

## 딥러닝을 이용한 단일 펄스 기반 에미터 분류에서 Zero-padding의 영향에 관한 연구

김경민, 송규하, 정인환, 박현규, 김산해, 이종환, 장민규

국방과학연구소

gmkim@add.re.kr

## A Study on the Impact of Zero-Padding in Deep Learning-Based Single-Pulse Emitter Classification

G. M. Kim, K. H. Song, I. H. Jeong, H. G. Kwak, S. H. Kim, J. H. Lee, M. G. Jang

Agency for Defense Development

## 요약

최근 딥러닝 기술의 발전과 함께 딥러닝 기반으로 펄스 파형에 나타나는 비의도적 변조 특성을 이용해 에미터를 분류하는 연구가 주목을 받고 있다. 딥러닝 모델을 이용하는 경우 배치 학습을 위하여 입력 길이를 통일해주어야 하는데, 그 과정에서 일반적으로 Zero-padding을 이용하게 된다. 본 논문에서는 실제 수집한 선박용 레이더 펄스 신호를 이용하여 딥러닝 기반 에미터 분류를 수행하는 과정에서 Zero-padding의 크기가 학습 과정에 미치는 영향에 대해 제시한다.

## I. 서론

전자전의 중요도가 높아짐과 함께 레이더 운용 대수가 계속해서 늘어나고 있으며 운용 변수의 증점도 또한 증가하고 있다[1]. 이러한 환경에서 펄스열의 펄스 반복 주기, 펄스폭 등의 통계적 정보를 이용하여 기존처럼 에미터(emitter) 신호를 탐지 및 식별하는 방식은 한계를 보이고 있다. Specific Emitter Identification(SEI)은 펄스 파형에 나타나는 비의도적 변조 특성을 이용하여 펄스열이 아닌 수신된 각각의 펄스를 대상으로 에미터 분류를 수행하는 기술로, 최근 딥러닝 기술의 발전과 함께 딥러닝 기반의 SEI 연구가 주목을 받고 있다. 딥러닝을 이용하는 경우 배치 학습을 위하여 입력 길이를 통일해주어야 하는데, 일반적으로 Zero-padding을 통해 입력 길이를 맞추어준다. 본 논문에서는 실제 수집한 선박용 레이더 펄스 신호를 이용하여 에미터 분류를 수행하는 과정에서 Zero-padding의 크기가 학습 과정에 미치는 영향에 대해 제시한다.

## II. 본론

본 논문에서는 Temporal Convolution Network 모델 구조를 이용하여 단일 펄스의 신호를 입력으로 받고 해당 신호의 에미터를 분류하는 SEI 알고리즘을 구현하였다. 정보 손실을 피하고 전처리 과정에서의 오버헤드를 줄이기 위하여 입력 데이터 형태를 I/Q 채널을 가지는 1차원 시퀀스로 설정하였다. 심층신경망 모델 학습 및 테스트에 활용한 데이터는 서해 지역에서 S 대역 및 X 대역의 민간 선박 레이더 신호를 대상으로 상용 계측기를 이용해 수집한 것이며 샘플링 주파수는 640MHz이다. 수집된 레이더 신호들로부터 13개 클래스의 레이더 신호를 분리해내고 레이더별로 100개의 펄스를 추출하였다. 신호 길이는 최소 61ns에서 최대 1.87 $\mu$ s 사이에 분포한다. 모델 학습에서 학습율을  $10^{-3}$ 로, 배치 크기를 64로, L2 패널티를  $10^{-4}$ 로 설정하였다. 본 논문에서는 GPU 효율을 위하여 Dynamic batching이 아닌 전체 길이 통일 방식을 채택하였다.

그림 1 (a)는 입력 크기를 데이터셋의 최대 신호 길이에 맞추어 학습을 수행한 것으로, 850 iterations 경과 후 수렴하였으며 분류 정확도 100%를 보였다. 그림 1 (b)는 입력 크기를 최대 신호 길이의 5배로 통일하여 학습을 수행한 것으로, 수렴까지 1,450 iterations이 걸렸으며 분류 정확도 100%를 보였다. 사용된 데이터셋 조건에서 두 경우 모두 학습 과정이 수

렴하였을 때 100%의 분류 정확도를 나타냈다. 하지만 Zero-padding이 커짐에 따라 학습 효율이 떨어지면서 수렴에 필요한 iteration 수가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

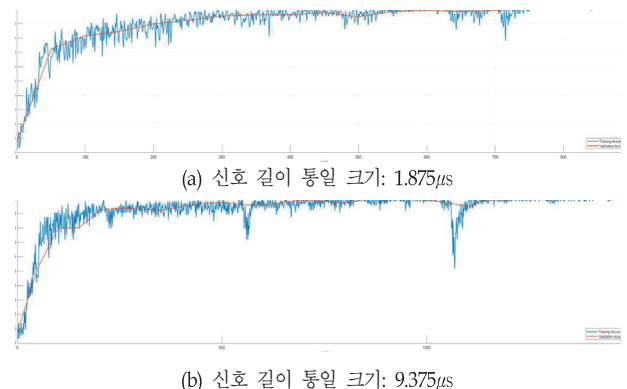


그림 1. 딥러닝 기반 레이더 분류 결과

## III. 결론

본 논문에서는 실제 전자파 환경에서 수집한 선박용 레이더 신호를 이용해 SEI 알고리즘을 구현하고 Zero-padding이 모델 학습에 미치는 영향을 확인하였다. 특히, 펄스폭 크기가 수십  $\mu$ s까지 존재하는 장거리 레이더 등을 고려하여 실제 수집한 신호 길이보다 더 긴 패딩을 추가하는 경우에 대해서도 영향을 확인해보았다. 입력에서 Zero-padding이 차지하는 비율이 증가하면 실제 유효 정보의 비율이 줄어들어 따라 모델이 유용한 패턴을 학습하기 위한 난이도가 올라가 학습 속도가 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 추후 Zero-padding으로 인한 학습 효율 저하를 줄이기 위한 연구를 진행할 예정이다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(방위사업청)의 재원으로 수행된 핵심기술과제 연구임 (912A40201).

## 참고 문헌

[1] S. Robertson, "Practical ESM Analysis," Artech House, 2019.