

불완전 순차적 간섭 제거를 고려한 NOMA 성능 강화 연구

이혜영¹, 이만희², 우준혁³, 최영은⁴, 김정현⁵, 신수용*

^{1,2}국립금오공과대학교, ^{3,4,*}국립금오공과대학교 IT융복합공학과, ⁵전자공학과
{lhy413, fordmore, woojun7244, yeong, kjh454311, *wdragon}@kumoh.ac.kr

Performance Improvement of NOMA based on Imperfect SIC

Hye Yeong Lee, Man Hee Lee, Jun Hyuk Woo, Yeong Eun Choi, Jung Hyun Kim, Soo Young Shin*

Kumoh National Institute of Technology

요약

비직교 다중 접속 (non-orthogonal multiple access, NOMA)은 주파수, 시간 혹은 코드 자원을 공유하면서 두 개 이상의 신호를 동시에 중첩 전송하므로 주파수 효율을 높이는 기술이다. 중첩된 신호에서 해당 신호만 검출하기 위해서는 순차적 간섭 제거 방식 (successive interference cancellation, SIC)이 필요하다. NOMA 시스템에서 신호 검출의 성능 개선을 위해 딥러닝을 활용한 방식이 연구되고 있다. 본 논문에서는 불완전 SIC를 고려한 NOMA 시스템에서 딥러닝을 활용한 신호 검출 방식을 적용하고, 기존 방식과 성능 비교를 수행한다.

I. 서론

비직교 다중 접속 (non-orthogonal multiple access, NOMA) 기술은 전력 혹은 코드 도메인을 활용하여 신호를 중첩하여 같은 주파수 대역이나 시간 슬롯을 활용해 동시 전송함으로써 주파수 효율을 개선할 수 있는 차세대 통신 기술로 주목받았다 [1]. 중첩 신호의 전송은 주파수 효율을 개선할 수 있지만 동시에 검출 정확도 문제를 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 NOMA의 신호 검출 시 순차적 간섭 제거 (successive interference cancellation, SIC)라는 과정이 필요하다. SIC는 수신 신호에서 먼저 다른 사용자의 신호를 검출하고 제거한 후 해당 사용자의 신호를 검출하는 방식이다. 완벽한 SIC 과정을 위해서는 다른 사용자의 채널과 전력 할당 정보가 필요하다. 따라서 실제 환경에서 NOMA의 완벽한 SIC 과정을 기대하기 어려우며, 간섭 제거가 완벽하지 않을 때 이를 불완전 SIC (imperfect SIC)로 명명한다 [2]. 순차적으로 신호를 검출하는 방식이므로 그 전 사용자의 검출 결과에 따라 검출 정확도가 크게 변한다. 또한, 사용자 수가 늘어날수록 SIC 과정의 수도 증가하므로 불완전 SIC에 따른 성능 저하가 커진다.

NOMA의 성능 개선을 위해 딥러닝을 활용한 다중 사용자 신호 검출 (multiple user detection)에 대한 연구가 수행되고 있다 [3,4]. [3]에서는 DNN (deep neural network)을 이용하여 채널 추정 및 신호 검출을 동시에 할 수 있는 one-shot 방식을 제안하였다. [4]에서는 FNN (feedforward neural networks)을 이용해 MIMO-NOMA 시스템의 프리코딩과 SIC 방식을 단계적으로 수행하는 방식을 제안하였다.

본 논문에서는 불완전 SIC를 고려한 NOMA 성능 강화를 위해 딥러닝을 활용한 신호 검출 방식의 성능 분석을 진행하고자 한다. 딥러닝을 활용한 다중 사용자 신호 검출 방식은 [3]의 one-shot 방식을 활용해 채널 추정과 신호 검출을 동시에 하고자 한다. 불완전 SIC를 고려하기 위해 불완전 계수를 추가하여 기존 ML (maximum likelihood) 방식과 성능 비교를 진행한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 두 사용자 (UE1과 UE2)의 상향 링크 NOMA 시스템을 고려한다. DNN 네트워크 모델은 4개의 계층 (layer)로 이루어지는데, 입력 계층, LSTM (long short-term memory) 계층, FC (fully connected) 계층, 출력 계층으로 구분 가능하다. 여기서 LSTM은 RNN (recurrent neural network)의 한 종류로 데이터 시간 종속성을 활용할 수 있어 시계열 및 시퀀스 데이터에 대해 활용된다. LSTM의 시간 스텝은 본 논문의 시스템에서 OFDM의 부반송파로 고려한다. 따라서 DNN이 임의의 부반송파에 대한 MUD를 실현하도록 훈련시킨다. 이로 인해 다중 경로 효과로 발생하는 심볼간 간섭을 처리할 수 있다. 출력 계층은 softmax와 분류 계층의 부계층을 포함한다. softmax 계층은 입력 데이터에 softmax 기능을 적용하며, 분류 계층은 두 사용자의 전송 신호를 동시에 매핑하기 위해 추정된 라벨을 출력한다.

불완전 SIC를 고려하기 위해 추정된 채널 정보 (channel state information, CSI)의 불완전성을 이용하고자 한다. 따라서 채널 오류 모델은 다음과 같이 정의된다.

$$H = \hat{H} + \alpha \Omega \quad (1)$$

여기서 H 와 Ω 는 페이딩과 오류 채널 행렬을 의미하고, α 는 오류 계수를 나타낸다. 오류 계수 α 가 0일 때 오류가 완전 CSI를 의미하며, 그 외는 불완전 CSI를 의미한다.

III. 모의실험 결과

모의실험은 MATLAB의 Deep Learning Toolbox를 활용하였다. LSTM 계층은 128, FC 계층은 16으로 가정한다. 부반송파는 64개로 가정하였으며, 변조는 QPSK를 이용하였다. 에포크는 50, 배치 사이즈는 5,000으로 설정하였다. 오류 계수는 오류가 없는 경우 $\alpha = 0$ 와 있는 경우 $\alpha = 0.1$ 를

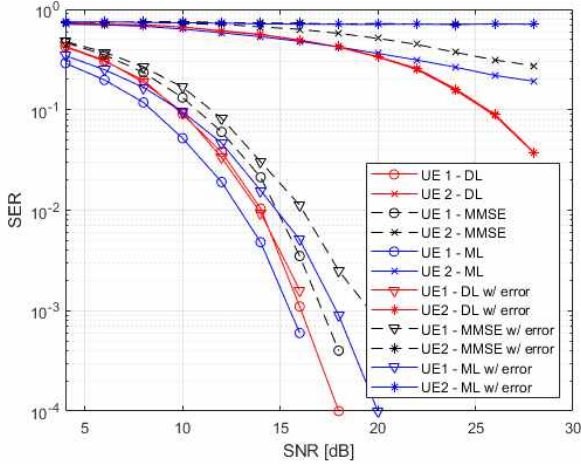


그림 1 모의실험 결과

고려하였다. 제안하는 시스템과 성능 비교를 위해 MMSE 채널 추정 방법을 활용한 SIC 방식과 ML 방식을 비교군으로 선정했다. 그림 1에서 보듯이 오류가 0인 환경에서는 ML 방식이 DL 방식 대비 좋은 BER 성능을 가지나, 오류가 있는 환경에서는 DL 방식이 더 좋음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 불안전 SIC를 고려한 NOMA의 성능 강화를 위해 딥러닝을 활용한 신호 검출 방식의 성능 분석 및 비교를 진행하였다. 불안전 SIC를 고려한 NOMA 시스템을 적용하기 위해 추정된 채널에 오류 계수를 추가하여 성능을 확인하였다. 오류 계수가 있을 때 딥러닝의 다중 신호 검출 정확도가 높아짐을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2022R1I1A1A01066178) 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재4.0 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2024-RS-2022-00156394)

참 고 문 헌

- [1] Dai, Linglong, et al. "Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends." *IEEE Communications Magazine*, 53.9, 74-81, 2015.
- [2] Usman, M. R., Khan, A., Usman, M. A., Jang, Y. S., & Shin, S. Y. , "On the performance of perfect and imperfect SIC in downlink non orthogonal multiple access (NOMA)", In 2016 international conference on smart green technology in electrical and information systems (ICSGTEIS), 102-106, IEEE., 2016.
- [3] Thompson, John. "Deep learning for signal detection in non-orthogonal multiple access wireless systems." *2019 UK/China Emerging Technologies (UCET)*. IEEE, 2019.
- [4] Kang, Jae-Mo, Il-Min Kim, and Chang-Jae Chun. "Deep learning-based MIMO-NOMA with imperfect SIC decoding." *IEEE Systems Journal*, 14.3, 3414-3417, 2019.