

다중 센서에 대응 가능한 범용 헬리패드 기반의 정밀 착륙 시스템

김동현, 신수용

국립금오공과대학교 IT융합공학과

EO/IR Camera-Based Helipad Recognition for Autonomous Precision Landing Systems

Dong-Hyeon Kim, Soo-Young Shin

Dept. of IT Convergence

Kumoh National Institute of Technology

donggu@kumoh.ac.kr

wdragon@kumoh.ac.kr

요 약

도심 환경에서는 RTK-GPS의 정확도가 저하되어 드론의 정밀 착륙에 어려움이 발생하며, 야간 및 악천후와 같은 특수 조건에서는 안정적인 착륙이 더욱 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 940nm 파장의 고효율 IR LED를 기반으로 설계된 다중 센서 대응 헬리패드 마커와, 이를 인식하는 YOLOv8 기반 비전 시스템을 적용한 범용 정밀 착륙 시스템을 제안한다.

제안된 헬리패드는 EO, NIR, LWIR 센서에서 모두 인식 가능하도록 설계되었으며, 주간에는 일반 카메라로, 야간에는 NIR 카메라를 통해 LED 발광을, 열화상 카메라를 통해 발열 패턴을 탐지할 수 있어 주야간 전천후 운용이 가능하다. 특히 YOLOv8n(Nano) 모델을 기반으로 한 객체 검출 알고리즘을 활용하여 Jetson Orin과 같은 임베디드 환경에서 실시간 추론이 가능한 경량 모델을 구현하고자 한다.

1. 서론

최근 도심 지역 및 특수 환경에서의 드론 정밀 착륙 기술이 각광받고 있다. 특히 RTK-GPS 신호가 불안정한 도심 밀집 지역에서는 수 미터 단위의 위치 오차가 빈번하게 발생하며, 이는 자율 착륙 시스템의 안정성과 신뢰도를 크게 저하시킨다. 야간, 악천후, 고층 반사 등 다양한 환경 조건에서도 안정적으로 착륙할 수 있는 보조 인식 시스템의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 다중 센서에 대응 가능한 범용 헬리패드 기반의 정밀 착륙 시스템을 제안한다. 착륙 지점에는 940nm 파장의 고효율 IR LED로 구성된 마커형 헬리패드를 설치하고, 드론에는 FLIR BosonR 640 열화상 카메라를 탑재하여 마커의 열 방출 특성을 기반으로 탐지 및 착륙을 수행한다.

특히 본 연구에서 제안하는 헬리패드는 단순히 열화상 기반 시스템에 국한되지 않는다. 다음과 같은 특징을 통해 다양한 센서 환경에서의 인식이 가능하도록 설계되었다.

- 주간에는 일반 가시광 카메라로도 인식 가능
 - 야간에는 NIR(근적외선) 카메라를 통해 LED 발광 자체를 인식 가능
 - 열화상 카메라로는 발열 패턴 기반 탐지 가능
- 이를 통해 단일 마커 구조로 *주야간, 다양한 센서 플랫폼(NIR/EO/LWIR)*을 아우를 수 있는 확장성 높은 드론 착륙 시스템을 실현하였다.

2. 본론

연구에서 제안하는 드론 정밀 착륙 시스템은 GPS 기반의 초기 위치 탐색, EO/IR 또는 NIR 카메라 기반의 마커 탐지, 그리고 실시간 제어를 통한 수직 하강 착륙이라는 세 단계로 구성된다. 먼저 드론은 일반 GPS 또는 RTK-GPS를 이용하여 헬리패드 위치를 대략적인 지점으로 이동한다. 그러나 도심 환경에서는 RTK-GPS 신호도 고층 건물의 반사나 다중 경로 현상으로 인해 정확도가 저하되는 경우가 많아, 이 과정은 어디까지나 초기 탐색을 위한 보조 수단으로 사용된다

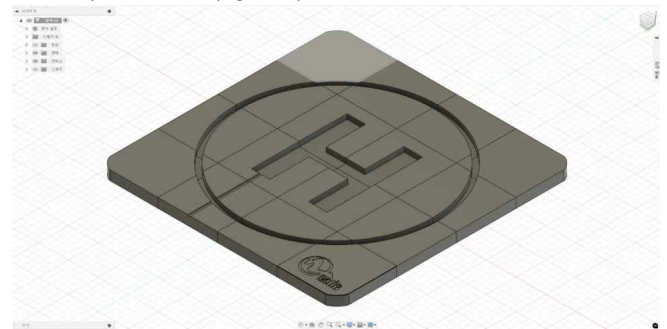


그림 헬리패드 모델링

드론이 착륙 지점 주변에 도달하면 짐벌이 장착된 EO/IR 카메라 시스템이 작동하며, 본격적인 시각 기반 마커 인식 절차가 시작된다. 주간이나 밝은 환경에서는 일반 EO 카메라를 활용하여 마커를 인식하고, 야간이나 안개, 비, 저조도 환경에서는 FLIR BosonR 640 또는 NIR 카메라와 같은 적외선 카메라

가 사용된다. 이때 헬리패드에는 940nm 파장의 고출력 IR LED가 대칭 구조로 배열되어 있으며, 카메라는 이 마커를 영상 스트림으로 수신하여 탐지 알고리즘에 전달한다.

제안하는 IR LED 헬리패드는 센서의 종류에 상관없이 일관된 탐지가 가능하다는 점에서 범용성이 매우 높다. 주간에는 EO 카메라를 통해 마커의 외형이 시각적으로 인식되며, 야간에는 NIR 카메라로 940nm LED의 발광이 직접적으로 탐지된다. 열화상 카메라의 경우, LED의 열 방출이 영상 내 고온 영역(핫스팟)으로 표현되어 열 기반의 인식이 가능하다.

이러한 센서별 인식 메커니즘을 정리하면 다음 <표 1>과 같다.

센서 유형	인식 매커니즘	조건
EO 카메라	마커의 외형 및 형광 반사	주간, 밝은환경
NIR 카메라	940nm IR LED의 직접 발광 감지	야간, 근적외선 대응
LWIR 열화상 카메라	IR LED 발열 감지	야간, 전천후

<표 1> 카메라 센서 종류별 인식 매커니즘

이처럼 동일한 마커 구조를 다양한 센서 플랫폼에서 인식할 수 있다는 점은, 드론의 센서 구성과 운용 환경에 구애받지 않고 착륙 시스템을 일관성 있게 구현할 수 있음을 의미한다. 특히 군집 드론, 임무용 드론, 산업용 드론 등 서로 다른 하드웨어 플랫폼을 사용하는 경우에도 동일한 착륙 마커를 공유할 수 있어, 운영 효율성과 확장성이 뛰어나다.

마커 탐지에는 YOLOv8 기반의 객체 검출 모델을 적용할 계획이다. YOLOv8은 경량 구조와 빠른 추론 속도 덕분에 Jetson Orin 등 임베디드 시스템 환경에서도 실시간으로 운용 가능하며, 일정한 패턴을 갖는 고정 구조물 탐지에 최적화되어 있다는 점에서 착륙 마커 인식에 적합하다. 특히 본 연구에서는 YOLOv8n(Nano) 모델을 활용하여 시스템의 실시간성과 정확성 간의 균형을 고려할 예정이다

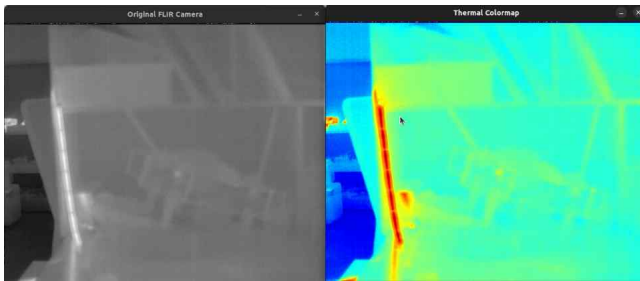


그림 1 고출력 IR LED를 열화상 카메라로 촬영한 모습

3. 결론

수집된 데이터셋을 기반으로 PyTorch 기반 Ultralytics 프레임워크를 활용해 YOLOv8 모델을 학습하고, 열화상 영상에 최적화된 객체 검출 성능을 확보하는 것을 목표로 한다. 모델이 학습된 후에는,

이전 연구[3]의 방식을 적용하여, 실제 드론에 탑재된 열화상 카메라로부터 입력된 영상 스트림에서 IR LED 마커의 중심을 실시간으로 추출하고, 이를 기반으로 드론의 자세를 자동 정렬한 뒤 수직 방향으로 안정적인 하강 착륙이 가능하도록 제어 시스템을 구현할 계획이다.

하나의 마커로 EO, NIR, LWIR 등 다양한 파장대의 센서와 호환되는 인식이 가능하다는 점은, 향후 다양한 임무 환경에서의 드론 착륙 시스템 설계에 매우 유리한 요소로 작용할 것이다.

향후 실험에서는 각 센서 유형(EO, NIR, LWIR)에 따른 탐지 성공률과 인식 정확도를 비교하고, 제안하는 마커 기반 시스템이 RTK-GPS 단독 운용 시 발생할 수 있는 위치 오차를 얼마나 효과적으로 보완할 수 있는지 실험 후 분석할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2025-RS-2024-00437190) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation, 50%) This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2018R1A6A1A03024003, 50%)

3. 참고 문헌

[1] K. Csernák and A. Nagy, "The drone as an essential tool for law enforcement and disaster response during the coronavirus pandemic," in Proc. 2020 IEEE 3rd Int. Conf. and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE), Budapest, Hungary, Nov. 18–19, 2020, pp. 95–100. doi: 10.1109/CANDO-EPE51100.2020.9337768

[2]유성원, 신수용. (2024-01-31). 조난자 탐지를 위한 드론 기반의 RGB 및 열화상 기반 딥러닝 모델 연구. 한국통신학회 학술대회논문집, 강원.

[3]강호현 and 신수용. (2022). Aruco Marker를 사용한 드론 정밀 착륙시스템. 한국통신학회논문지, 47(1), 145-150.