

다중 간섭신호가 존재하는 레일레이 페이딩 채널에서 이중 홉 복호후재전송 중계시스템의 성능

이동우 이재홍

서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소
ldw81@snu.ac.kr

Performance of Dual-hop Decode-and-Forward Relaying with Multiple Interferers over Rayleigh Fading Channels

Lee, Dongwoo Lee, Jae Hong

Department of Electrical Engineering and INMC, Seoul National University

요약

다중 홉 중계기술은 차세대 무선통신을 위한 핵심 기술로 최근 전 세계적으로 활발히 연구되고 있으며, 셀 용량 증대, 셀 영역 확장, 음영지역 축소 등의 장점으로 인하여, IEEE 802.11s, 802.15.4, 802.16j 등의 표준화에의 반영을 위한 논의가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 간섭신호가 존재하지 않는 이상적 네트워크 환경을 고려한 기존 연구의 한계를 극복하기 위해, 다중 간섭신호가 존재하는 레일레이(Rayleigh) 페이딩 채널에서 이중 홉(dual-hop) 복호후재전송(DF : decode-and-forward) 중계시스템의 시스템 모델을 제안하고, 모의실험을 통하여 불능확률 및 4진 직교 진폭 변조(4-QAM)를 위한 평균비트오율(average bit error rate) 성능을 살펴본다.

1. 서론

다중 홉 중계기술은 차세대 무선통신이 요구하는 높은 데이터 전송률과 신뢰도의 달성을 위한 물리계층의 핵심 기술로 최근 활발히 연구되고 있다. 다중 홉 중계기술은 셀 용량 증대, 셀 영역 확장, 음영지역 축소 등에 매우 효과적이며, 중계기 사용으로 기지국 설비비 및 유지비 부담을 줄일 수 있다 [1]. 또한, 협력통신 및 네트워크 코딩 기술과의 결합을 통해 추가적인 성능 향상을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다 [2]. 이러한 장점으로 인하여, IEEE 802.11s, 802.15.4, 802.16j 등의 표준화에 다중 홉 중계기술을 적용하기 위한 논의가 활발히 진행되고 있다. 다중 홉 중계기술의 성능에 관한 연구로 2004년 미국 Texas A&M대학 Alouini 등이 페이딩 채널에서 다중 홉 중계기술의 불능확률(outage probability), 프레임오율(frame error rate) 등을 분석하였고 [3],[4], 캐나다 Ottawa대학 Yanikomeroglu 등이 물리계층에서의 다중 홉 중계기술을 위한 분석기법을 소개하였으며 [5], 타 연구자들에 의해 다중 홉 중계기술의 성능한계 [6] 및 심볼오율(symbol error rate) [7] 등이 분석되었다.

다중 홉 중계기술을 차세대 무선통신 및 실제 무선통신시스템에 적용하기 위해서는 다중 간섭신호가 존재하는 페이딩 환경에서의 다중 홉 중계기술 연구가 필수적이다. 그러나 대부분의 기존 연구들이 간섭신호가 존재하지 않는 이상적 네트워크 환경을 가정하고 수행되어 왔기 때문에, 실제 무선통신 환경을 고려한 다중 홉 중계기술에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 간섭신호가 존재하지 않는 이상적 네트워크 환경을 고려한 기존 연구의 한계를 극복하기 위해, 다중 간섭신호가 존재하는 레일레이(Rayleigh) 페이딩 채널에서 이중 홉(dual-hop) 복호후재

전송(decode-and-forward) 중계시스템의 시스템 모델을 제안하고, 모의실험을 통하여 불능확률 및 4진 직교 진폭 변조(4-QAM) 기법을 위한 평균비트오율(average bit error rate) 성능을 살펴본다.

2. 시스템 모델

다중 간섭신호가 존재하는 레일레이 페이딩 채널에서의 이중 홉 복호후재전송 중계시스템을 고려한다. 송신단말기(source) T_0 와 수신단말기(destination) T_2 가 중계단말기(relay) T_1 를 통하여 통신하고 있는 환경을 가정한다. 반양방향(half-duplex) 통신환경을 가정할 경우, 송신단말기와 수신단말기간의 통신은 두 단계(phase)를 통하여 이루어진다. 첫 번째 단계에서 송신단말기가 중계단말기로 데이터를 전송하면, 중계단말기는 송신단말기의 데이터와 I_1 개 간섭단말기(interfering terminal)로부터 오는 간섭신호를 수신하게 된다. 두 번째 단계에서 중계단말기는 송신단말기의 데이터를 복호(decoding) 및 재부호화(re-encoding)한 후 수신단말기로 재부호화된 송신단말기의 데이터를 송신하고, 수신단말기는 재부호화된 송신단말기의 데이터와 I_2 개 간섭단말기로부터 오는 간섭신호를 수신하게 된다.

k 번째 단말기 T_k 에서 $k-1$ 번째 단말기 T_{k-1} 및 I_k 개 간섭단말기로부터 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$y_k = h_k x_{k,0} + \sum_{i=1}^{I_k} g_{k,i} x_{k,i} + n_k, \quad k = 1, 2, \quad (1)$$

상기 식에서 h_k 는 단말기 T_{k-1} 로부터 단말기 T_k 로 송신되는 신호의 채널 페이딩 계수이고, $x_{k,0}$ 는 단말기 T_{k-1} 로부터 단말기 T_k 로 송신되는 신호이고, $g_{k,i}$ 는 i 번째 간섭단말기로부터 단말기 T_k 로 수신되는

신호의 채널 페이딩 계수이고, $x_{k,i}$ 는 i 번째 간섭단말기로부터 단말기 T_k 로 수신되는 신호이며, n_k 는 단말기 T_k 에서의 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise)이다.

k 번째 단말기 T_k 에서 수신되는 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR : signal-to-interference plus noise ratio)는 다음과 같다.

$$\gamma_k = \frac{\rho_{k,0}|h_k|^2}{1 + \sum_{i=1}^{I_k} \rho_{k,i}|g_{k,i}|^2}, \quad (2)$$

상기 식에서 $\rho_{k,0}$ 는 단말기 T_{k-1} 로부터 단말기 T_k 로 송신되는 신호의 홉(hop) 당 신호 대 잡음비(SNR : signal-to-noise ratio)이고, $\rho_{k,i}$ 는 i 번째 간섭단말기로부터 단말기 T_k 로 송신되는 신호의 홉 당 간섭 신호 대 잡음비(INR : interference-to-noise ratio)이다.

3. 모의실험

본 모의실험을 위하여, 중계단말기 및 수신단말기에서 수신되는 홉 당 신호 대 잡음비(SNR per hop) $\rho = \rho_{1,0} = \rho_{2,0}$ 로 설정하였고, 종단 간(end-to-end) 스펙트럼 효율(spectral efficiency) $R=1$ bps/Hz로 설정하였으며, 각 단말기에서의 임계 신호 대 잡음비(threshold SNR) $\gamma_{th} = (2^{2R} - 1)/\rho$ 로 설정하였다.

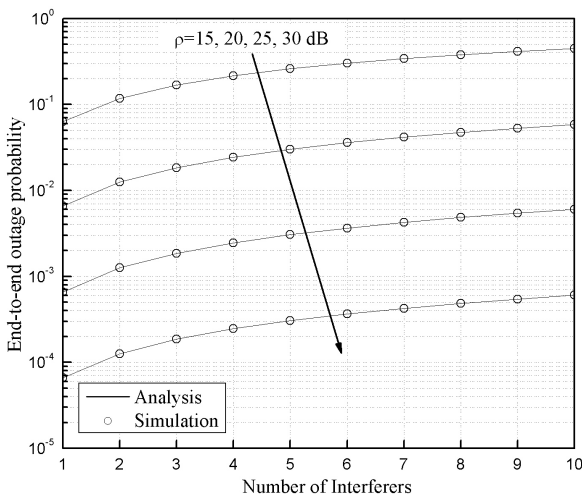


그림 1. 간섭단말기 수에 따른 종단 간 불능확률. 홉 당 신호 대 잡음비 $\rho = 15, 20, 25, 30$ dB.

그림 1은 간섭단말기 수에 따른 종단 간 불능확률을 나타낸다. 홉 당 신호 대 잡음비 $\rho = 15, 20, 25, 30$ dB로 설정하였고, 홉 당 간섭신호 대 잡음비 $\rho_{1,i} = \rho_{2,i} = 10$ dB, $i = 1, 2, \dots, I_k$ 로 설정하였다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼, 홉 당 신호 대 잡음비를 고정하면 간섭단말기 수가 증가할수록 종단 간 불능확률은 높아지고, 간섭단말기 수를 고정하면 홉 당 신호 대 잡음비가 증가할수록 종단 간 불능확률은 높아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 간섭단말기 수에 따른 종단 간 평균비트오율을 나타낸다. 홉 당 신호 대 잡음비 $\rho = 15, 20, 25, 30$ dB로 설정하였고, 홉 당 간섭신호 대 잡음비 $\rho_{1,i} = \rho_{2,i} = 10$ dB, $i = 1, 2, \dots, I_k$ 로 설정하였으며 4-QAM 기법을 고려하였다. 이전 그림 1과 마찬가지로, 홉 당 신호 대 잡음비를 고정하면 간섭단말기 수가 증가할수록 종단 간 평균비

트오율은 높아지고, 간섭단말기 수를 고정하면 홉 당 신호 대 잡음비가 증가할수록 종단 간 평균비트오율은 높아지는 것을 확인할 수 있다.

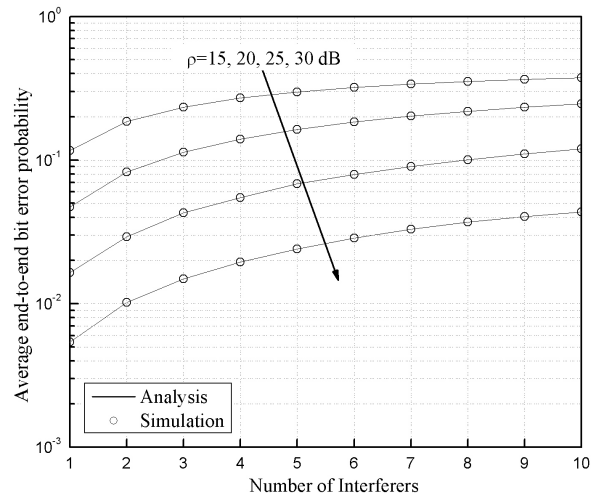


그림 2. 간섭단말기 수에 따른 종단 간 평균비트오율. 홉 당 신호 대 잡음비 $\rho = 15, 20, 25, 30$ dB.

감사의 글

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-00-11844-0).

참고 문헌

- [1] R. Pabst et al., "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 9, pp. 80-89, Sep. 2004.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G.W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [3] M. O. Hasna and M.-S. Alouini, "End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh-fading channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 2, no. 6, pp. 1126-1131, Nov. 2003.
- [4] M. O. Hasna and M.-S. Alouini, "Outage probability of multihop transmission over Nakagami Fading Channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 7, no. 5, pp. 216-218, May 2003.
- [5] J. Boyer, D. D. Falconer, and H. Yanikomeroglu, "Multihop diversity in wireless relaying channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 10, pp. 1820-1830, Oct. 2004.
- [6] G. K. Karagiannidis, T. A. Tsiftsis, and R. K. Mallik, "Bounds for multihop relayed communications in Nakagami-m fading," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 54, no. 1, pp. 18-22, Jan. 2006.
- [7] P. A. Anghel and M. Kaveh, "Exact symbol error probability of a cooperative network in a Rayleigh-fading environment," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 3, no. 5, pp. 1416-1421, Sep. 2004.