

다중안테나 무선통신시스템용 SVD 빔포밍기반 기회적 전송 기법

이영석, 이기훈, 정방철
충남대학교

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

Opportunistic Transmission Technique with SVD Beamforming for MIMO Wireless Communication Systems

Young-Seok Lee, Ki-Hun Lee, Bang Chul Jung
Chungnam National University

요약

본 논문에서는 다중안테나 기반 통신 시스템에서 무선 채널 행렬의 최대 특잇값에 대응되는 특이벡터를 기반으로 하는 특잇값 분해(singular value decomposition: SVD) 빔포밍을 고려한다. 이때, 유효 채널 이득으로 정의되는 최대 고유값이 임계치 이상일 때만 신호를 송신하는 기회적 전송(opportunistic transmission: OT)의 적용을 제안하며, 모의실험을 통해 SVD 빔포밍기반 기회적 전송 기법(OT-SVD Beamforming)이 OT를 적용하지 않을 때보다 향상된 비트 당 오류율(bit-error-rate: BER) 성능을 달성하는 것으로 확인했다.

I. 서론

자율주행 및 공장 자동화와 같은 차세대 통신 시스템의 대표적인 초고 신뢰·저지연 통신(ultra-reliable and low latency communications: URLLC) 서비스 응용은 99.9999% 이상의 초고신뢰 성능을 요구한다 [1]. 본 논문에서는 이러한 신뢰성 성능 향상을 위한 통신 기법의 하나로, 다중안테나 기반 통신 시스템에서 무선 채널의 최대 특잇값에 대응되는 특이벡터를 이용한 특잇값 분해(singular value decomposition: SVD) 빔포밍 기법에 유효 채널 이득이 임계치 이상일 때만 신호를 송신하는 기회적 전송(opportunistic transmission: OT) 기법의 적용을 제안한다 [2].

II. SVD 빔포밍기반 기회적 전송 기법

본 논문에서는 각각 N_T 및 N_R 개의 안테나를 갖는 단일 송수신기 쌍을 고려한다. 이때, 송수신단 모두 서로의 각 안테나 사이 무선 채널 정보 $h_{r,t}$ ($r \in \{1, 2, \dots, N_R\}$, $t \in \{1, 2, \dots, N_T\}$)를 알고 있다고 가정하며, 모든 무선 채널은 서로 독립이고 $\mathcal{CN}(0, 1)$ 의 동일한 분포를 따르는 레일리 페이딩(Rayleigh fading) 채널을 가정한다. 한편, 송수신단 사이의 모든 무선 채널로 구성된 행렬을 $\mathbf{H} (:= \{h_{r,t}\}, \forall r, t)$ 로 정의하면, 송수신단은 SVD를 통해 유도되는 최대 특잇값에 대응되는 특이벡터를 기반으로 SVD 빔포밍을 할 수 있다 [3].

더욱 높은 신뢰성을 달성하기 위해, 본 논문에서는 기존 SVD 빔포밍에 OT의 적용을 제안한다. 구체적으로, 송수신기는 기존 SVD 빔포밍의 유효 채널 이득인 $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ 의 최대 고유값(largest eigenvalue, λ_1^2)이 임계값 η 이상일 때만 패킷을 송수신한다. 이에 따라, SVD 빔포밍기반 OT 기법(OT-SVD Beamforming)의 최종 수신 신호 y 는 다음과 같이 표현할 수 있다:

$$y = \mathbf{u}_1^H \mathbf{H} \mathbf{v}_1 \frac{1}{\sqrt{\alpha}} x b + \mathbf{u}_1^H \tilde{\mathbf{n}} = \lambda_1 \frac{1}{\sqrt{\alpha}} x b + n,$$

여기서 λ_1 은 \mathbf{H} 의 최대 특잇값을 나타내며, \mathbf{v}_1 및 \mathbf{u}_1^H 는 이에 대응되는 특이벡터를 각각 나타낸다. 또한, x 는 송신기가 전송한 신호를 의미하고, n 은 신호 수신 과정 및 수신 빔포밍이 고려된 가우시안 잡음을 나타내며 $\mathcal{CN}(0, \sigma_n^2)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. 한편, b 는 OT를 고려함에 따라 신호 전송 여부를 나타내기 위한 파라미터로써 다음과 같이 정의되며:

$$b = \begin{cases} 1, & \lambda_1^2 > \eta, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

α 는 사전 정의되는 유효 채널 이득 임계치 η 에 따라 정의되는 송신기의 전송확률을 나타낸다.

마지막으로, 수신기는 다음과 같은 최대 우도(maximum-likelihood: ML) 검파기를 통해 전송된 신호 x 를 검파한다:

$$\hat{x} = \arg \min_{x \in \mathcal{X}} |y - \lambda_1 x|^2,$$

여기서 \mathcal{X} 는 정규화된 변조 신호의 집합을 나타낸다.

III. 모의실험 결과 및 결론

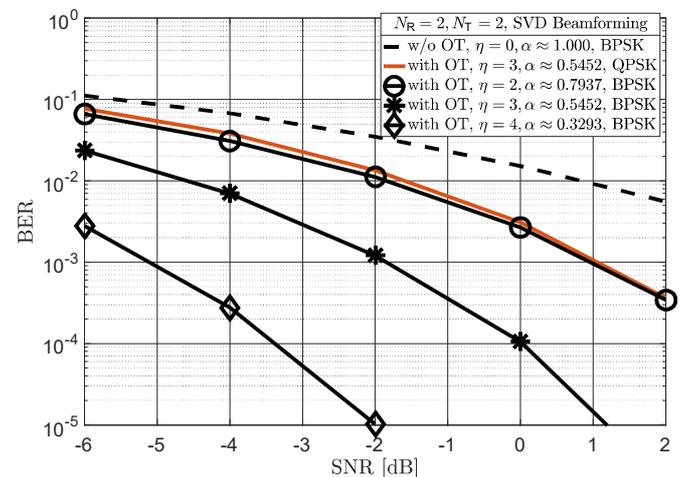


그림 1. 제안하는 SVD 빔포밍기반 OT 기법(OT-SVD Beamforming)의 BER 성능.

그림 1은 본 논문에서 제안한 OT-SVD 빔포밍 기법의 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio: SNR) 대비 비트 오류율(bit-error-rate: BER) 성능의 모의실험 결과를 나타낸다. 여기서, 송수신기는 각각 두 개의 안테나를 가지며, 이진 및 직교 위상 편이(BPSK, QPSK) 변조 신호를 전송하는 통신 환경을 가정했다. 유효 채널 이득 임계값 η 는 각각 0, 2, 3, 4를 고려했으며, 따라서 $\eta = 0$ 은 기존 SVD 빔포밍의 BER 성능을 나타낸다. 결론적으로, OT를 고려함에 따라 기존 SVD 빔포밍보다 전송률은 낮아지지만, 높은 신뢰성 성능을 달성할 수 있음을 시사한다. 아울러, OT-SVD 빔포밍을 통해 높은 차수의 변조 신호를 전송함으로써 낮은 전송률을 보상하면서 향상된 신뢰성 성능을 달성할 수 있음을 확인했다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-00486, ABC-MIMO: 중강 범 라우팅 기반 차세대 다중 입출력 통신 시스템).

참고 문헌

- [1] 5G Americas. (2020), *New Services and Applications With 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication*.
- [2] 이기훈, 정방철, “비신뢰 양방향 증계 IoT 네트워크 성능 분석,” *통신정보 합동학술대회*, Pusan, Korea, Apr, 2021, p. 110.
- [3] M. Raja, and P. Muthuchidambaramanathan, “BER performance of SVD-based transmit beamforming with various modulation techniques,” in *Proc. 5th Int. Conf. Ind. Inf. Syst.*, Mangalore, India, Jul. 2010, pp. 155-160.