

U-Net을 이용한 FM 기반 수동형 레이더에서의 표적 탐지기

*박도현, 박근호, 김형남
부산대학교 전자공학과
e-mail : hnkim@pusan.ac.kr

U-Net-based Target Detector for FM-band Passive Radar

*Do-Hyun Park, Geun-Ho Park, Hyoung-Nam Kim
Department of Electronics Engineering
Pusan National University

Abstract

An FM-band passive radar is a radar system that does not emit radio waves directly. Instead, it exploits an FM-radio signal, one of the widely used signals among the broadcast signals. The FM-band passive radar estimates the target information from cross-ambiguity function (CAF). However, due to the FM-radio signal structure, sidelobes may occur in the CAF. This paper proposes a robust target detector for the sidelobe rejection by using the U-Net, a representative model of semantic segmentation. We also analyze our new detector's performance through simulation.

I. 서론

수동형 레이더는 직접적으로 전파를 방출하지 않고 기존 방송 또는 통신 신호를 이용하여 표적에 대한 정보를 추정하는 레이더 시스템이다[1]. 이러한 수동형 레이더는 방송·통신 신호 송신기로부터 직선상으로 수신되는 직접 경로 신호와 표적으로부터 반사되어 수신되는 표적 신호를 수신하여 CAF (cross-ambiguity

function) 를 유도한다. 유도된 CAF의 첨점으로부터 직접 경로 신호와 표적 신호 간의 도달 시간 차이 및 FDOA (frequency difference of arrival)를 알 수 있다. 수동형 레이더는 도달 시간 차이 및 FDOA를 표적 위치와 속도 추정에 활용한다.

수동형 레이더가 표적을 탐지하기 위해 사용할 수 있는 다양한 방송·통신 신호 중 FM 라디오 신호는 국내 대부분의 지역에서 송출되고 있어 상대적으로 신호 수집이 용이하다. 또한 방송 커버리지가 넓어 항공기 탐지를 위한 수동형 레이더의 수신 신호로 사용할 수 있다[2]. 하지만 FM 라디오 신호의 스테레오 구조는 CAF 유도 결과에서 표적에 의한 결과 이외의 부엽 (sidelobe)을 생성할 수 있다[3-4]. 이러한 CAF 상의 부엽은 표적 탐지 과정에서 오탐지를 증가시킬 수 있기 때문에 부엽에 의한 탐지 결과는 제거해야 할 대상이 된다.

본 논문은 의미론적 분할(semantic segmentation)에 사용되는 대표적인 모델 중 하나인 U-Net 모델을 사용하여 FM 라디오 기반 수동형 레이더의 표적 탐지를 구현할 수 있음을 보인다. 모의실험 결과를 통해 기존의 탐지 알고리즘인 CA-CFAR (cell averaging constant false alarm rate) 탐지 알고리즘[5]과 성능 비교를 수행한다.

II. U-Net 기반 표적 탐지기

2.1 FM 라디오 기반 수동형 레이더

FM 라디오 기반 수동형 레이더는 송출되는 FM 라디오 신호를 이용하여 표적에 대한 정보를 추정한다. 그러나 FM 라디오 신호의 구조로 인하여 유도된 CAF의 바이스태틱 거리 축 또는 FDOA 축으로 부엽이 나타날 수 있다. 그림 1은 FM 라디오 신호의 메시지 신호가 음성일 때 유도된 CAF를 나타낸 것으로서, 표적에 의한 주엽(mainlobe)을 중심으로 바이스태틱 거리 축의 방향에 대해 부엽이 형성된 것을 확인할 수 있다. 이러한 CAF 유도 결과에 존재하는 부엽은 수동형 레이더의 표적 탐지 성능을 저하시킬 수 있다.

2.2 CAF에서의 의미론적 분할

본 논문에서는 딥 러닝 응용 분야 중 하나인 의미론적 분할 방법을 이용한 새로운 표적 탐지 알고리즘을 제안한다. 표적 탐지를 수행하기 위해 U-Net 모델을 사용하였고, U-Net 모델은 합성곱 신경망을 사용하여 이미지에 대한 특징을 추출하는 인코더 부분과 추출된 특징을 이용하여 각각의 픽셀에 대한 확률 맵(probability map)을 생성하는 디코더 부분으로 구성되어 있다[3]. 이러한 U-Net 모델을 사용하여 표적 탐지를 설계함으로써 CAF 내에 존재하는 표적에 대한 정확한 탐지가 가능하다.

표적 탐지기 구현을 위해 기존 U-Net 모델과 동일한 구조에서 입력 이미지와 출력 이미지가 192×384 픽셀 크기를 갖도록 수정된 신경망 구조를 사용하였다. 그림 2는 U-Net 모델을 사용하여 구현한 표적 탐지기에 그림 1과 같은 CAF 유도 결과를 입력하여 출력된 확률 맵이다. 부엽이 존재하였던 위치에는 표적이 존재할 확률이 낮게 부여된 것을 확인할 수 있다. 이러한 확률 맵에 임계값 0.5를 부여함으로써 그림 3과 같이 표적 탐지 결과를 획득할 수 있다.

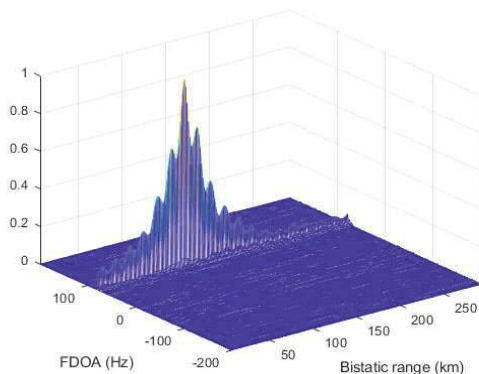


그림 1. 음성 메시지를 사용하여 유도한 CAF 결과

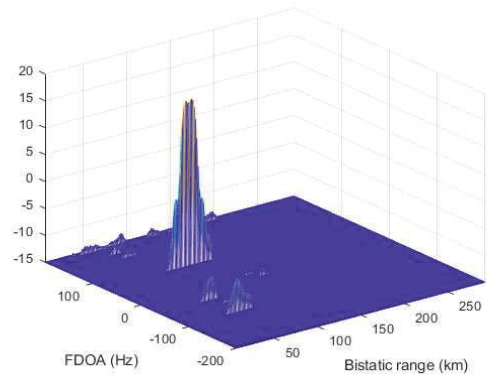


그림 2. 입력된 CAF 유도 결과에 해당하는 표적에 대한 확률 맵

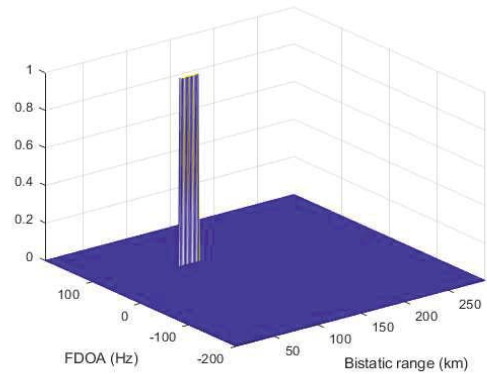


그림 3. 확률 맵에 임계값을 적용함으로써 획득한 표적 탐지 결과

III. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통해 제안하는 U-Net 기반 표적 탐지기와 기존의 표적 탐지 알고리즘인 CA-CFAR 알고리즘과의 성능 비교 결과를 제시한다. U-Net 기반 표적 탐지기를 훈련시키기 위해 모의실험으로 생성한 10,300개의 CAF 유도 결과를 훈련 데이터의 입력으로 사용하였다. 또한 표적으로부터 생성된 주엽의 최대 전력으로부터 절반이 되는 전력에 대응하는 CAF 유도 결과까지 표적으로 탐지하도록 훈련 데이터의 라벨을 생성하였다.

U-Net 기반 표적 탐지기의 신경망 훈련은 Adam 알고리즘을 사용하여 진행하였고[7], 초기 학습률을 0.001으로 설정한 뒤 한 번의 에포크(epoch)마다 학습률에 $\gamma=0.975$ 를 곱하여 학습률을 줄여나가도록 하였다. 또한 배치 사이즈(batch size)는 5로 설정하였고 에포크 값을 50으로 정하여 전체 데이터를 50번 사용하도록 훈련을 진행하였다.

표 1. CA-CFAR 탐지기와 제안하는 탐지기의 IoU 비교

탐지 알고리즘	표적 클래스에 대한 IoU
CA-CFAR	0.518
U-Net 기반	0.617

이와 같이 훈련된 표적 탐지기의 성능을 평가하기 위해 의미론적 분할 모델의 성능 평가 척도로 활용되는 IoU (intersection over union)를 사용하였다. IoU는 예측 탐지 결과와 실제 탐지 결과 간의 교집합 영역의 넓이를 합집합 영역 넓이로 나눔으로써 계산할 수 있다.

IoU 계산을 위해 음원 메시지 300개와 음성 메시지 300개를 이용하여 훈련 데이터 생성 방법과 동일하게 테스트 데이터를 생성하였다. 제안하는 탐지기의 성능 분석을 위해 CA-CFAR 탐지 알고리즘과 비교하였고, 테스트 데이터를 이용하였을 때 가장 높은 IoU를 갖는 오탐지 확률인 10^{-20} 을 CA-CFAR 탐지기의 오탐지 확률로 설정하였다.

각각의 표적 탐지 알고리즘에 대한 IoU 계산 결과는 표 1과 같다. U-Net 기반 표적 탐지기는 CA-CFAR 탐지 알고리즘과는 달리 부엽에 대한 탐지를 수행하지 않으므로 표적 탐지 성능이 CA-CFAR보다 더 우수한 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 딥 러닝 기반 이미지 분할 모델인 U-Net 모델을 사용하여 FM 라디오 기반 표적 탐지기를 구현할 수 있음을 보였다. 구현한 U-Net 기반 표적 탐지기는 부엽에 대한 탐지를 수행하지 않음으로써 기존의 CA-CFAR 알고리즘보다 더 좋은 표적 탐지 성능을 가짐을 모의실험을 통해 확인하였다. 향후에는 의미론적 분할 모델을 기반으로 수신 신호에 대한 정보를 추가로 활용할 수 있는 모델을 설계하여 높은 성능을 가지는 새로운 딥 러닝 기반 표적 탐지기에 대한 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2017R1D1A1B04035230)

참고문헌

- [1] 박근호, 손소영, 김형남, "FM 방송 기반 수동형 레이다 구현 및 표적 탐지 결과 분석," 한국통신학회 논문지, vol. 44, no. 6, pp. 1201-1209, 2019년 6월.
- [2] N. J. Wills and H. D. Griffiths, *Advances in Bistatic Radar*, SciTech Inc., 2007.
- [3] 손소영, 박근호, 안준일, 송규하, 김형남, "FM 기반 PCL 시스템에서 표적 탐지 성능 개선을 위한 바이스태틱 거리 부엽 억제 기법," 한국통신학회논문지, vol. 44, no. 6, pp. 1128-1139, 2019년 6월.
- [4] 박도현, 박근호, 김형남, "FM 라디오 기반 수동형 레이다에서 FDOA 측 부엽에 의한 오탐지 결과 제거 방법," 한국통신학회논문지, vol. 45, no. 10, pp. 1739-1748, 2020년 10월.
- [5] P. P. Gandhi and S. A. Kassam, "Analysis of CFAR processors in non-homogeneous background," *IEEE Trans. Aerospace and Electron. Syst.*, vol. 24, no. 4, pp. 427-445, Jul. 1988.
- [6] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox. "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation." *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*. vol. 9351, pp. 234 - 241, May 2015.
- [7] Kingma, Diederik, and Jimmy Ba. "Adam: A method for stochastic optimization." *arXiv preprint arXiv:1412.6980*, 2014.