

PX4-ROS2 환경에서 YOLOv8을 이용한 드론의 이동 물체 추적 시뮬레이션 시스템 구축

김지원^{1,2}, 윤우승^{1,3}, 한경림^{1,4*}

¹한국과학기술연구원 뇌과학연구소 뇌융합기술연구단, ²건국대학교 컴퓨터공학부,
³서울대학교 물리천문학부, ⁴국가연구소대학교 KIST스쿨 바이오-메디컬 융합전공

23jiwon@gmail.com, riwoosung@kist.re.kr, *khan@kist.re.kr

Development of Moving Object-Tracking Simulation Systems for Drone Using YOLOv8 with PX4-ROS2

Jiwon Kim^{1,2}, Woosung Yoon^{1,3}, Kyungreem Han^{1,4*}

¹Center for Brain Technology, Brain Science Institute, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea, ²Department of Computer Science and Engineering, Konkuk University, Seoul 05029, Korea, ³Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, Seoul 08826, Korea, ⁴Division of Bio-Medical Science & Technology, KIST School, Korea National University of Science and Technology, Seoul 02792, Korea

요약

최근 드론은 산업, 과학 및 국방 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 국방 분야에서는 감시, 정찰, 타격 등 다양한 목적의 안티 드론(Anti-Drone)의 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 여기에는 타깃 인식과 추적 기능의 고도화가 중요하다. 본 연구에서는 상대적으로 고가인 라이다(LiDAR) 센서를 일반 카메라로 대체하고 인공지능 알고리즘의 고도화를 통해 드론의 이동 물체 추적 성능을 향상시키는 방법에 대해 고찰한다. PX4-ROS2 환경에서 드론이 YOLOv8을 기반으로 하여 원거리에 있는 쿼드콥터를 빠르고 정확하게 인식하고 추적할 수 있도록 YOLOv8 모델을 전이학습하였다. 기존 YOLOv8 모델은 드론을 전혀 인식하지 못했으나, YOLOv8-전이학습 모델은 정밀도와 재현율 모두 95% 이상의 성능을 보였다. 또한 구축한 PX4-ROS2 환경에서 전이학습한 YOLOv8을 사용한 객체 인식이 정상적으로 동작함을 확인하였다. 정확한 객체 인식은 모델 예측 제어(MPC) 기반 동체 추적 모델 성능을 크게 좌우하였다. 본 연구에서 제시하는 드론 자율 추적 시스템은 군사 목적을 포함한 다양한 동체 추적 임무 수행 드론 개발에 기여할 것이다.

I. 서론

최근 드론(drone)은 기반 기술과 활용 인프라의 확장으로 산업, 과학 및 국방 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 국방 분야에서는 적 무인기 위협에 대응하기 위해 드론을 사용하여 감시, 정찰, 타격과 같은 임무를 수행한다.[1] 적 무인기에 대응하기 위해서는 타깃 인식 기술과 추적 기술이 중요하다. 본 논문에서는 컴퓨터 비전(computer vision) 알고리즘 중 하나인 YOLOv8[2, 3]를 기반으로 드론이 이동하는 물체를 정확히 인식하고 추적하는 방법에 대해 고찰한다.

II. 본론

본 연구에서는 PX4-ROS2를 기반으로 가제보(Gazebo) 시뮬레이터 환경에서 YOLOv8을 사용해 움직이는 드론을 자율적으로 인식하고 추적하는 시스템을 개발한다.

1. 비전 기반 타깃 인식

움직이는 물체를 파악하기 위해서는 RGB 카메라(RGB Camera), 깊이 감지 카메라(Depth Camera), LiDAR(Light Detection and Ranging), Rader(RADio Detection And Ranging) 등 다양한 센서를 사용할 수 있다. 자율주행에 자주 사용되는 방식 중의 하나는 LiDAR 센서 기반 방식이다.

LiDAR 센서를 사용하면 고정밀 3D 거리 측정이 가능하다.[4] 하지만 가격이 높고, 센서가 크고 무거워서 현실적으로 수많은 드론에 라이다를 탑재하여 사용하는 것은 불가능하다.

비용 및 현실적인 조건을 고려하여 비전 기반(Vision-based) 방식을 택하였다. YOLO(You Only Look Once)는 신경망을 통해 이미지를 한 번만 보고 알아낼 수 있다는 의미의 딥러닝 모델로, 실시간 객체 인식(Real-time Object Detection System)에 매우 좋은 성능을 보인다. 특히 YOLOv8은 향상된 정확도와 효율성으로 객체 검출에 최적이다.

2. YOLOv8 파인튜닝

드론에 탑재되는 탑재되는 온보드(onboard) 컴퓨터에는 배터리 용량을 고려하여 비교적 파라미터 수가 작은 YOLO nano 모델을 사용하였고, 이 모델을 전이학습(transfer learning)하여 드론(Quadcopter) 인지가 가능하도록 하였다. roboflow[5]에서 제공하는 드론 데이터와 그림 1과 같은 가제보 시뮬레이터에서 직접 수집한 드론 데이터를 함께 사용하여 학습하였다. 학습 데이터 3,251장, 검증 데이터 927장, 테스트 데이터 456장을 사용하였다. 미세조정 결과는 표 1과 같이 0.965의 정밀도(Precision)와 0.952의 재현율(Recall) 성능을 달성함을 확인하였다.



그림 1. 가제보 시뮬레이터 카메라 프레임

Indicators	YOLOv8-전이학습
Precision	0.965
Recall	0.952
mAP50	0.98

표 1. YOLO 성능 분석

3. 모델 예측 제어 (MPC) 기반 동체 추적 모델

실시간으로 움직이는 타겟을 추적 시 인식-제어 간 시간 지연, 타겟의 급격한 변화로 인한 불안정성 등이 시스템 성능을 저하할 수 있다. 모델 예측 제어 기법은 미래의 상태를 예측하여 현재 입력을 조정함으로써 이 문제를 최소화한다.

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t) \quad (1)$$

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} (\|x_k - x_{ref,k}\|_Q^2 + \|u_k\|_R^2) + \|x_N - x_{ref,N}\|^{2p} \quad (2)$$

시스템의 현재 상태 (x_t)와 제어 입력을 바탕으로 드론의 다음 시간에서의 상태 (x_{t+1})를 예측하고 (식 1), 식 2와 같이 예측된 궤적과 목표 궤적간의 오차를 최소화 하는 제어 입력을 찾는다. 이와 같은 MPC 기반 추적 모델은 미래 상태를 고려함으로써 불필요한 조정을 줄여 효율적인 제어를 가능하게 한다.

4. PX4-ROS2 기반 제어

오픈소스 기반의 비행 제어 소프트웨어 플랫폼인 PX4를 사용하여 SITL(Software In The Loop) 환경에서도 드론의 비행 제어를 구체적으로 시뮬레이션할 수 있도록 하였다. 또한 로봇 시스템 개발에 주로 사용되는 프레임워크인 ROS 2(Robot Operating System 2)를 사용하여 드론이 특정 타겟을 인식하고, 이를 추적하도록 설계하였다. ROS 2는 DDS(Data Distribution Service) 도입을 도입하여 실시간 데이터 전송, 불안정한 네트워크에 대한 대응, 보안 등이 ROS 1에 비해 강화되었다는 특징이 있다.[6]

5. 시스템 구조

제안하는 시스템의 전체 구조는 그림 2과 같으며, 소프트웨어 상세 정보는 표 2에 명시하였다. 가제보(Gazebo) 환경에서 시뮬레이션을 수행하였고, 드론(Quadcopter)에 깊이 감지 카메라를 탑재한 모델을 사용하였다. Gazebo 상에 존재하는 카메라로부터 얻은 영상을 ROS 2로 전달하기 위해 ros_gz bridge를 사용하였다. 받아들인 영상을 바탕으로 파인튜닝한 YOLOv8을 통해 타겟을 인식하였다.

Component	Version
PX4	Firmware v.1.15.0
ROS 2	humble
OS	Ubuntu 22.04
Simulator	Gazebo Garden

표 2. 드론 자율 추적 시스템 소프트웨어 버전

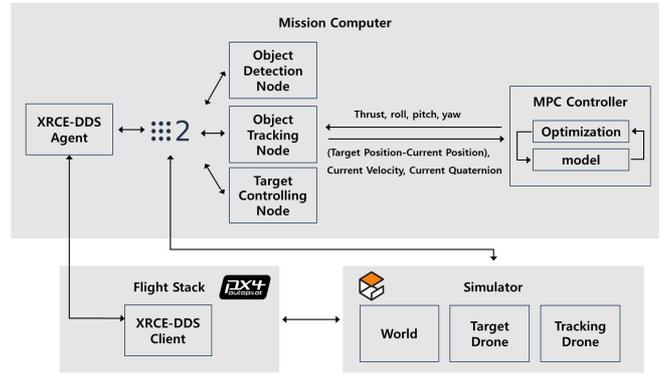


그림 2. 드론 자율 추적 시스템 구조

III. 결론

본 연구에서는 원거리의 드론을 인지할 수 있도록 YOLOv8을 파인튜닝하고, PX4와 ROS2를 기반으로 Gazebo 시뮬레이션 환경에서 비전 인공지능 기반 드론 자율 타겟 인식 및 모델 예측 제어 추적 시스템을 개발하였다. 본 드론 자율 추적 시스템은 적 무인기 및 오물 풍선에 대응하는 데에 도움이 될 것으로 기대된다. 향후, 본 시스템을 토대로 센서 퓨전 방식으로 인식의 정확도는 더욱 높이고, 강화학습 기반의 추적 알고리즘으로 발전시켜 고도화를 이룰 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 한국과학기술연구원 미래원천 뇌과학 기술개발사업 (고효율 예측 뇌 기능 모사 알고리즘 개발: 2E32921, 기여율 80%)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 차세대 지능형 반도체 기술개발(소자)사업 (소뇌 모델 기반 자율이동로봇 보정학습 알고리즘 및 비폰노이만 구조 CMOS칩 개발: 2021M3F3A2A01037808, 기여율 20%)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] 강인욱. “국방 드론 운용과 기술개발 동향,” 국방과 기술(537), pp. 100-107, Nov. 2023
- [2] Yaseen, M. “What is YOLOv8: An In-Depth Exploration of the Internal Features of the Next-Generation Object Detector,” Aug. 2024
- [3] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 779 - 788, 2016, (<https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>)
- [4] A. M. Raivi and S. Moh, “Vision-Based Navigation for Urban Air Mobility : A Survey,” in Proc. of 12th Int. Conf. on Smart Media and Applications (SMA 2023), 2023, pp. 1 - 6.
- [5] <https://universe.roboflow.com/>
- [6] 표윤석, 『ROS 2로 시작하는 로봇 프로그래밍』, 루비페이퍼(2021), p76-79.