

WPAN에서 간섭을 피하기 위한 멀티모드 단말기 채널등급 방법

정성원* · 김동현** · 최승원***

Channel Grade Method of multi-mode mobile device for avoiding Interference at WPAN

Jung Sungwon · Kum Donghyun · Choi Seungwon

〈Abstract〉

There is a new evolution in technological advancement taking place called the Internet of Things (IoT), The IoT enables physical world objects in our surrounding to be connected to the Internet. ISM (Industrial Scientific Medical) band that is 2.4GHz band authorized free of charge is being widely used for smart 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 devices using overlapping channel during communication among IEEE 802.15.4 based wireless sensor nodes suitable for low-power, low-speed communication using ISM band. Because serious network performance deterioration of wireless sensor networks.

In this paper, we will propose an algorithm that identifies the possibility of using more accurate channels by mixing utilization of interference signal and RSSI (Received Signal Strength Indicator) Min/Max/Activity of Interference signal by wireless sensor nodes. In addition, it will verify our algorithm by using OPNET Network verification simulator.

Key Words : IEEE 802.15.4, IEEE 802.11b, IoT, Channel Selection, Channel Grade Method

I. 서론

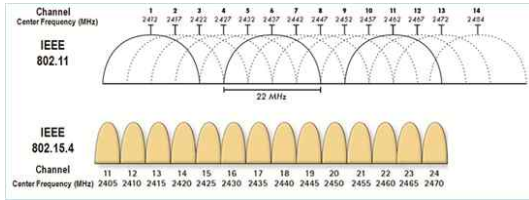
IoT (Internet of Things)의 시대가 오면서 2.4GHz 대역을 사용하는 디바이스들의 수가 폭발적으로 증가하였다. 이에 따라 저 전력 WPAN (Wireless Personal Area Network)을 위한 MAC과 PHY 사양으로써 ZigBee 노드들이 많이 사용되고 있다[1].

ZigBee는 2.4GHz ISM 주파수 대역을 사용하는 IEEE 802.15.4 LR-WPAN (Low-Rate_Wireless Personal Area Network) 프로토콜을 기반으로 한다. ISM 밴드는 2.4GHz를 무료로 사용할 수 있도록 허가된 밴드로써 IEEE 802.15.4 기반의 노드 외에 많은 무선 네트워크 노드들에 의해 사용되고 있다. 특히 최근에 스마트폰, 태블릿 등과 같은 휴대용 멀티미디어 기기 등에서 IEEE 802.11b기반의 Wi-Fi (Wireless-Fidelity) 기능을 갖는 장치들이 널리 사용되고 있다.

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정

** 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

*** 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수(교신저자)



<그림 1> IEEE 802.11b와 IEEE 802.15.4 채널 비교

그림 1과 같이 IEEE 802.15.4[2]와 IEEE 802.11b[3]은 2.4GHz 같은 주파수 대역을 사용한다. 일반적으로 Wi-Fi 신호의 세기는 IEEE 802.15.4기반의 무선센서 네트워크 노드들의 신호의 세기보다 10dB정도 강하다. 그렇기 때문에 이러한 이유로 IEEE 802.15.4기반의 무선센서 네트워크 노드와 IEEE 802.11 기반의 Wi-Fi노드의 공존 가능성에 대한 연구가 진행되어 왔다[4-6].

이러한 문제에 대해 일반적으로 두 무선 네트워크가 사용하는 채널이 서로 겹치지 않도록 변경하는 방법을 고려할 수 있다. Wi-Fi는 AP (Access Point)에서 무선채널을 설정할 수 있는데, AP는 관리자에 의해 수동적으로 채널이 설정된 후에 채널의 상태에 따라 자동적으로 채널을 변경하는 기능이 지원되지 않기 때문에 관리자가 문제를 인식한 후 채널을 변경하기 전까지는 무선센서 네트워크의 노드들이 겪고 있는 장애가 해소되지 않는다. 따라서 무선네트워크를 구성하는 노드들에서 무선채널에 발생하는 문제를 스스로 탐지하고 필요한 경우 채널을 변경하고 새로운 채널에서 통신할 수 있는 기능이 필요하다. 이러한 이유 때문에 채널등급에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 Kim, Su Min이 제시한 채널의 점유확률과, RSSI의 평균값을 반영하여 채널을 등급을 판단하는 논문에 추가적으로 RSSI의 Activity를 고려하여 채널의 등급을 판단하는 방법에 대하여 연구한다[7]. 또한 제안 알고리즘의 성능을 분석하기 위해

실제 네트워크 환경과 유사한 OPNET 네트워크 성능 검증 시뮬레이터를 이용하여 검증한다.

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

II. 관련연구

2.4GHz의 ISM 주파수 대역은 라이선스 획득 절차를 거치지 않고 사용이 가능하기 때문에 다양한 종류의 무선 장치들이 ISM 주파수 대역을 채택하고 있다. ISM 주파수 대역을 사용하는 무선 장치들로는 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식을 사용하는 Bluetooth, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 사용하는 Wi-Fi, UWB, ZigBee가 있다. Bluetooth는 FHSS 변조 방식을 사용하기 때문에 Bluetooth 기반 장치로 구성된 피코넷은 독자적인 의사 무작위 주파수 호핑 패턴을 통해 피코넷 간의 간섭을 줄일 수 있다. 반면 WiFi, UWB, ZigBee는 DSSS 변조 방식을 사용하기 있기 때문에 상호간에 간섭이 발생할 수 있다.

최근까지의 연구를 통해 볼 때 채널의 등급을 판단하는 방법으로는 IEEE 802.15.4기반의 노드의 송수신기에서 제공하는 ED (Energy Detection)기능을 이용하여 획득한 현재 채널의 RSSI (Received Signal Strength Indicator), LQI (Link Quality Indicator) 정보를 이용하는 연구가 이루어졌다[8].

Xu, Ruitao는 Energy Detection을 이용하여 RSSI Intensity를 이용하여 채널등급을 판단하였다[9]. Khaleel, Hussein는 무선센서 네트워크 노드들이 각 채널별 ED측정을 통해 얻은 RSSI 값 정보를 이용하여 PDF (Probability Density Function)를 구성한다

[10]. 이 PDF를 기반으로 IEEE 802.15.4 노드의 CCA Threshold 이상의 RSSI 값이 있는 확률을 이용하여 채널의 등급을 판단하였다. Kim, Su Min는 채널의 점유 확률을 이용하여 채널의 등급을 평가하는 방법에 추가적으로 간섭의 RSSI 크기 값을 반영하여 채널의 등급을 판단하는 방법에 대하여 제안한다[7].

III. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 기존에 채널의 점유확률 과 간섭의 평균 RSSI 크기를 고려한 채널 등급을 산출하는 방법이 아니라 RSSI의 평균 값 뿐만 아니라 평균값의 상대적인 위치를 나타내는 RSSI의 Activity도 고려한다.

$$Util_{> Th} = \frac{NmOf[Channel Busy]}{NmOf[Energy Detection]} \quad (1)$$

식 (1)은 채널의 Utilization을 정의한 식이다. 채널의 Utilization이란 Wi-Fi등과 같은 간섭에 의한 채널 점유 정도를 뜻한다. 식 (1)에서 Th는 채널의 Busy 정도를 파악하기 위한 threshold값이고, Num of[ED]는 Energy Detection을 시행한 총 횟수이다. Num of[Channel Busy]는 Energy Detection 중 RSSI값이 Threshold값을 넘어 channel busy로 판단 된 횟수이다.

$$Activity = 100 \frac{(P_{mean} - P_{min})}{(P_{max} - P_{min})} \quad (2)$$

식(2)는 RSSI의 Activity를 구하는 식이다. RSSI Activity는 RSSI의 평균값이 상대적인 위치를 구하기 위한 식으로써, RSSI의 최댓값과 최솟값 그리고 평균값 또한 고려하였다.

$$SINR_{est}(dB) = 10\log(P_s + P_I^* + P_n^*) - 10\log(P_I + P_n) \quad (3)$$

식(3)은 Activity를 고려하여 구한 RSSI값들을 이용한 SINR이다. P_I^* 와 P_n^* 은 각각 Coordinator가 End Device와 통신 중인 상황에서 수신된 Packet (Desired Signal)에 포함되어 있는 Interference Power 와 Noise Power를 의미한다. 식 (3)은 식(4)과 같이 정리 할 수 있다.

$$SINR_{est}(dB) = 10\log\left(\frac{P_s}{P_I + P_n} + \frac{P_I^* + P_n^*}{P_I + P_n}\right) \quad (4)$$

SINR과 채널의 Utilization을 이용하여 채널등급을 구하는 방법은 다음과 같은 절차를 따른다.

Step 1. Interference Signal의 RSSI, Desired Signal RSSI에 대해 각각 PDF를 구성한다. ED결과를 통해 얻은 Energy value를 Interference Signal의 RSSI로 간주하여 PDF ($f_I[i]$)로 구성한다. 그리고 Coordinator가 End Device로부터 수신한 RSSI들을 Desired Signal에 대한 PDF($f_s[j]$)를 구성한다. End Device들로부터 수신한 RSSI가 없을 경우 -50dBm ~ -90dBm 범위의 Uniform 분포로 가정한다.

Step 2. 식(4)와 Interference Utilization을 이용한 각 채널의 Grade를 산출한다. Desired Signal j와 Interference Signal i 에서의 BER (Bit Error Rate)을 식 (5)와 같이 추정한다.

$$BER_{i,j} = T_{OQPSK}(SINR_{i,j}(dB)) \quad (5)$$

Step 3. 추정된 BER과 Step1에서 구한 Desired Signal RSSI 및 Interference Signal RSSI 분포를 이용하여 평균 PER을 계산한다.

$$PER_{i,j} = 1 - (1 - BER_{i,j})^{[EDduration] \times [Datarate]} \quad (6)$$

식 (6)은 BER에 따른 PER을 계산한 식이다. 간섭 신호는 Energy Detection 수행 시간동안 추정되므로 패킷의 길이는 ED duration과 Data rate의 곱으로 가정한다. 따라서 한 개의 패킷이 수신 성공할 확률은 $(1 - BER_{i,j})^{[EDduration] \times [Datarate]}$ 로 나타낼 수 있다.

간섭이 발생하는 환경에서의 PER을 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$PER_{Interf} = \sum_j f_s(j) \sum_i PER_{i,j} f_I(i) \quad (7)$$

Step 4 평균 PER과 Utilization을 이용하여 채널 등급을 식 (8)과 같이 산출한다.

$$Grade = 100 \times [1 - Util. \times PER_{Interf}] \quad (8)$$

$$= 1 - Util. \sum_j f_s(j) \sum_i f_I(i) \times [1 - (1 - T_{OQPSK}(SINR_{i,j}))^{EDduration \times Datarate}]$$

식 (8)을 통하여 산출한 채널의 등급이 높을수록 통신하기 좋은 환경이라고 판단한다.

IV. 제안하는 알고리즘 성능 검증

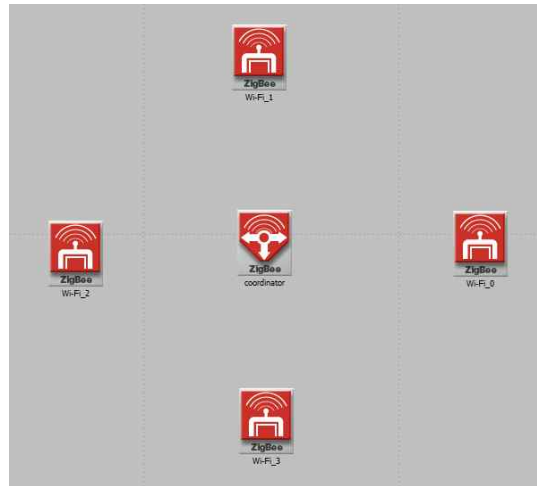
4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 채널의 점유 확률을 이용하여 등급을 산출하는 방법과[10], 평균 RSSI를 이용하여 채널등급을 산출하는 방법[7]과 성능을 비교한다.

검증 시뮬레이션을 위해 OPNET이라는 실제 네트워크 환경과 유사한 네트워크 성능 검증 시뮬레이터

를 이용한다. 채널의 점유확률 이용하여 등급을 산출하는 방법[10]을 A알고리즘, 평균 RSSI를 이용하여 등급을 산출하는 방법 [7]을 B알고리즘, 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 C알고리즘으로 명명한다.

시뮬레이션 환경은 그림 2 와 같이 설정하였다.



<그림 2> Coordinator 1대 배치, IEEE 802.11 간섭모듈 4대

IEEE 802.15.4 Coordinator를 가운데에 배치하고, 30m씩 떨어진 곳에 IEEE 802.11간섭 모듈 4대를 배치한다. Coordinator와 Wi-Fi는 2.4GHz 대역의 채널을 사용한다. IEEE 802.11 간섭 모듈은 표 1과 같이 간섭 신호를 발생하도록 설정한다 [7].

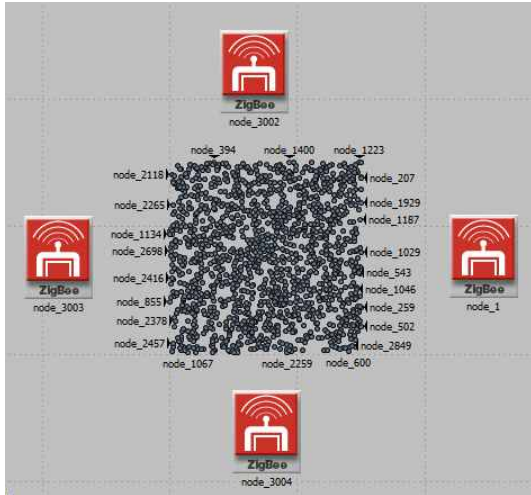
<표 1> IEEE 802.11 간섭 모듈 설정

	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 150~200MB(Random) Traffic 발생			
Tx Power	평균 10dBm, 분산 15dBm을 갖는 Normal Distribution			

그림 2 와 같은 시뮬레이션 환경에서 Coordinator

는 A알고리즘, B알고리즘, C알고리즘을 이용하여 동일한 환경에서의 알고리즘 별 채널 등급을 선정한다.

단위로 10번의 Iteration 시뮬레이션을 진행하였다. 각각 알고리즘에 대한 최적의 채널을 선정하였다. 각 알고리즘에 따라 선정된 채널은 다음 표 <2>와 같다.



<그림 3> Coordinator 1대, End Device 3000대 배치, IEEE 802.11 간섭모듈 4대

두 번째 시뮬레이션 환경은 그림 3 과 같다. 두 번째 시뮬레이션 환경은 첫 번째 시뮬레이션 환경에 추가적으로 20m by 20m로 End Device 3000대를 배치시킨다. Coordinator는 20m by 20m 정중앙에 위치시킨다. 그리고 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 횟수를 측정 한다. A알고리즘, B알고리즘, C알고리즘의 알고리즘 별 성능을 비교하기 위하여 각각의 알고리즘을 통해 선정된 채널을 사용했을 때의 PER, Collision 발생횟수를 비교한다.

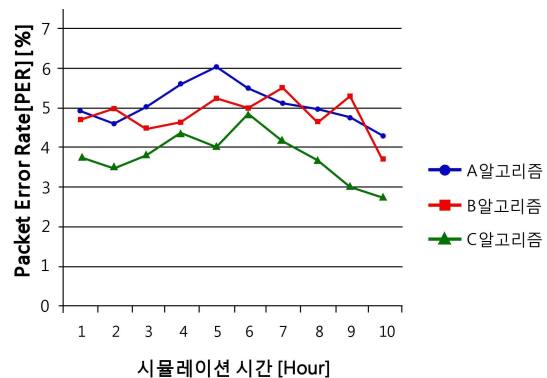
4.2 시뮬레이션 결과

4.1절에서 제시한 시뮬레이션 환경에 따라 1시간

<표 2> 알고리즘에 따라 선정된 채널 비교

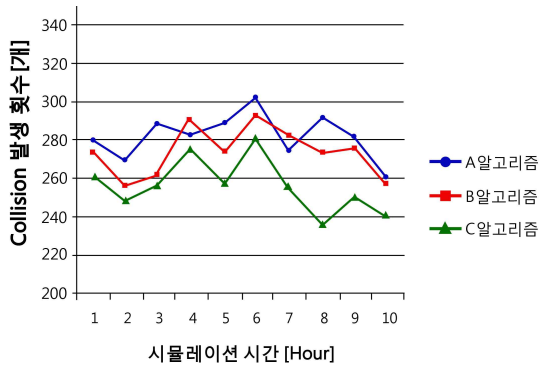
		A알고리즘	B알고리즘	C알고리즘
1시간 단위로 선정된 채널	1시간	15	12	19
	2시간	19	20	15
	3시간	22	14	11
	4시간	11	20	13
	5시간	25	24	17
	6시간	23	13	26
	7시간	14	19	17
	8시간	19	25	24
	9시간	22	11	18
	10시간	12	17	22

A알고리즘, B알고리즘, C알고리즘은 등급을 산출 시 고려하는 요소들이 알고리즘 별로 다르기 때문에 서로 다른 채널이 선정되었음을 볼 수 있다.



<그림 4> 알고리즘을 통해 선정된 채널에서의 PER

그림 4 와 그림 5 는 알고리즘 별로 측정된 PER, Collision 발생횟수에 관한 그래프이다. A 알고리즘의 경우 채널의 점유확률 만을 고려하여 채널을 선정하기 때문에 Energy Detection을 통하여 Threshold이상



<그림 5> 알고리즘을 통해 선정된 채널에서의 Collision 발생 횟수

의 간섭이 발생하였을 경우 채널의 등급을 산출함에 있어서 간섭신호의 세기에 상관없이 동일한 영향을 미친다. 그리고 B알고리즘의 경우 제안하는 채널 등급 판단 기준은 채널 점유확률뿐만 아니라 추가적으로 간섭신호의 평균 Power의 크기를 이용하여 채널 등급을 산출하기 때문에 A알고리즘 보다 더 정확한 기준이 된다. C알고리즘 같은 경우 기존에 채널의 점유확률과 간섭의 평균 RSSI 크기를 고려한 채널 등급을 산출하는 방법이 아니라 RSSI의 Activity도 고려하기 때문에 B알고리즘보다 더 정확한 채널등급을 산출한다. 그림 4의 그래프를 통하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘 #3이 다른 알고리즘보다 PER 성능이 평균적으로 더 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. C알고리즘의 PER이 A알고리즘의 PER보다 1%정도 좋고, B알고리즘의 PER보다 0.5% 좋은 것을 확인할 수 있다. 그림 5를 통해 Collision 발생 횟수를 측정해 본 결과 RSSI Activity를 고려한 C알고리즘이 A알고리즘과 B알고리즘보다 Collision 발생 횟수가 적은 것을 확인할 수 있다. C알고리즘의 Collision 횟수는 A알고리즘의 Collision 횟수보다 약 20개가 적고, B알고리즘의 Collision 횟수보다 약 10개 적다는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 2.4GHz대역을 사용하는 무선센서 네트워크 환경에서 Wi-Fi등의 간섭이 발생했을 경우 채널의 Utilization과 간섭의 RSSI의 평균과 Activity를 이용하여 채널의 등급을 판단하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 네트워크 시뮬레이터인 OPNET을 이용하여 성능을 검증하였다.

향후에 One-Hop통신 뿐만 아니라 Multi-Hop통신에서 사용할 수 있는 채널등급 알고리즘 연구를 진행할 계획이다.

Acknowledge

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0166-15-1031, 멀티모드 단말기용 소프트웨어 모뎀 API를 지원하는 범용 프로토콜 국제표준 개발)

참고문헌

- [1] 김정원, 신진철, 박형근, "Zigbee를 이용한 사용자 인식기반의 헬스 케어 시스템 구현," 디지털산업정보학회 논문지, 제4권, 제3호, 2008, pp. 1-8.
- [2] ANSI/IEEE, "Std 802.15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification," <http://www.ieee.org>, 2003.
- [3] IEEE Std. 802.11b, Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, IEEE Std. 802.11b-1999, 1999.
- [4] Javed, Q. et al. "Exploring Alternatives to

Channel Change for Improving the Coexistence of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11," MSN, 2012 English International Conference on, 2012, pp. 45-52.

[5] Pakparvar, M, "Dynamic channel selection algorithms for coexistence of wireless sensor networks and wireless LANs," WiMob, 2013 IEEE 9th International Conference on, 2013, pp. 33-38.

[6] Alex King, et al. "DCCA: Differentiating Clear Channel Assesment for Improved 802.11/802.15.4 Coexistence," WiMob, 2014 IEEE 10th International Conference on, 2014, p. 45-50.

[7] Kim, Su Min, et al. "Channel Selection Method of Wireless Sensor Network Nodes for avoiding Interference in 2.4GHz ISM Band," 디지털 산업 정보학회 논문지, 제10권, 제4호, 2014, pp. 109-116.

[8] 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, Hindawi Article ID 912152,17pages, 2011.

[9] 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. 322-329.

[10] 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.

■ 저자소개 ■



정 성 원
(Jung Sungwon)

2014년 3월~현재
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
석사과정
2013년 2월
승실대학교 정보통신전자공학부
(공학학사)
관심분야 : IoT, WSN, Wi-Fi, ZigBee
E-mail : jungsungww@dsplab.hanyang.ac.kr



금 동 현
Kum Donghyun

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



최 승 원
(Choi Seungwon)

2012년~현재
HY-MC 연구센터 센터장
2002년~2011
HY-SDR 연구센터 센터장
1992년~현재
한양대학교 전자전기공학부 교수
1990년~1992년
일본 우경성 통신연구소
선임연구원
1989년~1990년
ETRI 선임연구원
1988년~1989년
미국 Syracuse대학 전기 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: 2015년 8월 18일
수정일: 2015년 9월 3일
게재확정일: 2015년 9월 10일