

Chapter

02

안티 드론 검증 시스템 기술 동향

왕기철_한국전자통신연구원 책임연구원

김재인_한국전자통신연구원 선임연구원

최근 불법 드론에 의해 국가 주요 시설 및 핵심 자원에 관한 정보를 탈취당하거나 주요 인프라에 물리적 타격을 입는 등의 피해를 예방하기 위해 안티 드론 제품들이 활용되고 있다. 이러한 안티 드론 제품들을 평가하기 위해서는 안티 드론 검증 시스템이 필요하지만, 기존 시스템들은 복잡한 연동 절차, 평가 범위의 제한성, 평가 시나리오의 단순성, 물리적 무력화 확인 부재의 문제를 해결해야 한다. 본 고에서는 안티 드론 제품에 적용되는 최근의 AI 기술들과 기존의 안티 드론 검증 시스템 기술들을 분석하고, 진보된 안티 드론 검증 시스템의 개발을 위해 필요한 기술들을 제시한다.

I. 서론

최근 러시아와 우크라이나 간 전쟁 그리고 이스라엘과 하마스 간 전쟁에서 보는 것처럼 드론에 의해 주요 건물 및 핵심 시설 등이 공격당해 파괴되는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 또한, 국가의 주요 시설에 불법 드론이 출현하여 시설 내부를 몰래 촬영하거나 시설의 운영을 방해 혹은 중단시키는 사례들도 지속적으로 보고되고 있다. 따라서, 이러한 불법 드론들로 인한 피해를 효과적으로 막기 위해서 주요 시설에서는 안티 드론 제품들을 도입하여 활용하고 있다.

안티 드론 제품의 도입 및 활용에 있어서 발생하는 문제점들은 다음과 같다. 먼저,

* 본 내용은 왕기철 책임연구원(☎ 062-970-6531, gcwang@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

***본 연구 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음 [25ZK1100, 호남권 지역산업 기반 ICT 융합 기술 고도화 지원사업]

개발된 안티 드론 제품들을 체계적으로 평가할 수 있는 검증 기술이 존재하지 않는다. 둘째, 안티 드론 제품들은 개발사의 자체 테스트만을 수행하여 실제 현장에서 요구되는 기능이나 성능에 미치지 못하는 경우가 자주 발생한다. 셋째, 안티 드론 제품들의 검증을 위한 국제적 표준이 없는 상태여서 안티 드론 제품에 대한 검증은 자체 기준에 따라 수행되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 현재 국내에서 대책과제를 통해 안티 드론 평가 소프트웨어가 개발되고 있다. 이 소프트웨어는 다양한 환경에서 안티 드론 제품에 대한 평가가 가능하도록 소프트웨어 형태로 개발되고 있으나, 복잡한 연동 절차, 평가 범위의 제한성, 평가 시나리오 단순성 등의 문제는 과제로 남아 있다. 또한, 위의 소프트웨어 외에도 국내외에서 논문이나 특허로 공개된 기타 안티 드론 평가 혹은 검증 기술들은 고정된 검증 시나리오 사용, 물리적 무력화 확인 과정 부재 등을 해결해야 한다.

본 고에서는 안티 드론에 적용되는 AI 기술 동향과 국내외에서 개발된 안티 드론 검증 시스템들의 개발 동향을 살펴보고, 안티 드론 검증 시스템이 필수적으로 갖추어야 할 특성들을 기준으로 이들을 비교 및 분석한다. 먼저, II장에서는 최근 안티 드론 기술들에 적용되고 있는 AI 기술 동향을, III장에서는 안티 드론 검증 시스템의 개발 동향을 국내외 논문과 특허를 중심으로 살펴본다. IV장에서는 III장에서 설명한 안티 드론 검증 시스템 기술들을 비교 및 분석하고 시사점을 제시한다. V장은 본 고의 결론을 내린다.

II. 안티 드론 기술에 적용되는 AI 기술 동향

Hong 등은 YOLO(You Only Look Once)v4와 DeepSORT(Deep Simple Online and Real-time Tracking)의 네트워크 구조를 개선하여 드론에 대한 탐지 및 추적 기능을 개선한 방법을 제안하였다[1]. 개선된 두 네트워크 구조에 기반한 방법은 탐지 및 추적 실험에서 YOLOv3와 DeepSORT를 결합한 방법 및 CenterNet과 DeepSORT를 결합한 방법에 비해 우수함을 입증하였다. 그러나, 이 실험은 단지 3개의 드론이 실내에서 저속으로 비행하는 환경에서 수행되었다. 즉, 더 정확한 비교를 위해서는 더 넓은 실외에서 더 많은 드론이 고속으로 비행하는 환경에서 실험이 필요하다.

[표 1] 불법 드론 탐지 방법들의 분류별 특징, 장점 및 단점

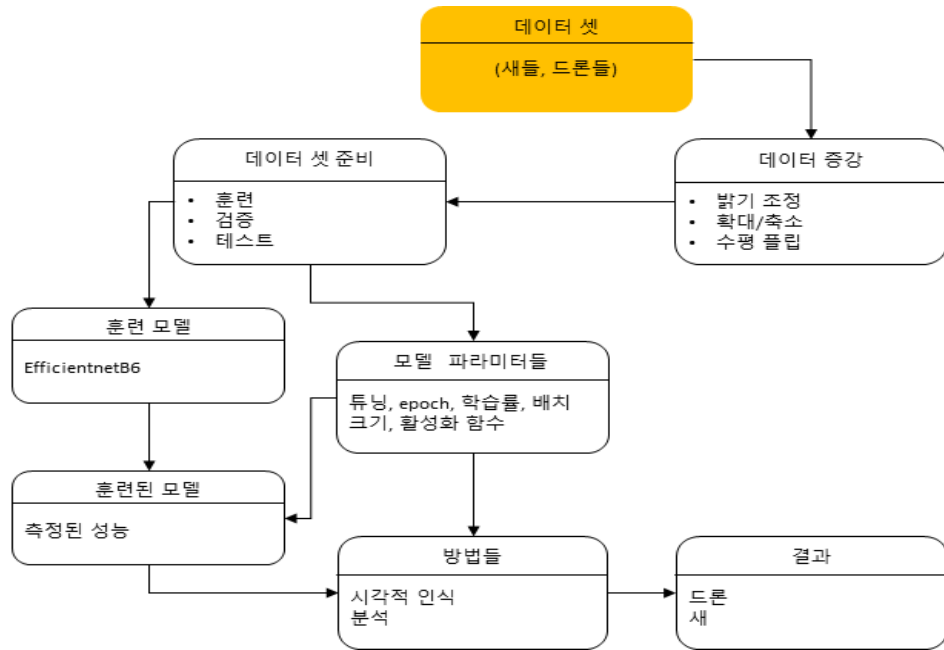
분류	특징	장점	단점
영상 기반 방법	카메라 및 컴퓨터 비전 활용	낮은 비용, 실시간 탐지 가능	날씨 및 조명 조건에 민감, 장애물에 취약
레이더 기반 방법	레이더 신호로 드론 탐지	장거리 탐지 가능, 날씨 영향 적음	비용이 높고, 복잡한 환경에서는 신뢰성 감소
음향 기반 방법	드론 프로펠러 및 엔진 소리 탐지	낮은 비용, 실시간 탐지 가능	소음에 민감, 감지 범위 제한
무선 주파수 기반 방법	드론과 조종기 간 신호 분석	장애물 영향 없음, 장거리 탐지 가능	GPS 기반 자동 비행 드론 탐지 불가, 전파 간섭에 취약

〈자료〉 한국전자통신연구원 자체 작성

Al-Iqubaydhi 등은 불법 드론을 탐지하기 위해 방법들을 영상, 레이더, 음향, 무선 주파수 기반 방법으로 분류하고, 각 분류의 특징, 장점 및 단점을 설명하였다[2]. [표 1]은 불법 드론 탐지 방법들의 분류에 대한 요약이다. 각 분류의 탐지에서 단점을 극복하기 위한 방법은 다음과 같다. 영상 기반의 탐지를 개선하기 위해서 다양한 조명 및 날씨 조건에서 학습한 데이터셋을 활용해야 한다. 레이더 기반의 탐지에서는 머신러닝을 활용하여 레이더 신호의 분류 정확도를 향상시켜야 한다. 음향 기반의 탐지에서는 소음이 많은 환경에서도 작동할 수 있도록 소음을 제거하는 기술이 적용되어야 한다. 무선 주파수 기반의 탐지는 전파 간섭에 강건한 방법을 개발해야 한다.

Ghazalane 등은 드론과 새를 잘 분류하기 위해 다양한 데이터셋 조합 활용, 사전 학습된 모델을 활용한 전이학습 및 미세조정 수행, 다양한 딥러닝 모델 구조 간 성능 비교를 수행하였다[3]. [그림 1]은 이 방법에서 새와 드론을 구별하는 동작을 보여준다. 실험을 통해 비교된 딥러닝 모델 구조(VGG, ResNet, DenseNet, EfficientNet)들 중에서 EfficientNetB6가 가장 좋은 성능을 보였으나, 학습비용을 고려한 성능 측면에서는 EfficientNetB1이 더 우수하였다.

Pandat 등은 안티 드론 시스템에서 세 개의 AI 모델 구조(ModifiedLeNet, ConvNet, LeNet)를 이용하여 불법 드론에 대한 탐지 성능을 confusion matrix, 정확도, 손실 측면에서 비교하였다[4]. 이 결과에서 LeNet과 ModifiedLenet은 ConvNet에 비해 더 좋은 성능을 보였다. 또한, ModifiedLenet은 LeNet에 비해 TP(True Positive) 값은



〈자료〉 Y. Ghazlane, M. Gmira, H. Medromi, "Development Of A Vision-based Anti-drone Identification Friend Or Foe Model To Recognize Birds And Drones Using Deep Learning", Appl. Artif. Intell. 38(1), 2024, Article 2318672, 재가공

[그림 1] 전이학습, 데이터 증강, 미세 조정을 이용한 드론과 새의 구별 방법

늘리고 FN(False Negative) 값을 더 줄여서 성능을 좀 더 향상함을 보였다. [표 2]는 세 개의 AI 모델들의 구조를 비교하여 보여준다.

Wang 등은 드론 탐지를 위해 구축된 기존의 데이터셋들의 특징, 데이터량, 복잡도,

[표 2] Pandat의 방법 에서 불법 드론 탐지를 위한 AI 모델들의 구조 비교

층 \ 모델	ConvNet	LeNet	ModifiedLenet
합성곱층 1	Conv1→Conv2→Maxpool	Conv1→Relu→Maxpool	Conv1→Relu→Maxpool
합성곱층 2	Conv3→Conv4→Maxpool	Conv2→Relu→Maxpool	Conv2→Relu→Maxpool
합성곱층 3	없음	없음	Conv3→Relu→Maxpool
완전연결층	Fully connected1→Relu→ Fully connected2	Fully connected1→Relu→ Fully connected2→softmax	Fully connected1→ Fully connected2→softmax

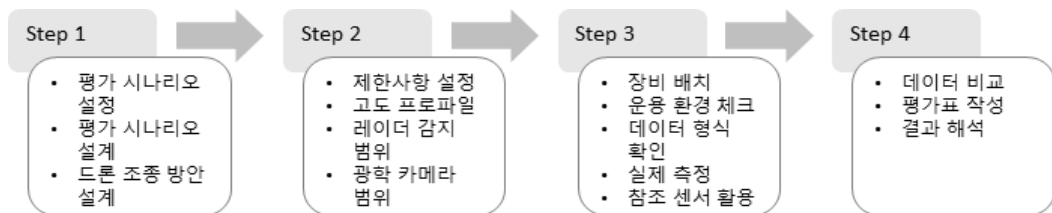
〈자료〉 A. Pandat et al., "Role of AI in Anti-drone Systems: A Review", Proc. of 5th Int'l Conf. on Reliability, Safety and Hazard(ICRESH 2024), Mumbai, India, Feb. 2024, pp.29-39, 재가공

다중 센서 사용 여부, 이미지 종류, 드론 타입을 조사하였고, 이 데이터셋들의 문제점과 개선 방안을 제시하였다[5]. 또한, 드론 탐지 및 추적 방법들을 센서 기반 방법들(RF, 음향, 다중 센서)과 비전 기반 방법들(siamese, transformer, YOLO)로 구분하여 장단점을 분석하였다. 이 방법들의 비교를 위해 잘 알려진 메트릭들(accuracy, precision, recall, F1 score, mAP) 외에도 success(IoU(Intersection over Union)가 특정 임계값을 초과한 비율)와 tracking accuracy(목표물의 가시성과 예측 신뢰도를 고려한 평균 추적 정확도)를 추가로 사용하였다.

III. 안티 드론 검증 시스템 기술 동향

Kouhestani 등은 안티 드론 제품들을 검증하기 위해 탐지 검증, 식별 검증, 무력화 검증 단계로 구성되고, 각 검증 단계의 평가 지표들을 활용하여 적합성 평가와 경보율 평가를 수행하는 시스템을 제안하였다[6]. 이 시스템의 적합성 평가에서는 탐지 확률, 추적 실패 횟수, 추적 정확도, 식별 확률, 무력화 확률을 평가 지표로 활용하였으며, 경보율 평가에서는 과다 경보율과 오류 경보율을 측정하였다.

Časar 등은 안티 드론 제품의 탐지, 추적, 식별 기능 평가를 위해 시나리오 정립, 드론 조종 방법 결정, 정답지 획득, 실제 측정, 사후 분석 단계로 구성되는 안티 드론 검증 시스템을 제안하였다[7]. 먼저, 이 시스템은 안티 드론 제품에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 통해 측정점에서 정답지를 획득한다. 다음으로, 드론 조종자는 결정된 시나리



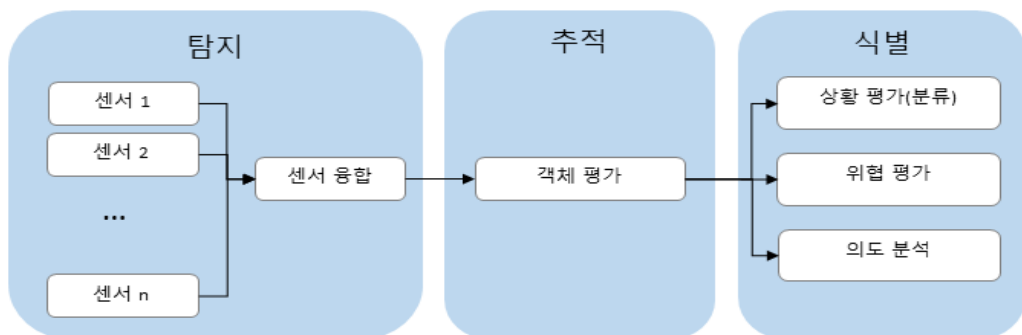
<자료> J. Časar, V. Starý, V. Hanuš, "Evaluation methodology for counter unmanned aerial system detectors", Proc. of Int'l Conf. on Military Technologies(ICMT), Brno, Czech Republic, May 2023, pp.1-5, 재가공

[그림 2] Časar의 안티 드론 검증 시스템에서 탐지, 추적, 식별 검증 과정

오에 따라 시나리오 상의 측정점들을 통과하여 비행하도록 드론을 조종하거나 임무계획을 작성하여 적재함으로써 드론이 시나리오대로 비행하게 한다. 평가자들은 각 측정점에서 안티 드론 장비를 이용하여 평가를 수행하고, 시간, 센서 위치 및 고도, 드론 위치 및 고도, 평가 결과를 기록한다. 사후 분석 단계에서는 기록된 정보들을 활용하여 안티 드론 제품의 탐지, 추적, 식별 기능을 검증한다. [그림 2]는 이 시스템의 수행 절차와 각 절차에서 수행되는 행위들을 명시한다. 그러나 제안된 시스템은 안티 드론 제품의 탐지, 추적, 식별 기능에 대해서만 검증이 가능하고, 검증 방법도 평가자가 임의의 경로점에서 수동으로 측정한 것을 취합하여 검증하는 문제점을 가진다.

Mohamoud 등은 탐지 검증, 추적 검증, 식별 검증의 단계를 거쳐 동작하는 안티 드론 검증 시스템의 구조를 정의하고, 이 시스템에서 활용하는 평가 지표들을 개발하였다 [8]. [그림 3]은 이 시스템의 각 검증 단계에서 수행하는 기능들을 보여준다. 또한, 이 시스템의 소프트웨어는 사용자 인터페이스 모듈, 시나리오 데이터베이스 모듈, 평가 엔진 모듈로 구성된다. 그러나 이 시스템은 소프트웨어 구조와 모듈별 기능만 설계된 상태이므로 실제 구현 및 검증을 통해 운용 환경에서 잘 동작하는지 확인할 필요가 있다.

한국전자통신연구원(ETRI)은 드론의 탐지, 식별, 무력화 기능을 하나로 통합하여 제공하기 위한 시스템에 대한 특허를 출원하였다[9]. 이 시스템은 드론을 탐지하고 식별하면 오차범위를 포함한 무력화 범위를 설정하고 비무력화 대상인 경우에 무력화 범위에서



〈자료〉 A. Mohamoud et al., "An Objective-Driven Test Method for Comparative Performance Evaluation of Commercial DTI Solutions for Counter UAS systems", 2024, 재가공

[그림 3] Mohamoud의 안티 드론 검증 시스템에서 탐지, 추적, 식별 과정의 기능들

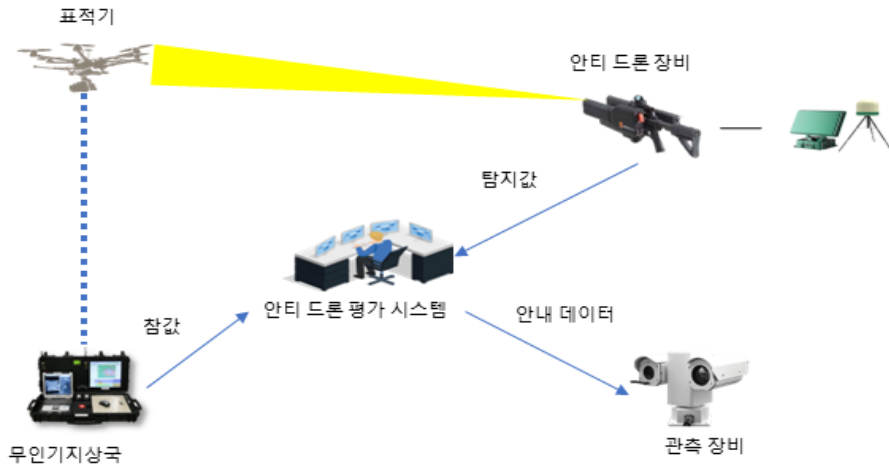
제외한다.

ETRI는 또한 여러 대의 불법 드론이 침입한 경우에 드론 탐지, 드론 ID 식별, 무력화 여부 판단, 무력화를 차례로 수행하는 시스템에 대한 특허를 출원하였다[10]. 이 시스템은 드론 탐지 장치, 안티 드론 통합 제어기, 드론 ID 식별 장치, 탐지 드론 ID 저장소, 드론 무력화 장치로 구성된다. 이 시스템에서 안티 드론 통합 제어기는 탐지된 드론들에 대해 우선순위를 정해 ID를 식별하고, 식별된 ID와 위치정보 그리고 부가정보(소유자, 등록 정보, 비행 승인 정보)를 다른 기관으로부터 획득하여 무력화 여부를 판단하고 수행한다.

티마텍은 안티 드론 제품을 생산하는 제조자가 자신의 제품을 평가하고 안티 드론 성능 측정 결과를 표시하는 성능 평가 시스템에 대한 특허를 출원하였다[11]. 제안하는 시스템은 표적기, 안티 드론 제품 그리고 성능 평가 장치로 구성되며, 성능 평가 장치에 표적기와 안티 드론 제품에 대한 정보를 입력한 뒤에 실제 표적기를 날려 안티 드론 제품의 탐지, 식별, 비물리적 무력화 성능을 측정하고 이에 대한 시험 결과지를 출력한다. 그러나 이 시스템은 제조자가 자신의 제품을 평가하므로, 제조자에 유리하게 평가 환경 설정이 가능하여 평가가 객관적이지 못하며, 평가 지표로서 접근 허용 거리와 무력화 소요 시간만을 설정하여 무력화에 대한 평가만 가능하다.

중국의 Sichuan Jiuzhou사는 상위 플랫폼에서 드론에 대한 탐지 및 물리적/비물리적 무력화 모듈을 선택해서 시뮬레이션을 수행하고, 해당 모듈에 대한 실행파일을 실제 탐지 및 물리적/비물리적 무력화 장치에 적용하여 수행함으로써 시뮬레이션 결과와 실제 수행 결과의 정합성을 확인하는 시스템의 특허를 출원하였다[12]. 이 시스템에서 상위 플랫폼은 다양한 탐지 모듈과 무력화 모듈을 선택하여 시뮬레이션을 생성하는 기능을 제공하고, 하위 플랫폼은 상위 플랫폼에서 생성된 탐지 및 무력화 프로그램을 통합하여 실제 탐지 하드웨어와 무력화 하드웨어에서 테스트를 수행한다. 이 특허는 검증을 위한 시나리오를 다루지 않아 시나리오의 효용성이나 개선 여부는 확인할 수 없다. 또한, 이 시스템에서는 물리적 무력화에 대한 확인을 수행하지 않는다.

중국의 Haifeng사는 안티 드론 장비가 획득한 표적 위치 정보(탐지값)와 표적기가 지상국을 통해 전송한 실제 위치 정보(참값)를 획득하여 탐지 장비의 정확성을 검증하고,



〈자료〉 Haifeng General Aviation Tech. Co. Ltd., Anti-Unmanned Aerial Vehicle Equipment Evaluation System Based on Three-dimensional Gis, Equipment and Storage Medium, China Patent CN2021-11341925, filed Nov. 12, 2021, 재가공

[그림 4] 안티 드론 장비의 비물리적 무력화 검증 시스템

표적기의 실제 위치 정보가 포함된 안내 데이터를 이용하여 안티 드론 장비의 표적기 무력화 여부를 검증하는 시스템의 특허를 출원하였다[13]. [그림 4]는 이 시스템에서 비물리적 무력화 장비의 정확성을 확인하고 관측 장비로 이를 검증하는 것을 보여준다. 그러나 이 시스템은 임의의 안티 드론 장비의 비물리적 무력화 기능에 대한 검증만 가능하다. 즉, 무력화를 수행하기 전에 수행해야 하는 탐지, 식별, 추적과 또 다른 무력화 방법인 물리적 무력화에 대한 검증 방법이 제시되지 않았다.

IV. 안티 드론 검증 시스템 기술 분석

본 장에서는 III장에서 설명한 안티 드론 검증 시스템 기술들을 비교하기 위해 임의의 안티 드론 검증 시스템이 갖추어야 할 바람직한 특성들을 식별하였다. 먼저, 연동 편리성은 안티 드론 제품 업체에서 추가 소프트웨어 개발 없이 안티 드론 검증 시스템과 연동할 수 있는지를 나타내는 특성이다. 두 번째, 안티 드론 전주기 검증 여부는 안티 드론의 전주기(탐지, 식별, 추적, 비물리적/물리적 무력화)에 대해 검증할 수 있는 서비스를 제공

[표 3] 안티 드론 검증 시스템들의 비교

안티 드론 검증 시스템 \ 바람직한 특성	연동 편리성	안티 드론 전주기 검증 여부	검증 시나리오 효용성	검증 시나리오 개선 여부	물리적 무력화 확인 여부
Kouhestani의 시스템[6]	낮음	탐지, 추적, 식별, 비물리적 무력화 검증	낮음	시나리오 개선 없음	비확인
Časar의 시스템[7]	낮음	탐지, 추적, 식별 검증	낮음	시나리오 개선 없음	비확인
Mohamoud의 시스템[8]	낮음	탐지, 추적, 식별 검증	높음	시나리오 개선 없음	비확인
한국전자통신연구원의 시스템들 [9],[10]	해당 사항 없음	해당 사항 없음	해당 사항 없음	해당 사항 없음	해당 사항 없음
티마텍의 시스템[11]	낮음	탐지, 식별, 비물리적 무력화 검증	낮음	시나리오 개선 없음	비확인
Sichuan Jiuzhou사의 시스템[12]	낮음	탐지, 물리적/비물리적 무력화 검증	확인 불가	확인 불가	비확인
Haifeng사의 시스템[13]	낮음	비물리적 무력화 검증	확인 불가	확인 불가	비확인

(자료) 한국전자통신연구원 자체 작성

하는지를 나타낸다. 세 번째, 검증 시나리오 효용성은 안티 드론 검증 시스템이 생성하는 검증 시나리오가 다양하게 제공하여 검증의 효용성이 높은지를 나타내는 특성이다. 네 번째, 검증 시나리오 개선 여부는 생성된 검증 시나리오들을 검증 의뢰 내용 및 결과를 고려하여 수정하는지를 나타내는 특성이다. 마지막으로 물리적 무력화 확인 여부는 안티 드론 제품이 물리적 무력화를 수행하는 경우에 안티 드론 검증 시스템이 표적기의 물리적 무력화를 실제 확인하는지를 나타내는 특성이다. [표 3]에서는 앞에서 언급된 안티 드론 검증 시스템이 갖추어야 할 바람직한 특성들을 이용하여 III장에서 설명한 안티 드론 검증 시스템들을 분석한다.

Kouhestani의 시스템[6]은 안티 드론 제품업체에서 안티 드론 검증 시스템과의 연동을 위해 연동 소프트웨어를 추가 개발함으로 연동 편리성이 낮다. 이 시스템은 탐지, 추적, 식별, 비물리적 무력화를 검증할 수 있으나, 물리적 무력화에 대한 검증을 수행하지 않는다. 또한, 이 시스템은 표적기 한 대가 외곽에서 검증 지역 중심으로 접근하는 형태의 단순한 검증 시나리오를 이용하며, 검증 시나리오에 대한 개선이 이루어지지 않는다.

Časar의 시스템[7] 역시 안티 드론 제품업체에서 안티 드론 검증 시스템과의 연동을 위한 소프트웨어를 추가로 개발해야 한다. 이 시스템은 탐지, 추적, 식별 기능 검증만이 가능하며, 검증 시나리오는 특정한 경로점들을 거의 직선으로 설정하여 그 경로점들을 모두 비행하는 단순한 형태이며, 검증 시나리오에 대한 개선은 이루어지지 않는다. 이 시스템은 물리적 무력화에 대한 검증을 수행하지 않으므로, 물리적 무력화에 대한 확인 또한 수행하지 않는다.

Mohamoud의 시스템[8]은 안티 드론 제품과 안티 드론 검증 시스템 간의 연동을 위해 추가로 소프트웨어를 개발해야 하고, 탐지, 추적, 식별 기능에 대해서 검증만이 가능하다. Mohamoud의 시스템에서는 다양한 시나리오를 생성하여 시나리오 데이터 베이스에 저장하고, 검증 시에 하나를 무작위로 뽑아내는 방식으로 동작한다. 그러나, 이 시스템은 검증 시나리오들에 대한 개선이나 수정 기법은 가지고 있지 않다. Mohamoud의 시스템은 물리적 무력화에 대한 검증을 수행하지 않으므로 물리적 무력화에 대한 확인 또한 수행하지 않는다.

ETRI는 탐지, 식별, 무력화 기능을 하나로 통합하여 제공하기 위한 시스템[9]과 다중 표적에 대한 ID 식별 및 부가 정보 획득을 통한 무력화 여부를 결정하는 시스템[10]을 제안하였다. 그러나, 이 시스템들은 본질적으로 안티 드론 검증 시스템으로 보기는 어려워져서 안티 드론 검증 시스템들을 비교하기 위한 특성들과 관련이 없다.

티마텍의 시스템[11]은 안티 드론 제품을 개발할 때 성능 평가 장치 및 이 장치와의 연동 인터페이스를 같이 개발함으로써 자사 제품에 대한 연동 편리성은 높다. 그러나, 이 시스템의 성능 평가 장치와 타사의 안티 드론 제품을 연동하기 위해서는 연동 소프트웨어를 추가로 개발해야 한다. 이 시스템은 안티 드론 제품의 탐지, 식별, 비물리적 무력화 기능을 검증할 수 있으나, 추적과 물리적 무력화 기능에 대한 검증은 수행하지 않는다. 이 시스템에서는 표적기가 안티 드론 제품의 탐지 범위 안으로 비행하여 들어오는 단순 시나리오만을 가정하고, 시나리오의 개선이나 수정을 다루지 않는다. 이 시스템은 물리적 무력화에 대한 검증을 수행하지 않으므로, 물리적 무력화에 대한 확인 또한 수행하지 않는다.

Sichuan Jiuzhou사의 시스템[12]은 안티 드론 검증에 앞서서 탐지 및 물리적/비물리적 무력화 기능에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 이 시뮬레이션 결과가 성공한 경우에 결과를 실제 안티 드론 검증에 적용하는 시스템이다. 이 시스템은 안티 드론 제품과 안티 드론 검증 시스템 간의 연동 소프트웨어 개발이 필요하고, 탐지와 물리적/비물리적 무력화 기능에 대해서만 검증을 수행한다. 이 시스템에 대한 검증 시나리오의 효용성 및 개선 여부는 현재 확인되지 않고, 이 시스템은 물리적 무력화에 대한 확인을 수행하지 않는다.

Haifeng사의 시스템[13]은 안티 드론 제품업체가 안티 드론 검증 시스템과의 연동을 위해 연동 소프트웨어를 개발함으로써 연동의 편리성이 낮다. 또한, 이 시스템은 표적기의 비물리적 무력화에 대한 검증만 수행하고, 탐지, 추적, 식별 및 물리적 무력화에 대한 검증을 수행하지 않는다. 이 시스템에서는 검증 시나리오에 대해 다루고 있지 않으므로, 검증 시나리오의 효용성이나 개선 여부는 확인할 수 없다. 이 시스템은 물리적 무력화에 대한 검증을 수행하지 않으므로, 물리적 무력화에 대한 확인 또한 수행하지 않는다.

위의 분석 내용들을 종합해 보면 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다. 먼저, 안티 드론 제품업체들은 검증을 위해 안티 드론 검증 시스템과의 연동 소프트웨어를 추가로 개발해야 한다. 따라서 안티 드론 검증 시스템의 개발 시에 안티 드론 연동 장치를 같이 개발하여 제공함으로써 안티 드론 제품업체들에게 연동 편리성을 제공한다. 두 번째, 아직까지 안티 드론의 전주기(탐지, 추적, 식별, 비물리적 무력화, 물리적 무력화)에 대한 검증 시스템이 존재하지 않으므로, 전주기를 검증할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 세 번째, 대부분의 안티 드론 검증 시스템들이 단순한 검증 시나리오만을 채택함으로써 검증의 효용성이 떨어지게 된다. 따라서, 실제 상황과 유사한 다양한 검증 시나리오를 생성할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다. 네 번째, 기존의 안티 드론 검증 시스템들은 검증 시나리오를 개선하지 않으므로, 불법 드론들의 변형된 비행 시나리오 등에 대해 적용하지 못한다. 따라서, 검증 의뢰 내용과 결과 등을 학습시켜 검증 시나리오를 개선하는 시스템을 개발할 필요가 있다. 마지막으로, 기존의 안티 드론 검증 시스템들은 물리적 무력화에 대한 확인 수단이 없으므로, 안티 드론 제품의 물리적 무력화 성능을 확인할 수 없다. 따라서, 안티 드론 제품의 물리적 무력화를 실제로 확인하는 수단을 가지는

시스템을 개발할 필요가 있다.

V. 결론

본 고에서는 안티 드론 기술에 적용되는 최신 AI 기술 동향과 안티 드론 기술들을 검증하기 위한 안티 드론 검증 시스템 기술 동향을 자세히 살펴보았다. 또한, 안티 드론 검증 시스템에서 필수적인 특성들을 식별하였고, 이 특성들을 이용하여 기존의 안티 드론 검증 시스템들을 비교 및 분석하였다. 분석한 결과를 요약해 보면, 안티 드론 검증 시스템은 안티 드론 제품과의 연동 장치, 전주기 검증 서비스, 다양하고 현실성 있는 검증 시나리오, 검증 시나리오의 개선, 물리적 무력화 확인을 제공할 필요가 있다. 덧붙여서, 물리적 무력화를 실제로 수행하기 전에 시뮬레이션할 수 있는 서비스와 안티 드론 제품의 개선 방안을 제시하는 서비스의 개발은 향후 연구 개발 과제로서 큰 의미가 있다.

● 참고문헌

- [1] T. Hong, H. Liang, Q. Yang, L. Fang, M. Kadoch and M. Cheriet, "A Real-Time Tracking Algorithm for Multi-Target UAV Based on Deep Learning", *Remote Sens.* 15(1), 2023, Article 2.
- [2] D. Al-Iqubaydhi et al., "Deep learning for unmanned aerial vehicles detection: A review", *Comput. Sci. Rev.* 51, 2024, Article 100614.
- [3] Y. Ghazlane, M. Gmira and H. Medromi, "Development Of A Vision-based Anti-drone Identification Friend Or Foe Model To Recognize Birds And Drones Using Deep Learning", *Appl. Artif. Intell.* 38(1), 2024, Article 2318672.
- [4] A. Pandat, P. Rajasekhar, G. Aravamuthan, G. Joseph, R. Shukla and G. Vinod, "Role of AI in Anti-drone Systems: A Review", *Proc. of 5th Int'l Conf. on Reliability Safety and Hazard (ICRESH)*, Mumbai, India, Feb. 2024, pp.29-39.
- [5] B. Wang et al., "A Survey on Vision-Based Anti Unmanned Aerial Vehicles Methods", *Drones* 2024 8(9), 2024, Article 518.
- [6] C. Kouhestani, B. Wool and G. Birch, "Counter Unmanned Aerial System Testing and Evaluation Methodology", *Proc. of Sensors and Command, Control, Communications and Intelligence(C3I) Technologies for Homeland Security, Defense and Law Enforcement Applications XVI*, 10184,

- Anaheim, CA, USA, May 2017.
- [7] Časar, V. Stary and V. Hanuš, "Evaluation methodology for counter unmanned aerial system detectors", Proc. of 2023 Int'l Conference on Military Technologies(ICMT), Brno, Czech Republic, May 2023, pp.1-5.
 - [8] A. Mohamoud et al., "An Objective-Driven Test Method for Comparative Performance Evaluation of Commercial DTI Solutions for Counter UAS systems", 2024.
 - [9] 한국전자통신연구원, 안티 드론 정보융합/동작제어 장치, 안티 드론 시스템, 및 그 동작 방법, 특허출원번호 10-2022-0054234, 출원일 2022. 5. 2.
 - [10] Electronics and Telecommunications Research Institute, Information Fusion/Operation Control Device for Anti-drone System, Anti-drone and Operation Method Thereof, US Patent 18/140,738, filed Apr. 28, 2023.
 - [11] 주식회사 티마텍, 안티 드론 장치의 성능 시험을 위한 평가 방법 및 시스템 그리고 이를 위한 성능 평가 장치, 특허출원번호 10-2020-0148017, 출원일 2020. 11. 6, 등록일 2021. 5. 28.
 - [12] Sichuan Jiuzhou Atc Tech Co. Ltd., A Uav Countermeasure System Test Method and Platform, China Patent CN2020-10681465, filed Jul. 15, 2020.
 - [13] Haifeng General Aviation Tech. Co. Ltd., Anti-Unmanned Aerial Vehicle Equipment Evaluation System Based on Three-dimensional Gis, Equipment and Storage Medium, China Patent CN2021-11341925, filed Nov. 12, 2021.