

다양한 릴레이 조건에 따른 협력 통신 기법의 성능 분석

Performance analysis of cooperative communication algorithm with various relay conditions

김윤현*, 박재성*, 김진영*

Yoon Hyun Kim, Jae Sung Park, Jin Young Kim

Abstract

In this paper, performance of cooperative communication system is analyzed with various relay conditions for mobile communication system using OFDM. We research mainly on the performance analysis of amplify-and-forward scheme. First, we analyzed the diversity gain between the number of antenna on the relay is one and two. And then, in this paper, we analyzed difference of the performance with distance between relay and mobile. Amplify-and-forward scheme has the problem that the noise components are also amplified in low signal-to-noise (SNR) condition. The results of this paper can be applicable to the cooperative relay systems.

Keywords : Relay, Cooperative communication, Amplify-and-forward, Diversity gain

II. 서론

협력 통신은 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].

그 중에서 MIMO (Multi-input multi-output) 기술은 송수신단에 여러 개의 안테나가 존재하는 다중 안테나 기술로써 기존의 기술과 동일한 송신 파워와 대역폭을 사용함에도 불구하고 데이터 전송률을 높이거나 데이터 수신 성능을 높일 수 있는 기술이다[4-5]. 하지만 MIMO 기술은 다중화 이득과 다이버시티 이득을 통하여 데이터 전송율을 높이거나 수신 성능을 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있으나 장비 구현 차원에서의 여러 가지 어려움을 지니고 있다. 첫째로, 공간 다중화 기법 같은 경우, 가장 간단한 ZF (Zero forcing) 수신기를 이용한다 하더라도 채널의 역행렬을 구하는 연산을 수행해야 한다. 안테나 수가 증가하게 되면 그 연산량은 기하급수적으로 증가하게 된다. 둘째로, 단말의 크기도 MIMO 장비 구현에 장애가 된다. 무선 이동단말의 크기나 점차 소형화되는 추세에서 단말에 두 개 이상의 안테나를 탑재할 수 없으며, 다중 안테나를 설치한다 하더라도 안테나 간 공간적 상관도 때문에 수신 성능은 상당히 열화된다. 이러한 물리적 MIMO 시스템의 문

제점들을 해결하기 위해서 하나의 안테나만을 가지고 있는 단말이 다른 사용자의 단말을 이용하여 가상적으로 MIMO 채널을 형성하여 데이터를 전송하는 협력 통신 개념이 등장하였다[5-6].

협력 통신은 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[7]. 최근에는 ad-hoc 네트워크와 센서 네트워크에서도 협력통신 기술을 이용하고 있다. 이런 흐름에 발맞추어 본 논문은 기존 중계기의 활용이 가능하다는 측면을 이용하여 amplify-and-forward 기법에서의 다양한 relay 조건, (안테나 수, 거리)에 따른 성능 분석을 하였다. 시뮬레이션을 통해 AF 중계기에 2개의 안테나를 설치하여 기존 AF 중계기 시스템과의 bit error rate (BER) 성능을 비교 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 기존 amplify-and-forward 기법에 대해 언급하고, 제 III장에서는 모의실험 결과에 대해 고찰할 것이며, 제 IV장에서 결론을 맺고자 한다.

II. Amplify-and-Forward 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 1은 AF 전송 시나리오를 나타낸다. Source는 신호

접수일자 : 2009년 8월 14일

최종완료 : 2009년 8월 14일

*광운대학교 전자공학부

교신처자, E-mail : jinyoung@kw.ac.kr

x를 relay와 destination에 동시에 전송하게 되고, relay는 source의 신호를 받아서 단순히 증폭시킨 후 destination에 게 증폭시킨 신호를 재전송한다. Destination 은 source와 relay로부터 받은 신호를 combining 하여 원래 신호를 복구한다. Source로부터 전송된 신호를 x라 할 때 AF기법을 이용하는 relay를 통하여 destination에 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 N은 h_{SR} 과 h_{RD} 은 각각 source와 relay, relay와 destination 사이의 채널이고 n_R 과 n_D 는 각각 relay와 destination의 수신 안테나에 부가되는 잡음으로 동일한 분포를 가지나 서로 독립인 관계이다. 또한 α 와 β 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, ρ_{eff} 는 다음과 같이 계산 된다.

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

AF를 사용하는 경우는 relay에서 파워의 증폭으로 인하여 상대적으로 부가 잡음의 파워가 함께 증가함으로써 채널 용량은 다음과 같이 계산된다.

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

III. Relay Channel

Relay channel 은 단일 송신단과 단일 수신단 사이에 중계기가 존재하여 송수신 링크 사이의 정보 전송을 돕는 채널이다. 예를 들면, 이동통신 셀 내에서 충분한 전송률을

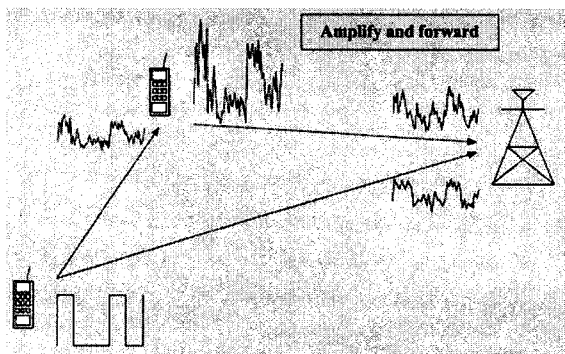


그림 1. AF 전송 모델
Fig. 1. AF transmission model

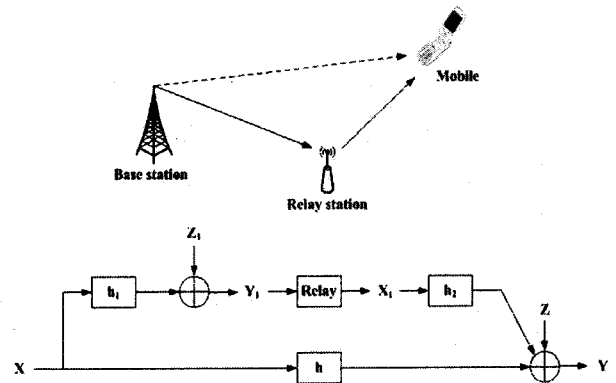


그림 2. 기본 가우시안 릴레이 채널
Fig. 2. Basic Gaussian relay channel

얻지 못하는 단말을 위해 중계기를 설치하여 전달하는 상황이다.

1. 기본 가우시안 릴레이 채널

기본적인 릴레이 채널로 기지국과 중계기, 단말이 하나씩 존재할 때의 릴레이 채널을 고려할 수 있다. 이 채널에서는 단일 송신단의 채널 입력 X와 단일 수신단으로의 채널 출력 Y가 존재하여, 단일 중계기가 채널로부터 신호 Y1을 받아서 송신단의 정보 전달을 돕는 X1을 전송한다. 각각의 입력 신호 X, X1은 최대 P, P1의 전력으로 전송할 수 있다. 따라서 채널 방정식은 다음과 같다.

$$Y = hX + h_2 X_1 + Z + Z, \quad Z \sim \mathcal{N}(0,1) \quad (6)$$

$$Y_1 = h_1 X + Z_1, \quad Z_1 \sim \mathcal{N}(0,1)$$

이 채널에서의 채널 용량은 아직 밝혀지지 않았다. 즉, 지금까지 발견된 전송 방식의 이론적 한계와 전송률의 최댓값이 아직 충족되지 못했음을 의미한다.

2. 가우시안 감소 릴레이 채널

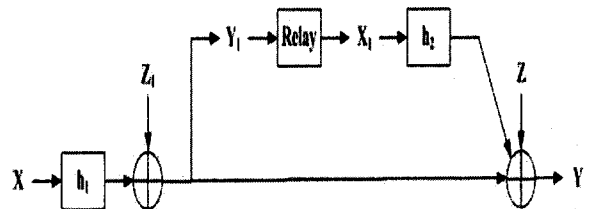


그림 3. 가우시안 감소 릴레이 채널
Fig. 3. Gaussian decline relay channel

일반적인 가우시안릴레이 채널에서는 그 채널 용량이 아직 발견되지 않았으나, 가우시안 감소 릴레이 채널에 대해서는 발견되었다. 이 채널은 아래와 같이 수신단이 중계기보다 더 낮은 SNR로 송신단에서 보내지는 신호를 수신하는 경우이다. 예를 들면, 이동통신 기지국이 단말에 정보를 전달할 때, 중계기가 단말보다 기지국에 더 가까이 위치하여 더 큰 신호를 받을 수 있을 때이다.

$$Y = h_1X + h_2X_1 + Z_1 + Z, \quad Z \sim \mathcal{N}(0,1) \quad (7)$$

$$Y_1 = hX + Z_1, \quad Z \sim \mathcal{N}(0,1)$$

이 때, 송신단은 최대 P의 전력으로 신호를 전송할 수 있고, 중계기는 최대 P1의 전력으로 신호를 전송할 수 있다.

Three-terminal Gaussian degrade relay channel에서 송수신 링크 사이의 전송률을 R1이라 할 때 채널 용량은 다음과 같이 정의된다.

$$R = \max_{0 \leq \alpha \leq 1} \min \left\{ \frac{1}{2} \log(1 + \alpha |h_1|^2 P), \frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{|h_1|P + |h_2|P_1 + 2\sqrt{(1-\alpha)PP_1}}{1+N} \right) \right\} \quad (8)$$

이러한 채널 용량은 단일 송수신 링크의 채널 용량보다 더 크다는 것을 볼 수 있다. 즉, 중계기의 도움으로 인해 더 높은 전송률을 얻을 수 있음을 의미한다.

$$\frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{|h|^2 P}{1+N} \right) \quad (9)$$

IV. 모의 실험 결과

변수	변수값
FFT point	128
# of packet	100,000
Cooperation type	AF
Number of antenna	1, 2
Modulation	BPSK

본 논문에서는 모의 실험을 통해 AF 방식의 최대 단점인 잡음성분이 함께 증폭되어 시스템 성능이 열화됨을 방지하고자, relay에 2개의 안테나를 설치하여 기존 시스템과의 BER 성능을 비교하고자 한다. 분석을 위한 시뮬레이션 파라미터는 위의 표와 같다. Relay의 안테나가 1 또는 2개일 경우에 relay의 거리에 따른 시스템의 BER 성능 분석을 실시하였다.

그림 4는 거리에 따른 일반적인 AF 기법의 성능을 보여준다. 그림에서 (.)은 source와 destination의 거리를 1로 보았을 때 source와 relay의 사이의 거리를 나타내는 것으로, (0.1)은 relay가 source에 가깝게 위치하고 있음을 나타낸다. 그림 4의 그래프를 보면 relay가 source에 가깝게 위치할수록 BER 성능이 좋음을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4와 마찬가지로, relay의 안테나가 2개일 경우의 거리에 따른 BER 성능을 보여준다. 안테나가 1개일 경우보다 약 2~3dB의 다이버시티 이득을 보이며, 그림 4와 같은 거리에 따른 BER 성능을 보인다.

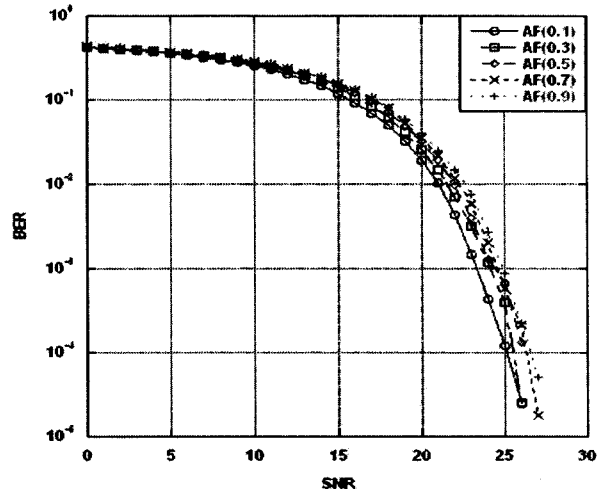


그림 4. 거리에 따른 일반적인 AF 중계기 성능
Fig. 4. AF relay performance with distance

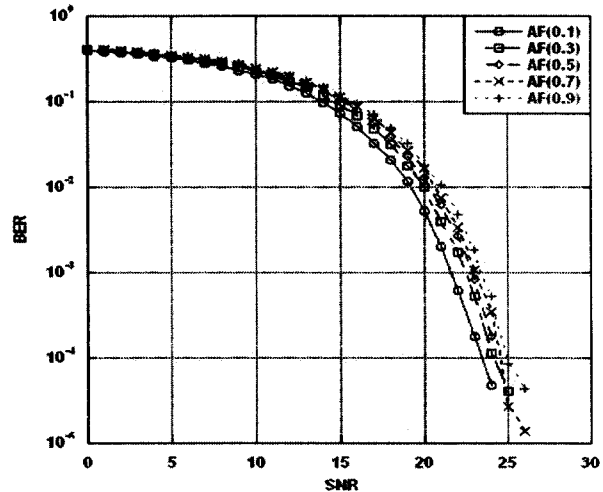


그림 5. 2개의 안테나를 사용한 AF 중계기의 성능
Fig. 5. AF relay performance with antenna 2

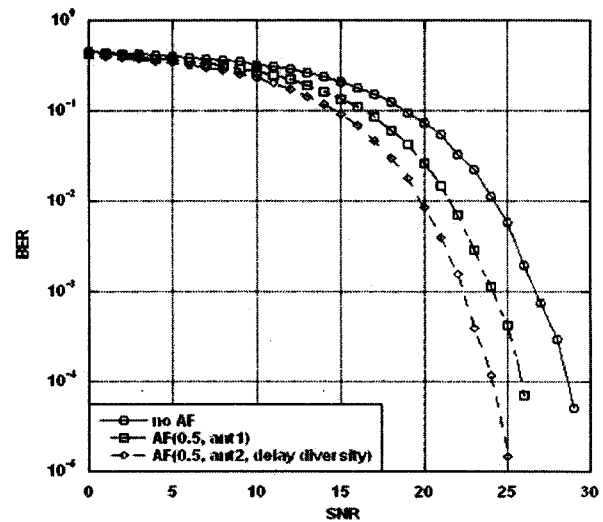


그림 6. 안테나 개수에 따른 성능
Fig. 6. BER performance with number of antenna

마지막으로 그림 6은 다중안테나를 사용한 AF 시스템의 BER 성능을 보여준다. 비 협력통신 방식과 하나의 안테나를 사용하는 AF 시스템에 비해 2개의 안테나를 사용하는 AF 시스템의 BER 성능이 약 3~6dB 정도 향상됨을 알 수 있다.

VI. 결 론

AF 방식의 협력통신은 기존의 인프라를 그대로 이용하면서 시스템 용량을 증가시킬 수 있다는 장점을 가지고 있지만, AF 자체의 노이즈가 같이 증폭되는 단점 또한 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 그러한 단점을 보완하고자 중계기에 2개의 안테나를 설치하여 3~6dB 정도의 다이버시티 이득을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-029-03, 가정용/기업용 WiBro 시스템 기술 개발.

[참고 문헌]

[1] A. Nosratinia, T. E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 42, Issue 10, Oct. 2004, pp. 74-80.

[2] T. M. Cover and A. A. E. Gamal, "Capacity Theorems for the Relay Channel", *IEEE Trans. Info. Theory*, Vol. 25, no 5, Sept. 1979, pp. 572-84.

[3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity Part I and Part II," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, Nov. 2003, pp. 1927-1948.

[4] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior" *IEEE 14 Transactions on Information Theory*, vol. 50, no. 12, Dec. 2004, pp. 3062-3080.

[5] E. van der Meulen, "Random coding theorems for the general discrete memoryless broadcast channel", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 21, Issue 2, Mar 1975, pp. 180 - 190

[6] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415-2425, Oct. 2003.

[7] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reea, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, March 2006.

[8] D. Lee, Y. S. Jung, and J. H. Lee, "Amplify-and-forward cooperative transmission with multiple relays using phase feedback," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf (VTC)*, Montreal, Canada, Sept. 2006.

[9] X. Deng and A. M. Haimovich, "Cooperative relaying

in wireless networks with local channel state information," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf (VTC)*, Dallas, TX, Sept. 2005.

[10] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity -Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.

[11] "User cooperation diversity -Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 1939-1948, Nov. 2003.

[12] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," in *Proc. IEEE Wireless Comm. And Networking Conf (WCNC)*, Chicago, IL, Sept. 2000.

김 윤 현

2006년 광운대학교 전파공학과 학사 졸업
 2008년 광운대학교 전파공학과 석사 졸업
 2008년~현재 광운대학교 전파공학과 박사과정
 <관심분야> 디지털통신, MIMO-OFDM, VLC, 협력통신, 채널 모델링, 채널 부호화,
 <e-mail> ultrayh1873@kw.ac.kr



박 재 성

2008년 광운대학교 전파공학과 졸업
 2008년~현재 광운대학교 전파공학과 석사과정
 <관심분야> 이동통신, 디지털통신, 채널 부호화, 동기화
 <e-mail> kiyajps@kw.ac.kr



김 진 영

1998년 서울대 전자공학과 (공학박사)
 2000년 미국 Princeton University, Research Associate.
 2001년 SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원
 2001년~현재 광운대학교 전파공학과 부교수
 2009년 현재 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist
 <관심분야> 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화
 <e-mail> jinyoung@kw.ac.kr

