

YOLOv8 및 기하학적 거리 추정 알고리즘을 이용한 향상된 후방 안전 시스템

윤승재, 김남인, 김범수, 이준구, 이동훈*

한성대학교

{yjhanna3, 2171219, 2171190, dlwnsm8211, dhlee}@hansung.ac.kr

IRSS: Improved Rear Safety System with YOLOv8 and Geometric Distance Estimation

Seungjae Yoon, Namin Kim, Beomsu Kim, Jungoo Lee, Donghoon Lee*

Hansung University

요약

산업 현장에서 지게차와 같은 물류 장비는 생산성 향상에 필수적이지만, 장비의 구조적 한계로 인한 시야 제한 문제는 지속적인 안전 문제로 지적되고 있다. 특히, 화물 적재 및 후진 시 발생하는 사각지대는 작업자와의 충돌 사고로 이어질 수 있는 주요 위험 요소이다. 기존의 초음파 센서나 단순 카메라 기반의 접근 경고 시스템은 사람과 사물을 구분하지 못하고 잦은 오경보를 발생시키는 등 실효성에 한계가 있었다. 이에 본 논문은 딥러닝 비전 기술을 적용하여 사람을 선별적으로 탐지하는 지능형 후방 안전 카메라 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 YOLOv8 모델을 활용하여 실시간으로 사람을 인식하고, 영상 왜곡 보정과 지면 접촉점 기반의 거리 측정으로 위험 판단의 정확도를 높였으며, 감지된 정보는 RS-485 및 CAN 통신으로 전송하여 시스템 확장성을 확보하였다. 이를 통해 불필요한 경보를 줄이고 실제 위험 상황에 대한 대응 능력을 강화함으로써, 산업 현장의 충돌 사고를 예방하고 안전성을 실질적으로 향상시키는 발전된 해결책을 제시한다.

I. 서론

산업 현장, 특히 물류 창고나 건설 현장에서는 지게차, 굴착기와 같은 중장비가 필수적으로 사용된다. 이러한 장비는 무거운 화물을 운반하는 과정에서 운전자의 시야가 제한되는 경우가 많으며, 특히 후진 시에는 장비 뒤편의 사각지대로 인해 사람이나 장애물을 인지하지 못해 발생하는 충돌 사고의 위험성이 매우 높다[1]. 이러한 사고 예방을 위해 다양한 후방 감지 시스템이 사용되어 왔지만, 기존 시스템은 주로 초음파 센서나 단순한 카메라에 의존하여 장애물의 유무만을 알려주는 수준에 그쳐, 사람과 사물을 구분하지 못하거나 복잡한 환경에서 인식률이 저하되는 한계를 가지고 있었다[2]. 그러나 최근 딥러닝 기반의 객체 인식 기술은 실시간 영상에서 사람이나 특정 장애물을 높은 정확도로 식별하고, 그 위치와 거리를 정밀하게 파악하여 사고를 사전에 예방할 수 있다[3]. 이에 본 논문에서는 Jetson 보드와 카메라, 그리고 YOLOv8(You Only Look Once version 8) 객체 탐지 모델을 활용하여 산업용 장비의 후방 위험 요소를 실시간으로 감지하고 거리를 측정하여 경고하는 지능형 안전 시스템을 제안한다. 본 시스템은 영상 왜곡 보정과 정확도 높은 거리 계산 알고리즘을 구현하고, 감지된 정보를 RS-485(Recommended Standard 485) 및 CAN(Controller Area Network)과 같은 산업 표준 통신 인터페이스를 사용하도록 설계하여 실제 현장에서의 적용 가능성을 높이는 것을 목표로 하였다.

II. 본론

가. 시스템 전체 구성

본 시스템은 크게 하드웨어부와 소프트웨어부로 구성된다. 하드웨어는 실시간 영상 처리를 위한 NVIDIA Jetson Orin NX 16GB 보드, 영상 입력을 위한 CSI 카메라, 그리고 외부 시스템과의 데이터 송수신을 위한 RS-485 및 CAN 통신 모듈로 이루어진다. 소프트웨어는 리눅스 기반의 JetPack 환경에서 Python으로 개발되었다. 영상 처리 및 분석에는 OpenCV 라이브러리를 사용하였으며, 실시간 객체 탐지를 위해 경량화와 성능이 우수한 YOLOv8 딥러닝 모델을 적용하였다. 전체적인 데이터 흐름

은 카메라로부터 영상을 입력받아 전처리 및 왜곡 보정을 수행한 후, YOLOv8 모델을 통해 사람을 탐지하고, 탐지된 객체와의 거리를 계산하여 최종적으로 통신 모듈을 통해 경고 데이터를 전송하는 파이프라인으로 구성된다.

Algorithm 1. SafeVision Core Warning Pipeline

Input: CameraStream
Output: ActionPacket(Alert \in {SAFE, DANGER}, d_{min})

1. $Image \leftarrow NextFrame(CameraStream)$
2. $Enhanced_Frame \leftarrow Enhance_Image(Frame)$
3. $Person_Boxes \leftarrow Detect_Persons(Enhanced_Frame)$
4. $Distances \leftarrow Calculate_Distance(Person_Boxes)$
5. $d_{min} \leftarrow \min(Distances)$
6. **if** $d_{min} \leq 1.0$ **then**
7. $Risk \leftarrow Danger$
8. **else**
9. $Risk \leftarrow SAFE$
10. $Send_485_CAN(ActionPacket(Risk, d_{min}))$

그림 1. CSI 카메라 기반 후방 위험 감지 알고리즘의 의사코드

나. 영상전처리 및 왜곡보정

딥러닝 기반 객체 탐지에 관한 기존의 많은 연구[4]는 탐지 모델 자체의 구조 개선이나 후처리 과정에 집중하는 경향이 있다. 그러나 실제 산업 현장에서 사용되는 카메라는 넓은 시야각 확보를 위해 광각 렌즈를 사용하는 경우가 많아, 모델에 입력되는 영상 원본의 품질이 탐지 정확도에 큰 변수로 작용한다. 이에 본 연구에서는 탐지 모델의 성능을 극대화하기 위해, 입력 영상의 품질을 근본적으로 개선하는 고속 전처리 파이프라인을 선행적으로 구축하였다. 첫째, 광각 렌즈에서 필연적으로 발생하는 배럴 왜곡(barrel distortion) 현상을 보정하였다. 그림 2의 좌측 원본 영상처럼 직선이 휘어 보이는 왜곡은 객체의 좌표를 변형시켜 거리 측정의 오차를 증폭시키는 주요 원인이 된다. 단순히 원본 영상을 그대로 사용하는 다른 접근 방식과 달리, 본 연구에서는 체커보드를 이용한 카메라 캘리브레이션을 통해 획득한 파라미터로 그림 2의 우측과 같이 왜곡을 실시간으로 보정하였다. 이를 통해 영상의 모든 영역에서 일관되고 정확한 좌표를 확보하여 거리 측정의 신뢰도를 높였다. 둘째, 산업 현장의 다양한 조도 환경에 강건하게 대응하기 위해 영상 개선 로직을 통합하였다. 기존 방식들

이 이상적인 조명 환경을 가정하는 것과 달리, 본 시스템은 감마 보정과 CLAHE(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) 알고리즘을 적용하여 어둡거나 역광이 심한 환경에서도 사람의 가시성을 확보하고 탐지율을 안정적으로 유지한다. 특히, 이러한 전처리 과정이 Jetson 보드에서 실시간 성능 저하를 일으키지 않도록 사전 계산된 Look-Up Table(LUT)과 매핑 테이블을 사용하는 최적화를 적용하였다. 결과적으로, 본 시스템의 전처리 파이프라인은 후속 딥러닝 모델이 더 정제된 데이터를 기반으로 추론하게 함으로써, 실제 산업 환경에서의 전체 시스템의 정확성과 안정성을 높이는 핵심적인 역할을 수행한다.

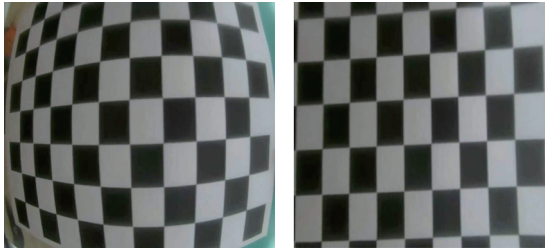


그림 2. 체커보드를 이용한 카메라 왜곡 보정 전(좌)과 후(우) 비교

다. YOLOv8 기반 사람 탐지 및 거리 계산

본 시스템은 엣지 디바이스 환경에서의 실시간 처리를 위해 속도와 정확도가 뛰어난 YOLOv8 모델을 사람 탐지 알고리즘으로 채택하였다. Jetson 보드 환경에서 모델 최적화를 통해 안정적인 탐지 성능을 확보한 후, 거리 측정의 정확도를 높이기 위한 독자적인 알고리즘을 개발하였다. 기존 방식이 객체의 바운딩 박스 중심점을 기준으로 거리를 측정했던 것과 달리, 본 연구에서는 사람이 지면에 발을 딛고 있다는 점에 착안하여 바운딩 박스의 최하단 y 좌표, 즉 '발 위치'를 거리 계산의 기준으로 삼았다. 이 접근법은 카메라의 기하학적 설치 정보와 결합될 때 실제 수직 거리와 더 높은 상관관계를 보장한다. 카메라의 설치 높이는 $h = 2000mm$ 이고, 카메라의 화각은 $fov = 128^\circ$ 로서 충돌 지점까지 측정할 수 있도록 지면을 향해 $tilt = 25^\circ$ 기울어 설치하였다. 카메라의 해상도는 640×1280 픽셀로서 90° 회전해서 설치하여 이미지 상의 거리 값은 $imgH = 1280$ 픽셀 범위로 탐지한다. 이 구조에서 특정 지점까지의 거리 d 는 시야각 θ 와 삼각함수 관계인 수식 (1)로 표현된다.

$$d = h \times \tan(\theta) \quad (1)$$

위의 수식을 이용해 영상에서의 픽셀 좌표 y 를 실제 거리 d 로 변환하는 수식(2)을 도출하였다.

$$d = h \times \tan\left(\frac{imgH - y}{imgH} \times fov\right) \quad (2)$$

실험에서는 사람을 탐지한 후 수식 (2)을 통해 사람의 거리를 측정하였으며 오차율을 목표 범위인 $\pm 5 \sim 10\%$ 이내로 측정할 수 있었다. 최종적으로, 실시간 처리 효율을 극대화하기 위해 전체 y 축에 대한 거리 매핑 테이블을 Look-Up Table 형태로 구현하여 시스템에 적용하였다.

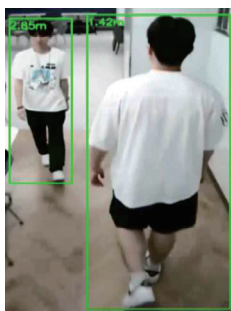


그림 3. YOLOv8 모델을 이용한 실시간 다중 객체 탐지

라. 통신시스템 설계

계산된 거리와 위험 정보는 실제 산업 현장에서 널리 사용되는 표준 통신 방식인 RS-485와 CAN을 통해 외부 제어 시스템으로 전송되도록 설계되었다. 이 두 통신 방식은 각각 9,600bps(RS-485)와 250kbps(CAN)라는 현저한 속도 차이를 보인다. 이러한 속도 차이는 동일한 데이터를 두 채널로 동시에 전송할 때 수신 순서가 뒤바뀌는 동기화 문제를 야기할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해, 본 시스템에서는 버퍼링(buffering)과 송신 타이밍 제어 알고리즘을 적용한 소프트웨어적 동기화 방식을 구현하였다. 이 방식을 통해 각 채널의 전송 시점을 조절하여 데이터의 무결성과 순서를 보장하였다. 또한, 표준화된 데이터 패킷 포맷과 전송 로직을 구현하여 다양한 산업 장비와의 호환성을 높였으며, 이를 통해 본 시스템이 독립적으로 작동하면서도 산업용 IoT 플랫폼이나 스마트 팩토리의 중앙 제어 시스템과 원활하게 연동될 수 있는 기반을 마련하였다.

III. 결론

본 논문에서는 산업 현장의 후방 충돌 사고를 예방하기 위한 AI 기반의 지능형 안전 카메라 시스템을 제안하고 구현하였다. 제안된 시스템은 Jetson 보드에서 YOLOv8 모델을 구동하여 실시간으로 후방의 사람을 탐지하고, 영상 왜곡 보정과 발 위치 기반의 거리 계산 알고리즘을 통해 측정의 정확도를 크게 향상시켰다. 실험 결과, 시스템은 실제 산업 현장에 적용 가능한 수준의 성능을 입증하였으며, RS-485 및 CAN 통신 인터페이스를 통해 다양한 산업 장비와의 연동성 또한 확보하였다. 본 연구를 통해 개발된 시스템은 단순 충돌 방지를 넘어, 향후 무인 지게차나 자율주행 로봇의 핵심 안전 기술로 활용될 수 있는 기반을 마련하였다. 향후 연구로는 다중 객체 감지 시 위험도에 따른 경고 우선순위 로직을 개발하고, 스테레오 카메라 등을 도입하여 거리 측정 정확도를 고도화할 필요가 있다. 또한, 통신 채널 간 데이터 전송 동기화 문제 해결을 통해 시스템의 안정성과 완성도를 높일 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 2024년도 SW 중심대학사업의 결과로 수행되었음(2025-0-00049).

참 고 문 헌

- [1] Teizer, Jochen, et al, "Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system," Automation in construction 19.5 (2010): 630-640.
- [2] Azurmendi, I., et al, "Simultaneous Object Detection and Distance Estimation for Indoor Autonomous Vehicles," Electronics, 2023.
- [3] Lee, Jae Moon, et al, "Real distance measurement using object detection of artificial intelligence," Turkish Journal of Computer and Mathematics Education 12.6 (2021): 557-563.
- [4] Yaseen, M., "What is YOLOv8: An in-depth exploration of the internal features of the next-generation object detector. arXiv 2024." arXiv preprint arXiv:2408.15857.