

산업용 로봇 작업장 안전시스템 개발에 대한 연구

김진배* · 권순현* · 이만수*
*호서대학교대학원 나노융합기술학과

A Study on the Development of Industrial Robot Workplace Safety System

Jin-Bae Kim* · Sun-Hyun Kwon* · Man-Soo Lee*

*Department of Nanofusion Technology at Hoseo University Graduate School

Abstract

As the importance of artificial intelligence grows rapidly and emerges as a leader in technology, it is becoming an important variable in the next-generation industrial system along with the robot industry.

In this study, a safety system was developed using deep learning technology to provide worker safety in a robot workplace environment.

The implemented safety system has multiple cameras installed with various viewing directions to avoid blind spots caused by interference.

Workers in various scenario situations were detected, and appropriate robot response scenarios were implemented according to the worker's risk level through IO communication.

For human detection, the YOLO algorithm, which is widely used in object detection, was used, and a separate robot class was added and learned to compensate for the problem of misrecognizing the robot as a human.

The performance of the implemented system was evaluated by operator detection performance by applying various operator scenarios, and it was confirmed that the safety system operated stably.

Keywords : Artificial intelligence, Industrial robot, Safety camera

1. 서론

1.1 연구배경

최근 산업현장은 4차 산업발전으로 공장자동화, 무인화, 구인난 등의 여러 가지이유로 제조업 현장에서 매우 다양한 종류의 로봇이 사용되고 있다.

이에 따라 로봇에 의한 작업자의 산업재해가 발생되고 있다.

본 연구는 로봇으로 인한 작업자의 사고를 예방하고자 작업자의 안전 확보를 위해 기존산업안전보건법에 명시된 안전장치에 부가하여 작업장 안전시스템을 개발 하고자 한다.

위의 자료에서 보면 22년 제조업 사망자가 171명에 달한다.

제조업 사망사고의 가장 큰 비중이 끼임 사고이며 한해 49명의 작업자가 사망하고 있다. 끼임 사망사고의 49명 중 로봇으로 인한 사망사고도 다수를 차지하고 있다. 산업 안전보건 기준에 관한규칙 13절 산업용 로봇[2] 기준에 따르면 개구부가 없는 1.8M의 방호 울타리를 기본적으로 설치해야 하며, 추가적으로 라이트커튼, 안전메트, 도어락 장치 등을 추가해야 한다.

본 연구 과제의 안전시스템을 추가 설치함으로써 여러 가지 안전관련 추가 장치를 대체 할 것으로 판단하고 있다.

[†]본 논문은 로봇안전 장치에 대한 석사논문 연구과정중 선행 연구 논문입니다.

[†]Corresponding Author : Man-Soo Lee, Department of Nanofusion Technology 20, Hoseo-ro 79beon-gil Baebang-eup Asan-si, Chungcheongnam-do, Korea Hoseo University E-mail: mslee@hoseo.edu

Received August 25, 2023; Revision September 19, 2023; Accepted September 25, 2023

〈Table 1〉 Death accidents by industry size in 22 years

Division	All Industries			Construction Industry			manufacturing Industry			Other Industries		
	Total	Less than 50 people / Less than 5 billion	50 or more people/ more than 5billion	Total	Less than 5billion	More than 5billion	Total	Less than 50 people	50 or more people	Total	Less than 50 people	50 or more people
Incidence of Death (number)	611	381	230	328	224	104	163	82	81	120	750	45
The number of Deaths (number)	644	388	256	341	226	115	171	82	89	132	80	52

(Source: Ministry of Employment and Labor Press Release) [1]

〈Table 2〉 Manufacturing Incidence of Death in 2022 years

Division	Total	Accident of getting stuck in	Fall accident	Fire,Explosion, Burst	Hit by a person	Trample, Flipping	ETC
		rate	rate	rate	rate	rate	rate
In cidence of Death (number)	163	49 / 30.1	28 / 17.2	17 / 10.4	20 / 12.3	19 / 11.7	30 / 18.4
The number of Deaths(number)	171	49 / 28.7	29 / 17.0	22 / 12.9	20 / 11.7	19 / 11.1	32 / 18.7

(Source: Ministry of Employment and Labor Press Release) [1]

1.2 연구 목적 및 방법

본 논문에서는 로봇사용 환경에서 작업자의 안전에 대한 실시간 모니터링 시스템으로 실시간 작업자의 안전을 제공할 수 있는 작업장 안전시스템 개발을 목표로 하고 있다. 적용된 안전시스템은 사각지대를 없애기 위하여 여러 대의 카메라를 설치하여 촬영 하였으며, YOLO v2 알고리즘을 사용하여 작업자를 검출하였고 검출된 작업자의 작업 안전 영역 침범 여부를 판단하여 로봇에 신호를 보내는 방법으로 안전 시스템을 구성하였다. 또한 로봇작업 환경에서 작업자의 동작 및 영역 설정 후 침범에 대한 검출 유/무를 판별하는 경로 시스템 성능을 평가 하였다.

일반적인 객체 검출 알고리즘은 영상내의 특징 기반으로 특징을 추출하고 이에 대하여 물체를 검출하는 방법으로 SIFT(Scale Invariant Feature Transform), HOG(Histogram of Gradient), LBP(Local Binary Pattern) 등의 여러 알고리즘들이 있으나 검출 성능에서 한계를 가지고 있다[3]. 기존 알고리즘의 한계를 극복하기 위하여 딥러닝 기반 물체 검출 방법이 등장하였고 영상의 후보영역을 만들고 이에 대한 CNN(Convolutional Neural Network)을 사용하여 분류하는 알고리즘으로 R-CNN(Region-CNN) 알고리즘이 등장하였다[4]. 그리고 RCNN 알고리즘의 성능 향상을 위한 연구가 이어짐으로 분류와 위치 식별과정을 나누어 처리하지 않고

한 번에 수행하는 YOLO 알고리즘이 등장하게 되었다 [5]. 그리고 산업 응용분야에 대한 인공지능의 활용에 대한 선행 연구도 이루어지고 있다[6].

로봇의 설치 및 도입은 다양한 분야 및 공정에 적용되고 있으며, 무인화를 위하여 로봇도입이 매우 빠르게 적용되고 있다.

이를 계기로 사람의 작업을 로봇이 대신하는 작업, 로봇과 사람의 협동작업, 또는 로봇을 유지/보수 하는 작업등 다양하게 확장되고 있다.

로봇의 작업 환경 내에 작업자의 안전이 매우 중요하게 고려되어지고 있으며, 이를 위한 시스템들이 활발하게 개발되어 지고 있다.

2장은 안전시스템 개요를 설명하였으며, 3장에서는 로봇작업 환경에서의 실험을 통하여 작업자의 동작 및 작업 안전에 대한 작업자 검출 성능을 평가 하였다. 마지막으로 4장에서는 구축된 안전시스템에 대한 성능을 평가하고 이에 대한 결론을 내렸다.

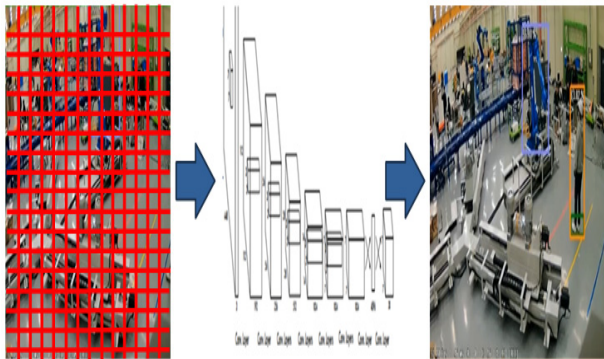
2. 안전시스템 개요

2.1 YOLO 알고리즘 개요

YOLO(You Only Look Once) 알고리즘은 객체 후보

들에 대한 분류 정보의 중복처리에 파이프라인 구조를 가지고 각 개별 요소들이 각각 학습되므로 연산량이 많은 문제를 단일 망에서 처리되도록 연구들이 진행되었다.

그림 1을 살펴보면 YOLO 알고리즘을 동작을 나타낸 것으로 입력 영상을 NxN 격자 셀(Grid Cell)로 구분하여 CNN 망을 통해 학습한다. YOLO 알고리즘은 바운딩 박스(Bounding Box) 예측 방식으로 여러 개의 격자 셀을 미리 분할해 둔다. 입력 이미지에서 사람을 감지 할 경우, 격자 셀과 매칭하여 신뢰값이 높으면 사람을 검출했다고 표기 한다. 각 격자 셀은 여러 개의 바운딩 박스와 각 바운딩 박스에 대한 신뢰 값을 예측하며 격자 셀은 각각의 바운딩 박스가 다른 바운딩 박스와 중첩되는 것을 고려한 클래스 확률을 예측하고 NMS(Non-Max Suppression)을 거쳐 최종 바운딩 박스를 선정한다.



[Figure 1] YOLO Algorithm

2.2 안전시스템 개요

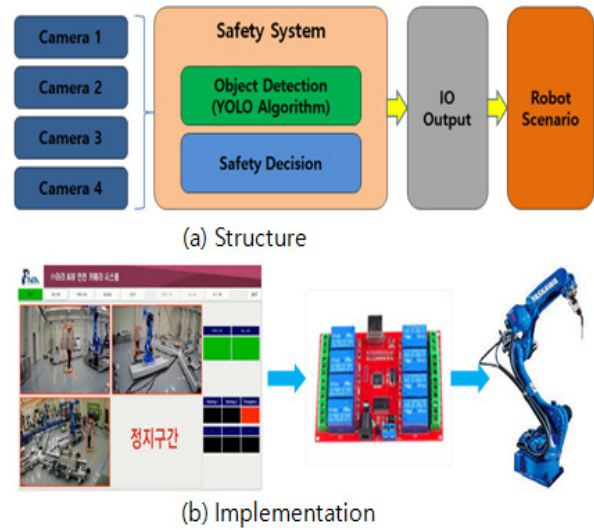
본 논문에는 산업현장에서 실제 로봇 설치 환경에 적용할 수 있도록 목표로 설계하였으며, 작업자의 안전을 확보하기 위한 시스템을 구현 하는 것을 목표로 하였다.

여러 가지 주변장치의 간섭이나 미검출 상황을 예방하기 위하여 여러대의 카메라로 다양한 각도에서 촬영하였으며, 설정 영역에 접근 하였는지 판단하고 신호를 생성해서 출력함으로써 작업자의 안전을 확보 할수 있도록 하였다. 본시스템의 구조는 그림 2를 살펴본다.

먼저 4대의 카메라가 영상을 실시간 획득하고 영상을 분석하여 사람이 설정 영역에 접근한 상태를 판단하여 검출 결과를 신호로 출력한다.

안전 검출에서 사람을 검출하는 알고리즘은 검출력이 높고 실시간 검출을 위해 속도가 빠른 YOLO 알고리즘을 사용 하였다.

영역 설정은 어플리케이션 GUI에서 설치 환경에 맞게 설정하게 된다.

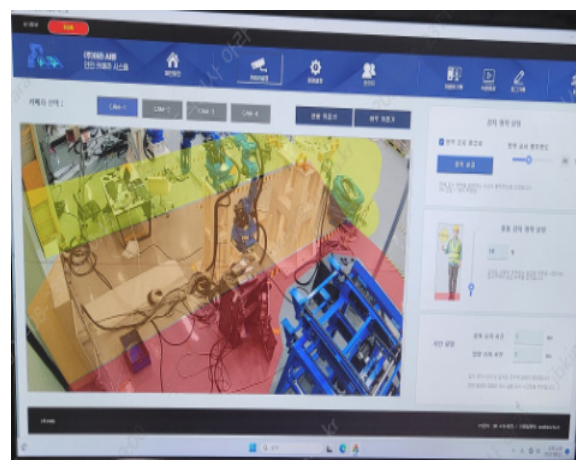


[Figure 2] System Structure and Implementation

그림 3은 GUI 영역을 설정한 이미지를 보여주고 있다. 설정 영역은 3단계 영역이며, 설정 영역 이외의 영역은 안전 영역이라고 볼 수 있다. 설정 영역 단계 및 이에 대한 설명은 다음과 같다.

<Table 3> Zone configuration

Level	Area	Response scenario
0	safe area	inaction
1	alarm area	sound warning
2	speed limit	speed down
2	speed stop	emergency stop

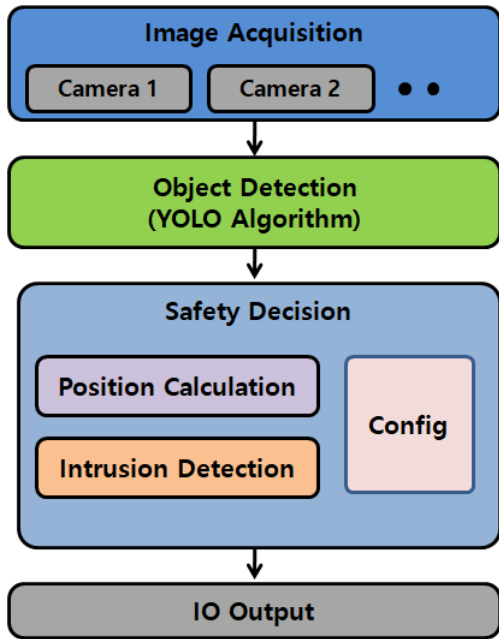


[Figure 3] Zone settings of Alarm, Warning, Emergency

그림 4는 안전 검출 방법을 나타낸 것으로 여러 대의 카메라로부터 영상을 획득하고 사람에 대한 검출은 YOLO 알고리즘을 적용하여 수행한다. YOLO 알고리즘이 검출한 객체 중에 사람에 대한 검출만 목록 화하고 안

전 검출을 진행하게 된다. 안전 검출을 위하여 검출된 사람의 영역에서 하단의 범위를 지정한 설정과 카메라 영상 영역에서 영역 단계에 대한 설정이 우선되어야 한다. 그러면 검출된 사람에 대한 검출 위치 영역을 계산하고 위에 설정된 영역의 침범을 검사하게 된다.

IO 신호 출력 관련해서는 장비마다의 특수성을 고려하여 Normal Open / Normal Close 두가지를 선택 할 수 있게 한다. 장비 마다 사용 하는 전압의 차이를 감안하여 Free Volt(12V ~ 24V)를 사용 하였다.



[Figure 4] The Method of Safty Detect

3. 실험 및 검증

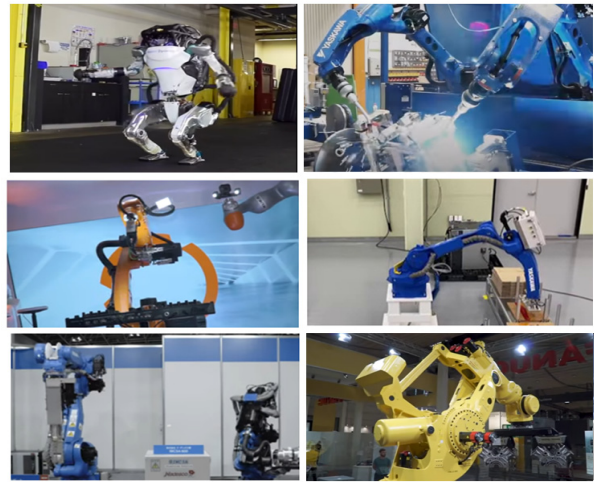
본 시스템의 목표는 작업 현장의 안전시스템 개발을 위한 연구이며, 제조현장에서 손쉽게 적용할 수 있도록 금액 적인 부분도 감안하여 시스템을 설계 하였다.

<Table 4> SYSTEM SPEC

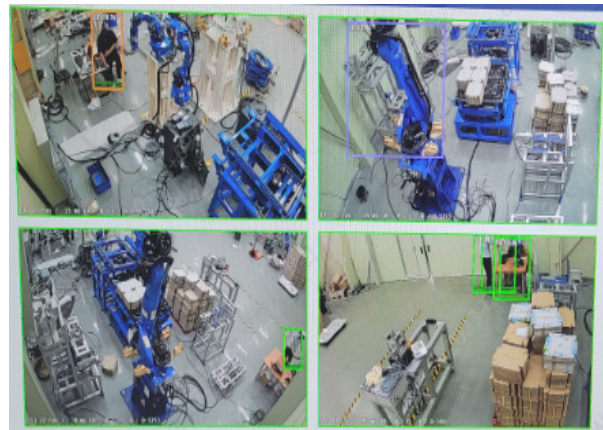
no	item	spec
1	CPU	Intel i5-12400F
2	GPU	NVIDIA Geforce 1650Ti
3	Memory	DDR4 16G
4	storage device	SSD 512G
5	operating system	Window 11

적용된 YOLO 알고리즘은 공개된 YOLO v2 사용하였 다. 기존의 YOLO v2에서는 움직이는 로봇을 사람으로 인식하는 경우가 종종 발생 하였으며, 이를 해결하기 위하여 별도로 로봇 클래스를 추가하고 이의 학습을 위하여 150 장여장의 로봇 이미지들에 대한 레이블링을 진행하였고 VOC 2007+2012 데이터 셋과 함께 학습시켰으며 이를 YOLO v2+로 하여 적용하였다. 그림 5는 학습에 사용한 다양한 형태의 로봇 이미지들을 나타내었다. YOLO v2+에서는 사람과 로봇을 명확하게 구분되는 것을 확인 할 수 있었다. 실제 구현된 시스템에서 YOLO v2와 YOLO v2+의 처리 시간을 비교하면 각각 89.2[ms], 103.5[ms]가 소요되었다. 실제 작업환경을 구성하고 로봇에 2명의 작업자가 진입하여 머무르는 시나리오를 사용해 촬영된 0.5 초 마다 촬영된 60장 영상에 대해 검출 성능(AP)을 계산 하면 각각 0.76, 0.80으로 개선된 것을 확인 할 수 있다.

추가적으로 복잡하고 다양한 환경 에서는 필요시 추가 학습을 통해 문제점을 보완할 수 있는 것도 확인 할 수 있었다.



[Figure 5] Robot images for YOLO training



[Figure 6] Results of object detection: YOLO v2+ (with a robot class)

<Table 5> Experiment method

no	item	Experiment conditions	Result
1	Left Walk	Normal walk	OK
2	Right Walk	Normal walk	OK
3	Left Walk	Walking with a box	OK
4	Right Walk	Walking with a box	OK
5	Left Walk	walking with cleaning supplies	OK
6	Right Walk	walking with cleaning supplies	OK
7	Left Walk	walking with tools	OK
8	Right Walk	walking with tools	OK
9	Left Walk	walking with a cart	OK
10	Right Walk	walking with a cart	OK

이외 다양한 상황을 연결하여 작업자의 검출 결과를 확인 하였으며 상황별 검출률은 100%로 확인 하였다. (<Table 6> KOTCA test report reference)

다양한 작업자의 움직임에 실험하여 상호 보완된 시야를 가지는 여러 대의 카메라를 사용하여 실험을 진행하였다.

그림 8은 구현된 시스템에서는 설정 영역별 기능 및 작업자 감지와 위험 영역에서 작업자 감지를 수행하는 상태를 나타낸 것이다.

그림 9는 설정된 영역에 진입하는 다양한 작업자의 움직임에 대해 작업자를 감지하였다. 100회 이상의 실험에서 모두 안정적으로 설정된 작업 영역에 대한 작업자 감지를 성공함으로 구현된 시스템이 작업자 안전을 안정적으로 제공함을 확인할 수 있었다.



YOLO v2+(with a robot class)

[Figure 7] Experiments of Object Detection:
 YOLO v2+(with a robot class)

정확한 검증을 위해 한국시험인증원을 통해 시험 의뢰

했으며, 결과는 100% 작업자 검출에 성공 하였다

<Table 6> KOTCA test report

구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
1	SW 영역에 따른 인체 감지성능	100%	95% 이상	Pass



[Figure 8] The implemented system: (A) safe zone, (B) Warning zone, (C) Slow zone, (D) emergency zone



[Figure 9] Emergency zone Object Detection

4. 결론

본 논문은 제조업 현장의 로봇 작업환경에서 작업자의 안전을 확보하기 위한 안전시스템으로 주변 간섭 및 시각 지대를 없애기 위해 여러대의 카메라를 여러방향, 여러각도에서 촬영 하였으며 YOLO v2+ 알고리즘을 통하여 작업자의 위치를 검출 하였다. 검출 위치에 대한 설정 및 영역설정에 대한 방법 등을 제안 하고 있다.

로봇의 작업 환경에서 실험을 통하여 YOLO 알고리즘의 성능평가 및 작업자 검출 유/무에 대한 판별로 안전시스템의 성능도 함께 평가 하였으며 작업자의 안정적 검출을 통해 한 단계 더 안전한 작업 환경을 구축하였다.

작업장에서 움직이는 로봇을 작업자로 오검출하거나 영역 설정에 따른 중복 검출 등의 문제점은 개발초기 단계에서 로봇을 AI 딥러닝 학습을 통해 해결 하였다.

최종목표는 산업용 로봇 이외에 끼임사고 현장에 적용할수 있도록 안전시스템을 보완하고자 한다. 본 안전시스

저자 소개



김진배
 2022년 2월 : 호서대학교 융합기술학과(공학사).
 2023년 8월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원나노융합기술학과 재학중.
 2019년 6월 ~ 현재 : (주)아라 대표이사
 관심분야 : 로봇, 경영학, 자동화, 안전 시스템



권순현
 2022년 2월 : 호서대학교 융합기술학과(공학사).
 2023년 8월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원나노융합기술학과 재학중.
 2019년 6월 ~ 현재 : (주)아라 상무이사
 관심분야 : 로봇 자동화, 공장 자동화, 현장 재해방지 시스템



이만수
 호서대학교 안전공학과 석사, 박사를 취득 하였으며 기업체에서 20여년간 안전, 환경, 소방분야 실무 경험이 있으며, 기업체 안전 진단 및 전문강사, 겸임교수를 거쳐 현재는호서대학교 안전공학과, 나노융합기술대학원 교수로 재직 중이다.

템을 설치함으로 안전 확보는 물론이고 추가적인 안전장치에 들어가는 비용을 절감할 수 있다.

5. References

- [1] 2022년 고용노동부 산업재해 현황 부가통계.
- [2] 산업안전보건 기준에 관한규칙 13절 산업용 로봇.
- [3] Y. Kortli, M. Jridi, A. A. Falou, M. Atri(2018, April), "A comparative study of CFs, LBP, HOG, SIFT, SURF, and BRIEF for security and face recognition." Proceedings Volume 10649, Pattern Recognition and Tracking XXIX; 106490M. doi: 10.1117/12.2309454
- [4] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik(2016, January), "Region-based Convolutional Networks for Accurate Object Detection and Segmentation." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 38(1):142-158.
- [5] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi(2016, June), "You only look once: Unified, real-time object detection." 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). pp. 779-788.
- [6] J. Lee, H. Davari, J. Singh, V. Pandhare(2018, September), "Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems." Manufacturing Letters, 18:20-23.