

풍향 보정을 통한 자율 비행 드론 정밀 투하

윤재원, 신수용*

국립금오공과대학교

jerry843763@kumoh.ac.kr, *wdragon@kumoh.ac.kr

Design of a YOLOv8-Based Precision Dropping System for Autonomous Drones with Wind Compensation

Yoon Jae Won, Shin Soo Young*

Kumoh national Instiute of Technology

요약

본 논문에서는 자율비행 드론(UAV)을 활용하여 특정 목표물에 정밀하게 투하물을 낙하시킬 수 있는 시스템을 설계하였다. 기존의 GPS 기반 드론 투하 시스템은 바람과 같은 외부 환경 요인으로 인해 위치 오차가 발생하는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 풍향계 등 별도의 센서를 사용하지 않고도 바람을 추정할 수 있는 GPS 기반 바람 추정 기법(GPS-based Wind Estimation)과 고도에 따른 바람 속도 변화를 보정할 수 있는 Power-law Wind Profile 모델을 도입하였다. Pixhawk4의 EKF 기반 바람 추정 기능을 통해 실시간으로 바람 벡터를 계산하고, 이를 바탕으로 투하 고도에서 지면까지의 바람 편차를 Power-law 모델로 보정하였다. 또한, 딥러닝 기반 객체 탐지 알고리즘인 YOLOv8을 적용하여 CMOS 센서 기반 짐벌 카메라로 촬영한 영상에서 목표 객체를 인식 및 추적하였으며, 카메라 정렬 후, 풍향과 낙하 고도 고려해서 투하 정확도 향상시킨다.

I. 서 론

최근 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)는 재난 대응, 군사 작전, 산업 물류 등 다양한 분야에서 활발히 활용되고 있으며, 특히 정밀 투하 기능은 고도화된 임무 수행에서 중요한 기술로 주목받고 있다.

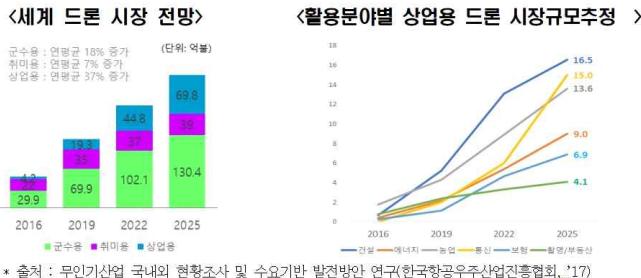


그림 1 드론 시장 규모

그러나 기존의 UAV 기반 투하 시스템은 수동 조작자에 의존하거나 GPS 좌표에 기반하여 투하 지점을 설정하는 방식이 일반적이며, 바람, 진동, 시스템 지연 등의 외란에 의해 실제 낙하시점이 목표에서 벗어날 수 있는 한계를 지닌다.

한편, 인공지능 기반 객체 인식 기술의 적용은 증가하고 있으나, 탐지된 객체의 중심 좌표를 정렬하고, 외란을 고려하여 투하 위치를 실시간으로 조정하는 정밀 투하를 구현한 사례는 아직 드물다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, YOLOv8을 활용한 실시간 객체 인식 및 중심 좌표 추적 기술, GPS와 IMU 데이터를 기반으로 외부 바람의 영향을 추정하고, 이를 낙하시점 보정, 그리고 사람의 승인을 반영한 투하 제어 시스템을 통합한 정밀 투하 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 드론에 장착된 짐벌 카메라와 Jetson Orin NX에서 구동되는 YOLOv8 알고리즘을 통해 목표를 탐지하고, 카메라의 중심과 객체의 중심을 정렬하여 투하 지점을 산정한다.

여기에 풍향 정보를 기반으로 한 오차 보정 알고리즘을 추가하여 바람으

로 인한 낙하 편차를 실시간으로 보정함으로써, 실제 낙하시점이 목표 지점과 정밀하게 일치하도록 한다. 이를 통해 본 논문은 기존 방식보다 더욱 정밀하고 신뢰성 높은 UAV 기반 투하 작업이 가능함을 입증하고자 하며, 풍향계 없이도 효율적인 보정이 가능한 알고리즘을 제시함으로써 드론 기반 정밀 운용 기술의 실현 가능성을 제안한다.

II. 본론

객체 인식 및 추적

YOLOv8은 실시간 객체 인식 분야에서 널리 사용되는 경량화된 딥러닝 모델로, 정확도와 처리 속도 간의 균형 잡힌 성능을 제공한다. 본 연구에서는 Jetson Orin NX 상에서 YOLOv8을 구동하고, SIYI A2 Mini Gimbal Camera로부터 입력되는 하향 영상을 실시간으로 분석하여 목표 객체를 탐지하였다.

사용된 SIYI A2 Mini 카메라는 CMOS 기반의 고해상도 디지털 RGB 영상 장치로, 짐벌이 탑재되어 드론 비행 중에도 영상의 흔들림을 효과적으로 억제하며 안정적인 영상 획득이 가능하다. 또한, YOLOv8과의 실시간 연동이 용이하여 실시간 객체 인식 시스템에 적합한 성능을 제공한다. YOLOv8은 탐지된 객체에 대해 바운딩 박스를 생성하고, 이로부터 중심 좌표를 계산한다. 중심 좌표는 바운딩 박스의 좌표를 기반으로 산출되며, 바운딩 박스 좌표로부터 중심점[1]은 다음과 같이 계산된다:

$$x_{center} = \frac{x_{min} + x_{max}}{2},$$
$$y_{center} = \frac{y_{min} + y_{max}}{2}$$

드론은 객체 중심과 영상 중심 간의 차이를 기준으로 x축 및 y축 방향의 위치를 조정하며, 허용 오차 범위는 중심점 대비 $\pm 5\%$ 이내로 설정한다.

$$x_{range} = x_{center} \pm 0.05 \cdot x_{center}$$
$$y_{range} = y_{center} \pm 0.05 \cdot y_{center}$$

객체 중심이 카메라 중심보다 좌측 또는 하단에 위치할 경우, 드론은 해당 방향으로 이동하여 정렬을 수행한다. 이를 통해 드론은 목표 객체 상공에

정밀하게 위치하게 되며, 투하 준비 상태에 도달한다.

GPS 기반 풍향, 풍속 추정 (GPS-based Wind Estimation)

본 시스템에서는 Pixhawk 6C와 GPS 모듈을 활용하여 드론의 지면 속도(Ground Velocity)를 측정하고, IMU 데이터를 기반으로 기체의 기울기 변화율을 추적함으로써 바람의 방향과 세기를 간접적으로 추정함으로써, 바람의 속도를 계산[2]한다:

$$V_{wind} = V_{ground} - V_{air}$$

EKF(Extended Kalman Filter)는 드론의 자세 변화율(IMU)과 지면 기준 속도(GPS) 간의 불일치를 분석하여 바람의 존재를 유도하며, 특히 드론이 호버링 중일 때 외부 바람에 의해 발생하는 기울기 보정량을 바람에 대응하는 반작용으로 간주하여 실시간 바람 벡터를 추정한다. 이 방식은 별도의 풍향계 없이도 바람 정보를 연속적으로 추정할 수 있으며, 특히 일정 고도에서의 정지 비행 시 높은 실용성과 정확도를 기대할 수 있다.

Power-law Wind Profile 적용

풍속 추정이 완료되면, 해당 고도에서 측정된 풍속을 기준으로 Power-law Wind Profile 공식[4]을 적용하여 고도에 따른 풍속을 보정한다.

$$V(h) = v_{ref} \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}}\right)^{\alpha}$$

이때 사용되는 풍속 지수 $\alpha=0.14$ 로, 이는 평지 환경에서 일반적으로 적용되는 값이다.

본 연구에서는 드론이 위치한 10m 고도의 풍속을 power-law 모델로 추정한 뒤, 해당 풍속에 따른 수평 낙하 오차를 보정하였다. 낙하 거리 보정에 사용되는 모델은 다음과 같다:

$$d = v_{wind} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

이 계산을 통해 투하 지점의 위치를 역산하여 조정 목표물 정중앙에 낙하하도록 한다.

드론 제어 및 투하

드론은 실시간 객체 인식을 통해 카메라 중심과 객체 중심을 정렬함으로써, 목표물의 정확한 위치를 파악한다. 이후, 탐지된 목표 중심을 기준으로 풍향과 낙하 고도를 고려하여 투하지점을 역산한 보정 좌표를 계산한다. 드론이 해당 보정 좌표에 도달하면 자동으로 투하 대기 상태에 진입하며, 사용자의 최종 승인이 입력되면 Jetson Orin NX는 서보모터(Tarot RL2961-03)를 작동시켜 적재물을 낙하시킨다. 이러한 절차를 통해 시스템은 자율성과 안전성을 동시에 확보하도록 설계되었다.

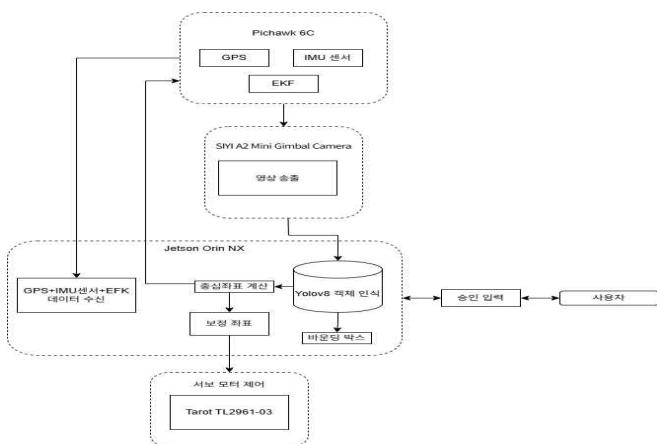


그림 2 시스템 순서도

III. 결론

본 논문에서는 바람 등의 외란으로 인한 투하 오차를 최소화하기 위해 자율 비행 드론 기반의 정밀 투하 시스템을 제안하였다. Jetson Orin NX에 YOLOv8 알고리즘을 탑재하여, 드론에 장착된 짐벌 카메라로부터 입력된 영상을 실시간으로 분석하고, 객체 중심과 카메라 중심 간의 오차를 비교하여 드론의 자세를 정렬할 수 있도록 구성할 예정이다.

또한 Pixhawk 6C에서 수신한 GPS 및 IMU 데이터를 기반으로 EKF를 통해 바람 벡터를 추정하고, 이를 바탕으로 낙하 위치를 보정하는 기능을 구현할 계획이다. 이 과정에서 Power-law Wind Profile 모델을 적용하여 고도에 따른 바람 세기를 반영함으로써 수평 오차를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

드론이 목표 상공에 도달한 이후에는, 사용자의 승인 하에 Jetson Orin NX가 서보모터(Tarot TL2961-03)를 제어하여 적재물을 투하하는 방식을 사용할 계획이다.

제안하는 시스템은 실시간 객체 인식 기반 정렬, 풍향 보정 낙하지점 계산, 사용자 승인 기반 제어를 통합함으로써 자율성과 안전성을 동시에 확보할 수 있을 것으로 예상되며, 향후 다양한 실외 환경에서도 적용 가능한 정밀 투하 플랫폼으로 발전할 수 있을 것이다.

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 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, 50%)

참고 문헌

- [1] 유성원 and 신수용, "딥러닝 알고리즘을 사용한 UAV 정밀 투하 보조 시스템," 한국통신학회 학술대회논문집, pp. 373-374, 제주, 2024-06-19.
- [2] 조암, 김지훈, 이상호, and 기창돈, "Wind Estimation Using the UAV with a Single-Antenna GNSS Receiver and Airspeed Sensor," 한국항공우주학회 학술발표회 초록집, pp. 379-382,
- [3] 조암, 강영신, 박병진, and 유창선, "대기속도와 항법데이터를 이용한 기류각 및 바람 추정," 한국항공우주학회 학술발표회 초록집, pp. 1301-1305, 제주, 2013-11-13.
- [4] 정완영, 황규석, 김종수, and 김영문, "경계층 풍동실험에 의한 평균 풍속의 수직 분포와 변동 풍속의 파워스펙트럼 측정에 관한 연구 (A Study on the Measurement of Mean Velocity Profile and Power Spectrum by Boundary Layer Wind Tunnel)," 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계, pp. 449-451,