

화재 진압용 드론 시스템을 위한 카메라-LiDAR 센서 융합 기반의 건물 유리창 감지 및 파손 위치 추정 기술 연구

이신우, 신수용*

국립금오공과대학교

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

Research on Camera-LiDAR Sensor Fusion-based Building Window Detection and Damage Location Estimation Technology for Fire Suppression Drone Systems

Shin Woo Lee, Soo Young Shin*

Kumoh National Institute of Technology

요 약

본 논문은 백드래프트 현상과 같은 위험을 회피하면서 고층 건물 화재 시 소화 활동을 지원하는 드론 시스템을 제안한다. 딥러닝 기반 이미지 처리와 LiDAR 센서의 융합을 통해 화재 현장의 창문 파손 상태를 실시간으로 정확하게 탐지하는 방법을 제시한다. 정밀한 카메라-LiDAR 캘리브레이션과 투영 기술을 활용하여 파손된 유리창의 3차원 위치를 정확히 파악하고, 이를 바탕으로 소화탄 발사 또는 드론의 안전한 내부 진입을 위한 최적의 지점을 제공한다. 이 시스템은 소방관의 위험을 최소화하고 화재 진압의 효율성을 향상시킬 것으로 기대된다.

I. 서 론



그림 1. 런던 그린펠 타워 화재 현장 [1]

최근 30층 이상 고층 건축물의 급격한 증가로 고층 건물 화재의 위험성이 높아지고 있다. 통계에 따르면 2000년대 이후 화재 발생 건수가 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 고층 건물 화재의 비중이 두드러지게 높아지고 있다. 런던 그린펠 타워 화재와 같이 가연성 외장재로 인해 화재가 급속도로 확산되는 사례가 보고되면서 고층 건물 화재 진압의 어려움이 더욱 부각되고 있다 [1]. 기존 소방 장비의 명확한 한계로 인해 혁신적인 소화 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 고층 건물 외벽의 유리창이 파손될 경우 공기 유입으로 인한 급격한 연소 확대, 즉 백드래프트(Backdraft) 현상이 발생하여 진압 활동에 심각한 위험을 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구는 카메라와 LiDAR를 융합한 센서 시스템을 탑재한 드론을 활용하여 화재 현장의 창문 파손 여부를 탐지하고, 효율적인 소화탄 발사를 위한 파손 위치를 추정하는 기술에 중점을 둔다. 이 기술은 실시간으로 화재 현장의 3차원 정보를 분석하여 드론의 자율적인 임무 수행을 가능하게 하며, 궁극적으로 소방관의 인명 피해를 최소화하고 화재 진압 성공률을 높이는 데 기여할 수 있다.

II. 본론

본 논문에서는 제안하는 드론 시스템의 핵심 기술인 카메라-LiDAR 센서 융합 기술을 상세히 설명한다. 기존 연구에서는 카메라 이미지만으로 파손된 유리를 감지하려 시도했으나, 유리창의 투명한 특성 때문에 정확한 감지에 어려움을 겪었다 [2]. 본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 딥러닝 기반 이미지 처리와 LiDAR 센서의 융합 방법을 제안한다. 먼저, 드론에 장착된 RGB 카메라로 건물 외벽 이미지를 획득하고, 딥러닝 모델을 사용하여 창틀로 추정되는 영역을 실시간으로 식별한다.

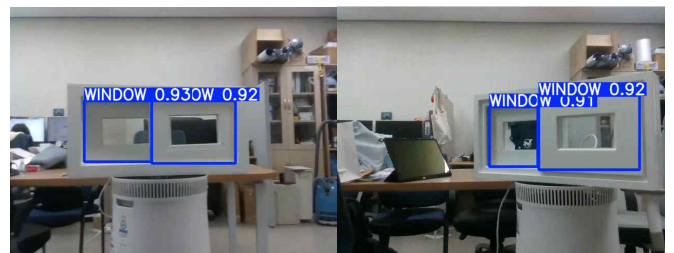


그림 2. 창틀 커스텀 트레인 결과

특히, 기존 객체 탐지 모델의 한계를 극복하고 유리창의 경계인 창틀을 더욱 정확하게 인식하기 위해 창틀 데이터셋을 추가하여 커스텀 트레이닝을 진행했다. 그림 2은 이러한 학습 결과의 시각적 예시이다.

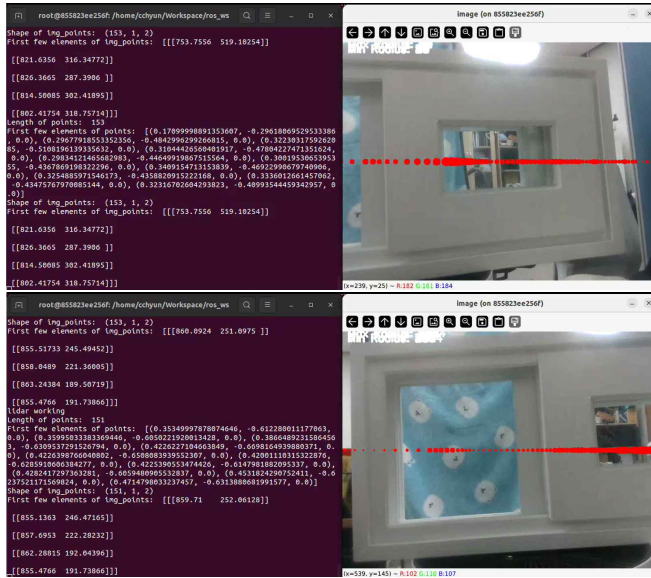


그림 3. 카메라 이미지-LiDAR 좌표 투영 결과
(상:유리가 있는 창틀, 하: 유리가 없는 창틀)

동시에, LiDAR 센서는 건물과의 정확한 거리 및 3차원 점군 데이터를 수집한다. 이 두 센서의 데이터를 효과적으로 결합하기 위해 정밀한 Calibration 과정을 거쳐 카메라 이미지의 픽셀 좌표와 LiDAR의 3차원 좌표를 일치시키는 실시간 투영 기술을 구현했다. 투영된 빨간 점은 LiDAR에서 감지한 거리 데이터를 바탕으로 거리가 가까울수록 점의 두께가 두꺼워지도록 설정했다. 그림 3에서는 2차원 이미지 상에서 감지된 유리창 영역에 대응하는 3차원 공간상의 위치를 정확히 파악하는 과정을 보여준다. 이러한 과정을 통해 화재 진압에 필요한 유리창의 파손 지점을 정확하게 계산하여 소화탄 발사 또는 드론의 건물 내부 진입을 위한 최적의 목표 지점을 제공하며, 이는 드론의 안정적인 위치 제어 및 효율적인 화재 진압 전략 수립에 필수적이다.

III. 결론

본 논문에서는 화재 진압용 드론 시스템의 핵심 기술로 카메라와 LiDAR 센서의 융합을 통해 건물 유리창을 감지하고 파손 위치를 추정하는 기술을 제안하였다. 딥러닝 기반 이미지 처리와 LiDAR 데이터의 통합을 통해 화재 현장의 유리창 파손 상황을 식별할 수 있음을 보였다. 실험 결과, 카메라와 LiDAR 간 실시간 투영 기술이 성공적으로 구현되었으며, 이는 드론의 소화 임무 수행을 위한 중요한 토대를 마련했다. 향후 연구에서는 실제 화재 환경에서 시스템의 성능을 평가하고, 소화탄 발사 메커니즘과 결합된 통합 시스템 개발을 논의하고자 한다. 본 연구 결과는 고층 건물 화재 진압 기술의 발전에 의미 있는 이정표를 제시할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

"이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2020-II201612, 50%)"

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재 4.0 사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2025-RS-2022-00156394, 50%)

참 고 문 헌

- [1] 한국소방안전원, "초고층건축물 + 다중밀집지역 = 대형화재의 불씨," 2017, (<https://www.kfsi.or.kr/contents/webzine/201712/sub01-01.html>).
- [2] Davies R. W." The Data Encryption standard in perspective,"Computer Security and the Data Encryption Standard, pp. 129-132.
- [2] 이신우, 서정형, 김동현, & 신수용. (2024). 빌딩의 화재 진압을 위한 유리 감지 및 소화 드론에 관한 연구. 한국정보처리학회 학술대회논문집, 31(2), 896-897.