# OFDM 시스템에서 딥러닝을 활용한 블라인드 샘플링률 추정에 관한 연구

이예철, 백채희, 김정창
국립한국해양대학교

ddc5858@g.kmou.ac.kr, ggamsoon2504@g.kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr

# A Study on the Blind Sampling Rate Estimation For OFDM Systems Using Deep Learning

YeCheol Lee, ChaeHui Back, Jeongchang Kim
Korea Maritime & Ocean University (KMOU)

요 약

본 논문은 1-D CNN(Convolutional Neural Network) 모델을 이용하여 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)신호의 샘플링률(sampling rate)을 사전 정보 없이 추정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 먼저 수신 신호를 충분히 높은 샘플링률로 캡처하여 유효 OFDM 심볼 길이와 OFDM 신호의 FFT(fast Fourier transform) 사이즈를 추정한다. 수신기가 사용하는 샘플링률에 기반하여 추정된 유효 OFDM 심볼 길이에 해당하는 샘플 수를 구하고 이 값과 OFDM 신호의 FFT 사이즈의 비율을 구함으로써 수신기가 사용하는 샘플링률과 실제 OFDM 신호의 샘플링률의 비율을 얻고 최종적으로 OFDM 신호의 샘플링률을 계산한다. OFDM 신호의 FFT 사이즈 추정을 위하여 기존 연구에서 적용한 FWB(FFT Window Banks)-CNN 구조를 사용한다. 본 논문에서는 다양한 대역폭의 OFDM 신호들을 1-D CNN 모델에 학습시켜 OFDM 신호의 FFT 사이즈 추정 성능을 향상시킨다.

## Ⅰ. 서 론

드론이 공격용으로 사용되기 시작한 것은 2000 년대 초반 미 공군이 무인공격기(UCAV)로 사용하기 시작하면서부터였다. 점차 드론의 공격 목표는 차량이나 진지로부터 전투원까지 타격 대상의 범위가 넓어지고 있는 상황이며 이로 인해 전선에서 작전을 수행하는 소부대에 대한 드론의 위협은 더 이상 무시할 수 없는 수준이 되었다[1].

특히 FPV(First Person View) 드론의 경우, 2022 년에 발발한 러시아-우크라이나 전쟁을 시작으로 전술적 운용 사례가 식별되고 있으며, FPV 는 핵심 부품들로만 구성된 단순한 구조와 저렴한 비용 등의 장점을 지니고 있어 사용 비율이 점차 늘어나고 있다. 이러한 흐름 속에서 중국의 DJI 사는 2022 년 FPV 드론인 “DJI Avata”를 선보였으며[2], FPV 시장의 성장세와 함께 DJI 사의 드론은 전술적인 영역에서도 주목받기 시작했다.

이러한 드론을 탐지하기 위하여 사용되는 방법 중 하나로서 드론 통신 신호를 분석하여 드론을 탐지할 수 있다. 본 논문에서는 드론 통신에 주로 많이 사용되는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호를 분석하기 위하여 OFDM 신호의 샘플링률(sampling rate)을 사전 정보 없이 추정하는 방법을 다룬다. 수신단의 유효 OFDM 심볼 길이는 수신 신호의 자기상관을 통해 추정하고 참고문헌[4]의 FWB(FFT Window Banks)-CNN 모델을 활용해 OFDM 신호의 FFT 사이즈를 추정한다. 따라서 추정한 유효 OFDM 심볼 길이와 OFDM 신호의 FFT 사이즈로부터 수신기가 사용하는 샘플링률과 실제 OFDM 신호의 샘플링률의 비율을 알아낼 수 있으며, 이로부터 OFDM 신호의 샘플링률을 추정할 수 있다.

## Ⅱ. 본론

수신기에서는 충분히 높은 샘플링률로 수신 신호를 캡처한다. 캡처된 수신 신호의 자기상관을 통해 유효 OFDM 심볼 길이 $N_{oversampled}$ 를 추정한다. 여기서 추정된 유효 OFDM 심볼 길이는 수신기가 사용하는 샘플링률에 따른 샘플 수로 나타낼 수 있다. 본 논문에서 1-D CNN 을 활용한 OFDM 신호의 FFT 사이즈 추정은 참고문헌[4]의 FWB-CNN 방법을 기반으로 한다. 여기서 FWB 는 1-D CNN 모델에 입력될 데이터를 생성하는 전처리 단계이다. OFDM 신호의 FFT 사이즈에 대한 후보들을 $M$개 설정하고, 각 후보의 FFT 사이즈를 $N_i$ $(i = 1, \cdots, M)$ 라고 하자. 각 FFT 사이즈 후보와 앞에서 추정한 유효 OFDM 심볼 길이의 비율을 가지고 수신 신호를 리샘플링(resampling)한다. 수신기는 충분히 높은 샘플링률을 사용한다고 가정하므로 리샘플링을 통하여 샘플링률은 감소한다.

리샘플링된 신호에 대해 고정된 $FFT$ 크기 $K$로 FFT 를 수행한다. 그러면, $i$ 번째 후보군의 FWB 출력은 수식 (1)과 같다.

$$FWB_{N_i}^{K} = \{F_{N_i}^{K}(0), \cdots, F_{N_i}^{K}(K-1)\}, \qquad 1 \le i \le M \tag{1}$$

여기서 $F_{N_i}^{K}$는 수식 (2)와 같이 정의된다.

$$F_{N_i}^{K}(k) = \sum_{n=0}^{N_i - 1} r_{resample}(n) e^{-j2\pi k/K} \tag{2}$$

수식 (2)에서 $r_{resample}(n)$은 $N_i$와 $N_{oversampled}$의 비만큼 리샘플링된 신호이다. 그림 1 은 FWB 의 동작 흐름도를 나타낸 것이다. 또한 본 논문에서 사용한 FWB 관련 파라미터는 표 1 과 같다.

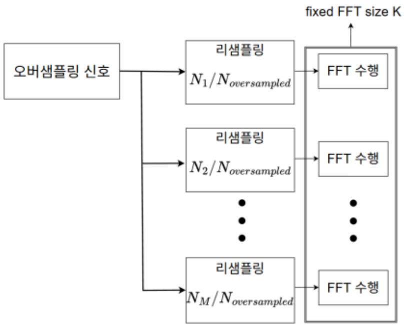


그림 1. FWB 동작 흐름도

표 1. FWB 관련 파라미터

| | |
|---|---|
| OFDM 신호 FFT 사이즈 후보군 | 128, 256, 512, 1024, 2048 |
| FWB의 FFT 크기 | 4096 |

FWB 의 전처리를 거친 뒤에는 CNN 모델을 활용하여 학습 및 OFDM 신호의 FFT 사이즈를 추정하게 된다. 기존 참고문헌[4]의 FWB-CNN 모델에서는 대역폭이 고정된 OFDM 신호만 사용하여 학습했다. 본 논문에서 분석하고자 하는 OFDM 신호에 대해서는 차지하는 대역폭을 모른다고 가정한다. 따라서, 다양한 대역폭을 갖는 OFDM 신호를 학습해야 OFDM 신호의 FFT 사이즈를 정확히 추정할 수 있다. 본 논문에서는 다양한 대역폭의 OFDM 신호들을 생성하고 이를 1-D CNN 모델에서 학습시켰다. 1-D CNN 모델에 학습시킨 데이터셋은 표 2 와 같다. 또한 1-D CNN 모델 학습 구조는 그림 2 와 같다.

표 2. 1-D CNN 모델 학습 데이터셋

| Modulation | QPSK |
|---|---|
| 서브캐리어 비율 | 50% ~ 90% (10% 단위) |
| CP 길이 | $\frac{1}{4}$ * FFT Size |
| SNR 범위 | -10 dB ~ 10dB (5dB 단위), 20dB, 30dB |
| 학습 Segment | 358,400 [Segments] |
| 성능 평가 Segment | 17,500 [Segments] |

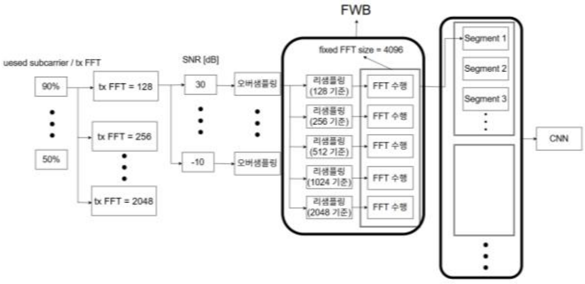


그림 2. CNN 모델 학습 및 테스트 구조

표 2 에서 부반송파 비율은 전체 FFT 사이즈에 해당하는 대역폭 대비 실제 OFDM 신호가 차지하는 비율을 의미한다. 본 논문에서는 50%~90%까지 10% 간격으로 대역폭을 설정하여 OFDM 신호를 생성했다. 그림 2 에서 Segment 들은 FWB 의 출력값으로서 각 후보군에 대한 FFT 결과의 집합을 나타낸다. CNN 모델 학습 시 batch 사이즈는 256, epoch 수는 100, 학습률(learning rate)은 0.01 로 초기 설정하였다. 또한, 학습률은 참고문헌 [4]의 방식과 동일하게 10 epoch 마다 1/10 씩 감소시키는 방식을 적용하였다.

그림 2 의 구조로 테스트 데이터를 생성한 후 CNN 모델을 사용하여 OFDM 신호의 FFT 사이즈를 추정한 결과는 그림 3 과 같다. 그림 3 에서 볼 수 있듯이 다양한 대역폭과 SNR 조건에서도 OFDM 신호의 FFT 사이즈를 정확하게 추정할 수 있음을 확인할 수 있다.

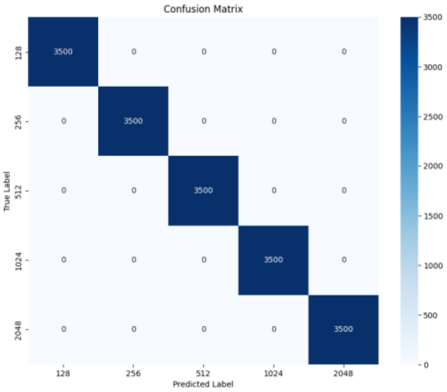


그림 3. 1-D CNN 모델 분류 성능

## Ⅲ. 결론

본 논문에서는 1-D CNN 모델을 이용하여 OFDM 신호의 샘플링률을 사전 정보 없이 추정하는 방법을 제시하였고, 다양한 대역폭과 SNR 조건에서도 OFDM 신호의 FFT 사이즈를 정확하게 분류함을 확인하였다. 또한, 추정된 FFT 사이즈를 이용하여 OFDM 신호의 샘플링률을 추정할 수 있다. 추정된 샘플링률을 사용하여 수신 OFDM 신호를 복조하고 분석하는 것이 가능할 것이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로

과학기술사업화진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-

25443520).

## 참 고 문 헌

[1] 최현호. (2025, 9). 소부대 대드론 전투를 위한 장비들 : 전투원 위협하는 드론에 대응할 다양한 장비들. 국방과 기술,(559), 104-111.

[2] 서강일, 조상근, 박상혁. (2023). 우크라이나 군의 FPV 드론 전투 사례 연구. 문화기술의 융합, 9(3), 263-270.

[3] Shamir, A. "On the security of DES," Advances in Cryptology, Proc.Crypto '85, pp. 280-285, Aug. 1985.

[4] M. C. Park and D. S. Han, "Deep Learning-Based Automatic Modulation Classification With Blind OFDM Parameter Estimation," in *IEEE Access*, vol. 9, pp.