

# ISM-Band의 무선랜 간섭을 고려한 지그비의 효율적 채널선택기법

論 文
8-1-4

## An Efficient Channel Selection Algorithm of Zigbee Considering the Interference of WLAN in ISM Band

류 제 원\*, 이 정 우\*\*  
(Je Won Ryu, Jeong Woo Lee)

### 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 two types of WLAN channel uses as the a priori information of IEEE 802.11 band IEEE 802.11g. By using the proposed algorithm, we may save the time required to select channels for the ZigBee communications.

**Keywords:** ZigBee, ISM Band, interference, WLAN, IEEE 802.11b/g, channel selection.

### 1. 서 론

IEEE 802.15.4를 기반으로 하고 있는 지그비는 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 중의 하나로서 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 WPAN의 다른 무선 기술들로서는 블루투스, UWB 등이 있다. 이 중에서 가장 크게 각광을 받았던 블루투스는 1994년 에릭슨이 개발한 근거리 무선통신방식으로서 음성지원이 가능하다는 점에서 핸드프리나 무선 핸드폰 같이 음성을 필요로 하는 곳에 적용될 수 있는 있다. 주로 군

사용으로 사용되었던 UWB(Ultra WideBand)는 다른 WPAN기술 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-Band는 누구나 사용할 수 있는 공용 주파수이기 때문에 다른 무선 통신 기술의 신호와 상호 간섭 문제가 발생한다. 이런 간섭 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되었다[1-3]. 또한, ISM-Band를 사용하는 지그비, 무선랜, 블루투스의 실제 제품을 이용하여 각각의 네트워크를 구성하고 지그비와 무선랜이 근거리에 존재할 때, 지그비와 블루투스가 근거리에 존재할 때에 대해서 시뮬레이션 한 결과, 같은 채널을 사용하는 간섭 상황을 고려할 때 블루투스에 의한 간섭이 지그비 통신에 미치는 영향보다는 무선랜에 의한 간섭이 지그비 통신에 미치는 영향이 훨씬 큰 것

접수일자 : 2009년 2월 20일  
최종완료 : 2009년 3월 22일  
\*중앙대학교 대학원  
\*\*중앙대학교 전자전기공학부  
교신저자, e-mail : jwlee2@cau.ac.kr

표 1. IEEE 802.15.4의 주파수 대역의 특징  
Table 1. Characteristics of frequency band of IEEE 802.15.4

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

으로 알 수 있다[4]. 이러한 해결책들과 실험들은 무선 통신 기술 사이의 거리를 변화시키거나 무선 통신 기술들의 채널의 중심주파수 차이를 변화시키면서 간섭의 영향을 없다고 생각하는 거리와 주파수를 찾는 것으로 간섭의 영향을 해결하였다. 그러나 지그비의 경우에는 IEEE 802.15.4에서 정의하고 있는 지그비의 채널 선택 알고리즘이 지그비의 Coordinator와 End Device들 사이에 PAN (Personal Area Network)을 구성하기 전에 지그비의 채널 모두에 대하여 에너지를 검출한 후에 채널을 선택하는 과정을 거치므로 지그비 채널에 간섭이 존재하더라도 지그비 모든 채널에 대해서 에너지를 검출하는 과정을 거치므로 비효율적이다.

본 논문의 II절에서는 지그비가 기반으로 하고 있는 IEEE 802.15.4에 대해서 간단하게 특성을 살펴보고 III절에서는 제안하고자 하는 채널 선택 알고리즘의 주파수 밴드인 ISM-Band에 대해서 설명하고 IV절에서는 제안하고자 하는 채널 선택 알고리즘을 설명하고 성능의 향상에 대해 논의할 것이다.

## II. IEEE 802.15.4의 특성

### 1. IEEE 802.15.4의 구조

아래의 그림과 같이 IEEE 802.15.4의 슈퍼 프레임은 beacon frame, Active period, Inactive

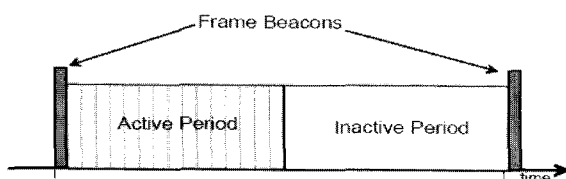


그림 1. IEEE 802.15.4의 구조  
Fig 1. The structure of IEEE 802.15.4

period의 세 부분으로 이루어져 있다. Inactive period에서는 절전모드로 동작하게 되어 저전력 소모를 가능케 한다[5]. Active Period는 다시 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)로 구성되어 있고 CAP에서 IEEE 802.15.4의 데이터들은 CSMA-CA 알고리즘을 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.

### 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 전송 속도를 가진다. 위의 특성들은 왼쪽 아래의 표와 같다.

### III. ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역

지그비가 사용하는 주파수 대역 중의 하나인 2.4GHz대역인 ISM-Band는 지그비만 사용할 수 있도록 할당된 대역이 아니기 때문에 다른 무선 통신의 신호도 ISM-Band의 주파수를 점유할 수 있다. 이러한 다른 무선 통신의 신호는 지그비에 대해서 간섭의 원인이 되는데 이러한 간섭의 원인 중의 대표적인 것은 무선랜과 블루투스이다. 무선랜은 ISM-Band에서 지그비 통신뿐만 아니라 ISM-Band를 사용하는 다른 무선 통신에 대해서도 간섭의 영향을 가장 크게 미치는 것으로 알려져 있다[4].

#### 1. 무선랜의 특성

IEEE 802.11b의 무선랜의 경우에는 나라에 따라 사용할 수 있도록 규정해 놓은 주파수 대역은 자국 주파수의 규정에 따라서 조금씩 다르다. 미국은 2.401GHz~2.473GHz까지를 무선랜 주파수 대역으로 사용하고 11개의 채널을 할당하였고 유럽이나 우리나라는 2.401GHz~2.483GHz까지를 무선랜의 주파수 대역으로 사용하고 13개의 채널을 할당하였다. 무선랜의 각 채널의 Bandwidth는 22MHz이고 채널들은 서로 5MHz씩 겹쳐서 주파수 대역을 점유 하고 있다[6,7].

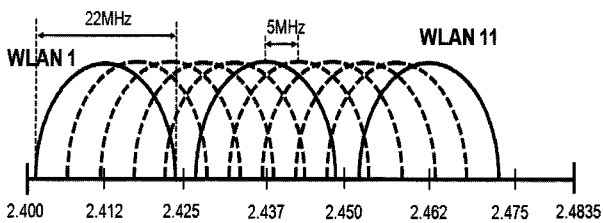


그림 2. ISM-Band에서의 IEEE 802.11b 무선랜의 채널  
Fig 2. Channels of IEEE 802.11b WLAN in ISM-Band

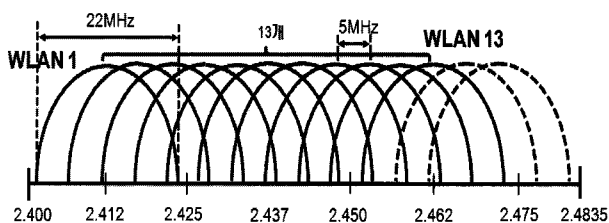


그림 3. ISM-Band에서의 IEEE 802.11g 무선랜의 채널  
Fig 3. Channels of IEEE 802.11g WLAN in ISM-Band

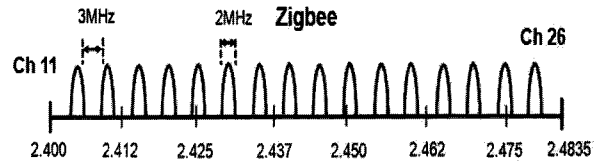


그림 4. ISM-Band에서의 지그비의 채널  
Fig 4. Channels of Zigbee in ISM-Band

그러나 IEEE 802.11g의 무선랜의 경우 나라에 상관없이 2.401GHz~2.483GHz까지 무선랜 주파수 대역으로 사용하고 13개의 채널을 할당하였다.

무선랜의 채널은 5개의 채널씩 서로 중첩되어 있는데 IEEE 802.11b의 경우에는 이 5개의 채널 중 어떤 하나의 채널을 사용할 경우에는 사용하는 채널과 중첩되어 있는 나머지 채널들은 사용할 수 없고 그 외의 채널만 사용할 수 있다. 그러나 IEEE 802.11g의 무선랜의 경우에는 13개의 무선랜 채널들 중에서 중첩과는 상관없이 자유롭게 사용할 수 있는 점이 특징이다. 그림 2에서의 실선은 IEEE 802.11b 무선랜의 1, 6, 11번을 나타내며 가장 최적화된 채널 분포이다. 그림 3에서의 점선은 IEEE 802.11b의 무선랜과는 다르게 IEEE 802.11g의 무선랜에서 사용할 수 있는 무선랜의 12, 13번 채널을 나타낸다.

#### 2. 지그비의 특성

그림 4은 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.

#### 3. ISM-Band에서의 무선랜과 지그비

그림 5는 ISM-Band에서의 지그비와 무선랜의 채널을 나타낸 것이다. 굵은 실선은 무선랜의 채널

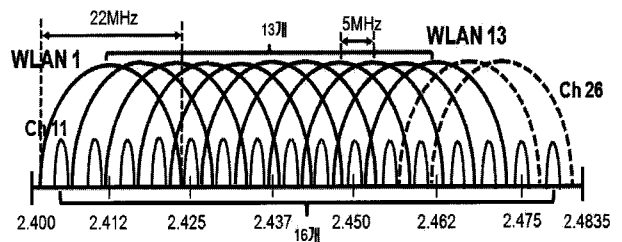


그림 5. ISM-Band에서의 지그비와 무선랜의 채널  
Fig 5. Channels of Zigbee and WLAN in ISM-Band

널을 표시한 것이고 가는 실선은 지그비의 채널을 표시한 것이다. 무선랜 채널은 어느 채널에서든지 지그비 채널 4개를 포함하고 있는 것이 특징이다. 우리나라에서의 무선랜 채널은 IEEE 802.11b나 IEEE 802.11g의 종류에 상관없이 1번부터 13번까지 사용할 수 있도록 할당되었다.

#### 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 ISM-Band를 사용하는 무선통신 중에서 가장 영향이 큰 무선랜의 채널 사용 특성을 활용하여 보다 효율적으로 지그비의 채널을 선택할 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

본 논문에서 고려하는 잡음은 모든 주파수 대역에서 같은 크기의 전력밀도를 가지는 AWGN이며, 간섭 요인은 앞서 기술한 바와 같이 1번-11번 채널을 사용하는 IEEE 802.11b의 무선랜과 1번-13번 채널을 사용하는 IEEE 802.11g의 무선랜이다.

AWGN의 잡음을 고려하고 있으므로 ISM-Band 뿐만 아니라 ISM-Band 이전 대역인 와이브로가 사용되는 2.3GHz 대역 또한 같은 값의 전력 및 에너지를 가진다. 2.3GHz 대역과 2.4GHz의 대역인 ISM-Band 사이에는 10MHz의 보호 대역이 있으므로 이 보호대역 중에서 지그비 대역폭과 같은 2MHz에 해당하는 대역을 정하고 이 대역에서 측정된 에너지 값을 임계값으로 사용한다.

본 논문에서 제안하는 채널 선택 알고리즘은 10MHz의 보호대역 에너지를 검출하는 것으로부터 시작된다. 이 채널에 잡음만이 존재하므로 이 과정을 통해 전체 지그비 채널 내의 잡음 에너지 값을 구하게 된다. 이 값을 각 지그비 채널 내의 간섭 신호 존재 여부를 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 6는 본 논문에서 제안하는 채널 선택 알고리즘의 블록 다이어그램이다. 먼저, 10MHz의 보호대역에서 지그비 채널의 대역폭과 같은 2MHz에 해당하는 대역에서 에너지를 검출한 후에 이를 임계값으로 잡는다. 그리고 지그비 채널 11번부터 차례대로 에너지를 검출하기 시작한다. 11번의 에너지 값은 임계값과의 비교 과정을 통해 무선랜 채널 1번이 사용된다고 판단되면 무선랜 채널 1개에는 지그비 채널 4개가 포함되므로 지그비 채널 12번부터 15번까지는 에너지를 검출하는 과정을 수행할 필요가 없으므로 지그비 채널 4개를 건너뛰고 지그비 16번 채널에 대해서 다시 에너지를 검출한 값과 임계값을 비교하는 과정을 수행한다. 그러나 지그비 11번 채널의 에너지 값이 임계값보다 크지 않게 되는 경우에는 지그비 11번 채널을 포함하는 무선랜 채널이 사용되지 않는 경우이므로 지그비 12번 채널에 대해서 검출한 에너지 값과 다시 임계값과 비교한다. 이후 지그비 채널에 대해서 무선랜 간섭을 판단하는 과정은 위와 동일하다.

한편, 지그비 채널 내에 간섭 신호가 존재하더라도 지그비 통신에 의한 BER 값이 10<sup>-5</sup>이하인 경우에는 채널 내에 간섭이 없는 것으로 간주할

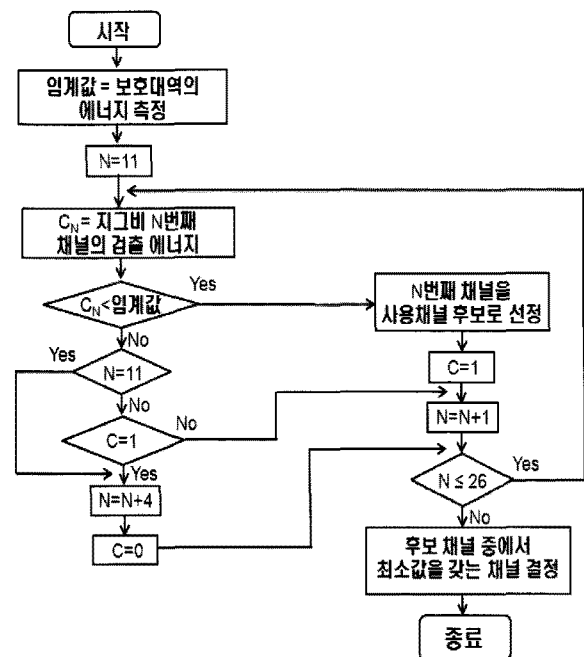


그림 6. 제안하는 채널선택 알고리즘의 블록 다이어그램  
Fig 6. Block diagram of the proposed channel selection algorithm

수 있다[5]. 지그비의 BER성능 곡선에 의하면, 10-5의 BER을 얻기 위해 필요한 SINR값은 약 1dB이다[5].

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 정의 할 수 있으며 이는 잡음의 에너지값만을 임계값으로 정의 하는 방법보다 실제적 상황에 더 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, IEEE 802.11b의 무선랜 또는 IEEE 802.11g의 무선랜의 간섭이 있을 때 제안하고자 하는 기법의 에너지 검출 횟수는 이보다 작다. 먼저, IEEE 802.11b의 무선랜의 경우에는 무선랜 채널이 1개 존재할 시, 각각의 무선랜 채널은 모두 존재 할 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. 무선랜 채널이 3개 존재할 시는 채널 번호가 1, 6, 11번일 경우밖에 없으므로

IEEE 802.11b의 무선랜인 경우에는 최대 무선랜 채널 3개를 사용할 수 있고, 이 경우 지그비 채널의 에너지 검출 횟수는 5번이다. 그러므로 기존에 정의된 채널 선택 알고리즘의 에너지 검출 횟수는 총 16번이지만 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의하면 평균적으로 약 10.15번 정도로 기존 방법에 비해 약 5.85번 정도 에너지 검출 횟수를 줄일 수 있다. IEEE 802.11g의 경우에는 무선랜 채널이 1개 존재할 시, IEEE 802.11b의 과정과 같지만 무선랜 채널이 2개 이상 존재할 시에는 다르게 된다. 무선랜 채널이 2개 존재할 시에는 무선랜 채널 1, 2번 또는 1, 3번 등과 같이 서로 중첩되어서 사용될 수 있으므로 무선랜 채널의 개수인 13개만큼 최대로 사용될 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의하면 평균적으로 약 12.34번 정도로 기존방법에 비해 약 3.66번 정도 에너지 검출 횟수를 줄임으로써 PAN 구성 시 채널 설정을 위해 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

## V. 결 론

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 IEEE 802.11b의 무선랜인 경우에는 약 36.5%, IEEE 802.11g의 무선랜인 경우에는 22.9%의 시간 절약 효과를 가져 올 수 있다.

ISM-Band에서 지그비 통신에 대한 간섭은 IEEE 802.11b의 무선랜에 뿐만 아니라 IEEE 802.11g의 무선랜까지도 적용시킬 수 있는 방법으로서 무선랜이 제일 크지만 무선랜 뿐만 아니라 블루투스나 다른 지그비 신호도 간섭으로 작용하므로 블루투스와 다른 지그비 신호에 의한 간섭

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 and proposed method

	기존의 방법	제안하는 방법 (IEEE 802.11b)	제안하는 방법 (IEEE 802.11g)
Average	16번	10.15번	12.34번

까지도 고려한 효율적인 채널 설정 방법의 개발이 필요하다. 또한, 모든 주파수 대역에서 같은 전력밀도를 갖는 AWGN의 잡음만을 고려하여 이 값을 임계값으로 설정했지만 실제적인 환경에서는 잡음이 달라지므로 이에 대하여 새로운 임계값 설정방법이 필요하다.

**감사의 글**

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구 결과입니다.

**[ 참고 문헌 ]**

[1] D. G. Yoon, S. Y. Shin, W. H. Kwon, and H. S. Park, "Packet error rate analysis of IEEE 802.11b under IEEE 802.15.4 interference," *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 1186-1190, 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," *Proceedings of the Wired/Wireless Internet Communication*, pp. 279- 288, 2005.  
 [3] S. Y. Shin, H. S. Park, S. Choi, and W. H. Kwon, "Packet error rate analysis of Zigbee under WLAN and Bluetooth interferences," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 6, no. 8, pp. 2825-2830, 2007.  
 [4] A. Sikora, "Coexistence of IEEE 802.15.4 (Zigbee) with IEEE 802.11 (WLAN), Bluetooth, and microwave ovens in 2.4GHz ISM-Band," <http://www.ba-loerrach.de/stzedn/>, 2004.  
 [5] 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)*, IEEE, 2006.  
 [6] IEEE Std. 802-11, *IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE, 1999.  
 [7] IEEE Std. 802-11b, *IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE, 1999.

**Biography**



**류 제 원(Je Won Ryu)**  
 2007년 중앙대학교 전자전기공학부(공학사).  
 2007년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정.  
 <관심분야> 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리.

<e-mail> sskftl1@hotmail.com



**이 정 우(Jeong Woo Lee)**  
 1994년 서울대학교 전기공학과(공학사).  
 1996년 서울대학교 전기공학과(공학석사).  
 2003년 University of Illinois at Urbana-Champaign, Ph.D. in Electrical Engineering.

2003년~2004년 : University of Illinois at Urbana-Champaign, Research Associate.

2004년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수.

<관심분야> 통신시스템, 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리.

<e-mail> jwlee2@cau.ac.kr