

RFID-SLAM 기반 가변형 캐터필러 자율로봇 프로토타입

강해민¹, 김홍주², 이재령³

¹ 숭실대학교 전자정보공학부 학부생

² 숭실대학교 전자정보공학부 학부생

³ 숭실대학교 전자정보공학부 학부생

goals0211@soongsil.ac.kr, ju5394@soongsil.ac.kr, now0@soongsil.ac.kr

Prototype of an Autonomous Robot with Variable Crawler Mechanism Using RFID-SLAM

Hae-Min Kang, Hong-Ju Kim², Jae-ryeong Lee³

¹ Dept. of Electronic Engineering, Soongsil University

² Dept. of Electronic Engineering, Soongsil University

³ Dept. of Electronic Engineering, Soongsil University

요 약

해당 연구는 특정 제시 환경에 맞춰 가변형 캐터필러를 설계하고, RFID 보정 SLAM 기술을 적용하여 자율주행 로봇을 구현한다. 이 로봇은 GPS 가 없는 환경에서도 정밀한 위치를 유지하며 안정적으로 주행하고, 열화상카메라와 YOLO 기반의 손상 감지를 통해 유지보수 효율성을 높인다.

1. 서론

지하 전력구나 대형 플랜트 배관 내부와 같이 직접 접근하기 어려운 협소 환경에서 자율주행 로봇이 요구된다. 또한 건설 현장의 고층 덕트 내부는 작업자가 점검하기 어렵다. 협소 공간에서 자율주행 작업 로봇 사용 시 위치 누적 오차와 주행 불안정이 발생한다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서는 정밀 위치 인식과 가변형 하드웨어 설계가 필요하다.

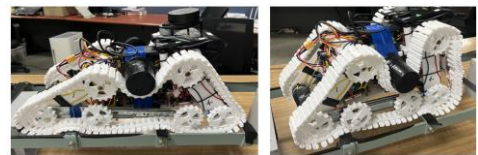
최근 연구는 농업 현장에서 작물 운반을 위해 RFID 태그로 목적지를 설정하고 LiDAR 로 장애물을 감지하여 경로를 따라 이동하는 시스템을 구현하였다. 그러나 Lidar 만을 이용한 SLAM 에서는 누적 오차 보정이나 환경 적응형 구동부 설계는 고려하지 않아, 협소 공간에서 장시간 주행 시 발생하는 위치 정합 문제에는 한계가 있다. [3]

본 연구는 협소 환경에서 전선 점검·포설·철거 작업을 수행함으로써 작업 효율성 및 안정성을 확보하고 유지보수 비용을 절감하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 가변형 캐터필러, LiDAR, IMU, SLAM, RFID 기반의 위치 보정 기술, 웹페이지와 RQT 화면을 통한 다중 사용자 협업 및 메인 작업자 제어 그리고 다중 경로 후보 생성 및 사용자 선택 방안을 제안한다.

이를 통해 GPS 가 없는 환경에서도 정밀한 위치를 유지하며 다양한 구조물에서 안정적으로 주행할 수 있다. 해당 연구는 경로 선택 기능을 제공하며, 열화상 카메라와 YOLO 기반 전선 손상 인식을 통해 로봇 자체 모니터링과 이상 감지까지 수행한다.

2. 본론

하드웨어는 협소 환경에 최적화된 가변형 캐터필러 구조를 사용하여 두 가지 모드를 지원한다. 불안정한 지형처럼 본체 길이를 늘려 안정성을 확보해야 할 경우에는 바퀴 길이를 Low(40cm)로 설정했다. 급회전·곡선 구간처럼 본체 길이를 짧게 유지해야 하는 경우에는 바퀴 길이를 High(25cm)로 설정했다. 모드 전환은 수동 또는 Navigation 모듈이 자동으로 제어한다. 가변형 캐터필러 길이는 소형 덕트 최소 폭인 25cm와 본체 높이의 1.5 배 이상으로 안정성을 확보할 수 있는 40cm로 결정했다. DC 모터의 회전 방식에 따라 로봇 본체의 높이와 길이가 달라진다. High에서는 두 개의 모터가 내회전하며 본체가 상승한다. 이 과정에서 장력 유지 장치가 안정성을 높인다. Low 모드에서는 모터가 외회전하며 본체가 하강한다. 이러한 구조적 변형은 환경 적응성과 임무 수행 신뢰도를 높인다.



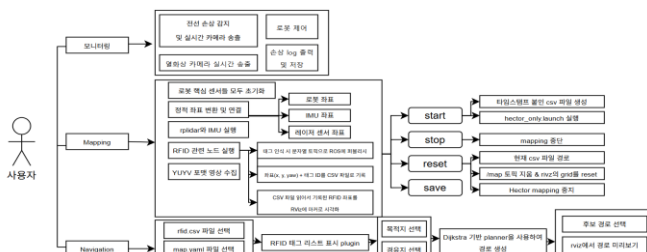
(그림 1) (a) Low 상태 (b) high 상태

본 연구에서는 SLAMTEC RPLIDAR-R6 센서를 사용했다. 본 센서는 최소 15cm에서 최대 12m 탐지·360도 측정을 제공하여 협소 환경에 적합하다. 또한

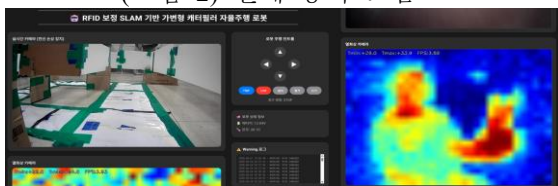
SLAM 누적 오차 보정을 위해 US 902-928MHz 를 지원하는 RFID 리더기를 사용했다. 이 대역은 1-30cm 거리의 태그 인식이 가능하고 금속 구조물 환경에서도 정확도가 높아 산업 환경에서 사용에 적합하다.

전선 손상 실시간 탐지를 위해 YOLOv5 객체 인식 모델을 활용했다. 피복 손상, 균열, 단선 등 다양한 유형의 손상 이미지를 학습 데이터로 사용했다. 입력 이미지는 416×416 크기로 리사이즈하여 신경망 구조와 연산 효율을 최적화했다. 데이터셋에는 Mosaic, 좌우 반전, 색상 변형 증강 기법을 적용하여 실제 환경의 조명·배경·방향 변화에 대응할 수 있도록 했다. 학습은 8 batch, 70 epoch 으로 진행해 협소한 환경에서도 안정적으로 전선 손상을 탐지할 수 있도록 했다.

RFID 는 Mapping 에서 태그 정보를 수집하고 Navigation 단계에서는 주행 시에 태그될 때마다 로봇 위치를 보정하는 데 사용된다. LiDAR 만으로 위치를 추정할 경우 누적 오차가 발생한다. 이는 지도와 실제 위치 불일치를 유발하며 로봇이 목표 지점에 도달하지 못하기 때문에 위치 보정 기술이 병행되어야 한다. RFID 위치 보정 방식은 QR, 색상스티커 방식과 달리 오염에 영향 받지 않으며 금속 구조물로 둘러싸인 공간에서 외부 통신 없이 주파수만을 활용한 실시간 통신이 가능하다는 이점이 있어 협소 환경에 적합하다.



(그림 2) 전체 동작 흐름도



(그림 3) 웹페이지 화면



(그림 4) (a) mapping 화면 (b) navigation 화면

본 연구는 협소한 환경에서 로봇이 Hector SLAM 과 RFID 보정을 통해 정밀 위치를 유지하며, 사용자가 지정한 경유지·목적지까지 다중 후보 경로를 생성·주행한다. 실시간 모니터링은 웹페이지로, Mapping 과

Navigation 상태는 RQT 화면으로 시각화된다.

웹페이지는 다중 사용자 동시 모니터링을 지원하며 전선 손상·발열 감지, 로봇 상태 모니터링, 로그 분석 기능을 제공한다. 이를 통해 원격에서도 작업 진행 상황과 이상 징후를 파악할 수 있다.

Mapping 과 Navigation 은 메인 작업자를 위한 RQT 화면으로 설계하였다. Mapping 을 위하여 Mapping Control, Log 분석, RFID List Plugin 을 개발했다. LiDAR 와 IMU 데이터 기반 Hector SLAM 으로 실시간 지도를 생성한다. RFID 태그 인식 시 로봇 위치와 태그 ID 를 CSV 에 저장하고, CSV 파일을 기반으로 지도에 표시한다. Navigation 실행 전 적용할 Map 파일과 RFID CSV 파일을 선택한다. 로봇이 RFID 를 태그하면 해당 위치로 로봇의 위치가 보정된다. 사용자가 목적지와 경유지 RFID 를 지정하면, Dijkstra 기반 global planner 을 사용하여 후보 경로를 추천하며 선택된 경로는 지도에 시각화된다. move_base 는 선택 경로에 따라 속도 명령을 실시간으로 계산하여 주행이 가능하게 한다. 사용자가 선택한 경로는 Local Planner 를 통해 장애물을 회피하며 주행할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 RFID 보정 SLAM 을 통해 주행 시 누적 오차를 해결하여 GPS 제한 구역 정밀 위치 추정을 달성했으며, 가변형 캐터필러를 통해 불안정 지형에서 안정적 주행이 가능함을 입증했다. YOLO 기반 전선 손상 인식 기술은 열화상과 RGB 카메라를 활용해 과열 및 손상 지점을 탐지해 육안 점검 대비 실효성을 보였다. 정밀 주행, 실시간 모니터링을 통합하여 사용자 개입 최소화와 임무 수행을 통합했다는 점에서 학문적·산업적 의의 측면에서 로봇 연구에 새로운 방향성을 제시한다. 이 기술은 유지보수, 재난 대응 등 다양한 분야로 확장 가능하다.

본 논문은 과학기술정보통신부 대학디지털교육역량 강화사업의 지원을 통해 수행한 한이음 드림업 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

- [1] 김현무, 최요순, ROS 기반의 지하광산용 자율주행 로봇 개발과 경유지 주행 실험, 터널과 지하공간, 32, 3, 231-242, 2022.
- [2] 공성진, 이원창, ROS 기반 지능형 무인 배송 로봇 시스템의 구현, 전기전자학회논문지, 27, 4, 610-616, 2023.
- [3] 양아름 외 4 명, RFID 와 LiDAR 센서를 이용한 자율주행로봇의 ROS 기반 경로 이동 시스템 개발, 한국정보기술학회논문지, 22, 2, 53-61, 2024.