

캡스톤디자인 II 계획서

제 목	국문		AI와 열화상 데이터 분석을 활용한 IoT 기반 서버 쿨링 시스템			
	영문		IoT-based server cooling system using AI and thermal image data analysis			
프로젝트 목표 (500자 내외)	본 프로젝트는 AI 기반의 열화상 데이터 분석과 IoT 기술을 활용하여 서버의 이상 여부를 실시간으로 탐지하고, 탐지된 결과에 따라 쿨링 세기를 자동으로 제어하는 지능형 서버 쿨링 시스템을 개발하는 것이다. YOLO 모델을 활용하여 서버의 정상/비정상 상태를 분류하고, 이를 바탕으로 서버의 온도를 효율적으로 제어하여 과열로 인한 장애를 사전에 방지하는 것이 핵심이다. MOSFET 및 릴레이 회로를 이용한 PWM 기반 팬 속도 제어 시스템으로 즉각적인 냉각 조절이 가능하다. 이를 통해 부품들이 최적의 온도를 유지하면서 스로틀링을 방지하고, 부품 고장 가능성을 줄이고 나아가 대형 서버실 및 데이터센터에서 에어컨 조절 등으로 확장시키는 것이 본 프로젝트의 목표이다.					
프로젝트 내용	<ul style="list-style-type: none"> 하드웨어 구성: FLIR Lepton 3.5 열화상 카메라와 라즈베리파이를 활용하여 서버의 열화상 이미지를 실시간으로 수집한다. 데이터 분석 및 라벨링: 수집된 열화상 이미지에서 CPU와 GPU 영역의 최대 온도값을 기반으로 K-Means 클러스터링 기법을 적용하여 정상과 비정상 상태를 구분할 수 있는 온도 기준을 도출했다. 이를 바탕으로 열화상 이미지에 대해 정상/비정상을 구분하는 라벨링 작업을 진행한다. AI 모델 학습: 라벨링된 데이터를 기반으로 YOLOv11n 및 YOLOv11s 모델을 학습 및 비교하여 서버 상태를 판별하는 객체 탐지 모델을 구축했다. 이상 탐지 시스템 개발: 학습된 모델을 활용해 실시간 열화상 이미지에서 발열 이상 여부를 탐지하고 서버 상태를 판단한다. IoT 기반 제어 시스템: BMC(Baseboard Management Controller)에서 수집한 실제 온도 데이터를 기반으로 팬의 쿨링 세기를 자동 조절하는 제어 시스템을 구현한다. 웹 기반 모니터링 시스템: Spring 프레임워크를 활용해 웹서버를 구축하고, 서버의 현재 온도와 이상 여부를 실시간으로 확인할 수 있는 웹 대시보드를 개발한다. 					
기대효과 (500자 이내) (응용분야 및 활용범위)	본 프로젝트는 고온으로 인한 서버 장애를 예방하고, 사내 서버실의 안정적 운영을 지원하는 실시간 발열 이상 탐지 시스템을 구현함으로써, 기업 내 IT 인프라 관리에 즉각적으로 활용될 수 있다. 또한, 해당 기술은 임베디드 시스템 기반의 다양한 산업 현장(공장, 데이터센터 등)으로의 확장 적용이 가능하며, 모델 경량화 및 실시간 통신 기술을 기반으로 스마트 제어 시스템에 응용될 수 있다. 시장 측면에서는 고효율·저전력 냉각 솔루션으로서 에너지 절감과 함께 친환경 기술로서의 기업 이미지 제고에도 기여할 것으로 기대된다.					
중심어(국문)	인공지능	열화상 데이터분석	사물 인터넷	온도 모니터링		
Keywords (english)	AI	Thermal Imaging Data Analysis	IoT	Temperature Monitoring		
멘토	소속	한국전자통신연구원	이름	신한솔		
팀 구성원	학년/반	학 번	이 름	연락처(전화번호/이메일)		
	4	20201793	홍수민	010-2737-8034		
	4	20201859	길기훈	010-4607-4653		
	4	20202689	오민석	010-8455-2379		
	4	20201755	지원근	010-2774-8730		
<p>컴퓨터공학과 캡스톤디자인 관리규정과 모든 지시사항을 준수하면서 본 캡스톤디자인을 성실히 수행하고자 아래와 같이 계획서를 제출합니다.</p> <p style="text-align: center;">2025 년 07 월 04 일</p> <p style="text-align: right;">책 임 자 : 홍 수 민 (인)</p> <p style="text-align: right;">지도교수 : 이 상 금 (인)</p>						

캡스톤디자인 계획서

1. 캡스톤디자인의 배경 및 필요성

1.1 연구 및 산업 현황

최근 고성능 데이터센터 및 서버 장비의 소형화 및 고집적화가 급속히 진행되면서, 개별 부품의 발열량이 급증하고 있습니다. 이에 따라 GPU나 고속 연산 장치 주변에서 국지적 고온 현상이 발생하고, 이는 장비의 성능 저하 또는 손상으로 이어질 수 있는 위험 요소로 작용합니다. 기존 냉각 방식은 팬이나 에어컨 기반의 전역적이고 정적인 제어 방식을 채택하고 있어, 급변하는 열 분포에 신속하게 대응하기 어렵습니다.

또한 서버 운영 비용 중 냉각 관련 전력 소모가 차지하는 비중이 증가하고 있으며, 이에 따라 친환경적이고 효율적인 냉각 기술에 대한 산업계의 관심도 높아지고 있습니다.

현재 대부분의 서버는 온도 센서 기반의 정적 모니터링 시스템을 통해 이상 여부를 판단하지만, 센서가 닿지 않는 부위나 외부 환경 변화에 의한 열 확산은 감지하기 어렵고, 고장 또는 오탐지/미탐지의 위험성이 상존합니다. 일부에서는 열화상 기반의 이상 탐지 기술 연구가 진행되고 있으나, 정확한 위치 추적 및 실시간 분석 기술은 아직 상용화되지 못한 단계입니다.

1.2 문제점 및 전망

기존 서버 냉각 시스템은 대부분 온도 임계치 초과 후 냉각 장치를 가동하거나, 시스템 전체에 일괄 냉각을 적용하는 방식으로 운영되고 있습니다. 이로 인해 부품 간 온도 차이나 부하에 따른 온도 급변에 효과적으로 대응하지 못하는 문제가 발생합니다. 또한 일정 속도로 작동하는 팬이나 고정된 냉각 설정은 실제 필요한 위치와 타이밍에 맞지 않아 에너지 낭비가 빈번하게 발생하고 있습니다. 이를 해결하기 위해, 본 프로젝트에서는 YOLO11 기반의 고속 객체 탐지 모델을 활용하여 서버의 열화상 이미지를 실시간 분석하고, 이상 징후 발생 시 자동으로 팬을 제어하는 지능형 냉각 시스템을 제안합니다. 이 시스템은 PWM 기반의 팬 속도 제어와 BMC 연동을 통해 과열 부위에 선제적으로 냉각을 적용하며, 불필요한 고속 팬 동작을 줄이고 전력 소비와 소음을 최소화할 수 있습니다.

나아가 부품별로 상이한 온도 요구 조건을 반영하여 개별 냉각 제어를 가능케 함으로써 냉각 효율성과 시스템 안정성을 동시에 확보할 수 있습니다. 향후 본 시스템은 서버 단위에서 데이터센터 단위로 확장되어 지능형 공조 시스템으로 발전할 수 있으며, 에너지 효율 향상, 운영비 절감, 친환경 설비 구축 측면에서도 높은 실용 가치를 가질 것으로 기대됩니다.

2. 캡스톤디자인 목표 및 비전

2.1 창의성과 도전성

본 프로젝트는 단순한 온도 제어를 넘어, AI 기반의 실시간 분석과 IoT를 활용한 냉각 시스템을 구축하는 것이 목표입니다. 이를 위해 다음과 같은 핵심 요소를 포함합니다.

- AI 기반 열화상 데이터 분석: 열화상 이미지 분석을 기반으로 라벨링 기준을 도출하고 YOLO 모델을 학습하여 온도 이상 발열 탐지
- 부품별 센서 데이터 수집 및 분석: BMC를 활용하여 CPU, RAM, GPU의 실시간 온도 데이터 수집 및 발열 탐지
- IoT 네트워크 구축: Spring 서버를 통해 열화상 데이터 표시 및 수동 팬 제어
- 실시간 팬 속도 조절 시스템: MOSFET을 활용한 PWM 기반 팬 속도 제어
- 사용자 맞춤형 쿨링 설정: 사용자 친화적인 UI로 실시간 온도 모니터링 및 쿨링 모드 조절

이러한 방식으로 실시간 온도 반응형 냉각 시스템을 구축하여 기존 방식보다 더 효율적이고 최적화된 성능을 제공하는 것이 본 프로젝트의 목표입니다.

3. 캡스톤디자인 내용

3.1 주요 기능 및 요구사항

(1) 주요 기능

- ① 열화상 카메라 데이터 수집: FLIR Lepton 3.5 카메라를 이용하여 컴퓨터 내부 부품의 온도 변화를 실시간으로 감지
- ② AI 기반 부품 탐지 및 온도 분석: YOLO 모델을 활용하여 이상 발열 탐지
- ③ 부품별 센서 데이터 수집 및 분석: BMC를 활용하여 CPU, RAM, GPU의 실시간 온도 데이터 수집 및 발열 탐지
- ④ IoT 네트워크 구축: Spring 서버를 통해 열화상 데이터 표시 및 수동 팬 제어
- ⑤ 쿨링 시스템 제어: MOSFET 회로 및 PWM을 이용한 팬 속도 조절
- ⑥ 사용자 친화적인 UI를 통한 모니터링 및 제어: 사용자가 실시간으로 부품의 온도를 확인하고 팬 속도를 설정 가능

(2) 비기능적 요구사항

- 유지보수성: 부품 고장 가능성을 줄여 부품의 수명을 연장하고, 장기적으로 유지보수 비용을 절감
- 신뢰성 : AI 기반 쿨링 시스템이 정확하고 안정적으로 작동하여 오류로 인한 부품 과열 및 시스템 장애를 방지
- 확장성 : 소규모 서버부터 대규모 데이터센터까지 다양한 서버 환경에 유연하게 적용 가능해야 함
- 가용성 : 24시간 운영되는 서버 환경에서도 쿨링 시스템이 지속적으로 작동할 수 있도록 높은 가용성 유지

4. 캡스톤디자인 추진전략 및 방법

4.1 추진전략

- (1) **캡스톤디자인 이해 및 문제점 분석**
 - 기존 냉각 시스템의 한계를 분석하고 개선 방향 설정
 - 프로젝트의 핵심 기술(열화상 분석, IoT, AI 모델, 팬 제어) 명확화
- (2) **기본 기술 습득 및 데이터셋 구축**
 - YOLO 모델 학습을 위한 데이터셋 확보
 - 부품별 온도 센서 데이터 수집
 - 수집한 데이터를 분석하여 라벨링 기준 도출
 - 열화상 이미지 라벨링 및 전처리 수행
 - IoT를 활용한 실시간 온도 데이터 수집
- (3) **시스템 개발 및 하드웨어 설계**
 - 라즈베리 파이와 MOSFET 회로를 이용한 팬 제어 시스템 구축
 - IoT 네트워크를 이용한 실시간 데이터 전송
 - 열화상 데이터 분석을 위한 AI 모델 구축 및 평가
- (4) **프로젝트 관리 체계 수립 및 검증**
 - 팀 내 역할 분배 및 주간 진행 상황 보고
 - 시스템 통합 후 성능 테스트 및 개선 작업 수행

4.2 팀 구성 및 역할 분담

역할	담당 업무
홍수민(팀장)	HW 및 IoT 제어/ 라즈베리 파이 회로 및 통신/ 테스트 벤치
길기훈	네트워크 구축/ influx DB 서버 및 쿨링 제어 서버 구축
오민석	데이터 시각화 및 모니터링/ 객체 탐지 라벨링/ AI 모델 학습 및 평가
지원근	데이터 전처리/ 객체 탐지 라벨링/ AI 모델 학습 및 평가

5. 캡스톤디자인 결과의 활용방안

5.1 프로젝트 활용방안

- 1) 기업 내 활용 가능성
 - 사내 서버실 운영 시 이상 감지 및 냉각 자동화에 즉각 적용 가능
 - 향후 고온으로 인한 서버 장애 예방에 기여
- 2) 기술적 활용 가능성
 - 다른 임베디드 시스템 기반 열 감지 및 제어 기술로 확장 가능
 - 모델 경량화 기술 및 실시간 통신 구조 활용 가능
- 3) 시장 및 사업적 기대효과
 - 고효율 서버 냉각 솔루션으로 시장 차별화
 - 에너지 절감 효과로 친환경 기술로서 기업 이미지 제고

6. 참고문헌

- 이지훈, 정임영. (2022-12-20). 열화상 카메라를 통한 온도 측정 데이터 신뢰도 분석. 한국정보과학회 학술발표논문집, 제주.
- 정진우, 구보경, 박관용, 장향인. (2021-06-22). 열화상 이미지 전처리 알고리즘 개발에 관한 연구. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 강원.
- 신건호, 허장욱. (2023). 열화상 이미지를 통한 회로보드의 상태예측 모델. 한국기계가공학회지, 22(4), 17-22.
- 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
- 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
- 최홍준, 강승구, 김종면, 김철홍. (2012). 응용프로그램 실행에 따른 CPU/GPU의 온도 및 컴퓨터 시스템의 에너지 효율성 분석. 한국컴퓨터정보학회논문지, 17(5), 9-19.
- 김한기. (2020-12-21). InfluxDB와 Grafana를 이용한 EDISON 플랫폼 모니터링 대시보드 설계 및 구현.
- 한국정보과학회 학술발표논문집, 2020 한국소프트웨어종합학술대회 논문집, 25-26.