

Chirp spread spectrum 변조를 이용한 인체 내외 통신 기법

정회원 김 경 철, 전 명 운, 준회원 김 기 현, 정회원 이 정 우, 종신회원 남 상 욱

Human Body Communication Using Chirp Spread Spectrum Modulation

Kyungchul Kim*, Myeongwoon Jeon* *Regular Members*, Kihyun Kim** *Associate Member*,
Jungwoo Lee* *Regular Member*, Sangwook Nam** *Lifelong Member*

요 약

다양한 분야에서 IT와 BT의 융합이 논의되고 있으며 의료 산업에서 캡슐 내시경의 개발은 인체를 매개로 무선 통신을 한다는 점에서 그 예라 할 수 있을 것이다. 하지만 인체 채널에서의 통신은 송신 전력의 제한이 엄격할 수 밖에 없으며, 아직 채널 특성에 대한 활발한 연구도 이루어지지 않아서 그 채널을 추정하기가 매우 어렵다. 따라서 정확한 채널 추정이 필요한 일반적인 부호화 / 복호화 기법을 사용할 수 없으며, 기존 통신망에서 유입되는 간섭 신호에 취약할 수 밖에 없다. 본 논문에서는 채널 추정이 필요 없으면서도, 주위 간섭 신호의 영향에 강인한 Chirp Spread Spectrum Differential Binary Phase Shift Keying(CSS-DBPSK) 기법을 소개하고, Chirp Spread Spectrum On-Off Keying (CSS-OOK) 기법을 제안한다. CSS-DBPSK, CSS-OOK를 이용하면 일반 OOK에 비하여 target BER (Bit Error Rate) 10⁻⁵을 위한 Eb/N0을 약 5dB, 2dB 낮출 수 있으며 간섭 신호에 대한 성능 저하도 막을 수 있다.

Key Words : Human Body Comm., CSS System, CSS-DBPSK, CSS-OOK, OOK

ABSTRACT

Convergence of IT and BT is considered in many area, especially in medical care industry. The example of this trend is a capsule endoscope. But in a capsule endoscope, communication through human body has a few restrictions. At first, the transmit power should be limited not to have a bad effect on human organs and for the battery capacity. Second, the channel characteristic of human body has not been examined exactly. Third, general modulation / demodulation techniques which require a channel estimation cannot be used because of battery limit. There also may be a lot of interference signals because a capsule endoscope uses UWB bandwidth. In this paper, we introduce Chirp Spread Spectrum Differential Binary Phase Shift Keying(CSS-DBPSK) and propose Chirp Spread Spectrum On-Off Keying(CSS-OOK) which don't require a channel estimation and robust to interference signals. Using CSS-DBPSK or CSS-OOK, we can get 5 dB or 2~3 dB of Eb/N0 gain at 10⁻⁵ target BER. And if there are interference signals, those gains of CSS-DBPSK and CSS-OOK are increased.

※ 이 논문 또는 저서는 뉴미디어 통신 공동연구소와 2009년 정부(지식경제부)의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임
 * 서울대학교 전기컴퓨터공학부 무선신호처리 연구실, 뉴미디어 통신 공동연구소 (kckim@wsp.snu.ac.kr, ifindme@wsp.snu.ac.kr, junglee@ee.snu.ac.kr)
 ** 서울대학교 전기컴퓨터공학부 전파공학 연구실, 뉴미디어 통신 공동연구소 (kihyun@ael.snu.ac.kr), (snam@ee.snu.ac.kr)
 논문번호 : KICS2009-11-563, 접수일자 : 2009년 11월 5일, 최종논문접수일자 : 2010년 4월 14일

I. 서론

최근 무선 통신 기술이 발달함에 따라, 무선 통신 시스템에 있어서 초소형, 저전력 송수신기(transceiver)를 설계 및 제작하는 것이 가능하게 되었으며, 이러한 초소형, 저전력 송수신기는 기존의 통신 장치와 달리 인간의 몸속에 투입되어 인체의 진단 및 치료의 용도로 활용될 수 있게 되었다.

특히, 초소형, 저전력 송수신기를 이용한 무선 통신 시스템은, 인체 내부에서 영상 정보, 온도, 압력, pH 등의 인체에 관한 정보를 획득하고 획득한 정보를 인체 외부에 위치하는 시스템으로 전송하는 기능을 수행하는, 인체 통신 시스템에 적용되어 널리 활용되고 있다. 대표적으로, 무선 캡슐형 내시경 시스템에 예로 들 수 있는데, 이러한 인체 통신 시스템에 따르면, 구강을 통해서 삼켜진 무선 캡슐형 내시경이 소화기관을 따라 이동하며 인체 내부 기관의 영상 정보를 획득하고, 획득한 정보를 체외에 위치한 수신기로 전송하는 기능을 수행할 수 있다.^[1-4]

그런데, 인체 통신 시스템은 인체 내부를 매질로 하여 무선 통신을 수행하는 것이기 때문에, 무선 신호가 인체를 통과하면서 전송 손실이 크게 발생할 수 있으며, 고주파 신호를 사용하는 경우에는 인체에 유해한 영향을 끼칠 수도 있다는 문제점을 가지고 있다.

위와 같은 이유로 인하여, 인체를 매개로 하는 통신, 즉, 인체 채널을 통한 통신은 송신 전력의 제한이 엄격할 수밖에 없고, 이에 따라 인체 채널의 특성을 정확하게 추정할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지지 않아 인체 채널의 특성을 추정하기가 매우 어려운 실정이다.

따라서 정확한 채널 추정이 요구되는 일반적인 무선 통신 기법은 인체 통신에 사용되기 부적합하다는 한계를 갖고 있으며, 이러한 일반적인 무선 통신 기법을 인체 통신에 그대로 사용하는 경우 기타 통신망으로부터 유입되는 간섭 신호에 취약할 수밖에 없게 되는 문제점이 발생하게 된다. 실제로, 기존에 개발되던 캡슐내시경은 On-Off Keying(OOK) 방식을 기본으로 하고 있는데, 이 방식은 수신 신호의 크기만으로 복원하는 것에 따른 외부 간섭에 대한 문제점을 가지고 있었다. 따라서 이러한 문제점을 최소화할 수 있는 인체 통신 방법 및 시스템에 대한 개발의 필요성이 대두되게 되었다.

본 논문은 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, Differential Binary Phase Shift Keying(DBPSK)과 Chirp Spread Spectrum(CSS) 변조 방식

을 결합한 CSS-DBPSK를 소개하고, OOK 변조 방식과 CSS 변조 방식을 결합한 시스템을 제안함으로써, 채널 추정이 필요 없으면서도 주위 간섭 신호의 영향에 강인하고 간단하게 구현 가능한 인체 통신 시스템을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

II. 본론

UWB 통신은 중심주파수의 20%이상의 점유대역폭을 가지거나 500MHz 이상의 점유 대역폭을 차지하는 무선 전송 기술로써^[5], 낮은 전력을 사용하기 때문에 기존에 사용중인 주파수 대역과 간섭없이 공유하여 사용할 수 있으며 전송 속도도 높일 수 있다. 그리고 Spreading spectrum 기법의 한 종류인 CSS 기법은 시간에 따라 주파수가 변하는 chirp 신호를 사용하여 전송하는 데이터의 주파수 대역을 넓히고 넓은 band pass filter(BPF)를 사용한다^[6-9]. CSS 기법은 소비 전력이 낮고 시간 분해능이 높으며, 주위 잡음과 간섭 신호의 영향을 줄일 수 있고, multi-path fading과 도플러 효과에도 강하다고 알려졌다^[12]. 인체내 매질의 평균적 특성을 갖는 균일 매질을 가정하고 주파수 분석을 한 결과, 400~600MHz 대역에서 최적 손실을 보인다는 결과가 있다^[1]. 본 논문에서는 20MHz의 데이터를 가정하고, 500MHz를 중심으로 100MHz의 폭을 갖는 UWB 통신을 이용하는 캡슐 내시경의 송신 기법에 대하여 Matlab으로 실험을 하였다.

한편 캡슐 내시경에서는 배터리의 제약 때문에 기존에 일반적으로 사용하는 채널추정 방법을 사용할 수 없다. 채널 추정이 필요 없는 시스템으로는 DBPSK 시스템과 OOK 시스템을 들 수 있다^[10,11]. DBPSK 시스템은 OOK에 비하여 성능이 비교적 좋지만, 수신기가 약간 복잡하다. 그리고 OOK는 매우 간단한 수신기를 사용하는 대신 주변의 간섭 신호에 영향을 많이 받는 단점이 있다. 기존에 개발된 캡슐

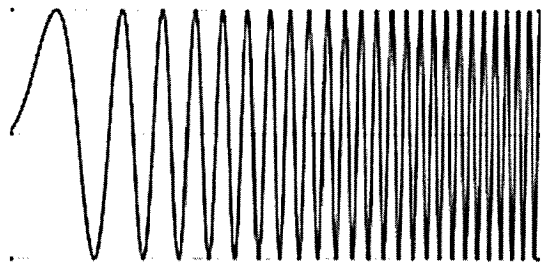


그림 1. CSS 방식에 사용되는 펄스 신호의 예
Fig. 1. Example of pulse signal in CSS system

내시경은 500MHz 대역에서 OOK 기술을 사용하였다. 하지만 이 대역이 TV방송에서 사용하는 대역에 포함되기 때문에 상황에 따라서 극심한 간섭 신호를 겪는 경우가 발생하였다. 이에 인체 채널 특성상 400-600MHz 대역을 사용하고, 낮은 전력으로도 간섭 신호에 대해 강인한 기술이 필요하게 되었으며, CSS 기법과의 결합을 고려하게 되었다.

2.1 CSS-DBPSK

CSS-DBPSK의 구조는 아래 그림 2와 같다.

OOK 시스템은 디지털 데이터 '1'과 '0'을 그대로 아날로그 펄스 '1'과 '0'에 대응시켜 전송한다. 반면 DBPSK를 사용하면 디지털 데이터 '1', '0'을 아날로그 그 '1'과 '-1'에 대응시켜 전송하기 때문에 송신 파워를 두배 사용하게 되고, 잡음 신호의 크기가 같다면 DBPSK의 성능이 OOK의 성능보다 좋을 수 밖에 없다. 이에 더하여 CSS 변조 방법을 사용하면 간섭 신호에 강인한 시스템을 구축할 수 있다. 구체적으로 CSS-DBPSK 변조 방법을 사용하여 '1010'의 디지털 데이터를 전송할 때의 파형은 아래와 같다.

수신단에서 받은 신호를 BPF에 통과시키면 잡음의 영향을 줄일 수 있다. 그 다음 mixer를 통과시키고 amplitude를 비교하여 송신한 데이터를 복조할 수 있는 것이다. 하지만, 데이터를 복조하는 과정에서 그림 2와 같이 1 bit delay가 필요하고, 이 과정에서 정확하게 synchronization(sync)을 맞춰야 하는 DBPSK의 특성상 실제 구현이 어렵다는 단점이 있다. 수신 신호의 한 심볼 time 정확하게 delay해서 다시 수신 신호와 곱해야 하는데, 아날로그 단에서 한 심볼 time을 정확하게 delay 하는 것이 어려운 것이다. 또한 디지털 단에서 처리하기도 쉽지 않다. 500MHz를 중심으로 100MHz 이상의 폭을 가진 신호 그 자체를 수 GHz대로 샘플링하여 처리하는 것은 불가능하다. 만약 다운컨버팅 기술을 이용하더라도, 최소한 300MHz 이상의 샘플링이 필요하고 이 신호를 실시간으로 처

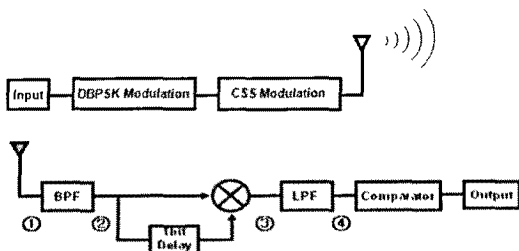


그림 2. CSS-DBPSK 시스템의 송수신기 구조도
Fig. 2. CSS-DBPSK system transceiver structure

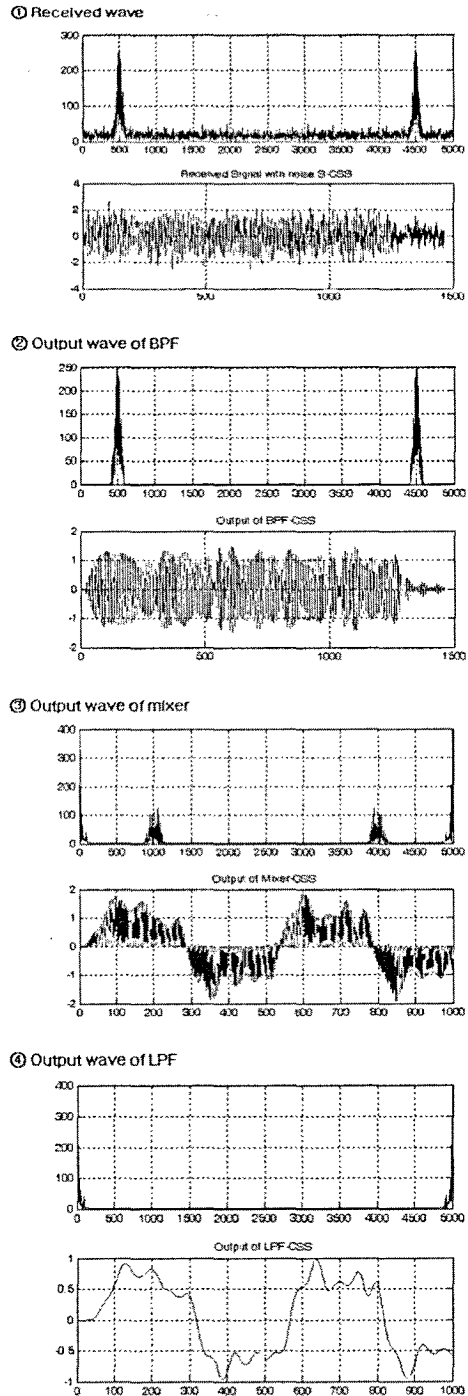


그림 3. CSS-DBPSK의 각 부분의 실험 파형 (주파수/시간 도메인) ①수신단에서 받은 신호 ②수신단에서 BPF를 통과한 신호 ③Mixer를 통과한 신호 ④LPF(low pass filter)를 통과한 다음의 신호
Fig. 3. Simulation wave of CSS-DBPSK (freq/time domain) ①Received signals ②Signals after BPF ③Signals after Mixer ④Signals after LPF

리하기 위해서는 최소한 수 GHz대의 프로세서가 필요한데, 이 또한 간단한 FPGA 보드에서는 구현이 불가능한 것이다. 실제로 수신단에서 sync가 맞지 않았을 때의 성능은 그림 7에 있다. 한편, 다음 절에서 살펴볼 CSS-OOK를 사용하면 약간의 성능 열화가 있지만 CSS-DBPSK와 같이 sync를 맞추는 필요가 없어진다.

2.2 CSS-OOK

CSS-OOK의 구조는 그림 4와 같다. CSS-OOK는 OOK 신호를 CSS를 통해 넓은 주파수 영역에 퍼뜨려 보내는 기법이다. 따라서 OOK 시스템의 수신기에 사용하던 것보다 넓은 밴드의 BPF를 사용해야 한다. 그러면 수신 신호의 유/무를 통해 복조를 하는 간단한 방법으로 데이터를 복조 할 수 있다. 위와 마찬가지로 '1010'의 디지털 데이터를 전송할 때 CSS-OOK 시스템에서의 파형은 그림 5와 같다.

CSS-OOK에서 데이터를 복구하는데 꼭 LPF가 필요한 것은 아니지만, 파형의 모양을 보고자 그림 5의 ③에는 power detector를 통과한 신호를 다시 LPF에 통과시켜 파형을 그렸다.

CSS-OOK는 CSS 변조 기법을 사용하기 때문에 간섭이나 잡음 신호에 강인하다. 또한 CSS-DBPSK보다 성능이 떨어지지만 간단하게 수신 신호의 유/무

를 통해 복조를 하기 때문에 쉽게 구현 가능하다는 장점이 있다.

2.3 실험결과

그림 6은 E_b/N_0 (bit energy to noise power spectral density ratio)에 따른 일반 OOK, CSS-DBPSK, CSS-OOK의 BER (bit error rate) 성능 그래프이다. 실선은 간섭 신호가 없을 때이고, 점선은 간섭 신호가 있을 때의 성능이다.

CSS-DBPSK는 CSS-OOK, OOK보다 성능이 월등히 좋다. 하지만 이는 정확하게 time sync를 맞추었을 경우이고 sync가 어긋났을 때의 성능은 그림 7과 같다. CSS-DBPSK를 실제로 구현 하면 sync를 정확하게 맞추기가 어렵기 때문에 성능을 보장 할 수 없다.

그림 6에서 보듯이, CSS-OOK의 경우 CSS 기법을 사용하지 않는 일반 OOK 보다 넓은 주파수 밴드를 사용하기 때문에 잡음 신호를 더 많이 겪게 되어 E_b/N_0 가 작을 때에는 일반 OOK보다 성능이 떨어진다는 단점이 있다. 하지만 이는 BER이 매우 큰 경우이고, 우리의 관심 영역 밖이기 때문에 실제 인체 통신 시스템을 구현하는 데에는 일반 CSS-OOK가 일반 OOK 보다 좋은 성능을 보인다고 말할 수 있을 것이다. 구체적으로는 target BER을 10^{-5} 이라 할 때, OOK보다 2~3dB의 이득을 가진다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 CSS-OOK는 OOK에 비하여 간섭 신호에 강인하다.

그림 8은 수신 E_b/N_0 가 12dB로 고정되어 있을 때, 간섭 신호의 크기에 따른 성능의 그래프이다. 간섭 신호가 커지면 CSS-OOK와 OOK 모두 성능이 나빠지지만, CSS-OOK가 OOK에 비하여 간섭 신호에 대하여 월등히 안정함을 확인할 수 있다.

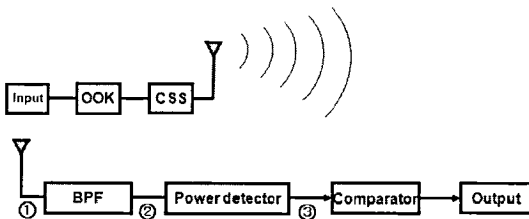


그림 4. CSS-OOK 시스템의 송수신기 구조도
Fig. 4. CSS-OOK system transceiver structure

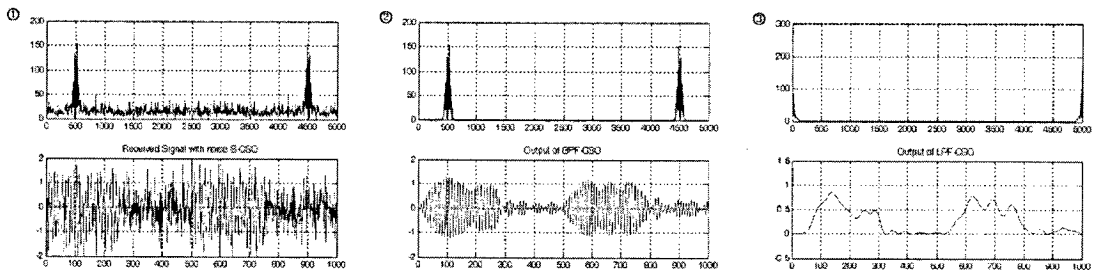


그림 5. CSS-OOK의 각 부분의 실험 파형 (주파수/시간 도메인) ①수신단에서 받은 신호 ②수신단에서 BPF를 통과한 신호 ③ power detector를 통과한 신호를 LPF에 통과시킨 신호
Fig. 5. Simulation wave of CSS-OOK (freq/time domain) ①Received signals ②Signals after BPF ③Signals after power detector and LPF

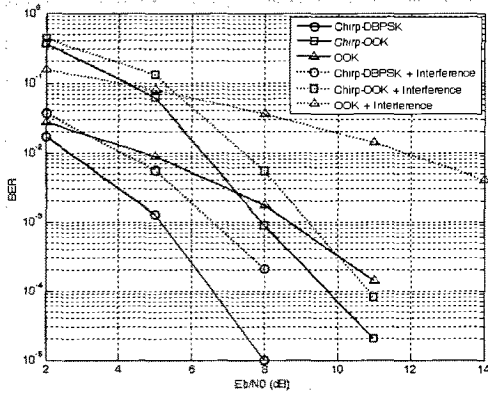


그림 6. E_b/N_0 에 따른 CSS-DBPSK, CSS-OOK와 OOK의 BER 성능 비교
Fig. 6. BER performance of CSS-DBPSK, CSS-OOK and OOK

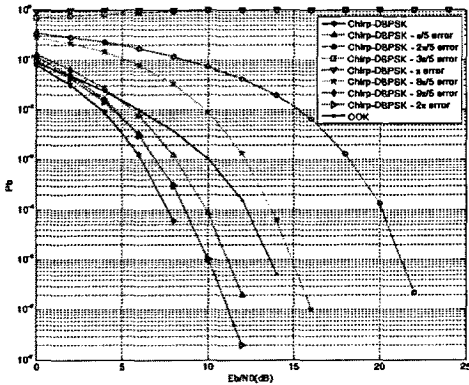


그림 7. Sync 에러에 따른 CSS-DBPSK의 성능 비교
Fig. 7. BER performance of CSS-DBPSK in terms of Sync error

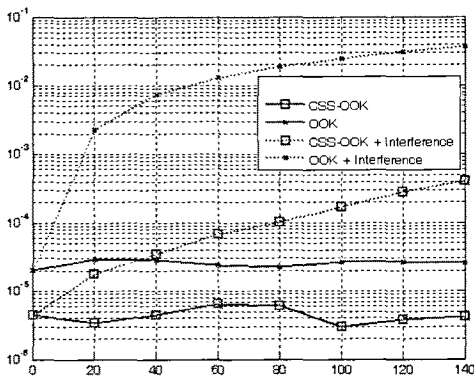


그림 8. 간섭 신호 크기에 따른 CSS-OOK와 OOK의 성능 비교
Fig. 8. BER comparison of CSS-OOK and OOK in terms of interference signal power

III. 결 론

본 논문에서는 무선 캡슐 내시경에 사용 가능한 CSS-OOK 변조 기법을 제안하고, 기존에 소개된 CSS-DBPSK 기법 및 가장 간단히 구현할 수 있는 OOK 기법과 그 성능을 비교하였다. OOK 시스템에 비하여 CSS-DBPSK의 성능이 월등히 좋고, 간섭 신호에 대한 영향도 적음을 확인할 수 있다. 하지만 CSS-DBPSK 변조 기법은 수신 단에서 Sync를 제대로 맞추기 어렵기 때문에 실제로 구현이 어렵다는 단점이 있다. 또한 CSS-OOK를 사용하면 peak-to-peak voltage 측면에서 CSS-DBPSK의 절반만 사용하기 때문에 인체에 미치는 영향이나 배터리 용량과 관련하여 이득이 있다. 게다가 CSS-OOK 변조 기법은 CSS를 사용하기 때문에 간섭 신호에 일반 OOK에 비하여 간섭 신호에 강인하다는 장점이 있다. 그리고 일반 OOK에 비하여 넓은 주파수 밴드를 사용하기 때문에 잡음 신호가 더 많이 끼어 낮은 E_b/N_0 영역에서는 성능이 떨어지지만, 실제 캡슐 내시경의 target BER 영역에서는 2~3dB의 이득을 얻을 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

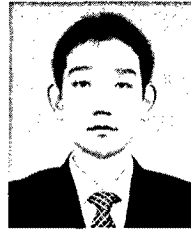
- [1] 이재천, 남상욱, “저전력 고속 OOK 무선 캡슐형 내시경 시스템의 설계 및 제작,” 한국통신학회지: 정보와 통신, 제25권 제2호, pp. 41-46, 2008년 2월.
- [2] 전성호, 캡슐내시경용 OOK 송신기와 Chirp-DBPSK 송신기 설계, 서울대학교 학위논문 (석사), 2009년 2월.
- [3] D. G. Adler and C. J. Gostout, “Wireless Capsule Endoscopy,” Hospital Physician, pp.16-22, May, 2003.
- [4] G. Iddan, G. Meron, A. Glukhovskiy and P. Swamin, “Wireless capsule endoscopy,” Nature, Vol.405, No.6785, p.417, May 2000.
- [5] 윤두영, 전수연, “UWB 기술 개요 및 주파수 정책 동향,” 정보통신정책, 통권 397호, 제 18권 13호, pp.1-20, 2006년 7월.
- [6] Gott G.F and Newsome J.P., “H.F. Data Transmission Using Chirp Signals,” Proc. IEE, 1971, 118, (9), pp.1162-1166.
- [7] Gott G.F and Karia A.J., “Differential Phase-shift Keying Applied to Chirp Data

Signals,” Proc. IEE, 1974, 121, (9), pp. 923-928.

- [8] P. Zhang and H. Liu, “An ultra-wide band system with chirp spread spectrum transmission technique,” in Proc. Int. confer. ITS Telecomm., pp.294-297, Jhongli Taiwan, June 2006.
- [9] A. Springer, W. Gugler, M. Huemer, L. Reindl, C.C.W. Ruppel, and R. Weigel, “Spread spectrum communications using chirp signals,” EUROCOMM 2000. Information Systems for Enhanced Public Safety and Security. IEEE/AFCEA, pp.166-170, May 2000.
- [10] John G. Proakis, Digital communications, 4th ed. McGraw-Hill, Nov, 2001.
- [11] T. S. Rappaport, Wireless communications, Principles and Practice, 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.
- [12] John Lampe, Zbigniew Ianelli, Introduction to chirp spread spectrum (CSS) technology, IEEE P802.15-03-0460-00-0000, Nov., 2003.
- [13] 윤태웅, 이영윤, 이명수, 송익호, 윤석호, “오버랩 기반 CSS 시스템 설계를 위한 단힌폴 비트 오류율 표현,” 한국통신학회논문지, 제34권 제4호, pp.469-475, 2009년 4월.
- [14] J. Pinkney, Low complexity indoor wireless data links using chirp spread spectrum, Ph. D. Dissertation, Department of electrical and computer engineering, University of Calgary, Calgary, Canada, 2003.
- [15] D. P. Morgan, Surface-Wave Devices for Signals Processing, 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1991.
- [16] A. Springer, W. Gugler, R. Koller, and R. Weigel, “A wireless spread-spectrum communication system using SAW chirp delay lines,” IEEE Trans. Microwave theory and Techniques, Vol.49, pp.754-760, Apr. 2001.

김경철 (Kyungchul Kim)

정회원



2006년 8월 서울대학교 전기공학부 (공학사)

2006년 9월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박통합과정

<관심분야> 이동 통신 시스템, MIMO, 빔 형성, 모드 선택,

전명운 (Myeongwoon Jeon)

정회원



2007년 2월 서울대학교 전기공학부 (공학사)

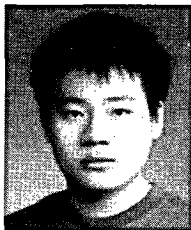
2009년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)

2009년 3월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정

<관심분야> 스피어 디코딩, MIMO, 이동통신 시스템

김기현 (Kihyun Kim)

준회원



2008년 2월 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

2010년 2월 서울대학교 전기공학부 (공학석사)

<관심분야> Ultra-Wideband Communication

이 정 우 (Jungwoo Lee)

정회원



1988년 2월 서울대학교 전자공학과

1990년 2월 Princeton Univ. Electrical Engineering (공학석사)

1994년 2월 Princeton Univ. Electrical Engineering (공학박사)

2002년 9월~현재 서울대학교 전기공학부 교수
<관심분야> 이동 통신 시스템, MIMO, 협력 통신, 무선 네트워크 코딩, 무선 멀티미디어

남 상 욱 (Sangwook Nam)

종신회원



1981년 2월 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)

1989년 Electrical Engineering at the University of Texas at Austin (공학박사)

1990년~현재 서울대학교 전기공학부 교수
<관심분야> 마이크로파 능동/수동회로 설계, 안테나 및 전파전파, 전자파 수치해석 등