

전력 제어 기법을 이용한 시공간 선 부호 기반 상향링크 비직교 다중 접속 시스템의 성능 향상

이기훈, 정한빔, 오가영, 염정선, 정방철, *정진곤
충남대학교 전자공학과, *중앙대학교 전자전기공학부

e-mail : kihun.h.lee@cnu.ac.kr, tislqla123@naver.com, iamgayeong@naver.com
jsyeom@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr, jgjoung@cau.ac.kr

Performance Improvement of Uplink Non-Orthogonal Multiple Access with Space-Time Line Codes via Transmit Power Control

Ki-Hun Lee, Hanbim Jeong, Ga Young Oh, Jeong Seon Yeom, Bang Chul Jung, and *Jingon Jeong
Department of Electronics Engineering, Chungnam National University,
*School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

Abstract

In this paper, we propose a novel transmit power control technique for performance improvement of uplink non-orthogonal multiple access (NOMA) system with space-time line codes (STLC), and analyze its bit-error rate (BER) performance according to signal-to-noise ratio (SNR) through computer simulations. We assume M -quadrature amplitude modulation (QAM) symbols at each user. Simulation results show that the proposed power control technique improves the BER performance but the optimal diversity gain can not be obtained.

I. 서론

5G 네트워크는 많은 단말을 수용하기 위해 비직교 다중 접속 (Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA) 기술과 같은 높은 주파수 효율성을 갖는 무선통신 기술을 필요로 한다. NOMA는 둘 이상 다수 단말이 동시에 같은 부주파수를 사용하여 신호를 전송함으로써, 주파수 사용 효율을 높일 수 있는 기술이다. 현재 NOMA에 관한 많은 연구가 하향링크를 주로 다루고 있다. 따라서 상향링크에 NOMA 연구의 필요성이 대두되고 있다 [1].

시공간 선 부호 기법(Space-Time Line Codes: STLC)은 시공간 다이버시티를 사용한 무선통신 시스템 성능 향상 기법이다. 구체적으로 STLC는 단일 안테나를 갖는 송신단과 두 안테나를 갖는 수신단이 존재하는 네트워크에서 송신단만이 채널 정보를 알고 있는 상황을 고려한다. 이때, 송신단에서는 두 시간 슬롯 동안 보낼 신호를 채널 정보와 결합하여 새로운 두 신호로 부호화하고, 이를 두 시간 슬롯

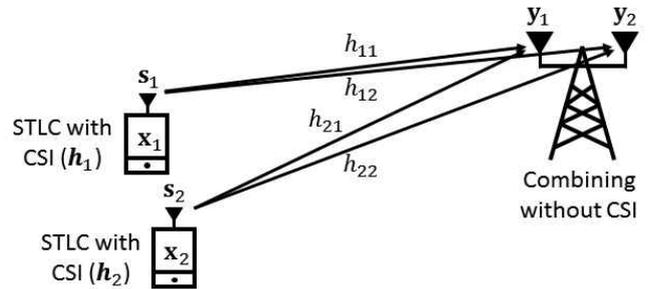


그림 1. 상향링크 PC-STLC NOMA 시스템 모델

을 통해 전송한다. 수신단은 채널을 통과하여 수신된 신호를 단순히 선형 결합하여 신호를 검파하고, 이때 최적 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다 [2].

최근 [3]에서는 NOMA와 STLC를 접목하여 두 단말기가 두 수신 안테나를 갖는 기지국으로 신호를 전송하는 상향링크 NOMA 시스템을 고려하였다. 여기서 단말기만이 채널 정보를 알고 있는 상황을 가정하고, STLC 기법을 상향링크 NOMA 시스템을 위해 제안하였다. 또한, 신호대잡음비 (Signal-to-Noise Ratio: SNR) 대비 비트오류율 (Bit-Error Rate: BER) 성능을 모의실험하여, STLC를 상향링크 NOMA 시스템에 그대로 적용하는 것은 최적 다이버시티 이득을 얻을 수 없다는 것을 확인하였다.

본 논문에서는 기존 STLC 기반 상향링크 NOMA 시스템의 성능 향상을 위해 전력 제어 기법[4]을 상향링크 STLC NOMA 시스템을 위해 제안한다. 나아가 모의실험을 통해 전력 제어를 쓰지 않는 [3]에서 제안한 상향링크 STLC NOMA 기법과 BER 성능을 비교 분석한다.

II. 상향링크 PC-STLC NOMA 시스템

[표 1]. 전력 할당 상수.

$x_{i,t}$	$t=1$	$t=2$
$i=1$	$\sqrt{1+\alpha}$	$\sqrt{1-\alpha}$
$i=2$	$\sqrt{1-\alpha}$	$\sqrt{1+\alpha}$

본 논문에서는 그림 1과 같이 각각 단일 안테나를 갖는 두 단말기가 두 안테나를 갖는 기지국으로 신호를 송신하는 상향링크 상황에서 전력 제어 기법을 사용한 STLC NOMA 시스템을 고려한다. 각 단말기는 기지국으로부터 수신한 파일럿 신호로부터 얻은 채널 정보를 사용하여 두 시간 슬롯 동안 보낼 신호를 두 STLC 신호로 부호화하여 전송한다. 이때, 두 단말기는 모두 M -QAM 변조 방식을 사용한다고 가정하며, [표 1]에 보인바와 같이 각각 두 시간 슬롯 동안 보낼 신호의 전력을 할당한다.

여기서 $x_{i,t}$ 는 $i \in \{1,2\}$ 째 단말기의 $t \in \{1,2\}$ 째 시간 슬롯에 해당하는 M -QAM 변조 심벌을 의미하며 α ($0 \leq \alpha < 1$)는 전력 제어 상수를 의미한다. 이를 통해 부호화한 각 단말기의 STLC 신호는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} s_{1,1} &= (h_{1,1}^* \sqrt{1+\alpha} x_{1,1} + h_{1,2}^* \sqrt{1-\alpha} x_{1,2}) / \sqrt{\gamma_1}, \\ s_{1,2} &= (h_{1,2}^* \sqrt{1+\alpha} x_{1,1} - h_{1,1}^* \sqrt{1-\alpha} x_{1,2}) / \sqrt{\gamma_1}, \\ s_{2,1} &= (h_{2,1}^* \sqrt{1-\alpha} x_{2,1} + h_{2,2}^* \sqrt{1+\alpha} x_{2,2}) / \sqrt{\gamma_2}, \\ s_{2,2} &= (h_{2,2}^* \sqrt{1-\alpha} x_{2,1} - h_{2,1}^* \sqrt{1+\alpha} x_{2,2}) / \sqrt{\gamma_2}. \end{aligned}$$

여기서 $s_{i,t}$ 는 i 째 단말기의 t 째 시간 슬롯에 해당하는 STLC 신호를 나타낸다. $h_{i,j}$ 는 i 째 단말기와 기지국의 $j \in \{1,2\}$ 째 안테나 사이의 무선 채널을 의미하며 본 논문에서 모든 채널은 $\mathcal{CN}(0,1)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. 또한, $\gamma_i = \| \mathbf{h}_i \|^2$ 로 정의되고 $\mathbf{h}_i = [h_{i,1} \ h_{i,2}]^T$ 는 i 째 단말기와 기지국 사이의 무선 채널 벡터이다.

STLC 신호가 두 시간 슬롯 동안 기지국으로 수신된 신호를 행렬로 나타내면 다음과 같다:

$$\begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} \\ y_{2,1} & y_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} \\ s_{2,1} & s_{2,2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} \\ w_{2,1} & w_{2,2} \end{bmatrix}.$$

여기서 $y_{j,t}$ ($j \in \{1,2\}$)와 $w_{j,t}$ 는 기지국의 j 째 안테나로 t 째 시간 슬롯에 수신한 신호와 이때 발생하는 백색 잡음을 각각 의미하며, 백색 잡음은 정규분포 $\mathcal{CN}(0, \sigma_0^2)$ 를 따른다고 가정한다. 기지국은 수신한 네 신호로부터 각 단말기 변조 신호 $x_{i,t}$ 를 복원하기 위해 다음과 같은 선형결합을 수행한다:

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= y_{1,1} + y_{2,2}^* = \sqrt{\gamma_1} \sqrt{1+\alpha} x_{1,1} + \sqrt{\gamma_2} \sqrt{1-\alpha} x_{2,1} + w_{1,1} + w_{2,2}^*, \\ \bar{y}_2 &= y_{2,1}^* - y_{1,2} = \sqrt{\gamma_1} \sqrt{1-\alpha} x_{1,2} + \sqrt{\gamma_2} \sqrt{1+\alpha} x_{2,2} + w_{2,1}^* - w_{1,2}. \end{aligned}$$

위 선형 결합 결과 식에는 각각 두 단말기의 신호가 중첩되어 있으므로 joint maximum likelihood 검파 기법을 이용하여 다음과 같이 각 심벌을 복호 한다:

$$[\hat{x}_{1,k}, \hat{x}_{2,k}] = \arg \min_{x_{1,k}, x_{2,k} \in \mathcal{X}} |\bar{y}_k - \sqrt{\gamma_1} \sqrt{1+\alpha} x_{1,k} - \sqrt{\gamma_2} \sqrt{1-\alpha} x_{2,k}|^2.$$

여기서 \mathcal{X} 는 M -QAM의 모든 심벌 집합이며 $\alpha_1 = \alpha$, $\alpha_2 = -\alpha$ 이다.

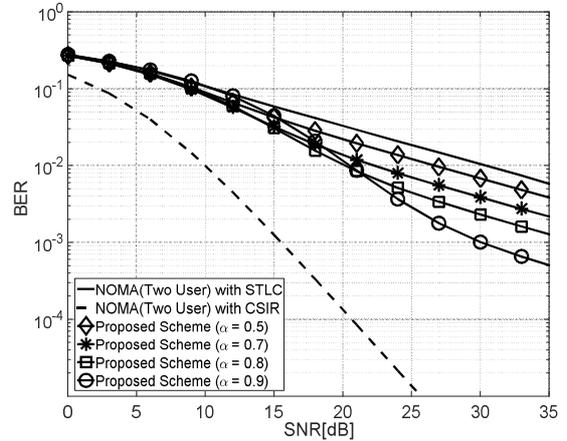


그림 2. 상향링크 PC-STLC NOMA의 BER 성능

III. 시뮬레이션 결과 및 결론

그림 2는 제안한 전력 제어 기법을 사용한 상향링크 PC-STLC NOMA 시스템의 SNR대비 BER 성능 모의실험 결과를 보여준다. 모의실험에서는 QPSK (quadrature phase shift keying) 변조 방식을 사용하였다. 실험 결과 제안한 전력 제어 기법을 STLC NOMA 시스템에 적용하면 전력 제어 상수 값(α)이 증가할수록 전력 제어를 하지 않은 [3]의 STLC NOMA 기법(실선)에 비해 높은 SNR 구간에서 BER 성능이 개선되는 것을 확인하였다. 하지만, α 가 극단적으로 증가하는 경우 전송 신호에서 $\sqrt{1-\alpha}$ 로 전력이 할당된 신호의 SNR이 심각하게 감소하여 낮은 SNR 구간에서 평균 BER 성능이 열화되는 것을 확인하였다.

하지만 여전히 최적 다이버시티 이득(점선)은 얻지 못하는 것을 확인하였다. 따라서 차후 연구에서는 본 논문에서 제안한 전력 제어 기법을 통한 BER 성능 향상과 동시에 다이버시티 이득을 얻기 위한 연구를 진행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보 통신 기술진흥 센터의 대학 ICT연구센터 육성 지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2018-2017-0-01635).

참고문헌

- [1] J. -B. Seo, B. C. Jung, and H. Jin, "Performance Analysis of NOMA Random Access," *IEEE Communications Letters*, Vol. 22, No. 11, pp. 2242-2245, Nov. 2018.
- [2] J. Joung, "Space-time line code," *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 1023-1041, Feb. 2018.
- [3] 이기훈, 염정선, 정방철, 정진곤, "시공간 선 부호기반 상향링크 비직교 다중접속 시스템," *한국통신학회 추계종합 학술발표회*, p. 174, Nov. 2018.
- [4] T. -W. Ban and B. C. Jung, "On the Multi-User Diversity with Fixed Power Transmission in Cognitive Radio Networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol. 3, No. 1, pp. 74-77, Feb. 2014.