

양방향 중계채널에서 QPSK 변조가 적용된 물리계층 네트워크코딩의 성능 분석

염정선(충남대학교), 고갑석(한국과학기술원), 정방철(충남대학교)

201001887@cnu.ac.kr, chlinrgc@gmail.com, bejung@cnu.ac.kr

Performance Analysis of Physical-Layer Network Coding with QPSK in Two-Way Relay Channels

Jeong Seon Yeom(CNU), Kab Seok Ko(KAIST), and Bang Chul Jung(CNU)

요약

본 논문은 양방향 중계 채널에서 QPSK 변조방식이 적용된 물리계층 네트워크 코딩 (Physical-layer network coding, PNC) 기술의 비트오류확률 (BER)을 분석한다. 정확한 BER 분석은 어려우므로 본 논문에서는 Union Bound을 이용한 상한 (upper bound)식과 서로 다른 2가지의 하한 (lower bound)식들을 최초로 제안한다. 시뮬레이션 결과를 통해 신호 대 잡음비 (SNR)가 낮을 때는 하한식, 높을 때는 상한식이 성능을 근사화 함을 보인다.

I. 서론

물리계층 네트워크 코딩 (PNC)은 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 통신 방식 중 하나로 활발히 연구되고 있다 [1]. 현재까지 무선 양방향 중계채널에서 PNC의 BER 분석은 모두 BPSK 변조방식이 적용된 경우에 한하여 수행되었다 [1],[2]. 따라서, 본 논문에서는 무선 양방향 중계 채널에서 QPSK가 적용된 PNC의 BER 성능을 최초로 분석한다.

II. 시스템 모델 및 BER 성능 분석

본 논문에서는 두 개의 송신노드와 한 개의 중계노드가 있는 무선 양방향 중계채널을 고려하고 모든 노드는 단일 안테나를 가진다고 가정한다. 본 논문에서는 다른 논문들과 동일하게 두 개의 송신 노드가 동시에 데이터를 송신하고 중계노드에서는 두 신호를 동시에 수신하는 다중접속 Phase에 초점을 맞춘다. 다중접속 Phase에서 중계노드에 수신된 신호는 아래와 같다.

$$r = \sqrt{P_1} h_1 x_1 + \sqrt{P_2} h_2 x_2 + n \quad (1)$$

여기서, $x_i \in \{1+j, 1-j, -1+j, -1-j\}$ ($i=1,2$)는 각 신호의 QPSK 심볼, P_i ($i=1,2$)는 각 신호의 송신 전력, h_i ($i=1,2$)는 각 송신 노드에서 중계노드로의 무선 채널을 나타낸다 ($h_i \sim CN(0,1)$). n 은 중계노드에서 발생한 가우시안 잡음을 나타낸다 ($n \sim CN(0, N_0)$). 본 논문에서 중계 노드는 h_i ($i=1,2$)를 완벽히 알고 있다고 가정하고 각 송신 노드의 전력은 동일하다고 가정한다 ($P_1 = P_2 = P$).

BER의 상한식 분석을 위하여 먼저 각 송신 QPSK 심볼을 구성하는 비트를 다음과 같이 정의한다. $b = ((x_1 \text{의 } 2\text{bits}), (x_2 \text{의 } 2\text{bits}))$. 중계노드는 각 송신노드들이 전송하는 2 bits로부터 총 16개의 후보 성상신호들을 생성하고 각 전송 비트들로부터 계산되는 2bits의 XOR bits중 각 비트를 변화시키는 8개의 성상신호로 잘못 검출할 확률을 모두 합하여 평균을 계산하여 BER의 상한 수식을 구한다. 이 방식은 일반적으로 Union Bound라 일컬어진다. 본 논문에서는 편의상 각 송신노드는 모두 00을 전송했다고 가정한다. 본 논문에서 계산한 상한 수식은 아래와 같이 주어진다.

$$P_{UB} = \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^1 \left[\frac{P(\hat{b} = (1, i, 0, j) | b = (0, 0, 0, 0))}{P(\hat{b} = (0, i, 1, j) | b = (0, 0, 0, 0))} \right] \quad (2)$$

$$= 4 - \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{SNR+SNR/2}{1+SNR+SNR/2}} + \sqrt{\frac{SNR}{1+SNR}} \right. \\ \left. + \sqrt{\frac{SNR+SNR}{2+SNR+SNR}} + \sqrt{\frac{SNR}{2+SNR}} \right. \\ \left. + \sqrt{\frac{SNR}{2+SNR}} + \sqrt{\frac{SNR+SNR}{2+SNR+SNR}} \right. \\ \left. + \sqrt{\frac{SNR}{1+SNR}} + \sqrt{\frac{SNR/2+SNR}{1+SNR/2+SNR}} \right) \quad (3)$$

여기서, $SNR = P/N_0$ 로 정의한다.

본 논문에서는 2가지의 하한 수식을 제안한다. 첫째로, [2]에서 제안한 방식과 동일하게 2개의 무선 채널 값중 크기가 작은 채널에서만 오류가 발생한다는 가정 하에 BER을 계산하면 다음과 같은 하한식을 얻는다.

$$P_{LB}^1 = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \left(\sqrt{\frac{SNR}{2+SNR}} + \sqrt{\frac{SNR}{1+SNR}} \right) \quad (4)$$

본 논문에서 제안하는 두 번째 BER의 하한은 XOR의 1개 비트에서 오류가 발생할 8가지 경우의 확률이 서로 독립이 아닌 특성을 고려하여 구할 수 있고 다음과 같이 계산된다.

$$P_{LB}^2 = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{SNR}{4+SNR}} \right) \quad (5)$$

III. 시뮬레이션 및 결론

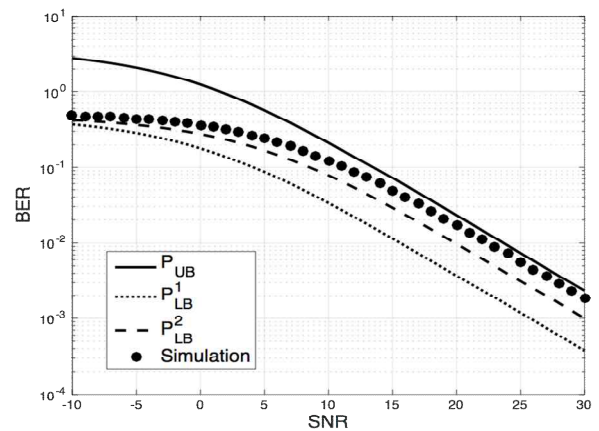


그림 1. QPSK가 적용된 물리계층 네트워크 코딩의 BER 성능

그림 1은 제안한 BER 분석과 시뮬레이션 결과를 SNR에 대하여 보여 준다. 시뮬레이션 결과는 상한식과 하한식 사이에 존재한다. 제안한 하한식 중 P_{LB}^2 가 P_{LB}^1 에 비하여 더 좋은 성능을 보인다. 제안한 하한식은 SNR이 낮을 때, 실제 BER 성능을 잘 근사화하고 상한식은 SNR이 높을 때 실제 BER 성능을 잘 근사화하는 것을 관찰할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (MSIP) (NRF-2016R1A2B4014834).

참고 문헌

- [1] S. H. Kim, B. C. Jung, and D. K. Sung "Transmit power optimization for two-way relay channels with physical-layer network coding," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 2, pp. 151-154, Feb. 2015.
- [2] M. Ju and I.-M. Kim, "Error performance analysis of BPSK modulation in physical-layer network-coded bidirectional relay networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 10, pp. 2770-2775, Oct. 2010.