

에너지 효율적 교란을 위한 IRS 기반 채널 혼란 기법

윤장혁, 정방철

충남대학교

jhyoon@o.cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

Intelligent Reflecting Surface based Channel Confusion Technique for Energy Efficient Jamming

Janghyuk Youn, Bang Chul Jung

Chungnam National University

요약

본 논문은 Intelligent Reflecting Surface (IRS) 기반 에너지 효율적인 교란을 위한 채널 혼란 기법을 제안한다. MIMO 통신에서 빔포밍을 사용하기 위해서는 송/수신 단말이 채널 정보를 획득할 필요가 있는데, 통신하는 두 단말 사이에 IRS가 존재할 때, 제안하는 기법은 수동 소자인 IRS의 반사 패널을 빠른 속도로 전환하여 통신하는 단말이 채널 정보를 획득할 때와 실제 데이터 신호를 전송할 때의 통신 채널을 다르게 만드는 데에 그 목적이 있다. 제안하는 채널 혼란 기법은 신호 전송을 위한 소모 전력 없이 공격 목표 네트워크의 신호를 반사하여 통신을 교란하기 때문에 에너지 효율적으로 교란할 수 있으며, 시뮬레이션을 통해 목표 네트워크의 송신 전력이 높을수록 교란 효과는 커지는 것을 확인했다.

I. 서론

최근 Intelligent reflecting surface (IRS)는 신호를 반사하는 특성을 통해 큰 통신 성능 이득을 얻을 수 있을 것으로 기대되어 많은 연구가 이루어지고 있다 [1]. 하지만 만약 IRS의 반사 패널이 통신 성능의 SNR을 최대화하는 것이 아닌 최소화하는 방향으로 설계될 경우, 통신을 돕는 것이 아닌 오히려 통신 성능 하락의 효과를 가져올 수 있는데, 이와 같이 [2]에서는 IRS를 송신 전력 없이 통신을 교란하는 교란기로써 사용하였다. 본 논문에서는 IRS가 빠른 속도로 전환될 수 있는 수동 소자임을 이용하여, 통신하는 단말들이 채널 정보를 잘못 파악하도록 유도하여 성능 저하를 발생시키는 IRS 기반 채널 혼란 기법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 IRS 기반 채널 혼란 기법의 시스템 모델은 교란 대상이 되는 목표 네트워크와 IRS 교란기로 구성되어 있으며, 목표 네트워크는 송신 단말 (LT)과 수신 단말 (LR)로 구성되어 있다. LT는 K 개의 안테나를, LR은 L 개의 안테나를 가지고 있으며, IRS 교란기는 N 개의 반사 패널과 반사 패널을 조작하기 위한 제어기로 구성되어 있다. 또한, 각 노드 사이의 채널은 $\mathbf{H}_{TR} \in \mathbb{C}^{L \times K}$, $\mathbf{H}_{TL} \in \mathbb{C}^{N \times K}$, $\mathbf{H}_{IR} \in \mathbb{C}^{L \times N}$ 으로 정의되며, 각각 LT와 LR 사이의 채널, LT와 IRS 사이의 채널, 그리고 IRS와 LR 사이의 채널을 나타낸다. 또한, \mathbf{H}_{TR} 의 모든 성분들은 $CN(0,1)$ 의 분포를, \mathbf{H}_{TL} 와 \mathbf{H}_{IR} 은 상대적으로 거리가 멀어 $CN(0,1/2)$ 를 따른다고 가정한다.

목표 네트워크의 송신 및 수신 단말은 MIMO 통신에서 빔포밍을 위한 채널 정보를 획득하기 위해 기준 신호를 전송하고, 수신하며, 이때의 정보를 기반으로 데이터 신호를 전송할 때 사용할 빔포밍을 설계한다. 이때, IRS 교란기는 빠른 속도로 반사 행렬을 전환하여, 기준 신호가 전송될 때와 데이터 신호가 전송될 때의 채널이 다르도록 유도한다.

IRS의 반사행렬은 각 대각 성분의 크기가 1보다 작거나 같고, 위상이 랜덤한 성분들로 구성된 대각 행렬로써 표현되며, 이는 다음과 같다.

$$\mathbf{G}_p = \begin{bmatrix} \alpha_1 e^{j\theta_1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \alpha_N e^{j\theta_N} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}_d = \begin{bmatrix} \beta_1 e^{j\phi_1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \beta_N e^{j\phi_N} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 \mathbf{G}_p 와 \mathbf{G}_d 는 각각 목표 네트워크에서 기준 신호가 전송될 때와 데이터 신호가 전송될 때의 반사 행렬을 나타내며, α_n 과 β_n 은 n 번째 반사 패널의 반사 크기를, θ_n 과 ϕ_n 은 n 번째 반사 패널의 반사 위상을 나타낸다.

III. 시뮬레이션 결과

그림 1은 제안하는 IRS 기반 채널 혼란 기법의 교란 성능을 확인하기 위한 목표 네트워크 SNR 대비 BER 성능을 나타낸 그림으로, $K = L = 4$ 이고, 목표 네트워크는 기준 신호가 전송될 때의 채널 ($\mathbf{H}_{TR} + \mathbf{H}_{IR}\mathbf{G}_p\mathbf{H}_{TL}$)을 특이값 분해 (SVD)

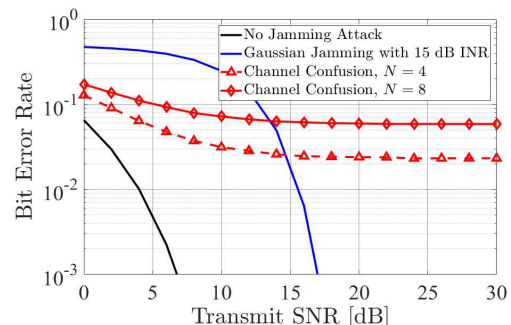


그림 1. 목표 네트워크 SNR 대비 BER 성능

하여 최적 빔포밍을 설계하고, 이를 이용해 통신한다. 또한, 목표 네트워크의 신호는 QPSK로 변조되어 있다. 이때, 채널 혼란 기법의 경우, 실제 데이터 전송 시에 $\mathbf{H}_{TR} + \mathbf{H}_{IR}\mathbf{G}_d\mathbf{H}_{TL}$ 를 통해 신호가 전송되어 성능 저하가 발생한다. 가우시안 교란 기법은 목표 네트워크 잡음 대비 15 dB의 송신 전력을 갖고 가우시안 분포를 따르는 신호를 4 개의 안테나에서 방출하여 교란하는 기법의 성능을 나타낸다.

그림 1의 결과를 통해 제안하는 채널 혼란 기법이 목표 네트워크의 송신 전력이 낮은 경우, 가우시안 교란 기법보다 더 교란 성능이 떨어지지만, 소모 전력 없이도 크게 목표 네트워크의 성능 저하를 일으키며, 특히 높은 SNR에서는 기존 가우시안 교란 기법보다 더 큰 성능 저하를 일으키는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 에너지 효율적인 통신 교란을 위해 Intelligent Reflecting Surface (IRS)를 이용한 채널 혼란 기법을 제안하였다. 제안하는 채널 혼란 기법은 수동 소자인 IRS가 빠르게 전환될 수 있는 점을 이용하여, 공격 대상인 목표 네트워크의 기준 신호가 전송될 때와 데이터 신호가 전송될 때의 채널이 다르도록 유도하여 성능 저하를 발생시킨다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 채널 혼란 기법이 큰 성능 저하를 일으키는 것을 확인하였으며, 목표 네트워크의 송신 전력이 높을수록 성능 저하가 크게 발생하는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크 기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다 (UD190033ED).

참고 문헌

- [1] Q. Wu and R. Zhang, "Towards smart and reconfigurable environment: Intelligent reflecting surface aided wireless network," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 1, pp. 106-112, Jan. 2020.
- [2] B. Lyu, D. T. Hoang, S. Gong, D. Niyato, and D. I. Kim, "IRS-based wireless jamming attacks: When jammers can attack without power," Available Online: <https://arxiv.org/abs/2001.01887>, Mar. 2020.