

선형 네트워크 기반 상향링크 다중 사용자 시스템에서의 중계 전송

*이판형 **이재홍

*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

*rubyeye7@snu.ac.kr **jhlee@snu.ac.kr

Relay transmission for uplink multi-user system with linear network

*Lee, Panhyung **Lee, Jae Hong

*Seoul National University, School of Electrical Engineering, INMC

요약

중계 기술은 음영지역 해소 및 전송 용량 증대를 위해 기지국과 단말기 사이에 중계기(relay)의 도움을 받아 정보를 전송하는 통신 기술이다. 이 논문에서는 좁고 긴 도로상에 구성되는 선형 클러스터(linear cluster) 자동차 통신 환경을 고려하여 사용자와 중계기 그리고 기지국이 선형 네트워크로 구성됨을 가정한다. 이를 통해 본 논문에서는 선형 네트워크 시스템에서 다중 사용자와 다중 중계기가 존재할 때 최적 중계기 선택 기법을 통한 새로운 중계 전송 기법을 제안한다.

제안된 중계 전송 기법에서는 사용자와 중계기의 신호 전송을 위해 시분할 방식으로 채널이 할당된다고 가정한다. 첫 번째 전송단계에서는 모든 사용자들이 자신의 신호를 중계기와 기지국으로 전송한다. 기지국에서는 사용자들로부터 전송된 신호의 세기를 기반으로 재전송이 필요한 사용자들을 분류하고 이 사용자들만 중계기를 통해 재전송되도록 한다. 두 번째 전송단계에서는 중계기에서 재전송이 필요한 사용자들 중 일부 사용자들의 정보를 결합하여 기지국으로 재전송한다. 기지국에서는 앞의 두 전송단계를 통해 수신된 신호를 바탕으로 모든 사용자들의 정보를 복호한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 비트오율(BER) 성능을 보인다.

1. 서론

중계 기술은 기존 이동통신 망에서 기지국과 단말기 사이에 중계기(relay)를 두어 셀 음영지역 해소와 셀 영역 확장 및 셀 영역 내에서의 전송용량 증대 등에 매우 효과적인 기술이다 [1], [2]. 중계방식의 특별한 형태인 협력 다이버시티(cooperative diversity) 기술은 무선 통신 네트워크상에서 사용자들이 서로의 안테나를 공유하여 공간 다이버시티(spatial diversity) 이득을 얻는 기술이다 [3]-[5]. [5]에서는 협력 다이버시티 기법에서 중계기의 전송 방식에 따른 다양한 중계 전송 프로토콜(protocol)이 제안되었고 이에 대한 불능(outage) 성능을 보였다.

협력 다이버시티 기술은 중계 전송에 참가하는 중계기의 수에 따라 추가적인 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. [6]에서는 사용자의 신호를 협력에 참가하는 다중 중계기들이 분산 시공간부호(distributed space-time code)를 사용하여 동

시에 전송하여 높은 다이버시티 이득을 얻는다. 하지만 중계기들의 전송의 동기화와 부호 설계의 어려움으로 인해 다중 중계기들 중 하나의 최적 중계기를 선택하는 기회적 중계 전송(opportunistic relaying) 기법이 제안되었고 [7], [8], 이를 통해 최대 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 다중 사용자 환경에서의 중계기 선택 기법도 제안되었다 [9]. [10]에서는 협력 다이버시티 기술에 네트워크 코딩 기술을 적용하면 더 큰 부호화 이득을 얻을 수 있음을 보이고 있다.

본 논문에서는 다중 중계기를 통해 다중 사용자의 신호를 중계 전송 기법을 제안한다. 사용자 전송단계에서 모든 사용자는 중계기와 기지국으로 신호를 전송한다. 기지국은 중계기 전송단계 이전에 재전송이 필요한 사용자들 선택하고 최적 중계기 선택기법을 통해 그 사용자의 신호를 어떤 중계기를 통해 전송할지 결정한다. 중계기 전송단계에서는 각 중계기가 재전송이 필요한 사용자들의 신호를 결합하여 기지국으로 신호를 전송한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 다중 사용자 중계 전송 시스템 모델을 제시한다. 둘째, 제시된

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0083495)

시스템 모델을 위한 새로운 중계 전송 프로토콜을 제안한다. 셋째, 모의 실험을 통해 제안된 중계 전송 프로토콜의 성능을 분석한다. 마지막으로, 결론을 도출한다.

2. 시스템 모델

다중 사용자 상향링크에서 다수의 중계기와 하나의 기지국이 존재하는 시스템을 고려한다. 사용자의 수는 K 명이고 중계기의 수는 N 개이고 사용자와 중계기 그리고 기지국은 하나의 안테나를 가지고 있다고 고려한다. 중계기는 사용자의 신호를 중계하는 역할만 하고 위치가 고정되어 있고 사용자로부터 기지국까지 직접 전송 경로(direct path)가 존재하는 것으로 가정한다. 모든 사용자와 중계기는 직교(orthogonal) 채널을 통해 전송하고 각 노드들의 전송을 위해 시분할(time division) 방식으로 채널이 할당되는 것으로 가정한다. 채널 할당과 중계기 선택을 위해 집중형(centralized) 방식으로 제어하는 시스템을 고려한다.

사용자와 중계기에서의 전송은 두 단계로 나누어져 있는데 첫 번째 전송단계에서는 사용자들이 자신의 전송시간동안 신호를 전송하고 중계기와 기지국은 각 사용자들로부터 전송되는 신호를 수신한다. 기지국에서는 각 사용자들로부터 전송되는 신호의 신호대잡음비(SNR)를 문턱 신호대잡음비와 비교하여 재전송이 필요한 사용자들을 선택하고 이러한 사용자들의 신호만 중계기를 통해 재전송 되게 한다. 두 번째 전송단계에서는 중계기들이 이전 단계에서 수신한 사용자들의 신호 중 재전송이 필요한 사용자들의 신호를 기지국으로 부호화재전송(decode-and-forward) 방식을 통해 기지국으로 재전송하고 기지국은 각 중계기들로부터 재전송되는 신호와 첫 번째 단계에서 사용자들로부터 전송된 신호를 토대로 각 사용자들의 정보를 복호한다.

3. 중계 전송 프로토콜

첫 번째 전송단계에서 사용자 k 는 자신에게 할당된 전송 시간에서 신호 x_k 를 전송하면 각 중계기와 기지국에서 수신되는 신호는 다음 식으로 주어진다.

$$y_{k,n} = h_{k,n}P_k x_k + n_n \quad (1)$$

$$y_{k,D} = h_{k,D}P_k x_k + n_D \quad (2)$$

여기서 $k = 1, 2, \dots, K$ 이고, $n = 1, 2, \dots, N$ 이다. $h_{k,n}$ 과 $h_{k,D}$ 는 각각 사용자 k 와 중계기 n 사이의 채널과 사용자 k 와 기지국 사이의 복소 채널 계수를 나타내고 경로손실(path loss)과 그림자화(shadowing) 및 주파수 비선택적 페이딩(fading)을 포함하고 있다. P_k 는 사용자 k 의 전송전력을 나타내고 모든 사용자들은 동일한 전송전력으로 신호를 전송한다고 가정한다. 즉 $P_1 = P_2 = \dots = P_K = P_{\text{user}}$ 이다. n_n 과 n_D 는 각각 중계기 n 과 기지국에서의 백색가산성가우시안

잡음(AWGN)을 나타내고 평균이 0이고 각 노드들 간 상호 독립적이며 N_0 의 분산을 가진다고 가정한다.

첫 번째 전송단계에서 사용자들의 신호전송이 끝나면 기지국에서는 (2)에서 주어지는 $y_{k,D}$ 를 토대로 사용자들의 신호대잡음비를 추정하고 사용자들의 신호대잡음비를 문턱 신호대잡음비 SNR_{th} 와 비교하여 재전송이 필요한 사용자들을 선택한다. 재전송이 필요한 사용자들의 집합 $S_{\text{user}}^{\text{re}}$ 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$S_{\text{user}}^{\text{re}} = \{k \in S_{\text{user}} : \text{SNR}_k < \text{SNR}_{\text{th}}\} \quad (3)$$

여기서 S_{user} 는 모든 사용자들의 집합을 나타내고 SNR_k 는 사용자 k 의 신호대잡음비를 나타낸다.

여기서 재전송이 필요한 사용자의 신호는 주파수효율성을 고려할 때 최적의 중계기를 통해서만 재전송되어야 한다. 최적의 중계기 선택 기법은 사용자의 신호를 성공적으로 복호할 수 있는 중계기들 중 중계기와 기지국간 채널이 가장 좋은 중계기를 선택하는 기회적 중계(opportunistic relaying) 기법을 이용한다 [7], [8]. 사용자가 하나의 중계기를 사용하는 기회적 중계 기법을 통해서 최대 다이버시티 차수를 얻을 수 있다 [9]. 여기서 사용자 k 가 재전송이 필요하다고 가정하면 ($k \in S_{\text{user}}^{\text{re}}$) 사용자 k 의 정보를 성공적으로 복호할 수 있는 중계기들의 집합은 다음 식과 같이 주어진다.

$$S_{\text{relay}}^k = \left\{ n \in S_{\text{relay}} : \frac{1}{2} \left(1 + \|h_{k,n}\| \frac{P_{\text{user}}}{N_0} \right) \geq R \right\} \quad (4)$$

여기서 R 은 요구되는 데이터 전송률을 나타낸다. 식 (4)의 우변의 $\frac{1}{2}$ 은 사용자의 신호를 직접 전송과 중계 전송을 통해 중복전송 하는 것에 따른 전송 용량의 손실을 나타낸다.

재전송이 필요한 사용자 k 의 신호는 사용자 k 의 신호를 성공적으로 복호할 수 있는 중계기들 중 중계기-기지국 간 채널 이득이 가장 큰 중계기 n_k^* 를 통해 재전송하게 되고 이는 다음 식과 같이 주어진다.

$$n_k^* = \arg \max_{n \in S_{\text{relay}}^k} \|h_{n,D}\|^2 \quad (5)$$

기존의 기회적 중계 기법에서는 각 중계기에서 한명의 사용자만이 동시에 전송 가능하다. 본 논문에서는 하나의 중계기에서 여러 사용자의 신호를 동시에 전송하도록 네트워크 코딩 기법을 통해 신호를 결합한 후 재전송한다. 중계기 n 이 전송하는 신호 $x_{n,D}$ 는 다음 식과 같이 주어진다 [10].

$$x_{n,D} = \hat{x}_{1,n} \oplus \hat{x}_{2,n} \oplus \dots \oplus \hat{x}_{|S_{\text{user}}^n|,n} \quad (6)$$

여기서 $\hat{x}_{1,n}$ 은 중계기 n 에서 추정된 첫 번째 사용자의 신호를 나타내고 S_{user}^n 는 재전송이 필요한 사용자들 중 중계기 n 이 최적의 중계기가 되는 사용자들의 집합을 나타낸다.

식 (6)으로부터 주어지는 신호는 여러 사용자의 신호가 결

합되어 있으므로 각 중계기를 통해 동시에 재전송하는 사용자의 수를 제한할 수 있다. 본 논문에서는 각 중계기를 통해 동시에 재전송하는 사용자의 수를 M 으로 가정하였다.

두 번째 전송단계에서는 중계기 n 은 식 (6)으로 결합된 신호를 기지국으로 전송하며 기지국에서 수신되는 신호는 다음 식으로 주어진다.

$$y_{n,D} = h_{n,D}P_n x_{n,D} + n_D \quad (7)$$

여기서 $n = 1, 2, \dots, N$ 이다. $h_{n,D}$ 는 중계기 n 과 기지국 사이의 복소 채널 채널계수를 나타내고 경로손실과 주파수 비선택적 페이딩을 포함하고 있다. P_n 는 중계기 n 의 전송전력을 나타내고 모든 중계기들은 동일한 전송전력으로 신호를 전송한다고 가정한다.

사용자와 중계기에서의 전송이 끝나면 기지국은 식 (2)의 사용자들로부터 직접 전송된 신호를 바탕으로 각 사용자들의 정보를 복호한다. 위 과정을 통해 복호에 실패하는 사용자의 정보는 식 (7)의 중계기들로부터 재전송된 신호와 식 (2)를 통해 복호에 성공한 다른 사용자의 정보를 바탕으로 재복호한다.

4. 모의실험결과

본 절에서는 제안된 선형 네트워크 기반 상향링크 다중 사용자 시스템에서의 중계 전송 기법에 대한 비트오율 성능을 모의실험을 통해 알아본다. 사용자의 수는 K 명, 중계기의 수는 N 개, 그리고 중계기당 재전송하는 사용자의 수는 M 명으로 가정하였다. 사용자와 기지국 사이에 중계기가 위치하고 있는 선형 네트워크 환경을 가정하고 사용자와 기지국간의 채널이 사용자와 중계기간 채널 및 중계기와 기지국간 채널보다 열악한 환경을 고려한다. 모든 사용자들과 중계기들은 동일한 전송전력 P_t 로 신호를 전송하는 것으로 가정한다.

그림 1은 사용자의 수가 2명이이고 중계기당 동시에 재전송하는 사용자의 수가 2명이이고 중계기의 수가 1, 3, 5일 때 송신신호대잡음비에 따른 제안된 중계 전송 기법과 기존의 기회적 중계 전송 기법의 비트오율 성능을 비교하고 있다. 그림 1에서는 사용자의 수보다 중계기의 수가 많을 때에도 제안된 중계 전송 기법이 기존 중계 전송 기법보다 더 높은 다이버시티 이득을 달성하고 있음을 보여준다.

그림 2는 사용자의 수가 10명이이고 중계기당 동시에 재전송하는 사용자의 수가 4명이이고 중계기의 수가 1, 3, 5일 때 송신신호대잡음비에 따른 제안된 중계 전송 기법과 기존의 기회적 중계 전송 기법의 비트오율 성능을 비교하고 있다. 그림 2에서는 사용자의 수보다 중계기의 수가 적은 환경이고 제안된 중계 전송 기법을 통해 중계기당 재전송하는 사용자의 수를 증가시킴으로써 기존 중계 전송 기법보다 더 좋은 비트오율 성능을 얻음을 보여준다.

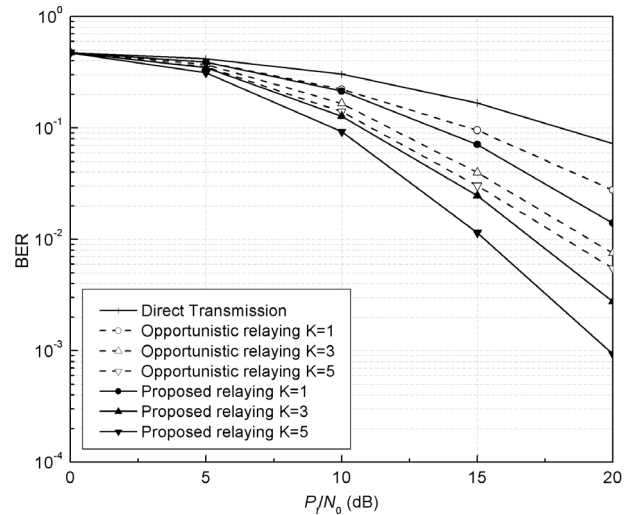


그림 1. 송신신호대잡음비에 따른 비트오율 성능 ($K = 2, M = 2$)

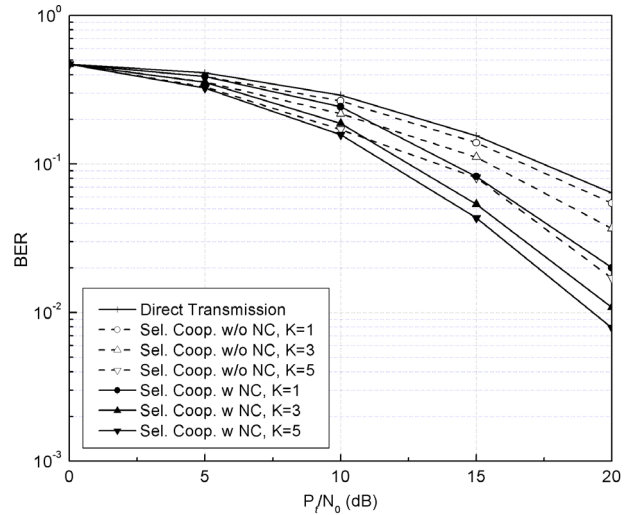


그림 2. 송신신호대잡음비에 따른 비트오율 성능 ($K = 10, M = 4$)

5. 결론

본 논문에서는 선형 네트워크 기반 상향링크 다중 사용자 시스템에서 새로운 중계 전송 기법을 제안하였다. 재전송이 필요한 사용자들 중 일부의 정보를 중계기에서 결합하여 전송함으로써 기존 기회적 중계 전송 기법보다 더 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 컴퓨터 모의실험을 통해 기존 중계 전송 기법과의 비트오율 성능을 비교를 통해 제안된 기법의 우수성을 확인하였다.

6. 참고 문헌

- [1] E. C. V. D. Meulen, "Three-terminal communication channels," *Applied Probability Trust, Advances in Applied Probability*, vol. 3, no. 1, pp. 120-154, Spr. 1971.
- [2] T. M. Cover and A. A. El Gamal, "Capacity theorems for the relay channel," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-25, pp. 572-584, Sep. 1979.
- [3] 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.
- [4] —, "User cooperation diversity Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1939-1948, Nov 2003.
- [5] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [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. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [8] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 9, pp. 1-11, Sep. 2007.
- [9] E. Beres and R. Adve, "Selection cooperation in multi-source cooperative networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 1, pp. 118-127, Jan. 2008.
- [10] L. Xiao, T. E. Fuja, J. Kliewer, and D. J. Costello, "A network coding approach to cooperative diversity," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 53, no. 10, Oct. 2007