

# 합성곱 신경망을 이용한 자동 변조 분류 기법 설계와 성능 분석

오영우, 최우열\*

조선대학교

snlyoungwoo@gmail.com, \*wyc@chosun.ac.kr

## Design and Performance Analysis of Automatic Modulation Classification Using Convolutional Neural Network

Youngwoo Oh, Wooyeol Choi\*

Chosun University

### 요약

본 논문은 합성곱 신경망(Convolutional neural network, CNN)을 이용하여, 자동 변조 분류 기법을 설계 및 구현한다. 입력데이터는 Inphase-quadrature(I/Q) 데이터를 이용하여 3개의 아날로그 변조와 8개의 디지털 변조를 포함한 11종에 대하여, 5-25dB까지 다양한 신호 대 잡음 비율(Signal to noise ratio, SNR) 환경에서의 변조 인식 성능을 분석하였다. 실험 결과를 통해, CNN 기반 자동 변조 분류 기법이 타 기법들과 비교해 월등히 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였으나, 신호 대 잡음 비율에 따른 분류 정확도의 편차와 M-PSK 계열 변조 간 오인식 문제를 보인다. 따라서, 이러한 식별 정확도의 개선을 위해 상황에 맞는 적절한 학습데이터 선정 및 신경망 구조의 최적화가 요구된다.

### I. 서론

자동 변조 분류(Automatic modulation classification, AMC)는 무선 통신 시스템에서 전송 신호에 대한 사전 정보 없이 수신 신호의 변조 방식을 예측하는 기술이다. 특히, 군사 통신에서의 적 신호 탐지와 인지 통신 분야에서의 사용자 신호를 블라인드 검출하기 위해 사용된다.

전통적인 자동 변조 분류 기법으로는 우도 함수 기반(Likelihood-based, LS)의 기법[1]과 특징값 기반(Feature-based, FB) 기법[2]이 존재한다. 우도 함수 기반의 기법은 최적의 성능을 제공하지만, 수신 신호에 대한 정확한 사전 정보가 요구된다. 반면 특징값 기반의 분류 기법에서는 수신 신호의 주기적 특성을 추출하는 방법에 따라 성능의 편차가 크게 나타난다.

이러한 한계점들을 극복하고자 최근 딥러닝(Deep learning, DL) 기반의 자동 변조 분류 기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대다수의 기법이 가우시안 채널에 대해서 설계되어, 페이딩 환경에서의 불안정한 예측 성능을 보인다[3]. 따라서, 본 논문에서는 페이딩 환경을 고려한 합성곱 신경망 기반의 자동 변조 분류를 설계하고, 신호 대 잡음 비율의 변화에 따른 인식 정확도 성능의 평가를 수행한다.

### II. 본론

#### 2.1 페이딩을 고려한 데이터셋 구성

본 연구에 활용된 데이터셋은 총 105,243개의 프레임으로 구성된다. 각 프레임의 길이는 1,024개의 샘플로 구성되며, 샘플 당 8개의 심볼을 적용하였다. 총 변조 종류는 11개로 표 1과 같이 디지털 변조 8개와 아날로그 변조 방식 3개로 도출하였다. 이때, 전체 11개 클래스를 가지며, 클래스별로 최소 10,000개의 프레임이 사용되었다. 신호 대 잡음 비율은 5dB에서 25dB이며 5dB의 간격으로 각 프레임을 생성하며, 채널에 의해 손실되는 합성 파형을 생성하기 위해, Rayleigh fading, AWGN, 주파수-클록 오프셋 등을 통해 손상된 I/Q 신호를 수집하였다. 해당 디지털 변조 유형의 중

Number of training frame	78,540 (75%)
Number of validation frame	15,708 (15%)
Number of test frame	10,995 (10%)
Sample length	1024
SNR (dB)	5dB~25dB
Modulation type (11)	BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-QAM, 64-QAM, PAM4, GFSK, CPFSK, B-FM, DSB-AM, SSB-AM

표 1. 자동 변조 분류를 위한 데이터셋

심주파수는 902MHz, 아날로그 변조 유형의 중심주파수는 100MHz로 지정하였다.

#### 2.2 CNN 기반의 자동 변조 분류

본 논문에서는 실제 무선 채널에서 나타날 수 있는 현상들을 반영하기 위해, 변조 신호에 대한 Rayleigh fading, 위상 회전 및 AWGN 특성이 반영된 다양한 입력데이터를 생성하였다. 이때, 전체 데이터 중 학습데이터는 75%, 검증데이터 15%, 실험에 사용되는 데이터를 10%로 적용하였으며, 최대 학습 회수(epoch)는 15회, 배치사이즈는 512로 설정하였다.

사용된 CNN 모델의 경우, 6개의 합성곱 계층과 1개의 완전 연결 계층으로 구성된다. 합성곱 계층은 배치 정규화 계층과 ReLU 활성화 함수 계층, 최대값 풀링 계층으로 구성되었으며, 신호 대 잡음 비율 변화에 따른 정확도에 대한 성능 분석을 수행한다.

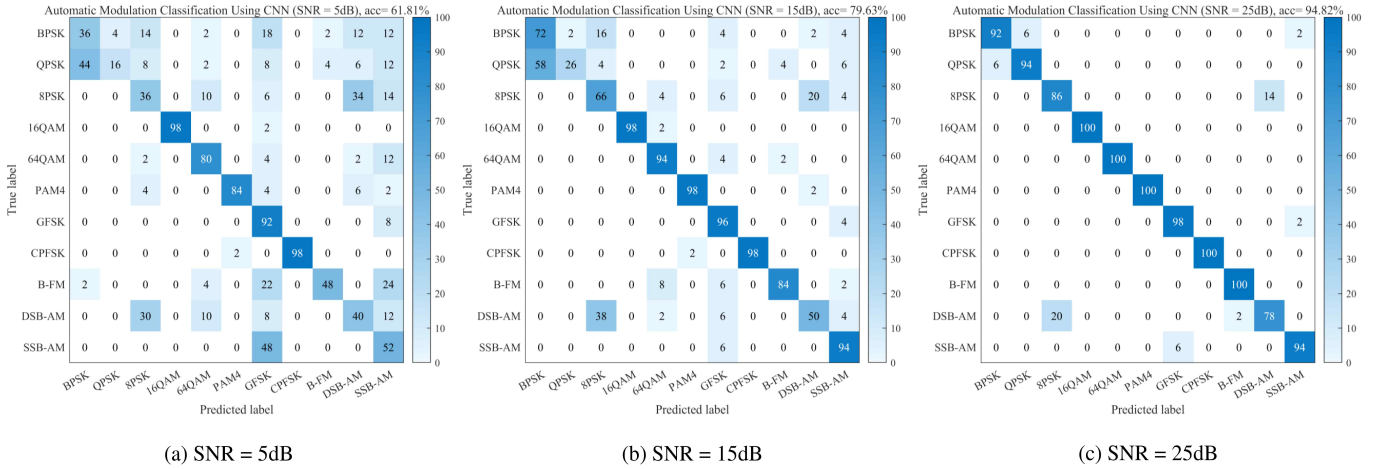


그림 1. 신호 대 잡음 비율 변화에 따른 CNN 기반 자동 변조 분류의 혼동행렬

### 2.3 시뮬레이션 결과 분석

그림 1은 SNR 변화에 따른 CNN 기반 자동 변조 분류의 정확도를 혼동행렬(Confusion matrix, CM)로 표현한 결과를 보여준다. 비교적 신호 대 잡음 비율이 낮은 그림 1(a)의 경우, 페이딩 및 주파수·위상 오프셋 등으로 인해 전체적으로 변조 분류의 정확도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 1(b)는 비교적 신호 품질이 개선된 환경에서의 변조 분류 성능을 나타낸다. (a)에 비해, BPSK, 8-PSK, 64-QAM, PAM4, SSB-AM 변조에 대한 분류 성능이 크게 개선되었으며, 오인확률 또한 일정 수준 감소하였다. 그러나, BPSK, QPSK, DSM-AM과 같은 일부 변조 분류에서는 여전히 낮은 정확도를 보인다.

신호 대 잡음 비율이 높은 그림 1(c)에서는 기존에 발생하는 오인확률이 크게 개선되었음을 확인할 수 있다. 그러나, M-PSK 계열의 디지털 변조 신호 간 오인식 문제가 존재하는데, 이는 I/Q 데이터를 생성하는 과정에서 추가되는 주파수·위상 오프셋과 Rayleigh fading 채널 통과에 따른 constellation의 위상 회전으로 인해 발생한다. 또한, 이러한 위상 변화는 변조 신호 간의 유사성을 증가시키며, 결과적으로 신경망의 학습 성능에 영향을 준다.

그림 2는 자동 변조 분류 기법에 따른 변조 예측 성능을 나타낸다. 이때, CNN 기반의 자동 변조 분류 기법은 기존의 방식들과 비교해 29~47%가량의 개선된 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 신호 대 잡음 비율 정도에 따라 정확도의 편차가 커지는 것 역시 확인할 수 있다. 따라서, 안정적인 성능을 보장하기 위해 상황에 맞는 적절한 학습데이터를 선정하거나, 신경망 구조의 최적화를 통하여 변조 분류 성능의 신뢰성을 회복할 수 있을 것으로 예상된다.

### III. 결론

본 논문에서는 CNN 기반의 자동 변조 분류 기법을 설계 및 구현하였으며, 주파수 및 위상 오프셋과 Rayleigh fading 채널 특성을 고려한 상황에서의 SNR 변화에 따른 변조 정확도 성능을 평가하였다. 실험 결과를 통해, CNN 기반의 변조 분류 기법이 타 기법들과 비교해 월등히 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였으나, 신호 대 잡음 비율에 따른 분류 성능의 편차와 M-PSK 계열 간 오인식 문제를 보인다. 따라서, 향후 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 최소 평균 제곱(Least mean squares, LMS) 기반의 채널 등화를 입력데이터에 적용하여, 개선된 CNN 기반 자동 변조 분류 기법을 설계 및 구현할 예정이다.

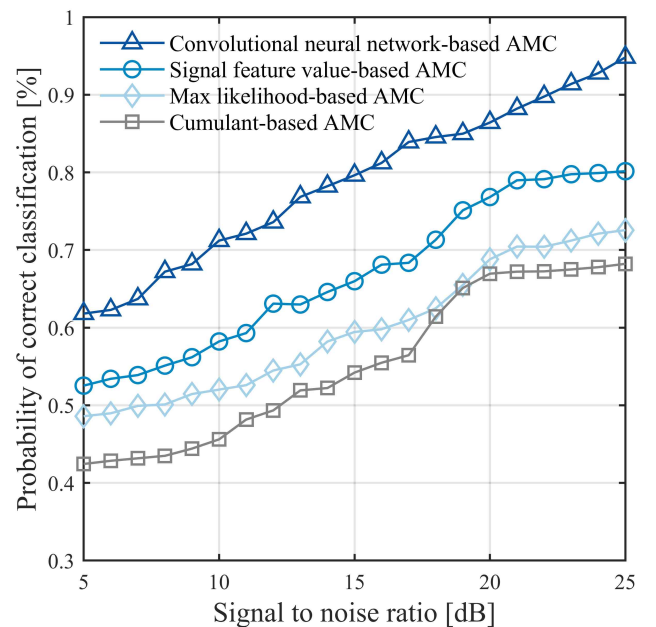


그림 2. 자동 변조 분류 기법에 따른 예측 정확도 비교

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. NRF-2019R1F1A1063345)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음 (2017-0-00137).

### 참고 문헌

- [1] F. Hameed, O. A. Dobre and D. C. Popescu, "On the likelihood-based approach to modulation classification." in *IEEE Transac. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 12, pp. 5884-5892, Dec. 2009.
- [2] V. D. Orlic and M. L. Dukic, "Automatic modulation classification algorithm using higher-order cumulants under real-world channel conditions." in *IEEE Communications Letters*, vol. 13, no. 12, pp. 917-919, Dec. 2009.
- [3] 김정현, 김아경, 유소영. "자동 변조 분류를 위한 딥러닝 기법들의 성능 분석." *한국통신학회 학술대회논문집 (2020)*. pp. 26-27.