

BLE 비콘 위치 추정을 위한 로봇 경로 탐색 기법

이가진, 이범준, 김승구*
*충북대학교

dodeng@chungbuk.ac.kr, siddhartha@chungbuk.ac.kr, *kimsk@cbnu.ac.kr

A Path Exploration Method for Robots to Estimate BLE Beacon Position

Lee Gajin, Lee Beomjun, Kim Seungku*
*Chungbuk National Univ.

요 약

본 논문은 BLE 기반 비콘 신호를 활용해 로봇이 실내 구조 환경에서 자율적으로 탐색할 수 있는 시스템을 ROS2 로 구현하였다. 가중치 기반의 이동 전략을 적용한 결과, 무작위 위치 이동 전략보다 로봇의 이동 소요 시간이 약 36.1% 단축되고 실제 위치와 로봇의 최종 위치 간의 거리 오차 값이 약 65% 감소하였다. 이를 통해 가중치 기반 탐색 전략이 비콘 위치 추정에 유용할 가능성을 확인할 수 있었다.

I. 서 론

재난 상황에서 건물 붕괴는 주요 인명 피해 요인 중 하나이며, 특히 실내 공간의 붕괴는 구조 활동을 어렵게 만든다. 복잡하게 얽힌 잔해 속에서 매몰자를 수색하는 과정에서 시간이 지체되면, 생존률을 급격히 낮추는 골든 타임을 놓칠 수 있다. 사람이나 물체를 탐지하기 위해 카메라와 딥러닝 기반 인식 기술을 활용한 연구 사례가 존재한다[1]. 그러나 시야 확보가 어려운 붕괴 환경에서는 카메라 기반 인식의 한계가 뚜렷하다. 예를 들어, 잔해에 의해 시야가 차단되거나 연기, 화재로 영상 품질이 저하되면 탐지 성능이 떨어질 수 있다. 본 연구에서는 대부분의 사람들이 지닌 스마트폰의 블루투스 기능을 활용한 새로운 탐색 방식을 제안한다. 스마트폰을 비콘(Beacon)처럼 동작시키고, 로봇이 수신한 신호 세기를 기반으로 위치를 추정한다. 이 방식은 시각 정보에 의존하지 않아 조도 변화나 연기 등에도 강인하며, 붕괴 환경에서 효과적인 대안이 될 수 있다. 본 논문에서 제안하고자 하는 시스템은 ROS2 (Robot Operating System2) 기반으로 구현되었으며, 로봇은 수신된 신호를 바탕으로 반복적인 탐색과 이동을 수행해 비콘의 위치를 점차적으로 특정한다. 본 논문에서는 해당 방식의 개념과 동작 원리를 설명하고, 실험을 통해 그 가능성을 검증한다.

II. 본론

비콘은 주기적으로 신호를 송신하여 주변 장치에 정보를 송신할 수 있는 장치로, 본 연구에서는 BLE(Bluetooth Low Energy)기반의 소형 송신기를 사용하였다. 이때 송출되는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)값은 거리 뿐만 아니라 구조물,

장애물, 전파 간섭 등 다양한 환경 요인의 영향을 받으며, 이러한 노이즈로 인해 통계적으로 정규분포를 따르는 경향이 있다. 로봇은 수신한 RSSI 값을 기반으로 비콘의 위치를 확률적으로 추정하며, RSSI 가 클수록 비콘이 존재할 가능성이 높다고 판단하여 해당 위치 후보(파티클)에 더 높은 가중치를 부여한다[2]. 본 연구에서는 이러한 가중치를 활용하여, 가장 높은 가중치를 갖는 파티클의 좌표를 목표 지점으로 설정하고 해당 위치로 이동하는 방식을 채택하였다. 이는 로봇이 반복적으로 이동을 수행함으로써 비콘의 실제 위치에 점차 가까워질 수 있을 것이라는 가정에 기반한 전략이다. 이 이동제어는 ROS2 의 자율주행 프레임워크인 Nav2 (Navigation2) 패키지 내에 포함된 navigate_to_pose 액션 서버를 통해 수행되며, 로봇은 해당 서버에 실시간으로 목표 위치를 전달하고 경로 계획 및 자율 주행을 통해 이동을 수행한다. 이러한 전략의 유효성을 확인하기 위해, 임의의 한 지점에 비콘화된 스마트폰을 배치하고 로봇이 반복적으로 탐색을 수행할 수 있도록 실험을 구성하였다. 로봇은 각각의 파티클에 대한 좌표값과 가중치를 수신하는 토픽과 전체 파티클들의 위치 분포의 편차값을 수신하는 토픽을 받는다. 이때 이 편차값이 작아지는 것은 파티클이 특정 지점에 수렴하고 있다는 의미이며, 이를 비콘의 위치에 대한 추정이 좁혀지고 있다는 간접적인 지표로 활용한다. 실험은 두 가지 조건에서 진행되었다. 첫 번째 조건에서는 로봇이 가장 높은 가중치를 가진 파티클의 위치를 목표로 설정하고 반복적으로 이동하도록 하였다. 두 번째 조건에서는 비교를 위해 무작위로 선택된 파티클 위치로 이동하는 전략을 적용하였다. 두 방식의 결과를 비교함으로써, 가중치 기반 이동 전략이 실제로 위치 수렴에 효과적인지 평가하였다. 두 조건 모두 각각 7 회씩 실험을 수행하였으며, 그림 1 은 비콘 위치 탐색을 위한 로봇의

이동 소요 시간을, 그림 2 는 목표 지점과 로봇의 최종 위치 간 거리 오차를 시각화한 것이다.

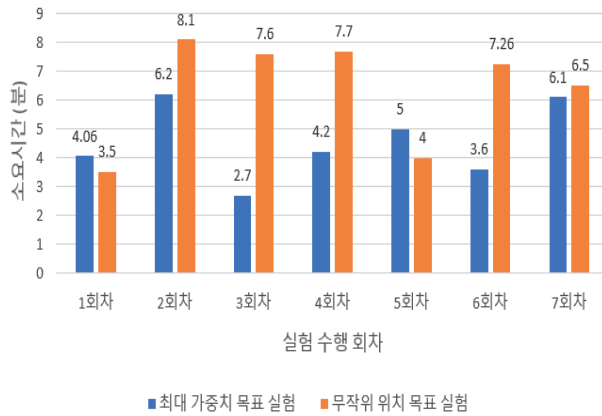


그림 1. 비콘 위치 탐색을 위한 로봇의 이동 소요 시간

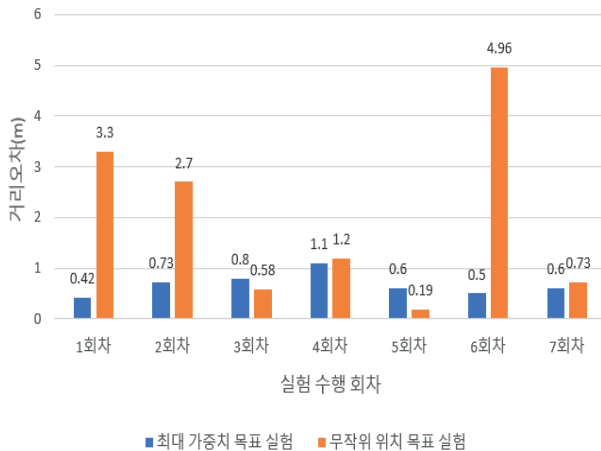


그림 2. 목표 지점과 로봇의 최종 위치 간의 거리 오차

최대 가중치를 갖는 파티클을 목표 지점으로 설정한 실험에서는 비콘 위치 탐색을 위한 로봇의 이동 소요 시간의 평균은 약 4.08 분, 목표 지점과 로봇의 최종 위치간의 거리 오차의 평균은 0.67m 로 나타났다. 무작위로 선택된 파티클 위치를 목표로 설정한 실험에서는 비콘 위치 탐색을 위한 로봇의 이동 소요 시간의 평균이 약 6.39 분, 목표 지점과 로봇의 최종 위치간의 거리 오차의 평균은 1.95m 로 나타났다. 무작위 좌표를 목표로 한 실험에서는 추정 위치가 실제 위치와 오차가 큰 경우(1,2 회차), 근접한 위치로 수렴하지만 시간이 과도하게 소요되는 경우(3,4,5,7 회차), 파티클이 수렴하지 못하는 경우(6 회차) 등 다양한 결과가 나왔다. 6 회차의 경우는 안드로이드 스마트폰의 비콘 기능 중 가상 MAC 주소를 부여하고 일정 주기마다 MAC 주소를 변경하는 정책[3]에 따라 동일한 비콘을 지속적으로 인식하기 어려워 추정의 일관성이 떨어진 것이 원인 중 하나로 분석된다. 5 회차의 경우 최대 가중치 실험의 평균 값과 비슷한 결과가 나왔지만, 반복 실험 결과 중 예외적인 사례로 일관된 성능을 보장하는 방식은 아님을 확인하였다. 따라서 무작위 좌표를 목표로 한 실험의 소요시간과 위치 정확도 모두 최대 가중치 기반 실험의 결과보다 낮은 성능을 보였다.

III. 결론

본 연구에서는 BLE 기반 비콘 신호를 이용하여 로봇이 실내 구조 환경에서 자율적으로 탐색할 수 있는

시스템을 ROS2 기반으로 구현하였다. 가중치를 기반의 이동 전략을 적용한 결과 목표 지점과 로봇 최종 위치간의 거리오차의 평균값인 0.67m 는 무작위 위치 이동 전략의 거리오차의 평균값인 1.95m 에 비해 약 65.6% 감소, 로봇의 이동 소요시간의 평균값인 4.08 분은 6.39 분에 비해 약 36.1% 단축되어 더 빠르고 정확한 위치 수렴할 수 있음을 확인하였다. 따라서 반복적인 이동을 통해 비콘의 위치에 점진적으로 수렴하는 전략의 가능성을 확인하였다. 현재 적용된 탐색 전략은 가중치가 가장 높은 파티클을 목표로 설정하는 단순한 방식이다. 위치 수렴에는 효과적일 수 있으나 해당 지점까지 도달하는 데 필요한 거리나 경로 상의 비용 손실은 고려하지 않는다. 이는 로봇이 목표 위치에 대한 정보가 충분하지 않은 상태에서 방향을 반복적으로 바뀌게 하거나 의미없는 이동을 초래할 수 있다. 따라서 향후에는 가중치뿐만 아닌 거리 등의 정보값들을 종합적으로 고려하는 정교한 탐색 전략이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A5A8026986). 본 연구는 2025 년도 정부 (산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0020536, 산업혁신인재성장지원사업). 이 논문은 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업임(IITP-2025-RS-2020-II201462)

참 고 문 헌

- [1] Saad A. Rafiq, et al. (2024). "Design of Autonomous Rover for Firefighter Rescue: Integrating Deep Learning with ROS2", Proceedings of the IEEE World AI IoT Congress(AlloT), DOI:0.1109/AIIoT61789.2024.10578950.
- [2] 이범준, 김승구, "LiDAR SLAM 과 Bluetooth Beacon 을 활용한 물품관리 시스템", 한국전기전자학회 하계학술대회 논문집, 제주대학교 아라컨벤션홀, 2024 년 8 월.
- [3] SatenDra Varma (2017) "Does MAC ID broadcasted in Eddystone Beacon change?", Stack Overflow, <https://stackoverflow.com/questions/42136261/does-mac-id-broadcasted-in-eddystone-beacon-change/42139586#42139586>.