

지게차-작업자 근접 위험 감지를 위한 실시간 AI 스마트 안전 경고 시스템

안태준, 황태양, 김길현, 김범진, 이재민, 권순량*

동명대학교 전자공학과, *(주)솔위드

xowns7677@naver.com, fjssldaos32139@gmail.com, rlfus27230@gmail.com,
rlaqjaws135@naver.com, ddu2ddo2@naver.com *srkwon@tu.ac.kr

Real-time AI smart safety alert system for forklift - worker proximity risk detection

Tae Jun An, Tae Yang Hwang, Gil Hyeon Kim, Beom Jin Kim, Jae Min Lee, Soon Ryang Kwon*

Dept. of Electronic Engineering, Tongmyong Univ., *Solwith Co.

요 약

본 논문에서는 지게차-작업자 근접 위험 감지를 중심으로 AI 기반 스마트 안전 경고 시스템을 구조적·기능적으로 확장하였다. 시스템은 RTSP(Real Time Streaming Protocol) 입력을 통해 영상 스트리밍의 신뢰성을 높이고, 이벤트 중심 HLS(HTTP Live Streaming) 클립 생성 파이프라인을 도입하여 경고 발생 시점 전후의 맥락 영상을 효율적으로 제공하였다. 또한 FCM(Firebase Cloud Messaging)을 통한 최신 토큰 관리와 팝업 알림 기능을 적용하여 알림 전달의 신뢰성과 지연 특성을 개선하였다. 존 규칙(zone rule) 및 디바운스 로직(debounce logic)을 적용하여 중복 알림 발생을 최소화하였으며 지게차(forklift) 클래스를 신규 학습하여 탐구 대상 범위를 확대하고, 안전모(helmet) 클래스는 재학습을 통해 인식 정확도를 향상시켰다. 제안된 시스템은 설계·구현 및 실험을 통해 그 유효성과 실용성을 검증하였다.

I. 서 론

최근 산업 현장에서는 작업자의 부주의, 보호구 미착용, 작업 차량 근접 등으로 인한 안전사고가 지속적으로 발생하고 있다. 이에 따라 카메라 기반의 실시간 객체 탐지와 모바일 경고 기능을 결합한 지능형 경보 시스템의 필요성이 커지고 있다.

선행 연구[1]에서는 객체 탐지 알고리즘을 적용한 AI 기반 스마트 안전 경고 시스템의 기본 구조와 가능성을 제시하였으나, 장기 운용 시 RTSP 입력의 재연결 및 적체 문제, FCM 토큰 최신성 미보장으로 인한 유실 가능성, 그리고 이벤트 맥락 영상 제공의 부재라는 한계를 확인하였다.

또한 인식 대상 클래스 측면에서 지게차 클래스의 신규 도입과 안전모 인식의 정밀도 향상이 필요함을 확인하였다.

이에 본 논문에서는 시스템의 안정성과 신뢰성을 높이고 인식 성능을 향상시키기 위해 구조적·기능적으로 확장하였다.

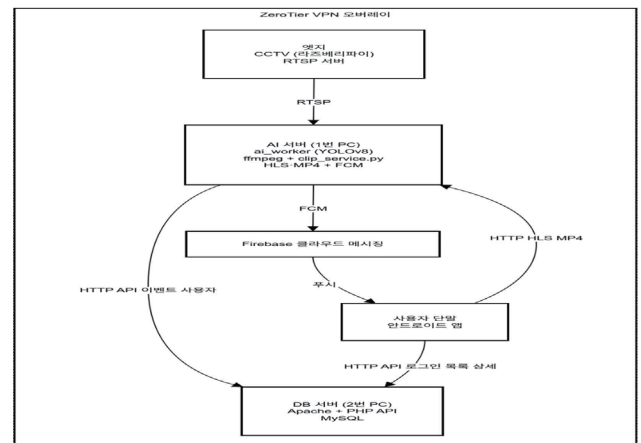


그림 1. 시스템 구성요소간 정보흐름

- 수집된 영상은 AI 서버로 전송되어 객체 탐지 및 위험 판단에 활용된다.

II. 시스템 설계 및 구현

2.1 시스템 구성요소 간 정보흐름

그림 1은 본 연구에서 개발한 객체 탐지 알고리즘 기반 AI 스마트 안전 경고 시스템의 구성요소 간 정보흐름을 나타낸 것이다.

2.2 핵심 기능 설계 및 구현

가. 옛지 CCTV

- OpenCV의 cv2.VideoCapture 함수를 이용하여 실시간 영상 프레임을 수신한다.
- RTSP를 기반으로 안정적인 영상 전송을 수행하며, 프레임 타임아웃 또는 디코딩 실패 시 백오프(backoff) 제시도 로직을 적용하여 자동 재연결을 수행한다.

나. 객체 탐지 & 위험 판단

- 탐지 모델로 YOLOv8을 사용하며, 주요 탐지 클래스는 no_helmet, helmet, forklift이다.
- 안전모 클래스는 다양한 착용 상태 데이터를 추가하여 재학습함으로써 인식 성능을 향상시켰다.
- 위험 판단 로직은 다음과 같다.
 - No_helmet 객체가 감지될 경우, 즉시 경고 알림을 생성한다.
 - Forklift 객체와 작업자(helmet 또는 no_helmet)가 일정 거리 이내로 접근할 경우, 근접 위험으로 판단하여 알림을 전송한다.

다. 이벤트 중심 HLS 클립 서비스

- 실시간 영상을 세그먼트 링버퍼(segment ring buffer) 형태로 관리하며, 최근 N분 분량의 데이터를 유지한다.
- 경고 발생 시점을 t_0 라 할 때, t_0 이전 약 2분 30초 영상부터 저장을 시작하고, $\Delta\text{update} = 30\text{초}$ 주기로 HLS 플레이리스트를 증분 갱신한다.
- 즉, $t_k = t_0 + k \times 30\text{s}$ ($k=1,2,\dots$) 시점마다 새로 생성된 TS 세그먼트를 m3u8 리스트의 끝에 추가하고, 이벤트 종료 시점 t_{end} 에서 전체 세그먼트를 MP4로 병합한다.
- 완성된 이벤트 클립은 MP4 아카이브로 인덱싱 및 관리되어, 앱에서 알림 내역과 연계해 즉시 재생 가능하다.

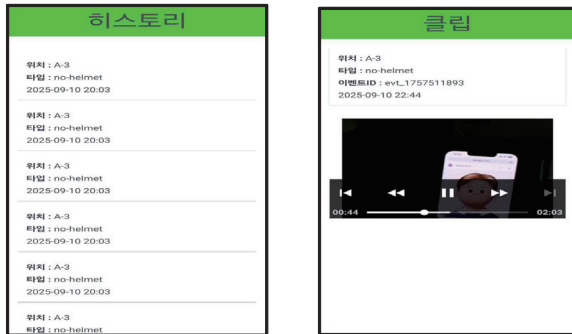


그림 2. 위험 감지 알림 히스토리 및 이벤트 클립 영상 화면

- 사용자가 알림 목록에서 특정 알림을 선택하면, 해당 발생 시점 기준 $\pm 2\text{분 } 30\text{초}$ 구간의 영상을 조회할 수 있다.

라. 알림 서비스 및 FCM 토큰 관리

- 모바일 앱 로그인, 재설치, 또는 토큰 갱신 시 서버에 최신 FCM 토큰을 등록한다.
- 전송 실패 응답이 감지되면, 무효 토큰을 자동 정리하고 재시도 정책을 적용하여 신뢰성을 확보한다.
- 앱 상태(실행 중 / 백그라운드 / 종료)에 따라 팝업 알림 및 배너 표시 방식을 차별화하여 실시간 알림 전달 효율을 향상시켰다.

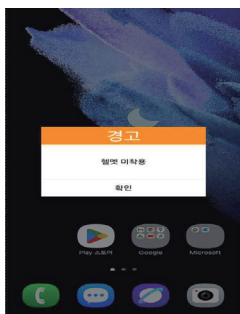


그림 3. 백그라운드 알림 팝업창

마. 데이터베이스 및 보안 설계

- 시스템의 주요 데이터는 MySQL 기반으로 관리되며, 세 가지 핵심 테이블을 사용한다.
 - Object_detections: 세부 탐지 정보를 저장
 - Alerts_log: 알림 이력을 관리
 - User_tokens: 사용자별 FCM 토큰(fcm_token, user_id)을 저장하여 알림 전송의 신뢰성을 보장
- 데이터 접근은 인증된 요청만 허용하며, REST API 기반의 JWT(Json Web Token) 인증 체계를 통해 보안을 강화하였다.

III. 실험 및 평가

3.1 데이터셋

- 본 연구에서는 안전모 착용 여부 및 지게차 객체 인식을 평가하기 위해 공개된 산업 안전 관련 데이터셋을 활용하였다[2][3].
- 데이터는 세 클래스(안전모 착용(helmet), 미착용(no_helmet), 지게차(forklift))로 구성되며, 다양한 조명 조건과 작업 환경에서 수집된 이미지를 포함한다.

3.2 평가 지표

- 성능 평가는 정확도(Precision), 재현율(Recall), mAP(mean Average Precision) 기반으로 수행하였다.
- 그림 4는 클래스별 PR 커브를 나타내며, 제안 모델이 전반적으로 높은 정밀도와 재현율을 유지함을 보여준다.

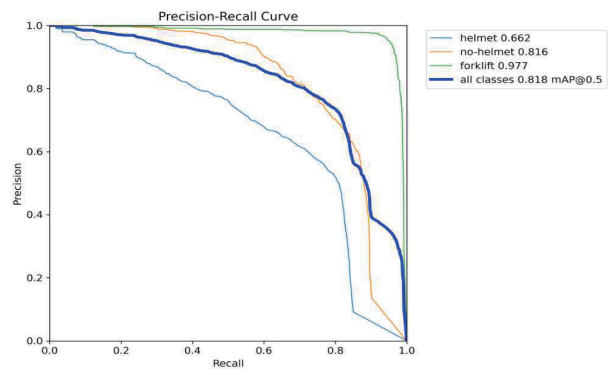


그림 4. 클래스별 PR 커브

IV. 결론

본 논문에서는 지게차-작업자 근접 위험 감지를 중심으로 AI 기반 스마트 안전 경고 시스템을 구조적·기능적으로 확장하여, 실시간성, 신뢰성, 사용성을 동시에 향상시키는 아키텍처를 제안하고 구현하였다.

시스템은 RTSP 입력 안정화, 이벤트 중심 HLS 클립 생성, FCM 최신 토큰 관리 및 팝업 알림 기능을 통해 경고 전달 신뢰성과 지연 특성을 개선하였다. 또한 존 규칙 및 디바운스 로직을 적용하여 중복 알림 발생을 최소화하였으며, 지게차 클래스의 신규 학습과 안전모 클래스의 재학습을 통해 탐지 범위와 정확도를 향상시켰다.

실험 결과, 제안 시스템은 기존 대비 안정적인 영상 입력 처리와 향상된 객체 인식 성능을 보였으며, 실시간 경고 및 이벤트 기반 영상 제공을 통해 산업 현장의 안전관리 효율성을 높일 수 있음을 확인하였다.

향후 연구에서는 추적 기반 근접 위험 감지(지게차-작업자 간 거리 정밀 탐지) 기능을 고도화하고, 추가 학습을 통한 탐지 성능 개선 및 다양한 위험 상황 인식 기능 확장을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 동명대학교 RISE사업의 캡스톤디자인 과제를 통해 창출된 성과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 안태준, 김길현, 김병진, 이재민, 황태양, 권순량, “객체탐지 알고리즘을 적용한 AI기반 스마트 안전 경고 시스템”, 한국통신학회학술심포지움논문집, 전자통신 학술대회 제14권, 제1호, pp.76-78, 2025.06.
- [2] <https://universe.roboflow.com/forklift-utalt/forklift-dataset-4000-ubdud>
- [3] <https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/hard-hat-detection>; Andrew Mvd, Hard Hat Detection Dataset, Kaggle