

시공간 선 부호기반 공간변조 기법의 성능분석

이기훈(충남대학교), 정방철(충남대학교), 정진곤(중앙대학교)

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

Performance Analysis of Spatial Modulation with Space-Time Line Codes

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

요약

본 논문은 송신단 안테나가 N 개, 수신단 안테나가 2개인 다중안테나 통신 환경에서, 공간변조(Spatial Modulation: SM) 시스템에 시공간선부호(Space-Time Line Codes: STLC)를 적용한 STLC-SM 통신 기법을 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 분석한다. 실험 결과 공간변조 시스템에 시공간선부호 기법을 그대로 적용하는 것은 최적 공간다이버시티 이득을 얻지 못한다는 것과 이를 개선할 연구에 필요성을 확인하였다.

I. 서론

공간변조(Spatial Modulation: SM)는 송수신단이 다중 안테나를 갖는 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 시스템에서 전송하고자 하는 정보 비트에 따라 송신 안테나 일부를 선택하여 변조 신호를 전송하는 기법이다. 한 예로써, 송신단은 M -Quadrature Amplitude Modulation (QAM) 변조 심벌을 일부 송신 안테나로 전송하고, 수신단은 수신한 M -QAM 심벌로부터 원 신호 검출과 함께 송신한 안테나의 인덱스를 검출하여 추가적인 정보를 복원한다. 이는 MIMO 시스템에서 에너지 비효율성 문제와 송수신단 복잡도 문제를 해결할 수 있다 [1, 2].

한편, 시공간선부호(Space-Time Line Codes: STLC) 기법은 송신단이 무선 채널 정보를 사용해 변조 심벌을 부호화하고, 이를 두 시간 슬롯에 걸쳐 전송한다. 수신단은 두 안테나로 수신된 STLC 신호를 선형 결합하여 정보를 검출하고, 최적 공간다이버시티 이득을 얻을 수 있다 [3].

본 논문에서는 SM 시스템에 STLC를 적용한 STLC-SM 시스템과 기존 STLC 시스템의 비트 당 오류율(Bit-Error Rate: BER) 성능을 비교하여 그 활용 가능성에 대해 알아본다.

II. 시공간선부호를 적용한 공간변조 시스템

본 논문에서는 송신안테나가 N 개, 수신안테나가 2개인 SM 시스템에 STLC를 쓴 STLC-SM 시스템을 고려한다. 송신단은 한 정보 비트에 따라 N 개 안테나 중 신호를 전송할 안테나를 선택하고, 선택한 안테나를 통해 M -QAM으로 변조한 STLC 심벌을 전송한다. 부호화한 STLC 신호는 다음과 같이 표현된다:

$$s_{n,1} = \frac{h_{n,1}^* x_1 + h_{n,2}^* x_2}{\sqrt{\gamma_n}}, \quad s_{n,2} = \frac{h_{n,2}^* x_1 - h_{n,1}^* x_2}{\sqrt{\gamma_n}}.$$

여기서 x_t 와 $s_{n,t}$ ($n \in \{1, \dots, N\}$)는 각각 송신단의 $t \in \{1, 2\}$ 시간 슬롯에 해당하는 M -QAM 심벌과 n 째 송신안테나로 t 째 시간 슬롯에 전송하는 STLC 신호를 의미한다; 또한, $h_{n,m}$ 은 n 째 송신안테나와 $m \in \{1, 2\}$ 째 수신안테나 사이 무선 채널을 의미하며, 이는 $\mathcal{CN}(0,1)$ 분포를 따른다고 가정한다; n 째 송신안테나와 수신안테나들 사이 무선 채널을 벡터 $\mathbf{h}_n = [h_{n,1} \ h_{n,2}]^T$ 로 표현 할 때, n 째 송신안테나로부터 형성되는 채널 이득을 $\gamma_n = \|\mathbf{h}_n\|^2$ 으로 정의한다.

두 시간 슬롯에 걸쳐, 무선 채널을 통해 수신단 각 안테나로 수신된 STLC 신호를 다음과 같이 행렬로 표현할 수 있다:

$$\begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} \\ y_{2,1} & y_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{n,1} \\ h_{n,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{n,1} & s_{n,2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} \\ w_{2,1} & w_{2,2} \end{bmatrix}.$$

여기서 $y_{m,t}$ 와 $w_{m,t}$ 는 각각 m 째 수신안테나로 t 째 시간 슬롯에 수신된 신호와 잡음을 의미하며, 모든 잡음은 $\mathcal{CN}(0, \sigma_0^2)$ 분포를 따른다고 가정한다. 수신단에서는 송신단에서 전송한 심벌을 복호하기 위해 수신한 네 신호 $\{y_{1,1}, y_{1,2}, y_{2,1}, y_{2,2}\}$ 를 다음과 같이 선형결합한다:

$$\bar{y}_1 = y_{1,1} + y_{2,2} = \sqrt{\gamma_n} x_1 + w_{1,1} + w_{2,2}^*,$$

$$\bar{y}_2 = y_{2,1} - y_{1,2} = \sqrt{\gamma_n} x_2 + w_{2,1} - w_{1,2}^*.$$

선형결합한 신호로부터 Joint Maximum Likelihood 검출 기법을 사용하여 다음과 같이 전송한 심벌 및 안테나 인덱스를 복호한다:

$$[\hat{\mathbf{x}}, \hat{n}] = \underset{\mathbf{x}, n}{\operatorname{argmin}} \|\bar{\mathbf{y}} - \sqrt{\gamma_n} \mathbf{x}\|.$$

여기서 $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2]^T$ 는 성상도 상의 신호 점 벡터를 나타내며 \mathcal{X} 는 정규화 된 M -QAM 변조 심벌의 집합을 의미하고($x_k, x_l \in \mathcal{X}$), $\bar{\mathbf{y}} = [\bar{y}_1 \ \bar{y}_2]^T$ 는 결합 신호로 구성된 벡터 신호이다.

III. 시뮬레이션 결과 분석 및 결론

그림 1은 STLC-SM과 기존 STLC 시스템의 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SNR) 대비 BER 성능 모의실험 결과이다. 본 실험에서는 변조 방식으로 QPSK를 사용하였다. 제안한 STLC-SM 기법은 최적 다이버시티 이득을 얻지 못하는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 STLC-SM에서 최적 공간다이버시티 이득을 얻기 위한 연구가 필요하다는 것을 확인하였다.

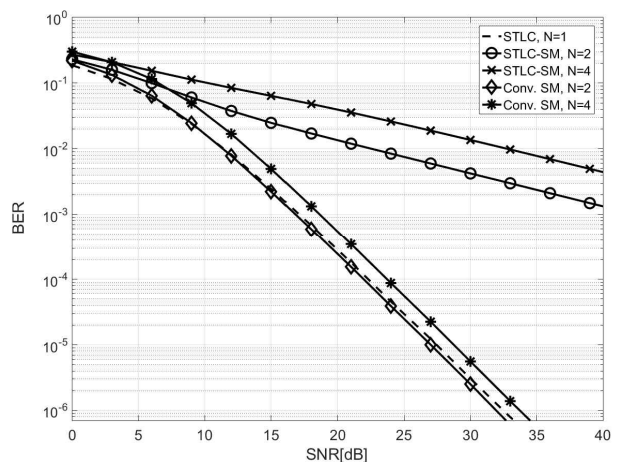


그림 1. STLC-SM의 SNR 대비 BER 성능.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음(ИTP-2019-2017-0-01635).

참고 문헌

- [1] R. Y. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W. Ahn, and S. Yun, "Spatial modulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2228 - 2241, Jul. 2008.
- [2] B. C. Jung, J. S. Yoo, and W. Lee, "A practical physical-layer network coding with spatial modulation in two-way relay networks," *The Computer Journal*, vol. 61, no. 2, pp. 264-272, Feb. 2018.
- [3] J. Joung, "Space-time line code," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 1023-1041, Feb. 2018.