

STLC 기반 상향링크 NOMA 시스템을 위한 블라인드 무선 채널 이득 추정 기법

이기훈, 정방철

충남대학교

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

A Novel Blind Channel Gain Estimation Scheme for Uplink STLC-NOMA Systems

Ki-Hun Lee, Bang Chul Jung
Chungnam National University

요약

본 논문에서는 각각 단일 안테나를 갖는 두 단말이 두 개의 안테나를 갖는 액세스 포인트로 동일한 무선 자원을 통해 신호를 전송하는 상향링크 비직교 다중 접속 네트워크를 고려한다. 신호는 성상 회전된 시공간 선 부호화 기법을 통해 송수신되며, 액세스 포인트는 중첩된 신호로부터 각 단말의 무선 채널 이득을 추정하는 후 변조 신호를 검파한다. 본 논문에서는 각 단말의 채널 이득 추정을 위해 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture model: GMM)의 평균을 추론하는 기댓값 최대화(expectation-maximization: EM) 알고리즘을 응용한 블라인드 무선 채널 이득 추정 기법을 제안한다.

I. 서론

다중안테나 통신시스템에서 송신기만 채널 정보를 알고 있는 환경에서도 전송률 손실 없이 최적의 공간 다이버시티 이득을 달성할 수 있도록 고안된 시공간 선 부호(space-time line code: STLC)의 응용이 활발히 연구되고 있다 [1]-[4]. 한편, [3]에서 제안된 STLC 기반 상향링크 비직교 다중 접속(non-orthogonal multiple access: NOMA) 시스템은 수신기가 각 송신기의 무선 채널 이득을 필요로 하지만, 기존 [4]에서 제안된 STLC 통신시스템을 위한 블라인드 복호 기법은 단단한 통신 환경에 적합하여 응용에 한계를 갖는다. 본 논문에서는 STLC 기반 상향링크 NOMA (STLC-NOMA) 시스템을 위한 무선 채널 이득 추정 기법을 제안한다.

II. 상향링크 STLC-NOMA를 위한 블라인드 무선 채널 이득 추정 기법

본 논문에서는 각각 단일 안테나를 갖는 두 단말이 두 개의 안테나를 갖는 하나의 액세스 포인트로 성상 회전된 STLC (constellation rotated STLC: CR-STLC) 신호를 전송하는 상향링크 NOMA 네트워크를 고려한다 [3]. 즉, 각 단말의 CR-STLC 신호가 동일한 무선 자원 블록들(resource blocks)을 통해 전송되며, 액세스 포인트는 중첩되어 수신된 신호를 STLC 선형결합 후 각 단말의 변조 신호를 검파한다. STLC의 주요 특징 중 하나는 전송된 변조 신호가 무선 채널에 의한 위상 왜곡은 보상되어 액세스 포인트로 수신된다는 점이며, 이에 따라 액세스 포인트는 각 단말의 무선 채널 이득만을 통해 전송된 신호를 검파할 수 있다 [3, Sec. III]. 본 논문에서는 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture model: GMM)의 평균(means)을 추론하는 기댓값 최대화(expectation-maximization: EM) 알고리즘을 응용한 무선 채널 이득 추정 기법을 제안한다. 일반성을 잃지 않고, 본 논문에서는 직교 위상 편이 변조(quadrature phase shift keying: QPSK) 신호를 고려하며, 이에 따라 성상 회전 각 θ 는 $0 \leq \theta \leq \pi/4$ [rad]의 값을 갖는다. 또한, 첫 번째 및 두 번째 단말의 무선 채널 이득은 각각 γ_1, γ_2 로 표기한다.

우선, [3, Fig. 2]에서 실수축에 정사영했을 때 가장 큰 값을 갖는 성상은 $\{C_1, C_5, C_{12}, C_{16}\}$ 이며, $|\sqrt{\gamma_1} \cos(\pi/4) + \sqrt{\gamma_2} \sin(\pi/4 + \theta)|$ 의 값을 갖는다. 또한, 두 번째로 큰 값을 갖는 성상은 $\{C_2, C_6, C_{11}, C_{15}\}$ 이고, $|\sqrt{\gamma_1} \cos(\pi/4) + \sqrt{\gamma_2} \cos(\pi/4 + \theta)|$ 의 값을 갖는다. 한편, 허수축에 정사영하는 경우 가장 큰 값을 갖는 성상은 $\{C_3, C_7, C_{11}, C_{14}\}$ 이고, 두 번째로 큰 값을 갖는 성상은 $\{C_1, C_8, C_9, C_{16}\}$ 이며, 실수축 정사영과 마찬가지로 $|\sqrt{\gamma_1} \cos(\pi/4) + \sqrt{\gamma_2} \sin(\pi/4 + \theta)|$, $|\sqrt{\gamma_1} \cos(\pi/4) + \sqrt{\gamma_2} \cos(\pi/4 + \theta)|$ 의 크기를 각각 갖는다.

송수신 과정에서 인가되는 열잡음의 영향을 고려하면, 전송된 프레임의 정사영 결과는 GMM을 따른다. 따라서 액세스 포인트는 1차원 EM 알고리즘 [5, Ch. 22.3]을 통해 다음과 같은 두 평균 μ_1, μ_2 를 추론한다:

$$\mu_1 = |\sqrt{\gamma_1} \cos(\pi/4) + \sqrt{\gamma_2} \sin(\pi/4 + \theta)| = \sqrt{\gamma_1}/\sqrt{2} + \sqrt{\gamma_2} \sin(\pi/4 + \theta),$$

$$\mu_2 = |\sqrt{\gamma_1} \cos(\pi/4) + \sqrt{\gamma_2} \cos(\pi/4 + \theta)| = \sqrt{\gamma_1}/\sqrt{2} + \sqrt{\gamma_2} \cos(\pi/4 + \theta).$$

구체적으로, 액세스 포인트에서 STLC 선형결합 후 형성된 성상의 대칭성을 고려하면, EM 알고리즘을 통해 총 네 개의 평균값이 추론되며, 여기서 가장 큰 값과 두 번째로 큰 값은 각각 μ_1, μ_2 가 된다.

최종적으로 추론된 평균값을 각각 $\hat{\mu}_1$ 과 $\hat{\mu}_2$ 라고 하면, 앞서 표기한 μ_1, μ_2 ($\mu_1 \geq \mu_2 \geq 0$)의 정의로부터 각 단말의 무선 채널 이득인 γ_1, γ_2 를 다음과

같이 추정할 수 있다:

$$\sqrt{\hat{\gamma}_2} = (\hat{\mu}_1 - \hat{\mu}_2) / (\sin(\pi/4 + \theta) - \cos(\pi/4 + \theta)),$$

$$\sqrt{\hat{\gamma}_1} = \frac{\hat{\mu}_1 + \hat{\mu}_2 - \sqrt{\hat{\gamma}_2} (\sin(\pi/4 + \theta) + \cos(\pi/4 + \theta))}{\sqrt{2}}.$$

III. 모의실험 결과 및 결론

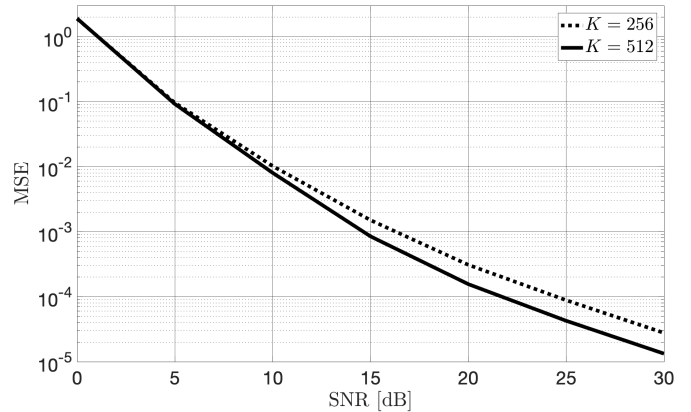


그림 1. 제안한 블라인드 채널 이득 추정 기법의 SNR 대비 MSE 성능 모의실험 결과

그림 1은 본 논문에서 제안한 무선 채널 이득 추정 기법의 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio: SNR) 대비 평균 제곱 오차(mean square error: $MSE = \sum_{n=1}^2 (\sqrt{\gamma_n} - \sqrt{\hat{\gamma}_n})^2 / 2$) 성능 모의실험 결과를 나타낸다. 모의실험에서 각 단말의 송신 전력 P_n ($n \in \{1, 2\}$)과 액세스 포인트까지의 거리 d_n 은 각각 P 와 1로 동일하게 정의했다. 또한, 모든 채널은 서로 독립이고 $\mathcal{CN}(0, 1)$ 의 동일한 분포를 따르며, 한 프레임 내 각 단말의 QPSK 심볼 수 K 는 256과 516개를 각각 가정했다. 결론적으로, 그림 1과 [3, Fig. 8]로부터 제안한 기법이 충분히 응용 가능한 결과를 도출하는 것으로 확인했다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021R1A4A1032580).

참고 문헌

- [1] J. Seo, H. Jin, J. Joung, and B. C. Jung, "Uplink NOMA random access systems with space-time line code," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 69, no. 4, pp. 4522-4526, Apr. 2020.
- [2] K. -H. Lee, J. Joung, and B. C. Jung, "Space-time line coded spatial modulation," *Electron. Lett.*, early access, May 18, 2022, doi: 10.1049/ell2.12488.
- [3] K. -H. Lee, J. S. Yeom, J. Joung, and B. C. Jung, "Performance analysis of uplink NOMA with constellation-rotated STLC for IoT networks," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 3, pp. 705-717, Apr. 2022.
- [4] J. Joung and B. C. Jung, "Machine learning based blind decoding for space-time line code (STLC) systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 5, pp. 5154-5158, May 2019.
- [5] D. J. C. MacKay, *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*. New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2003.