

실시간 인명 탐지 기반 화재 구조 지원을 위한 YOLO-mmWave 융합 시스템

백채희, 김형강, 김정창
국립한국해양대학교

ggamsoon2504@g.kmou.ac.kr, kimjake5512@g.kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr

Real-Time Human Detection-Based Fire Rescue Support System with Integrated YOLO Object Tracking and mmWave Sensor

ChaeHui Back, HyungKang Kim, JeongChang Kim
Korea Maritime & Ocean University

요약

본 논문은 YOLOv8 객체 탐지 알고리즘과 mmWave 센서를 결합하여 실내 공간의 인원 출입을 추적하고 잔류 인원을 탐지하는 화재 구조 지원 시스템을 제안한다. 라즈베리파이 기반으로 카메라와 mmWave 센서를 통합하여 ROI 및 경계선 기반의 입/퇴장 판별과 실내 인원 존재 감지를 동시에 수행한다. 구현한 시스템을 이용한 실험 결과, 반복적인 출입 시나리오에서 카메라 기반 카운팅과 mmWave 센서 감지가 안정적으로 연동되어 실제 인원 변화를 정확히 반영함을 확인하였다. 이는 화재 발생 시 구조대원이 실내 잔류 인원 여부를 신속히 파악할 수 있도록 지원하는 시스템의 가능성을 보여준다.

I. 서론

현대 도시의 건축물은 대형화·복잡화 되고 있어 화재 발생 시 인명 피해 위험을 증가시키고 있다. 2022년 9월 대전 현대 프리미엄아울렛에서 발생한 화재는 16,530 평 규모의 지하 공간에서 7명의 사망자가 발생했으며, 광대한 면적과 복잡한 구조로 인한 구조 지연이 주요 원인이었다. 최근 연구에 따르면 도심 대형화에 따라 화재 양상의 불확실성이 증가하고 있으며, 현장 위험도가 지속적으로 높아지고 있다[1]. 그러나 현재 소방 구조 시스템은 구조대원의 경험과 열화상 카메라에 의존하고 있어, 대형 건축물에서 실내 잔류 인원의 존재 여부와 위치를 신속하게 파악하는 테크놀로지가 있다. 본 논문에서는 YOLOv8 기반 객체 탐지 알고리즘과 mmWave 센서를 결합하여 실내 공간의 인원 존재 여부를 판단하는 화재 구조 지원 시스템을 제안한다. 카메라 기반 인원 카운팅으로 실시간 출입을 추적하고, mmWave 센서로 시야 제한 상황에서도 인원 존재를 감지하여 구조 작업의 효율성을 높이는 것을 목표로 한다.

II. 본론

1. 시스템 구현

본 연구에서 제안하는 화재 구조 지원 시스템은 라즈베리 파이(Raspberry Pi)를 기반으로 하여 카메라와 mmWave 센서를 통합적으로 활용하는 구조로 구현되었다. 카메라는 출입구 상단 천장에 설치되어 출입 인원을 탐지하며, mmWave 센서는 실내 공간을

감지하여 사람의 존재 여부를 보조적으로 판단한다. 전체 시스템의 데이터 흐름은 그림 1과 같다.

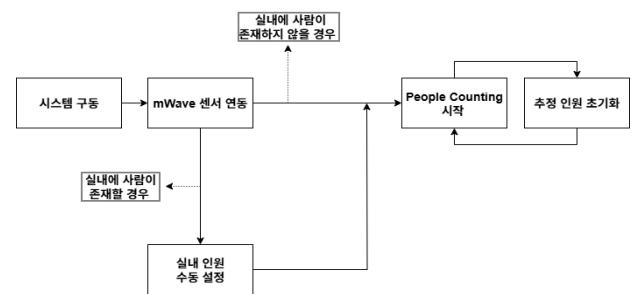


그림 1. 구현한 화재 구조 지원 시스템의 블록
다이어그램

2. 객체 탐지 기반 인원 카운팅(People Counting) 시스템

카메라를 활용한 출입 인원 카운트는 경계선(Line)기반 방식과 영역(ROI) 기반 방식을 조합하여 사용한다. 이는 카메라 화면 상에서 사전에 정의된 두 개의 영역 사이에 위치한 가상의 경계선을 통과하는 객체를 추적하여 입장과 퇴장을 구분하는 방식이다. 사전에 정의된 두 개의 영역을 ROI(Region Of Interest)라 하며, 이러한 ROI 및 경계선은 시스템을 처음 실행할 때 사용자가 직접 설정할 수 있다. 객체 탐지 및 추적 기능에는 YOLOv8 기반 객체 탐지 알고리즘과 SORT 추적 모델을 적용하여 사람만을 인식하고 각 객체에 고유 ID를 부여한다. 이후 부여된 ID를 기반으로 추적된 객체의 중심좌표가 실내/실외 ROI 및 경계선을 통과하는 방향을

분석하여 입장 또는 퇴장으로 판별하고 그 차이로부터 실내에 잔류하는 인원의 수를 추정한다.

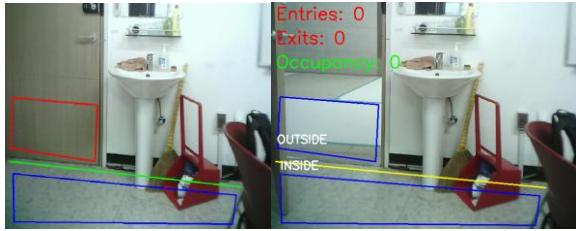


그림 2. ROI 및 경계선 설정 방식 예시

3. mmWave 센서 기반 실내 인원 탐지

그러나 카메라 영상만으로는 연기나 열기 등으로 화재 상황에서 사람의 탐지가 제한될 수 있으며, 카메라 시야 밖의 상황은 추정하지 못하는 제약이 존재한다. 따라서 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 mmWave 센서를 도입하여 객체 추정 시스템을 보완하기 위한 보조 기능을 구현하였다. mmWave 센서는 사람의 존재 여부를 판단하여 없음(0) 또는 있음(1)으로 반환한다. 이를 활용하여 카메라 기반 카운트 결과를 보정하고, 실제 실내 잔류 여부를 재확인할 수 있어 카메라가 시야를 상실하는 경우에도 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있다. 더불어 시스템 실행 시 실내에 사람이 존재할 경우 초기 인원 수를 직접 설정할 수 있으며, 이후 센서 값이 일정 시간 이상 '0'으로 유지될 경우 자동으로 인원 추정치를 초기화하도록 설정하여 시스템 시작 시 발생하는 추정치 오류 또한 해결할 수 있다.

4. 실험 환경 및 결과

구현된 시스템의 성능을 검증하기 위해 그림 3과 같이 실제 실내 공간에 구현하여 실험을 수행하였다.



그림 3. 실제 실험 환경

실험은 반복적인 입장과 퇴장 시나리오로 진행되었으며 카메라는 그림 4와 같이 입장 또는 퇴장으로 판별하였다. 이후 mmWave 센서가 반환하는 값을 함께 반영하여 최종 인원 수 추정 결과를 도출하였다.



그림 4. 검증 당시 시스템 상 입장 및 퇴장 판별 과정

실험 결과, 출입문을 통한 입장 및 퇴장 상황에서 카메라 기반 카운트 값은 입장 시 +1, 퇴장 시 -1로 정상적으로 증감하는 것을 확인하였다. 또한 mmWave 센서는 실내에 사람이 존재하는 경우 일관되게 '1'을 반환하여 잔류 인원 여부를 정확히 감지하였다. 이를 통해 카메라와 mmWave 센서의 연동을 통한 인원 수 추정이 실제 인원 변화를 안정적으로 추적할 수 있음을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 YOLO 객체 탐지 기술과 mmWave 움직임 센서를 결합하여 실내 인원의 입장 및 퇴장을 추적하고 잔류 인원 수를 예측할 수 있는 시스템을 구현하였다. 실제로 실험을 진행한 결과 객체 탐지 및 mmWave 연동을 통한 보조 기능 또한 안정적으로 작동함을 확인하였다. 이는 실제 화재 발생 시 구조대원의 탐색 시간을 효과적으로 단축할 수 있음을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국립한국해양대학교 공학교육혁신센터의 캡스톤디자인 지원을 받아 수행된 결과임.

참 고 문 헌

- [1] 임태준. (2024). 화재현장 대응능력 강화방안 : 현장지휘체계 개선을 중심으로 [석사학위논문, 동의대학교]. <https://www.riss.kr/link?id=T17073981>