

저사양 엣지 환경용 하이브리드 얼굴 인식 보안 시스템

박영현, 정민영

안산대학교

pyhyun04@naver.com, myjung@ansan.ac.kr

Hybrid Face Recognition Security System for Low-Spec Edge Environments

YoungHyun Park, MinYoung Jung

Ansan Univ.

요약

본 연구는 초저사양 엣지 디바이스인 Arduino UNO(2 KB RAM)를 활용하여 실시간 얼굴 인식 기반 보안 기능을 구현하기 위한 하이브리드 AI 아키텍처를 제안한다. 제안 시스템은 PIR 센서 기반 움직임 감지를 담당하는 엣지 계층과 고부하 AI 추론을 수행하는 PC 클라이언트 계층으로 구성되며, 모든 얼굴 인식 프로세스는 ONNX Runtime을 통해 로컬 PC에서 수행된다. PC는 웹캠 스냅샷 촬영 후 YOLOv8n을 이용한 사람 감지, YuNet을 이용한 얼굴 검출, ArcFace를 통한 임베딩 생성 및 코사인 유사도 기반 신원 판별을 순차적으로 수행하였다.

I. 서론

사물 인터넷(IoT) 기술의 확산과 함께 가정 및 소규모 매장을 중심으로 지능형 보안 시스템에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히 침입자 감지와 신원 검증 기능을 동시에 갖춘 시스템은 높은 정확도와 실시간 대응성이 요구되며, 사용자 프라이버시 보호 또한 중요한 고려 요소로 부상하고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해 영상 기반 AI 기술이 널리 활용되고 있으나, 고성능 엣지 디바이스나 클라우드 기반 분석 서비스는 비용, 전력 소모, 네트워크 지연, 개인정보 전송과 같은 제약을 수반한다. 이에 따라 초저전력 엣지 디바이스의 장점을 유지하면서도 고성능 AI 기능을 결합할 수 있는 새로운 보안 아키텍처에 대한 필요성이 대두되고 있다.[1-4]

II. 본론

제안된 하이브리드 AI 보안 시스템은 Arduino UNO 기반 엣지 디바이스,

Node.js 기반 PC 클라이언트, 그리고 웹 기반 UI로 구성된 3계층 구조를 따른다. 엣지 디바이스는 센서 기반 이벤트 감지와 단순 알람 출력을 담당하며, 고부하 AI 추론은 PC 클라이언트에서 수행된다. 본 장에서는 각 구성 요소의 역할, 데이터 흐름, 그리고 실시간 판단 로직을 설명한다.

2.1 시스템 아키텍처 구조

전체 시스템 흐름은 PIR 센서 기반 움직임 감지(UNO) 하고, 시리얼 통신을 통한 이벤트 전달(PC)한 후에 AI 파이프라인 실행부분과, 최종 판단 전달 및 UI 반영 순으로 구성된다. UNO는 저지연 움직임 감지와 로컬 경고 출력을 담당하며, PC는 영상 캡처와 얼굴 인식 기반 판단을 수행한다. 전체적인 구성은 그림1에서는 보는 것과 같다.

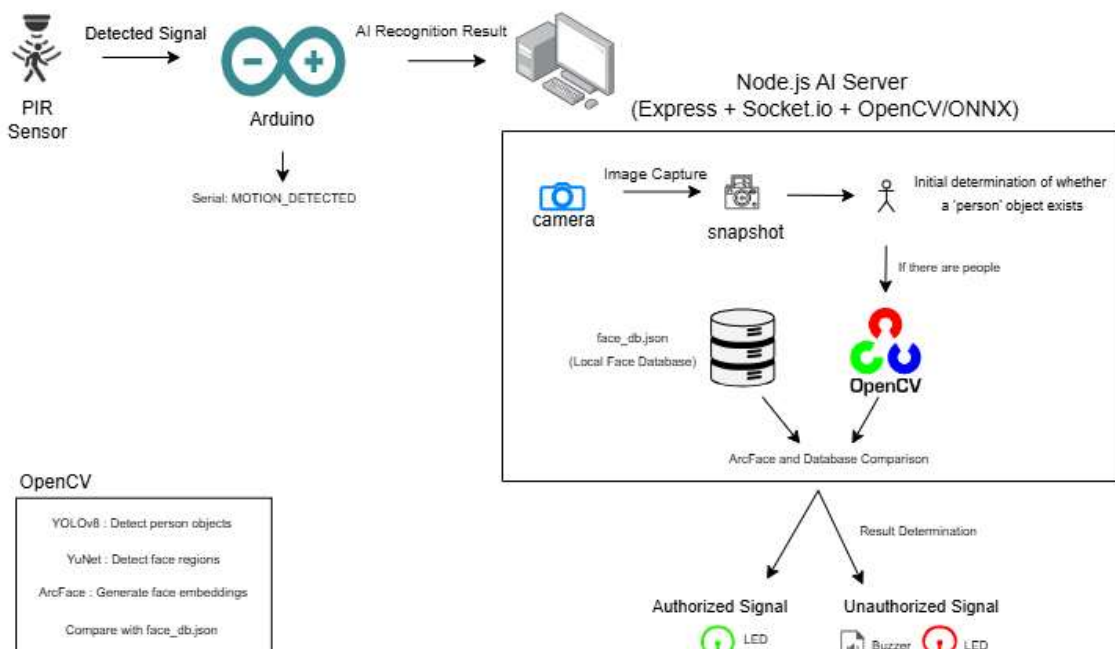


그림 1. 제안하는 시스템

2.2 엣지 디바이스 구현 (PIR.ino)

Arduino UNO에는 PIR 센서, LED, 부저가 연결되어 있으며, 움직임 감지와 PC 명령에 따른 코일 알람 출력을 담당한다. UNO는 loop 함수에서 PIR 센서를 지속적으로 모니터링해 움직임 발생 시 “MOTION_DETECTED” 신호를 시리얼 포트로 전송한다.

PC로부터 전달되는 판단 명령은 다음 두 가지이며, UNO는 해당 명령에 따라 즉각적으로 알람을 출력한다. “ALERT_INTRUDER”는 빨간 LED 점멸과 부저 경보를 나타내고, “USER_KNOWN”는 초록색 LED 점등한다. 이 구조는 초저사양 MCU에서도 최소한의 연산으로 사건 기반 대응이 가능하도록 설계되었다.

2.2 시스템 동작 검증 및 성능 평가

구현된 시스템은 PIR 센서 감지하고, UNO 트리거 송신, PC AI 파이프라인 실행, 최종 판단, 웹 UI 반영으로 구성된 전체 단계가 설계된 흐름대로 수행됨을 확인하였다. PIR 센서가 움직임을 감지하면 UNO는 MOTION_DETECTED 메시지를 시리얼 포트를 통해 즉시 PC로 전송하며, PC는 이를 수신하는 즉시 AI 처리 루틴인 detectPersonWithAI()를 실행한다. 실험 환경은 일반 가정용 PC(Core i5 CPU 기반)에서 구성되었으며, 실험 결과 PIR 이벤트 발생 후 평균 약 3.92초(최소 3.75초, 최대 4.36초) 이내에 전체 판단 절차(스냅샷 캡처, 사람 검출, 얼굴 인식, UI:Arduino 갱신)가 완료되는 것으로 확인되었다. 이는 모든 모델 추론이 로컬 ONNX Runtime에서 수행되고 네트워크 지연이 포함되지 않기 때문에 처리 시간이 일정하게 유지되는, 안정적인 동작 특성을 의미한다. 최종 판단 결과는 Serial 통신을 통해 UNO로 즉시 전달되었으며, LED 점등 및 부저 알람 출력은 추가 지연 없이 동작하였다. 이러한 결과는 로컬 AI 오프로딩 기반 구조가 초저사양 MCU 환경에서도 실시간 보안 기능을 안정적으로 구현할 수 있음을 실험적으로 보여준다. 응답성 분석 결과를 바탕으로, 다음 절에서는 AI 파이프라인 처리 결과와 웹 UI 시각화 과정을 구체적으로 분석하였다.

단계	평균(ms)	최소(ms)	최대(ms)
전체 응답	3,918.08	3,752.50	4,360.20

표 1. 하이브리드 평균 처리 시간

III. 결론

본 논문에서는 초저사양 엣지 디바이스(Arduino UNO)의 근본적인 자원 제약을 극복하면서도 고성능 얼굴 인식 기능을 통합할 수 있는 하이브리드 AI 보안 아키텍처를 제안하고 구현하였다. 제안된 시스템은 센서 기반 이벤트 감지를 UNO에 한정하고, 고부하 AI 추론을 Node.js 기반 PC 클라이언트에서 수행하도록 역할을 분리함으로써, 초저가 하드웨어 환경에서도 안정적인 실시간 보안 기능을 제공할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1]Deng, J., Guo, J., Xue, N., and Zafeiriou, S., "ArcFace: Additive Angular Margin for Deep Face Recognition," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 42, no. 5, pp. 222–234, 2019.
- [2]Ultralytics, "YOLOv8: Next-Generation YOLO Models," Ultralytics Technical Documentation, 2023. Available: <https://docs.ultralytics.com>
- [3] Sabit, H., "Artificial Intelligence-Based Smart Security System

Using Internet of Things for Smart Home Applications," Electronics, vol. 14, no. 3, pp. 608, 2025.

- [4]Microsoft, "ONNX Runtime Documentation," ONNX Runtime Official Website. [Accessed: 2025-11-22]. Available: [https://onnxruntime.ai/docs/Standard\(AES\)](https://onnxruntime.ai/docs/Standard(AES)),"FIPS PUB ZZZ, 2001, (<http://www.nist.gov/aes>).