
Time-Hopping PPM 변조를 이용한 UWB 통신 시스템의 성능 평가

변건식* · 이민혁* · 전제훈*

Performance Analysis of UWB Communication System
using Time-Hopping PPM modulation

Kun-Sik Byon* · Min-Hyouck Lee* · Je-Hun Jeon*

요 약

UWB 통신은 높은 전송속도와 저전력 통신이 가능하다는 이유로 최근에 매우 각광을 받는 통신 응용분야이다. 따라서, 다양한 UWB 통신 기술의 적용을 위하여 UWB 신호의 특성과 변조 방법을 연구하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 UWB 통신에 사용가능한 가우시언 모노펄스의 특성을 분석하고 PPM 변조방법과 PAM 변조방법의 성능을 비교하였다. 또한 다양한 UWB 통신 환경에서의 중심 주파수가 다른 QPSK 시스템의 간섭 효과를 분석하였으며 간단한 UWB 송수신 시스템을 시뮬레이션하였다.

ABSTRACT

Ultra-wideband(UWB) communication applications is a recent innovation due to high transmission rate and low power emission. Therefore, it is important to research UWB singal's characteristics and modulation methods to apply to various UWB communication technologies. In this paper the characteristics of Gaussian monopulse which is capable of using UWB communication was analyzed and we compared the performance of PPM and PAM modulation method. Also we analyzed the interference effect of QPSK system with different center frequencies in the present of various UWB noises and simulated simple UWB transceiver system.

키워드

UWB, Gaussian monopulse, PPM, PAM, Time-Hopping

I. 서 론

UWB(Ultra-wideband)무선기술은 초광대역 특성에 의한 높은 전송속도와 기존의 무선 장치들과의 상호 간섭 영향 없이 주파수를 공유하여 사용할 수 있다는 장점 때문에 근거리 무선 통신 기술로 급부상되고 있다.[1][2]

본 논문은 UWB 통신에 사용가능한 모노펄스

의 신호 특성을 분석하고 UWB 신호가 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)시스템에 미치는 영향을 평가하였다. QPSK 시스템의 간섭 모의실험을 위해 사용된 UWB 신호는 잡음으로 정의하였다. 본 모의실험의 주요 핵심은 현재 휴대폰 등의 이동통신에서 사용하는 QPSK 신호에 미치는 영향을 알아보기 위하여 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 UWB를 적절히 조합하

* 동아대학교 전자공학과

접수일자 : 2003. 9. 27

여 잡음 처리하였다. 이때 조합되는 잡음의 크기는 항상 1이 되도록 하였으며, UWB 신호의 시간 호핑을 통한 성능 향상을 시뮬레이션을 통해 증명하였고 시뮬레이션 결과 동기가 완벽할 때 만족할 만한 데이터 복조가 가능함을 확인하였다.

II. 이론적 배경

1. 모노펄스의 종류와 특성

UWB 통신시스템의 성능은 사용되는 모노펄스의 형태와 변조 방법에 따라 좌우될 수 있다. 본 논문에서는 먼저 UWB 통신에 사용 가능한 가우시언 계열의 모노펄스에 대한 시간과 주파수 영역에서의 특성을 조사하고, 주요 무선장치와의 간섭 영향 분석을 위해 각 모노펄스의 대역폭을 정의한다.[3] 가우시언 모노펄스는 식(1)과 같다.

$$w(t) = \sqrt{E_p} \frac{2.1245}{\sqrt{\tau}} e^{-2\pi(\frac{t-T_c}{\tau})^2} \quad (1)$$

여기서, E_p 는 파형의 펄스에너지, τ 는 펄스의 폭, 그리고 T_c 는 시간천이를 나타낸다. 식(1)을 1차, 2차 미분한 결과는 식(2), 식(3)과 같으며, 식(2)의 파형을 특히 scholtz 파형이라 한다.

$$w(t) = \sqrt{E_p} \frac{24.0360}{\sqrt{\tau}} \left(\frac{t-T_c}{\tau} \right) e^{-2\pi(\frac{t-T_c}{\tau})^2} \quad (2)$$

$$w(t) = \sqrt{E_p} \sqrt{\frac{8}{3\tau}} \left(1 - 4\pi \left(\frac{t-T_c}{\tau} \right)^2 \right) e^{-2\pi(\frac{t-T_c}{\tau})^2} \quad (3)$$

위 세 식을 이용한 모노펄스 생성 매트랩 시뮬링크 모델은 그림1과 같고 이때 펄스에너지(E_p)는 1로 정규화 하였고 펄스폭(τ)은 0.6ns이다.

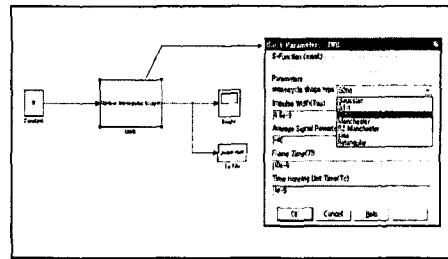


그림 1. s-function을 이용한 모노펄스 생성
Fig. 1 The generation of monopulses using s-function

주파수 영역에서 조사된 각 펄스의 대역폭은 가우시언 펄스의 경우 3.025GHz, 가우시언 1차 미분 펄스의 경우 4.05GHz(0.525~4.575GHz), scholtz 펄스의 경우 3.8GHz(1.125~4.925GHz)로 나타났으며, 이를 도시하면 그림 2와 같다.

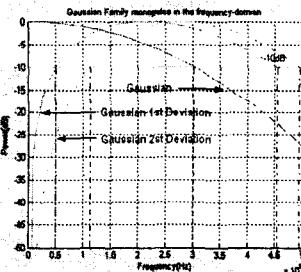


그림 2. 가우시언 계열 모노펄스의 주파수 영역
Fig. 2 The frequency range of gaussian monopulses

2. 펄스열과 변조기술

모노펄스를 이용하여 정보를 보내기 위해서는 변조과정을 거쳐야 하며, 실제 데이터 전송을 위해서는 변조된 모노펄스를 펄스폭에 비해 상당히 큰 프레임 시간 간격마다 반복 방출하게 된다. 즉, 데이터 변조가 된 펄스열(pulse train)인 매우 긴 모노펄스가 사용되어 진다.[4] 본 논문에서는 기본 펄스 위치를 정보에 따라 변화시키는 PPM(Pulse Position Modulation) 변조방식에 따른 BER(Bit Error Rate) 특성을 가우시언 계열의 모노펄스를 대상으로 시뮬레이션 하였다. 또 펄스 크기를 정보에 따라 변화하는 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 변조방식과 PPM 변조방식의 성능 분석을 위하여 M-ary 전송방식에 대하여 비교하였다.

식(4)는 PPM 변조되어 방사된 기본 신호 펄스 열을 나타낸다.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w(t - iT_s - jT_f - b_i \delta) \quad (4)$$

입력 펄스열은 수신부에서 상관기를 거치고 그 출력 값으로 신호를 검파하였다. 시뮬레이션 결과는 그림3과 같고 scholtz 파형의 BER 특성이 가장 우수하였다.

UWB 통신시스템에서 전송속도와 수신 SNR (Signal to Noise Ratio)의 향상을 위해 M-ary 직교 신호를 이용할 수 있다. M-ary PPM, PAM UWB 신호의 BER 특성을 시뮬레이션 한 결과는 그림4와 같다.

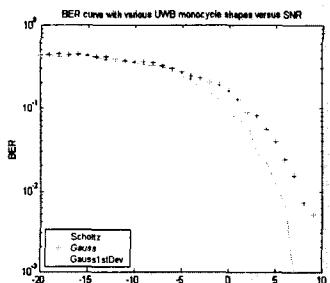


그림 3. PPM 변조된 가우시언 모노펄스의 BER 특성
Fig. 3 BER characteristics of gaussian monopulses(PPM modulation)

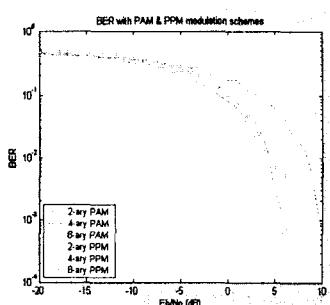


그림 4. M-ary PPM, PAM BER 특성
Fig. 4 BER characteristics of M-ary PPM, PAM

M-ary 방식은 전송속도가 $\log_2 M$ 배 향상되지만 수신단의 검파 회로가 복잡한 단점이 있다.

BER 특성 비교 시뮬레이션에 사용된 모노펄스는 scholtz 파형을 이용하였으며 시뮬레이션 결과, M이 증가할수록 PAM의 성능은 나빠지고 PPM은 큰 차이가 나지 않으나 조금씩 좋아졌으며, 2-ary 경우는 PPM과 PAM의 성능이 비슷하였다.

3. 시간호핑 (TH : Time Hopping)

이진 데이터의 전송을 위해서는 프레임시간 간격마다 반복 방출하는 데이터 변조가 된 펄스열을 사용한다. 펄스가 하나만 존재하는 경우에는 단순히 광대역 잡음처럼 나타나지만 일정한 주기를 가지는 펄스열 신호는 라인 스펙트럼(line spectrum)현상을 일으킨다. 이와 같은 현상은 기존 협대역 신호에 간섭을 일으킬 수 있으므로 펄스열의 규칙성을 제거하여야 한다. 또한 여러명의 사용자가 동시에 사용할 수 있는 다중화 방법이 필요한데 UWB 신호는 주파수 영역에서 광대역 잡음과 같은 특성을 보이도록 시간호핑을 이용함으로서 가능하다.[5] PPM 변조된 시간호핑 펄스열은 식(5)와 같다.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w(t - iT_s - jT_f - C_j T_c - b_i \delta) \quad (5)$$

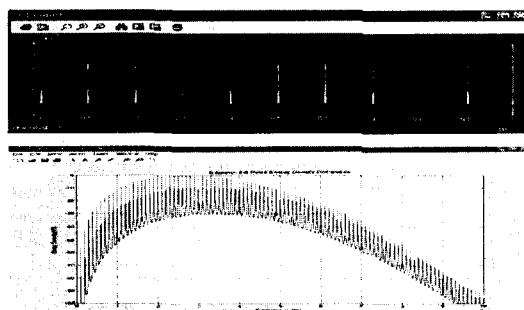


그림 5. 주기적인 펄스열과 라인 스펙트럼
Fig. 5 periodic pulse train and line spectrum

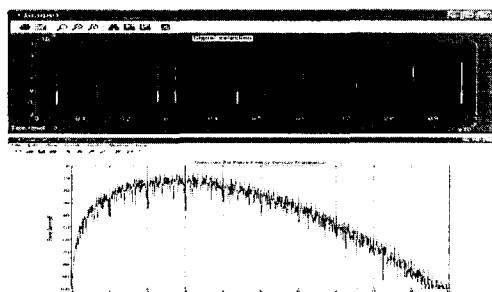


그림 6. Time Hopping된 펄스열과 스펙트럼
Fig. 6 Time Hopping pulse train and the spectrum

그림5는 주기적인 펄스에 대한 라인 스펙트럼 현상을 나타낸 것이며, 이러한 주기성을 PN 코드를 통해 시간호핑을 하여 제거한 파형을 그림6에 나타내었다. 시간호피에 의해 펄스열의 주기적인 특성이 제거된 결과 주파수 영역에서 이산 스펙트럼 현상이 제거되고 RF(Radio Frequency) 에너지가 대역에 걸쳐 더욱 균등하게 분배됨을 볼 수 있다.

4. UWB 신호에 의한 QPSK 신호의 전파간섭

본 논문에서는 UWB 통신이 QPSK 신호에 미치는 영향을 평가하기 위하여 7가지 신호를 정의하였다. 식(6)은 QPSK 신호 모델을 나타낸다.

$$s_{QPSK}(t) = 2\sqrt{\frac{E_b}{T}} \times \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2} i), i=0,1,2,3 \quad (6)$$

본 논문에서 QPSK 신호간섭 시뮬레이션을 위해 정의된 잡음은 AWGN, UWB, PPM-TH UWB, PAM UWB(또는 PAM-TH UWB), AWGN + UWB, AWGN + PPM-TH UWB, AWGN + PAM UWB(또는 PAM -TH UWB)이며, 잡음 크기는 항상 1이 유지되도록 하였다. 여기서 UWB 신호란 주기가 일정한 펄스열을 나타내며, PAM UWB에 대해서는 시간호핑을 한 경우와 하지 않은 경우로 나누어 분석하므로서 시간호핑 효과를 동시에 분석하였다. 각 신호를 구성하는 모노펄스는 BER 특성이 가장 우수한 scholtz 파형을 이용하였으며, QPSK 신호 간섭 영향을 위하여 시뮬레이션 된 QPSK 중

심 주파수는 UWB 신호 대역내에 존재하는 2.3GHz 와 대역폭을 벗어나는 4.5GHz의 중심 주파수를 선택하였다.

III. UWB 송수신 시스템

UWB 통신 시스템의 송신기와 수신기의 구성 형태는 그림7과 같다.[6][7]

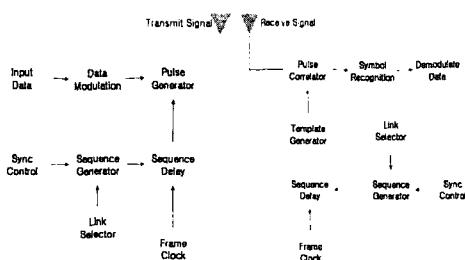


그림 7. UWB 통신 시스템 구성도
Fig. 7 UWB communication system diagram

본 논문에서는 BER 특성이 우수한 scholtz 펄스를 PPM 변조한 시간호핑 UWB 통신시스템을 구성하였다. 수신된 UWB 신호는 식(7)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_u} A_k s_{res}^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (7)$$

여기서, N_u 는 링크수, τ_k 는 지연성분을 나타내며, 잡음 성분 $n(t)$ 로서 AWGN이 사용되었다. 수신기는 상관기를 포함하고 있고 모노펄스와의 매칭에 기준(template) 신호가 이용된다. 기준 신호와 수신 신호가 곱해진 뒤 적분된 출력 값을 임의의 임계값과 비교하여 임계값 이상으로 판정이 되면 모노펄스의 정보를 판독하게 된다.

UWB 수신기는 우선 상관기로 UWB 신호를 검파한다. 펄스폭에 해당하는 윈도우를 슬라이딩시키면서 수신 신호를 적분하여 임계값 이상이 되었을 때 UWB 신호 검파 시간을 추출한다. 따라서 윈도우의 오른쪽 시간과 펄스폭을 이용하여 UWB 신호가 검파된 시간을 얻을 수 있다. 신호 검파를 위한 시스템 구성도는 그림8-①과 같다.

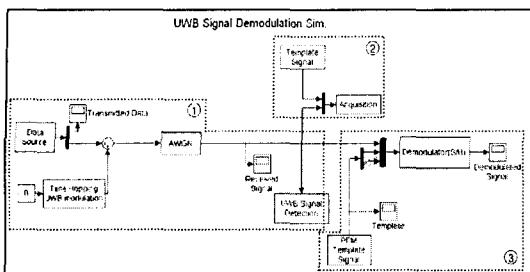


그림 8. UWB 신호 검파 시뮬레이션 구성도
Fig. 8 Simulation diagram for UWB signal detection

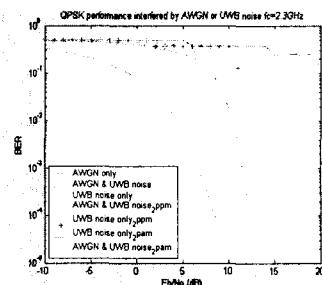
UWB 신호는 한 심볼에 대해 $N_s (= T_s / T_f)$ 만큼의 펄스를 반복 전송한다. 이때 심볼에 따라 δ 만큼 천이가 되며 PN 코드를 이용하여 T_f 마다 펄스의 전송 시간을 결정하게 된다. 결국 T_s 안 동일한 송신 PN 코드값과 수신 PN 코드값이 일치하는 시점이 생기면 PPM 원리에 따라 심볼을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 심볼이 1인 경우에 대해서만 δ 만큼 천이 한 PPM방식을 적용하였으므로 송수신 PN 코드값이 일치하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 판단이 가능하다. 그러나, 송신 PN 코드와 수신 PN 코드가 일치하지 않은 상태의 복조는 무의미하므로 PN 코드 동일한 UWB 수신기에서 매우 중요한 과정이다. 이를 해결하기 위해 그림 8-②와 같이 UWB 신호가 검출되면 기준 신호로 검출된 UWB 신호와의 상관을 산출한다. 이때 발생되는 기준 신호는 송신 시 발생시킨 PN 코드에 사용된 레지스터와 동일한 길이를 가진 레지스터를 천이시켜 발생시킨다.

수신기가 검파과정과 PN 코드를 인지하면 수신기는 기준 신호를 생성하고 수신기가 다른 링크를 사용하여 보내는 데이터의 시작과 끝 시점을 알기 위한 동기가 이루어진다. 수신기는 이미 정해진 상태를 초기화시키며, PN 코드가 인식하는 한 수신기는 시프트 레지스터 상태를 통해 데이터의 시작 시간을 알 수 있다. 데이터 동기 시뮬레이션 구성은 그림8-③과 같다.

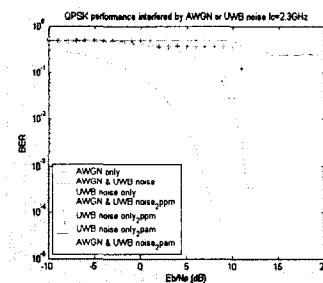
IV. 시뮬레이션 결과

1. QPSK 신호간섭

그림9와 10은 QPSK 신호의 중심주파수가 각각 2.3GHz와 4.5GHz에 해당하는 경우에 UWB 신호 간섭을 나타낸 것이다.

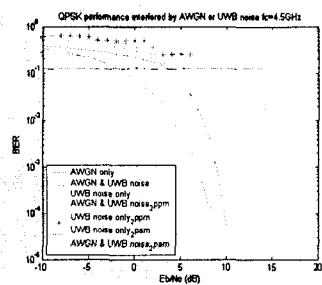


(a) Time Hopping

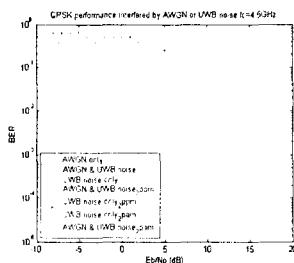


(b) Non-Time Hopping

그림 9. QPSK 중심 주파수가 2.3GHz 일 때
Fig. 9 In case of QPSK frequency 2.3GHz



(a) Time Hopping



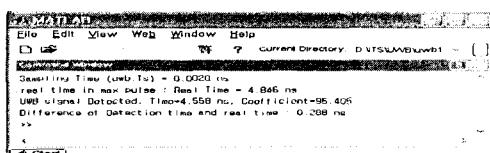
(b) Non-Time Hopping

그림 10. QPSK 중심 주파수가 4.5GHz일 때
Fig. 10 In case of QPSK frequency 4.5GHz

시뮬레이션 결과, 시간호평을 하지 않은 경우에 QPSK 신호 간섭이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 UWB 신호를 이용하는 통신 시스템을 구성하는 경우에는 UWB 발생시 시간호평을 하여 타 통신의 간섭을 배제하여야 함을 알 수 있다. QPSK의 두 중심 주파수 비교결과 scholtz 펄스의 대역폭에 존재하는 2.3GHz에 대한 UWB 신호의 간섭 영향이 4.5GHz보다 UWB 간섭 영향이 커짐을 알 수 있었다.

2. UWB 신호 복조

UWB 신호 검파 결과 UWB 신호가 검파된 시간은 4.558ns이며, 그 결과는 그림11과 같다. 송신되는 초기 랜덤한 데이터, 이를 PPM 시간호평 변조 UWB 송신 펄스열과 AWGN 채널을 통과한 수신신호 펄스열은 그림12와 같다.

그림 11. UWB 신호 검파 시간 추출
Fig. 11 UWB signal detection time그림 12. UWB 신호 검파를 위한 송수신 파형
Fig. 12 Random data, UWB tx and rx pulse train

샘플링 타임 T_s 는 100ns로 설정하였으며 UWB 신호 검파 시간과 송수신 PN 코드가 일치된 신호는 그림13과 같다.

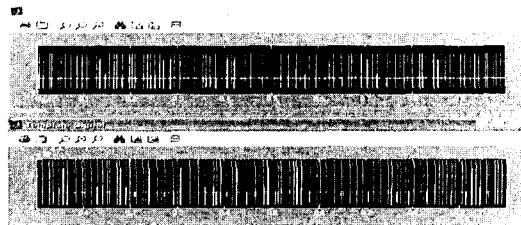


그림 13. PN 코드 동기(송수신 PN 코드 일치)

Fig. 13 PN Code synchronization

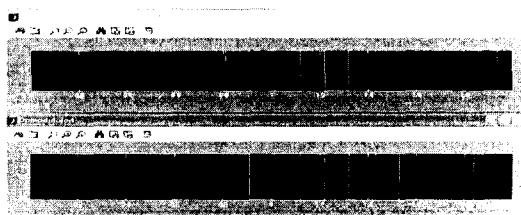


그림 14. 데이터 복조

Fig. 14 Demodulation of source data

송신부와 수신부의 PN 코드가 일치하면 송신부에서 데이터를 전송하기 시작하고 동일한 송수신 PN 코드가 실행되어 데이터 복조가 가능해진다. 그림14는 UWB 송신신호와 복조된 UWB 신호 파형으로 S/H(sample & holding)에 의한 T_s 만큼 지연되어 데이터 복조가 이루어졌다.

V. 결 론

본 논문에서는 UWB 통신을 위한 가우시안 개열 펄스의 시간과 주파수에 대한 특성을 알아보았다. SNR에 따른 BER 성능 평가 결과 가우시언 펄스를 2차 미분한 scholtz 파형 성능이 가장 우수하였다. 이를 바탕으로 본 논문에서는 QPSK 시스템 간섭 영향을 분석하기 위하여 이 펄스를 선택하였다. QPSK 신호 간섭 정도는 변조방법뿐만 아니라 시간호평을 이용한 펄스열의 주기성 제거로 인하여 매우 큰 효과를 얻을 수 있음을 PAM 변조 실험으로 확인할 수 있었다.

UWB 데이터 복조를 위하여 가우시언을 2차 미분한 scholtz 필스를 이용하였고 변조방식은 PPM을 사용하였으며 필스열은 시간호평으로 주기성을 제거하였다. 이와같은 UWB 통신시스템의 시뮬레이션 결과 UWB 신호 검파 시간과 송수신 PN 코드의 일치로 신호를 복조할 수 있었다.

본 논문에서는 UWB 신호 복조를 위해 사용자 한 명에 대한 시뮬레이션이 시행되었으나, 근거리 통신에서 다중 사용자 UWB 통신 방법에 대한 연구가 필요하며 특히, MAI(Multiple Access Interference)를 없애기 위한 기존의 다중 사용자 겹출(MUD : Multi User Detection) 방법을 UWB 통신시스템에 적용하기 위한 연구가 수행되어야 한다.

참고 문헌

- [1] 이형수, 김재명, UWB 무선기술 및 규제동향, 한국 통신학회지, 13-21, 2003.2
- [2] 최상성, 조상인, "UWB 신호에 의한 실내 무선랜 장치의 전파간섭", 한국통신학회지, 31-41, 2003.2
- [3] Jac Romme and Lorenz Piazzo, "On the Power Spectral Density of Time Hopping Impulse Radio"
- [4] 송형규, 유영환, 박현지, UWB 변복조 기술, 한국통신학회지, 53-67, 2003.2
- [5] R.A.scholtz, "Multiple Access with Time -Hopping Impulse Modulation", Proc. MILCOM, Oct. 11-14 1993
- [6] LUA HONG LIM DARYL, UWB Application in Remote Sensors, 2002
- [7] Eva H.K Yeung, John Mitchell, "Modeling of Ultra-wideband(UWB) Radio System"

저자 소개

변건식(Kun-Sik Byon)



1972년 2월 한국항공대학교 항공 전자공학과 졸업
1980년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 석사
1987년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 박사
1989년 9월~1990년 8월 국립 요코하마대학교 전자정보공학과 객원교수
1980년 2월~현재 동아대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : CDMA, OFDM, SDR, UWB

이민혁(Min-Hyouck Lee)



1997년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업
1999년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 석사
2003년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 박사수료
2000년 12월~2001년 12월 (주) 삼창기업 재어기술연구소
2001년 12월~현재 (주)비엔지로티스
※ 관심분야 : CDMA, OFDM, ITS, UWB,

전제훈(Je-Hun Jeon)



2001년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업
2002년 8월~현재 동아대학교 대학원 전자공학과 석사과정
※ 관심분야 : CDMA, OFDM, MIMO, UWB