

# 2D-3D 맵 통합 기술을 이용한 자율주행 순찰 로봇 구현

이유진, 박선영, 박효진, 한찬호

경북대학교

dbwlsdl7070, tjsdudgussla, p031216, ch.han@knu.ac.kr,

## Implantation of Autonomous Patrol Robot Utilizing 2D-3D Map Integration Technology

Yu-Jin Lee, Seon-Yeong Park, Yo-Jin Park and Chan-Ho Han

Kyungpook University

### 요약

본 논문은 물류 및 제조 공장에서 활용 가능한 자율주행 순찰 로봇 시스템을 제안한다. 이 시스템은 2D 및 3D 맵 통합 기술과 이상 감지 시스템을 기반으로 설계되었으며, 스마트 공장 환경에서의 안전성과 효율성 극대화를 목표로 한다. 하드웨어 측면에서 Jetson Nano를 중심으로 RGB-D 카메라와 2D LiDAR를 통합하여 주행 환경 데이터를 실시간으로 수집하고 처리한다. 소프트웨어 측면에서는 ROS 기반으로 SLAM을 수행하여 2D 및 3D 맵을 병합하고, 이를 통해 자율주행 경로 계획과 장애물 회피를 구현한다. 또한, YOLOv5 모델을 활용한 인공지능 기반 이상 감지 시스템을 통해 사람, 조명 상태 등 주요 객체를 실시간으로 탐지하고 경고를 제공한다. 실험 결과, 개발된 로봇은 정밀한 지도 작성, 안정적인 주행 성능, 및 이상 상황 대응 능력을 성공적으로 입증하며, 순찰 업무 자동화와 스마트 관리 체계 구축에 기여할 가능성을 확인하였다.

### I. 서론

현대 물류 및 제조 공장은 효율적인 운영과 안전한 관리가 필수적이다. 기존의 순찰 업무는 주로 인력에 의존하여 수행되었으며, 이는 효율성, 연속성, 그리고 작업자의 안전 측면에서 한계를 드러낸다. 특히, 야간이나 위험 구역에서의 순찰은 높은 리스크를 동반하며, 비용 또한 증가한다. 이에 따라, 자율주행 로봇을 활용한 순찰 자동화 기술이 스마트 공장 관리 시스템 구축의 핵심 요소로 주목받고 있다. 자율주행 로봇은 24시간 연속 작업이 가능하며, 장애물 회피, 이상 상황 감지, 그리고 경로 최적화와 같은 고도화된 기능을 제공한다. 또한, 로봇이 생성한 2D 및 3D 맵 데이터를 통합하여 관리자에게 실시간 공장 내부 상황을 시작적으로 제공함으로써, 공장 관리의 효율성과 정확성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 물류 및 제조 공장을 위한 자율주행 순찰 로봇 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 2D 및 3D 맵 통합 기술과 인공지능 기반 이상 감지 시스템을 결합하여 설계되었으며, 이를 통해 정밀한 지도 작성, 이상 감지, 자율주행, 그리고 관리자 인터페이스 제공을 구현한다. 본 연구는 스마트 공장 환경에서의 순찰 업무 자동화와 운영 효율성 향상에 기여할 것으로 기대된다[1].

### II. 본론

#### 2.1 로봇 환경 구성

본 연구에서는 ROS 1을 기반으로 다양한 센서 데이터를 통합하고, 자율 주행 및 이상 감지 알고리즘을 구현하였다. 사용된 모바일 로봇은 차동 구동형 로봇으로 센서 데이터를 처리하는 주요 SBC인 Jetson Nano, 3D 환경 정보 수집 및 객체 탐지를 위한 RGB-D 카메라(Femto Bolt), 위치 인

식 및 장애물 감지를 위한 2D LiDAR 센서, 자세 추정을 위한 IMU 센서, 안정적인 주행을 위한 모터 드라이버와 휠을 포함한다.

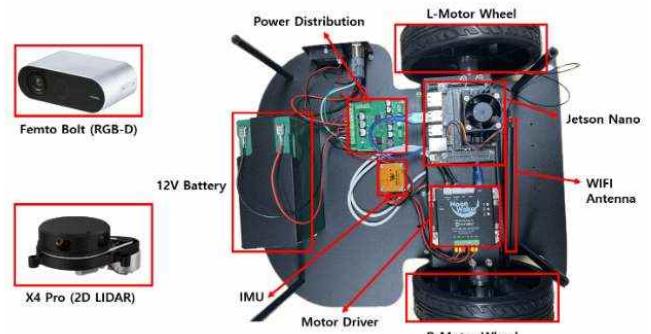


그림 1. 자율주행 로봇 하드웨어 구성도

Fig. 1. Autonomous robot hardware block diagram

#### 2.2 시스템 통신 구조

본 연구에서 설계한 자율주행 순찰 로봇의 시스템 통신 구조는 ROS 1 기반으로 구성되었으며, Jetson Nano와 원격 PC가 유선 LAN 네트워크로 연결되어 데이터를 주고받는다. Jetson Nano는 ROS Master로 설정되어 센서 데이터를 발행하며, 2D LiDAR와 IMU로부터 수집된 환경 데이터를 ROS 토픽(/scan, /imu)으로 원격 PC로 전송한다. 원격 PC는 ROS 네트워크를 통해 센서 데이터를 구독하고 SLAM 및 네비게이션 알고리즘을 실행하여 로봇의 위치를 추정하고 최적의 주행 경로를 계산한다. 계산된 경로와 제어 명령은 ROS 메시지를 통해 Jetson Nano로 전달되며, Jetson Nano는 이를 기반으로 모터 드라이버를 제어하여 로봇의 이동을

수행한다. Jetson Nano와 원격 PC 간의 통신은 ROS 환경 변수(ROS\_MASTER\_URI, ROS\_HOSTNAME)를 설정하여 구성되며, 각각 IP 주소 192.168.0.1과 192.168.0.2를 사용하여 데이터 흐름을 안정적으로 유지한다. 유선 LAN 네트워크는 대용량 데이터를 안정적으로 전송하고, 낮은 지연시간을 제공하여 SLAM 및 네비게이션의 실시간 처리를 가능하게 한다. 이러한 구조는 Jetson Nano가 기본적인 데이터 수집과 제어를 담당하고, 연산 부하가 큰 작업은 원격 PC에서 처리하도록 분산하여 시스템의 효율성과 안정성을 보장한다.

### 2.3 2D-3D 통합 맵 기반 전체 시스템 구축

본 연구에서는 자율주행 순찰 로봇의 환경 인식 정밀도를 향상시키기 위해 2D 및 3D 맵 데이터를 병합하여 통합 맵을 생성하였다. 2D 맵은 LiDAR 센서를 활용하여 생성된 거리 기반의 정밀한 평면 데이터를 제공하며, 3D 맵은 RGB-D 카메라를 이용한 깊이 정보와 Point Cloud 데이터를 포함하여 로봇의 주행 환경을 보다 입체적으로 표현한다. 그림 2는 Cartographer ROS를 활용한 2D SLAM 알고리즘으로 작성된 2D 지도를 나타낸다.

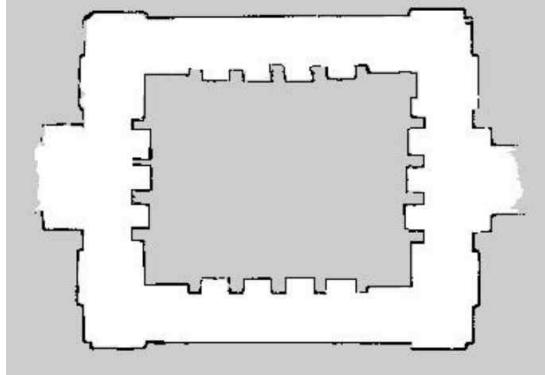


그림 2. 2D SLAM으로 얻은 2D 지도

Fig. 2. 2D Map Obtained Using 2D SLAM

맵 병합 과정은 다음과 같은 단계를 포함한다. 먼저, Cartographer ROS를 사용하여 LiDAR 데이터를 처리하고 실시간으로 2D Grid 맵을 생성한다. 동시에, RTAB-Map SLAM 알고리즘을 활용하여 RGB-D 카메라에서 Point Cloud 데이터를 수집하고 3D 맵을 작성한다. 생성된 3D 데이터는 RTAB-Map Viewer를 통해 .ply 형식으로 내보내지고, Python과 Open3D 라이브러리를 활용하여 데이터를 가공한다. 병합 단계에서는 Open3D를 통해 좌표 변환 과정을 수행하며, 오일러 행렬(Euler Transformation)을 적용하여 3D Point Cloud 데이터의 x,y,z 및 회전(rpy) 값들을 2D Grid 맵과 동일한 좌표계로 정렬한다. 변환 과정에서 발생하는 색상 손실 문제는 Open3D의 pcd.color 속성을 활용하여 보정하였다. 병합된 데이터는 Rviz를 통해 시각화되며, 최종적으로 2D와 3D 데이터를 결합한 통합 맵이 생성된다. 그림 3은 병합된 2D-3D 맵을 보여준다.

맵 병합의 정확성과 시스템의 성능을 검증하기 위해 Gazebo 시뮬레이션 환경을 활용하였다. Gazebo에서 URDF 파일을 통해 LiDAR와 RGB-D 카메라가 포함된 로봇 모델을 정의하고, ROS 플러그인을 사용하여 센서 데이터를 시뮬레이션하였다. 이 과정에서 RGB-D 카메라의 데이터를 1D LaserScan 데이터로 변환하여 주행 가능한 2D 맵을 생성하였다. RGB-D 카메라는 기본적으로 3D Point Cloud 데이터를 생성하며, 이는 입체적인 환경 이해에는 적합하지만, 로봇의 주행 경로 탐색과 같은 2D 기반 작업에서는 비효율적일 수 있다. 따라서, PointCloud2 데이터를 pointcloud\_

to\_laserscan 패키지를 사용하여 1D LaserScan 데이터로 변환하였고, 이를 통해 ROS 네비게이션 시스템이 필요한 2D 맵 형식으로 활용할 수 있었다. 변환된 1D 배열은 로봇의 Costmap 업데이트와 경로 계획의 기반 데이터로 사용된다.

Gazebo 시뮬레이션 환경에서는 RGB-D 카메라의 해상도, 시야각, 최대 감지 거리와 같은 파라미터를 조정하여 데이터 누락을 방지하고, 시뮬레이션에서 실제 환경을 최대한 재현하였다. 시뮬레이션을 통해 Costmap 업데이트 속도를 최적화하고, 주행 경로 탐색 및 장애물 회피 성능을 검증하였다. 이러한 Gazebo 기반 테스트는 통합 맵의 정합도를 보장하고, 실제 환경에서 발생할 수 있는 문제를 사전에 해결할 수 있는 기반을 제공하였다.

병합된 2D-3D 맵은 로봇의 경로 탐색과 장애물 회피를 지원하는 데 있어 중요한 역할을 한다. 2D 맵은 평면적 정밀도를 제공하여 경로 계획에 적합하며, 3D 맵은 높이와 깊이를 포함한 공간적 이해를 향상시킨다. 이 시스템은 ROS 네트워크를 통해 실시간으로 처리되며, 관리자 GUI를 통해 시각적으로 모니터링 할 수 있다. 특히, 병합 과정에서 데이터의 불필요한 중복을 줄이고 연산 부하를 최적화함으로써 시스템의 안정성과 효율성을 동시에 확보하였다. 이러한 접근법은 자율주행 로봇이 복잡한 공장 환경에서도 안정적이고 효율적으로 동작할 수 있는 기반을 제공한다.



그림 3. 2D, 3D 데이터 통합한 지도

Fig. 3. 2D Map Intergrated with 2D and 3D Data

### 2.4 이상 감지 시스템 설계

본 연구에서는 자율주행 순찰 로봇의 환경 인식과 이상 상황 탐지를 효율적으로 수행하기 위해 YOLOv5 객체 탐지 모델과 RGB-D 카메라 데이터를 기반으로 한 이상 감지 시스템을 설계하였다. 해당 시스템은 실시간으로 주요 객체를 탐지하고, 조명 상태와 같은 환경 정보를 분석하여 이상 상황을 관리자에게 알림으로써 공장 내 안전성을 강화한다.

이상 감지 시스템은 두 가지 주요 기능으로 구성된다. 첫째, YOLOv5 객체 탐지 모델을 활용하여 로봇의 주행 경로에서 사람과 같은 주요 객체를 실시간으로 탐지한다. RGB-D 카메라에서 수집된 데이터를 YOLOv5 모델에 입력하여 탐지 결과를 ROS 메시지로 발행하며, 사람이 탐지될 경우 "Human Detected!" 경고 메시지를 생성한다. 둘째, 조명 상태 감지 기능은 RGB-D 카메라 데이터를 OpenCV를 통해 처리하여 밝기 정보를 분석하고, 사전에 설정한 임계값과 비교하여 조명이 꺼짐("Light OFF") 또는 켜짐("Light ON") 상태를 판별한다. 이 정보는 ROS 토픽으로 발행되어 관리자 인터페이스를 통해 실시간으로 시각화된다.

그림 4는 이상 감지 시스템의 관리자 모니터링 화면을 나타내며, 실시간 객체 탐지 결과와 조명 상태를 시각적으로 확인할 수 있는 GUI를 제공한다. GUI는 실시간 객체 탐지 화면과 경로 정보를 표시하며, 관리자가 로봇

의 이상 감지 상태를 직관적으로 파악할 수 있도록 설계되었다. 또한, Waypoint 설정 기능을 통해 로봇의 목표 좌표를 지정하고, 경로 탐색 상태를 모니터링 할 수 있다.

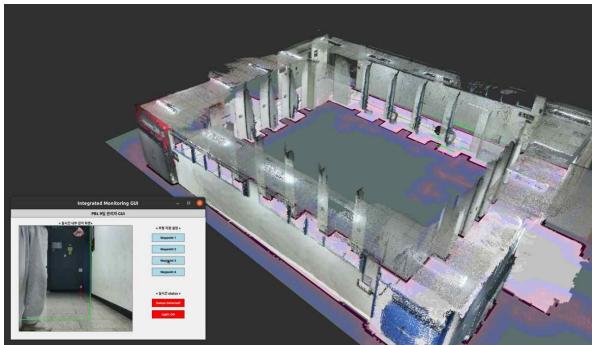


그림 4. 이상 감지 시스템 관리자 모니터링 화면

Fig. 4. Anomaly Detection System: Administrator Monitoring Interface

본 시스템은 ROS의 Launch 파일을 활용하여 모든 기능(카메라 실행, YOLOv5 모델 실행, 맵 테이터 로드, 네비게이션, GUI 실행)을 통합적으로 관리할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 사용자는 단일 실행 명령으로 복잡한 이상 감지 시스템과 자율주행 기능을 모두 실행할 수 있다.

## 2.5 실험

본 연구에서는 물류 및 제조 공장을 모사한 실내 환경에서 자율주행 순찰 로봇의 성능을 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 실험은 경북대학교 IT2호관 2층 복도를 기반으로 설정되었으며, 로봇은 GUI를 통해 설정된 Waypoint를 따라 이동하며 환경 데이터를 수집하고 이상 감지 기능을 수행하였다. 그림 5에 나타난 초기 위치에서 시작하여, 주행 경로 중 다양한 시나리오를 기반으로 시스템의 성능을 검증하였다.



그림 5. 로봇과 시작 지점

Fig. 5. Robot and starting point

실험 시나리오는 크게 네 가지로 구성되었다. 첫째, GUI에서 지정된 Waypoint를 따라 로봇이 안정적으로 경로를 탐색하며 이동하는 과정을 평가하였다. 둘째, 조명 상태 변화 감지 기능은 RGB-D 카메라와 OpenCV를 활용하여 조명 상태가 OFF에서 ON으로 전환되는 상황을 감지하고, 이를 실시간으로 관리자 GUI에 "Light ON" 메시지로 표시하였다. 셋째, YOLOv5 모델을 활용한 사람 객체 탐지 기능은 주행 경로에서 사람을 인식하고 "Human Detected!" 메시지를 출력한 뒤, 경로를 수정하여 충돌 없이 회피 주행을 수행하였다. 넷째, 장애물 회피 시나리오에서는 복도에 놓인 박스와 같은 장애물을 탐지하고 경로를 수정하여 최종 목적지에 도달하는 과정을 검증하였다.

실험 결과, 제안된 시스템은 모든 시나리오에서 안정적으로 작동하였다. Waypoint 기반 경로 탐색은 지정된 목표 지점까지 성공적으로 수행되었으며, 조명 상태 감지 기능은 조명 ON/OFF 상태 변화를 정확히 감지하고 GUI에 경고를 제공하였다. 또한, YOLOv5 모델은 사람 객체를 95% 이상의 정확도로 탐지하였으며, 로봇은 탐지된 데이터를 바탕으로 경로를 우회하여 안전한 주행을 완료하였다. 장애물 회피 기능 또한 복도 환경에서 장애물을 탐지하고 경로를 수정하여 안정적으로 최종 목표 지점에 도달하였다.

본 실험 결과는 자율주행 순찰 로봇이 다양한 환경에서 효과적으로 작동하며, 환경 데이터를 기반으로 이상 감지와 경로 탐색 기능을 성공적으로 수행할 수 있음을 입증하였다. 이러한 결과는 로봇의 이상 감지와 자율주행 기술이 스마트 공장 환경에서의 안전성과 운영 효율성을 높이는 데 기여할 수 있음을 보여준다.

## III. 결론

본 연구에서는 물류 및 제조 공장을 위한 자율주행 순찰 로봇 시스템을 설계하고 구현하였다. ROS 기반의 2D-3D 맵 통합 기술과 YOLOv5 객체 탐지 모델을 활용한 제안된 시스템은 정밀한 환경 인식과 이상 감지, 안정적인 자율주행 기능을 제공한다. 실험 결과, Waypoint 기반 경로 탐색, 사람 객체 탐지, 조명 상태 감지, 장애물 회피 등 주요 기능을 성공적으로 수행하며, 복잡한 환경에서도 실시간으로 이상 상황에 대응할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 자율주행 로봇의 정밀한 환경 인식을 통해 복잡한 공장 환경에서도 안정적인 자율주행을 지원하고, YOLOv5 기반 이상 감지 시스템을 통해 주요 객체를 실시간으로 탐지함으로써 안전 관리와 이상 대응 속도를 크게 향상시킬 수 있음을 보여준다. 또한, 관리자 GUI를 통해 로봇 상태를 모니터링하고 제어할 수 있어, 작업자의 편의성과 공정 효율성을 높이는 데 기여한다. 제안된 시스템은 스마트 공장의 순찰 업무 자동화뿐만 아니라, 물류 센터, 대형 건물, 공공시설 등 다양한 환경에서 응용 가능성을 제시하며, 비상 상황 대응을 위한 추가적인 확장 가능성도 갖추고 있다. 본 연구는 자율주행 순찰 로봇 시스템의 설계와 구현에 대한 실질적인 기초를 제공하며, 스마트 공장과 같은 자동화 환경에서 안전 관리와 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by "Regional Innovation Strategy(RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(대구경북지역혁실플랫폼 2024RIS)

## 참 고 문 현

- [1] 우은상, 김태현, 이동현, "자율주행 및 객체 탐지 기반의 실내 보안 로봇 시스템 설계," Journal of KIIT, 제21권, 제8호, pp. 19–25, 2023. DOI: 10.14801/jkiit.2023.21.8.19.
- [2] I. Chio, K. Ruan, Z. Wu, K. I. Wong, L. M. Tam, and Q. Xu, "Design and Autonomous Navigation of a New Indoor Disinfection Robot Based on Disinfection Modeling", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 649–661, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1109/TASE.2022.3165084>.