

가변 안테나 수를 위한 딥러닝 기반 CSI 압축

정시감, 박호성

전남대학교

SGJeong0172@gmail.com, hpark1@jnu.ac.kr

Deep Learning-based CSI Compression for Variable Antenna Counts

Sigam Jeong, Hosung Park

Chonnam National Univ.

요약

기존 딥러닝 기반 CSI 피드백 압축 기법들은 송신 안테나 수가 고정된 환경을 가정하고 설계되어, 실제 시스템처럼 안테나 구성이 변화하는 경우에는 적용에 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 구조적 제약을 완화하기 위해, 입력 CSI의 크기 변화에 유연하게 대응할 수 있는 가변형 CSI 피드백 네트워크를 제안한다. 제안한 방법은 하나의 네트워크로 서로 다른 송신 안테나 수 환경을 처리할 수 있으며, 시뮬레이션 결과 기존 방법과 거의 동일한 throughput 성능을 유지함을 확인하였다.

I. 서론

Massive MIMO 시스템에서는 송신 안테나 수 증가에 따라 CSI 차원이 커지며, 이로 인한 피드백 오버헤드는 시스템 성능을 제한하는 주요 요인으로 된다. 최근 딥러닝 기반 CSI 압축 기법들이 제안되었으나, 대부분 송신 안테나 수가 고정된 환경을 가정하여 실제 시스템과 같은 가변 안테나 환경에 적용하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 송신 안테나 수 변화에 유연하게 대응 가능한 CSI 피드백 네트워크 구조를 제안한다.

II. 본론

A. 제안하는 가변형 CSI 피드백 네트워크 구조

그림 1은 제안한 가변형 CSI 피드백 네트워크의 전체 구조를 나타낸다. 기존 딥러닝 기반 CSI 압축 구조에서 입력 CSI의 크기를 고정시키던 부분을 convolution 기반 구조로 대체하여, 송신 안테나 수 변화에 관계없이 동일한 네트워크를 적용할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해 안테나 구성 변화에 따른 네트워크 재설계 및 재학습 부담을 제거하였다.

한편, 네트워크 내부의 Convolutional Window Transformer Block은 기존 연구 [1]에서 제안된 구조를 그대로 유지하여, CSI의 공간적 상관성

과 장거리 의존성 모델링 능력을 보존하였다. 이를 통해 구조적 유연성을 확보하면서도 기존 Transformer 기반 CSI 압축 기법의 성능 저하를 최소화하였다.

B. 성능 평가 및 분석

제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 Perfect CSI, RI-PMI-CQI 기반 코드북 방식, 기존 Transformer 기반 방법 [1]과의 throughput 성능을 비교하였다. 송신 안테나 수가 32, 16, 8인 시나리오에 대해 SNR에 따른 성능을 평가하였다.

Methods	Complexity	
	Parameters	FLOPs
CsiFormer (original)	193k	3.6154e+05
proposed	162.8k	3.1083e+05

표 1. 기존 CSIFormer와 제안하는 방법의 모델 복잡도 비교

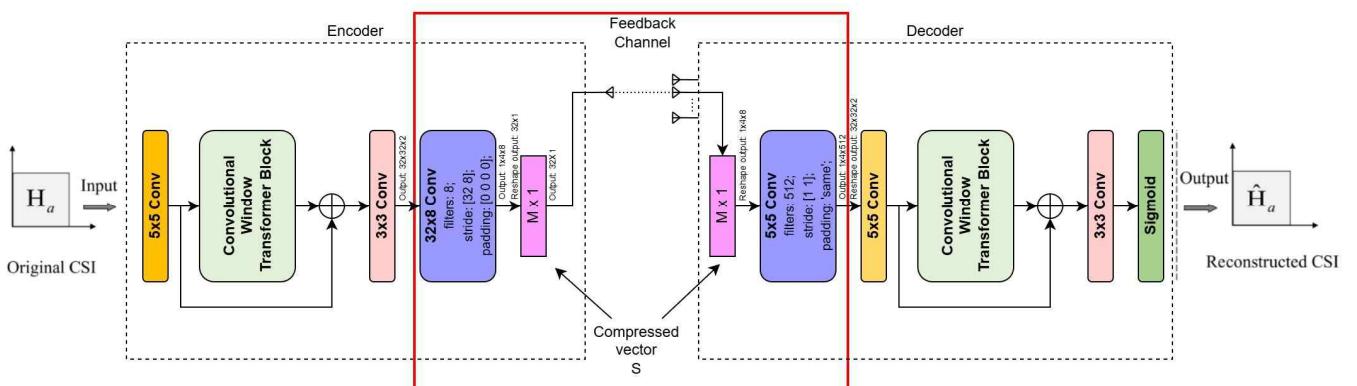


그림 1. 가변 입력 처리를 위해 convolution 기반 구조로 수정한 CSI 피드백 네트워크 전체 구조

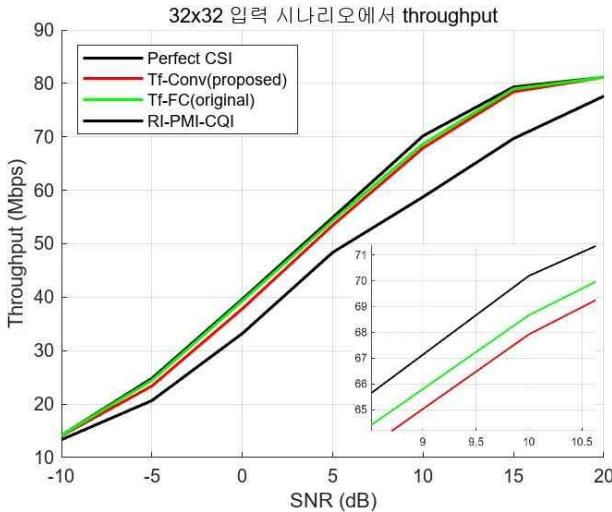


그림 2. 송신 안테나 수가 32개인 시나리오에서 기존 모델과 제안된 모델의 throughput 비교

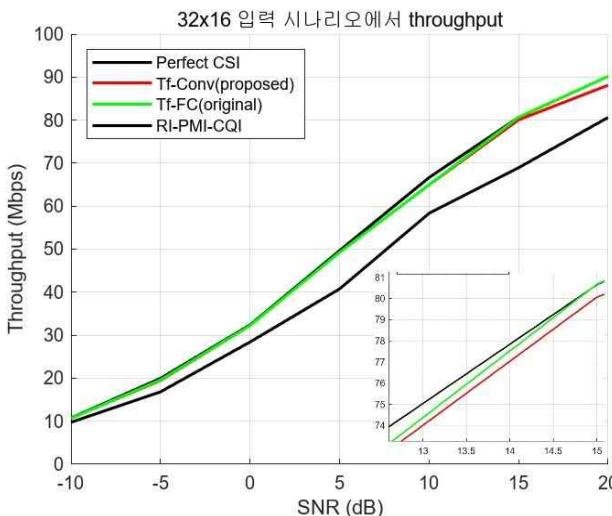


그림 3. 송신 안테나 수가 16개인 시나리오에서 기존 모델과 제안된 모델의 throughput 비교

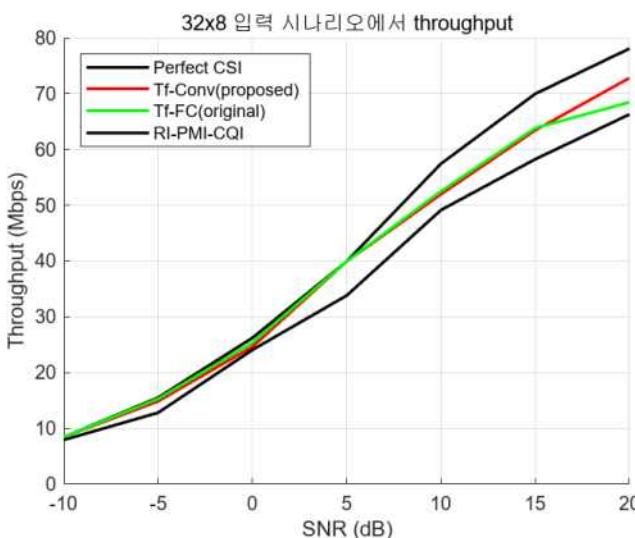


그림 4. 송신 안테나 수가 8개인 시나리오에서 기존 모델과 제안된 모델의 throughput 비교

그림 2-4는 각 안테나 구성에 대한 throughput 성능 비교 결과를 보여준다. 시뮬레이션 결과, 제안한 방법은 모든 시나리오에서 기존 Transformer 기반 방법과 거의 동일한 throughput 성능을 유지함을 확인하였다. 또한 표 1에서 보이듯이, 제안한 네트워크는 파라미터 수와 FLOPs가 감소한 경량 구조를 갖는다.

III. 결론

본 논문에서는 송신 안테나 수가 변화하는 환경에서도 적용 가능한 가변형 CSI 피드백 네트워크를 제안하였다. 기존 딥러닝 기반 CSI 압축 구조에서 입력 크기를 고정시킨 제약을 완화하여, 단일 네트워크로 서로 다른 안테나 구성 시나리오를 처리할 수 있도록 설계하였다. 시뮬레이션 결과, 제안한 방법은 다양한 송신 안테나 수 환경에서 기존 Transformer 기반 방법과 거의 동일한 throughput 성능을 유지하면서도, 구조적 유연성과 계산 효율성을 향상시킴을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2022-00156287, 1/3).

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2025-16070801).

본 연구성과는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2025-25398164).

참고 문헌

- [1] X. Bi, S. Li, C. Yu, and Y. Zhang, "A Novel Approach Using Convolutional Transformer for Massive MIMO CSI Feedback," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 11, no. 5, pp. 1017 - 1021, May 2022.
- [2] C.-K. Wen, W.-T. Shih, and S. Jin, "Deep learning for massive MIMO CSI feedback," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 7, no. 5, pp. 748 - 751, Oct. 2018.