

# 다중 사용자 협력통신 시스템에서의 확산코드를 이용한 신호 검출 기법의 성능 비교

박인환\*, 김윤현\*, 김진영\*\* 정회원

## Performance Comparison of Signal Detection Technique Using Spreading Sequence for Multi-User Cooperative Communication Systems

In Hwan Park\*, Yoon Hyun Kim\*, Jin Young Kim\*\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 다중 사용자들이 존재하는 협력통신 시스템에서 다중 사용자 간 신호를 효율적으로 검출하기 위한 방법을 제안하였다. 협력통신 시스템의 신호 프레임 포맷 중 각 사용자 간 동기를 맞추기 위해 사용되는 동기채널의 NULL 공간에 확산코드를 삽입하여 전송하고, 수신단에서는 삽입된 확산코드들 사이의 상관관계를 이용하여 원하는 신호를 검출한다. 실험 결과로 AWGN, Rician, Rayleigh 채널에서 각각 Kasami/walsh sequence를 이용한 신호간 상관관계를 보여주며 본 논문의 실험결과를 이용하면 신뢰성 있는 협력통신이 가능할 것으로 기대된다.

Key Words : Cooperative communication; Multi-user; Kasami sequence; Walsh sequence.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an effective method for detecting signals among multi-user in cooperative communication system. Spread sequence is inserted to NULL space of synchronization channel to synchronize between each user among frame formats of the cooperative communication and then transmitted. In the receiver, the wanted signal is detected by using correlation among the inserted spread sequences. As simulation results, correlations among the signals using Kasami/Walsh sequence in AWGN, Rician, and Rayleigh channel are shown. Using the simulation results in this paper, we expect a reliable cooperative communication.

### I. 서론

협력통신은 정보 이론에서 등장한 중계 채널을 기반으로 발전한 통신 기술로서 데이터를 주고받는 송신기와 수신기 사이에 중계 역할을 하는 단말을 이용하여 채널 용량을 증가시키고 경로손실을 줄임으로써 수신 성능도 향상시킬 수 있는 기술이다[1]. 중계기는 기본적으로 기지국의 셀 영역을 확장하거나 음영지역 문제를 해결하여 서비스 품질을 향상시키기 위해 사용되었으나, 근래에 들어서는 협력 프로토콜을 이용하여 기지국과 단말기 사이에서 통신을 지원하고 다이버

시티 이득으로 인한 전체 시스템 성능 향상을 도모하기 위해서 사용되기도 한다.

MIMO(Multi-input multi-output) 기술은 송·수신단에 여러 개의 안테나가 존재하는 다중 안테나 기술로써 기존의 기술과 동일한 송신 파워와 대역폭을 사용함에도 불구하고 데이터 전송률 및 데이터 수신 성능을 높일 수 있는 기술이다. 하지만, 시스템 구현 차원에서 여러 가지 어려움을 지니고 있다. 첫째로, 공간 다중화 기법을 사용할 때 채널의 역 행렬을 구하는 연산을 수행해야 하는데 가장 간단한 ZF(Zero Forcing) 수신기를 이용한다 하더라도 안테나 수가 증가하게 되면 채널의 역 행렬을 구하는 연산량은 기하급수적으로 증

\* 광운대학교 전자공학과 유비쿼터스통신 연구실(herof23@nate.com), 광운대학교 전자공학과 유비쿼터스통신 연구실(ultrayh1873@kw.ac.kr)

\*\* 광운대학교 전자공학과 유비쿼터스통신 연구실(jinyoung@kw.ac.kr)

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다 (NIPA-2010-(C1090-1011-0005)).

접수일자 : 2009년 11월 15일, 수정완료일자 : 2010년 2월 26일, 최종 게재확정일자 : 2010년 3월 5일

가하게 된다. 두번째, 단말기의 크기도 MIMO 시스템 구현의 장애가 된다. 무선 이동단말기의 크기가 점차 소형화되는 추세에서 단말기에 두 개 이상의 안테나를 탑재 할 수 없으며, 다중 안테나를 설치한다 하더라도 안테나 간 공간적 상관도 때문에 수신 성능은 열화 될 수 밖에 없다. 이러한 물리적 MIMO 시스템의 문제점을 해결하기 위하여 다른 사용자의 단말기를 이용하여 가상적으로 MIMO 채널을 형성하여 데이터를 전송하는 협력통신의 개념이 등장하였다[2]-[5].

최근에는 Ad-hoc 네트워크와 센서 네트워크에서도 협력통신 기술을 이용하고 있다. 이러한 연구 흐름에 맞추어, 본 논문에서는 AF(Amplify-and-Forward) 기반의 협력통신 시스템에서 다중 사용자 간 송신 신호를 검출하기 위한 방법을 제안하였다. 송신단에서 협력통신 시스템 프레임 포맷 중 동기 채널의 NULL 공간에 사용자들마다 고유의 확산코드를 삽입하여 전송한 후, 수신단에서 확산코드들 사이의 상관관계 값을 추출하여 설정된 임계치 값을 이용하여 각 사용자로부터 수신되는 신호를 분리 및 검출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 협력통신 시스템에 대하여 설명하고, III장에서 본 논문에서 제안한 시스템 모델에 대해서 설명한다. IV장에서는 제안한 시스템 모델을 바탕으로 AWGN, Rician, Rayleigh 채널에서 각각 Kasami/walsh sequence를 이용한 실험 결과를 보여주며, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺도록 하겠다.

## II. 협력통신 시스템

### 1. AF 전송 방식

AF 기법은 relay에서 수신되는 신호의 파워만 증폭시켜 재전송하는 기법이다. 수신 신호의 파워를 정규화하고 이를 relay에서 전송할 수 있는 파워 레벨로 증폭시켜 전송하는 것으로 구현 측면에서는 간단하나 부가된 잡음이 증폭되는 단점을 지니고 있다.

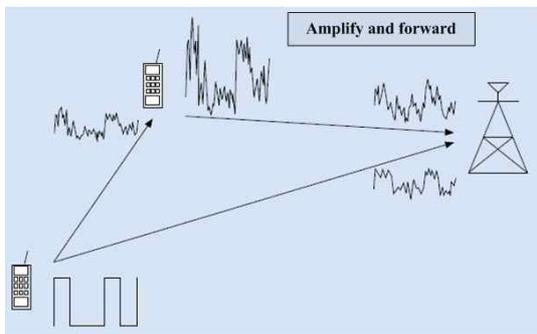


그림 1. AF(Amplify-and-Forward) 전송 모델

그림 1은 AF 전송 시나리오를 나타낸다[4]. Source에서 신호  $x$ 를 relay와 receiver에 동시에 전송하게 되고, relay는 source의 신호를 받아서 단순히 증폭시킨 후 receiver에게 증폭시킨 신호를 재전송한다. Receiver는 source와 relay로

부터 받은 신호를 혼합하여 원래 신호를 복구한다. Source로부터 전송된 신호를  $x$ 라 할 때 AF기법을 이용하는 relay를 통하여 receiver에 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_D = \alpha h_{SR} h_{RD} x + \beta h_{RD} n_R + n_D \quad (1)$$

여기서  $h_{SR}$  과  $h_{RD}$  는 각각 source와 relay, relay와 receiver 사이의 채널이고  $n_R$  과  $n_D$  는 각각 relay와 receiver의 수신 안테나에 부가되는 잡음으로 동일한 분포를 가지나 서로 독립적인 관계이다. 또한  $\alpha$  와  $\beta$  는 채널 계수로서 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha = \sqrt{\frac{E_{SR} E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}} \quad (2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}} \quad (3)$$

그리고 식 (2), (3)에서 수신 신호의 유효 SNR  $\rho_{eff}$  는 다음과 같이 계산된다[6].

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_{SR} \rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}} \quad (4)$$

AF 기법을 사용하는 경우에는 relay에서 파워의 증폭으로 인하여 부가 잡음의 파워가 함께 증가하기 때문에 채널 용량은 다음과 같이 계산된다.

$$C_{AF} = \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{\rho_{SR} \rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}} \right) \quad (5)$$

### 2. 협력통신 시스템 모델

다수의 relay를 이용하여 협력통신을 하는 경우 인접한 relay의 서비스 영역이 서로 겹칠 수 있다. 그리고 그림 2에서 보는 바와 같이 단말기가 이동 중에 두 relay의 서비스 영역이 겹치는 부분에 들어왔을 경우, 단말기는 자신이 원하는 신호뿐만 아니라 원하지 않는 간섭 신호 역시 수신하게 된다. 게다가 만약 간섭 신호와 원하는 신호의 주파수 대역이 동일하다면 단말기는 원하는 신호와 간섭 신호를 구별할 수 없게 된다. 따라서 이러한 경우 협력통신을 통한 다이버시티 이득을 얻을 수 없게 되고, 결국 시스템 성능은 저하된다.

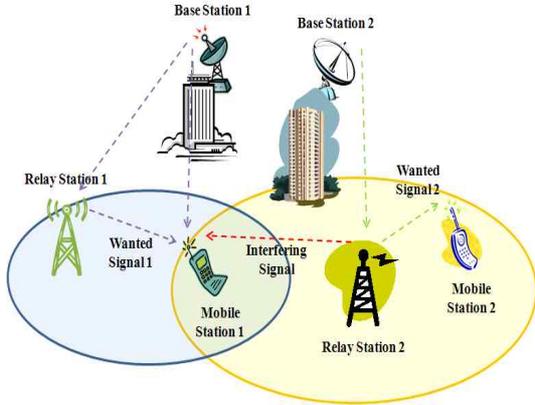


그림 2. 협력통신에서 다수 relay의 중복된 서비스 영역에 단말기가 존재하여 간섭 신호와 원하는 신호를 모두 수신하는 간섭 시나리오

이와 같이 협력통신에서 relay간에 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위해서, 다수의 기지국과 이동국이 있는 통신 네트워크에서 다중 사용자 zero-forcing 중계 기법 및 최적 relay 이득 할당 기법이 제안되었다. 또한 기지국과 각 relay간의 채널 정보를 이용하여 적절한 사전부호화 벡터를 선택하여 다수의 중계기간에 발생하는 동일채널 간섭 문제를 해결하는 방법도 제안되었다.

### III. 제안한 협력통신 시스템 모델

본 장에서는 그림 3과 같은 다중 사용자가 존재하는 협력 통신 환경에서 간섭이 발생하는 상황을 고려하였다. 협력통신이 이루어지는 cooperative zone에는 사용자 1과, relay, 그리고 수신기가 존재하며, 수신기는 사용자 1로부터 신호  $X_1$ , relay로부터  $\hat{X}_1$ 이 수신된다. 이때, 신호  $\hat{X}_1$ 는 relay에서 사용자 1로부터 수신된 신호  $X_1$ 의 전송 파워를 높여서 전송하는 AF 방식을 이용한다.

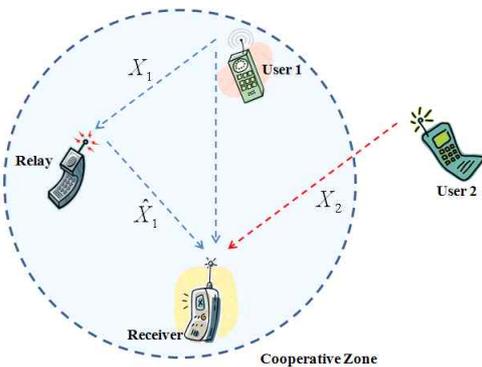


그림 3. 본 논문에서 고려한 협력통신 시스템의 간섭 모델

수신기는 이 두 신호를 이용하여 다이버시티 이득을 획득할 수 있다. 하지만, cooperative zone 밖에 존재하는 사용자 2의 신호는 수신기 입장에서 간섭으로 작용하며 협력통신

시스템의 성능을 열화 시킨다. 따라서 협력통신 시스템의 신뢰성 높은 통신을 위해서 사용자 1과 사용자 2의 신호가 동시에 수신되는 위와 같은 다중 사용자간 간섭 상황에서 사용자 1의 신호를 검출해야 한다.

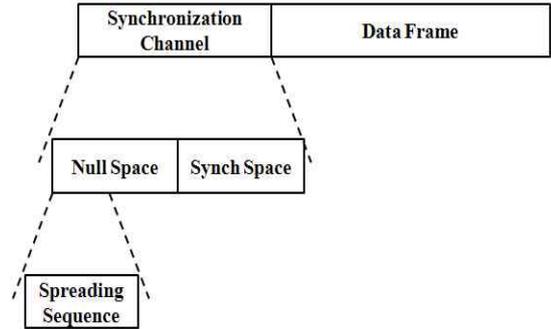


그림 4. Synchronization channel 내의 Null 공간에 확산코드가 삽입된 전송 신호 구조

따라서 본 논문에서는 그림 4와 같은 협력 통신 시스템 프레임 포맷을 제안하였다. 협력통신 시스템간 동기를 맞추기 위해 사용되는 synchronization channel 내의 Null 공간에 확산코드를 삽입하여 여러 사용자의 신호를 구분 및 검출한다. 모의실험에서는 자기상관 특성이 좋은 Kasami/Walsh sequence를 사용하였다. 협력통신 시스템의 프레임 포맷에 따라 삽입되는 확산코드를 여러 부분으로 나누어 데이터 프레임마다 삽입할 수 있고, 확산코드의 길이를 고려하여 하나의 데이터 프레임에 모의실험에 사용되는 확산코드를 삽입하여 신호를 전송할 수 있다. 본 논문에서는 그림 5와 같이, 송신부에서 확산코드를 삽입하여 신호를 전송하고, 수신부에서는 수신된 데이터 프레임의 Null 공간내의 확산코드를 분리하여 각 확산코드의 상관관계 값을 추출한다. 그 후 설정된 임계치 값과 비교하여 각 사용자로부터 수신되는 신호를 분리 및 검출한다.

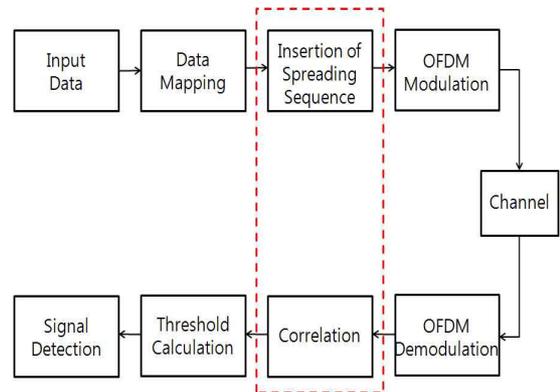


그림 5. 제안한 협력통신 시스템 블록도

### IV. 모의실험

이 장에서는 표 1과 같은 실험 환경에서 모의실험을 수행하였다. 협력통신 기법으로 가장 기본적인 협력통신 형태인

amplify-and-forward 기법을 사용하였으며, 각 데이터 프레임 내의 심볼의 길이는 512로 설정하였다. 신호전송을 담당하는 데이터 프레임은 10개의 심볼로 구성된다고 가정하였다. 신호검출을 위한 확산코드는 자기상관 특성이 좋은 Kasami sequence와 walsh sequence를 사용하였으며, 채널은 LOS(Line of Sight)가 보장되는 Rician 채널, 그리고 Rayleigh채널을 사용하였다.

표 1. 모의실험 파라미터

Parameter	Value
협력통신 기법	Amplify-and-Forward
FFT - Point	512
Spreading sequence	Kasami/Walsh sequence
Channel model	AWGN, Rician, Rayleigh

그림 6은 본 논문에서 실험한 모델 중, Rician과 Rayleigh 채널 모델의 정규화된 확률 분포를 보여준다. 총 전력이 1인 경우에, K-factor가 증가할수록 Gaussian 분포에 접근한다. 일반적으로 K-factor가 -40dB정도이면 Rayleigh 채널로 가정하고, K-factor가 15dB 이상이면 Gaussian 채널로 가정한다[7].

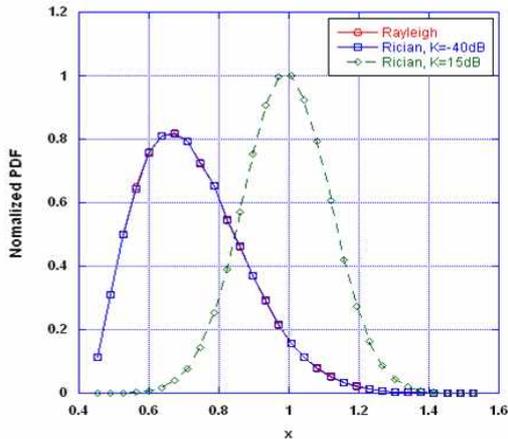


그림 6. Normalized PDF of Rician and Rayleigh channel

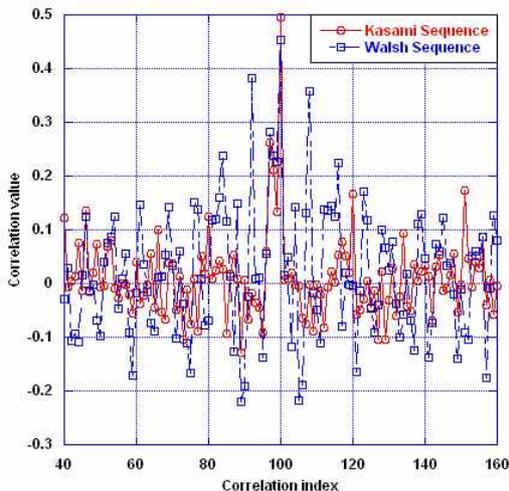


그림 7. AWGN 채널에서의 상관 관계 값

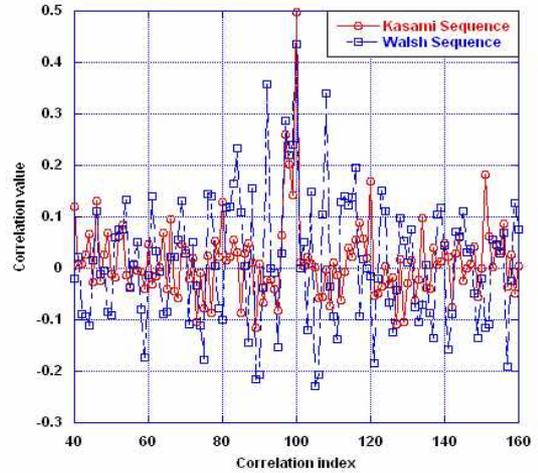


그림 8. Rician 채널에서의 상관 관계 값

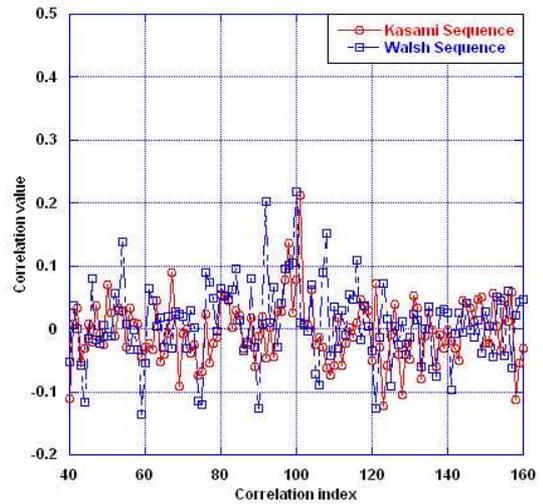


그림 9. Rayleigh 채널에서의 상관 관계 값

그림 7에서 9까지는 AWGN, Rician, Rayleigh 채널에서의 Kasami sequence와 walsh sequence를 사용하였을 때 상관관계 값의 비교를 보여준다. 각 그래프는 SNR을 15dB로 설정하였을 때의 상관관계 값이다.

먼저 그림 7은 일반적인 AWGN 채널에서의 실험 결과로서, 송신기-릴레이, 릴레이-수신기, 송신기-수신기 간 채널이 모두 AWGN 상황이라고 가정하였다. Kasami sequence를 사용하였을 때 수신기가 원하는 신호의 상관관계 최고 값과 근접 신호의 자기상관 값의 차이가 약 0.2정도 나는 반면에, Walsh sequence를 사용하였을 때는 근접 신호의 자기상관 값의 차이가 거의 나지 않는 것을 확인 할 수 있다. 이로 인해 Kasami sequence가 Walsh sequence에 비해 신호 검출을 위한 상관관계 값이 좋음을 알 수 있다.

그림 8과 9는 각각 채널상황이 Rician, Rayleigh 분포를 따를 때의 상관관계 값을 보여준다. 그림 8은 Rician 채널에서의 결과로 AWGN 채널에서의 결과와 거의 비슷한 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 Rayleigh 채널에서의 결과로, 그림 7의 AWGN 채널 결과에 비해 상관관계의 최고치가 현저히 낮음을 알 수 있다. Rayleigh 채널 환경에서는 Kasami sequence

를 사용하였을 때 원하는 신호의 상관관계 최고 값과 근접 신호의 자기상관 값이 차이가 약 0.05정도 차이가 나며, Walsh sequence를 사용하였을 때에는 역시 거의 차이가 나지 않는 것을 확인 할 수 있다. Walsh sequence는 사실 상 검출이 어려우며 Kasami sequence는 검출 임계치를 세밀히 조절하여 원하는 신호를 검출 할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 협력통신 시스템에서 신호를 효율적으로 검출하여 시스템의 신뢰성을 높이기 위한 방법을 제안하였다. 협력통신 시스템은 다른 사용자를 중계기처럼 사용하여 시스템의 성능을 높일 수 있지만, 시스템의 특성 상 다른 사용자 또는 다른 사용자가 사용하려는 중계기에서의 신호들이 수신기에서 간섭으로 작용하여 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다른 사용자 신호가 간섭으로 작용하는 상황에서 원래 신호를 효율적으로 검출 할 수 있는 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 AWGN, Rician, Rayleigh 채널환경에서 Kasami sequence가 Walsh sequence보다 신뢰성 높은 신호 검출을 위한 상관관계 값이 더 우수함을 보였다. 하지만 앞으로 주파수 선택적 페이딩 특성을 갖는 채널환경에서의 보다 정확하고 신뢰성 높은 신호검출을 위한 방법에 대한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Y. Kim, "Cooperative Wireless Communication Systems," GS Interscience Publishers, Seoul, Korea, 2009.
- [2] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE JSAC*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1485, Oct. 1998.
- [3] D. Tse and P. Vissanath, "Fundamentals of Wireless Communication," *Cambridge University Press*, New York, U.S America, 2005.
- [4] K. Jafarkhani, "Space-Time Coding," *Cambridge University Press*, New York, U.S America, 2005.
- [5] A. Nosrantina, T. E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 42, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [6] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity part I and part II," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1948, Nov. 2003.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communications (4th ed.)*, *Mc Graw Hill*, New York, U.S America, 2001.

### 저자

박 인 환(In Hwan Park)

정회원



2010년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업

2010년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> 디지털 통신, 협력통신, 가시광 통신

김 윤 현(Yoon Hyun Kim)

정회원



2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업

2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사 졸업

2008년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio

김 진 영(Jin Young Kim)

정회원



1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사

2000년 : 미국 Princeton University Associate

2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임 연구원

2009년~2010년 2월 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

2001년~현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수

<관심분야> 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화