

AI 기반 자율 청소 로봇 구현을 통한 해변 통합 관리 시스템 제안

송혜경¹, 유지예², 황예찬³, 제유나⁴, 백기영⁵

^{1,2,4}경북대학교 컴퓨터학부 학부생

³경북대학교 전자공학부 학부생

sosschs9@knu.ac.kr, jiveyu1220@gmail.com, jyn523@knu.ac.kr,

hwangyechan4@gmail.com, 710white@gmail.com

Proposal for an Integrated Beach Management System Using AI-Powered Autonomous Cleaning Robots

Hye-Gyeong Song¹, Ji-Ye YU², Ye-Chan Hwang³, Yu-Na Je⁴, Ki-Yeong Baek⁵

^{1,2,4}Dept. of Computer Engineering, Kyung-Pook National University

³Dept. of Electronic Engineering, Kyung-Pook National University

요 약

본 연구는 라즈베리파이와 ROS2를 기반으로 SLAM 알고리즘을 통해 자율 주행을 구현하고, Yolov8 모델을 사용해 실시간으로 쓰레기를 인식하고 분류한다. 또한, 로봇이 수집한 데이터를 MQTT 프로토콜로 클라우드에 저장하고, AWS 기반 웹 서비스를 통해 원격 모니터링과 데이터 분석을 지원한다. 이를 통해 해변 청소 및 통합 관리와 쓰레기 발생 패턴 분석이 가능하며, 해양 생태계 보호와 상업적 활용 가능성을 제시한다.

1. 서론

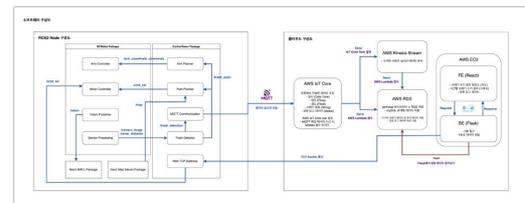
최근 해안 쓰레기 문제가 심각하다. 해변에서 발생하는 쓰레기가 전체의 약 80% 이상을 차지하며, 이를 처리하기 쉽지 않다.[1] 이러한 상황 속에서 지자체는 해변 자율 청소 로봇의 필요성을 인식하고, 이를 도입하는 데 긍정적인 반응을 보이고 있다. [2] 현재 상용화된 로봇들은 항·포구에 유입된 해양 쓰레기나 해변의 담배꽂초와 같은 쓰레기를 수거하지만, 해변에 존재하는 다양한 유형의 쓰레기를 관리할 수 있는 로봇은 부족한 상황이다. [3]

본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위해 AI 기반 자율 청소 로봇을 활용한 해변 통합 관리 시스템을 제안한다. 이 시스템은 해변의 다양한 쓰레기를 효율적으로 수거하면서 통합적으로 관리하는 기능을 제공하여 환경 보호와 비용절감에 기여하고자 한다.

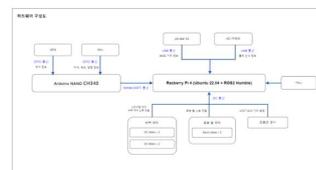
2.1. 시스템 구성

본 연구는 로봇이 모래사장에서 자율 주행하며 쓰레기를 인식하고 수거한 데이터를 분석하여, 이를 쓰레기 관리에 활용하는 것을 목표로 한다. 로봇이 수집한 데이터와 로봇 동작 상태 및 쓰레기 분석 결과는 웹을 통해 실시간으로 모니터링 및 관리할 수 있다.

청소 로봇의 하드웨어는 Ubuntu 22.04 LTS 환경에서 ROS 2, Yolov8, OpenCV, SLAM, Navigation, MQTT, AWS IoT Core 등의 기술을 사용하여 구성되었다.



(그림 1) 소프트웨어 구성도



(그림 2) 하드웨어 구성도



(그림 3) 실물 로봇 사진

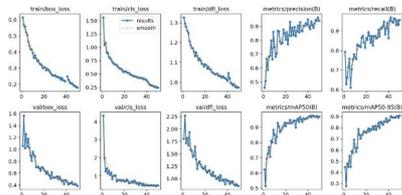
2.2. 모래사장 자율주행

로봇 환경 지도를 생성하기 위해 SLAM Toolbox와 LiDAR 센서를 결합하여 로봇이 지형을 인식하고 맵을 작성했다. 이후 AMCL 알고리즘을 사용해 오도메트리 값과 라이다로 감지된 데이터를 기반으로 맵과 비교해 로봇의 위치를 추정했다. 위치 추정 후, Yaml파일로 웨이포인트를 설정하고

nav2_waypoint_follower 패키지를 통해 로봇이 순차적으로 경로를 따라 주행하도록 설정했다. 또한, 각 웨이포인트에 도달할 때마다 MQTT 프로토콜을 통해 로봇의 상태를 외부 시스템에 실시간으로 전송하는 커스텀 플러그인도 개발했다.

2.3. 쓰레기 인식 및 수거

4-자유도로 구성된 로봇 팔은 런치 파일 실행 시 서보 모터 값을 초기화하여 garbage value를 제거한다. 이후 초음파 센서가 30cm 이내의 물체를 감지 시 이미지를 캡처하고, OpenCV를 사용해 카메라 내부 파라미터를 보정한다. Homogeneous Transformation을 통해 카메라 좌표계를 실세계 좌표계로 변환하여 로봇 팔의 목표 위치를 계산한다. Yolov8 모델을 통해 실시간으로 쓰레기를 인식하고, Google Coral TPU를 사용해 추론 시간을 개선했다. 쓰레기가 위치한 곳을 3D 좌표로 최적 경로를 탐색하고 쓰레기를 수거하기 위해 IKFast 라이브러리를 활용한 Inverse Kinematics를 이용한다.



(그림 4) 인공지능 모델 결과

2.4. 데이터 저장 및 분석

로봇 로그 데이터와 수거한 쓰레기 데이터의 실시간 전송을 위해 MQTT 프로토콜을 사용하여 통신한다. 특정 토픽에 대한 json 메시지를 설정 후 이벤트 발생 시 AWS IoT Core로 데이터를 전송한다. 해당 데이터는 AWS Lambda 함수로 RDS에 전송하기 전 데이터의 무결성을 확인한다. 수거된 쓰레기의 시기별 발생량 변화는 Amazon Kinesis Data Stream에서 다중 선형 회귀 분석을 통해 분석된다. 기상청 API 데이터 기준으로 통합 데이터셋을 구축 후, 기상 변수와 쓰레기 발생량 간의 상관관계를 도출해 기상 조건이 쓰레기 발생량에 미치는 영향을 예측할 수 있는 패턴을 추출한다.



(그림 5) 데이터 분석 결과

2.5. 통합 관리 웹서비스

FE(Fron-end)는 React로 구현했으며, 사용자에게 제공되는 정보는 BE(Back-end)와 실시간으로 연동되어 갱신된다. 카카오 맵 API를 활용해 로봇이 수거한 쓰레기의 분포를 지도 상에 시각화했고, Recharts 라이브러리를 통해 시간별 쓰레기 수거 결과를 그래프로 시각화하는 기능을 구현했다.BE는 Flask를 기반으로 구현됐으며, FE에서 요청한 데이터를 처리하는 역할을 담당한다. REST API로 FE와 통신하며, 로봇 서버와는 TCP 통신을 통해 실시간으로 데이터를 주고받아 로봇의 상태와 활동을 관리한다.



(그림 6) 통합 관리 웹서비스 사진.

3. 결론

본 연구는 자율 주행을 기능을 갖춘 로봇이 쓰레기를 수거한 후, 수거한 데이터를 저장 및 분석해 통합 관리 웹 서비스에 띄우는 시스템을 제안하고 본 연구와 관련된 github와 영상을 참고 문헌에 게시하였다. [4]

해변 환경에서 쓰레기를 정확히 인식하기 위해 YOLO v8를 딥러닝 모델로 채택해 평균 94%의 정확도를 보였다. 이 시스템을 실제 해변 환경에 적용할 경우, 쓰레기 수거 비용 절감, 해변 쓰레기 데이터셋 구축, 관광 수요 증대, 협업 로봇 시스템을 통한 확장성 강화, 그리고 공공 기관의 효율적인 해변 관리가 가능해질 것으로 기대된다.

※ 본 논문은 해양수산부 실무형 해양물류 일자리 지원사업(스마트해양물류 x ICT멘토링)을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

- [1] 오예진, "해양쓰레기 연평균 11만4천t 수거...해안가 쓰레기 83% 플라스틱", 연합뉴스, 2021, 03. 10. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210310064200530>
- [2] 박정일, "광주시 남구, 공원·이면도로에 '청소 로봇' 투입한다", 로봇신문, 2023, 05. 01. <http://m.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=31491>
- [3] TechTics, 2023, <https://project.bb/>
- [4] <https://github.com/orgs/Team-EmbeddedProject>