

캡스톤 프로젝트

CAPSTONE PROJECT PRESENTATION

5인분같은 4인분

목차

01

프로젝트 개요

- 프로젝트 개요
- 주제선정 이유 및 기대효과
- 전체적인 흐름도

02

프로젝트 목표

- 프로젝트 목표

03

세부 계획

- 열화상 데이터 수집 및 AI학습
- 시계열 센서 데이터 수집
- 테스트벤치 및 하드웨어
- 전체 시스템 구축

04

요약

- 구성도
- 역할분담
- 주요일정

프로젝트 개요

- 프로젝트 명

AI를 활용한 열화상 데이터 분석 및 IoT 기반 홈서버 쿨링 시스템

- 프로젝트 기간

2025.03.02 ~ 2025.11.02

- 프로젝트 예산

2,000,000 원

- 참여 인원

담당 교수 : 이상금 교수님

팀명

5인분같은 4인분

조원 이름

홍수민/길기훈/오민석/지원근

주제 선정 이유

주제 선정 이유



- 서버 성능 저하를 방지하기 위한 냉각 시스템 개선 필요
- 공랭 방식의 서버실 소음 문제를 해결하기 위한 팬 소음 제어 기술 필요
- 액침/수냉 방식은 비용이 높음 -> 기존 공랭 방식 개선
- 서버실 뿐 아니라 **홈서버**에서도 발열 관리가 중요함

참고 사례

엔비디아 발열 문제, 에어컨으로 해결?...시스템 손상 초래

엔비디아의 GPU RTX 4090을 에어컨으로 냉각하는 실험이 주목받고 있으나, 높은 전력 소모와 실용성 문제로 논란이 발생하고 있다.

엔비디아의 최신형 AI 가속기 '블랙웰'을 기반으로 한 서버가 과열 문제를 겪고 있다고 미국 IT전문매체 디인포메이션이 17일 보도했다.

디인포메이션은 소식통을 인용해 "최대 72개의 칩을 장착하도록 설계된 서버 랙에 블랙웰 GPU를 연결하면 과열 현상이 일어난다"며 "과열 문제 해결을 위해 랙 설계 변경을 여러 차례 요청했다"고 밝혔다.

ZDNet Korea, 「엔비디아 AI칩 블랙웰, 서버 탑재 시 과열」
디지털투데이, 「엔비디아 발열 문제, 에어컨으로 해결?...시스템 손상 초래」

<https://zdnet.co.kr/view/?no=20241118083927>

<https://www.digitaltoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=553345>

기대 효과



실시간 최적화



- 열화상 이미지를 실시간으로 분석 가능
- 사전 냉각을 통해 불필요한 고속 팬 동작을 방지
- 소음 방지 및 안정적인 온도 유지 가능

효율적인 열 관리



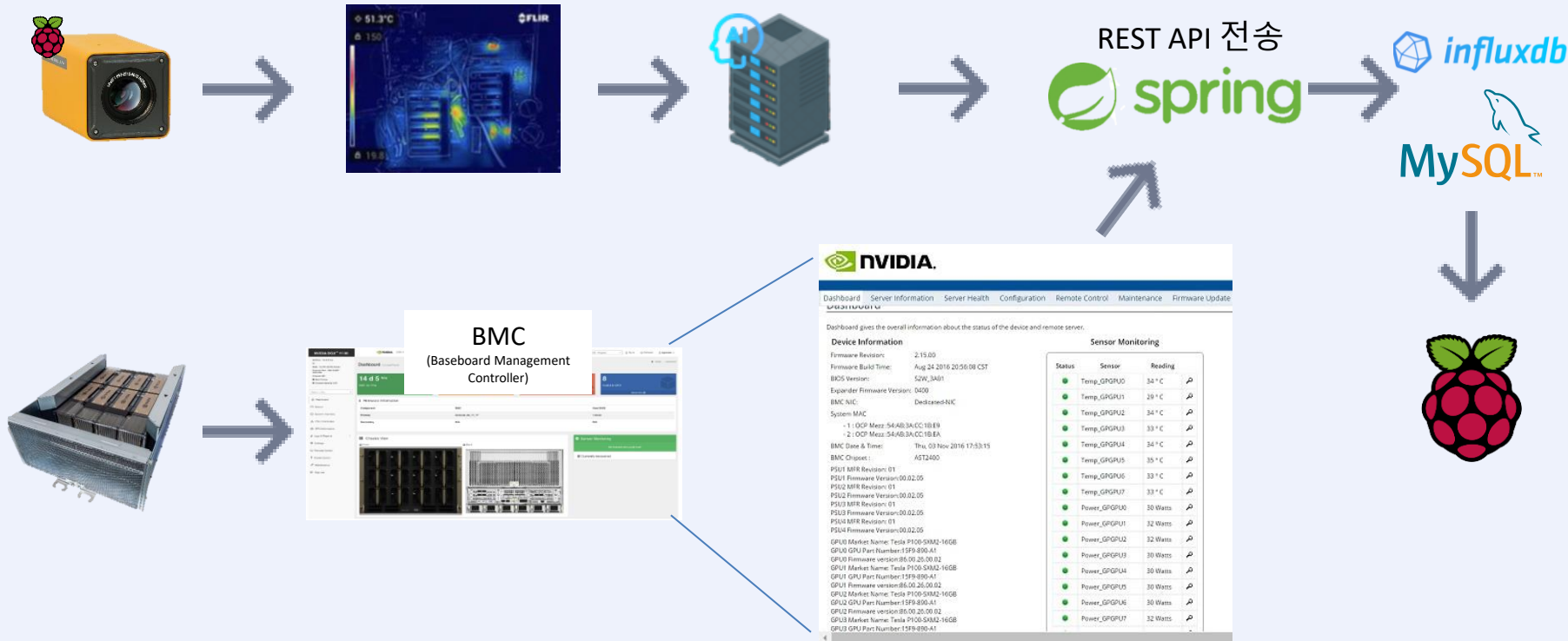
- 서버별 개별적인 쿨링을 통해 효율적인 열 관리
- 각 서버마다 냉방 효율을 모니터링하여 최적의 냉방 효율 극대화
- 과열로 인한 스로틀링을 방지를 하여 과부하 작업에도 성능을 지속적으로 유지

홈서버 적용 및 확장성



- 대형 서버 뿐만 아니라 홈서버에도 적용
- 소음이 큰 쿨링 시스템을 구축하기 비교적 어려운 홈서버에서도 효과적인 온도 관리 가능

전체적인 흐름도



프로젝트 목표

01

열화상 데이터 수집 및 AI학습

- 열화상 데이터 수집 및 라벨링
- 데이터 구성 및 전처리
- AI모델 학습 및 평가

02

시계열 센서 데이터 수집

- BMC와 파이프라인 구축
- 측정된 센서 저장 DB 구축
- 쿨링 시스템 연계 방안 구축

03

테스트 벤치 및 하드웨어

- 발열 테스트 환경을 설계·구축
- 라즈베리파이를 활용한 쿨링 시스템 회로 설계
- 라즈베리파이 통신

04

전체 시스템 구축

- 모니터링 대시보드 구축
- 웹기반의 실시간 모니터링 시스템을 구현
- 시스템과 기기 간 데이터 전송 방식 구현

PROJECT
GOALS

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

DETAILED PLAN

열화상 데이터 수집 및 AI학습



01

열화상 데이터 수집 및 라벨링

- 학습 환경 조성
- 데이터 수집 및 라벨링
- 객체 탐지 및 라벨링

02

데이터 구성 및 전처리

- 데이터셋 구성
- 데이터 전처리

03

분류 모델 학습 및 평가

- CNN 모델 학습 및 평가

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

학습 환경 조성



카메라와 PC 간 거리를 1.5m 이내로 설치

- 사용 열화상 카메라 : FLIR Lepton 3.5
- 낮은 해상도로 인해 1.5m 이상 거리에서 데이터 신뢰도 급감
- 작은 물체는 픽셀 수가 적어 작은 노이즈에도 취약

참고 자료

표 3. 열화상 카메라 오차 측정

	1m		1.5m		2m	
	오차 평균	오차 RMSE	오차 평균	오차 RMSE	오차 평균	오차 RMSE
커피포트	4.328	0.987	3.205	0.899	3.811	0.947
충전기	1.899	0.424	2.535	0.622	8.370	3.389
노트북	1.415	0.426	0.520	0.486	0.846	0.398



그림 3. 열화상 사진

- 실험에 사용한 열화상 카메라(FLIR Lepton 3.5)의 해상도가 낮아 1.5m 이상 멀리 있는 작은 물체는 이미지에서 차지하는 픽셀의 개수가 적어서 작은 노이즈에도 픽셀의 값이 크게 요동쳤기 때문이다.

• 이지훈, 정임영. (2022-12-20). 열화상 카메라를 통한 온도 측정 데이터 신뢰도 분석. 한국정보과학회 학술발표논문집, 제주.

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

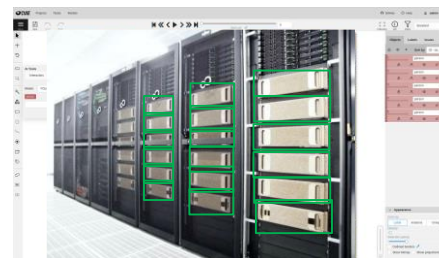
데이터 수집 및 라벨링



열화상 카메라(FLIR Lepton 3.5) 및 RGB 카메라를 통한 데이터수집

- 이미지 수집 상황(약 6,000장)
 - gpu-burn 프로그램을 통해 과열된 열화상 데이터 생성
 - 정상 온도, 비정상 온도
- YOLO를 위한 라벨링
 - 특정 대상 : 서버 베어본, PC 케이스
 - 각 대상에 Bounding Box, 클래스 라벨 부여

참고 자료



- RGB 카메라로 획득한 데이터는 상용 데이터 라벨링 도구인 CVAT를 활용하여, 각 서버 베어본 및 PC 케이스에 대한 라벨링 작업을 수행함.
- 열화상 데이터는 RGB 카메라 이미지의 특정 영역에 매핑되어 저장함.

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

객체 탐지 및 라벨링



YOLO을 활용하여 서버 베어본, PC 케이스 위치 탐지

- 객체 인식 및 Bounding Box 예측
 - YOLO를 활용하여 이미지 내에서 서버 베어본, PC 케이스의 위치를 Bounding Box로 인식 및 예측
- CNN을 위한 라벨링
 - 인식한 객체 Crop
 - Crop한 부분에 대해 온도 상태 라벨링
 - 정상 온도, 비정상 온도

참고 자료



그림 4. 객체인식 결과 예시

- YOLO 학습 모델은 번호판 영역을 추출하기 위해 사용하였으며, 번호판 인식은 추출된 문자와 숫자를 이용하여 CNN 학습 모델로 번호판의 숫자와 문자를 텍스트로 인식하기 위해 사용하였다.
- 이우귀연, 이재웅, 오정석. (2023-12-20). YOLO-CNN 기반 가스사고 원인 분석 자동화를 위한 로봇비전 알고리즘 개발. 한국정보과학회 학술발표논문집, 부산.
- 김재정, 김창복. (2021). YOLO와 CNN을 이용한 강인한 차량 번호판 인식 시스템 구현. 한국정보기술학회논문지, 19(4), 1-9. 10.14801/jkiit.2021.19.4.1

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

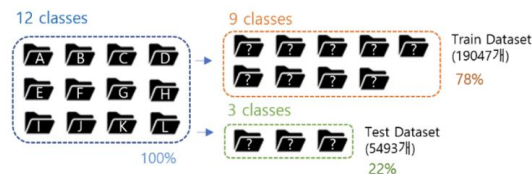
데이터셋 구성



훈련 데이터 80%, 테스트 데이터 20%로 무작위 분류

- 컴퓨터 1대만 촬영하기 때문에 논문과 같은 데이터셋 구성 불가능
- 훈련 80%, 테스트 20%로 분류

참고 자료



(b) Classification by facility

- 본 연구를 통해 제안된 데이터셋의 구성으로써 전체 12개의 설비 중 무작위 9개 설비와 3개 설비로 분류하였다. 이는 훈련 데이터셋과 테스트 셋을 전혀 다른 설비별로 구성하여 테스트를 통해 나오는 성능 지표와 유사한 수치를 보일 수 있도록 구성한 것이다.

- 권순원, 김민호, 김주형, 홍수웅. (2020). 데이터셋 구성에 따른 부적합 열화상 이미지 예측 성능 지표의 변화. 대한기계학회 논문집 A권, 44(12), 933-940. 10.3795/KSME-A.2020.44.12.933

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

데이터 전처리



노이즈 필터링, 언샤프 마스크 필터, 데이터 증대, 정규화 등

- 노이즈 필터링
 - 양방향 필터: 노이즈 제거하면서 엣지 보존
 - 온도 기반 마스크: 불필요한 배경(차가운 부분) 제거, 관심 영역(온도가 높은 서버 베어본, pc케이스) 강조
- 언샤프 마스크 필터
 - 이미지의 선명도를 높여 부품의 경계를 강조
- 데이터 증대, 정규화, 배경제거, 크기조정 등

참고 자료

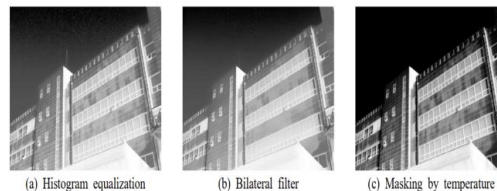


Fig. 2 Image denosing process

- 원본 영상에서 추출된 특징점은 명암차이가 가장 뚜렷한 하늘과 건물의 경계에 주로 분포했다. 반면 전처리된 영상의 특징점은 건물 표면에 고루 분포하기 때문에, 건물 표면을 대상으로 한 영상처리 과정에서 활용성이 높을 것으로 예상된다.
- CNN + Unsharp Mask+Bilateral Filter 조합은 0.98의 Accuracy와 0.04의 Loss 값을 확인하였다.

- 정진우, 구보경, 박관용, 장향인. (2021-06-22). 열화상 이미지 전처리 알고리즘 개발에 관한 연구. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 강원.
- 이우귀연, 이재웅, 오정석. (2023-12-20). YOLO-CNN 기반 가스사고 원인 분석 자동화를 위한 로봇비전 알고리즘 개발. 한국정보과학회 학술발표논문집, 부산.

01. 열화상 데이터 수집 및 AI학습

CNN 모델 학습 및 평가



서버 베어본, PC 케이스에서 비정상적인 온도 변동(이상상태)을 실시간으로 감지하는 이상 탐지 모델을 구현

- CNN 모델 학습
 - EfficientNet, MobileNetV2, ResNet50V2, SqueezeNet 등
- 테스트 데이터셋 활용하여 모델 평가
- 평가지표
 - Accuracy, Precision, Recall, F1-Score

참고 자료

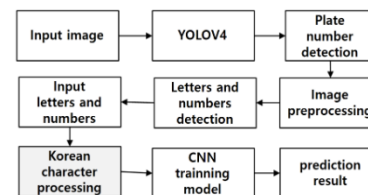


그림 4. 제안 시스템의 전체 구성도
Fig. 4. Overall block diagram of the proposed system

- YOLO 학습 모델은 번호판 영역을 추출하기 위해 사용하였으며, 번호판 인식은 추출된 문자와 숫자를 이용하여 CNN 학습 모델로 번호판의 숫자와 문자를 텍스트로 인식하기 위해 사용하였다.

- 최홍준, 강승구, 김종면, 김철홍. (2012). 응용프로그램 실행에 따른 CPU/GPU의 온도 및 컴퓨터 시스템의 에너지 효율성 분석. 한국컴퓨터정보학회논문지, 17(5), 9-19.
- 김재정, 김창복. (2021). YOLO와 CNN을 이용한 강인한 차량 번호판 인식 시스템 구현. 한국정보기술학회논문지, 19(4), 1-9. 10.14801/jkiit.2021.19.4.1

02. 시계열 센서 데이터 수집



시계열 센서 데이터 수집

01

BMC와 파이프라인 구축

- 각 BMC별 RESTful API 설계서 작성

02

측정된 센서 저장 DB 구축

- 실시간 센서 데이터 DB 구축 및 설계

03

쿨링 시스템 연계 방안 구축

- 시스템 연계 데이터 도출 방안 구축

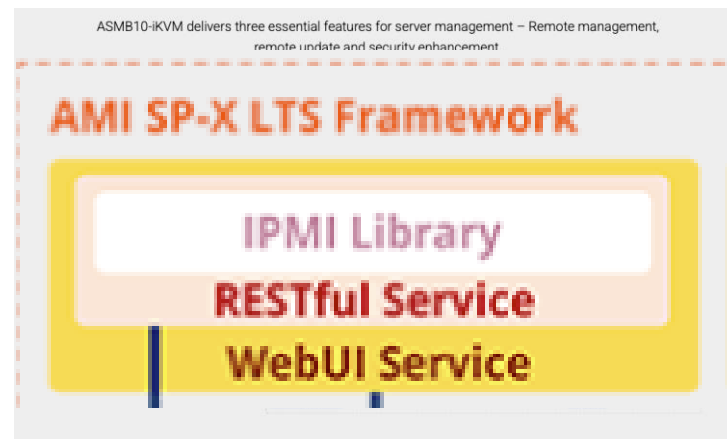
02. 시계열 센서 데이터 수집

각 BMC별 RESTful API 설계서 작성



CPU, GPU, RAM의 온도를 실시간으로 전송하는 프로그램 구축

- IPMI Library의 RESTful API를 이용
 - 서버의 상태를 실시간으로 전달을 받는 방식을 구현
- IPMI가 없는 경우
 - 주기적으로 CPU, GPU, RAM의 온도를 실시간으로 전송하는 프로그램 구축



- ASUS ASMB10-iKVM Solution
<https://www.asus.com/event/ASUSASMB10-iKVM/>

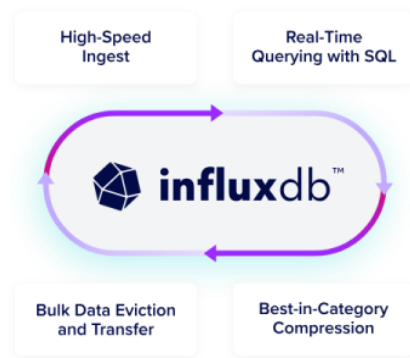
02. 시계열 센서 데이터 수집

실시간 센서 데이터 DB 구축 및 설계



InfluxDB를 사용하여 센서 데이터 저장

- 운영 모니터링, 애플리케이션 메트릭스, IoT 센서 데이터, 실시간 분석 등의 분야에서 사용
- 시계열 데이터의 빠른 고가용성 저장 및 검색에 최적화된 DB
- 온도 센서 데이터, 열화상 데이터 저장



- 김한기. (2020-12-21). InfluxDB와 Grafana를 이용한 EDISON 플랫폼 모니터링 대시보드 설계 및 구현.
- 한국정보과학회 학술발표논문집, 2020 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 25-26.

02. 시계열 센서 데이터 수집

시스템 연계 데이터 도출 방안 구축



온도값을 기반으로 팬 제어값을 계산

- DB 서버에서 가장 최근 타임스탬프의 기준으로 팬 제어
 - 온도가 높은 경우: 팬 속도 빠르게
 - 온도가 낮은 경우: 팬 속도 느리게

25	34	57	2:58:48
26	35	58	2:58:47
27	36	59	2:58:46
28	37	60	2:58:45
29	38	61	2:58:44
30	39	62	2:58:43
31	40	63	2:58:42
32	41	64	2:58:41
33	42	65	2:58:40
34	43	66	2:58:39
35	44	67	2:58:38

03. 테스트벤치 및 하드웨어

DETAILED PLAN

테스트 벤치 및 하드웨어



01

발열 테스트 환경 설계 · 구축

- 테스트 벤치 전체 구성
- 발열 테스트 및 쿨링 시스템 성능 평가

02

라즈베리파이를 활용한
쿨링 시스템 회로 설계

- 자동화 쿨링 시스템 개발

03

라즈베리파이 통신

- 라즈베리파이 - 열화상 카메라 연결 설정
- 라즈베리파이 - 제어 서버 연결 설정

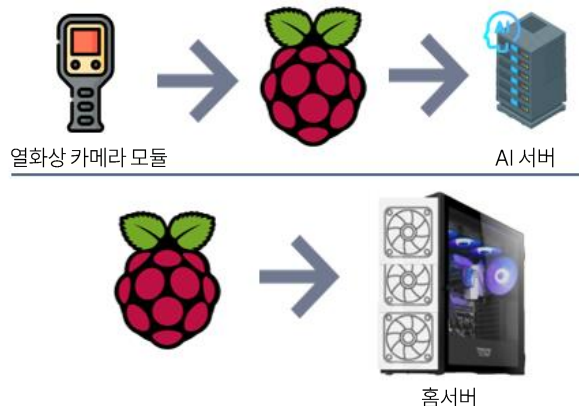
03. 테스트벤치 및 하드웨어

테스트 벤치 전체 구성



라즈베리파이를 사용하여 테스트벤치 구성

- 라즈베리파이 2개 사용
 - 열화상 이미지 촬영 및 전송용
 - 팬 쿨링 제어용
- 열화상 이미지의 경우에는 촬영 시 일정간격에 따라 AI 서버로 이동
- 12V FAN을 본체의 앞면에 부착하여 쿨링시스템 동작



03. 테스트벤치 및 하드웨어

발열 테스트 환경 설계 · 구축 – 성능 평가



GPU 발열 테스트 환경 구축

- gpu-burn을 활용하여 부하를 가하고, 발열 상태 모니터링
- 온도 변화 및 쿨링 시스템의 반응을 기록
- 테스트 중 발생하는 데이터를 분석하여 시스템의 발열 특성과 쿨링 성능을 평가

GPU Burn

Usage: `gpu_burn` [OPTIONS] [TIME]

```
-m X    Use X MB of memory
-m N%   Use N% of the available GPU memory
-d      Use doubles
-tc     Try to use Tensor cores (if available)
-l      List all GPUs in the system
-i N    Execute only on GPU N
-h      Show this help message
```

Example:

```
gpu_burn -d 3600
```

- <https://github.com/wilicc/gpu-burn>

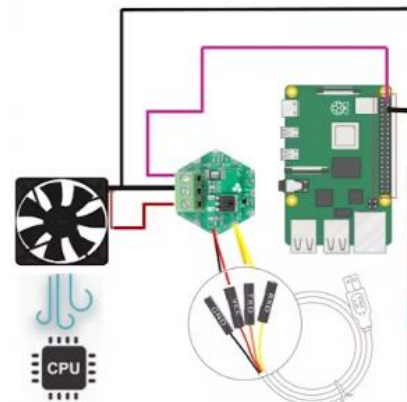
03. 테스트벤치 및 하드웨어

자동화 쿨링 시스템 개발



쿨링 시스템 회로 설계

- MOSFET 회로를 이용하여 팬 PWM 제어
- 별도의 전원 장치를 이용하여 12V 팬 제어



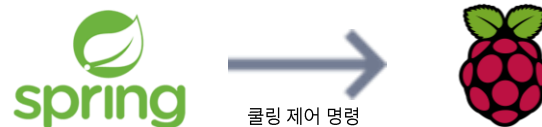
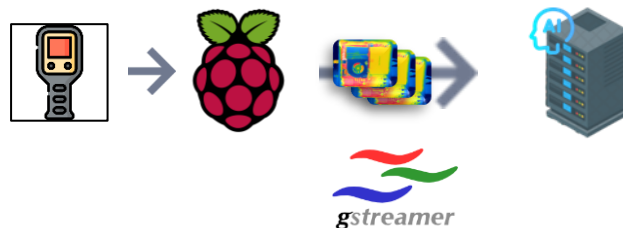
03. 테스트벤치 및 하드웨어

라즈베리파이 통신



라즈베리파이 기반 열화상 데이터 스트리밍 및 센서 제어

- GStreamer 프로토콜을 사용하여 열화상 카메라
 - AI 서버로 열화상 영상 전송
- 제어 서버로부터 쿨링 제어 명령을 받아 연결된 팬에 쿨링 제어



04. 전체 시스템 구축

전체 시스템 구축



01

모니터링 대시보드 구축

- 사용자 친화적인 UI 구축

02

웹기반의 실시간 모니터링
시스템을 구현

- 각 부품과 연계를 위한 백엔드 서버 구축

03

시스템과 기기 간
데이터 전송 방식 구현

- 데이터 전송 방식 최적화 방안

04. 전체 시스템 구축

사용자 친화적인 UI 구축



Grafana를 사용해서 모니터링 대시보드 구축

- 멀티 플랫폼 오픈 소스 분석 및 대화형 시각화 웹 애플리케이션
- 웹 기반의 차트, 그래프 및 알림(alert) 기능 제공
- 대화형 쿼리(query) 작성기를 사용하여 복잡한 모니터링 대시보드 생성



김한기. (2020-12-21). InfluxDB와 Grafana를 이용한 EDISON 플랫폼 모니터링 대시보드 설계 및 구현.
한국정보과학회 학술발표논문집, 2020 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 25-26.

04. 전체 시스템 구축

각 부품과 연계를 위한 백엔드 서버 구축



Spring 프레임워크를 사용하여 웹 기반 실시간 모니터링 시스템 구현

-
- 각 부품별 온도 모니터링 기능
 - 수동, 자동 쿨링 전환 기능



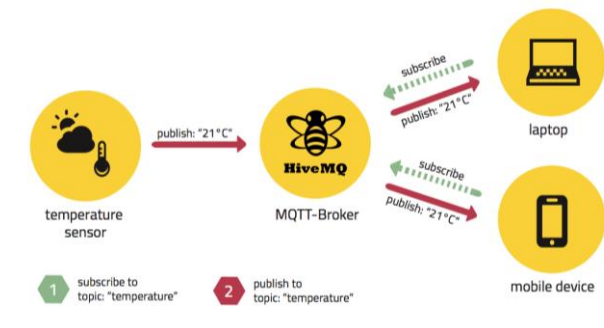
04. 전체 시스템 구축

데이터 전송 방식 최적화 방안



REST API로 초기 테스트 시스템 구성

- 클라이언트 위치에 따라 항상 대역폭이 일정할 수 없음
 - 최소한의 리소스로도 효율적인 전송을 지원하는 프로토콜 필요
- 후에 경량 프로토콜인 MQTT로 전환하여 최적화 진행



구성도



이상금 교수님



지원근



길기훈



오민석

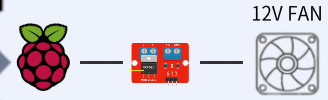


홍수민

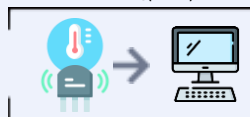


HW

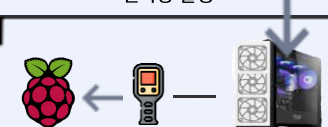
쿨링 시스템



온도 센서(BMC)



열화상 촬영



테스트 벤치

Grafana
모니터링 시스템

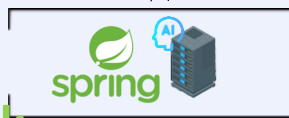


제어 서버



데이터베이스 서버

AI 서버



Network

데이터 수집
및 라벨링



객체 탐지 및
라벨링



데이터셋 구성



데이터 전처리



AI학습 및 평가



AI/Data

역할 분담

- **홍수민 (팀장)**

라즈베리파이 회로 및 통신(AI/제어 서버), 테스트벤치 제작, Grafana

- **오민석**

REST API 설계 및 Spring 서버 배포, 객체탐지 및 라벨링, AI모델 학습 및 평가, Grafana

- **지원근**

데이터 전처리, 객체탐지 및 라벨링, AI모델 학습 및 평가

- **길기훈**

DB 서버 구축, AI서버 및 쿨링 제어 서버 구축

주요 일정

3월			4월			5월						
구분	10주차	11주차	12주차	13주차	14주차	15주차	16주차	17주차	18주차	19주차	20주차	21주차
데이터 셋		캡스톤 재료 구매	열화상 데이터 촬영									
AI 학습				열화상 데이터 전처리 및 AI 학습			AI 모델 최적화 및 테스트					
네트워크				초기 네트워크 세팅							서버 및 클라이언트 구성	
쿨링 시스템				초기 라즈베리파이 및 히로 세팅	테스트 벤치 제작		라즈베리파이 + 팬 설정				라즈베리파이 서버 최적화	
웹서버												

6월						
구분	22주차	23주차	24주차	25주차	26주차	27주차
데이터 셋						
AI 학습						
네트워크	서버 및 클라이언트 구성					
쿨링 시스템						
웹서버	웹 서버 구성					

출처

- 권순원, 김민호, 김주형, 홍수웅. (2020). 데이터셋 구성에 따른 부적합 열화상 이미지 예측 성능 지표의 변화. 대한기계학회 논문집 A권, 44(12), 933-940
- 정진우, 구보경, 박관용, 장향인. (2021). 열화상 이미지 전처리 알고리즘 개발에 관한 연구. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2021년도 하계학술발표대회 논문집, 1,130-1,133.
- 신건호, 허장욱. (2023). 열화상 이미지를 통한 회로보드의 상태예측 모델. 한국기계가공학회지, 22(4), 17-22.
- 이지훈, 정임영. (2022). 열화상 카메라를 통한 온도 측정 데이터 신뢰도 분석. 한국정보과학회 학술발표논문집, 2022 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 1,748-1,749.
- 최홍준, 강승구, 김종면, 김철홍. (2012). 응용프로그램 실행에 따른 CPU/GPU의 온도 및 컴퓨터 시스템의 에너지 효율성 분석. 한국컴퓨터정보학회논문지, 17(5), 9-19.
- 장현재, 정용호, 서장후. (2012). 데이터센터 서버실의 냉방 취출온도조건 완화 방안. 한국태양에너지학회 학술대회논문집, 2012년도 추계학술발표대회 논문집, 365-370.
- 황웅, 뉴엔만동, 노승환. (2019). 열화상 카메라 시스템 개발 및 영상처리. 한국통신학회 학술대회논문집, 2019년도 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집, 1,128-1,129.
- 김상완, 박찬열, 최종민. (2019). 슈퍼컴퓨터 단일 서버의 발열 모델링 및 분석. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2019년도 하계학술발표대회 논문집, 790-792.
- 조용우, 김규호. (2016). 다수가 공유하는 컴퓨터실습실 공간의 효율적 냉방 방식 설계를 위한 다 지점 온도 데이터 수집과 분석. 한국정보과학회 학술발표논문집, 2016년 동계학술대회 논문집, 1,546-1,548.
- AWS. (2023). AWS MQTT란 무엇인가요?. AWS, <https://aws.amazon.com/ko/what-is/mqtt/>
- 김한기. (2020-12-21). InfluxDB와 Grafana를 이용한 EDISON 플랫폼 모니터링 대시보드 설계 및 구현. 한국정보과학회 학술발표논문집, 2020 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 25-26.
- 최동진, 한지훈, 박상욱, 홍선기. (2020). K-Means와 CNN을 이용한 변화된 환경에서의 전동기 고장 진단. 제어로봇시스템학회 논문지, 26(5), 348-354. 10.5302/J.ICROS.2020.20.0005
- 이태준, 박찬명, 김창수, 정희경. (2021-10-28). K-means와 CNN을 활용한 체지방률 분석 모델 설계 및 구현. 한국정보통신학회 종합학술대회 논문집, 전록.