

# 사물지능통신을 위한 SUN과 WiFi P2P의 성능

오 의 석\*, 황 승 훈<sup>o</sup>

## Performance of SUN and WiFi P2P for M2M Communication

Eui-Seok Oh\*, Seung-Hoon Hwang<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문은 다양한 통신 방식이 사용될 수 있는 M2M 환경에서 동일한 주파수 대역을 사용하는 통신 방식인 IEEE 802.15.4g와 IEEE 802.11 방식의 각 PHY Mode를 AWGN 채널 하에서 시뮬레이션을 통해 BER과 FER 성능을 비교한다. 이를 통하여 요구되는 파라미터에 적합한 통신 방식에 대해 고찰한다. IEEE802.15.4g의 경우, 구현의 복잡도와 낮은 가격을 위하여 FSK를 사용하고, 높은 성능이 요구될 경우 OFDM 방식을 사용하는 것이 적절하다. IEEE 802.11의 경우, 시스템의 트래픽 특성이 다양하고 높은 전송률이 요구될 때, 트래픽 특성에 맞는 OFDM PHY mode를 사용하는 것이 적절하다.

**Key Words** : Machine-to-machine, Smart Utility Network, WiFi P2P, IEEE802.15.4g

### ABSTRACT

This paper presents BER, FER performance comparison, especially on PHY mode of IEEE 802.15.4g and IEEE 802.11 under AWGN channel through a simulation, which is communication method using identical frequency bandwidth in M2M environment. This considers suitable communication method of required parameter. It is advantageous that FSK method is used in situations where the system require low complexity and inexpensive structure. And OFDM method is considered for system performance. Further, when the high throughput and various traffic characteristics of the system are required, it can be considered that the method of IEEE 802.11 OFDM PHY mode is used

### 1. 서 론

사물지능통신(Machine to Machine, M2M)이란, 최근 방송통신위원회에서 “통신, 방송, 인터넷 인프라를 인간 대 사물, 사물 대 사물 간 영역으로 확대 연계하여 사물을 통해 지능적으로 정보를 수집, 가공, 처리하여 상호 전달하는 서비스”로 정의하였다. M2M 통신은 어플리케이션의 목적이나 요구가 다양해짐에 따라서 각종 유/무선 네트워크를 이용할 수 있다<sup>1)</sup>. M2M 통신은 Zigbee, bluetooth, Wi-Fi Direct 등과 같은 근거리 무선 기술을 이용하여 근

거리 데이터 전송이 가능하며, 기존의 WLAN, 셀룰러 2G/3G/4G 등의 기존의 통신방식과 연계하여 이용할 수 있다<sup>2)</sup>. M2M 통신이 기존의 Cellular 통신과 연결되어 통신을 하게 될 경우, 영구적으로 할당된 IP를 가지고 통신할 수 있지만, 네트워크의 자원 사용 및 에너지의 소비 비용 절감을 위하여 SMS와 같은 아주 적은 양의 전송 장치를 사용하여 효율적인 운용도 가능하다. M2M 통신의 경우 어플리케이션의 요구 사항에 따라서 최적화된 통신 방식을 찾아 적용하는 것이 중요하다.

IEEE 802.15.4는 무선 개인 영역 네트워크

\* 주저자 : 동국대학교 전자공학과, 학생회원

<sup>o</sup> 교신저자 : 동국대학교 전자전기공학부, shwang@dongguk.edu, 종신회원

논문번호 : KICS2013-08-323, 접수일자 : 2013년 8월 2일, 최종논문접수일자 : 2013년 8월 28일

WPANs에 통신 시스템을 지정하는 표준의 집합으로써, IEEE 802.15.4g에서는 Smart Utility Network 표준을 제정하였다<sup>[3]</sup>. SUN의 경우 낮은 데이터 속도를 같은 WPANs에 대한 물리계층을 표준화 하였고, 기존의 801.15.4의 변경 사항에 대한 MAC 표준화 작업을 완료 하였다. SUN은 전기, 물, 천연가스, 하수 등의 유틸리티를 효율적으로 제어 및 관리할 수 있는 차세대 유틸리티 네트워크로써 비허가 주파수 대역을 이용하여 센서로부터 데이터를 측정 및 분석하고, 장치를 모니터링 하여 명령, 제어하는 역할을 수행할 수 있다. 통신 기술로서의 사용은 측정 데이터와 제어 메시지의 교환을 가능하게 하는 네트워크 형성기술이 필수적인 요소이다.

또한, Wi-Fi Alliance에서는 P2P(peer-to-peer)기능이 가능한 Wi-Fi P2P을 표준을 제정하였다<sup>[4]</sup>. Wi-Fi P2P는 기존의 AP 중심의 통신 방식을 벗어난 기기 간의 직접 접속을 통하여 데이터를 송수신할 수 있다. Wi-Fi direct는 기존의 Wi-Fi에서 기존의 기기 간 직접 통신에 사용되는 Zigbee, Bluetooth 등과 비교하여 더 넓은 원거리 네트워크 구성 및 빠른 전송 속도를 얻을 수 있다. Wi-Fi P2P는 Wi-Fi가 탑재된 기기에 펌웨어 업그레이드 및 미들웨어의 이식을 통하여 이용할 수 있고, IEEE 802.11b를 제외한 대부분의 무선랜 규격을 사용할 수 있다. 현재 대부분의 Wi-Fi 칩을 장착한 기기들은 IEEE802.11g 또는 IEEE802.11n을 지원하여, Wi-Fi P2P를 통하여 기기 간 직접 통신에 널리 이용될 수 있다.

M2M 통신의 경우 그림 1과 같이 공공시설물의 무선 통신에 이용될 수 있다. 공공 시설물의 특성상 유선망으로 모든 시설물을 연결하는 것은 현실적으로 불가능하고, 다양한 근거리/원거리 통신 방식을 이용하여 통신망을 구성할 수 있다. 통신망 구축에 있어서, 통신방식을 단일로, 혹은 조합하여 통신망을 구축하느냐에 따라서 정보전달의 효율성, 전력 소비량, 안전성 등이 달라질 수 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 M2M 통신에는 어플리케이션의 요구에 따라서 다양한 통신방식을 이용할 수 있다. 그림 1에서 하나의 지역에서 지역 내의 공공시설물 간의 통신은 근거리 통신방식을 통하여, 하나의 지역과 지역 간의 컨트롤러, 지역 내의 컨트롤러와 서버간의 통신은 원거리 통신을 통해 이루어 질 수 있다.

다양한 통신 방식이 사용될 수 있는 M2M 통신 환경에서 하나의 통신 방식을 사용하여 단일로 사용하는 것보다 통신 시 전송률, 전송거리, 안전성

등과 통신 시스템의 구현의 복잡도, 가격 등을 고려하여 통신 방식을 결정하여 통신하는 것이 효율적인 M2M 통신을 위하여 필요하게 될 것이다. 따라서 동일한 주파수 대역을 사용하는 통신 방식 중 성능 및 전송거리 등을 비교하여 적절한 통신 방식을 선택해야 한다.

본 논문에서는 다양한 통신 방식을 이용하여 통신이 가능한 M2M 환경을 고려하여 IEEE 표준인 IEEE 802.15.4와 IEEE 802.11의 통신 방식에 대하여 설명한다. 또한 IEEE802.15.4g와 IEEE11 OFDM 방식의 몇 가지 PHY Mode을 선택하여 AWGN 채널에서 시뮬레이션을 통한 성능 비교를 통하여 각 파라미터에 따른 통신 방식의 결정에 대하여 고찰한다.

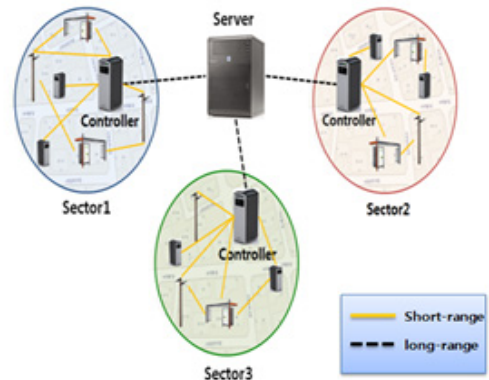


그림 1. M2M 통신을 이용한 공공시설물 네트워크 구조  
Fig. 1. Network system of Public facilities through M2M communication

## II. M2M 환경에서 이기종 통신 방식

### 2.1. Smart Utility Network<sup>[3]</sup>

Smart Utility Network는 IEEE802.15.4g에서 제정한 표준으로 다양한 지역과 다양한 대역폭, 다양한 전송률을 고려하였다. SUN의 운용을 위한 주파수 대역은 지역적으로 비 면허 사용이 가능한 대역인 700MHz~1Ghz 대역과 2.4Ghz 대역이 고려되고 있다. 또한, 각 지역별 주파수 대역에서 사용되는 기술에 따라 사용할 수 있는 채널 수와, 다른 통신 시스템과 동일 주파수를 공유하는 상황 하에 SUN의 운용을 위한 다양한 PHY 규격이 제안되었다. IEEE802.15.4g에서는 MR-FSK, MR-OFDM, MR-O-QPSK 세 종류의 교체 가능한 물리계층을 고려하고 있다. MR은 다양한 전송률을 고려할 수 있는 Multi-Rate의 의미와 다양한 지역에 적합한 시스템을 제공할 수 있는 Multi-Region의 의미를 갖

는다. SUN PHY는 40kbps ~ 1Mbps의 데이터 전송률을 고려하고 각 지역에서 사용가능한 대역폭을 만족하기 위하여 수십 kHz ~ 수 MHz의 대역폭을 고려하고 있다. 또한 SUN 채널 모델을 수십m에서 최대 20km까지 고려하여 넓은 범위의 통신이 가능 하다<sup>[1]</sup>.

2.1.1. MR-FSK PHY

MR-FSK PHY의 경우 50~400kbps의 데이터 전송률을 제공할 수 있으며, MR-FSK PHY의 경우 전송신호가 일정하기 때문에 전송 전력효율이 좋다는 장점과, 낮은 복잡도와 저렴한 구현의 장점이 있다. 하지만 대역 효율이 낮아 간섭에 매우 약하다는 단점을 갖고 있다. MR-FSK의 경우 저속의 데이터 전송시스템을 가정한다면 비교적 간단한 구조로 저렴하게 기대하는 성능을 만족 시킬 수 있다. MR-FSK의 경우 미국, 중국, 일본, 한국 등 다양한 지역에서 사용을 위하여 다양한 주파수 대역을 지원한다. 또한 주파수 대역별로 다양한 전송률을 고려하여 지원한다. MR-FSK PHY는 전송 스펙트럼의 만족을 위하여 2 또는 4 레벨의 Filtered FSK 변조 방식을 사용한다.

표 1은 900MHz 대역과 2.4GHz 대역의 MR-FSK의 변조 및 채널 파라미터를 나타낸 표이다. 여기서 옵션 1의 경우 반드시 지원해야 한다.

표 1. MR-FSK modulation and channel parameter  
Table 1. MR-FSK modulation and channel parameter

Freq. band (MHz)	Parameters	Option #1	Option #3
917-923.5 (Korea)	Data (kb/s)	50	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing (Khz)	200	400
2400~2483.5 (Worldwide)	Data (kb/s)	50	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing (Khz)	200	400

2.1.2. MR-O-QPSK PHY

MR-O-QPSK PHY의 경우 현재 사용되고 있는 IEEE802.15.4 -2006의 O-QPSK PHY와 그 특징이 공유되어 설계가 수월하다는 장점이 있다. IEEE802.15.4g에서 새롭게 표준화된 SUN 시스템

을 위한 MR-O-QPSK PHY는 PSDU(Physical Layer Service data Unit) 동안 다양한 전송률을 지원하기 위해 다른 스프레딩 모드들이 사용되며, 다중 경로 환경에서의 성능을 향상시키기 위해 코딩률이 1/2인 FEC와 인터리빙을 적용하였다. MR-O-QPSK는 스프레딩 모드에 따라 크게 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 와 MDSSS(Multiplexed Direct Sequence Spread Spectrum)를 지원한다. DSSS 방식은 허용 가능한 모든 주파수 대역을 지원할 수 있으며, MDSSS방식은 900MHz 대역과 2.4GHz 대역만을 지원할 수 있다.

2.1.3. MR-OFDM PHY

MR-OFDM PHY의 경우 웨도잉, 멀티패스 페이딩과 같은 열악한 무선환경에서 신뢰성 있는 데이터 통신을 가능하고, 고속의 데이터 전송에 유리하며, 대역폭 효율이 좋다. 하지만 구조가 복잡하며 구현이, 어렵고 비용이 비싸다는 단점이 있다. MR-OFDM PHY의 경우 아래 표 2와 같이 데이터 전송률을 50~800kbps를 제공 할 수 있으며, FFT 사이즈에 따라서 몇 가지 옵션을 제공한다. FFT 사이즈 규격은 128, 64, 32, 16의 FFT 사이즈를 지원 할 수 있다. 표 2에 MR-OFDM PHY에 따른 전송률을 나타낸 표이다. 표 2 에 설명된 특정 옵션을 지원하는 모든 디바이스는 QPSK를 사용하는 MCS (Modulation and Coding Scheme) 모드는 반드시 제공할 수 있어야 하며, 모든 16-QAM MCS 모드는 옵션으로 제공할 수 있어야 한다.

표 2. Data rates for MR-OFDM PHY  
Table 2. Data rates for MR-OFDM PHY

Parameter	OFDM Option1	OFDM Option4
Nominal bandwidth (kHz)	1094	156
Channel spacing (kHz)	1200	200
DFT size	128	16
MCS3 (kb/s) (QPSKrate1/2)	800	100
MCS4 (kb/s) (QPSKrate3/4)	-	150
MCS5 (kb/s) (16-QAMrate1/2)	-	200
MCS6 (kb/s) (16-QAMrate3/4)	-	300

### 2.2. Wi-Fi P2P

Wi-Fi P2P는 Wi-Fi Alliance에서 Wi-Fi 모듈간에 직접 통신을 지원하기 위해 제정된 표준으로, 무선 네트워크 단말들이 별도의 네트워크 장치 없이 기기 간에 무선 통신으로 단말간 P2P(Peer-to-Peer) 기능을 구현하는 기술로써, Bluetooth, Zigbee를 대신하여 보다 높은 전송속도와 넓은 전송거리를 지원하는 것이 특징이다. 또한 AP(Access Point)없이 최대 8대 까지 동시 연결하여 P2P 통신이 가능하다. Wi-Fi P2P는 IEEE 802.11의 802.11b를 제외한 대부분의 PHY를 이용하여 데이터 통신이 가능하다. 현재 대부분의 Wi-Fi 칩은 IEEE 802.11g 또는 802.11n을 지원하며, Wi-Fi 칩이 장착된 기기에서 펌웨어 업그레이드 및 미들웨어의 이식으로 사용될 수 있기 때문에 빠르게 보급될 수 있다. Wi-Fi P2P의 전송률은 3Mbps에서 최대 300Mbps(802.11n 기준)까지 지원이 가능하다. Wi-Fi P2P의 주파수 대역은 2.4GHz, 5GHz 대역을 사용한다. Wi-Fi P2P의 경우 최대 450m의 통신 범위를 지원할 수 있다. 또한 무선 통신에서 강력한 보안을 지원할 수 있고, 사용자의 편의성을 높일 수 있다. Wi-Fi P2P에 이용되는 IEEE802.11g와 IEEE802.11n은 모두 OFDM PHY를 사용하고, 변조 방식에 따라서 다양한 전송률을 제공한다. 아래 표 3은 IEEE802.11 OFDM PHY의 채널 대역폭이 5MHz일 경우 전송률을 나타내었다.

표 3. Data rates for IEEE 802.11 OFDM PHY  
Table 3. Data rates for IEEE 802.11 OFDM PHY

Modulation	coding rate (R)	data rate (Mb/s)
BPSK	1/2	1.5
QPSK	1/2	3
16QAM	1/2	6
64QAM	1/2	12

### III. 시스템 모델 및 수치 결과

802.11 계열 및 802.15 계열의 통신 방식이 2.4GHz 대역에서 사용될 수 있다. 또한 802.15.4g의 경우 각 지역의 비면허 주파수 대역이 다르기 때문에 많은 주파수 대역에서의 통신이 가능하고, 802.15 계열의 다른 통신 방식과 동일한 주파수 대역을 사용할 수 있다. 2.4GHz는 앞서 설명된 모든

통신 방식이 사용될 수 있고, 아래 표 4와 같이 정리할 수 있다. 2.4GHz 대역 이외에도 915MHz 대역에서는 802.15.4g의 3가지 PHY와 Zigbee 방식이 동일한 주파수 대역에서 사용될 수 있다. 사용 되는 주파수 대역에 따라서 여러 통신 방식이 동일한 대역에서 사용될 수 있다. 따라서 M2M 통신에서 하나의 주파수 대역에서 동일한 통신 방식만 사용하여 통신하는 것 보다, 통신 방식별로 전송률, 전송 거리, 대역폭 등 다양한 파라미터를 고려하여 통신 방식을 사용하는 것이 효율적인 M2M 통신을 위하여 필요하다.

표 4. Heterogeneous System in 2.4GHz  
Table 4. Heterogeneous System in 2.4GHz

Communication System	PHY Specification
IEEE 802.11b	OFDM
IEEE 802.11b	OFDM
IEEE 802.15.1	FHSS
IEEE 802.15.3	SC D-QPSK
IEEE 802.15.4	DSSS O-QPSK
IEEE 802.15.4g	MR-FSK
	MR-O-QPSK
	MR-OFDM

표 5. Specifications of Heterogeneous System  
Table 5. Specifications of Heterogeneous System

System	PHY	PHY Mode	$L_{fr}$ (octets)
802.15.4g	MR-FSK	200kbps FSK	250
	MR-OFDM	200kbps QPSK rate 1/2	20
		800kbps QPSK rate 1/2	20
802.11	OFDM	1.5Mbps BPSK rate 1/2	1000
	OFDM	3Mbps QPSK rate 1/2	1000
	OFDM	6Mbps 16QAM rate 1/2	1000
	OFDM	12Mbps 64QAM rate 2/3	1000

표 5는 시뮬레이션에 사용된 전송률과 전송 방식을 고려하여 선택된 통신방식을 도시한 표이다. Wi-Fi P2P에서 사용되는 IEEE 802.11 OFDM의 변조방식에 따른 다양한 전송률을 고려하였고,

802.15.4g의 FSK 방식과 OFDM방식을 선택하였다. 표 5의 각 통신방식에 따른 시뮬레이션을 통해 각 통신방식의 bit error rate(BER), frame error rate(FER)를 비교한다. 채널의 경우 additive white gaussian noise (AWGN)을 고려하였으며, FER의 경우 다음 식 1과 같은 방법으로 계산되었다.

$$FER = 1 - (1 - BER)^{L_{fr}} \quad (1)$$

여기서,  $L_{fr}$ 은 표 5의 평균 프레임 길이이다. 그림 2,3은 각 PHY Mode에 따른 BER 및 FER을 도시한 그래프이다. 802.15.4g의 경우 OFDM 방식의 경우 전송률 200k, 800kbps의 경우 BER 성능이 동일하였으며 FSK의 경우 오류확률  $10^{-3}$ 을 기준으로 5dB의 성능의 차이를 보였다. 200kbps의 전송률이 요구되는 상황에서 시스템의 요구사항에 따라 복잡도를 줄이기 위해서는 비교적 구조가 간단하고 저렴한 FSK를 구현하는 것이 유리하고, 높은 성능을 위해서는 OFDM을 사용하는 것을 고려할 수 있다. 또한 시스템의 트래픽 특성이 다양하고 높은 전송률이 요구되어 지는 경우에는 IEEE 802.11 OFDM의 방식을 이용하여 트래픽 특성에 맞는 PHY mode를 사용하여 전송하는 것을 고려할 수 있을 것이다. 또한, 각 통신 방식에 따라서 지원하는 통신 거리가 다르기 때문에 802.15.4g의 경우 수십m에서 최대 20km까지의 전송거리를 지원하고, 802.11g의 경우 최대 450의 거리를 지원한다. 따라서 긴 전송거리를 고려할 경우 802.15.4g를 고려하고, 전송률과 복잡도에 따라서 PHY Mode를 선택하여 전송할 수 있다.

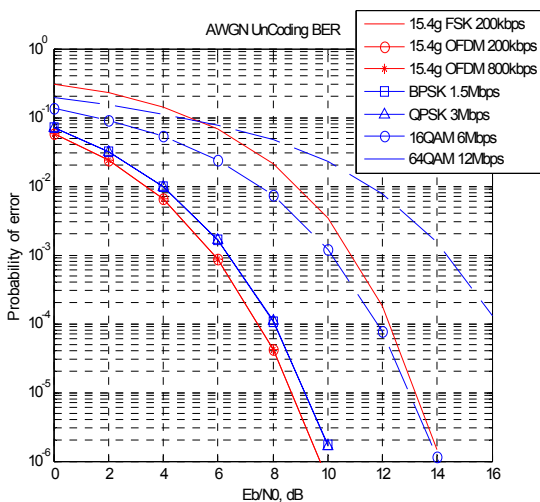


그림 2. AWGN 채널에서 각 PHY Mode에 따른 BER  
Fig. 2. BER for each PHY mode in AWGN

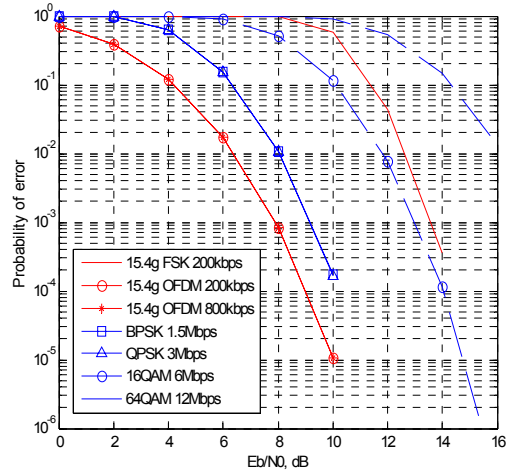


그림 3. AWGN 채널에서 각 PHY Mode에 따른 FER  
Fig. 3. FER for each PHY mode in AWGN

#### IV. 결 론

본 논문은 다양한 통신방식이 공존할 수 있는 M2M 통신에서 기기 간 직접 통신이 가능하고, 동일한 주파수 대역인 2.4GHz를 사용하는 IEEE 802.15.4g와 Wi-Fi P2P의 각 PHY Mode의 성능을 비교하였다. 또한, 전송거리, 전송률, 시스템의 복잡도 등 시스템이 요구되는 파라미터에 따라서 어떤 통신 방식을 사용하는 것이 적합한지 고찰하였다. 시스템에서 요구되는 파라미터에 따라서 통신 방식을 적절히 선택하여 데이터를 전송한다면, 효율적인 M2M 통신이 가능할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 중소기업청의 산학연공동기술개발 사업의 (과제번호: C0033649) 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] Y. Zhang, R. Yu, S. Xie, W. Yao, Y. Xiao, and M. Guizani, "Home M2M networks: architectures, standards, and QoS improvement," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 44-52, Apr. 2011.
- [2] D. G. Kim, H. J Kim, and D. S. Hong, "Technology and development for 3GPP M2M communication," *Inform. Commun. Mag.*, vol.

28 no. 9, pp. 21-28, Aug. 2011.

- [3] IEEE, "IEEE Draft Std. 802.15.4g/D4, Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) - Amendment 4: Physical Layer Specifications for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks," Apr. 2011.
- [4] Wi-Fi Alliance, *Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification*, Version 1.1, Oct. 2010.
- [5] S. Shearer, *802.15.4g Channel Characteristics (Work in Progress)*, IEEE 802.15-15-09-0263-01-004g, Apr. 2009.
- [6] IEEE, *IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std. 802.11-2012, Feb. 2012.
- [7] E. S. Oh and S. H. Hwang, "Performance comparison of heterogeneous communication systems in M2M environment," in *Proc. Korean Inst. Commun. Sci. (KICS) Summer Conf.*, pp. 57-58, Jeju Island, Korea, June 2013.
- [8] Dongguk University, "Management system of public facilities that use solar energy," *Industry-University Research Collaborative Technology Development, Final report*, June, 2013.

오 의 석 (Eui-Seok Oh)



2012년 동국대학교 전자공학과  
학사 졸업  
2012년~현재 동국대학교 전자  
공학과 석사과정  
<관심분야> 무선통신, 이동통신

황 승 훈 (Seung-Hoon Hwang)



1999년 연세대학교 박사  
1999년~2005년 LG전자 이동  
통신기술연구소 책임연구원  
2003년~2005년 영국 사우스  
햄턴대학교 Visiting  
Research Fellow  
2010년 미국 스탠퍼드대학교

Visiting Professor  
2005년~현재 동국대학교 교수  
<관심분야> 무선 및 이동통신 시스템 및 요소기술,  
cognitive radio, 밀리미터파통신