

Menzil Profili Kullanılarak Havadan-Yere Otomatik Hedef Tanıma ve Hedef Yönelim Açısı Kestirme

Air-to-Ground Automatic Target Recognition and Estimation of Target Orientation Using Range Profiles

Murat Kökçü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
İstanbul Medipol Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
murat.kokcu@std.medipol.edu.tr

Osman Karabayır
BİLGEM
TÜBİTAK
Kocaeli, Türkiye
osman.karabayir@tubitak.gov.tr

Yusuf Alagöz
BİLGEM
TÜBİTAK
Kocaeli, Türkiye
yusuf.alagoz@tubitak.gov.tr

Bahadır Kürşat Güntürk
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
İstanbul Medipol Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
bkgunturk@medipol.edu.tr

Özetçe —Aktif elektronik tarama yapan radar sistemleri açısından yeryüzündeki hedeflerin otomatik olarak tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Hedef tanıma aşamasında kestirilen bilgiler ve kestirim doğruluğu gerçekleştirilen operasyonun seyrine doğrudan etki etmektedir. Bu çalışmada, X frekans band bir radar sisteminin yerde konuşlu farklı hedeflerden toplayacağı yüksek çözünürlüklü menzil profilleri ile söz konusu hedeflerin sınıflarını ve yatay yönelim açılarını belirleme performansı incelenmiştir. Derin öğrenme ve şablon eşleme teknikleri kullanılarak yapılan çalışmada, yeryüzü hedeflerinin %85'ten fazlası doğru sınıflandırılabilmiştir. Hedeflerin simetrik yapısı, yönelimlerinin de simetrik dağılmasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler—otomatik hedef tanıma, menzil profili, derin öğrenme.

Abstract—Automatic recognition of targets on the surface is of great importance, especially for active electronic scanning radar systems. The information estimated during the target recognition phase and the accuracy of the prediction directly affect the course of the operation. In this study, the performance of a radar system operating in the X frequency band in determining the classes and horizontal orientation angles of targets by using high resolution range profiles collected from different ground-based targets was examined. Examinations using the template matching technique together with deep learning-based sequential classifier structures show that the main target class can be recognized at levels above %85 depending on the signal-to-noise ratio. Depending on the symmetry in the structures of the targets, it has been observed that correct determination rate of horizontal orientation is generally divided into symmetrical orientation angle segments.

Keywords—automatic target recognition, range profile, deep learning.

979-8-3503-8896-1/24/\$31.00 ©2024 IEEE

I. GİRİŞ

Muharebe veya keşif ortamlarında hava-yer operasyonları için yer hedeflerinin otomatik olarak sınıflandırılması zamanlama, bilgi edinme ve aksiyon alma anlamında büyük önem taşımaktadır. Yerdeki hedef unsurlara ait tip bilgileri ile birlikte yatay yönelim açılarının belirlenmesi, söz konusu unsur için uygulanacak aksiyonun biçimini yönlendirecektir.

Otomatik hedef sınıflandırmada sentetik veya ters sentetik açıklıklı radar görüntülerinin yanı sıra sıklıkla menzil profillerinden yararlanıldığı bilinmektedir. Profil verilerinin doğrudan veya çıkartılan öznetelikleri aracılığı ile kullanılarak hava veya deniz hedefi sınıflandırmasında dikkate alındığı çalışmalar incelendiğinde, otomatik hedef sınıflandırmada menzil profillerinin başarılı bir araç olduğu görülmektedir [1]-[3]. Özellikle son yıllarda büyük gelişim gösteren derin öğrenme teknolojisinin de devreye girmesiyle yaklaşık olarak optimum sınıflandırıcı tasarımları mümkün kılınmış, profil verileri ile yapılan sınıflandırma başarımları pozitif yönde etkilenmiştir [4]-[5]. Yapılan çalışmalarda genel olarak yer-hava misyonları dikkate alınmış ve hedef tipinin tanınmasına odaklanılmıştır.

Bu çalışmada, hava-yer görevlerinden yeryüzündeki hedeflerin literatürden farklı olarak tipleri ile birlikte yatay yönelimlerinin otomatik olarak belirlenmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşım tanıtılmaktadır. Derin öğrenme tekniklerinden ResNet mimarisi tabanlı ardışıl modeller ile birlikte korelasyon tabanlı hassas açı hesaplamasını kullanan yöntem II numaralı bölümde tanıtılmaktadır. Tanıtılan yaklaşıma ilişkin benzetim konfigürasyonu ile birlikte ilişkili sonuçlar ise III'de verilmektedir. Değerlendirmeler ile birlikte tanıtılan yöntemi geliştirmeye yönelik yaklaşımlar IV, kaynaklar ise son bölümdedir.

II. HAVA-YER GÖREVİNDE OTOMATİK HEDEF TANIMA YAKLAŞIMI

Yer hedeflerinin tipleri ile birlikte yatay yönelim açılarının başarılı bir biçimde belirlenmesini amaçlayan yeni yaklaşımda, menzil profillerini girdi olarak doğrudan kullanan ardışıl ResNet tabanlı derin öğrenme tekniği esas alınmıştır. İlerleyen alt bölümlerde, menzil profili oluşturma ile birlikte dikkate alınan sınıflandırma mimarisi detaylıca ele alınmaktadır.

A. Menzil Profili Oluşturma

Menzil profilleri, hedefler üzerinde yer alan saçıcı konumlara ilişkin yansıtma seviyelerinin gönderici-alıcı radar sisteminin hedefe bakış doğrultusuna izdüşürülerek menzile bağlı bir gösterimdir. N adet saçıcı noktaya sahip bir hedefe ait frekansa bağlı saçılan alan hesabı, f çalışma frekansı, k dalga sayısı, A_n ve x_n ise her bir n . saçıcıya ait genlik ve mesafe olmak üzere;

$$E^s(f) = \sum_{n=1}^N A_n \exp(-j2kx_n) = \sum_{n=1}^N A_n \exp(-j2\pi(\frac{2f}{c})x_n), \quad (1)$$

biçimindedir. Burada, c ışık hızını temsil etmektedir. Denklemde görüldüğü gibi, frekans ile mesafe arasındaki Fourier ilişkisinden yararlanarak (1) denklemin ters Fourier dönüşümü uygulandığında;

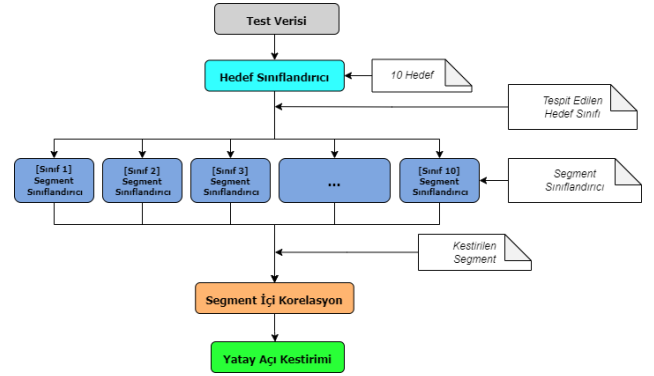
$$E^s(x) = F^{-1} \{E^s(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^N A_n \exp(-j2\pi(\frac{2f}{c})x_n) \right] \exp(-j2\pi(\frac{2f}{c})xd(\frac{2f}{c})) \quad (2)$$

$$E^s(x) = \sum_{n=1}^N A_n \delta(x - x_n), \quad (3)$$

menzil profili verisi elde edilebilmektedir. (3) denkleminde $\delta(\cdot)$ ile delta-Dirac fonksiyonu temsil edilmektedir. Elde edilen menzil profili radar sistemi ile hedef arası yatay ve dikey bakış açılarına bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte hedefler arası ayırıştırma aracı olarak kullanılmaktadır.

B. Hedef Tipi ve Yönelim Açısı Kestirimi

Hedeflerin tipi ile birlikte yatay yönelim açılarının bulunmasına yönelik olarak bu çalışmada Şekil 1'de gösterildiği gibi üç aşamalı bir yaklaşım önerilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde, önerilen yaklaşımın ilk aşamasında profil test verisinin öncelikle bir ana model sınıflandırıcı katına girdi olarak verildiği görülmektedir. Bu aşamada, Şekil 2'de gösterilen ResNet tabanlı [6] bir derin öğrenme sınıflandırıcı yapısından yararlanılmıştır. Söz konusu sınıflandırıcı yapısı, girdi verisini üç ayrı kolda farklı konvolüsyon pencere uzunlukları kullanarak işleme tabi tutmakta ve böylelikle farklı çözünürlüklerde öznetelik öğrenmesi uygulamaktadır. Öznetelikler mimarinin son aşamasında birleştirilerek tam bağlı katmana iletilmekte ve sınıflandırma tamamlanmaktadır. Şekil 1'de sunulan yaklaşımın ilk aşaması sonucunda hedefin tipi belirli bir doğruluk oranı ile belirlenmektedir. Bu aşamadan sonra, yatay yönelim açısının belirlenmesi için bir sınıflandırma işlemi daha uygulanmaktadır. Burada, yine Şekil 2 ile verilen sınıflandırma mimarisi, farklı yatay yönelim açısı segmentleri sınıf etiketleri



Şekil 1: Hedef tipi ve yatay yönelim açısı belirleme yaklaşımı.

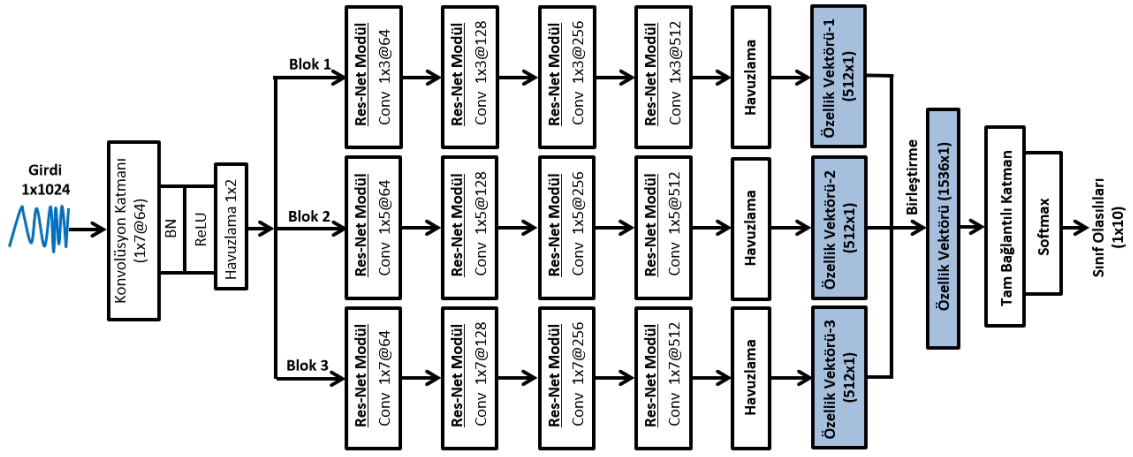
olacak şekilde dikkate alınarak hedef sayısı kadar model eğitimi gerçekleştirilmektedir. Bu durumda, sınıflandırılmaya tabi test verisi, sınıf tipi kestirilen hedefe ait modele girdi olarak uygulanarak ilgili hedef için yatay yönelim açısı segmentinin kestirimi yapılmaktadır. Önerilen metodolojinin son aşamasında ise, tipi ve yatay yönelim açısı segmenti belirli olan hedefe ait eğitim kütüphanesinde yer alan profil verileri ile test verisi korelasyona tabi tutulmakta ve nihai yatay yönelim açısı kestirimi tamamlanmaktadır.

III. BENZETİMLER

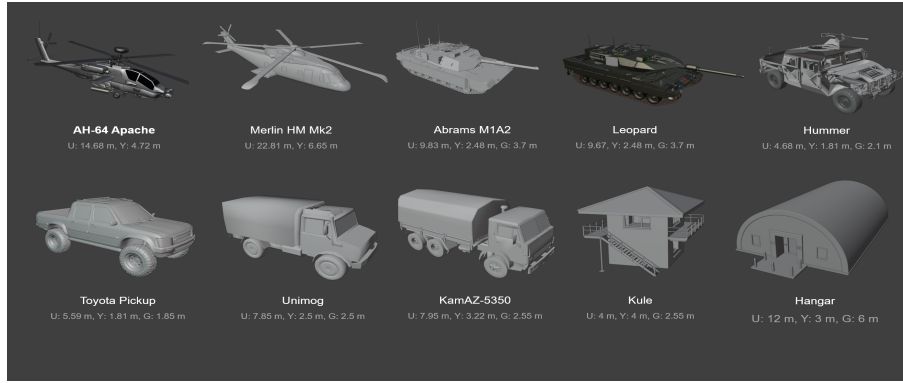
Hedef tipi ile birlikte yatay yönelim açısını belirlemeye yönelik olarak tanıtılan yaklaşıma ilişkin on farklı yer hedefi dikkate alınarak benzetimler gerçekleştirilmiştir. Muharip uçaklar için yer hedefi kategorisinde yer alabilecek helikopter, tank, silahlı taşıma aracı, silahsız taşıma aracı, kamyon, kule ve hangardan oluşan ve Şekil 3'de gösterilen hedef kümesi göz önünde bulundurularak X frekans bandında çalışan ve 0.15 m menzil çözünürlüğüne sahip bir AESA radar sistemi için menzil profili verileri oluşturulmuştur. Profil verileri oluşturulurken, hedefin yer yüzeyi üzerine konumlu olması varsayımı yapılmış, irtifada 5° , yatay düzlemde ise 2° bakış açısı çözünürlüğü dikkate alınmıştır. Bu durumda, her bir hedef için toplamda 3240 profil verisi (18 irtifa $\times$ 180 yatay açı) üretilmiştir.

A. Hedef Tipi Sınıflandırma

Hedef tipi sınıflandırma, önerilen metodolojinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, on hedef sınıfı için üretilen menzil profilleri ile birlikte Şekil 2 ile sunulan mimari kullanılarak ana model eğitimi gerçekleştirilmiştir. Gürültünün sınıflandırma üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, profil verilerine farklı sinyal-gürültü oranlarında (SNR) gürültü eklemesi yapılarak, her bir gürültü seviyesi için veri kümeleri oluşturulmuştur. Benzetimlerde, her bir hedefe ait profil verisinin yüzde sekseni eğitim için ayrılmış, test için ayrılan veriler ise eğitilen modele girdi olarak sunulurken ana modele ait karmaşa matrisi üretilmiştir. Bu işlem her bir SNR seviyesine sahip veri kümesi için tekrarlanmıştır. SNR değerinin 30 dB olduğu duruma ait ana model karmaşa matrisi Şekil 4, tüm SNR seviyelerine bağlı model doğruluk grafiği ise Şekil 5 ile sunulmaktadır. Şekil 4 ile verilen karmaşa matrisi incelendiğinde, en düşük sınıflandırma doğruluğunun %72.51 ile Leopard tipinde tank, en yüksek doğruluğun ise %98.88 ile Hangar hedef sınıfına ait olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Sınıflandırıcı mimari yapısı.



Şekil 3: Hedef modeller.

Bununla birlikte, genel hedef doğruluğu %89.39 gibi yüksek bir seviyeye ulaşmaktadır. Dolayısı ile, tasarlanan sınıflandırıcı mimarisinin hava-yer görevlerinde menzil profili kullanarak yer hedefi sınıflandırma çalışmalarında dikkate alınabileceği değerlendirilmektedir.

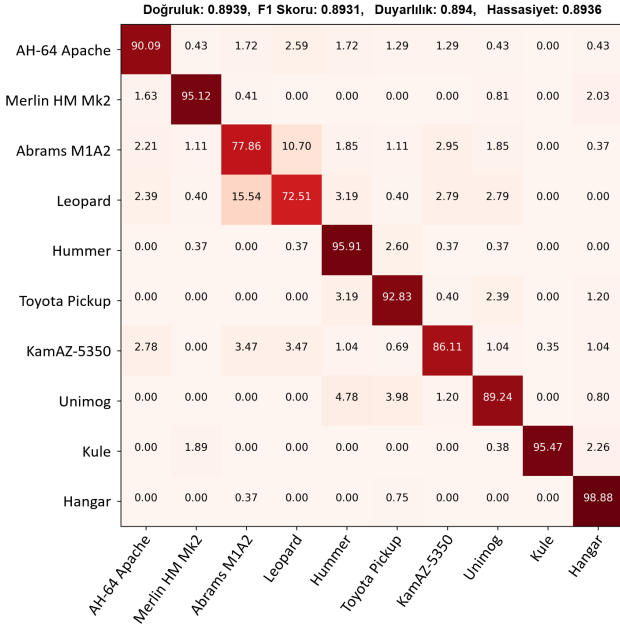
SNR seviyesine bağlı sınıflandırma doğruluğunu sergileyen Şekil 5'e göre, 1 dB gibi çok düşük SNR seviyelerinde bile sınıflandırma başarımının %55 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Bununla birlikte, SNR seviyesinin 15 dB civarına yükselmesine bağlı olarak %80 seviyelerinin üzerinde bir doğruluk performansı elde edilmektedir. 20 dB SNR seviyesinin üzerinde ise doğruluk artış hızı yavaşlamakta ve %90 seviyesi civarında seyretmektedir.

B. Yatay Yönelim Açısı Belirleme

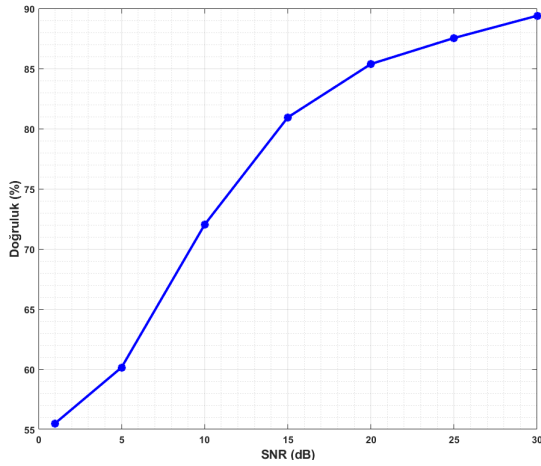
Önerilen metodolojiye göre yatay yönelim açısı, segment sınıflandırma ve korelasyon işlemlerinin ardışıl olarak uygulanması ile belirlenmektedir. Bu kapsamda, $[0^\circ, 360^\circ]$ yatay bakış açısı aralığı her biri 20° olan 18 eşit segmente ayrılmıştır. Sınıfların segment numaraları olduğu bu durumda, hedeflerin üretilen tüm profil verileri ilgili segmentlere atanarak hedef başına bir segment sınıflandırıcı model eğitimi yapılmaktadır. Test edilecek profil verileri, ana sınıflandırıcı modele girdi olup hedef tipi belirlendikten sonra bulunan hedefin eğitilmiş segment modeline verilmektedir. Böylelikle, söz konusu profil

verisinin yatay açı segmenti kestirilmektedir. AH-64 Apache hedef tipi için segment sınıflandırıcı modeline ilişkin karmaşıka matrisi Şekil 6'da sunulmaktadır. Şekilde gösterilen karmaşıka matrisinde genel doğruluk yaklaşık %45 seviyesinde görünmektedir. Bu durumun, hedeflerin yapısındaki simetriden kaynaklandığı ilgili şekilden açıkça çıkarılabilmektedir. Şöyle ki; hedefler burun hizasına göre genel olarak simetrik olduğu için, buruna göre artı ve eksi yöndeki açı uzaklıkları için benzeme oranlarının bölüşüldüğü anlaşılmaktadır. Örnek vermek gerekirse, helikopter burun hizası yatay 0° açısını göstermek üzere, ilk ve son segmentler simetrik olmaktadır. Bu sebeple, dikkate alınan helikopter modeli için, birinci segment beklendiği gibi kendisi ile birlikte simetrik ve komşu segmentlere benzerlik göstermiştir. Sonuç olarak, segment sınıflandırıcı sonrasında, test verisinin büyük olasılıkla kendi veya simetrik segmenti kestirilmektedir.

Segment kestirimi sonrasında, son adım olarak, hedef tipi ve segment numarası kestirilen profil verisi, ilgili hedefin ilgili segmentindeki eğitim verileri ile korelasyona tabi tutulmaktadır. Bu işlem sonrasında profil verisinin yatay açısına ait hassas açı kestirimi yapılmış olmaktadır. AH-64 Apache helikopterin sonuncu segmentinde yer alan ve 338° yatay bakış açısına sahip profil verisinin ilgili segmentin eğitim veri kümesinde yer alan profil verileri ile korelasyonlarına ait sonuç gösterimi Şekil 7'deki gibidir. Şekilden, test profiline ait yatay



Şekil 4: 30 dB SNR seviyesi için karmaşa matrisi.

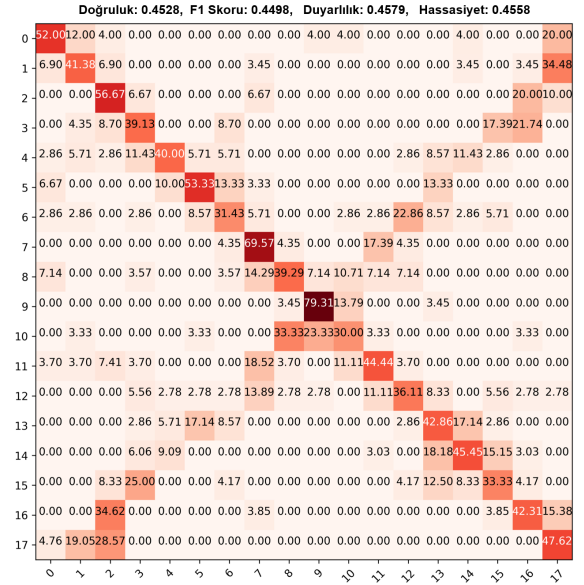


Şekil 5: SNR seviyesine bağlı ana model doğruluk grafiği.

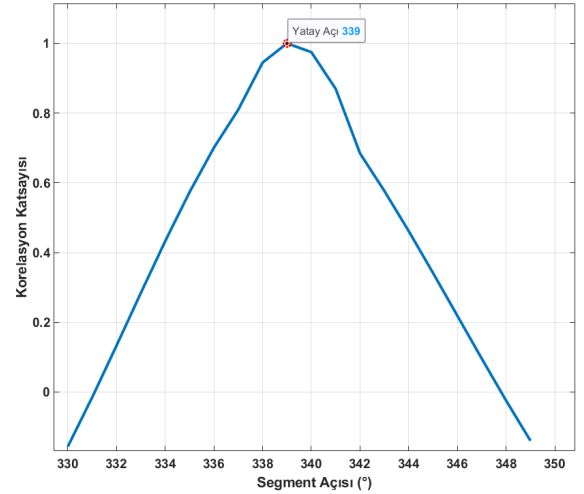
açı bilgisinin 1° hata payı ile kestirilebildiği görülmektedir.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, hava-yer görevlerinde hedeflerin sınıfları ve yatay açılarının kestirilmesine yönelik, iki aşamalı sınıflandırıcı ve korelasyon işlemlerinden oluşan yenilikçi bir yaklaşım tanıtılmıştır. On farklı hedef sınıfı dikkate alınarak yapılan benzetimlerde, ana sınıflandırıcı modelinin yüksek başarımla (yaklaşık %90) ile hedef sınıflarını belirleyebildiği gözlenmiştir. Derin öğrenme tabanlı ikinci bir sınıflandırıcı katı kullanılarak yapılan incelemelere göre, tipi belirlenen hedefler için yatay açı segmenti kestirimi aşamasında, profil veisinin kendisine ait veya simetrik açı segmentine karar verildiği görülmüştür. Hedef modellerin simetrik yapıları göz önünde bulundurulduğunda, bu, beklenen bir durum olmuştur. Son aşamada ise, korelasyon hesabı yapılarak hassas açı kestirimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen metodolojinin hava-yer misyonlarında uygulanabilir olduğu benzetimler ile ortaya konulmuştur.



Şekil 6: AH-64 Apache, segment modeli karmaşa matrisi.



Şekil 7: Örnek korelasyon işlemi çıktısı.

KAYNAKLAR

- [1] D. Liu, Y. Liu, Y. Lan, Y. Zhu, J. Zhou, "Feature Extraction and Classification of Radar Targets Based on High Resolution Range Profiles", 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing, pp. 2021-2025, 2022.
- [2] H. Schimpf, H.H. Fuchs, "Analysis of ATR features for non-cooperative ground-based classification of ships", 11-th International Radar Symposium, pp. 1-5, 2010.
- [3] C. M. Pilcher, A. Khotanzad, "Maritime ATR using classifier combination and high resolution range profiles", IEEE Transactions on aerospace and electronic systems, vol. 47, no.4, pp. 2558-2573, 2011.
- [4] O. Karabayır, O. M. Yücedağ, M. Z. Kartal, H. A. Serim, "Convolutional neural networks-based ship target recognition using high resolution range profiles", 18th International Radar Symposium, pp. 1-4, 2017.
- [5] J. Song, Y. Wang, W. Chen, Y. Li, J. Wang, "Radar HRRP recognition based on CNN", The Journal of Engineering, vol 2019, no. 21, pp.7766-7769, 2019.
- [6] F. Wang, J. Han, S. Zhang, X. He, D. Huang, "CSI-Net: Unified Body Characterization and Action Recognition, arXiv preprint arXiv:1810.03064, 2018.