

# 딥러닝 기반의 도플러 스펙트럼 분석을 통한 KOMPSAT-5 SAR 영상의 선박 및 고스트 분류

## Classification of Ships and Ghosts in KOMPSAT-5 SAR Imagery using Deep Learning-based Doppler Spectrum Analysis

채영재<sup>1</sup>, 임태석<sup>1</sup>, 이보람<sup>2</sup>, 이윤경<sup>2</sup>, 김상완<sup>2\*</sup>

Youngjae Chae<sup>1</sup>, TaeSeok Lim<sup>1</sup>, Boram Lee<sup>2</sup>, Yoon-Kyung Lee<sup>2</sup> and Sang-Wan Kim<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> 세종대학교 에너지자원공학과

<sup>2</sup> 세종대학교 지구자원시스템공학과 (e-mail: swkim@sejong.edu)

합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)는 전천후 주야간 영상 획득이 가능하다는 장점으로 인해 해양 감시와 선박 탐지 분야에서 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 그러나 시스템의 펄스 반복 주파수(Pulse Repetition Frequency, PRF) 특성으로 인해 발생하는 방위 모호성(Azimuth ambiguity), 즉 고스트(Ghost) 현상은 선박 탐지 결과에 다수의 오경보를 유발하여 탐지 신뢰도를 저하시키는 요인으로 작용한다. 특히 해상 환경에서는 해수 표면의 낮은 반사율과 선박의 높은 반사율 간 대비로 인해 고스트가 더욱 두드러진다. 기존에는 Wiener 필터와 같은 신호처리 기반 기법이 활용되었으나, 고속으로 이동하는 표적의 경우 도플러 중심 주파수가 고주파 영역으로 이동하면서 표적 신호의 에너지가 약화되는 한계가 존재하였다.

본 연구에서는 선박과 고스트 간 도플러 스펙트럼(Doppler spectrum) 차이를 기반으로 자동 분류 방법을 개발하고 성능을 평가하였다. 선박과 고스트는 안테나 패턴의 특성과 위상 오차로 인해 도플러 스펙트럼에서 뚜렷한 차이를 보이는데, 실제 선박의 스펙트럼이 중심 주파수를 기준으로 대칭적으로 분포하는 반면, 고스트는 국소적인 신호 집중과 함께 비대칭적인 형태를 나타낸다. 이러한 특성을 이용한 분류 모델을 개발하기 위해, 먼저 KOMPSAT-5 SAR Single-look Complex Slant (SCS) 영상에 CFAR (Constant False Alarm Rate) 탐지기를 적용하여 선박 후보군을 추출하고 선박자동식별시스템(AIS) 및 위치정보 전송장치(V-PASS) 데이터와 매칭하여 정답 레이블을 부여함으로써 훈련 데이터셋을 구축하였다. 구축된 데이터셋 내 각 후보의 도플러 스펙트럼을 1차원 합성곱 신경망(1-D Convolutional Neural Network, 1-D CNN)에 입력하여 분류 모델을 학습시켰다. 정량적 성능 평가 결과 전체 정확도 91%, F1-score 0.90, 재현율(Recall) 약 94%를 보였으며, 스펙트럼 기반 분류를 통해 고스트를 분류하여 기존 필터링 기법에서 발생할 수 있는 신호의 왜곡 없이 CFAR 탐지 결과에서 나타나는 오경보율을 낮출 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 제안된 모델이 SAR 기반 선박 탐지 알고리즘의 신뢰도와 정확도를 향상시키는 후처리 모듈로 활용될 수 있음을 시사한다.