캡스톤 디자인 I 중간 발표

AI를 활용한 열화상 데이터 분석 및 IoT 기반 서버 쿨링 시스템

팀명 : 5인분 같은 4인분

팀원 : 홍수민(팀장), 길기훈, 오민석, 지원근

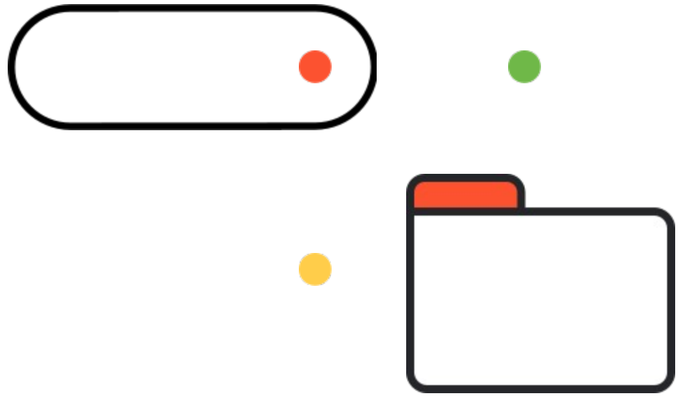
담당 교수 : 이상금 교수님

INDEX

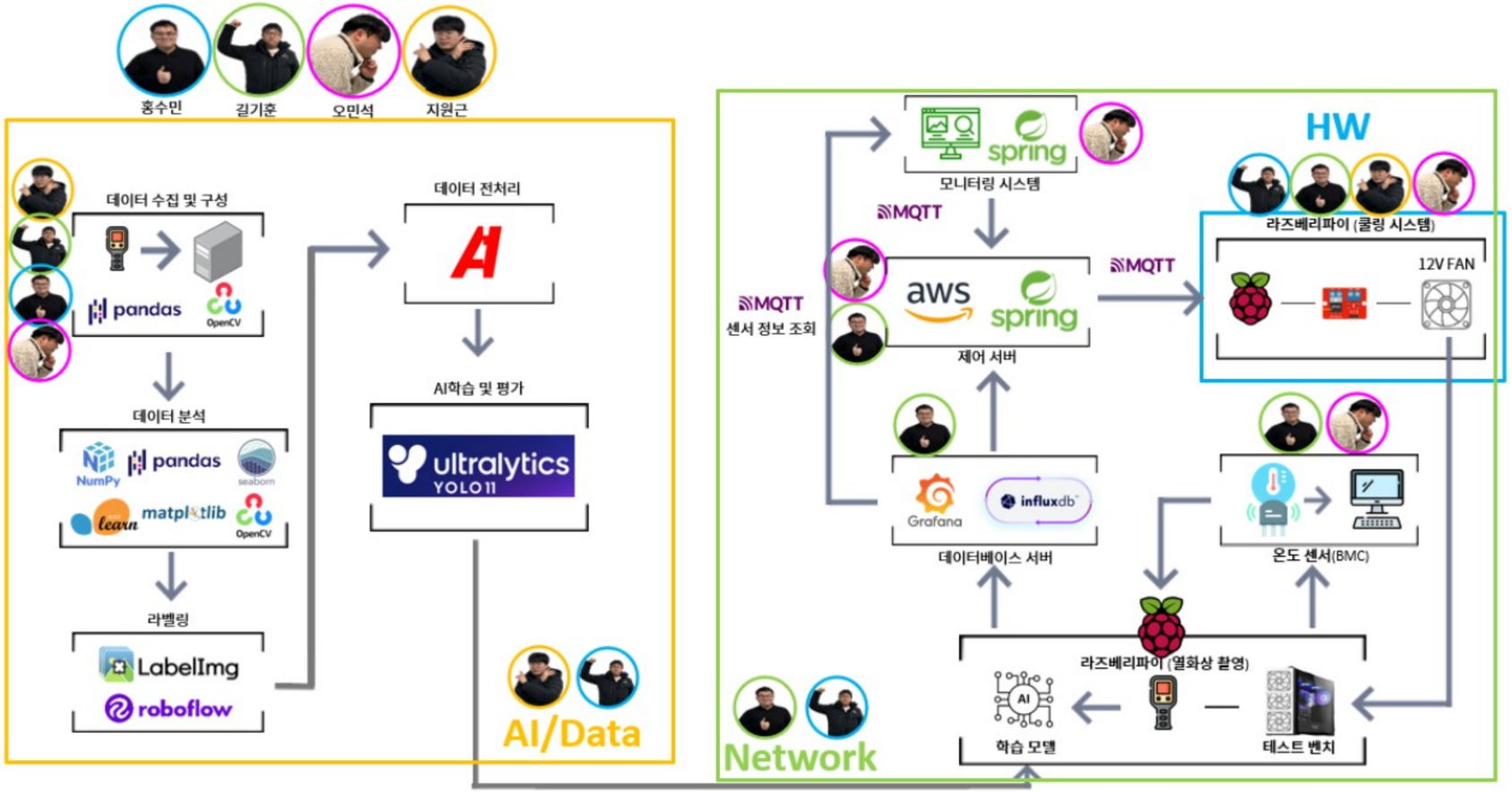
목차

01

프로젝트 개요



전체 구성도

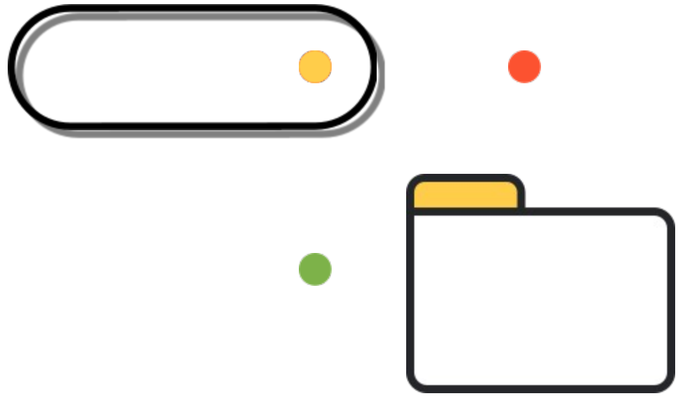


프로젝트 구성 및 목표

1. 라즈베리파이와 열화상 카메라 연동
2. 열화상 이미지 데이터 수집
3. 데이터 분석 및 YOLO 모델 학습
4. DB 구축
5. 서버 구축
6. 팬 제어
7. 모니터링 시스템 구현

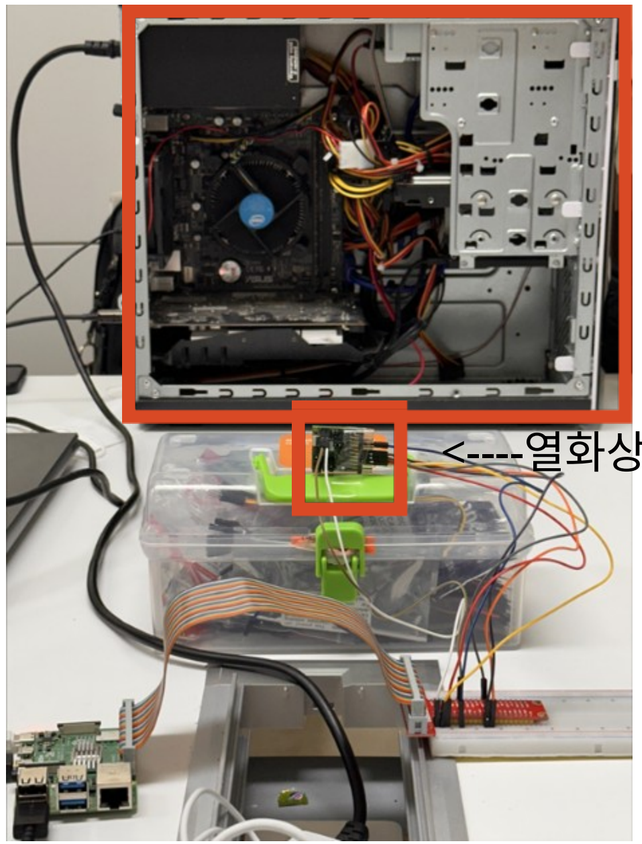
02

진행 상황



configuration_settings

환경 설정



<촬영 환경>

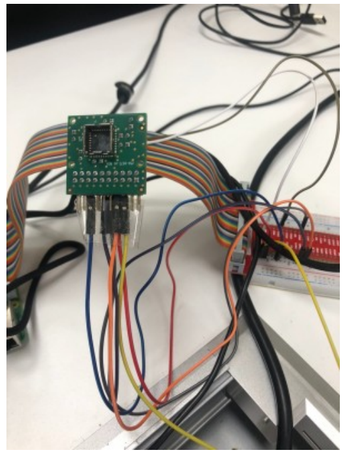
consideration

환경 설정 시 고려 사항

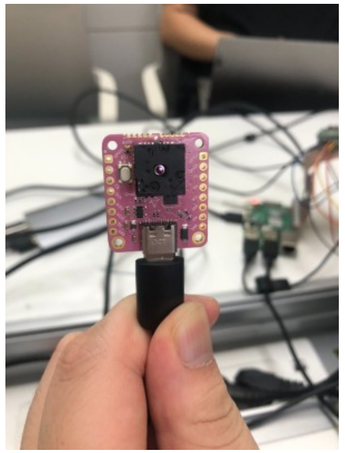
- 컴퓨터와 카메라간 거리 1.5m 이내로 설치[3]
- AGC 비활성화
- 최소 온도 10°C, 최대 온도 60°C로 고정

항목	사양
CPU	Intel Core i7-6700K
GPU	NVIDIA GTX 1050 2GB
RAM	16GB DDR4
OS	Ubuntu 22.04.5 LTS
카메라	FLIR Lepton 3.5

환경 설정 수정 사항



<수정 전>



<수정 후>

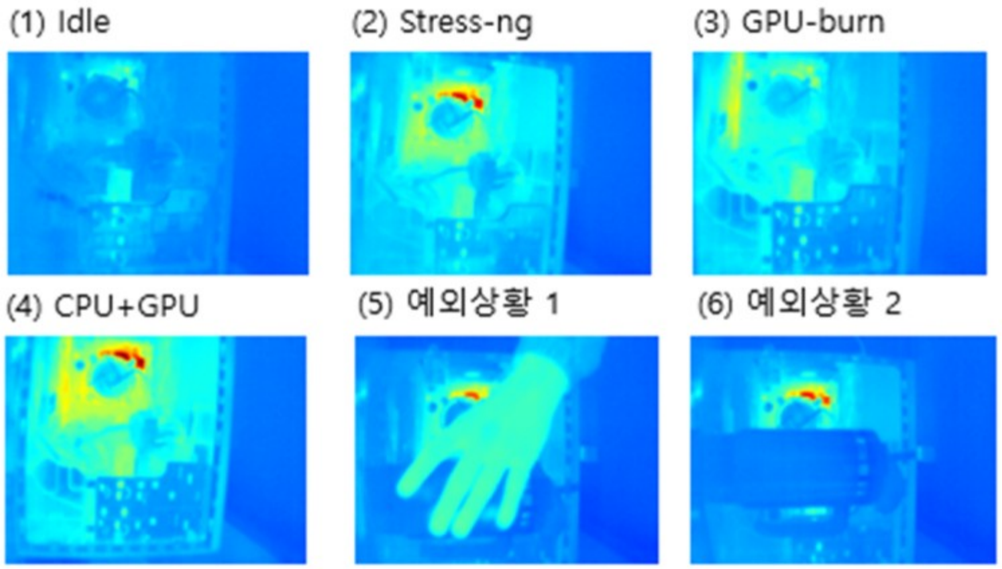
modification

수정된 내용

- FLIR Lepton 3.5 열화상 카메라 보드 연동 시
- 기존 : Breakout 보드 v2.0, GPIO 연결 방식
- 수정 : PureThermal 3, USB 연결 방식
- 기존 GPIO 연결 방식은 연결이 불안정하기 때문

data_collection

데이터 수집



<시나리오별 촬영 이미지>

data_explanation

데이터 설명

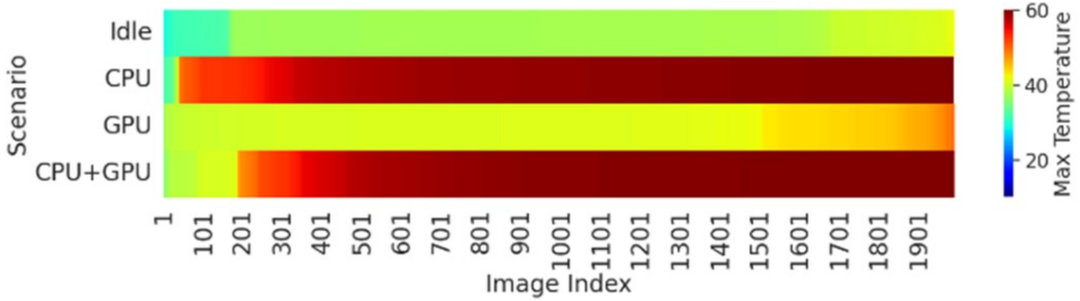
1. Idle(유휴) 상태 : 1,990장
2. CPU 부하 상태 : 1,990장
3. GPU 부하 상태 : 1,990장
4. CPU + GPU 부하 상태 : 1,990장

총 7,960장

※5, 6(예외상황)은 1, 2, 3, 4에 포함

data_analysis

데이터 분석(히트맵)



<시나리오별 최대 온도값에 대한 히트맵>

	Mean	Std	Min	Max
Idle 상태	37.0	2.0	28.0	42.0
CPU 부하	58.0	4.0	30.0	60.0
GPU 부하	42.0	2.0	34.0	50.0
CPU+GPU 부하	57.0	6.0	33.0	60.0

<시나리오별 최대 온도값에 대한 통계>

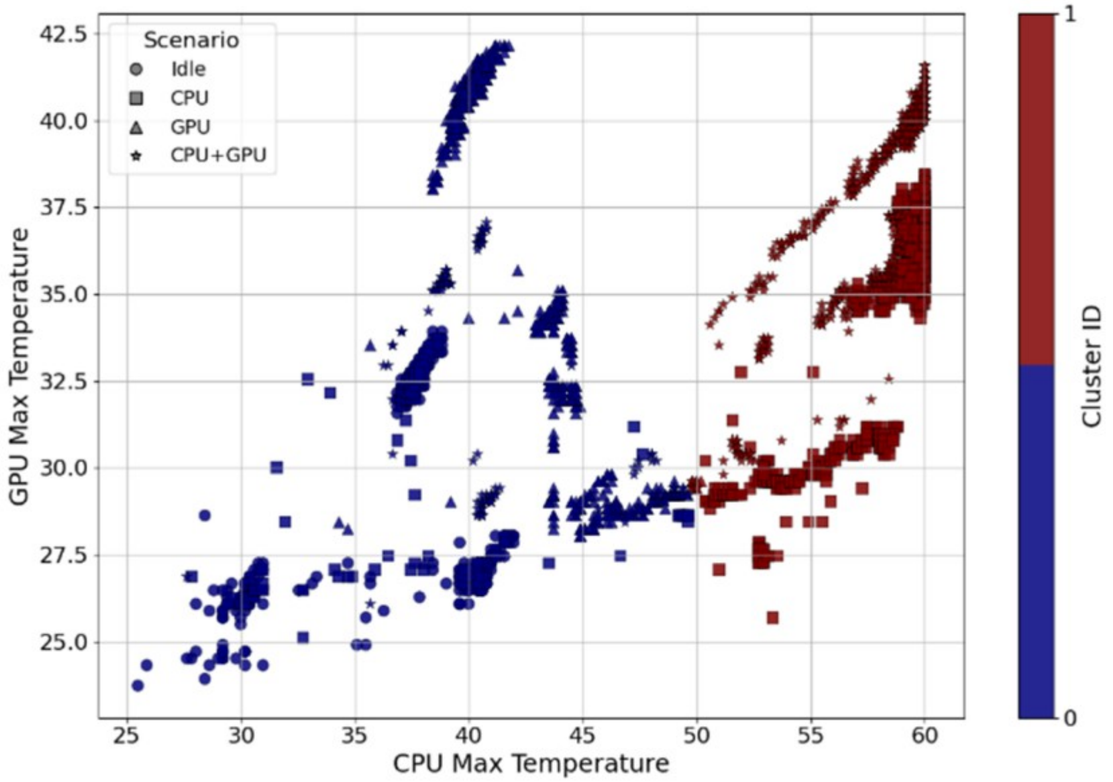
analysis_summary

분석 요약

- Idle(유휴) 상태 : 연두색, 낮은 온도
- CPU 부하 상태 : 붉은색, 높은 온도
- GPU 부하 상태 : 노란색, 중간 온도
- CPU + GPU 부하 상태 : 붉은색, 노란색, 높은 온도

data_analysis

데이터 분석(K-Means클러스터링)



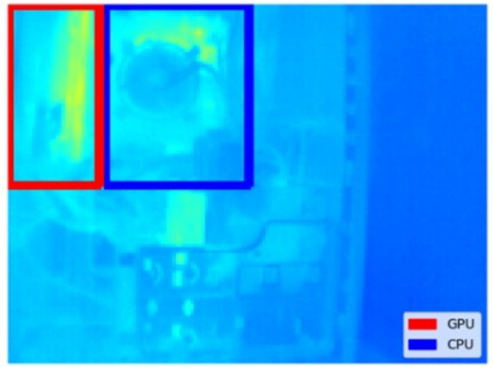
<CPU와 GPU 온도값 기반 K-Means 클러스터링>

analysis_summary

분석 요약

Cluster	Scenario	Count
0	Idle 상태	1,990
0	CPU 부하	50
0	GPU 부하	1,984
0	CPU+GPU 부하	228
1	CPU 부하	1,940
1	GPU 부하	6
1	CPU+GPU 부하	1,762

<클러스터링별 정량적 통계>

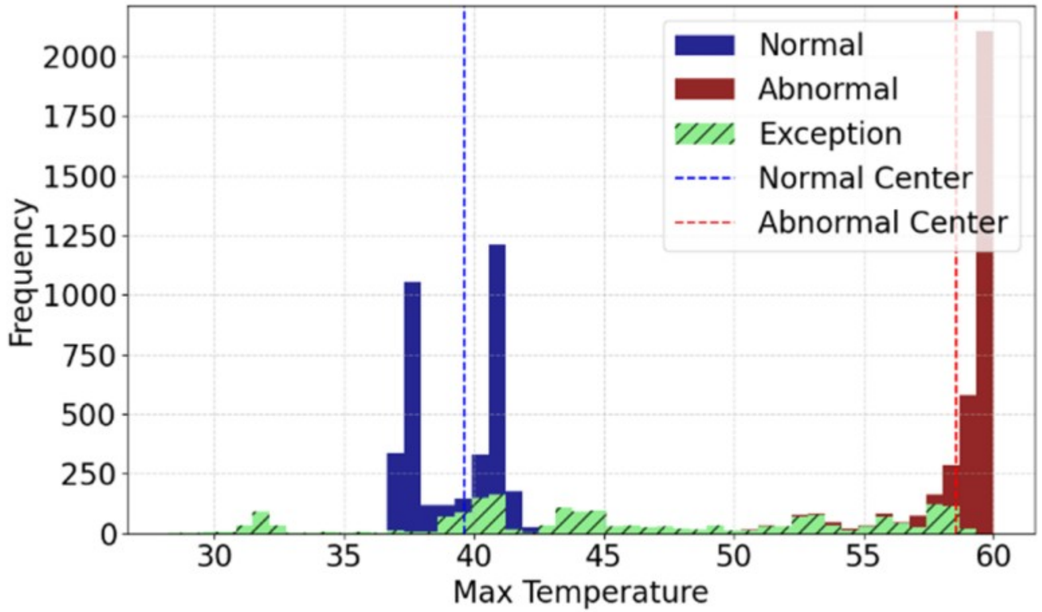


<CPU와 GPU 영역>

CPU 온도 50℃를 중심으로 클러스터 경계 형성되는데 이는 후에 AI 모델
학습을 위한 라벨링 기준으로 활용

data_analysis

데이터 분석(예외 상황)



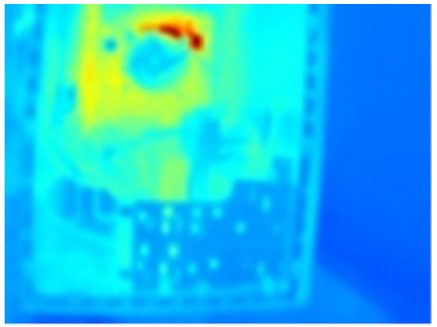
<컴퓨터 상태별 최대 온도값 분포(예외 상황 포함)>

analysis_summary

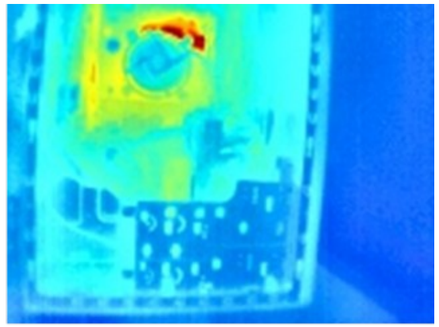
분석 요약

- Exception(예외 상황) : 30°C ~ 58°C에 분포
- 발열 부분의 가려짐 정도에 따라 열화상 이미지에서 추출한 온도 값이 달라짐
- 실제 상태와 클러스터링 결과 간 불일치
- 향후, BMC 센서 데이터와 결합하여 신뢰성 보완

데이터 전처리

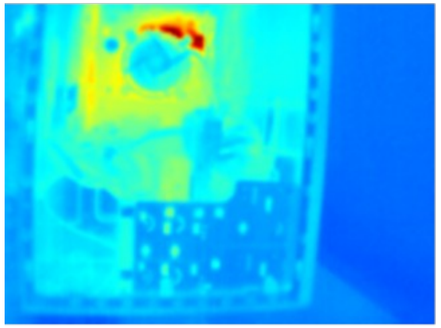


<Blur>

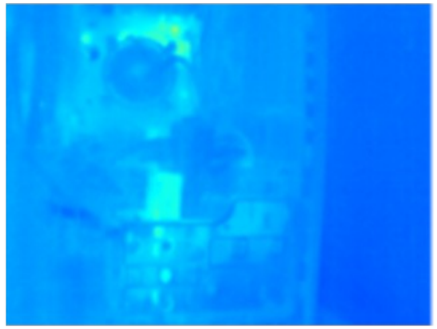


<CLAHE>

<전처리 적용한 이미지>



<비정상>



<정상>

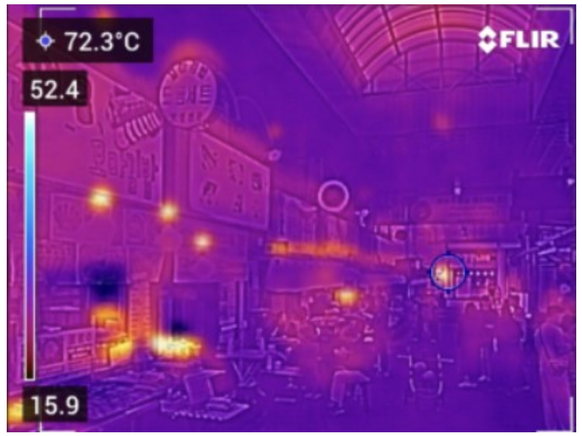
<열화상 이미지 (좌 : 비정상, 우 : 정상)>

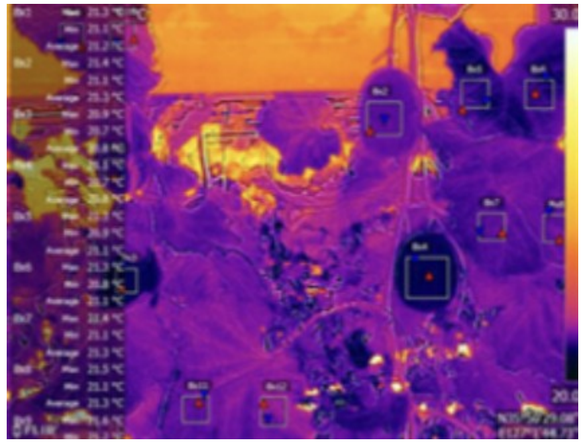
요약

- Train/Validation 8:2 비율 분할
- 최대 온도 50 °C 기준으로 라벨링(정상/비정상)
- Blur, CLAHE 적용

yolo_adopt

YOLO 채택





reason_for_adoption

채택 이유

- 최근 심층신경망을 활용한 열화상 기반 이상 영역 분할 연구 진행[4]
- 강화된 CNN 및 Transformer 기반 모델을 열화상 이상 탐지에 적용 [5][6]
- 그러나 이러한 모델들은 이미지 분류나 픽셀 단위 세그먼테이션에 치중되어 객체탐지를 통해 이상 부위를 직관적으로 식별하기엔 한계

- ~~반면, YOLO는 산업 현장의 열화상 이미지에서~~ 이상 발열 영역을 실시간으로 탐지하는데 효과적 [7]
- 열화상 카메라의 이점을 YOLO와 결합하여 자동으로 조도가 강한 낮 시간에 화재 탐지[1]
- 육안으로 확인이 어려운 농작물의 상태를 분석하는 등 다양한 분야에서 융합적 접근 이루어짐[2]

model_train

모델 학습

YOLO11	mAP50:95	CPU 속도 (ms)	매개변수 (M)	FLOPs (B)
n	39.5	56.1	2.6	6.5
s	47.0	90.0	9.4	21.5
m	51.5	183.2	20.1	68.0
l	53.4	238.6	25.3	86.9
x	54.7	462.8	56.9	194.9

<YOLO11 모델별 세부 사항>

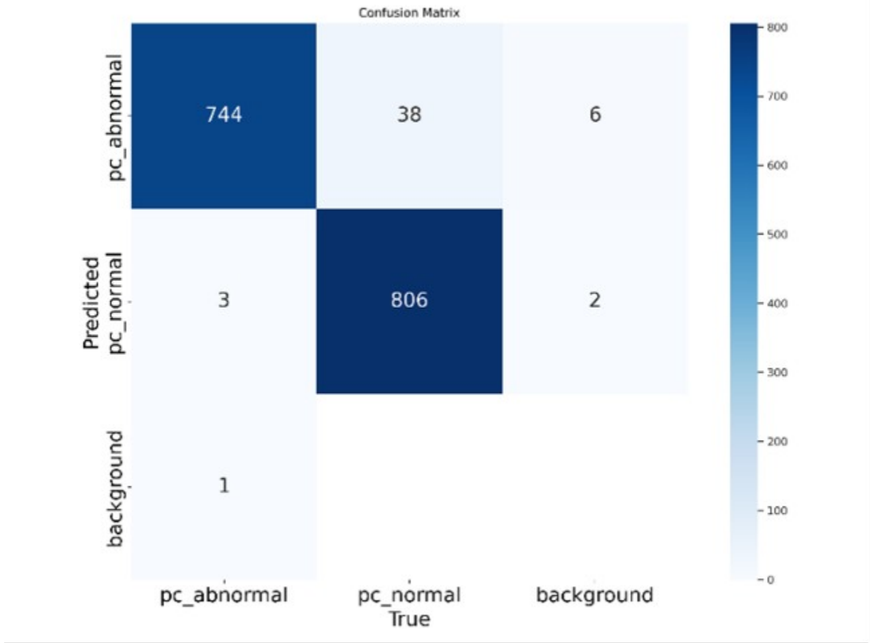
consideration

모델 선택 시 고려사항

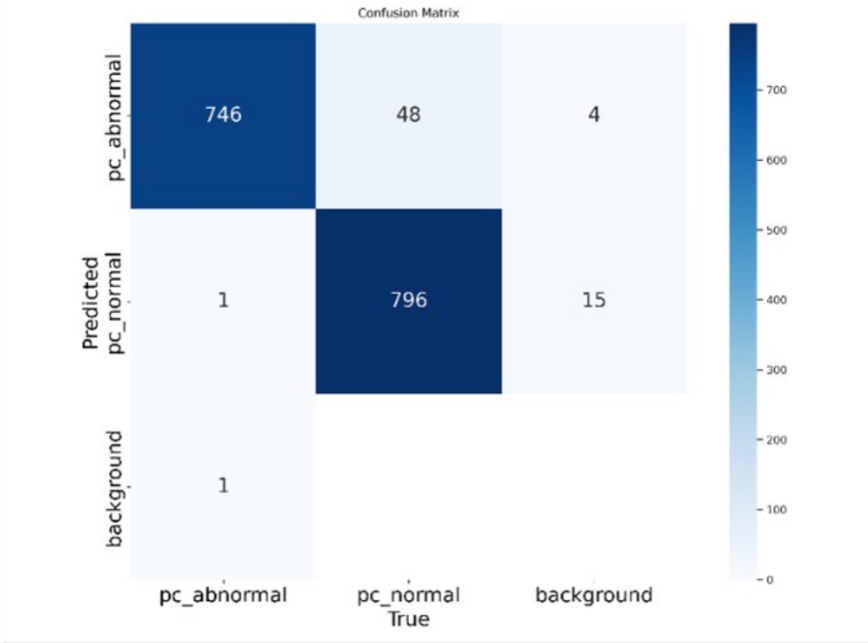
- 대형 모델(m, l, x)의 파라미터 수, 연산량 大[8]
- 소형 시스템(라즈베리파이)와 적합하지 않음
- YOLO11n(2.4M) vs YOLO11s(9.4M)

파라미터	값
Input Size	160 x 160
Epoch	50
Optimizer	AdamW(lr=0.001667, momentum=0.9)
Batch Size	32

모델 평가



<YOLO11n>



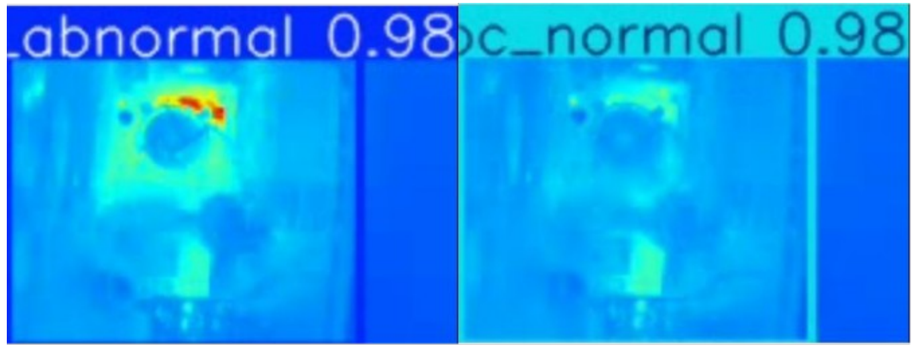
<YOLO11s>

YOLO11	n	s
mAP50:95	0.99329	0.99044
Precision	1.00	1.00
Recall	0.99	1.00
F1	0.97	0.97

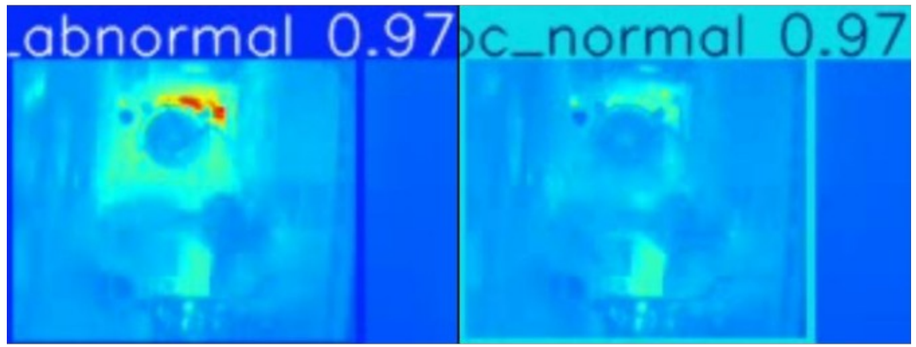
<YOLO11 모델별 학습 결과>

model_evaluation

모델 평가



<YOLO11n>



<YOLO11s>

<YOLO11 모델별 탐지 결과 비교>

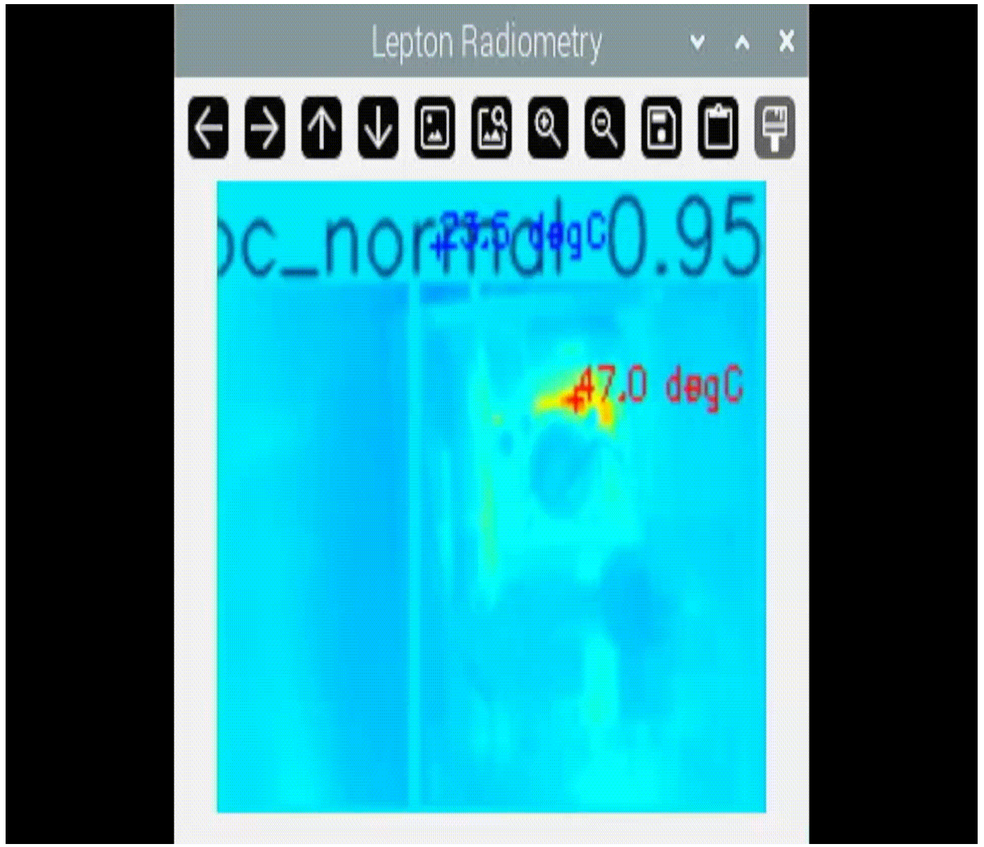
consideration

모델 선택 시 고려사항

- YOLO11n과 YOLO11s는 97~98%의 높은 신뢰도
- 제한된 하드웨어 자원 내에서 실시간 처리 요구
- 상대적으로 경량화된 YOLO11n 모델 채택

model_demonstration

모델(YOLO11n) 시연 영상

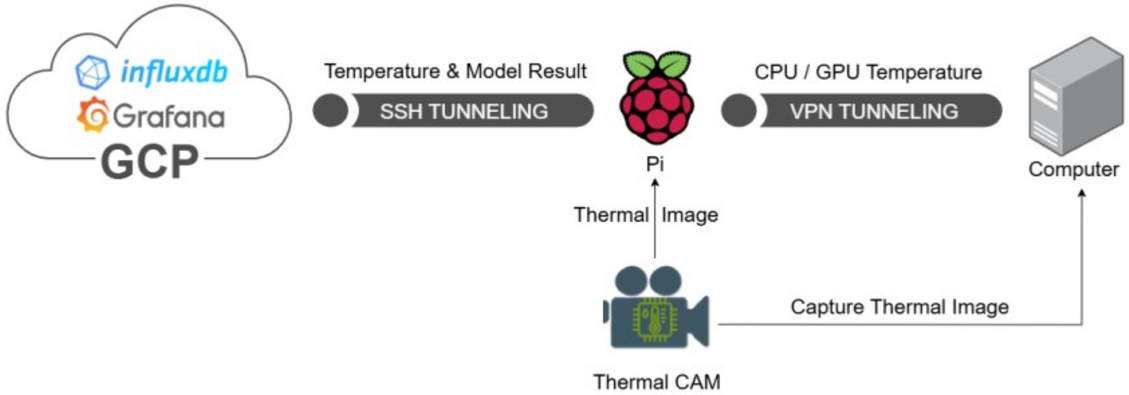


consideration

모델 선택 시 고려사항

- YOLO11n과 YOLO11s는 97~98%의 높은 신뢰도
- 제한된 하드웨어 자원 내에서 실시간 처리 요구
- 상대적으로 경량화된 YOLO11n 모델 채택

통신



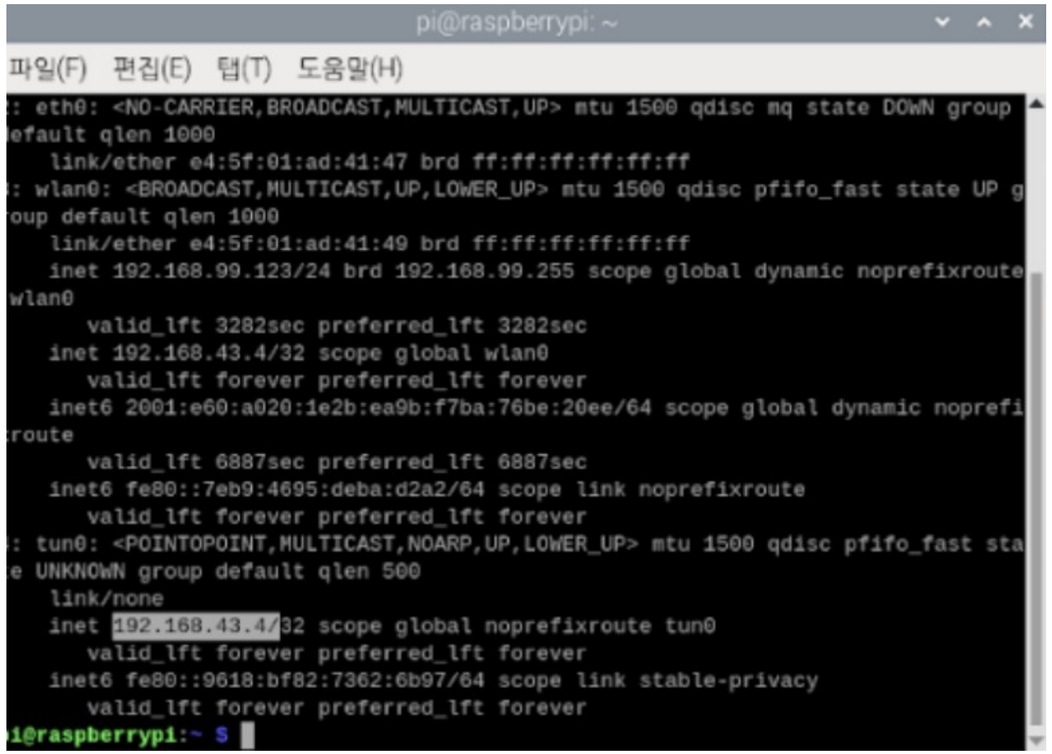
<통신 과정 구성도
>

통신 과정

- 컴퓨터는 IPsec 기반 VPN을 통해 라즈베리파이와 연결되어 센서에서 측정된 CPU, GPU온도를 라즈베리파이에 전송
- 라즈베리파이는 수신한 데이터(CPU, GPU 온도)를 YOLO가 판별한 결과와 통합하여 전송 (데이터의 일관성 & 정확성)
- 통합된 데이터를 SSH 터널링을 이용해 GCP에 위치한 InfluxDB로 전송

communication

통신



<VPN 클라이언트 IP 조회>

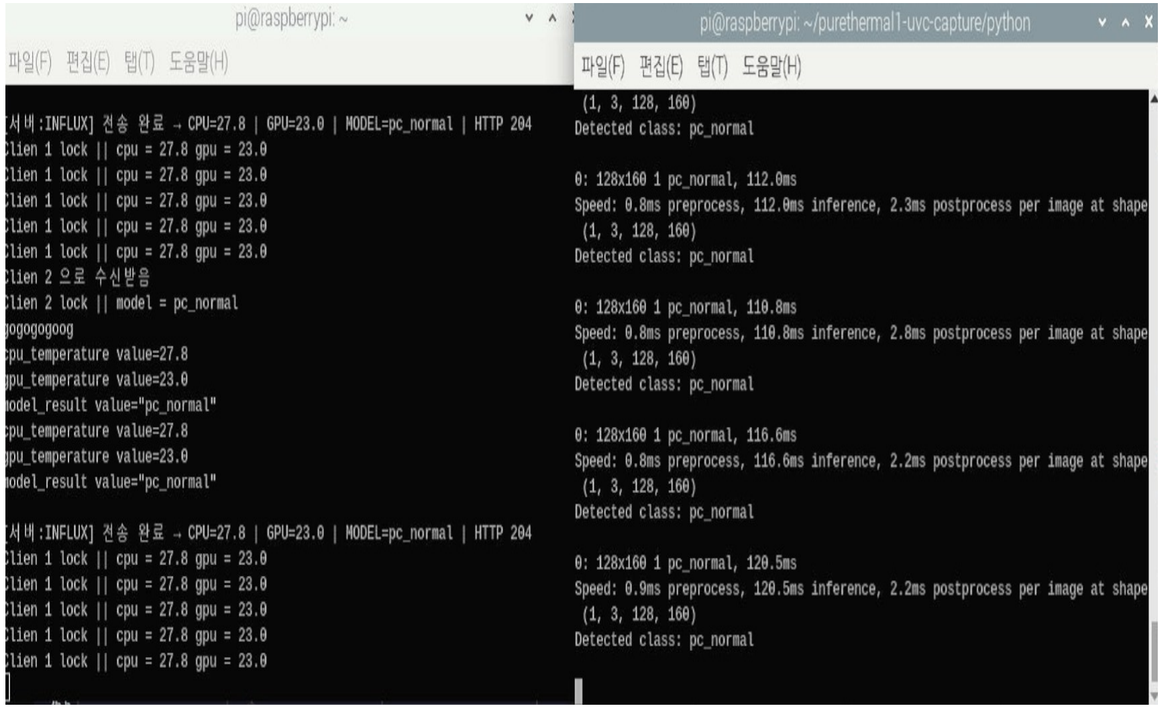
vpn_server

VPN(가상 사설망)

- IPsec 기반 VPN을 구축하여 허용되지 않은 시스템의 접속 차단
- 각 클라이언트에 고정 아이피를 할당하여 시스템 재부팅 시 IP변경으로 인한 접속 문제 해결
- VPN을 사용하여 학교 인터넷과 외부 시스템 간의 접속 문제 완화

communication

통신



< Local Port fowarding으로 DB로 데이터 전송 (8086 포트)>

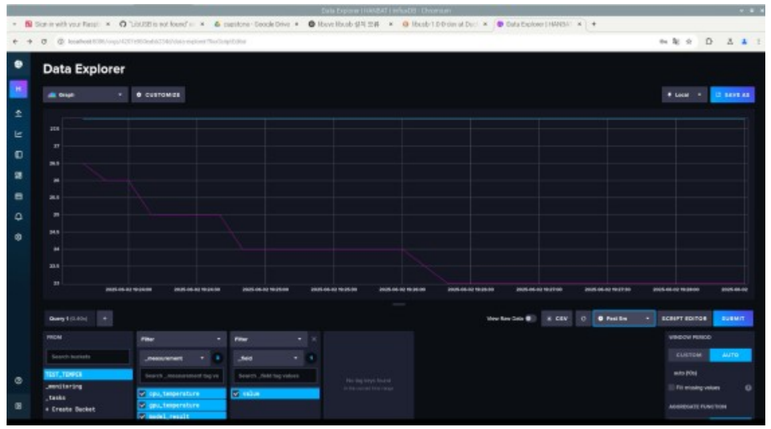
ssh_tunneling

SSH 터널링

- Local PC 와 Raspberry Pi의 연결
- InfluxDB의 8086포트를 이용하여 SSH Local Port forwarding 이용
- Socket 통신을 이용해 통합된 데이터를 GCP의 8086포트로 전송 (1초의 전송 주기)

database

데이터베이스



<InfluxDB 구조>

<판별 값 (0/1)과 CPU, GPU 온도 표시 (Grafana)>

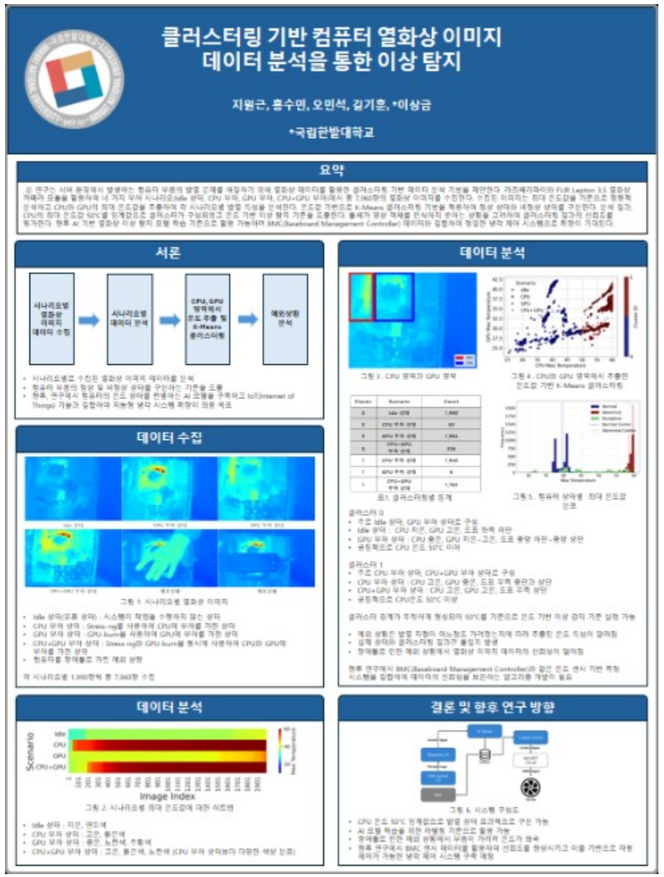
influxdb

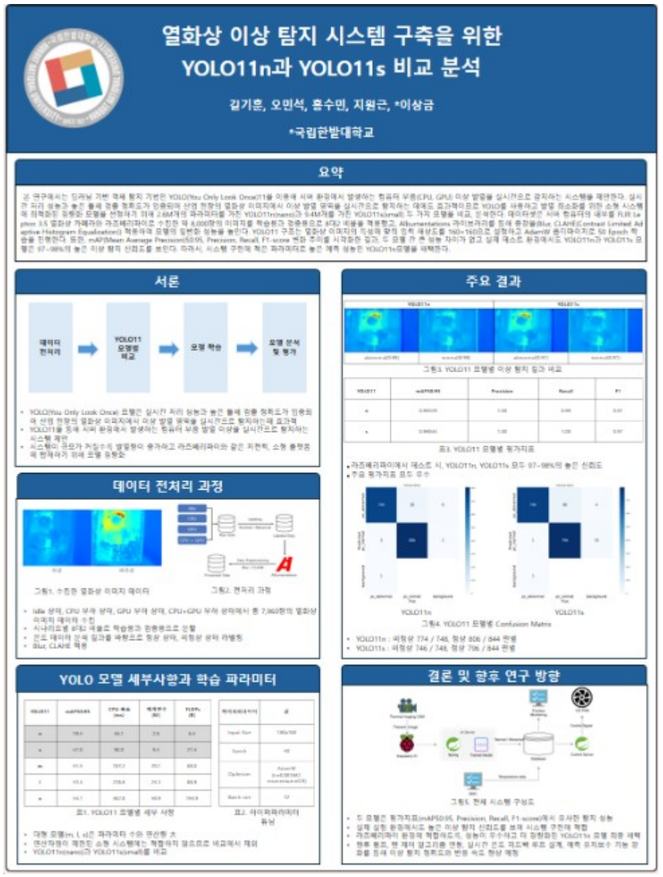
Influx DB & Grafana

- 관측되는 PC의 CPU, GPU 온도와 판별값을 0과 1로 수신 (0 : 정상, 1 : 비정상)
- Grafana로 연결 -> 임계 값 초과 시 Alert
- CPU 사용량, GPU 사용량 등 항목 추가 예정

대외활동

※교토대학교(노벨상19개수상)랑 함께 SCIE논문 작성 중



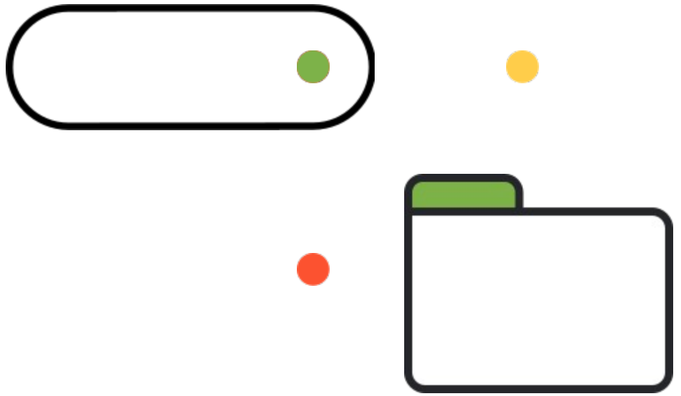


※대한 전자공학회

※ABC 프로젝트 멘토링

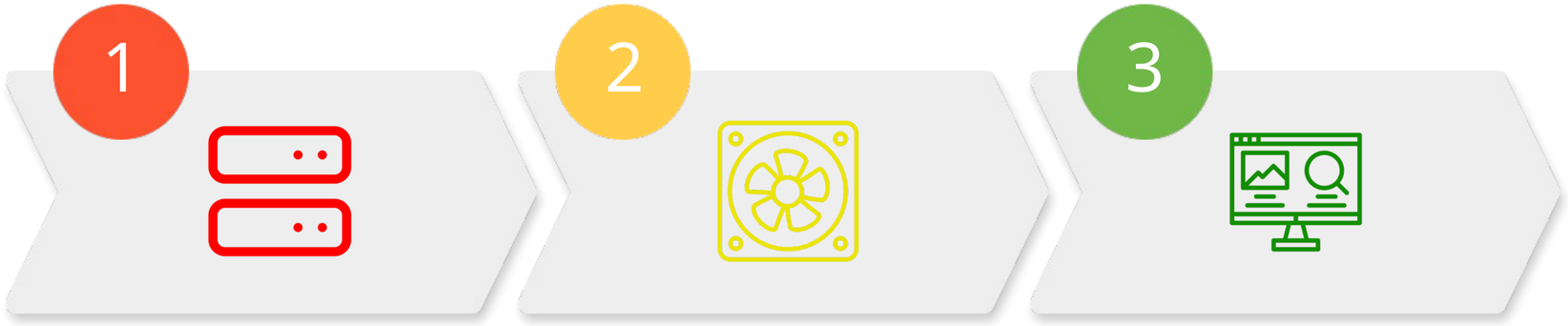
03

향후 계획



future_plans

향후 계획



1단계

서버 구축

2단계

팬 제어

3단계

모니터링 시스템 구축

참고 문헌

[1] 고아라, 조정원. (2024). 전통시장을 위한 열화상 기반 실시간 화재 감지 시스템 개발. 멀티미디어학회논문지, 27(11), 1398-1405. 10.9717/kmms.2024.27.11.1398.
[2] 이성민, 김경철, 백자영, 양창주, 김만중, 조병효. (2024). 수경재배 참외 인식을 위한 열화상 및 딥러닝의 적용 가능성 검토. 드라이브·컨트롤, 21(4), 37-45.
[3] 이지훈, 정임영. (2022-12-20). 열화상 카메라를 통한 온도 측정 데이터 신뢰도 분석. 한국정보과학회 학술발표논문집, 제주.
[4] J. Kang, S. Park, "Infrared Thermography for Fault Diagnosis in Electronic Equipment," Journal of Electronic Testing, vol.35, no.3, pp.271–283, 2019.
[5] Y. Wang, X. Liu, et al., "Transformer-Based Abnormal Heat Identification in Thermal Images of Power Transformers," Scientific Reports, vol.14, Art no.81286, 2024.
[6] C. Bao, J. Cao, et al., "Improved Dense Nested Attention Network Based on Transformer for Infrared Small Target Detection," arXiv:2311.08747, 2023.
[7] L. Li, H. Xu, et al., "Real-Time Thermal Anomaly Detection in Industrial Scenes Using YOLO," Sensors, vol.20, no.10, 2020.
[8] Jocher, G., & Qiu, J. (2024). Ultralytics YOLO11 (Version 11.0.0) [Software]. GitHub. https://github.com/ultralytics/ultralytics