

무선 협력 네트워크를 위한 비례공정 중계 기법

*김진수 **이재홍

서울대학교

*jskim97@snu.ac.kr

Proportional-fair relaying for a wireless cooperative network

*Jinsu Kim **Jae Hong Lee

Seoul National University

요 약

본 논문에서는 무선 협력 네트워크(wireless cooperative network)의 전송 신뢰성과 공정성 향상을 위한 비례공정 중계(proportional-fair relaying) 기법을 제안한다. 다중 단말과 단일 기지국이 있는 다원 접속(multiple access) 환경에서 저속 페이딩(slow fading)에 의한 성능 열화를 저감하면서 단말간 자원 사용 공정성 보장하기 위해 비례공정 전송 기법과 중계 기법 결합한다. 이를 통해 기존 기회적(opportunistic) 전송 기법의 비대칭 채널(asymmetric channel)에서의 자원 사용 불공정성을 해결하면서 깊은 페이딩(deep fading)에 의한 데이터 무선 전송 손실을 최소화 한다. 컴퓨터 모의실험 결과를 통해 제안된 기법이 공정성 제한(fairness constraint)이 있는 다원 접속 환경에서 불능 확률(outage probability) 성능을 제고함을 보인다.

1. 서론

협력 중계(cooperative relaying) 기법은 저속 페이딩 채널에서 깊은 페이딩(deep fading)에 의한 무선 통신 시스템 성능 열화를 독립적인 다중 경로 전송을 통해 극복하는 공간 다이버시티(spatial diversity) 기법이다 [1]. 협력 중계 기법은 다중 송수신 안테나를 사용하는 MIMO(multiple input multiple output) 기법과는 달리 단일 안테나 가상 안테나 선열(virtual antenna array)을 사용하여 다이버시티 이득을 얻는다. 이에 다중 안테나 단말기 구현의 난제에 대한 대안으로 최근 연구의 필요성이 급격히 증대되고 있다.

기회적 전송 기법은 시스템 수율(throughput) 최대화를 위한 최적(optimal) 기법이다 [2]. 저속 페이딩 채널에서 다중 사용자 다이버시티(multiuser diversity)를 통해 채널 이득을 최대화 한다. 하지만, 비대칭 채널에서는 특정 단말기들로 전송 채널이 할당 편중되어 자원 사용의 불공정성을 초래한다. 이에 기회적 중계기법의 공정성 개선을 위한 비례공정 전송 기법이 제안되었다. 비례공정 전송 기법은 비대칭 채널에서도 자원 사용의 공정성을 보장하면서 높은 시스템 수율을 제공한다 [3].

본 논문에서는 협력 중계 기법과 비례공정 기법을 결합한 비례공정 중계(proportional-fair relaying) 기법을 제안한다.

2. 시스템 모델

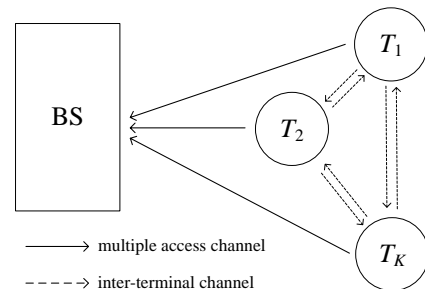


그림 1. 시스템 모델

단일 기지국(BS)과 단일 안테나 단말(terminal) K 개가 있는 무선 다원 접속(multiple access) 협력 네트워크를 고려한다. 다중 단말들간의 직교 다원 접속을 위해 시분할다중 접속(time division multiple access)을 가정하고, 각 단말은 동시에 송수신을 할 수 없는 반이중(half-duplex) 통신을 고려한다. 각 단말의 중계는 복호화재전송 방식을 사용한다.

단말의 집합을 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_K\}$ 라 할 때, k 번째 단말 T_k 는 기지국까지의 채널 이득 $|\alpha_k|^2$ 에 대해 장애율(hazard rate) Ω_k 인 지수 분포(exponential distribution)를 갖는다고 가정한다. k 번째 단말 T_k 와 l 번째 T_l ($k \neq l$) 단말간 채널의

이 논문은 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0017437).

이득 계수(inter-channel gain coefficient)를 β_{kl} 이라 표현할 때, β_{kl} 는 평균이 0 이고 분산이 σ_{kl} 인 원형 대칭 복소 가우시안 확률 변수(circularly symmetric complex Gaussian random variable)로 가정한다. 본 논문에서는 제안된 기법과 기존 기회적 전송 기법과의 비교에 초점을 맞추기 위해 각 단말간 채널은 대칭적(symmetric)이라 가정한다. 즉, $\sigma_{kl} = 1, k, l \in \{1, 2, \dots, K\}$.

3. 제안된 비례공정 중계 기법

협력 중계를 위하여 각 단말은 복호화후재전송(decode-and-forward) 방식을 사용 한다고 가정한다. 제안된 비례공정 중계 기법에서는 공간 다이버시티 이득을 얻기 위하여 각 시간 슬롯(time slot)을 두 개의 부 시간 슬롯(sub-time slot)으로 나누고, 각 부 시간 슬롯에서 하나의 최적 단말을 선택하여 기지국으로 데이터를 전송하게 한다. 매 부 시간 슬롯에서 선택되는 최적 단말은 수식 (1)과 같다.

$$T_b = \arg \max_{T_k \in T} \frac{|\alpha_k|^2}{\Omega_k} \quad (1)$$

선택된 최적 단말이 데이터를 기지국에 전송하면, 무선 채널의 방송(broadcasting) 특성에 따라 해당 데이터는 다른 단말들에게도 전송된다. 최적 단말이 전송한 데이터를 수신하여 복호화(decoding)에 성공한 단말들의 집합을 복호화 집합 D 이라 하면, 집합 D 는 수식 (2)번과 같다.

$$D = \left\{ T_i \in T : \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0} |\beta_{bi}| \right) \geq R \right\} \quad (2)$$

P 와 N_0 는 송신전력과 잡음 분산을 각각 나타내며, R 은 주파수 효율을 나타낸다. 집합 D 에 속한 단말들은 최적 단말의 전송 데이터를 순차적으로 협력 중계하기 위해 자신의 버퍼(buffer)에 보관한다.

기지국은 최적 단말 전송 데이터에 대한 복호화가 실패한 경우 복호화 집합 D 에 의한 추가적 협력 중계를 받기 위해 NACK(negative acknowledge) 전송제어부호를 방송하고, 복호화가 성공하는 경우는 ACK 전송제어부호를 방송한다. 집합 D 의 단말들은 기지국이 방송하는 전송제어부호의 종류 따라 해당 데이터에 대한 협력 중계 또는 삭제를 결정한다.

4. 컴퓨터 모의 실험 결과

그림 2 의 불능 확률은 $\Omega_1 = 2\Omega_2 = 3\Omega_3 = 4\Omega_4 = 5\Omega_5 = 1$, 단말간 채널의 평균 이득 20dB, 주파수 효율 1 bit/sec/Hz 을 가정하여 기회적 전송 기법과 비교였다. 그림 3 의 평균 공정도는 k 번째 단말 할당 받은 자원의 비율을 P_k 라 할 때 수식 (3)번과 같이 나타내어진다 [4].

$$\bar{f} = -\sum_{k=1}^K P_k \frac{\log P_k}{\log K} \quad (3)$$

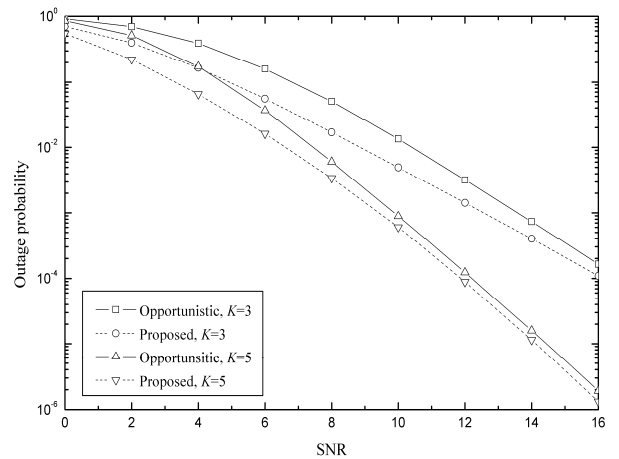


그림 2. 불능 확률 비교

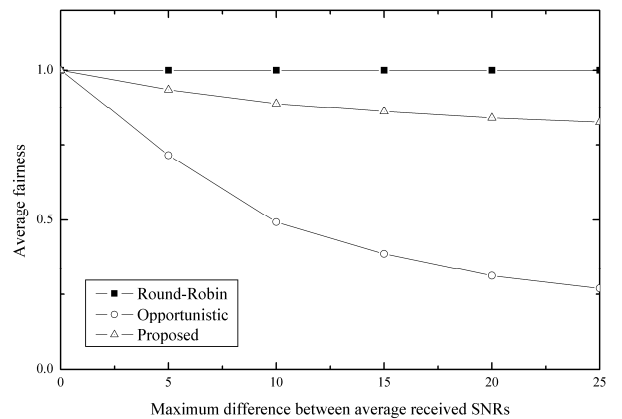


그림 3. 평균 공정도 비교

5. 결론

본 논문에서는 무선 협력 네트워크의 불능 확률 성능과 자원 할당 공정성을 위한 비례공정 중계 기법을 제안하였다. 컴퓨터 모의 실험 결과를 통해 제안된 기법이 기회적 전송 기법 보다 향상된 불능 확률 성능을 보이면서도 라운드 로빈에 근접하는 공정성을 보임을 확인하였다.

참고문헌

- [1] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocol and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [2] R. Knopp and P. Humblet, "Information capacity and power control in single cell multiuser communications," in *Proc. IEEE ICC' 95*, Seattle, WA, June 1995, pp. 331-335.
- [3] H. Viswanathan, S. Mukherjee, "Performance of cellular networks with relays and centralized scheduling," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5, pp. 2318-2328, 2005.
- [4] L. Yang, M. Kang, and M. Alouini, "On the capacity-fairness tradeoff in multiuser diversity systems," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 56, no. 4, pp. 1901-1907, July 2007.