

주파수 효율 및 성능 향상을 위한 Frequency Slope Modulated Chirp 신호를 이용한 UWB 시스템

학생회원 김 정 현*, 정회원 김 지 현**, 종신회원 유 철 우*

UWB Communication and Ranging System using Frequency Slope Modulated Chirp

Jung-hyun Kim* *Student Member*, Ji-hyun Kim** *Regular Member*, Cheol-woo You* *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 Chirp 신호가 변조된 UWB frequency slope를 이용한 거리 측정 기술 및 통신 시스템을 제안하였다. 오직 up-chirp 만 사용하거나 혹은 (주파수 간) 동일한 주파수 변화도(Frequency sweeping rate)를 가진 down-chirp 만 사용하는 대신에, 제안된 시스템은 주파수 도약을 이용하여 서로 다른 주파수 변화도를 가지는 여러 Chirp 신호를 사용한다. 제안된 시스템은 데이터 전송 속도를 증가시킬 수 있고 동시에 사용자들이 사용한 sequence 간에 간섭도 줄일 수 있기 때문에 기존 통신 거리 측정 전략보다도 성능이 좋다. 본 논문에서는 연구의 타당성을 보이기 위해 MATLAB을 이용한 UWB 통신 시스템의 시뮬레이션을 제시한다.

Key Words : Chirp 신호, 다중 주파수 변화도, Frequency slope modulation, 거리 측정 기술, 차량 간 통신

ABSTRACT

This paper proposes a ranging and communicating system that uses the UWB frequency slope modulated chirp signal. Instead of using only the up-chirp and down-chirp with the same frequency sweeping rate, the proposed system uses several chirps that have different frequency sweeping rates with frequency hopping. This system performs better than the conventional communication and ranging schemes because it is capable of increasing the data transmission rate and at the same time decreasing the interference between sequences used by users. In this paper, we propose simulations of UWB communication system to show validity by using the MATLAB.

I. 서 론

Intelligent Transport System and Service(ITS)의 일환으로 기초적인 거리 측정 기술을 바탕으로 한 자동 항법 장치가 주목을 받고 있다. 그리고 여러 주요 자동차 제조업체 회사들은 이미 자동 주행 속도 유지 장치가 장착되어 조정 가능한 자동차들을 시장에 내

보이고 있다. 자동 주행 속도 유지 장치는 광대역 신호를 발생시켜 교통 상태를 확인함으로써 앞, 뒤 자동차간의 거리를 탐지한다. 그리고 나서 제안된 시스템은 적정 거리를 유지하기 위해 자동차의 속도를 자동으로 감소시키거나 증가시킨다. 덧붙여 자동차간의 거리 측정 기술뿐만 아니라 그 거리와 속도 데이터로 자동차간에 정보 교환을 할 수 있다면, 더욱더 명확하고

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0007084)

※ 이 연구는 2010년도 명지대학교 교직원연구실 지원으로 연구되었음.

* 명지대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실 (khw215@hanmail.net, cwyou@mju.ac.kr)

** 고려대학교 정보통신공대학 뇌공학과 (antithru@lycos.co.kr)

논문번호 : KICS2011-01-071, 접수일자 : 2011년 1월 31일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 11일

안전한 시스템이 구성될 수 있다. 더욱이 자동차간 거리와 속도에 대한 정보도 도로 위에 설치된 접근 포인트들을 통해 수집된다면, 중앙 교통 제어 시스템을 구성하는데 기여를 하게 될 것이다.

연방 교통 위원회(FCC: Federal Communications Commission) 규제들 내에서는, 22~29 GHz 대역 주파수가 이 거리 측정 시스템들에 할당되며, 지난 몇 십 년 동안에 다양한 거리 측정 계획들이 연구되어오고 있었다^{11,2)}. 특별히, Chirp 신호는 도플러 영향 저항력 때문에 고속으로 움직이는 사물의 거리 측정 기술에 이전부터 사용되어오고 있다. Chirp 신호들을 이용한 다중 접근 시스템 중에서도 frequency slope modulation이 소개되어져 왔다. Frequency slope modulation은 서로 다른 주파수 스윙핑 속도(frequency sweeping rate)들을 가진 다양한 Chirp 신호들을 사용한다. 각 Chirp 신호는 통신을 위해 서로 다른 사용자에게 할당된다. 이것이 가능한 이유는 Chirp 신호들이 변조된 frequency slope 사이에는 직교 성질이 있기 때문이다. 또한, 주파수 도약 확산 스펙트럼 기술을 사용한 거리 측정 시스템에 대한 연구들은 보고되고 있다. 제안된 시스템은 사용자를 구분하기 위해서 주파수 도약으로 Chirp 신호들의 sequence를 형성하고^{14,5)}, 수신단에서 그 sequence를 감지한다. 거리 측정 시스템은 PN(Pseudo Noise) 코드를 이용하여 각 사용자에게 할당된 sequence에서 주파수의 도약 패턴들을 결정한다.

본 논문에서는, 생성 가능한 sequence의 최대 개수를 늘리기 위해서 기존 시스템의 단일 Chirp 신호 대신에 Chirp신호가 변조된 다중 frequency slope를 활용하는 거리 측정 통신 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안된 시스템은 동일한 주파수 대역 내에서 보다 큰 사용자들의 개수를 측정할 수 있으며, 사용자의 개수가 바뀔 때 각 사용자를 위한 데이터 속도도 증가시킬 수 있다.

II. 제안된 광대역(UWB) 시스템

2.1 Chirp 파형 묘사

제안된 시스템에서 선형 변조 Chirp 신호가 사용되며 아래와 같이 주어진다.

$$s(t) = \begin{cases} \sin(2\Pi f_0 t + \frac{1}{2} 2\Pi \mu t^2) & |t| < \frac{T}{2}, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

이 식에서 f_0 는 중심 주파수, μ 는 주파수 스윙핑 속도, T 는 Chirp 파장 길이, 그리고 Δf 는 주파수 스윙핑 거리이다. 그래서 $\mu = \Delta f / T$ 이다. 수신단은 이 식의 값에 따라 up-chirp과 down-chirp을 결정한다. 이번 연구에서, 600MHz up-chirp, 300MHz up-chirp, 600MHz down-chirp, 300MHz down-chirp 가 모든 실험을 위해 사용된다.

2.2 거리 측정 기술

사방으로 퍼진 신호들은 어떤 대상으로 인해 반사될 수 있고 수신단으로부터 신호를 받을 수도 있다. 각 Chirp 신호는 아래 (2) 식의 원리에 따라 감지된다.

$$R(\tau) = \int s_j(t) s_{rec}(t+\tau) dt \quad (2)$$

s_j 는 j 번 째 전송된 Chirp 신호, s_{rec} 는 수신된 Chirp 신호, 그리고 τ 는 파장이 다녀간 시간이다. 방정식 (2)의 상관관계 산출 값은 s_j 가 감지될 때 증가한다. 이 시스템은 파장의 다녀간 시간을 계산함으로써 거리를 측정한다.

$$D = \frac{c\tau}{2} \quad (3)$$

여기서 c 는 빛의 속도로 $3 \times 10^8 m/sec$ 이다.

2.3 시스템 모델

제안된 시스템은 up-chirp들과 down-chirp들을 변조한 주파수의 개수인 N 으로 구성된다. 그러므로 전송단과 수신단은 각각 N 개의 필터들과 상관기들을 포함한다. 설령 제안된 시스템이 기존 시스템보다 더 많은 필터들을 필요로 할지라도, SAW(Surface Acoustic Wave) 필터가 간단하기 때문에 특별히 시스템 복잡성을 증가시키진 않는다⁶⁾. 그림 1은 제안된 시스템의 블록 다이어그램을 나타낸다. bit sequence는 sequence generator에서 형성되었다. Frequency synthesizer는 주어진 sequence에 따라 각 신호를 적절한 주파수에 맞게 변조한다. 그리고 각 Chirp 필터는 복사되기 전에 Chirp 신호들을 생성한다. 수신단에서 각 Chirp 상관기는 Chirp 신호를 감지하기 위해 신호들을 검색한다. threshold 감지기를 사용함으로써, 수신된 신호가 잘 맞는지 아닌지를 threshold 감지기가 결정한다. sequence 결정 절차는 어떤 sequence가 수신되는 지를 알아낸다. 목표물 감지는 추가적인 거리 측정

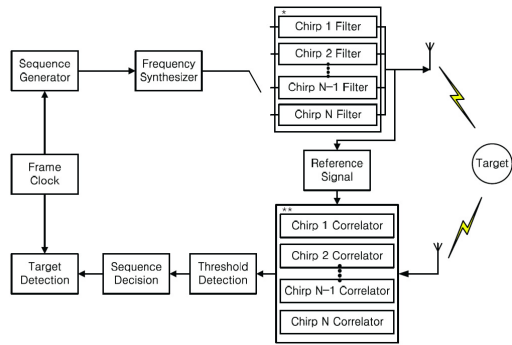


그림 1. 기존 시스템의 Chirp을 이용한 거리 측정 기술 블록도의 예제

sequence 없이 제안된 시스템의 감지된 데이터 sequence를 사용함으로써 이루어진다.

III. 시뮬레이션

3.1 Chirp 직교성

먼저 사용된 Chirp 신호들은 동 시간대 slot에서 모든 Chirp 신호들이 사용되기 위해 직교한다는 것을 확실히 해둘 필요가 있다. Chirp 신호들 간에 직교성을 MATLAB을 이용하여 증명한다. 그림 2의 (a)는 오직 단일 주파수 스위핑 속도 Chirp 신호들만 포함된 기존 Chirp 세트를 나타낸다. 그림 2의 (b)는 2개의 주파수 스위핑 속도 Chirp 신호들이 포함하고 있는 제안된 Chirp set를 나타낸다. 우리가 그림 2의 (b)와 같이 제안된 Chirp set를 사용할 때, 자동 상관기 경우에는, 모든 Chirp 신호의 결과 값들이 거의 1에 근접하며, 그리고 교차 상관기 경우에는, 결과 값이 간섭이 없는 상태인 0.3 아래로 넘지 않는다. 이 값들이 뜻하는 바는 우리는 상관기를 사용함으로써 각 Chirp 신호를 구별할 수 있다는 것이다. 그림 3은 모든 4 개 Chirp 신호들(600MHz up-chirp, 300MHz up-chirp, 600MHz down-chirp, 300MHz down-chirp)이 동 시간대 slot에 전송된다고 할 때의 교차 상관기 결과 값을 보여준다. 그림 3과 같이 모든 Chirp 신호가 동시에 전송된다고 할지라도 각 Chirp 신호는 구별될 수 있다.

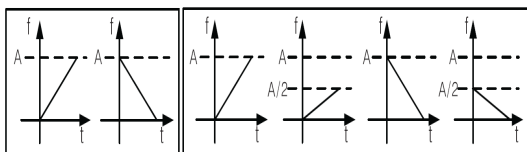


그림 2. (a) 기존 시스템에 사용한 Chirp set, (b) 제안된 시스템에 사용한 Chirp set. (A = 600MHz)

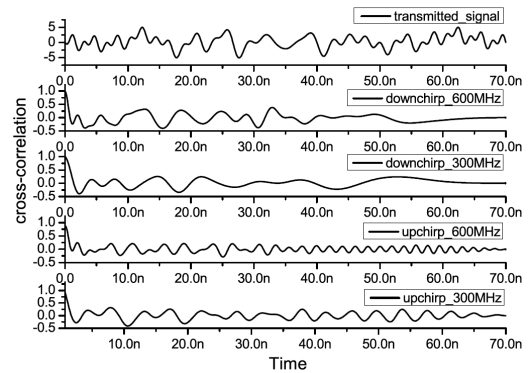


그림 3. 각 Chirp 신호와 모든 Chirp이 동시에 발생한 신호와의 교차 상관도

3.2 1개 주파수대 내에서 시뮬레이션 결과

sequence 개수가 증가하는 효과를 보이기 위해, 5 명의 사용자를 두고 SER을 계산해보았다. 그림 4에서 사각선이 기존 Chirp 신호 세트를 사용한 결과이고, 별표선은 제안된 Chirp 신호 세트의 결과이다. 표 1은 단일 주파수 대역 시뮬레이션에 대한 파라미터들을 보여준다.

AWGN 채널은 이 시뮬레이션을 위해 사용되어졌고 그 파라미터는 한 사용자 당 10000 비트씩 전송한다. 수신된 신호는 상관기에서 감지하고, sequence 개수는 상관기 결과 값이 한계치를 넘었을 때 sequence 감지기에서 결정된다. 시뮬레이션 결과가 기존 Chirp 신호 세트에서의 SER이 포화되는 반면에 제안된 Chirp 신호 세트의 SER은 잡음이 감소하고 있는 것처럼 감소하고 있다는 걸 말한다.

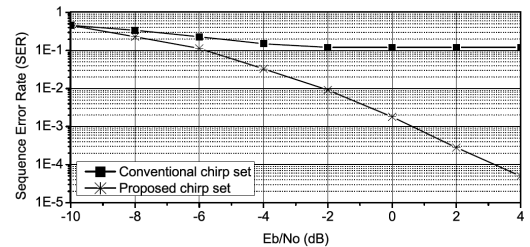


그림 4. 1개의 주파수 대역에서 기존 시스템과 제안된 시스템의 성능 비교

표 1. 단일 주파수대 시뮬레이션위한 파라미터 값

Number of measurements	50000(bits/set)
Number of sequence set	5
Length of chirp waveform (T)	70ns
Available bandwidth	600MHz
Number of chip per sequence	2

3.3 4개 주파수 대 내에서 시뮬레이션 결과

더 증명하자면, PN 코드는 sequence 발생과 다중 채널을 이용한다. 먼저, 우리가 사용할 16-bit PN 코드는 PN 코드를 형성하는 4개 구성들이 그룹화되고, 16진법으로 10진수 숫자를 변환시킨다. 그러므로 4개 칩들은 4개 주파수 대역들 내에서 PN 코드로의 변환에 따라 주파수 도약하는 1 비트로 할당된다. 표 2는 이번 시뮬레이션에서 16 비트 PN 코드로 형성된 sequence를 보여준다. 4*N 값들은 N 번째 주파수대에서 600MHz up-chirp 신호들을 의미하고, 4*N-1 값들은 N번째 주파수대에서 300MHz up-chirp을 가리킨다. 4*N-2 와 4*N-3 값들은 N 번째 주파수대에서 600MHz down-chirp 신호들과 300MHz down-chirp 신호들을 의미한다. 두 번째로, [4]에서 언급된 두 가지 다중 채널이 이용된다. 그림 5와 같이 사용자 4는 통신을 성공한 유일한 사람이고 나머지 4명의 사용자들은 기존 Chirp 신호 세트 시스템을 사용할 때 실패한 사람들이다. 그러나 제안된 시스템에서, 사용자1이 통신에서 유일하게 실패할 때 나머지 4명의 사용자들은 성공했다.

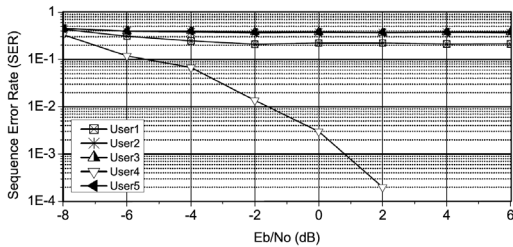


그림 5. 4개의 주파수대에서 기존 시스템의 SER

	Conventional system	Proposed system
User1	[1 13 5 5]	[1 14 5 5]
User2	[1 3 13 13]	[1 4 14 14]
User3	[1 11 13 11]	[1 12 13 12]
User4	[9 9 5 3]	[9 10 5 3]
User5	[1 11 11 13]	[1 11 11 13]

표 2. 각 사용자에게 따른 sequence 값

3.4 최적화

동일한 시간과 주파수에서 다양한 Chirp 신호들을 사용함으로써, SINR이 수신단에 따라 계속해서 증가되고 있다.

그러나 동시 발생한 통신 시스템의 특성을 이용함으로써, 우리는 증가한 SINR을 감소시킬 수 있다. 수신 신호에 대한 상관기의 바라던 결과 값이 제한된 시

간 안에 일어나게 될 것이다. 그래서 수신단은 수신된 신호를 결정하기 위해 상관기 결과의 제한된 시간을 확인한다. 시뮬레이션에서 감지 마진을 0.3과 1로 가정한다. 감지 마진이 0.3일 때, 수신단은 데이터 통신을 위해 수신기 결과 시간의 30%를 확인한다. 그림 6은 감지 마진이 1일 때 시뮬레이션 결과를 나타내며, 그림 7은 감지 타이밍 최적화의 간단한 예로 보인다. 그림 7과 같이 최상 그래프는 수신된 신호를 나타내고, 그리고 다른 4개 그래프들은 상관기 결과 값들이다. 그림 8은 감지 마진 0.3이 포함된 몇 파라미터들로 생긴 시뮬레이션 결과를 가리킨다. 그림 6과 8을

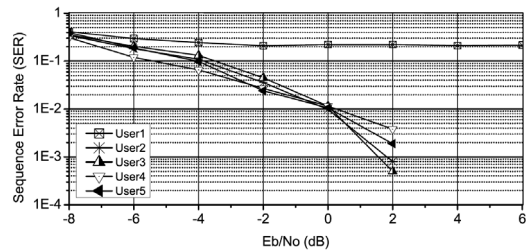


그림 6. 감지 마진이 1일 때 4개 주파수대를 가진 제안된 시스템의 SER

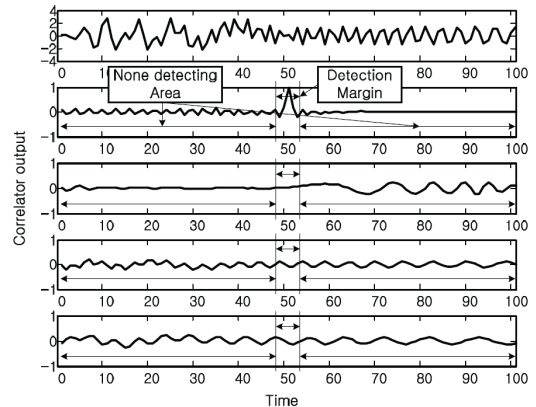


그림 7. 감지 마진을 이용한 최적화

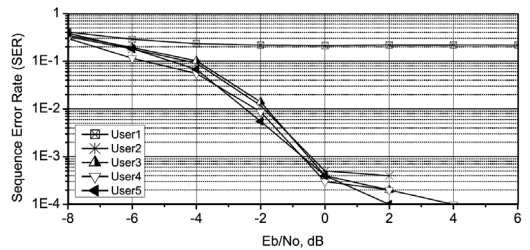


그림 8. 감지 마진이 0.3일 때 4개 주파수대를 가진 제안된 시스템의 SER

비교해서 보면 감지 마진에 한계치를 두어 시스템 성능을 더욱 향상시킬 수 있다는 걸 알 수 있다.

3.5 거리 측정 기술

플타임 상관기를 사용함으로써, 각 사용자는 그들 스스로 통신하기 위해 전송된 신호가 반사된 신호들을 인지한다. 이런 프로세스는 추가적인 거리 측정 시스템 없이 차량 사이에 거리 측정 기술이 가능하게 한다. 우리는 첫 번째 수신된 신호를 대상으로부터 반사된 신호로 간주하고, 이번 실험에서 수신단에서 반사된 신호를 인지하지 못했을 때나 거리 측정 에러가 1미터로 정의된 감지 적정 거리를 초과했을 때에는 거리 측정 에러가 발생한다고 가정한다. 우리가 감지 적정 거리를 0.3부터 3 미터까지 변화 폭을 주었을 때, 거리 측정 에러 속도는 오직 낮은 SNR 상태(-4dB 이하)에서 약간씩 바뀌게 된다. 제안된 시스템은 기존 시스템 같이 거의 동일한 거리 측정 에러 속도를 보여 준다. 그림 9는 한 환경에서 5명의 사용자들 안에서 사용자 1의 거리 측정 에러 속도를 가리킨다.

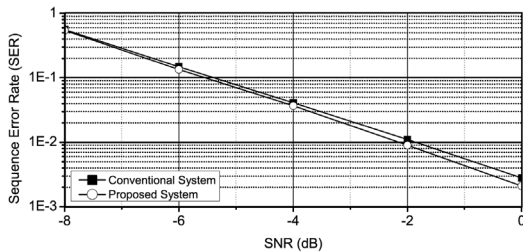


그림 9. 5명 사용자들 환경에서 거리 측정한 에러 속도

IV. 결 론

본 논문에서, 우리는 자동차 간에 동시 거리 측정 기술과 방송 데이터 통신이 가능한 UWB 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 Chirp 신호를 변조한 다중 주파수 slope와 주파수 도약 기술을 사용함으로써 주파수 대역을 효율적으로 사용한다. 그러므로 제안된 시스템은 기존 시스템보다 사용자 용량을 훨씬 더 증가시키거나 sequence 사이에 간섭을 훨씬 더 감소시킬 수 있다. 시뮬레이션을 돌려본 결과 추가적인 주파수 대역을 할당할 필요 없이 동 시간 대 slot 에서 Chirp 신호들을 변조한 다중 주파수 slope을 활용함으로써 더 많은 sequence들을 형성할 수 있다는 걸 증명해냈다. 우리는 자동차 간 거리 측정 시스템뿐만 아니라 자동차 간 통신 시스템에도 관심이 있었기 때문에,

시뮬레이션들 또한 거리 측정 시스템에서도 실행되어졌다. 거리 측정 시스템에서의 시뮬레이션들은 다른 차량으로부터 반사되어진 후 돌아오는 전송 신호들을 연속적으로 확인함으로써 개별적인 거리 측정 시스템을 설치하지 않고도 통신 시스템에서 실행되어졌다. 게다가, PN 코드 할당 전략 [7]을 지향하는 위치를 사용함으로써 다른 그룹들의 PN 코드들 간에 방해들과 충돌들이 감소 될 수 있다. 미래에는 거리 측정 시스템을 위한 다양한 채널 효과 증명이 필요하다. 더욱이, 우리는 이 시스템들의 발전이라고 불릴 수 있는 수신단들의 상관기에서 소프트 결정 방안을 개발할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] W. C. Chung and D. S. Ha, "An accurate ultra wideband(UWB) ranging for precision asset location", Roc. UWBST2003, Virginia, pp.389-393, Nov. 2003.
- [2] H. Hatano, T. Yamazato, H. Okada, and M. Katayama, "Performance Analysis of UWB Impulse Radar Receiver Using Parallel IPCP", Electronics and Communications in Japan, Part 3, Vol.90, No.7, 2007.
- [3] Charles E. Cook, "Linear FM Signal Formats for Beacon and Communication Systems", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-10, No.4, Jul.1974.
- [4] K. Doi, T. Matsumura, K. Mizutani, H. Tsuji, H. Wakana, S. Ohmori, R. Kohno, "Frequency Hopping Ultra Wideband Inter-Vehicle Radar System Using Chirp Waveforms", Ultra Wideband Systems, Joint with Conference on Ultrawideband Systems and Technologies, 2004.
- [5] S. E. El-Khany, S. E. Shaaban, E. A. Thabet, "Efficient Multiple-Access Communication Using Multi-user Chirp Modulation Signals", Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings, 1996., IEEE 4th International Symposium on Vol.3, Issue, 22-25 Sep. 1996 pp.1209-1213 vol.3
- [6] V. Ermolov, M. Luukkala, "Tunable SAW comb filter", IEE Electronics Letters, Vol.27, Issue 18, 29 Aug. 1991, pp.1670-1671

- [7] M. Kawabata, S. Niihara, M. Itami, K. Itoh, "A study on Good PN Code Allocation for Position Oriented PN Code Allocation Scheme in DS/CDMA IVC", Telecommunications, ITST '07. 7th International Conference on ITS, 2007.

유철우 (Cheolwoo You)

중신회원



1993년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
 1995년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1999년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
 1999년 1월~2003년 4월 LG 전자 책임 연구원

2003년 9월~2004년 6월 EoNex 책임 연구원
 2004년 7월~2006년 8월 삼성전자 책임 연구원
 2006년 9월~현재 명지대학교 정보통신공학과 부교수
 <관심분야> 이동 통신, 방송 통신 기술, 차량간 통신, 고주파수 대역 통신 기술, T2T 및 MTC 기술, 채널 부호 기술, 다중 안테나 시스템, 다중 접속 방식, 자원 할당 기술, Relay, 협력 통신

김정현 (Jung-hyun Kim)

학생회원



2011년 2월 명지대학교 공과대학 정보통신공학과(공학사)
 2011년 3월 명지대학교 대학원 정보통신공학과 입학예정 (정보통신공학전공 석사)
 <관심분야> MIMO, Cooperative Communication, Diversity

김지현 (Ji-hyun Kim)

정회원



2007년 2월 명지대학교 공과대학 통신공학과(공학사)
 2009년 2월 명지대학교 대학원 통신공학과(통신공학전공 석사)
 2009년 3월~현재 고려대학교 정보통신공대학 뇌공학과 박사 과정

<관심분야> 통신신호처리, Optical Coherence Tomography