

CCTV 영상 객체 인식을 통한 지게차 안전사고 예방 시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 곽표성**, 박의준***

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학), 스마트 그리드 연구 센터

**금성아이티

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the design of a forklift safety accident prevention system through CCTV video object recognition

Je-Ho Song*, Pyo-Sung Gwak**, Eui-Jun Park***

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),
Smart Grid Research Center, Chonbuk National University

**GOLDSTAR IT Inc

***Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약

본 논문에서는 지게차 안전사고를 예방하기 위한 CCTV 영상 객체 인식을 통한 지게차 안전사고 예방 시스템을 제안한다. YOLO(You Only Look Once, Real-Time Object Detection) 방식의 객체 인식 알고리즘과 딥러닝 기반 거리 측정 알고리즘을 이용하여 CCTV 화면 상의 지게차와 사람을 실시간으로 인식하고, 이들 간의 거리를 거리 측정 알고리즘을 통해 계산하여 수집된 데이터를 디스플레이를 통하여 확인할 수 있도록 지게차 운전자에게 제공한다. 이를 통하여 지게차 운전자는 작업 반경 내에 사람이 있음을 인지하고, 지게차와 사람 간의 거리가 근접했을 경우에는 추가적으로 진동, 경광등 알림을 통해 지게차 운전자에게 경고하도록 하였다. 시험 결과, 기준점과 지게차 간의 거리 측정 정확도는 98.4%, 기준점과 사람 간의 거리 측정 정확도는 98.2%, 기준 좌표에 따른 좌표 정확도는 13.97 cm, 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도는 97.1%의 결과값을 얻었다.

1. 서론

지게차는 소형 산업 현장부터 대형 산업 현장 및 공사 현장 등 실내·외를 가리지 않고 다양하게 사용되는 건설기계이다. 하지만, 그만큼 다양한 방면에서 널리 사용되기 때문에 지게차와 관련된 안전사고도 매년 끊임없이 발생하고 있다.[1]

이러한 지게차 안전사고 발생의 주요한 원인은 지게차 운전자와 산업 현장의 작업자가 서로를 인지하지 못하여 발생한다. 이 때문에 기존의 지게차에는 후방 감지 카메라, 후방 감지 센서, 모션 감지 센서 등의 안전 센서를 부착하고, 후진 경보기와 경광등을 설치하여 사고를 예방하고자 하였지만, 거리 정보의 부재나 신호의 오측 가능성, 소음이 심한 산업 현장의 특성으로 인해 그 효과가 미비한 편이다.

또한, 사회적으로는 중대재해처벌법이 시행됨에 따라 노동자의 안전사고에 대한 대비와 경각심이 높아지고 있기 때문에 노동자의 안전한 작업 환경 개선과 도입이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 지게차 안전사고를 효과적

으로 예방하기 위해 CCTV 영상 객체 인식을 통한 지게차 안전사고 예방 시스템을 제안한다. YOLO(You Only Look Once, Real-Time Object Detection) 방식의 객체 인식 알고리즘을 적용하여 CCTV 화면 내 지게차와 사람을 인지하고, 딥러닝 기반 영상 내 거리 측정 알고리즘을 적용하여 지게차와 사람 사이의 거리를 측정하여 지게차 운전자에게 거리 정보를 제공하고, 지게차의 작업 반경 안에 사람이 존재할 경우 디스플레이를 통해 이를 나타내며 운전자에게 진동이나 경광등 알림을 통해 경고하여 산업 현장에서 일어날 수 있는 지게차 사고를 방지하고자 하였다.[2]

2. 본론

2.1 CCTV 영상 객체 인식을 통한 지게차 안전사고 예방 시스템 설계 및 제작

지게차의 객체 인식을 위한 영상 학습 데이터셋 제작 도구로는 하나의 이미지에서 하나의 데이터만 추출할 수 있는 이미지 포맷에 비하여, 비디오 포맷은 프레임마다 데이터를 추

출할 수 있기 때문에 비디오 포맷을 이용하여 더 많은 데이터를 확보하고자 하였으며, 영상 학습 데이터를 제작하기 위한 라벨링 작업의 시간을 단축하기 위하여 자동 라벨링 방식을 지원하고, 출력 형식이 YOLO가 호환되는 DarkLabel을 최종적으로 영상 학습 데이터셋 제작 도구로 결정하였다.

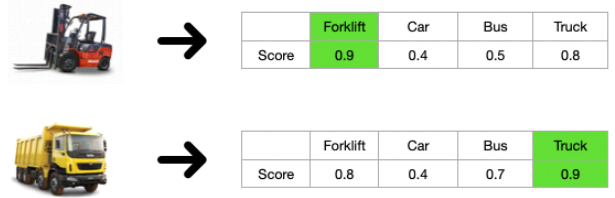
YOLO 빌드 및 학습에 있어서 학습 속도를 높이기 위해 GPU 사용을 허가하고, YOLO 학습에 필요한 OpenCV 라이브러리를 적용하였고, GPU 가속화를 통해 컨볼루션(Convolution), 풀링(Pooling), 표준화, 활성화와 같은 일반적인 루틴을 빠르게 이행할 수 있도록 CuDNN을 적용하였다.

테스트 영상을 YOLO 모델이 Input으로 넣으면 매 프레임마다 인식되는 객체들의 좌표, 클래스, 점수 정보가 추출된다. 이때, 다중 객체를 인식하기 때문에 다수개의 정보가 추출된다. 따라서, 해당 객체가 어떤 클래스에 속하는지 분류하고, OpenCV 라이브러리를 이용하여 추출된 좌표 구간을 bounding box 처리하도록 하였다. 이때, 점수 정보를 이용하여 기준 점수를 통과한 예측만 처리되도록 하여 모델의 정확도를 높였다. 그림 1은 YOLO 모델 다중 객체 인식 화면을 나타낸 것이다.[3-5]



[그림 1] YOLO 모델 다중 객체 인식

기존의 1개의 클래스(지게차)만 학습을 시킨 결과, 모든 객체에 대하여 지게차 클래스에 대한 점수만 부여하여 자동차나 트럭같이 지게차와 비슷한 객체도 높은 점수를 받아 지게차로 인식되는 문제가 발생하였다. 따라서, 지게차의 인식률을 높이기 위하여 지게차와 비슷한 형태를 가진 자동차, 트럭, 버스 등으로 클래스를 확장시켜 인식되는 객체에 가장 높은 점수를 받은 클래스를 부여해 지게차 인식률을 더욱 상승시켰다. 그림 2는 YOLO를 통해 인식된 객체의 클래스 분류 방법을 나타낸 것이다.



[그림 2] YOLO를 통해 인식된 객체의 클래스 분류 방법

또한, 지게차의 전진/후진 상태를 판단하기 위하여 객체 추적 알고리즘인 Deep SORT를 적용하였다. 이전 프레임에서 검출된 객체의 Bounding Box 정보를 이용하여 현재 프레임에서의 객체의 위치를 예측하여 IOU distance를 구할 수 있고 이를 Hungarian Algorithm을 통해 객체 정보를 업데이트한다. 이후, 업데이트된 정보를 바탕으로 객체 추적을 시작하고, 추적된 객체의 중심 좌표를 기준으로 선을 그려 객체의 이동 경로를 파악한다. 그림 3은 Deep SORT를 적용한 예시이다.



[그림 3] Deep SORT 활용 예시

영상 데이터와 2D 데이터 간에 서로 매칭되는 UI/UX 인터페이스를 제작하였다. 영상 입출력 관리는 OpenCV를 이용하여 이루어지며 불려온 영상으로부터 프레임을 하나씩 추출하여 처리한다. 이때 프레임은 그레이 스케일(Gray Scale)로 변환하여 컬러 영상보다 적은 메모리를 사용하고 빠른 연산 속도를 가질 수 있도록 최적화하였다. 또한, 프레임 배열을 numpy 배열로 변환하여 빠른 연산 속도와 적은 메모리 사용량을 갖도록 하였다.



[그림 4] 프로그램 현장 테스트 화면

그림 4는 지게차 운전자의 디스플레이에 표시되는 프로그램 화면을 나타낸 것이다. RTSP를 통하여 CCTV 화면의 영상 재생이 가능하고, CCTV 화면 상의 객체 인식과 좌표 매칭을 통한 2D 벡터화로 2D 좌표를 표시하였다. 2D 좌표는 각각의 좌표값을 표시하고, 원점과 각 객체 간의 거리를 나타낸다.

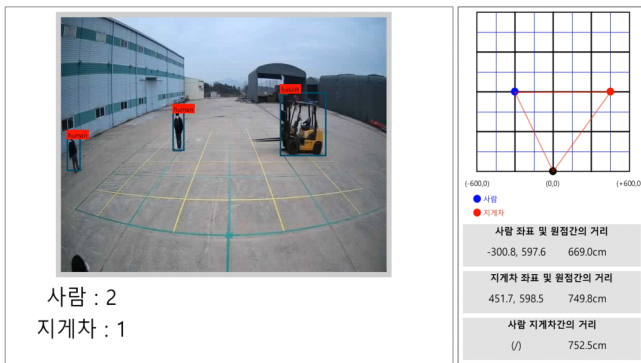
2.2 CCTV 영상 객체 인식을 통한 지게차 안전사고 예방 시스템 시험 및 시험 결과

전체 시스템의 구성 후 기준점과 지게차 간의 거리 측정 정확도, 기준점과 사람 간의 거리 측정 정확도, 기준좌표에 따른 좌표 정확도, 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도 총 4가지의 성능 지표에 대하여 시험을 하였다.

그림 5는 현장에서 시험 모습을 나타낸 것이고, 그림 6은 시험에 대한 프로그램 화면을 나타낸 것이다.



[그림 5] 현장 시험 모습



[그림 6] 시험 중 프로그램 캡처 화면

그림 5는 현장에서의 시험 모습을 나타낸 것이고, 그림 6은 시험에 대한 프로그램 화면을 나타낸 것이다.

시험 결과, 기준점과 지게차 간의 거리 측정 정확도는 총 10회 실시하여 평균 정확도 98.4 %의 결과값을 얻었다. 이에 시행 횟수에 대한 각각의 결과를 표 1에 나타내었다.

[표 1] 기준점과 지게차 간 거리 측정 정확도 시험 결과

횟수	1	2	3	4	5
정확도(%)	96.8	98.4	99.3	99.9	98.9
횟수	6	7	8	9	10
정확도(%)	99.5	98.1	97.8	97.7	97.5

기준점과 사람 간의 거리 측정 정확도는 총 10회 실시하여 평균 정확도 98.2 %의 결과값을 얻었다. 이에 시행 횟수에 대한 각각의 결과는 표 2에 나타내었다.

[표 2] 기준점과 사람 간 거리 측정 정확도 시험 결과

횟수	1	2	3	4	5
정확도(%)	98.2	97.9	98.9	97.8	98.3
횟수	6	7	8	9	10
정확도(%)	98.3	99.1	97.6	98.6	97.6

기준 좌표에 따른 좌표 정확도, 즉 오차는 시험 결과 평균 오차 13.57 cm의 결과값을 얻었다. 각각의 시험 결과에 따른 결과는 표 3에 나타내었다.

[표 3] 기준 좌표에 따른 좌표 정확도 시험 결과

횟수	1	2	3	4	5
오차(cm)	11.5	11.8	15.6	12.3	16.7
횟수	6	7	8	9	10
오차(cm)	10.2	15.4	14.3	13.7	14.2

마지막으로, 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도는 시험 결과 평균 정확도 97.1 %의 결과값을 얻었다. 표 4는 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도 시험 결과를 나타낸 것이다.

[표 4] 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도

횟수	1	2	3	4	5	6
정확도(%)	96.6	98.8	97.9	96.2	97.9	97.6
횟수	7	8	9	10	11	12
정확도(%)	96.2	95.8	96.7	98.8	97.8	97.9

3. 결론

지게차는 실내·외, 산업 현장의 규모와 상관없이 폭넓게 사용되는 건설기계이다. 하지만, 그렇기 때문에 지게차와 관련된 안전사고도 매년 끊임없이 일어나고 있다.

지게차 안전사고를 예방하기 위해 지게차에 후진 경보기와 경광등을 설치하고, 다양한 안전 센서 및 시스템을 적용하였지만 신호의 오측 가능성이나, 지게차 운전자의 시야 제한, 소음이 발생하는 산업 현장의 특성으로 인해 그 효과가 미비한 편이다.

따라서, 본 논문에서는 지게차 안전사고를 예방하고 대비할 수 있도록 CCTV 영상 객체 인식을 통한 지게차 안전사고 예방 시스템을 제안한다. CCTV 화면의 영상을 바탕으로 지

계차와 사람의 객체를 인식하고, 이를 기반으로 각 객체 간의 거리를 산출하여 지게차 운전자에게 해당 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 지게차 운전자는 이를 이용하여 지게차의 작업 반경 내에 사람이 있음을 인지하고, 거리가 가까워질 경우는 디스플레이와 진동, 경광등 알림을 통해 경고할 수 있도록 하였다.

전체 시스템의 구성 후 기준점과 지게차 간 거리 측정 정확도, 기준점과 사람 간의 거리 측정 정확도, 기준 좌표에 따른 좌표 정확도, 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도 총 4가지 성능 지표에 대하여 시험을 하였으며 결괏값은 각각 일정 횟수만큼 시행하여 평균값으로 구하였다. 시험 결과, 기준점과 지게차 간의 거리 측정 정확도는 98.4 %, 기준점과 사람 간의 거리 측정 정확도는 98.2 %, 기준 좌표에 따른 좌표 정확도는 13.57 cm, 지게차와 사람 간의 거리 측정 정확도는 97.1 %의 결괏값을 얻었다.

참고문헌

- [1] “업종별 지게차 사망자 현황”, 안전보건, 2021
- [2] 김혜진, “딥러닝 기반 거리측정 기술 동향”, 한국전자통신연구원, 2020년
- [3] 이태준, 조민우, 김한길, 김택천, 정희경, “YOLO-v4를 활용한 작업장의 위험 객체와 작업자 간 거리 예측 모델의 구현”, 한국정보통신학회 종합학술대회 논문집, Vol.25, No.2. pp.332-334, 2021
- [4] Jacob Fraden, “현대 센서공학”, 한빛아카데미, 2021
- [5] Behrouz A. Forouzan, “데이터통신과 네트워크”, 한티미디어, 2021

본 논문은 중소벤처기업부에서 지원하는 2022년도 중소기업 R&D 역량제고사업 ‘맞춤형 기술파트너 지원’ 1차의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.[과제명: 인공지능(AI)을 통한 지게차 중심의 작업반경 안전센서모듈 개발]