

산학협력프로젝트(캡스톤디자인) 결과보고서(요약)

프로젝트명	AI 자율주행 로봇을 활용한 실내 화재 초기 대응 시스템 구축		
수행기간	2025. 9. 20. ~ 12. 19.	소요예산	298,010원
소요예산 세부내역	-재료비: 298,010원		
참여인원	구분	인원수	성명(모두 기재)
	교수	1	조영준
	석박사과정		
	학부생	3	김보경, 임규보, 주성민
	기업체	1	(멘토) 정철희
	계	5	
추진배경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내 화재로 인한 막대한 피해 규모 <ul style="list-style-type: none"> - 실내 주거, 비주거 시설은 가장 높은 화재 발생 비율을 차지 ○ 초기 화재 대응의 중요성 대두 <ul style="list-style-type: none"> - 초기 대응으로 큰 피해 방지 		
목표 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ AI를 활용한 초기 화재 대응 <ul style="list-style-type: none"> - 인명 피해 절감 - 무인 시간대에도 대처 가능 ○ 기존 화재 감지 시설의 단점 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 스프링클러, 화재경보기 등 기존 화재 경보 시스템의 낮은 탐지율을 보완 - 낮은 설치율을 보이는 건물에도 간편하게 적용 가능 		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="font-size: small; margin: 0;">사회 사회일반</p> <p style="margin: 0;">'있어도 없는' 스프링클러...공동주택 불나도 작동률 15%</p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">공동주택 스프링클러 있는 곳 세 곳 중 한 곳꼴</p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">오연서 기자 수정 2024-08-24 11:00</p> </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="font-size: small; margin: 0;">HOME > Target@Biz > 머니</p> <p style="margin: 0;">노후 공동주택 스프링클러 설치율 고작 35%, 왜?</p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">1990년 7월 이전 건축물에는 설치 의무 없어...정상 작동 사례도 16% 불과</p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">2024.08.27(화) 17:39:29</p> </div>	
스프링클러의 낮은 작동률		기존 화재 감지 시설의 낮은 설치율	
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 화재 감지 시설의 보완 시장 진입 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 자율주행을 이용한 화재 진압 방식은 기존에 사용되지 않은 방식 		

1. 프로젝트 개요

프로젝트명	AI 자율주행 로봇을 활용한 실내 화재 초기 대응 시스템 구축
주제영역	<input checked="" type="checkbox"/> 생활 <input type="checkbox"/> 업무 <input type="checkbox"/> 공공/교통 <input type="checkbox"/> 금융/핀테크 <input type="checkbox"/> 의료 <input type="checkbox"/> 교육 <input type="checkbox"/> 유통/쇼핑 <input type="checkbox"/> 엔터테인먼트
기술분야	<input checked="" type="checkbox"/> IoT <input type="checkbox"/> 모바일 <input type="checkbox"/> 데스크톱 SW <input type="checkbox"/> 인공지능 <input type="checkbox"/> 보안 <input type="checkbox"/> 가상현실 <input type="checkbox"/> 빅데이터 <input checked="" type="checkbox"/> 자동제어기술 <input type="checkbox"/> 블록체인 <input type="checkbox"/> 영상처리 <input type="checkbox"/> 기타()
성과목표	<input type="checkbox"/> 논문게재 및 포스터발표 <input type="checkbox"/> 앱등록 <input type="checkbox"/> 프로그램등록 <input type="checkbox"/> 특허 <input type="checkbox"/> 기술이전 <input checked="" type="checkbox"/> 실용화 <input type="checkbox"/> 공모전(<i>공모전명</i>) <input type="checkbox"/> 기타()

2. 프로젝트 추진배경

1. 프로젝트 선정 배경

◎ 실내 화재로 인한 막대한 피해 규모

- 2023년 기준 전체 화재 건수 중 약 65% 가 실내에서 발생한 화재
- 주거 및 비주거 시설 화재 발생 건 수가 가장 높은 비율을 차지

◎ 초기 화재 대응 중요성 대두

- 초기 화재 대응으로 더 큰 피해를 예방할 수 있음
- 이와 같은 문제를 해결하고자 실내에서 화재 진압을 돕는 자율주행 시스템을 개발하고자 함

<p>화재 발생 위치(2023)</p> <p>■ 주거 시설(실내) ■ 비주거 시설(실내) ■ 실외 ■ 기타</p>	
<p>화재 발생 위치 신고 건수</p>	<p>화재 초기 진압으로 대형사고 방지</p>

2. 프로젝트의 중요성 및 필요성

◎ AI를 통한 초기 화재 대응

- 인명 피해 절감
- 사람이 없는 시간대에도 빠른 대응 가능

◎ 기존 화재 감지 시설 보완

- 스프링클러, 화재 경보기 등 기존 화재 경보 시설의 낮은 성능을 보완
- 화재 감지 시설이 없는 건물에도 간편하게 적용 가능

<p>사회 사회일반</p> <p>'있어도 없는' 스프링클러...공동주택 불나도 작동률 15%</p> <p>공동주택 스프링클러 있는 곳 세 곳 중 한 곳 불</p> <p>오연서 기자</p> <p>수정 2024-08-24 1</p>	<p>HOME > Target@Biz > 머니</p> <p>노후 공동주택 스프링클러 설치율 고작 35%, 왜?</p> <p>1990년 7월 이전 건축물에는 설치 의무 없어...정상 작동 사례도 16% 불과</p> <p>2024.08.27(화) 17:39:29</p>
스프링클러의 낮은 작동률	기존 화재 감지 시설의 낮은 설치율

3. 프로젝트(주제) 목표 및 내용

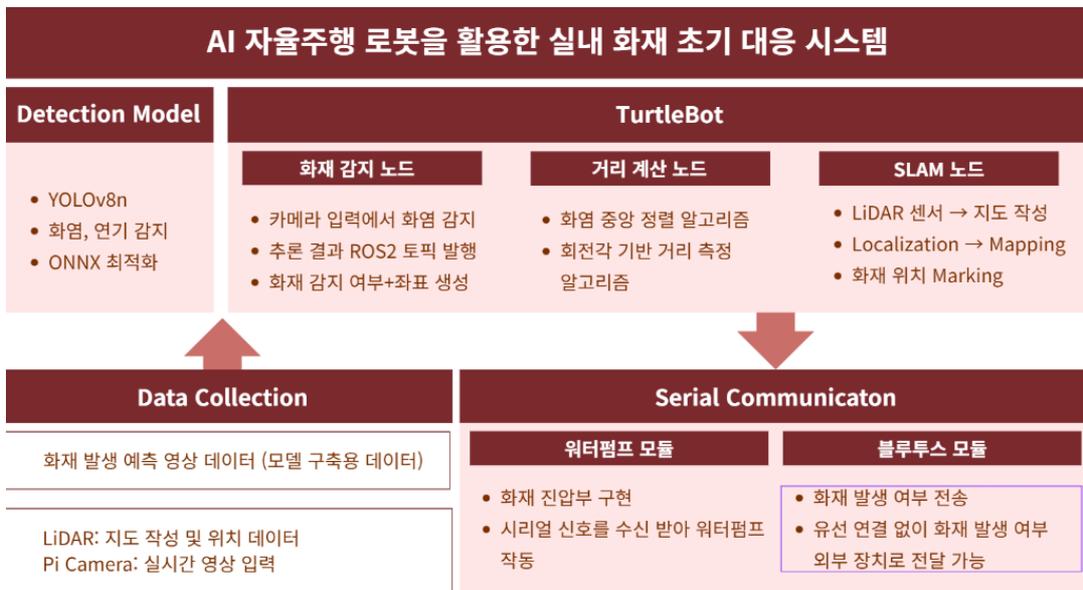
- ◎ 화재 감지 AI 모델
 - 실내 화재 위치 감지 데이터셋을 활용한 YOLO 모델 fine tuning

- ◎ 자율주행 차량 제작
 - 터틀봇 WafflePi 기반 자율주행 차량 제작
 - LiDAR 센서를 활용한 SLAM
 - 아두이노 워터펌프 시리얼 통신



4. 시스템 구성 및 내용

- ◎ 전체 동작 파이프라인 소개



5. 프로젝트 결과물에 대한 기술

1. 데이터셋 수집

◎ 화재 발생 예측 영상_영상 기반 화재 감시 및 발생 위치 감지 데이터



- 소방청 등에서 제공하는 화재 현장 이미지 및 비디오 데이터셋
- 라벨링 데이터 내에 외부/내부 라벨이 존재하여, 실내 라벨링 데이터만 정제하여 사용
- 데이터가 1TB 이상으로 매우 방대해 Train: 200GB, Validation: 100GB로 구성

◎ 데이터셋 전처리

- 불꽃과 배경의 대비를 명확하게 하기 위해 특정 색 추출에 용이한 HSV 변환 후 불꽃 color 범위 지정
- 불꽃의 색 범위 이외의 배경은 어둡게 조정
- 극단적인 색 변화를 방지하기 위해 가우시안 블러 적용



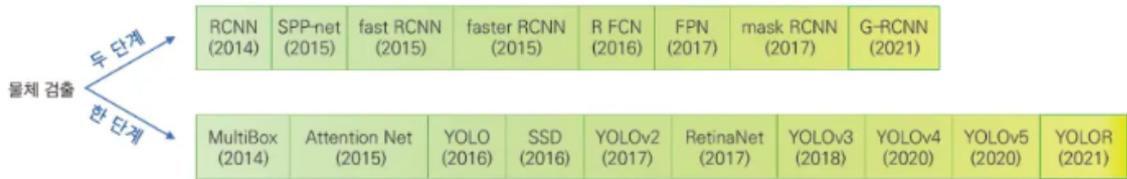
2. 모델 구축 과정

◎ 화재 인식 방법 선정

- Detection 방법에는 분류, 격자 segmentation, bounding box segmentation 등이 있음
- 단순히 화재 여부만 예측하는 것이 아닌, 화재 위치를 인식하기 위해 Bounding Box Segmentation 기법 사용

		
화재 여부 classification	격자 박스 segmentation	bounding box segmentation

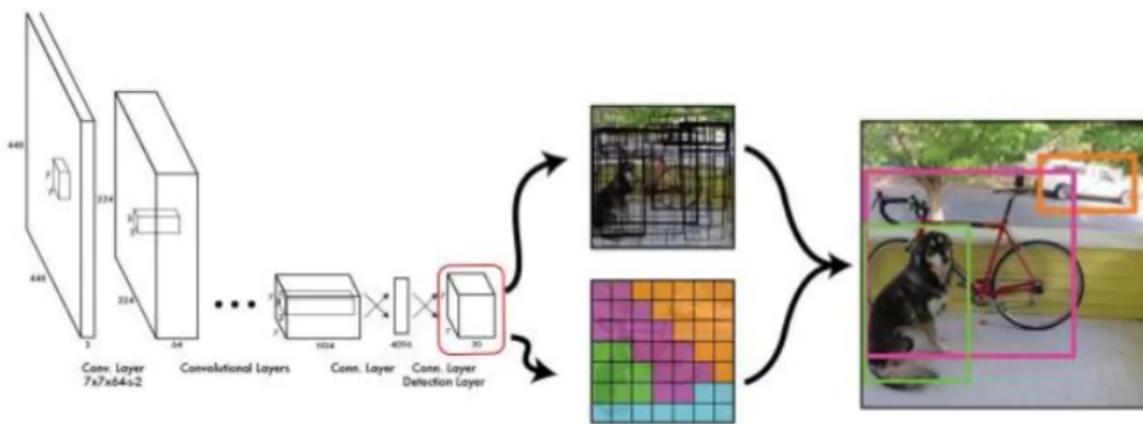
◎ 모델 선정



- 객체
검출이
가능한

모델 중 한 단계 검출로 실시간 정보처리에 용이한 YOLO 모델 사용
- YOLOv8n, YOLOv8s를 각각 Fine Tuning 진행 후 성능 비교

YOLO: You Only Look Once



1. 하드웨어 구성

본 프로젝트에서는 실내 환경에서의 자율 주행 및 화재 대응 시나리오를 고려하여 TurtleBot3 Waffle Pi를 화재 진압 차량을 하드웨어로 선정하였다. 해당 시스템은 ROS2 환경과의 높은 호환성, LiDAR 및 카메라와 결합의 용이성을 갖춘 임베디드 시스템을 제공한다는 장점이 있다.

화재 인식을 위해 단일 RGB 카메라(Raspberry Pi Camera)를 사용하였다. 본 카메라는 전방을 지속적으로 촬영하며, 영상 데이터는 Raspberry Pi 상에서 실행되는 ONNX 기반 화재 인식 모델의 입력으로 활용된다. 이를 통해 화재의 존재 여부 및 화염의 좌표를 추출한다.

주행 제어 및 고수준 연산은 Raspberry Pi 4에서 수행되며, ROS2 노드 실행, 화재 인식 추론, 거리 측정 파이프라인, SLAM 처리 등의 주요 기능을 담당한다. 반면, 실제 화재 진압 장치(워터 펌프, 블루투스)의 구동 제어는 Arduino 보드를 사용하여 처리하였다. 이는 구동 장치의 안정적인 제어와 시스템의 역할 분리를 위한 설계이다.

Raspberry Pi와 Arduino 간의 통신은 시리얼 통신 방식으로 이루어지며, 화재 감지 신호가 발생할 경우 Raspberry Pi가 Arduino로 제어 신호를 전송하도록 구성하였다. Arduino는 해당 신호를 수신하면 워터 펌프를 작동시키는 구조를 갖는다.

SLAM을 위한 환경 인식에는 2D LiDAR 센서를 사용하였다. LiDAR로부터 획득한 거리 정보는 slam_toolbox 패키지를 통해 처리되며, 지도 생성을 가능하게 한다. 생성된 지도는 화재의 위치를 마킹 하는데 사용한다.

◎ HW 소개 - Turtlebot WafflePi

- Main Controller: RaspberryPi4 (4GB)
- Sub Controller: OpenCR
- Mapping: LiDAR(LDS-02)

◎ 개발 환경 구축

- OS: Ubuntu 22.04
- ROS: ROS 2 Humble
- 언어: Python 3.10, C++
- 비전 추론: ONNX Runtime
- SLAM: slam_toolbox
- 시각화: RViz2
- 빌드 시스템: ament_python / ament_cmake

2. 화재 진압 프로세스 구축

◎ 화재 감지 알고리즘

- 화재 진압 차량의 동작 프로세스는 화재 인식 → 위치 판단 및 접근 → 신호 전달의 단계로 구성

- 로봇 전방에 장착된 카메라로부터 실시간 영상을 입력 받아 ONNX로 변환된 화재 인식 모델을 통해 화재 여부 판단

◎ 화염 중심 정렬 알고리즘

- 화재가 감지 될 경우 화염을 목표물로 설정하고 화염 중심이 화면 중앙에 위치하도록 회전 수행

- 화염 중앙 정렬 완료 후 로봇을 일정 각도만큼 회전시켜 로봇과 화염간의 상대 거리를 추정

- 회전 전 후 화염 중심 픽셀 좌표 변화량과 실제 회전 각도를 이용하여 거리 추정 위한 관측

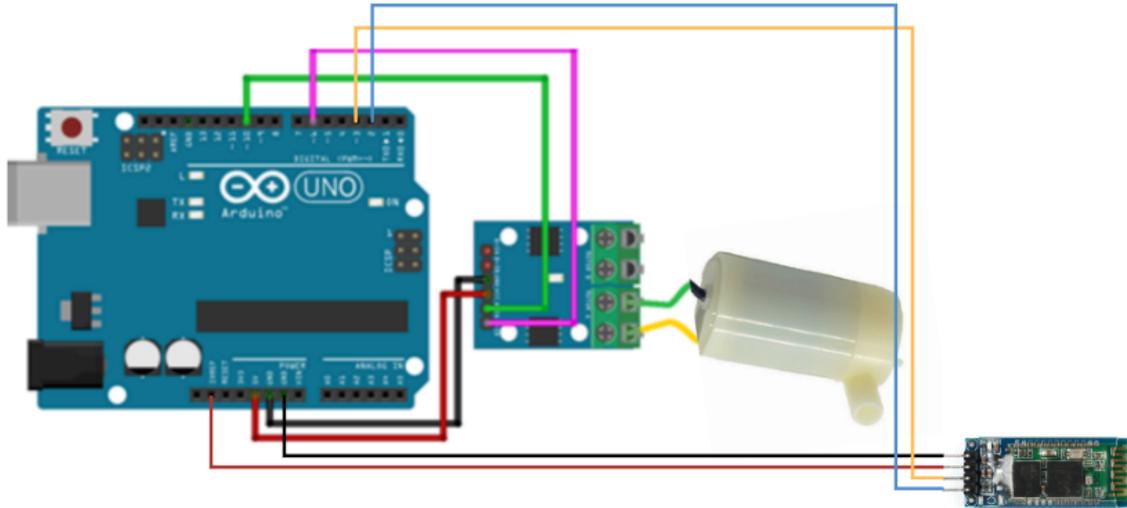
데이터 생성

◎ 시리얼 통신

- 화염과의 거리가 사전에 정의된 거리와 같아졌다고 판단되었을 때 진압 단계 수행

- Raspberry Pi에서 Arduino 시리얼 통신을 통해 화재 감지 신호 전송

- 신호를 전달 받아 워터펌프를 통한 화재 진압, 블루투스 모듈을 통한 화재 알림 동작



구분	기능정의	세부기능 설명
1	화재 감지 모델 노드	YOLO 기반 화재 감지 모델을 활용해 화재의 위치를 파악한다.
2	SLAM	2D LiDAR 센서를 이용해 실내 점군 맵을 생성한다.
3	시리얼 통신 노드	화재 진압 및 알림 전송을 위해 아두이노와 라즈베리파이의 통신부
4	화염 인식 후 접근 노드	디스플레이로 입력되는 화염 값을 이용해 중앙정렬 후 삼각측량 기법을 이용해 화재와의 거리를 측정

6. 프로젝트 진행내용

1) 참여인원 및 담당 역할

연번	소속학과	성명	수행역할 분담내용
1	인공지능학부	김보경	HW환경 구축
2	지역바이오시스템공학 학과	임규보	AI 모델 구축 & 거리계산 알고리즘 제작
3	인공지능학부	주성민	데이터 처리
4			

2) 회의 및 SW멘토링 진행

번호	일시/장소	회의/멘토링 내용(상세히 작성)	관련 사진
1	2025.10.11 (10:00~12:00) / 전남대 후문 할리스	- 발표 시, 실제 적용가능성을 보여주기 위한 시장 조사 하기 - 기능 추가보다, 있는 기능을 최대한 구현	

7. 프로젝트 세부일정 및 내용

No.	작업 내용	9월				10월				11월				12월				담당자	비고
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
	계획서 작성	■	■	■														김보경	
	데이터셋 수집	■	■	■	■													주성민	
	데이터 전처리				■	■	■											주성민	
	YOLO 모델 구축						■	■	■									임규보	
	YOLO 모델 파인튜닝							■	■	■								임규보	
	라즈베리파이 환경구축				■	■	■	■										김보경	
	Lidar 환경구축							■	■	■								김보경	
	터틀봇 제어								■	■	■	■	■	■				김보경	

8. 결과물에 대한 향후 활용계획

1. 결론

- ROS 2 기반 모듈형 구조를 활용한 화재 감지-제어-연동 통합 시스템 구현
- ONNX 기반 경량 화재 인식 모델을 로봇 플랫폼에 적용한 실시간 추론 가능성 검증
- 단일 RGB 카메라와 로봇 회전 동작을 이용한 화재 거리 추정 기법 설계 및 적용
- 화재 인식 결과를 시리얼 통신을 통해 외부 진압 장치로 전달하는 연동 구조 검증
- SLAM과 화재 인식 시스템을 결합한 실내 화재 초기 대응 로봇 아키텍처 제시
- 센서 추가 없이 거리 정보를 획득하는 저비용·경량 시스템 구성 가능성 확인

2. 기대효과

- 현재는 정해진 경로를 따라 주행하는 상주주봇 역할을 하지만 추후 Path Planning 결합을 통해 완전 자율주행 가능
- 고성능 MCU와의 결합을 통해 더 나은 성능 구현 가능
- 거리 추정 알고리즘의 보안을 통한 정밀한 거리 계산 로직 구축
- Depth Camera 사용을 통한 위치 추정
- 센서 퓨전을 이용한 기능 확장

9. 참고자료 및 문헌

- [1] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- [2] Macenski, S., et al. *SLAM Toolbox: A flexible and scalable SLAM system for ROS 2*. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2021.
- [3] 전진성, 곽동걸, 박범수, “자율주행 로봇을 활용한 초기 화재진압시스템 개발에 관한 연구”
- [4] 한상석, 정호성, 김재민, 윤영택, 김강수, “실시간 이미지 처리 및 자율주행 로봇 기반 화재 탐지 알고리즘”
- [5] 엠젠솔루션, “AI 자율주행 소방 로봇”
- [6] Oh, Sung Hyun, Chang Gyu Lee, and Jeong Gon Kim. "Autonomous UAV-Based Fire Suppression Platform Using SLAM in Industrial Environments." IEEE, 2025.
- [7] Real, Fran, et al. "Autonomous fire-fighting with heterogeneous team of unmanned aerial vehicles." Field Robotics, 2021.
- [8] Vijayalakshmi, K., et al. "Autonomous Drone-Based Fire Detection and Suppression Using YOLOv8 and 2D Blueprint Mapping for Industrial Applications." IEEE, 2024.
- [9] Li, Sen, et al. "An indoor autonomous inspection and firefighting robot based on SLAM and flame image recognition." 2023.
- [10] Liu, Chang, et al. "Laser slam-based autonomous navigation for fire patrol robots." IEEE, 2023.