

효율적 주파수사용을 위한 공간변조 물리계층 네트워크 코딩기법 제안

김완호¹ · 이웅섭^{1*} · 정방철² · 박정홍²

On the Spectral Efficient Physical-Layer Network Coding Technique Based on Spatial Modulation

Wan Ho Kim¹ · Woongsup Lee^{1*} · Bang Chul Jung² · Jeonghong Park²

^{1*}Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

²Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

요 약

최근 다양한 모바일 서비스의 증가로 데이터 트래픽이 기하급수로 늘어나고 있고 트래픽 폭증문제를 해결하기 위해 다양한 기술들이 제안되고 있다. 특히 두 노드가 하나의 중계 노드를 통해 동시에 데이터를 주고받는 양방향 중계 기술은 통신 시스템의 주파수 효율을 효과적으로 높일 수 있는 방식으로 주목받고 있다. 본 논문에서는 양방향 중계 환경에서 물리계층 네트워크 코딩기술(Physical-layer Network Coding, PNC)과 Spatial Modulation (SM) 기술을 결합한 SM-PNC의 성능을 분석하였다. 제안하는 SM-PNC 기술에서는 Log-Likelihood Ratio (LLR) 복호 방식을 적용하였고 통신시스템의 일반적인 안테나 구성을 고려해 Separate decoding과 Direct decoding 방식으로 나누어서 성능 분석을 진행하였다. 일반적인 중계채널 환경에서의 성능분석을 통하여 SM-PNC방식이 기존의 PNC 기법보다 향상된 비트오차율 성능(E_b/N_o)을 보이는 것을 확인할 수 있었고 특히 SNR이 높은 환경과 중계노드의 안테나수가 많은 경우 SM-PNC의 성능이 더 향상되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

Recently, the volume of mobile data traffic increases exponentially due to the emergence of various mobile services. In order to resolve the problem of mobile traffic increase, various new technologies have been devised. Especially, two-way relay communication in which two nodes can transfer data simultaneously through relay node, has gained lots of interests due to its capability to improve spectral efficiency. In this paper, we analyze the SM-PNC which combines Physical-layer Network Coding (PNC) and Spatial Modulation (SM) under two-way relay communication environment. Log-Likelihood Ratio (LLR) is considered and both separate decoding and direct decoding have been taken into account in performance analysis. Through performance evaluation, we have found that the bit error rate of the proposed scheme is improved compared to that of the conventional PNC scheme, especially when SNR is high and the number of antennas is large.

키워드 : 양방향 중계기술, 물리계층 네트워크 코딩, 공간변조, 로그 우도비

Key word : Two-way Relaying Technique, Physical-layer Network Coding, Spatial Modulation, Log-likelihood Ratio

Received 12 February 2016, Revised 22 February 2016, Accepted 11 March 2016

* Corresponding Author Woongsup Lee (E-mail: wslee@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9271)

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.5.902>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 Social Networking Service(SNS), 모바일 결제, Video-On-Demand(VOD), 모바일 게임, 클라우드 서비스 등 다양한 모바일 서비스가 생겨나면서 무선 네트워크의 데이터 트래픽의 양이 폭발적으로 증가하고 있다. Cisco 보고서에 따르면 데이터 트래픽은 매년 평균 57%씩 증가하고 있고, 2019년에는 데이터 트래픽량이 24.3 exabytes를 넘어설 것으로 예측된다[1]. 이처럼 기하급수로 증가하는 데이터 트래픽을 해결하기 위해 다양한 차세대 이동통신기술들이 연구되고 있다[2].

그 중에서도 한 번의 전송시간 동안 송신과 수신을 동시에 수행하는 전이중 중계기술(Full-duplex)은 반이중 중계기술(Half-duplex)에 비하여 주파수 효율을 2배로 향상시킬 수 있기 때문에 데이터용량을 증가시키기 위한 방안으로서 큰 주목을 받고 있다[3,4]. 하지만 전이중 중계기술은 수신기에서 발생하는 자기간섭신호(Self-interference)의 영향에 의해서 큰 영향을 받는다는 단점이 있다. 자기간섭신호를 제거하기 위해 많은 방식들이 제안되었지만 실제 통신시스템에서 자기간섭 제거가 어렵기 때문에 현재 대부분의 통신시스템은 반이중 중계기를 고려하고 있다[5,6].

반이중 중계기술에서 주파수효율을 높이기 위한 방안으로 양방향 중계 채널 (Two-Way Relay Channel, TWRC)에 대한 많은 연구가 진행되었다[7,8]. 특히 최근에는 양방향 중계 채널에서 패킷 전송시간을 줄여 주파수 효율성과 데이터 전송률을 증가시키는 물리계층 네트워크 코딩(Physical-layer Network Coding, PNC) 기술이 제안되었다[9,10]. PNC에서는 첫 패킷 전송시간동안 각 소스 노드에서 동시에 중계기로 신호를 전송하고, 중계기에서는 이 중첩되어 전송된 신호로부터 네트워크 코딩된 신호를 얻는다. 두 번째 패킷 전송시간에는 중계기가 네트워크 코딩된 신호를 전송하고 노드들은 전송된 신호(네트워크 코딩 신호)로부터 다른 노드에서 보낸 신호를 검출할 수 있다. PNC에서는 두 번의 패킷 전송 시간으로 양 노드 간에 데이터 전송이 가능하기 때문에 주파수 효율성을 2배로 높일 수 있다.

PNC와 더불어 데이터 전송률을 높이기 위한 기술로서 극다중 안테나 시스템(massive Multi Input Multi

Output, massive MIMO)이 최근 많은 관심을 받고 있다 [11]. 극다중 안테나 시스템은 대용량의 데이터를 고속으로 전송하기 위하여 수십 개 이상의 안테나를 사용하는 다중 입출력 기술이다. 극다중 안테나 시스템에서는 높은 주파수를 사용하여 안테나 이득이 높은 빔을 형성하여 동시에 여러 채널로 정보를 전송하여 높은 전송률을 얻을 수 있다.

하지만 많은 수의 안테나를 동시에 사용하기 때문에 에너지 비효율성 문제 및 송신단과 수신단의 복잡도 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 최근 공간변조(Spatial Modulation, SM) 기법이 제안되었다[12]. 공간변조 기법은 전송할 정보에 따라 다수의 안테나 중 하나의 안테나를 선택하고 그 선택된 안테나만을 통해 변조된 심볼을 전송함으로써 복잡도를 줄인다.

최근 중계 노드의 안테나 개수가 두 개이고 각 소스 노드가 BPSK 변조방식을 사용하여 데이터를 전송하는 TWRC환경에서 PNC를 적용하는 연구가 진행되었다 [13]. 본 논문에서는 송신 노드와 중계 노드의 안테나 수가 다른 환경에서 PNC와 SM을 결합한 SM-PNC을 고려하였다. 고려한 SM-PNC에서는 로그 우도비 복호 방식을 Separate decoding 과 Direct decoding 방식으로 나누어서 적용하였고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 SM-PNC의 성능을 분석하였다. 이를 통해 제안하는 SM-PNC가 기존의 PNC 방식에 비해서 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문은 2장에서 SM-PNC의 시스템 모델을 설명하고 3장에서 다중접속구간에서 안테나 채널 환경에 따라 Separate decoding 과 Direct decoding 방식으로 나누어서 LLR을 이용하여 비트를 복호하는 방법을 살펴본다. 다음으로 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 SM-PNC의 성능을 알아보고 마지막으로 4장에서는 결론을 도출한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 두 노드가 서로 직접 통신을 할 수 없는 환경에서 하나의 중계 노드를 통해 서로 데이터를 주고받는 양방향 중계 네트워크를 가정하였다¹⁾. 그림 1은 두 개의 소스 노드 (A와 B)와 하나의 중계 노드로 구

성된 선형네트워크 모델을 나타낸다.

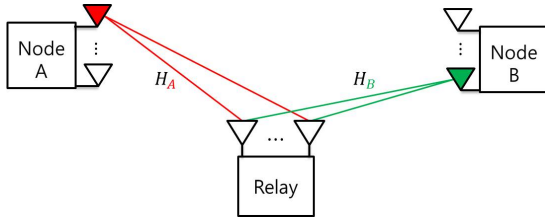


Fig. 1 Block diagram of system model

SM-PNC는 기존의 물리계층 네트워크 코딩처럼 두 번의 패킷 전송시간을 가진다. 먼저 첫 번째 패킷 전송 시간동안 두 노드 (A와 B)가 동시에 SM에 따라 선택된 안테나를 통해 변조된 신호를 중계 노드로 전송하고, 중계 노드는 수신된 신호를 복호하여 네트워크 코딩된 패킷을 만들어 낸다. 본 논문에서는 배타적 논리합 (XOR)연산에 기반을 둔 네트워크 코딩기술을 고려하였다. 이후 두 번째 패킷 전송시간동안 중계 노드에서는 첫 번째 패킷에서 생성한 네트워크 코딩 패킷을 두 노드에 동시에 송신한다. 두 번째 패킷 전송시간 동안 두 노드 (A와 B)는 중계 노드로부터 수신 받은 네트워크 코딩된 신호를 복호한 뒤에 자신이 전송한 신호와 배타적 논리합 연산을 해서 다른 노드가 전송한 신호를 얻는다. 그림 2는 SM-PNC에서의 첫 번째 패킷 전송 시간동안 두 노드(A와 B)가 동시에 중계 노드로 데이터를 전송하는 과정의 송·수신 과정을 나타내는 블록도이다.

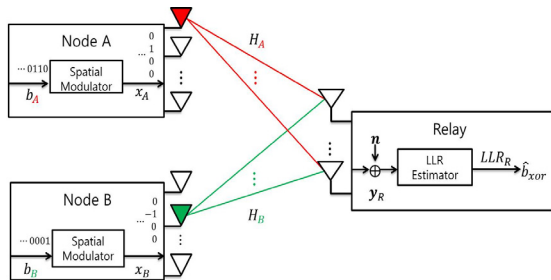


Fig. 2 Transmission/reception procedure of SM-PNC to separate decoding in 1st time slot

1) 다음과 같은 환경은 릴레이 노드가 커버리지 확장에 사용될 때 나타날 수 있다.

그림 2에서 b_A, b_B 는 송신 노드에서 전송하는 정보비트를 나타내고 x_A, x_B 는 SM 변조기를 통과한 신호를 나타내며 y_R 은 중계 노드에 수신된 중첩된 신호를 나타낸다. 여기서 y_R 은 수식 1과 같이 표현된다.

$$y_R = H_A x_A + H_B x_B + n \quad (1)$$

수식 1에서 H_A 와 H_B 는 노드 (A와 B)와 중계 노드사이의 무선채널을 나타내고 n 은 중계 노드에서 더해진 가우시안 잡음을 나타낸다. 본 논문에서 각 무선채널은 레일리 분포 (Rayleigh distribution) 을 따른다고 가정하였고 중계 노드는 무선채널정보 (H_A 와 H_B)를 알고 있다고 가정하였다. $\hat{b}_A, \hat{b}_B$ 는 중계노드가 수신한 신호인 y_R 에서 각 노드가 송신한 신호를 복호한 정보비트를 나타내며 $\hat{b}_{xor}$ 은 네트워크 코딩된 신호를 나타낸다.

네트워크 코딩된 패킷의 전송은 기존의 중계전송 방식과 동일하기 때문에 본 논문은 첫 번째 패킷 전송시간동안 중계 노드의 다중접속구간에 송신된 신호를 네트워크 코딩으로 $\hat{b}_{xor}$ 을 얻는 과정에 중점을 두었다[14]. 다음 장에서 중계노드에서 $\hat{b}_{xor}$ 얻는 방법을 자세히 살펴보도록 한다.

III. 다중접속구간에서의 복호 방법

3.1. 개별복호 (Separate decoding)

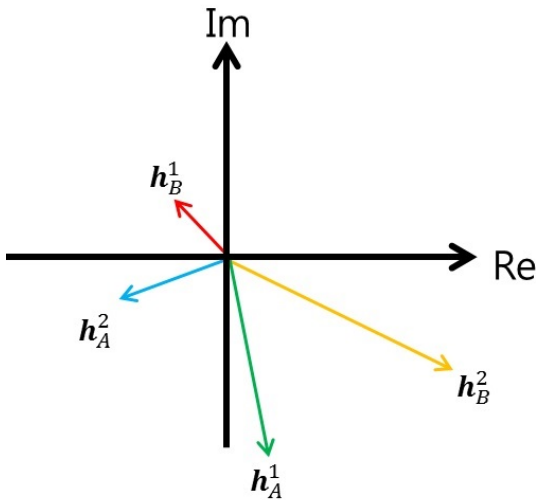
개별복호는 중계 노드의 다중접속구간에서 수신한 신호 y_R 에서 각 노드가 전송한 $\hat{b}_A$ 와 $\hat{b}_B$ 를 복호하기 위해 각각 log-likelihood ratio(LLR) 계산을 통한 결합 최대우도 (Joint maximum likelihood) 검출 방식을 이용하였다. 이 기술은 수신된 비트를 복호하기 위해 두 번의 복호 과정을 거친다. 먼저, 각 노드에서 보낸 비트를 중계노드에서 각각 LLR 계산을 이용하여 복호한 뒤에 두 복호된 비트끼리 배타적논리합 연산을 통해 네트워크 코딩신호인 $\hat{b}_{xor}$ 을 얻게 된다.

노드와 중계노드의 안테나 수가 2개이고 Space shift

keying (SSK)를 사용하는 환경에서 중계노드가 $\hat{\mathbf{b}}_{xor}$ 을 계산하는 과정을 예시를 들어 설명하면 다음과 같다. 먼저 첫 번째 패킷 전송시간동안 각 노드에서 SSK을 통해 변조된 전송 신호 $\mathbf{x}_A$ 와 $\mathbf{x}_B$ 의 후보군은 다음과 같이 4가지로 나뉜다.

$$(\mathbf{x}_A, \mathbf{x}_B) \in \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\} \quad (2)$$

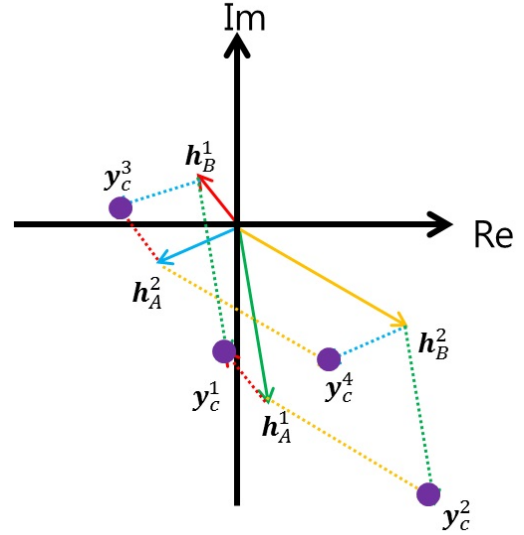
이때 중계 노드는 노드 A의 전송신호 $\mathbf{x}_A$ 가 채널 벡터 $\mathbf{H}_A$ 를 통과해 얻어진 수신신호 $\mathbf{h}_A$ 와 노드 B의 전송신호 $\mathbf{x}_B$ 가 채널 벡터 $\mathbf{H}_B$ 를 통과해 얻어진 수신신호 $\mathbf{h}_B$ 를 그림 3과 같이 얻을 수 있다.



$$\begin{aligned} \mathbf{h}_A^1 &= \mathbf{H}_A \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} & \mathbf{h}_A^2 &= \mathbf{H}_A \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{h}_B^1 &= \mathbf{H}_B \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} & \mathbf{h}_B^2 &= \mathbf{H}_B \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Fig. 3 Received signal candidate without noise

이렇게 얻어진 4개의 전송신호 후보군들을 이용하여 중계 노드에 송신되는 중첩된 신호 $\mathbf{y}_R$ 의 후보군인 $\mathbf{y}_c$ 는 그림 4처럼 구해지게 된다.



$$\begin{aligned} \mathbf{y}_c^1 &= \mathbf{h}_A^1 + \mathbf{h}_B^1 & [\mathbf{x}_A, \mathbf{x}_B] &= \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \mathbf{y}_c^2 &= \mathbf{h}_A^1 + \mathbf{h}_B^2 & [\mathbf{x}_A, \mathbf{x}_B] &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \mathbf{y}_c^3 &= \mathbf{h}_A^2 + \mathbf{h}_B^1 & [\mathbf{x}_A, \mathbf{x}_B] &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \mathbf{y}_c^4 &= \mathbf{h}_A^2 + \mathbf{h}_B^2 & [\mathbf{x}_A, \mathbf{x}_B] &= \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Fig. 4 SM-PNC received signal constellation in relay node without noise

중계 노드는 수신신호 $\mathbf{y}_R$ 과 4개의 수신신호 후보 $\mathbf{y}_c$ 를 이용하여 각 노드에서 송신한 정보비트 $\hat{\mathbf{b}}_A$ 와 $\hat{\mathbf{b}}_B$ 의 LLR 계산을 수행한다. 자세한 LLR 계산식은 수식 (3),(4)에 나와 있다.

$$\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A) = \log \left(\frac{\exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^1\|^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^2\|^2}{2\sigma^2}\right)}{\exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^3\|^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^4\|^2}{2\sigma^2}\right)} \right) \quad (3)$$

$$\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_B) = \log \left(\frac{\exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^1\|^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^2\|^2}{2\sigma^2}\right)}{\exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^3\|^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^4\|^2}{2\sigma^2}\right)} \right) \quad (4)$$

복호 오류가 없다면 수식 (3)을 통해 LLR 계산 값인 $\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A)$ 을 얻을 수 있다. 여기서 계산된 $\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A)$ 값이 0보다 크거나 같으면 노드 A에서 송신한 길로 추정하는 정보비트 $\hat{\mathbf{b}}_A$ 를 0으로 복호하게 되고 $\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A)$ 값이 0보다 작을 경우 $\hat{\mathbf{b}}_A$ 를 1로 복호한다. 노드 B에서 송신한 정보비트 $\hat{\mathbf{b}}_B$ 도 동일한 과정을 통해 복호한다. 중계노드는 이렇게 얻어진 정보비트 $\hat{\mathbf{b}}_A$ 와 $\hat{\mathbf{b}}_B$ 에 배타적논리합 연산을 이용하여 네트워크 코딩된 신호 $\hat{\mathbf{b}}_{xor}$ 를 생성한다. 따라서 개별 복호는 네트워크 코딩된 신호 $\hat{\mathbf{b}}_{xor}$ 를 얻기 위해 두 번의 복호 과정이 필요하다.

3.2. 직접 복호 (Direct decoding)

중계노드의 기저대역 수신신호 처리에서 발생하는 전력소모와 시간 지연을 줄일 수 있는 기술로 직접 복호가 제안되었다[15]. 직접 복호는 다중접속구간에서 수신 받은 중첩된 신호 $\mathbf{y}_R$ 에서 코드의 선형성을 이용하여 한 번의 복호 과정을 통하여 네트워크 코딩된 신호 $\hat{\mathbf{b}}_{xor}$ 를 얻는 방법이다.

다음은 수신 노드와 중계 노드의 안테나 수가 각각 2개이고 변조방법이 SSK인 환경에서 네트워크 코딩된 신호의 Direct decoding LLR 값이다.

$$\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A \oplus \hat{\mathbf{b}}_B) = \log \left(\frac{\exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^1\|^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^2\|^2}{2\sigma^2}\right)}{\exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^3\|^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(\frac{-\|\mathbf{y}_R - \mathbf{y}_c^4\|^2}{2\sigma^2}\right)} \right) \quad (5)$$

복호 오류가 존재하지 않으면 수식 5를 통해 LLR 계산 값인 $\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A \oplus \hat{\mathbf{b}}_B)$ 을 얻을 수 있다. LLR 계산을 통해 구한 $\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A \oplus \hat{\mathbf{b}}_B)$ 값이 0보다 크거나 같으면 배타적논리합연산을 이용하여 $\hat{\mathbf{b}}_{xor}$ 이 0으로 결정되고 $\Lambda(\hat{\mathbf{b}}_A \oplus \hat{\mathbf{b}}_B)$ 값이 0보다 작으면 네트워크 코딩된 신호 $\hat{\mathbf{b}}_{xor}$ 은 1로 결정된다.

이처럼 직접복호를 사용할 경우 한 번의 복호과정만을 필요하게 되며 이를 통해 간접복호에 비해 복호 과정을 절반으로 줄일 수 있고, 전력 소모와 시간 지연을 줄일 수 있게 된다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

4.1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 노드들의 안테나 수가 2개 이상인 다중 안테나환경에서 양방향 중계네트워크에서의 SM-PNC 성능을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 성능 비교를 위해 소스 노드의 안테나 수는 1개이고 중계 노드의 안테나의 안테나 수가 2개 이상인 시스템에 PNC를 적용한 방안[16]과 제안하는 SM-PNC 방안의 성능을 데이터 전송속도를 1bps, 2bps, 4bps로 늘려가면서 비교분석하였다. 성능분석에서는 노드 간 무선채널이 Rayleigh distribution을 따른다고 가정하였고 노이즈는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)이라고 가정하였다. 또한 SSK, BPSK, QPSK가 변조기법으로 사용될 때와 중계 노드의 안테나 개수가 4개로 증가될 때의 성능도 분석하였다. 시뮬레이션 결과에서 SP는 개별복호를 의미하고 DR은 직접복호를 의미한다.

4.2. 시뮬레이션 결과

그림 5,6은 중계 노드의 안테나의 수가 각각 2개, 4개인 경우 데이터 전송률이 1bps 일 때 제안하는 SM-PNC와 기존방식인 PNC의 잡음전력밀도에 대한 비트에러지의 비 성능을 비교한 것이다.

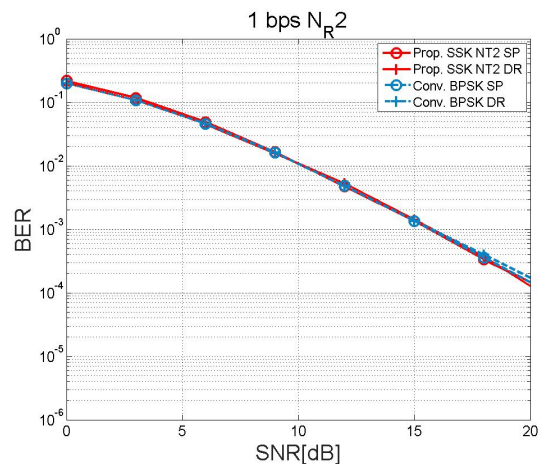


Fig. 5 E_b/N_o performance of SM-PNC 1bps data rate to 2 relay node antennas (2 transmit antennas, SSK)

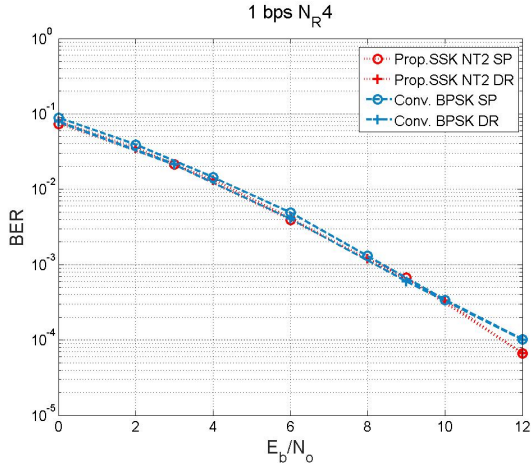


Fig. 6 E_b/N_o performance of SM-PNC 1bps data rate to 4 relay node antennas (2 transmit antennas, SSK)

SM-PNC 는 1bps 를 전송하기 위해 소스 노드의 안테나를 2개 사용하며 변조기법으로 SSK를 사용하고, 기존방식인 PNC는 소스 노드의 안테나를 1개만 사용하면서 변조기법으로 BPSK를 이용한다. 그림 5,6의 결과를 통해 데이터 전송속도가 1bps일 경우 기존의 PNC와 제안한 SM-PNC의 성능차이가 거의 없음을 확인 할 수 있었다. 하지만 시스템 구축비용측면에서 보면 고차원 변조기의 가격이 안테나 가격보다 비싸기 때문에 SM-PNC가 좋다고 볼 수 있다.

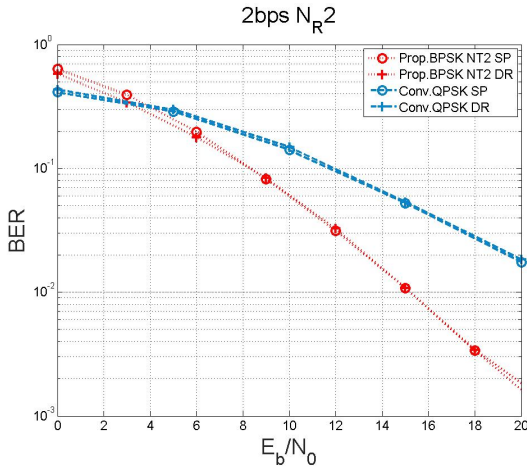


Fig. 7 E_b/N_o performance of SM-PNC 2bps data rate to 2 relay node antennas (2 transmit antennas, BPSK)

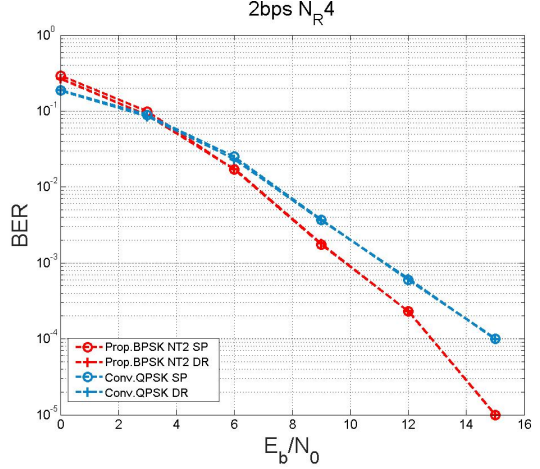


Fig. 8 E_b/N_o performance of SM-PNC 2bps data rate to 4 relay node antennas (2 transmit antennas, BPSK)

또한 결과에서 볼 수 있듯이 직접복호와 개별복호 결과의 차이가 거의 없는 것을 볼 수 있는데 이는 채널코딩이 사용되지 않았기 때문이다.

그림 7,8은 데이터 전송률이 2bps 일 때 제안하는 SM-PNC와 기존방식인 PNC 의 잡음전력밀도에 대한 비트에너지의 비 성능을 비교한 그림이다. SM-PNC에서는 소스 노드의 안테나를 2개 사용하며 변조기법으로 BPSK를 사용하였고 PNC에서는 소스 노드의 안테나를 1개만 사용하면서 변조기법으로 QPSK를 이용하였다. 그림 7,8의 시뮬레이션 결과를 통해 데이터 전송속도가 2bps일 경우 제안한 SM-PNC가 기존의 PNC보다 low SNR에서는 복잡도 때문에 잡음전력밀도에 대한 비트 에너지의 비 성능이 좋지 않지만 high SNR로 갈수록 잡음전력밀도에 대한 비트에너지의 비 성능이 좋아지는 걸 확인할 수 있었다.

즉 신호를 증폭하기 힘든 안 좋은 통신 환경에서는 기존의 PNC 방식이 좋지만 신호를 증폭할 수 있는 좋은 통신 환경, 즉 소스노드와 중계노드가 근접해 있는 경우에는 제안하는 SM-PNC 방식이 더 좋은 것을 확인할 수 있었다.

그림 9,10은 데이터 전송률이 4bps 일 때 제안하는 SM-PNC와 기존방식인 PNC 의 잡음전력밀도에 대한 비트에너지의 비 성능을 비교한 그림이다.

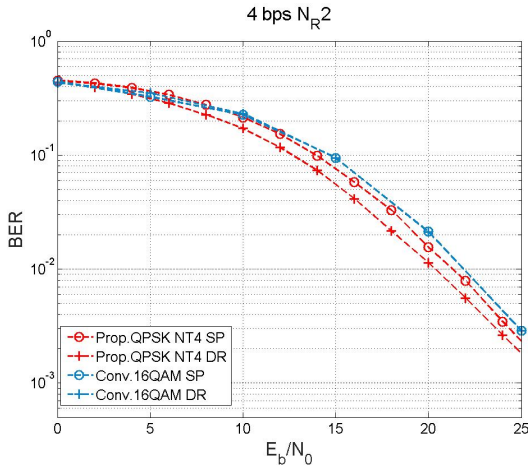


Fig. 9 E_b/N_0 performance of SM-PNC 4bps data rate to 2 relay node antennas (4 transmit antennas, QPSK).

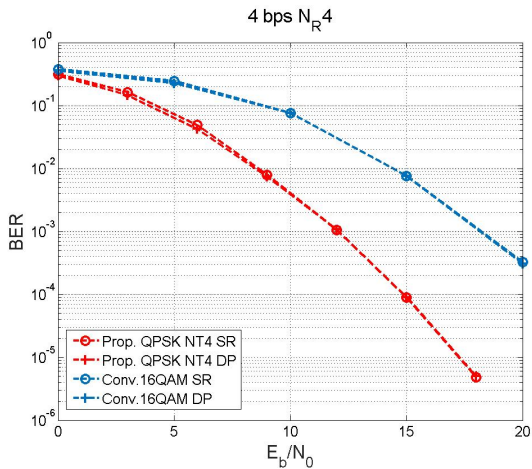


Fig. 10 E_b/N_0 performance of SM-PNC 4bps data rate to 4 relay node antennas (4 transmit antennas, QPSK).

결과에서 확인할 수 있듯이 데이터 전송속도가 4bps 일 경우 안테나수가 적을 때는 제안한 SM-PNC와 기존 PNC가 비슷한 성능을 보였지만 안테나수가 증가하면 SM-PNC의 성능이 더 좋아진다. 특히 안테나 수가 증가 하여도 복잡도가 크게 증가하지 않으므로 SM-PNC의 사용이 효과적일 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 두 노드가 하나의 중계 노드를 통하여 동시에 데이터를 주고받는 양방향 중계 네트워크 시스템에서 공간변조기반 물리계층 네트워크 코딩 (SM-PNC)기술의 성능을 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제안하는 SM-PNC가 기존의 PNC 방식에 비해서 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title: Development of swine management model with animal-metric for livestock welfare, Project No. PJ010541022016)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

- [1] Cisco, "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2015-2019," *Whitepaper*, Feb. 2015.
- [2] CX Wang, F Haider, X Gao, XH You, Yang Yang, D Yuan, H Aggoune, H Haas, S Fletcher, E Hepsaydir, "Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 122-130, Feb. 2014.
- [3] BP Day, AR Margetts, DW Bliss, P Schniter, "Full-Duplex MIMO Relaying: Achievable Rates Under Limited Dynamic Range," *IEEE Journal On Selected areas in Communications*, vol. 30, no. 8, pp. 1541-1553, Sep. 2012.
- [4] M Duarte, C Dick, A Sabharwa, "Experiment-Driven Characterization of Full-Duplex Wireless Systems," *IEEE Transactions On Wireless Communications*, vol. 11, no. 12, pp. 4296-4307, Dec. 2012.
- [5] M Jain, JI Choi, T Kim, D Bharadia, S Seth, L Srinivasan, P Levis, S Katti, and P Sinha, "Practical, real-time, full duplex wireless," in *Proc. of ACM MOBICOM*, pp. 301-312, Sep. 2011.

- [6] S Goyal, P Liu, SS Panwar, RA DiFazio, R Yang, and E Bala, "Full duplex cellular systems: will doubling interference prevent doubling capacity?," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 5, pp. 121-127, May 2015.
- [7] B Rankov, A Wittneben, "Achievable Rate Regions for the Two-way Relay Channel," *IEEE International Symposium*, pp. 1668-1672, Jul. 2006.
- [8] S Zhang, SC Liew, H Wang, X Lin, "Capacity of Two-Way Relay Channel," *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 37, no.1, pp 219-231, Nov. 2009.
- [9] SYR Li, RW Yeung, N Cai, "Linear Network Coding," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 49, no. 2, pp. 371-381, Feb. 2003.
- [10] S Zhang, SC Liew, "Channel Coding and Decoding in a Relay System Operated with Physical-Layer Network Coding," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 27, no. 5, pp 788-796, Jun. 2009.
- [11] F Rusek, D Persson, BK Lau, EG Larsson, TL Marzetta, O Edfors, F Tufvesson, "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 30, no. 1, pp. 40-60, Jan. 2013.
- [12] RY Mesleh, H Haas, S Sinanovic, CW Ahn, S Yun, "Spatial Modulation," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, July 2008.
- [13] M Huang, J Yuan, and T Yang, "Error probability of physical-layer network coding in multiple-antenna two-way relay channel," *IEEE Global Commun. Conference*, pp. 4725- 4730, Dec. 2012.
- [14] D Soldani and S Dixit, "Wireless relays for broadband access," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 3, pp. 58-66, Mar. 2008.
- [15] BC Jung, "A practical physical-layer network coding for fading channels," *Journal of information and communication convergence engineering*, vol. 8, no. 6, pp. 655-659, Dec. 2010.
- [16] HW Lim, TW Ban, BC Jung, "A Study on the Physical-Layer Network Coding in a Two-Way Relay Network with Multiple Antennas," *EIRIC Spring Conference*, pp. 54-56, May 2015.



김완호(Wan Ho KIM)

2016년 2월 경상대학교 정보통신공학과 석사

※관심분야 : 네트워크코딩, 공간변조, 차세대 이동통신 시스템(5G), 압축센싱



이웅섭(Woongsup Lee)

2006년 한국과학기술원 전기및전자공학과 학사

2011년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사

2014년 3월~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수

※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 인지 라디오 시스템, 스마트 그리드



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사

2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사

2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사

2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장

2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT 융합연구소 연구교수

2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수

2014년 3월~2015년 8월 경상대학교 정보통신공학과 부교수

2015년 9월~현재 충남대학교 전자공학과 부교수

2010년 4월~현재 KAIST IT 융합연구소 겸직교수

※관심분야 : 무선통신, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱, 이동통신 시스템



박정홍(Jeonghong Park)

2011년 2월 한국평생교육진흥원 정보통신공학과 학사

2015년 8월 경상대학교 정보통신공학과 박사

2015년 9월~현재 충남대학교 정보통신연구소 박사후연구원

※관심분야 : 압축센싱, 차세대 이동통신 시스템(4G, Beyond 4G, and 5G), 간섭 정렬, MIMO, 공간변조시스템