

FM 라디오 기반 수동형 레이더에서 오탐지 패턴의 분류를 위한 로지스틱 회귀 알고리즘

박도현, 박근호, 김형남[©]

부산대학교

hnkim@pusan.ac.kr[©]

A Logistic Regression Algorithm for Pattern Classification of False detection in FM Radio-based Passive Bistatic Radar

Park Do-Hyun, Park Geun-Ho, Kim Hyoung-Nam

Pusan National Univ.

요약

FM 라디오 기반 수동형 레이더는 FM 방송 신호를 이용하여 표적의 위치와 속도에 대한 정보를 추정해내는 레이더 시스템인데, FM 라디오 신호의 구조로 인하여 바이스태틱 거리 및 FDOA 추정 결과에서 부엽에 의한 오탐지 결과가 나타날 수 있다. 부엽에 의한 오탐지 결과는 수동형 레이더의 표적 탐지 성능을 저하시킬 수 있으므로 이를 적절히 제거하는 방법에 대한 연구가 진행 중이다. 이러한 오탐지 제거 방법을 적용하기 전 오탐지 패턴을 분류한다면 상황에 맞는 적절한 오탐지 제거 방법을 사용할 수 있기 때문에 오탐지 제거의 성능을 높일 수 있다. 이를 위해서 본 논문에서는 기계 학습의 한 방법인 지도 학습을 이용한 오탐지 발생 패턴 분류 방법을 제안하고 모의실험을 통해 이를 확인한다.

I. 서론

FM (frequency modulation) 라디오 기반 수동형 레이더 (passive bistatic radar)는 송신기의 방향에서 직선상으로 수신되는 기준 신호와 표적으로부터 반사되어 수신되는 표적 반사 신호를 이용하여 표적을 탐지 및 표적에 대한 정보를 추정하는 레이더 시스템이다[1]. 수동형 레이더는 기준 신호와 표적 반사 신호를 이용하여 교차 모호함수 (cross-ambiguity function)를 유도한 후, 유도된 교차 모호함수에 CFAR (constant false alarm rate) 탐지[2]를 적용함으로써 표적을 탐지한다. CFAR 탐지 결과로부터 표적의 바이스태틱 거리 (bistatic range)와 FDOA (frequency difference of arrival)를 추정할 수 있고 이로부터 표적의 위치와 속도를 획득할 수 있다[1].

하지만 FM 라디오 신호의 구조로 인해 교차 모호함수에서 바이스태틱 거리 축 혹은 FDOA 축으로 다수의 부엽 (sidelobe)이 발생할 수 있으며, 이는 CFAR 탐지 적용 과정에서 오탐지 결과를 발생시킬 수 있다. 이러한 오탐지 결과는 수동형 레이더의 표적 탐지 성능을 저하시키므로[3], 오탐지 결과 제거 방법이 연구되고 있다[4][5]. 이러한 오탐지 결과 제거 방법은 각각의 오탐지 발생 패턴에 맞게 오탐지를 제거하도록 설계되어 있다. 따라서 오탐지 제거 방법을 적용하기 전 오탐지 패턴을 분류한다면 상황에 맞는 적절한 오탐지 제거 방법의 사용이 가능하므로 오탐지 제거 성능을 높일 수 있다. 본 논문에서는 기계 학습의 한 방법인 지도 학습을 이용하여 오탐지 패턴을 분류하는 방법을 제안하고 이에 대한 모의실험을 진행한다.

II. 로지스틱 회귀를 이용한 오탐지 패턴 분류 방법

표적 검출 결과에 존재하는 부엽에 의한 오탐지 패턴을 분류하기 위하여 본 논문에서는 그림 1과 같이 분류 학습 모델을 설계하였다. 그림 1에서 확인할 수 있듯이 제안한 방법은 수신된 신호에서 특징을 추출하는 과

정과 추출한 특징 및 라벨을 이용하여 학습 모델을 만드는 두 단계로 구성되어 있으며, 이러한 과정은 지도 학습 기반의 분류 방식을 따른다.

2.1 특징 추출

FM 라디오 기반 수동형 레이더에서 유도된 교차 모호함수는 신호의 특징에 따라 서로 다른 경향성을 보이며, 수신된 FM 라디오 신호가 음원 메시지, 음성 메시지, 묵음 메시지일 때 유도된 교차 모호함수의 경향성이 달라진다[4]. 구체적으로, FM 라디오 메시지 신호가 음원일 때에는 그림 2와 같이 FDOA 축으로 오탐지가 형성되며, 메시지 신호가 음성이거나 묵음일 때에는 그림 3과 같이 바이스태틱 거리 축으로 오탐지가 형성된다. 따라서 오탐지가 형성되는 패턴을 구분하기 위해 FM 라디오 메시지 신호에 대한 특징 추출이 필요하다. 본 논문에서 제안한 오탐지 패턴 분류 방법은 수신된 FM 라디오 신호의 대역 전력 (band power) 및 파고 값 (peak value) 을 특징으로 추출하였다.

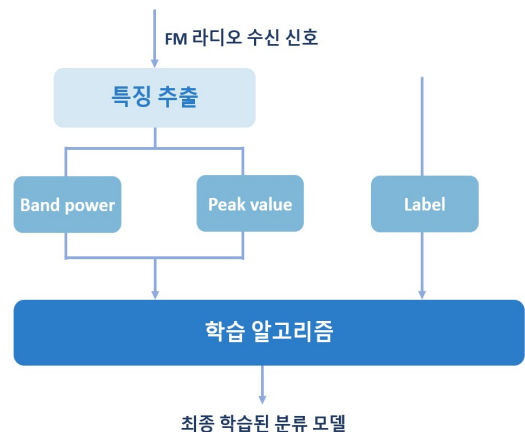


그림 1. 지도 학습을 이용한 분류 학습 모델 설계

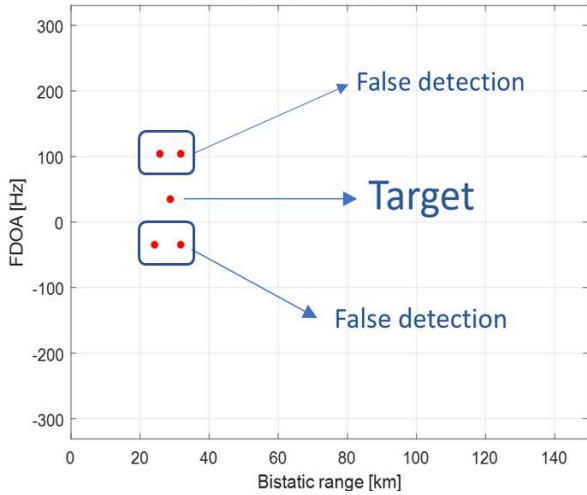


그림 2. FDOA 축 오탐지 발생 패턴.

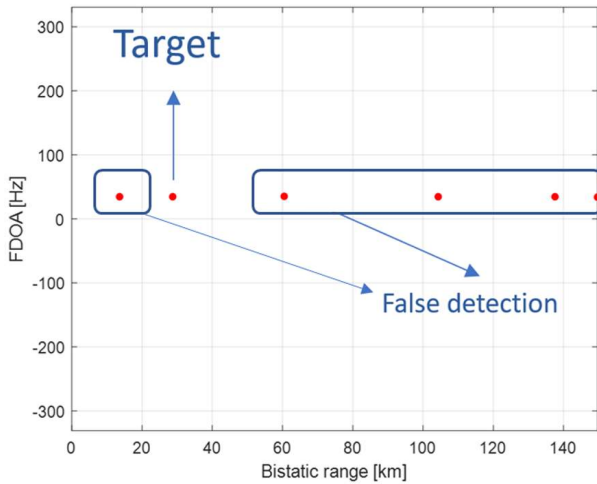


그림 3. 바이스태틱 거리 축 오탐지 발생 패턴.

2.2 오탐지 패턴 분류 학습 모델

본 논문은 FM 라디오 기반 수동형 레이더에서 오탐지 패턴을 분류하는 방법으로 지도 학습을 이용한 분류 알고리즘을 사용한다. 분류 알고리즘으로 이항형 로지스틱 회귀 통계 기법을 사용함으로써 바이스태틱 거리 축 오탐지 패턴과 FDOA 축 오탐지 패턴을 분류한다. 로지스틱 회귀 통계 기법은 식 (1)과 같이 항상 범위 (0,1)에서 값을 가지는 로지스틱 함수를 사용한다.

$$g(x) = \frac{e^x}{1 + e^x}. \quad (1)$$

로지스틱 회귀를 이용한 분류 알고리즘은 위와 같은 로지스틱 함수를 이용하여 함수의 출력 값을 구간 (0, 1) 사이로 압축하고, 그 구간의 값을 확률로 사용하여 데이터를 분류한다[6]. 로지스틱 회귀 분류 알고리즘은 분류 정확도 측면에서 최적의 계수를 구하기 위하여 교차 엔트로피 오차 (cross-entropy error)를 가장 적게 만드는 계수를 선택한다[6]. 최적의 계수를 구하기 위해 음의 로그 우도 (negative log-likelihood)가 최소가 되는 값을 경사 하강법 (gradient descent)을 이용하여 찾아 최종적으로 교차 엔트로피 오차를 가장 작게 만드는 계수를 선택하여 분류 모델을 학습한다.

III. 모의실험

모의실험에서는 Coldplay - Everglow 음원과 SBS 파워FM - 쉐투쇼 음원을 사용하여 FM 라디오의 메시지 신호를 생성하였다. 수신한 FM 라디오 신호의 대역 전력과 파고 값을 특징으로서 추출한 뒤 수동형 레이더의 CFAR 탐지 결과를 확인하고 해당하는 오탐지 패턴을 라벨로서 지정하였다.

그림 4는 로지스틱 회귀에 사용될 학습 데이터 300개에 대한 파고 값과 대역 전력 분포를 나타낸 것이다. 빨간색으로 나타낸 데이터는 패턴 1로 FDOA 축으로 형성되는 오탐지 패턴이고 파란색으로 나타낸 데이터는 패턴 2로 바이스태틱 거리 축으로 형성되는 오탐지 패턴이다. 그림 5는 학습 데이터 300개를 이용하여 지도 학습을 진행한 결과이며 과적합을 방지하기 위해 5겹 교차 검증[6]을 적용하였다. 분류 학습의 결과로 결정 경계 (decision boundary)가 패턴 1과 패턴 2를 구분하도록 나타난 것을 확인할 수 있다. 학습된 모델이 가지는 계수 $[\theta_0, \theta_1, \theta_2]$ 는 $[2.25, 4.11, -16.13]$ 이고 음의 로그 우도 값은 30.03이다.

그림 6은 학습된 분류 모델의 정확도를 확인하기 위하여 테스트 데이터 50개를 사용한 결과이다. 전체 테스트 데이터 50개 중 잘못 분류된 데이터는 2개로, 96%의 정확도로 오탐지 패턴을 분류했음을 확인할 수 있다.

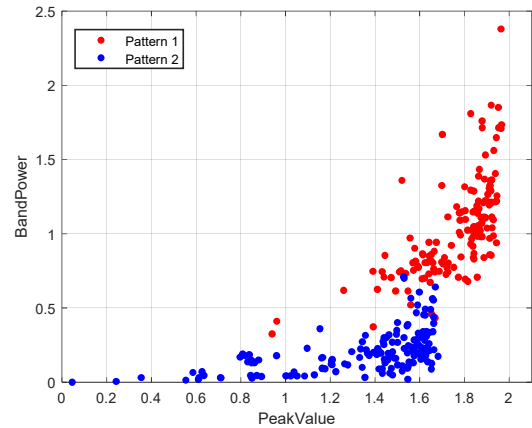


그림 4. 분류 학습에 사용될 데이터 300개의 분포.

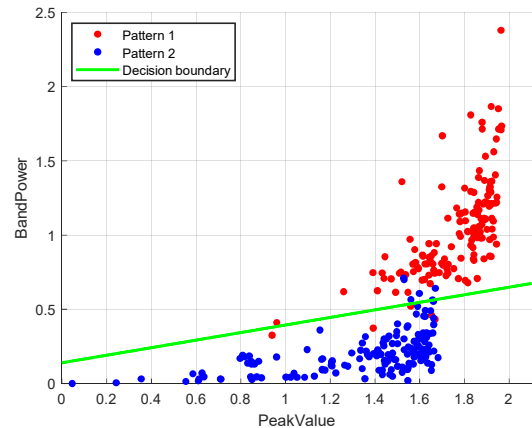


그림 5. 데이터 300개를 이용한 분류 학습 결과.

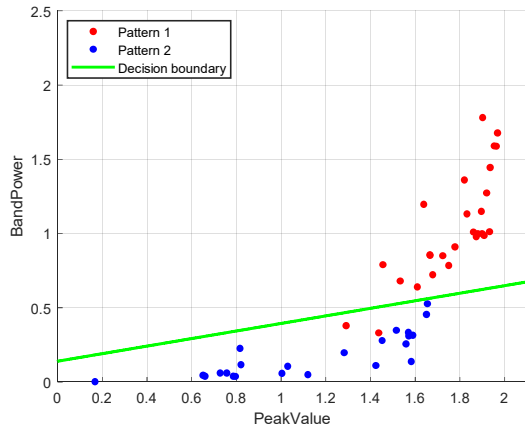


그림 6. 테스트 데이터 50개를 이용한 분류 정확도 확인.

IV. 결론

본 논문에서는 FM 라디오 기반 수동형 레이더의 성능을 저하시키는 오탐지 결과들의 패턴을 분류 방법을 제시하고 모의실험을 통해 제안한 분류 방법의 성능을 확인하였다. 제안한 방법은 수신된 FM 라디오 신호의 대역 전력과 파고 값을 특징으로 추출하는 첫 번째 단계와 추출한 특징 및 라벨을 이용하여 오탐지 패턴을 분류하는 두 번째 단계로 구성하였다. 모의실험을 통해 제안한 특징들을 이용하여 두 패턴이 분류가 가능함을 보였으며 최종적으로 학습된 분류 모델을 50개의 데이터로 테스트한 결과 분류 정확도가 96% 임을 확인하였다. 이러한 오탐지 패턴 분류 방법은 기존에 연구된 FM 라디오 기반 수동형 레이더의 오탐지 제거 방법에 효과적으로 적용될 수 있을 것이며 수동형 레이더의 표적 탐지 성능을 향상시키는 데에 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Colone, D. W. O' Hagan, P. Lombardo, C. J. Baker, " A Multistage Processing Algorithm for Disturbance Removal and Target Detection in Passive Radar," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 45, no. 2, pp. 698-722, Apr. 2009.
- [2] P.P. Gandhi, S.A. Kassam, "Analysis of CFAR processors in Non-homogeneous Background", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System*, vol. 24, no. 4, pp. 427-445, July 1988.
- [3] Y. Fu, X. Wan, X. Zhang, G. Fang, J. Yi, "Side Peak Interference Mitigation in FM-Based Passive Radar Via Detection Identification," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 53, no. 2, pp. 778-788, Apr. 2017.
- [4] 손소영, 박근호, 안준일, 송규하, 김형남, "FM 기반 PCL 시스템에서 표적 탐지 성능 개선을 위한 바이스테틱 거리 부엽 억제 기법," *한국통신학회논문지*, vol. 44, no. 6, pp. 1128-1139, 2019년 6월.
- [5] 박도현, 박근호, 안준일, 송규하, 김형남, "FM 라디오 기반 PCL 수신기에서 부엽에 의한 오탐지 결과 제거 방법," 2019년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 제주, 2019년 6월, pp. 689-691.

[6] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville, *Deep Learning*, The MIT Press, 2016

[7] Abu-Mostafa, Magdon-Ismael, Lin, *Learning From Data*, AMLbook, 2012