

해양 선박 선체 검사/측정용 AI 자동화 로봇 구현

박주원¹, 변동현¹, 심재현¹, 정구빈¹, 신승훈²

¹ 한국공학대학교 전자공학부 임베디드시스템전공 학부생

² 고려대학교 정보보호대학원

juwonp88@naver.com, egdus6205@gmail.com, 2023148040@tukorea.ac.kr, goobin77@naver.com, shin0623@korea.ac.kr

Implementation of an AI-Powered Autonomous Robot for Ship Hull Inspection and Measurement

Ju-Won Park¹, Dong-Hyeon Byeon¹, Jae-Heon Shim¹, Gu-Bin Jeong¹, Seung-Hun Shin²

¹Dept. Electronics Engineering, Tech University Of Korea

²Graduate School of Information Security, Korea University

요 약

최근 해양 산업의 확대는 선박 외벽 정기 점검의 중요성을 증대시키고 있다. 그러나 기존 수작업 선체 외벽 점검은 높은 위험과 과도한 비용, 낮은 효율성이라는 구조적 한계가 있다. 이에 본 연구는 선체 외벽 검사의 자동화를 목표로 한 로봇 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 캐터필러 궤도형 구동부와 선체 표면 부착을 위한 네오디뮴 자석, Raspberry Pi 5 제어부로 구성되며, 다중 센서(RPLIDAR, 3D Depth Camera, IMU) 데이터를 ROS2 운영 환경에서 융합해 SLAM 기반 위치 추정 및 경로 계획을 수행한다. 획득된 영상은 OpenCV 를 통한 전처리 과정을 거쳐 경량 YOLOv5 모델로 균열·부식 등 결함을 탐지하고, 분석 결과는 웹 대시보드에서 실시간 기록되고 분석 보고로 출력된다. 본 연구를 통해 고소·협소·해상 환경에서의 수작업 점검을 효과적으로 보조하여 의사결정의 신뢰성을 제고하고, 검사 시간과 비용 절감 및 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

해양 물류의 확대와 함께 선박 외벽의 정기 점검은 필수적 작업으로 자리 잡았으나, 기존의 수작업 방식은 고소·협소 환경에서의 안전 위험, 과도한 인력 투입, 장시간 소요 등으로 인해 높은 비용을 초래하고 있어 무인 자동화 로봇의 필요성이 제기된다. 최근에는 부착형·흡착형 벽면 주행 로봇이 제안되어 선박 표면에서 안정적인 이동과 검사·세정·가공 기능을 수행하는 사례가 보고되고 있다. 그러나 이 로봇의 주행력은 비철 금속이나 도장 표면에서 활용이 어렵고, 곡면이나 용접부와 같은 불규칙 구조에서는 기동성이 저하되는 한계가 있다. 선박 분야에서도 자석 구동 벽면 주행 로봇이 개발되었으나, 선체 곡면에서의 안정성 확보와 해상의 부식·습기에 제약으로 제작·용접부 점검 등 일부 영역에 국한되는 실정이다.

2. 관련 연구

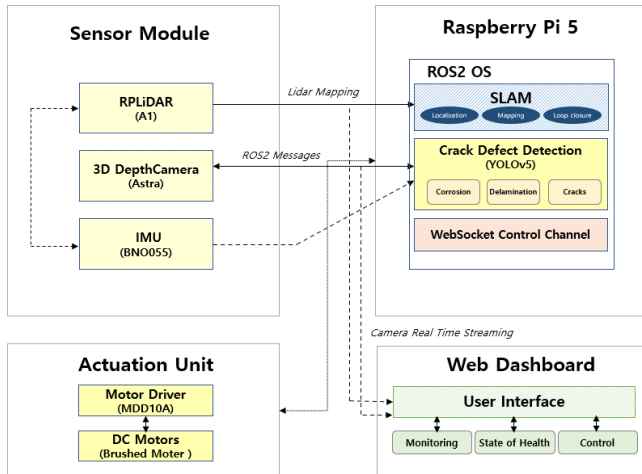
Jin-Man Kim(2015)은 벽면 주행 및 부착 로봇에서 영구자석을 활용하여 부착 안정성과 곡면 기동성을 향상시키는 설계를 제안하였으며, 강철 교량 및 선박 용접부 점검을 위한 자석 휠·트랙형 플랫폼이 실제

철관 구조물에서 시연되었다[1]. K. Trejos(2022)는 자율 검사 로봇에서 SLAM 기반 위치 추정이 라이다, IMU, 비전 등 다중 센서 융합과 ROS2 오픈소스 스택을 통해 활발히 실증되고 있으며, Cartographer, GMapping, Hector 등 주요 알고리즘의 정확도가 비교·분석되어 환경과 제약 조건에 따른 선택 지침을 제공한다[2]. 그러나 기존 연구들은 실제 선박 외관 전체 탐사에는 이동성이 부족하고, 불규칙 곡면이나 이물질 등 현장 환경에 대한 대응이 미흡하였다. 이에 본 연구에서는 강자성체 기반 캐터필러 궤도형 자율주행 로봇을 설계하고, 다양한 센서 데이터를 융합하여 선체 외벽 검사 시스템을 구현함으로써 이러한 한계를 극복하고, 정확한 균열 이상 탐지를 궁극적 목표로 한다.

3. 시스템 구현

3.1 시스템 구성

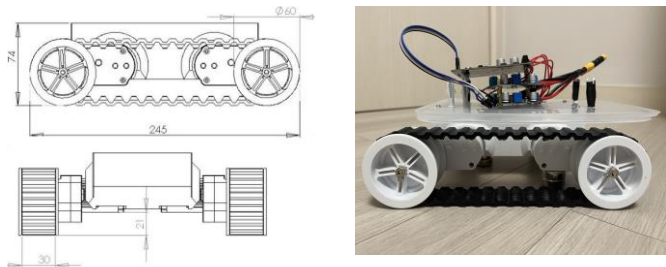
본 시스템은 LiDAR·3D 카메라·IMU 센서 모듈과 캐터필러 트랙·네오디뮴 부착 구동부, Raspberry Pi 5 제어부로 구성된다. 센서 데이터는 ROS2 를 통해 SLAM·경로 추종에 활용되며, 카메라 영상은 YOLOv5 로 결함을 탐지하고 WebSocket 기반 수동 제어를 지원한다. 최종적으로 웹 대시보드로 시각화 되어 대시보드를 통해 사용자가 실시간 점검 상태를 확인한다.



(그림 1) 시스템 구성도

3.2 하드웨어 설계

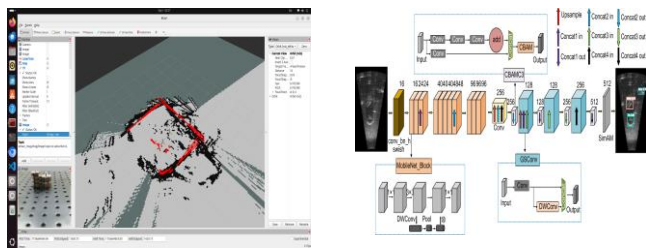
로봇은 캐터필러 4륜 구동체로 강자성체 부착 모듈과 모터드라이버 MDD10A와 연결하여 철판 표면에서 안정적으로 이동한다. 전원은 11.1V Li-Po를 사용해 모터와 Raspberry Pi 5 주전원을 DC-DC 변환하여 전기적 노이즈를 억제한다. 센서는 RPLiDAR, Astra 3D Depth 카메라, IMU(BNO055)로 구성된다(그림 2).



(그림 2) 강자성체 캐터필러 로봇

3.3 SLAM 자율 주행 모드 및 YOLOv5 AI 모델

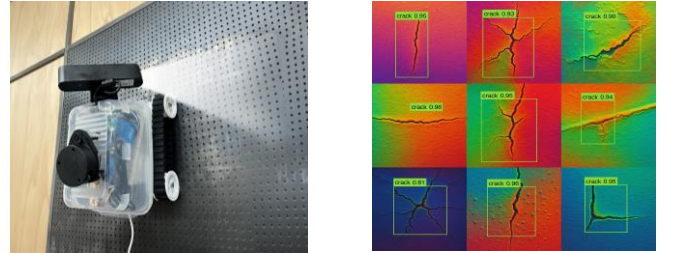
자율주행은 라이다, IMU, 카메라 센서 데이터를 TF 트리(map → odom → base_link)로 일원화하고, message_filter를 이용하여 시간 동기를 맞추어 처리한다. SLAM 기반 위치 인식 결과는 경로 계획 및 주행 제어에 반영되어, 선체 외벽 곡면 환경에서도 자율주행 이동을 가능하게 한다. 영상 분석에는 경량화된 객체 탐지 모델로 실시간 처리속도와 높은 정확도를 동시에 제공하는 YOLOv5 기반의 경량 AI 모델을 적용하였다(그림 3).



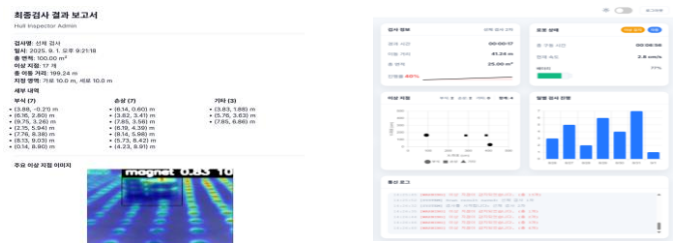
(그림 3) SLAM 자율주행 및 YOLOv5

3.4 벽면 크랙 이상 탐지 프로세스

로봇에서 획득된 영상은 OpenCV로 전처리되어 균열, 부식, 도장 손상 등 이상 패턴을 특징적으로 추출한 뒤, YOLOv5 모델을 통해 실시간 탐지가 이루어진다. 탐지 결과는 웹 대시보드에 시각화되어 사용자가 실시간으로 점검 상태를 확인할 수 있으며, 로봇의 실시간 상태, 이상 탐지 결과 및 보고서 출력, 로봇의 상태 점검 등을 수행한다(그림 4).



① 주행 및 객체 탐지 ② 부식 및 크랙 AI 판별



③ 결과 및 PDF 출력 ④ 전체 통계 화면

(그림 4) 크랙 균열 검사 및 대시보드

4. 결론

본 연구를 통해 사용자는 위험 환경에서 선체 외벽의 부식, 박리, 균열을 보다 안전하고 일관된 절차로 자동 점검할 수 있다. 기존 수작업은 작업자 안전, 시간 소요, 기록 표준화에 한계가 있었으나, 제안 시스템은 강자성체 캐터필러 로봇을 통한 SLAM, 경량 YOLOv5 기반 결함 탐지, 웹 대시보드를 통합하여 검사 과정을 구체화하였다. 본 연구는 프로토타입 구현에 초점을 두었으며, 상세 성능 검증은 후속 연구에서 수행할 예정이다. 그 결과 현장 적용 시 검사 시간 단축과 안전성 제고, 유지보수 의사결정의 신뢰성 향상에 기여할 것으로 기대한다.

“본 논문은 해양수산부 스마트 해운물류 융합인재 및 기업지원(스마트해운물류 x ICT 멘토링)을 통해 수행한 ICT 멘토링 프로젝트 결과물입니다.”

참고문헌

- [1] 김진만, 김현희, 남택근, “선체 외부 검사용 모바일 로봇 개발에 관한 연구,” 한국해양환경안전학회지, 21(6), pp. 744-750, 2015.
- [2] K. Trejos, “2D SLAM Algorithms Characterization, Calibration, and Comparison,” Sensors, 22, 18, 6903, 2022.