

RGB-D 카메라기반 지정구역 접근 감지 시스템 개발

(Development of an RGB-D Camera-based Zone Intrusion Detection System)

정철우[†], 김성호[†], 이호준[‡], 석수영[†], 황상호^{*†}

[†](재)경북IT융합산업기술원, [‡]썬에이아이트론

(Cheol-Woo Jung, Sungho Kim, Hojun Rhee, Soo-Young Suk, Sang-Ho Hwang)

([†]Gyeongbuk Institute of IT Convergence Industry Technology (GITC), [‡]AITRON)

Abstract : In this paper, we propose a zone intrusion detection system based on an RGB-D camera. The proposed system generates a 3D map from the RGB-D video of the monitored area specified by the administrator, using the YOLO algorithm and depth information, to determine the access status of individuals. The 3D map is synthesized by combining relative coordinates within the camera's installed area, camera Field Of View (FOV) information, and input depth information. If there is an overlap between individuals detected within the designated zone set by the administrator, a warning is issued through alarms installed on-site or notifications sent to the administrator. Furthermore, since the proposed system is based on YOLO for intrusion detection, it enables object recognition based on specific workwear or features, allowing for determining whether designated workers are present and enabling features such as assigning access levels based on work skill levels.

Keywords : RGB-D, 3D map, detection system, YOLO

1. 서론

가설 구조물, 굴착 사면, 물류 창고와 같은 공간에서는 많은 건설 현장이나 기계, 중장비 등이 있는 공장 등과 같은 장소에서는 비숙련 작업자(무경험자, 저 숙련자, 노령층 등)가 다루어 접근하여 사고가 발생하는 경우가 많다. 따라서 이러한 비숙련 작업자에게는 안전사고를 방지하기 위해서는 이들 구역에 대한 접근 통제 및 작업자의 관리 감독이 중요하다. 하지만 이러한 통제 및 관리 감독에도 불구하고 작업자 또는 비숙련 작업자들에 의한 안전사고는 끊임없이 일어나고 있다[1, 2].

이러한 안전사고를 감소시키기 위해 근접 센서나 적외선 센서 등을 활용하여 작업자의 위험 구역

접근을 감지하고 시각적인 경고 또는 청각적인 경고를 통해 안전사고를 예방하는 기술이 현장에 적용되고 있다. 그러나 이러한 센서들은 측정 각도와 거리의 제약으로 인해 작업자의 모든 동선을 감지하기 어렵다는 문제점이 있으며 개별적인 작업자를 식별할 수 없어 허가된 작업자의 접근에 대해서도 경고가 발생하는 경우가 종종 있어 작업 현장에서 적절한 관리와 감독을 방해하는 요소로 작용한다.

본 연구에서는 RGB-D카메라에 기반한 지정구역 침입 감지 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 관리자가 지정한 모니터링 공간에 대한 RGB-D 영상에서 YOLO 알고리즘 및 깊이 정보에 기반하여 3D맵을 생성하고 작업자에 대한 접근여부를 판단한다. 3D맵은 카메라가 설치된 구역 내 상대 좌표 및 카메라 FOV(Field Of View) 정보 및 입력되는 깊이 정보를 합성하여 생성한다. 관리자에 의해 설정된 지정 구역 내 작업자가 중첩이 되면 관리자 또는 현장에 설치된 알람을 통해 경고를 출력한다. 또한 제안하는 시스템은 YOLO에 기반하여 진입을 감지하기 때문에 특정 작업복 또는 특징에 기반하여 객체 인식이 가능하기 때문에 지정 작업자 유무를

*Corresponding Author (shhwang@gitc.or.kr)

정철우 김성호, 석수영, 황상호: (재)경북IT융합산업기술원
이호준: 썬에이아이트론

※ 본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 기술개발 사업 지원에 의한 연구임 [S3367929]

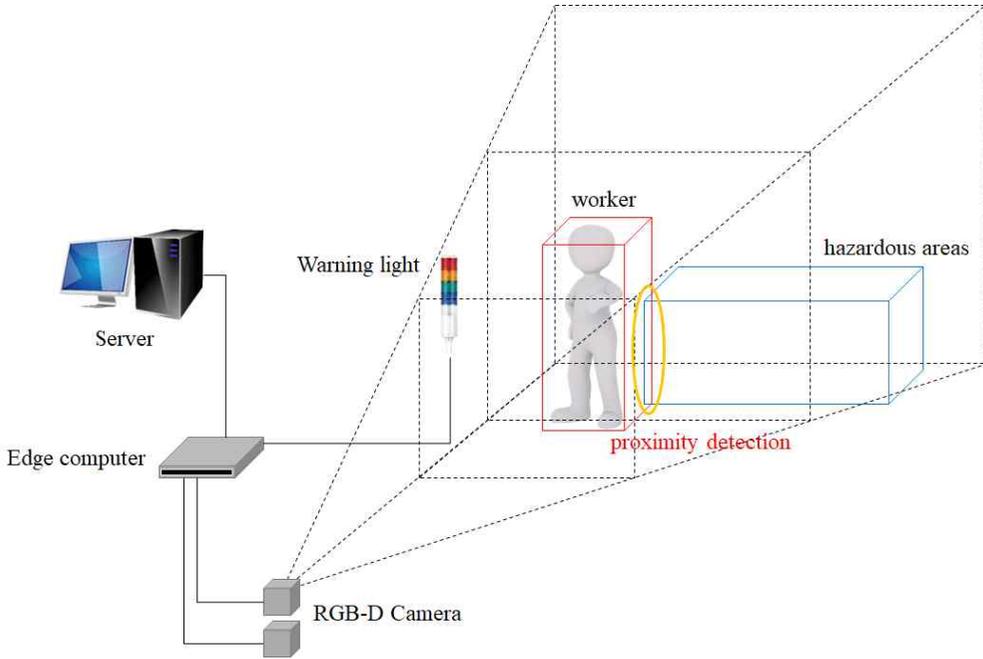


그림 1. RGB-D 카메라기반 지정구역 접근 감지 시스템
 Fig. 1. RGB-D Camera-based Zone Intrusion Detection System

판단할 수 있어 숙련자별 출입 레벨 지정 등이 가능한 특징이 있다.

II. 지정구역 접근 감지 감시 시스템 구현

1. 지정구역 접근 감지 시스템 구조

제안하는 지정구역 접근 감지 시스템은 RGB-D 카메라, 엣지 컴퓨팅 모듈, 모니터링 장치, 작업자 탐지 인공지능 모델, 관리 서버, 위험 알람 장치로 구성된다.

- ① RGB-D 카메라: 스테레오, TOF 또는 LiDAR와 같은 기술을 사용하여 RGB 영상과 함께 거리(depth) 정보를 출력하는 카메라
- ② 엣지 컴퓨팅 모듈/장치: RGB-D 카메라를 통해 영상을 수집하고 작업자 탐지 인공지능 모델을 사용하여 실시간으로 작업자를 감지하고 위험 지역 접근 분석을 수행
- ③ 모니터링 장치: RGB-D 카메라의 영상 및 작업자 탐지 결과 등을 확인하는 장치
- ④ 작업자 탐지 인공지능 모델: 작업자를 감지하기 위해 인공지능을 활용하는 모델로서 두 가지 형태의 작업자를 감지하는 모듈
- ⑤ 관리 서버: 엣지 컴퓨팅 장치 및 위험 알람

장치 등 시스템 내의 장비를 관리하고 각 엣지 컴퓨팅 장치 내에서 위험 지대를 설정하는 기능을 담당

- ⑥ 위험 알람 장치: 엣지 컴퓨팅 장치가 담당하는 위험 지역 내에서 작업자가 감지될 때 작업자와 감독관에게 경고를 알리는 장치

2. 3D맵 생성 및 접근 감지 모듈 구현

엣지 컴퓨팅 장치는 연결된 RGB-D 카메라의 수만큼의 3D 형태의 맵을 가지고 있으며, 이 맵은 RGB-D 카메라와 연동되어 있다. 3D 맵은 RGB-D 카메라의 영상에서 상대 좌표 (x, y, z)를 가진다. x와 y 상대 좌표는 depth에 따른 수식 1로 결정된다.

$$x = \frac{pos_x - center_x}{width} \times depth \times \tan(fov_w/2)$$

$$y = \frac{pos_y - center_y}{height} \times depth \times \tan(fov_h/2)$$
(1)

수식 1에서 pos_x 와 pos_y 는 영상내 좌표이며, $center_x$ 와 $center_y$ 는 영상의 중점, $width$ 와 $height$ 는 영상의 너비 및 높이, $depth$ 는 깊이에 해당한다.

3D 맵에서 위험 지역은 관리 서버를 통해 각 엣지 컴퓨팅 장치에 설정될 수 있으며, 위험 지역은 (x, y, z)로 구성된 점들로 이루어진 입체 도형으로 다양한 형태를 가질 수 있다. 위험 지역에는 두 가지 종류가 있는데 첫 번째는 모든 작업자가 출입이 금지된 지역이고, 두 번째는 특정 작업자(특정 헬멧 또는 작업복을 착용한 작업자)만 출입이 허용되는 지역이다. 엣지 컴퓨팅 장치에서는 매 프레임마다 YOLO기반의 작업자 감지 모델로부터 생성된 육면체 모양의 사람 영역과 설정된 위험 지역이 겹치는지 검사하고, 그 결과에 따라 작업자에게 위험 알람을 한다. 그림 2는 구현된 영상의 예를 보여주고 있다.



그림 2. 구현한 지정구역 접근 감지 시스템의 동작
Fig. 2. Operation of the Zone Intrusion Detection system

그림 2는 3D맵을 생성한 것을 보여주고 있으며 해당 영상에서 노란색 박스는 감지된 작업자이고 흰색 박스는 지정구역을 보여주고 있다. 엣지 컴퓨팅 모듈은 두 박스 간 충돌을 감지하고 그 결과를 알람 해준다. 제안하는 지정구역 접근 감지 시스템 2D기반의 영상에 기반한 YOLO 객체 탐지를 활용하여 3D맵을 생성하기 때문에 3D영상기반 객체 탐지 알고리즘 모델에 비해 속도가 빠른 장점이 있다. 이는 자원이 작은 엣지 컴퓨터에도 적용할 수 있는 장점이 있다.

III. 결론

본 연구에서는 RGB-D카메라에 기반한 지정구역 침입 감지 시스템을 구현하였다. 논문에서 제안하는 침입 감지 시스템은 RGB-D카메라에 기반하여 지정된 구역에 작업자의 접근을 감지하는 시스템으로, YOLO 알고리즘 및 깊이 정보에 기반하여 3D맵을 생성하고 작업자에 대한 접근여부를 판단한

다. 또한 구현한 시스템은 YOLO에 기반하여 진입을 감지하기 때문에 특정 작업복 또는 특징에 기반하여 객체 인식이 가능하여 숙련자별 출입 레벨 지정 등이 가능하다. 추후 PTZ카메라에서 활용할 수 있도록 성능을 개선할 예정이다.

References

- [1] Liu, Mengnan, et al. "Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications." *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp.346-361, 2021.
- [2] Hou, Lei, et al. "Literature review of digital twins applications in construction workforce safety." *Applied Sciences* vol. 11, No. 1, 339, 2020