

특집논문-10-15-2-01

# 양방향 통신 시스템에서 폐회로 다중 안테나 기법을 적용한 적응형 협동 중계 전송 기술

이 관 섭<sup>a)</sup>, 김 영 주<sup>a)‡</sup>

## Adaptive Cooperative Relay Transmission Technique Using Closed-loop MIMO Scheme for Duplex Communication System

Kwan-Seob Lee<sup>a)</sup> and Young-Ju Kim<sup>a)‡</sup>

### 요 약

본 논문에서는 양방향 통신 시스템에서 폐회로 다중 안테나 송수신 (closed-loop multiple-input multiple-output) 기법을 사용하는 적응형 협동 다중 홉 중계 시스템을 제안한다. 중계기와 기지국 사이의 이동성이 낮기 때문에, 폐회로 다중 안테나 송수신 기법은 개회로 다중 안테나 송수신 기법보다 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 이 때, 한 개 이상의 중계 터미널들은 기지국으로 전송을 공유하고 프리코딩 가중치 벡터를 피드백하기 위해 하나의 협동 그룹에 포함되어야 한다. 피드백 비트의 증가로 인한 전송량 감소를 최소화하기 위해 코드북 기반의 최대비 전송 기법을 사용하여 피드백 비트수를 제한한다. 기지국은 협동 중계 그룹 중에서 채널 상태가 가장 좋은 중계기를 선택하고, 프리코딩을 위한 인덱스 값을 중계기에 피드백한다. 이러한 중계 시스템을 위해 피드백 형태와 선택 프로토콜 시나리오를 제안하고, 모의실험을 통해 중계기 선택에 따른 성능을 확인한다.

### Abstract

In this paper, We propose that the adaptive cooperative relay transmission technique using closed-loop MIMO scheme for duplex communication system. As the mobility between relay and base station is little, closed-loop MIMO is better diversity gain than open-loop MIMO. At this time, more than one relaying terminals are included in one cooperative group to share their transmission and take precoding weight feedback. For minimization of throughput reduction caused by increasing feedback bits, we use codebook-based MRT that limit the number of feedback bits. Among the cooperative relay group, the best relays are selected from the base station and get the feedback. A protocol scenarios are also proposed for this relay system.

Keyword: cooperative relay, closed-loop MIMO, selection diversity, codebook

a) 충북대학교 정보통신공학과  
Chungbuk National University, School of Information and Communication Engineering

‡ 교신저자 : 김영주(yjkim@chungbuk.ac.kr)

※ 이 논문 또는 저서는 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단)  
· 접수일(2009년12월28일), 수정일(2010년2월18일), 게재확정일(2010년2월18일)

## 1. 서론

MIMO 시스템에서는 사용자가 셀의 끝에 존재하거나, 높은 건물이나 산에 의하여 단말기가 가려져 있을 경우, 혹은 deep-fading 상태에 있을 경우 그 성능을 보장하기가 힘

들다. 이 때 협동 중계 통신 방법을 사용하여 이를 해결 할 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한, 최근 LTE-Advanced에서도 협동 중계 통신 기법을 기술 후보 중 하나로 채택하였다.

협동 통신은 한 개의 안테나를 가지고 있는 단말기로부터 다른 단말기와 협동 통신을 함으로서 다이버시티 이득을 얻는 통신 기술이다<sup>[2][4]</sup>. 이러한 협동 통신에 MIMO 기술을 응용한 협동 중계 다이버시티 기법들이 많이 연구되었다. 이 연구는 MIMO기술의 하나인 시공간 부호<sup>[5]</sup>를 이용한 협동 중계 통신으로 발전하였다<sup>[6][7]</sup>.

본 논문에서는 협동 단말기가 아닌 중계기를 이용하여 중계기와 기지국간의 낮은 이동성 환경을 고려한다. 이러한 환경에서는 개회로 다중 안테나 전송 기법 중 하나인 시공간 부호 기법보다 채널 정보를 송신기에 피드백 하는 폐회로 다중 안테나 전송 기법들이 보다 더 큰 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한, 폐회로 다중 안테나 전송 기법들 중 가장 성능이 좋은 기법으로 평가되는 최대 비 전송 (MRT : maximum ratio transmission)<sup>[8]</sup> 기법을 협동 중계 전송 기술에 적용한다.

이 때, 송신기로 피드백 되는 데이터양이 많아지게 되면 데이터 처리량이 감소하게 된다. 이를 위해 코드북 기반의 최대 비 전송을 적용하여 피드백 비트수를 감소시킨다.

또한, 중계기와 기지국간의 채널 상태가 다르기 때문에, 이 중계기 중 채널 상태가 좋은 중계기만을 선택하여 코드북 인덱스를 피드백 하는 적응형 협동 중계 전송 기법을 제안한다.

## II. 시스템 모델 및 피드백 시나리오

### 1. 시스템 모델

여러 송수신 안테나를 이용하는 시스템은 수신 SNR을 증가시키거나 전송 용량을 증가시켜 통신 링크의 성능을 개선시킨다. 그러나 단말기는 크기의 제한이 있어 한 개 이상의 전송안테나를 설치하는 데 어려움이 있다. 따라서 한 개의 전송안테나를 사용하는 사용자도 다수 안테나를 이용하는 효과가 있는 중계기의 협력이 필요하게 된다<sup>[4]</sup>.

이러한 중계기를 사용한 다중 협동 전송에 폐회로 다중 안테나 전송 기법 중 성능이 가장 좋은 최대 비 전송을 적용하여 다중 협동 전송 시 다이버시티 효과를 높였다.

그림 1에서 단말기는 각각의 중계기로 파일럿 신호를 전송하고, 중계기는 이 신호를 받아 복조한 후 다시 변조하여 기지국으로 전송을 한다. 기지국은 이 파일럿 신호에서 신호 대 잡음비를 구하고 가장 좋은 신호 대 잡음비를 보낸 중계기를 선택한다. 기지국은 선택한 중계기로 코드북 인덱스 값과 중계기의 구분을 나타낼 수 있는 ID number를 피드백 한다. 자세한 시스템 설명은 다음 장에서 한다.

### 2. 중계기 선택에 따른 피드백 시나리오

본 장에서는 최대 비 전송을 사용한 협동 중계 방식에 대해 4개의 중계기가 있을 경우의 예를 들어 설명한다.

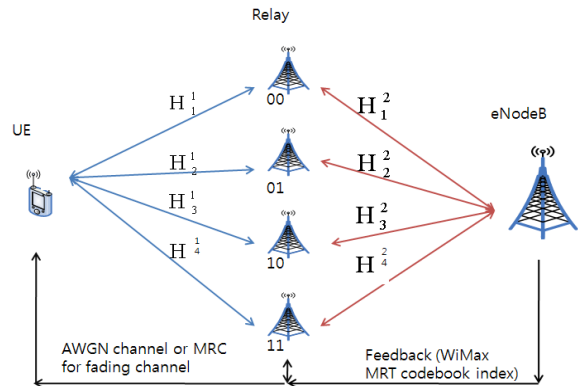


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

중계기를 선택하는 방법은 중계기가 4개 일 때, 4가지가 있다. 1개의 중계기를 선택하는 경우, 2개의 중계기를 선택하는 경우, 3개의 중계기를 선택하는 경우, 모든 중계기를 선택하는 경우이다. 표 1은 각각의 피드백 시나리오에 필요한 피드백 비트수를 나타낸다. 코드북은 임의로 양자화된 채널 상태 정보를 나타낼 수 있는 값들의 모음으로 WiMAX의 최대 비 전송 코드북으로  $V(N_p, S, L)$ 로 표현한다.  $N_p$ 는 송신안테나 수,  $S$ 는 스트림 수,  $L$ 은 피드백 비트수로 코드북 값의 수는  $2L$ 개이다. 여기서 안테나 수는 협동

통신을 하는 중계기의 수를 나타낸다. 본 논문에서는 코드북 값의 수가 8개인  $V(2, 1, 3)$ ,  $V(3, 1, 3)$ ,  $V(4, 1, 3)$ 를 사용한다<sup>[9]</sup>.

1개의 중계기만을 선택하는 경우, 중계기와 기지국사이에서 최대 비 전송을 할 수 없기 때문에 코드북 인덱스 비트를 피드백하지 않고 중계기 ID 값만을 피드백 하여 선택된 중계기만을 알려준다. 2개의 중계기를 선택하는 경우, 중계기 ID number 값 4 비트와 코드북 인덱스 3비트를 더한 7비트가 피드백이 된다. 3개의 중계기를 선택하는 경우 선택된 중계기 ID number 값이 6비트나 필요하기 때문에 선택되지 않은 중계기 ID number 값 2비트만 전송하면 피드백 비트수를 줄일 수 있다. 이때 1개의 중계기만 선택하는 경우와 중계기 ID 값 피드백 비트수가 같으나 총 피드백은 3개를 선택하는 경우 코드북 인덱스 비트가 필요하므로 3비트가 더 많기 때문에, 총 전송하는 피드백 비트수로 1개의 중계기를 선택한 경우인지, 3개의 중계기를 선택한 경우인지 판단할 수 있게 된다. 4개의 중계기를 선택하는 경우 모든 중계기를 선택하기 때문에 중계기 ID 값을 피드백 할 필요가 없다. 단지 코드북 인덱스 비트인 3비트만 피드백하게 된다. 이렇게 피드백 비트수는 최고 7비트로 한정 할 수 있다.

표 1. 피드백 시나리오

Table 1. Feedback scenario

Number of selected relay	Relay ID number	Codebook index	Total bits
1	2 bits	X	2 bits
2	4 bits	3 bits	7 bits
3	2 bits	3 bits	5 bits
4	X	3 bits	3 bits

이때의 피드백 프레임 형태는 그림 2와 같다. 피드백을 받는 중계기는 우선 총 비트수를 확인하여 기지국에서 몇 개의 중계기를 선택하였는지 알 필요가 있다. 그 후 중계기 ID 값을 확인하여 자신이 선택되었는지를 판단하게 되고, 선택되었다면 코드북 인덱스 값을 바탕으로 중계기에서 알고 있는 코드북 값과 비교하여 그 값을 전송할 때 곱하여 전송한다.

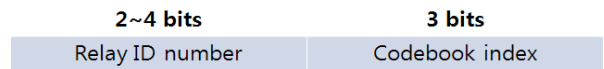


그림 2. 피드백 형태

Fig. 2. Feedback format

최대 2홉에 중계기를 4개 사용하였을 경우, 협동 중계 제어 프로토콜은 그림 3과 같다. 그림에서 U는 UE (user

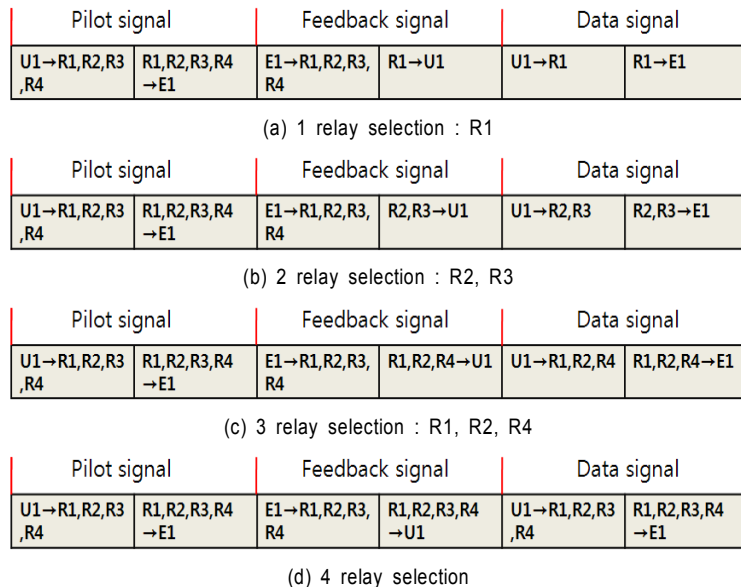


그림 3. 협동 중계 제어 프로토콜

Fig. 3. Cooperative relay control protocols

equipment : 단말기) 를 나타내고, R은 중계기 E는 기지국을 나타낸다.

파일럿 신호는 모든 중계기에서 받아서 기지국으로 전송을 해야 하기 때문에 모든 경우 동일한 협동 중계 제어 프로토콜을 가진다. 피드백 신호는 기지국에서 선택된 중계기를 알려주기 위해 모든 중계기로 피드백 신호를 보내지만, 중계기들은 선택된 중계기만 UE에 알려주면 된다. 데이터 신호는 이 선택된 중계기를 통해서만 전송을 하게 된다.

### 3. 모의실험

모의실험 환경은 표 2와 같다.

표 2 실험 환경  
Table 2. Simulation environment

Modulation method	QPSK
1-hop channel 2-hop channel	Rayleigh fading channel Rician fading channel ( $k = 1, \theta = 0^\circ$ )
Max. relay number	4
WiMAX codebook	V(2, 1, 3), V(3, 1, 3), V(4, 1, 3)

제안한 협동 중계 기법의 성능을 구하기 위하여 단말기와 중계기 사이 데이터 전송은 레일레이 페이딩 채널 (Rayleigh fading channel) 로 가정하고 최대 비 결합 (maximum ratio combining) 기법을 사용한다. 각각의 중계기와 기지국 사이는 서로 독립으로 채널은 LOS (line of sight) 환경을 고려한 라이시안 페이딩 채널 (Rician fading channel) 로 페이딩 경로와 직접 경로의 전력을 총 전력의 1/2씩 할당되고, 시간에 따라 변화도록 가정한다. 중계기의 송신 전력은 정규화하여 중계기에서 송신한 전력의 합이 같도록 하였다. 변복조 기법은 QPSK를 사용하고, 최대 중계기수는 4개, 코드북은 WiMAX에서 사용하는 코드북을 사용한다. 채널 코딩은 고려하지 않았다.

그림 4는 첫 번째 홉은 최대 비 결합 기법을 사용하였고, 두 번째 홉에서 중계기 개수에 따른 최대 비 전송을 사용하였을 때의 성능이다. 비트 에러율이 10<sup>-2</sup>를 기준으로 중계기를 1개 사용하였을 경우보다 2개 사용하였을 경우 3dB

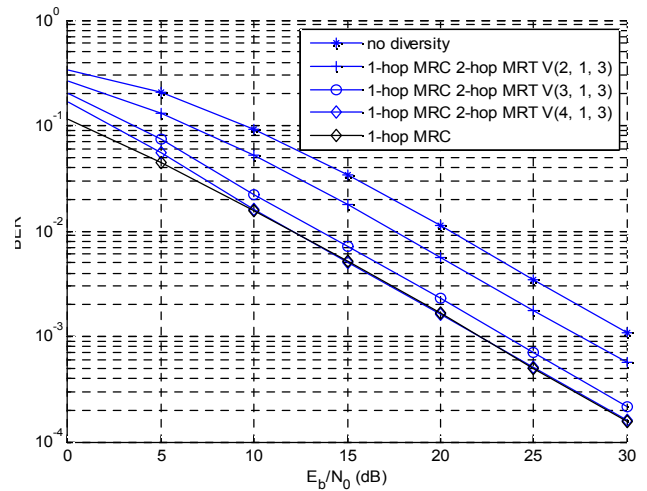


그림 4. 1-hop 최대 비 결합, 2-hop 최대 비 전송 성능  
Fig. 4. Performance of 1-hop MRC, 2-hop MRT

성능이 향상되고, 3개의 경우 5.5dB, 4개의 경우 8dB 성능이 향상된다. 이는 최대 비 전송을 통한 송신 다이버시티 이득으로 인하여 성능이 향상된다. 중계기 4개에 V(4, 1, 3) 코드북을 사용하였을 경우 Eb/No가 5dB 이상에서 첫 번째 홉과 같은 성능이 된다. 이는 두 번째 홉의 성능이 향상되어도 첫 번째 홉 이상의 성능은 되지 않기 때문이다.

그림 5, 6, 7은 4개의 중계기중 각각 1개, 2개, 3개의 중계

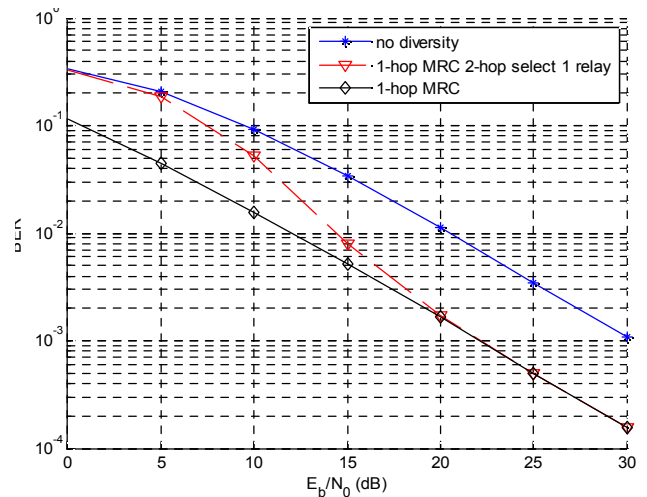


그림 5. 4개 중 1개의 중계기 선택 시 성능  
Fig. 5. Performance of selecting 1 relay among 4 relays

기를 선택하고 V(2, 1, 3), V(3, 1, 3) 코드북을 적용하였을 때의 성능이다.

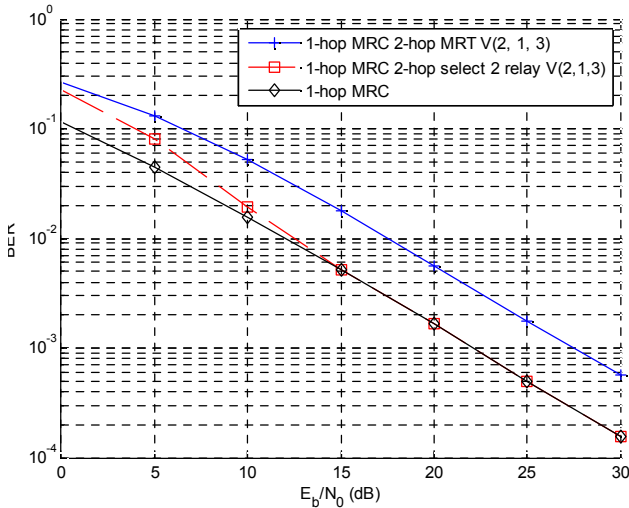


그림 6. 4개 중 2개 중계기 선택 시 MRT V(2,1,3) 성능  
Fig. 6. Performance of selecting 2 relays among 4 relays MRT V(2,1,3)

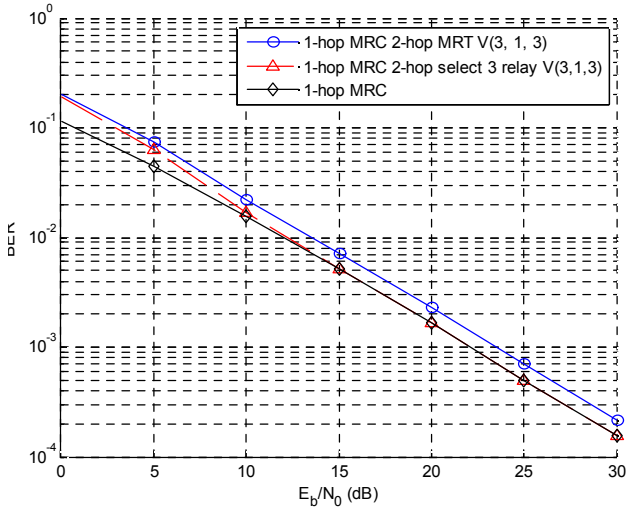


그림 7. 4개 중 3개 중계기 선택 시 MRT V(3,1,3) 성능  
Fig. 7. Performance of selecting 3 relays among 4 relays MRT V(3,1,3)

그림 5는 1개의 중계기를 사용한 경우와 4개의 중계기 중 1개의 중계기를 선택하는 경우의 비트 에러율 성능이다. 비트 에러율 10<sup>-2</sup>를 기준으로 6dB 성능이 향상된다. 이 때, Eb/No가 20dB 이상에서 첫 번째 홉과 성능이 같아진다.

그림 6은 2개의 중계기를 사용한 경우와 4개의 중계기 중 2개의 중계기를 선택하고 V(2, 1, 3) 코드북 기반의 최대 비 전송을 하였을 때 비트 에러율 성능이다. 비트 에러율 10<sup>-2</sup>를 기준으로 5dB정도 성능이 향상된다. Eb/No가 15dB 이상에서 첫 번째 홉과 성능이 같아진다.

그림 7은 3개의 중계기를 사용한 경우와 4개의 중계기 중 3개의 중계기를 선택하고 V(3, 1, 3) 코드북 기반의 최대 비 전송을 하였을 때 비트 에러율 성능이다. 비트 에러율 10<sup>-2</sup>를 기준으로 1.5dB정도 성능이 향상된다. Eb/No가 15dB 이상에서 첫 번째 홉과 성능이 같아진다.

4개의 중계기를 선택하는 경우에는 4개의 중계기를 사용하는 경우와 동일한 성능이 나타난다.

전체적으로 4개의 중계기 중 채널 상태가 좋은 중계기를 선택하는 경우 에러 성능이 향상된다. 적은 수의 중계기를 선택하는 경우 성능 향상 폭이 크게 나타나고, 많은 수의 중계기를 선택하는 경우 성능 향상 폭이 비교적 작게 나타났다. 이는 선택 다이버시티 이득으로 인한 성능 향상으로 총 중계기 수와 근접한 수의 중계기를 선택하는 경우 다이버시티 이득이 감소하기 때문이다.

### III. 결론

본 논문은 양방향 통신 시스템에서 중계기를 사용한 다중 홉 협동 전송 방법을 연구하였다. 중계기와 기지국 사이의 낮은 이동성을 고려하여 폐회로 다중 안테나 전송 기법 중 최대 비 전송 기법을 이용하여 다이버시티 이득을 얻는다. 또한 중계기와 기지국 사이의 채널 상태를 고려한 적응형 협동 중계 기법으로 채널 상태가 좋은 중계기를 선택하는 프로토콜 시나리오와 프레임 형태를 제안하고, 모의실험을 통하여 결과를 확인한다.

최대 비 전송 기법의 사용으로 비트 에러율 10<sup>-2</sup>를 기준으로 최대 8dB의 성능이 향상된다. 또한, 적응형 협동 중계 방식으로써 선택 다이버시티 이득을 통해 1개의 중계기 선택 시 6dB, 3개의 중계기 선택 시 1.5dB의 성능이 향상된다. 전체적으로 두 번째 홉의 성능 향상 폭이 커도 첫 번째 홉 성능 향상은 향상되지 않는다.

제한한 기법은 피드백을 이용하여 송신 다이버시티와 채널 상태에 따른 중계기 선택 다이버시티를 얻어 에러 성능을 향상시킨다. 최근 t-DMB 시스템에서 음영지역의 서비스 확대를 위해 중계기가 사용되고, 사용자 요구 중심의 양방향 서비스를 지원하고자 한다. 제안한 기법에서는 최대 피드백 비트의 수를 7 비트로 제한함으로써, 적은 피드백 비트 수를 요구하는 양방향 t-DMB 시스템에 적용이 가능해지고, 에러 성능을 향상시킬 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] R1-082788, Sharp, "Relay Considerations for LTE-Advanced".
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Azhang, "Increasing uplink capacity via user cooperation diversity," Proc. of IEEE ISIT, pp. 156, Aug. 1998.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Azhang, "User cooperation diversity part I and part II," IEEE TRANS. communication, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1948, Nov. 2003.
- [4] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE Journal on selected Areas in Communication, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [5] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications : Performance results," IEEE J. Select Areas Communication, vol. 17, no. 3, pp. 451-460, Mar. 1999.
- [6] T. Miyano, H. Murata, and K. Araki, "Cooperative relaying scheme with space time code for multihop communication among single antenna terminals," Global Telecommunications Conference 2004, IEEE, vol. 6, pp. 3763-3767, Dec. 2004.
- [7] E. K. Kim, Y. J. Kim, I. S. Lee, " A New Space-Time Cooperative Diversity Relaying Strategy with Assistant and Management Terminals" KICS Wireless Commun, vol.32, pp 109-114, Jan. 2007.
- [8] T. K. Y. Lo, "Maximum ratio transmission," IEEE Trans. Commun., vol.47, pp.1458-1461, Oct. 1999.
- [9] IEEE Std 802.16e, 2005

### 저 자 소 개



#### 이 관 섭

- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 무선이동통신, LTE, MIMO, 중계기, 방송통신기술



#### 김 영 주

- 1988년 2월 : 고려대학교 전자전산공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)
- 1987년 11월 ~ 1993년 12월 : (주)금성사
- 1996년 2월 ~ 1997년 2월 : 동경공업대학교 연구원
- 2001년 1월 ~ 2003년 8월 : (주)엘지전자 UMTS 연구소
- 2003년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 교수
- 주관심분야 : 이동통신시스템, LTE, MIMO, 중계기 등