

# 폐회로 다중 안테나 기법을 적용한 적응형 협동 중계 전송 기술

이관섭 김영주

충북대학교 정보통신공학과

[no311@naver.com](mailto:no311@naver.com) [yjkim@chungbuk.ac.kr](mailto:yjkim@chungbuk.ac.kr)

## Adaptive Cooperative Relay Transmission Technique using Closed-loop MIMO Scheme

Lee, Kwan-Seob Kim, Young-Ju

Chungbuk National University  
School of Information and Communication Engineering

### 요약

본 논문에서는 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 가중치벡터를 피드백하기 위해 하나의 협동 그룹에 포함되어야 한다. 피드백 비트의 증가로 인한 전송량 감소를 최소화 하기 위해 코드북 기반의 최대비 전송 기법을 사용하여 비트백 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.

### 1. 서론

MIMO 시스템에서 사용자가 셀의 끝에 존재하거나, 높은 건물이나 산에 의하여 단말기가 가려져 있을 경우, 혹은 deep-fading 상태에 있을 경우 그 성능을 보장하기가 힘들다. 이 때 협동 중계 통신 방법을 사용하여 이를 해결 할 수 있다 [1]. 최근 LTE-Advanced 에서도 협동 중계 통신 기법을 기술 후보 중 하나로 채택하였다.

협동 통신은 한 개의 안테나를 가지고 있는 단말기로부터 다른 단말기와 협동 통신을 함으로서 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 이러한 협동 통신에 MIMO기술을 응용한 협동 중계 다이버시티 기법들이 많이 연구 되었다[2] -[3]. 이러한 연구는 큰 다이버시티 이득 효과를 얻을 수 있는 시공간 부호[4] -[5]를

사용한 협동 중계 다이버시티를 얻기 위한 연구로 발전 되었다 [6] -[7].

본 논문은 협동 단말기가 아닌 중계기를 이용하여 중계기와 기지국간의 낮은 이동성 환경을 고려한다. 이러한 환경에서는 개회로 다중 안테나 전송 기법보다 채널 정보를 송신기에 피드백하는 폐회로 다중 안테나 전송 기법들이 보다 더 큰 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 이러한 폐회로 다중 안테나 전송 기법들 중에서 최대비 전송 (MRT : maximum ratio transmission) [8]은 가장 성능이 좋은 기법으로 평가된다. 이 기법을 협동 중계 전송 기술에 적용한다.

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

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

※ “이 논문 또는 저서는 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업 / 충북BIT연구중심대학육성사업단)

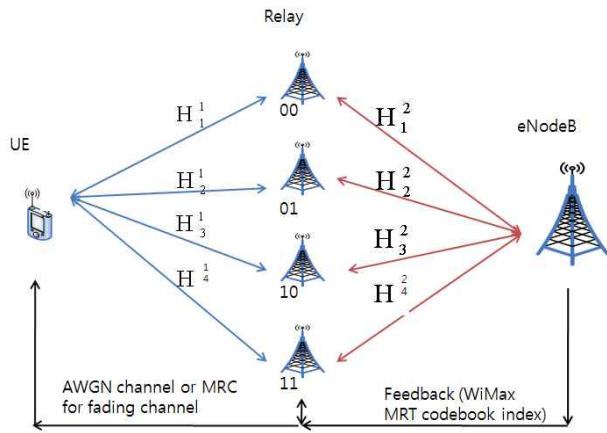


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

## 2. 시스템 모델 및 피드백 시나리오

### 가. 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[4].

이러한 중계기를 사용한 다중 협동 전송에 폐회로 다중 안테나 전송 기법 중 성능이 가장 좋은 최대비 전송을 적용하여 다중 협동 전송 시 다이버시티 효과를 높였다[5].

그림 1에서 단말기는 각각의 중계기로 파일럿 신호를 전송하고, 중계기는 이 신호를 받아 decode and forward 기법을 사용하여 기지국으로 전송을 한다. 기지국은 이 파일럿 신호에서 신호대잡음비를 구하고 가장 좋은 신호대잡음비를 보낸 중계기를 선택한다. 기지국은 선택한 중계기로 코드북 인덱스 값과 중계기의 구분을 나타낼 수 있는 ID number를 피드백 한다. 자세한 시스템 설명은 다음 장에서 한다.

### 나. 중계기 선택에 따른 피드백 시나리오

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

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 WiMAX의 최대비 전송 코드북으로 인덱스 값이 3비트인  $V(2, 1, 3)$ ,  $V(3, 1, 3)$ ,  $V(4, 1, 3)$ 을 사용하였다.

1개의 중계기만을 선택하는 경우, 중계기와 기지국사이에서 최대비 전송을 할 수 없기 때문에 코드북 인덱스 비트를 피드백하지 않고 중계기 ID 값을 피드백하여 선택된 중계기만을 알

표 3.1 피드백 시나리오

Table 3.1 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

2~4 bits	3 bits
Relay ID number	Codebook index

그림 2. 피드백 형태

Fig. 2. Feedback format

Pilot signal	Feedback signal	Data signal
$U1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$	$R1, R2, R3, R4 \rightarrow E1$	$E1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$ $R1 \rightarrow U1$ $U1 \rightarrow R1$ $R1 \rightarrow E1$

(a) 1 relay selection : R1

Pilot signal	Feedback signal	Data signal
$U1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$	$R1, R2, R3, R4 \rightarrow E1$	$E1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$ $R2, R3 \rightarrow U1$ $U1 \rightarrow R2, R3$ $R2, R3 \rightarrow E1$

(b) 2 relay selection : R2, R3

Pilot signal	Feedback signal	Data signal
$U1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$	$R1, R2, R3, R4 \rightarrow E1$	$E1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$ $R1, R2, R4 \rightarrow U1$ $U1 \rightarrow R1, R2, R4$ $R1, R2, R4 \rightarrow E1$

(c) 3 relay selection : R1, R2, R4

Pilot signal	Feedback signal	Data signal
$U1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$	$R1, R2, R3, R4 \rightarrow E1$	$E1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$ $R1, R2, R3, R4 \rightarrow U1$ $U1 \rightarrow R1, R2, R3, R4$ $R1, R2, R3, R4 \rightarrow E1$

(d) 4 relay selection

그림 3. 협동 중계 제어 프로토콜

Fig. 3. Cooperative relay control protocols

려준다. 2개의 중계기를 선택하는 경우, 중계기 ID number 값 4비트와 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.

이때의 피드백 프레임 형태는 그림 2과 같다. 피드백을 받는 중계기는 우선 총 비트수를 확인하여 기지국에서 몇 개의 중계기를 선택하였는지 알 필요가 있다. 그 후 중계기 ID 값을 확인

하여 자신이 선택되었는지를 판단하게 되고, 선택되었다면 코드북 인덱스 값을 바탕으로 중계기에서 알고 있는 코드북 값과 비교하여 그 값을 전송할 때 곱하여 전송한다.

최대 2홉에 중계기를 4개 사용하였을 경우, 협동 중계 제어 프로토콜은 그림 3과 같다. 그림에서 U는 UE를 나타내고, R은 중계기 E는 기지국을 나타낸다.

피드백 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.

제한한 협동 중계 기법의 성능을 구하기 위하여 단말기와 중계기 사이 데이터 전송은 에러가 거의 없는 AWGN 채널로 가정하고, 중계기와 단말기 사이의 채널은 플랫 페이딩 채널을 고려한다. 변복조 기법은 QPSK를 사용하였고, 중계기 전송 기법은 decode and forward, 최대 중계기수는 4개, 코드북은 WiMAX에서 사용하는 코드북을 사용하였다.

그림 4는 두 번째 홉에서 최대비 전송을 사용하였을 경우이다. 비트에러율이  $10^{-3}$ 을 기준으로 중계기를 1개 사용하였을 경우보다 2개 사용하였을 경우 12.5dB 성능이 향상되고, 3개의 경우 15.5dB, 4개의 경우 16.5dB 성능이 향상된다. 이는 최대비 전송을 통한 송신 다이버시티 이득으로 인하여 성능이 향상된다.

그림 5는 1개의 중계기를 사용한 경우와 4개의 중계기 중 1개의 중계기를 선택하는 경우의 비트에러율을 나타낸다. 비트에러율  $10^{-3}$ 을 기준으로 10dB 성능이 향상된다.

그림 6은 2개의 중계기를 사용한 경우와 4개의 중계기 중 2개의 중계기를 선택하는 경우의 비트에러율을 나타낸다. 비트에러율  $10^{-3}$ 을 기준으로 2.6dB정도 성능이 향상된다.

그림 7은 3개의 중계기를 사용한 경우와 4개의 중계기 중 3개의 중계기를 선택하는 경우의 비트에러율을 나타낸다. 비트에러율  $10^{-3}$ 을 기준으로 1.5dB정도 성능이 향상된다.

4개의 중계기를 선택하는 경우에는 4개의 중계기를 사용하

표 2 실험 환경

Table 2. Simulation environment

Modulation method	QPSK
Sample time of signal generator	$1/2 \times 10^6$
Relay method	decode and forward
Max. relay number	4
WiMAX codebook	V(2, 1, 3), V(3, 1, 3), V(4, 1, 3)

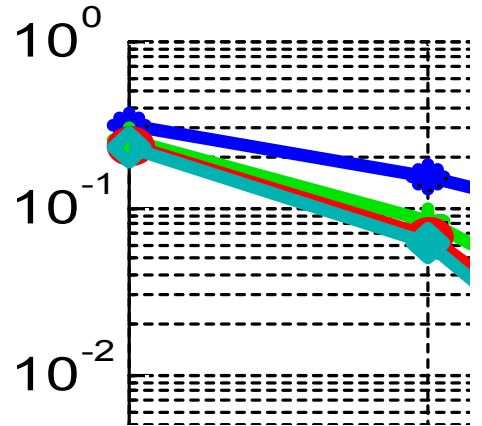


그림 4 1-홉 AWGN 채널, 2- 홉 레일레이 페이딩 채널에서 MRT

Fig. 4. 1-hop AWGN channel, 2-hop MRT for rayleigh fading channel

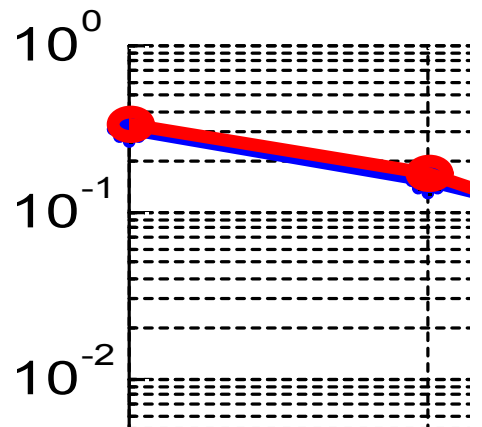


그림 5. 4개 중 1개의 중계기 선택 시 성능

Fig. 5. Performance of selecting 1 relay among 4 relays

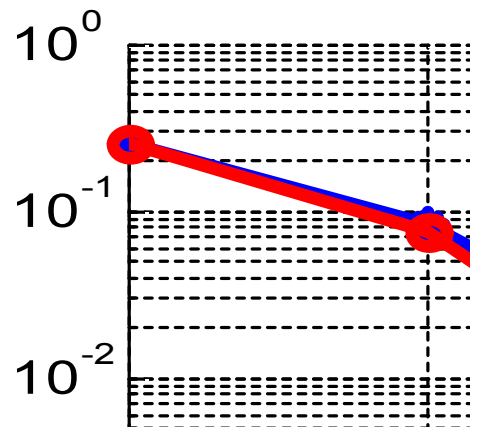


그림 6. 4개 중 2개 중계기 선택 시 MRT V(2,1,3) 성능

Fig. 6. Performance of selecting 2 relays among 4 relays MRT V(2,1,3)

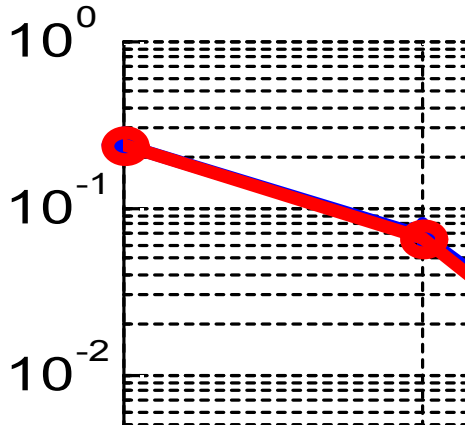


그림 7. 4개 중 3개 중계기 선택 시 MRT V(3,1,3) 성능  
 Fig. 7. Performance of selecting 3 relays among 4 relays MRT V(3,1,3)

는 경우와 동일한 성능이 나타난다.

전체적으로 4개의 중계기 중 채널 상태가 좋은 중계기를 선택하는 경우 에러 성능이 향상된다. 적은 수의 중계기를 선택하는 경우 10dB로 성능 향상 폭이 크게 나타나고, 많은 수의 중계기를 선택하는 경우 1.5dB로 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.

또한, 신호대잡음비가 10dB이하의 경우 중계기를 선택하는 경우와 그렇지 않은 경우의 성능 차이가 거의 발생하지 않는다. 낮은 신호대잡음비에서 중계기와 기지국 사이의 채널 상태는 비슷하기 때문이다.

#### 4. 결론

본 논문은 중계기를 사용한 다중 홉 협동 전송 방법을 연구하였다. 중계기와 기지국 사이의 낮은 이동성을 고려하여 폐회로 다중 안테나 전송 기법 중 최대비 전송 기법을 이용하여 큰 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.

최대비 전송 기법의 사용으로 비트에러율  $10^{-3}$ 을 기준으로 최대 16.5dB의 성능이 향상된다. 또한, 적응형 협동 중계 방식으로 선택 다이버시티 이득을 통해 1개의 중계기 선택 시 10dB, 3개의 중계기 선택 시 1.5dB의 성능이 향상된다.

추후 단말기가 기지국과 직접 통신하는 경우를 고려하여 중계기를 선택하는 채널 상태의 신호대잡음비 기준을 정의하고, OFDM과 선택 주파수 페이딩 채널을 고려한 성능을 확인한다.

- [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.