

불완전한 채널 정보를 갖는 전이중 양방향 중계 네트워크의 불능 확률 성능 분석

*최동욱 **이재홍

서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

*dongwook@snu.ac.kr

Outage Probability of a Two-Way Full-Duplex Relay Network with Imperfect CSI

*Dongwook Choi and **Jae Hong Lee

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC

Seoul National University

요약

전이중(full-duplex) 양방향 중계 네트워크는 전이중 방식을 사용하는 중계기에서 물리 계층 네트워크 부호화(physical layer network coding) 혹은 중첩 부호화(superposition coding)을 사용하여 기존 반이중(half duplex) 중계기를 사용하는 양방향 중계 네트워크에 비해 높은 주파수 효율을 제공한다. 본 논문에서는 전이중 양방향 중계 네트워크를 고려하여 전이중 방식에서 필연적으로 발생하는 루프간섭 신호의 영향을 살펴보았다. 여기에서 사용자 및 중계기는 루프간섭 신호를 제거하기 위해 루프간섭 신호를 추정한다. 하지만 루프간섭 신호를 추정할 때 추정 오류가 발생하여 수신 신호에서 루프간섭 신호를 완벽하게 제거하기는 어렵다. 모의실험에서는 이로 인해 발생할 수 있는 성능 변화를 불능 확률을 통해 분석하였다.

1. 서론

양방향 중계 네트워크는 중계기에서 물리 계층 네트워크 부호화(physical layer network coding) 혹은 중첩 부호화(superposition coding)을 사용함으로써 높은 주파수 효율을 제공한다 [1]-[3]. 하지만 기존 양방향 중계 네트워크 연구는 반이중(half-duplex) 방식을 사용하는 중계기에 치우쳐 전이중(full-duplex) 방식을 사용하는 중계기 연구는 미진한 실정이다 [4]-[7].

본 논문에서는 전이중 양방향 중계 네트워크를 고려하여 전이중 방식에서 필연적으로 발생하는 루프간섭 신호의 영향을 살펴보았다. 여기에서 사용자 및 중계기는 루프간섭 신호를 제거하기 위해 루프간섭 신호를 추정한다. 하지만 루프간섭 신호를 추정할 때 추정 오류가 발생하여 수신 신호에서 루프간섭 신호를 완벽하게 제거하기는 어렵다. 모의실험에서는 이로 인해 발생할 수 있는 성능 변화를 불능 확률을 통해 분석하였다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 전이중 방식을 사용하는 사용자 a , b 및 중계기 r 로 구성된 중계 네트워크를 고려한다. 이때 두 사용자 a 와 b 간 직접

경로(direct link)는 없으며, 중계기 r 의 도움으로 서로의 정보를 주고 받는 환경을 가정한다. 각 사용자 a , b 및 중계기 r 은 전이중 방식으로 신호를 송수신하기 위해 송신안테나와 수신안테나를 분리하여 사용한다.

두 사용자 간 정보교환은 총 세 단계에 걸쳐서 이루어진다. 첫 번째 단계에서 두 사용자 a , b 는 각각 자신의 정보를 중계기 r 에 전달한다. 이때 중계기 r 의 수신안테나에서 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$y_r[i] = \sqrt{E_a} h_{a,r} x_a[i] + \sqrt{E_b} h_{b,r} x_b[i] + g_r t[i] + n_r[i] \quad (1)$$

여기에서 E_a 와 E_b 는 각각 사용자 a 와 b 의 송신전력이고, $h_{a,r}$ 와 $h_{b,r}$ 는 각각 사용자 a 와 중계기 r 사이의 채널, 사용자 b 와 중계기 r 사이의 채널이고, $x_a[i]$ 와 $x_b[i]$ 는 각각 사용자 a 와 b 에서 i 번째로 송신되는 신호이고, g_r 은 중계기 r 의 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 루프 간섭 채널을 나타내고, $t[i]$ 는 중계기 r 에서의 i 번째 전송 신호를 나타내고, $n_r[i]$ 은 중계기 r 에서의 i 번째 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise)을 나타낸다.

두 번째 단계에서는 중계기 r 의 수신 신호에서 루프간섭 신호를 제거한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\tilde{y}_r[i] &= y_r[i] - \hat{g}_r t[i] \\ &= \sqrt{E_a} h_{a,r} x_a[i] + \sqrt{E_b} h_{b,r} x_b[i] + \Delta g_r t[i] + n_r[i]\end{aligned}\quad (2)$$

여기에서 \hat{g}_r 과 Δg_r 은 각각 루프간섭 채널 추정값과 루프간섭 채널 추정 오류를 나타낸다.

세 번째 단계에서는 중계기 r 에서 신호를 증폭 후 재전송 (amplify-and-forward) 한다. 이때 중계기 r 에서 사용자 a 와 b 로 전송하는 신호는 다음과 같다.

$$t[i] = \alpha \sqrt{E_r} \tilde{y}_r[i-1]\quad (3)$$

여기에서 E_r 는 중계기 r 의 송신전력이고, α 는 증폭 계수이다. 이때 각 사용자 a 와 b 에 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$y_a[i] = h_{r,a} t[i] + n_a[i]\quad (4)$$

$$y_b[i] = h_{r,b} t[i] + n_b[i]\quad (5)$$

여기에서 $h_{r,a}$ 와 $h_{r,b}$ 는 각각 중계기 r 과 사용자 a 사이의 채널, 중계기 r 과 사용자 b 사이의 채널을 나타내고, $n_a[i]$ 와 $n_b[i]$ 는 각각 사용자 a 와 b 에서의 가산 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

3. 불능 확률(outage probability)

각 사용자 a 와 b 에서 자기 간섭 제거(self-interference cancellation)를 수행한 후, 사용자 a 와 b 의 신호 대 잡음비(SNR: signal-to-noise ratio)를 이용하여 사용자 a 와 b 에서의 불능 확률을 구하면 다음과 같다.

$$P_{out,a} = \Pr\{\gamma_a < \gamma_{th}\}\quad (6)$$

$$P_{out,b} = \Pr\{\gamma_b < \gamma_{th}\}\quad (7)$$

여기에서 γ_{th} 는 사용자 a 와 b 에서의 임계 신호 대 잡음비 (threshold SNR)이다. 모의실험에서는 사용자 b 에서의 불능 확률이 사용자 a 에서의 불능 확률 결과와 같으므로 사용자 a 에서의 불능 확률 결과만 보인다.

4. 모의실험

본 모의실험에서는 임계 신호 대 잡음비 γ_{th} 를 3 dB로 설정하였고, 각 사용자 및 중계기의 전력을 같게 설정하였다.

그림 1은 신호 대 잡음비에 따른 사용자 a 의 불능 확률을 나타낸다. 여기에서 중계기 r 과 사용자 a 에서 루프간섭 채널 추정 오류가 0.001, 0.01, 0.1로 변경되었을 때 불능 확률이 어떻게 변화하는지 확인하였다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼, 신호 대 잡음비가 증가할수록 불능 확률이 낮아지고 루프간섭 채널 추정 오류가 증가할수록 불능 확률이 높아지는 것을 확인하였다.

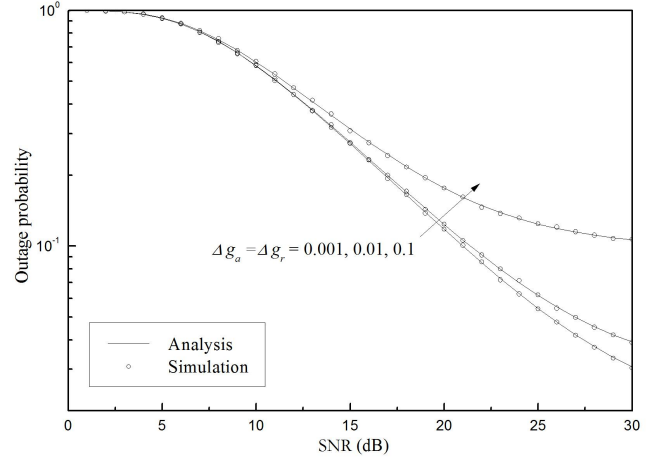


그림 1. 신호 대 잡음비 변화에 따른 불능 확률. $\Delta g_r = \Delta g_a = 0.001, 0.01, 0.1$.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2012-0000919, 2012-0005692).

참고문헌

- [1] T. Koike-Akino, P. Popovski, and V. Tarokh, "Optimized constellations for two-way wireless relaying with physical network coding," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 27, no. 5, pp. 773-787, Jun. 2009.
- [2] Y. Han, S. H. Ting, C. K. Ho, and W. H. Chin, "Performance bounds for two-way amplify-and-forward relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 1, pp. 432-439, Jan. 2009.
- [3] B. Rankov and A. Wittneben, "Spectral efficient protocols for half-duplex fading relay channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379-389, Nov. 2007.
- [4] H. Ju, E. Oh, and D. Hong, "Catching resource-devouring worms in next-generation wireless relay systems: Two-way relay and full-duplex relay," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 58-65, Sept. 2009.
- [5] H. Ju, E. Oh, and D. Hong, "Improving efficiency of resource usage in two-hop full duplex relay systems based on resource sharing and interference cancellation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 8, pp. 3933-3938, Aug. 2009.
- [6] D. W. K. Ng, E. S. Lo, and R. Schober, "Dynamic resource allocation in MIMO-OFDMA systems with full-duplex and hybrid relaying," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 5, pp. 1291-1304, May 2012.
- [7] H. Ju, S. Lee, K. Kwak, E. Oh, and D. Hong, "A new duplex without loss of data rate and utilizing selection diversity," in *Proc. IEEE VTC 2008-Spring*, Singapore, May 2008.