

논문 2008-04-05

임펄스 UWB 시스템을 위한 RF 송수신기 설계

(RF Transceiver Design for Impulse Radio UWB System)

박주호*, 오미경, 오정열, 길민수, 김재영

(Joo-Ho Park, Mi-Kyung Oh, Jung-Yeol Oh, Min-Su Kil, Jae-Young Kim)

Abstract : In this paper, we design RF transceiver architecture and building blocks for impulse radio UWB system. Impulse radio UWB signal occupies the wide frequency band which is very low transmission power. So, it can minimize the interference effect with the other system. Using UWB technology, we obtain position awareness service. Therefore, we describe the RF transceiver architecture of direct conversion receiver and define the requirement of RF transceiver. Moreover, we implement a prototype RF transceiver based on the presented standard and verify a function and performance through the wireless data communication and ranging test.

Keywords : Impulse Radio, UWB system, RF transceiver

I. 서론

IEEE 802.15.4a 저속 UWB WPAN(Ultra-Wide Band Wireless Personal Area Network)은 유비쿼터스 네트워킹 구현을 위한 핵심 기술로 주목받고 있는 무선 개인화 네트워크 기술 중의 하나로서 UWB 기술은 중심 주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 차지하거나 500MHz 이상의 점유 대역폭을 차지하는 기술을 의미한다. 이러한 UWB 기술은 매우 넓은 주파수 대역 점유라는 특징을 이용하여 정밀한 위치인식, 거리추정 기능을 줄 수 있어 위치인식 WPAN 시스템의 PHY로 관심받고 있다. 임펄스 UWB 기술을 이용한 위치인식은 실내나 음영지역에서도 위치인식이 가능하고 좁은 영역에서도 수십 cm 이내의 정밀도를 요구하는 위치인식 서비스를 제공할 수 있다[1][2].

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 01. 12., 수정일 : 2009.03.03.,

채택확정 : 2009. 03. 11.

박주호, 오미경, 오정열, 길민수, 김재영 : 한국전자통신연구원(ETRI)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S070-03, 홈네트워킹용 Cognitive 무선시스템 개발]

IEEE 802.15.4a 표준이 확정되면서 임펄스 UWB compliant한 시스템이 최근에 많이 제안되고 있는 시점에서 임펄스 신호 생성 및 정밀한 ranging 정보를 얻기 위해 실내 수십 cm급 무선 측위 및 데이터 통신이 가능한 IEEE 802.15.4a 임펄스 UWB 시스템 설계를 다루고자 한다.

이에 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a 표준에서 정의하는 수 nsec의 임펄스 UWB 시스템 설계를 위한 규격 제시 및 요구 사항을 도출하고 이를 구성하기 위한 직접 변환 방식의 RF 송수신기 구조를 제안하며 설계시 고려해야 할 사항들에 대해 기술하도록 한다. 이에 2장에서는 임펄스 UWB 시스템의 개요를 언급하며 3장에서 임펄스 UWB 시스템의 세부 시스템 구성을 위해 제시된 규격을 바탕으로 프로타입의 RF 송수신기를 설계, 제작하여 기능 및 성능을 보이고 무선 데이터 통신 및 Ranging 시험을 통해 검증한 후 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 시스템 개요

1. 임펄스 UWB 시스템

임펄스 UWB 시스템은 IEEE 802.15.4a 표준 규격에서 정의하는 PHY 기술 중의 하나이다. 수 nsec의 짧은 주기 특성을 갖는 임펄스 신호는 주파수 영역 측면에서는 광대역 점유 대역폭을 차지한

다. IEEE 802.15.4a 국제 표준 규격에서는 UWB(Ultra WideBand) PHY를 Sub 1GHz 주파수 대역과 3~10GHz 대역을 사용하도록 규정하였으며 <그림 1>과 같이 Sub-GHz band(499.2MHz), low-band(3.1~4.8GHz), high-band(6~10.6GHz) 3개의 대역내에서 모두 16개의 Channel을 정의하였다[1]. 국내 UWB 주파수 분배는 <그림 1>과 같이 3.1~4.8GHz 대역과 7.2~10.2GHz 대역을 UWB 대역으로 사용하도록 고시하였고, 이중 3.1~4.8GHz 대역에서는 간섭회피기술(DAA)를 적용해야 하고, 단 4.2~4.8GHz 대역에서는 차세대이동통신 개발 시기를 고려하여 DAA 적용을 2010년 6월까지 유예하기로 하였다[3]. 그러나 2007년 3월 전파연구소에서 개정 고시한 간섭회피 및 경감기술(DAA) 기술기준은 연속송신시간 5ms 이하이고 휴지시간을 1sec 이상으로 규정하여 저속의 위치인식 UWB 기술에 대해서는 DAA의 기술 적용없이 3.1~4.8GHz 대역을 사용할 수 있게 되었다. 따라서 총 16개의 채널 중 국내에서는 0, 5, 6, 7번을 사용할 수 없으며, 1, 2, 3번 채널(Low-band)의 경우는 DAA 기술 적용없이 사용이 가능하다[4].

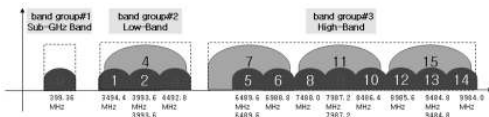


그림 1. IEEE 802.15.4a 국제표준 주파수 운용
Fig. 1. IEEE 802.15.4a Frequency Allocation

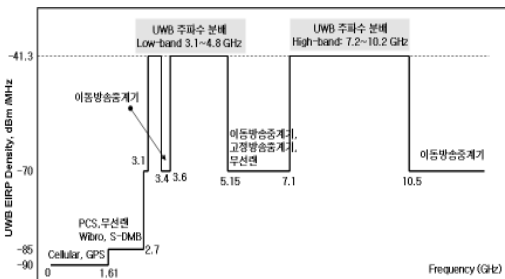


그림 2. 국내 UWB 송신 출력 허용 레벨
Fig. 2. UWB Transmit Power Level Regulation

임펄스 UWB 시스템에서 사용하는 변복조 방식은 BPM(Burst Position Modulation)과 BPSK(Binary Phase-Shift Keying) 조합으로 임펄스 데이터 Packet을 구성한다. 데이터 Packet 형태는 <그림 3>과 같이 SHR 프리앰블, PHY 헤더(PHR),

Payload로 구성된다. SHR 프리앰블은 신호 획득, 동기, 채널추정, Ranging을 위한 leading edge detection 등을 수행한다.

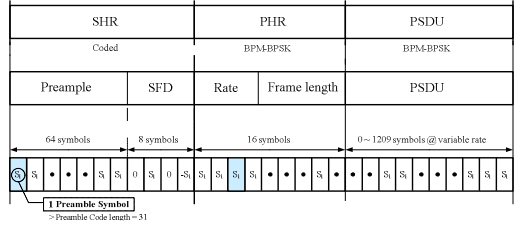


그림 3. 임펄스 UWB 시스템의 프레임 구조
Fig. 3. Frame Format of Impulse UWB System

PHY 헤더는 프리앰블 모드, 데이터 전송률, Payload 길이 등과 같은 패킷의 정보가 포함되어 있다. 그리고 Payload는 전송하고자 하는 MAC 데이터이다. <그림 4>는 UWB PHY 신호 흐름도를 보여주고 있다. Payload와 PHR을 서로 다른 부호화를 하고 있는데 PHR은 SECEDED라는 해밍코드 부호화를 수행하고 Payload 데이터는 RS 부호화, Convolutional 부호화, 심볼 매핑, 프리앰블 삽입, 펄스 Shaper, RF와 안테나를 거쳐 전송되고, 수신부는 RF를 통해 들어온 신호를 펄스 Shaper, 동기부, 데이터 복조부, Convolutional 복호 및 RS 복호를 거쳐 송신신호를 복원한다[1].

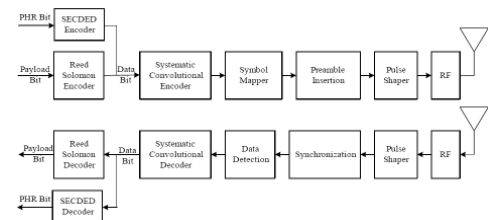


그림 4. UWB PHY 신호 흐름도
Fig. 4. UWB PHY Signal Flow

임펄스 UWB 시스템은 무선 통신을 위해 기저대역의 변복조부에서 임펄스 데이터 신호를 생성하여 특정 통신 대역으로 송수신하게 된다. 기저대역의 변복조부에서 생성하는 데이터 신호는 수 nsec의 짧은 주기를 갖는 임펄스 신호로서 데이터 한 심볼이 1usec로 한 심볼 내 수십 nsec 시간 구간에서만 임펄스 신호를 생성하는 것을 특징으로 한다. IEEE 802.15.4a 국제 표준에서 제시하는 UWB PHY 규격을 바탕으로 임펄스 UWB 시스템의 무선 link 시 전파 손실을 고려한 Link budget을 계산하고, 이를 바탕으로 임펄스 UWB 시스템용 RF 송

수신기를 설계하고자 한다.

IEEE 802.15.4a 임펄스 시스템은 국내외 UWB 신호 규정에 맞게 -41.3dBm/MHz 이하의 소출력 신호를 사용하여야 한다. 따라서 이러한 소출력 신호를 사용하여 거리에 따른 Path loss를 고려한 link budget은 시스템 설계시 선행되어야 한다. 아래 <표 1>은 AWGN 통신거리 30m에서의 IEEE 802.15.4a link budget을 계산한 것이다.

표 1. IEEE 802.15.4a Link Budget
Table 1. IEEE 802.15.4a Link Budget

Parameters	Unit	Value
Throughput [Rb]	Mbps	1
Distance [d]	m	30
Bandwidth [BW]	MHz	500
Avg. TX Power [Pt=-41.3dBm/MHz+ 10log(BW)]	dBm	-14.3
Duty Gain(Dg)	dB	15.1
TX Peak Power [Ptp = Pt + 10log10(Dg)]	dBm	0.7
Center frequency [fc]	GHz	4492.8
Path loss 1 meter [L1=20log(4pi*fc/c)]	dB	45.5
Path loss d meter [L2=20log(d)]	dB	29.5
RX power [Pr=Pt-L1-L2]	dBm	-74.3
RX AWGN noise floor[N=-174+ 10log(BW)]	dBm	-87.0
RX noise figure [Nf]	dB	8.0
Average noise power [Pn=N+Nf-Dng]	dBm	-79.0
Pulses per symbol [Np]		16
Processing gain [PG=10log(Np)]	dB	12.0
Minimum Eb/No [S]	dB	8.0
Implementation loss [I]	dB	3.0
Link Margin [LM=Pr-Pn-S-I+ PG]	dB	5.8
Proposed Min. Rx Sensitivity Level [Pmin]	dBm	-80.1

<표 1>에서 살펴본 바와 같이 -41.3dBm/MHz 소출력의 임펄스 신호를 사용하여 30m의 통신거리를 확보하기 위해서는 RF 수신기의 잡음 지수 및 수신 감도 특성이 우수해야 하며, 시스템 Implementation loss가 최소가 되도록 설계해야 함을 알 수 있다. 또한 <표 1>의 Link budget은 AWGN 채널을 고려하여 계산한 것이므로 실제 실내 다중경로 채널을 감안한다면 더욱 더 구현손실을 줄여야 할 것이다. 따라서 Link budget 분석을 통하여 시스템 성능향상을 위해 시스템 구조 도출 및 모델, RF 세부 블록들을 설계한다.

III. RF 송수신기 설계

1. RF 송수신기 구조

IEEE 802.15.4a 임펄스 UWB 시스템의 큰 장점인 Ranging은 임펄스 신호를 이용한 거리추정에 바탕을 두고 있다. 정보를 싣는 펄스를 생성하고 무선 채널로 송수신하여 수신된 펄스 신호를 복원하기 위해 구조 접근을 고려해보면, 아날로그적으로 펄스를 생성하고 비동기 수신을 통한 수신된 신호의 에너지 감지 등을 통해 신호의 유무만을 통해서도 임펄스 UWB 시스템을 구성할 수 있지만 IEEE 802.15.4a 표준에서 정의하는 요구 규격 사항을 만족하면서 정밀한 Ranging 정보를 얻기 위해 비동기 수신 방식으로는 한계가 있다. 그러나 동기 방식의 수신기는 비동기 방식에 비해 거리추정 정밀도가 높아지고 변조방식 및 확산이득, 채널부호기 등 송신신호 특성을 이용하여 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 더욱이 IEEE 802.15.4a 요구규격인 4-SOP (Simultaneous Operating Piconet) 구성을 위해서는 프리앰블 구간에서 동기식 수신이 필수적이다 [5][6]. 따라서 우리는 IEEE 802.15.4a 표준 요구 규격 사항을 만족하는 펄스를 생성하고, Chip rate와 Clock과 chip의 carrier alignment 요구사항, RF 송수신 구조, Low-band, high-band UWB 채널 운용 상황 등을 고려하여 기저대역에서 펄스를 생성하고 직접방식 RF 변환을 수행하는 구조의 IEEE 802.15.4a를 위한 임펄스 UWB 시스템을 제안하고 실내 수십 cm급 Ranging 및 1 Mbps급 데이터 통신이 가능하도록 시스템을 설계한다.

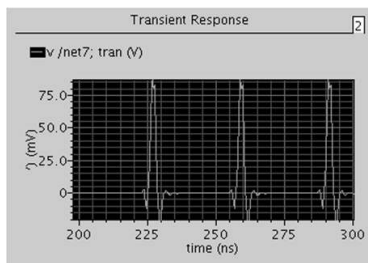
표 2. RF 송수신기 요구 규격
Table 2. RF Transceiver Specifications

항 목	성능 규격	단위
주파수동작 범위	3.2 ~ 4.8	GHz
신호 대역폭	499.2	MHz
목표거리	20	m
수신입력범위	-40 ~ -80	dBm
최대 송신 Peak 파워	0.7	dBm
중심 주파수	3494.4 3993.6 4492.8	MHz
잡음지수	8	dB
송수신 LPF (@3dB BW)	400	MHz

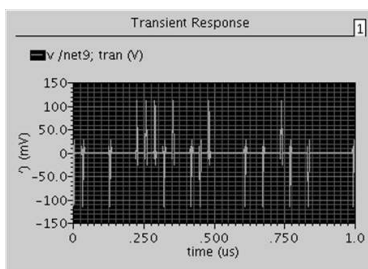
<표 2>의 RF 송수신기 요구규격을 살펴보면 499.2MHz의 UWB 신호에 대해 low-band(3~5GHz)내에서의 최대 출력 Power는 PSD(Power Spectral Density)가 -41.3dBm/MHz 를 만족하는 조건으로 Tx 최종 출력을 평균 Power로 환산하면 -14.3dBm/BW 이고 Peak Power는 0.7dBm 이다. 결국 RF 송신단의 최종 출력은 -41.3dBm/MHz 의 Spectrum mask regulation을 만족하도록 설계해야 한다. 그리고 기저대역 펄스 shape을 만족시키는 LPF는 3dB 대역폭이 400MHz이다[7].

IEEE 802.15.4a 표준에서 기저대역 펄스는 일정 펄스폭과 Roll-off factor를 갖는 RRC(Root Raised Cosine) 기준 펄스와 최소한의 correlation을 갖도록 정의되어 있다. RRC 기준 펄스와 유사하게 아날로그로 펄스를 생성할 수 있지만 성능 향상을 위해 우리는 RRC 기준 펄스를 근거로 UWB 펄스 신호를 만들고 1Gsp/s의 고속 DAC를 사용하여 정확한 펄스를 생성하도록 하였다.

<그림 5>의 (a)는 RRC 임펄스 신호 파형을 보여주며, (b)는 RRC 임펄스 신호를 이용하여 데이터 Packet을 구성하는 펄스들을 보여주고 있다.



(a) RRC 임펄스 신호 형태



(b) 데이터 Packet용 임펄스 신호

그림 5. 임펄스 신호 형태 및 데이터 Packet

Fig. 5. Impulse Signal and Data Packet

1Gsp/s로 샘플링한 DAC 출력의 UWB 펄스는

400MHz 근처까지 에너지가 분포되어 있고 400MHz의 3dB 대역폭 LPF를 통해 얻은 출력 신호는 스펙트럼 마스크를 만족한다. 결국 LPF가 400MHz의 Passband 특성을 유지하게 되면 UWB 펄스 신호의 성능 저하와 왜곡없이 기준 펄스에 가까운 값을 얻게 된다[6][7].

2. 설계 및 제작

임펄스 UWB 시스템을 구성하는 RF 송수신기의 송신단은 DAC 출력을 저역통과필터링하고 원하는 대역 신호만 통과시킨 뒤 LO Carrier 신호를 이용하여 주파수 상향시킨 후 Tx 송신 출력 파위에 맞게 신호 증폭한 다음 안테나로 내보내게 된다. 수신단에서는 직접 변환 방식 구조로 안테나를 통해 수신된 무선 UWB 신호를 저잡음 증폭기와 down-mixer를 통해 직접 I/Q path로 나뉘어 저역통과필터, VGA, 그리고 ADC를 거쳐 baseband 신호로 직접 변환한다[8].

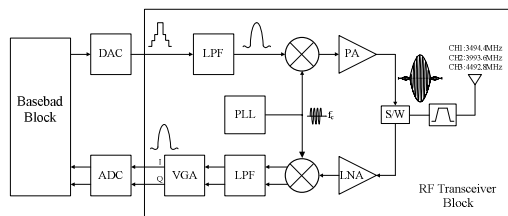


그림 6. 임펄스 UWB 시스템용 RF 송수신기

Fig. 6. RF Transceiver for Impulse UWB System

<그림 6>은 임펄스 UWB 시스템의 RF 송수신기에 대한 구성도를 나타내며 <그림 6>에서처럼 기저대역에서 Digital 신호로 만들어진 임펄스 신호를 고속 DAC를 사용하여 아날로그 신호로 변환한 뒤 RF up-mixer를 사용하여 RF 신호로 상향시킨다. 또한 RF 입력으로 인가되는 임펄스 UWB 신호를 RF down-mixer를 사용하여 주파수 하향시킨 뒤 ADC 입력 신호 레벨에 맞게 이득 조절을 한 뒤 모뎀 기저대역부로 전달한다. <그림 7>은 직접 제작된 임펄스 UWB 시스템용 RF 송수신기를 보여준다.

제작된 RF 송수신기의 기능 및 성능을 검증하기 위해 모뎀에서 생성된 기저대역 임펄스 신호를 이용하여 시험하였고 <그림 8>과 <그림 9>에 송수신 시험 결과를 나타내었다.

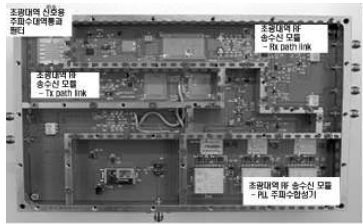
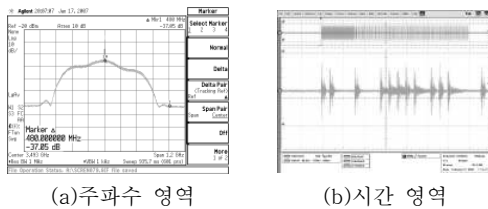


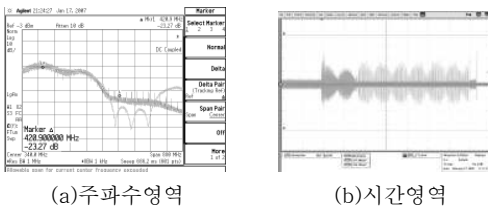
그림 7. 제작된 임펄스 UWB 시스템용 RF 송수신기
Fig. 7. Manufactured RF Transceiver

<그림 8>은 기저대역에서 생성한 임펄스 신호를 RF 신호로 주파수 상향시켜 출력된 신호 파형을 각각 주파수영역과 시간영역에서 나타내고 있으며 출력 파워 및 Spectrum mask 조건을 만족함을 알 수 있다.<그림 9>는 RF 임펄스 신호를 수신하여 주파수 하향시킨 뒤 최종 모뎀 기저대역부의 ADC 입력으로 인가되는 임펄스 신호를 주파수영역과 시간영역에서 보여주고 있다.



(a)주파수 영역 (b)시간 영역
그림 8. RF 송신 출력 신호 파형

Fig. 8. RF Transmitter Output Signal Waveform



(a)주파수영역 (b)시간영역
그림 9. RF 수신 최종 출력 신호 파형

Fig. 9. RF Receiver Output Signal Waveform

측정된 결과를 토대로 제작된 RF 송수신기와 모뎀 플랫폼보드를 연동하여 임펄스 UWB 시스템을 구축하였고 <그림 10>은 2대의 임펄스 UWB 시스템을 이용하여 거리에 따른 P2P 무선 송수신 PER(Packet Error Rate) 특성을 보여주고 있다.<그림 10>을 살펴보면 거리가 증가하면서 PER이 1%(1000개 Packet 중 송수신 성공률) 이내를 만족하고 있음을 알 수 있다.

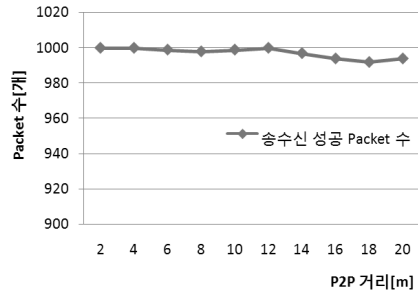


그림 10. 거리에 따른 무선 송수신 PER 특성
Fig. 10. Wireless P2P PER Result to Distances

IV. 결 론

UWB 기술을 이용하여 실내나 음영지역에서도 위치인식이 가능하고 비교적 좁은 영역에서 수십 cm 이내의 정밀도를 요구하는 위치인식 서비스를 제공하기 위해 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a에 부합하는 임펄스 UWB 시스템 설계를 위한 규격 제시 및 요구 사항을 도출하고 이를 구성하기 위한 직접 변환 방식의 RF 송수신기 구조를 제안한 뒤 이를 바탕으로 프로토타입의 RF 송수신기를 설계, 제작하였다. 또한 유무선 데이터 통신 및 Ranging 시험 등을 수행하였고 향후 검증된 프로토타입의 임펄스 UWB 시스템을 바탕으로 RF 송수신기 칩으로 제작하고 기능, 성능 검증을 수행하며, 실제 환경에서 시험 운용하기 위한 저전력 구현 및 응용 시제품 개발 등을 추가적으로 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.15.4a TG4a, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPAN)", Draft P802.15.4a, Mar. 2007
- [2] 오미경, 김명중, 김재영, "유비쿼터스홈 구축을 위한 저속 위치인식 UWB 기술", 전자통신동향 분석 제 21권, 제 5호, pp. 30-39, 2006.
- [3] 전파법 제9조(주파수 분배안), 2006년, 7월
- [4] UWB 및 용도미지정 무선기기, 전파연구소고시 제2007-22호, 제9조의2, 3월 2007.

- [5] 오미경, 박주호, 오정열, 길민수, 김재영, "실내 무선측위/통신을 위한 IEEE 802.15.4a 시스템 설계", 2008 대한임베디드공학회 추계학술대회, pp. 440-443, 2008.
- [6] Mi-Kyung Oh, Jae-Young Kim, "Ranging Implementation for IEEE 802.15.4a IR-UWB Systems", IEEE VTC Spring2008, pp. 1077-1081, May, 2008.
- [7] Mi-Kyung Oh, Min-Su Kil, Ju-ho Park, Jae-Young Kim, "LPF Requirement for Full-Digital Coherent IR-UWB Systems", ICACT2008, pp. 1297-1299, Feb. 2008.
- [8] A.T. Kalghatgi, "Challenges in the Design of an Impulse Radio Based UWB Transceiver", IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Networking(ICSCN). pp. 1-5, Feb. 2007.

저 자 소 개

박 주 호(Joo-Ho Park)



1997년 2월 : 충남대 전자공학과 학사
 1999년 2월 : 충남대 전자공학과 석사
 1999년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

관심분야 : 무선통신시스템, RF 시스템 설계, Analog/RFIC 설계
 Email : joohp@etri.re.kr

오 미 경(Mi-Kyung Oh)



2000년 2월 : 중앙대학교 전기전자 제어공학부 학사
 2002년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 석사
 2006년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 2006년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

관심분야 : 임펄스 통신, 무선측위 시스템, 신호처리
 Email : ohmik@etri.re.kr

오 정 열(Jung-Yeol Oh)



1997년 2월 : 동신대학교 정보통신공학과 학사
 1999년 2월 : 전북대 정보통신공학과 석사
 2005년 8월 : 전북대 컴퓨터공학과 박사
 2005년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

관심분야 : 위치인식 UWB, ZigBee 시스템
 Email : jyoh@etri.re.kr

길 민 수(Min-Su Kil)



2004년 2월 : 호서대 정보제어공학과 학사
 2006년 2월 : 호서대 정보제어공학과 학사
 2006년~현재 : 한국전자통신연구원 연구원

관심분야 : 무선디지털통신시스템, 신호처리
 Email : ackil@etri.re.kr

김 재 영(Jae-Young Kim)



21990년 2월 : 연세대 전자공학과 학사
 1992년 2월 : 연세대 전자공학과 석사
 1996년 2월 : 연세대 전자공학과 박사
 1996년~1999년 : 대우전자(주) 선임연구원

1999년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원(팀장)
 관심분야 : 무선통신시스템, UWB Analog/RFIC 설계
 Email : jyk@etri.re.kr