

ISM-Band 에서의 지그비의 효율적 채널선택기법

An Efficient Channel Selection Algorithm of Zigbee in ISM Band

류 제 원, 최 영 완, 권 영 빈, 박 재 화, 박 호 현, 이 정 우*

(Je Won Ryu, Young Wan Choi, Young Bin Kwon, Jae Hwa Park, Ho Hyun Park, Jeong Woo Lee)

Wireless Personal Area Network 기술 중 하나인 지그비는 네트워크를 구성할 때 기본적으로 모든 채널에 대해 에너지를 측정 후 이를 바탕으로 채널을 선택하는 방법을 사용한다. 지그비가 사용하는 주파수 대역인 **ISM Band**는 특별한 라이선스 없이 누구나 사용할 수 있는 주파수 대역이므로 다양한 간섭 요인들이 존재하게 되며, 이 간섭 요인들 중 지그비의 통신 성능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 무선랜으로 알려져 있다. 본 논문에서는 무선랜의 채널 사용 패턴을 사전정보로 활용하여 지그비 채널 선택 과정을 효율적으로 수행할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 알고리즘에 의하면 지그비 채널 선택 시 일부 지그비 채널에 대해서만 측정하여도 되므로 지그비 네트워크 구성 시 채널 선택에 소요되는 시간을 단축할 수 있게 된다.

Abstract : The conventional channel selection method for a ZigBee communication network basically detects the energy values in all channels. In the ISM band, no license is required to use channels in this band, so there may exist various interference factors in this band. It is well known that WLAN is the major interference factor degrading the performance of ZigBee in the ISM band. In this paper, we propose an efficient channel selection algorithm which uses the pattern of WLAN channel uses as the *a priori* information. By using the proposed algorithm, we may save the time required to select channels for the ZigBee communications.

Keywords: ZigBee, ISM Band, interference, WLAN, channel selection.

I. 서론

IEEE 802. 15. 4 를 기반으로 하고 있는 지그비는 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 중의 하나로써 매우 낮은 전력소모, 구조가 간단하고 저가라는 특징을 가지고 있고 소비전력이 매우 적으므로 오랫동안 사용 가능하다는 점에서 홈네트워크, 사무실, 자동차, 병원 등의 유비쿼터스 구축을 위한 해결책으로 주목 받고 있다. 지그비 이외의 WPAN 의 다른 무선 기술들로는 블루투스, UWB 등이 있다. 이 중에서 가장 크게 각광을 받았던 블루투스는 1994 년 에릭슨이 개발한 근거리 무선통신방식으로서 음성지원이 가능하다는 점에서 핸드프리나 무선 핸드폰 같이 음성을 필요로 하는 곳에 적용될 수 있는 있다. 주로 군사용으로 사용되었던 UWB(Ultra WideBand)는 다른 WPAN 기술 중에서 가장 넓은 대역폭을 사용하고 송신기의 전력 스펙트럼 밀도가 낮으므로 간섭을 최소화 시킬 수 있어 보안 능력이 우수하고 전송속도가 빠르다는 점에서 대용량의 정보를 주고받을 수 있으므로 영상과 관련된 분야에 적용, 발전시킬 수 있다.

지그비가 사용하는 주파수 중의 하나인 ISM-Band 는 누구나 사용할 수 있는 공용 주파수이기 때문에 다른

무선 통신 기술의 신호와 상호 간섭 문제가 발생한다. 이런 간섭 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되었다[1][2][3]. 이러한 해결책들은 무선 통신 기술 사이의 거리를 변화시키거나 무선 통신 기술들의 채널의 중심주파수 차이를 변화시키면서 간섭의 영향을 없애고 생각하는 거리와 주파수를 찾는 것으로 간섭의 영향을 해결하였다. 그러나 이러한 해결책들은 지그비의 경우에는 IEEE 802. 15. 4 에서 정의하고 있는 지그비의 채널 선택 알고리즘이 지그비의 Coordinator 와 End Device 들 사이에 PAN(Personal Area Network)을 구성하기 전에 지그비의 채널 모두에 대하여 에너지를 검출한 후에 채널을 선택하는 과정을 거치므로 지그비 채널에 간섭이 존재하더라도 모든 채널에 대해서 에너지를 검출하는 과정을 거치므로 비효율적이다.

본 논문의 II 절에서는 지그비가 기반으로 하고 있는 IEEE 802.15.4 에 대해서 간단하게 특성을 살펴 보고 III 절에서는 제안하고자 하는 채널 선택 알고리즘의 주파수 밴드인 ISM-Band 에 대해서 설명하고 IV 절에서는 제안하고자 하는 채널 선택 알고리즘을 설명하고 성능의 향상에 대해 논의할 것이다.

II. IEEE 802.15.4 의 특성

1. IEEE 802.15.4의 구조

아래의 그림과 같이 IEEE 802.15.4의 슈퍼 프레임은 beacon frame, Active period, Inactive period의 세 부분으로 이루어져 있다. Inactive period에서는 절전모드로 동작하게 되어 저전력 소모를 가능케 한다[4]. Active Period는 다시 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)로 구성되어 있고 CAP에서 IEEE 802.15.4의 데이터들은 CSMA-CA알고리즘을

* 책임저자 (Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.

류제원, 최영완, 박호현, 이정우: 중앙대학교 전자전기공학부

권영빈, 박재화: 중앙대학교 컴퓨터공학부

(sskfil@hotmail.com, ychoi@cau.ac.kr, hohyun@cau.ac.kr, jwlee2@cau.ac.kr, ybkwon@cau.ac.kr, jachwa@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10544, 10560)의 지원을 받아 수행되었음.

거쳐서 전송이 된다. 이 CSMA-CA 알고리즘은 ACK Frame과 더불어 IEEE 802.15.4에서 데이터 전송확률을 높여주는 역할을 한다. CAP은 여러 End Device들이 Coordinator와 통신을 하기 위해서 서로 경쟁을 벌이는 구간이다. 옵션적으로 CFP는 여러 개의 GTS(Guaranteed Time Slots)를 가질 수 있는데(최대 7개) 이는 CAP과는 달리 안정적으로 특정 End Device와 Coordinator의 통신을 가능하게 한다. 특정한 End Device를 선택하는 방법은 Beacon Frame의 정보가 포함하고 있다.

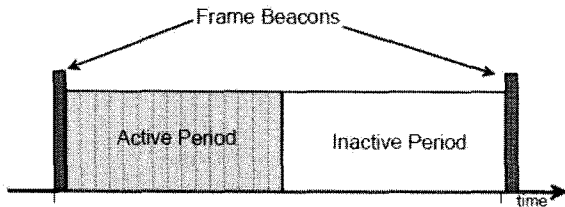


그림 1. IEEE 802.15.4의 구조
Fig. 1. The Structure of IEEE 802.15.4 [4]

2. IEEE 802.15.4의 특징

IEEE 802.15.4에서 사용할 수 있는 주파수 대역은 다음과 같은 3가지 있는데 이는 각각 868MHz, 915MHz와 2.4GHz이다. 868MHz의 주파수 대역에서 지그비 채널은 1개로 할당되어 있고 915MHz의 주파수 대역에서는 지그비 채널이 10개 할당, ISM-Band라 부르는 2.4GHz에서는 지그비 채널은 16개 할당되어 있다. 그리고 868MHz와 915MHz의 주파수 밴드에서는 똑같이 BPSK 전송 방식을 사용하지만 전송속도는 20kbps, 40kbps로 차이를 보인다. 2.4GHz의 주파수 대역에서는 OQPSK를 사용하고 상대적으로 868MHz, 915MHz의 전송 속도보다는 빠른 250kbps의 전송속도를 가진다. 위의 특징들은 아래의 표와 같다.

표 1. IEEE 802.15.4의 주파수 대역의 특징
Table 1. Characteristics of Frequency Band of IEEE 802.15.4 [4]

PHY (MHz)	Frequency Band (MHz)	Spreading Parameters		Data Parameters		
		Chip Rate (kchip/s)	Modulation	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksymbols/s)	Symbols
868/915	868 - 868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902 - 928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400 - 2483.5	2000	OQPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

III. ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역

지그비가 사용하는 주파수 대역 중의 하나인 2.4GHz 대역인 ISM-Band는 지그비만 사용할 수 있도록 할당된 대역이 아니기 때문에 다른 신호도 ISM-Band의 주파수를 점유할 수 있다. 이러한 다른 신호는 지그비에 대해서 간섭의 원인이 되는데 이러한 간섭의 원인 중의 대표적인 것은 무선랜과 블루투스이다[5]. 그 중에서 무선랜은 ISM-Band에서 지그비 통신 뿐만 아니라 ISM-Band를 사용하는 다른 무선 통신에 대해서도 간섭의 영향을 가장 크게 미치는 것으로 알려져 있다.

1) 무선랜의 특징

무선랜은 나라에 따라 사용할 수 있도록 규정해 놓은 주파수 대역은 자국 주파수의 규정에 따라서 조금씩 다르다. 미국은 2.401GHz ~ 2.473GHz 까지를 무선랜 주파수 대역으로 사용하고 11개의 채널을 할당하였고 유럽이나 우리나라는 2.401GHz ~ 2.483GHz 까지를 무선랜의 주파수 대역으로 사용하고 13개의 채널을 할당하였다. 무선랜의 각 채널의 Bandwidth는 22MHz이고 채널들은 서로 5MHz씩 겹쳐서 주파수 대역을 점유하고 있다[6][7].

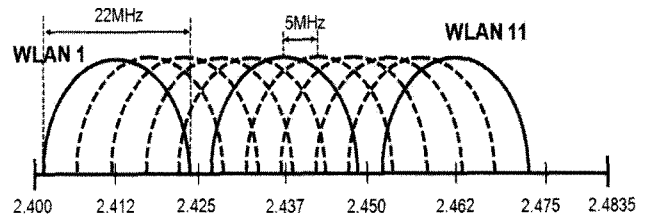


그림 2. ISM-Band에서의 무선랜의 채널
Fig. 2. Channels of WLAN in ISM-Band.

무선랜의 채널은 5개의 채널씩 서로 겹쳐져 있는데 이 5개의 채널 중 어떤 채널을 사용할 경우에는 나머지 채널은 사용할 수 없고 그 외의 채널만 사용할 수 있다. 그림에서의 실선은 무선랜 1, 6, 11번을 나타내며 가장 최적화된 채널 분포를 나타낸다.

2) 지그비의 특성

그림 3은 2.4GHz 주파수 대역에서의 지그비 채널을 나타낸 것이다. 지그비 채널 각각의 대역폭은 2MHz이고, 각 채널과 채널 사이에는 3MHz의 Guard Band가 존재한다. ISM Band 내에는 11번 채널부터 26번 채널까지 총 16개의 지그비 채널이 존재한다.

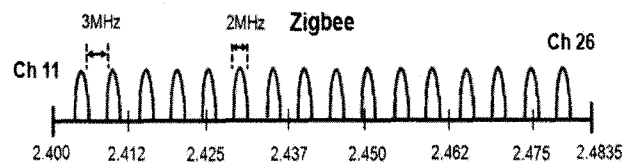


그림 3. ISM-Band에서의 지그비의 채널
Fig. 3. Channels of Zigbee in ISM-Band.

3) ISM-Band에서의 무선랜과 지그비

그림 4는 ISM-Band에서의 지그비와 무선랜의 채널을 나타낸 것이다. 붉은 실선은 무선랜의 채널을 표시한 것이고 가는 실선은 지그비의 채널을 표시한 것이다. 무선랜 채널은 어느 채널에서든지 지그비 채널 4개를 포함하고 있는 것이 특징이다. 우리나라에서의 무선랜 채널은 1번부터 13번까지 사용할 수 있도록 할당됐지만 사용되고 있는 무선랜(IEEE 802.11b) 칩셋의 대부분이 미국 제품이기 때문에 미국의 무선랜 채널에 해당하는 1번부터 11번까지만 지원하므로 우리나라에서 무선랜의 12, 13번 채널은 사용할 수 없게 된다. 이 경우에는 지그비 채널 25, 26번을 포함하고 있는 무선랜 채널

은 없게 되고, 따라서 지그비 채널 25, 26번에는 무선랜 신호에 의한 간섭은 없다고 생각할 수 있다.

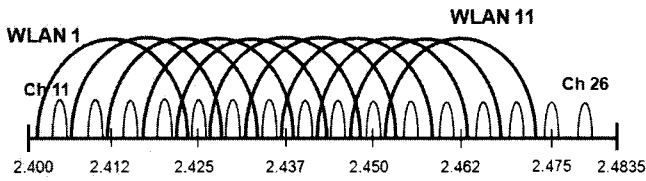


그림 4. ISM-Band에서의 지그비와 무선랜의 채널
Fig 4. Channels of Zigbee and WLAN in ISM-Band

IV. 채널 선택 알고리즘

ISM-Band에서의 기존의 지그비 채널 선택 알고리즘은 지그비의 11번 채널부터 26번 채널까지 순서대로 에너지를 검출한 후에 서로 비교하여 가장 낮은 값을 갖는 채널을 선택하게 된다. 이 방법은 어떠한 경우에도 모든 지그비 채널을 검색해야 하므로 효율적이지 못하다. 따라서 본 논문에서는 간섭신호 중 가장 영향이 큰 무선랜의 채널 사용 특성을 활용하여 보다 효율적으로 지그비의 채널을 선택할 수 있는 기법을 제안하고자 한다 [5].

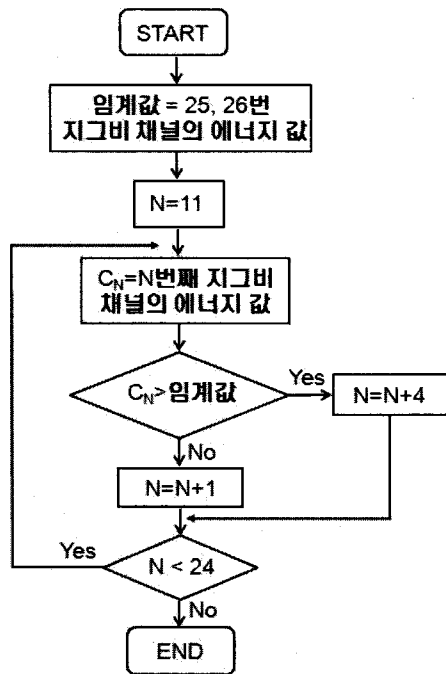


그림 5. 제안하는 채널 선택 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig 5. Block diagram of the Proposed Channel Selection Algorithm

본 논문에서 고려하는 잡음은 모든 주파수 대역에서 같은 크기의 전력밀도를 가지는 AWGN이며, 간섭 요인은 앞서 기술한 바와 같이 1번-11번 채널을 사용하는 무선랜이다. 결국, 지그비의 25번, 26번 채널에는 잡음만이 존재하며 이 잡음은 지그비의 모든 채널에 걸쳐 같은 값의 전력 및 에너지를 가진다. 본 논문에서 제안하는 채널 선택 알고리즘은 지그비의 25번, 26번 채널에서 에너지를 검출하는 것으로부터 시작된다. 이 채널에는 무선랜 신호에 의한 간섭이 존재

하지 않고 잡음만이 존재하므로 이 과정을 통해 전체 지그비 채널 내의 잡음 에너지 값을 구하게 된다. 이 값은 각 지그비 채널 내의 간섭 신호 존재 유무를 판단할 수 있는 임계값으로 사용될 수 있다. 각 지그비 채널에서 측정된 에너지 값이 임계값과 비교하여 임계값보다 크면 해당 지그비 채널에는 무선랜 신호에 의한 간섭이 존재한다고 판단할 수 있고 임계값과 같으면 잡음만 존재한다고 판단할 수 있다.

그림 5는 본 논문에서 제안하는 채널 선택 알고리즘의 블록 다이어그램이다. 먼저 지그비 채널 25번과 26번 내의 에너지를 검출한 후에 두 값의 평균을 임계값으로 잡는다. 그리고 지그비 채널 11번부터 차례대로 에너지를 검출하기 시작한다. 11번의 에너지 값은 임계값과의 비교 과정을 통해 무선랜 채널 1번이 사용된다고 판단 되면 무선랜 채널 1개에는 지그비 채널 4개가 포함되므로 지그비 채널 12번부터 15번까지는 에너지를 검출하는 과정을 수행할 필요가 없게 되므로 지그비 채널 4개를 건너 뛰고 지그비 16번 채널에 대해서 다시 에너지를 검출한 값과 임계값을 비교하는 과정을 수행한다. 이후 채널에 대한 에너지 검출 과정은 이와 동일하다.

한편, 지그비 채널 내에 간섭 신호가 존재하더라도 지그비 통신에 의한 BER 값이 10^{-5} 이하인 경우에는 채널 내에 간섭이 없는 것으로 간주할 수 있다 [4]. 지그비의 BER 성능 곡선에 의하면, 10^{-5} 의 BER을 얻기 위해 필요한 SINR 값은 약 1dB이다 [4]. 이는

$$1 [dB] = 10 \log_{10} \frac{S}{N + I_w} \quad (1)$$

S : 지그비 신호의 전력

N : 잡음의 전력

I_w : 간섭 신호의 전력

와 같은 관계로 표현되며 이는 다시

$$I_w = \frac{S}{10^{0.1}} - N \quad (2)$$

와 같이 정리될 수 있다. 즉, 무선랜에 의한 간섭 중 그 영향이 미미하다고 판단되는 경우의 간섭 신호 전력은 식 (2)에 주어진 값보다 작다고 할 수 있다. 따라서 앞서 정의한 잡음 전력만으로 구해지는 임계값 대신 잡음 전력과 식 (2)에서 구한 간섭 신호 전력의 합, 즉 $N + I_w$ 를 새로운 임계값으로 정의할 수 있으며 이는 보다 실제적 상황에 적합하다 할 수 있다.

기존의 채널 선택 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 채널 선택 알고리즘을 비교하면 그 결과는 다음과 같다. 기존의 방법에 의한 에너지 검출의 횟수는 지그비 채널의 갯수 만큼인 16번이다. 반면, 제안하고자 하는 기법의 에너지 검출 횟수는 이보다 작다. 무선랜 채널이 1개 존재할 시, 각각의 무선랜 채널은 모두 존재할 수 있으므로 이 때 지그비의 채널의 에너지 검출 횟수는 12번이다. 예를 들어, 무선랜 1번 채널이 있을 때 지그비 11번 채널을 에너지 검출한 후에 임계값과 비교를 했을 때 임계값보다는 크게 되므로 지그비 채널

12번부터 15번까지는 에너지 검출을 할 필요가 없다. 즉, 11번 채널에서 4개 채널을 건너뛰어서 에너지를 검출하게 되는 지그비의 다음 채널 번호는 16번이 되므로 지그비 채널의 에너지를 검출하는 횟수는 12번이 된다. 무선랜 채널이 2개 존재할 때 역시 무선랜 채널이 1개 있을 때와 같은 방법을 사용하므로 지그비의 채널에 대해서 에너지를 검출하는 횟수는 8번이 된다. 마지막으로 무선랜 채널이 3개 존재할 시는 채널 번호가 1, 6, 11번일 경우밖에 없으므로 이때에 대해서 지그비 채널의 에너지 검출 횟수는 5번이다. 그러므로 기존에 정의된 채널 선택 알고리즘의 에너지 검출 횟수는 총 16번이지만 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의하면 평균적으로 약 9.2번 정도로 기존 방법에 비해 약 7번 정도 에너지 검출 횟수를 줄임으로써 PAN 구성 시 채널 설정을 위해 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

표 2. 기존의 방법과 제안하고자 방법의 에너지 검출 과정의 평균적인 횟수 비교

Table 2. Comparison of the average number of energy detection processes between conventional method and the proposed method

	Average	Variance
기존의 방법	16	.
제안하는 방법	9.2	4.1

V. 결론

본 논문에서는 WPAN 기술 중의 하나인 지그비에 대해서 간략하게 특징을 살펴보고, 지그비가 PAN 구성 시 채널 설정에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있는 채널 선택 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 무선랜 신호의 간섭만이 존재할 경우 기존의 채널 설정 방법에 비해 약 44%의 시간 절약 효과를 가져올 수 있다.

ISM-Band에서 지그비 통신에 대한 간섭은 무선랜에 의한 것이 제일 크지만 무선랜 뿐만 아니라 블루투스나 다른 지그비 신호도 간섭으로 작용하므로 블루투스와 다른 지그비 신호에 의한 간섭까지도 고려한 효율적인 채널 설정 방법의 개발이 필요하다.



류 제 원

2007 : 중앙대학교 전자전기공학부 학사
 2007~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
 관심분야 : 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리

참고문헌

- [1] D. G. Yoon, S. Y. Shin, and W. H. Kwon, "Packet Error Rate Analysis of IEEE 802.11b under IEEE 802.15.4 Interference" *IEEE VTC*, vol 3, pp. 1186-1190, May, 2006.
- [2] S. Y. Shin, S. Choi, H. S. Park, and W. H. Kwon, "Packet Error Rate Analysis of IEEE 802.15.4 under IEEE 802.11b Interference," in *Proc. Wired/Wireless Internet Communication*. pp. 279-288, May 2005.
- [3] S. Y. Shin, H. S. Park and W. H. Kwon, "Packet Error Rate Analysis of Zigbee under WLAN and Bluetooth Interferences" *IEEE Transaction on Wireless Communications*, vol 6, pp. 2825-2830, August 2007.
- [4] IEEE Std. 802-15.4, "IEEE Standard for Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(LR-WPANs)," 2006
- [5] A. Sikora, "Coexistence of IEEE 802.15.4(Zigbee) with IEEE 802.11(WLAN), Bluetooth, and Microwave Ovens in 2.4GHz ISM-Band," web document, <http://www.ba-loerrach.de/stzedn/>, 2004
- [6] IEEE Std. 802-11, "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999
- [7] IEEE Std. 802-11b, "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications," 1999



최 영 완

1985 : 서강대학교 전자공학과 학사
 1987 : 버팔로 뉴욕주립대 전기 및 컴퓨터공학과 석사
 1992 : 버팔로 뉴욕주립대 전기 및 컴퓨터공학과 박사
 1992~1995 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 1995~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수
 관심분야 : Microwave-Photonics, Optical Interconnection, 광스위칭 시스템 및 소자



권 영 빈

1978 : 아주대학교 전자공학과 학사
1981 : 한국과학기술원 석사
1986 : 프랑스 파리 ENST 박사
1995~현재 : 국제 패턴인식 학회(IAPR) 이사

2003~2006 : 중앙대학교 정보통신연구원장, 정보대학원장, 전산정보처장, 전산원장
1986~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 패턴인식, 생체인식, RFID 국제표준화



박 재 화

1989 : 한양대학교 전자공학과 학사
1991 : 한양대학교 전자공학과 석사
2000 : Electrical Engineering, State Univ. of New York at Buffalo (Ph.D.)

1995~2000 : Research Scientist CEDAR SUNY at Buffalo
2001~2003 : Software Engineer Motorola Inc.
2003~현재 : 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 패턴인식, 휴먼인터페이스 등



박 호 현

1987 : 서울대학교 계산통계학과 석사
1995 : 한국과학기술원 컴퓨터공학과 석사
2001 : 한국과학기술원 전산학과 박사
1987~2003 : 삼성전자 수석연구원

2003~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수
관심분야 : 멀티미디어 스트리밍, 멀티미디어 정보검색, 시공간 데이터베이스, USN



이 정 우

1994 : 서울대학교 전기공학과 학사
1996 : 서울대학교 전기공학과 석사
2003 : University of Illinois at Urbana-Champaign, Ph.D. in Electrical Engineering
2003~2004 : University of Illinois at Urbana-Champaign, Research Associate

2004~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수
관심분야 : 통신시스템, 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리