

다중 안테나 기반 양방향 중계 네트워크를 위한 물리계층 네트워크 코딩에 관한 연구

임현우 · 반태원 · 정방철

경상대학교

A Study on the Physical-Layer Network Coding in a Two-Way Relay Network with Multiple Antennas

Hyeonwoo Lim · Tae-Won Ban · Bang Chul Jung

Gyeongsang National University

E-mail : hwlim.win@gmail.com, bcjung@gnu.ac.kr, twban35@gnu.ac.kr

요 약

본 논문은 두 노드가 하나의 중계기를 통하여 서로 데이터를 주고받는 양방향 중계 네트워크에서 중계기의 안테나의 개수가 2개 이상인 다중 안테나 환경을 고려하여 물리계층 네트워크 코딩 기법을 제안한다. 본 논문에서는 양방향 중계 채널에서 다중접속구간 (multiple access phase)에서의 성능에 집중한다. 본 논문에서는 무선 통신 채널을 송신 노드에서 미리 알지 못하는 경우를 고려하고 무선 채널이 시간에 따라 독립적으로 변하는 Fast fading 환경을 고려한다. 수신단에서는 채널 상태 정보를 이용하여 각 심벌을 최대 우도비기반의 신호 복호기법을 이용하고 채널부호화기법으로는 Convolutional Codes를 이용한다. 시뮬레이션 결과를 통하여 중계기의 안테나의 개수가 증가함에 따라 비트 오류 확률의 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we investigate a physical-layer network coding (PNC) in a two-way relay channel (TWRC) where two sources send and receive data with each other by help of a relay node with multiple antennas. We focus on the multiple-access phase of the TWRC in this paper. It is assumed that the source nodes do not know the wireless channel and the wireless channel independently varies in time, that is, fast fading environments. At the relay node, the channel is assumed to be perfectly known. The relay node utilizes the channel state information and applies maximum likelihood ratio for detecting received signals. Through extensive simulations, it is shown that a bit error rate (BER) performance becomes improved as the number of antennas at the relay node increases.

키워드

양방향 중계 채널, 물리계층 네트워크 코딩, 다중 릴레이 시스템, 페이딩 채널, BER

I. 서 론

중계기를 이용한 네트워크 시스템은 송신단의 데이터를 전송받아 수신단으로 재전송함으로써 셀 영역의 확장과 데이터 전송의 신뢰성을 향상시킬 수 있어 이에 대한 많은 연구가 있어왔다. 양방향 중계기 채널(Two-way Relay Channel) 통신에서 두 개의 소스 노드가 하나의 중계기를 통

하여 데이터를 교환한다. 최근 양방향 중계기 채널 통신에서 데이터 전송률과 신뢰성을 향상시키기 위한 연구들이 진행되고 있으며, 중계기에서 두 소스 노드에서 전송된 신호를 그대로 전달해주는 역할에서 그치지 않고 입력 정보들을 네트워크 부호화를 통해 새로운 출력정보를 두 소스 노드로 송신하는 네트워크 부호화(Network Coding) 기반의 양방향 중계기 채널 통신이 주목

받고 있다. 이처럼 네트워크 코딩을 적용하지 않은 기존의 양방향 중계기 채널이 노드 간에 정보를 주고받는데 네 번의 패킷 전송 시간이 필요한 반면, 네트워크 코딩을 적용함으로써 세 번의 패킷 전송 시간으로 노드 간 통신이 가능해졌다[1]. 그로 인해 데이터 전송시간을 단축시키고, 그에 따라 전송률과 주파수 효율을 높일 수 있다.

네트워크 코딩을 적용한 시스템보다 주파수 효율과 전송률을 증대시키기 위한 기술로 물리계층 네트워크 코딩(Physical-Layer Network Coding) 기술이 연구되었다. 물리계층 네트워크 코딩은 두 소스 노드들이 첫 번째 패킷 전송 시간동안 동시에 패킷들을 중계기로 전송하여도 그 신호들로부터 네트워크 코딩된 신호를 얻을 수 있다는 점에서 착안되어, 두 번째 패킷 전송 시간동안 중계기가 두 소스 노드에게 네트워크 코딩된 패킷을 전송하여 노드 간에 정보를 주고받는데 두 번의 패킷 전송만 필요한 보다 주파수 효율적인 데이터 중계 기술이다 [2]. 그러나 이러한 연구는 무선 통신 채널을 송신 노드에서 미리 알지 못하는 경우와 무선 채널이 시간에 따라 독립적으로 변하는 Fast fading 환경을 고려하지 않았다. 또한 중계기의 안테나 개수가 하나인 상황만을 고려하였다. Fading Channels에서 중계기의 안테나 개수가 두개 이상인 다중 안테나 시스템의 성능이 비약적으로 향상되는 것에서 착안한 다중 안테나 환경에서의 양방향 중계 채널에 관한 연구가 진행되었다[3]. 그러나 [3]에서 저자들은 각 소스 노드에서 BPSK 변조 방식이 사용된 경우만 분석을 시도 하였다.

따라서 본 논문에서는 [3]에서 제안한 양방향 중계 채널에서 중계기의 안테나 개수가 두 개 이상인 다중 안테나 환경을 고려한 물리계층 네트워크 코딩 기법에서 각 소스 노드에서 사용하는 변조 방식을 QPSK, 16QAM 등의 고차원 변조 방식이 사용된 경우에 대해 일반화하였다. 또한 중계기의 안테나 개수를 4개인 경우까지 확장하여 분석하였다.

II. 시스템 모델

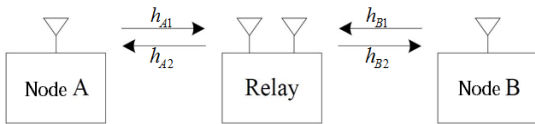


그림 1. 중계기의 안테나가 두 개인 시스템 모델

그림 1에서와 같이 두개의 소스 노드 (A와 B)와 하나의 중계 노드로 구성된 3개의 노드를 가진 선형 네트워크 모델을 고려한다. 여기에서 각 노드는 하나의 안테나를 가지고, 중계기는 두 개의 안테나를 가진다. 첫 번째 패킷 전송 시간 동안 A와 B가 동시에 서로 다른 채널 벡터를 통해

중계기로 데이터를 전송하고, 중계기에서 A와 B의 중첩된 신호를 수신한다. 중계기는 다중접속구간(multiple access phase)인 첫 번째 패킷 전송 시간 동안 수신된 신호를 복호하고 네트워크 코딩된 패킷을 만들어 낸다. 본 논문에서 중계기 노드에서 사용하는 네트워크 코딩 기술은 배타적 논리합(XOR) 연산을 사용하였다. 따라서 복호가 성공적으로 이루어졌다면 두 번째 패킷 전송 시간인 방송 구간(broadcast phases) 동안에는 소스 노드들의 XOR 연산으로 얻어진 네트워크 코딩된 패킷을 중계기가 두 소스 노드에게 전송한다. 두 번째 패킷 전송 시간 동안 소스 노드(A와 B)들은 중계 노드로부터 수신한 패킷을 복호 한 후 첫 번째 타임 슬롯에서 자신이 전송한 패킷과 수신된 패킷으로 XOR 연산을 수행하여 상대방이 자신에게 전송한 패킷을 얻는다. 따라서 첫 번째 타임 슬롯의 중계기 노드에서 수신된 번째 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y}_{Ri} = \mathbf{h}_{Ai}x_A + \mathbf{h}_{Bi}x_B + \mathbf{n}_{Ri} \quad (1)$$

수식 1에서 중계기의 안테나 두 개인 시스템에서 $\mathbf{y}_R = [y_{R1} y_{R2}]^T$ 은 i 번째 안테나를 통해 수신된 신호 벡터이고, $\mathbf{h}_m = [h_{m1} h_{m2}]^T$ 은 소스 노드(A와 B)와 중계기 노드 사이의 무선 채널 벡터를 나타낸다. $\mathbf{n}_R = [n_{R1} n_{R2}]^T$ 은 i 번째 안테나를 통해 중계 노드에서 더해진 가우시안 잡음 $n_{Ri} \sim CN(0, 2\sigma_R^2)$ 을 나타낸다. 각 무선채널은 $h_{mi} \sim CN(0, 2\sigma_{mi}^2)$ 인 Rayleigh 분포를 따른다고 가정하였고, 중계기 노드는 수신 패킷이 겪은 무선 채널 계수를 알고 있다고 가정한다. 여기서 $m \in \{A, B\}$ 이고, $i \in \{1, 2\}$ 이다.

III. 다중접속구간에서의 복호 방법

본 논문은 양방향 중계 네트워크에서 중계기의 안테나의 개수가 두 개 이상인 다중 안테나 환경을 고려한 물리계층 네트워크 코딩의 성능을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 본 장에서 첫 번째 패킷 전송 시간 동안 A와 B가 동시에 서로 다른 채널을 통해 전송된 중첩된 신호의 복호를 위하여 [4]에서 제안된 개별복호와 직접복호의 LLR 계산 기법을 벡터로 확장하였다.

$$LLR(x_{Ai}) = \log \frac{\Pr(\mathbf{y}_{Ri}|x_A = +1, x_B = +1, \mathbf{h}_{Ai}, \mathbf{h}_{Bi}) + \Pr(\mathbf{y}_{Ri}|x_A = +1, x_B = -1, \mathbf{h}_{Ai}, \mathbf{h}_{Bi})}{\Pr(\mathbf{y}_{Ri}|x_A = +1, x_B = +1, \mathbf{h}_{Ai}, \mathbf{h}_{Bi}) + \Pr(\mathbf{y}_{Ri}|x_A = -1, x_B = +1, \mathbf{h}_{Ai}, \mathbf{h}_{Bi})} \quad (2)$$

수식 2는 두 소스 노드에서 BPSK 모듈레이션을 사용한다고 가정하였을때의 개별복호의 LLR 값이다.

IV. 시뮬레이션 결과

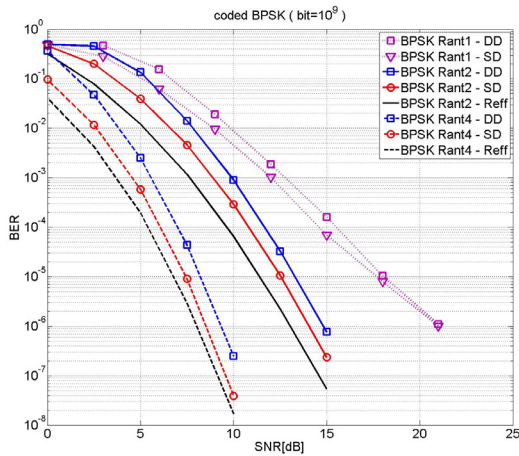


그림 2. 부호화 된 물리계층 네트워크 코딩 시스템에서의 BPSK 모듈레이션의 BER 성능

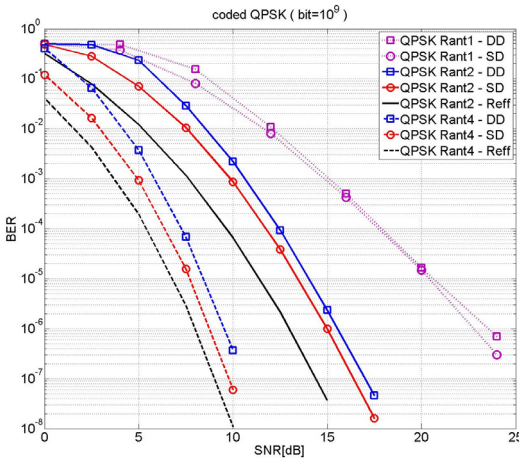


그림 3. 부호화 된 물리계층 네트워크 코딩 시스템에서의 QPSK 모듈레이션의 BER 성능

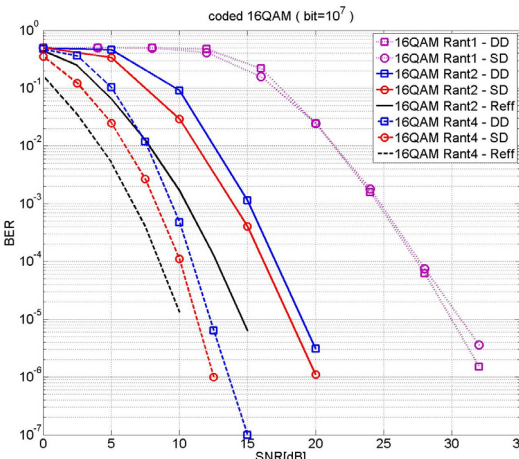


그림 4. 부호화 된 물리계층 네트워크 코딩 시스템에서의 16QAM 모듈레이션의 BER 성능

그림 2, 3, 4는 양방향 중계 채널에서 중계기의 안테나 개수가 두 개 이상인 다중 안테나 시스템에서 부호화 된 물리계층 네트워크 코딩 기법을 사용하였을 때 각 모듈레이션 기법에 따른 BER 성능을 나타낸다. 본 시뮬레이션에서 사용된 채널 부호는 1/3 부호율을 갖는 Convolutional code가 사용되었다. 그림 2, 3, 4에서 보는 바와 같이 중계기의 안테나 개수가 증가할수록 개별복호, 직접복호 방식 모두 BER 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 변조 방식과는 상관없이 중계기의 안테나 개수가 증가할수록 다이버시티 이득 또한 증가함을 의미한다.

V. 결론

본 논문은 두 노드가 하나의 중계기를 통하여 서로 데이터를 주고받는 양방향 중계 네트워크에서 중계기의 안테나의 개수가 2개 이상인 다중 안테나 환경을 고려하여 물리계층 네트워크 코딩 기법을 적용하여 결과를 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 중계기의 안테나의 개수가 증가함에 따라 중계기 안테나의 개수만큼의 경로를 통해 데이터를 전송하여 다중경로 페이딩 채널 환경에서 뛰어난 다이버시티 이득(Diversity Gain)을 얻어 비트 오류 확률(BER)의 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1272, 단말 협업형 Giga급 스마트 클라우드릿 핵심기술 개발].

참고문헌

- [1] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y.R. Li, and R.W.Yeung, "Network information Flow," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol 46, pp.1204-1216, July 2000.
- [2] S. Zhang, S.-C. Liew, and P. P. K. Lam, "Physical-layer network coding," in Proc. of ACM MobiCom 2006, Sep. 2006.
- [3] Mengyu Huang, Jinhong Yuan, Tao Yang, "Error probability of physical-layer network coding in multiple-antenna two-way relay channel" IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 4725-4730, Dec. 2012.
- [4] B. C. Jung, "A Practical Physical-Layer Network Coding for Fading Channels," International Journal of KIMICS, Vol. 8, No. 6, pp. 655-659, Dec. 2010.