

# 객체 인식을 이용한 밀집 지역 인파사고 예방 드론 시스템

채장우, 구기민, 신해주, 임진섭, 주민철

국민대학교

{987654ch, kimin1573, gown2320, limsk519, mcju}@kookmin.ac.kr

## Object Detection-Based Drone System for Crowd Accident Prevention in Dense Areas

Chae Jang Woo, Ku Ki Min, Shin Hae Ju, Lim Jin Seop, and Ju MinChul

Kookmin Univ.

### 요약

본 논문은 인파사고의 심각성을 인지하고 이를 해결하기 위해 PX4와 객체 인식을 이용한 드론을 제시한다. PX4는 무인항공기의 원격조정 및 자율주행을 위해 설계된 소프트웨어로 드론의 경로를 조종하고, 외부로부터 오는 자극을 센서로 확인하고 비행하고자 한다. 또한 비행 중 카메라로 사람을 인식하여, 객체 인식을 통해 단위 면적 당 인파 밀집도를 확인하고 인파사고의 가능성을 확인한다.

### I. 서론

인파사고 예방에 관한 최근 기사와 정책자료들은 문제의 중요성과 긴급한 대책을 강조하고 있다. 이태원 참사(10.29)이후 행정안전부는 CCTV 영상 분석(지능형 CCTV)과 라이다(LiDAR) 센서를 핵심기술로 사용한 인파 관리 솔루션을 제시하고 있다. 또한 행정안전부에서 인파 관리 솔루션에서 가장 중요하게 고려하는 사항은 정확한 인파 감지(탐지율)와 사각지대가 없어야 한다. 실제로 인파사고는 지역축제, 체육대회 등 대규모 인파가 운집하는 각종 야외 행사에서 발생한다. 야외는 지능형 CCTV의 공간적 한계가 가장 잘 드러나는 곳으로 사각지대가 발생하기 가장 쉽기에 인명 사고를 예방하기 어렵다.[1]-[3]

본 연구에서는 이러한 한계점들을 극복하고 인파 관리 솔루션에 대한 더 나은 성능을 보이기 위해서 자율주행 드론과 딥러닝 모델을 사용하여 탐지율과 사각지대 문제를 해결하고 인파 밀집도를 판단하는 드론 개발을 하였다.

### II. 본론

본론에서 첫 번째로 기존 기술들로 단위 면적에 따른 위험도 평가, PX4 Autopilot, 객체 검출 모델을 제시하고, 두 번째로 연구 방법을 제안하는데 Gazebo 시뮬레이션을 활용한 자율 비행 제어 코드 검증과 MAVROS 오프보드 제어를 통한 실제 자율 비행 성능 검증과 YOLO v5 기반 실시간 인파 밀집도 파악하고, 마지막으로 연구 결과를 제시한다.

#### 1. 기존 기술들

##### 1) 단위 면적에 따른 위험도 평가

영국 서포크 대학교의 G. Keith Stil은 1m<sup>2</sup> 당 6명부터 밀집도가 치솟아 자기 움직임을 통한 통제력을 잃기 쉬운 밀발 효과가 일어난다고 했다. 이는 보행자 시뮬레이션을 통해 증명된 사실로 1m<sup>2</sup> 당 7명을 넘어가면 밀발 효과가 더욱 심해져 압사 사고 발생 가능성이 커진다. 따라서 본 연구에서는 1m<sup>2</sup> 당 6명을 압사 사고 위험도가 높은 순간으로 선정하였다.[2]

##### 2) PX4 Autopilot

PX4 Autopilot은 오픈 소스 자율주행 시스템으로, 무인 항공기, 로봇과 차량 등 다양한 자율주행 플랫폼에 적용된다.[4] 이 시스템은 안정성, 신뢰

성 및 유연성을 갖추고 있으며, 실시간으로 주변 환경을 감지하고 분석하여 안전한 자율주행을 제공한다. 본 연구에서는 시각 및 관성 센서 데이터를 결합하여 위치와 자세를 추정하는 기술인 VIO(Visual Inertial Odometry) 기술을 활용하여 자율주행 시스템의 위치 추정에 활용할 것이다. 또한 잿슨 나노 보드를 활용하여 오프보드 컨트롤 방식을 통해 정교한 임무 수행을 할 예정이다.[5]

##### 3) 객체 검출 모델

객체 검출 모델은 컴퓨터 비전 분야에서 주요 기술로, 이미지나 비디오에서 특정 객체의 위치와 종류를 식별하는 데 사용된다. 이 모델은 주로 심층 신경망을 기반으로 하며, 주요 아키텍처로는 Faster R-CNN, YOLO, SSD 등이 있다. 이러한 모델들은 입력 이미지를 받아 여러 개의 후보 영역을 생성하고, 후보 영역에서 객체의 종류와 위치를 예측한다. 정확한 인파 감지와 실시간 처리가 중요하기 때문에 대표적인 One-Stage Detector인 YOLO v5 모델을 활용했다. 객체 검출 성능 향상을 위해서 기본 모델이 아닌, 학습된 crowd-human 모델을 사용하여 밀집도에 무관하게 높은 탐지율을 보이도록 하였다.

#### 2. 제안된 연구 방법

##### 1) Gazebo 시뮬레이션을 활용한 자율 비행 제어 코드 검증

본 연구에서는 실제 드론으로 임무를 수행하기 전에 Gazebo 시뮬레이터와 Qgroundcontrol, MAVLink 통신을 연동하여 연구를 진행하였다. 오픈 소스인 PX4 SITL(Simulation In The Loop)를 이용해 가상의 쿼드콥터를 불러와 3차원 공간에서 드론의 물리적 반응을 구현하여 실제와 유사한 환경을 구성했다. 자율 비행 성능 향상을 위해 구성된 환경에서 드론에 적용될 제어 코드에 대한 테스트를 진행했다.

실제 지상 관제시스템(GCS, Ground Control System)과 드론 간의 통신이 원활한지 확인하기 위해 시뮬레이션 진행 간 MAVLink 통신 방식으로 오프보드 제어 코드를 적용하여 쿼드콥터를 자율 비행시켜 Qgroundcontrol에서 이동 경로를 확인하는 방식으로 진행하였다.

##### 2) MAVROS 오프보드 제어를 통한 실제 자율 비행 성능 검증

실제 비행을 위해 Q250-V3(non-GPS) 드론에 잿슨 나노를 탑재한 후 FC(Flight Controller)와 UART 통신을 구현하였다. non-GPS 환경에서 드론의 안정적인 자율 비행을 위해 잿슨 나노에 T265카메라를 장착하여

영상 기반으로 위치와 속도 데이터가 FC에 전송되어 드론의 IMU(Inertial Measurement Unit)과 결합하여 차량 자세를 추정하도록 했다. 최종적으로 데이터가 미리 설정된 EKF2(Extended Kalman Filter)를 통과하여 위치와 자세를 더 정확히 추정하도록 하여 드론의 자율 비행 성능이 향상 되도록 하였다.

PX4에서 ROS(Robot Operating System)를 사용하기 위해 MAVROS를 ROS Wrapper로 사용하여 MAVLink 프로그래밍하는 방식을 채택했다. 또한 드론과 GCS가 동일한 Wifi 네트워크에 연결되도록 하여 잿슨 나노에 ssh 접속한 후 VIO ROS 패키지를 실행하였다.[5] 패키지 실행 후 드론과 GCS 간 UDP기반 실시간 데이터 전송을 수행/Position 모드에서 호버링이 되도록 하여 오프보드 모드 이탈 시 직진 상태로 돌아가는 점을 이용하여 자율 비행 간 안정성을 높였다. 이러한 사항이 모두 준비된 상태에서 드론의 위치 추정 정보인 odometry(x, y, z, q)가 (0, 0, 0, 1)이 되도록 위치시킨 후 오프보드 패키지를 GCS에서 실행시켜 자율 비행 성능 테스트를 진행했다.

군집형 성시 보행속도 조사연구에 따르면 1m<sup>2</sup>당 4명일 때 보행속도가 빠르게 감소하여 0.3m/s까지 감소하므로 드론의 저속 비행이 필요하다. 드론은 속도가 느리고 고도가 낮을수록 정확한 제어가 힘들어 고도와 속도를 변화시켜 자율 비행으로 설정값과 오차가 최소인 비행 속도 파라미터를 구했다.

### 3) YOLO v5 기반 실시간 인과 밀집도 파악

드론에 부착된 D435 카메라를 통해 실시간 영상 데이터를 수집하고, YOLO v5 모델을 사용하여 화면 안의 사람을 분류하여 인과 밀집도를 파악했다. 인과가 임계점 이상일 경우, 경고창이 GCS에 나타나도록 구현하였다. YOLO v5 모델은 잿슨 나노에서 동작하도록 환경을 구성하였으며, 추후 여러 대의 드론에 자율 비행을 적용할 수 있는 가능성을 열어두었다. 잿슨 나노에서 객체 인식과 자율 비행이 실시간으로 처리되기 때문에 GCS에서 드론 영상 없이 경고창만 나오도록 설정하여 성능 부족으로 인한 사고를 예방하도록 했다.

### 3. 연구 결과

외부 영향이 적은 실내 환경에서 오프보드 제어 간 드론의 속도를 조절하며 10초간 이동시킨 결과 드론의 고도가 높고 속도가 빠를수록 제어 정확도가 향상되었다. 특히 고도는 2m, 속력은 0.4m 이상일 때부터는 오차가 0.2%로 낮아졌으며 고도를 높일수록 VO 카메라에 잡히는 장애물이 없어지므로 정해진 경로를 정확하게 자율 비행했다. 이 연구에서 드론이 자율 비행을 원활하게 수행하기 위한 최소 속력은 0.4m로 확인되었다. 객체 인식은 D435 카메라 각도를 45°로 설정한 후 임계점을 조절해 가며 연구를 진행한 결과 정확한 탐지가 가능했다. 드론이 자율 비행하며 입력되는 영상에서 임계점을 넘기면 GCS에 경고창이 나올 때까지 걸리는 지연 시간을 측정했다. 그 결과 드론과 GCS 통신에 2.4GHz 대역의 Wifi를 사용했을 때 평균 지연시간이 5초 정도로 나왔다.

연구 결과를 종합하면 인과 사고를 예방하기 위한 드론의 속력은 0.4m/s 이상이 권장되며, 고도는 순찰 목표 지역의 상황에 따라서 조절할 수 있으나 외부 환경의 변수를 고려하면 최소 3m 이상 고도로 자율 비행하는 것이 안전성이 높다는 결론을 얻었다.

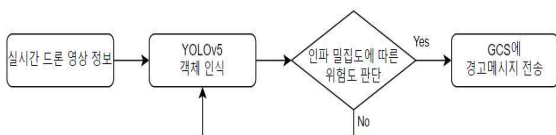


그림 6. 인과 밀집도 파악 플로우차트

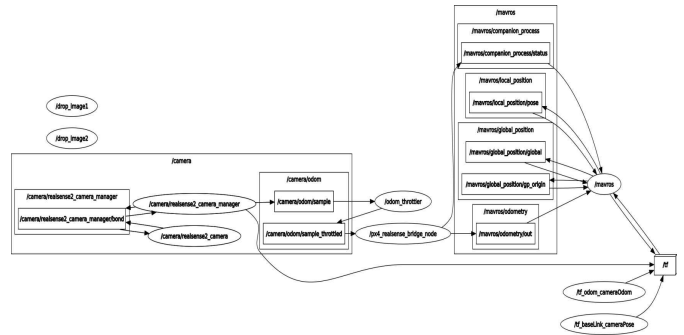


그림 5. VIO패키지의 토픽 도식화

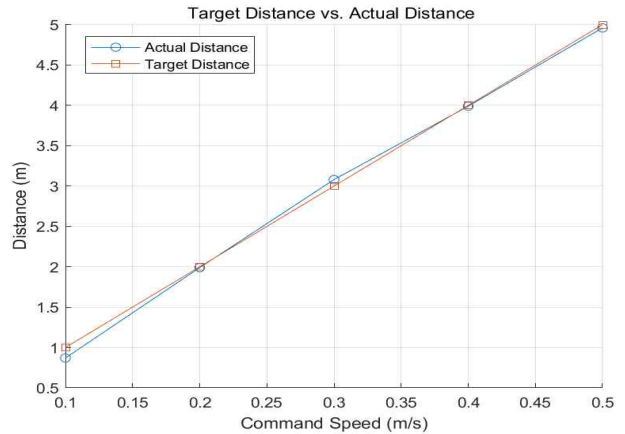


그림 7. Offboard제어 간 드론의 이동 거리 그래프

### III. 결론

본 연구를 통해 지능형 CCTV가 없는 야외 공간에서 진행되는 축제나 GPS가 지원이 안 되는 실내 대형 공연장에서 인과사고를 인지하고 이를 해결하기 위해 PX4와 객체 인식을 이용한 드론을 제시하였다. 이 시스템을 활용한다면 기존 인과 관리 시스템의 한계를 극복하고 사각지대를 없앨 수 있다. 추가적인 연구과제를 제시하자면 D435 카메라의 깊이 센서를 이용한 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술을 추가한다면 장애물이 있는 공간에서도 충분히 활용할 수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 지원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업(차세대통신)의 연구 결과입니다.

### 참고 문헌

- [1] 장원식, 윤소정, 이문엽, 박제진, “인과사고 예방을 위한 드론영상 기반 보행자 밀집도 측정 기초연구,” 대한교통학회 & 대한국토도시계획학회 공동학술대회, 2023.10.
- [2] Still, G. K. (2000), Crowd dynamics (Doctoral dissertation, University of Warwick).
- [3] 서동구, 황은경, 권영진, “성능적인 피난 안전 설계를 위한 군집 형성 시 보행속도 조사연구,” 대한건축학회 논문집, 26권, 12호, 2010.
- [4] PX4 Autopilot User Guide (v1.14). n.d. PX4 Autopilot User Guide. <https://docs.px4.io/v1.14/en/>
- [5] D. Baldwin, “VIO” GitHub, <https://github.com/dbaldwin/vio> (Accessed : May 20, 2024)