

산업 재해 대응: 위험 물체 제거를 위한 로봇 솔루션 설계 및 구현

정보성, 배예은, 나동욱, 조수아, 최희주, 채승호*

한국공학대학교

jbs4587@naver.com, *shchae@tukorea.ac.kr

Industrial Accident Response: Design and Implementation of Robotic Solutions for Hazardous Object Removal

Boseong Jung, Yeeun Bae, Donguk Na, Sua Jo, Heeju Choi, Seong Ho Chae*

Tech University of Korea

요약

본 논문에서는 산업 재해 현장에 적용 가능한 인공지능 모델 YOLO(You Only Look Once)와 ROS(Robot Operating System)를 기반 위험 물체 제거 로봇 솔루션을 제안하고 실제 프로토타입을 구현한다. 제안된 로봇의 주요 기능으로는 사용자가 지정한 위치로 경로를 생성하여 자율 주행하는 내비게이션(Navigation) 모드와 키보드 입력을 통한 수동 주행 모드가 있다. 또한, 주행 중 카메라를 통해 산업 위험 물체를 인식 및 감지하여 로봇 팔로 수거하는 기능을 포함한다. 이러한 기능들은 하나의 UI(User Interface) 화면을 통해 편리하게 이용가능하다. 이와 같은 로봇의 도입은 사람이 사람이 직접 접근하기 힘든 위험한 산업 재해 현장에서 원격으로 산업 위험 물체 수거를 가능하게 함으로써, 사용자의 안전성을 향상시킬 수 있다.

I. 서론

2022년 ‘중대재해처벌법’의 시행과 함께, 산업재해 예방 및 근로환경 개선을 목적으로 반도체 제조 공장 등과 같은 산업현장을 중심으로 위험물질 제거 로봇의 도입이 빠르게 확산되고 있다[1]. 산업현장은 화학물질, 방사성 물질, 폭발물, 가연성 물질, 생물학적 위험 물질 등 다양한 위험 물질들로 구성된 물체들이 존재하며, 산업 재해 발생시 사람의 직접 투입을 통한 위험 물질 제거 작업은 추가적 인명사고를 발생시킬 수 있다.

현재, 산업 현장에서 시범 운용 중인 위험 물질 제거 로봇들은 고속 흡입 방식을 통해 미세 먼지 및 입자들을 효과적으로 제거하고 있지만, 상대적으로 부피가 큰 위험 물체는 처리하지 못하는 한계가 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 산업현장의 위험 물체 제거를 위한 로봇 팔을 활용한 로봇 솔루션을 제안하고, 실제 프로토타입을 제작하여 구현 가능성을 검증한다.

II. 시스템 구성

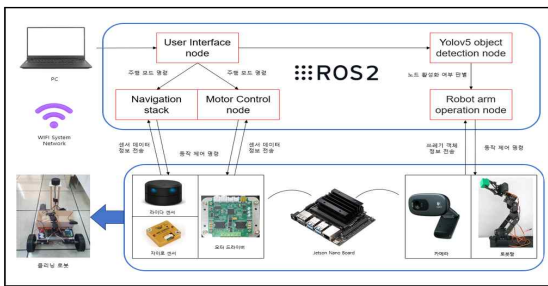


그림 1. 산업현장 위험물체 제거 로봇 시스템 구성도

그림 1은 제안하는 WIFI 네트워크 기반 산업현장 위험 물체 제거 로봇의 전체 구성도 및 동작도를 보여준다. 해당 로봇은 동작 모드(mode)로 내비게이션(Navigation) 모드와 수동 주행 모드를 가지며, 수동 주행 모드는 원격 PC의 키보드를 통한 제어를 의미한다. 제안된 산업현장 위험 물체 제거 로봇 시스템은 NVIDIA의 Jetson nano 제어 보드, DC 모터 제어를 위한 모터 드라이버, 주행 환경 인식을 위한 G4 라이더(LiDAR)와 자이로(Gyro) 센서, 위험 물체 인식을 위한 카메라, 그리고 위험 물체를 집기 위한 로봇 팔로 구성된다. Jetson nano는 PC 서버와의 데이터 송수신을 수행하며, PC 서버로부터 수신한 로봇의 동작 제어 신호를 모터 드라이버에 전달한다. 개발된 산업현장 위험 물체 제거 로봇 시스템의 구체적인 세부 동작 및 기능은 다음과 같다.

이러한 기능들은 하나의 UI(User Interface) 화면을 통해 편리하게 이용가능하다. 이와 같은 로봇의 도입은 사람이 사람이 직접 접근하기 힘든 위험한 산업 재해 현장에서 원격으로 산업 위험 물체 수거를 가능하게 함으로써, 사용자의 안전성을 향상시킬 수 있다.

1) [사용자 인터페이스를 통한 동작 모드 선택] 위험 물체 제거 로봇은 WIFI를 기반으로 원격 PC 서버와 통신한다. 사용자는 PC의 사용자 인터페이스(UI)를 통해 위험 물체 제거 로봇의 동작 모드(내비게이션, 수동 주행)를 선택할 수 있다. 사용자가 선택한 동작 모드에 대한 제어 명령은 ROS 네트워크를 통해 PC 서버에서 위험 물체 제거 로봇으로 전송된다. 사용자 인터페이스에서 새로운 동작 모드를 요청하면, 현재 수행 중인 작업이 중지되고 새로 선택된 동작 모드가 실행된다.

2) [Map 기반 내비게이션 모드] 위험 물체 제거 로봇의 내비게이션 모드는 수신된 라이더 센서 데이터를 기반으로 주변 장애물을 감지하고, 로봇을 해당 위험 물체 위치까지 자율적으로 이동시키는 기능을 제공한다. 자율 주행을 위해 위험 물체 제거 로봇은 운용 장소에 대한 상세한 지도 정보가 필요하며, 이를 위해 ROS의 Cartographer 패키지와 라이더, 자이로 센서를 사용하여 Simultaneous Localization And Mapping(SLAM)을 구현하였다. 내비게이션 모드가 활성화되면, 위험물체 제거 로봇은 SLAM을 활용하여 사전에 저장된 지도 정보를 불러와 현재 위치를 추정 후, 설정된 위험 물체 위치인 목적지까지의 최적 경로를 계산하고 라이더 센서를 이용해 주변 장애물과의 거리를 측정하여 충돌을 회피하며 주행한다. 목적지를 연속적으로 설정하면, 로봇이 자동으로 형성된 최적 경로를 따라 이동하게 된다.

3) [수동 주행 모드] 위험 물체 제거 로봇의 수동 주행 모드는 PC 서버의 키보드 입력을 통해 로봇을 직접 제어를 가능하게 한다. 카메라에 감지된 산업 위험 물체를 수거하기 위해 사용자는 PC의 사용자 인터페이스에서 키보드를 이용해 로봇의 이동 방향과 속도를 조정할 수 있다. 키보드 입력에 따른 제어 신호는 ROS 네트워크를 통해 PC 서버에서 로봇으로 전송되며, 로봇은 이를 실시간으로 수신하여 움직임을 조정한다. 수동 주행 모드 실행 시에는 내비게이션 기능이 비활성화되며, 사용자가 직접 조작하여 로봇을 원하는 위치로 이동시킨다.

4) [위험 물체 감지 기능] 로봇은 지정된 경로 주행 중 카메라를 상시 활성화하여 실시간으로 주변 환경을 모니터링하고, 위험 물체들을 감지한다. 로봇에 장착된 카메라로 수집된 영상은 0.1초 단위로 캡처되어 이미지 형태로 PC 서버에 HTTP 포트를 통해 스트리밍된다. 이를 통해 사용자는

PC 서버에서 로봇의 주행 상황을 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 위험 물체 제거 로봇은 YOLOv5 (You Only Look Once version 5) 인공지능 객체 인식 모델을 활용하여 스트리밍 되는 영상을 분석하고, 사전에 학습된 위험 물체 데이터를 기반으로 위험 물체 객체의 존재 여부를 판별한다. YOLOv5는 높은 정확도와 실시간 객체 탐지 성능을 제공하며 빠른 이미지 처리를 가능하게 해주는 인공지능 모델이다.

객체 인식 과정은 다음과 같다. 로봇이 주행하면서 실시간으로 수집된 JPEG 형식의 데이터는 TCP/IP 프로토콜을 이용한 소켓 통신을 통해 YOLOv5가 구동되는 PC 서버로 송신된다. YOLOv5 모델은 수신된 이미지와 학습된 산업 위험 물체 객체 데이터를 비교하여 일치하는 객체를 식별한다. 객체가 감지되면 사용자에게 알림을 전송하고, 사용자는 이를 바탕으로 로봇이 해당 위치의 산업 위험 물체를 수거하도록 추가 명령을 내릴 수 있다. 이를 통해 위험 물체 제거 로봇은 자율적으로 주행하면서 주변 환경을 모니터링하여 산업 위험 물체를 효과적으로 탐지할 수 있다.

5) [산업위험물체 수거 기능] 로봇으로부터 위험 물체 감지 알림을 받은 사용자는 동작 모드를 수동 주행 모드로 전환하여 로봇을 감지된 산업 위험물체 위치로 이동시킨 후 위험 물체를 수거한다. 로봇이 산업 위험 물체 근처에 도착했을 때 사용자가 인터페이스의 '수거' 버튼을 누르면, 장착된 로봇 팔이 위험 물체를 자동으로 수거할 수 있다. 로봇 팔의 제어 명령은 ROS 네트워크를 통해 PC 서버에서 로봇으로 전송되며, 로봇 팔은 미리 설정된 작업 절차에 따라 동작한다. 수거 작업이 완료되면, 로봇은 다음 명령을 대기하는 상태로 전환된다. 이러한 기능은 사용자와 로봇 간의 효율적인 협업을 통해 보다 효과적인 산업 위험 물체 수거를 가능하게 한다.

III. 시스템 구현 결과

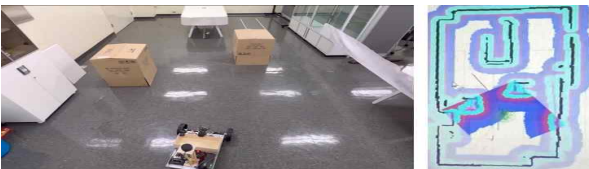


그림 2. 모의 환경과 내비게이션 주행 경로

그림 2는 가로 3m, 세로 8m 크기의 모의 환경과 이에 대한 내비게이션 모드 실행 화면을 보여준다. 해당 화면은 2D 라이다 센서를 이용해 SLAM 기반의 지도 정보를 저장한 후, 내비게이션 모드로 주행을 시작한 화면이다. 지도에서 산업 위험 물체가 위치하는 목적지를 선택하면, 로봇은 장애물을 회피하면서 목적지까지의 최적 경로를 생성해 이동한다. 지도에서 검은색은 이동이 불가능한 점유 영역, 흰색은 이동이 가능한 주행 영역, 초록색은 현재 로봇의 위치를 뜻하며 파란색 영역을 통해 현재 로봇이 감지하고 있는 영역과 불러온 지도가 매칭이 잘 이루어지는지를 확인할 수 있다. 로봇에 장착된 카메라를 통해 현재 로봇의 상황을 실시간으로 모니터링할 수 있으며, 수동 주행 모드로 전환 시에는 사용자는 PC 서버의 키보드 입력으로 로봇의 이동을 직접 제어할 수 있다. 수동 주행 모드 테스트 결과, 네트워크 사용자 수에 따라 반응 속도에 지연이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 산업 현장 위험 물체 제거 로봇 전용 네트워크를 구축한 결과, 사용자의 제어 명령에 대한 로봇의 반응 시간이 평균 1초 이내로 단축되었다. 이는 로봇의 방향 및 속도 조절이 원활하고, 사용자 제어에 대한 민감도가 높은 수준임을 의미한다.

그림 3은 산업현장 위험물체 제거 로봇의 카메라로 촬영한 영상을 스트리밍하는 화면에 산업위험물체 사진을 커스텀(custom)하여 학습한 파일을 이용하여 실시간 객체 인식을 수행한 결과를 보여준다. 커스텀 데이터

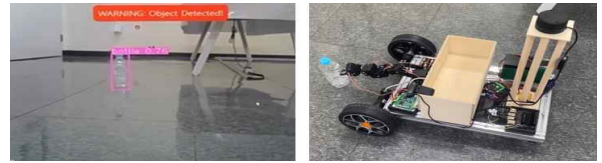


그림 3. 객체 탐지 결과 및 위험 물체 제거 동작

로 학습한 모델은 높은 정확도로 위험 물체를 감지하였으며, 객체 탐지의 평균 지연 시간은 약 0.3초(300ms)이다. 모의 환경 내에 배치된 다양한 위험 물체 객체를 인식하는 데 있어 위험 물체의 형태와 크기에 상관없이 균일한 정확도를 유지하는 것을 확인하였다. 로봇이 감지된 위험 물체 위치로 이동한 후, 사용자 인터페이스의 '수거' 버튼으로 로봇 팔을 이용해 위험 물체를 수거하는 기능도 정상적으로 작동하였다.



그림 4. 사용자 인터페이스 화면과 위험 물체 제거 로봇

그림 4는 산업현장 위험물체 제거 로봇을 편리하게 조작할 수 있도록 설계한 사용자 인터페이스 화면 구현 결과와 실제 제작된 위험물체 제거 로봇의 프로토타입을 보여준다. 사용자는 해당 인터페이스를 통해 로봇의 모든 기능을 손쉽게 이용할 수 있다. 로봇의 동작 모드를 선택할 수 있는 사용자 인터페이스는 직관적인 버튼들로 구성되어 있으며, 내비게이션 모드와 수동 주행 모드를 원활하게 전환할 수 있다. 시스템이 시작된 후, 'Navigation' 버튼을 선택하면 저장된 지도가 열리며, 특정 위치를 선택하면 로봇이 해당 위치로 자율 주행한다. 'Teleoperation' 버튼을 선택하면 키보드를 사용하여 사용자가 로봇을 수동으로 제어할 수 있다. 'Camera' 버튼을 통해 로봇의 현재 주행 상황을 실시간 화면으로 확인할 수 있고, 'Robot arm' 버튼을 사용해 위험 물체를 수거할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 YOLO와 ROS를 활용한 산업 위험 물체 제거 로봇 시스템을 설계하고 실제 프로토타입을 구현함으로써 실현 가능성을 검증하였다. 제안된 시스템은 산업 위험 물체 발생 지점까지 자율 주행하는 내비게이션 모드에서 실시간으로 영상 수집하고 객체 데이터를 검출하는 기능을 제공한다. 또한, PC 서버에서의 수동 조작으로 산업 위험 물체까지 수거하는 기능을 제공함으로써, 사람이 접근하기 어려운 산업 현장에서 효율적이고 안전한 산업 위험 물체 처리를 가능하게 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-학·석사연계ICT핵심인재양성의 지원(IITP-2024-RS-2022-00156326, 50%)과 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2024-RS-2020-II201741, 50%)

참 고 문 헌

[1] <https://www.industrynews.co.kr>
 [2] https://design.ros2.org/articles/node_lifecycle.html
 [3] <https://automaticaddison.com/>