

열화상 카메라를 사용한 야간 정밀 착륙에 관한 연구

김동현, 신수용

국립금오공과대학교 IT 융복합공학과

A Study on Night-time Precision Landing Using a Thermal Camera

Dong-Hyeon Kim, Soo-Young Shin

Dept. of IT Convergence

Kumoh National Institute of Technology

donggu@kumoh.ac.kr

wdragon@kumoh.ac.kr

요약

본 연구는 야간 환경에서 무인항공기(UAV)의 정밀 착륙을 위해 열화상 카메라 기반 H 마커 검출 시스템을 개발하고 성능을 검증하였다. X500 쿼드콥터 드론에 Hadron 640R 열화상 카메라를 탑재하여, 여름철 외부 기온 약 28°C, 오후 10 시의 야간 조건에서 약 6,000 장의 열화상 이미지를 촬영하였다. 드론의 고도와 자세를 변화시키며 다양한 각도와 거리에서 H 마커를 수집하였고, 모든 이미지를 수동 라벨링하여 학습 데이터셋을 구축하였다. 객체 검출에는 YOLO 모델을 사용하여 100 epoch 동안 학습을 진행하였으며, 정밀도 0.995 이상, 재현율 0.998 이상, mAP50 0.994 이상, mAP50-95 약 0.90 의 성능을 달성하였다. 가제보 시뮬레이터 검증에서 학습된 모델은 H 마커를 약 0.90 의 신뢰도로 안정적으로 검출하였고, 거리 및 기울기 변화에도 성능을 유지하였다. 향후에는 합성 데이터 증강, 도메인 랜더링, 실제 열화상 데이터 기반 파인튜닝을 통해 다양한 환경에서의 강건성을 확보하고, 비행 제어 시스템과의 통합 실험을 수행할 예정이다.

1. 서론

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 물류, 재난 구조, 군사 작전, 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 그 활용 범위가 급격히 확대되고 있다. 특히 자율비행 기술의 발전과 함께 정밀 착륙은 임무 성공과 안전성 확보를 위한 핵심 요소로 주목받고 있다. 일반적인 UAV 착륙 방식은 GPS 신호를 기반으로 하지만, GPS는 건물 밀집 지역, 산악 지형, 실내 환경 등에서 신호가 불안정하거나 차단되는 문제가 발생한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 카메라 기반 마커 검출 방식이 도입되었으며, 최근에는 딥러닝 기반 객체 검출 기법을 활용한 고정밀 착륙 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 기존 카메라 기반 착륙 시스템은 주로 가시광 카메라를 사용하기 때문에 야간이나 악천후 환경에서 검출 성능이 크게 저하되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 열화상 카메라를 활용하면 조명 조건에 영향을 받지 않고 목표물을 탐지할 수 있으며, 야간 작전과 같은 가시광 의존도가 낮은 환경에서도 안정적인 착륙이 가능하다. 특히, 열화상 기반 마커 검출은 군사 및 산업 분야에서 야간 비행의 안전성을 크게 향상시킬 수 있는 잠재력을 지닌다.

본 연구에서는 X500 쿼드콥터드론에 Hadron 640R 열화상 카메라를 탑재하여 야간 환경에서의 정밀 착륙을 위한 H 마커 검출 시스템을 구축하였다.

2. 본문



그림 1 착륙 패드 열화상 이미지

본 연구에서 사용된 데이터셋은 X500 쿼드콥터 드론에 **Hadron 640R** 열화상 카메라를 탑재하여 촬영하였다. 실험은 여름철 외부 기온 약 28°C의 환경에서, 오후 10 시에 진행되었으며 야간 조건을 충실히 반영하였다. 촬영 과정에서는 드론의 고도와 자세를 변화시키며 H 마커를 다양한 각도와 거리에서 획득하였고, 이를 통해 실제 비행 환경에서 발생할 수 있는 시야각 변화, 거리 변화 등을 데이터에 포함시켰다. 이렇게 수집된 약 6,000 장의 열화상 이미지는 X-AnyLabeling 툴을 활용해 전부 수동 라벨링 하였으며, YOLO 모델을 100 epoch 동안 학습하여 그 결과를 분석하였다. 그림 2 은 학습 과정에서의 손실 값 변화와 성능 지표 변화를 보여준다.

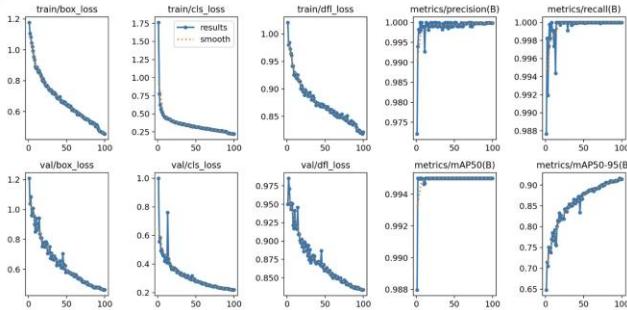


그림 2 yolo 모델 학습 과정에서의 손실 값 및 성능 지표 변화

train/box_loss 와 val/box_loss 는 초기 약 1.2 수준에서 시작해 학습이 진행됨에 따라 꾸준히 감소하여 최종적으로 약 0.4 이하로 낮아졌다. 이는 바운딩 박스 회귀 성능이 지속적으로 향상되었음을 의미한다. train/cls_loss 와 val/cls_loss 역시 초반에 급격히 감소해 0.25~0.3 수준에서 안정적으로 수렴하였으며, 클래스 분류 오류가 빠르게 줄어들었음을 보여준다. 또한 train/dfl_loss 와 val/dfl_loss 역시 완만하게 감소하며 전반적으로 안정적인 학습 흐름을 유지하였다. 정밀도와 재현율은 학습 초반 일부 변동이 있었지만, 약 5 epoch 이후부터 각각 0.995 이상과 0.998 이상을 안정적으로 유지하였다.

mAP 지표를 보면, metrics/mAP50(B)는 빠르게 0.994 이상으로 수렴하였으며, metrics/mAP50-95(B)는 초기 약 0.65에서 시작해 점진적으로 상승하여 최종적으로 약 0.90에 도달하였다. 이는 IoU 임계값을 다양하게 적용하더라도 높은 검출 성능을 유지함을 보여준다.

전체적으로 손실 값이 안정적으로 감소하고, 정밀도·재현율·mAP 지표가 높은 수준에서 수렴한 것으로 보아 과적합 현상은 거의 나타나지 않았다. 특히 mAP50-95 가 꾸준히 상승한 점은 다양한 IoU 조건에서도 모델이 안정적인 객체 검출 능력을 발휘할 수 있음을 의미한다.

3. 결론

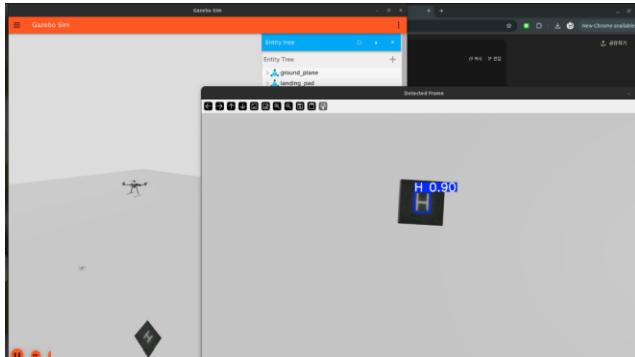


그림 3 가제보 시뮬레이터 환경에서 커스텀 YOLO 모델을 적용한 H 마커 검출

학습된 모델을 가제보 시뮬레이터에 탑재해 동작을 점검한 결과, 그림 3과 같이 화면 상의 H 마커를 안정적으로 검출하며 바운딩 박스와 신뢰도를 실시간으로 출력하였다. 예시 화면에서 확인되듯 검

출 신뢰도는 0.90 수준으로 표시되었고, 마커의 기울기나 카메라-마커 간 거리가 변해도 바운딩 박스의 중심과 크기가 크게 흔들리지 않았다. 이는 앞선 학습 곡선에서 관찰된 높은 정밀도·재현율 및 mAP 수렴이 실제 추론 환경에서도 유효하게 재현됨을 뒷받침한다. 다만 시뮬레이터의 배경 질감과 조명 모델은 현실 세계보다 단순하므로, 실제 비행에서 예상되는 계절에 따른 온도변화, 노이즈, 부분 가림과 같은 교란 요인에 대비한 추가 검증이 필요하다. 특히 본 연구의 최종 목표가 열화상 카메라 기반 야간 착륙이므로, RGB 시뮬레이션에서의 검출 성능이 열 영상 도메인으로 그대로 이전되지 않을 가능성에 유의해야 한다. 이를 보완하기 위해 마커의 열 패턴을 모사한 합성 데이터 증강, 다양한 배경 온도 분포를 반영한 도메인 랜더링, 그리고 실제 열화상 로그를 활용한 파인튜닝을 순차적으로 적용할 계획이다.

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-2023-00259061) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation, 20%) This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICAN(ICT Challenge and Advanced Network of HRD) program(IITP-2025-RS-2022-00156394) supervised by the IITP(Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation, 40%) 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, 40%)

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] J. Lim, T. Lee, S. Pyo, J. Lee, J. Kim, and J. Lee, "Hemispherical InfraRed (IR) Marker for Reliable Detection for Autonomous Landing on a Moving Ground Vehicle From Various Altitude Angles," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 27, no. 1, pp. 485–496, Feb. 2022.
- [3] 유성원, 신수용. (2024-01-31). 조난자 탐지를 위한 드론 기반의 RGB 및 열화상 기반 딥러닝 모델 연구. 한국통신학회 학술대회논문집, 강원.
- [4] 강호현, 신수용. (2022). Aruco Marker를 사용한 드론 정밀 착륙시스템. 한국통신학회논문지, 47(1), 145-150.