

최근 정보통신 기술 GAN 기반 무선통신 신호 생성 및 분석에 관한 연구

곽동기
상명대학교

dovila@naver.com

A Study on the GAN-based Wireless Communication Signal Generation and Analysis

Gwahk Dong Gi
Sangmyung Univ.

요 약

본 논문은 GAN(Generative Adversarial Network)을 활용한 무선통신 신호 생성 및 분석 연구 결과를 제시한다. 기존 수학적 모델의 한계를 극복하기 위해, 본 연구는 약 5 천 개의 QPSK 심볼 데이터셋과 단순한 MLP(Multi-Layer Perceptron) 구조의 GAN 모델을 설계하여 신호를 생성하였다. 생성된 QPSK 신호는 실제 신호와 스펙트럼 및 별자리도에서 유사성을 보였으며, 평균제곱오차(MSE)는 약 6.8 dB²로 측정되었다. 이는 소규모 데이터와 단순한 모델만으로도 실제와 유사한 신호 생성이 가능함을 입증하였다.

I. 서 론

본 논문에서는 무선통신 신호 생성 및 분석의 기존 방식인 수학적 모델이 실제 환경의 복잡한 특성(간섭, 비선형성, 잡음)을 완전히 반영하기 어렵다는 한계에서 출발하고 있다. 이러한 문제 해결을 위한 대안으로, 본 연구는 인공지능 기술, 특히 생성적 적대 신경망(GAN, Generative Adversarial Network)을 활용하여 실제 데이터의 분포를 학습하고, 이를 통해 실제와 유사한 새로운 신호를 생성하는 접근법에 주목하고 있다. GAN 은 학습 데이터를 바탕으로 수학적 단순화 과정 없이도 실제와 비슷한 신호 특성을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 따라서 본 연구를 통해 GAN 기반 신호 생성의 효용성을 입증하고 기존 신호와의 차별성을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

II. 본론

본 논문에서는 QPSK(Quadrature Phase-Shift Keying) 데이터셋을 구성하고, 이를 학습시키기 위한 GAN 기반 알고리즘을 설계하여 실험을 수행하였다.

1. 실험 환경 및 알고리즘 설계

GAN 은 생성자(Generator)와 판별자(Discriminator)라는 두 개의 신경망으로 구성된다. 생성자는 입력된 잡음을 바탕으로 새로운 데이터를 만들고, 판별자는 그 데이터가 실제인지 가짜인지를 구별한다. 이 두 네트워크가 경쟁적으로 학습하면서 점차 실제와 유사한 데이터를 생성할 수 있게 된다.

실험에 사용된 데이터셋은 약 5 천 개의 QPSK 심볼로 구성되었으며, 각 심볼은 In-phase(I) 및 Quadrature(Q)

성분으로 표현되었다. 이를 정규화하여 GAN 학습에 사용하였다.

GAN 모델은 복잡한 합성곱신경망(CNN)이나 순환 신경망(RNN)구조 대신 단순한 다층 퍼셉트론(MLP) 구조로 구현되었으며, 생성자는 잡음을 입력받아 QPSK 신호를 출력하고 판별자는 입력 신호가 실제인지 생성된 것인지를 구분하도록 학습되었다. 제안한 알고리즘은 다음과 같은 단계로 이루어져 있다:

Step 1. 데이터셋 구성

Step 2. 생성자 학습

Step 3. 판별자 학습

Step 4. 경쟁적 학습

표 1. QPSK 데이터셋의 일부

Sample No.	In-phase (I)	Quadrature (Q)
1	+0.707	+0.707
2	-0.707	+0.707
3	-0.707	-0.707
4	+0.707	-0.707
5	+0.707	+0.707

본 연구에서 GAN 학습에 사용된 QPSK 데이터셋의 일부를 나타낸 것이다. 각 데이터는 In-phase(I)와 Quadrature(Q) 두 성분으로 구성되어 있으며, 총 약 5,000 개의 심볼을 생성하여 학습에 사용하였다.

2. 실험 결과 및 기존 연구 대비 의의

실험 결과, GAN 이 생성한 QPSK 신호는 실제 신호와 전반적으로 유사한 특성을 보였음을 확인하였다.

별자리도 비교: 그림 1 은 실제 QPSK 신호와 GAN 이 생성한 신호를 비교한 별자리도이다. 생성된 신호의 심볼 위치는 실제 신호와 유사한 분포를 보여 신호 품질이 양호함을 시각적으로 입증하였다.

스펙트럼 비교: 그림 2 는 실제 QPSK 신호와 GAN 신호의 스펙트럼 비교 결과이다. 분석 결과, 두 신호의 스펙트럼은 전반적으로 유사하게 나타났으며, 평균제곱오차(MSE)는 약 6.8 dB²로 계산되었다. 이로써 GAN 이 단순한 구조와 적은 데이터만으로도 실제 신호를 효과적으로 모사할 수 있음을 확인하였다.

그림 1. 실제 QPSK 신호와 GAN 신호의 별자리도 비교

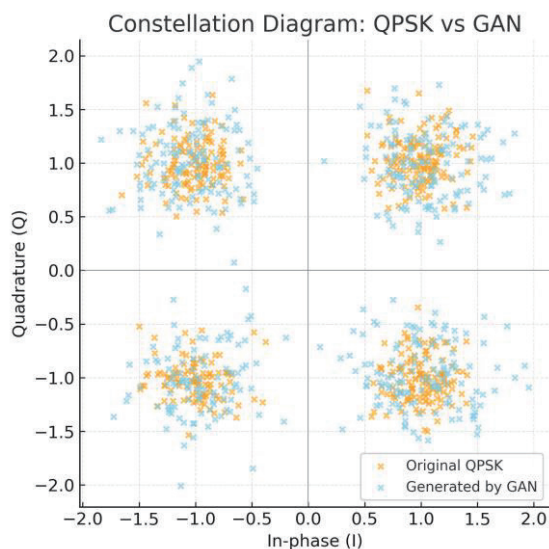
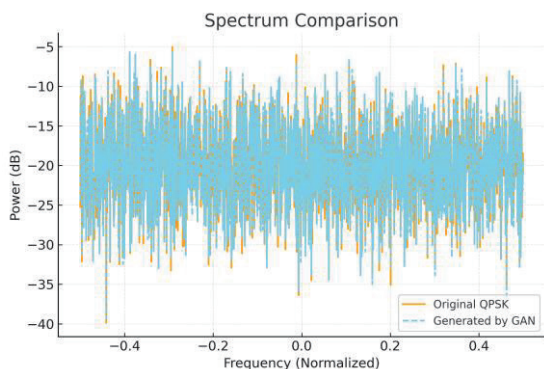


그림 2. 실제 QPSK 신호와 GAN 신호의 스펙트럼 비교



기존 연구와의 차별성

기존 연구에서는 주로 수학적 모델을 이용하거나, 혹은 복잡한 GAN 구조를 통해 다양한 변조 방식을 학습하는 방식이 많았다. 예를 들어 최근 2023 년에 발표된 "OFDM Signal Generation Based on GAN" 연구에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 같은 복잡한 변조 방식을 대상으로 하여 시간-주파수 특성을 동시에 학습하기 위해 이중 판별자 구조(Dual Discriminator)를 갖춘 GAN 모델을 사용하였다.[7] 이 연구는 수십만 개 이상의 신호 데이터를 필요로 했으며, GPU 기반의 대규모 계산 자원이 요구되었다.

반면 본 논문은 단일 변조 방식인 QPSK 를 대상으로 하여 약 5,000 개의 심볼 데이터만을 이용하였고, 단순한 다층 퍼셉트론 구조의 GAN 만으로도 실제 신호와 유사한 스펙트럼 특성을 확인할 수 있었다. 즉, 기존 연구가 대규모 데이터와 복잡한 구조를 요구했다면, 본 연구는 약 100 배 이상 적은 데이터셋과 단순한 모델을 통해 학부 수준에서도 구현 가능한 성과를 제시했다는 점에서 차이가 있다.

III. 결론

본 논문에서는 GAN 을 이용한 QPSK 신호 생성 및 분석 결과를 정리하였다. GAN 모델은 소규모 데이터셋과 단순한 구조만으로도 실제와 유사한 QPSK 신호를 생성할 수 있었다. 분석 결과 스펙트럼과 별자리도에서 실제 신호와 유사성이 확인되었고, 평균제곱오차는 약 6.8 dB²로 나타났다. 이는 학부 수준 연구에서도 GAN 을 활용한 무선통신 신호 연구가 가능함을 보여준다. 향후 연구에서는 QAM, OFDM 등 다양한 변조 방식을 적용하고 실제 채널 환경을 포함한 실험을 통해 GAN 의 적용 가능성을 확대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] I. Goodfellow et al., "Generative Adversarial Nets," NeurIPS, 2014.
- [2] T. O'Shea and J. Hoydis, "An Introduction to Deep Learning of the Physical Layer," IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, 2017.
- [3] C. Esteban et al., "Real-valued(Medical) Time Series Generation with Recurrent Conditional GANs," NeurIPS, 2017.
- [4] H. Ye, G. Y. Li, and B.-H. Juang, "Power of Deep Learning for Channel Estimation and Signal Detection in OFDM Systems," IEEE Communications Letters, 2018.
- [5] J. Rajendran et al., "Adversarial Machine Learning in Wireless Communications," IEEE Communications Magazine, 2019.
- [6] Z. Jiang et al., "Artificial Intelligence-Aided OFDM Receiver: Design and Experimental Results," IEEE Transactions on Wireless Communications, 2019.
- [7] "OFDM Signal Generation Based on Generative Adversarial Network," Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2023.