

그래프 신경망 기반 5G/6G 채널 복호기 구현

김영현¹⁾, 주혁¹⁾, 김은수¹⁾, 안용호¹⁾, 양형정²⁾

전남대학교 소프트웨어공학과 학생¹⁾

전남대학교 인공지능융합학과 교수²⁾

k37237280@gmail.com, ju231568@gmail.com, pasat2325@naver.com, angpang03@naver.com, hjyang@jnu.ac.kr

Implementation of 5G/6G Channel Decoder based on Graph Neural Networks

Younghyeon Kim, Hyeok Joo, Eunsoo Kim, Yongho Ahn, Hyeong jeong Yang

Dept. of Software Engineering, Chonnam National University

Dept. of Software Engineering, Chonnam National University

Dept. of Software Engineering, Chonnam National University

Dept. of Software Engineering, Chonnam National University

Dept. of AI Convergence, Chonnam National University

요약

4차 산업혁명 시대에 AI 기술의 발전과 함께, 고속 데이터 전송을 위한 6G의 필요성이 대두되고 있으며, 이는 다양한 산업 분야에 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다. 그러나 현재의 채널 디코딩 방식인 LDPC 및 BCH 코드 알고리즘은 복잡한 연산으로 인해 실시간 통신에 지연을 초래할 수 있다. GNN은 노드 간의 복잡한 관계를 효과적으로 학습할 수 있어, 통신 채널 특성을 이해하고 예측하는데 유리하다. 본 연구에서는 6G 통신 기술에 접목하기 위해, 기존 디코딩 방식보다 처리속도가 빠르고 비트 오류율이 낮은 그래프 신경망 기반 채널 디코딩 모델 개발을 목표로 한다.

1. 서론

4차 산업혁명 시대 AI 기술을 이용한 다양한 분야 연구가 급격하게 발전하고 있다. 의료, 교통, 금융, 농업, 제조 등 모든 산업에 AI 기술이 활용되고 있고, 이를 가능하기 위해서는 많은 양의 정보를 송수신할 수 있어야 한다. 특히, 다량의 데이터를 빠른 속도로 전송하기 위해 6G 통신 기술이 필요하다.

6G 통신은 최대 1Tbps 속도로 5G보다 50배 빠르고, 네트워크 지속성이 5G 대비 10분의 1 수준이다. 이 기술은 여러 분야에 필요하며, 교통 분야에서 완전 자율주행 구현, 의료 분야에서 원격 진료와 의료 로봇 그리고 원격 회의, 교육 분야에서의 VR, AR 기술 발전 등 고속 데이터 전송이 필요한 환경에 많은 영향을 주고 있다.

5G 및 6G 기술을 도입하고 상용화하기 위해서는 전파 신호를 디코딩하는 채널 복호기를 더 효율적으로 개선할 필요가 있다. 최신 기술 동향에서 실시간

화와 복호화 알고리즘에서 역시 더 빠르고 정확한 기술이 요구되고 있다.

채널 디코딩 방식에 있어서, 기존의 LDPC (Low Density Parity Check Code), BCH (Bose-Chadhuri-Hocquenghem code) 등의 알고리즘은 높은 오류 정정 성능을 제공하지만 많은 연산이 필요하다. 소형 임베디드 시스템이나 초고속 시스템에서는 이러한 연산이 신호의 지연을 초래할 수 있으며, 이는 실시간 통신 성능에 악영향을 끼칠 수 있다. 전파 신호는 기본적으로 예측할 수 없는 불규칙 신호이며, 다양한 간섭과 동적 환경에서의 복잡한 상호작용을 처리해야 한다.

딥러닝, 특히 GNN(Graph Neural Network)은 이러한 채널 디코딩 문제의 해결책이 될 수 있다. GNN은 그래프 기반의 데이터 모델링을 통해 노드 간의 복잡한 관계와 상호작용을 효과적으로 학습할 수 있으며, 이는 6G의 동적이고 복잡한 네트워크 환경에서 채널의 특성을 잘 이해하고 예측할 수 있게 해준다. 따라서 GNN을 활용한 6G 채널 디코딩은 기존의 알고리즘보다 더 빠르고 유연하게 오류를 수정할 수 있다는 가능성이 있다[1].

대용량 통신이 요구되는 만큼, 주파수 신호의 암호

2. 기존 관련 연구

시계열 데이터 분석 및 처리에 Autoencoder, CNN, GNN 등의 딥러닝 모델이 많이 활용되고 있다. 최근에는 그래프 신경망에서 노드 간의 연결 관계에 집중한 GAN(Graph Attention Network) 모델이 소개되었다.

채널 디코딩 분야에서도 딥러닝을 활용한 연구가 소개되면서 무작위 코드보다 암호화된 코드에 더 높은 디코딩 성능을 보임으로써 디코딩 알고리즘을 신경망으로 학습할 수 있다는 가능성을 제시했다[2].

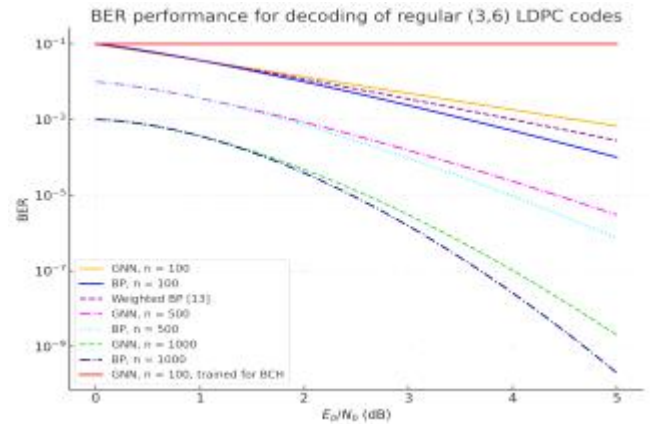
GNN은 다른 딥러닝 기반 디코딩 접근법과 다르게 임의의 블록 길이에 대해 확장이 가능하고 차원에 제한이 없기 때문에 LDPC, BCH 코드의 디코딩에 GNN 기반 아키텍처를 적용할 수 있다. 또한, 채널 디코딩은 전송된 데이터를 복원하는 과정인데, GNN 모델을 개발하여 모델이 일반화된 메시지 디코딩 알고리즘을 학습해 기존의 디코딩 방식보다 비트오류율(BER)과 처리 지연을 줄이는 것이 이번 연구의 목표이다.

3. 제안하는 설계방향 및 향후계획

제안하는 설계 방향은 GNN 모델을 바탕으로 채널 디코더를 개발하는데 중점을 둘 예정이다. 초기 모델 개발 시점에서는 성능보다는 모델 안정화에 초점을 둘 예정이며, 모델이 안정화되면 다양한 매개변수(반복 횟수, 그래프의 깊이, 코드율 등)를 조정하면서 최적의 파라미터 조합을 구할 것이다.

향후 계획은 pruning 기법을 적용하여 성능을 향상하는 데 중점을 두며, 설계된 모델의 성능평가는 BER과 E_b/N_0 (SNR)를 통해 평가할 것이다. 최종적으로 본 연구에서는 LDPC, BCH에 비해서 처리 속도가 1.5배 더 빠른 성능을 보이는 모델을 목표로 한다.

BP decoding 이란 5G를 위해 사용된 BCH, LDPC 코드가 적용된 디코딩 방식인데, 기존 연구 결과에 따르면 개발한 GNN 모델이 기존의 방식보다 1.5배의 성능에 미치지 못하는 것을 알 수 있다 [1]. 따라서 1.5배 더 좋은 성능을 개발하는 것을 목표로 한다. 모델 개발 이후에는 개발한 모델을 image 통신환경에 적용할 것이다.



4. 감사의 글

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업의 연구결과입니다.

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 소프트웨어중심대학사업, 인공지능융합혁신인재양성사업, 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었습니다. (2021-0-01409, 2023-00256629, 2024-00437718)

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 인공지능융합혁신인재양성사업 연구 결과로 수행되었음(IITP-2023-RS-2023-00256629)

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지능화혁신인재양성사업 연구 결과로 수행되었음(IITP-2023-RS-2022-00156287)

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업 연구 결과로 수행되었음(IITP-2024-RS-2024-00437718)

참고문헌

- [1] Cammerer, S., Hoydis, J., Ait Aoudia, F., & Keller, A. (2022). "Graph Neural Networks for Channel Decoding," arXiv preprint arXiv:2207.14563
- [2] T. Gruber, S. Cammerer, J. Hoydis, and S. ten Brink. (2017). "On deep learning-based channel decoding," 2017 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), IEEE, 2017. doi: 10.1109/CISS.2017.7926071.