

시공간 선 부호기반 상향링크 비직교 다중접속 시스템

이기훈(충남대학교), 엄정선(충남대학교), 정방철(충남대학교), 정진곤(중앙대학교)

kihun.h.lee@cnu.ac.kr, jsyeom@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr, jgjoung@cau.ac.kr

Uplink Non-Orthogonal Multiple Access with Space-Time Line Codes

Ki-Hun Lee(CNU), Jeong Seon Yeom(CNU), Bang Chul Jung(CNU), Jingon Joung(CAU)

요약

본 논문은 두 단말기가 두 수신 안테나를 갖는 기지국에 동시에 신호를 전송하는 상향링크 비직교 다중 접속 (non-orthogonal multiple access: NOMA) 시스템에서 시공간 선 부호 기법 (space-time line code: STLC)을 적용한 전송 기법을 제안하고 모의실험을 통해 그 성능을 분석한다. 실험 결과 시공간 선 부호 기법을 상향링크 비직교 다중 접속 시스템에 그대로 적용하는 경우 최적 다이버시티 이득을 얻지 못하는 것을 확인하였다.

I. 서론

비직교 다중 접속 (non-orthogonal multiple access: NOMA) 기술은 여러 단말기들이 동일한 무선 자원을 사용하여 동시에 데이터를 전송함으로써 주파수 효율을 높이는 기술로서 5G 이동통신 시스템에 적용이 예상된다 [1-2]. 한편, 시공간 선 부호(space-time line code: STLC)는 송신단에서 채널 정보를 가지고 신호를 부호화하여 전송하고, 수신단에서는 수신된 신호들의 선형 조합으로만 복호화하여 최대 공간 다이버시티 이득을 얻는 기법이다 [3]. 본 논문에서는 상향링크 NOMA 시스템에 STLC 기법을 적용한다. 기존 STLC에 수신 신호 선형결합과 joint maximum likelihood (ML) 검출기를 썼을 때, 제안한 상향링크 NOMA 시스템 BER (bit-error-rate) 성능을 모의실험을 통해 분석한다.

II. 시공간 선 부호를 적용한 상향링크 비직교 다중접속 시스템

본 논문에서는 두 단말기가 두 수신 안테나를 갖는 기지국에 신호를 전송하는 상향링크 셀룰라 네트워크에서 STLC 기법을 적용한 NOMA 통신 시스템을 고려한다. 각 단말기는 기지국에서 전송된 파일럿 신호를 써 자신의 채널 정보를 획득하고, 기지국은 각 단말기로부터의 채널을 알지 못한다고 가정한다. 두 단말기는 QPSK 변조방식을 사용하고, 아래와 같이 각자 STLC 신호를 두 시간 슬롯을 통해 전송한다:

$$s_{1,1} = (h_{1,1}^* x_{1,1} + h_{1,2}^* x_{1,2}) / \sqrt{\gamma_1}, \quad s_{2,1} = (h_{2,1}^* x_{2,1} + h_{2,2}^* x_{2,2}) / \sqrt{\gamma_2}, \\ s_{1,2} = (h_{1,2}^* x_{1,1} - h_{1,1}^* x_{1,2}) / \sqrt{\gamma_1}, \quad s_{2,2} = (h_{2,2}^* x_{2,1} - h_{2,1}^* x_{2,2}) / \sqrt{\gamma_2}.$$

여기서 $s_{i,t}$ 는 $i \in \{1,2\}$ 째 단말기가 $t \in \{1,2\}$ 째 시간 슬롯에 전송하는 STLC 신호를 의미하며 $x_{i,t}$ 는 i 째 단말기의 t 째 QPSK 변조 심벌을 나타낸다. 또한, $h_{i,j}$ 는 i 째 단말기에서 $j \in \{1,2\}$ 째 기지국 안테나 사이에 무선 채널을 의미하고, 모든 채널은 $\mathcal{CN}(0,1)$ 분포 (Rayleigh fading)를 따른다고 가정한다. i 째 단말기와 기지국 사이 무선 채널 벡터를 $\mathbf{h}_i = [h_{i,1} \ h_{i,2}]^T$ 로 $\gamma_i = \|\mathbf{h}_i\|^2$ 로 정의한다. 각 단말에서는 채널 상태와 상관없이 동일한 전력으로 데이터를 전송하기 위하여 STLC 심벌을 정규화하여 전송한다. 수신 기지국의 각 안테나에 두 시간 슬롯 동안 수신한 신호는 다음과 같이 행렬로 나타낼 수 있다.

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

여기서 $y_{j,t}$ 는 $j \in \{1,2\}$ 째 기지국 안테나로 t 째 시간 슬롯에 수신한 신호를 나타내고, $w_{j,t}$ 는 $y_{j,t}$ 에 발생하는 잡음을 의미하며, 이는 $\mathcal{CN}(0, \sigma_0^2)$ 분포를 따른다고 가정한다. 기지국은 각 단말의 STLC 신호를 복호하기 위해, 네 수신 신호 $\{y_{j,t}\}$ 로부터 다음과 같은 선형결합 신호를 생성한다:

$$\bar{y}_1 = y_{1,1} + y_{2,2} = \sqrt{\gamma_1} x_{1,1} + \sqrt{\gamma_2} x_{2,1} + w_{1,1} + w_{2,2},$$

$$\bar{y}_2 = y_{2,1} - y_{1,2} = \sqrt{\gamma_1} x_{1,2} + \sqrt{\gamma_2} x_{2,2} + w_{2,1} - w_{1,2}.$$

위 선형결합 식에는 두 단말의 송신 신호가 중첩되어 있으므로 joint ML 검출 기법을 사용하여 각 심벌을 복호한다. QPSK 변조 신호 집합을

$\chi \in \{(1+j)/\sqrt{2}, (1-j)/\sqrt{2}, (-1+j)/\sqrt{2}, (-1-j)/\sqrt{2}\}$ 라 할 때, 아래와 같이 각 심벌을 복원한다:

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

III. 시뮬레이션 결과 분석 및 결론

그림 1은 STLC를 사용한 상향링크 NOMA 시스템 BER 성능 결과이다. STLC를 직교다중접속(orthogonal multiple access: OMA) 시스템에 사용하는 경우 최대 다이버시티 이득을 얻을 수 있으나 (* 표시), 상향링크 NOMA 시스템에 적용할 경우 최대 다이버시티 이득을 얻지 못하는 것으로 확인하였다 (○ 표시). 본 연구 결과 STLC 기반 상향링크 NOMA 시스템에서 최대 다이버시티 이득을 얻기 위한 연구가 필요함을 확인할 수 있었으며, 이에 대한 연구를 진행할 예정이다.

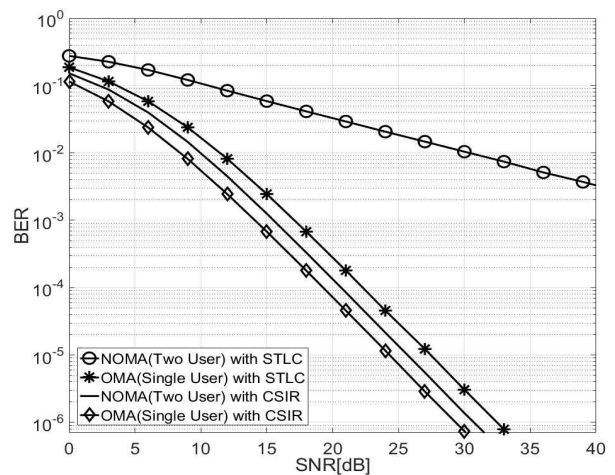


그림 1. STLC 기법을 사용한 상향링크 NOMA 시스템 BER 성능.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음

(IITP-2018-2017-0-01635)

참고 문헌

- [1] J. -B. Seo, B. C. Jung, and H. Jin, "Nonorthogonal random access for 5G mobile communication systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 67, No. 8, pp. 7867-7871, Aug. 2018.
- [2] J. S. Yeom, E. Chu, B. C. Jung, and H. Jin, "Performance analysis of diversity-controlled multi-user superposition transmission for 5G wireless networks," *Sensors*, Vol. 18, No. 2, Feb. 2018.
- [3] J. Joung, "Space-time line code," *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 1023-1041, Feb. 2018.