

## 2.4Ghz ISM(Industrial Scientific Medical) 밴드에서 간섭을 회피하기 위한 무선 센서 노드의 채널 선택 방법

김수민\* · 금동현\*\* · 김경훈\*\* · 오일\*\*\* · 최승원\*\*\*\*

### *Channel Selection Method of Wireless Sensor Network Nodes for avoiding Interference in 2.4Ghz ISM(Industrial, Scientific, Medical) Band*

Kim, Su Min · Kuem, Dong Hyun · Kim, Kyung Hoon · Oh, il · Choi, Seung Won

#### 〈Abstract〉

In recent, ISM (Industrial Scientific Medical) band that is 2.4GHz band authorized free of charge is being widely used for smart phone, notebook computer, printer and portable multimedia devices. Accordingly, studies have been continuously conducted on the possibility of coexistence among nodes using ISM band. In particular, the interference of IEEE 802.11b based Wi-Fi device using overlapping channel during communication among IEEE 802.15.4 based wireless sensor nodes suitable for low-power, low-speed communication using ISM band causes serious network performance deterioration of wireless sensor networks.

This paper examined a method of identifying channel status to avoid interference among wireless communication devices using IEEE 802.11b (Wi-Fi) and other ISM bands during communication among IEEE 802.15.4 based wireless sensor network nodes in ISM band. To identify channels occupied by Wi-Fi traffic, various studies are being conducted that use the RSSI (Received Signal Strength Indicator) value of interference signal obtained through ED (Energy Detection) feature that is one of IEEE 802.15.4 transmitter characteristics. This paper examines an algorithm that identifies the possibility of using more accurate channel by mixing utilization of interference signal and RSSI mean value of interference signal by wireless sensor network nodes. In addition, it verifies such algorithm by using OPNET Network verification simulator.

Key Words : IEEE 802.15.4, Wi-Fi, Interference, Channel Selection, RSSI

## I. 서론

최근 저속, 저전력 무선 PAN(Personal area

network)을 위한 MAC과 PHY의 사양으로써 2.4GHz ISM 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802.15.4 LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Network) 프로토콜 기반의 ZigBee[7] 노드들이 많이 사용되고 있다. 2.4GHz 주파수 대역인 ISM 밴드는 무료로 허가된 라디오 밴드으로써 IEEE 802.15.4 기반

\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학 석사 과정

\*\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학 박사 과정

\*\*\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정

\*\*\*\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수(교신저자)

의 노드 외에 많은 무선 네트워크 노드들에 의해 사용되고 있다. 특히, 최근에 노트북컴퓨터, 스마트폰, 휴대용 멀티미디어 기기 등과 같이 동일한 ISM 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802.11b 기반의 Wi-Fi 기능을 갖는 장치들이 널리 사용되고 있다. 일반적으로, Wi-Fi 신호의 세기는 IEEE 802.15.4 기반의 무선센서 네트워크 노드들의 신호의 세기보다 10dB 정도 강하다. 그렇기 때문에 Wi-Fi 네트워크의 트래픽 부하가 클 경우 IEEE 802.15.4 기반의 노드들이 데이터를 송수신 할 때 심각한 네트워크 성능 저하를 초래한다. 이러한 이유로 IEEE 802.15.4 기반의 무선센서네트워크 노드와 IEEE 802.11 기반의 Wi-Fi 노드의 공존가능성에 대한 연구가 진행되어왔다[1-3].

무선센서네트워크 노드는 ISM 대역 내에서 Wi-Fi 노드와 공존하기 위해서 서로 겹치지 않는 채널 선택 및 현재 동작하고 있는 채널의 등급(Grade)을 평가하는 방법이 필요하다

최근까지의 연구를 통해 볼 때 채널의 등급을 판단하는 방법으로 IEEE 802.15.4 기반 노드의 송수신기에서 제공하는 ED(Energy Detection)기능을 이용하여 획득한 현재 채널의 RSSI(Received Signal Strength Indicator), LQI(Link Quality Indicator) 정보를 이용하는 연구가 이루어졌다[4-6].

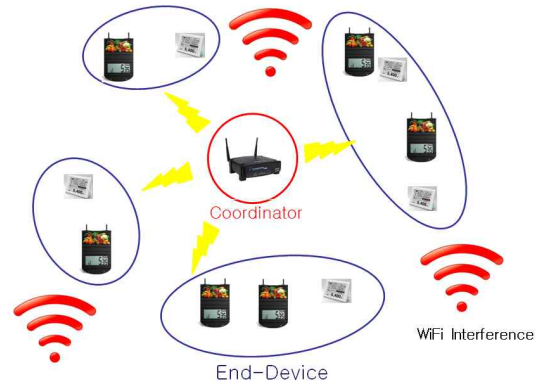
[4]에서는 ED를 통해 측정된 RSSI Intensity를 이용하여 채널 등급을 판단하였다. [5]에서는 ED를 통해 측정된 RSSI의 최댓값과 최솟값의 차에 대한 RSSI 평균값의 상대적인 위치인 RSSI Activity를 이용하여 채널의 등급을 판단한다. [6]에서는 무선센서네트워크 노드들이 각 채널별 ED 측정을 통해 얻은 RSSI 값 정보를 이용하여 PDF(Probability Density Function)를 구성한다. 이 PDF를 기반으로 IEEE 802.15.4 노드의 CCA 임계값 이상의 RSSI 값이 존재할 확률(채널의 점유확률)을 이용해서 채널의 등급을 판단하였다.

본 논문에서는 [6]에서 제시한 채널의 점유확률을 이용하여 채널의 등급을 평가하는 방법에 추가적으로 간섭의 RSSI 크기 값을 반영하여 채널의 등급을 판단하는 방법에 대하여 연구한다. 또한 제안하는 알고리즘을 실제 네트워크 환경과 유사한 OPNET 네트워크 성능 검증 시뮬레이터를 이용하여서 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구배경에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대하여 논의한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 검증하고 5장에서 결론 및 향후 계획에 대하여 논의한다.

## II. 연구배경

본 연구에서 가정하는 네트워크 구성은 그림 1과 같다.



<그림 1> 네트워크 구성도

그림 1의 Coordinator와 End-Device들의 PHY, MAC은 IEEE 802.15.4 프로토콜을 사용한다. 또한 각각의 송수신기는 ED 기능을 통해 측정된 간섭신호의 RSSI 크기에 따라서 채널의 Busy/Idle 상태를 판단할 수 있다. 본 연구에서는 하나의 Coordinator가 수천

개의 End-Device를 관리하고 Coordinator와 End-Device는 One-Hop 통신을 한다고 가정한다. 이 상황에서 IEEE 802.11b 기반 Wi-Fi 간섭 모듈의 간섭에 대하여 IEEE 802.15.4 노드가 ED를 통해 수집한 정보를 이용하여 채널의 등급을 도출하는 방법을 연구한다.

### III. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 채널의 점유확률과 간섭의 RSSI 크기를 고려한 채널 등급을 산출하는 방법을 제안한다. 채널의 점유확률(Utilization)이란 Wi-Fi 등의 간섭에 의한 채널의 점유 정도를 뜻하며 식 (1)과 같이 정의한다.

$$Util >_{Th} = \frac{NumOf[ChannelBusy]}{NumOf[ED]} \quad (1)$$

식 (1)에서 Th는 송수신기가 ED를 통해 측정된 채널의 I간섭의 RSSI 크기가 "Channel Busy"라고 판단하는 임계값을 의미하고, NumOf[ED]는 총 ED 시도 횟수, NumOf[ChannelBusy]는 시도한 ED 중 "ChannelBusy"로 판단된 횟수를 의미한다.

간섭의 RSSI 크기는 식 (2)와 같은 Signal to Noise plus Interference Ratio(SINR)를 이용하여 등급 산출 알고리즘에 반영한다.

$$SINR(dB) = 10\log\left(\frac{P_S}{P_I + P_N}\right) \quad (2)$$

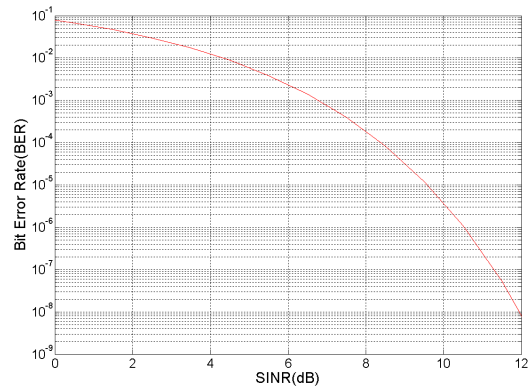
식 (2)에서  $P_S$ 는 원신호의 Power,  $P_N$ 는 노이즈 신호의 Power,  $P_I$ 는 간섭신호의 Power를 의미한다. SINR과 채널의 점유확률을 이용한 채널 등급을 산출

하는 절차는 다음과 같다.

**Step 1.** 원신호의 RSSI, 간섭신호의 RSSI를 이용하여 Probability Density Function(PDF)를 구성한다.

Coordinator가 주기적으로 ED를 수행하여 얻은 에너지 측정값을 간섭신호의 RSSI로 간주하여 간섭신호  $i$ 의 PDF  $f_I[i]$ 를 구성한다. Coordinator가 End-Device들과 통신을 통해 수신한 패킷의 RSSI 값을 이용하여 원신호  $j$ 의 PDF  $f_S[j]$ 를 구성한다.

**Step 2.** 원신호와 간섭신호를 이용하여 패킷 에러율(PER)을 추정한다.



<그림 2> OQPSK BER Table

IEEE 802.15.4에서 사용하는 Offset Quadrature Phase Shift Keying(OQPSK)의 BER Table을 이용하여 SINR에 따른 BER을 추정한다.

$$BER_{i,j} = Table_{OQPSK}(SINR_{i,j}) \quad (3)$$

간섭신호는 Energy Detection 수행 시간동안 측정되므로 패킷의 길이는 [EDduration] x [Datarate]으로 가정한다. 따라서  $(1 - BER_{i,j})^{[EDduration] \times [Datarate]}$ 는 한 패킷이 성공할 확률을 의미한다. 결국 PER은 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$PER_{i,j} = 1 - (1 - BER_{i,j})^{[EDduration] \times [Datarate]} \quad (4)$$

**Step3.** 평균 PER 및 채널의 점유확률을 이용하여 채널 등급을 산출한다.

원신호  $j$  와 간섭신호  $i$  는 서로 독립적이므로 평균 PER은 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$PER_{Avg} = \sum_j f_s[j] \sum_i f_I[i] PER_{i,j} \quad (5)$$

ED를 통해 획득한 간섭의 RSSI 값이 Rx Sensitivity보다 낮을 경우 패킷 에러가 발생하지 않았다고 가정하면 에러발생 확률은 채널의 점유확률과 평균 PER의 곱으로 가정 할 수 있다. 본 알고리즘에서 채널의 등급은 에러가 발생하지 않을 확률을 이용하여 식 (9)와 같이 추정한다.

$$Grade = 100 \times (1 - Util_{> Th} \times PER_{Avg}) \quad (9)$$

$$= 100 - 100 \times Util_{> Th} \times \sum_j f_s[j] \times \sum_i f_I[i] \times \left( 1 - T_{OQPSK} \left( 10 \log \frac{P_S}{P_i + P_N} \right) \right)^{[EDduration] \times [Datarate]}$$

결론적으로, 식(9)를 통하여 산출한 채널의 등급이 가장 높은 채널을 가장 Idle한 채널이라고 판단한다.

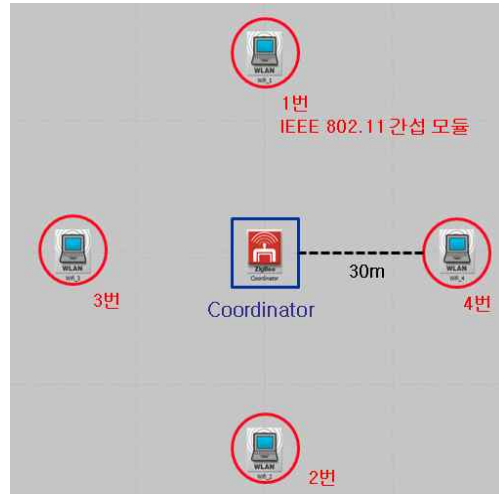
#### IV. 제안하는 알고리즘 성능평가

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 채널의 점유확률(Utilization)을 이용하여 등급을 산출하는 방법[6]과 성능을 비교한다. 검증 시뮬레이션을 위해서 OPNET 이라는 실제 네트워크 환경과 유사한 네트워크 성능 검증 시뮬레이터를 이용

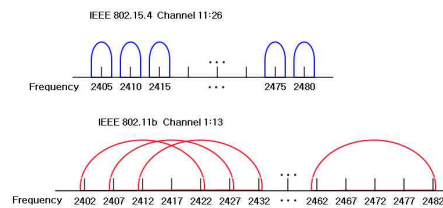
한다. 채널의 점유확률을 이용하여 등급을 산출하는 방법[6]을 알고리즘 #1, 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 알고리즘 #2로 명명한다.

#### 4.1 시뮬레이션 환경 설명

본 논문에서는 제안하는 알고리즘에 대한 성능을 검증하기 위하여 두 개의 시뮬레이션 환경을 구축하였다.



<그림 3> IEEE 802.11 간섭모듈 4대, Coordinator 1대 배치



<그림 4> 2.4Ghz 대역 채널 할당 현황

첫 번째 시뮬레이션 환경은 그림 3과 같다. IEEE 802.11 간섭 모듈을 Coordinator 기준 30m 떨어진 곳에 4대 배치하고, Coordinator 모듈은 가운데에 1대 배치한다. Coordinator와 IEEE 802.11 간섭 모듈은 그

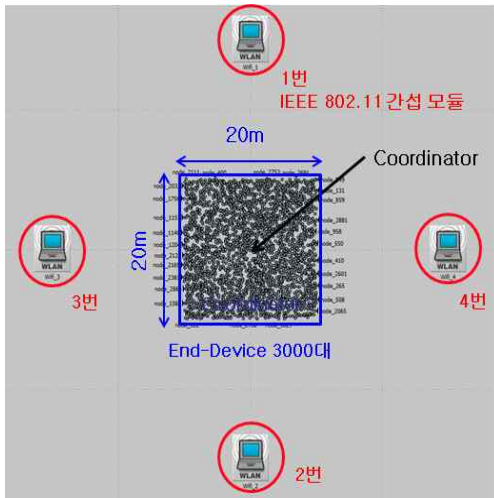
림 4 와 같은 2.4Ghz 대역의 채널을 사용한다.

<표 1> IEEE 802.11 간섭 모듈 설정

	1번 모듈	2번 모듈	3번 모듈	4번 모듈
채널	1,2 (Random)	4,5 (Random)	8,9 (Random)	12,13 (Random)
Data Traffic	1시간 당 150~2000MB(Random) Traffic 발생			
Tx Power	평균 10dBm, 분산 15dBm을 갖는 Normal Distribution으로 Tx Power 발생			

IEEE 802.11 간섭 모듈은 표 1과 같이 간섭 신호를 발생하도록 설정한다.

그림 3과 같은 시뮬레이션 환경에서 Coordinator는 알고리즘 #1을 이용하여 채널의 등급을 선정한다. 다음으로 동일한 환경에서 알고리즘 #2를 이용하여 채널의 등급을 선정한다.



<그림 5> IEEE 802.11 간섭모듈 4대, Coordinator 1대, End-Device 3000대 배치

두 번째 시뮬레이션 환경은 그림 5와 같다. 두 번째 시뮬레이션 환경은 첫 번째 시뮬레이션 환경에 추가적으로 20m by 20m로 End-Device 3000대를 배치시킨다. Coordinator는 20m by 20m 정중앙에 위치시

키고, IEEE 802.11 간섭 모듈의 간섭 신호 환경은 첫 번째 시뮬레이션 환경과 동일하게 설정한다. IEEE 802.11 모듈의 간섭신호가 존재하는 환경에서 Coordinator와 End-Device들이 서로 One-Hop 통신을 진행하며 PER, Collision 발생 횟수, 모든 End-Device가 Coordinator로부터 데이터 수신을 완료하는 시점(End-Device Update Complete Time)을 측정한다.

알고리즘 #1과 알고리즘 #2의 성능을 비교하기 위하여 각각의 알고리즘을 통해 선정된 채널을 사용했을 때의 PER, Collision 발생 횟수, End-Device Update Complete Time 을 비교한다.

#### 4.2 시뮬레이션 결과

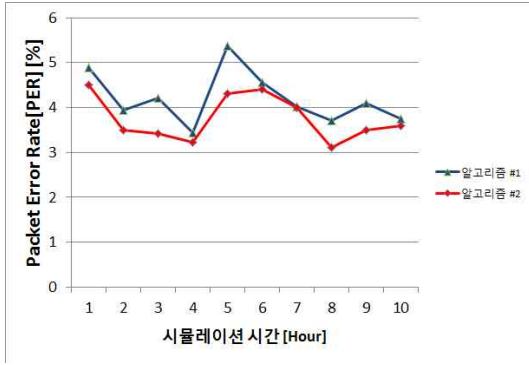
4.1절에서 제시한 시뮬레이션 환경을 1시간 단위로 총 10시간 동안(Iteration 10회) 시뮬레이션을 진행하여 각각의 알고리즘에 대한 최적의 채널을 선정하였다. 각 알고리즘에 따라 선정된 채널은 다음 표2와 같다.

<표 2> 알고리즘에 따른 선정된 채널 비교

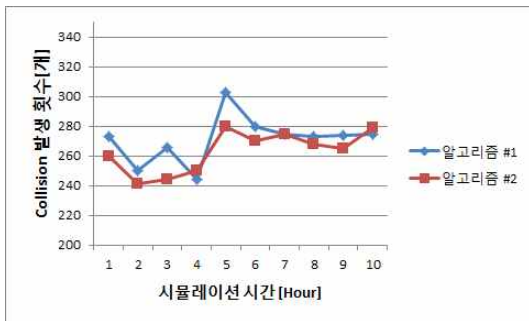
		알고리즘 #1	알고리즘 #2
1시간 단위로 선정된 채널	1 시간	14	13
	2 시간	14	14
	3 시간	18	15
	4 시간	23	25
	5 시간	22	20
	6 시간	19	20
	7 시간	18	16
	8 시간	23	25
	9 시간	15	16
	10 시간	16	22

알고리즘 #2는 알고리즘 #1과 다르게 등급을 산출함에 있어서 채널의 점유확률 외에도 수신한 간섭신

호의 세기에 따른 영향도 고려했기 때문에 서로 다른 채널이 선정되었음을 볼 수 있다.



<그림 6> 알고리즘을 통해 선정된 채널에서의 PER



<그림 7> 알고리즘을 통해 선정된 채널에서의 Collision 발생 횟수

그림 6과 그림 7은 각각의 알고리즘을 통해 선정된 채널로 Coordinator와 End-Device간 통신을 하며 측정된 PER, Collision 발생 횟수에 관한 그래프이다. 알고리즘 #1의 경우 채널의 점유확률만을 고려하여 채널을 선정한다. 때문에 ED를 통하여 일정 임계값 이상의 간섭이 발생하였을 경우 채널의 등급을 산출함에 있어서 간섭신호의 세기에 상관없이 동일한 영향을 미친다. 하지만, 알고리즘 #2에서 제안하는 채널 등급 판단 기준은 채널의 점유확률 뿐만 아니라 추가적으로 간섭신호 Power의 크기가 등급을 산출하는 판단 기준으로 적용되기 때문에 채널의 등급을 산출

함에 있어서 더 정확한 기준이 된다. 그림 6의 그래프를 통하여 알고리즘 #2를 통해 선정된 채널을 이용하여 통신했을 경우 알고리즘 #1에 의해서 선정된 채널을 이용하여 통신했을 경우보다 PER 성능이 평균적으로 더 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 그림 7을 통해 Collision 발생 횟수를 측정해 본 결과 알고리즘 #2가 알고리즘 #1에 비하여 평균적으로 Collision 발생 횟수가 적은 것을 확인 할 수 있었다.

<표 3> 알고리즘에 따른 End-Device Update Complete Time

		알고리즘 #1	알고리즘 #2
1시간 단위 End-Device Update Complete Time [Sec]	1 시간	4021.5	3810.1
	2 시간	3894.2	3689.5
	3 시간	3985.2	3748.3
	4 시간	3884.9	3771.8
	5 시간	4027.6	3649.3
	6 시간	4015.5	3911.5
	7 시간	4001.1	3974.8
	8 시간	3874.4	3580.1
	9 시간	3981.2	3681.7
	10 시간	3846.3	3799.4
	<b>Average</b>	<b>3953.2</b>	<b>3761.7</b>

마지막으로 Coordinator와 모든 End-Device간의 데이터 송수신이 완료되는데 걸리는 시간을 측정해 보았다. End-Device는 Coordinator로부터 데이터를 수신하기 위하여 Data Request 패킷을 송신하고 이를 수신한 Coordinator는 Data Response 패킷을 송신한다. 최종적으로 End-Device는 Date Response 패킷을 수신함으로써 Update가 완료된다. 표 3은 3000대의 End-Device가 모두 Update가 완료되는 시간을 측정한 결과이다. 알고리즘 #2를 통해 선정된 채널에서 통신 할 경우 평균 PER, Collision 발생 횟수 측면

에서 우수한 성능을 보였고, 이에 따라서 모든 End-Device가 Update되는데 걸리는 평균 소요 시간 또한 알고리즘 #2에 의해 선정된 채널을 통해 통신하였을 경우 더 적은 시간이 소요되는 것을 확인 할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 2.4Ghz 대역을 사용하는 무선센서 네트워크 환경에서 Wi-Fi등의 간섭이 발생했을 경우 채널의 점유확률과 간섭의 RSSI 크기를 이용하여 채널의 등급을 판단하는 알고리즘을 제안하였고, OPNET 네트워크 시뮬레이터를 통해 검증하였다.

향후에 간섭의 RSSI Min/Max/Activity등의 채널의 상태를 판단 할 수 있는 다양한 항목을 추가하여 새로운 알고리즘을 연구한다면 더 정확한 채널 등급을 산출 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### Acknowledge

본 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업으로(10041628, “차세대 이동통신 서비스를 위한 다양한 셀구축 환경에 적용이 가능한 초소형 RF 단위 모듈 기반 다중대역(Multi-BAND) 다중모드(Multi-RAT) 기지국용 RU(Radio Unit)개발” 과제) 지원된 결과입니다.

#### 참고문헌

[1] Dong, Yang, et al. “Wireless Coexistence between IEEE 802.11- and IEEE 802.15.4-Based Networks: A Survey,” *International Journal of*

*Distributed Sensor Networks*, Vol 2011, 2011.

[2] Howitt, Ivan, Gutierrez, J, A, “IEEE 802.15.4 low rate-wireless personal area network coexistence issues,” *Wireless Communications and Networking(WCNC)*, Vol 3, 2003, pp. 1481-1486.

[3] M. S. Kang, et al. “Adaptive interference-aware multi-channel clustering algorithm in a ZigBee network in the presence of WLAN interference,” in *Proceedings of the 2nd International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, 2007, pp. 200-205.

[4] Xu, Ruitao, et al, “Muzi: Multi-channel zigbee networks for avoiding Wi-Fi interference,” *Internet of Things (iThings/CPSCoM)*, 2011 International Conference on and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing. IEEE, 2011, pp. 323-329.

[5] Hossain, M., Aamir Mahmood, and Riku Jantti. “Channel ranking algorithms for cognitive coexistence of IEEE 802.15.4,” *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2009 IEEE 20th International Symposium on. IEEE, 2009. pp. 112-116.

[6] Khaleel, Hussein, et al. “Distributed spectrum sensing and channel selection in opportunistic wireless personal area networks,” *Proceedings of the Second International Workshop on Mobile Opportunistic Networking*. ACM, 2010, pp. 185-187.

[7] 김정원, 신진철, 박형근, “Zigbee를 이용한 사용자 인식기반의 헬스 케어 시스템 구현,” *디지털산업 정보학회 논문지*, 제4권, 3호, 2008, pp. 1-8.

■ 저자소개 ■



김수민  
Kim, Su Min

2013년 3월 ~ 현재  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과  
석사 과정  
2013년 2월 한국외국어대학교 전자공학과  
(공학 학사)  
관심분야 : Wi-Fi, ZigBee, IoT, WSN  
E-mail : kaosiro123@dsplab.hanyang.ac.kr



금동현  
Kuem, Dong Hyun

2011년 3월 ~ 현재  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과  
석박사 통합과정  
2011년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과  
(공학 학사)  
관심분야 : LTE, Wi-Fi, MU-MIMO,  
신호처리  
E-mail : kkh0602@dsplab.hanyang.ac.kr



김경훈  
Kim, Kyung Hoon

2011년 3월 ~ 현재  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과  
석박사 통합과정  
2011년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과  
(공학 학사)  
관심분야 : LTE, Wi-Fi, MU-MIMO,  
신호처리  
E-mail : kkh0602@dsplab.hanyang.ac.kr



오일  
Oh, Il

2013년 3월 ~ 현재  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과  
석사 과정  
2013년 2월 대구대학교 통신공학과 (공학학사)  
관심분야 : Wi-Fi, ZigBee, IoT, WSN  
E-mail : Ohil0324@dsplab.hanyang.ac.kr



최승원  
Choi, Seung Won

2012년~현재  
HY-MC 연구센터 센터장  
2002년~2011  
HY-SDR 연구센터 센터장  
1992년~현재  
한양대학교 전자전기공학부 교수  
1990년~1992년  
일본 우정성 통신연구소  
신입연구원  
1989년~1990년  
ETRI 선임연구원  
1988년~1989년  
미국 Syracuse대학 전지 및  
전산과 교수  
1988년 12월 미국 Syracuse대학 전기공학  
(공학박사)  
1985년 12월 미국 Syracuse대학 컴퓨터공학  
(공학석사)  
1982년 2월 서울대학교 전자공학 (공학석사)  
1980년 2월 한양대학교 전자공학 (공학학사)  
관심분야 : SDR, 이동통신, 신호처리  
E-mail : choi@dsplab.hanyang.ac.kr

논문접수일: 2014년 10월 31일  
수정일: 2014년 11월 25일  
계재확정일: 2014년 12월 1일