

# 열·영상 복합 인식 기반 자율 소화탄 투하 드론 시스템

한경태, 김성식, 신수용\*

국립금오공과대학교 전자시스템전공 학부생

\*국립금오공과대학교 전자시스템전공 교수

20191221@kumoh.ac.kr, kss6119@naver.com

\*wdragon@kumoh.ac.kr

## Autonomous Fire-Extinguishing Bomb Deployment Drone System Based on Thermal-Visual Fusion Recognition

Han Gyeong Tae, Kim Seong Sik, Shin Soo Young\*

Kumoh National Institute of Technology, Department of Electronic Systems

\*Kumoh National Institute of Technology, Department of Electronic Systems

### 요약

본 논문은 듀얼 모드 YOLO 인식을 통해 열화상 및 RGB 카메라 데이터를 결합하여 화재를 감지하는 자율 드론 시스템을 개발합니다. 젯슨 나노 기반 온보드 컴퓨터는 실시간 이미지 스트림을 처리하고 두 센서가 동시에 화재 발생 여부를 확인할 때만 서보 구동 해제 메커니즘을 활성화합니다. PX4를 실행하는 픽쇼크가 장착된 X500 프레임을 기반으로 구축된 이 드론은 QGroundControl을 통해 미리 정의된 임무를 수행하고 목표 지역에 도달하면 화재 진압 폭탄 배치를 수행합니다. 이 열화상-시각 융합 접근 방식은 특히 지상 접근이 제한된 지역에서 신뢰할 수 있는 초기 단계의 산불 대응을 제공합니다.

## I. 서론

최근 기후 변화로 인하여 산불이 자주 발생함에 따라 초기 화재 대응의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 특히 산악 지형이나 접근이 어려운 외곽 지역은 인력 중심의 대응만으로는 신속한 진화가 어렵고, 현장 상황을 파악하는 데 상당한 시간이 소요되는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 드론을 이용한 대응 전략이 중요하게 여겨지고 있으며, 이는 인명 피해를 최소화하고 화재 진압의 성공률을 높일 수 있는 대안으로 평가받는다.

본 연구는 기존에 사용되던 단일 센서를 기반으로 이루어진 탐지의 한계를 극복하기 위해 열화상(Thermal)과 시각(RGB) 영상을 결합한 듀얼 모드 인식 시스템을 제안한다. 이를 통해 화재 감지의 정확도를 높여 오탐지(False Positive)를 최소화하고, 목표 지점에 도달 시 자동으로 소화탄을 투하하는 자율 소화탄 투하 드론 시스템을 구축하여 초기 산불 진압의 효율성을 극대화하고자 한다.

## II. 본론

### A. 하드웨어 시스템 인터페이스 및 구성

본 시스템은 고성능 연산을 담당하는 NVIDIA Jetson Orin Nano와 실시간 비행 제어를 담당하는 Pixhawk 6C를 핵심 층으로 구성된다.

- 영상 인식부: SIYI A2 RGB 카메라와 FLIR 기반 열화상 카메라를 사용하여 복합 영상을 수집한다.
- 제어 및 투하부: PX4 펌웨어 기반의 X500 V2 프레임을 사용하며, Jetson Nano의 GPIO 신호에 따라 동작하는 Tarot TL2961-03 서보 해제 모듈을 장착하여 소화탄을 투하한다.
- 투하 장치: Tarot TL2961-03 서보 해제 모듈을 드론 하단 중심부에 설치

하여 소화탄 투하 시 무게 중심 변화를 최소화하였다.



그림 1. 드론 하드웨어 구성도

### B. 듀얼 모드 화재 인식 및 오차 방지 알고리즘

그림 2와 같이, 정확한 발화점 식별과 오탐지(False Positive) 방지를 위해 다음과 같은 소프트웨어 구조를 설계하였다.

- Yolo\_fire\_detector: 그림 3과 같이 열화상과 RGB 두 모델의 신뢰도(Confidence) 값이 모두 0.5 이상일 때만 화재를 확정한다. 이는 RGB 영상의 시각적 한계와 열화상 영상의 온도 인식 오차를 상호 보완하여 판단의 정확도를 극대화하기 위함이며, 실제 실험에서 RGB(0.64) 및 열화상(0.79)의 동시 검출을 통해 이를 검증하였다.
- Target\_fusion\_node: 순간적인 빛 반사나 노이즈로 인한 오작동을 막기 위해 연속으로 3프레임 이상 조건이 유지될 때만 투하 신호를 발생시켜 시스템의 운용 안정성을 확보하였다.
- 모델 최적화 및 실시간 제어 검증: YOLOv8 모델을 학습(각 500장 데이터셋, 300 epochs)한 후, 임베디드 환경에 최적화된 ONNX 포맷으로

변환하였다. 이를 통해 실시간 추론 속도를 확보하였으며, 그럼 4에서와 같이 화재 인식 시 소화탄 투하를 위한 '[SERVO] fire' 명령이 지연 없이 수행됨을 확인하였다.

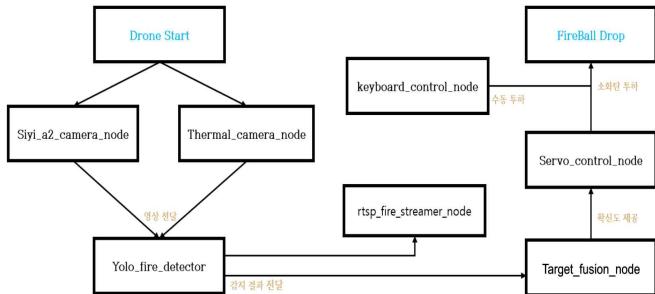


그림 2. 전체 시스템 구조



그림 3. YOLO 인식 결과 화면

```
ling ONNX Runtime 1.23.2 CPUExecutionProvider
[NMLiteOpen : Block : BlockType = 279
[NMLiteBlockCreate : Block : BlockType = 279
[NMLiteOpen : Block : BlockType = 4
==== NVVideo: NVENC =====
[NMLiteBlockCreate : Block : BlockType = 4
64: extProfile = 2 Level = 6
[MEDIA: Need to set ENC bandwidth : 376000
adding /home/wens/models/fire_a2_200.onnx for ONNX Runtime inference...
[ONNX] fire
[ENVO] fire
```

그림 4. YOLO 실시간 추론 로그

### C. 시스템 통합 과정의 기술적 문제 해결

본 시스템의 개발 과정에서 발생한 하드웨어 간 충돌 및 소프트웨어 최적화 문제를 다음과 같이 해결하였다.

- 네트워크 및 드라이버 연동: Jetson 보드에서 Intel 8265NGW 무선랜 모듈이 인식되지 않는 문제를 해결하기 위해, NVIDIA 커널 소스를 기반으로 backport-iwlwifi 드라이버를 직접 빌드하여 포팅하였다. 이를 통해 무선 데이터 송수신 안정성을 확보하였다.
- GPIO 및 PWM 제어 쇠적화: 소화탄 투하를 위한 서보 모터 구동 시, Jetson-IO 설정을 통해 하드웨어 33번 핀을 PWM 기능으로 재매핑 하였다. 또한, 라이브러리 간의 의존성 문제를 해결하여 제어 신호의 안정성을 높였다.
- 직렬 통신 포트 점유 문제 해소: 리눅스 환경의 ModemManager 서비스가 텔레메트리 전용 포트를 선점하여 통신이 차단되는 현상을 확인하였다. 해당 서비스를 비활성화함으로써 Pixhawk와 Jetson 간의 MAVLink 통신 경로를 단독으로 확보하였다.
- 영상 자원 경합 및 지연 방지: RTSP 스트리밍과 AI 추론 노드가 카메라 장치에 동시에 접근할 때 발생하는 연산 지연 및 자원 경합 문제를 GStreamer 파이프라인의 Queue 요소 및 개별 버퍼 관리 로직을 도입하여 해소하였다.

#### D. 실험 결과 및 분석



그림 5. 실제 시연 및 소화탄이 정상 투하된 장면

실제 야외 비행 테스트를 통하여 시스템의 안정성과 성능을 검증하였다.

- 투하 실험: 그림 5와 같이 실제 야외 환경에서 소화탄 투하 실험을 수행하였다. 실험 결과, 고도 5m에서 10회 시도 중 10회 성공, 고도 10m에서 10회 시도 중 8회 성공을 기록하였다. 이는 총 20회 실험 중 18회 성공으로, 약 90%의 높은 투하 성공률을 보이며 시스템의 실효성을 입증하였다.
- 환경 변수 분석 및 한계점 도출: 실험 과정 중 발생한 2회의 투하 오차는 강풍으로 인해 기체가 순간적으로 밀리면서 발생하였다. 이를 통해 향후 풍속과 같은 자연환경 변수를 실시간으로 계산하여 투하 지점을 보정하는 정밀 제어 알고리즘의 필요성을 확인하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 자율 비행 기술과 AI 기반 복합 영상 인식을 융합하여 신뢰도 높은 초기 산불 대응 시스템을 구현하였다. 열화상과 시각 영상의 교차 검증을 통해 오작동 가능성을 현격히 줄였으며, 실제 투하 실험을 통해 시스템의 실효성을 입증하였다. 본 시스템은 골든타임을 확보함으로써 인명 및 재산 피해 감소, 방재 비용 절감, 그리고 기술적 확장성 측면에서 큰 의미를 가진다. 향후 GPS 기반 정밀 위치 인식과 다중 소화탄 투하 구조를 적용하여 시스템의 완성도를 더욱 높일 계획이다. 본 논문에서 제안한 시스템은 단순히 화재를 탐지하는 것을 넘어, 이종 센서 융합(Dual-validation)과 시계열 검증(Temporal Validation)을 통해 야외 환경의 변수를 효과적으로 제어하였다. 특히 임베디드 환경에서 발생하는 자원 경합 및 통신 간섭 문제에 대한 실질적인 해결 방안을 제시함으로써, 실제 산불 현장에 즉시 투입 가능한 시스템의 기술적 토대를 마련하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the Ministry of Science and ICT (MSIT), Korea, through the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2025-RS-2024-00437190) and the ICT Challenge and Advanced Network Support Program (RS-2025-00553810), both supervised by the Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP).

## 참 고 문 헌

- [1] 강호현, 신수용.(2022). Aruco Marker를 사용한 드론 정밀 착륙시스템. 한국통신학회논문지, 47(1), 145-150.
- [2] 유성원, 신수용. (2024). 딥러닝 알고리즘을 사용한 UAV 정밀투하보조 시스템. 한국통신학회 학술대회논문집, 제주.
- [3] 김병우(아주대학교), 원은석, 정성윤 외 2명(2024). 강화학습 기반 산불 진화드론 시뮬레이션 구현