

다중 펄스 특징 인자를 이용한 레이더 신호 분류 기술 연구

송규하, 김정민, 김산해, 정인환, 곽현규, 이종환, 장민규

국방과학연구소

khsong@add.re.kr

Radar Signal Classification Using Multi-Pulse Features

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

Agency for Defense Development

요약

전자파 신호 환경의 변화 및 탐지 대상의 성능 고도화 등으로 수신 레이더 신호의 펄스열의 규칙성 및 상관성 기반으로 레이더 신호를 실시간 탐지하고 식별하기가 점점 어려워지고 있어, 최근에는 레이더 신호의 펄스 파형에 나타나는 비의도적 특성과 인공지능 알고리즘을 이용하여 수신한 레이더 신호를 특정 에미터로 분류 및 식별하는 SEI(Specific Emitter Identification) 기술 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 수신한 레이더 신호의 펄스에 심벌화 기법을 적용하여 추출한 다중 펄스 특징 인자를 ECOC-SVM(Error-Correcting Output Coding-Support Vector Machine) 분류기의 입력 정보로 활용하여 레이더 신호를 분류하는 연구 결과를 제시한다.

I. 서론

현대 전장은 과거 대비 전자파를 사용하는 전자장비의 증가로 전자파 신호 환경 밀도가 점점 높아지고 있고, 랜덤한 빔조향 및 다기능 수행이 가능한 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더와 적응형 레이더 등과 같은 최신 레이더 운용이 늘어나고 있으며, 탐지 대상 역시 레이더에서 다양한 방사체로 다양화되고 있어, 기존 전자기전 장비에서 펄스열의 규칙성 및 상관성 기반으로 레이더 등 에미터(emitter)를 탐지/식별하기가 점점 어려워지고 있다[1, 2]. 이를 극복하기 위해 최근에는 레이더 신호의 펄스 파형에 나타나는 비의도적 특성과 인공지능 알고리즘을 이용해 수신한 레이더 신호를 특정 에미터로 분류 및 식별하는 SEI(Specific Emitter Identification) 기술에 관한 관심이 높아지고 있다[2]. 최근 논문에서처럼[2], 펄스 파형에서 직접 펄스 특징 인자를 추출하여 머신러닝 알고리즘을 이용해 레이더 신호를 분류할 수 있지만, 실제 환경에서 레이더 펄스 파형은 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 조건과 주변 전파 영향으로 펄스폭 내에서도 변화가 상당하여 신호 분류 성능 저하를 유발할 수 있다[3]. 본 논문에서는 실제 환경에서의 다양한 요인으로 발생할 수 있는 펄스 파형에서의 변화 영향을 완화하고 펄스 단위 다중 펄스 특징 인자 추출 연산량 감소를 위해 심벌화 기법[4]을 이용하였다. 이를 통해 얻어지는 심벌 시리즈(symbol series), 코드 시리즈들(code series) 및 심벌화 파티셔닝으로부터 추출한 다중 펄스 특징 인자를 ECOC-SVM(Error-Correcting Output Coding-Support Vector Machine) 분류기[5]에 입력하여 각 레이더 신호를 펄스 단위로 분류하는 연구 결과를 제시한다.

II. 본론

본 논문에서는 야외환경에서 수집한 선박용 레이더 신호의 각 펄스에 심벌화 기법을 적용하여 심벌 시리즈와 심벌 시리즈로부터 유도한 1차 차분, 2차 차분 등 코드 시리즈를 생성하고, 심벌 시리즈 및 코드 시리즈 그리고 심벌화 파티셔닝으로부터 34개 펄스 특징 인자를 추출한 후, 이들 펄스 특

징 인자들을 다중 클래스 분류가 가능한 ECOC-SVM 분류기에 입력시켜 펄스 단위로 레이더 신호를 분류하였다. ECOC-SVM 분류기의 학습 및 테스트에 사용한 레이더 신호는 R&S社의 RF 스펙트럼 분석기인 FSW 장비를 이용하여 서해안에서 측정하였으며, 신호 측정에 사용한 샘플링 주파수는 640MHz이다. 전체 분류 대상 레이더 신호는 22개의 클래스로 구성하였으며, 각 클래스의 레이더 신호는 10개의 펄스를 포함하고 있다. 각 펄스 파형의 심벌화에 사용한 세그먼트(segment) 개수는 15개이며, 심벌은 1에서 10까지 범위를 가지도록 하였으며, 심벌 부여를 위한 파티셔닝은 데이터 밀도 및 분포에 따라 동적으로 설정하는 기법을 적용하였다. 단일 펄스마다 생성한 심벌 시리즈, 코드 시리즈와 심벌화 과정에서의 파티셔닝으로부터 추출한 평균, 표준편차, skewness, kurtosis 등 34개 다중 펄스 특징 인자 벡터로 ECOC-SVM 분류기를 학습하였다. 학습 데이터 제한을 고려하여 랜덤 서플을 통해 학습 및 테스트 데이터셋을 각각 80%와 20%로 나누고, 성능 검증을 100회 반복 수행하였으며, 이를 통해 얻어진 22개 클래스에 대한 레이더 신호의 펄스 단위 분류 결과는 그림1과 같으며, 평균적 레이더 신호 분류 성능은 91.89%로 나타났다. 그림 1의 결과에서 확인하는 바와 같이, 심벌화 기법을 통해 레이더 신호의 펄스 파형에서의 잡음 영향은 완화하면서 레이더 신호 분류가 가능한 펄스 특징 인자 추출이 가능함을 확인하였으며, 레이더 신호의 오분류는 주로 펄스 파형과 펄스폭이 유사한 펄스 중심으로 발생한 것으로 분석되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 야외환경에서 수집한 선박용 레이더 신호의 펄스 파형에 심벌화 기법을 적용하여 추출한 다중 펄스 특징 인자를 입력 정보로 이용한 머신러닝 기반 레이더 신호 분류 결과를 제시하였다. 심벌화 적용을 통해 다양한 요인에 의한 펄스 파형에서의 잡음 영향을 완화하면서 레이더 신호 분류에 의미 있는 펄스 특징 추출이 가능함을 확인하였다. 향후 레이더 신호 분류 성능 향상을 위해 최적 심벌화 변수 선정 및 펄스 특징 인자 발굴 등에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [1] S. Robertson, "Practical ESM Analysis," Artech-House, 2019.
- [2] 송규하 외, "SVM을 이용한 펄스 특징 기반 레이더 분류 기술 연구," 2025년 한국전자과학회 동계종합학술대회, Vol. 7, No. 1, pp. 211, Feb. 2025.
- [3] Y. Fang et al., "Radar-Specific Emitter Identification with Only Envelope Power Based on Multidimensional Complex Noncentral Chi-Square Classifier," IEEE Sensors Journal, Vol. 23, No. 17, pp. 20223-20235, Aug. 2023.
- [4] J. Lin, E. Keogh, L. Wei, and S. Lonardi, "Experiencing SAX: a novel symbolic representation of time series," Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 15, pp. 107-133, April 2007.
- [5] X. Han and J. Peng, "Bird sound classification based on ECOC-SVM," Applied Acoustics, Vol. 204, No. 109245, pp. 1-10, Feb. 2023.

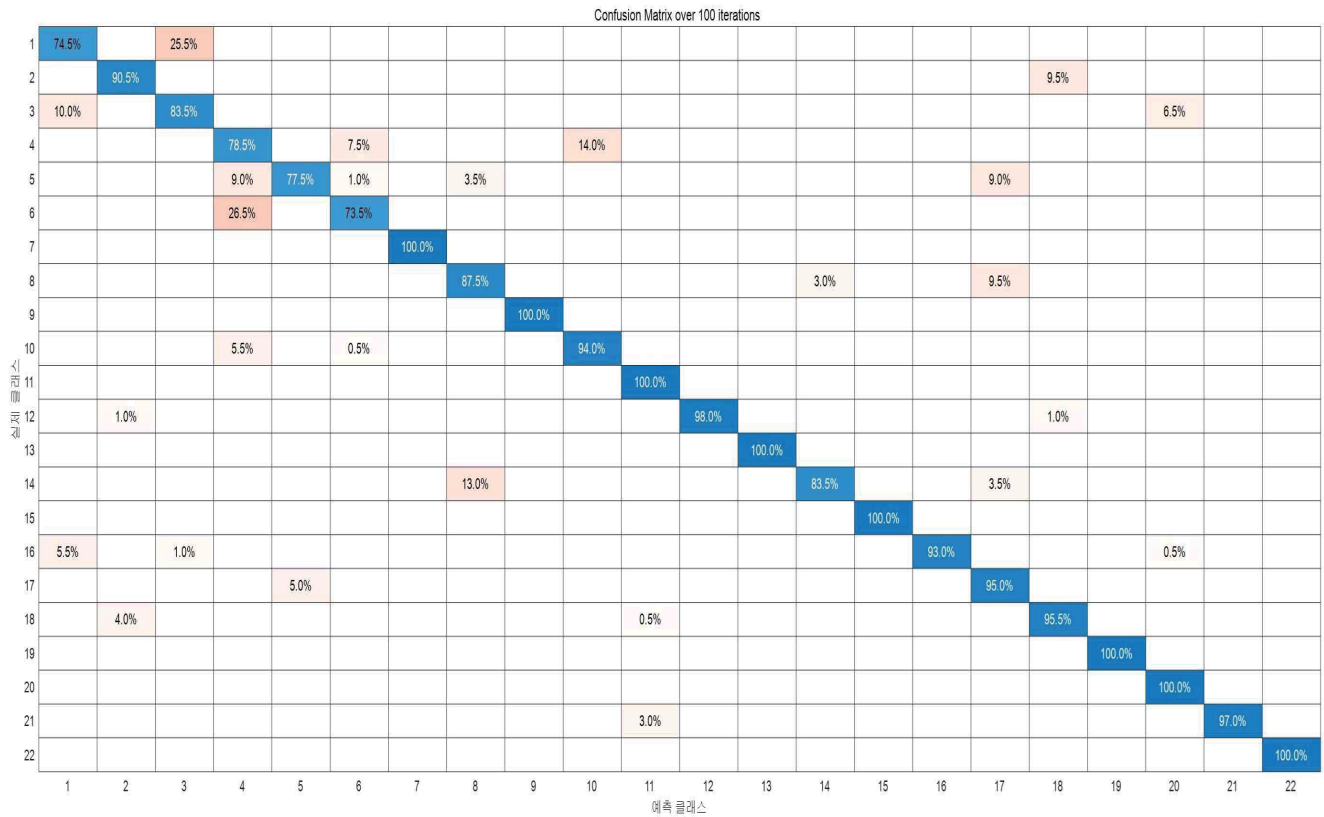


그림 1. ECOC-SVM 기반 레이더 신호 분류 결과