

# 사이버전자전에서의 드론 탐지 레이더 운용 발전 방안 연구

김 준 섭\*, 조 성 환\*\*, 박 복 기\*\*, 박 상 준\*\*\*, 이 원 우\*\*\*\*

## 요 약

과학 기술의 발전으로 전장의 영역이 확대되고 있고 전자파와 네트워크를 통한 사이버전자전 개념이 제시되었다. 사이버전자전 영역에서 활용되는 다양한 무기체계들 중 드론은 배터리, 항법장치 등의 발전을 통해 활용도가 증대되고 있다. 한편, 드론 위협에 대응하기 위해 다양한 드론 탐지 기술들이 활용되고 있으며, 그 중 레이더는 장거리 탐지가 가능하고 기상의 영향을 받지 않아 핵심적인 기능을 수행한다. 그러나 전장 환경에서는 높은 신호 잡음이 발생하여 탐지 정확도가 감소하며, 탐지 자산의 안전성과 효율성이 보장되어야 하는 특수한 상황이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 사이버전자전의 작전 환경을 고려하여 잡음 제거를 위한 신호처리, 저피탐 레이더의 활용, 레이더 운용 개수 최적화 방법 등 드론 탐지 레이더의 운용 발전 방안을 제시한다.

## Advancements in Drone Detection Radar for Cyber Electronic Warfare

Junseob Kim\*, Sunghwan Cho\*\*, Pokki Park\*\*, Sangjun Park\*\*\*, Wonwoo Lee\*\*\*\*

## ABSTRACT

The progress in science and technology has widened the scope of the battlefield, leading to the emergence of cyber electronic warfare that exploits electromagnetic waves and networks. Drones have become more important due to advancements in battery technology and navigation systems. Nevertheless, tackling drone threats comes with its own set of difficulties. Radar plays a vital role in detecting drones, offering long-range capabilities and independence from weather conditions. However, the battlefield presents unique challenges like dealing with high levels of signal noise and ensuring the safety of the detection assets. This paper proposes various approaches to improve the operation of drone detection radar in cyber electronic warfare, with a focus on enhancing signal processing techniques, utilizing low probability of interception (LPI) radar, and implementing optimized deployment strategies.

**Key words : Cyber electronic warfare, drone detection, radar, signal processing, optimization**

접수일(2023년 08월 03일), 수정일(2023년 08월 10일),  
게재확정일(2023년 08월 14일)

★ 본 논문은 육군사관학교 화랑대연구소의 2023년도 연구활동비 지원을 받아 연구되었음. (연구번호 : 2023B1028)

\* 육군사관학교/전자공학과(주저자)

\*\* 육군사관학교/전자공학과(공동저자)

\*\*\* 국방과학연구소/군전략연구센터(공동저자)

\*\*\*\* 육군사관학교/전자공학과(교신저자)

## 1. 서 론

인공지능 등 과학기술을 통해 전쟁의 영역이 지상, 해상, 공중 영역을 넘어 사이버, 전자기 스펙트럼, 우주로 확대되고, 모자이크전, 유·무인 복합전투 등 새로운 형태의 전쟁 수행 방식이 나타났다. 이에 전자기 스펙트럼을 통한 전자전과 네트워크에서 정보체계에 대한 공격 및 방어를 수행하는 사이버전이 융합된 사이버전자전의 개념이 제시되어 발전하고 있다. 사이버전자전 영역에서는 다양한 무기체계들이 활용되고 있는데, 특히 드론은 배터리, GPS, 센서, 마이크로칩, 항법장치 등 관련 하드웨어 및 소프트웨어 기술을 통해 빠른 속도로 발전하여 활용성이 증대되고 있다. 현재 진행중인 러시아-우크라이나 전쟁의 사례를 통해 현대 군사 작전에서의 드론의 효용성은 증명되었으며, 드론의 다양한 용도와 기능은 군사 전략과 전술을 혁신적으로 변화시키고 있다 [1].

한편, 드론 기술의 발전과 활용성의 증대는 민간, 공공, 군사 분야에서 새로운 위협 요인이 되고 있다. '16년 IS의 자폭용 드론 테러, '19년 런던 히스로 공항에서 미상의 드론으로 인한 항공기 이륙 지연 사건, '19년 사우디아라비아 정유 시설의 드론 폭격, '21년 칠레 해군 헬기와 드론이 충돌하여 비상 착륙한 사건 등이 대표적인 사례이다 [2][3]. 특히, 북한군은 비대칭전력 증대 및 킬체인 무력화 시도를 위해 드론 기술을 발전시켜 나가고 있으며, '22년 북한 무인기 영공 침범 사건에서 볼 수 있듯이 이는 국가 안보에 실제적인 위협이 되고 있다.

이에 사이버전자전 영역에서 전자파 및 네트워크 기술을 활용하여 GPS 신호 위조, 무선통신 취약점 공격 등 드론의 군사적 위협에 대응하기 위한 다양한 논의가 이루어지고 있다 [4]-[7]. 드론의 위협에 대응하기 위해서는 드론을 빠르고 정확하게 탐지하는 것이 가장 중요한데, EO/IR 카메라, LiDAR (Light Detection And Ranging), 음향 등을 활용하는 방안들이 제시되었다 [8]-[13]. 특히, 장거리 표적 탐지가 가능하고 기상 상황에 영향을 받지 않는 레이더는 높은 드론 탐지 성능을 보이며, 관련 연구도 활발히 진행되고 있다 [14]-[16].

한편, 레이더 기반의 드론 탐지는 작전 반경 내에 드론과 RCS(Radar Cross Section)가 비슷한 표적이 존재할 때, 클러터(clutter)로 인한 잡음이 존재할 때 탐지 정확도가 낮아진다. 또한, 레이더 신호 발신지가 역 추적되어 방공망이 무력화될 수 있고, 다수의 수신기의 설치가 필요하다는 제한사항도 갖고 있다. 이러한 제한사항을 해결하기 위해 잡음 및 기만 표적 제거를 위한 신호 처리 기술, 저피탐 레이더의 활용, 최적화된 레이더 개수의 산출 등의 방안이 고려될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 사이버전자전 환경에서 드론의 운용 사례를 살펴보고, 전장 환경의 특수성을 고려한 드론 탐지 레이더 운용 발전 방안에 대해 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 사이버전자전의 개념과 드론의 군사적 활용 사례를 소개하고 3장은 전장에서 드론 탐지 레이더 운용 시 고려 사항에 대해 살펴본다. 4장에서는 드론 탐지 레이더의 정확성, 안전성, 효율성 증대를 위한 발전 방안을 도출하고 5장에서는 결론 및 향후 연구 주제를 제시한다.

## 2. 사이버전자전에서의 드론 운용

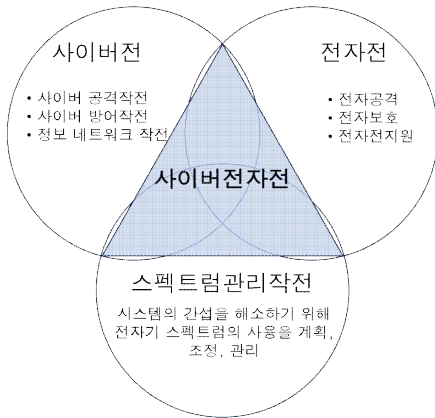
드론의 운용 및 통제 등에 관한 정보는 사이버 공간에서 생성 및 처리되어 전자기스펙트럼을 통해 송·수신된다. 또한 드론 탐지 및 안티 드론 시스템은 전자파 및 네트워크를 통해 이루어지고 있다. 즉, 드론의 위협에 대응하기 위해서는 주파수 운용, 신호 처리, 탐지 기술뿐만 아니라 사이버전자전에 대한 개념을 이해할 필요가 있다. 이번 장에서는 사이버전자전의 개념과 사이버전자전 환경에서의 드론 운용 사례에 대해 살펴본다.

### 2.1 사이버전자전 개념

사이버전자전은 적에 대해 사이버 공간과 전자기 스펙트럼에서 우위를 확보하고 이를 활용하는 활동과 동시에 이와 같은 활동을 방해하고 아군의 임무 지휘 체계를 보호하는 군사 활동이다 [17].

사이버전자전의 영역은 (그림 1)과같이 사이버전, 전자전, 스펙트럼관리작전이 중첩되는 영역이다. 사이버전자전은 네트워크 및 이동통신 기술의 발

전으로 사이버전 영역과 전자전 영역이 상당 부분 겹치면서 융합전의 형태로 발전하고 있으며, 최근 지상-공중-우주를 연결하는 다계층 초연결 네트워크의 구축 등 전자기스펙트럼을 활용하는 영역이 증가하고 있어 사이버전자전의 영역은 더욱 확대될 것이다.



(그림 1) 사이버전자전 영역 [18]

## 2.2 사이버전자전에서의 드론의 군사적 활용 사례

사이버전자전 영역에서 드론은 정찰/감시용, 표적획득, 화력유도, 공격, 기만, 전자전 지원 등 다양한 용도로 활용되고 있다. '11년 미국이 중동지역 감시 정찰을 위해 전개한 무인정찰기 'RQ-170'를 이란이 해킹 및 역공격한 사례는 매우 잘 알려져 있다. 특히 최근 러시아-우크라이나전에서는 '바이라타르 TB2'가 러시아군의 다수의 전차 및 차량을 파괴하여 전술적, 심리적 충격을 주었으며, 미군의 정찰드론 '스캔이글'이 우크라이나를 지원하여 24시간 적 표적 탐지 정보를 전송하였다. 러시아는 장거리 자폭 드론 '샤레드-136'으로 우크라이나 전역을 공격하였다. 미 육군의 경우 대대급 이하 계대에 정찰/감시용 소형무인기를 전력화하여 분산된 작전지역에서 주야간 단절 없는 상황 인식이 가능하며, 더 작고, 가볍고, 저렴하고, 자체 정비 가능한 드론의 개발을 진행 중이다 [19].

이처럼 사이버전자전 영역에서 드론 기술이 급속도로 발전하고 있으며, 비용 대비 효과가 매우 크기 때문에 드론의 군사적 활용도는 점차 증대되고 있다. 특히, 드론의 탐지 회피 성능이 빠른 속

도로 향상되고 있어 드론 위협에 대응하기 위해서는 사이버전자전의 다양한 환경과 상황을 고려하여 탐지 자산의 탐지 능력을 향상해야 한다.

## 3. 드론 탐지 레이더 운용을 위한 고려사항

표 1은 드론 탐지를 위해 활용되는 영상 및 음향 탐지 장비, LiDAR 등의 기술별 특징을 나타낸다. 각각의 기술들은 장점과 단점이 존재하기 때문에 드론 탐지의 정확도를 높이기 위해 여러 수단을 복합적으로 사용하는 하이브리드형 시스템을 운용하는 것이 필수적이다. 다양한 기술 중 레이더는 기상 영향을 받지 않고 주야간 운용이 가능하기 때문에 드론 탐지 시스템의 핵심적인 역할을 수행한다. 특히, 레이더는 전자파를 사용하여 장거리에 있는 표적을 탐지할 수 있기 때문에 드론 탐지 시스템의 최초 표적 식별 기능을 담당한다.

<표 1> 드론 탐지 기술별 특징 [20][21]

영상	장점	·CNN 등의 딥러닝 기술 적용 용이 ·표적 탐지 및 분류를 SW 처리
	단점	·기상에 영향을 많이 받음 ·상대적으로 데이터 처리 속도 낮음
음향	장점	·장애물에 영향 받지 않음 ·급속이 아닌 드론도 탐지 가능
	단점	·탐지 거리의 제한, 소음 영향 받음 ·표적 고속이동시 탐지 성능 저하
LiDAR	장점	·표적의 3D 이미지 생성 가능
	단점	·상대적으로 높은 가격 ·열악한 환경에서 인식 성능 저하
열화상 카메라	장점	·스텔스 기능을 갖춘 드론 탐지 ·낮과 밤 모두 사용 가능
	단점	·드론에 대한 세부 정보 부족
레이더	장점	·기상의 영향을 받지 않음 ·장거리 탐지 가능
	단점	·클러터로 인한 오인식 가능 ·레이더 신호 추적으로 역 탐지 가능

레이더를 이용하여 침투하는 적 드론의 최초 탐지 식별 성공률을 높이고, 아군의 안전성을 보장하며, 효율적인 레이더 배치를 하기 위해서는 사이버전자전 환경의 특수성을 반드시 고려하여야 한다. 첫째, 전장에서는 기상 클러터뿐만 아니라 적의 의도적으로 발생시키는 재밍 신호, 전자전 장비들로부터 발생하는 이상파 등에 의해 반향 신호의 잡음

레벨이 매우 높다. 또한 적의 기만용 드론 등이 작전 지역 내에 실제 공격 드론 등과 함께 운용될 때 이를 구분하기 어려워 탐지 정확도가 감소한다. 이에 드론 탐지 정확도를 높이기 위한 신호 처리 기술이 고려되어야 한다.

둘째, 적의 전자전지원 활동을 통해 전자파 발생 위치가 추적될 위험이 있으며 이는 전체 방공망 자산의 안전성 저하를 초래한다. 실제 러시아-우크라이나전에서 우크라이나군은 러시아군의 레이더와 발신지를 추적하여 HARM(High-speed Anti Radiation Missile)을 통해 정밀 타격함으로써 러시아군의 방공망을 무력화시킨 사례가 있다. 따라서 드론 탐지 시스템의 안정성을 향상시키기 위한 방안을 고려해야 한다.

셋째, 전장에서 RCS가 작은 드론을 주변의 물체와 분리하여 세부 특징까지 분석하기 위해서는 매우 높은 수준의 레이더 분해능이 필요하며, 높은 분해능을 얻기 위해서는 X-Band 또는 K-Band와 같은 주파수가 높은 레이더 신호를 사용해야 한다. 하지만 높은 주파수 대역을 사용하는 경우 레이더의 탐색 범위가 수 킬로미터로 제한되는 단점이 있다. 또한 레이더는 많은 전력을 소모하기 때문에 많은 수의 레이더를 운용하기에는 전장에서 전력 공급이 부족한 상황이 발생한다. 따라서 탐색 범위가 제한되고 많은 전력을 소모하는 군사용 레이더를 효과적으로 배치하고 운용하는 최적화 방안이 필요하다.

## 4. 드론 탐지 레이더 운용 발전 방안

### 4.1 신호 처리를 통한 탐지 정확도 향상

레이더 신호의 잡음을 제거하고 표적의 정보를 정확히 식별하기 위해 선형 칼만필터, 오토인코더 등이 활용되고 있다. 특히, 신호에 높은 레벨의 잡음이 포함되어 있을 때 신호와 잡음을 분리하는 데 웨이블릿 변환(wavelet transform) 기법이 높은 성능을 보인다. 웨이블릿 변환의 기본 원리는 잡음이 포함된 원본 신호가 있을 때 웨이블릿을 시간축으로 이동시키면서 원본 신호와의 상관계수를 계산

하고 웨이블릿의 스케일을 조정해 이 과정을 반복하여 신호와 잡음을 구분하는 것으로, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다 [22].

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) s(t) dt \quad (1)$$

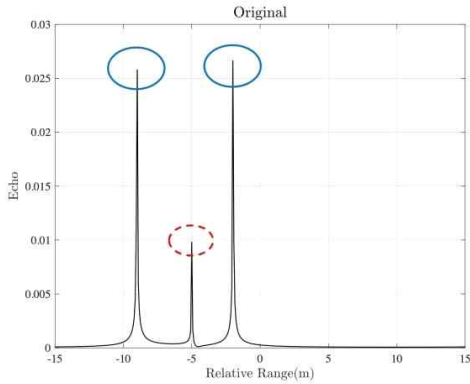
이 때,  $a, b$ 는 각각 웨이블릿의 스케일 및 시간영역에서의 변화를 의미하고  $\psi, s(t)$ 는 각각 웨이블릿 함수와 원본 신호를 의미한다.

웨이블릿 변환을 통한 신호의 잡음 제거 및 기만 표적 분류 성능 향상을 제시하기 위해 MATLAB을 활용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 2에 정리하였다. 전장 환경을 고려하여 전체 표적 3개 중 기만 표적 1개가 있다고 가정하였고 SNR은 -6dB로 설정하였다. 또한 실제 드론과 기만 드론의 RCS를 각각  $0.03m^2, 0.01m^2$ 로 가정하였으며 X-Band 주파수를 사용하였다.

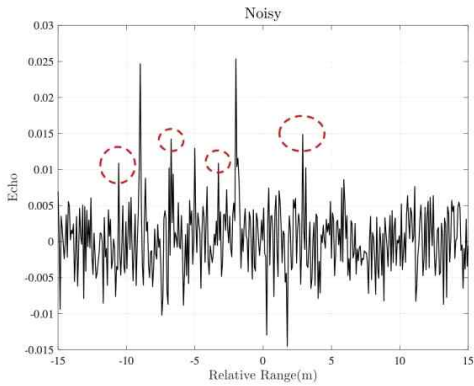
<표 2> 시뮬레이션 파라미터

구분	값
표적 개수	3개 (실제 표적 2, 기만 표적 1)
주파수	8.5GHz
대역폭	1GHz
표적 RCS	실제 표적 : $0.03m^2$ 기만 표적 : $0.01m^2$
SNR	-6dB

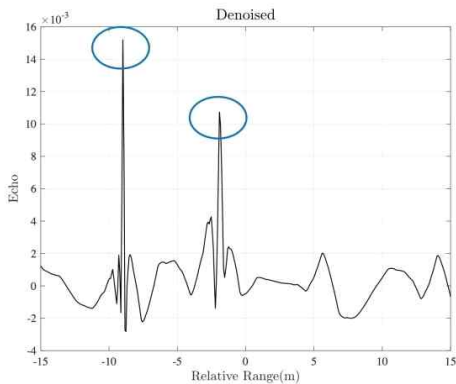
(그림 2)는 잡음이 없는 상황에서의 표적으로 인한 반향 신호를 보여준다. 실선과 점선 타원으로 표시된 부분이 각각 실제 표적과 기만 표적을 나타낸다. 실제 전장 환경에서는 (그림 3)과 같은 잡음이 포함된 반향 신호를 수신할 것인데, 이를 표현하기 위해 잡음이 없는 신호에 백색 가우시안 잡음을 추가하였다. 신호의 잡음으로 인해 점선 타원으로 표시한 것과 같이 원하지 않는 피크들이 발생하였는데, 이는 실제보다 더 많은 표적이 있는 것처럼 보이게 하여 혼란을 줄 수 있고 실제 표적의 탐지 및 요격을 어렵게 할 수 있다. (그림 4)는 웨이블릿 변환을 통해 잡음이 제거된 신호를 보여준다. 실선 타원으로 표시된 실제 표적 정보를 제외하고 나머지 잡음 및 기만 표적에 대한 신호가 억제되어 표적 식별 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.



(그림 2) 잡음이 없을 때 stretch processing을 통해 생성된 표적 정보



(그림 3) 잡음이 있는 상황에서의 표적 정보 (SNR = -6dB)



(그림 4) Wavelet denoising을 통해 잡음이 제거된 신호

### 4.2 저피탐 레이더를 활용한 안전성 향상

저피탐 (Low Probability of Intercept, LPI) 레이더는 표적의 수신기가 방사된 레이더 신호를 탐지 또는 분석하는 것을 방지하기 위해 낮은 송신 출력과 특수 방사 파형을 사용하는 레이더로 정의된다 [23]. 즉, 저피탐 레이더를 활용하여 적을 탐지하면서 적에게는 탐지되지 않을 수 있다. 레이더에서 발생하는 기본 신호는 다음과 같다.

$$y[k] = A \exp(j(2\pi f_c[k])(kT_s) + \phi[k]) + n[k] \quad (2)$$

여기서  $A$ ,  $f_c$ ,  $T_s$ ,  $\phi[k]$ ,  $n[k]$ 는 각각 신호의 진폭, 반송파 주파수, 표본 주기, 순시 위상, 백색 가우시안 잡음을 의미한다. 저피탐 레이더의 다양한 변조 기법 중 위상 변조 기법을 활용한 P1, P4 신호의 순시 위상  $\phi[k]$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P1: \phi_{i,j} = \frac{-\pi}{M} [M - (2j - 1)][(j - 1)M + (i - 1)] \quad (3)$$

$$P4: \phi_i = \frac{\pi(i - 1)^2}{N_c} - \pi(i - 1) \quad (4)$$

이 때,  $i, j$ 는 각각 샘플링 인덱스, 주파수 인덱스를 나타내고  $M$ 개의 주파수에서 주파수당  $M$ 개의 위상 천이를 이용하여 한 주기당 사용되는 총 위상의 개수는  $N_c = M^2$ 개를 갖는다. 이외에도 BPS K, LFM, Costas, Frank, P1-P4, T1-T4 등 저피탐 레이더에서 사용되는 다양한 변조 기법이 활용되고 있다.

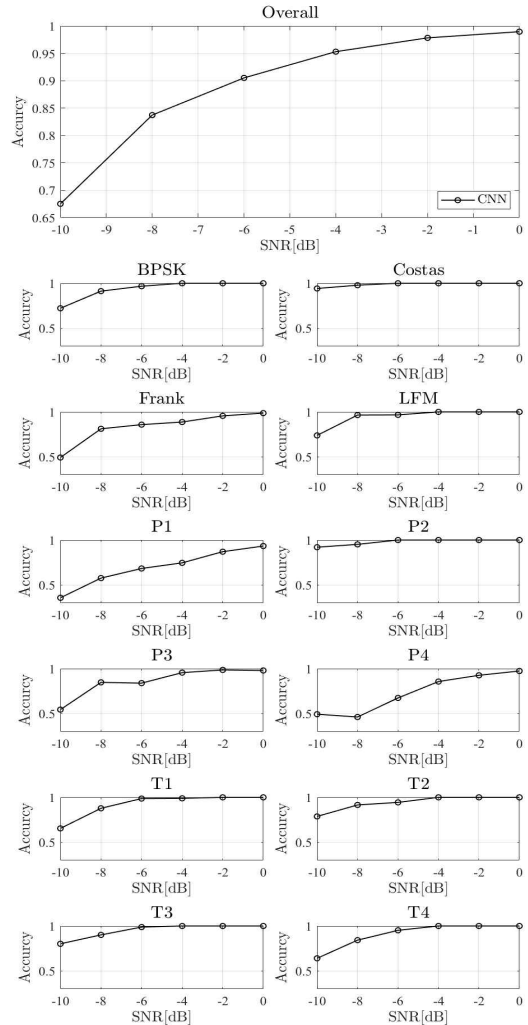
저피탐 레이더의 신호를 푸리에변환 등의 수학적 기법으로 분석하는 것은 제한이 있어 최근에는 딥러닝을 활용하여 신호를 분석하는 방안이 소개되고 있다. 특히, [24]에서는 신호를 CWD(Choi-Williams Distribution) TFA(Time-Frequency Analysis) 방법을 통해 이미지로 변환한 후 CNN(Convolutional Neural Network) 모델로 12개 신호의 파형을 분류하였다. 신호별 분류 정확도 시뮬레이션 결과를 PyTorch로 재현하여 (그림 5)에 제시하였는데, 신호의 주파수, 샘플링 주기 등의 세부 파라미터는 [24]에서 채택하였으며 -10dB부터 0dB까지의 SNR을 갖는 이미지를 각 신호별 1,890개씩 생성하였다. (그림 5)에서 Frank, P1, P

3, P4 등 위상 변조 신호들의 분류 정확도가 낮은 것을 확인할 수 있는데, 특히 -10dB의 SNR에서 분류 정확도가 약 50% 정도로 낮은 것을 볼 수 있다. 이를 분석하기 위해 (그림 6)에 P1, P4 신호의 TFI(Time-Frequency Image)를 제시하였다. 두 신호의 TFI는 매우 유사하여 딥러닝 모델을 통해 구분하기가 어렵고, 신호 간의 상호 오분류를 발생시킴을 알 수 있다. 이에 더해 저피탐 레이다 운용 시 적대적 샘플링을 생성하여 딥러닝 시스템을 방해함으로써 신호 오분류 확률을 높일 수 있다 [25].

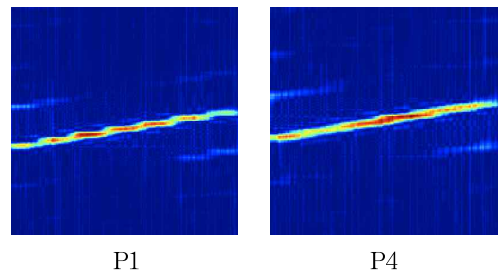
또한 TFA 기법을 통해 신호를 TFI로 변환하기 위해 많은 연산량이 필요하므로 신호를 분석하는 데 오랜 시간이 소요된다. 즉, 저피탐 레이다의 신호를 분석하기 위해 최근 딥러닝 기술이 활용되고 있으나 그 정확도가 여전히 낮고 분석 속도가 느리다는 제한사항이 있다. 따라서 드론 탐지 시스템에 다양한 단일 및 복합변조 기법을 채택한 저피탐 레이다를 운용함으로써 레이다 신호가 분석되어 역추적 되는 것을 방지하여 방공망의 안정성을 향상할 수 있다.

### 4.3 효율성 향상을 위한 레이다 배치 최적화 방안

레이다의 효율적인 배치와 운용을 위해서 다양한 수학적 모델들이 제시되고 있다. 그중에서도 마르코프 결정 과정(Markov Decision Process, MDP)는 시간의 흐름에 따라 상태가 변화하는 환경에서 의사 결정을 내리는 문제를 모델링하는 수학적 도구로써, 드론의 예상 경로를 예측하는 데 활용될 수 있다 [26]. 예를 들어, 드론의 공격이 예상되는 아군의 중요시설 위치에 높은 보상(reward) 값을 부여하고, 장애물 또는 지형, 아군 레이다의 위치가 적에게 노출되었는지 여부 등을 반영하여 비용을 설정하면, 드론의 예상 경로에 대한 수학적 모델링이 가능하다. 이를 바탕으로 드론이 달성할 수 있는 최대가치함수, 즉 드론이 얻게 되는 모든 보상의 합을 최소화하는 방향으로 레이다 배치 및 운용에 대한 최적화 풀이가 가능하다.



(그림 5) CNN 모델을 활용한 BPSK, Costas, Frank, LFM, P1-P4, T1-T4 등 12개 신호 분류 정확도



(그림 6) P1, P4 신호의 time-frequency image

예를 들어, [26]에 나와 있는 그리드(grid) 기반의 모델링을 바탕으로 MDP 모델을 활용하여 아래와 같이 최적화 문제를 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{\mathfrak{R}} \sum_{G_{i,j}} R(G_{i,j}) \times P_d(G_{i,j}) \\ \text{s.t. } |\mathfrak{R}| = N_r \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $R(G_{i,j})$ 는 드론이 그리드  $G_{i,j}$ 에 도달했을 때 얻는 보상을 의미하며,  $P_d(G_{i,j})$ 는 그리드  $G_{i,j}$ 에서의 평균 레이더 탐지 성공률을 의미한다. 이 최적화 문제를 통해 드론이 높은 보상을 얻게 되는 지역에 레이더의 탐지 성공률을 높일 수 있는 최적화된 레이더 배치  $\mathfrak{R}$ 을 구할 수 있다. 또한, 드론의 예상 경로에 대한 통계 분석값을 최적화 함수의 목적함수에 반영함으로써 레이더 배치의 효율성을 증가시키는 것이 가능하다.

이러한 접근 방식을 활용하여 각 부대의 작전 영역의 크기와 지형 등을 고려하여 보유한 레이더 자산을 효과적으로 운용할 수 있는 계획을 도출할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 사이버전자전에서의 드론 탐지 레이더 운용 발전 방안에 대해 제시하였다. 전자파와 네트워크를 통해 운용되는 드론 및 드론 탐지 체계를 이해하기 위해 사이버전자전의 개념에 대해 소개하였고, 군사용 드론의 활용 사례에 대해 살펴 보았다. 또한, 사이버전자전의 작전 환경을 분석하였는데, 다양한 종류의 신호 잡음 및 적의 기만 표적에 의해 표적 식별 확률이 감소하는 상황, 레이더의 전파가 적에게 역 추적될 가능성, 높은 주파수를 사용하는 군사용 레이더의 탐색 범위 제한과 높은 전력 소모에 대해 고려하였다. 이러한 고려사항들을 바탕으로 레이더의 표적 탐지 정확성 향상을 위한 신호 처리 기술, 안전성 향상을 위한 저피탐 레이더의 활용, 효율성 향상을 위한 레이더 운용 및 배치 최적화 방법에 대해 제시하였다. 웨이블릿 변환을 통해 잡음이 있는 작전 환경에서 실제 표적과 기만 표적 및 잡음을 분리할 수 있음을 보였고, 저피탐 레이더 신호 분석의 제한사항을 분석

함으로써 저피탐 레이더의 활용이 방공망의 안정성을 향상할 수 있음을 강조하였다. 또한 마르코프 결정 과정의 그리드 기반 모델링 방법을 예시로 레이더 배치 효율성을 증가시키기 위한 방안을 제시하였다. 향후 연구에서는 사이버전자전 영역에서 드론 위협에 대응하기 위해 드론의 탐지와 더불어 전파 방해 등의 방법으로 드론을 격추시키기 위한 방안과 적대적 샘플링을 활용하는 방안 등을 고려할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] 김학기, “우크라이나 전쟁과 드론, 한국 산업에 대한 시사점,” 월간 KIET 산업경제, 제293권, pp. 61-76, 2023.
- [2] 정삼철, 류남훈, 백태현, “드론산업 발전 동향과 활용 사례,” 연구보고서, pp. 1-111, 2015.
- [3] 심준형, 황의천, 손창근, 류연승, “드론 사고 사례와 기술 동향에 따른 안티드론 대응 방안,” 한국산학기술학회 논문지, 제24권, 제2호, pp. 651-659, 2023.
- [4] 서상, 김도훈, 한상우, “사이버-전자 위협에 대한 드론 전투피해효과 모의 분석,” 한국정보기술학회논문지, 제20권, 제11호, pp. 163-185, 2022.
- [5] 김지원, 박상준, 이광호, 정찬기, “화생방 정찰 드론의 군집비행 시 사이버전자전 취약점 및 대응방안 분석,” 융합보안논문지, 제18권, 제2호, pp. 133-139, 2018.
- [6] 최성재, 노정민, 김상하, “드론 사이버위협에 따른 효과적 대응방안에 관한 연구,” 한국군사학논집, 제78권, 제3호, pp. 301-328, 2022.
- [7] 허엽, 김동진, 이일로, 김대원, 정윤식, “드론의 군사적 활성화를 위한 관련기술 개발동향 및 발전방안,” 한국산학기술학회 논문지, 제22권, 제12호, pp. 324-331, 2021.
- [8] 이기웅, 송경민, 송정환, 정철호, 이우경, 이명진, 송용규, “ISAR 영상 기반 소형 드론 탐지 구현,” 한국전자과학회논문지, 제28권, 제2호, pp. 159-162, 2017.

- [9] 최홍락, 정원호, 김경석, “RF를 이용한 효과적인 드론 탐지 기법,” 한국위성정보통신학회논문지, 제12권, 제4호, pp. 26-33, 2017.
- [10] 이주현, 임여진, 최현지, 정영호, “이미지 센서와 FMCW 레이더의 센서 융합을 통한 딥러닝 기반 드론 탐지기법,” 대한전자공학회 학술대회, pp. 690-691, 2020.
- [11] 신준표, 김유민, 최규민, 성승민, 이병권, “YOLO를 이용한 드론탐지 시스템,” 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집, 제29권, 제1호, pp. 233-236, 2021.
- [12] 문민정, 이우경, “드론 탐지 및 분류를 위한 레이더 영상 기계학습 활용,” 한국정보통신학회논문지, 제25권, 제5호, pp. 619-627, 2021.
- [13] 김승운, 장호석, “레이더를 활용한 드론 탐지체계 제안,” Journal of the KNST, 제5권, 제1호, pp. 33-37, 2022.
- [14] Ann Janeth Garcia, Ali Aouto, 이재민, 김동성, “CNN-32DC: An improved radar-based drone recognition system based on Convolutional Neural Network,” ICT Express, 제8권, 제4호, pp. 606-610, 2022.
- [15] 문민정, 송경민, 유수진, 심현석, 이우경, “레이더 기반의 드론 탐지 기법 연구,” 한국위성정보통신학회논문지, 제12권, 제2호, pp. 99-103, 2017.
- [16] Gong J, Yan J, Li D, Kong D, “Detection of Micro-Doppler Signals of Drones Using Radar Systems with Different Radar Dwell Times,” Drones, Vol. 6, No. 9, pp. 262, 2022.
- [17] 김소연, 김성표, 박범준, 정운섭, 추현우, 윤정, 김진용, “사이버전자전 기술 및 발전방향,” 한국전자과학회논문지, 제32권, 제2호, pp. 119-126, 2021.
- [18] ARMY, U. S. FM 3-38: Cyber Electromagnetic Activities. 2014.
- [19] 김재우, 심상렬, “미국의 군사용 무인항공기 진화적 개발 사례 분석: 전술/전략급 고정익 무인항공기 중심으로,” 선진국방연구, 제3권, 제2호, pp. 17-46, 2020.
- [20] 이규환, “국내외 드론 탐지 기술 동향,” 주간기술동향, pp19-21, 2016.
- [21] 이인재, 최상혁, 주인원, 전진우, 차지훈, 안재영, “불법 드론 대응을 위한 저고도 드론 탐지 기술 동향,” Electronics and Telecommunications Trends, 제37권, 제1호, pp. 10-20, 2022.
- [22] Burrus, C. Sidney. “Wavelets and wavelet transforms,” 2015.
- [23] “Ericsson Microwave Systems Improved HARD-3D radar system,” Jane’s Land-Based Air Defence-Anti-Aircraft Control Systems, 2002.
- [24] Kong, S. H., Kim, M., Hoang, L. M, Kim, E., “Automatic LPI radar waveform recognition using CNN,” IEEE Access, Vol. 6, pp. 4207-4219, 2018.
- [25] 권현, 윤준혁, 김준섭, 박상준, 김용철, “딥뉴럴 네트워크에서의 적대적 샘플에 관한 앙상블 방어 연구,” 융합보안논문지, 제21권, 제2호, pp. 57-66, 2021.
- [26] Moon. C. H., Ahn. J. M., “Markov Decision Process-based Potential Field Technique for UAV Planning,” Journal of the Korea Society for Industrial and Applied Mathematics, Vol. 25, No. 4, 2021.



〔 저 자 소개 〕



김 준 섭 (Junseob Kim)  
 2016년 2월 육군사관학교 학사  
 2020년 7월 Texas A&M University  
 전자공학과 공학석사  
 2020년 8월 ~ 현재  
 육군사관학교 전자공학과 조교수  
 email : junseobkim@kma.ac.kr



이 원 우 (Wonwoo Lee)  
 1989년 2월 육군사관학교 학사  
 1993년 2월 서강대학교 전자공학과  
 공학석사  
 2001년 8월 Syracuse University  
 전자공학과 공학박사  
 1993년 9월 ~ 현재  
 육군사관학교 전자공학과 교수  
 email : wlee01@kma.ac.kr



조 성 환 (Sunghwan Cho)  
 2007년 2월 육군사관학교 학사  
 2011년 7월 Georgia Tech  
 전자공학과 공학석사  
 2021년 6월 University of Oxford  
 전자공학과 공학박사  
 2012년 6월 ~ 현재  
 육군사관학교 전자공학과 부교수  
 email : scho@kma.ac.kr



박 복 기 (Pokki Park)  
 2006년 2월 육군사관학교 학사  
 2012년 5월 NYU 컴퓨터과학과 석사  
 2021년 9월 ~ 현재  
 육군사관학교 전자공학과 조교수  
 email : masca27@kma.ac.kr



박 상 준 (Sangjun Park)  
 2000년 2월 육군사관학교 학사  
 2010년 2월  
 한국과학기술원 정보통신공학 석사  
 2016년 7월 ~ 2022년 12월  
 육군사관학교 전자공학과 조교수  
 2022년 12월 ~ 현재  
 국방기술진흥연구소/전력지원체계연구센터  
 email : sigpsj13438@gmail.com