤 빔포밍 특성 및 개선

이길원, 성영철°
한국과학기술원 전기 및 전자공학부
{gwlee@, ysung@ee.}kaist.ac.kr

## 1.서론

Sharif 와 Hassibi 에 의해 제안된 랜덤 빔포밍은 기지국의 안테나 수가 $M$ 개 일 때, 임의의 정규직교 기저를 이루는 $M$ 개의 빔 벡터들을 정하고, 각 빔별로 가장 큰 신호대간섭더하기잡음비(signal-to-interference-plus-noise-ratio)을 갖는 사용자를 선택한 뒤, 동시에 데이터 스트림을 선택된 사용자들에게 각 빔을 통해 전송하는 방법이다 [1]. 이 랜덤 빔포밍은 각 사용자로부터 하나의 실수 값과 하나의 정수 값을 피드백 하기 때문에, 완전한 채널정보를 피드백하는 양 ($2M$) 보다 훨씬 적은 양을 피드백하는 장점이 있다. 불완전한 채널정보로 인한 성능 열화는 피할 수 없지만, 다중 사용자 이득을 통해 적정한 수준의 데이터 율을 얻을 수 있다는 것이 알려져 있다. 하지만, 각 사용자의 채널이 기존 rich scattering 환경에 기반한 Rayleigh fading 채널 모델을 따르는 경우, 안테나의 수가 많은 대규모 MIMO (multi-input multi-output) 시스템에서는 랜덤 빔포밍 성능 열화가 매우 심하여 효용성이 떨어진다는 것이 알려져 있다. 본 고에서는 직진성이 강한 밀리미터파 대역의 채널 특성을 고려한 희박한 MIMO 채널에서 랜덤 빔포밍의 특성을 살펴보고 이를 개선하는 사용자 스케줄링 방법을 소개하고자 한다.

## 2. 본론 및 결론

밀리미터파 대역에서는 큰 경로손실과 잡음의 영향을 많은 수의 안테나를 사용하여 빔포밍을 통하여 보상해주어야 하기 때문에, 밀리미터파 통신 시스템은 본질적으로 대규모 MIMO 상황을 고려해주어야 한다. 따라서 밀리미터파 통신에서는 사용자별 채널정보를 얻는 것이 어려워지게 되어 피드백 양이 매우 적은 랜덤 빔포밍이 유용해질 수 있다.

종래의 rich scattering 환경에 기반한 Rayleigh fading 채널 모델에서는 대규모 MIMO 상황에서 랜덤 빔포밍의 효용성이 매우 떨어진다고 알려져 있지만, rich scattering 환경과는 완전히 다른 채널 특성을 가지는 희박한 경로의 수를 갖는 밀리미터파 채널에서는 랜덤 빔포밍의 성능이 매우 달라진다 [2,3]. [2]와 [3]에서는 밀리미터파 대규모 MIMO 시스템에서의 랜덤 빔포밍의 성능을 분석하기 위해 먼저 밀리미터파 채널 특성을 적절하게 반영하면서도 성능 분석을 용이하게 하는 균등 랜덤 다중 경로 (uniform random multi-path; UR-MP) 채널 모델을 제안하고, 이 모델 하에서 랜덤 빔포밍의 성능을 분석하였다. [3]에서는 UR-MP 채널 모델에서 여러 다중 경로의 수 $L$ 값에 따라 ($M$ 의 함수로 표현) 랜덤 빔포밍의 안테나 수에 선형으로 증가하는 합 전송율 (sum-rate) 스케일링을 달성하기 위해 필요한 사용자 수를 안테나 수의 함수로 도출하였는데, 이 결과는 다음 표와 같다.

| 다중 경로수 | 선형 합 전송율에 필요한 사용자 수 |
|---|---|
| $L$ fixed | $K \sim M$ (linear) |
| $L = \log M$ | $K \sim M^{1+c}$ (polynomial) |
| $L = M^{\beta}, 0 < \beta < 1$ | $K \sim e^{c'M^{\beta}}$ (sub-exponential) |
| $L = M$ or faster | $K \sim e^{c'M}$ (exponential) |

<표 1> 다중 경로의 수에 따른 안테나 수에 선형 증가하는 합 전송율 스케일링에 필요한 사용자 수 [3]

<표 1>에서 보이듯이, $L$ 이 고정되어 있을 때는 사용자 수 $K$ 가 안테나 수 $M$ 의 선형으로만 증가하여도 랜덤 빔포밍 성능은 $M$ 에 선형인 합 전송율 스케일링을 달성할 수 있고, $L = \log M$ 로 증가하는 경우에는 $M$ 의 polynomial, $L = M^{\beta}(0 < \beta < 1)$ 로 증가하는 경우에는 $M$ 의 sub-exponential, $L = M$ 이거나 더 빠르게 증가하는 경우에는 $M$ 의 exponential 로 증가하는 사용자의 수가 필요하다. 이 결과로부터 경로의 수가 희박한 밀리미터파 채널에서는 적정한 수준의 랜덤 빔포밍의 성능을 얻기 위해 필요한 사용자의 수가 기존의 Rayleigh fading 채널 모델에서보다 훨씬 더 적은 수일 때 달성 가능함을 보인 것으로써, 랜덤 빔포밍이 밀리미터파 대역 통신에서 유용할 수 있음을 보여준다 [3].

셀 안의 사용자의 수가 <표 1>에서 기술된 것처럼 충분히 존재하는 경우에는 랜덤 빔포밍만으로도 좋은 성능을 얻을 수 있지만, 사용자 수가 충분하지 않는 sparse user regime 의 경우에는 랜덤 빔포밍보다 피드백 양을 좀 더 늘리면서 성능 열화를 극복하는 새로운 스케줄링 방안이 필요하다. [3]에서는 밀리미터파의 희박한 수의 다중 경로 채널의 특성을 이용하여 각 사용자들로부터 우세한 빔 수신 신호의 정보를 피드백 한 뒤, 이 피드백 정보를 기반으로, 우세한 빔들이 가능한 한 서로 겹치지 않으면서 동시에 빔 신호의 크기가 큰 사용자들을 선택하는 두 단계 피드백 기반의 스케줄링 방법을 제안하였다. 제안된 스케줄링 방법은 랜덤 빔포밍의 성능보다 월등한 성능을 내어 밀리미터파 환경에서 효율적인 스케줄링 방법으로 주목 받을 것으로 예상된다.

## 3. 참고 문헌

[1] M. Sharif and B. Hassibi, “On the capacity of MIMO broadcast channels with partial side information,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, pp. 506-522, Feb. 2005.

[2] G. Lee, Y. Sung, and J. Seo, “Randomly-directional beamforming in millimeter-wave multiuser MISO downlink,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 15, pp. 1086-1100, Feb. 2016.

[3] G. Lee, Y. Sung, and M. Kountouris, “On the performance of random beamforming in sparse millimeter wave channels,” to appear in IEEE J. Sel. Topics Signal Process., Apr. 2016.

# *openwincon* – 중소규모 네트워크를 위한 오픈소스 유무선 네크워크 컨트롤러

김준호, 안계완, 고세원, 서민석, 김기정, 이성원*

경희대학교 컴퓨터공학과

# *openwincon* – Open Source Wireless-Wired Network Controller for Free Small-to-Medium Networking

Junho Kim, Gyewan An, Sewon Ko, Minseok Seo, Gijeong Kim, Sungwon Lee*

Department of Computer Science and Engineering,

Kyunghee University

{junhoya924, danielahn, dream365, msseo, kimgijeong, drsungwon}@khu.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 유무선 통합 네트워크를 제어하는 SDN/NFV 기반 네트워크 컨트롤러인 openWinCon 프로젝트에 대해서 소개하고, openWinCon 컨트롤러가 제어하고자 하는 네트워크 중 하나인 Wi-Fi 기반 무선 액세스 네트워크 및 완전 분산 구조의 메쉬 네트워크 구축 방안에 대해서 설명한다. 더 나아가 openWinCon의 기반 네트워크를 효과적으로 관리하기 위한 네트워크 관리 소프트웨어 및 네트워크 구조 시각화 소프트웨어를 설명한다.

## 1. 서론

현재 네트워크 장비 업체의 판매실적은 감소하는 추세이며, SDN/NFV 시장이 급성장하는 추세를 보이고 있다 [1]. 또한 기업을 대상으로 하는 유무선 솔루션/서비스 시장의 성장이 증가하고 있기에, SDN/NFV 기반 기술을 토대로 Enterprise Mobility 시장을 공략하고자 본 연구가 시작되었다. 본 연구의 오픈소스 프로젝트는 openWinCon으로 Open Wired-Wireless Network Controller의 준말이고, 연구개발목표는 SDN/NFV 기반의 기업용 유무선 네트워크를 위한 네트워크 컨트롤러를 개발하는 것이다. 또한 경희대학교를 비롯하여 서울대학교, 성균관대학교, 포항공과대학교 및 관련 기업들이 협력하여 openWinCon을 개발하고 있다. 현재 각 대학에서는 ONOS, OPNFV, OpenWrt, BATMAN-adv 등 다양한 오픈소스를 연구하고 있으며, 이러한 오픈소스를 기반으로 하는 네트워크 컨트롤러 소프트웨어를 개발하고 있다.

본 논문에서는 openWinCon 소개와 함께 제어하고자 하는 핵심 네트워크인 Wi-Fi 기반 무선 네트워크와 메쉬 네트워크를 구축 및 네트워크 관리 기능을 제공하는 소프트웨어 구조에 대해서 소개하고자 한다. 서론에 이어 2장에서는 오픈소스 기반 Wi-Fi 액세스 네트워크 환경 구축 및 중앙 집중형 네트워크 관리 소프트웨어에 대해서 서술하고, 3장에서는 오픈소스 batman-adv 기반 메쉬 네트워크 구축 환경 및 네트워크 구조 시각화 소프트웨어 대해서 서술한다. 마지막으로 연구개발 사항을 정리하며 마무리 짓고자 한다.

## 2. 중앙 집중형 네트워크 관리 소프트웨어

이 장에서는 저비용으로 다수의 AP를 설치하여 네트워크를 구축하고 이들을 중앙에서 효율적으로 관리할 수 있는 소프트웨어를 설명한다. 이 테스트베드에는 AP, DB 및 Controller가 존재하며 각각에 대한 설명을 다음 단락에서 이어가겠다.

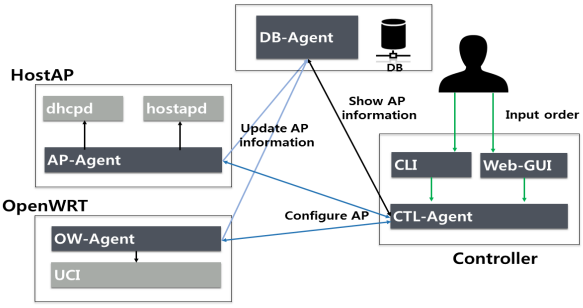



Fig. 1. 중앙 집중형 네트워크 개념도

AP는 두가지 환경을 사용했다. Raspberry Pi2위에 Ubuntu mate 15.04가 올라간 환경과 OpenWrt chaos calmer 15.05 rc1이 올라간 환경을 사용하였다. 이와 더불어 ipTIME N100UM USB 무선 랜카드를 사용하였다. DB는 Intel CPU, 16GB RAM을 사용하고

* 본 논문의 교신저자는 이성원(drsungwon@khu.ac.kr)임.

있으며 Ubuntu 14.04 64bit환경에서 mysql DB를 사용하였다. Controller의 경우 Intel CPU, 8GB RAM을 사용하고 있으며 Ubuntu 14.04 64bit환경을 사용하였다. 다수의 AP들을 효율적으로 관리하기 위하여 AP(Ubuntu mate, OpenWrt)에서 동작하는 C++ 프로그램을 개발하였으며, Ubuntu가 설치된 공간에서는 Controller agent 프로그램을 다운받아 다수의 AP들을 제어할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 현재 AP가 켜지게 되면 DB로 메시지를 보내어 자신의 상태를 등록한다. 그 후 Ubuntu mate가 동작하는 AP는 스스로 hostapd와 dhcpd 오픈소스 프로그램을 사용하여 사용자가 AP에 접속할 수 있는 환경을 만든다. OpenWrt 가 동작하는 AP 또한 스스로 사용자가 접근 가능한 AP로 동작하도록 하였다. Controller는 이렇게 등록된 AP들의 정보를 볼 수 있으며, SSID 변경, password 변경, channel 변경, 대역폭 조절 등 여러 작업을 할 수 있다. DB 컴퓨터에서는 VPN 서버가 존재하여 Controller가 AP들을 제어할 때 VPN으로 터널링이 되어있어 다른 네트워크 작업을 하지 않아도 쉽게 설정을 변경할 수 있다.

## 3. 네트워크 구조 시각화 소프트웨어

이 장에서는 중앙 집중형 네트워크 관리 없이, 메쉬 네트워킹을 기반으로 빠른 시간 내에 이동 가능한 네트워크를 구축하고 네트워크 구조를 시각화하는 소프트웨어에 대해서 설명한다.

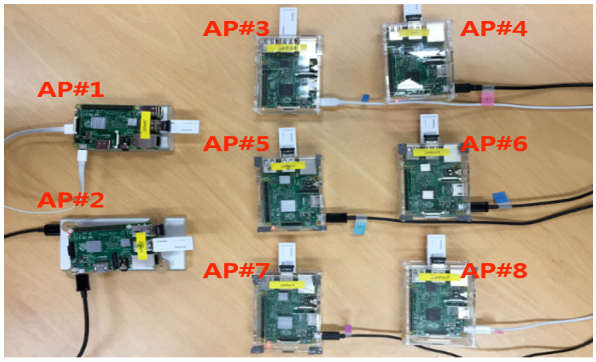



Fig. 2. 완전 분산형 메쉬 네트워크 테스트베드

Fig.2는 완전 분산형 네트워크 구축을 위해 batman-adv 오픈소스를 사용한 무선 메쉬 테스트베드이다. 무선 메쉬 네트워크를 위해 만들어진 BATMAN routing protocol을 사용해 만든 batman-adv는 현재 리눅스 커널에 포함되어 있어 설치하고 네트워크를 구축하는데 큰 어려움이 없다 [2]. Raspberry Pi2 위에 Ubuntu mate 15.04 환경에서 8개의 노드로 테스트를 진행하였고, 이동성을 고려하여 이동식 보조 배터리를 사용하였다. batman-adv 는 2014.4.0을 사용하였고, batctl은 2014.3.0-2를 사용하였다.

완전 분산형 무선 메쉬 네트워크는 동적으로 구축되기 때문에, 이를 확인하기 위한 네트워크 구조 시각화 기능이 요구된다. 해당 요구사항을 만족시키기 위한 GOTHAM (Gathering of Organization Treating Humble Ad-hoc Network)을 구현하였다. GOTHAM은 batman-adv가 동작중인 상태에서 실행 가능하며, Java와 Websocket, D3 javascript를 이용해서 개발하였다.

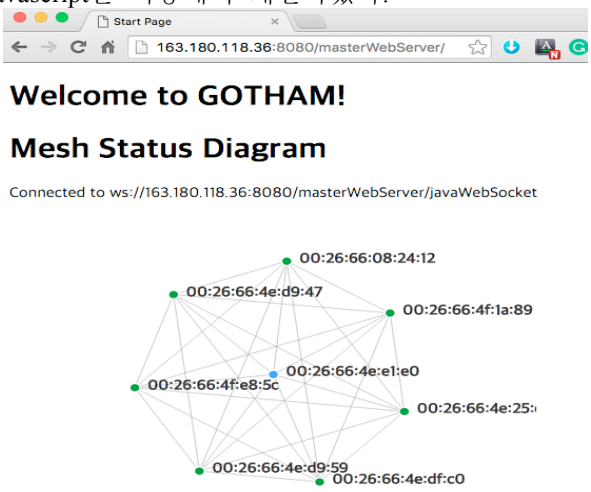



Fig. 3. 메쉬 네트워크 시각화 프로그램(GOTHAM)

## 4. 결론

본 논문은 오픈소스 프로젝트인 openWinCon에 대해서 설명하였고, openWinCon이 제어하고자 하는 무선 액세스 네트워크와 메쉬 네트워크를 구축하는 방안과 해당 네트워크를 관리하는 소프트웨어를 설명하였다. 본 논문에 소개한 네트워크 관리 소프트웨어의 자세한 설치 과정 및 openWinCon 자료는 GitHub를 통해서 공개되어 있다 [3]. 본 논문에서 설명한 두 네트워크는 openWinCon을 위한 테스트베드로서의 역할로도 중요하지만 중소규모의 단순한 네트워크를 구축하고자 할 때 유용할 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-15-2013, 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발)

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0101-15-0033, CCN 기반의 다차원 scalability를 활용한 5G 이동통신 기술 연구개발)

## 5. 참고 문헌

[1] 엄정환, 허진우, “네트워크 장비 산업 실태조사”, 방송통신위원회, Special Report, 2013년.

[2] batman-adv 오픈소스 공식 사이트, https://www.open-mesh.org.

[3] openwincon 오픈소스 코드 공개 사이트, http://github.com/OpenWinCon.

# 오픈스택환경에서의 OVN 기반 SFC 적용기법

김민식°, 김영한

숭실대학교 정보통신학과

# Service Function Chaining based on Open Virtual Network in OpenStack Environment

Min-Sik Kim°, Young-Han Kim

Department of Electronics Engineering, Soongsil University

kms313@ssu.ac.kr°, younghak@ssu.ac.kr

## 요 약

OVN(Open Virtual Network)은 가상화된 환경에서 컴퓨터 네트워크에 쓰이는 표준화된 프로토콜을 지원하는 스위치인 OVS(Open vSwitch)의 기능을 보완하는 프로젝트이다. 실제 OVS 는 오픈스택 Network 프로젝트인 Neutron 에서 인스턴스들간의 L2 연결을 지원하고 있다. 본 논문에서는 CMS(Cloud Management System)에서 가상화된 네트워크 환경을 지원하는 OVN 에 대한 구조와 CMS 중 하나인 오픈스택에서 OVN 의 SFC(Service Function Chaining) 적용기법에 대해 분석한다.

## 1. 서론

클라우드 컴퓨팅 기술은 엔터프라이즈 시스템뿐만 아니라 다양한 IT 영역에서 사용되고 있다. 클라우드 컴퓨팅의 장점인 동적이고 유연한 인프라를 통해 사용자가 원할 때 즉각적으로 리소스들을 제공할 수 있다. 또한 하드웨어나 소프트웨어에 결함이 발생했을 때 유연하게 문제를 처리 할 수 있어 사용자들에게도 안전한 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 장점 때문에 현재 네트워크 분야에서도 클라우드 컴퓨팅 기술을 사용한 NFV(Network Function Virtualisation)를 정의하여 고가의 네트워크 하드웨어 장비들을 소프트웨어로 운영함으로써 투자비용 및 운용비용 문제를 해결할 수 있다.[1]

가상화된 환경에서 VM 들간의 통신이나 인터넷을 유연하게 연결하려면 가상화된 네트워크를 구축해야 한다. 가상화된 네트워크 구축을 통해 클라우드 관리자는 추상화된 네트워크 구조를 볼 수 있고 네트워크를 유연하게 관리할 수 있다.[2]

본 논문에서는 오픈소스 클라우드 컴퓨팅 기술 중 하나인 오픈스택에서 OVN 의 적용기법에 대해 분석한다. 2 장에서는 OVN 구조 및 기능을 설명하고, 3 장에서는 오픈스택에서 OVN 기반 SFC 적용기법을 설명한 후, 4 장에서는 결론을 맺는다.

## 2. Open Virtual Network 구조 및 기능

OVN 은 기존에 가상화된 환경에서 VM 들간에 L2 연결 서비스를 제공하는 OVS 에 기능을 추가하여 가상화된 L2, L3 오버레이, 보안 그룹 등 추상화된 가상 네트워크를 지원한다.[3] 기존의 L2 가상 네트워크에 L3 네트워크 기능을 제공함으로써 CMS 에서 추가적인 기능을 설치할 필요없이 쉽고 유연한 가상 네트워크를 구축할 수 있다. OVN 은 다양

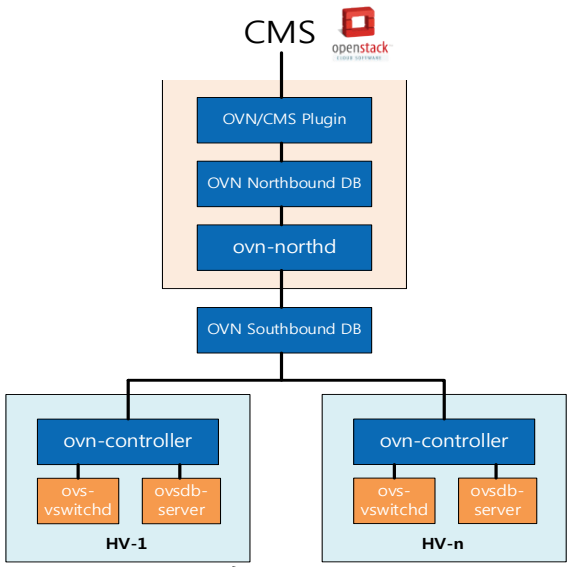



그림 1. OVN 구조

한 컴포넌트들로 구성되어 있다. 먼저 CMS 는 OVN 의 클라이언트로 OVN 을 사용하기 위해서는 OVN/CMS plugin 을 구현하여야 한다. CMS plugin 의 역할은 CMS 에서 바라보는 논리적인 네트워크 구성을 해석하여 중앙에 위치한 데이터베이스에 저장을 하게 된다. OVN Northbound 데이터베이스는 OVN/CMS plugin 으로부터 받은 논리적인 네트워크 정보를 저장하는 데이터베이스이다. OVN Northbound 데이터베이스는 2 명의 클라이언트(OVN/CMS plugin, ovn-northd)가 있다. ovn-northd 는 OVN Northbound 데이터베이스로부터 받은 논리적인 네트워크 설정을 플로우들의 논리적인 경로로 해석하여 OVN Southbound 데이터베이스에 저장한다. OVN Southbound 데이터베이스에는 3 가지의 데이터를 저

장하고 있다. VM 들이 어떤 하이퍼바이저에 존재하고 있는지에 대한 정보인 PN(Physical Network) 테이블, 플로우들의 논리적인 경로를 저장한 LN(Logical Network) 테이블, 마지막으로 논리적인 네트워크 컴포넌트와 물리적인 네트워크를 연결한 Binding 테이블이 있다. ovn-controller 는 OVN Southbound 데이터베이스로부터 받은 설정정보를 가지고 ovsdb-server 에게 네트워크 구성정보를 OVSDB 프로토콜을 이용하여 전송하고 ovs-vswitchd 에게는 OpenFlow 를 사용하여 플로우 테이블 정보를 전송하여 가상화된 네트워크 환경을 구성한다.

## 3. 오픈스택에서 OVN 기반 SFC 적용기법

OVN 구조는 SFC 기술을 적용하기 쉽게 설계되었다. OVN 데이터베이스에 있는 논리적인 네트워크 구조에 추상화된 SF 에 대한 정보 등을 추가하게 되면 SFC 을 구성할 수 있다. 구성된 정보를 가지고 정책에 따라 특정 서비스 체인을 결정할 수 있는 SFC Control agent 를 추가하게 된다면 실제로 서비스 체이닝 기술을 정의할 수 있게 된다. 또한 하이퍼바이저 안에 있는 SF 들을 ovn-control 를 이용하여 지역적으로 관리할 수 있게 된다. 기존에 SFC 를 적용하기 위해서는 중앙화된 컨트롤러에서 OVSDB 프로토콜과 OpenFlow 프로토콜을 이용해서 SFF 에게 패킷을 전달하기 위한 테이블 정보를 전달했다. 중앙에 있는 컨트롤러가 늘어나는 노드의 정보를 전부 관리를 하게 된다면 점점 더 복잡하고 어려워지게 된다. 하지만 ovn-controller 에서 중앙화된 데이터베이스로부터 정보를 받아 지역적으로 해당 SFs 과 SFFs 들을 관리할 수 있게 된다면 동기화된 데이터베이스로부터 안전하게 SFC 구성요소들을 관리할 수 있게 된다.

OVN 에서 SFC 를 적용하기 위해서는 먼저 상위 레벨에서 SFC 을 구성할 수 있어야 한다. 그림 2 에서와 같이 SFC 를 구성하기 위해서 OVN Northbound 데이터베이스에 포트 정보와 매칭되는 추상화된 SF 에 대한 정보를 저장하고 있어야 한다. OVN Northbound 데이터베이스에 있는 정보들을 가지고 ovn-northd 는 정책에 따라 SFF(Service Function Forwarder)가 SFC 을 수행하기 위한 테이블 정보와 SFF 간에 데이터를 주고받기 위한 정보 등을 OVN Southbound 데이터베이스에 저장하게 된다. 그 이후에는 ovn-controller 에서 SFC 에 관련된 정보들을 OVN Southbound 데이터베이스에서 받게 된다. 정보를 받은 후 ovn-contoller 는 OVSDB 프로토콜을 이용해서 네트워크 구성정보를 OVS 에게 전달하고 OpenFlow 프로토콜을 이용해서 SFF 가 어떤 SF 에게 패킷을 전달해야 하는지에 대한 테이블 정보를 SFF 에게 전달하게 된다. 만약 SF 이 NSH(Network Service Header)에 있는 메타데이터 정보를 가지고 re-classification 을 해야 한다면 데이터베이스에 저장되어 있는 정보를 가지고 새로운 NSH 헤더를 만들게 된다. SFF 도 다른 SFF 에게 패킷을 전달할 때

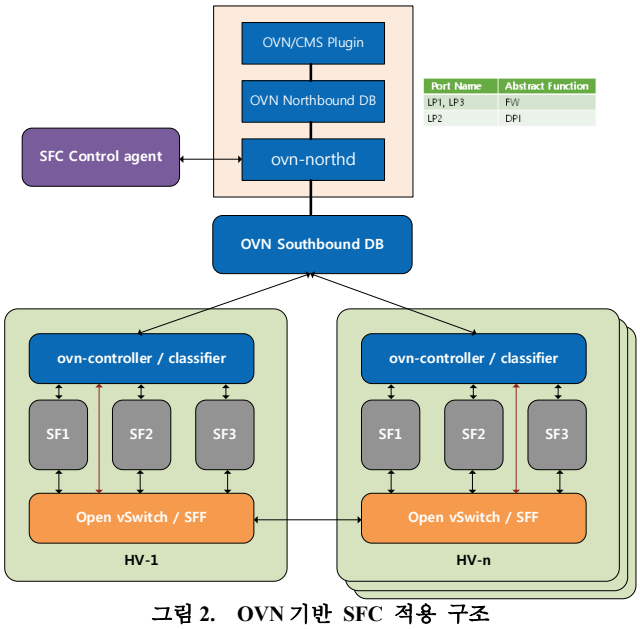



그림 2. OVN 기반 SFC 적용 구조

ovn-controller 가 데이터베이스로부터 가져온 동기화된 정보를 가지고 트랜스포트 헤더(VXLAN, Geneve, STT)를 붙여 전달하게 된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 CMS 에게 물리 네트워크 위에 논리적인 네트워크 추상화 기능을 제공하는 OVN 에 대한 구조와 기능을 분석하였고 CMS 중 하나인 오픈스택에서 OVN 기반 SFC 가 어떻게 적용되는 지에 대해 알아보았다. 현재 OVN 은 오픈스택 정식 릴리즈 버전에는 추가되지 않은 상태이다. 향후에는 정식 릴리즈 버전에 배포된 소스 코드를 기반으로 OVN 에서 SFC 를 어떻게 적용했는지에 대한 자세한 분석과 성능 평가를 진행할 예정이다.


### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신연구기반구축사업 [12221-14-1001, 차세대 네트워크 · 컴퓨팅 플랫폼연구 기반구축]과 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구 사업의 일환으로 수행하였음. (No.B190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개 소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)


## 5. 참고 문헌


[1] ETSI ISG NFV, "Network Functions Virtualization – Introductory White Paper v2.0", Oct. 2013.

[2] Tseng, Hui-Min, et al. "Network virtualization with cloud virtual switch." Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2011 IEEE 17th International Conference on, pp.998-1003, 2011.

[3] Open vSwitch, http://www.openvswitch.org/

# 고가용성을 위한 상태정보 기반 VNF 이전기법

양현식°, 김영한

숭실대학교 스포츠 IT 융합학과°, 숭실대학교 정보통신공학과

# State Information-based VNF Migration Scheme for High Availability

Hyun-Sik Yang°, Young-Han Kim

School of Electronic Engineering, Soongsil University

yangun@dcn.ssu.ac.kr°, younghak@ssu.ac.kr

## 요 약

가상 머신 환경에서의 VNF(Virtual Network Function)이전 기술은 시스템 오류시 동작을 유지하기 위해 필요한 기술이며,가상시스템의 확장시에도 요구되는 기술이다. 그러나 가상환경에서 VNF 이전 기술은 VNF 전체를 기준으로 동작하기 때문에 부분적인 상태 이전이나 확장은 어렵다. 따라서 본 논문에서는 상태정보를 기반으로 서비스를 확장 및 이전 할 수 있는 상태 정보 기반 VNF 이전 기법에 필요한 요소를 정의하고 그에 따른 구조를 제시하고자 한다.

## 1. 서론

가상화 기술은 물리적인 자원을 바탕으로 자원들의 논리화된 자원을 제공하는 기술로 자원의 동적인 활용과 운용을 통해 전체적인 구조의 유연성을 높여주는 기술이다.[1] 가상화 기반의 클라우드 컴퓨팅 환경에서 서비스의 가용성을 보장하기 위해 VNF 의 이전기술로 마이그레이션 기술이 함께 제안되고 있다. 또한, 서비스의 지속적인 제공을 위해 라이브 마이그레이션이라는 기술도 제안되었다.[2] 그러나 기존의 VNF 마이그레이션 기술은 제공하는 서비스와 관련된 상태 정보나 동일 서비스의 분산 확장과 같은 부분을 고려하는 것이 아니라 CPU 및 메모리로부터 오는 데이터 전송의 딜레이나 오버헤드를 줄이기 위한 방안들이 논의 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 각 머신에서 사용되는 상태정보를 기반으로 서비스를 확장 및 이전할 수 있는 상태 정보 기반 이전기법에 필요한 요소를 정의하고 그에 따른 구조를 제시하고자 한다.

## 2. 관련 연구

네트워크 기능 가상화(NFV: Network Funciton Virtualization) 관련 구조는 ETSI 에서의 표준화를 통해 프레임워크가 제정되고 있다. 표준화가 진행되고 있는 구조는 다양한 서비스를 제공 가능하게 하는 구조의 대표적인 예이다. 그림 1 은 통신서비스를 제공하는 사업자들을 주축으로 하여 플랫폼 및 관련 기능들에 대한 구조를 정의하고 있는 오픈소스 단체인 OPNFV 에서 구성하고 있는 프레임워크이다.[3] OPNFV 에서는 크게 4 가지 부분으로 구분하여 프레임워크를 논의하고 있다. 특히 서비스를 위한 구조를 중점적으로 논의하고 있기 때문에 앞서 이야기한 마이그레이션에 대한 시나리오나 가용성을 제공하기 위한 구조들도 여러 프로젝트 그룹에서 논의가 진행 되고 있다.

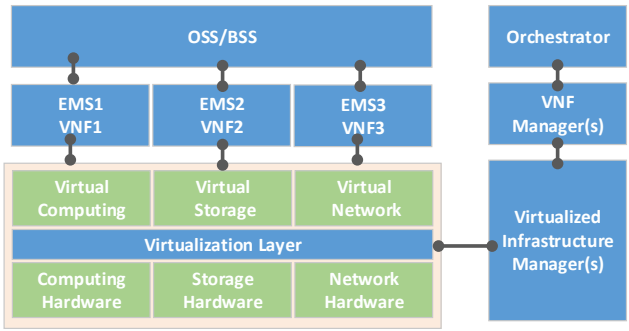



그림 1. OPNFV 에서 제안된 NFV 프레임워크

OPNFV 단체의 여러 프로젝트중 High Availiability 프로젝트에서도 마이그레이션에 대한 시나리오를 정의하고 각 시나리오별 절차를 정의하고 있으며, Mulitsite 프로젝트에서도 멀티 사이트에서의 마이그레이션 방안에 대해 논의가 진행중이다.[4][5]

## 3. 상태 정보 기반 VNF 이전기법

상태 정보 기반 VNF 이전을 위해서는 크게 3 가지의 엔티티가 정의되어야 한다. 그림 2 는 상태정보 기반 VNF 이전 기법을 위한 엔티티를 ETSI 에서 표준화한 구조를 기반으로 나타낸 전체 구조도이다. 먼저 State Collector 는 VNF 로부터 상태정보를 수집하기 위한 엔티티 이다. VNF 내에 저장된 상태 정보 수집을 위해서는 State Collector 와 VNF 간의 데이터 송수신을 위한 인터페이스가 필요하며, 이 인터페이스를 통해서 상태정보를 수집하게 된다. State Monitor 는 VNF Manager 부분에 속하는 엔티티로

State Collector 가 수집한 데이터를 수신받아 전체 VNF 에 대한 종합 관리를 하는 역할을 한다. 종합 관리를 통해 차후 상태 정보 기반의 이전을 위한 머신들의 정보를 제공하는 역할을 한다. 이를 위해서도 State Collector 와 State Monitor 간의 개별화된 인터페이스가 필요하다.

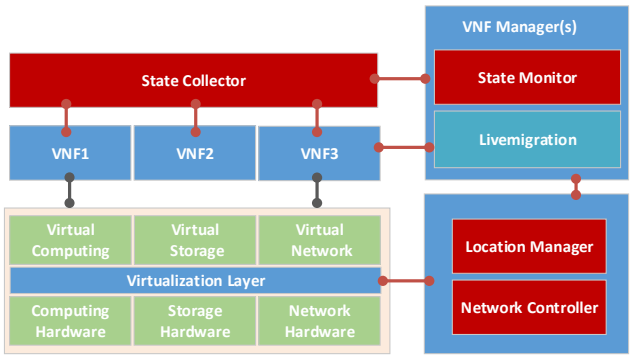



그림 2. 상태정보 기반 이전 기법 구조

상태 기반의 VNF 이전기술은 VNF 가 가진 특성들에 따라 분류하고 특정 서비스가 가지고 있는 상태를 조건에 따라 정의하여 이전하는 것이 특징이다. 수집된 정보를 바탕으로 VNF Manager 에 상태 이전을 담당하는 Live Migration 엔티티가 실제 마이그레이션을 관리하는 역할을 한다. Live Migration 엔티티는 총 두가지 모드로 동작가능하다. 첫번째는 제공되는 서비스와 관련된 상태정보의 일부만 이동하는 Partial Live Migration 이다. Partial Live Migration 경우에는 다음과 같은 경우에 사용 가능하다. 예를 들어 하나의 VNF 가 수백개의 가입자를 관리하는 경우 가입자의 증가로 인해 더 이상 정상적인 서비스가 어려운 경우, 특정 가입자들에 대한 정보를 Collector 로부터 수집하여 다른 VNF 로 옮겨서 정상적인 서비스가 가능하도록 하는 경우가 대표적인 예이다. 이 외에도 제공되는 서비스의 특징에 따라 정보의 분할 이전이 가능하다. 두번째 모드는 Full Live Migration 이다. Full Live Migration 의 경우에는 State Collector 로부터 수집한 모든 정보를 순차적으로 다른 VNF 로 모두 옮기는 경우이다. 이는 VNF 의 장애나 오류로 인해 더 이상 사용이 불가능한 경우, 주기적으로 수집된 정보를 바탕으로 서비스의 지속성을 유지하며 상태 정보를 이전하는 방법이다. 이때 제안된 방법에서 정의한 엔티티로부터 수집된 정보들을 활용하기 때문에 서비스 관점에서 서비스의 특성을 고려한 마이그레이션이 가능하다. 또 하나의 특징은 VIM(Virtual Infrastructure Manager) 과의 연동을 통한 멀티도메인에서의 VNF 이전시 상태 이전에 대한 기능을 제공하는 것이다. 이를 통해 Data forwarding 및 VNF Forwarding graph 를 설정하여 지속적인 서비스를 제공 가능하다.

## 4. 분 석

제안한 방법과 기존의 Live migration 과의 차이를 분석하기 위해 기존의 방식과의 차이점을 표 1 로 나타내었다.

표 1. 각 Scheme 에 따른 기능 제공

| Function / Scheme | Service continuity | Selective Information | Network Connectivity | Service Monitoring |
|---|---|---|---|---|
| Migration | X | X | X | X |
| Live migration | O | X | X | X |
| Proposed scheme | O | O | O | O |

표 1 과 같이 4 가지의 대표 기능에 따라 제공되는 기능을 비교하였다. Service Continuity 는 서비스의 지속성을 의미하고, Selective Information 은 제공되는 서비스 관련 정보의 선택적 migration 이 가능한지를 의미하며, Network Connectivity 는 이전 후 VNF 의 네트워크의 구성을 의미한다. 마지막으로 Service Monitoring 은 서비스 이전을 위한 서비스 기반의 모니터링 기능을 의미한다. 표와같이 서비스 기반의 이전 관련 기능은 제안된 방법이 많은 부분을 지원하는 것으로 확인되었다. 하지만 이전에서의 성능적 지표들은 차후 비교가 필요하다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 상태 정보 기반의 VNF 이전을 위해 필요한 요소들을 정의하고 그에 따른 구조를 설계하였다. 이 구조를 통해 서비스 특성에 따른 이전이 가능할 것으로 예상된다. 추후연구를 통해 서비스 기반의 이전시에도 성능적인 지표를 통한 분석을 통해 필요한 요소들을 추가적으로 정의 할 수 있을 것으로 예상된다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신연구기반구축사업 [12221-14-1001, 차세대 네트워크 · 컴퓨팅 플랫폼연구 기반구축]과 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구 사업의 일환으로 수행하였음. (No.B190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개 소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)

## 6.참고 문헌

[1]Marshall,“UnderstandingFullVirtualization,Paravirtualization,and Hardware Assist,” VMware white paper, 2007.
[2]D. Kapil, E. S. Pilli and R. C. Joshi, "Live virtual machine migration techniques: Survey and research challenges," Advance Computing Conference (IACC), 2013 IEEE 3rd International, Ghaziabad, pp. 963-969, Feb, 2013.
[3]OPNFV, https://wiki.opnfv.org/
[4]Availability, https://wiki.opnfv.org/high_availability_for_opnfv
[5]Multisite, https://wiki.opnfv.org/requirements_projects/multisite

# SFC 제어 평면을 위한 Yang 데이터 모델링

최수길°, 최미정

강원대학교 컴퓨터과학과

# Yang Data Modeling for SFC Control Plane

Soo-Gil Choi°, Mi-Jung Choi

Department of Computer Science, Kangwon National University

{sgchoi89, mjchoi}@kangwon.ac.kr

## 요 약

SFC(Service Function Chaining)이란 복수개의 네트워크 서비스 기능들을 하나의 논리적인 연결로 순서화하는 기술을 의미한다. SFC 는 제어 평면과 데이터 평면으로 구성되어 있다. SFC 를 효율적으로 관리하기 위해서는 정보 모델링이 이루어져야 한다. 현재 데이터 평면은 Yang 데이터 모델링 언어를 이용하여 정의되었으나, 제어 평면에 대해서는 정보 모델링이 부족하다. 본 논문에서는 제어 평면의 표준화 문서를 기반으로 요구사항을 분석하고, 이를 바탕으로 SFC 가 수행해야 하는 제어와 관리 기능을 대상으로 관리 정보를 Yang 으로 모델링 한다.

## 1. 서론

최근 각광받고 있는 기술인 SFC(Service Function Chaining)란 방화벽, DPI, NAT 등과 같은 미들박스, 즉 서비스 기능(Service Function, SF)들을 하나의 논리적인 연결로 순서화하는 기술[1]을 의미한다. 일반적으로 네트워크 서비스는 하나 이상의 네트워크 컴포넌트 기능을 구현하는 네트워크 장비들의 조합으로 제공된다. 그러나 기존의 방법은 네트워크 토폴로지나 물리적 네트워크 장비에 밀결합된 정적인 구조를 기반으로 하고 있기 때문에, 다양한 네트워크 서비스가 요구되고 상대적으로 서비스 교체 주기가 짧은 현대의 네트워크 인프라 구조에서는, 다량의 서비스 기능 장비에 대한 높은 관리 비용과 복잡도를 피할 수 없게 되었다. 이를 해결하기 위해 SFC 기술이 소개되었는데, 이는 네트워크 토폴로지 및 전송 기술과 상관 없이 서비스 기능들을 순서화하여 연결 및 실행하는 기술이다. SFC 의 동작을 이해하고 관리하기 위해서는 SFC 의 정보 모델링이 1 차적으로 이루어져야 하는데, 현재 데이터 평면 의 정보 모델링[2]은 Yang 으로 정의되었으나, 실제로 SFC 가 동작하기 위한 제어 평면 에 대해서는 정보 모델링이 부족하다. 본 논문에서는 SFC 제어 평면의 표준화 문서를 기반으로 SFC 가 수행해야 하는 제어와 관리 기능을 대상으로 관리 정보를 Yang 으로 모델링 하고자 한다. Yang 모델링 언어[3]는 NetConf 의 전송 내용을 위해 표준화되었으나 현재는 NetConf 프로토콜에 종속되지 않고 다양한 모델링에 적용되고 있다. 현재 SDN 과 NFV 의 관리를 표준화 단체에서 모델링 언어로 Yang 이 많이 사용하고 있는 추세이다. 본 논문은 이런 표준화 추세에 있는 Yang 을 통해 SFC 제어 평면의 정보 모델링 함으로써 표준화 추세에 발맞추며, SFC 의 동작을 이해하는 데 도움을 주고자 한다.

## 2. SFC 관리 요구 사항

본 장에서는 SFC Draft 표준화 문서[4], [5], [6] SFC 의 네트워크 및 서비스 관리 측면의 요구 사항 및 관리 기능을 종합하여 서술한다. 요구 사항은 토폴로지(Topology), 연결성(Connectivity), QoS(Quality of Service), 성능(Performance), 트래픽 분류(Traffic Classification) 등 8 가지로 분류하였다. 각 분류 별 세부 내용은 다음과 같다.

첫 번째, 토폴로지 측면의 요구사항은 다양한 토폴로지를 다룰 수 있어야 하며 모니터링을 위한 방안과 IP 주소 체계 이외의 다른 접근 방법이 요구 된다. 두 번째, 연결성 측면의 요구사항은 주어진 SF 의 서비스가 수행되는지 확인을 위해 연결성을 검사하는 방안이 요구 되며, SFC OAM 메시지는 주어진 데이터 패킷의 흐름과 동일한 경로에 따라 전송되기 위한 메커니즘이 필요하다. 세 번째, QoS 측면의 요구사항은 SFC 는 서로 다른 SLA(Service Level Agreement)를 제공할 수 있어야 한다. 또 메시지가 SFC 경계 노드에 도달할 때까지의 과정이 정확하게 완료되었는지 확인하는 메커니즘이 요구된다. 네 번째, 성능 측면의 요구사항은 주어진 SFP 로부터 다양한 파라미터를 측정하는 방안이 요구되며, SF 의 서비스 상태를 평가하는 방안이 요구된다. 또한 모든 SFC 에 대한 활동 상태를 기록 및 통계 수치를 제공하는 방안이 요구된다. 다섯 번째, 트래픽 분류 측면의 요구사항은 분류 규칙이 배치 및 정책 기반으로 결정되어야 한다. 또한 SFC 도메인을 운영하고 관리하는 주체로부터 분류 규칙이 구성되어야

한다. 여섯 번째, 회복 및 로드 밸런싱 측면의 요구사항은 결함에 대한 영향을 최소화 하기 위해 로드 밸런싱, 로드 쉐어링이 요구되며, 동일한 SF 의 다수 인스턴스 사이에 로드 밸런싱이 허용되어야 한다. 일곱 번째, 보안 측면의 요구사항은 SF 의 추론 정보가 외부로 유출되는 것을 방지 할 수단을 제공해야 한다. SF 인스턴스가 제공하는 서비스 이외의 다른 서비스를 제공 할 경우 이를 탐지하고, 이와 관련된 정보를 알리는 방안이 요구된다. 그 외로 추가 고려사항은 SF 의 라이플 사이클을 관리하는 방안이 등이 요구된다.

## 3. SFC 제어 평면의 Yang 데이터 모델링

본 장에서는 SFC 에 관한 요구사항을 기반으로 제어평면의 관리정보를 SFC-Control-Plane 모듈과 Path Maintenance, Path Optimization, Load Balancing, SFC Topology, Policy, History, Fault Handling, Event 총 9 개의 모듈로 Yang 모델링을 실시하였다. 또한 각 모듈에 필요한 RPC 수행 기능을 정의하였다. 다음 표 1 은 SFC 제어 평면에 대한 정보 모델링을 정리한 것이다.

<표 1> SFC 제어 평면의 정보 모델링

| 모듈 이름 | 요소 |
|---|---|
| SFC Control Plane | • Path Maintenance<br>• Path Optimization<br>• Load Balancing<br>• SFC Topology<br>• Policy<br>• History<br>• Fault Handling<br>• Event |
| Path Maintenance | • SFP name<br>• Aliveness of SFP: True or False<br>• RPC: check-path-aliveness (input: SFP name, output: aliveness) |
| Path Optimization | • SFP name<br>• Optimized SFP<br>• SFP availability<br>• Load status<br>• RPC: Find-optimized-SFP (input: SFP name, output: optimized SFP, SFP availability, Load status) |
| Load Balancing | • Load type: traffic/CPU/memory<br>• Source SFP name<br>• Target SFP name<br>• RPC: perform-load-balance (input: Load type, source SFP name, output: target SFP name) |
| SFC Topology | • Name: SFC name or SFP name or SFI name<br>• Lists of SF node<br>• RPC: show-SFC-topology (input: SFC name, output: list of SF nodes) |
| Policy | • Classification Policy Table<br>– Flow identifier<br>– Matching condition<br>– Priority<br>– Mapping SFC name<br>• Forwarding Policy Table<br>– SFF name<br>– Condition<br>– SFC name |
| History | • Performance<br>– Name: SFC name or SFP name<br>– Time<br>– Aliveness<br>– Resource utilization<br>• Fault<br>– Fault name<br>– Fault occurrence time<br>– Fault type<br>– Fault occurrence location<br>– Fault handling action |
| Fault Handling | • Fault name: Key<br>• Fault type: Node/Link/Path failures<br>• Fault handing action: Bypass/Use alternate node/Use alternate chain/Drop traffic<br>• RPC: handle-fault (input: fault name, output: fault handle result) |
| Event | SFC 제어 평면에서 발생할 수 있는 Event 정의 |

다음 그림 1 은 9 개의 모듈 중 Path Optimization 을 Yang 데이터 모델링 한 것 중 일부이다.

```
submodule path-optimization {
    belongs-to sfc-control-planes {
        prefix sfc-po;
    }
    description "This module constructs and maintains a SFP
                 with a low stretch considering the topological
                 locations and properties (e.g., latency, bandwidth) of SF.
    revision 2015-10-15;
    container path-optimization {
        leaf sfp-name {
            type string;
            description "The name of service function path to be changed f
        }
        leaf optimized-sfp {
            type string;
            description "The name of optimized service function path.";
        }
        leaf sfp-availability {
            type string;
            description "The availability of the optimized service functic
        }
        leaf load-status {
            type int8;
            description "A percentage value of load status.";
        }
    }
```

<그림 1 > Path Optimization 의 Yang 데이터 모델링

## 4. 결론

복수 개의 네트워크 서비스를 하나의 연결로 순서화하는 관련 표준기술인 SFC 와 데이터 모델링 언어인 Yang 에 대해서 살펴보았다. 현재 SFC 는 데이터 평면에 대한 관리 모델은 Yang 으로 정의되어 있으나 제어 평면은 관리에 대한 요구사항만 제시되어 있을 뿐 데이터 모델링에 대한 논의가 부족한 상황이다. 본 논문에서는 SFC 제어 평면의 표준화 문서를 기반으로 요구사항을 분석하고 관리 정보들을 총 9 개의 모듈로 Yang 모델링 하였다.

향후 연구로는 리눅스 재단의 SDN 오픈 소스 플랫폼인 ODL(OpenDaylight)내의 일부 모듈인 Yang tool 을 통해 기능 확장 및 네트워크 관리에 대한 방안을 구현할 계획이다.

## 5. 참고문헌


[1] IETF Service Function Chaining, https://datatracker.ietf.org/wg/sfc

[2] draft-penno-sfc-yang-13 : Yang Data Model for Service Function Chaining

[3] RFC 6020 : Yang Base Specification

[4] draft-ietf-sfc-oam-framework-01: Service Function Chaining Operation, Administration and Maintenance Framework

[5] draft-boucadair-sfc-requirements-06: Requirements for Service Function Chaining(SFC)

[6] draft-ietf-sfc-control-plane-02: SFC Control Plane Components and Requirements

# SmartX Box 간의 오버레이 네트워킹에 대한 IO Visor 기반 플로우 트레이싱의 적용 및 검증

이준기°, 신준식, 김종원

광주과학기술원 정보통신공학부

# Application and Verification of IO Visor based Flow Tracing for Overlay Networking among SmartX Boxes

Jungi Lee°, JunSik Shin, JongWon Kim

School of Electrical Engineering and Computer Science, GIST.

{jglee, jsshin, jongwon}@nm.gist.ac.kr

## 요 약

분산 클라우드를 위한 Box 간 연동 기법으로 VXLAN 과 같은 오버레이 네트워킹 기법이 사용될 수 있다. 본 논문에서는 SmartX Playground 라는 분산 클라우드 환경에서 각 사이트의 Box 간 VXLAN 터널 기반 연동을 모니터링 하기 위해 플로우들의 트레이싱을 위한 IO Visor 기반의 패킷 분석 도구를 적용해보고, 실제 SmartX Playground 환경에서의 적용 가능성에 대해 검증해본다. 또한, 추후 SmartX Playground 를 위한 트레이싱 도구의 발전 방향에 대해 고찰한다.

## 1. 서론

클라우드 환경을 위한 컴퓨트/스토리지/네트워킹 자원의 동적인 할당이 가능한 초 융합형(Hyper-converged) 자원 집합을 SmartX Box 라 칭한다. 2012 년부터 국내 사용자들을 대상으로 상기한 조건을 만족하는 국내 SmartX Box 들을 연동해 구축한 SmartX Playground 라는 클라우드 테스트베드를 제공하고 있다. OpenStack 기반의 클라우드인 SmartX Playground 를 구축 및 운용하기 위해 국내 여러 사이트의 Box 들을 연동하는데 있어 언더레이 네트워크 환경을 세부적으로 고려하지 않고 신속하고 유연한 인프라 구성을 위해 VXLAN(Virtual eXtensible Local Area Network)과 같은 오버레이 네트워킹 방식이 사용되고 있다 [1]. 이러한 박스들의 상호 연결에는 풀 메쉬 방식으로 터널이 모든 박스간에 존재하는데, 이러한 터널을 자동으로 설정하고 관리하기 위한 방법으로 OvN-manager(Overlay vNetworking Manager)[2]를 활용할 수 있다.

OvN-manager 를 활용한 자동화된 사이트 간의 연동에서는 VXLAN 터널들의 상태를 모니터링하기 위해 사이트 간에 ping 을 통해서 사이트 간 연결성을 확인한다. 그러나 이러한 방식의 터널 상태 모니터링 방법은 실제 VXLAN 기반 터널로 플로우가 지나가는지 확인하는 것이 아닌 두 박스간의 연결 여부를 확인하는 간접적인 방법으로, 이러한 경우 Box 간 플로우가 VXLAN 터널이 아닌 다른 경로를 통해 이동하는 경우 VXLAN 터널의 상태를 정확히 모니터링 하지 못하게 될 가능성이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 직접적으로 VXLAN 터널을 모니터링 할 수 있는 기법의 적용이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 SmartX Box 간의 VXLAN 터널을 지나가는 플로우들을 트레이싱하는 도구를 통해 SmartX Playground 를 위한 플로우 트레이싱의 적용 가능성을 검증한다.

## 2. 리눅스 Box 네트워킹을 위한 IO Visor 및 이를 활용한 트레이싱 도구

SmartX Playground 의 운용을 위한 SmartX Box 간 VXLAN 터널의 모니터링을 위해 IO Visor 기반 트레이싱 도구를 적용할 수 있다. IO Visor 는 IO 와 새로운 네트워크 function 들을 위한 오픈 소스 프로젝트이다 [3]. IO Visor 는 네트워킹, 보안, 트레이싱 등의 기능을 제공하기 위한 IO Visor BCC[4] 라는 툴킷을 제공하며, 이를 활용해 애플리케이션 등을 구현할 수 있다.

본 논문에서 SmartX Box 간의 오버레이 네트워킹의 트레이싱을 위한 애플리케이션은 아래 그림 1 와 같은 구조를 가진다. 각 SmartX Box 내부에서 IO Visor 기반 애플리케이션이 작동하고, BOX 에 연동되어있는 각각의 VXLAN 터널과, 터널을 통해 지나가는 플로우들을 모니터링 한다. 본 논문에서 사용되는 애플리케이션은 IO Visor BCC 에서 제공하는

예시 코드를 활용 및 변형하였다.

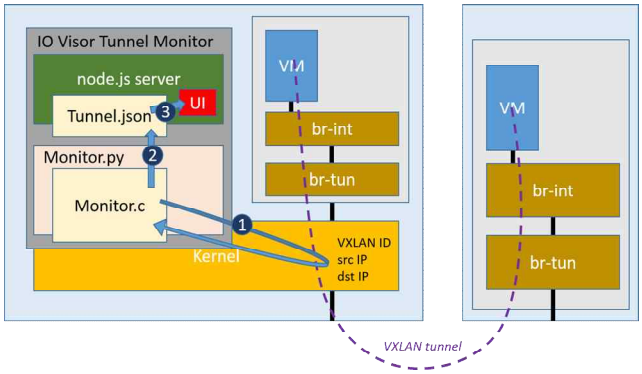



그림 1. IO Visor 기반 트레이싱 도구의 구조

메인 프로그램은 커널 상에서 오가는 플로우의 패킷의 헤더를 분석하여, 헤더가 VXLAN 패킷의 헤더인 0x0800 일 경우 패킷의 정보를 트레이싱하고, 이러한 과정을 통해 트레이싱 된 VXLAN 터널 내부의 패킷의 정보가 json 형식의 파일에 저장된다. 저장된 정보는 node.js 기반의 Web 서버를 통해 사용자가 모니터링 할 수 있게 구현된다. 이러한 IO Visor 애플리케이션을 통해 SmartX Box 에 적용시키므로써, VXLAN 패킷을 트레이싱 하고 SmartX Playground 의 운용을 위해 모니터링 할 수 있다.

## 3. IO Visor 기반 오버레이 네트워킹 트레이싱 도구의 적용 및 검증

상기한 IO Visor 기반 트레이싱 도구의 검증을 위해 SmartX Playground 환경을 구성하는 Box 들 중 광주에 위치한 SmartX Type C SANDBOX 1 을 사용하였다. SANDBOX 1 의 사양은 표 1 과 같다. 검증에 사용된 SANDBOX 1 의 경우 다른 SmartX Type C Box 들과의 VXLAN 기반의 연동이 구현되어 있으며, IO Visor BCC 는 리눅스 커널 4.1 이상 버전의 운영체제 환경에서 설치 및 사용이 가능하므로 상기한 사양의 SmartX Type C SANDBOX1 에서 VXLAN 터널들을 트레이싱하는 IO Visor 기반 도구를 검증함으로써 SmartX Playground 에서의 IO Visor 기반 트레이싱 도구의 적용 가능성을 검증한다.

표 1. SmartX Type C SANDBOX1 의 사양

| | SmartX Type C SANDBOX 1 |
|---|---|
| CPU | Intel® Xeon E5-2630, 6 cores |
| RAM | 16GB |
| Storage | 120GB HDD |
| OS | Ubuntu 14.04.3 LTS |
| Kernel ver. | Linux 4.3.0-040300-generic x86_64 |

검증을 위한 실험에서는 SANDBOX 1 에 존재하는 VXLAN 터널의 모니터링 기능 검증을 위해 SANDBOX 1 내부에서 임의로 VXLAN 터널을 생성하고, 패킷을 트레이싱 하기 위해 VXLAN 터널 상에 임의로 트래픽을 발생시키는 스크립트를 사용하였다. 그 결과 그림 2 와 같이 각 터널 별 Source IP, Destination IP, 오고 간 패킷의 양, VXLAN ID 등을 관찰하는 Web UI 를 확인할 수 있다. 또한 VXLAN ID 별로 오가는 트래픽만을 선택하거나 특정 IP 대역과 연결된 터널만을 모니터링 할 수 있다.

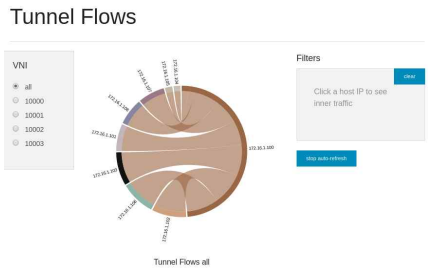



그림 2. VXLAN 터널 monitor 의 Web UI

## 4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 SmartX 박스 간의 오버레이 네트워킹을 위한 도구로써 IO Visor 기반 트레이싱 도구를 적용 및 검증해 보았다. SmartX 박스 환경에서 커널 상의 패킷들에 대한 분석을 통하여 VXLAN 터널의 패킷들에 대한 트레이싱 기능을 검증할 수 있었다. 추후 SmartX Playground 를 구성하는 SmartX Box 에 IO Visor 기반 트레이싱 도구를 적용시킴으로써 사이트 간의 연동에 사용되는 VXLAN 터널의 상태를 모니터링 할 수 있음을 확인할 수 있다. 추후에는 또한 IO Visor BCC 에서 제공하는 도구들을 이용해 패킷의 정보에 따른 IO Blocking 등의 확장 기능을 통해 현재 OpenStack 을 기반으로 운용되고 있는 클라우드인 SmartX Playground 의 네트워크 성능과 보안 측면의 이점을 살릴 수 있는 애플리케이션의 적용이 가능할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원(No. B0190-15-2012, 글로벌 SDN/NFV 공개소프트웨어 핵심 모듈/기능 개발)과 2015 년도 SW 융합기술고도화 사업의 지원(S0170-15-1071)을 받아 수행된 연구임.

## 참고 문헌

[1] 이준기, 신준식, 김종원, “분산된 다지역 클라우드 놀이터를 위한 SmartX 사이트 간의 안전한 3 계층 연동”, KICS 추계학술대회, 2015 년.
[2] J. Shin and J. Kim, “Automated Overlay Virtual Networking Manager for OpenFlow-based International SDN-Coud Testbed,” CloudComp 2015, Oct. 2015.
[3] IO Visor, (https://www.iovisor.org).
[4] BPF Compiler Collection, (https://github.com/iovisor/bcc)

# SmartX-mini Playground 를 활용한 IoT-Cloud 모니터링 데이터를 위한 SDN 기반 수집 경로 설정

윤희범°, 김승룡, 김종원

광주과학기술원

# SDN-based Collection Path Steering for IoT-Cloud Monitoring Data over SmartX-mini Playground

Heebum Yoon°, Seungryong Kim, and JongWon Kim

Gwangju Institute of Science and Technology

{hbyoon, srkim, jongwon}@nm.gist.ac.kr

## 요 약

부상하는 IoT-Cloud 서비스들을 효율적으로 지원하기 위해서는 IoT-Cloud 간의 안정적이고 지속적인 데이터 전송이 필수적이다. 본 논문에서는 초융합형 SmartX Box 에 기반한 SmartX-mini Playground 를 활용하여 IoT-Cloud 서비스를 위한 다양한 모니터링 데이터를 보다 안정되게 전송하도록 SDN 기반으로 수집경로를 유연하게 설정하는 방안을 살펴본다. 이를 위해 ONOS (Open Network Operating System) SDN 제어기에 기반한 SDN 응용을 적용하여 실제적인 IoT-SDN-Cloud 환경에서의 안정적인 IoT-Cloud 모니터링 데이터 전송을 위한 유연한 수집 경로 설정이 가능함을 확인한다.

## Ⅰ. 서론

최근 부상하는 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 관련 서비스들은 분산된 IoT 단말들로부터 수집된 대량의 데이터를 저장/처리하기 위해 Cloud 인프라와 연계되고 있다[1]. 즉 대규모의 IoT 단말들을 관제하도록 Cloud 인프라의 계산/저장/네트워킹 자원 집합(resource pool)을 다수 사용자들에게 동적으로 분배하면서 활용한다. 이와 같이 IoT 와 Cloud 가 접목되는 IoT-Cloud 서비스를 효율적으로 체험하려면, 계산/저장/네트워킹 자원을 융합하여 단일 Box 로 통합한 초융합형(hyper-converged) SmartX Box 들을 기반으로 소위 SmartX Playground 로 불리는 실증형 공용개발환경을 구축하여 활용하면 효과적이다[2].

IoT-Cloud 서비스들을 원활하게 제공하기 위해서는 IoT-Cloud 간 데이터 경로들을 안정적으로 확보하여, 데이터 손실과 데이터 처리의 지연을 최소화해야 한다. 이를 지원하기 위해 소프트웨어-정의 네트워킹(SDN: Software-Defined Networking)을 이용하면 IoT-Cloud 간 여러 전송 경로들에 대한 손쉬운 관제가 가능하다. 따라서 본 논문에서는 SDN 을 이용해 IoT-Cloud 서비스를 위한 모니터링 데이터를 안정되게 전송하도록 ONOS 제어기에 기반한 SDN 응용을 활용해 안정되고 유연한 데이터 경로 설정을 적용해 본다. 또한 SmartX-mini Playground 를 활용한 공용개발환경에 이를 적용함에 의해서 IoT-SDN-Cloud 서비스 실증을 지원할 때 효과적으로 활용 가능함을 확인한다.

## Ⅱ. SmartX-mini Playground 를 위한 SDN 기반 경로 구축

IoT-Cloud 서비스 실증을 위한 공용개발환경을 제공하는 SmartX-mini Playground 는 IoT 종단(end)에 적합한 장치인 μBox, 소규모로 꾸며진 Cloud 를 대표하는 μCloud Box, OpenFlow SDN 을 지원하는 스위치, 그리고 전체 공용개발환경을 관제하기 위한 DevOps(개발운영병행체제) Tower 를 포함한다.

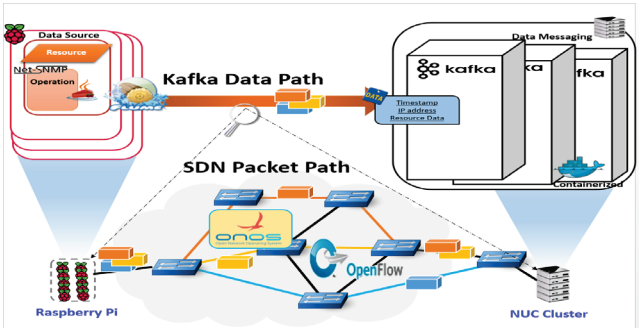



그림 1. IoT-SDN-Cloud 환경에서의 논리적/물리적 전송 경로들.

IoT-Cloud 서비스 환경에서 신뢰할 수 있는 운영을 위해 μBox 들에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 본 논문에서는 이를 위해 안정적으로 물리적인 수집경로가 확보되도록 설정하고, SDN 스위치들이 해당 경로를 따라 모니터링 정보를 담은 패킷들을 지속적으로 전달하도록 만든다.

상기한 그림 1 은 IoT-SDN-Cloud 환경에서 모니터링 데이터의 전달을 위한 논리적인 경로와 물리적

인 경로를 함께 보여준다. 논리적인 경로에서 µBox 들은 Apache Flume 기반으로 Net-SNMP 를 통해 모니터링 데이터를 확보하고, 이를 정해진 토픽에 맞춰 Apache Kafka 의 브로커들에게 제공함으로써 µCloud Box 들로 전달한다. 이 때, 각 브로커들은 토픽의 분할을 갖고 있으며 손실을 방지하기 위한 사본을 확보하기 위하여 Zookeeper 를 통해 브로커간에 데이터를 주고 받는다. 이러한 논리적인 경로를 ONOS(Open Network Operating System) SDN 제어기에 기반한 SDN 응용을 적용하여 물리적인 경로를 보완하도록 하면 보다 유연한 데이터 전송이 가능하게 된다. 만약 기존의 물리적인 전달 경로에서 발생한 문제가 논리적인 경로에서 감당하기 힘들 정도로 지속되면, SDN 제어기는 우회 경로를 통해 데이터 전송이 이뤄지도록 스위치들을 조정할 수 있다. 이때 Apache Kafka 는 데이터를 파일 시스템에 저장하면서 전달하기 때문에 플로우의 단기적 단절이나 경로변경에 따른 데이터의 손실을 막을 수 있는 것이다.

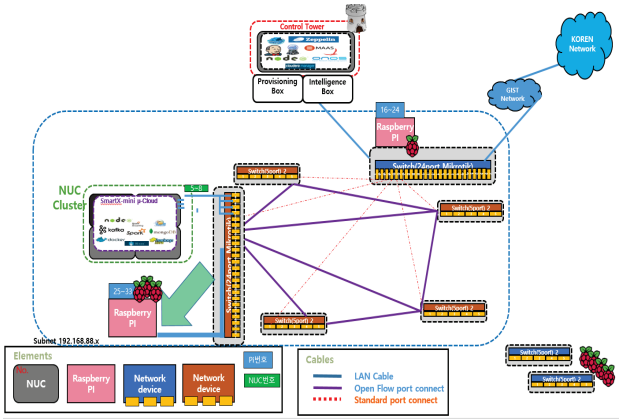



그림 2. SmartX-mini Playground 인프라.

그림 2 은 SmartX-mini Playground 의 전체 하드웨어 구성을 보여준다. µBox 하드웨어는 Raspberry Pi 2 를 사용하고, µCloud Box 및 DevOps Tower 의 하드웨어로는 Intel 사의 소형 PC 인 NUC 을 활용한다. 또한 SDN 스위치는 Mikrotik 사의 스위치를 사용한다. 또한 ONOS SDN 제어기 위에서 동작하는 SDN 응용은 패킷 모니터링을 통해 Host-to-Host forwarding rule 을 수집하고 Intent 를 활용해 µbox 와 µCloud Box 간 Host-To-Host Intent 를 자동적으로 설치한다.

## Ⅲ. SDN 기반 데이터 경로 설정과 검증

그림 3 은 SmartX-mini Playground 에서 실행된 ONOS 제어기와 SDN 응용인 FwdTraffic 의 결과를 나타낸다. µBox 는 Apache Flume 과 Apache Kafka 를 이용해 µCloud Box 로 1 번과 같이 데이터를 전송한다. 이 때 사용되는 링크를 중단시키면 SDN 제어기는 우회경로 플로우를 스위치들에 전달하여 데이터 전송이 우회하여 지속하도록 한다. 그림 3 의 2 번은 µBox 들이 개별적인 경로를 따라 경로를 바꿔 데이터를 전송하고 있음을 보여준다. 또한 그림 3 의 3 번은 지연이 거의 없이 원활하게 Apache Kafka 로 데이터 전송이 이루어짐을 보인다. 즉 µCloud Box 에서 Apache Kafka 의 consumer 적용을 통해 원활하게 데이터가 전송되는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 3 의 4 번, 5 번, 6 번은 µBox 들이 µCloud Box 로 데이터를 전송할 때, 해당 SDN 플로우들의 패킷을 GUI 와 CLI 를 활용하여 분석한 내용을 보여준다.

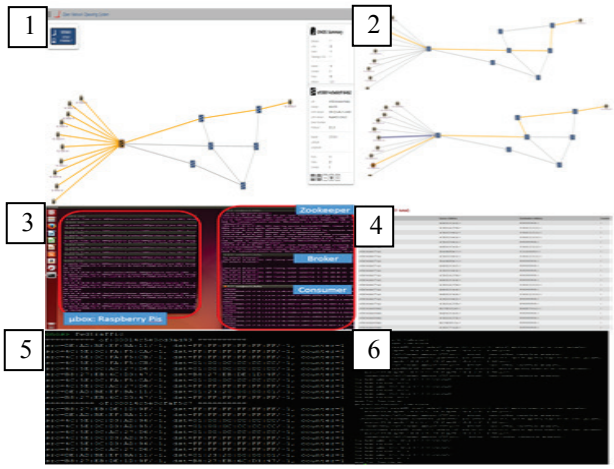



그림 3. ONOS 제어기를 통한 FwdTraffic 응용의 적용에 따른 수집경로 변경.

## Ⅳ. 결론

SmartX-mini Playground 환경을 이용해 IoT-SDN-Cloud 서비스를 위해 데이터의 원활한 경로 설정에 대한 가능성을 확인하였다. 향후 SmartX-mini DevOps Tower 를 통해 종단 단말들 자체에 발생하는 문제점을 자동으로 복구하도록 연결하면, 보다 안정적인 IoT-Cloud 서비스 실증이 가능할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2015 년도 미래창조과학부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원 (B0190-15-2012, K-ONE 과제)과 2015 년도 미래창조과학부의 재원으로 SW 융합기술고도화 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (S1070-15-1071).

## 참고 문헌

[1] K.S. Yeo, M.C. Chain, T.C.W. Ng, and A.T. Do, "Internet of Things: Trends, challenges and applications," *Proc. IEEE ISIS*, Mar. 2014.

[2] 차병래, 김종원,"소프트웨어-정의 인프라 대응을 위한 통합형 테스트베드의 구축 및 운영", *OSIA S&TR Journal*, 29 권, 1 호, 2016 년 3 월.

[3] N. McKeown, et. al., "OpenFlow: Enabling innovation in campus networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 69-74, Apr. 2008.

[4] 김승룡, 김종원, "SmartX-mini Playground 를 위한 Container 기반 Operational Visibility 지원 실증" 통신학회 추계학술대회, 2015 년 11 월.

# 기대최대화 기반 사용자 클러스터링을 통한 D2D 광고 확산

김준선
UNIST 전기전자컴퓨터공학부
Junseon Kim

이호원°
한경대학교 전기전자제어공학과
Howon Lee°

## 1. 서론

[1], [2]에서는 Device-to-device(D2D) 통신과 소셜커머스 서비스를 결합한 광고 확산 알고리즘에 대하여 제안하였다. 이에 따르면, 사용자가 밀집된 고밀도 지역들을 중심으로 광고를 전파하면 높은 광고 확산 이득을 얻을 수 있다. 하지만, 사용자 밀집도 정보를 알 수 없는 경우, 광고 확산 경로를 확보하는 것은 매우 어려운 문제이다. 본 논문에서는 사용자 클러스터링을 이용한 주성분(principal component, PC) 기반 광고확산 알고리즘에 대하여 제안한다. 기대최대화(expectation-maximization, EM) 알고리즘에서의 각 클러스터 사용자 분포에 대한 주성분을 이용함으로써 보다 많은 사용자들에게 광고를 효율적으로 전달할 수 있다.

## 2. 제안 방안

Source 단말은 가우시안 혼합 모델 기반 EM 알고리즘을 이용하여 사용자들을 분류한다. 클러스터링을 마치면, 각 클러스터 별 평균과 공분산을 구하고 고유값을 이용해 주성분을 구한다 [3][4]. 주성분을 이용하여 그림 1 과 같이 광고 확산을 위한 3 가지 목표지역을 설정한다. 1) 유효범위 내에서 광고 확산을 위한 boundary point, $T_{Bp}$; 2) 서로 다른 주성분들의 교점을 의미하는 intersection point, $T_{Ip}$; 3) Source 단말과 가장 인접한 주성분의 closest point, $T_{Cp}$.

설정된 목표지역을 기반으로 그림 1 과 같은 경로를 따라 광고가 확산된다. 먼저, $T_{Cp}$ 를 첫 번째 목표지역으로 설정한다. $T_{Cp}$ 를 포함하는 주성분 중 $T_{Ip}$ 를 경유하여 $T_{Bp}$ 로 향하는 경로를 설정한다. 또한, $T_{Ip}$ 에서 교차하는 다른 주성분의 $T_{Ip}$ 를 경유하여 $T_{Bp}$ 로 향하는 경로로 추가 분할된다. 이와 같은 반복적인 과정을 통해 광고 확산 경로가 설정된다.

소스 및 릴레이 단말은 D2D 그룹을 형성하여 D2D 단말들에게 광고를 전송하고, GPS 를 통해 알고 있는 단말들의 위치 정보를 요청한다. D2D 단말들과 현재 목표지역의 거리 비교를 통해 가장 인접한 D2D 단말을 다음 릴레이 단말로 선정한다. 현재 목표지역에 광고가 도달한다면, 다음 목표지역과의 거리 비교를 통해 새로운 릴레이 단말을 선정한다. 이와 같이 연속적인 D2D 그룹 형성 및 릴레이 선정을 통해 최종 목표지역까지 광고를 확산한다.

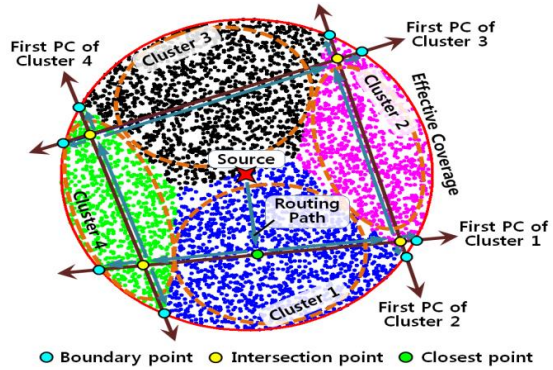



**Fig. 1.** 제안방안 기반 광고 확산 예.

## 3. 성능분석

MATLAB 시뮬레이션 환경은 유효범위 1,000m, 단말의 수 5000 개, D2D AP 및 단말의 전송 반경은 각각 200m, 80m 로 가정하였다. 제안한 주성분 기반 광고 확산 알고리즘(PCADA)과 EM 및 K-means, Mean shift 기반 각 클러스터의 평균을 고려한 알고리즘(MADA)의 성능을 비교 분석한다.

그림 2 는 전체 사용자 수 대비 광고 수신 사용자 수의 비율인 포함확률(Coverage Probability, $P_{cov}$ )을 클러스터의 수($N_c$)에 따라 보여준다. PCADA 는 사용자들의 분포를 고려하며, MADA 에 비하여 다수의 목표지역을 설정 할 수 있다. 또한 PCADA 는 $N_c \leq 3$ 경우 PC 들이 교차할 가능성이 적지만, $N_c \geq 4$ 경우 교차하는 다수의 PC 들로 인해 $T_{Ip}$ 가 급증한다. 그 결과 PCADA 는 상대적으로 더 좋은 $P_{cov}$ 를 가지며, $N_c$ 가 4 일 때 성능이 급증한다.

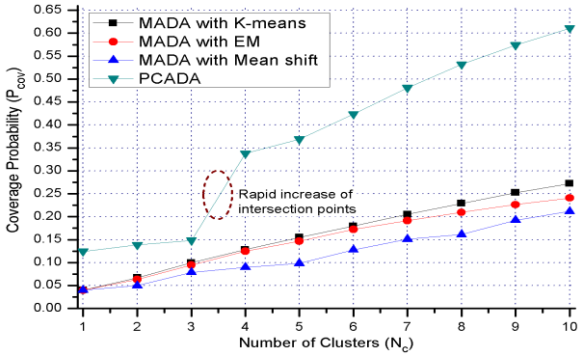



**Fig. 2.** 클러스터 개수 변화에 따른 포함확률 결과.

## 4. ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 · 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1272, 단말 협업형 Giga 급 스마트 클라우드릿 핵심기술 개발]

## 5. 참고 문헌

[1] J. Kim, et al., "VADA: Wi-Fi Direct Based Voluntary Advertisement Dissemination Algorithm for Social Commerce Services," *IEEE VTC 2015 Spring*, pp. 1-6, May 2015.

[2] J. Kim, et al., "Geographical Proximity Based Target-Group Formation Algorithm for Efficient D2D Advertisement Dissemination," *IEEE PerCom 2015*, pp. 275-278, Mar. 2015.

[3] C. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006.

[4] I. Jolliffe, *Principal component analysis*, John Wiley & Sons, 2002.

# 5G 코어 네트워크 기술: 모바일 클라우드 컴퓨팅 관점

김성연° , 임병근

인터디지털 아시아

# 5G Core Network Technology: Mobile Cloud Computing Perspective

Sung-Yeon Kim° and Byung Keun Lim

InterDigital Asia

°sung-yeon.kim@interdigital.com

요 약

모바일 단말의 확산으로 모바일 네트워크를 지원하는 클라우드 컴퓨팅인 모바일 클라우드 컴퓨팅에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 논문은 현재 4 세대 이동통신 시스템의 다음세대인 5 세대 이동통신에서의 핵심기술로 거론되고 있는 모바일 클라우드 컴퓨팅 중 하나인 모바일 에지 컴퓨팅에 대해 살펴본다. 또한, 5 세대 이동통신 시스템에서의 낮은 종단간 지연시간에 대한 요구사항을 만족시키기 위한 모바일 에지 컴퓨팅 구조를 제안한다.

## 1. 서론

클라우드 컴퓨팅은 인터넷을 통해 높은 성능의 IT 자원 (연산, 저장, 네트워크 장치 등)을 사용자에게 제공한다. 사용자는 클라우드 컴퓨팅의 복잡한 인프라 구조를 알지못해도 개인의 기기를 통해 비교적 간단한 입력과 출력 작업만 수행하면 되므로 쉽고 편리하게 높은 성능의 컴퓨팅 자원을 사용할 수 있다. 또한, IT 자원을 다른 사용자와 공유하므로 합리적인 가격으로 높은 성능의 IT 자원을 사용할 수 있다. 이러한 장점들로 인해 2000 년대 후반부터 클라우드 컴퓨팅은 빠르게 확산되고 있다 [1].

최근 스마트폰, 태블릿과 같은 모바일 단말의 확산으로 모바일 단말에서도 기존의 클라우드 컴퓨팅을 적용할 수 있는 모바일 클라우드 컴퓨팅의 개념이 주목받고 있다. 기존의 클라우드 컴퓨팅과 마찬가지로, 사용자는 모바일 단말을 이용하여 높은 성능의 IT 자원을 인터넷 통해 제공받을 수 있다. 하지만, 기존의 클라우드 컴퓨팅과 달리 사용자의 기기가 이동성을 가지고 있으므로, 사용자에게 안정적인 IT 자원을 제공하기 위한 많은 연구가 활발히 진행 중이다 [2].

현재 우리가 사용하는 4 세대 이동통신 시스템인 LTE, LTE-A 시스템의 다음 세대인 5 세대 이동통신 시스템에 대한 많은 연구분야 중에서, 사용자가 경험하는 종단간 지연시간을 최소화하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히, 5 세대 이동통신 시스템에서 낮은 종단간 지연시간을 갖는 모바일 클라우드 컴퓨팅을 지원하기 위해서는 모바일 클라우드 컴퓨팅이 가지고 있는 문제점들을 해결해야 한다. 앞서 언급했듯이, 현재의 모바일 클라우드 컴퓨팅은 서버에 위치한 IT 자원을 인터넷을 통해 사용자에게 제공한다. 인터넷을 통해 IT 자원을 제공하기 때문에, 사용자에게 낮은 종단간 지연시간을 안정적으로 보장하기 힘들다.

모바일 클라우드 컴퓨팅의 낮은 종단간 지연시간 보장을 위해, 국제 표준화 단체인 European Telecommunications Standards Institute (ETSI)는 모바일 에지 컴퓨팅 (Mobile Edge Computing)을 제안하였다 [3]. 모바일 에지 컴퓨팅은 IT 자원을 사용자와 비교적 근거리에 위치한 기지국에 설치하여, 모바일 클라우드 컴퓨팅에서 IT 자원을 제공하던 서버가 아닌, 기지국에서 사용자에게 IT 자원을 제공한다. 기존의 모바일 클라우드 컴퓨팅과 달리, IT 자원이 인터넷을 통해 제공되지 않으므로, 모바일 클라우드 컴퓨팅 보다 낮은 종단간 지연시간이 예상된다.

하지만, 5 세대 이동통신 시스템에서 고려중인 Ultra-Dense Network (UDN)과 같은, 모바일 단말이 매우 많이 집중되어 있는 상황에서, 기지국에서 IT 자원을 제공하는것만으로 충분히 낮은 종단간 지연시간을 보장하기 힘들다. 또한, ETSI 의 모바일 에지 컴퓨팅은 3GPP 표준을 고려하여 기지국에서 운영이 적합하도록 설계하였는데, 이것은 3GPP 표준을 따르는 기지국 이외의 다른 노드, 예를 들어, WiFi AP, 등에서 ETSI 모바일 에지 컴퓨팅의 플랫폼 사용을 어렵게 만들고, 나아가 IT 자원의 탄력적 (flexibility) 운영을 어렵게 만드는 요인이다. 따라서, 본 논문에서는 낮은 종단간 지연시간을 보장하기 위해, 기존의 모바일 에지 컴퓨팅이 가지고 있는 문제점들을 해결할 수 있는 모바일 에지 컴퓨팅의 새로운 구조를 제안한다.

## 2. 본론

본 논문에서는 ETSI 모바일 에지 컴퓨팅의 문제점들을 보완할 수 있는 새로운 모바일 에지 컴퓨팅 구조를 제안한다. 제안하는 모바일 에지 컴퓨팅 시스템은 5 세대 이동통신 시스템에서 주목받고 있는 무선 접속기술 중 하나인 스몰셀 (small cell) 이 적용된 시스템이다. 스몰셀은 기존의 넓은 커버리지를 갖는 기지국과 달리 비교적 좁은 커버리지를 갖는 소형기지국을 말한다. 스몰셀은 기존의 기지국을 보완하여 셀 용량 증대와 커버리지 확대를 목적으로 5 세대 이동통신 시스템의 핵심요소가 될 것으로 예상된다.

제안하는 모바일 에지 컴퓨팅 시스템에서는 스몰셀이 설치된 모바일 네트워크에서, 기지국 뿐만 아니라 스몰셀도 IT 자원을 보유하고, 기지국과 스몰셀, 나아가 서버까지 계층적 구조를 갖는 시스템이다. Fig. 1 은 제안하는 계층적 구조의 모바일 에지 컴퓨팅을 나타낸다. 제안된 모바일 에지 컴퓨팅 시스템에서, 스몰셀은 넓은 커버리지를 갖는 기지국과 통신할 수도 있고 직접 인터넷에 접속할 수도 있다. 따라서, 사용자가 IT 자원을 요청할 경우, 스몰셀, 기지국, 서버는 서로 협력하여 보다 효율적으로 사용자에게 IT 자원을 제공할 수 있다. 예를 들어, 스몰셀의 IT 자원이 사용자가 요청한 IT 자원보다 충분히 크다면, IT 자원을 스몰셀에서만 제공할 수도 있다. 반면에, 스몰셀의 IT 자원이 충분하지 않다면, 스몰셀은 기지국에 요청하여 기지국의 IT 자원을 사용자에게 제공할 수도 있고, 아니면 스몰셀과 기지국, 서버가 서로 협력하여 사용자에게 제공할 IT 자원을 스몰셀, 기지국, 서버가 나누어  효율적으로 제공할 수도 있다.

제안하는 모바일 에지 컴퓨팅 시스템에서, 스몰셀은 기지국에 비해 구축비용이 적게 들고 크기가 작아 협소한 지역이나 인구가 밀집된 곳에 설치가 용이하다. 예를 들어, UDN 의 예로 고려되고 있는 쇼핑몰, 경기장과 같이 인구가 밀집되어 있는 곳에서 증강현실과 같은 IT 자원을 요구하는 서비스를 이용하는 상황에서, 만약 기지국만이 사용자에게 IT 자원을 제공할 수 있다면, 많은 사용자들에게 만족할 만한 IT 자원을 제공하기 힘들다. 이 경우, 높은 구축비용과 설치의 어려움이 있는 기지국을 추가로 설치하는 대신, 비교적 구축하기 쉽고 저렴한 스몰셀을  설치하고, 스몰셀과 기지국간 계층적 구조를 통해 많은 사용자들에게 충분한 IT 자원을 제공할 수 있다.

또한, 제안하는 모바일 에지 컴퓨팅 구조에서, 스몰셀은 WiFI AP 등 비 3GPP 표준의 노드를 포함할 수 있도록 설계할 수 있다. 3GPP 표준을 고려하여 설계된 ETSI 모바일 에지 컴퓨팅 구조에서는 기지국만을 고려하므로, 확장성에 한계가 있을 수 있다. 하지만, 스몰셀을 고려한 구조에서는, WiFi AP 등도 IT 자원을 제공할 수 있도록 설계가 가능하므로, 폭

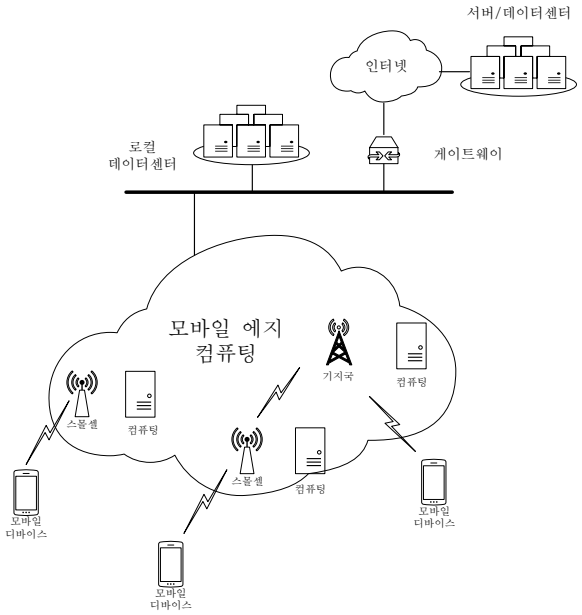



Fig. 1. 계층적 구조의 모바일 에지 컴퓨팅

넓은 확장성을 기대할 수 있고, 사용자 입장에서는 다양한 접속방식을 통한 모바일 에지 컴퓨팅 시스템으로의 높은 접근성을 기대할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 5 세대 이동통신 시스템에서의 낮은 종단간 지연시간에 대한 요구사항을 만족시키기 위한 새로운 구조의 모바일 에지 컴퓨팅 구조를 제안하였다. 제안한 모바일 에지 컴퓨팅 구조를 통해 사용자는 보다 더 효율적으로 IT 자원을 사용할 수 있고, 사업자 입장에서는 더 합리적인 비용으로 모바일 에지 컴퓨팅 환경을 구축할 수 있을것으로 기대된다.

## 4. 참고문헌

[1] Q. Zhang, L. Cheng, and R. Boutaba, “Cloud computing: state-of-the-art and research challenges,” *Journal of internet services and applications*, vol. 1, no. 1, pp. 7-18, May 2010.

[2] N. Fernando, S. W. Loke, and W. Rahayu, “Mobile cloud computing: A survey,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 1, pp. 84-106, Jan. 2013.

[3] Y. C. Hu, M. Pater, D. Sabella, N. Sprecher, and V. Young, “Mobile Edge Computing: A key technology towards 5G,” *ETSI white paper*, No. 11, Sept. 2015.

# 이종 무선망 위한 MPTCP 연구 동향 및 이슈

오봉환°, 이재용

연세대학교 전기전자공학부

# Research Trend and Issues in MPTCP for Heterogeneous Wireless Networks

Bong-Hwan Oh°, and Jaiyong Lee

School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

{crusader27, jyl}@yonsei.ac.kr

요 약

본 논문은 차세대 전송 프로토콜로 주목 받고 있는 MPTCP 에 대한 소개와 MPTCP 를 이용한 국내외 동향 에 대해 살펴본다. 또한 현재 MPTCP 의 표준화 동향과 앞으로 MPTCP 의 활용방안을 고려해 본다.

## 1. 서론

현재 이동통신 네트워크는 4G 를 넘어 차세대 이동통신인 5G 네트워크로 변화되길 요구 받고 있다. 네트워크를 기반으로 하는 다양한 서비스들 (Multimedia, Smart Car, Visual Reality) 과 새로운 네트워크 디바이스들이 등장으로 인해 네트워크에 기대하는 요구들은 점점 늘어나고 있으며 이를 충족 시키기 위한 새로운 방안들이 필요하게 되었다. 현재 이러한 요구조건들은 4G 네트워크를 넘어 5G 네트워크 구성을 촉진시키고 있으며 5G 네트워크의 요구사항은 4G 네트워크 이상의 무선 성능을 제공하는 것이다 [1]. 현재까지 5G 네트워크의 요구사항들은 고속 전송, 1ms 이하의 지연 속도, 끊임없는 연결성, 보안 등 이며 이를 통해 5G 네트워크는 무선 네트워크만으로 모든 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 결국 5G 네트워크의 목표를 성취하기 위해서는 통신, 네트워크 전 분야에 걸친 성능 향상이 필요하게 된다.

Multipath TCP (MPTCP)는 현재 가장 유력한 차세대 전송 프로토콜로 주목을 받고 있다. MPTCP 는 IETF 에서 표준화가 진행되고 있는 transport layer protocol 로서 서로 다른 IP 주소를 가지고 있는 여러 통신 인터페이스를 동시에 사용한 데이터 전송을 가능하게 한다. MPTCP 를 사용하여 여러 네트워크들을 동시에 이용한다면, 네트워크의 효율성을 높일 수 있고, 또 무선 단말에게 더 많은 무선 자원을 할당하여 무선 단말에의 throughput 성능을 향상 시킬 수 있다. 또한 현재 모바일 기기들이 가지는 multi-interface 를 이용하여 MPTCP 를 구현 함으로써 많은 이득을 취할 수 있을 것으로 보여진다.

본 논문에서는 차세대 전송 프로토콜로 주목 받고 있는 MPTCP 에 대한 소개한다. 먼저 MPTCP 구조와 동작에 대해서 간단히 설명한 후 현재 국내외 MPTCP 이용 동향에 대해서 살펴본다. MPTCP 의 표준화 진행 과정과 더불어 앞으로의 MPTCP 의 활용방안을 고려해 본다.

## 2. MPTCP 구조 및 동작 [2, 3]

MPTCP 는 기본적으로 2 개의 sub-layer 로 구성되는데, 먼저 MPTCP layer 가 존재 하고 그 밑에 하나 이상의 subflow 들이 존재하는 구조로 되어 있다. MPTCP layer 는 connection 관리와 application packet ordering 을 통해 application layer 을 보조하는 역할을 수행한다. Subflow layer 의 경우 IP 위에서 기존의 TCP 를 동작시킴으로써 신뢰성 있는 packet segment 전송과 congestion control 역할을 수행한다.

기존의 TCP 와는 달리 MPTCP 의 경우 다중의 subflow 을 가지게 되기 때문에 TCP 와는 다른 추가적인 동작이 필요로 하게 된다. 먼저 MPTCP 는 application 에게 TCP 와 동일한 기능을 제공해야 하기 때문에 application 와 MPTCP 와는 TCP 와 동일한 동작을 수행하게 된다. 먼저 application 에서 자신의 application 데이터를 MPTCP 에게 single data stream 으로 전송하게 된다. 이렇게 single data stream 을 받은 MPTCP 는 이 application data 를 미리 정해는 scheduling scheme 을 통해 다시 subflow 에게 할당하게 된다. 이렇게 할당된 application data 는 다시 subflow 에서 TCP 패킷에 payload 되어 전송되게 된다. 여기서 subflow 는 기존의 TCP 처럼 reliable 한 데이터 전송뿐만 아니라 자신의 네트워크의 상황에 따른 congestion control 을 수행하게 된다.

## 3. 국내외 MPTCP 이용 동향

MPTCP 를 가장 먼저 상용 서비스에 적용한 것은 Apple 사의 Siri 서비스이다. 이 서비스에서는 기본

적으로 WiFi 네트워크를 이용하여 데이터 전송을 수행하고 이후 WiFi 네트워크의 이용이 불가해지면 cellular 네트워크를 이용하는 방안으로 동작 된다.

국내에서도 MPTCP 를 이용한 서비스들에 제공되고 있다. 현재 국내에서는 MPTCP 를 이용하여 다중 경로 전송 기술을 이용한 서비스를 제공하고 있다. 가장 먼저 서비스된 서비스는 KT 의 'GiGA Path' 서비스이며, SK 텔레콤은 '밴드 LTE 와이파이', LG 유플러스는 '기가 멀티패스' 라는 이름으로 서비스를 진행하고 있다.

이외에도 많은 network 사업자들(China Mobile/ France Telecom/ Bouygues Telecoms/ etc)이 MPTCP proxy 를 이용한 MPTCP 사용에 대하여 연구하고 있다 [4]. MPTCP proxy 란 종단간 연결 사이에 Proxy 를 설치 함으로써 server 가 직접 MPTCP 를 구동하는 것이 아니라 그 앞에서 Proxy 가 MPTCP 를 구동하여 MPTCP 가 아닌 server 에게 전달하는 것을 의미한다.

## 4. MPTCP 표준화 동향

현재 MPTCP 관련 RFC 문서와 Active Internet-Draft 를 정리하면 다음 표와 같다.

| ***RFCs*** | |
|---|---|
| RFC 6181 | Threat Analysis for TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses |
| RFC 6182 | Architectural Guidelines for Multipath TCP Development |
| RFC 6356 | Coupled Congestion Control for Multipath Transport Protocols |
| RFC 6824 | TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses |
| RFC 6897 | Multipath TCP (MPTCP) Application Interface Considerations |
| ***Active Internet-Draft*** | |
| Use Cases and Operational Experience with Multipath TCP | |
| TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses | |

표 1. MPTCP 표준화 동향

## 5.MPTCP 발전 추세

지금까지의 MPTCP 의 사용방안을 고려해 보면 현재 상황에서 MPTCP 는 서버의 변경 없이 host 에서 MPTCP proxy 를 통한 방식으로 이용될 가능성이 가장 많아 보인다. 이러한 구조에서 MPTCP 를 이용하기 위해 변경되어야 할 부분은 단말 (Host)에서의 MPTCP 의 이용방안과 MPTCP Proxy 에 대한 부분이 될 것이다.

단말을 위한 MPTCP 연구는 현재 계속해서 진행되고 있고 최근 연구를 통해서 무선 네트워크에서 MPTCP 를 사용할 경우 여러 가지 문제가 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 무선 네트워크를 고려한 추가적 연구들이 진행될 것으로 보인다.

또한 MPTCP 를 위한 proxy 서버를 운용하기 위해서는 여전히 고려해야 될 사항들이 많다. 따라서 MPTCP 를 좀 더 일반적으로 이용하기 위한 네트워크의 고려사항들에 대한 연구가 계속 진행 될 것이다. 그 중의 하나로써 하나의 ISP 에서 MPTCP 를 이용하는 경우와 다양한 ISP 망에서 MPTCP 를 이용하는 경우들을 고려한 연구들이 지속될 것으로 예상된다.

## 6. 결론

현재 네트워크는 새로운 서비스를 지원하기 위해 변화를 요구 받고 있다. MPTCP 는 다중의 인터페이스를 통해 다중의 경로를 사용할 수 있게 하여 단말에서 사용할 수 있는 전송률의 향상과 안정적인 연결 유지를 제공할 수 있다. 하지만 현재 상황은 단순히 MPTCP 를 통해 다중의 네트워크를 이용하는 것 외에 MPTCP 를 이용하여 새로운 서비스를 제안하는 방안은 부족한 상태이다. 따라서 앞으로 MPTCP 를 기반으로 하여 다중 네트워크에서 새로운 기능들을 제공해 줄 수 있다면 그에 따라 현재 기능을 강화 하거나 새로운 application 서비스를 제공 할 수 있을 것으로 예상 된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 방송통신산업기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-16-1276, 다양한 IoT 서비스를 위한 액세스 네트워크 제어 기술]

## 7. 참고 문헌

[1] KT's Perspective on 5G, 3GPP 5G RAN Workshop, 2015

[2] A.Ford, C.Raiciu, M.Handley, O.Bonaventure, TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses, RFC6824, January 2013.

[3] A.Ford, C.Raiciu, M.Handley, S.Barre, J.Iyengar, Architectural guidelines for multipath TCP development, RFC6182, March2011.

[4] MPTCP proxy, http://tools.ietf.org/id/draft-deng-mptcp-proxy-00.txt

# 5G 네트워크를 위한 C-RAN 에서의 Function Split

이현석, 이장원°

연세대학교 전기전자공학과

# Function Split in C-RAN for 5G Networks

Hyun-Suk Lee, Jang-Won Lee°

Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

{hs.lee, jangwon}@yonsei.ac.kr

## 요 약

기지국의 baseband unit (BBU)과 remote radio head (RRH)를 분리하고, 각 기지국의 BBU 를 한 장소에 집중시켜 기지국의 설치 및 운용 비용을 감소시키는 Cloud Radio Access Network (C-RAN) 환경에서, 현재의 기술로는 5G 통신 기술을 고려할 때 BBU 와 RRH 를 연결하는 데이터 링크인 fronthaul 의 요구 용량이 매우 커지는 문제가 발생한다. 따라서 해당 문제를 해결하는 방안으로 BBU 와 RRH 에서 수행하는 기능을 적절히 분리하는 function split 기술이 대두되고 있다. 이 때, 적용되는 function split 수준에 따라 fronthaul 의 요구 용량 및 요구 지연시간, 기지국 협력 통신 효율성 등의 특성이 달라지므로, 네트워크 상황에 따라 적절한 function split 수준을 결정할 필요가 있으며, 또한 function split 기술의 실제적인 적용을 위해 BBU 와 RRH 사이의 프로토콜 표준이 요구될 것으로 예상된다. 마지막으로 function split 기술은 향후 차세대 fronthaul 인터페이스 기술에서 요구되는 패킷망 기반의 fronthaul 네트워크, 통계적 다중화 이득 등의 특징을 갖는 방향으로 발전될 것으로 기대된다.

## 1. 서론

Cloud Radio Access Network (C-RAN)은 그림 1 과 같이 기지국의 baseband unit (BBU)과 remote radio head (RRH)를 분리하고, 각 기지국의 BBU 를 한 장소에 집중시킴으로써 기지국의 설치 및 운용 비용을 감소시키는 기술이다 [1]. 이 때, BBU 와 RRH 를 연결하는 데이터 링크를 fronthaul 이라 명명한다.

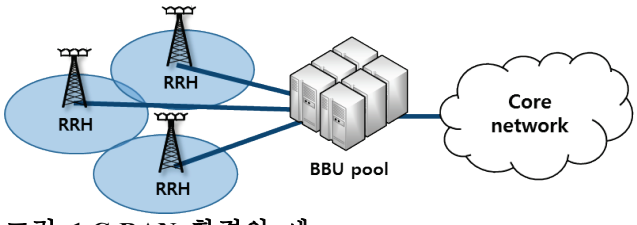



**그림 1 C-RAN 환경의 예**

현재 fronthaul 의 전송기술로 CPRI (Common Public Radio Interface) 기술이 주로 사용되고 있으며, CPRI 기술을 사용하는 경우 BBU 에서 대부분의 신호처리 기능을 담당하고 RRH 에서는 최소한의 기능만을 수행하는 환경이 고려된다 [2]. 하지만 이 경우 통신 시스템 내의 기지국 안테나 수 및 시스템 대역폭에 따라 fronthaul 용량이 선형적으로 증가한다는 단점이 있다. 따라서 기지국의 안테나 수가 많고 넓은 시스템 대역폭을 사용할 것으로 예상되는 5G 통신 기술을 고려할 때, CPRI 기술의 경우 셀 사이트 당 수십~수백 Gbps 의 fronthaul 용량이 요구되어 이로 인한 높은 fronthaul 비용으로 인해 현실적으로 5G 통신 기술이 적용된 C-RAN 에서는 사용되기 어려운 문제가 있다. 이와 같은 fronthaul 용량 문제를 해결 하기 위한 방안 중 하나로 최근 function split 기술이 등장하였다 [3].

본 논문에서는 앞서 언급한 function split 기술에 대하여 다룬다. 먼저 function split 기술의 필요성, 기술의 적용에 따른 장단점 및 실제 시나리오에서 기술의 적용을 위해 요구되는 사항에 대하여 알아보고, 마지막으로 function split 기술의 연구 동향 및 향후 발전 전망에 대하여 살펴본다.

## 2. C-RAN 환경에서의 Function Split 기술

기존의 CPRI 기술을 사용하는 C-RAN 환경에서는 RRH 에 RF 관련 기능만을 남겨둔 채 BBU 에서 FFT/IFFT, 다중안테나 처리, 변복조 등 대부분의 신호 처리 기능을 수행하고, fronthaul 을 통해서는 RF

이 논문은 삼성전자 DMC 연구소(과제번호 150605-03060-01)의 지원과 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2013R1A2A2A01069053)의 지원을 받아 수행되었음.

에서 전송되는 신호의 정보가 전송된다. 따라서 이 경우 fronthaul 용량은 기지국의 안테나 수 및 시스템 대역폭에 선형적으로 증가한다. 5G 기술에서는 4G 기술 대비 많은 안테나 수 및 넓은 시스템 대역폭을 고려하므로 기존 기술로는 요구되는 fronthaul 용량이 너무 큰 문제가 있다. 따라서 최근 그림 2 와 같이 기존 기지국에서 수행하는 기능을 BBU 와 RRH 에 적절히 분리하여 fronthaul 용량을 줄일 수 있는 function split 기술이 고려되고 있다 [3].

특히 BBU 와 RRH 사이의 function split 수준에 따라 BBU 와 RRH 사이의 전송 데이터 종류, fronthaul 요구 용량, 요구 지연시간, 요구 jitter, 기지국 협력 통신 효율성, RRH 의 설치 및 관리 비용 등의 특성이 변화한다. 따라서 function split 수준에 따라 위와 같은 특성이 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 진행되었다 [4],[5].

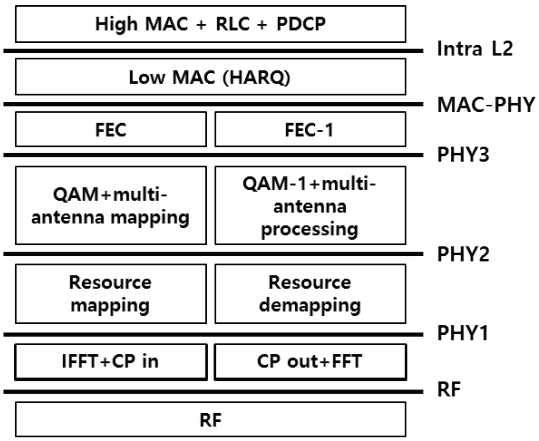



**그림 2 Function split 수준의 예**

Function split 수준이 RRH 에서 더 많은 기능을 수행하는 방향으로 옮겨갈 경우, fronthaul 의 요구 용량이 줄어들 뿐 아니라 fronthaul 의 요구 용량과 기지국의 안테나 개수가 decoupling 되고 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있는 등 fronthaul 용량 측면에서 많은 장점이 있다. 또한 C-RAN 환경에서는 상향링크 HARQ 재전송 타이밍으로 인한 fronthaul 지연시간 요구가 존재하며, 해당 지연시간 요구는 100μs 수준으로 굉장히 엄격하다. 하지만 RRH 에서 물리계층의 모든 기능과 MAC 계층의 HARQ 기능을 수행할 경우 해당 지연시간 요구를 완화시킬 수 있는 장점이 있다. 반면에 RRH 에서 decoding 기능까지 모두 수행할 경우 CoMP JR (Coordinated Multi-Point Joint Reception) 기술을 적용하기 어려운 단점이 있다. 또한 RRH 에서 많은 기능을 처리할수록 RRH 를 설치하고 관리하는데 요구되는 비용이 늘어나게 된다. 이와 같이 function split 수준에 따라 trade-off 가 존재하므로 성능 및 비용적인 측면을 함께 고려하여 최적의 function split 수준을 결정할 필요가 있다.

실제 많은 이동통신 사업자 및 기지국 벤더들이 C-RAN 구조에서 무선 접속 기술의 일부 기능을 BBU 에서 가상화시켜 구현하여 사용하는 시나리오를 고려하고 있다. 해당 시나리오에서는 BBU 는 상용 서버 혹은 클라우드 컴퓨팅 자원과 가상화된 무선 접속 기술 소프트웨어를 이용하여 구현하고, 무선 접속 기술의 나머지 기능을 수행하는 RRH 는 기지국 벤더들로부터 공급받아 무선 접속 네트워크를 구성하게 된다. 따라서, 이 경우 BBU 와 여러 기지국 벤더로부터의 RRH 사이의 호환성을 위해 function split 기술이 적용된 BBU 와 RRH 사이의 프로토콜 표준이 요구될 것으로 예상된다.

C-RAN 환경 구축 시 셀 사이트에 따라 이미 설치된 광케이블의 용량 혹은 설치를 위해 소요되는 비용이 다르고, 셀의 종류에 따라 트래픽 특성 등이 다르므로, 네트워크 특성에 따라 요구되는 최적의 function split 수준이 다를 수 있다. 따라서 BBU 와 RRH 사이의 프로토콜 표준의 경우 다양한 function split 수준에 대하여 요구되며 프로토콜 표준에서는 각 function split 수준에서 BBU 와 RRH 사이에 전달이 필요한 정보 및 정보의 전달 방법에 대한 정의가 필요하다.

## 3. 연구 동향 및 향후 발전 전망

Function split 기술은 최근 China mobile, Alcatel-Lucent 등이 참여한 Next-Generation Fronthaul Interface (NGFI) 표준화 단체에서 제안한 차세대 fronthaul 표준에서 주요 기술로 포함되었다 [6]. 또한 향후 function split 기술은 차세대 fronthaul 인터페이스 기술에서 요구되는 패킷망 기반의 fronthaul 네트워크, 통계적 다중화 이득 등의 특징을 획득할 수 있는 방향으로 발전될 것으로 기대된다.

## 4. 참고 문헌

[1] China Mobile Research Institute, “C-RAN: The Road Towards Green RAN,” White Paper, Version 3.0, Dec. 2013.

[2] Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification V7.0, Oct. 2015.

[3] NGMN Alliance, “Suggestions on Potential Solutions to C-RAN,” v. 4.0, Jan. 2013.

[4] U. Dötsch, M. Doll, H.-P. Mayer, F. Schaich, J. Segel, and P. Sehier, “Quantitative analysis of split base station processing and determination of advantageous architectures for lte,” *Bell Labs Technical Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 105–128, June 2013.

[5] J. Bartelt, P. Rost, D. Wubben, J. Lessmann, B. Melis, and G. Fettweis, “Fronthaul and backhaul requirements of flexibly centralized radio access networks,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 22, no. 5, pp. 105–111, Oct. 2015.

[6] China Mobile Research Institute, “White paper of next generation fronthaul interface,” White Paper, Version 1.0, Oct. 2015.

# DCNN(Deep Convolutional Neural Networks)를 이용한 마이크로 도플러 신호 기반의 사람 행동 분류

김영욱§, 박진희°, 문태섭°

° 대구경북과학기술원 정보통신융합공학전공

§ Department of Electrical and Computer Engineering, California State University, Fresno

# Application of Deep Convolutional Neural Networks for Human Activity Classification Based on Micro-Doppler Signatures

Youngwook Kim§, Jinhee Park°, Taesup Moon°

° Department of Information and Communication Engineering, DGIST

§ Department of Electrical and Computer Engineering, California State University, Fresno

youngkim@csufresno.edu, pjhdrm@dgist.ac.kr, tsmoon@dgist.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 도플러 레이더 기반의 사람 행동 분류에 deep convolutional neural networks(DCNN)의 사용을 제안한다. 검출 및 분류 문제해결을 위해 기존에 제안된 구조들은 경험적으로 고안된 특징들에 의존하는 통상적인 지도 학습 패러다임이었다. 반면 본 논문에서 제안하는 구조는 문제에 대한 도메인 지식이 필요했던 확장성의 제한을 극복하기 위해 딥러닝 접근법을 제시한다. 본 논문에서는 가장 성공적인 딥러닝 알고리즘 중 하나인 DCNN 을 사람 행동 분류 문제 해결을 위한 미가공 마이크로 도플러 스펙트로그램에 적용한다. DCNN 은 마이크로 도플러 신호의 도메인 지식 없이도 필요한 특징과 분류 경계를 공동으로 학습할 수 있으며 그 결과 사람 행동 분류에서 86.6%의 높은 정확도를 확인하였다.

## 1. 서론

다양한 비 연식 운동으로부터 생성되는 마이크로 도플러 사인은 타깃을 인식하고 분류하기 위한 중요한 특성이 될 수 있기 때문에[1], 움직이는 물체 검출과 타깃 분류에 많이 쓰이고 있다. 스펙트로그램에서 추출된 시가변적 사인은 높은 정확도와 함께 다양한 사람의 행동을 인식하는데 활용되었지만[2] 이 접근법은 미가공 마이크로 도플러 신호의 전처리를 필요로 하며, 특정 도메인 지식에 대한 의존성은 다른 연구로의 확장성에 대한 제한을 가진다. 본 논문은 이 제한의 극복을 위해 deep convolutional neural networks(DCNN)의 사용을 제안한다. 도플러 레이더로 측정된 7 가지 사람 행동이 타깃으로 사용되고, 딥러닝 접근을 레이더 분야 특히 도플러 신호의 타깃 인식 부분에 사용한다는 점에서 기존 연구들과 차별성이 있다. 또한 DCNN 분류 실험 결과 특징 추출을 위한 도메인 지식이 없어도 86.6%의 높은 정확도 성능을 확인하였다.

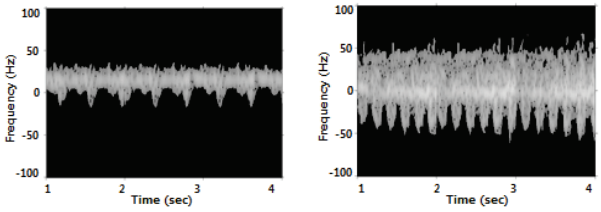
## 2. DCNN

데이터로부터 추출된 특징에 의존하는 것과 달리 딥러닝 알고리즘은 특징과 분류 경계를 손실 함수의 최적화를 통해 미가공 입력 데이터로부터 학습하는 특성을 가지고 있다. DCNN 은 가장 성공적인 딥러닝 알고리즘 중 하나로 LeCun et at.[3]에 의해 고안된 고전적 convolution neural network(CNN)를 기반으로 한다. DCNN 은 convolution filter, nonlinear activation function 그리고 pooling 이 세가지 주 성분을 하나의 layer 로 여기고, 다수(deep)의 layer 를 연속하여 CNN 에 사용한다. DCNN 을 분류기로써 사용할 때, 마지막 소수의 layer 는 모든 입력 노드가 모든 출력 노드와 연결이 되어있는, 즉 보통의 퍼셉트론 형태로 추정하며 DCNN 은 기존의 최신 기법들을 능가하며 영상 인식 분야에서 각광받고 있다.

## 3. DCNN 을 이용한 마이크로 도플러 사인 타깃 분류 실험

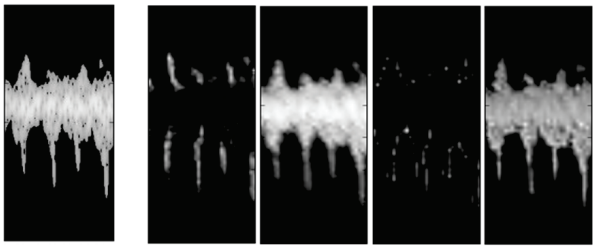
본 논문은 [2]의 데이터 셋을 이용하여 DCNN 을 사용한 사람 행동 분류의 성능을 조사했다. 데이터는

2.4 GHz 로 작동되는 도플러 레이더 테스트 베드로 수집되었다.




(a) (b)

그림 1. 샘플 스펙트로그램. (a)엎드리기. (b)걷기.



(a) (b)

그림 2. (a) '움직이며 권투' 동작의 입력데이터와 (b)학습된 첫번째 convolution filter 들의 특징맵 일부.

각 샘플은 가시선 상태의 내부 환경에서 레이더를 향해 움직이는 12 명의 사람이 3 일간 (1)달리기, (2)걷기, (3)막대기를 잡은 채 걷기, (4)엎드리기, (5)움직이며 권투, (6)선채로 권투 그리고 (7)앉기 이렇게 7 가지 동작들을 한 사람당 4 번씩 수행하며 측정되었고, 그 중 3 개의 스펙트로그램이 각 측정치들로부터 추출되어 총 1008 개의 데이터 포인트를 얻었다. 추출된 스펙트로그램의 크기는 300 * 140 이며, 그림 1 은 샘플 스펙트로그램의 일부분을 나타낸다.

본 논문은 [2]과 비슷하게 스펙트로그램을 이미지 데이터로 취급한 DCNN 의 분류 성능을 평가하기위해 4-fold cross validation 을 사용하였고 각 fold 별로 756 개의 트레이닝 샘플과 252 개의 테스트 샘플을 포함하고 있다. 각 layer 에서의 convolution filter 의 수, convolution filter 의 크기 그리고 fully connected layer 의 hidden nodes 의 수와 같은 hyperparameter 들은 cross validation 을 통해 채택되었고 activation function 으로는 ReLU(Restricted Linear Unit)를, 2*2 max pooling 을 사용했다.

데이터와 네트워크가 상당히 크기 때문에 본 논문은 연산속도의 향상을 위해 NVIDIA GPU 와 CUDA 라이브러리(cuDNN[5])를 사용하는 open-source toolkit 인 Caffe[4]를 사용했다. 학습을 위해 0.001 의 learning rate, 84 의 배치사이즈로 mini-batch SGD 를 사용하고 Momentum 은 0.9, dropout layer 가 마지막 fully connected layer 에서 0.5 의 수치로 적용됐다. 본 논문에서는 NVIDIA GeForce GTX TITAN X GPU(with a 12-GB memory)를 사용했고 총 400epoch 과 함께 각 fold 의 트레이닝 시간은 평균 약 950 초가 걸렸다.

| Fold 1 | Fold 2 | Fold 3 | Fold 4 | Average |
|---|---|---|---|---|
| 84% | 90.2% | 82.1% | 90.2% | 86.6% |

표 1. 각 DCNN 의 fold 별 평균 정확도 결과.

본 논문에서 찾은 적합한 모델은 5*5 크기의 20 개의 filter 를 가지는 3 개의 convolution layers, 그리고 500 개의 hidden nodes 를 가지는 첫 번째 fully connected layer 를 포함한 2 개의 fully connected layer 이다. 표 1 은 본 논문에서 얻은 각 fold 별 정확도 결과를 요약한 것이며 랜덤 초기화의 영향을 줄이기 위해 총 10 번 실험한 평균값으로, 정확도 86.6% 를 보여준다. 이 결과는 [2]의 결과에 약간 미치지 못하지만, 특징 추출과 광범위한 hyperparemeter 조정을 하지 않고 얻은 결과이므로, 어떠한 전처리 과정 없이 수행한 마이크로 도플러 기반의 타깃 분류에 DCNN 이 잠재력을 가지고 있음을 보여준다[6]. 그림 2 는 특정 입력데이터와 첫 번째 convolution layer 에서 사용된 특징맵의 일부분을 시각화한 것으로 다양한 특징맵들이 추출됨을 알 수 있다.

## 4.결론

본 논문에서는 마이크로 도플러 특성의 스펙트로그램을 기반으로 한 타깃 분류 문제에 DCNN 을 적용하여 효율적으로 마이크로 도플러 특징들을 인식하고 추출했다. 또한 7 가지 사람 행동 분류는 어떠한 도메인 지식 없이 특징을 추출하여 86.6%의 높은 정확도를 확인했다. 본 논문의 결과는 수중 행동과 같이 경험적으로 고안된 특징을 추출하기 어려운 경우의 문제에서의 딥러닝의 잠재력과 마이크로 도플러 레이더 데이터를 영상 이미지로 취급하여 다양한 딥러닝 영상 분류 알고리즘을 적용할 수 있음을 보여주고 있다.

## 5. 참고 문헌

[1] V. C. Chen, F. Li, S.-S. Ho, and H. Wechsler, "Micro-Doppler effect in radar: Phenomenon, model, and simulation study," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 42, no. 1, pp. 2–21, Jan. 2006.

[2] Y. Kim and H. Ling, "Human activity classification based on micro-Doppler signatures using a support vector machine," IEEE Trans. Geosci.Remote Sens., vol. 47, no. 5, pp. 1328–1337, May 2009.

[3] Y. LeCun et al., "Handwritten digit recognition with a back-propagation 338 network," in Proc. Adv. Neural Inf. Process. Syst., 1990, pp. 396–404.

[4] Y. Jia et al., "Caffe: Convolutional architecture for fast feature embed- 358 ding," in Proc. ACM MM, 2014, pp. 675–678. 359

[5] S. Chetler et al., "cuDNN: Efficient primitives for deep learning," to be 360 published

[6] J. Bergstra and Y. Bengio, "Random search for hyper-parameter optimization," J. Mach. Learn. Res., vol. 13, pp. 281–305, 2012. 363

# Interactive Interference Channels

Jaewoong Cho°, Changho Suh
Department of Electronics Engineering, KAIST
{cjw2525, chsuh}@kaist.ac.kr

## 1. Introduction

An opportunity of interaction between communication nodes is provided in two-way communications. It allows nodes to use past received signals in transmitting their own messages. We need to understand the role of interaction in two-way communication channels.

We consider two-way interference channels (ICs) under a linear deterministic model where there are four users with their own messages: two associated with the forward IC and the other two with respect to the backward IC. We develop inner and outer bounds on the capacity region. As a consequence, we find that interaction can provide an opportunity to make use of channels more efficiently as compared to non-interactive transmission. Moreover, our novel outer bound establishes the characterization of channel regimes in which interaction does not provide a gain. We demonstrate whether or not interaction across forward and backward channels provide a gain over non-interactive independent transmission for all channel regimes.

## 2. Model

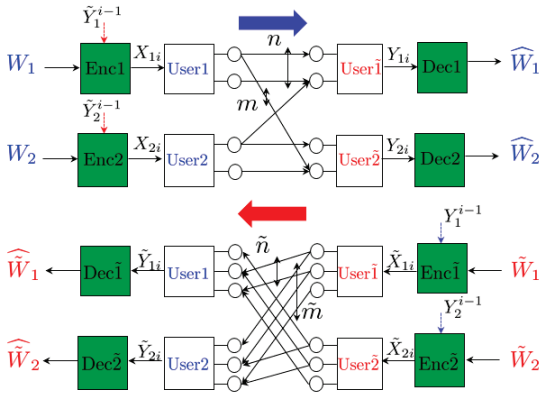



Figure 1. Two-way ADT deterministic interference channel (IC).

Fig.1 describes a two-way ADT deterministic IC where user $k$ wants to send its own messages $W_k$ to user $\tilde{k}$, while user $\tilde{k}$ wants to transmit $\tilde{W}_k$ to user $k$, $k$=1,2. We assume four messages ( $W_1, W_2, \tilde{W}_1, \tilde{W}_2$ ) are independent and uniformly distributed. For simplicity, we consider a setting where both forward and backward ICs are symmetry but not necessarily the same. $n$ and $m$ indicate the number of signal bit levels for direct and cross link of the forward channel respectively. The corresponding values in the backward channel are denoted by $(\tilde{n}, \tilde{m})$. The encoded signals of user $k$ and $\tilde{k}$ are a function of its own message and past received signal. See [1] for explicit details of the ADT deterministic model.

A rate tuple $(R_1, R_2, \tilde{R}_1, \tilde{R}_2)$ is said to be achievable if there exists a family of codebooks and encoder/decoder functions such that the decoding error probabilities go to zero as code length $N$ goes to infinity. In this work, we focus on sum-rate pair $(R, \tilde{R}) := (R_1 + R_2, \tilde{R}_1 + \tilde{R}_2)$ and the corresponding capacity region, defined as the closure of the set of achievable sum-rate pairs. $C^{\text{sum}}$ denotes the supremum value of $R + \tilde{R}$ in the capacity region.

## 3. Main Results

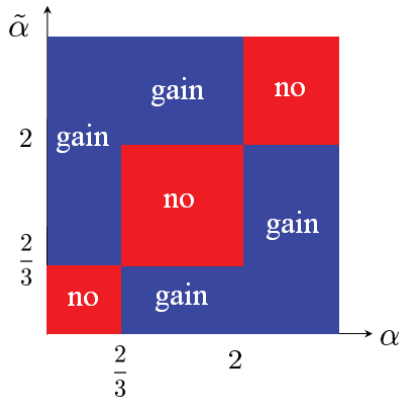



Figure 2. Gain-vs-nogain picture: The blue regime indicates the case in which $R^{sum} > C_{no}^{sum}$, while the red regime denotes the case where $\bar{C}^{sum} = C_{no}^{sum}$.

We develop inner and outer bounds on the capacity region. By comparisons with the capacity region for the non-interactive scenario, we can check whether or not there is a gain due to interaction. Fig. 2 describes the gain-vs-nogain picture. Let $\alpha = m/n$ and $\tilde{\alpha} = \tilde{m}/\tilde{n}$. We identify all channel regimes in which interaction provides capacity improvements. In this case, achievable sum-rate in inner bound $R^{sum}$ is greater than the sum-capacity of non-interactive scenario $C_{\text{no}}^{\text{sum}}$ and this channel regimes are denoted by blue in the picture. While the red regime denotes the case in which there is no gain due to interaction. In this case, the developed outer bound $\bar{C}^{sum}$ coincides with $C_{\text{no}}^{\text{sum}}$. We completely color the gain-vs-nogain picture.

## 4. Conclusion

In this work, we establish inner and outer bounds of the two-way ADT deterministic IC. As a result, we completely categorized channel regimes into one in which interaction provides gain and the other in which it does not.

## 5. References

[1] S. Avestimehr, S. Diggavi, and D. Tse, "Wireless network information flow: A deterministic approach," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 57 pp. 1872-1905, Apr. 2011.

# 다중안테나 전이중 통신: 설계 및 실시간 구현

정민근, 심민수, 김동구, 채찬병
연세대학교
{minkeun.chung, simms, dkkim, cbchae}@yonsei.ac.kr

## 1. 서론

전이중 통신은 스루풋을 증가시킬 수 있는 유망한 기술로 평가받고 있다. 같은 시간, 같은 주파수 환경에서 송,수신을 동시에 하기 때문에 이론적으로 두 배의 스루풋 향상을 기대할 수 있다. 최근 전이중 통신과 관련된 이론을 실질적인 구현으로 옮기는 연구가 많이 진행되고 있다[1][2]. 현재까지 많은 연구는 전이중 통신을 실현시키기 위한 자가간섭 제어 알고리즘 및 구현에 초점이 맞추어 있었다. 그러나 또다른 유망한 기술로 평가 받는 다중 안테나 시스템과 전이중 통신의 공존 가능성에서 대해서 생각해볼 필요가 있다.

본 논문에서는 software-defined radio (SDR) 플랫폼과 이중편파 기반의 다중안테나[3]를 이용한 다중안테나 전이중 통신의 설계 및 실시간 구현 결과에 대해 보인다.

## 2. 프로토타이핑 및 실시간 구현 결과

본 논문에서 설계/구현된 프로토타입(prototype)은 그림 1 과 같이, 아날로그/디지털 영역에서의 단계적 자가간섭 제어를 통한 실시간 다중안테나 전이중 통신 시스템이다.

### A. 시스템 규격 및 프로토타입 구성

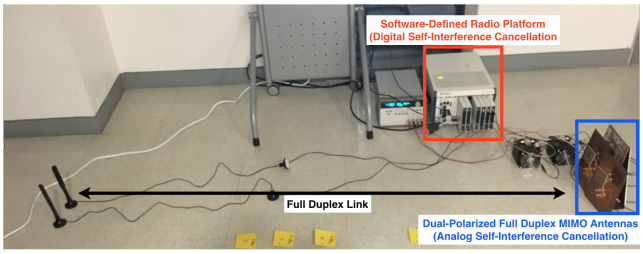



**그림 1. 다중안테나 전이중 통신 링크 프로토타입**

제안된 다중안테나 전이중 통신 프로토타입은 long term evolution(LTE)의 하향 링크(downlink) 규격을 기반으로 하는 orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) 송수신을 사용하였으며, 전송 대역폭은 20 MHz 을 사용하였다.

프로토타입은 이중편파 기반 전이중 안테나, LabVIEW 시스템 디자인 소프트웨어와 최신의 SDR 플랫폼으로 이루어져 있다. SDR 플랫폼은 실시간 디지털 자가간섭 알고리즘 제어를 위한 임베디드 콘트롤러와 field programmable gate array (FPGA) 모듈, 그리고 송수신기로 구성된다.

### B. 자가간섭 제어

아날로그 자가간섭 제어를 위해 전이중 안테나는 높은 교차편파식별도(XPD)를 갖는 이중편파 기반의 다중 안테나[3]를 이용하여 설계하였다.

디지털 자가간섭 제어의 목표는 아날로그 영역을 통과한 나머지 자가간섭을 최대한 줄이는 것이다. 디지털 자가간섭 제어는 같은 노드에서 보내는 송신신호 정보를 알고 있는 것을 이용하여, 자가간섭 신호를 리빌딩(rebuilding)하는 과정과 이를 디지털 영역에서 수신신호로부터 제거하는 과정으로 이루어져 있다. 송수신 OFDM 구조에 자기신호와 자가간섭을 위한 동기 블럭, 채널 추정 블럭, 디지털 자가간섭 제어 블럭을 결합시켰으며, 실시간 프로토타입의 구현을 위해 FPGA 설계를 하였다.

### C. 실험 결과

본 논문의 실험에서는 아날로그/디지털 자가간섭 제어 수준을 측정하고, 비트 오류율(bit error rate) 및 스루풋(throughput)을 계산하였다. 프로토타입의 중심 주파수로는 LTE 대역의 2.52 GHz 를 이용하였다.

아날로그 자가간섭 제거 성능을 평가하기 위해 망분석기(network analyzer)를 이용하였으며, 20 MHz 대역폭에서 46 dB 의 아날로그 자가간섭 제거가 가능함을 확인할 수 있었다.

디지털 자가간섭 제거 성능은 실시간으로 자가간섭에 대한 오류벡터크기(error vector magnitude)를 계산하여 측정하였다. 그 결과, 45 - 55 dB 의 디지털 자가간섭 제거를 달성하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 실시간 다중안테나 전이중 통신 프로토타입을 설계/구현하여, 다중안테나와 전이중 통신 시스템간 공존을 통한 상용화 가능성을 보여주었다.

## 4. 참고 문헌

[1] M. K. Chung, M. S. Sim, J. Kim, D. K. Kim, and C.-B. Chae, "Prototyping Real-Time Full Duplex Radios," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 56-63, Sep. 2015.

[2] D. Bharadia, E. McMilin, and S. Katti, “Full duplex radios,” in *Proc. of ACM SIGCOMM*, 2013, pp. 375–386.

[3] T. K. Oh, Y.-G. Lim, C.-B. Chae, and Y. Lee, "Dual-Polarization Slot Antenna With High Cross-Polarization Discrimination for Indoor Small-Cell MIMO Systems," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 14, pp. 374-377, 2015.

# 안테나 커플링을 고려한 브로드캐스트 채널에서의 간섭 제어

전원석, 정세영°
한국과학기술원 전기 및 전자공학과
wonsjeon@kaist.ac.kr, sychung@ee.kaist.ac.kr

## 1. 시스템 모델

본 연구에서는 손실 없는 유전 구체에서 임의의 전류 분포를 형성할 수 있는 송신자를 가정하고, 이 전류 분포로 인해 형성되는 전기장을 다이폴 안테나로 측정하는 두 명의 수신자가 있다고 가정한다. 또한 송신자에 대한 전력 제한 조건이 $P$로 주어져있고, $n \le N$을 만족하는 구형 벡터파만을 사용가능하며, 수신자 사이의 각도는 $\theta$로 고정되어 있다고 가정한다. 이와 같이 정의된 채널은 본 연구 저자들의 선행 연구[1]의 역 방향 채널이며, 관련된 선행 연구 및 전자기학 지식은 [1]을 참고하도록 한다.

먼저, 구 내부의 송신 전류 분포는

$$\mathbf{J}(\mathrm{r}) = \sum_{n\le N,m,l} J_{nml}\mathbf{v}^{\star}_{nml}(k_1,\mathbf{r})$$

로 가정한다. 여기서, $\mathbf{v}^{\star}_{nml}$는 [1]의 $\mathbf{V}^{\star}_{nml}$의 표준화된 기저다. 두 점 $\mathbf{r}\in S, \mathbf{r}'\in V$에 대한 그린 함수(Green function)의 분해는 [2]

$$\mathrm{g}_{nl}(\mathbf{r},\mathbf{r}') = \frac{k_0}{k_1}T_{nl}\sum_{m}\mathbf{U}_{nml}(k_0,\mathbf{r})\mathbf{V}^{\star}_{nml}(k_1,\mathbf{r}')^{H}$$

[1]의 $\mathbf{g}_{nl}(r,r')$에 대입한 것과 같다. 위 전류 분포로부터 형성된 전기장은

$$\sigma_{nml} = -\frac{\omega\mu_0 k_0 T_{nl}N_{V,nml}N_{S,nml}}{n(n+1)}$$

에 대해

$$\mathbf{E} = \sum_{nml}\sigma_{nml}J_{nml}\mathbf{u}_{nml}$$

과 같다. $t$번째 수신자에게 수신되는 전기장은 위의 일반식에서 $\mathbf{r}=\mathbf{r}_t$인 경우에 잡음이 더해진 형태가 된다. 이와 같은 상황에서 채널 입력 열 벡터(column vector)

$$\mathbf{x} = [J_{nml}]$$

로 정의하며, 나열 순서는

$$2(\mathrm{n}(\mathrm{n}+1)+m-1)+l$$

을 따르도록 한다. 채널 이득 $\mathbf{h}_{\mathrm{t}}, t=1,2,$ 는 수신 다이폴의 방향 $\hat{\mathbf{e}}$에 대해 행 벡터(row vector)

$$\mathbf{h}_{\mathrm{t}} = [\sigma_{nml}\hat{\mathbf{e}}^{T}\mathbf{u}_{nml}(k_0,\mathbf{r}_t)]$$

가 된다. 여기서 채널 이득이 다중 접속 채널의 채널 이득의 전치(transpose) 행렬과 같으며, 이는 전자기학의 상호 이론(reciprocity theorem)을 만족한다 [3]. 송신 전류 입력 $\mathbf{x}$의 커플링 행렬은

$$\frac{\mathrm{diag}\left\{\omega\mu_0 k_1 I_{1,nl}\Re\{1+R_{nl}\}\right\}}{2}$$

이며, 이 값은 선행 연구 [1]의 대각 행렬 $[\mathcal{N}_{nml}]$과 상수배 $2\mathrm{k_B}TB$의 차이를 보인다. 결과적으로 송신 커플링을 고려하여 디커플링(decoupling)한 등가 채널 이득은

$$\tilde{\mathbf{h}}_t = -\frac{\omega\mu_0 k_0 T_{nl}N_{V,nml}}{n(n+1)\sqrt{\mathcal{N}_{nml}}}\hat{\mathbf{e}}^{T}\mathbf{U}_{nml}(k_0,\mathbf{r}_t)$$

와 같다. 여기서 주목할 점은 채널 이득 뿐만 아니라 [1]의 잡음 상관도를 고려하는 경우의 등가 채널과 본 연구에서 전력 소모의 커플링을 고려한 등가 채널이 전치 행렬 관계라는 점이다. 따라서, 선행 연구 [1]에서와 같이 $\mathcal{J}(\theta)=0$을 만족하는 모든 각도 $\theta$에 대해 간섭이 없는 브로드캐스트 채널의 채널 용량 영역(channel capacity region)을 달성할 수 있다. 단, 이 경우 브로드캐스트 채널에서 송신자가 두 수신자 모두에 전달하는 공통 메시지(common message)는 없다고 가정한다.

## 2. 결론

본 연구에서는 공통 메시지를 전송하지 않는 두 사용자 브로드캐스트 채널에 대해 다중 접속 채널에 대한 연구 [1]의 결과가 확장 가능한지 유도하였다. 결과적으로 [1]에서 잡음 상관성을 고려한 등가 채널과 본 연구에서 커플링을 고려한 등가 채널이 전치 행렬 관계이며, 이를 통해 브로드캐스트 채널에서도 [1]과 동일한 각도에서 간섭 없는 전송에 대해 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 구체적으로, [1]의 결과 구형 벡터파의 최대 차수 $N$이 증가함에 따라 간섭을 없앨 수 있는 두 사용자 간 각도가 $\mathrm{O}\left(\frac{1}{\mathrm{N}}\right)$으로 작아지고 임의의 각도에서 $N$이 증가함에 따라 용량 영역이 사각형에 가까워졌는데, 브로드캐스트 채널에서도 동일한 결과가 나타남을 증명하였다. 선행 연구 [1]과 본 연구가 의미하는 바는 송수신단에서 안테나를 집적하는 공간의 크기에 관계없이 손실이 없는 안테나를 사용하면 임의로 많은 공간 자유도를 확보 가능하고, 두 사용자 간 각도가 매우 작아도 간섭없이 정보를 전송하는 것이 가능함을 의미한다.

## 3. 참고 문헌

[1] W. Jeon and S.-Y. Chung, "Interference mitigation utilizing antenna mutual coupling," in *Proc. 49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Pacific Grove, CA, Nov. 2015.

[2] W. C. Chew, Waves and fields in inhomogeneous media. New York: IEEE, 1995

[3] R. F. Harrington, *Time-harmonic electromagnetic fields*, McGraw-Hill, 1961.

# Iterative Learning for Multiple-choice Crowdsourcing

Donghyeon Lee°, Joonyoung Kim, Hyunmin Lee, Kyomin Jung
Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University
{donghyeon, kimjymcl, kakamin0, kjung}@snu.ac.kr

## 1. INTRODUCTION

Crowdsourcing systems have shown the potential to gather human-powered intelligence by distributing tasks to numerous workers. However, crowdsourcing systems have an inherent problem that workers' responses can be noisy since workers are low-paid and have low responsibility.

Various research studies have sought to resolve the problem through effective techniques such as Expectation-Maximization (EM) based algorithms. However, most of previous works have a lack of theoretical analysis and can only be applied on binary-choice questions.

In this paper, we design an iterative algorithm to infer correct answers for multiple-choice questions, which can be directly applied to real crowdsourcing systems. Our algorithm iteratively computes reliability of worker, where reliability is used as a weight of the worker's response. We give a performance guarantee on the error bound of our algorithm. Our algorithm outperforms majority voting and EM-based algorithm in accuracy and it shows order-optimal performance compared to an oracle estimator.

## 2. SETUP

Suppose that $n$ workers participate to perform $m$ tasks where tasks and workers are indexed by $i \in [m]$ and $j \in [n]$ where $[n]$ denotes the set of integers from 1 to $n$. Each task $i$ is a multiple-choice question that has $D_i$ choices with one correct answer.

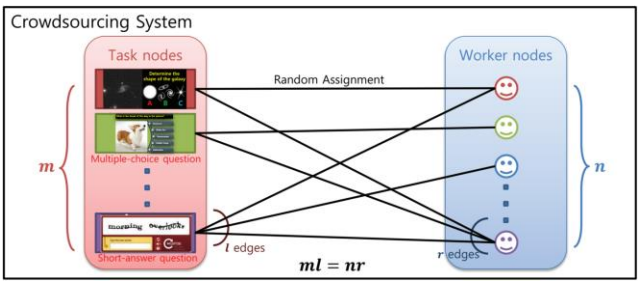



**Figure 1. Multiple-choice crowdsourcing system**

We consider a simple probabilistic model to generate workers' responses. We assume that a worker $j$ is parameterized by a latent variable $p_j \in [0,1]$, which represents the probability of getting the correct answer. When the worker gives a wrong answer, we assume that the worker has chosen one of distractors uniformly at random, so the probability of each wrong choice is $\frac{1-p_j}{D_i-1}$.

## 3. ALGORITHM

Consider a bipartite graph $G = \{[m] \cup [n], E\}$ for crowdsourcing system like Figure 1 where $E$ represents a set of task assignments. For each $(i,j) \in E$, worker gives a response denoted as $\vec{A}^{ij} \in U = \{\vec{e}_u | u \in [D_i]\}$ where $\vec{e}_u$ is the $u$-th standard basis in $D_i$-dimensional space.

Our algorithm generates two types of messages between task nodes and worker nodes. The first type is the task message $\vec{x}_{i\to j}$, which is denoted as a $D_i$-dimensional vector.

**Algorithm 1**. Multiple Iterative Algorithm

**Input**: $E$, $\{\vec{A}^{ij}\}_{(i,j)\in E}$, $k_{\max}$
**Output**: Estimation $\forall i \in [m]$, $\hat{t}_i \in \{\vec{e}_u | u \in [1:D_i]\}$
**For** $\forall (i,j) \in E$ **do**
  Initialize $y_{j\to i}^{(0)}$ with random $Z_{ij} \sim N(1,1)$
**For** $k = 1,2,\dots,k_{\max}$ **do**
  For $\forall (i,j) \in E$ do $\vec{x}_{i\to j}^{(k)} \leftarrow \sum_{j' \in \partial i \setminus j} \vec{A}^{ij'} y_{j'\to i}^{(k-1)}$
  For $\forall (i,j) \in E$ do $y_{j\to i}^{(k)} \leftarrow \sum_{i' \in \partial j \setminus i} \left(\vec{A}^{i'j} - \frac{\vec{1}}{D_i}\right) \cdot \vec{x}_{i\to j}^{(k)}$
**For** $\forall i \in [m]$ **do** $y_j \leftarrow \sum_{i \in \partial j} \left(\vec{A}^{ij} - \frac{\vec{1}}{D_i}\right) \cdot \vec{x}_{i\to j}^{(k_{\max}-1)}$
**For** $\forall i \in [m]$ **do** $\vec{x}_i \leftarrow \sum_{j \in \partial i} \vec{A}^{ij} y_{j\to i}^{(k_{\max}-1)}$
Estimate vector $\hat{t}_i = \vec{e}_{u_i}$ where $u_i = \arg\max_d (x_{id})$

Each component of this vector corresponds to the likelihood meaning the possibility being a correct answer. The second type is a worker message $\vec{y}_{j\to i}$ which specifies how reliable the worker $j$ is.

Then we give a performance guarantee of our algorithm.

**Theorem 1**. In the large system limit, with a random $(l,r)$-regular bipartite graph, the estimate after $k$ iterations of the iterative algorithm achieves

$$\Pr[\text{error}] = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \mathbb{P}(t_i \neq \hat{t}_i^{(k)}) \leq (D-1)e^{-lq/(2\sigma_k^2)},$$

where $q \equiv \mathbb{E}[\left(\frac{D}{D-1}\right)^2 \left(p_j - \frac{1}{D}\right)^2]$ defined as the quality of workers.

## 4. EXPERIMENT

To show the competitiveness of our algorithm, we ran our multiple iterative algorithm, majority voting, and EM for 2000 tasks and 2000 workers with fixed $D = 3,4$ shown in Figure 2. Our algorithm outperforms Majority voting and the EM algorithm and shows the error performance decays exponentially which is close to the error bound of the oracle estimator.

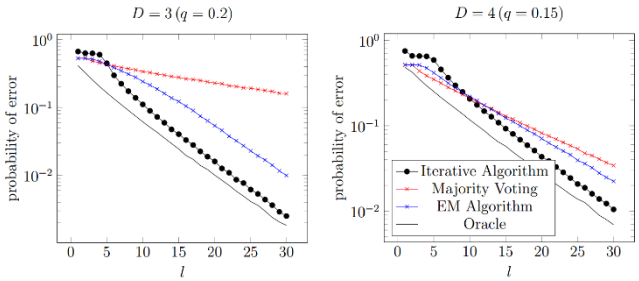



**Figure 2. Comparisons of probabilities of error**

## 5. REFERENCE

[1] Donghyeon Lee, Joonyoung Kim, Hyunmin Lee, Kyomin Jung. "Reliable Multiple-choice Iterative Algorithm for Crowdsourcing Systems." Proceedings of the 2015 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems. ACM, 2015.

# Seeding for Strategic Information Spread

Jungseul Ok, Jinwoo Shin° and Yung Yi
School of Electrical Engineering, KAIST
{ockjs, jinwoos, yiyung}@kaist.ac.kr

Facebook 이나 Twitter 와 같은 온라인 소셜 네트워킹 서비스의 발달로 더 많은 사람들이 소셜 네트워크를 통해 더 빠르게 신제품에 대한 소식과 의견을 나눌 수 있게 되었다. 동시에 기업들은 온라인 소셜 네트워크 상의 소비자들의 신제품에 대한 반응에 대한 데이터를 분석하여 보다 효과적인 마케팅 전략을 기획할 수 있는 기회가 생겼다 [1]. 이에 동기부여되어 최근들어 소셜 네트워크상에 소수의 영향력있는 사람의 집합인 seed set 을 찾아 초기에 신제품을 사용하도록 권유하여 신제품의 확산을 최대화하는 최적화 문제인 seeding problem 이라는 이름으로 활발한 관련 연구가 있다 [2, 3, 4, 5].

본 연구는 사람들이 소셜 네트워크 상에서 주변 사람들과의 협업 효용성을 따져가며 전략적으로 제품을 선택하는 strategic diffusion model 혹은 game diffusion model [2, 3, 6]을 사용하여 seeding problem 을 분석하고 있다. 특히 seed set 으로 선택되는 즉시 신제품의 권유를 받아 들였던 기존 연구와 다르게, seed set 에게 주어지는 incentive 에 따라 권유를 받아들일지 거절할지를 결정하는 전략적인 사용자를 새롭게 모델하고 있다. 본 연구에서는 이 모델을 분석하여 빠른 신제품의 확산을 위해 필요한 seeding strategy 를 연구하고 있다. 이때 seeding strategy 는 주어진 incentive budget 을 다수에게 조금씩 나눌지 혹은 소수에게 집중할지, 즉, seed 의 양과 질의 trade-off 를 본 연구에서 분석한다.

이를 위해서 먼저 소셜 네트워크의 모델로 잘 알려진 Erdős–Rényi graph, planted partition graph, power law graph 에서 빠른 확산을 위해 소셜 네트워크의 구조에 따른 seeding strategy 의 필요조건과 충분조건을 살펴보았다. 특히, Erdős–Rényi graph 와 planted partition graph 의 경우, 제한된 incentive budget 을 seed set 안에서 하나의 사용자에게 주어지는 incentive 의 양에 관계없이 적어도 일정수 이상의 seed 를 확보하기 전까지는 확산 시간의 asymptotic order 를 낮출 수 없다는 seed set 크기에 대한 threshold 를 필요조건으로 찾아냈다. 또한, planted partition graph 와 power law graph 의 경우, threshold 를 넘는 크기의 seed set 이더라도, 하나의 seed 에게 충분한 incentive 가 주어지고 소셜 네트워크의 구조를 잘 파악하여 신중하게 골라진 seed set 의 경우에만 확산 속도의 asymptotic order 를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

또한, 앞서 고려한 세 가지 graph 에서 seeding strategy 의 조건에 따라 천차만별하는 확산 속도의 phase transition 현상에 기반하여, 본 연구에서는 일반적인 graph 에 대한 seeding strategy 를 제시하고, 제시한 seeding strategy 의 성능을 이론적으로 보장한다. 뿐만 아니라, 제시한 seeding strategy 가 실제 소셜 네트워크의 data set 에서 기존의 seeding strategy [2, 3]보다도 더 잘 동작하는 것을 시뮬레이션을 통해 검증한다. 즉, 본 연구는 보다 실제적인 seeding strategy 를 새로이 고려하여 이론적으로도 실험적으로도 우수성이 검증된 seeding strategy 를 제시하고 있다. 따라서 실제 마케팅이나 광고를 설계하는 데 유용한 직관을 제시해 줄 것이라 기대된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2013R1A2A2A01067633). 이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0132-16-1005, 온-오프라인에서의 콘텐츠 비주얼 브라우징 기술개발, No.B0717-16-0034, 서비스/단말/네트워크 다양성 지원을 위한 미래형 다차원 네트워크 시스템 아키텍쳐 연구)

## References

[1] M. Richardson and P. Domingos, "Mining knowledge-sharing sites for viral marketing," in *Proc. of ACM SIGKDD*, 2002.

[2] J. Ok, Y. Jin, J. Shin and Y. Yi, "On maximizing diffusion speed in social networks: impact of random seeding and clustering," in *Proc. of ACM SIGMETRICS*, 2014.

[3] J. Ok, J. Shin and Y. Yi, "On the progressive spread over strategic diffusion: Asymptotic and computation," in *IEEE INFOCOM*, 2015.

[4] D. Kempe, J. Kleinberg, and E. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network," in *Proc. of ACM SIGKDD*, 2003.

[5] S. Morris, "Contagion," *The Review of Economic Studies*, vol. 67, no. 1, p. 57–78, 2000.

[6] A. Montanari and A. Saberi, "Convergence to equilibrium in local interaction games," in *Proc. of IEEE FOCS*, 2009.

# Transformation-Based Community Detection from Social Networks

Sungsu Lim° and Jae-Gil Lee
Graduate School of Knowledge Service Engineering, KAIST
{ssungssu, jaegil}@kaist.ac.kr

## 1. Introduction

In recent years, *social network analysis* has become one of the most attractive issues in machine learning. In particular, *community detection* in networks is a fundamental problem in social network analysis [1]. It is the procedure of finding the community structure, with many edges joining vertices in the same community and relatively few edges joining vertices of different communities. A lot of theories, models, and methods have been actively developed for this purpose. However, due to a wide variety of network structures, there are still challenges of finding community structures from social networks. Among them, we focus on solving two important problems for community detection with various underlying structures: identifying the community structure of a graph when it consists of (i) overlapping community structure and (ii) highly-mixed community structure.

(i) *Overlapping community structure*: For the traditional community detection problem, we assume that an individual participates in at most one community. However, in many social networks, individuals can belong to multiple communities, e.g., friends, family, and colleagues [2]. That is, communities can overlap with each other. Developing an algorithm that offers good performance for overlapping community detection is a challenging problem.

(ii) *Highly-mixed community structure*: The mixing is defined as the fraction of edges that are between different communities. The higher the mixing is, the less detectable the community structure is. The accuracy of the existing algorithms degrades drastically when the mixing exceeds 0.5 [3]. It is important to develop an algorithm for community detection that is robust to high mixing since it occurs frequently as networks become more complicated.

## 2. Proposed Methods

To tackle the problems, we develop transformation-based community detection algorithms. Our key motivation is that transformation of a given network can give a better structure to identify community structure of an original network, as a kernel trick is used in machine learning. For each problem, our transformation technique converts a graph to a transformed graph that reflects the structure of the original graph and, at the same time, fits better the goal of the problem. We identify the community structure using the transformed graph, and the membership on the transformed graph is translated back to that on the original graph. We illustrate the overall framework in Figure 1.

For the first problem, we present the *link-space transformation*. This transformation converts a given graph to a link-space graph where each vertex of the link-space graph is a link of the original graph and the vertices are connected if the corresponding links in the original graph are connected. To preserve the original graph structure we adopt the link similarity to compute the weights of links of the link-space graph. This transformation provides a weighted graph that is easier to find communities, which

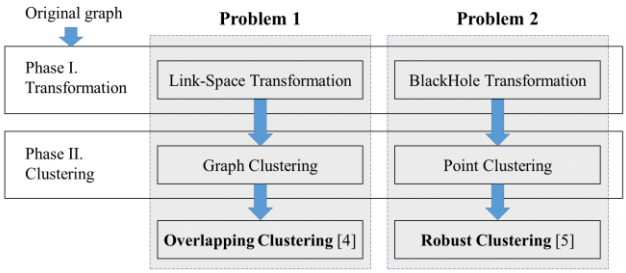



Fig. 1. Framework of the transformation-based community detection

corresponds to the link communities of the original graph and can be converted to the vertex communities whose memberships can overlap. Based on this procedure, we develop two overlapping community detection algorithms: LinkSCAN and LinkSCAN* [4]. The latter is an enhancement of the former for higher efficiency.

For the second problem, we propose a new community detection algorithm for undirected graphs, called BlackHole [5], by importing an embedding technique from graph drawing. The proposed algorithm BlackHole first maps the graph into a new space using the *BlackHole transformation* and then group the vertex positions by a conventional clustering algorithm. This transformation, in fact, is a merger of two widely-accepted building blocks: community detection and graph drawing. Our main contribution is to prove that a common idea in graph drawing, which is characterized by consideration of repulsive forces in addition to attractive forces, improves the clustering tendency of an embedding. As a result, our algorithm has the advantages of being robust especially when the community structure is not easily detectable.

Through extensive experiments, we have shown that LinkSCAN* and BlackHole achieve the accuracy higher than or comparable to the state-of-the-art algorithms for the problems (i) and (ii) respectively. Overall, we believe that our work provided a new framework for transformation-based community detection from social networks.

## 3. References

[1] S. Fortunato, "Community detection in graphs," *Physics Reports*, vol. 486, no. 3, pp. 75-174, Feb. 2010.

[2] G. Palla, I. Derenyi, I. Farkas, and T. Vicsek, "Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society," *Nature*, vol. 435, pp. 814–818, Jun. 2005.

[3] A. Lancichinetti and S. Fortunato, "Community detection algorithms: a comparative analysis," *Physical Review E*, vol. 80, pp. 056117, Nov. 2009.

[4] S. Lim, S. Ryu, S. Kwon, K. Jung, and J.-G. Lee, "LinkSCAN*: Overlapping community detection using the link-space transformation," in *Proc. IEEE ICDE*, pp. 292-303, 2014.

[5] S. Lim, J. Kim, and J.-G. Lee, "BlackHole: Robust community detection inspired by graph drawing," in *Proc. IEEE ICDE*, to appear, 2016.

# 군집 드론의 전자전 활용

김철순°, 이웅비, 이흥노
광주과학기술원 정보통신공학부
csk0315@gist.ac.kr, wblee@gist.ac.kr, heungno@gist.ac.kr

## 1. 서론

드론 또는 unmanned aerial vehicles (UAVs)은 사람이 기체에 탑승하여 조종하지 않고 지상이나 다른 공간에서 조종하는 비행체를 말한다. 드론은 위험지역에서 임무를 수행하기 위한 군사용 목적으로 개발되었다. 드론 기술의 발달로 인해 고정익(fixed-wing)이 아닌 회전익(rotary-wing) 드론의 활용이 가능해져 군사용뿐만 아니라 민간의 농업, 서비스, 레져 등 다양한 분야에서 드론 기술과 산업이 발달하고 있다[1].

최근 통신, 배터리, 센서 기술의 발달로 단일 드론을 넘어 군집 드론으로 연구분야가 넓어지고 있다[3][4]. 군집(swarm)이란 날아가는 새무리나 벌레 집단에서 생물학적으로 영감을 받아 인위적으로 만들어진 체계로 정의된다[2]. 따라서, 군집 드론은 어떤 임무나 목적을 달성하기위해 인위적으로 만들어진 드론 집합으로 정의 될 수 있다. 군집 드론은 예술 공연, 경비, 수색, 전자전 등 다양한 분야에서 활용이 가능하다.

군집 드론의 전자전 활용 방안으로 전자공격의 원거리 전파방해를 들 수 있다. 원거리 전파방해는 아군 항공기를 적 전자 탐지 장비로부터 보호하기 위한 기술이다. 본문에서는 원거리 전파방해 시나리오 시뮬레이션을 소개하고자 한다.

## 2. 원거리 전파방해 시뮬레이션 모델링

군집 드론의 원거리 전파 방해 성능 시뮬레이션은 재밍 파워와 신호 사이의 관계 (jamming power to signal, *JSR* )로 모델링 할 수 있다. *JSR*은 다음과 같이 정의 된다.

$$JSR_{dB} = \frac{P_j G_j G_s 4\pi R_t^4}{P_t G_0^2 \sigma R_j^2} N^2 \qquad (1)$$

위의 식 1 에서 Coherent 한 드론의 수를 $N$, 아군 항공기의 레이더 단면적을 $\sigma$, 아군 항공기가 적 레이더 메인 로브에 있을 때 아군 항공기와 적 레이더 사이 거리를 $R_t$, 적 레이더 사이드 로브에 위치한 군집 드론과 적 레이더 사이의 거리를 $R_j$, 드론 한 대의 전파방해 파워를 $P_j$, 게인을 $G_j$, 적 레이더의 최대 파워를 $P_t$, 메인 로브의 게인을 $G_0$, 사이드 로브의 게인을 $G_s$ 를 의미한다. 레이더가 비행물체를 탐지하기 위해서는 최소 -13dB 의 JSR 이 필요하다[5].

## 3.결과

| $N$ | $\sigma$ | $G_j$ | $P_j$ | $P_t$ | $G_0$ | $G_s$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | $3m^2$ | 2.15dB | 200mW | 300kW | 20dB | -3dB |

표 1. 원거리 전파 방해 시뮬레이션을 위한 파라미터

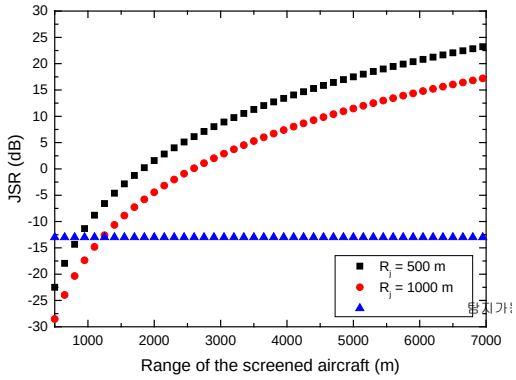



그림 1. 10 대의 coherent 군집 드론 전파방해 특성

JSR 값과 표 1 의 파라미터 값을 식 (1)에 적용하여 나타내면 그림 1. 과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

10 대의 coherent 한 군집 드론을 이용하여 500m, 1000m 거리에서 적 레이더를 원거리 전파방해하면 아군 비행기가 각 1000m, 1500m 가까이 적 레이더에 걸리지 않고 다가갈 수 있음을 확인 하였다.

## 4. 참고문헌

[1] Cir, I. C. A. O. "328 AN/190." *Unmanned Aircraft Systems (UAS) Circular*, 2011.

[2] Calise, Anthony J., and Daniel Preston. "Swarming/flocking and collision avoidance for mass airdrop of autonomous guided parafoils." *Journal of guidance, control, and dynamics*, 2008

[3] Gaudiano, Paolo, et al. *Swarm intelligence: A new c2 paradigm with an application to control swarms of uavs*. ICOSYSTEM CORP CAMBRIDGE MA, 2003.

[4] Gómez, Vicenç, et al. "Real-Time Stochastic Optimal Control for Multi-agent Quadrotor Swarms." *arXiv preprint arXiv:1502.04548*, 2015.

[5] Paterson, John. "Overview of low observable technology and its effects on combat aircraft survivability." *Journal of Aircraft*, 1999.

## Acknowledgment

“이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MSIP)(NRF2015R1A2A1A05001826).”

# Modulated Wideband Converter를 위한 혼합 시퀀스의 조건

장재혁°, 유남열, 이흥노

광주과학기술원 정보통신공학부

# Requirements on Mixing Sequences of Modulated Wideband Converters

Jehyuk Jang°, Nam Yul Yu, and Heung-No Lee

School of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology

jjh2014@gist.ac.kr, nyyu@gist.ac.kr, and heungno@gist.ac.kr

요 약

Modulated wideband converter (MWC)는 다수의 혼합 시퀀스를 사용하는 sub-Nyquist 표본화 기법이다. 본 논문에서는, MWC 에 사용되는 혼합 시퀀스들의 패턴들이 한 기준패턴의 랜덤 shift 일 경우에 대하여 다루며, 기준패턴이 유효하기 위한 필요충분조건에 대해 논한다.

## 1. 서론

광대역의 신호에 대해, 만약 주파수 영역에서 신호가 희소하다면 무손실 sub-Nyquist 표본화가 압축센싱 이론에 의해 가능하다 [1], [2]. 여러 sub-Nyquist 표본화 기법 중, modulated wideband converter (MWC) [2]는 입력 신호를 주기성을 갖는 다수의 고속 시퀀스와 병렬적으로 혼합함으로써, 신호를 압축하여 sub-Nyquist 표본화를 수행한다. 이 때, sub-Nyquist 표본으로부터 입력 신호의 복원은 혼합 시퀀스 패턴의 선택과 관련이 있다.

문헌 [2]에서는, 각 시퀀스의 패턴이 독립적으로 랜덤하게 선택 될 때 복원이 가능함을 보였다. 메모리 관점에서 보다 효율적인 시퀀스 생성을 위하여, [3]과 [4]에서는 모든 시퀀스의 패턴들이 maximal length sequence 혹은 Legendre sequence 와 같은 two-level autocorrelation 시퀀스를 랜덤 shift 하여 재사용할 경우 복원이 가능함을 이론적으로 보였다.

본 논문에서는, [3]과 [4]보다 일반적인 경우인, MWC 에서 모든 시퀀스의 패턴들이 임의로 생성된 패턴의 랜덤 shift 인 경우에 대해 입력 신호의 복원을 위한 필요충분 조건을 제시한다.

## 2. Modulated Wideband Converters

MWC 는 $N$ 개의 협대역 성분들로 구성된 주파수 희소 입력 신호 $x(t)$를 $m$ 개의 공간적 채널에서 병렬적으로 처리한다 [2]. 여기서 입력 신호의 개별 최대 대역폭을 $f_p$, 그리고 Nyquist rate 를 $f_{nyq}$ 라 할 때, MWC 의 각 채널은 약 $f_{nyq}$ 의 속도로 패턴이 변화하고 $f_p$ 의 주기를 갖는 고속 시퀀스를 입력신호에 혼합한다. 이후, 각 채널의 혼합 신호는 $f_p/2$ 의 cut-off 주파수를 갖는 저역 여파기를 통과한다. 고속 시퀀스와 저역 여파기에 의해 압축된 신호는 $f_p$ 의 속도로 표본화 되어 길이 $l$ 의 sub-Nyquist 표본 시퀀스를 생산한다.

한편, 모든 채널의 혼합 시퀀스가 길이 $M \approx f_{nyq} f_p^{-1}$ 인 하나의 기준 패턴을 중복 없이 랜덤 cyclic shift 하여 재사용 할 경우, 혼합 시퀀스 생성단의 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있다 [3], [4]. 이러한 MWC 는 다음과 같은 선형 시스템 모델을 갖는다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{R}_{\Omega}\mathbf{F}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{Z} \tag{1}$$

여기서, $\mathbf{Y} \in \mathbb{C}^{m \times l}$ 의 각 행은 sub-Nyquist 표본시퀀스들로 구성되어 있으며, $m \times M$ 행렬인 $\mathbf{R}_{\Omega}$ 의 각 행은 $M \times M$ 의 discrete-Fourier 행렬인 $\mathbf{F}$ 의 행 하나를 중복 없이 랜덤하게 취하도록 설계 된다. 대각 행렬인 $\boldsymbol{\Sigma}$ 의 대각 성분은 혼합 시퀀스들의 기준 패턴의 discrete-Fourier 역변환 (IDFT) 성분들로 구성된다. 마지막으로, $\mathbf{Z} \in \mathbb{C}^{M \times l}$ 의 각 행은 $\left[\mathrm{LPF}\left\{x(t)e^{j2\pi f_k t}\right\}\right]_{t=nf_p^{-1}}$ for $n = 0, \cdots, l-1$ 의 저속 표본들로 구성되어 있는데, 여기서 $\mathrm{LPF}\{\cdot\}$ 는 저역 여파 연산을 나타내며 $f_k$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_k := \begin{cases} (k-1)f_p & \text{if } k \le (M+1)/2 \\ (k-1-M)f_p & \text{if } k > (M+1)/2 \end{cases}$$

입력 신호가 주파수영역에서 희소(sparse) 하기 때문에 각 대역별 sub-Nyquist 표본이 저장된 $\mathbf{Z}$ 는 sparsity $K = 2N$ 를 갖는 row-sparse 행렬이다 [2]. 최종적으로 $\mathbf{Z}$ 를 혼합 압축된 저속 표본 $\mathbf{Y}$ 로부터 복

원 하는 과정은 압축센싱 문제이며, 구체적인 복원 알고리즘들은 [5]에서 제공된다.

압축센싱 문제에서, 측정행렬 설계의 타당성 검증을 위해, restricted isometry property (RIP) [1]는 모델 $\mathbf{y}=\mathbf{\Phi x}$ 에서 측정행렬 $\mathbf{\Phi}$ 의 모든 희소 벡터 $\mathbf{x}$ 에 대한 유사 직교성을 측정한다. 예를 들어 (1)의 모델에서 $\mathbf{\Sigma}$ 가 unitary 행렬이면, $\mathbf{\Phi}=\mathbf{R}_{\Omega}\mathbf{F\Sigma}$ 가 RIP 를 높은 확률로 만족함이 알려져 있다 [3], [4].

## 3. 기준 패턴에 대한 필요 충분조건

문헌 [3]와 [4]에서는, 모델 (1)의 $\mathbf{Z}$ 가 복원 되기 위한 충분 조건은 $\mathbf{\Sigma}$ 가 unitary 행렬, 즉 기준 패턴의 IDFT 성분들이 균등한 크기를 가지는 것임을 보였다. 그러나 이러한 충분조건을 만족하는 bipolar 패턴은 $M=4$ 일 때만 존재하는 것으로 알려져 있다. 입력 신호가 저대역 성분을 가지지 않는다는 가정을 바탕으로 two-level autocorrelation 패턴으로도 위의 충분조건을 만족 시킬 수는 있지만, 이 경우 기준 패턴의 길이 $M$ 에 대한 제약에 의해 MWC 시스템 설계의 유연성이 저하된다. 한편, 위의 충분조건을 만족시키는 non-bipolar 패턴을 설계하는 것은 잘 알려져 있지만, 다중 level 혹은 bias 를 갖는 시퀀스 생성기는 높은 복잡도가 요구된다. 따라서, 본 논문은 IDFT 성분이 불균등한 크기를 갖는 기준 패턴을 사용하는 경우를 고려하였으며, 이를 위해 정리 1 은 $\mathbf{Z}$ 의 복원에 대한 필요충분조건을 설명한다.

**정리 1.** 모델 (1)이 $m \geq O\left(K \ln^4 M\right)$ 일 때, $\mathbf{Z}$ 의 복원이 보장되기 위한 필요충분조건은 기준패턴의 IDFT 의 모든 성분이 0 이 아닐 때, 즉 $\mathbf{\Sigma}$ 가 invertible 일 때 이다.

*증명.* $\mathbf{X}=\mathbf{\Sigma Z}$ 라 하자. 모델 (1)에서, 만약 대각행렬 $\mathbf{\Sigma}$ 가 invertible 이면, $\mathbf{X}$ 의 sparisty 도 $K$ 로 유지되기 때문에, $m \geq O\left(K \ln^4 M\right)$ 일 때 $\mathbf{Y}$ 로부터 $\mathbf{X}$ 를 복원하는 것은 $\mathbf{\Phi}=\mathbf{R}_{\Omega}\mathbf{F}$ 의 RIP 에 의해 보장된다 [6]. $\mathbf{X}$ 가 복원 된 경우, $\mathbf{\Sigma}$ 가 invertible 이면 $\mathbf{Z}$ 가 $\mathbf{X}$ 로부터 유일하게 결정됨은 자명하다. 역으로, 만약 $\mathbf{\Sigma}$ 의 적어도 하나의 대각성분이 0 이라면, $\mathbf{X}$ 의 복원 성공여부와 관계없이 $\mathbf{Z}$ 는 유일하게 결정되지 못한다.

문헌 [3]와 [4]과는 다르게, 본 논문은 $\mathbf{\Phi}=\mathbf{R}_{\Omega}\mathbf{F}$ 를 측정행렬로써 간주하였다. 그 결과, 기준패턴의 IDFT 성분들의 크기가 균등하지 않더라도, 0 인 성분이 존재하지 않는다면 이론적으로 $\mathbf{Z}$ 의 복원이 보장됨을 밝혔다. 정리 1 의 필요충분 조건은 [3]와 [4]의 충분조건보다 더 일반적이며, 이는 임의로 생성된 bipolar 패턴이 기준패턴으로 사용 될 수 있도록 한다.

그림 1은 noiseless, 그리고 $M=127$ , $K=8$ , $l=12$ 의 환경에서 기준패턴의 선택과 채널 수 $m$ 의 변화에 따른 $\mathbf{Z}$ 의 empirical support recovery rate 를 나타낸다. Support recovery 에는 MMVOMP [5]가 사용되었다. 실험에서는, 입력 신호가 저대역 성분을 갖지 않도록 설계함으로써 maximal length sequence 의 IDFT 성분의 크기가 균등하다고 간주하였다 [3], [4]. 또한, 비교를 위해 임의로 생성된 두 종류의 Bernoulli 패턴들의 IDFT 성분은 그 크기가 불균등하며 0 이 아니다. 그림 1은 임의 생성된 Bernoulli 패턴들이 기준패턴으로 사용되었을 때에도 $\mathbf{Z}$ 의 support 가 복원됨을 실험을 통해 보이고 있으며, 이는 정리 1 의 결과를 뒷받침한다.

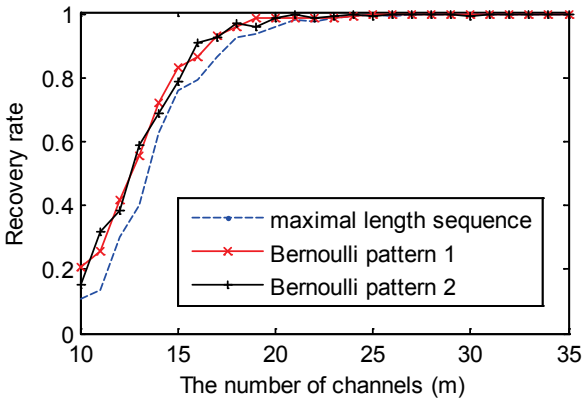



**그림 1.** $M=127$, $K=8$, $l=12$, **noiseless 환경에서 채널 수** $m$ **의 변화에 따른 support recovery rate**

## 4. 참고 문헌

[1] E. J. Cand`es and T. Tao, "Decoding by linear programming," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, no. 12, pp. 4203-4215, Dec. 2005.

[2] M. Mishali and Y. C. Eldar, "From theory to practice: Sub-Nyquist sampling of sparse wideband analog signals," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 4, no. 2, pp. 375-391, Apr. 2010.

[3] L. Gan and H. Wang, "Deterministic binary sequences for modulated wideband converter," *in Proc. Int. Conf. Sampling Theory Appl. (SAMPTA)*, Bremen, German, Jul. 2013, pp. 264-267.

[4] J. Zhang, N. Fu, and X. Peng, "Compressive circulant matrix based analog to information conversion," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 21, No. 4, pp. 428-431, Apr. 2014.

[5] J. Chen and X. Huo, "Theoretical results on sparse representations of multiple measurement vectors," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 54, no. 12, pp. 4634-4643, Dec. 2006.

[6] S. Foucart and H. Rauhut, *A Mathematical Introduction to Compressive Sensing (Applied and Numerical Harmonic Analysis)*. Basel, Switzerland: Birkhuser, 2013.

# 희소한 가중 그래프 상에서의 압축센싱 복구 방법

최해웅°, 이흥노

광주과학기술원 정보통신공학부

# Compressive Sensing Recovery Method in the Sparse Weighted Graphs

Haeung Choi°, and Heung-No Lee

School of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

haeung@gist.ac.kr, heungno@gist.ac.kr

요 약

압축센싱을 이용한 실제 어플리케이션에서는 신호의 형태 및 센싱행렬의 형태에 대한 제한이 많다. 본 논문에서는 이 중에서도 특히 음의 값을 가지지 않는 신호를 입력으로 하는 한편 센싱행렬의 형태가 희소한 가중 그래프인 경우에 적합한 복구 알고리즘을 소개한다.

## 1. 서론

압축센싱은 센싱행렬을 사용하여 희소한 원 신호 벡터를 더 낮은 차원의 측정 벡터로 변환하고, 이 측정 벡터로부터 원 신호를 복구 가능하다는 이론이다 [1]. [2] 및 [3] 등의 연구들이 압축센싱을 이용한 실제 샘플링 장치의 구현 가능함을 보인 이후로부터 다양한 어플리케이션들에 압축센싱을 적용하여 그 성능을 높이려는 시도들이 있어왔다.

압축센싱을 사용한 실제 어플리케이션에서의 성능향상을 위해서는 해당 시스템의 신호 및 센싱행렬의 형태에 따른 최적의 복구 알고리즘을 선택해야 한다.

본 논문에서는 신호가 음의 값을 가지지 않는 경우, 그 중에서도 센싱행렬이 희소한 가중 그래프의 형태를 가지는 경우에 사용할 수 있는 복구 알고리즘을 소개한다.

## 2. 실제 하드웨어 구현에서의 특징

압축센싱을 사용한 시스템을 다음과 같은 선형 방정식으로 나타낼 수 있는데,

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$$

여기서 $\mathbf{x}$ 는 희소한 $N\times 1$ 신호 벡터, $\mathbf{y}$ 는 $M\times 1$ 측정 벡터, $\mathbf{A}$ 를 $M\times N$ 센싱행렬로 정의한다. 이 때 $N>M$ 이므로 $N\times 1$ 신호 벡터가 더 낮은 차원인 $M\times 1$ 측정벡터로 압축된다

본 논문에서는 원 신호 벡터의 값들과 측정 벡터의 값들을 노드로 생각했을 때, 이 원 신호 벡터와 측정 벡터간에 희소한 가중 그래프 형태의 관계가 있는 시나리오에 대해 생각한다. 이러한 경우 측정 벡터 $\mathbf{y}$ 의 한 원소 $y_j$ 는 신호 벡터 $\mathbf{x}$ 의 원소들 중 몇몇개의 가중합(weighted sum) 형태로 나타낼 수 있다. 즉,

$$y_j = \sum_{i=1}^{N} a_{i,j} x_i$$

이 때, 가중치 $a_{i,j}$ 는 희소한 가중 그래프인 $\mathbf{A}$ 의 한 원소 이므로 대다수 원소들은 0 값을 지니고, 나머지 일부만 0 이 아닌 값을 가진다. 이러한 형태의 센싱 시나리오는 많은 경우에서 유용한데, 특히 가중치가 실수 전체 집합의 원소가 아니라 특정한 몇몇 값 만을 가질 수 있는 경우에 매우 유용하다. 대다수 압축센싱 복구 알고리즘들은 센싱행렬의 각 원소가 임의의 실수값을 가질 수 있는 랜덤 센싱행렬을 가정한다. 하지만 실제 하드웨어는 가질 수 있는 상태(state)가 한정적이므로, 센싱행렬 각 원소의 값이 유한한 개수의 양자화된 값들 중에서 선택된다고 생각하는 것이 합리적이다. 그 중에서도 특히 0 의 가중치는 해당하는 신호 원소 $x_i$ 와 $y_j$ 간에 관계가 없음을 의미하는 값으로, 하드웨어적 구현이 매우 쉽다.

실제 많은 압축센싱 구현 장치들이 희소한 가중 그래프 형태의 센싱행렬을 가진다. single pixel camera [2] 의 경우를 예로 들자면, 해당 시스템은 DMD 어레이의 on/off 패턴에 따라 1 과 0 으로만 구성된 이진행렬을 센싱행렬로 가지는데, 이는 희소한 가중 그래프중 가장 간단한 형태임을 알 수 있다.

## 3. 신뢰전파(Belief Propagation)

희소한 가중 그래프 상에서의 압축센싱 복구를 위해, 본 논문에서는 신뢰전파(Belief Propagation) 기반의 알고리즘을 사용하였다. 신뢰전파는 2 부 그래프(bipartite graph) 상에서 동작하는 베이지안 사후확률 (Bayesian posteriori probability) 계산 알고리즘이다. 에지(edge)를 통해 연결된 노드들이 근처 노드의 확률 정보를 이용해 계산한 로컬 정보(메시지)를 교환하며 자신의 상태를 갱신하는 것을 주요 골자로

한다. 원 신호 벡터 $\mathbf{x}$ 의 각 원소들을 변수 노드(Variable nodes), 측정 벡터 $\mathbf{y}$ 의 각 원소들을 인자 노드(Factor nodes)라 두면, 변수 노드들의 사후 확률 계산은 다음과 같이 이루어진다.

i) Variable to Factor 업데이트

변수노드 $x_v$ 로부터 인자노드 $y_f$ 로 전달되는 메시지 $\mu_{v\to f}$ 는 $y_f$ 를 제외한 다른 인자노드들로부터 계산한 $x_v$ 의 확률 분포로 정의한다. 만약 인자노드 $y_f$ 에서 변수노드 $x_f$ 로 전달되는 메시지 $\mu_{f\to v}$ 을 $y_f$ 와 연결된 변수노드 $x_i$ 들로부터 계산한 $x_v$ 의 확률 분포라 하면, Variable to Factor 메시지 $\mu_{v\to f}$ 는

$$\mu_{v\to f} = \prod_{j\in n(v)\setminus f} \mu_{j\to v}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $n(v)$ 는 변수노드 $x_v$ 와 연결된 인자노드들의 인덱스의 집합으로 정의한다.

ii) Factor to Variable 업데이트

앞서 인자노드 $y_f$ 에서 변수노드 $x_f$ 로 전달되는 메시지 $\mu_{f\to v}$ 을 $y_f$ 와 연결된 변수노드 $x_i$ 들로부터 계산한 $x_v$ 의 확률 분포로 정의하였다. 따라서 Factor to Variable 메시지 $\mu_{f\to v}$ 는 $x_v$ 이외의 변수 노드로부터의 Variable to Factor 메시지들을 각 에지의 가중치 만큼 스케일링(scaling) 한 후 콘볼루션(convolution) 하여 구할 수 있다. 즉,

$$\mu_{f\to v} = f_{\frac{y_f - R}{a_{f,v}}}\left(\frac{y_f - r}{a_{f,v}}\right)$$

이 때, 랜덤변수 $R$ 에 대한 확률밀도함수는,

$$f_R(r) = \underset{i\in n(f)\setminus v}{\otimes} Sc\left(\mu_{i\to f}, a_{f,v}\right)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 $Sc(\mu, a)$ 는 메시지 $\mu$ 를 상수 $a$ 만큼 스케일링 한 함수이며, $\otimes(\bullet)$ 는 콘볼루션 연산자, $n(f)$ 는 인자노드 $y_f$ 와 연결된 변수노드의 인덱스의 집합으로 정의한다.

iii) 사후 확률 업데이트

모든 메시지가 수렴할 때 까지 Variable to Factor 업데이트와 Factor to Variable 업데이트를 반복한 후, 각 변수 노드에서 해당 노드와 연결된 모든 인자노드로부터의 Factor to Variable 메시지를 곱하여 사후 확률을 계산할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면,

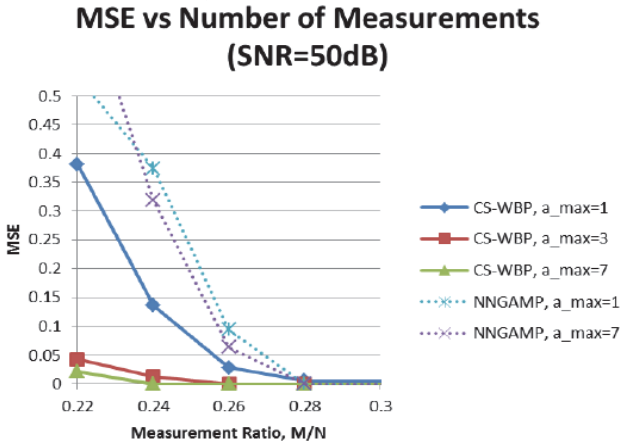
$$f_{X_v}(x_v) = \frac{1}{Z}\prod_{j\in n(v)} \mu_{j\to v}$$

여기서 $Z$ 는 사후 확률 분포의 적분값이 1 이 되도록 하는 표준화 상수이다.

## 4. 알고리즘 비교

본 논문에서는 상술한 신뢰전파를 기반으로 하여 사후 확률 분포를 계산한 뒤 그에 따른 Maximum a posterior(MAP) 추정값을 출력으로 하는 압축센싱 복구 알고리즘 CS-WBP 를 구현하고 이를 Non-negative Generalized Approximate Message Passing (NNGAMP)[4] 알고리즘과 비교하였다. 원 신호 벡터의 길이 $N = 500$, nonzero 값을 가지는 원소의 개수 $K = 50$ 을 사용하였고, 센싱행렬로는 nonzero 값을 5 개 가지는 열벡터들로 구성된 희소 가중 그래프를 사용하였다. 50dB 의 SNR 을 가정하였다. 0 을 제외하고 가중치가 가질 수 있는 값의 개수를 $a_{\max}$ 로 정의하고 $a_{\max} = 1,3,7$ 의 경우에 대해 시뮬레이션 하여 각각의 경우에서 $M/N$ 비율에 따른 Mean Square Error(MSE)를 비교하였다.

그림에서 확인할 수 있듯이, 제안된 방법 CS-WBP 가 가우시안 랜덤 센싱행렬에 최적화된 NNGAMP 보다 더 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 CS-WBP 는 $a_{\max}$ 가 증가함에 따라 성능이 더욱 향상되는 반면 NNGAMP 는 $a_{\max}$ 에 따른 성능변화가 미미함을 볼 수 있다.




## 5. 참고 문헌

[1] D. L. Donoho, "Compressed Sensing," *IEEE Trans. On. Info. Theory*, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306, 2006.

[2] D. Takhar, J. N. Laska, M. B. Wakin, M. F. Duarte, D. Baron, S. Sarvotham, K. F. Kelly and R. G. Baraniuk, "A New Compressive Imaging Camera Architecture using Optical-Domain Compression," *Proc. IS&T/SPIE Computational Imaging IV*, 2006.

[3] M. Mishali and Y. C. Eldar, "From Theory to Practice: Sub-Nyquist Sampling of Sparse Wideband Analog Signals," *IEEE J. Sel. Topics on. Signal Process.*, vol. 4, no. 2, pp. 375-391, 2010.

[4] J. P. Vila and P. Schniter, "An Empirical-Bayes Approach to Recovering Linearly Constrained Non-Negative Sparse Signals," *IEEE Trans. On. Signal Process.*, vol. 62, no. 18, pp.4689-4703, 2014.

## 6. Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIP) (NRF-2015R1A2A1A05001826)

# 무선장치 위치추정을 위한 드론 경로 계획법

김요한, 김선용, 임 혁
광주과학기술원 정보통신공학부

## 1. 서론

무선 센서 네트워크의 위치추정 기술은 위치가 알려진 다수의 기준 노드를 활용하여 네트워크 내 타겟 노드의 위치를 추정하는 기술이다. 예를 들어, 무선신호 세기를 이용한 위치추정 방식은 다수의 기준 노드와 타겟 노드간 무선신호의 크기를 측정하고, 이를 위치 추정에 이용하는 방식이다.

기존의 위치추정 방식은 고정 배치된 다수의 기준 노드를 활용하는 방식이 대부분이었지만, 최근 드론기술의 발전으로 인하여 드론의 이동성을 이용한 위치 추정이 가능하게 되었다. 이동하는 드론이 여러 지점의 기준 노드의 역할을 수행하고, 드론의 위치 및 인접한 타겟 노드로부터의 수신 신호 세기를 측정하여 타겟 노드의 위치추정이 가능하다.

그러나, 타겟으로부터 신호를 수집하는 드론이 어느 위치에 있는지에 따라 타겟 노드에 대한 위치 추정의 정확도가 달라지므로 정확한 위치 추정을 위해서는 적절한 드론 경로 설정이 필요하다. 본 논문은 드론의 기준 지점 선택을 위한 경로 설정 방법에 대해 논한다.

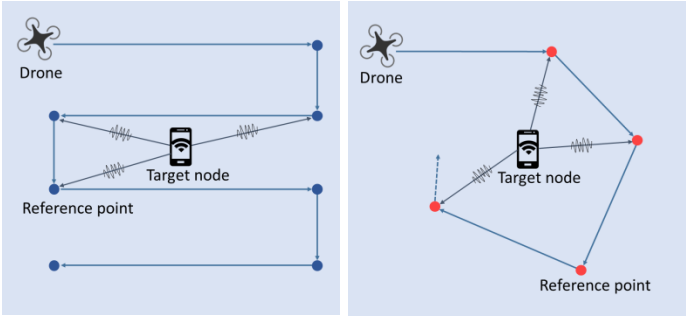
## 2. 위치 추정 정확도

무선 센서 네트워크에서 수신 신호 세기를 이용한 위치 추정의 정확도는 RF 채널특성과, 기준 노드의 배치 및 타겟 노드와의 거리 등의 기하학적 특성에 큰 영향을 받는다. 위치추정의 오차를 감소시키기 위해서는 오차 요인을 최소화할 수 있는 기준 노드 집단의 선택이 매우 중요하다. 따라서, 드론을 활용한 위치 추정에서 위치 추정 오차를 최소화할 수 있는 적절한 기준 지점의 선택이 필요하다. 기준 지점 선택에 따른 위치 추정의 정확도 판단을 위해 다음과 같은 지표를 활용할 수 있다.

• Cramer-Rao Lower Bound (CRLB)는 확률적으로 분포하는 데이터의 분산에 대한 이론적인 하한으로, 수집된 데이터의 융합을 통해 얻은 추정치의 신뢰도를 알 수 있는 지표로 사용된다 [1]. CRLB의 값이 낮을수록 추정치의 신뢰도가 높아지며, 다음과 같이 주어진다.

$$\text{CRLB: } \text{var}(\hat{\theta}) \geq \frac{1}{I(\theta)} = \frac{1}{-E\left[\frac{\partial^2 \ln p(x;\theta)}{\partial \theta^2}\right]}.$$

• Geometric Dilution of Precision (GDOP) 는 앵커 지점의 기하학적 분포에 따른 위치 추정 결과의 부정확성을 나타내는 지표로 사용된다 [2]. GDOP의 값이 낮을수록 위치 추정 결과의 정확도가 높아지며,




(a) 사전 고정(pre-defined) 비행 경로 (b) 오차를 최소화하는 적응적 비행 경로

그림 1. 드론 경로에 따른 기준 지점

다음과 같이 주어진다.

$$\text{GDOP} = \frac{\Delta(output\ location)}{\Delta(measured\ data)}.$$

## 3. 드론 경로 계획법

그림 1은 위치 추정을 위한 드론의 비행경로를 나타낸다. 그림 1(a)에서 드론이 사전에 고정된 경로를 따라 이동하며 기준 지점들을 선택할 경우 타겟 노드 위치에 따른 경로를 변경하지 않기 때문에 타겟 노드의 위치에 따라 위치 추정의 정확도가 떨어지게 된다. 반면, 그림 1(b)에서 드론이 다음 기준 지점을 선택해 갈 때, 오차를 최소화할 수 있는 지점으로 이동하며 위치 추정을 수행할 경우 타겟 노드에 대한 위치 추정의 정확도를 점차적으로 높일 수 있다.

본 논문은 드론을 이용한 위치추정에서 드론의 경로 설정 방법에 대해 논하였다. 위치 추정시 정보 수집을 위해 점진적으로 기준 지점을 선택해 갈 때, 오차를 최소화할 수 있는 지점을 적응적으로 선택함으로써 위치추정의 정확도를 크게 높일 수 있다.

## 참고 문헌

[1] R. Kim, H. Lim, D. Jung and K. Kim, "Beacon selection for localisation in IEEE 802.11 wireless infrastructure," *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 14, no. 2, pp. pp. 135-143, 2013.

[2] S. Kim, Y. Kim, S. Y. Park and H. Lim, " Drone Can Find Lost Smartphones," *ACM SenSys – poster session,* 2015.

※ 본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Email: hlim@gist.ac.kr

# Development of Multirotor Aerial Vehicle Platform

Koog-Hwan Oh°, Jae-Gyeong Lee, Gwihan Ko, and Hyo-Sung Ahn
Department of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)
ohkhwan@gist.ac.kr, jkdgubd@gist.ac.kr, gh4na2@gist.ac.kr, hyosung@gist.ac.kr

## 1. Introduction

Multirotor aerial vehicle has been researched lately due to many advantages such as vertical take-off and landing (VTOL), hovering, and movement in a small space [1-2]. These advantages enable it to be used for a lot of applications and the multirotor aerial vehicle platform has been developed by many engineers. It consists of a hardware part and a software part. The two parts are categorized according to purpose and they are briefly introduced in this paper.

## 2. Multirotor aerial vehicle platform

The hardware part is mainly composed of the propulsion system, electronic system, power system, and structural frame [2]. The propulsion of general multirotor is generated by more than two brushless DC (BLDC) motors and propellers attached to them. Each BLDC motor is controlled by the electronic speed controller (ESC). The electronic system includes micro-controller unit (MCU) for flying, wireless telemetry, and external sensors such as the inertial measurement unit (IMU), which consists of three-axis accelerometer and gyroscope, global positioning system (GPS) module, magnetometer, digital barometer, etc. The wireless telemetry and external sensors are generally connected to the MCU through an I2C bus or a serial port (UART). The power system provides electric power to the propulsion and electronic system. Most of multirotor platforms use the lithium polymer battery due to better performance than other types of batteries. All components of the hardware are installed on the structural frame. It should be designed to prevent other hardware components from damage. The hardware part of the multirotor aerial vehicle platform is illustrated in Figure. 1.

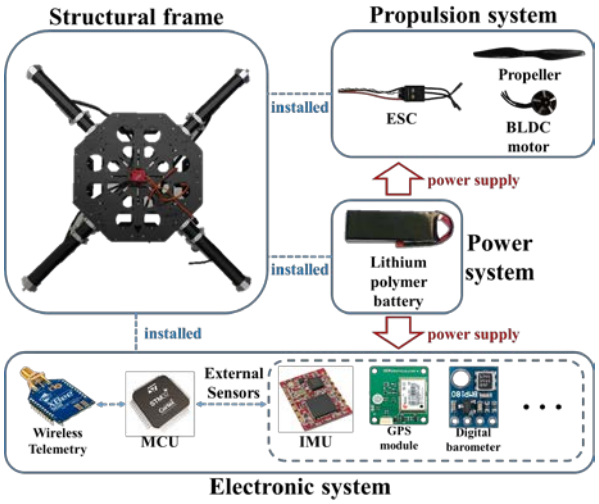



**Figure 1. The hardware part of the multirotor aerial vehicle platform**

The propulsion system and electric system of the multirotor platform are controlled by the MCU. So, their proper operation requires the software part programmed into the MCU. It is roughly divided into three components: the input/output (I/O) interface, estimation component, and control component. The I/O interface should be implemented because the MCU is connected to other electronic devices. It provides the IMU with information of external sensors and control for the ESC. The estimation and control components are directly related to the flight of the multirotor aerial vehicles. The state estimation is required for the control of the multirotor. The estimation component estimates its attitude, angular velocity, height, position, linear velocity, etc., using the data obtained from the external sensors [3]. The control component mainly controls the BLDC motors through the ESCs. It determines the control signal for the ESC by using the outputs of the estimation component and provides the attitude and position control. These can be simply represented as a block diagram in Figure. 2.

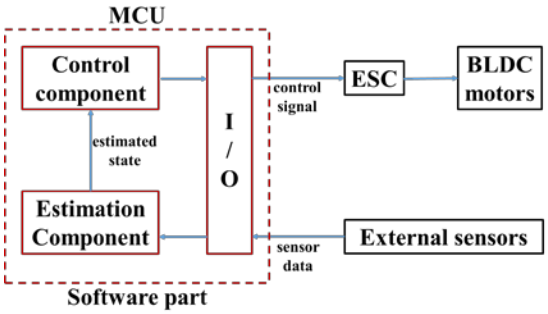



**Figure 2. The block diagram of the software part and its data flow**

## 3. Conclusion

This paper categorizes the hardware and software parts of the multirotor according to purpose. Also, they are briefly introduced. Based on these categorizations, we're working to select suitable hardware devices and implement the software part.

## 4. References

[1] G. Hoffmann, H. Huang, S. Waslander, and C. Tomlin, "Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment," in *Proc. AIAA Guidance, Navigation, Control Conf.*, 2007, pp. 1–20.

[2] Y. C. Choi and H.S. Ahn, "Nonlinear Control of Quadrotor for Point Tracking: Actual Implementation and Experimental Tests," Mechatronics, IEEE/IASME Transactions on, Vol. 20, No. 3, pp.1179-1192, 2015.

[3] R. Mahony, V. Kumar, and P. Corke, "Multirotor aerial vehicles-modeling, estimation, and control of quadrotor," IEEE Robot. Automat. Mag., vol. 19, no.3, pp. 20–32, 2012

# 일반화된 나이퀴스트 조건의 QAM-FBMC 에의 적용

김주범, 조준호°
포항공과대학교 전자전기공학과
{wnqja321, jcho}@postech.ac.kr

## 1. Introduction

5G 및 5G 이후 셀룰라 통신 시스템의 파형으로 OFDM 에서 발전한 다중 반송파 전송 방식이 고려되고 있다 [1]. 4G 시스템의 OFDM 의 경우 각 부반송파는 직각 파형의 송신 펄스를 가지는데 주파수 선택적 채널에서도 심볼간 간섭을 수신단에서 계산 효율적으로 제거하기 위하여 부반송파간 간격을 송신 파형 길이의 역수보다 길게 잡고 있다. 이러한 송신 파형은 각 부반송파의 전력 스펙트럼을 -20 dB per decade 의 감쇄율을 갖는 sinc 제곱 모양으로 만들어 이웃 부반송파에 간섭을 야기할 가능성을 크게 하며 또한 채널 가장자리에서 보호대역을 충분히 확보하도록 요구하여 전체적인 주파수 효율성을 떨어뜨린다.

이러한 단점을 송신 파형을 잘 설계하여 극복하고자 하는 움직임이 있는데 그 대표적인 것인 FBMC (filter-bank multi-carrier) 방식이다. 대부분의 연구는 OQAM (offset quadrature amplitude modulation) 을 위하여 파형을 개발하였는데, 각 부반송파의 전력 스펙트럼을 주파수축에서 보다 더 밀집되게 설계하면서도 어느 정도의 주파수 선택적 채널에서 각 부반송파 심볼의 직교성을 유지하는 파형을 개발하여 주파수 효율을 향상시키는데 성공하였다 [2].

OQAM 은 그동안 QAM 을 위해 개발되어 온 여러 MIMO (multiple-input multiple-output) 기술들과의 결합이 쉽지 않은 단점이 있는데, 이에 QAM-FBMC 를 위한 파형 설계에 대한 요구가 제기되었다. 최근 삼성전자는 산학협동 연구를 통해 QAM-FBMC 파형을 설계하여 특허를 출원하는 등 활발한 연구를 진행하고 있다 [3]-[4]. 그러나 완벽한 직교성을 갖도록 설계하면 전력 스펙트럼의 밀집도가 떨어지고 또 그 반대 현상이 발생하여, 핵심 문제는 직교성과 밀집도간의 트래이드 오프 문제로 귀결되고 있다.

본 논문에서는 5G 와 5G 이후 셀룰라 통신 시스템의 파형 설계의 기본이 되는 일반화된 나이퀴스트 조건에 대해 언급하며 [5], 그것의 QAM-FBMC 에의 적용을 고려한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 일반화된 나이퀴스트 조건을 QAM-FBMC 파형 설계에 적용할 때 최적화 문제를 어떻게 형성하는지에 대해 매우 간략히 논하고 3 절에서는 참고 문헌을 소개한다.

## 2. Formulation of Optimization Problems

앞서 언급하였듯 QAM-FBMC 파형 설계는 직교성과 전력 밀집도의 트래이드 오프의 결과이다. 따라서 파형 설계 문제는 이러한 서로 상반되는 두 성능 지표를 어떻게 하나의 최적화 문제에 포함시키느냐 하는 문제로 간략화된다. 어느 경우든 최적화 퍼래미터는 필터의 탭 계수이며, 원하는 탭 계수의 수는 미리 정하여야 한다.

먼저 직교성의 경우, 완벽한 직교성을 요구한다면 일반화된 나이퀴스트 조건에 QAM-FBMC 필터탭 계수를 대입하여 얻는 등식을 만족해야 한다. 만약 완벽한 직교성을 요구하지 않는다면 심볼간 상호 간섭량을 정량화하는 방법 중의 하나로 정규화된 총간섭량을 고려할 수 있을 것이다. 이는 일반화된 나이퀴스트 조건을 변형하여 쉽게 얻어낼 수 있다 [6].

한편 전력 밀집도는 대역외 방사량으로 흔히 접근하는데, 안타깝게도 아직까지는 PSWF (prolate spheroidal wave function)을 사용하지 않고는 이러한 접근을 허용하는 방법은 알려져 있지 않으며 게다가 PSWF 은 QAM-FBMC 의 유한한 필터탭으로는 구현할 수가 없다는 문제가 있다. 대신 수학적으로 다루기 쉬운 RMS (root mean square) 대역폭의 식[7]을 사용하고, 이에 decay rate 등식[8]을 추가할 수 있다. 이상의 성능지표와 조건들을 조합하여 최적화 문제를 형성한 예와 그 해는 발표 시간에 소개한다.

## 3. References

[1] F. Schaich and T. Wild, “Waveform contenders for 5G - OFDM vs. FBMC vs. UFMC,” Proceedings of 6th International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing (ISCCSP 2014), Athens, Greece, May 2014.

[2] A. Sahin, I. Guvenc, and H. Arslan, " A survey on multicarrier communications: Prototype filters, lattice structures, and implementation aspects," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 3, pp. 1312-1338, Third Quarter 2014.

[3] C. Kim, S. Choi, S. Kim, H. Nam, and M. Choi, “Method and apparatus for transmitting and receiving data in multicarrier communication system,” U.S. Patent 14 263 232, April 28, 2014.

[4] Y.H Yun, C. Kim, K. Kim, Z. Ho, B. Lee, and J.Y. Seol, "A new waveform enabling enhanced QAM-FBMC systems," Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), 2015 IEEE 16th International Workshop on, Stockholm, 2015, pp. 116-120.

[5] J. R. Barry, E. A. Lee, and D. G. Messerschmitt, “Digital Communication,” 3rd ed. Springer, 2004.

[6] J. Kim, “A novel waveform design method for various communication environments” thesis, manuscript in preparation

[7] P. Peebles, “Probability, Random Variables, and Random Signal Principles,” 4th ed. McGraw-Hill, 2000.

[8] S. Mirabbasi and K. Martin, “Overlapped complex-modulated transmultiplexer filters with simplified design and superior stopbands,” IEEE Trans. Circuits Syst. II, vol. 50, no. 8, pp. 456–469, Jul. 2003

# Waveform and Multiple Access Techniques for Low-Latency Ultra-Reliable Communications

김종현°, 이진녕, 이광훈, 최경준, 김광순
연세대학교 전기전자공학과
{jhkim, jnlee, ghl1016, kjchoi}@dcl.yonsei.ac.kr, ks.kim@yonsei.ac.kr

## 1. 서론

5G(IMT-2020)는 예상되는 사용 시나리오에 따라 향상된 광대역 무선통신 (eMMB), 대규모 사물인터넷 (mMTC) 그리고 초저지연 고신뢰 통신 (UR/LL)으로 나뉜다. 초저지연 고신뢰 통신에 대해서는 1ms 이내 무선 구간 지연시간과 시속 500km 의 고이동성 지원의 핵심 성과 지표 (key performance indicators, KPI)가 요구되는데 이에 해당되는 서비스를 데이터 용량에 따라 다시 나누면 10Mbps 급의 초저지연 고신뢰 저용량 서비스 (Ultra-Reliable Low-Latency Low-Throughput, UR/LL/LT)와 100Mbps 급의 초저지연 고신뢰 대용량 서비스 (Ultra-Reliable Low-Latency High-Throughput, UR/LL/HT)의 두 가지 서비스 카테고리를 도출 할 수 있다 [1][2].

초저지연 고신뢰 조건을 만족하면서도 데이터 전송을 효율적으로 하기 위해서는 웨이브폼과 다중접속방식 관점에서 다음 [표 1]과 같은 기술요구사항을 만족시켜야 한다.

| | 웨이브폼 | 다중접속방식 |
|---|---|---|
| UR / LL / LT | • 준동기 상황에서 좋은 수신 특성<br>• 낮은 첨두 전력 대 평균전력비 | • 산발적인 접속 시에도 사운딩 및 피드백 딜레이 없이 저지연 고신뢰 특성 만족 |
| UR / LL / HT | • 채널환경 및 이동성에 맞는 서로 다른 웨이브폼 공존<br>• 필터 지연시간 최소화 | • 지속적, 대칭적 접속 상황에서 사운딩 오버헤드 없이 공간 분할을 통한 주파수 효율 향상<br>• 저지연 고신뢰 특성 만족하기 위한 무선 자원 관리 필요 |

**[표 1] 초저지연 고신뢰 서비스에 따른 웨이브폼과 다중접속방식의 기술요구사항**

## 2. 본론

초저지연 고신뢰 저용량 서비스의 경우에는 주로 센서를 통한 저용량의 정보가 상향링크를 통해 산발적으로 전송되는 것이 주 트래픽이 된다. 이러한 경우에 하향링크는 동기가 맞추어져 있지만 상향링크는 전파 전달 지연과 도플러 효과에 의한 준동기 상황이 발생한다. 준동기 상황과 웨이브폼의 비직교성을 극복하여 서비스에서 요구되는 초저지연 고신뢰 특성을 만족시키기 위해서는 저복잡도에서도 좋은 성능을 낼 수 있는 압축센싱 (Compressive Sensing) 기반의 동기화 및 동시수신 방식이 필요하다. 또한 LTE (IMT-Advanced)의 SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access)와 비교하여 주파수 효율이 비슷하면서도 첨두 전력 대 평균전력비 특성이 더 뛰어난 웨이브폼 기술로 단말에서 발생하는 비선형성에 의한 전력 손실을 줄여야 한다. 다중접속방식에서는 초저지연 고신뢰 저용량 서비스의 트래픽 특성에 따라 산발적, 간헐적인 접속 시에도 고성능의 공간분할 및 다이버시티 제공을 채널 사운딩이나 피드백 지연 없이 제공할 수 있어야 하고 요구되는 저지연 고신뢰 특성을 만족하면서 연결성을 최대화 할 수 있는 무선자원 관리 및 할당 최적화 알고리즘의 개발이 필요하다.

초저지연 고신뢰 대용량 서비스에서는 지속적이고 대칭적인 접속 환경에서 각 단말이 분산 제어 및 최적화를 수행한다. 이러한 서비스 환경에서 주파수 효율을 극대화하기 위해서는 각 사용자마다 채널 환경 및 이동성에 알맞은 웨이브폼을 사용해야 한다. 서로 다른 각각의 웨이브폼들이 간섭의 영향 없이 공존할 수 있기 위해 필터가 필수적이며 저지연 특성을 만족하기 위해서 필터 지연시간은 최소화되어야 한다. 이를 위해서는 시간, 주파수, 공간의 3 차원 웨이브폼을 제공해야 하고, 추가적인 채널 사운딩 오버헤드 없이 이동성을 지원해야 한다. 그리고 저지연 고신뢰 특성을 만족하면서 주파수 효율을 최적화 하기 위해서 무선자원 관리 및 할당 최적화 알고리즘 개발이 필요하다.

## 3. 결론

앞서 본 것처럼 저지연 고신뢰 통신을 위한 웨이브폼 기술과 다중접속기술의 요구사항은 이제까지의 이동통신 시스템에서의 요구사항과 다르며, 이러한 특성을 만족할 수 있는 새로운 원천기술 개발이 필요하다.

**ACKNOWLEDGMENT**

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0126-15-1012. IoT 환경에서 촉감통신 서비스 실현을 위한 차세대 초저지연/고효율 무선접속기술 연구]

## 4. 참고 문헌

[1] 5G-PPP White Paper on eHealth, Factories-of-the-Future, Automotive Vertical Sector, The 5G Infrastructure Public Private Partnership, October 2015

[2] 김종현, 이진녕, 전기준, 최경준, 김광순, “초저지연 고신뢰 서비스를 위한 무선 접속 기술 요구사항 ” , 한국통신학회 동계종합학술발표회, 2016 년 1 월.

# 차세대 이동통신을 위한 뉴웨이브폼 설계

이기원, 문재균, 정세영, 김동재, 강민근, 이용훈°

한국과학기술원 전기전자공학부

# New Waveforms for Next Generation Wireless Communication Systems

Kiwon Lee, Jaekyun Moon, Sae-Young Chung, Dongjae Kim, Mingeun Kang and Yong H. Lee°

School of Electrical Engineering, KAIST

{kaiser5072, jaemoon100, schung, codong, minkang23, yohlee}@kaist.ac.kr

## 요 약

본 논문은 5G 이동통신에서 사용될 뉴웨이브폼 후보로 거론되고 있는 Universal Filtered Multi-Carrier (UFMC), Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM) 및 기존의 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)에서의 transmit pulse shaping 기술을 뉴웨이브폼 관점에서 분류하고 각 기술의 장단점을 분석한다. 또한, subband filtering 과 subcarrier shaping 을 동시에 적용한 filtered Dual Nyquist OFDM (filtered DN-OFDM)을 제안하고 성능을 분석한다.

## 1. 서론

차세대 5G 이동통신의 핵심 기술 중 하나인 사물 인터넷(Internet of Things, IoT) 환경에서는 비동기 상황을 가정하는데, 기존 LTE 에서 사용하는 OFDM 은 out-of-band (OOB) 전력이 매우 크기 때문에 이러한 비동기 상황에 매우 취약한 단점을 가지고 있다 [1]. 따라서 차세대 이동통신 시스템에서의 뉴웨이브폼은 OOB 전력을 낮추어 비동기 환경에 적합하도록 해야 한다.

뉴웨이브폼 관련 연구는 2 가지로 분류할 수 있다. 첫번째로 전체의 subcarrier 를 여러 개의 subband 로 나눈 뒤 필터링을 사용하여 OOB 전력을 줄이는 **Subband filtered multicarrier (MC)** 방법이다. 대표적인 기술로는 UFMC [2]가 있다. 두번째로는 하나의 symbol 을 여러 개의 subsymbol 로 나누고 각각의 subsymbol 을 pulse-shaping 하여 OOB 전력을 줄이는 **Subsymbol shaped MC** 방법이다. 대표적으로 GFDM [3]이 있다.

기존의 OFDM 에서는 송신 윈도우로 subcarrier shaping 을 수행하여 수신단의 inter carrier interference (ICI)를 줄이는 방법이 제안되었는데 [4], 이러한 연구는 아직 뉴웨이브폼의 관점으로 수행되고 있지 않다. 본 논문에서는 이러한 연구를 뉴웨이브폼의 영역으로 옮기고 **Subcarrier shaped MC** 로 분류한다.

본 논문에서는 3 가지로 분류한 뉴웨이브폼의 장단점을 분석하고 subband filtering 과 subcarrier shaping 을 함께 사용하여 OOB 전력을 낮추는 filtered DN-OFDM 을 제안한다. 그리고 제안하는 방법과 기존 뉴웨이브폼의 BER 성능을 비교한다.

## 2. 뉴웨이브폼 분석

기존의 뉴웨이브폼들의 송수신 과정 및 각 기술의 장단점을 분석하면 다음과 같다.

● Subband filtered MC

UFMC 송신기에서는 각 subband 별로 따로 IDFT 를 해준 뒤 시간영역에서 subband 필터링을 통해 OOB 전력을 낮추어 전송을 한다. 수신기에서는 2N–DFT 와 다운 샘플링을 사용하여 주파수영역으로 가져오고, 채널 및 필터 등화 과정을 거친다.

● Subsymbol shaped MC

GFDM 송신기에서는 여러 개의 subsymbol 을 각각 pulse shaping 필터링을 수행하고 하나의 CP 를 앞에 추가하여 전송을 한다. 수신기에서는 CP 를 제거하고 pulse shaping 필터링 등화 과정이 필요하다. 등화 방법에는 zero-forcing, MMSE, 그리고 successive interference cancellation 과 같은 방법들이 존재한다.

● Subcarrier shaped MC

Subcarrier shaping 을 위해서 송신기에서는 CP 를 추가하고 Nyquist 조건을 만족시키는 윈도우를 사용해야 한다. 수신기에서는 tail-biting 과 N-DFT 를 사용하여 신호를 주파수영역으로 옮기고 채널 등화 과정을 수행하게 된다. 본 논문에서는 Nyquist 조건을 만족하는 윈도우를 사용한 OFDM 을 Dual Nyquist OFDM (DN-OFDM)으로 명명한다.

● 비교 · 분석

3 종류의 뉴웨이브폼은 구조는 서로 다르지만, OOB 전력을 줄인다는 목표는 동일하므로 우열을 가리기 쉽지 않다. 다만, 서로 다른 통신 상황에서 적합한 뉴웨이브폼을 사용하는 것이 중요하다. 각 뉴웨이브폼의 장단점을 정리하면 표 1 과 같다.

| | Subband filtered MC | Subsymbol shaped MC | Subcarrier shaped MC |
|---|---|---|---|
| 장점 | · 인접 subband 로부터의 간섭을 효과적으로 제거 가능 | · 유연하게 여러 상황에 적용 가능<br>· PAPR 성능이 좋음 | · 데이터가 손상될 우려 없음<br>· Passband 내의 간섭 제거 가능 |
| 단점 | · 필터로 인해 passband 의 데이터가 손상될 수 있음<br>· Passband 내의 간섭을 제거할 수 없고 transition band 의 성능 조절 어려움 | · OOB 전력을 효과적으로 줄여주지 못해서 추가적인 윈도우가 필요함 | · 인접 subband 로부터의 간섭 제거 성능이 떨어짐 |

표 1. 기존 뉴웨이브폼 장단점 비교

## 3. 제안된 뉴웨이브폼

위와 같이 3 가지 종류의 뉴웨이브폼은 서로 다른 장점을 가지고 있으므로 다양한 통신 상황에 대처하기 위해서는 2 개의 방법을 같이 사용하는 방법을 고려할 수 있다. 본 논문에서는 subband filtering 과 subcarrier shaping 을 동시에 사용하여 OOB 전력을 줄이는 **filtered DN-OFDM** 방식을 제안하고 기존의 OFDM, UFMC, 그리고 DN-OFDM 방식과 bit error rate (BER) 성능을 비교하는 모의 실험을 수행하였다 (그림 1).

본 모의 실험의 환경은 다음과 같다. DFT 크기는 $N = 128$, 하나의 subband 의 subcarrier 의 수는 $N_u = 12$로 설정하였다. 그리고 subband 사이의 보호 대역은 $N_g = 10$ 개의 subcarrier 를 사용하였다. 기본적으로 하나의 심볼을 전송하는 상황을 가정한다. DN-OFDM 에서의 윈도우를 위한 추가적인 CP 의 길이는 16 이고, UFMC 의 필터 길이는 17 이다. 채널은 AWGN 을 사용하였다. 그리고 제안하는 filtered DN-OFDM 에서는 8 개의 윈도우를 위한 CP 를 추가하고 9-tap 필터를 사용하였다. 디코딩하려는 subband 의 carrier frequency offset (CFO)를 -0.02, 간섭으로 작용하는 subband 의 CFO 는 0.5 로 가정하였다. 그리고 간섭으로 작용하는 subband 의 전력이 디코딩하려는 subband 의 전력보다 25dB 크다고 가정하였다. 그리고 변조 방식은 64QAM 을 사용하였고 오류정정부호는 사용하지 않았다.

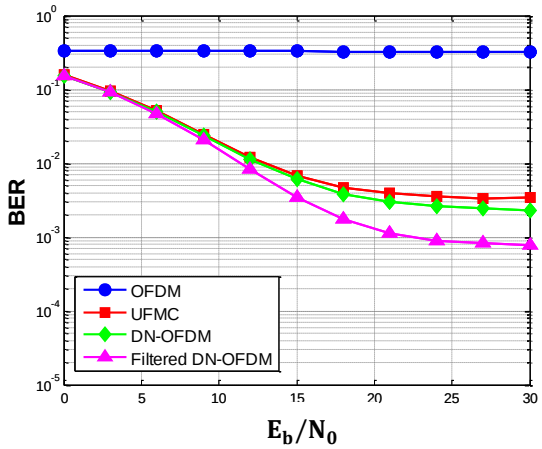



그림 1. OFDM, UFMC, DN-OFDM 과 제안하는 filtered DN-OFDM 의 BER 성능 비교

결과 그래프를 살펴보면 OFDM 의 경우 비동기 환경에서 가장 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. OOB 전력을 줄인 UFMC, DN-OFDM, filtered DN-OFDM 의 경우에는 비동기 상황에서도 BER 성능이 어느정도 보장되며, 제안하는 filtered DN-OFDM 의 성능이 가장 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 차세대 이동통신에서의 기존의 뉴웨이브폼 기술들을 분석하고, OFDM 기반의 pulse shaping 방식을 뉴웨이브폼 관점에서 분류하였다. 그리고 기존의 방법들의 장점을 살린 filtered DN-OFDM 을 제안하였다. Filtered DN-OFDM 은 subband filtering 과 subcarrier shaping 을 적절히 조절하여 뛰어난 성능을 얻을 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0126-15-1070, IoT 환경에서 촉감통신 서비스 실현을 위한 차세대 초저지연/고효율 무선접속 기술 연구)

## 5. 참고 문헌

[1] Wunder et al., "5GNow: Non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no.2, pp. 97105, Feb. 2014

[2] Vakilian, V. Wild, T. Schaich, F. ten Brink, J. F. Frigon, "Univiseral filtered multi-carrier technique for wireless systems beyond LTE," *9th Int. Workshop on Broadband Wireless Access at IEEE Globecom 13*, Atlanta, Dec. 2013.

[3] N. Michailow et. al, "Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 62, no. 9, pp. 3045-3061, 2014.

[4] Peng Tan, Norman C. Beaulieu, "Reduced ICI in OFDM systems using the 'Better Than' raised-cosine pulse," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 8, no. 3, pp. 135-137, Mar. 2004.

# Generalized Frequency Division Multiplexing 최적 필터 설계

한승열°, 성영철
한국과학기술원 전자 및 전자공학부
{sy.han, ycsung}@kaist.ac.kr

## 1. 서론

최근 5G 이동통신 연구는 기존 orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) 의 단점을 보완하는 waveform 기반 다중 반송파 시스템 설계를 고려하고 있다 [1]. 이 논문에서는 기존에 연구된 waveform 기반 다중 반송파 기술 중 generalized frequency division multiplexing (GFDM) [2] 에서의 최적 필터 설계를 다루고자 한다. 기존 GFDM 에서는 sidelobe 가 작은 root raised cosine (RRC) 필터를 사용하였으나 [2], RRC 필터는 zero-forcing (ZF) 수신기에서 정보 손실을 일으키며 대역 외 전력 누출 효율이 좋지 않지만 peak-to-average power ratio (PAPR) 이 좋은 특성을 가진다. 따라서 RRC 필터의 roll-off factor 에 따른 PAPR 특성 분석과 주어진 정보 전송률의 손실에 따라 대역 외 전력 누출을 최소화하는 필터 설계가 필요하므로 이를 연구하였다.

## 2. 시스템 모형 및 최적 필터 설계

본 논문에서는 $K$ 를 부반송파 수, $M$ 을 부심볼 수라 하며 한 GFDM 심볼 당 $N = MK$ 개의 복소 데이터 심볼 $s_0, \cdots, s_{N-1}$ 을 송신한다고 가정한다. $k$ 번째 부반송파의 $m$ 번째 부심볼 $s_{kM+m}$ 은

$$\tilde{g}_{k,m}[n] = \tilde{g}[n - mK]\exp[\imath 2\pi kn / K], \quad n = 0, \cdots, N-1$$

에 실려 보내지고 ($\imath = \sqrt{-1}$), 이에 따른 GFDM 송신 신호는 다음과 같이 표현 가능하다 [2].

$$x[n] = \sum_{k=0}^{K-1}\sum_{m=0}^{M-1} \tilde{g}_{k,m}[n] s_{kM+m} \qquad (1)$$

이러한 송신 신호는 주파수 축에서 diagonal waveform 행렬 $\mathbf{\Gamma} = \mathrm{diag}[\gamma_0, \cdots, \gamma_{2M-1}]$ 을 변수로 가지는 간단한 행렬 모델로 나타낼 수 있다 [3]. 수신에서 ZF 를 하면 최종적으로 $N$ 개의 병렬 채널이 있는 시스템이 되므로, 각 채널의 gain 으로부터 정보 전송률을 구할 수 있다 [4]. 이로부터 ZF-GFDM 시스템의 정보 전송률을 구할 수 있으며, additive white Gaussian noise (AWGN) 채널을 가정하면 Dirichlet filter (RRC with roll-off 0) 를 사용한 시스템인 single-carrier FDM (SC-FDM) 이 정보 전송률을 최대화하고 RRC 의 roll-off 계수가 커질수록 정보 손실이 일어난다는 것을 보였다 [5]. 또한 송신 신호로부터 다음과 같이 PAPR 을 나타낼 수 있기 때문에 이로부터 PAPR 과 정보전송률의 관계를 보일 수 있다.

$$\mathrm{PAPR} = \frac{\max_n |x[n]|^2}{\frac{1}{N}\sum_n |x[n]|^2} \qquad (2)$$

추가로, $m$ 번째 부심볼의 continuous waveform $g_m(t)$ 의 Fourier transform $G_m(f)$ 를 $\gamma_0, \cdots, \gamma_{2M-1}$ 의 함수로 나타낼 수 있기 때문에 이로부터 power spectral density (PSD) 를 구하여 정보 전송률 손실 허용 범위와 송신신호의 power 를 제약하에서 PSD 를 최소화하는 최적 필터를 설계할 수 있다.

## 3. 모의 실험 결과

그림 1 은 $K = 54$, $M = 5$ GFDM 시스템에서 RRC filter 를 roll-off 계수를 변경해가며 PAPR 의 complementary cumulative distribution function (CCDF) 를 그린 그래프이다. RRC 필터 중에서는 Dirichlet 필터가 PAPR 성능이 가장 나쁘며, 최적의 PAPR 을 가지는 roll-off 계수가 존재하는 것을 볼 수 있다.

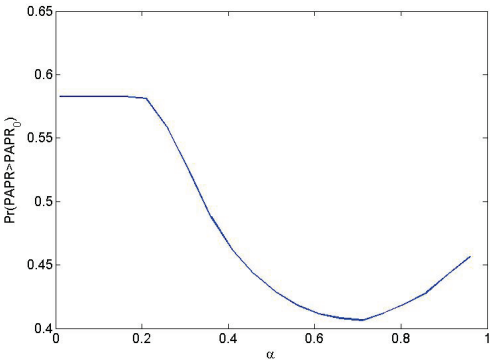



**그림 1.** Roll-off 계수에 따른 RRC 필터의 PAPR CCDF

## 4. 결론

본 논문에서는 GFDM 에서 RRC 필터의 roll-off 계수에 따른 정보 전송률과 PAPR 의 관계를 보이고 모의실험을 통해 그 관계를 분석하였다.

## 5. 참고 문헌

[1] G. Wunder et al., "5GNOW: Non-orthogonal asynchronous waveforms for future mobile applications," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 52, pp. 97 – 105, Feb. 2014.

[2] G. Fettweis, M. Krondorf, and S. Bittner, "GFDM - Generalized frequency division multiplexing," in *Proc. VTC*, Apr. 2009.

[3] I. Gaspar, N. Michailow, A. Navarro, E. Ohlmer, S. Krone, and G. Fettweis, "Low complexity gfdm receiver based on sparse frequency domain processing," in Proc. VTC, Jun. 2013.

[4] T. Yoo, and A. Goldsmith, "On the optimality of multiantenna broadcast scheduling using zero-forcing beamforming," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 24, pp. 528 – 541, Mar. 2006.

[5] S. Han, On the Filter Design for Generalized Frequency Division Multiplexing: Trade-off between Information Rate and Peak-to-Average Power Ratio. Daejeon, Korea: MS Thesis, KAIST, Dec. 2015.

# 저지연 통신을 위한 상향링크 전송 기법

이기택°, 김선도, 김준석, 박승일, 최성현

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신공동연구소

# Uplink Transmission for Low Latency Support

Kitaek Lee°, Sundo Kim, Junseok Kim, Seungil Park, and Sunghyun Choi

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC, Seoul National University

{ktlee, sdkim, jskim14, spark11}@mwnl.snu.ac.kr, schoi@snu.ac.kr

## 요 약

5 세대 이동통신 시스템에서 목표로 하는 성능 중 하나는 매우 낮은 전송 지연시간이다. 본 논문에서는 상향링크 데이터 전송에 소요되는 지연시간을 줄이기 위한 전송 방법을 제안한다. 상향링크 데이터가 발생할 때 마다 전송에 필요한 자원을 할당 받는 과정을 제거하고, 미리 정해진 단일 혹은 다수의 자원을 사용하여 같은 데이터를 전송해서 지연시간을 줄이는 방법을 제안한다. 전송이 실패한 경우에도 빠르게 재전송을 위한 자원을 할당해서 재전송을 가능하게 함으로써 높은 신뢰성을 보장한다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안하는 방법이 기존의 상향링크 데이터 전송 방법보다 더 낮은 지연시간을 달성하는 것을 확인하였다.

## 1. 서론

2020 년 상용화를 목표로 하고 있는 5 세대 이동통신 시스템은 현재의 이동통신 시스템과 비교하여 전송 속도, 연결 밀도, 주파수 효율, 지연 시간 등을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다 [1]. 그 중에서도 낮은 지연시간을 요구하는 기술에는 원격 공장 제어, 원격 수술 등이 있다. 이러한 기술들은 낮은 지연시간이 만족되지 않으면 정상적으로 동작할 수 없다. 이처럼 매우 낮은 지연시간을 필요로 하는 어플리케이션이 5 세대 이동통신 시스템에서 대두되고 있다.

본 논문에서는 5 세대 이동통신 시스템에서 목표로 하는 낮은 지연시간을 만족시키는 상향링크 데이터 전송 기법을 제안하고자 한다.

## 2. 기존 기술의 문제점

기존 LTE 이동통신 시스템에서 상향링크 데이터 전송을 시작할 때, 단말은 PUCCH (Pysical Uplink Control Channel)을 통해 1 bit 정보인 SR (Scheduling Request)을 보낸다. SR 을 받은 기지국은 단말에게 BSR (Buffer Status Report)를 요구하는 Scheduling Grant 를 전송한다. Grant 를 받은 단말은 기지국에게 BSR 을 전송하고, 기지국은 BSR 정보를 보고, 상향링크 전송에 필요한 자원을 할당한다. 마지막으로 단말은 할당 받은 자원을 이용해 기지국에게 상향링크 데이터를 전송한다.

기존 기술의 문제는 단말이 상향링크 데이터 전송을 위한 자원을 할당 받기 위해서 네 번의 메시지 전송 과정이 필요하다는 점이다. 이러한 메시지 전송 과정에서 소요되는 시간은 5 세대 이동통신 시스템에서 가정하는 매우 낮은 지연시간을 만족시키기에는 적당하지 않다. 본 논문에서는 상기 메시지 전송과정에 소요되는 지연시간을 줄이기 위해서 단말이 자원을 할당 받지 않고 상향링크 데이터를 전송할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 상향링크 데이터 전송의 높은 신뢰성을 보장하기 위해 실패한 전송에 대해서 빠르게 재전송 할 수 있는 방법을 제안한다.

## 3. 저지연을 위한 상향링크 데이터 전송 프로토콜

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 상향링크 데이터 전송 방법을 보여준다. 먼저 각 단말은 기지국에 처음 접속하는 과정에서 다른 단말들과 구별될 수 있는 프리앰블을 할당 받고, 그 프리앰블을 상향링크 전송에 사용한다. 또한 기지국은 단말에게 프리앰블을 할당할 때 각 단말이 상향링크 데이터를 전송하기 위한 자원을 미리 정해준다. 이 때, 단말이 저지연을 필요로 하는 데이터를 보내기 위한 자원은 PUUCH (Physical Uplink Urgent Channel) 를 사용한다. 기지국은 각 단말에게 프리앰블을 할당할 때, PUUCH 에서 단말이 전송에 사용할 자원의 패턴을 알려준다. 이 때, PUUCH 에서 단말이 사용하는 자원의 패턴은 시간, 주파수 축으로 한 개 이상 고정된 개수의 자원이 임의로 결정된다. 결정된 자원의 패턴은 각 프리앰블과 일대일 대응한다.

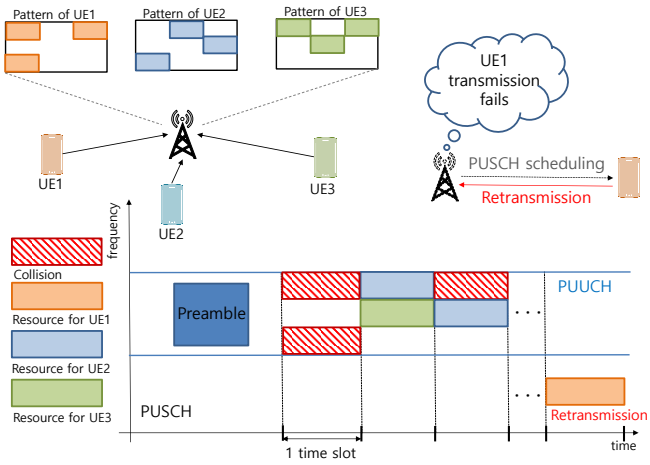



그림 1. 제안하는 상향링크 데이터 전송 과정.

단말은 상향링크 데이터 전송을 시작할 때, 기지국으로 프리앰블을 전송한다. 그 후에 단말은 정해진 자원 패턴을 이용하여 상향링크 데이터를 전송한다. 여기서 단말은 미리 정해진 자원 패턴을 이용하여 모든 자원에서 동일한 상향링크 데이터를 전송한다. 기지국은 프리앰블을 받으면 어떤 단말이 전송을 시도하는지 알 수 있고, 단말이 상향링크 데이터를 보내는데 사용한 자원을 알 수 있다. 단말이 보낸 상향링크 데이터가 정상적으로 기지국에서 수신되면 단말과 기지국은 전송 과정을 마친다.

단말이 상향링크 데이터를 전송하기 위해 사용한 모든 자원이 다른 단말들이 상향링크 데이터 전송을 위해 사용한 자원과 모두 중복되어 데이터의 충돌이 일어나면 단말이 보낸 상향링크 데이터는 전송에 실패하게 된다. 기지국은 전송을 시도하는 모든 단말이 사용하는 자원을 알고 있으므로 모든 자원에서 충돌이 일어나서 전송에 실패하는 단말을 알 수 있다. 그러면 기지국은 상향링크 데이터 전송에 실패한 단말에게 재전송에 필요한 자원을 할당하고, 재전송에 필요한 자원을 할당 받은 단말은 상향링크 데이터를 재전송한다. 이를 통해서 저지연을 달성할 수 있을 뿐 아니라 매우 높은 신뢰성을 보장할 수 있다.

## 4. 시뮬레이션 결과

기존 기법에서 소요되는 상향링크 데이터 전송 지연시간과 제안하는 기법에서 소요되는 지연시간을 시뮬레이션을 통해 비교하고자 한다. 시뮬레이션 방법으로는 ns-3 시뮬레이터를 사용하였다.

그림 2 는 기존의 LTE 시스템에서 상향링크 데이터 전송에 소요되는 지연시간과 제안하는 기법을 사용한 경우에 상향링크 데이터 전송에 소요되는 지연시간을 비교하고 있다. 기존 기법을 사용할 경우에는 상향링크 데이터 전송에 평균적으로 17.4883 ms 가 소요되는 반면 제안하는 기법을 사용할 경우 평균적으로 4.6343 ms 가 소요되는 것을 확인할 수 있었다. 상향링크 데이터 전송을 위해 자원을 할당 받는 과정을 제거해 지연시간을 줄일 수 있다. 또한 전송에 실패한 단말에게 재전송에 필요한 자원을 빠르게 할당하여 재전송을 가능하게 하여 매우 높은 신뢰성을 보장한다.

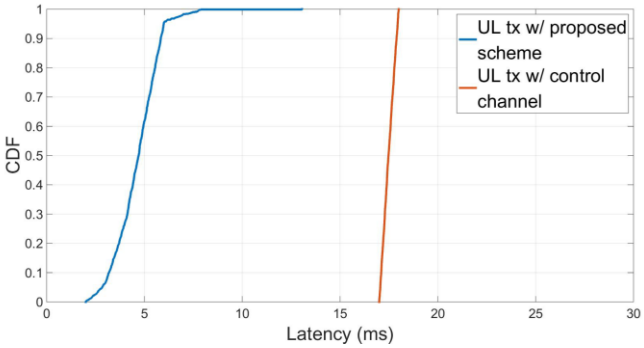



그림 2. 제안하는 전송 기법과 기존 LTE 시스템 전송 지연시간 비교.

## 5. 결론

본 논문에서는 매우 낮은 지연시간을 필요로 하는 5 세대 이동통신을 위한 저지연 상향링크 데이터 전송 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 사용하면 기존의 방법에서 상향링크 데이터 전송을 위한 네 번의 메시지 교환 과정을 제거하고, 고유한 프리앰블 전송 이후 미리 정해진 자원을 사용하여 상향링크 데이터를 전송함으로써 지연시간을 줄이게 된다. 단말이 사용한 모든 자원에서 데이터의 충돌이 일어나서 전송에 실패한 경우 기지국은 재전송을 위해 사용할 자원을 단말에게 빠르게 할당할 수 있고, 단말은 그 자원을 이용하여 데이터를 재전송 함으로써 높은 신뢰성을 보장할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법이 기존 방법에 비해서 상향링크 데이터 전송에 소요되는 지연시간을 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [b0126-16-1012, IoT 환경에서 촉감통신 서비스 실현을 위한 차세대 초저지연/고효율 무선접속기술 연구]

## 참고문헌

[1] METIS, Deliverable d1.1, Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system, in METIS, Apr 2013.

# 초다수 단말 서비스 지원을 위한 LTE Random Access 개선 기법 성능 평가

이성형, 유승수, 오성민*, 신재승*, 김재현

아주대학교, 한국전자통신연구원*

# Performance Evaluation for the Improved LTE Random Access to Support Massive Number of Devices

Sung-Hyung Lee, Seung-Su Yoo, Sung-Min Oh*, JaeSheung Shin*, Jae-Hyun Kim

Ajou University, Electronics and Telecommunications Research Institute*

xaviersr@ajou.ac.kr, ssyoo21@ajou.ac.kr, smoh@etri.re.kr, sjs@etri.re.kr, jkim@ajou.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 LTE 시스템의 random access(RA) 기법에 대해 LTE 표준 기법 사용 시, 프리앰블 인덱스 범위 동적 조정 기법(preamble index control, PIC) 사용 시, PIC 기법과 함께 RRC 메시지 교환 과정을 단축하는 소형 데이터 송신 기법(small data transmission, SDT) 사용 시에 대한 성능 평가를 수행한다. 성능평가 결과 PIC 적용 시 충돌률을 줄여 LTE 표준 대비 성공률이 높아지나 너무 많은 단말이 RA 를 성공하면 UE specific PDCCH 자원의 부족이 발생하여 성공률 증가에 한계가 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 이는 SDT 적용과 같은 UE specific PDCCH 자원 점유율을 줄이는 방법으로 해결 가능함을 확인할 수 있었다.

## 1. 서론

Internet of Thing (IoT) 환경에서는 저비용, 저전력의 단말들이 셀 내에 매우 많이 배치되어 기지국을 통해 각 단말이 데이터를 송수신하는 상황이 발생한다. 3GPP 에서는 이러한 환경에 대비하여 표준 LTE 시스템을 약간 수정하여 IoT 단말의 서비스를 지원 가능도록 하는 Narrow Band IoT (NB-IoT) 서비스 개념을 정립하고 연구를 시작하였다 [1]. 이러한 환경에서는 다수의 단말이 짧은 시간 내 네트워크에 접속을 시도할 상황이 발생할 것이다.

LTE 시스템에서는 단말의 초기 접속을 위하여 RA 기법을 정의하였다 [2]. 이 기법에서는 eNB 가 주기적으로 random access channel(RACH)를 할당한다. 만약 접속을 원하는 단말이 발생하면 해당 단말은 미리 정의된 직교성을 나타내는 코드인 프리앰블(preamble) 하나를 선택하여 RACH 에 송신한다. 만약 eNB 가 프리앰블을 수신하면 2 번째 메시지(MSG2)를 전송하여 해당 프리앰블이 수신되었음을 알리고 3 번째 메시지(MSG3)를 송신할 자원을 알려준다. 이를 수신한 단말은 해당 자원을 이용해 MSG3 을 송신한다. 만약 프리앰블을 단 하나의 단말만이 송신하였다면 eNB 는 MSG3 의 수신이 가능하다. 이 경우에 4 번째 메시지(MSG4)를 송신하여 단말에게 접속 성공을 알리고, 단말은 5 번째 메시지(MSG5)를 송신함으로써 원하는 데이터를 송신한다. 그러나 둘 이상의 단말이 프리앰블을 송신하였다면 MSG3 은 충돌로 인해 올바르게 수신되지 못하여 단말은 프리앰블 선택 단계로 돌아가야 한다.

초다수 단말 배치 환경에서는 LTE 표준 RA 사용 시 많은 충돌이 발생하여 접속 성공률이 줄어든다. 그리고 메시지 송수신에 필요한 자원이 부족하여 프리앰블이 수신되어도 이후 단계를 진행하지 못하는 상황이 발생할 수도 있다.

## 2. 성능 평가 대상 기법

본 논문에서 고려한 LTE 시스템의 RA 기법은 3GPP TR 37.868 문서 [3]를 기반으로 하였다. 그러나 해당 문서에서는 common space PDCCH 의 제한만이 적용된 것으로 예상되어 UE specific space PDCCH, PDSCH, PUSCH 에 대한 자원 할당까지 추가로 고려한다. 또한 해당 문서에서는 MSG4 를 단말이 수신하는 것을 RA 의 성공으로 정의하고 있다. 그러나 표준 LTE 시스템의 경우에는 이 이후에 단말이 eNB 에게 MSG5 를 전송하여야 단말의 데이터가 eNB 에게 전달된다. 본 논문에서는 eNB 의 MSG5 수신 성공을 RA 의 성공으로 정의한다.

PIC 기법을 적용하는 경우에 하나의 RACH 에서 단말이 선택 가능한 프리앰블 인덱스(preamble index, PI)의 범위를 동적으로 조정할 수 있도록 한다. 이 범위는 최소 54 로부터 최대 256 사이의 값에 대해 선택된다. 프리앰블 인덱스 범위는 일정 주기마다 갱신되어 단말에게 전달된다. PI 범위 갱신을 위하

여 이전 주기에 수집된 평균 프리앰블 도착 개수를 바탕으로 최적 범위 개수를 선택한다.

SDT 기법에서는 단말이 송신하는 MSG3 에 제어 메시지인 RRC Connection Request 대신 데이터를 직접 송신하도록 한다. 따라서 이 경우에는 단말과 eNB 사이의 MSG4, MSG5 송신이 발생하지 않는다. 이 경우에는 단말이 MSG3 을 송신하여 eNB 가 이를 수신하면 RA 가 성공하는 것으로 정의한다.

## 3. 성능 평가 결과 및 분석

성능 평가를 위하여 OPNET 을 이용하여 3GPP TR 37.868 기반 시뮬레이터를 개발하고 이를 사용하였다. 성능 평가를 위한 파라메터는 3GPP TR 37.868 문서를 기반으로 하였다. 그 외의 추가로 고려된 파라메터는 표 1 과 같다. 결과 그래프에서 “LTE”는 LTE 표준 기법 적용 시, “PIC”는 PIC 기법만 적용 시, “PIC/SDT”는 PIC 과 SDT 기법을 함께 적용 시에 대한 성능이다. 통계적 오차를 고려하여 각 결과는 20 회의 시뮬레이션 후 평균을 도출하였다.

**표 1. 시뮬레이션 파라메터**

| Parameters | Value |
|---|---|
| Traffic arrival model | Beta distribution, 10 s |
| Maximum number of resource blocks of PDSCH, PUSCH per UE | 6 |
| Update period for adaptive schemes | 320 ms |
| Data size | 160 bits |
| Default MSG2, MSG3, MSG4, MSG5 size [4] | 56, 104, 1136, 392 bits |
| MSG3 size for SDT | 264 bits |

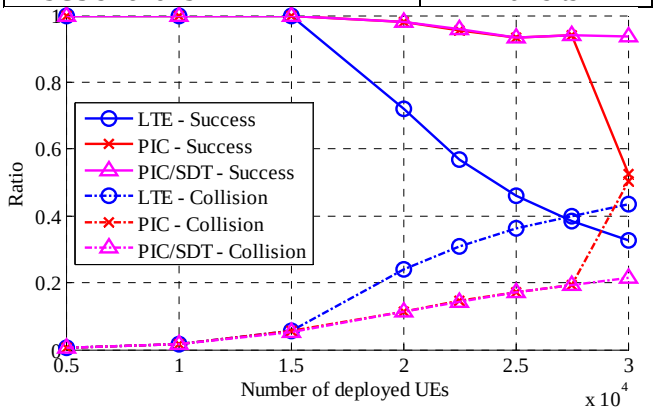



**그림 1. RA 성공률 및 충돌률**

그림 1 은 네트워크에 배치된 단말 수 대비 RA 성공률 및 프리앰블 충돌률이다. LTE 표준 적용 시 배치 단말 수 15,000 개부터 충돌률이 급격히 증가하고 이에 따라 RA 재시도 최대 횟수에 도달한 단말이 증가하여 RA 성공률이 감소함을 확인할 수 있다. PIC 적용 시 충돌률이 절반 이상 감소하여 RA 성공률이 증가하나 배치 단말 수 30,000 개에서는 충돌률이 급증하여 RA 성공률이 감소하였다. PIC 및 SDT 적용 시에는 충돌률의 급증 현상은 나타나지 않았으나 충돌률의 지속적 증가가 나타났다.

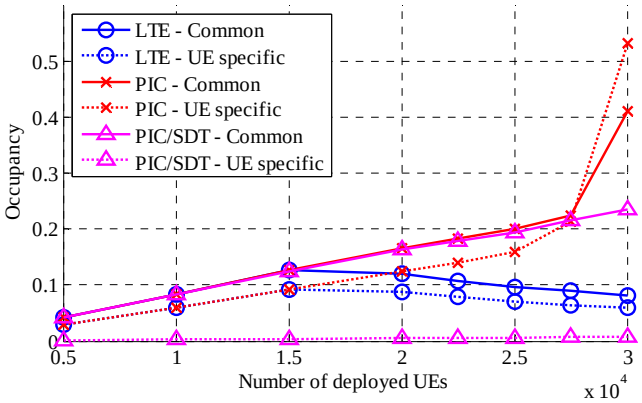



**그림 2. Common / UE specific PDCCH 점유율**

그림 2 는 각 기법에 대하여 Common space 및 UE specific PDCCH 의 평균 채널 점유율이다. 표준 LTE RA 에서는 충돌로 인해 MSG3~MSG5 송신 단계에 진입되는 단말 수가 줄어들어서 채널 점유율이 줄어든다. PIC 적용 시에는 충돌이 줄어들어 진입 단말 수가 증가하므로 UE specific space PDCCH 점유율이 증가한다. 그리고 단말 수 증가에 따라 해당 채널 부족 현상이 발생하게 되고 이는 RA 재전송을 수행하는 단말을 증가시킨다. 따라서 충돌률 증가 및 채널 점유율 급증 현상이 나타나고 RA 성공률 감소가 나타난다. PIC 및 SDT 적용 시에는 MSG4, MSG5 에 의한 UE specific space PDCCH 점유율이 감소하여 자원 부족 현상이 나타나지 않아 전송 성공률이 다시 증가한다.

## 4. 결론

성능평가 결과 LTE 표준 RA 절차는 많은 단말의 처리에 한계가 있음을 확인하였다. 이는 프리앰블 범위 변경과 같은 방법으로 개선할 수 있음을 확인하였다. 그러나 프리앰블 송신 성공이 많아지면 PDCCH 부족이 발생할 수 있으며 이는 RRC 메시지 송수신 변경과 같이 채널 점유율을 줄이는 방법으로 해결할 수 있음을 확인하였다.

## 5. 참고 문헌

[1] 3GPP RP-151621, Narrowband IOT, 3GPP TSG RAN Meeting #69, Sep. 14-16, 2015.
[2] 3GPP TS 36.321, Medium Access Control (MAC) protocol specification
[3] 3GPP TR 37.868, RAN Improvements for Machine-type Communications
[4] 3GPP TSG SA WG3 Security - MBMS ad-hoc #S3z030022, “Updating Encryption Keys for MBMS”, 3-4 September 2003.

## 6. 기타

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIP). (R0101-15-244, Development of 5G Mobile Communication Technologies for Hyper-connected smart services)

# 실제 네트워크 및 전파환경에서 Range-free 측위기술 성능분석

김효원°, 이재훈, 김준혁, 김선우
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

# Performance Analysis of Range-free Localization in a Realistic Network and Propagation Settings

Hyowon Kim°, Jaehoon Lee, Junhyuk Kim, Sunwoo Kim
Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University
{khw870511, jaehoonl, skyblue077, remero}@hanyang.ac.kr

## 요 약

본 논문은 네트워크에 분포하는 노드 간 연결정보를 기하학적으로 분석하는 Range-free 측위 알고리즘을 제안한다. 연결정보의 오차를 최소화하는 위치 후보에 가중치를 두어 일반노드의 위치를 추정한다. MATLAB 시뮬레이션을 통해 실제 네트워크 환경 기반 전파 불규칙도를 고려한 측위 성능을 분석하였다.

## 1. 서론

노드 간 연결정보에 기반한 Range-free 측위 기술을 차세대 이동통신망에 적합할 측위 기술로 기대한다[1]. 기존 Range-free 측위 알고리즘은[2] 노드 간 최단경로가 우회할 수록 측위 오차가 증가하는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 연구[3][4]가 진행되어 왔다. 실제환경의 전파 불규칙도를 고려한 시뮬레이션을 통해 본 알고리즘의 측위 정확도를 확인한다.

## 2. 본론

2차원 네트워크 내부에 앵커노드 A개, 일반노드 $N$개가 랜덤하게 분포, 각각의 집합을 $\Omega_N$과 $\Omega_A$로 정의한다. 모든 노드는 플로딩을 통해 연결정보를 전파한다. 노드 $i$의 위치 좌표는 $\mathbf{p}_i = [x_i, y_i]^T$, 노드 $i$에서 $a$까지 최단경로와 홉 수는 각각 $d_{ia} = d_{ai} = \| \mathbf{p}_a - \mathbf{p}_i \|$ 와 $h_{ia}$로 정의한다. 다음과 같은 QUDG (quasi unit disk graph) 통신 링크 모델[5]을 따른다.

$$p(d) = \begin{cases} 1 & , d \in \left[0, \frac{r_{\max}}{\delta}\right] \\ \frac{\delta(r_{\max} - d)}{r_{\max}(\delta - 1)} & , d \in \left(\frac{r_{\max}}{\delta}, r_{\max}\right] \end{cases} \quad (1)$$

노드 간 최대 통신반경은 $r_{\max}$, $p(d)$는 노드 간 거리 $d$와 전파 불규칙도 DOI(degree of radio irregularity) $\delta$를 변수로 하는 확률이다.

제안하는 알고리즘은 아래와 같은 방법으로 존재 가능한 일반노드의 위치 후보를 검색한다.

$$\mathbf{p}_i \in \{\mathbf{p} | \| \mathbf{p} - \mathbf{p}_a \| \le h_{ia} r_{\max}, \forall_a \in \Omega_A\} \quad (2)$$

위 수식을 만족하는 일반노드 $i$의 집합은 $\Omega_C$ 이고, 일반노드 $i \in \Omega_C$의 위치 후보를 $\mathbf{g}_C^i$로 정의한다. 두 앵커 사이 거리는 거리 측정값, 일반노드와 앵커 사이 거리는 거리 정보값으로 정의한다. 일반노드 $i$에서 서로 다른 두 앵커 $a, b$까지 거리를 살펴본다. 위치 정보값 $d_{ia}$와 $d_{ib}$의 합은 기하학 적으로 항상 $d_{ab}$보다 크거나 같으므로 노드 분포와 관계 없이 다음과 같다.

$$\| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_a \| + \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_b \| = d_{ab} + e_{i,ab} \quad (3)$$

또한, 일반노드 $i$에서 서로 다른 두 앵커 $b$, $c$ 까지 거리 관계는 다음과 같다.

$$\| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_b \| + \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_c \| = d_{ac} + e_{i,ab} \quad (4)$$

두 거리 정보값의 합은 거리 측정값과 오차로 나타내는데, $e_{i,ab}$와 $e_{i,ab}$을 각각 거리 측정값 $d_{ab}$와 $d_{ac}$의 오차로 정의한다. 오차는 항상 0보다 크거나 같으므로, 두 수식 (3)과 (4)의 차를 이용해 다음과 같은 관계를 확인한다.

$$\| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_b \| - \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_c \| = d_{ab} - d_{ac} + e_{i,\underline{a}bc} \quad (5)$$

$e_{i,\underline{a}bc}$는 감소된 오차, $\| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_b \| - \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_c \|$와 $d_{ab} - d_{ac}$는 각각 새로운 거리 정보값과 측정값이다. 앵커 조합 $(a, b, c)$마다 서로 다른 거리 측정값과 오차를 갖는다.

$$\begin{aligned} \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_b \| - \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_c \| &= d_{ab} - d_{ac} + e_{i,\underline{a}bc} \\ \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_a \| - \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_c \| &= d_{ba} - d_{bc} + e_{i,a\underline{b}c} \\ \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_a \| - \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_b \| &= d_{ca} - d_{cb} + e_{i,ab\underline{c}} \end{aligned} \quad (6)$$

기준 앵커 $\mathrm{a}, b, c$에 따른 앵커 쌍 $(b, c)$, $(\mathrm{a}, c)$, $(\mathrm{a}, b)$에 따른 $A-2$개의 거리 측정값과 오차가 존재 한다. 설정값 α 보다 작은 최소오차를 갖는 각 앵커 쌍과 거리 측정값을 산출한다.

$$\begin{aligned} (a_{i,bc},\ d_{ab} - d_{ac}) &= \underset{\mathrm{a} \in \Omega_A,}{\operatorname{argmin}} e_{i,\underline{a}bc} \quad \text{if } e_{i,\underline{a}bc} < \alpha, \\ (a_{i,ac},\ d_{ab} - d_{ac}) &= \underset{\mathrm{b} \in \Omega_A}{\operatorname{argmin}} e_{i,a\underline{b}c} \quad \text{if } e_{i,a\underline{b}c} < \alpha, \\ (a_{i,ab},\ d_{ab} - d_{ac}) &= \underset{\mathrm{c} \in \Omega_A}{\operatorname{argmin}} e_{i,ab\underline{c}} \quad \text{if } e_{i,ab\underline{c}} < \alpha. \end{aligned} \quad (7)$$

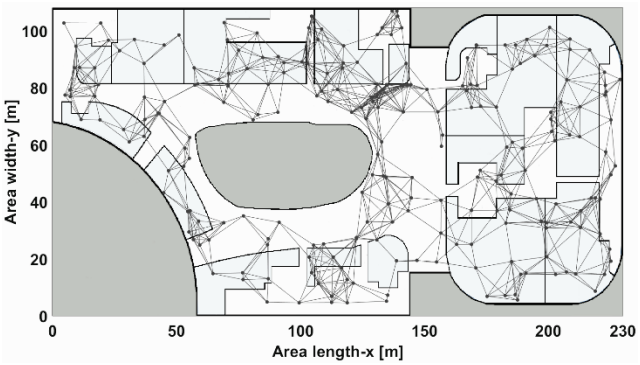



그림 1. 노드의 한 홉 간격 통신링크

설정값 α 보다 작은 오차의 정규화를 통해 가중치 $\omega_c$를 산출한다. 위치 후보 $\mathbf{g}_C^i$에 가중치 $\omega_c$를 두어 일반노드 $i$의 위치를 추정한다.

$$\hat{\mathbf{p}}_i = \sum_{c \in \Omega_C} \omega_c \mathbf{g}_C^i. \quad (8)$$

## 3. 성능분석

시뮬레이션은 그림 1 같이 실제 실내 지형과 동일하게 구성한 네트워크에서 수행하였다. 네트워크의 크기는 230m × 108m이고, 일반노드와 앵커노드는 각각 200 개와 30 개를 랜덤하게 분포하였다. 노드의 한 홉 간격에 장애물이 존재하는 경우 전파 불규칙도 $\delta$는 증가한다[5]. 동일한 전파 불규칙도 $\delta$를 가정한 기존 시뮬레이션[2][3][4]과 다르게, 본 시뮬레이션은 실제 네트워크와 전파환경에 따라 전파 불규칙도 $\delta$를 다르게 가정하였다.

그림 1은 각 노드의 최대 전송반경 $r_{\max}$을 13m로 설정했을 때의 한 홉 간격 통신링크를 나타낸다. 100 회 몬테 카를로 시뮬레이션 결과를 통해 기존 알고리즘[2][3]과 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하였다.

그림 2는 측위 오차 누적 분포를 보여준다. 본 논문의 네트워크 환경에서 DV-Hop[2], ERF[6], 그리고 제안하는 알고리즘의 측위 오차 $1.5r_{\max}$에 대한 누적분포는 각각 0.5, 0.2, 그리고 0.8 이다.

표 1의 A는 실제 네트워크 및 전파환경을 고려하였을 때, 표 1의 B는 고려하지 않았을 때의 결과이다. 네트워크 및 전파환경을 고려한 측위 오차의 평균 및 표준편차는 각각 1.11, 1.12, 타 알고리즘[2][6]보다 측위 성능이 두 배 이상 좋다.

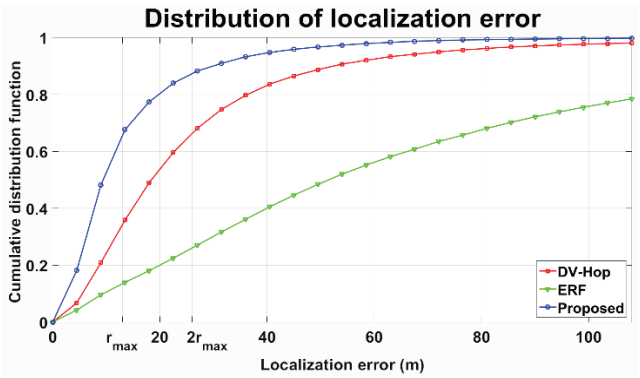



그림 2. 측위 오차 누적 분포

표 1. 측위 오차의 평균과 표준편차 [$r_{\max}$]

| 유형 | DOI | 통계 | DV-Hop | ERF | Proposed |
|---|---|---|---|---|---|
| A | $\delta 1 = 1.3$ $\delta 2 = 1.8$ | 평균 | 2.27 | 6.13 | 1.11 |
| | | 표준편차 | 3.09 | 7.38 | 1.02 |
| B | $\delta 1, \delta 2 = 1.3$ | 평균 | 2.11 | 5.76 | 1.05 |
| | | 표준편차 | 2.11 | 6.01 | 0.98 |
| | $\delta 1, \delta 2 = 1.8$ | 평균 | 2.81 | 8.71 | 1.15 |
| | | 표준편차 | 5.17 | 17.54 | 1.06 |

## 4. 결론

본 논문은 위치 후보를 검색, 노드 간 연결정보의 기하학적 해석을 통한 일반노드의 위치를 찾는 Range-free 기법을 제안하였다. 실제 네트워크 및 전파환경을 적용한 시뮬레이션 결과를 확인하였다. 일반노드의 측위 오차는 0.8 확률로 $1.5r_{\max}$이내 이다. 표 1 의 유형 A 와 B 비교 결과, 제안하는 알고리즘이 전파 불규칙도 $\delta$의 영향을 가장 적게 받는다. 또한, 측위 오차의 표준편차도 1.02 가장 작다. 제안하는 알고리즘을 통해 가장 안정적인 측위가 가능하다. 네트워크 차후 각 노드의 전파 불규칙도 세분화에 따른 측위 오차의 종합적 분석이 남아있다.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported partially by the National Research Foundation of Korea (NRF–2015R1A5A7037751, 2015 M3C8A7074200, 2013R1A1A2062728).

## REFERENCES

[1]이상우, 김선우, “실내 위치측위 기술 동향 및 전망,” 한국통신학회지, 제 32 권, 2 호, pp. 81-47, 2015.

[2] D. Niculescu and B. Nath, “Ad hoc positioning system,” in *Proc. IEEE GLOBECOM.*, vol. 5, pp.2926-2931, 2001.

[3] S. Lee, C. Park, M. J. Lee, and S. Kim, “Multihop range-free localization with approximate shortest path in anisotropic wireless sensor networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-12, 2014.

[4] S. Lee, M. Jin, B. Koo, C. Sin, and S. Kim, “Pascal’s triangle-based range-free localization for anisotropic wireless networks,” *Wireless Networks*, pp. 1-18, 2015.

[5] D. Gao, P. Chen, C. H. Foh, and Y. Niu, “Hop-distance relationship analysis with quasi-udg model for node localization in wireless sensor networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2011, no. 1, pp. 1-11, 2011.

[6] A. El Assaf, S. A. R. Zaidi, S. Affes, and N. Kandil, “Efficient range-free localization algorithm for randomly distributed wireless sensor networks,” in *Proc. IEEE GLOBECOM.*, p. 201-206, 2013.

# 자율주행 차량의 위치 추정을 위한 UKF-ICP 융합 프레임워크

김성현°, 서승우

서울대학교 전기정보공학부

# UKF-ICP Fusion Framework for Pose Estimation of Automated Vehicle

Seoung-Hyun Kim°, Seung-Woo Seo

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

homp3@snu.ac.kr

## 요 약

Unscented Kalman Filter(UKF)는 측정값을 이용한 추정과정을 거치므로 추정결과의 오차는 상한 가지게 된다. 그러나 연속하는 두 추정결과는 정확하지 않을 수 있다. Iterative Closest Point(ICP)는 연속하는 센서데이터 사이 매칭 과정을 거쳐 변환관계를 비교적 정확하게 찾아낼 수 있다. 그러나 매칭 과정에서 생기는 오차가 누적되어 발산하게 되는 문제가 있다. 본 논문에서 위 두 가지 단점을 상호 보완하는 UKF-ICP 융합 프레임워크를 제안한다.

## 1. 서론

최근 자율주행 차량 기술이 부각 되면서 관련분야의 기술 개발이 점점 가속화 되고 있다. 자율주행 차량의 요소기술은 인지기술, 판단기술, 제어기술, 위치추정기술 등이 있으며[1], 위 기술 중 어느 하나라도 빠진다면 차량의 자율주행은 불가능하다. 자율주행 요소기술 중 위치추정기술의 목표는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 목표는 주행 환경에서 정확하고 안전한 자율주행을 위해 정확한 자차의 위치를 추정 하는 것이고, 두 번째 목표는 추정된 위치를 기반 차량에 설치된 환경센서로 지도를 만들기 위함이다.[3]

본 논문은 자율주행 차량의 위치 추정을 위해 Unscented Kalman Filter(UKF)와 Iterative Closest Point(ICP) 알고리즘의 단점을 보완하는 융합 프레임워크를 제안한다. UKF-ICP 융합 프레임워크를 소개하고, 실차기반 실험결과를 보인다.

## 2. UKF-ICP 융합 프레임워크

UKF 는 측정값을 기준으로 추정하기 때문에 오차의 상한이 있다. 그러나 연속하는 두 위치에 대해 정확한 위치를 추정하기 힘들다는 단점이 있다. 반면 ICP 는 센서 데이터간 매칭 과정을 거치기 때문에 연속하는 두 위치의 변환 관계를 작은 오차에 대해 찾을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 ICP 변환 오차가 누적되어 발산하게 된다는 단점이 있다. 따라서 이 두 알고리즘의 단점을 보완할 수 있는 프레임워크를 제안하였다.

### A. Unscented Kalman Filter 알고리즘

비선형 모델을 예측하기 위해 1 차근사를 거치는 Extended Kalman Filter(EKF)에 비해 3 차 근사를 거치는 UKF 는 더 정확한 추정이 가능하다.[2] UKF 는 결정적 시그마포인트($\chi$) 와 가중치(W)를 구하고, Unscented Transformation(UT)를 통해 3 차 근사 비선형 모델 예측한다. UKF 알고리즘은 아래와 같다.

1. 초기화 : $\hat{x}_0, P_0$

2. 예측 과정:

$$(\chi_i, W_i) \leftarrow ({\hat{x}_{k-1}}^U, P_{k-1}, \kappa)$$
$$(\hat{x}_k^-, P_k^-) = UT(f(\chi_i), W_i, Q)$$
$$(\hat{z}_k, P_z) = UT(h(\chi_i), W_i, R)$$

3. 추정과정:

$$P_{xz} = \sum_{i=1}^{2n-1} W_i \{f(\chi_i) - \hat{x}_k^-\}\{h(\chi_i) - \hat{z}_k\}^T$$
$${\hat{x}_k}^U = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - \hat{z}_k)$$
$$P_k = P_k^- - K_k P_z {K_k}^T$$

본 논문에서 위치 추정을 위한 UKF 의 시스템 모델과 측정값 모델은 아래와 같이 설계하였다.

- 시스템 모델 :

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k$$
$$\begin{bmatrix} X_{k+1} \\ Y_{k+1} \\ \theta_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_k + dt * v_{x_k}\cos(\theta_k) \\ Y_k + dt * v_{y_k}\sin(\theta_k) \\ \theta_k + dt * w_k \end{bmatrix} + w_k$$

- 측정값 모델 :

$$z_k = h(z_k) + v_k$$
$$\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} + v_k$$

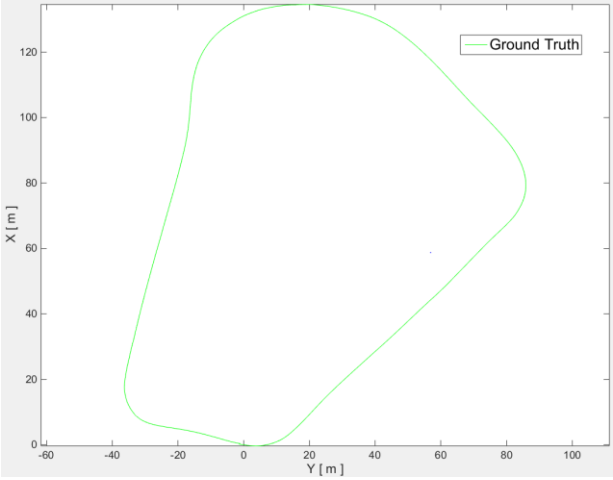



그림 2. 실험 환경 Ground truth

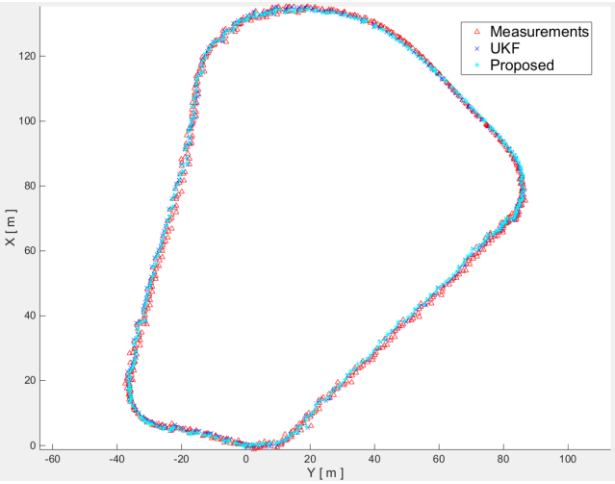



그림 3. 실험 결과

B. Iterative Closest Point 알고리즘

ICP 알고리즘은 두 개의 센서 데이터를 매칭하는데 사용되는 알고리즘으로, 기준이 되는 타겟 데이터 $\mathcal{M}_A = \{a_i\}$와 타겟 데이터와 매칭하기 위한 소스 데이터 $\mathcal{M}_B = \{b_i\}$로 나눌 수 있다. 소스데이터 $\mathcal{M}_A$를 타겟 데이터 $\mathcal{M}_B$로 되도록 하는 변환행렬 $T^*$는 아래 수식으로 구할 수 있다.[4]

$$m_i \leftarrow Corresponding\ Points\ in\ \mathcal{M}_A to\ T * b_i$$

$$T^* \leftarrow argmin_T\{\sum_i w_i \|T * b_i - m_i\|^2\}$$

변환행렬 $T^*$를 역변환하여 ICP 추정 위치 $\hat{x}_k{}^I$를 구할 수 있다.

C. UKF 와 ICP 의 융합 프레임워크

UKF-ICP 융합프레임워크는 예측과정과 추정과정을 거쳐 융합추정위치 $\hat{x}_k{}^f$를 구한다. 예측과정에서 융합추정위치 $\hat{x}_{k-1}{}^f$를 사용하여 시그마포인트와 이의 가중치를 구하고 추정과정에서 Kalman gain 으로 구한 $\hat{x}_k{}^U$와 ICP 추정 위치 $\hat{x}_k{}^I$의 가중 합으로 융합추정위치 $\hat{x}_k{}^f$를 구한다.

타겟 데이터 $\mathcal{M}_{A_{k-1}}$를 $\hat{x}_{k-1}{}^f$ 위치로 변환하고, 소스 데이터 $\mathcal{M}_{B_k}$는 $\hat{x}_k{}^U$로 변환하여 ICP 추정 위치 $\hat{x}_k{}^I$를 구한다. 최종적으로 융합추정위치 $\hat{x}_k{}^f$를 아래와 같이 구한다.

$$\hat{x}_k{}^f = \alpha\hat{x}_k{}^U + \beta\hat{x}_k{}^I$$

$$\alpha + \beta = 1, 0 \le \alpha \le 1, 0 \le \beta \le 1$$

## 3. 실험 결과

실험 데이터는 서울대학교 캠퍼스 내에서 실험 차량 및 64 채널 라이다를 이용하여 취득하였다. Ground truth 는 5 cm 오차를 가지는 GPS 를 이용해 취득하였고, 측정값은 ground truth 에 임의로 Gaussian noise 를 추가하여 사용하였다. Root Mean Square Error(RMSE)로 성능 비교를 하였고, UKF 는 1.7454 m, 제안한 알고리즘은 1.4498 m 의 결과를 보였다.

| | RMSE (m) |
|---|---|
| UKF | 1.7454 |
| Proposed | 1.4498 |

표 1. 실험 결과

## 4. 결론

본 논문에서 제안한 UKF-ICP 융합프레임워크는 기존 UKF 에 비해 약 17 % 개선된 결과를 확인할 수 있었다.

## 5. 사사

본 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다.[10042808, 도로속성정보와 영상센서, 레이더 정보를 융합하여 차간거리제어, 차선유지지원, 커브사고방지 기능을 개선한 통합운전지원시스템 개발]

## 6. 참고 문헌

[1] J. Leoard, et al., "A perception-Driven Autonomous Urban Vehicle," *Journal of Field Roboticss*, 2008.

[2] P. Zhang, et al., "Navigation with IMU/GPS/Digital Compass with Unscented Kalman Filter," *IEEE Int. Conf. on Mechatronics & Automation*, 2005.

[3] J. Levinson, et al., "Map-based Precision Vehicle localization in Urban Environment" *Robotics : Science and Systems*, 2007.

[4] P. J. Besl, et al., "A Method for Registration of 3-D Shapes" *IEEE tran. on pattern analysis and machine intelligence*, 1992.

# 스마트단말을 위한 개인화된 리소스 스케줄링 기법

# On the possibility of personalized resource scheduling for smartphones

이경한°
UNIST, ECE
khlee@unist.ac.kr

## 1. 서론

급속도로 발전중인 스마트 단말은 주어진 폼팩터 내에서 사용자 요구를 상당 부분 만족시키고 있다. 이는 최근 시장에서 관찰되고 있는 중저가형 단말의 성공을 통해 입증되고 있다. 그러나, 중저가형 단말과 최상위 단말들이 가지는 성능상의 차이는 존재하며, 이는 어플리케이션 실행시간, 배터리효율 등으로 표출된다. 우리는 본 연구를 통해, 동일한 하드웨어를 가진 스마트 단말에서 단말 사용자의 어플리케이션 사용 특성에 대한 학습을 통해 어플리케이션 실행시간을 줄이고, 배터리 효율을 높이는 방안을 살펴본다. 본 연구는 기존에 판매된 수십억 대에 달하는 스마트 단말의 성능을 손쉽게 높이는 SW 기법이라는 실용적인 의미와, 사용자 컨텍스트를 이용하여 운영체제 기능을 개선할 수 있다는 학술적인 의미를 동시에 지닌다.

## 2. 본론

스마트단말에서 특정 어플리케이션의 실행시간은 해당 어플리케이션이 백그라운드에서 실행중인지 아닌지에 따라 크게 달라진다. 이는 어플리케이션이 로딩되는 동안 발생하는 1) 네트워크를 통한 데이터 획득 및 2) 프로그램 데이터의 메모리 로딩에 많은 시간이 소요되기 때문이다. 본 연구팀이 갤럭시노트 2 단말을 이용하여 게임, 브라우저, 메신저 등 다양한 어플리케이션을 처음 실행하며 측정한 어플리케이션 실행시간은 평균 4.5 초로, 이는 백그라운드에 해당 어플리케이션을 머물게 한 후 재실행할 때 관찰된 평균 0.9 초에 비하면 5 배 가량 느리다. 따라서, 어플리케이션 실행속도를 크게 높이기 위해서는 어플리케이션들을 최대한 메모리에 보존하고, 이들을 최대한 종료시키지 않는 스케줄링을 하는 것이 바람직하다. 그러나, 모든 프로세스들을 종료하지 않은 채로 메모리 상에서 유지시키는 것은, 2GB ~ 4GB 사이의 메모리 용량을 가지는 스마트 단말에서 현실적으로 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 안드로이드 운영체제는 LMK (low memory killer)라는 스케줄러를 도입하였고, LMK 는 메모리가 부족해지는 경우 어플리케이션들을 LRU (least recently used) 방식으로 종료시킨다. 그러나, 스마트단말의 메모리 상에 유지시켜야 하는 어플리케이션을 LRU 방식으로 결정하는 것은 합리적이지 않다. 이는 사용자가 사용하는 어플리케이션이 주어진 상황에 의해 결정되는 특성이 있기 때문이며, 이러한 특성은 사용자 마다 다르나 상당부분 학습이 가능하기 때문이다 [1, 2]. 우리는 아래 표와 같이 직전에 사용 사용시간 등을 활용하여 어플리케이션 별 사용확률을 베이지안 추론을 통해 학습하는 경우, LRU 를 크게 앞지르는 스케줄러의 설계가 가능함을 96 인의 안드로이드 사용자가 각각 2 주간 습득한 어플리케이션 사용 로그를 통해 확인하였다.

| Info | Last used app ($X_{k-1}$) | Time of a day ($S_k$) | Previous durations ($T^{\text{off}}_{k-1}, T^{\text{on}}_{k-1}$) |
|---|---|---|---|
| Class | $1, \cdots, N$ | Active, Inactive | Short, Long |

**그림 1: 어플리케이션 사용확률 예측에 활용 가능한 컨텍스트들**

여기에 더 나아가 본 연구팀은, 어플리케이션들 중 상당 수는 메모리상에서 보존되는 동안 사용자의 의지와 관계없는 수많은 네트워크 동작을 진행하는 것을 확인하였다. 아래 그래프는 페이스북 어플리케이션이 발생시키는 네트워크 트래픽(red)을 어플리케이션이 백그라운드와 포어그라운드를 오가는 상황에 대해 보이고 있다. 약 18 시간 동안 기록된 아래 그래프에 따르면, 수백 byte 에서 수백 kilo byte 에 이르는 트래픽이 어플리케이션이 백그라운드에 유지되고 있는 동안에도 빈번하게 발생하며, 이는 심지어 사용자가 수면을 취하는 동안에도 관찰된다. 따라서 메모리에 상주시키는 어플리케이션을 선택함에 있어, 사용확률 만을 고려하는 것은 바람직하지 않으며, 메모리에 상주시키는 동안 발생시키는 전력 손실도 함께 고려하는 것이 필요하다.

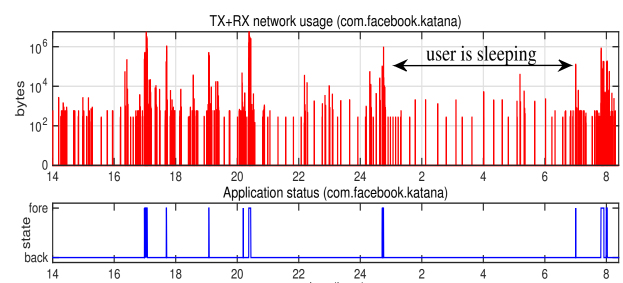



**그림 1: 페이스북 앱은 백그라운드 상태에서도 수많은 네트워크 트래픽을 발생시킴**

본 연구는언급된 요소들이 종합적으로 고려되어 학습되고 활용될 경우, 동일한 하드웨어가 제공할 수 있는 사용자 체감 성능이 크게 높아질 수 있다는 것을 실측 데이터에 대한 다양한 시뮬레이션 및 에뮬레이션을 통해 보인다.

## 3. 참고 문헌

[1] Trinh Minh Tri Do, Jan Blom, and Daniel Gatica-Perez. Smartphone usage in the wild: a large-scale analysis of applications and context. In Proc. of ACM conference on multimodal interfaces. 2011
[2] [illegible]

# Commoditizing Delay Tolerance in Mobile Content Delivery

문영균, 김동휘, 고영환, 김영진, 이융, 정송, 박경수
KAIST 전기 및 전자공학과
{ygmoon, dhkim, yhwan}@ndsl.kaist.edu, yj.kim@netsys.kaist.ac.kr,
{yiyung, songchong}@kaist.edu, kyoungsoo@ee.kaist.ac.kr

## 1. Introduction

최근 다양한 급증하고 있는 셀룰러 네트워크 트래픽을 절감하기 위한 방안으로 Wi-Fi 연결을 통한 데이터 오프로딩이 해결 방안으로 제시되고 있다. 특히 지연 허용을 통한 데이터 오프로딩 기법[1][2]은 최근 학계에서 각광받고 있는 기술로, 핵심 아이디어는 최대한 대역폭이 큰 Wi-Fi 를 통해 데이터를 전송하며, 사용자 설정 데드라인을 만족하기 어려울 경우에만 셀룰러 네트워크를 이용하도록 하는 것이다. 이를 통해 모바일 네트워크 전송 수요를 보다 낮은 비용으로 만족시킬 수 있게 된다. 예를 들어 모바일 컨텐츠 사용자들이 당장 시청하지 않아도 되는 컨텐츠 다운로드를 미리 예약하는 경우 이러한 기법으로 Wi-Fi 를 적극적으로 활용할 수 있다.

이러한 지연 허용 데이터 오프로딩의 높은 잠재력에도 불구하고 현존하는 모바일 컨텐츠 애플리케이션들은 이러한 기능을 제공하지 않는다. 몇몇 애플리케이션들은 “Wi-Fi only” 옵션을 지원하지만 모바일 단말이 Wi-Fi 연결을 만나지 못할 경우 전송이 무제한적으로 연기되는 문제가 있다. 지연 허용 데이터 오프로딩 기법을 적용하기 위해서는 긴 단절이나 지연 이후 재전송 되거나 전송 도중 네트워크 전환이 발생할 경우에도 문제 없이 이어서 전송되어야 한다. 하지만 가장 많이 사용되는 트랜스포트 계층 프로토콜인 TCP 가 유선 네트워크 환경을 가정하고 구현된 탓에 네트워크 단절이 발생하거나 네트워크 주소가 변경될 경우 TCP 연결이 끊기는 문제가 발생한다. 따라서 애플리케이션 개발자가 네트워크 단절 및 오프로딩 알고리즘을 모든 애플리케이션에 일일이 고려하여 구현해야하는 문제가 있다. 이러한 부담 때문에 대부분의 애플리케이션에서 이러한 문제를 다루지 않아 네트워크 단절 발생 시 전송이 중단되는 문제가 발견되었다.

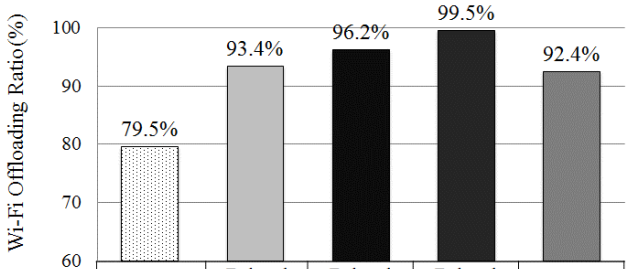
따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 실질적인 지연 허용 모바일 네트워크 아키텍처인 Cedos[3]를 개발하고 이를 모바일 컨텐츠 전송 환경에 적용하는 과정 및 결과에 대해 다룬다. Cedos 의 핵심 아이디어는 애플리케이션이 다루기 힘든 네트워크 단절 및 주소 이동과 지연 허용 데이터 오프로딩 등의 기능까지 트랜스포트 계층에서 지원하여 이러한 기능을 쉽게 제공할 수 있도록 하는 것이다.

## 2. System Design

Cedos 는 단절 및 지연 허용 전송 프로토콜인 D2TP (Disruption- and Delay-tolerant Transmission Protocol) 상에 구현되었다. D2TP 는 TCP 와 거의 동일한 흐름 및 혼잡 제어 기능을 지원하지만, 네트워크 단절 및 지연을 자동으로 처리해 감춰준다는 장점이 있다. 특히 모바일 환경에서 하나의 연결에 대해 하나의 플로우 아이디 (flow ID) 를 사용하여 네트워크 IP 주소가 변경될 경우에도 플로우 아이디가 동일한 경우 이를 처리 해주는 메커니즘을 제공한다. 또한 모든 서버들이 D2TP 를 통해 전송하도록 업데이트 하는 것은 비용적으로 어려우므로, TCP 서버로부터 데이터를 전달 받아 D2TP 를 통해 모바일 클라이언트에게 전달해줄 수 있는 프록시인 D2Prox 를 개발하였다. 또한 지연 허용 데이터 오프로딩 알고리즘에 따라 플로우 데이터 전송을 효율적으로 스케쥴링 및 조절하는 D2Sched 와 D2BufMgr 모듈을 개발하여 D2TP 와 연동되도록 구현하였다.

## 3. Evaluation

본 연구에서는 Cedos 아키텍처를 실제 모바일 컨텐츠 전송 애플리케이션을 구현하여 실제 사용자들에 대한 실험을 수행하였다. ReadyCast 는 Cedos 아키텍처를 사용한 팟캐스트 애플리케이션으로, 사용자들이 직접 자신의 다운로드에 대한 허용 지연 시간을 설정할 수 있다. ReadyCast 를 50 명의 KAIST 학생들에게 8 주동안 실험을 수행한 결과, Figure 1 과 같이 평균적으로 92.4%의 데이터를 Wi-Fi 로 오프로딩 시키는데 성공하였다.




| | On-the-spot | Delayed (short) | Delayed (long) | Delayed (long) | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Allowed delay | 0 | 0 – 1 hr | 1 – 3 hr | 3 – 6 hr | - |
| # Downloads | 974 | 362 | 330 | 1,168 | 2,834 |

**Figure 1. Delay-tolerant Podcast App User Study Result**

## 4. References

[1] A. Balasubramanian, R. Mahajan, and A. Venkataramani, “Augmenting Mobile 3G Using WiFi,” in *Proc. ACM MobiSys*, 2010.

[2] K. Lee, I. Rhee, J. Lee, S. Chong, and Y. Yi, “Mobile Data Offloading: How Much Can WiFi Deliver?,” in *Proc. ACM CoNEXT*, 2010.

[3] Y. Moon, D. Kim, Y. Go, Y. Kim, Y. Yi, S. Chong, and K. Park, “Practicalizing Delay-Tolerant Mobile Apps with Cedos,” in *Proc. ACM MobiSys*, 2015.

# 공간 정보를 사용한 트위터 분석: 데이터 수집

이현호, 신원용°
단국대학교 데이터사이언스학과, °단국대학교 컴퓨터학과
myteam7jason@gmail.com, wyshin@dankook.ac.kr

## 1. 서론

본 논문에서는 [1]에서의 방법론을 활용하여 대표적인 온라인 소셜네트워크 (또는 마이크로 블로그)인 트위터 (Twitter)하에서 데이터를 수집 및 분석하는 방법을 소개한다. 구체적으로, 트위터 계정을 생성하고, 데이터 수집에 필요한 R 프로그래밍 환경설정을 한 뒤, 계정 생성 시 얻은 토큰 (token)을 사용하여 API 접근 권한을 획득함으로써 R 프로그래밍에서 제공하는 여러 함수들로부터 트위터 데이터를 수집하는 방법을 소개한다.

## 2. 본론

본 논문에서는 트위터 사용자의 공간 태그된 트윗 (geo-tagged tweet)을 수집하는 방법을 기술한다. R 프로그래밍을 사용하여 트위터 데이터를 수집하기 위해 다음과 같은 절차를 수행하여야 한다.

트위터 데이터 수집방법

- 트위터 계정을 생성한다.
- 계정에 접근하기 위해 응용프로그램을 만든다.
- 계정이 생성되면 고유의 접근 토큰 (access token)을 받는다.
- 데이터 수집에 필요한 라이브러리 (library) 사용을 위해 R 에서 제공하는 여러가지 패키지 (package)를 설치 및 로드 (load)한다.
- SSL (secure sockets layer) 인증을 위해 cacert.pem 파일을 다운로드 받는다.
- 데이터 접근 권한을 받기 위해 토큰을 사용하여 R object 를 생성하고 앱 인증을 받는다.
- filterStream, parseStream, write.table 함수를 사용하여 트위터 데이터를 수집한다.

트위터 계정을 생성하면 사용자 고유의 consumer key 및 consumer secret 을 받게 되고, 이를 이용하여 트위터에서 제공되는 API 에 접근을 허가 받게 된다. 데이터 수집에 사용되는 함수를 이용하기 위해 R 프로그래밍에서 필요한 라이브러리 패키지 (library package)를 설치 및 load 하여야 한다. 또한, SSL 인증을 받기 위해 윈도우 사용자의 경우 carcert.pem 파일을 다운로드 받아야 한다. 계정 생성시 설정한 토큰을 사용하여 R object 를 생성하고 고유의 PIN 을 인증하면 트위터 API 에 접근할 권한을 획득하게 되는 것이다. 한번 권한을 획득하게 되면 R object 를 파일로 저장하여 추후에 파일 로드만으로도 권한을 부여 받게 된다. API 사용 권한을 획득하면 filterStream 함수로 사용자의 트윗을 실시간으로 수집할 수 있다.

```
filterStream( file.name="Los_Angeles1.json",
              language="en",locations=c(-118.640,33.757,-118.107,34.341),
              timeout=600,tweets=NULL,oauth=twitCred,verbose = TRUE)
```

그림 1. filterStream 코드 예제

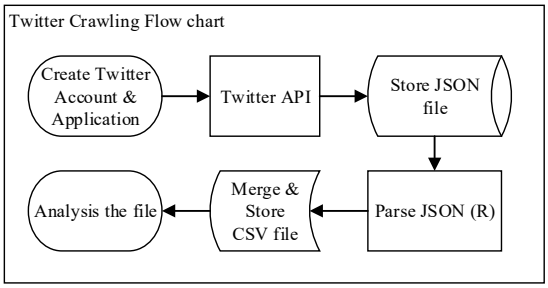



그림 2. 웹 크롤링 (web crawling) flow chart

그림 1 은 Los Angeles 에서 en (English) 텍스트를 사용한 사용자 트윗을 600 초 동안 수집하는 코드 예제를 보여준다. filterStream 에서 file.name 을 미설정하면 메모리에 저장이 되며, JSON 파일로 지정하면 디스크에 저장된다. 또한, language 변수 설정으로 원하는 텍스트 데이터를 수집할 수 있다. Location 변수는 수집하고자 하는 지역의 geo-bounding box 를 이용하여 설정할 수 있으며, 해당 함수의 timeout 설정을 통해 데이터 수집에 시간 제한을 설정할 수 있다. 이 때, 정보의 공개 및 수집 여부는 사용자의 설정에 따른다. 필터링된 tweetStream 은 parseStream 을 통해 행과 열의 데이터 프레임으로 변환되며, 이는 write.table 을 사용하여 최종적으로 CSV 파일로 저장하게 된다.

위와 같은 전체적인 트위터 데이터 수집 과정을 flow chart 로 보면 그림 2 와 같다. 웹 크롤링 (web crawling)된 트윗은 JSON 파일 형태로 저장되고, 이후 데이터 분석에 용이하도록 CSV 파일 형태로 변환하여 저장하게 된다.

## 3. 참고 문헌

[1] K. Rais, “Twitter Analysis (in Rstudio using R programming language)”, technical report.

## 4. 감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(교육부 및 미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2014R1A1A2054577, 2015R1A2A1A15054248).

# Visual Analytics for Mobile Computing

Sungahn Ko°
Ulsan National Institute of Science & Technology
sako@unist.ac.kr

## 1. Introduction

다양한 기술들이 발전됨에 따라, 이들 기술들이 생성하는 데이터도 급격히 커지고 복잡해 졌다. 이러한 빅데이터들을 분석하기 위해서는 사용자의 많은 시간과 노력이 요구된다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 Visual Analytics (VA) 연구가 새로이 제안 되었다. 모바일 및 네트워크 컴퓨팅 데이터는 빅 데이터 가운데도 분석하기 어려운 데이터 인데, 이는 데이터가 spatial, temporal and multi-dimensional 특성을 모두 지니고 있기 때문이다. 본 논문에서는 VA 연구 분야를 간략히 소개하고, 모바일 및 네트워크 빅데이터를 분석하기 위한 VA 기술을 살펴본다.

## 2. Visual Analytics

Visual Analytics 는 "Science of analytical reasoning facilitated by visual interactive interfaces."[1] 정의가 되며, 데이터 시각화 및 상호작용이 가능한 인터페이스를 통하여 사용자의 정보 분석을 돕는 것을 목적으로 한다. 초기에는 인간이 데이터를 이해하는 과정을 밝히는 부분이 집중적으로 연구 되었으며 (e.g., Sense-making loop [2]), 점차 인간의 정보분석 능력 과정 및 현실세계의 데이터를 이용한 시각정보 탐색 모델 [3] 및 기술 [4] 들이 집중적으로 연구 되고 있다.

## 3. Visual Movement/Trajectory Data Analysis

최근 여러 종류의 모바일 장치의 보급으로 Movement 와 관련된 데이터가 급격히 증가하였으며, 이러한 movement 데이터는 사용자들 또는 장치들을 둘러싼 환경 및 중요한 이벤트를 분석 할 수 있게 해 준다. Movement 가시화 기술 연구는 오래전부터 수행 되어 왔으며 주로 3 가지 종류의 가시화 기술들이 이용되어 왔다[5].

먼저 Movement 데이터의 "Direct Depiction" 는 움직임 자체를 화면에 직접 보여주고 사용자가 인터랙션을 통하여 필요한 데이터를 탐색하는 방법을 의미한다. 이 종류의 대 표적인 가시화 기술로는 polyline path, stack-based attribute trajectory[6] 및 space-time cube [7] 등이 존재한다. "Summary" 를 통한 시각화 기술은 다양한 통계 기반의 기술을 사용하여 먼저 데이터의 중요한 부분을 계산한 다음, 계산된 결과를 시각화 한다. aggregation 과 clustering 기술이 주로 이용 되며 [8, 9], aggregation 은 특히 mobile 데이터가 sparse 할 때 불확실성을 낮추는 효과가 있다[10]. 마지막으로 "pattern extraction" 가시화 기술은 숨겨진 패턴을 밝혀내는데 주로 이용이 되며 주로 특정 데이터의 주제 (Theme), 시만틱 (Semantic), 컨텍스트 (Context) 등을 밝히는데 이용된다.

## 4. Conclusion

VA 는 인간의 데이터 분석능력, 시각적 인식능력을 시각화 기술과 인터랙션을 고려하여 효과적인 의사결정 시스템을 디자인하는 연구분야이다. 본 논문에서는 최근 모바일 데이터 분석이 갈수록 어려워 지는 가운데, VA 및 가시화 기술이 어떻게 모바일 데이터 분석을 도울 수 있는지 간략하게 알아 보았다.

## 5.참고 문헌

[1] J.J Thomas, K. A. Kook, Illuminating the Path: The R&D Agenda for Visual Analytics. IEEE Press, 2005
[2] P. Pirolli and S. Card. The sense-making process and leverage points for analyst technology as identified through cognitive task analysis. In Proc. of International Conference on Intelligence Analysis, page 6, 2005
[3] Daniel Keim, Jörn Kohlhammer, Geoffrey Ellis and Florian Mansmann, Mastering the information age: Solving problems with Visual Analytics. EuroGraphics, 2010
[4] Keim, J. Kohlhammer, G. Ellis, and F. Mansmann,Mastering The Information Age - Solving Problems with Visual Analytics Eurographics, 2010.
[5] G. Andrienko, N. Andrienko, and S. Wrobel. Visual analytics tools for analysis of movement data. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 9(2):38–46, 2007.
[6] C. Tominski, H. Schumann, G. L. Andrienko, and N. V. Andrienko. Stacking-based visualization of trajectory attribute data. IEEE Trans. Vis. Comput. Graph, 18(12):2565–2574, 2012.
[7] T. Kapler andW. Wright. Geotime information visualization. Information Visualization, 4(2):136–146, 2005
[8] N. Ferreira, J. T. Klosowski, C. E. Scheidegger, and C. T. Silva. Vector fields: Vector field k-means: Clustering trajectories by fitting multiple vector fields. Computer Graphics Forum, 32(3pt2):201–210, June 2013.
[9] G. L. Andrienko, N. V. Andrienko, S. Rinzivillo, M. Nanni, D. Pedreschi,and F. Giannotti. Interactive visual clustering of large collections of trajectories. In IEEE VAST, pages 3–10. IEEE Computer Society, 2009.
[10] N. Andrienko, G. Andrienko, H. Stange, T. Liebig, and D. Hecker. Visual analytics for understanding spatial situations from episodic movement data. KI-K¨unstliche Intelligenz, 26(3):241–251, 2012.

# 드론 기반 재난 방송용 Ad-Hoc 네트워크

이형규, 유승호, 김황남

고려대학교 전기전자공학과

# Drone based Ad-Hoc Network for Disaster Broadcasting

Hyung Kyu Lee, Seungho Yoo, Hwangnam Kim

School of Electrical Engineering, Korea University

{schk00, pen0423, hnkim}@korea.ac.kr

요 약

본 논문은 재난상황 등으로 인해 네트워크 서비스를 정상적으로 제공받지 못하는 지역에 드론을 파견, 그들간의 Ad-Hoc 네트워크를 구축하고 해당 지역의 유저들에게 FM 라디오, DMB 서비스를 제공하는 방법을 제시한다. 그리고 실험을 통하여 드론을 활용한 상기 서비스 제공이 가능함을 확인하였다.

## 1. 서론

스마트폰을 필두로 고급 스마트기기의 보급률이 점점 높아지고 있고, 그 기기들에서 활용 가능한 기능의 종류들도 많아지고 있다. 대부분의 스마트기기 기능들은 3G 나 4G, Wi-Fi 와 같은 무선망에의 연결성을 기본 전제로 하여 제공된다. 그러나 지진이나 화재, 기상악화를 비롯한 각종 재난으로 인하여 무선망 인프라가 정상적으로 동작하지 않는다면 이들 기능이 정상적으로 동작할 수 없게 된다. 또한 재난상황에서는 피해 지역으로의 물리적인 접근이 어려워지기 때문에 재난으로 인한 피해자들의 상황 파악도 어려워지는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 재난으로 인한 정보 획득 불가 상황을 해결하기 위한 방법으로, 높은 자유도가 보장되는 드론을 사용하여 국내 공식 재난방송 의무 수신 매체를 재난 피해자들에게 제공하는 방안을 제안한다. 다수의 편대 드론을 피해지역에 가깝게 접근하게 한 후, 그들 사이의 Ad-Hoc 연결을 구성한다. 이 연결을 통해 종단 드론을 컨트롤하여 FM 라디오 또는 DMB 를 송출하는 방식이다. 지상과 공중에서의 실험을 통해 제안하는 서비스의 제공 가능성을 확인하였다.

## 2. 설계 및 구현

본 논문에서 제안하는 드론 Ad-Hoc 네트워크의 구성 예는 그림 1 과 같으며, 논문 [1]을 기반으로 한다. 이 네트워크를 구성하는 요소는 크게 편대 제어 센터(Ground Control Center, 이하 GCS), 드론, 사용자기기이며 드론은 드론 모듈과 네트워크 모듈로 나누어 진다. 이 요소들의 연결은 그림 2 와 같다.

그림 1 재난 상황 드론 기반 FM 송출 서비스의 예

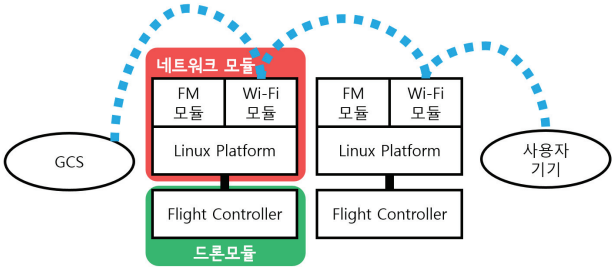
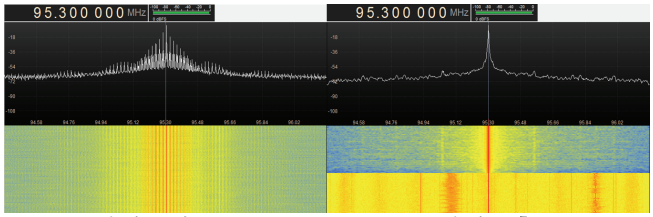


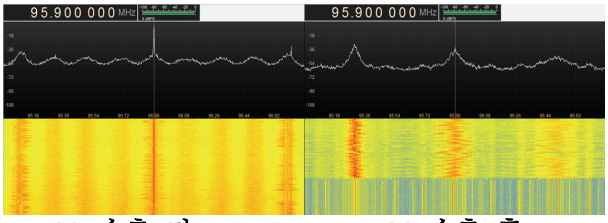

그림 2 구성 모듈 및 연결 모식도

스마트기기를 사용하는 재난 피해자들은 [1]이나 [3]과 같은 다양한 방식으로 네트워크 서비스를 제공받으면서 상황에 따른 다양한 정보를 얻거나, 자신의 상황을 구조자 등에 알리는 상호작용이 가능하다. 하지만 스마트기기를 사용하지 않는 피해자들은 위 방식으로의 접근이 불가능하기 때문에, 어떠한 상호작용도 불가능하다. 이에 본 논문에서는 이러한 상황의 피해자들에게도 최소한의 정보를 제공할 수 있도록 국내의 공식 재난방송 의무 수신 매체인 DMB 와 FM 라디오 송출 기능을 기존 제시된 드론 네트워크에 추가하는 방식을 제안한다.




(a) 송출 전 (b) 송출 후

그림 3 실내, 95.3MHz 대역 송출실험




(a) 송출 전 (b) 송출 후

그림 4 실외, 95.3MHz 대역 송출실험

FM 라디오 수신기는 그 역사도 오래 되었고 특유의 저렴한 가격덕분에 보급률이 높다. 스마트기기를 사용하지 않는 사용자들도 FM 라디오 전용 수신기나 MP3 플레이어, 오디오 등의 내장 기능을 통하여 쉽게 접근할 수 있다. 또한 대부분의 차량에도 라디오 수신기능이 기본으로 탑재된다. DMB 의 경우는 차량용 내비게이션 장치와 스마트폰, 일반 피쳐폰 등에 탑재된 경우가 많다. 이러한 점을 바탕으로, 기존에서 제시한 드론에 해당 재난대응 매체들의 송신 모듈을 추가한다.

재난방송 송출 기능이 추가된 드론들은 GCS 의 제어에 따라서 재난이 발생한 지역에 배치된다. [1] 과 같이 드론 사이의 Ad-Hoc 네트워크가 구축되고 나면, 구조자는 GCS 를 통하여 방송 모듈이 달린 드론에게 각종 명령을 내릴 수 있다. 이 방송 방식은 단순히 현재 방송되는 전파를 받아서 중계하는 방식이 아닌 Ad-Hoc 망을 통한 데이터 전송을 기반으로 하여 이뤄진다. 그 송출 방법으로는 사전에 드론에 저장되어 있던 방송파일을 목적지에 도착 후 명령에 따라 송출하는 방법, 새로이 녹음된 파일을 Ad-Hoc 네트워크를 통하여 목적 드론에 전달한 후 재생하는 방법, 실시간으로 진행되는 재난대응방송을 Ad-Hoc 을 통하여 스트리밍 방식으로 바로 송출하는 방법 등이 있다. DMB 혹은 FM 라디오 모듈은 고도 연산 및 추가 응용을 담당하는 네트워크 컨트롤러에 연결되어서 GCS 에서 전달되는 명령을 수행한다.

## 3. 실험

본 논문에서 제시한 드론 기반 재난 방송용 Ad-Hoc 네트워크의 실현 가능성과 그 성능을 평가, FM 라디오의 드론을 통한 송출을 확인하기 위한 실험을 실내외에서 진행하였다. 본 실험에서는 라즈베리파이 보드 기반 FM 송출 모듈을 구현하고 이를 드론 편대에 적재하여 재난 방송용 애드 혹 네트워크를 구현하였다. 그림 3 은 컨테이너 형식의 실내에서 FM 을 송출하고, 이를 SDR 수신기로 확인한 실험을 나타낸다. 송출하기 전인 왼쪽 그림을 보면, 실내환경의 한계 상 95.1MHz 와 95.9MHz 의 상용 FM 방송국의 신호는 제대로 들어오지 못해 SDR 수신기가 이를 확인하지 못하고 있으나, FM 송출을 시작한 이후인 오른쪽 그림에서는 95.3MHz 를 중심으로 전체적인 신호의 모양이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 실외의 실험은 같은 주파수 대역에서 고려대학교 자연계캠퍼스에서 진행하였고, 그림 4 에 나타내었다. 송출 전에는 상용방송인 95.9MHz 의 신호만이 SDR 수신기에서 지속적으로 확인이 가능하지만, 드론에서 방송 송출을 시작하자 95.3MHz 에서 그 신호가 추가로 검출 됨을 확인할 수 있다. 본 실험을 통하여 내장 파일 송출, 새로운 파일 저장 후 송출, 스트리밍의 방법을 전부 확인하였다.

FM 의 송출 가능성을 확인한 이후, 광나루 모형비행장에서 공중의 드론 Ad-Hoc 네트워크 구축을 통한 FM 송출 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 지상의 GCS 와 중계용 드론, FM 모듈을 포함한 목적지 드론으로 네트워크를 구축하였다. 구축 후 GCS 에서 목적지 드론에게 직접 내장 파일에 대한 FM 송출 명령을 전송하여, 지상의 FM 라디오와 SDR 안테나를 통해 정상적으로 FM 신호 및 음성이 재생됨을 확인하였다.

## 4. 결론

본 논문에서는 재난상황에 대비한 드론간 Ad-Hoc 네트워크를 구축하여 재난 피해자들에게 네트워크 서비스 및 재난관련 정보를 제공하는 방법에 대하여 제안하였다. 그리고 실험을 통하여 본 논문의 제안이 실현 가능함을 확인하였다. 향후에는 FM 송신 서비스의 고도화를 위해 FM 송출 모듈과 네트워크 모듈간의 유기적인 결합, 특정 주파수뿐 아닌 전체 주파수에서 같은 방송을 할 수 있도록 하여 재난상황에 대한 특성을 보다 폭넓게 반영할 수 있는 연구 등을 진행하고자 한다. 또한 FM 신호 송출로 인하여 발생할 수 있는 드론 문제를 파악하고 이를 해결하고자 한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 삼성전자 미래기술육성센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 SRFC-IT1401-09).

## 5.참고 문헌

[1] 김강호 외, “드론을 사용한 공중 네트워크의 설계 및 구현”, JCCI 2015, 2015 년 4 월.

[2] 목하균, “지상파 재난방송 서비스 현황”, TTA journal, 2010 년 9 월.

[3] 최재웅, “뉴미디어를 활용한 재난방송 전달체계 개선 연구”, 방송공학회지 제 17 권, 2012 년 7 월.

# 넷드론의 통신장애지역 회피기법에 관한 연구

강진혁°, 손성화, 박경준
대구경북과학기술원 정보통신융합공학전공
{kang, ssh, kjp}@dgist.ac.kr

## 1. 서론

최근 드론은 농업, 정찰, 배송, 방송, 레저 등 분야를 막론하고 융합을 통해 새로운 시장을 창출하고 그 영역을 넓혀나가고 있다. 기존 무선 네트워크 분야에서는 중계기 및 이동 노드가 지상에서만 움직이는 제한이 있었지만 이를 드론으로 대체하면 지리적 제한을 받지 않아 활용 범위가 넓어진다. 본 논문에서는 재난 상황에서 무선 네트워크를 제공하는 넷드론이 원활한 서비스 제공을 위해 드론의 이동성을 이용하여 통신장애지역을 회피하는 기법을 제시한다.

## 2. 3 차원 공간회피기법

무선 네트워크에서 모바일 노드들은 이웃 노드와 매질을 공유하며 무선 통신을 한다. 그렇기 때문에 모바일 무선 노드들은 전파간섭, 장애물, 재밍 등으로 인해 통신 장애 상황에 놓일 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 방법 중 하나로 공간회피기법(spatial retreat)이 있다[1]. 현재 사용중인 통신 매질에 장애가 발생하면 물리적으로 그 공간을 벗어나는 기법이다.

본 논문에서는 기존 공간회피 알고리즘을 개선하여 드론의 무선 네트워크 안정성 및 신뢰성을 향상시키고자 한다. 우선 기존의 공간회피 알고리즘은 차량과 같이 2 차원적인 움직임을 보이는 모바일 무선 노드들만 고려 하였지만 본 논문에서는 드론의 3 차원적인 움직임을 고려하였다. 또한, 기존의 공간회피 알고리즘은 통신장애가 감지되었을 때 무작위 방향으로 회피하기 때문에 통신장애지역 내부로 이동할 경우 상대적으로 많은 거리를 이동하여야 한다. 이는 드론과 같이 한정적인 배터리 용량을 지닌 모바일 무선 노드에게는 큰 에너지 낭비가 될 수가 있다.

통신장애지역을 회피하는 절차는 다음과 같다. 우선 캐리어 센싱 시간과 패킷전송율 등을 고려하여 드론이 통신장애지역에 위치해 있다는 것을 감지해야 한다. 그 후 통신장애지역 내에 위치한 드론들과 텔레메트리 통신을 통하여 위치정보를 주고받은 후 그림 1 과 같이 3 대 단위로 가상의 삼각형과 무게중심을 구한다. 드론의 회피방향은 무게중심에서 회피하고자 하는 드론을 향해 뻗어 나온 가상의 선의 방향이다. 통신장애지역 내부에 다수의 드론이 존재한다면 여러 무게중심에서 뻗어 나온 선의 중간지점을 택한다.

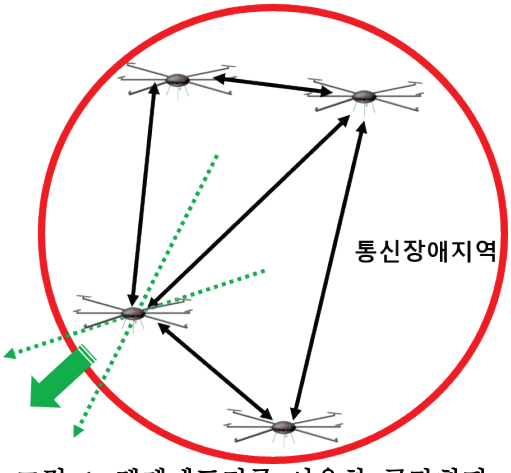



**그림 1. 텔레메트리를 이용한 공간회피**

이와 더불어 통신장애지역의 형태와 통신장애지역의 경계면으로 갈수록 통신이 더 원활해진다는 요소 또한 감안하여야 한다. 마지막으로 이러한 방법을 통해 통신장애지역을 회피한 후 각 드론을 효율적인 구조로 재배치하여야 한다[2].

## 3. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 재난지역에 네트워크 서비스를 제공하기 위한 넷드론이 통신장애지역에 위치할 때 이를 회피하여 신뢰성 있는 네트워크 서비스를 제공할 수 있는 공간회피기법을 제시하였다. 향후에는 여러가지 요소를 고려하여 공간회피기법의 효율성을 향상시킬 예정이다.

## 4. Acknowledgment

이 논문은 삼성전자 미래기술육성센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 SRFC-IT1401-09).

## 5. 참고 문헌

[1] K. Ma, Y. Zhang, W, Trappe, "Mobile network management and robust spatial retreats via network dynamics," *IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS)*, 2005.

[2] K.-N. Park, B.-M. Cho, K.-J. Park, and H. Kim, “Optimal coverage control for net-drone handover,” in *Proc. of the Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2015)*, Sapporo, Japan, July 7-10, 2015, pp. 97–99.

# 드론 제어 및 임무 소프트웨어를 위한 ARINC 653 적용 사례 연구

김주호° 조현철 진현욱

건국대학교 컴퓨터공학과

# A Case Study of ARINC 653 for Drone Control and Mission Software

Jooho Kim° Hyun-Chul Jo Hyun-Wook Jin

Department of Computer Science and Engineering, Konkuk University

{joohokim, hcjo, jinh}@konkuk.ac.kr

## 요 약

통합 모듈 항공전자(IMA; Integrated Modular Avionics) 시스템은 자원 파티셔닝을 통해서 항공 소프트웨어의 용이한 테스트 및 안전한 통합을 제공한다. ARINC 653 은 이러한 자원 파티셔닝을 위한 기능과 소프트웨어 인터페이스를 표준화하고 있으며, 대형 또는 유인 항공기에 적용되고 있다. 본 논문에서는 드론을 위한 제어 및 임무 소프트웨어를 ARINC 653 기반의 플랫폼에 적용하기 위한 방법론을 제시한다. 제안된 방법은 다양한 중요 임무를 수행하는 드론의 제어 및 임무 소프트웨어에 대한 안전성을 크게 향상하는데 기여할 수 있다.

## 1. 서론

통합 모듈 항공전자(IMA; Integrated Modular Avionics) 시스템은 각 응용프로그램에 대하여 독점적인 자원을 보장함으로써 응용프로그램 사이의 시간적, 공간적 격리(파티셔닝)를 제공하는 것을 목적으로 한다 [1]. 이러한 자원 파티셔닝은 소프트웨어 테스트 및 통합의 용이성을 제공하고 재사용성을 극대화할 수 있다. 그리고 하나의 컴퓨팅 노드에서 다수의 응용프로그램을 운영할 수 있기 때문에 크기, 중량, 전력(SWaP; Size, Weight and Power) 문제를 효율적으로 해결할 수 있다.

IMA 구조는 주로 대형 또는 유인 항공기에 적용되어 왔지만, SWaP 문제가 더욱 심각한 소형 무인 비행체에서도 효과적일 수 있다. 더욱이, 최근 소형 무인비행체가 많은 관심을 받으면서 중요 임무를 수행하는 다양한 드론이 등장하고 있다. 따라서 드론을 위한 제어 및 임무 소프트웨어의 재사용성 극대화와 안전한 통합의 중요성이 강조되고 있다.

ARINC 653 은 IMA 구조를 지원하기 위한 항공전자기기용 운영체제와 그 위에서 작동하는 응용프로그램 간의 인터페이스를 표준화하고 있다 [2]. 최근 ARINC 653 을 유인 항공기뿐만 아니라 드론에도 적용하려는 연구가 수행되고 있다 [3]. 하지만, 기존 연구는 임무 소프트웨어에 국한되며, 실시간 요구사항이 높은 비행 제어 소프트웨어에 ARINC 653 을 적용하지는 못했다. 본 논문에서는 실시간 요구사항이 높은 드론의 제어 소프트웨어를 포함하여 ARINC 653 을 적용하기 위한 체계적인 방법론을 제시한다.

## 2. 배경지식

### 2.1 ARINC 653 표준

ARINC(Aeronautical Radio, Incorporated)는 미국 소유의 비영리 단체이며, LRU(Line-Replaceable Units)에 대한 표준을 확립한 단체로서 지상 기지국과 항공기간의 통신 서비스 및 항공전자 표준규격을 정의하고 있다. ARINC 653 은 IMA 를 위하여 운영체제와 응용프로그램 간의 APEX(APplication/EXecutive) 인터페이스에 대한 표준을 정의한다 [2]. 또한, ARINC 653 은 IMA 를 위하여 파티셔닝이라는 핵심적인 기능을 정의한다. 파티셔닝은 각각의 작업을 하나의 파티션으로 인식하고 각 파티션에 대하여 CPU 자원에 대한 시간분할(Temporal Partitioning)과 메모리 자원에 대한 공간분할(Spatial Partitioning)을 제공한다. 이러한 파티셔닝 개념은 항공 전자 시스템과 같이 중요한 임무를 수행하는 환경에서 하나의 응용프로그램의 오류가 전체 시스템에 악영향을 미치는 것을 방지하여 높은 신뢰성을 제공한다.

### 2.2 이식성과 확장성을 고려한 ARINC 653

다양한 ARINC 653 구현들이 존재하고 있으나 [4], 본 논문에서는 다양한 운영체제(OS)에 대한 이식성과 확장성을 고려하여 구현된 ARINC 653 을 활용하였다 [5]. 그림 1 은 해당 ARINC 653 의 전체 구조를 보여주고 있으며, Configuration Data 에는 파티션, 프로세스, 스케줄러를 초기화하는데 필요한 정보들이 명시되어있다. Initialization Process 는 Configuration Data 에 저장된 내용을 기반으로 시스템을 구동하기 위한 초기화 작업을 수행한다. Partition Scheduler 는

파티션들의 스케줄링을 담당하며, 다양한 스케줄링 알고리즘을 지원할 수 있도록 확장 가능하게 구현되어 있다. ARINC 653 라이브러리는 ARINC 653 API 를 구현한 라이브러리이다. OS Abstraction Layer 에는 OS 에 의존적인 시스템 호출에 대한 추상화를 제공한다.

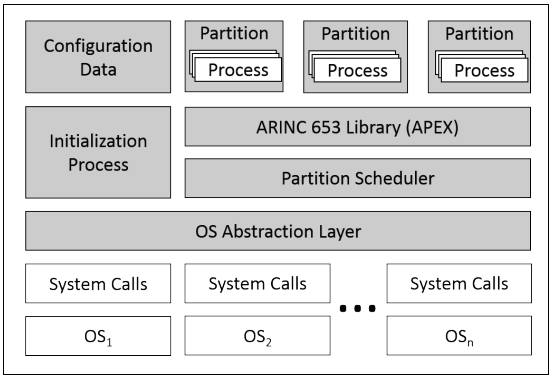



그림 1. 이식성과 확장성을 위한 ARINC 653 구조[5]

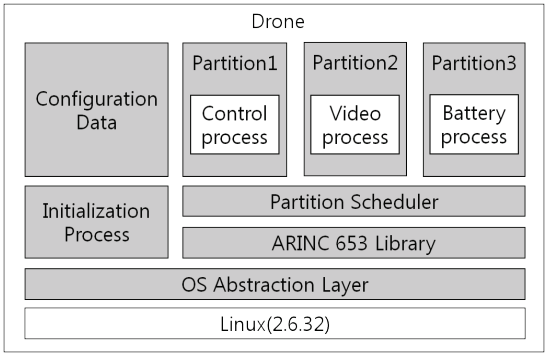



그림 2. ARINC 653 기반의 드론 제어 및 임무 소프트웨어 구조

## 3. ARINC653 기반의 드론 소프트웨어 구조

그림 2 는 ARINC 653 을 드론의 제어 및 임무소프트웨어에 적용하기 위해서 제시된 구조이다. 본 논문에서는 Parrot 사의 AR.Drone 2.0 을 대상으로 하며, 제어 및 임무 소프트웨어는 공개소프트웨어[6]를 사용한다. 제시된 구조에는 비행제어, 영상 전송, 그리고 배터리 관리 기능을 수행하는 세 개의 파티션이 존재한다. 하나의 파티션은 다수의 프로세스를 포함할 수 있지만, 본 논문에서 사용하는 제어 및 임무 소프트웨어는 각 기능이 하나의 프로세스로 구현되어 있기 때문에, 하나의 파티션에 하나의 프로세스만 존재한다.

ARINC 653 은 시간 분할을 지원하기 위해서 각 파티션이 사용할 CPU 자원을 주기와 실행시간으로 표현하고, 이를 기반으로 CPU 자원을 예약, 보장한다. 하지만 드론을 위한 기존의 제어 및 임무 소프트웨어는 주기적인 프로세스로 구현되어 있지 않다. 따라서 이들을 위한 파티션들의 주기와 실행시간을 새롭게 결정해야 한다. 우선 비행제어 파티션의 주기는 센서/액츄에이터의 특성을 고려하고, 임무 파티션의 주기는 임무의 실시간성 요구사항에 따라 다음과 같이 결정한다. 그림 2 에서 파티션 1 의 Control 프로세스는 200Hz 로 동작하는 IMU(Inertial Measurement Unit)센서를 사용한다. 따라서 파티션의 주기를 5ms 로 설정한다. 파티션 2 의 Video 프로세스는 VGA(640x480)의 영상을 20fps 로 전송하므로, 파티션의 주기를 50ms 로 설정한다. 파티션 3 의 Battery 프로세스는 배터리 상태를 초당 두 번씩 모니터링하도록 파티션의 주기를 500ms 로 설정한다.

다음으로 각 파티션의 실행시간은 프로세스들의 WCET(Worst-Case Execution Time)을 측정하여 설정한다. WCET 을 측정하는 방식은 여러 가지가 있으나, 현재는 경험적인 방법으로 측정 중에 있다. 이렇게 산출된 주기와 실행시간을 Configuration Data 에 설정한다. 그리고 초기화 단계에서 Schedulability Test 를 통과한다면, 통합된 파티션들은 실시간 요구사항을 만족하면서 실행될 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 드론을 위한 제어 및 임무 소프트웨어를 ARINC 653 기반의 플랫폼에 적용하기 위한 방법론을 제시하였다. 이와 같은 접근 방법은 향후 드론을 위한 제어 및 임무 소프트웨어의 안전성을 크게 향상시키는데 기여할 수 있을 것이다. 향후 계획으로 ARINC 653 을 드론에 적용하고 실제 비행테스트를 수행할 것이다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 지원을 받아 수행 되었습니다 (UM13018RD1).

## 참고문헌

[1] C. Watkins and R. Walter, “Transitioning from federated avionics architectures to integrated modular avionics,” in *Proc. IEEE/AIAA DASC*, Oct. 2007.

[2] Aeronautical Radio Inc., *Avionics Application Software Standard Interface (Part 1): Require Services. ARINC Specification 653P1-2*, Dec. 2005.

[3] 조현철, 박근영, 전동운, 진현욱, 김두현 “소형 무인 항공기를 위한 다중 실시간 미션 소프트웨어 통합 시스템,” *Telecommunications Review*, 제 24 권, 4 호, pp. 468-480, 2014 년 8 월.

[4] S. Han and H.-W. Jin, “Resource partitioning for Integrated Modular Avionics: comparative study of implementation alternatives,” *Software: Practice and Experience*, vol. 44, no. 12, pp.1441-1466, Dec. 2014.

[5] 김주호, 김다정, 유수인, 조현철, 진현욱 “이식성과 확장성을 위한 계층적 ARINC 653 구현,” 한국정보과학회 동계학술발표회, pp.1255-1257, 2015 년 12 월.

[6] GitHub, "dsk7/ardrone", 2013. [Online]. Available: https://github.com/dsk7/ardrone. [Accessed: 1 Mar. 2016].

# 채수용 드론 탑재형 레이더 시스템 설계

주영환, 김상동, 이종훈°
DGIST(대구경북과학기술원), IoT 로봇융합연구부
yhju@dgist.ac.kr, kimsd728@dgist.ac.kr, jhlee@dgist.ac.kr

## 1. 서론

군사목적으로 개발된 드론은 현재 상업용으로 영상촬영, 농업, 물류뿐만 아니라 공공분야로 재난구조, 환경 및 해양감시등 다양한 분야로 영역을 확대하고 있다[1]. 최근 게릴라식으로 나타나는 적조로부터 피해예방을 위해 적조생물의 밀도등을 측정하기 위한 적조 예찰 드론이 도입되고 있다. 드론의 핵심기술로써 현재위치 경로를 위한 항법시스템, 드론의 자세, 고도 등의 정확한 유지 및 제어를 위한 제어시스템등이 있다. 특히 드론의 정확한 자세제어를 위해 드론을 공중에 띄워서 정지한 채 일정한 시간 동안 자세를 유지하는 것을 호버링(Hovering)이라고 한다. 채수용 드론에서 호버링 기능을 이용함으로써 원하는 촬영과 채수를 용이하게 할 수 있고 또한 드론을 안전하게 이착륙시킬 수 있다. 본 논문에서는 채수용 드론의 중요 기술 중의 하나인 호버링 기능을 수행하는 데 필요한 정확한 거리 측정을 할 수 있는 트론 탑재형 레이더 시스템을 설계하고자 한다.

## 2. 채수용 드론 탑재형 레이더 시스템 설계

채수용 드론탑재형 레이더 시스템을 위해서 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave)레이더를 사용하고자 한다. FMCW 레이더의 기본 원리는 그림 1 에서와 같이 DAC(Digital to Analog Converter)에 의해 생성된 신호는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)에 의해 주파수 변조 신호로 바뀌어 안테나를 통해 전송된다. 수면으로부터 반사된 수신호와 송신신호는 믹서를 통해서 주파수 차이성분인 비트 주파수를 구할 수 있다. 이 비트신호는 레이더 신호처리과정을 통해서 타겟의 거리정보를 알 수 있다.

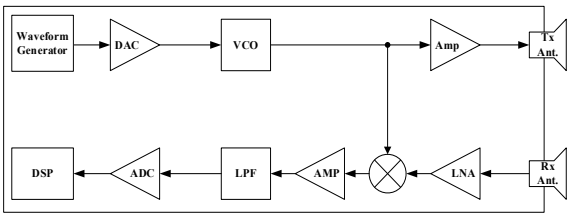



그림 1. FMCW 레이더 시스템의 블록다이어그램

그림 2 는 본 논문에서 설계된 송신신호와 수면으로부터 수신된 신호를 나타낸 그림이다. 거리 비트주파수 $f_b$ 는 수식(1)에서와 같이 추정 할 수 있다.

$$R = (C \cdot PRI \cdot f_b)/(2 \cdot B) \quad (1)$$

여기서, $C$ 는 빛의 속도, $B$ 는 변조대역폭, 그리고 $t_d$ 는 송수신 신호 사이의 지연시간이다. PRI(Pulse Repetition Interval)는 첩(chirp)주기를 나타낸다.

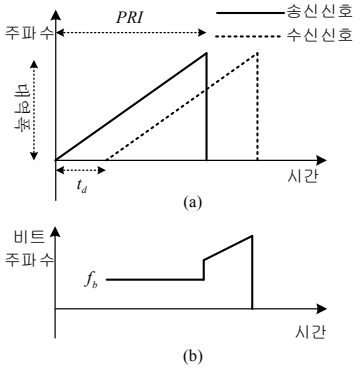



그림 2. FMCW 레이더의 신호 (a) 송수신 신호 (b) 비트신호

본 논문에서는 드론에서 해수면까지 측정 가능한 최대탐지거리 1000m, 최소탐지거리 1m, 거리정밀도 0.7m 가 가능하게 레이더 시스템을 설계하였다. 그림 3 은 설계된 레이더 시스템을 컴퓨터 모의 시뮬레이터를 개발하여 적용한 결과이다.

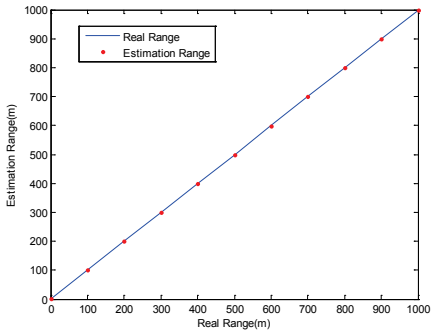



그림 3. 시뮬레이션 결과

## 3. 결론

본 논문에서는 드론의 핵심기술중에서 제자리 비행을 가능하게 하는 호버링을 위해 정확한 거리측정이 가능한 트론 탑재형 레이더 시스템을 설계하였다. 또한 시스템 설계를 바탕으로 모의 시뮬레이터를 개발하여 그 성능을 확인하였다.

## 4. Acknowledgments

본 연구는 미래창조과학부에서 지원하는 DGIST 기관고유사업에 의해 수행되었습니다(16-RS-01).

## 5. 참고 문헌

[1] 이상춘, 윤병철, 김동억, 채지인, “드론의 공공임무 활용,” 한국통신학회지(정보와통신), 제 33 권, 제 2 호, pp. 100-106, 2016 년 1 월.

# 가중 다중모델 추정기 기반 IMU-GPS 센서융합 기법

이용석°, 윤재민, 강동호, 임재영, 이동준†
서울대학교 기계항공공학부
yongseoklee@snu.ac.kr, yjm5181@snu.ac.kr, east0822@snu.ac.kr, gokoreas@snu.ac.kr, djlee@snu.ac.kr

## 1. 칼만 필터 기반 IMU-GPS 센서융합

드론의 자율비행을 위해서는 6 자유도(자세, 위치) 상태추정이 필수적이다. 이를 위해 가장 널리 쓰이는 시스템은 가속도계, 각속도계, 지자기계를 포함한 IMU 모듈과 GPS 모듈로부터 얻어진 센서정보를 확장칼만필터를 사용해 융합하는 것이다. 이때 상태변수는 다음과 같다.

$$\mathrm{x} = \left[ {}^{\mathrm{G}}\mathrm{p}_B^T \;\; {}^{\mathrm{G}}v_B^T \;\; {}^{\mathrm{G}}\mathrm{q}_B^T \;\; {b_g}^T \;\; \mathrm{b_a}^T \right]^T \in \Re^{16}$$

여기서 좌표계 {B}, {G}는 드론 몸체의 좌표계와 고정된 기준 좌표계이다. ${}^{\mathrm{G}}p_B^T$, ${}^{\mathrm{G}}\mathrm{v}_B^T$ 는 두 좌표계 간의 위치, 속도를 나타내는 3 차원 벡터이며, ${}^{\mathrm{G}}\mathrm{q}_B^T$ 는 자세를 나타내는 4 차원 단위 쿼터니언이고, ${b_g}^T, {b_a}^T$ 는 각속도계, 가속도계의 바이어스이다. 이에 대한 오차 상태변수는 다음과 같다.

$$\tilde{x} = \left[ {}^{\mathrm{G}}\tilde{p}_B^T \;\; {}^{\mathrm{G}}\tilde{v}_B^T \;\; {}^{\mathrm{G}}\delta\theta_B^T \;\; \widetilde{b_g}^T \;\; \widetilde{b_a}^T \right]^T \in \Re^{15}$$

이는 확장칼만필터의 예측과 보정단계를 거쳐 추정되어 상태변수에 반영된다. 예측단계에서, 가속도계와 각속도계 값을 포함한 동적 모델은 매우 널리 알려져 있고, 같은 상태변수를 채택한 [1]의 동적 모델을 사용한다. 이어 보정단계에서 예측 값과 실제 측정값간의 오차를 이용해 최종 상태변수를 추정한다. GPS 로부터 출력된 위치, 속도 값과 지자기계로부터 출력된 자기장 값이 측정값으로 사용되고, 이때 관측모델은 다음과 같다.

$$\tilde{z} = z - \hat{z} = \begin{bmatrix} \tilde{z}_{mag} \\ \tilde{z}_{GPS,p} \\ \tilde{z}_{GPS,v} \end{bmatrix} \simeq H\tilde{x} + n =$$

$$= \begin{bmatrix} 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & \left[ {}^{\mathrm{G}}\hat{R}_B^T \, {}^{G}m \times \right] & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \\ I_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \\ 0_{3\times3} & I_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} & 0_{3\times3} \end{bmatrix} \tilde{x} + \begin{bmatrix} \mathrm{n_{mag}} \\ \mathrm{n_{gps,p}} \\ \mathrm{n_{GPS,v}} \end{bmatrix}$$

여기서 ${}^{\mathrm{G}}\hat{R}_B^T$ 은 쿼터니언 추정값으로부터 계산된 회전행렬, ${}^{G}m$은 지구자기장이고, $[* \times]$는 벡터 *를 skew-symmetric 행렬로 바꾸는 연산자이며 $\tilde{z}_*, n_*$ 는 각각 센서측정값의 오차와 측정잡음이다.

## 2. 가중 다중모델 추정기

상기 IMU-GPS 센서융합 기법의 경우 지자기계 값만으로는 자세 추정이 비관측적이기 때문에, Roll/Pitch 방향 추정을 위해 GPS 의 속도와 위치 측정값이 필요하다. 그러나 이 때의 문제점은 GPS 의 느린 업데이트 속도와 측정잡음이 보정단계에서 지자기계 대비 상대적으로 큰 잡음과 오차를 만들고, 결과적으로 Roll/Pitch 방향 자세추정의 성능을 악화시킨다는 점이다.

이에 가속도계 측정값을 중력으로 가정하여, 자세추정 정확도를 높이는 연구들이 (e.g. [2]) 있어왔으나, 이 방식은 중력 이외의 선가속도가 커질 경우 중력 측정이 왜곡되어 자세추정을 악화시킨다는 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 선가속도의 크기에 따라 **'순항'** 과 **'가속'** 두 모델을 나누고, 각 모델의 확률을 실시간으로 추정하는 가중 다중모델 추정기를 그림 1 과 같이 제안한다.

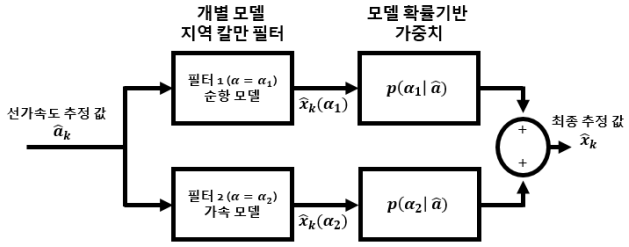



**그림 1 가중 다중모델 추정기 개념도**

선가속도가 큰 **'가속 ($\alpha_1$)'**시 필터 1 의 경우 앞 절의 모델을 그대로 사용한다. 반면 **'순항 ($\alpha_2$)'**시 필터 2 는 선가속도가 충분히 작다고 가정, 가속도계의 측정값을 중력으로 가정하여 관측모델에 아래와 같이 추가한다.

$$\tilde{z}_{\mathrm{acc}} = [0_{3\times3} \;\; 0_{3\times3} \;\; -\left[ {}^{\mathrm{G}}\hat{R}_B^T \, {}^{G}g \times \right] \;\; 0_{3\times3} \;\; I_{3\times3}]\tilde{x} + n_{acc}$$

이때 각 모델의 확률은 선가속도 추정 값을 기준으로 결정된다. 가속도계 값과 바이어스, 자세 추정값으로부터 추정한 선가속도 벡터 $\hat{a}$ 기반 실제 선가속도 벡터의 확률 $p(a|\hat{a})$를 가우시안 분포로 가정한다. 여기서 두 모델을 구분하는 기준 선가속도의 크기를 정의하여 실제 선가속도의 크기가 이보다 클 확률을 가속모델의 확률 $\mathrm{p}(\alpha_1|\hat{a})$로 작을 확률을 순항모델의 확률 $\mathrm{p}(\alpha_2|\hat{a})$로 정의한다. 이를 각 지역 칼만필터의 1 차 추정값에 가중치로서 곱하여 최종 상태 추정값을 구한다.

제안된 추정기는 드론의 등속 상태여부를 확률적으로 추정하고, 이때 중력 측정값을 보정에 추가하여 느리고 오차가 많은 GPS 측정값으로 인해 생기는 Roll/Pitch 방향 오차를 줄일 수 있다. 그러나 가속모델의 경우 상용 IMU 를 사용할 시 센서 성능 한계로 인한 선가속도 추정의 낮은 정확도 때문에 중력방향을 제대로 추정할 수 없고, 따라서 보정단계에서 이를 사용할 수 없다. 이를 위해 추후 연구에서는 드론의 제어입력과 동역학 모델을 추정기에 추가하여 선가속도를 더욱 정밀하게 추정, 모델에 상관없이 중력방향을 추정하는 방안을 제시하고 실험으로 검증할 예정이다.

## 3. 참고문헌

[1] J. A. Hesch, et al. "Camera-IMU-based localization: Observability analysis and consistency improvement.", *The International Journal of Robotics Research*: 0278364913509675, 2013.

[2] R. Mahony, et al. "Nonlinear complementary filters on the special orthogonal group.", *IEEE Transactions on Automatic Control*, 53.5, pp. 1203-1218, 2008.

# How to Learn Probability Without Learning

Young-Han Kim
Department of Electrical and Computer Engineering
University of California, San Diego
Email: yhk@ucsd.edu

As Laplace [1] famously asked "What is the probability that the sun will rise tomorrow?," inferring the probability underlying a given data sample is at the core of statistics. In this talk, we discuss a general principle of assigning probabilities to sequential data based on a somewhat arcane theory of universal probability, which has been developed (sometimes in disguise) in ergodic theory (see, for example, [2]–[7]), data compression (see, for example, [8]–[14]), and sequential prediction (see, for example, [15]–[19]).

We explore the main features and applications of universal probability assignment through a few examples ranging from causality inference on time series data [20] to classification of nucleotide sequences [21]. First, we demonstrate how universal probability can be used to estimate directed information between two time series [22], [23] (see also [24]–[26], which in turn can reveal which time series leads the other. Second, building on earlier work by universal classification [27], [28] and data compression [29], [30], we develop a two-stage algorithm for modeling and classification of DNA/RNA sequences that achieves a comparable accuracy of the standard-bearing BLAST algorithm [31] with orders-of-magnitude speedup.

## REFERENCES

[1] P. S. Laplace, *Théorie analytique des probabilités*. Mme Ve Courcier, 1812.
[2] T. M. Cover, "Open problems in information theory," in *IEEE Joint Works. Inf. Theory*, 1975, pp. 35–36.
[3] D. Ornstein, "Guessing the next output of a stationary process," *Israel J. Math.*, vol. 30, pp. 292–296, 1978.
[4] D. H. Bailey, "Sequential schemes for classifying and predicting ergodic processes," Ph.D. Thesis, Stanford University, 1976.
[5] B. Y. Ryabko, "Prediction of random sequences and universal coding," *Probl. Inf. Transm.*, vol. 24, no. 2, pp. 87–96, 1988.
[6] L. Györfi, G. Morvai, and S. J. Yakowitz, "Limits to consistent on-line forecasting for ergodic time series," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 44, no. 2, pp. 886–892, 1998.
[7] B. Weiss, *Single Orbit Dynamics*. American Mathematical Society, 2000.
[8] A. Lempel and J. Ziv, "On the complexity of finite sequences," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-22, no. 1, pp. 75–81, 1976.
[9] J. Ziv and A. Lempel, "A universal algorithm for sequential data compression," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-23, no. 3, pp. 337–343, 1977.
[10] ——, "Compression of individual sequences via variable-rate coding," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-24, no. 5, pp. 530–536, 1978.
[11] J. Rissanen, "Stochastic complexity and modeling," *Ann. Statist.*, pp. 1080–1100, 1986.
[12] ——, "Fisher information and stochastic complexity," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 42, no. 1, pp. 40–47, Jan. 1996.
[13] F. M. J. Willems, Y. M. Shtarkov, and T. J. Tjalkens, "The context-tree weighting method: Basic properties," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 41, no. 3, pp. 653–664, May 1995.
[14] F. M. J. Willems, "The context-tree weighting method: Extensions," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-44, no. 2, pp. 792–798, 1998.
[15] T. M. Cover, "Behavior of sequential predictors of binary sequences," in *Trans. 4th Prague Conf. Inf. Theory*. Prague: Czechoslovak Academy of Science, 1967, pp. 263–272.
[16] M. Feder, N. Merhav, and M. Gutman, "Universal prediction of individual sequences," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 38, no. 4, pp. 1258–1270, Jul. 1992.
[17] M. Feder and N. Merhav, "Universal prediction," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 44, no. 6, pp. 2124–2147, Oct. 1998.
[18] L. Györfi and G. Lugosi, "Strategies for sequential prediction of stationary time series," in *Modeling Uncertainty: An Examination of Stochastic Theory, Methods, and Applications*, M. Dror, P. L'Ecuyer, and F. Szidarovszky, Eds. Springer, 2005, pp. 225–248.
[19] N. Cesa-Bianchi and G. Lugosi, *Prediction, Learning, and Games*. Cambridge University Press, 2006.
[20] J. Jiao, H. H. Permuter, L. Zhao, Y.-H. Kim, and T. Weissman, "Universal estimation of directed information," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, no. 10, pp. 6220–6242, Oct. 2013.
[21] S. Kwon, G. Kim, B. Lee, S. Yoon, and Y.-H. Kim, "NASCUP: Nucleic acid sequence classification by universal probability," Oct. 2015.
[22] H. Marko, "The bidirectional communication theory: A generalization of information theory," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 21, no. 12, pp. 1345–1351, Dec. 1973.
[23] J. L. Massey, "Causality, feedback, and directed information," in *Proc. Int. Symp. Inf. Theory Appl.*, Honolulu, HI, Nov. 1990, pp. 303–305.
[24] C. W. J. Granger, "Economic processes involving feedback," *Inf. Control*, vol. 6, no. 1, pp. 28–48, 1963.
[25] J. F. Geweke, "Measures of conditional linear dependence and feedback between time series," *J. Amer. Statist. Assoc.*, vol. 79, no. 388, pp. 907–915, 1984.
[26] T. Schreiber, "Measuring information transfer," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, pp. 461–464, Jul 2000.
[27] J. Ziv, "On classification with empirically observed statistics and universal data compression," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 34, no. 2, pp. 278–286, 1988.
[28] M. Gutman, "Asymptotically optimal classification for multiple tests with empirically observed statistics," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 35, no. 2, pp. 401–408, 1989.
[29] F. M. J. Willems, Y. M. Shtarkov, and T. J. Tjalkens, "Context weighting: General finite context sources," in *14th Symp. Inf. Theory Benelux*, Veldhoven, The Netherlands, May 1993, pp. 120–127.
[30] R. Nohre, "Some topics in descriptive complexity," Ph.D. Thesis, Linköping University, Linköping, Sweden, 1994.
[31] S. F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E. W. Myers, and D. J. Lipman, "Basic local alignment search tool," *J. Mol. Biol.*, vol. 215, no. 3, pp. 403–410, 1990.

# 영상 이해를 위한 멀티 모달 심층 신경망
# Multi-Modal Deep Neural Networks for Image Understanding

한보형°
POSTECH 컴퓨터공학과
bhhan@postech.ac.kr

초록

기존의 영상이해 관련 연구는 영상 정보만을 이용하여 물체 검출, 인식, 세그멘테이션 등과 같은 비교적 간단한 문제를 해결하는데 그쳤으나, 최근 심층 학습의 발전과 더불어 과거에 컴퓨터가 해결하지 못했던 매우 복잡한 문제들에 대한 방법론이 다양하게 연구되고 있다. 본 발표에서는 영상과 텍스트의 조합과 같은 이종 데이터를 입력으로 받는 심층 학습 알고리즘을 소개하고, Image Caption Generation [1,2] 및 Visual Question Answering [3,4] 등의 예에서 어떠한 성능을 나타내고 있는지 알아본다.

## 1. 참고 문헌

[1] O. Vinyals, A. Toshev, S. Bengio, and D. Erhan, “Show and Tell: A Neural Image Caption Generator,” CVPR 2015.
[2] K. Xu, J. Ba, R. Kiros, K. Cho, A. C. Courville, R. Salakhutdinov, R. S. Zemel, and Y. Bengio, “Show, Attend and Tell: Neural Image Caption Generation with Visual Attention,” ICML 2015.
[3] S. Antol, A. Agrawal, J. Lu, M. Mitchell, D. Batra, C. L. Zitnick, and D. Parikh, “VQA: Visual Question Answering,” ICCV 2015.
[4] H. Noh, P. H. Seo, and B. Han, “Image Question Answering using Convolutional Neural Network with Dynamic Parameter Prediction,” CVPR 2016.

# Learning Probabilistic Graphical Models via Stochastic Approximation

Hyeryung Jang, Jinwoo Shin[0] and Yung Yi
School of Electrical Engineering, KAIST
hrjang@lanada.kaist.ac.kr, jinwoos@kaist.ac.kr, yiyung@kaist.edu

그래프 모형(Graphical Models)은 확률 변수 간의 독립성을 그래프로 표현하는 수학적 모형으로, 다양한 분야에서 널리 사용된다. 그래프 모형에서 확률 변수는 node로, 이들 간의 조건적 독립성은 edge로 표현한다. 최근에는 여러 층(layer)으로 이루어진 심층 구조를 갖는 이징(Ising) 모형인 볼츠만 머신(Boltzmann machine)이 다중 양상을 표현하기 위한 생성 모형으로 크게 각광 받고 있다 [1,2]. 제한 볼츠만 머신(Restricted Boltzmann machine) [3], 심층 볼츠만 머신(Deep Boltzmann machine, DBM) [4], 심층 신뢰 신경망(Deep belief network) [5,6] 등이 이에 속한다. 그러나, 확률 모형을 학습하는 것은 역 전파 알고리즘 [7] 을 사용하여 심층 신경망(Deep neural network)과 같은 식별 모형을 학습하는 것보다 훨씬 어려운 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 은닉(hidden) 유닛을 가진 그래프 모형 파라미터를 학습하는 문제를 다루며, 현존하는 대표적인 접근 방법인 Expectation-Maximization (EM) 알고리즘은 은닉변수에 의존하는 확률 모형의 최대가능도(maximum likelihood)를 표현하는 그래프 파라미터를 찾는 반복적인 알고리즘이다. 불행히도, 은닉변수를 포함하는 모형에서는 변수의 수가 많아짐에 따라 은닉 변수에 대한 로그가능도(log likelihood)의 기대값을 계산하는 E 단계와 이 기대값을 최대화하는 파라미터를 찾는 M 단계의 계산을 정확하게 수행하는 것이 불가능하며, 한 단계의 계산을 빠르게 수행하기 위한 일반적인 대안은 정확한 해로의 수렴성을 보장하지 못한다. 기존 연구들에서는 E 단계에서 은닉변수들의 조건적 독립성을 가정하는 mean-field 방식의 변동법 근사를 적용하거나, M 단계에서 마르코프 연쇄 몬테카를로(Markov Chain Monte Carlo, MCMC) 샘플링을 k번 수행한 값으로 로그가능도의 미분값을 근사하는 대조적 발산법(Contrastive Divergence, CD)을 적용해왔다. 특히, DBM의 구조적 특징을 살려 E 단계에서는 mean-field 근사법을 적용하고, M 단계에서는 유한한 횟수의 '불완전한' 샘플링을 M 단계에 적용한 휴리스틱이 제안되었으나 [3], 이는 최적 해로의 수렴성을 보장할 수 없었다.

따라서, 본 연구에서는 E 단계에서 mean-field 근사로 인해 발생한 부정확성을 해결하기 위해 E 단계에서도 CD 기반의 원리를 적용하고자 한다. 본 연구에서 제안한 Coupled CD (CCD) 알고리즘은 유한한 횟수의 불완전한 마르코프 연쇄 샘플링을 E 단계와 M 단계에 모두 적용하여 전형적인 MCMC 샘플링 기반의 알고리즘보다 효율적으로 학습하며, 또한 mean-field 기반의 휴리스틱과 달리 일정 조건 하에서 올바른 최적해로 수렴함을 증명하였다. 이러한 수렴성은 E와 M 두 단계의 마르코프 연쇄의 결합 관계를 분석하는 stochastic approximation 이론에 기반하였으며, 이러한 분석은 mean-field 근사법에서는 불가능하다.

본 연구에서는 충분한 실험을 통해 제안한 CCD 알고리즘으로 DBM을 학습하고, mean-field 근사와 CD 기반으로 DBM을 학습하는 대표적인 휴리스틱과 그 성능을 비교하였으며, 특히 층(layer)이 많은 DBM에 대해 CCD 알고리즘의 성능이 우수함을 입증하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2016 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0132-16-1005, 온-오프라인에서의 콘텐츠 비주얼 브라우징 기술개발, No.B0126-15-1078).

## References

[1] N. Srivastava and R. Salakhutdinov. Multimodal learning with deep Boltzmann machines. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pages 2222–2230, 2012.

[2] J. Ngiam, A. Khosla, M. Kim, J. Nam, H. Lee, and A. Y. Ng. Multimodal deep learning. In *Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning*, pages 689–696, 2011.

[3] G. Hinton. A practical guide to training restricted Boltzmann machines. *Momentum*, 9(1):926, 2010.

[4] R. Salakhutdinov and G. Hinton. Deep Boltzmann machines. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, pages 448–455, 2009.

[5] G. Hinton, S. Osindero, and Y. Teh. A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Computation*, 18(7):1527–1554, 2006.

[6] R. Neal. Connectionist learning of belief networks. *Artificial intelligence*, 56(1):71–113, 1992.

[7] A. Bryson. *Applied optimal control: optimization, estimation and control*. CRC Press, 1975

# 뉴럴 이산 디노이징

문태섭°
대구경북과학기술원 정보통신융합공학전공
tsmoon@dgist.ac.kr

## 1. 요약

본 논문에서는 딥러닝 알고리즘(deep neural networks)[1,2]을 디노이징 문제에 적용할 수 있게 하는 새로운 방법론을 제안한다. 딥러닝은 최근 괄목할 만한 성능 향상을 다양한 응용 분야[3,4,5]에서 가져왔는데, 이는 대부분 지도학습(supervised learning) 방법론을 사용한 결과였다. 지도학습 방법론은 알고리즘을 학습시킬 때, 주어진 훈련 데이터에 대해서 정답 레이블도 함께 주어진다고 가정하는데, 디노이징 문제에서는 문제의 정의상 그런 가정을 할 수가 없다. 왜냐하면, 주어진 데이터(노이즈에 오염된 데이터)의 정답 레이블에 해당하는 데이터는 노이즈가 모두 제거된 깨끗한 데이터를 의미하며, 디노이징 문제의 정의상 그런 깨끗한 데이터는 알고리즘의 사전 훈련을 위해 구할 수 없기 때문이다.

본 논문에서는 디노이징 알고리즘의 성능을 추정할 수 있는 무바이어스 추정손실함수(unbiased estimated loss function)을 활용하여, 딥러닝 알고리즘을 디노이징 문제에서도 지도학습 방법과 비슷하게 훈련시킬 수 있는 방법론을 제시한다. 즉, 딥러닝 알고리즘이 다양한 최적화 방법들[6,7,8]을 통해 파라미터를 학습시킬 수 있는 새로운 목적함수를 고안하고, 그 결과로 학습된 뉴럴 네트워크 알고리즘이 실험적으로 좋은 디노이징 성능을 냄을 보여준다.

좀더 구체적으로, 정보이론 분야에서 기존에 고안된 보편적 이산 디노이징(universal discrete denoising) 알고리즘(DUDE) [9]에 비해 고안한 알고리즘(Neural DUDE)의 성능이 크게 향상됨을 보였다. DUDE 알고리즘이 기존의 다양한 이산 디노이징 알고리즘의 성능을 앞서는 것을 감안하면 이는 중요한 결과이다. 또한, DUDE 에 비해 Neural DUDE 가 hyperparameter, 즉, 슬라이딩 윈도우의 사이즈 k 의 변화에 성능이 강건함을 보였다. 이는 실제 응용에서 매력적인 특징이 될 수 있고, 향후 다양한 응용 분야에 적용될 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 참고 문헌

[1] Hinton, G., LeCun, Y., and Bengio, Y. Deep learning. *Nature*, 521:436–444, 2015.

[2] Goodfellow, Ian, Bengio, Yoshua, and Courville, Aaron. Deep learning. 2016. Book in preparation for MIT Press (http://goodfeli.github.io/dlbook/)

[3] Hinton, Geoffrey, Deng, Li, Yu, Dong, Dahl, George, rah- man Mohamed, Abdel, Jaitly, Navdeep, Senior, An- drew, Vanhoucke, Vincent, Nguyen, Patrick, Sainath, Tara, and Kingsbury, Brian. Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition. *Signal Processing Magazine*, 2012

[4] Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In NIPS, 2012

[5] Bahdanau, D., Cho, K., and Bengio, Y. Neural machine translation by jointly learning to align and translate. In ICLR, 2015

[6] Duchi, J., Hazan, E., and Singer, Y. Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. Journal of Machine Learning Research, 12: 2121–2159, 2011

[7] Kingma, D. and Ba, J. Adam: A method for stochastic optimization. In ICLR, 2015

[8] Bastien, Frédéric, Lamblin, Pascal, Pascanu, Razvan, Bergstra, James, Goodfellow, Ian, Bergeron, Arnaud, Bouchard, Nicolas, Warde-Farley, David, and Ben- gio, Yoshua. Theano: new features and speed improvements. Deep Learning and Unsupervised Feature Learning NIPS 2012 Workshop, 2012

[9] Weissman, T., Ordentlich, E., Seroussi, G., Verdú, S., and Weinberger, M. J., "Universal discrete denoising: Known channel", *IEEE Transactions on Information Theory*, 51(1):5–28, 2005

# Compression of Deep Convolutional Neural Networks for Fast and Low Power Mobile Applications

Yong-Deok Kim
Software R&D Center, Device Solutions, Samsung Electronics, South Korea
yd.mlg.kim@postech.ac.kr

Although the latest high-end smartphone has powerful CPU and GPU, running deeper convolutional neural networks (CNNs) for complex tasks such as ImageNet classification on mobile devices is challenging.

Deep neural networks are known to be over-parameterized, which facilitates convergence to good local minima of the loss function during training [1, 2]. To improve test-time performance on mobile devices, such redundancy can be removed from the trained networks without noticeable impact on accuracy. Recently, there are several studies to apply low rank approximations to compress CNNs by exploiting redundancy [3, 4, 5]. Such compressions typically focus on convolution layers since they dominate total computation cost especially in deep neural networks [6, 7]. Existing methods, though effective in reducing the computation cost of a single convolutional layer, introduce a new challenge called whole network compression which aims at compressing the entire network.

**Whole network compression:** It is nontrivial to compress whole and very deep CNNs for complex tasks such as ImageNet classification. Recently, [8, 9] showed that entire convolutional layers can be accelerated with "asymmetric (3d)" decomposition. In addition, they also presented the effective rank selection and optimization method. Although their proposed decomposition of layers can be easily implemented in popular development tools (e.g. Caffe, Torch, and Theano), the rank selection and optimization parts still require because they consist of multiple steps and depend on the output of previous layers. In this paper, we present much simpler but still powerful whole network compression scheme which takes entire convolutional and fully-connected layers into account.

**Contribution**:

- We propose a one-shot whole network compression scheme which consists of simple three steps: (1) rank selection, (2) low-rank tensor decomposition, and (3) fine-tuning.
- In the proposed scheme, Tucker decomposition (Tucker, 1966) with the rank determined by a global analytic solution of variational Bayesian matrix factorization (VBMF) [10] is applied on each kernel tensor. Note that we simply minimize the reconstruction error of linear kernel tensors instead of non-linear responses. Under the Tucker decomposition, the accumulated loss of accuracy can be sufficiently recovered by using fine-tuning with ImageNet training dataset.
- Each step of our scheme can be easily implemented using publicly available tools, [10] for VBMF, [11] for Tucker decomposition, and Caffe for finetuning.
- We evaluate various compressed CNNs (AlexNet, VGG-S,GoogLeNet, and VGG-16) on both Titan X and smartphone. Significant reduction in model size, runtime, and energy consumption are obtained, at the cost of small loss in accuracy.
- By analysing power consumption over time, we observe interesting behaviours of 1x1 convolution which is the key operation in our compressed model as well as in inception module of GoogLeNet. Although the 1x1 convolution is mathematically simple operation, it is considered to lack in cache efficiency, hence it is the root cause of gap between theoretical and practical speed up ratios.

## References

[1] Hinton, Geoffrey E, Srivastava, Nitish, Krizhevsky, Alex, Sutskever, Ilya, and Salakhutdinov, Ruslan R. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. *arXiv preprint arXiv:1207.0580,* 2012.

[2] Denil, Misha, Shakibi, Babak, Dinh, Laurent, de Freitas, Nando, et al. Predicting parameters in deep learning. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2013.

[3] Jaderberg, M., Vedaldi, A., and Zisserman, A. Speeding up convolutional neural networks with low rank expansions. In *British Machine Vision Conference*, 2014.

[4] Denton, Emily L, Zaremba, Wojciech, Bruna, Joan, LeCun, Yann, and Fergus, Rob. Exploiting linear structure within convolutional networks for efficient evaluation. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 1269–1277, 2014.

[5] Lebedev, Vadim, Ganin, Yaroslav, Rakhuba, Maksim, Oseledets, Ivan, and Lempitsky, Victor. Speeding-up convolutional neural networks using fine-tuned cp-decomposition. In *International Conference on Learning Representations*, 2015.

[6] Simonyan, K. and Zisserman, A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In *International Conference on Learning Representations*, 2015.

[7] Szegedy, Christian, Liu, Wei, Jia, Yangqing, Sermanet, Pierre, Reed, Scott, Anguelov, Dragomir, Erhan, Dumitru, Vanhoucke, Vincent, and Rabinovich, Andrew. Going deeper with convolutions. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2015.

[8] Zhang, Xiangyu, Zou, Jianhua, He, Kaiming, and Sun, Jian. Accelerating very deep convolutional networks for classification and detection. *arXiv preprint arXiv:1505.06798*, 2015.

[9] Zhang, Xiangyu, Zou, Jianhua, Ming, Xiang, He, Kaiming, and Sun, Jian. Efficient and accurate approximations of nonlinear convolutional networks. 2015

[10] Nakajima, Shinichi, Tomioka, Ryota, Sugiyama, Masashi, and Babacan, S Derin. Perfect dimensionality recovery by variational bayesian pca. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2012.

[11] Bader, Brett W., Kolda, Tamara G., et al. Matlab tensor toolbox version 2.6.
*http://www.sandia.gov/˜tgkolda/TensorToolbox/.*

# LTE 기반 소형셀에서 상향링크 폐루프 전력제어 기술

김대익, 나지현, 이상호*

한국전자통신연구원, 충북대학교*

# Study on Uplink Closed-Loop Power Control in LTE Small Cell

Dae-Ik Kim, Jee-Hyeon Na, Sang-Ho Lee*

ETRI, Chungbuk National University*

dikim@etri.re.kr, jhna@etri.re.kr, shlee@cbnu.ac.kr*

## 요 약

LTE 에서 상향링크 전력제어는 기지국에서 필요로 하는 일정 수준의 수신 품질 유지, 이웃 기지국과의 간섭 최소화, 이동 단말의 배터리 수명 최대화를 위한 주요한 무선 자원 관리 기술로서, 본 논문에서는 LTE 소형셀 기지국에서 상향링크 폐루프 전력제어 알고리즘을 제안하고, 기지국에서 실측된 수신 파워를 통하여 제안된 알고리즘을 분석한다.

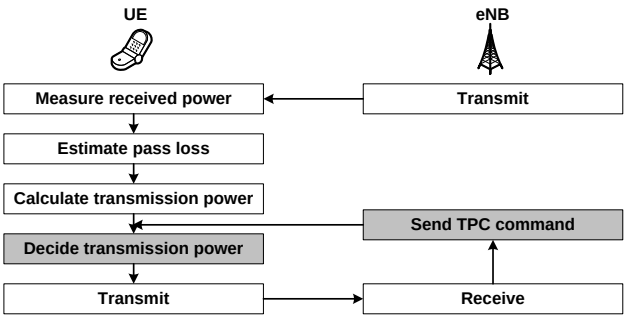
## 1. 서 론

LTE 에서 상향링크 전력제어는 기지국에서 필요로 하는 일정 수준의 수신 품질(Received SINR) 유지, 이웃 기지국과의 간섭(Interference) 최소화, 이동 단말의 배터리 수명 최대화를 위해 이동 단말의 전송 파워를 최적으로 제어하는 기술로써 무선 자원 관리(Radio Resource Management)의 주요 요소이다. 이러한 전력제어는 이웃셀에 간섭을 최소화 하면서 path loss, shadowing 등을 포함한 무선 채널 상태를 고려하여 최적화 하여야 한다. 이를 위해서 LTE 에서는 PUSCH/PUCCH 채널에 대해서 개루프 전력제어(Open-Loop Power Control)과 폐루프 전력제어(Closed-Loop Power Control)을 정의하고 있으며[1][2], 본 논문에서는 기지국에서 폐루프 전력제어를 위한 알고리즘을 제안하고 성능을 분석한다.

논문은 2 장에서 폐루프 전력제어에 대한 개요, 3 장에서 폐루프 전력제어 알고리즘, 4 장에서 성능 분석, 그리고 5 장에서 결론을 맺는다.

## 2. 상향링크 폐루프 전력제어 개요

<그림 1>는 상향링크 폐루프 전력제어 개념도이다.



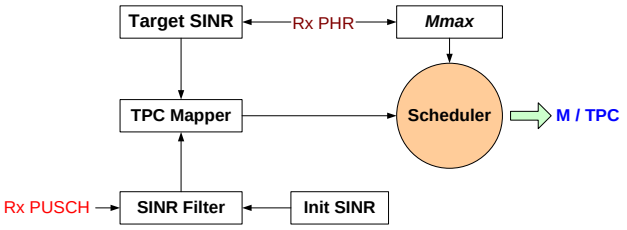

<그림 1> 상향링크 폐루프 전력제어 개념도

이동 단말은 기지국에서 전송되는 Reference Signal 의 수신 파워를 측정한 후에 poss loss 를 계산하고, 해당 이동 단말에 설정된 개루프 전력제어 값에 의해 전송 파워를 계산한다. 그리고, 기지국에서 PUSCH 수신 파워와 요구되는 타겟 파워의 차를 보정하기 위해서 보낸 TPC(Transmit Power Control) Command 를 통해서 최종 전송 파워를 결정하고 기지국으로 전송한다. 기지국은 수신되는 PUSCH 의 수신 파워를 요구되는 타켓 파워에 맞추기 위하여 지속적으로 TPC Command 를 보냄으로써, 기지국은 요구하는 수신 타켓 파워를 유지할 수 있다.

단말에서 PUSCH 의 전송 파워는 규격에 의해 수식(1)과 같이 결정된다. 수식을 보면 단말은 최대 전송파워 $P_{CMAX}$ 를 넘을 수 없으며, 기지국은 PUSCH 전송을 위해 할당되는 PRB 개수 M 과 TPC Command 를 통해서 요구되는 수신 타겟 파워를 유지하면서 단말의 최대 전송 파워를 넘지 않게 제어하여야 한다.

$$P_{PUSCH} = \min\{ P_{CMAX}, \; 10log_{10}M + P_0 + \alpha \cdot PL + \Delta_{TF} + f(\Delta_{TPC})\} \quad (1)$$

## 3. 상향링크 폐루프 전력제어 알고리즘




<그림 2> 상향링크 폐루프 전력제어 알고리즘

<그림 2>는 상향링크 PUSCH 폐루프 전력제어 알고리즘에 대한 전체 절차도를 나타낸다. 그림과 같이 PUSCH 폐루프 전력제어 알고리즘은 다음과 같은 절차로 진행된다.

- Target SINR 결정

Target SINR 은 PHR(Power Headroom Report)를 수신할 때마다, 수신된 PHR 값과 α 값을 기준으로 이동 단말의 Target SINR 을 결정한다. $\alpha = 1$ 인 Conventional Power Control 의 경우에 식 (2)와 같이 Target SINR 이 결정되며,

$\alpha < 1$인 Fractional Power Control 인 경우에 식(3)과 같이 결정된다. [3]

$$Target\ SINR = P_{0\_PUSCH} + 121\ [dB] \quad (2)$$

$$Target\ \text{SINR}' = \begin{cases} (1-\alpha)\cdot\dfrac{P_h}{\alpha} + Target\ SINR, & (PH > 0) \\ Target\ SINR\ , & (PH \le 0) \end{cases} \quad (3)$$

- $M_{max}$ 결정

수식 (1)을 보면 PUSCH 의 전송 파워는 이동 단말의 현재 위치에서의 path loss, tpc command, 할당된 PRB 의 개수에 따라서 결정된다. 특히, 이동 단말의 path loss 와 shadowing 이 급격하게 바뀌지 않는 상황에서 전송 파워를 변경하는 요인은 할당된 PRB 의 개수이다. 이러한 상황에서 이동 단말의 최대 전송 파워 $P_{CMAX}$ 를 넘지 않게 제어해야 이동 단말의 배터리 소모를 줄일 수 있다. 따라서, PHR 이 수신될 때마다, PHR 을 전송하기 위해 할당되었던 PRB 의 개수를 기반으로 현재 이동 단말에 할당할 수 있는 최대 PRB 개수를 결정할 수 있으며, 식(4)와 식(5)를 통해서 식(6)으로 $M_{max}$를 구한다. [4]

$$P_{0\_PUSCH} = P_{max} - PHR(P_h) \quad (4)$$

$$P_{0\_PUSCH} = PSD_{tx-}10\cdot log_{10}M \quad (5)$$

$$M_{max} = 10^{\frac{PHR(P_h)+10\cdot log_{10}M}{10}} \quad (6)$$

- SINR Filter

기지국 모뎀에서 측정된 수신 SINR 은 무선 채널의 상태, 수신기의 측정 오차 등으로 인해 항상 정확한 값이라고 할 수 없다. 따라서 이동 단말로부터 수신한 PUSCH 의 SINR 에 대해서 평탄화하기 위하여 moving average filter 가 필요하며, 소형셀의 하드웨어 특성상 너무 복잡하지 않은 식(7)과 같은 1-step exponential filter 를 사용한다.

$$Y(t) = (1-\mu)\cdot Y(t-1) + \mu\cdot X(t) \quad (7)$$

- Init SINR

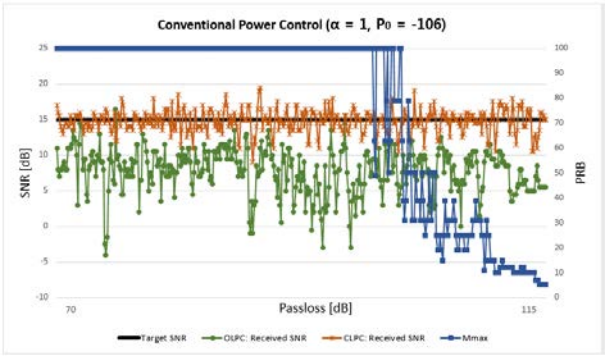
SINR Filter 를 사용하기 위한 초기값으로, M3 수신시에 획득한 SINR 값을 사용한다.

- TPC Mapper

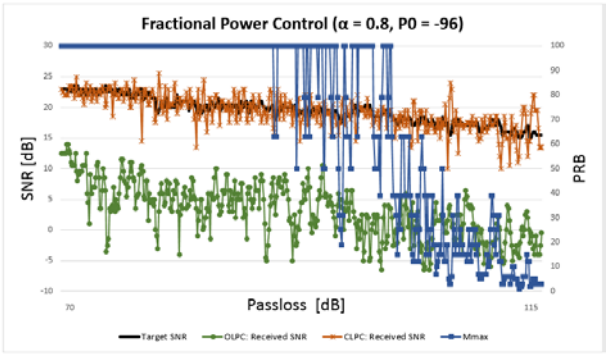
TPC Mapper 는 Target SINR 과 Filtered Received SINR 값의 차를 통해서 TPC Command 값을 결정하는 기능이다. 이 TPC Mapper 는 Target SINR 과 Filtered Received SINR 값의 차가 있을 때마다 TPC Command 값을 결정하는 경우에는 일시적으로 채널이 출렁이는 경우까지 반영하여 Power Control 에 오류가 발생하는 것을 방지하기 위하여 일정한 주기를 가지고 동작한다.

## 4. 성능 분석

본 장에서 보여지는 성능 결과는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 탑재한 소형셀 기지국에서 이동단말이 셀 센터에서 셀 엣지로 이동함에 따라서 기지국에서 수신한 PUSCH 의 SNR 와 Mmax 를 측정한 것이다. <그림 3>의 Conventional Power Control 과 <그림 4>의 Fractional Power Control 에서 측정 결과를 보듯이 개루프 전력제어 보다 폐루프 전력제어를 했을 때 타켓 SNR 을 크게 벗어나지 않고 이동 단말의 송신 전력이 제어 되는 것을 볼 수 있다. 그리고, 셀 엣지로 갈수록 이동 단말에 할당할 수 있는 최대 PRB 개수가 제한되어 이동 단말의 전력제어를 수행하면서 배터리를 적게 소모하게 적응적으로 제어할 수 있다.




<그림 3> Conventional Power Control 전력 제어 성능




<그림 4> Fractional Power Control 전력 제어 성능

## 5. 결 론

본 논문에서는 소형셀 기지국에서 낮은 복잡도를 가지고 이동단말의 상향링크 전력 제어를 할 수 있는 알고리즘을 제안하고, 실제 기지국에서의 측정 결과를 통해서 효율적으로 수행됨을 보였다.

### Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0101-15-224, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)

### 참고 문헌

[1] 3GPP TS 36.300, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 11)”, 2013. 12.

[2] 3GPP TS 36.213, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 11)”, 2013. 12.

[3] Bilal Muhammad, “Closed loop power control for LTE uplink”, 2008. 11.

[4] Woon Kim, “Power headroom report-based uplink power control in 3GPP LTE-A HetNet”, 2015.10. UERASIP Journal on Wireless Communication and Network

# Massive Air-Interface Simulator 를 이용한 TD-LTE 소형셀의 Link Adaptation 과 Power Control 의 시험과 개선

정진섭°, 지승환
㈜ 이노와이어리스
joung@innowireless.com

## 1. TD-LTE 소형셀

급증하는 traffic 수요에 대응하면서 고품질 서비스를 저비용으로 제공하기 위해 소형셀(small cell)이 향후 HetNet 의 주요 요소로서 도입될 것으로 예상된다. 최근에는 TD-LTE 소형셀의 도입이 추진되고 있으며, Link Adaptation, Power Control, Scheduling, SON 등의 품질관련 성능이 주요 이슈가 될 것으로 예상된다. 본 논문에서는 Massive Air-Interface Simulator 를 이용하여 진행된 TD-LTE 의 소형셀에서의 Link Adaptation 과 Power Control 시험과 개선에 대해 기술한다.

## 2. 시험 환경

소형셀의 시험에서는 단말을 접속시켜 서비스를 사용하는 환경이 요구된다. EPC Emulator 를 이용하여 소형셀이 실제 동작하는 것과 같은 조건이 되도록 한다. 동작의 확인과 분석에는 소형셀과 EPC 의 로그 및 단말 로그가 함께 사용된다. RF 환경은 Air-Interface Simulator 를 사용하여 시험한다. Massive Air-Interface Simulator 는 복수의 소형셀과 복수의 단말 사이의 path loss 와 fading 조건을 제공할 수 있다. 프로그램에 따라 단말이 실제 환경에서 이동되는 것과 같은 조건으로 시험이 가능하여, 동적 조건이 중요한 Link Adaptation, Power Control 과 이동성관련 SON 기능의 확인에 활용도가 높다.

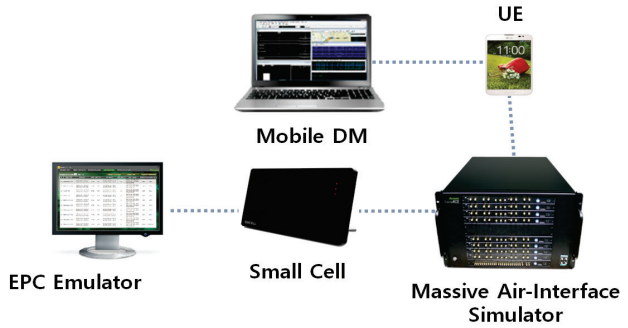


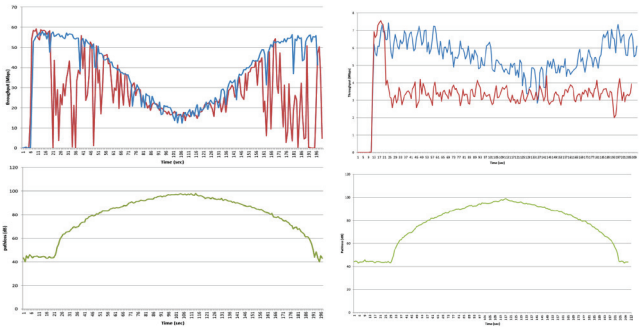

그림 1. 시험 환경

## 3. Link Adaptation 과 Power Control

LTE 소형셀의 Link Adaptation 은 단말이 보고하는 환경 정보와 BLER 기반으로 MCS 조정하는 방식으로 동작하며, Power Control 은 목표 SINR 에 대응하는 방식으로 동작하도록 구현된다. MCS 와 Power Control 의 동작이 환경의 변화에 따라 동적으로 적응하게 되므로 실제 환경에의 서비스의 속도와 품질이 저하되는 문제가 발생할 수 있다.

## 4. 시험 및 개선

MCS 가 저하된 상태에서 환경 변화에 따른 MCS 의 복구가 늦어지거나 특정 fading 조건에서 성능이 떨어지는 등의 문제를 개선한 알고리듬의 동작을 확인할 수 있었으며, CQI/SINR/BLER 의 조합에 따른 동작을 조정하여 성능을 높일 수 있었다. 또한 Power Control 동작의 성능을 높이고 안정적인 동작이 되도록 개선되었다.



(적색: 기존, 청색: 개선후)

그림 2. DL/UL Link Adaptation 시험 결과

## 5. 결론

Massive Air-Interface Simulator 를 사용한 시험을 통해 Link Adaptation 과 Power Control 의 성능을 개선하였으며, 그 결과는 TD-LTE 소형셀의 상용 패키에 적용되었다. 향후 발전된 Algorithm 과 SON 기능 등이 이와 같은 환경을 사용하여 개발, 검증이 될 것이다.

## 6 참고 문헌

[1] Blanquez-Casado et al. eOLLA: an enhanced outer loop link adaptation for cellular networks, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking Vol. 2016, pp 1-16, Jan. 2016
[2] S. Park, R. Daniels and R.W. Heath, Jr, Optimizing the Target Error Rate for Link Adaptation, proc. of the IEEE Globecomm, San Diego, USA, pp 1-6, 2015
[3] C. Castellanos, et al. Performance of Uplink Fractional Power Control in UTRAN LTE, proc of the IEEE VTC Spring, Singapore, pp 2517-2521, 2008
[4] G. Ku and J. Walsh, Resource Allocation and Link Adaptation in LTE and LTE Advanced: A Tutorial, IEEE Communication Surveys & Titorials, Vol. 17, No. 3, pp 1605-1633 , 2015
[5] 3GPP, E-UTRA; Physical Layer Procedures (Release 10), 3GPP Technical Specification TS 36.213, Rev. 13, June 2015

# 고밀도 스몰셀 환경에서 소형셀 기지국의 자동 구성 방법

조은선°, 나지현

한국전자통신연구원

# Self-Configuration of SORAN in Hyper-Dense Small Cell Environments

Eunseon Cho°, Jeehyeon Na

ETRI

escho@etri.re.kr, jhna@etri.re.kr

요 약

본 논문은 폭증하는 사용자의 데이터 요구사항을 만족하기 위한 유력 후보기술 중 하나인 소형셀들을 효율적으로 관리하기 위한 방안으로, 소형셀이 밀집되어 있는 고밀도 스몰셀 환경에서 필수적으로 고려되어야 할 Self-Organizing Networks (SON) 기술 중 Self-Configuration 적용 방안에 대해 제안한다.

## 1. 서론

광대역 이동통신 네트워크에서의 대역 효율성과 셀 커버리지는 네트워크의 경제성을 결정하는 주요 요소들로 이들에 대한 효율적인 운용과 관리를 통해서 무선 이동통신 사업에서의 이득을 얻을 수 있다. 이러한 효율적인 운용과 관리를 위한 핵심 기술로서 Self-Organizing Networks (SON) 기술은 이동통신 사업자의 CAPEX 와 OPEX 를 줄이기 위한 목적으로 시작되었고 점차 고밀도 스몰셀 환경에서도 그 중요성이 증가하고 있는 추세이다.

본 논문은 SON 의 Self-Configuration 기술인 PCI (Physical Cell ID) 자동 구성과 ANR (Automatic Neighbor Relation) 기술에 대해서 상세하게 기술한다.

## 2. SON 개요

SON 은 이동통신 네트워크의 자동 구성 (Self-Configuration), 자동 최적화 (Self-Optimization), 진단 및 자가치유 (Self-Healing)를 위한 기능을 포함한다. Figure 1 은 Planning, Configuration, 그리고 Operation 으로 분류된 3 단계의 이동 네트워크 운용 단계에 적용되는 SON 의 기능과 기능별 중요한 use cases 를 보여 준다.

### 1) Self-Configuration SON

새로운 하드웨어나 소프트웨어를 효율적으로 설치하기 위하여 망 요소는 필요한 설정 정보를 자동으로 다운로드하고 환경에 적응시키는 “plug & play” 시스템이 되어야 한다. Self-Configuration 은 실시간으로 새로운 망 요소를 기존 망에 추가하는 시스템을 가능하게 한다.

### 2) Self-Optimization SON

Self-Optimization SON 은 운용자의 최소 개입으로 망 품질과 성능을 유지하는 데 목적을 둔다. Self-Optimization 기능은 성능 데이터를 모니터 및 분석하고, 필요 시에 자동으로 망 요소의 최적화를 수행한다.

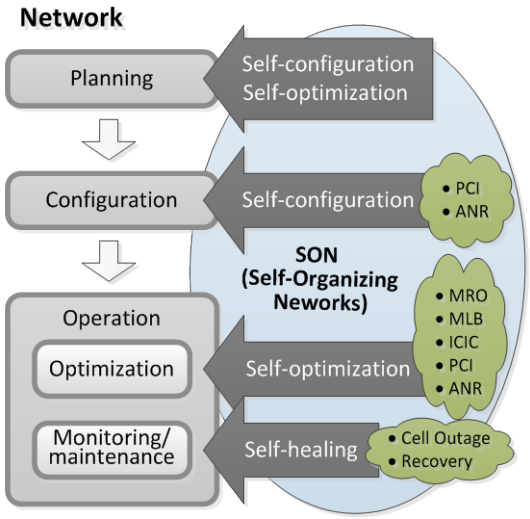



Figure 1. 망운용 단계에서의 SON 기술 적용 예

### 3) Self-Healing SON

Self-Healing 은 사용자에게 영향을 주지 않고 운용관리 비용을 최소화하기 위하여 시스템의 문제상황을 검출하고 문제 해결 또는 완화시키기 위한 절차들로 구성된다. 과거 경험으로부터 진단하고 학습하는 모델을 구성하는 Self-diagnosis 와 문제를 해결하기 위해 올바른 조치를 자동으로 동작시키는 Self-healing 두 가지 단계를 포함한다.

## 3. SON 구성기술

Self-Configuration SON 기능 중 PCI 와 ANR 기술은 네트워크의 Configuration 단계와 Optimization 단계 모두에 적용되는 기능으로 고밀도 스몰셀 환경에서

새로운 소형기지국의 배치 시에 효율적인 셀 구성을 가능하게 한다. Figure 2 는 ETRI 에서 개발한 SORAN (SOftware for small Radio Access Network) 시스템의 프로토콜 스택과 함께 탑재되어 SON 서버와 상호작용하는 SON 에이전트의 구조를 보여준다.

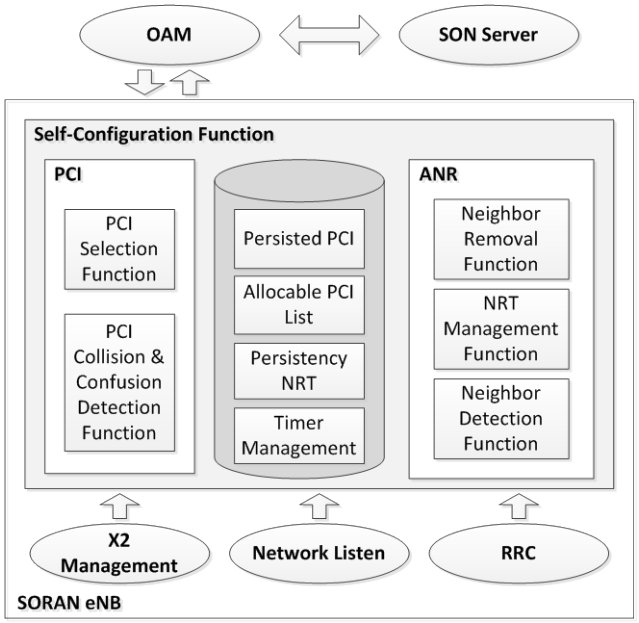



Figure 2. SORAN SON 에이전트 구조

Figure 3 은 eNB 의 Boot-up 시에 PCI 자동 구성 기술과 ANR 동작 과정에 대한 절차를 보여 준다. PCI 자동 구성 기술 절차는 아래와 같다.

1. eNB 의 전원을 켜고 boot-up 절차를 수행한다.
2. Configuration Server/OAM 으로부터 이용 가능한 PCI 목록(Available PCI list)을 수신 받는다.
3. APL(Allocable PCI List)을 구성한다.
4. NLEnabled 이면 주변셀을 Scan 하여 NL(Network Listen) PCI List 를 구성한다.
5. NL PCI List 의 PCI 들을 APL 로부터 삭제한다.

6a. APL 이 비어 있다면 OAM 으로 할당가능한 PCI 가 없음 보고한다.

6b. APL 로부터 specific PCI 나 random PCI 를 선택한다.

7. 선택한 PCI 를 persisted PCI 에 저장한다.
8. 선택한 PCI 를 OAM 으로 보고한다.
9. 이웃 eNB 로부터 X2Setup 요청을 받는다.
10. 이웃 eNB 의 Served Cells 과 Neighbor Cells 로 PCI collision 과 Confusion 검사를 수행한다.

11a. PCI Collision 이나 Confusion 이 검출되지 않으면 APL 로부터 이웃 eNB 의 PCI 를 제거한다.

11b. PCI Collision 이나 Confusion 이 검출되면 OAM 으로 PCI Collision & Confusion 을 보고한다.

12. APL 로부터 새로운 PCI 를 선택한다.
13. OAM 으로 변경된 PCI 를 보고한다.

ANR 기능은 OAM 명령이나 X2Setup 절차 및 단말의 측정 결과를 기반으로 하여 자동으로 NRT 를 관리한다. 특히, UE-Assisted ANR 은 단말의 주변 셀 측정 결과로 현재 NRT 에 없는 새로운 PCI 의 셀이 발견되면 발견된 셀의 ECGI(eNB Cell Global ID)를 단말을 통해 얻어와 NRT 를 갱신하는 ANR 방법으로 핸드오버 성공률을 높이는데 중요한 기술이다.

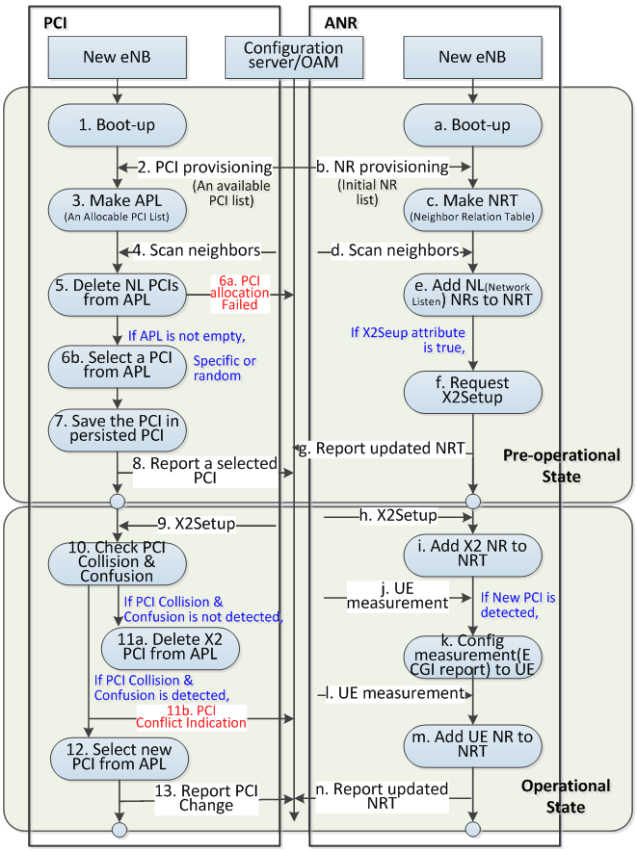



Figure 3. SORAN eNB Self-Configuration 절차

## 4. 결론

본 논문에서는 SORAN 시스템에 적용한 Self-Configuration 기술인 PCI 자동 구성과 ANR 기술을 설명했다. 고밀도로 스몰셀을 배치하는 환경에서 SON 기능은 점점 더 중요한 역할을 담당하고 더 많은 SON 기능이 적용될 것으로 예상된다.

## 5. 참고 문헌

[1] 3GPP TR36.902: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions (Release 9)”

[2] 4G Americas, “Self-Optimizing Networks in 3GPP Release 11: The Benefits of SON in LTE”, Oct. 2013.

Acknowledgement

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0101-15-224, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)

# 소형셀 네트워크에서 적응적 Cell-Breathing 기법의 에너지효율성 분석

정방철, Hu Jin
충남대학교 전자공학과, 한양대학교 전자통신공학과
bcjung@cnu.ac.kr, hjin@hanyang.ac.kr

## 1. 서론

최근 세계적인 에너지 과소비의 위험성에 대한 우려로 인해 높은 에너지 효율성은 무선 네트워크에서 필수적으로 요구되는 기술이 되었다. 특히 셀룰라 네트워크에서 소비되는 전체 에너지 중 거의 60%가 기지국에서 소비되는 것으로 알려지면서 기지국에서의 전력소비를 줄이는 연구가 진행되고 있다. 한편, 소형셀 기술은 5G 이동통신 시스템의 용량을 증대시키는 핵심기술로 알려져 있다. 소형셀의 기본 아이디어는 단말기의 인접한 위치에 기지국을 설치하는 것이다. 소형 셀들의 에너지 소비는 일반적으로 기존의 Macro 셀 보다 매우 낮다 [1]. 그러나 소형셀들이 기존의 Macro 셀보다 네트워크 전체를 고려할 때 높은 에너지 효율성을 유발한다고 보기에는 명확하지 않다. 그 이유는 소형셀 네트워크에는 매우 많은 소형셀들이 존재하기 때문이다.

본 논문에서는 기지국의 경계지점에 위치한 최악의 조건의 단말기의 수신파워가 미리 정해진 파워보다 더 높도록 각 기지국의 전송파워를 적응적으로 조절하는 적응적 셀-브리딩(Cell-Breathing) 기술을 제안한다. 네트워크 내의 전체 단말기들의 최대 SNR 은 항상 보장될수 있다.

## 2. 시스템 모델 및 제안된 셀-브리딩 기법

본 논문에서는 기지국과 단말기들은 포아송 포인트 프로세스 (poisson point process, PPP)에 따라 이차원 공간에 분포 되어 있는 네트워크 시나리오를 고려한다. 여기서 기지국과 단말기들은 단일 안테나를 가지고 있다. 본 논문에서는 하향링크 전송에 초점을 맞추고 각 단말기들은 자신과 가장 가까운 기지국으로부터 신호를 수신한다고 가정한다.

$\lambda_b$ 와 $\lambda_u$ 는 기지국과 사용자의 밀도를 각각 나타낸다고 하자. 이 때 PPP 에 따라 특정 넓이 S 안에 m 개의 단말기들이 존재할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathrm{P_u}(m) = \frac{(\lambda_u S)^k}{m!} e^{-\lambda_u S} \tag{1}$$

이러한 경향과 비슷하게 기지국의 수 또한 포아송 분포를 따른다.

본 장에서는 논문들이나 표준 기구에서 널리 도입된 잘 알려진 기지국의 파워 소비 모델을 고려한다 [2].

$$P_{BS} = \frac{1}{\eta} P_t + P_c + P_0 \tag{2}$$

여기에서 $\eta$, $P_t$, $P_c$, $P_0$ 는 전력증폭기의 효율, 전송 전력, 기저대역 처리를 포함하는 RF-chain 에서 소비되는 전력, 전송 전력 이외의 기본적으로 소비되는 전력를 각각 나타낸다. 에너지 효율성은 특정 넓이의 지역 전체에 제공된 데이터 전송률을 전체 지역에서 소비된 전력으로 나눈 값으로 정의된다.

$$\eta_{\mathrm{EE}} = \frac{T_{\mathrm{area}}}{P_{\mathrm{area}}} \tag{3}$$

제안된 적응적 셀-브리딩 기술을 적용한 i 번째 기지국의 송신전력은 다음과 같다.

$$P_{t,i}^{\mathrm{ACB}} = \min\left( \frac{P_{\min} (d_i^{\max})^{\alpha}}{L}, P_t^{\max} \right) \tag{4}$$

여기서 $P_{\min}$ 은 사용자가 요구하는 수신전력, $d_i^{\max}$ 는 셀 경계지역까지의 거리, $P_t^{\max}$ 는 소형셀 최대 전송 전력, $\alpha$ 는 path-loss exponent, L 은 1m 에서의 기준 전파 감쇄 값을 나타낸다.

## 3. 시뮬레이션 결과

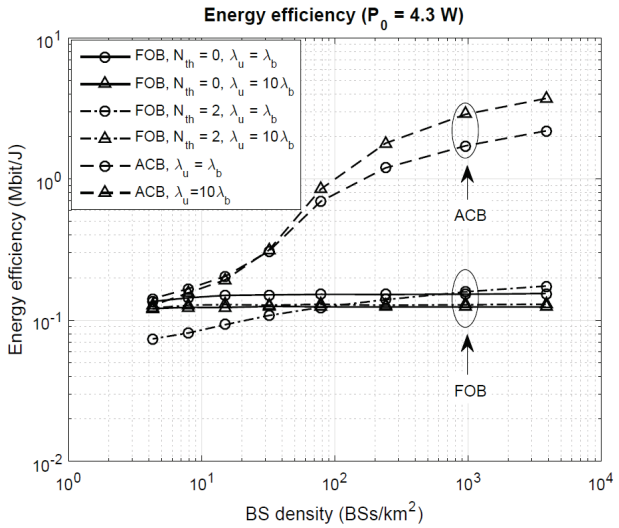



**그림 1 기지국의 밀집도에 따른 소형셀 네트워크 에너지 효율성**

그림 1 은 제안된 적응적 셀-브리딩 기술을 적용한 소형셀 네트워크의 에너지 효율성을 보여준다. 제안된 기법은 기존의 고정 전력을 사용하는 기법보다 훨씬 탁월한 에너지 효율성 성능을 보인다.

## 4. 참고 문헌

[1] D. Chee, M. S. Kang, H. Lee, and B. C. Jung, "A study on the green cellular network with femtocells," in Proc. of *ICUFN*, pp. 235-240, Jun. 2011.

[2] C. Li, J. Zhang, and K. B. Letaief, "Energy efficiency analysis of small cell networks," in Proc. *IEEE ICC*, pp. 4404-4408, Jun. 2013.

# 무선 전력 전송에 기반한 Geolocation DB 접속 인지 무선 IoT 네트워크에서의 정보전송 전략

이성복°, 박재현°, 강규민*, 박윤주**

부경대학교 전자공학과°, 한국전자통신연구원*, 한국과학기술원 부설 한국영재학교**

# Transmission Strategies in Geolocation DB based Cognitive Radio IoT Network Powered by Wireless Energy Transfer

Sungbok Lee°, Jaehyun Park°, Kyumin Kang*, Yunju Park**

jaehyun@pknu.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 인지 무선 IoT 네트워크 환경에서 센서 노드들이 채집한 정보를 이차 기지국으로 효율적으로 전송하는 정보전송 전략을 다룬다. 인지 무선 IoT 네트워크 환경에서 스펙트럼 사용률을 높이기 위해 센서 노드들은 기존의 일차 사용자(Primary User, PU)에 의해 사용되지 않는 스펙트럼에 접속하여 정보를 전송할 수 있다. 이때 센서 노드들은 일차 네트워크의 통신을 방해하지 않기 위해 Geolocation DB 에 접속하여, 스펙트럼 사용과 관련된 파라미터들을 획득하여야 한다. 또한 센서 노드들은 배터리 제약을 극복하기 위해 이차 기지국이 무선으로 전력을 전송하여 센서 노드들은 이러한 전력을 무선으로 채집하여야 한다. 따라서 이러한 환경에서 센서 노드들이 취할 수 있는 정보 전송 전략들을 제시하고 전송 전략에 따른 정보 전송률을 모의실험을 통해 비교 및 검증 하였다.

## Ⅰ. 서 론 및 시스템 모델

최근 무선데이터 서비스의 수요 증가로 인해 제한된 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위해서 인지무선(Cognitive Radio, CR) 네트워크에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. [1]. 특히 사물 인터넷(Internet of Things, IoT)의 등장으로 CR 기반 IoT 네트워크에 대한 연구가 이루어지고 있다. CR 기반 IoT 네트워크에서는 센서 노드들이 안정적으로 채집한 정보를 전송하기 위해서는 두 가지 제약조건(일차 네트워크 보호 조건 및 배터리 제약 조건)들을 해결하여야 한다.

첫 번째로 일차 네트워크를 보호하기 위해 일차 사용자의 스펙트럼 점유를 파악여야 한다. 이를 위해 두 가지 방법 (스펙트럼 센싱 기법 [2] 및 Geolocation DB 접속 기법[3])이 제시되고 있다. 최근 OFCOM 및 FCC 등의 전파 규제 및 관리 단체에서는 효율적인 간섭 관리를 보장하기 위해 스펙트럼 센싱 기법보다 이차 사용자 또는 센서 노드가 Geolocation DB 에 접속하여 스펙트럼 사용 허가 및 사용 관련 파라미터들(사용 가능한 스펙트럼 밴드 및 사용 시간, 허용 전력)을 얻는 방식과 관련하여 많은 규칙을 제정하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 Geolocation DB 접속에 기반하여 일차 사용자의 스펙트럼을 보호하는 인지 무선 IoT 네트워크를 제시한다.

두 번째로 센서 노드들이 에너지의 한계를 극복하기 위하여 RF 신호로부터 전력을 채집할 수 있고, 채집한 전력을 바탕으로 정보를 이차 기지국에 전송하는 시스템을 고려한다. 또한, 전력 채집량을 증가 시키기 위해 이차 기지국은 이차 센서 노드에 무선으로 전력을 전송할 수 있다. 이러한 환경에서 이차 기지국은 다중안테나를 이용하여 일차 네트워크에 간섭을 주지 않기 위해 간섭제거(interference nulling)기반의 에너지 빔포밍 기법을 활용하는 방안을 제시한다.

## Ⅱ. 정보 전송 전략 및 성능 분석

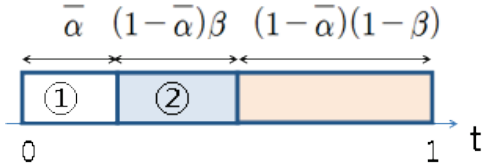



그림 1 이차 센서노드의 동작 프레임

그림 1은 IoT네트워크에서 이차 센서노드들의 동작 프레임을 나타내고 있다. 흰색의 구간 (①)은 일차 사용자가 스펙트럼을 점유하고 있는 상황이고, $\bar{\alpha}$ 의 비율동안 사용한다고 가정한다. 이는 Geolocation DB 접속기반의 인지무선 네트워크에는 일차 사용자의 스펙트럼 사용율 등을 획득할 수 있다. 나머지 파란색( $(1-\bar{\alpha})\beta$ )과 붉은색의 프레임( $(1-\bar{\alpha})(1-\beta)$ )은 일차 사용자가 점유하고 있지 않으므로 이차 센서노드들이 스펙트럼을 사용할 수 있다. 이러한 동작 프레임에서 에너지를 채집하는 상황을 세 가지로 고려한다. 첫 번째 방안( $R_1$ )은 센서노드가 이차 기지국으로부터만 에너지를 전달받아 (구간②) 정보를 붉은색의 프레임에서 전송하는 시나리오이다. 두 번째 ( $R_2$ )는 ①구간에서는 일차기지국으로부터 전력을 채집하고, ②구간에서는 이차 기지국으로부터 전력을 채집한다. 세 번째( $R_3$ )는 ①구간에서 일차기지국과 이차 기지국으로부터 전력을 동시에 채집하고, ②구간에서는

이차기지국으로부터 전력을 채집한다. 참고로 세번째 방식에서 ①구간에서 이차 기지국이 일차 사용자에게 간섭을 주지 않으면서 전력을 전송하기 위해 간섭제거 기반의 에너지 빔포밍을 사용한다. 그림 2는 이 세가지 전송 방안에 대해 $\overline{\alpha}=0.4$ 일 때 정보 전송량의 성능을 비교하였다. 그림에서 세번째 방식 $R_3$ 가 가장 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 1에서 $\beta$ 를 최적화 하였을 때와 $\beta=0.5$ 설정하였을 때 성능을 비교하였는데 $\beta$ 를 최적화하였을 때 성능이 크게 개선되는 것을 확인할 수 있다.

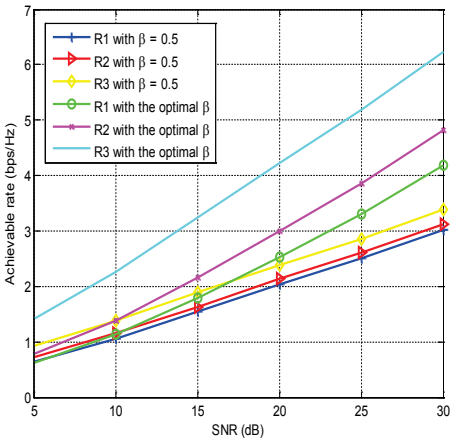



그림 2 $\overline{\alpha}=0.4$ 일 때 이론적 정보 전송률의 비교

## IV. 참고문헌

[1J.Mitola and G.Q.Maguire, “Cognitive radio: Making software radios more peronal” Pers.*Commun* vol.6,no.6,pp13-18,Aug.1999.

[2] S. Yoo, K. Kang, H. Jung, S. Park, “CR Technology and Activation Plan for White Space Utilization,” J. KICS, vol.39B, no. 11 Nov. 2014.

[3] Technical and operational requirements for the operation of white space devices under geolocation approach, ECC Std. Report 186, 2013.

# LED 기반 실내 무선 측위 내비게이션 모형 구현

박지규°, 윤경수, 권재균
영남대학교 전자공학과[i]
ther20002@ynu.ac.kr

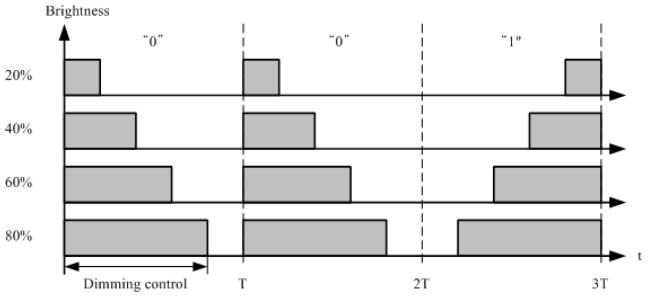
## 1. 서론

GPS 와 셀룰러 네트워크 기반의 무선측위 방식의 경우 실내에서는 NLOS 문제로 인해 신뢰도 높은 측위 성능을 기대하기 어렵다. 이러한 문제 해결을 위해 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 그 중에서 LED 조명을 이용한 가시광통신 방식은 측위 정확도 측면에서 주목 받고 있다. 본 논문에서는 실내 환경에서 VPPM 기법이 적용된 LED 기반의 이동 단말기 무선 측위 및 내비게이션 모형을 구현한다.

## 2. 본론

### 2.1 VPPM Dimming

가시광통신(VLC)을 구현하기 위한 변조기법으로 OOK, CSK, ISC, VPPM 등[1,2] 다양한 기법들이 연구되고 있으며, 본 논문에서는 실내 조명 환경에서 사용자의 요구 dimming 을 만족하면서 데이터를 전송할 수 있는 VPPM 을 이용한다. 이는 2-PPM 과 PWM 기법이 융합된 방식으로, 펄스의 폭을 변조하여 요구 dimming 에 따른 밝기 조절을 하고, 데이터 전송은 펄스의 위치를 변조하는 방식을 이용한다.



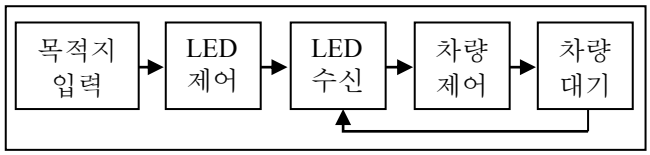

<그림 1> VPPM dimming mechanism

### 2.2 전송 프레임 생성

LED 송신기에서 전송 프레임은 헤더와 데이터로 구성된다. 송수신단 사이의 동기를 맞추기 위해 헤더 부분이 들어가며, 데이터에는 차량에서 실제로 사용될 진행 방향에 대한 정보가 들어가게 된다.

### 2.3 내비게이션 모델

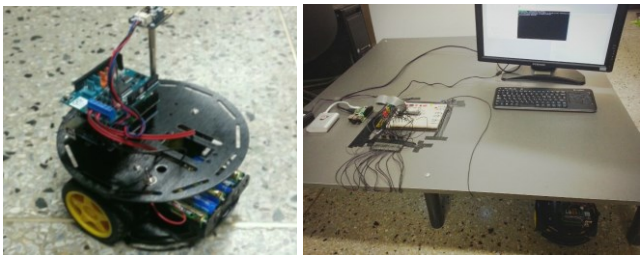
<그림 2>는 내비게이션을 위한 시스템 순서도를 나타내며, 서버에 목적지가 입력되면 각각의 LED 를 서버에서 제어하여 데이터 전송 및 차량 제어를 하게 된다. 격자 형태로 구성된 LED 배치에 기반하여 차량의 이동 경로는 각 LED 사이의 거리만큼으로 설정하여 이용하며, 차량은 이를 통해 정해진 거리만큼 이동 후 다음 제어 신호를 수신할 때까지 대기하게 된다.




<그림 2> 시스템 순서도

## 3. 구현

서버에는 Raspberry Pi 를 사용하고 단말에는 Arduino Uno R3 를 사용한다. 서버는 보내야 할 데이터의 프레임화와 LED 제어를 담당하며 Raspberry Pi 의 GPIO 를 이용하여 직접 제어한다. LED 에 고유 번호를 할당하고 시작 지점을 고정한 후 입력받은 목적지까지 차량 제어를 위한 신호를 발생시킨다. 단말은 조도 센서를 통하여 LED 값을 수신하고 이를 데이터화 한 뒤 차량을 제어한다.



<그림 3> 단말 측 RC 차량 및 실내 모형

## 4. 결론

본 논문에서는 VLC 를 이용한 LED 기반 무선 측위 실내 내비게이션 모형을 VPPM dimming 환경에서 구현해보았다. VLC 만으로도 측위 내비게이션이 가능함을 확인하였으며, 향후 오류정정부호 및 추가 데이터 통신 기능으로 확장할 예정이다.

## 5. 참고 문헌

[1] S. H. Lee, S.-Y. Jung, and J. K. Kwon, “Modulation and coding for dimmable visible light communication,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 2, pp. 136-143, Feb. 2015.

[2] S. Rajagopal, R. D. Roberts, and S.-K. Lim, “IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 72–82, Mar. 2012.

[i] 이 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2014R1A1A1006082).

# 고절연특성을 가지는 주기적으로 배열된 접지 스트립 구조를 이용한 결합 코프레너 선로

김수정 0, 오현수, 윤영
한국해양대학교 전파공학과
YunYoung@kmou.ac.kr

# A Coupled Coplanar Waveguide Employing Periodically Arrayed Ground Strip with a high Isolation Characteristic

SooJeong Kim°, HyunSoo Oh, Young Yun

## 1. 서론

최근에 이르러 실리콘 CMOS 공정 기술이 발달하여 기저대역과 RF 대역을 포함하는 IC 칩이 개발 중이다. 하지만 필터, 분배기/결합기 등 수동소자는 큰 크기 때문에 칩 외부에 제작 되어왔다[1]. 이에 본 연구그룹에서는 주기적으로 배열된 접지 스트립 구조를 이용한 결합 코프레너 선로를 개발 하였으며 [1], 본 논문에서는 상기 전송선로 구조체의 고절연 특성에 관하여 연구하였다.

## 2. 본론

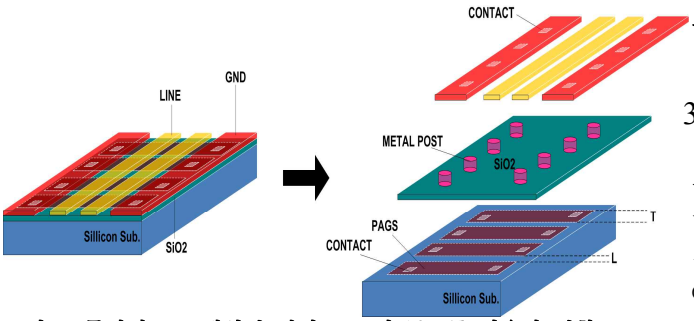



**그림 1. 주기적으로 배열된 접지 스트립 구조를 이용한 결합 코프레너 선로의 구조.**

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 주기적으로 배열된 접지 스트립 구조를 이용한 결합 코프레너 선로의 구조이다. 기존의 결합 전송선로에 $SiO_2$ 박막 필름과 PAGS(Periodically Arrayed Ground Strip)를 설치하고 Contact 를 이용하여 접지전위를 공급하여 기존의 결합 전송선로에 비해 용량성 성분을 증가시켜 단파장 특성을 이루었다[1]. 그림 2 는 실리콘 유전체 상의 결합 코프레너 선로의 절연 특성 측정값을 나타내고 있다. 일반적인 결합 코프레너 선로의 경우 절연특성이 0 ~ 70 GHz 에서 -42 dB 에서 -13 dB 사이 값을 나타내고 있으며, 상기 전송선로 구조체를 이용한 결합 전송선로의 경우에는 -42 dB 에서 -11 dB 사이 값을 나타내고 있다. 기존의 결합 선로와 비교했을 때 50 GHz 이상의 주파수에서 월등히 높은 절연특성을 보임을 알 수 있다.

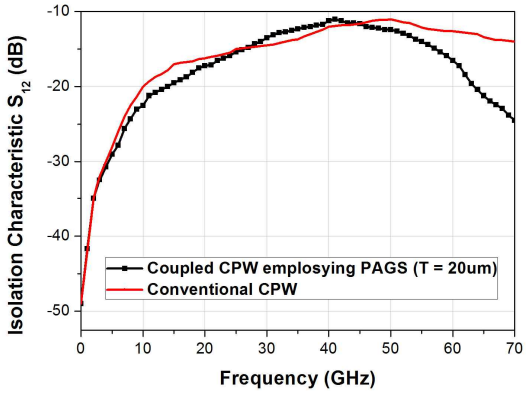



**그림 2. 실리콘 유전체 상의 결합 코프레너 선로 절연 특성 측정값.**

## 3. 결론

본 논문에서는 주기적으로 배열된 접지 스트립 구조를 이용한 결합 전송선로의 고절연 특성에 관하여 연구 하였다. 접지 구조의 크기 T 가 20um 인 경우, 절연 특성이 0 ~ 70 GHz 에서 -42 dB ~ -11 dB 사이의 값을 보였으며, 50 GHz 이상의 주파수 범위에서 기존의 결합 전송선로에 비해 월등히 높은 절연특성을 보였다.

## 4. 감사의 글

이 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A2A1A11049844)

## 5. 참고 논문

[1] Young Yun, Jang-Hyeon Jeong, Jeong-Hoon Kim, Su-Jeong Kim, Hong-Seung Kim, and Nak-Won Jang, "A High Isolation Coupled Coplanar Waveguide Structure Employing Peridic Gruond Structure for Application to Vessel Navigation System Antenna", *Asia Navigation Conference 2015*, pp. 140-143, November 2015, Kitakyusyu City, Japan

# IEEE 802.11p 에서 결정지향 채널추정 기법의 성능 개선

박동찬°, 임영철, 이동희, 김석찬
부산대학교 전기전자컴퓨터공학과
sckim@pusan.ac.kr

## 1. 서론

IEEE 802.11p 는 차량 통신을 위한 무선 통신표준으로서 IEEE 802.11a 을 기반으로 작성되었다[1]. 기존 프레임 구조를 바꾸지 않고 고속 이동성을 지원하기 위해 프리앰블 뿐만 아니라 데이터를 채널 추정에 이용하는 결정지향 채널추정 기법들이 연구되었다[2-4]. 결정지향 채널추정 기법은 프리앰블을 이용하여 초기 채널추정값을 구하고, 프리앰블이 없는 데이터 구간에는 검파된 데이터를 이용하여 채널 추정값을 구한다. 하지만 데이터 오류가 발생하면 다음 심볼 채널 추정값에 오류가 전파되는 문제점이 있다. 이 논문에서는 이러한 오류전파를 줄일 수 있는 새로운 결정지향 채널추정 기법을 제안한다.

## 2. 시스템 모형

IEEE 802.11p 에서 첫 두 심볼은 채널추정을 위한 프리앰블이고 나머지는 데이터 심볼이다. 각 데이터 심볼은 52 개의 부반송파로 구성되는데, 이 중에서 4 개의 부반송파는 주파수 오프셋 보정을 위한 파일럿 부반송파이고 나머지 48 개는 데이터 부반송파이다. 수신된 부반송파의 신호 모형은 다음과 같다.

$$Y_i(k) = H_i(k)X_i(k) + N_i(k) \quad (1)$$

여기서 $i$ 와 $k$ 는 각각 OFDM 심볼과 부반송파 인덱스이고, $H_i(k)$ 는 부반송파 주파수 응답, $X_i(k)$ 는 부반송파 데이터, $N_i(k)$ 는 AWGN 이다.

제안하는 결정지향 채널추정 기법은 먼저 프리앰블을 이용해 초기 채널 추정값을 구한다.

$$\hat{H}_0(k) = \frac{T_1(k) + T_2(k)}{2X(k)} \quad (2)$$

여기서 $X(k)$ 는 프리앰블이고, $T_1(k)$, $T_2(k)$ 는 수신된 두 프리앰블이다. 데이터 심볼에서는 이전 심볼의 채널 추정값과 검파된 데이터를 이용하여 다음과 같이 시간축에서 채널 추정값을 구해 나간다.

$$R_{i,1}(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{H}_{i-1,1}(k)} \quad (3)$$

$$\hat{X}_{i,1}(k) = Q\left(R_{i,1}(k)\right) \quad (4)$$

$$\hat{H}_{i,1}(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{X}_{i,1}(k)} \quad (5)$$

여기서 (3), (4), (5)는 각각 등화(Equalization), 강판정(Hard Decision), LS(Least Square) 채널추정이다.

프리앰블만 이용하는 기존 결정지향 채널추정 기법들과 달리 이 논문에서는 4 개의 파일럿 부반송파를 함께 이용한다. 파일럿 부반송파에서 채널 추정값을 구하고, 이를 초기값으로 다음과 같이 두 주파수 방향으로 채널 추정값을 갱신해 나간다.

$$R_{i,2}(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{H}_{i,2}(k+1)}, \quad R_{i,3}(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{H}_{i,3}(k-1)} \quad (6)$$

$$\hat{X}_{i,2}(k) = Q\left(R_{i,2}(k)\right), \quad \hat{X}_{i,3}(k) = Q\left(R_{i,3}(k)\right) \quad (7)$$

$$\hat{H}_{i,2}(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{X}_{i,2}(k)}, \quad \hat{H}_{i,3}(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{X}_{i,3}(k)} \quad (8)$$

마지막으로 오류 전파를 막기 위해 다음과 같이 3 개의 채널 추정값의 메디안(Median)을 최종 채널 추정값으로 취한다.

$$\hat{H}_i(k) = Median\left(\hat{H}_{i,1}(k), \hat{H}_{i,2}(k), \hat{H}_{i,3}(k)\right) \quad (9)$$

## 3. 결론

이 논문은 IEEE 802.11p 시스템에서 프리앰블 뿐만 아니라 파일럿 부반송파를 함께 사용함으로써 오류전파를 줄일 수 있는 새로운 결정지향 채널추정 기법을 제안하였다. 그림 1 의 모의실험 결과에서 보듯이 기존 기법보다 훨씬 뛰어난 성능을 보였다. 따라서 제안한 기법은 고속 이동 환경에서 차량간 통신 품질을 크게 개선할 수 있을 것이다.

## 4. 참고 문헌

[1] IEEE Std. 802.11p-2010, 2010.
[2] J. A. Fernandez *et al.*, "Performance of the 802.11p physical layer in vehicle-to-vehicle environments," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no. 1, pp. 3–14, Jan. 2012.
[3] Z. Zhao *et al.* "Channel estimation schemes for IEEE 802.11p standard," *IEEE Intell. Transp. Syst.Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 38-49, 2013.
[4] R. Yongzhe, 박동찬, 김석찬, "IEEE 802.11p 에서 파일럿 부반송파를 이용한 채널추정 기법," *한국통신학회논문지*, vol. 40, no. 5, pp. 791-798, 2015 년.

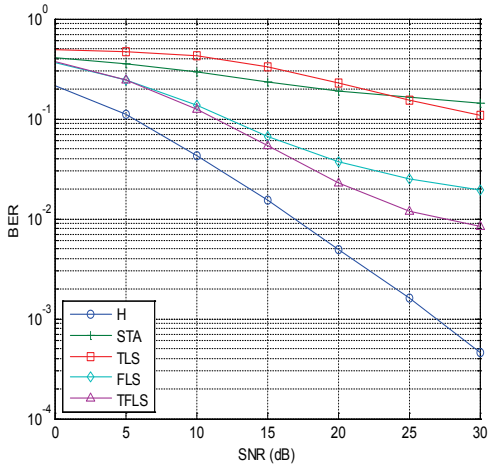



그림 1. 모의실험 결과 (GSM-RA, 180 km/h)
H: Ideal, STA:[2], TLS:[3], FLS:[4], TFLS: Proposed

# 랑데부 탐색 문제를 위한 채널 호핑 수열 생성

*장지웅, °김석찬
*울산과학대학교 컴퓨터정보학부, *부산대학교 전자공학과
*stasera.jang@gmail.com, *sckim@pusan.ac.kr

## 1. Introduction

랑데부 탐색은 둘 또는 그 이상의 기기가 서로를 빠르게 찾기를 바랄 때의 최적의 탐색 방식 중 하나이다. 랑데부는 1960 년 Schelling[1]에 의해 처음 논의되었음에도 불구하고 1995 년에야 Alpern[2]이 대칭환경에 있는 사용자에 대한 탐색방법을 제안하였다. 이러한 접근을 고려할 때, 무선통신 상에서 두 사용자가 서로를 찾고 통신 링크를 설정하는 것은 동일한 문제가 된다. 각각의 사용자는 다른 사용자를 찾기 위하여 가용 채널을 탐색하며, 이러한 상황에서 사용자가 서로를 찾는데 소요되는 시간을 TTR(Time To Rendezvous)라 한다.

최근 다채널 무선통신 네트워크의 주류는 랑데부(Rendezvous)라 불리는 방식으로, 공통 제어 채널(CCC: Common Control Channel)을 설정하고 초기 정보를 교환하는 것이다. 그러나 다양한 이유로 무선 네트워크에서 CCC 를 유지하는 것은 어려운 일이다 [3]-[5]. 이러한 이유로 unaided 랑데부라 불리는 공통채널을 설정하지 않는 랑데부 방식이 최근 주목을 받고 있다. Unaided 랑데부, 또는 blind 랑데부에는 다음과 같은 두 가지 방식이 주로 사용되고 있다.

1) 다채널 방문: 라디오가 한번에 다수의 채널을 탐지할 수 있는 기능에 기반한 접근 방식[6][7].
2) 단일 채널 방문: 사용되는 기기가 한번에 하나의 채널을 다양한 방식으로 감지하는 기법.

CCC 의 취약점을 고려하면, blind 랑데부는 현실적인 면에서 선호되는 방식이다. 본 논문에서 우리는 기기가 랑데부 전에 가용 채널의 리스트를 결정할 수 있는 다채널 방문 기능을 고려할 것이다. 이러한 blind 랑데부는 다음과 같이 두가지 방식으로 나누어 진다.

1) 대칭 시스템: 랑데부를 원하는 기기가 동일한 가용 채널 리스트를 가지는 경우
2) 비대칭 시스템: 랑데부를 원하는 기기의 가용 채널 리스트가 다른 경우

본 논문에서는 소수 $p$ 에 대하여, $p$ 진 m-수열을 사용해서 대칭 시스템에서 blind 랑데부에 적용할 수 있는 채널 호핑 수열의 생성에 대하여 논의한다.

## 2. p 진 m-수열을 이용한 채널호핑수열 생성

양의 정수 $n$ 과 소수 $p$ 에 대해, $F_{p^n}$은 $p^n$개의 원소를 갖는 유한체라 하자. 이 때, 유한체 $F_{p^n}$상에서 $F_p$로 정의되는 trace 함수 $tr_1^n(x)$는 다음과 같이 정의된다.

$$tr_1^n(x) = \sum_{i=1}^{n} x^{p^i}$$

단, $x$ 는 $F_{p^n}$의 원소이다.

양의 소수 $p$ 에 대해 $p$ 진 m-수열은 다음과 같이 정의된다.

**정의 1. ($p$ 진 m-수열)** 양의 정수 $n$ 과 소수 $p$ 에 대해 주기가 $p^n$-1 인 $p$ 진 m-수열 $m(t)$는 다음과 같이 정의된다.

$$m(t) = tr_1^n(\alpha^t)$$

단, α는 의 $F_{p^n}$원시원이다.

정의 1 의 m-수열을 이용하여 대칭시스템에 대해 다음과 같은 채널 호핑 수열을 생성할 수 있다.

**정리 2. ($p$ 진 m-수열을 이용한 채널 호핑 수열)** 대칭 시스템상에서 사용자에게 주어진 채널리스트의 채널 개수를 $M$ 이라 하고, $p$ 를 $M$ 보다 큰 최소의 소수라 하자. $m(t)$를 주기가 $p^2$-1 인 m-수열이라 할 때, 채널 호핑 수열을 $m(t)$로 하자. 이 시스템은 $p+1$ time slot 내에 랑데부가 일어난다. □

## 3. 참고 문헌

[1] T.C. Schelling, *The strategy of conflict,* Harvard University Press, Cambridge, 1960.
[2] S. Alpern, "The rendezvous search problem," *SIAM J Control Optim* vol. 33, pp. 673-683, 1995.
[3] J. Zhao, H, Zheng, and G.-H. Yang, "Distributed coordination in dynamic spectrum allocation networks," *Proc. 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2005)*, 2005, pp. 259-268.
[4] L. Ma, X. Han, and C.-C. Shen, "Dynamic open spectrum sharing mac protocol for wireless networks," *Proc. 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2005)*, 2005, pp. 203-213.
[5] J. Jia, Q. Zhang, and X. Shen, "Hc-mac: A hardware-constrained cognitive mac for efficient spectrum management," *IEEE JSAC,* vol. 26, no. 1, pp. 106-117, 2008.
[6] B. Horine and D. Turgut," Link Rendezvous Protocol for Cognitive Radio Networks," *Proc. 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2007),* 2007, pp.444-447.
[7] L. Ma, C.-C. Shen, and B. Ryu, "Single-Radio Adaptive Channel Algorithm for Spectrum Agile Wireless Ad Hoc Networks," *Proc. 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2007),* 2007, pp.547-558.