

ZigBee 무선 네트워크 기술을 이용한 산업용 장비 제어 및 관리 시스템의 신뢰성 향상

Reliability Improvement of the Industrial Equipment Control and Management System Using ZigBee Wireless Network Technology

김우진*, 강철규*, 오창현*

Woo-Jin Kim*, Chul-Gyu Kang* and Chang-Heon Oh*

요 약

본 연구에서는 무선 자동화 시스템 구현을 위해 저비용, 저전력, 높은 지연시간에 대해 우수한 대처 능력을 갖는 지그비(zigbee) 무선 네트워크 기술을 이용한 산업용 장비 제어 및 관리 시스템의 데이터 전송 신뢰성 향상방안에 대해 연구하였다. 전송 신뢰성 향상 방안으로 부호화율 $R=1/2$, 구속장 $K=5$, 생성 다항식의 계수 $g_1=(10111)$, $g_2=(10011)$ 인 컨볼루션 코드를 사용하였다. LOS 환경에서의 실험을 통해 시스템 간의 거리 증가에 따른 오류 성능을 예측할 수 있었고 전송 모드에 따른 PER 성능 분석으로부터 컨볼루션 코드를 사용할 경우 기존 시스템보다 약 5배의 신뢰성이 향상됨을 보였다. 이러한 결과들을 통해 무선 자동화 시스템의 데이터 전송에서 데이터의 신뢰성 보장을 위해서는 컨볼루션 코드가 적합함을 증명하였다.

Abstract

Zigbee wireless communication technology has features which are low cost, low power and coping ability against a high delay time when the automatic wireless system is manufactured. Therefore, in this paper, we research a method improving the data transmission reliability of the industrial equipment control and management system using zigbee wireless communication technology. we used a convolutional code with code rate $R=1/2$, constraint $K=5$ and generation polynomial constant $g_1=(10111)$ and $g_2=(10011)$ as a reliability method. From the transmission simulation at LOS environment, we are able to predict the transmission error performance according to the distance difference. Furthermore, At the PER performance analysis, we can get the result that this system reliability with convolutional code is improved about 5 times than the existing system. From these results, we can prove that the convolutional code is the solution to improve the system reliability of the industrial equipment control and management system using zigbee wireless communication technology.

Key words : Sensor Network, ZigBee, Channel Code, Wireless Lan

* 한국기술교육대학교(School of Electrical and Electronic Engineering, Korea University of Technology and Education)

· 교신저자(Corresponding Author) : 오창현

· 투고일자 : 2009년 8월 10일

· 심사(수정)일자 : 2009년 8월 11일 (수정일자 : 2009년 10월 16일)

· 게재일자 : 2009년 10월 30일

I. 서 론

무선 자동화 시스템은 생산 공장 시스템의 디바이스 레벨에서 사용되는 적절한 무선 제어 및 관리 시스템을 말한다. 현재 국내외 주요 생산 현장에서 자동화 시스템이 구축되어 활발히 응용되고 있지만, 대부분 유선 통신망을 기반으로 한 시스템이다. 따라서 생산 설비 기기 및 검사 장비의 교체 시 많은 시간적, 경제적 비용이 발생된다[1]. 이러한 이유로 산업용 무선 자동화 기술의 필요성이 대두되고 있으며, 실제 Rockwell, 지멘스, ABB 등의 다국적 기업과 해외의 산업용 무선통신 기술 개발업체들이 경쟁적으로 개발 중에 있다.

현재 무선 자동화 기술을 위해 적용되고 있는 무선통신 기술로는 IEEE 802.11, zigbee, 그리고 블루투스과 같은 표준이 있다. 블루투스는 대부분의 나라에서 사용 가능한 비 허가 주파수 대역인 ISM (industrial scientific medical) 2.4 GHz~2.4835 GHz를 사용하며, ISM 밴드를 사용하는 다른 무선통신 장비와의 간섭을 피하기 위해 FHSS(FHSS: frequency hopping spread spectrum)을 사용하는 무선 인터페이스이다. IEEE 802.11 표준은 유선 이더넷 네트워크의 무선 부분에 상응하는 것으로 현재 무선 LAN(WLAN)의 실제적인 표준이다. 사용 주파수 대역은 IEEE 802.11b, g는 2.4 GHz 대역을, 802.11a는 5 GHz 대역을 사용하고 802.11a와 802.11g는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)변조 방식을 사용하며, 최대 54 Mbps까지 전송이 가능하다. Zigbee는 무선센서와 제어장치의 특수한 요구사항을 충족하기 위한 저비용, 저전력 무선통신 기술로 PHY와 MAC에서 IEEE 802.15.4를 사용하는 프로토콜이다. 이 프로토콜은 블루투스나 무선랜과 대조적으로 zigbee의 네트워크에 소속된 디바이스들과 빈번한 통신을 하지 않고 적은 양의 데이터를 비교적 긴 시간을 두고 전송하는 특징이 있다. 또한 블루투스의 장점인 낮은 전력 레벨을 사용하고, 패킷 심볼 전송 비율을 매우(최대62.5 Ksymbols/s) 낮추어 산업 공장에서 발생할 수 있는 지연시간에 대처할 수 있도록 설계되어 있다[2]-[5].

앞에서 기술한 후보 기술들의 특징들을 비교해 볼 때 전송 데이터 량이 많지 않고 많은 지연 시간을 갖

는 무선 자동화 시스템에 가장 적합한 기술은 zigbee 라고 할 수 있다. 그러나 zigbee는 다른 두 시스템에 비해 전송된 데이터의 무결성을 보장하는 특별한 메커니즘이 없다. 따라서, 본 연구에서는 저비용, 저전력, 높은 지연시간에 대한 우수한 대처 능력 등의 특징을 갖는 zigbee 시스템의 데이터 전송 시 보다 높은 신뢰성을 보장하는 방법에 대해 제안한다.

II. 산업용 무선장비 제어 시스템

2-1 시스템의 PHY 프레임 포맷

Zigbee 기반 시스템의 PHY 프레임 포맷은 그림 1과 같이 동기헤더(synchronization header), PHY헤더, PHY 서비스 데이터 유닛(PPDU)로 구성되어 있다. 동기 헤더는 PHY 계층의 송신 측과 수신 측의 동기를 맞추기 위해 사용되는데 동기 헤더의 32비트 중 8 비트는 패킷의 시작점을 알리는 비트로 사용되고 PHY 헤더 7비트는 PPDU의 패킷 크기를 나타낸다. 7비트 이기 때문에 0~127 바이트의 Payload 길이를 나타낼 수 있다.

Octets: 4	1	1	Variable
Preamble	SFD	Frame length (7bits)	Reserved (1bits)
SHR (Synchronization Header)	PHR (Physical Header)		PHY payload

그림 1. 산업용 무선장비 시스템의 PHY 프레임
Fig. 1. PHY frame of the industrial wireless equipment system.

PPDU(physical protocol data unit)의 데이터 비트들의 변조 과정은 그림 2와 같다.

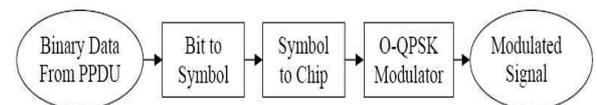


그림 2. PPDU의 데이터 비트 변조과정
Fig. 2. Data bit modulation process of PPDU.

PPDU의 4비트 데이터 비트들은 표 1의 32비트로 구성된 16개의 PN(pseudo-random) 시퀀스 중 하나를 선택하여 확산되고 연속되는 데이터에 따른 PN 시퀀

스들을 붙인다. 이렇게 모아진 칩 시퀀스들은 O-QPSK로 변조된다. 따라서 250 Kbps의 데이터 전송속도를 갖는 데이터들은 4비트 단위로 16개의 PN 시퀀스 중 하나의 시퀀스로 확산되기 때문에 확산되기 전의 심볼 전송률은 62.5 Ksps 이고 확산된 후의 데이터의 전송 속도는 2.0 Mcps이다.

표 1. PN 시퀀스
Table 1. PN sequence.

Data	Data symbol	Chip values c0, c1, c30, c31
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	0001	11101101100111000011010100100010
2	0010	00101110110110011100001101010010
3	0011	00100010111011011001110000110101
4	0100	01010010001011101101100111000011
5	0101	00110101001000101110110110011100
6	0110	11000011010100100010111011011001
7	0111	10011100001101010010001011101101
8	1000	10001100100101100000011101111011
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	1010	01111011100011001001011000000111
11	1011	01110111101110001100100101100000
12	1100	00000111011110111000110010010110
13	1101	01100000011101111011100011001001
14	1110	10010110000001110111101110001100
15	1111	11001001011000000111011110111000

산업용 무선장비 시스템의 PHY 계층은 MAC 계층을 위한 데이터 서비스와 관리서비스를 지원한다. 관리시스템의 PHY 참조 모델은 그림 3과 같다[6].

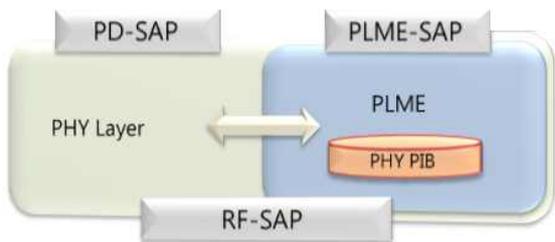


그림 3. 산업용 무선장비 시스템의 PHY 참조모델
Fig. 3. PHY reference model of the industrial wireless equipment system.

2-2 장비에서 생성되는 데이터

본 시스템에서 사용되는 어플리케이션 레이어로부터의 데이터 구조는 표 2의 id필드와 같다. 데이터의 시작점을 알리는 고정 데이터인 signature를 시작으로 데이터를 보낸 장치의 고유 id인 source, 데이터를 받는 장치의 id인 destination과 data 부분의 전체 길이를 알려주는 length, 현재 데이터의 형식을 알려주는 type과 실제 장비에서 전송되는 data로 구성되어 있다. 표 2는 각 데이터 필드의 역할 및 값에 대하여 자세히 기술하고 있다.

표 2. 데이터 필드의 역할
Table 2. role of the data field.

Identity	Size (bytes)	Description
Signature	4	시작점을 알리는 고유ID(고정 값) 값 : 0xCAFEF00D
Source	4	값을 보낸 장치의 고유ID 값 : 각 장치의 고유 ID
Destination	4	값을 받을 장치의 고유ID 값 : 서버 장치의 고유 ID 값이 0이면 Broadcast
Length	4	Data 필드 값의 크기
Type	1	0x01 : Command Request 0x81 : Command Response 0x02 : Status Request 0x82 : Status Response 0x03 : Zone Request 0x83 : Zone Response 0x04 : Probe Request 0x84 : Probe Response
Data	n	장비에서 생성되는 데이터 Status Request, Probe Request 데이터 없음 Length : 0

III. 신뢰성 향상을 위한 시스템 구조

3-1 시스템 구성

이 절에서는 산업용 무선장비 시스템의 데이터 전송에 있어 신뢰성을 보장하기 위한 시스템의 구조에 대해 설명한다. 제안한 시스템의 기본 구성도는 그림 4와 같다. 클라이언트는 각각의 센서에서 센싱된 정보들을 수집 및 통합하고 이 통합된 정보들을 엔코더를 이용하여 인코딩 한 후 서버로 전송 한다. 서버는 클라이언트에서 전송한 부호화된 데이터를 수신하여 이 데이터들을 디코더를 이용하여 원래의 데이터로 복원한다.

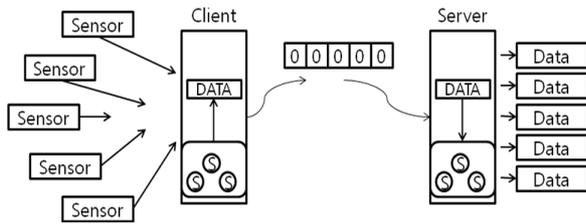


그림 4. 신뢰성있는 전송을 위한 시스템의 구성도
 Fig. 4. The system block diagram of the reliable transmission.

클라이언트와 서버는 그림 5와 같은 과정으로 동작한다. 클라이언트는 각각의 센서로부터의 수신된 데이터를 수집하고 이렇게 수집된 데이터들을 버퍼에 저장한다. 이때 클라이언트 버퍼의 크기는 서버에서의 버퍼 크기보다 1/2 작아야 한다. 저장된 데이터들이 버퍼의 임계치 이상 되었을 경우 데이터의 무결성을 보장하기 위해 컨볼루셔널 채널 코딩(convolutional channel coding)을 하고 이렇게 인코딩된 데이터들은 서버로 전송된다. 서버에서는 수신된 데이터들을 수신 버퍼에 저장하고 이 저장된 데이터들은 디코더에서 비터비(viterbi) 알고리즘을 통해 복원된다.

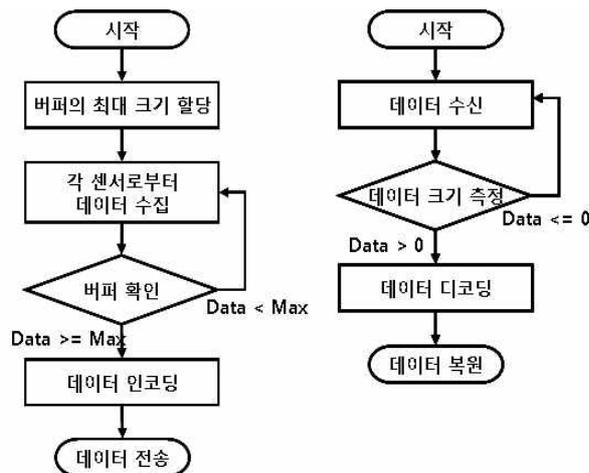


그림 5. 클라이언트와 서버의 동작과정
 Fig. 5. Operating process at the client and server.

3-2 채널코드

본 절에서는 본 연구에서 사용한 채널코드인 컨볼루셔널 코드에 대해 설명한다.

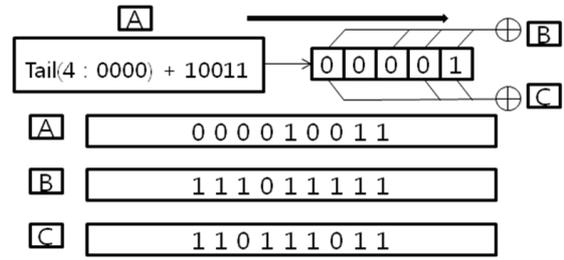


그림 6. Convolutional 엔코더
 Fig. 6. Convolutional encoder.

제안한 시스템에서는 여러 채널 코드 중 오류 정정능력 및 시스템의 복잡도를 고려하여 컨볼루셔널 코드를 사용한다. 사용된 컨볼루셔널 코드는 zigbee 메모리 등의 하드웨어 제한으로 부호화율 R=1/2, 구속장 K=5, 생성 당항식의 계수 g1=(10111), g2=(10011)인 코드를 사용한다.

각각의 센서로부터 클라이언트로 들어온 데이터들은 최대 255의 값을 갖는 8비트 데이터들이다. 컨볼루셔널 코드는 클라이언트로 수신된 2진수의 데이터들을 그림 6의 A처럼 엔코딩 한 후 B와 C같이 엔코딩된 데이터를 전송한다. 클라이언트 버퍼의 모든 데이터가 엔코딩되면 마지막으로 tail 비트를 엔코딩하게 된다. 엔코딩된 데이터를 수신한 서버는 데이터를 2진수로 변환하고 이 데이터들을 데이터버퍼에 저장한다. 그리고 그림 7과 같은 상태를 이용한 비터비 알고리즘으로 데이터를 복원한다.

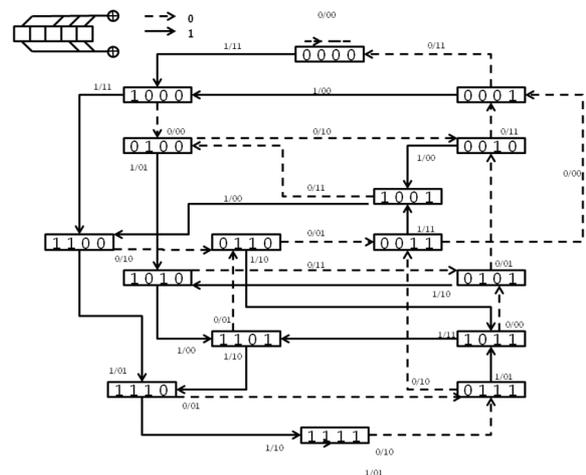


그림 7. Decoder의 상태도
 Fig. 7. The state diagram of decoder.

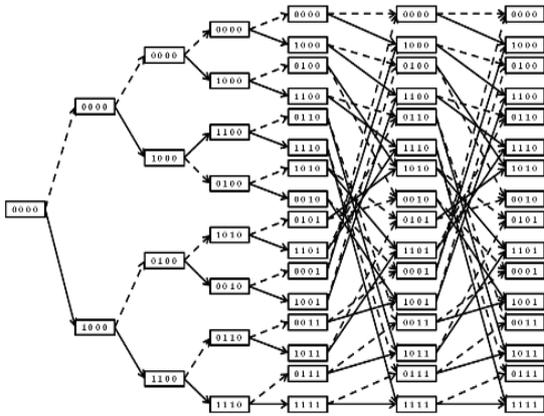


그림 8. 디코더의 격자도
Fig. 8. The trellis diagram of decoder.

IV. 실험환경 및 성능평가

4-1 실험환경

그림 9는 산업용 무선장비 시스템의 전송 신뢰성을 평가하기 위한 실험 환경이다. 송신기와 수신기 사이는 LOS(line-of-sight) 환경이며, 기타 간섭 원은 없다고 가정한다.



그림 9. LOS 실험환경
Fig. 9. LOS environment.

데이터 프레임은 프레임 헤더를 포함하여 전체 50 byte로 구성되어 있으며, 이러한 데이터 프레임들은 클라이언트로부터 3초 간격으로 전송하여 전체 3,000 개 전송한다. 흐름제어 및 오류제어를 위한 프로토콜인 ARQ (automatic repeat request) 프로토콜은 사용하지 않으며, 채널 공유를 위해 CSMA/CA (carrier sense

multiple access/collision avoidance)를 사용한다. 이러한 실험 환경 조건에서 시스템의 오류 성능을 송수신기의 거리 2m, 4m, 6m, 8m, 10m로 이격 시키며, 분석한다.

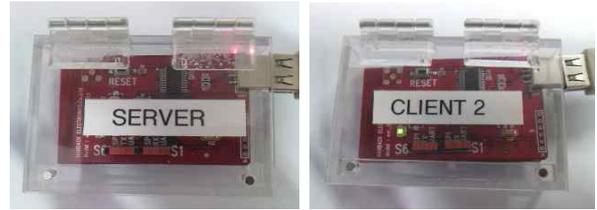


그림 10. 데이터 전송을 위한 센서 노드
Fig. 10. Sensor nodes for the data transmission.

그림 10은 산업용 무선장비 시스템의 데이터 전송에 사용되는 서버와 클라이언트 센서 노드들이다. 서버와 클라이언트간의 데이터 전송 시 임의적으로 오류를 발생시키기 위해 클라이언트의 RF 송수신기의 송신 파워레벨을 제어할 수 있도록 하였고, 송수신기의 거리는 6 m로 고정하였다. 표 3은 chipcon사의 cc2420의 통신 규격이다[7]. 송신 전원으로는 표 3에서 정의된 규격을 만족시키는 1.5 V 건전지 2개를 사용한다.

표 3. CC2420의 specification
Table 3. CC2420 specification.

The IEEE 802.15.4-2003 standard	
true single-chip	2.4 GHz (16 channels in ISM band)
Max data rate	250 Kbps
Low current consumption	RX: 19.7 mA, TX: 17.4 mA
Low supply voltage	2.1-3.6 V
Low supply voltage	1.6-2.0 V
Transmit mode	P = -25 dBm P = -15 dBm P = -10 dBm P = -5 dBm P = 0 dBm

4-2 실험결과

이 절에서는 앞에서 설명한 환경에서 zigbee 무선 네트워크 기술을 이용한 산업용 장비 제어 및 관리 시스템의 전송 신뢰성에 대한 실험 결과를 설명한다.

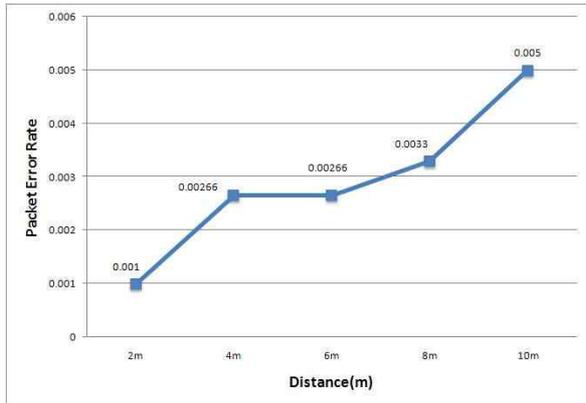


그림 11. LOS환경에서 거리에 따른 시스템의 PER
Fig. 11. The system packet error rate according to the distances in LOS environment.

그림 11은 LOS 환경에서 전송 거리에 따른 시스템의 전송 오류 성능을 나타낸다. 그림에서 보이는 것과 같이 송수신 거리가 증가할수록 패킷 손실이 증가함을 알 수 있다. 실제 zigbee의 유효 전송거리를 최대 30 m로 가정했을 때, PER(packet error rate)은 0.015임을 예측해 볼 수 있다. 이는 거리에 따른 수신 신호의 세기가 감소함에 기인한 것으로 본 연구에서 가정한 환경은 실내 환경이지만 실외환경일 경우 PER은 더 증가할 것으로 예상된다.

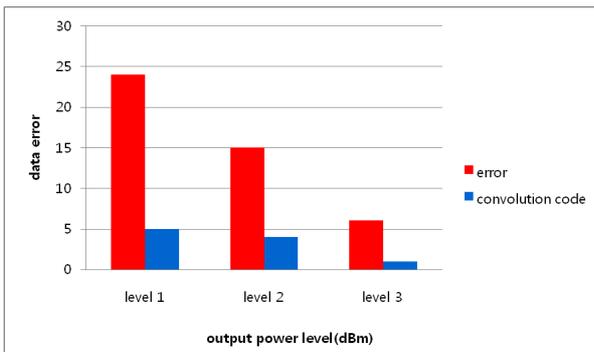


그림 12. 전송 모드에 따른 PER
Fig. 12. PER according to the transmit mode.

그림 12는 전송 모드에 따른 PER 성능 곡선이다. 센서는 0 dBm(17.4 mA)으로 데이터를 전송하고 수신 측에서는 수신 전파의 세기가 -94 dBm 이상일 경우에만 데이터를 제대로 수신할 수 있다. 그림 12에서 보는 level 1 은 -25 dBm으로 데이터를 전송한 경우이다. 기존의 통신방법은 약 24프레임의 오류가 발생한다. 그러나 컨볼루셔널 코드를 이용한 경우 사용하지 않

은 경우보다 약 5배의 신뢰성 있는 결과를 가질 수 있게 된다. level 2(-10 dBm), level 3(0 dBm)에서는 송신 파워를 좀 더 높게 데이터를 전송하였다. 일반적인 오류도 level 1보다 낮은 오류가 발생하였고 컨볼루셔널 코드를 이용한 값 또한 level 1보다 낮은 오류가 발생하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 무선 자동화 시스템 구현을 위해 저비용, 저전력, 높은 지연시간에 대해 우수한 대처 능력을 갖는 zigbee 무선 네트워크 기술을 이용한 산업용 장비 제어 및 관리 시스템의 데이터 전송 신뢰성 향상방안에 대해 연구하였다. 전송 신뢰성 향상 방안으로 부호화율 $R=1/2$, 구속장 $K=5$, 생성 다항식의 계수 $g_1=(10111)$, $g_2=(10011)$ 인 컨볼루셔널 코드를 사용하였다.

LOS 환경에서의 실험을 통해 시스템 간의 거리증가에 따른 오류 성능을 예측할 수 있었다. 또한 전송 모드에 따른 PER 성능 분석결과로 볼 때, -25 dBm의 전송파워에서 컨볼루셔널 코드를 사용할 경우 기존 시스템보다 약 5배의 신뢰성이 향상됨을 보였다.

이러한 결과들을 통해 볼 때, 본 연구에서는 무선 자동화 시스템의 데이터 전송에서 데이터의 신뢰성 보장을 위해 컨볼루셔널코드 등과 같은 채널 코드가 꼭 필요함을 증명할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 정지원, 이정일, 김동성, "IEEE 802.15.4를 이용한 디바이스넷 기반의 무선 게이트웨이 설계에 대한 연구," *대한전자공학회 2007년도 하계종합학술대회 논문집*, 제30권 제1호, pp. 31-32, 2007. 7.
- [2] A. Willig, et al., "Wireless technology in industrial networks," *Proceeding of the IEEE*, vol. 93, no. 6, June 2005.
- [3] 김동성, "산업용 통신망을 위한 무선 통신 기술의 현황 및 분석," *월간전자부품*, 2006. 4.

- [4] 조인영, "ZigBee 무선 네트워크 기술을 이용한 무선 자동화 시스템 개발," *전자부품연구원주간 전자정보*, 2006. 2.
- [5] Bluetooth SIG, [Online]. Available: <http://www.bluetooth.org>.
- [6] ZigBee Alliance, [Online]. Available: <http://www.zigbee.org>.
- [7] Chipcon AS SmartRF CC2420 Preliminary Datasheet (rev 1.2), 2004-06-09

김 우 진 (金禹辰)



1991년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
 1991년 1월 ~ 1995년 7월 : 삼성전자(주) 검사 기술팀 연구원
 1995년 8월 ~ 2006년 12월 : 삼성전자(주) Memory 기술팀 선임 연구원

2001년 8월 ~ 2007년 2월 : 삼성전자(주) TEST기술팀 책임연구원
 2003년 3월 ~ 2006년 2월 : 한국기술교육대학교 전기전자공학과(정보통신공학전공) 석사과정
 2007년 3월 ~ 현재 : 삼성전자(주) DRAM PE팀 수석연구원
 관심분야: 반도체 Memory TEST, 멀티미디어 무선통신, Wireless Sensor N/W

강 철 규 (姜澈圭)



2004년 2월 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부(공학사)
 2006년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)
 2007년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과(박사과정)

관심분야 : HDR-WPAN, MIMO, Wireless Sensor N/W

오 창 헌 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
 1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)
 1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1990년 2월 ~ 1993년 8월 : 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원
 1993년 10월 ~ 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 선임연구원
 2006년 8월 ~ 2007년 8월 : 방문교수(University of Wisconsin-Madison)
 1999년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수
 관심분야: 이동통신, 멀티미디어 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR