

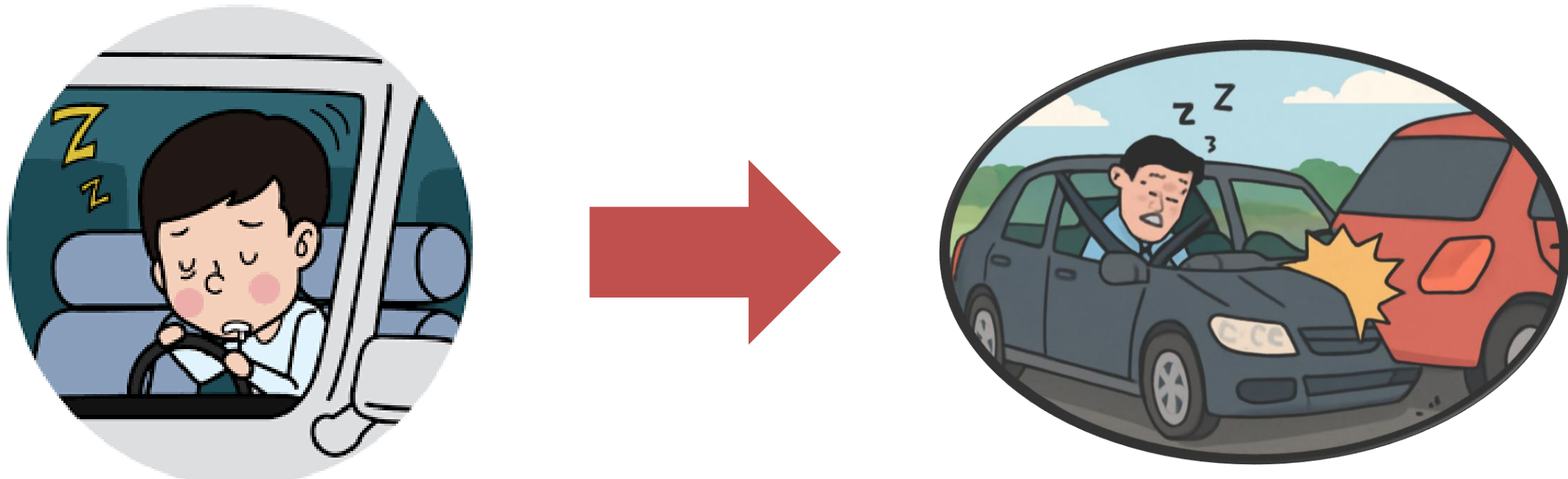
운전자 생체신호 영상·분석 기반 졸음 및 위급상황 감지와 음성 대응 시스템 개발

2025-1 **AJOU**
SOFTCON

이 름 최유현

지도교수 SHEN YIWEN

개발동기 및 목적



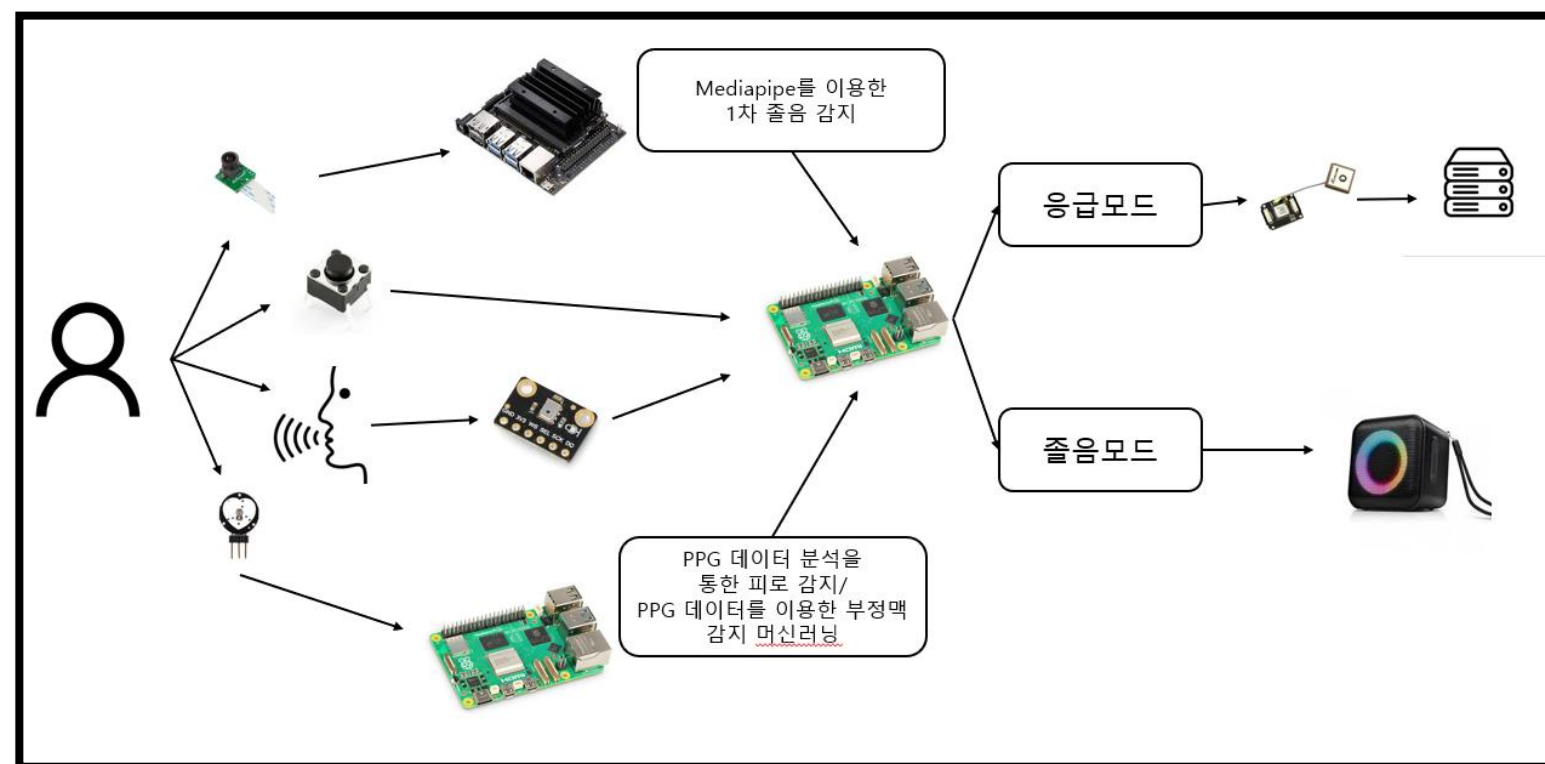
- 졸음 운전으로 인한 교통사고는 연 평균 6,300건 이상 발생하며 치사율 또한 매우 높음 → 졸음 감지는 생명과 직결되는 중요한 안전 기술 요소
- 장시간 운전은 수면장애를 유발하며 심혈관 질환 및 사고 발생 가능성 증가 → 운전자의 건강 상태를 사전에 감지하고 대응할 필요성 증가
- 운전 중 손을 사용할 수 없는 환경을 고려하여 음성 기반 솔루션 제공 → 대화형 인터페이스를 통해 손을 쓰지 않고도 졸음 완화 및 응급 상황 자동 신고 가능

개발내용

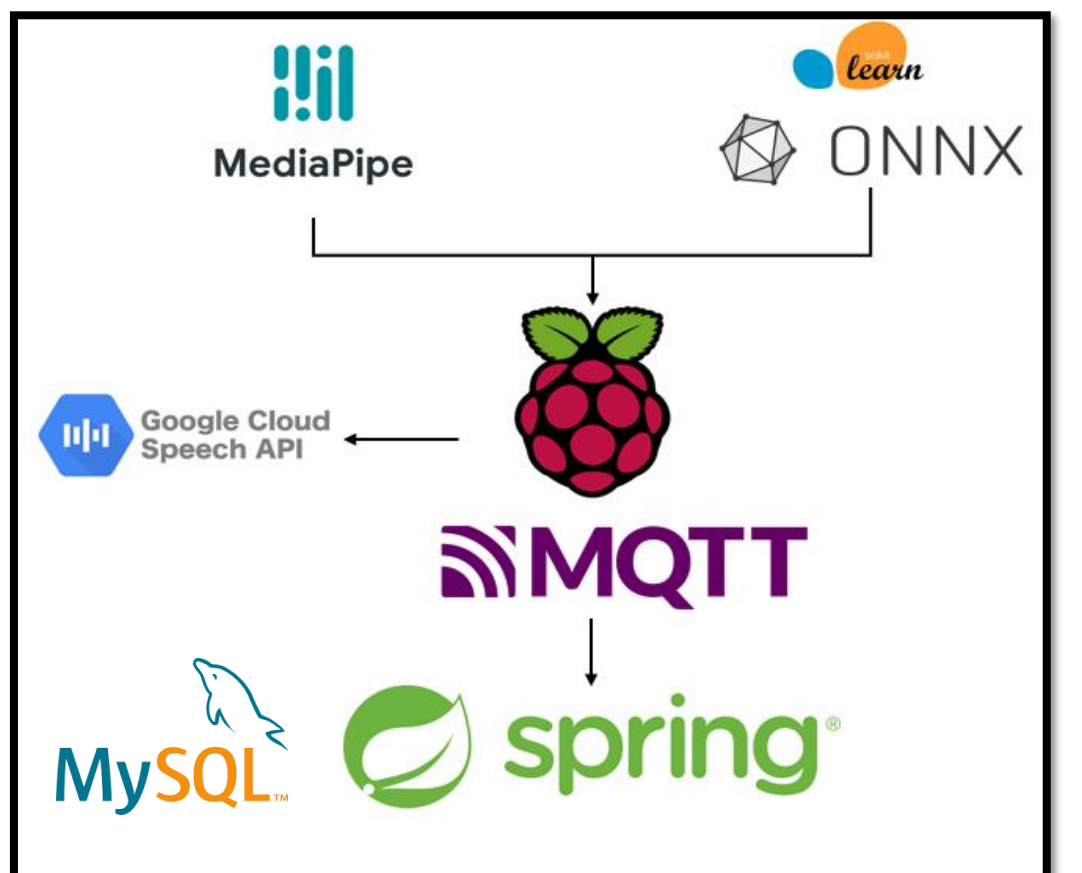
- **카메라와 PPG 센서 데이터 활용 실시간 운전자 졸음 판단**
 - ✓ 1차 판단 - 영상 기반 졸음 감지
 - 카메라로부터 실시간으로 프레임을 받아와 얼굴 인식 및 눈과 입의 위치를 추적 및 눈꺼풀의 개폐 정도와 입의 열림 정도를 분석
 - 일정 시간 이상 눈을 감고 있거나 하품 등 졸음 징후가 포착되면 1차 졸음 상태로 판단
 - ✓ 2차 판단 - PPG 기반 생체 신호 분석
 - 시간 영역에서의 HRV(심박변이도) 지표인 SDNN, RMSSD, PNN50을 계산
 - 계산된 HRV 값을 버퍼에 저장하고 졸음 감지 시점 이전 5분간의 데이터를 기반으로 피로 상태를 분석해 최종 졸음 판단
- **AI 모델을 통한 실시간 운전자 건강 이상 판단**
 - ✓ AI 기반 부정맥 감지
 - 실시간으로 수집되는 PPG 데이터를 5,000포인트 단위로 윈도우하여 부정맥 여부 판단
 - ✓ 주기적 건강 이상 모니터링
 - PPG 데이터로부터 계산된 BPM과 HRV 값들을 10초 주기로 모니터링
- **LLM 모델을 활용한 음성 기반 대화 서비스**
 - ✓ 졸음 모드 진입 시 음성 인터페이스 활성화
 - 운전자의 졸음 상태가 감지되면 스피커와 마이크를 자동으로 활성화
 - 실시간 음성 입출력을 통해 사용자와의 상호작용
 - ✓ LLM 기반 자연어 대화 유도
 - 일상 대화, 스무 고개 게임 등 졸음을 완화할 수 있는 콘텐츠로 구성된 프롬프트 설정
- **응급 상황시 운전자 위치 추적이 가능한 자동 문자 발송 서비스**
 - ✓ 응급모드 진입 시 증상을 입력받는 음성 인터페이스 활성화
 - 운전자의 건강 이상이 감지되거나 운전자가 직접 버튼을 눌러 활성화
 - ✓ 운전자의 위치를 추적할 수 있는 문자 메시지 발송
 - GPS 모듈로 운전자의 실시간 위치를 파악하고 외부 서버에 주기적 전송
 - 서버는 미리 등록된 지인 혹은 119로 위치를 확인할 수 있는 웹 링크와 증상이 포함된 문자 메시지를 발송

주요기술

HW 구성도



SW 구성도



HW

- **센서 및 통신 인터페이스**
 - PPG 센서: 아날로그 출력을 ADC로 디지털 신호로 변환, SPI 통신을 통해 데이터 수집
 - GPS 모듈: UART 통신을 통해 위성에서 수신한 실시간 위치 정보 획득
 - 마이크 입력: 음성 신호를 ADC를 통해 디지털 신호로 변환

- **카메라 영상 처리** Jetson Nano에 연결된 Camera 모듈로부터 프레임 수신

- **GPIO 제어 방식** Device File 기반 FILE I/O 방식을 사용하여 GPIO 제어

SW

- **C 프로그램 기반 시스템**
 - Ring Buffer에 최근 10개의 IBI데이터를 저장하고, Moving Average를 계산하여 BPM, SDNN, RMSSD, PNN50 등 HRV 지표 산출
 - 멀티 스레드 기반으로 HRV 수신, 졸음 판단, 부정맥 감지 등 실시간 분석을 수행하였고 뮤텍스와 세마포어를 사용해 공유 자원 보호

- **AI 기반 판단 및 대화 시스템**
 - MediaPipe를 이용해 얼굴에서 눈·코·입 위치를 추출하고, 눈꺼풀 개폐 및 입 열림 정도를 분석하여 졸음 판단
 - scikit-learn을 활용해 PPG 데이터 기반 부정맥 판단 머신러닝 모델 학습 및 추론
 - 마이크로 입력받은 음성을 Google STT/TTS API로 처리하고, LLaMA 기반 LLM과 실시간 대화 시스템구현

- **통신 및 메시징 프로토콜**
 - 프로세스 간 통신을 위해 Named Pipe 기반 IPC 구현
 - Jetson Nano와 Raspberry Pi 간 소켓 프로그래밍을 통해 TCP 통신 수행
 - MQTT 프로토콜을 이용해 Raspberry Pi에서 Mosquitto 브로커 서버로 GPS 위치 정보를 주기적으로 publish
 - Spring Boot 서버에서 Mosquitto 브로커를 subscribe하여 수신된 위치 데이터를 파싱 후 DB에 저장

결과 및 분석

영상 + 생체 신호 융합을 통한 정밀 졸음 판단

→ 카메라 기반 인식으로 판단하던 기존 시스템에서 HRV 기반 분석을 병합

Fold 4
Accuracy : 87.35%
Precision : 91.28%
Recall : 80.31%
F1 Score : 85.44%
...
Accuracy : 87.35%
Precision : 91.28%
Recall : 80.31%
F1 Score : 85.44%



데이터 증강, 윈도우 길이 조정, 정규화 방식 비교 등의 실험을 통해 유의미한 부정맥 판단 정확도 도출

자연스러운 AI와의 음성 기반 대화를 통한 졸음 완화

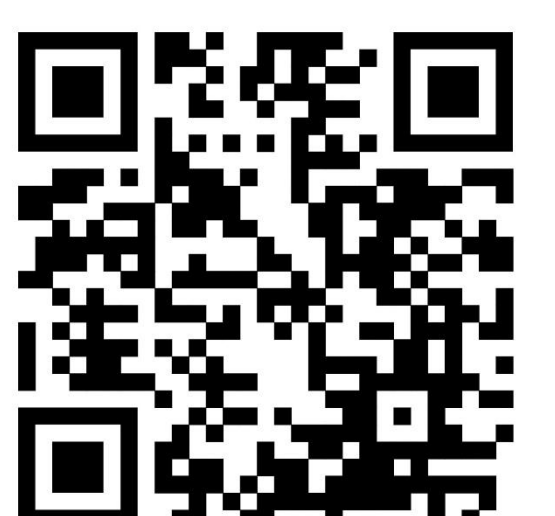
사고 발생 후 신고하는 기존 시스템과 달리 심정지 및 응급 상황을 미리 감지해 119 및 지인에게 선제적 자동 신고 가능

활용방안 및 기대효과

- 장시간 운행이 많은 화물 운송 기사 등을 위한 실시간 졸음 운전 예방 시스템으로 상용화 가능
- 고령 운전자 및 질환 보유 운전자를 대상으로 건강 이상을 파악하고 자동 문자 발송 시스템을 통해 사고 대응 시간 단축 및 생존율 향상 기대
- 본 시스템을 자동차 내장형(임베디드) 기능으로 통합하여 상용 서비스로 적용 가능
- 공공기관과 연계하여 자동차 사고 발생 전후 음성 기반 위치 자동 신고 시스템으로 확대 적용 가능 → 자동차 사고 대응 표준 시스템으로 활용 기대

오픈소스 URL

<https://github.com/whdtjr/HAMS-Health-Alert-Monitoring-System.git>



아주대학교 | SW융합교육원