

3D LiDAR 센서 장착형 차량형 로봇 기반 3D 공간 데이터 취득 및 SLAM 시각화

최성식 이나연 최유성 정종범

국립군산대학교 컴퓨터정보공학과

{tjdtlr3104,nayeon6207,cycys06,jongbeomjeong}@kunsan.ac.kr

3D Space Data Acquisition and SLAM Visualization using 3D LiDAR-Equipped Automated Guided Vehicle

SeungSik Choi, NaYeon Lee, YooSung Choi, Jong-Beom Jeong

Department of Computer Science and Information Engineering, Kunsan National University (KSNU)

요 약

본 논문은 3D light detection and ranging (LiDAR)센서가 탑재된 차량형 로봇을 활용하여 고정밀 3D 공간 데이터를 취득하고, 이를 실시간으로 시각화하기 위한 simultaneous localization and mapping(SLAM)기반의 시스템을 구현한다. 로봇에 장착된 LiDAR 센서로부터 유입되는 방대한 포인트 클라우드 데이터를 효율적으로 수집 및 처리하기 위해 데이터 저장 최적화 기법을 도입하였으며, 이를 Visual SLAM 기술과 결합하여 주행 환경에 대한 정밀한 3차원 지도를 생성하고 실시간으로 시각화하였다. 실험적 검증을 통해, 제안된 시스템이 하드웨어 자원을 효율적으로 사용하면서도 동적 콘텐츠의 공간적 일관성을 확보한 3D 데이터 취득이 가능함을 확인하였다. 본 연구의 결과물은 향후 지능형 스마트팜 내 자율 영농 로봇의 환경 인지는 물론, 현실 공간의 디지털 트윈 복원을 위한 고정밀 미디어 데이터 생성 등 다양한 응용 분야에서 핵심적인 플랫폼으로 활용될 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 자율주행 로봇 및 디지털 트윈 기술이 급격히 발전함에 따라, 실외뿐만 아니라 실내 복합 공간에서의 정밀한 환경 인지 기술이 핵심적인 연구 과제로 부상하고 있다 [1]. 특히 3D LiDAR 센서는 주변 환경을 수십만 개의 포인트 클라우드 (point clouds) 데이터로 변환하여 거리 정보를 제공함으로써, 조도 변화에 민감한 비전 센서의 한계를 극복하고 높은 공간 해상도를 보장한다는 장점이 있다.

하지만 이동 로봇 플랫폼에서 발생하는 방대한 양의 3D 공간 데이터를 실시간으로 처리하고 시각화하는 과정에는 높은 하드웨어 자원 소모와 통신 지연 (latency) 이라는 기술적 난제가 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 myAGV Pro 차량형 로봇 플랫폼을 기반으로, 3D LiDAR 센서 데이터의 물리적 계층부터 미들웨어 계층까지의 통신 무결성을 확보하고 이를 실시간 SLAM 기술과 통합한 시각화 시스템 구현 방안을 제안한다.

본 연구의 주요 기여도는 다음과 같다. 첫째, 3D LiDAR 센서의 원시 데이터 (raw data) 스트림을 분석하여 460,800 bps 고속 시리얼 통신 환경에서의 손실 없는 데이터 수집 프로세스를 정립하였다. 둘째, robot operating system 2 (ROS2) 환경에서 하드웨어 최적화 설정을 적용하여 실시간 데이터 토픽 발행 안정성을 확보하였다. 셋째, 취득한 고정밀 공간 데이터를 가상 환경 (rviz2) 에서 시각화함으로써 실시간 맵핑 성능을 정량적으로 확인하였다.

본 논문은 이후 2 장에서 시스템 구성 및 하드웨어 사양을 서술하고, 3 장에서는 데이터 취득 방법을, 4 장과 5 장에서는 실험 결과 및 결론에 대해 논한다.

2. 시스템 구성 및 환경

본 장에서는 제안하는 3D 데이터 취득 시스템의 하드웨어 구성과 소프트웨어 개발 환경을 기술한다. 시스템은 고정밀

데이터 처리를 위해 고속 연산이 가능한 모바일 로봇 플랫폼과 3D LiDAR 센서를 통합하여 구축되었다.

표 1. 시스템 상세 사양

Item	Values
Robot Platform	myAGV Pro (Automated Guided Vehicle)
Main Controller	Raspberry Pi 4B / Ubuntu 22.04 LTS
3D LiDAR Sensor	Lslidar N10P (N10 Series)
Max Payload	2.0 kg
Interface	Ethernet, UART (460,800 bps Bit rate)
Framework	ROS2 Humble Hawksbill

2.1 하드웨어 구성

시스템의 메인 플랫폼인 myAGV Pro 는 6 축 관성 센서 (inertial measurement unit, imu)와 고성능 모터 드라이버를 탑재한 차량형 로봇이다. 본 연구에서는 공간 데이터 취득의 정밀도를 높이기 위해 360 도 전방위 스캔이 가능한 Lslidar N10P 센서를 통합하였다. 시스템의 상세 사양은 표 1.과 같다.

2.2 소프트웨어 및 통신 구조

본 시스템은 ROS2 미들웨어를 기반으로 설계되었다. LiDAR 센서로부터 유입되는 시리얼 데이터 스트림을 안정적으로 수신하기 위해 전용 드라이버 노드를 구성하였으며, /scan 토픽의 발행 주기를 실시간으로 모니터링하여 데이터의 연속성을 확보하였다.



그림 1. 3D LiDAR 센서가 탑재된 이동 로봇 플랫폼 외관

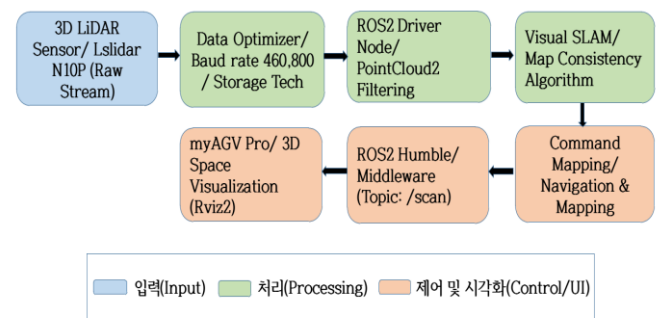


그림 2. 실시간 3D 공간 데이터 취득 및 시각화 시스템 구성도

그림 2.는 본 논문에서 제안하는 3D 공간 데이터 취득 및 시각화 시스템의 상세 아키텍처를 나타낸다. 시스템은 데이터의 흐름에 따라 인식, 처리, 제어 및 시각화의 세 단계로 체계화되어 있다.

먼저 입력 단계에서는 Lslidar N10P 센서로부터 초당 수십만 개의 포인트 클라우드 데이터를 수집한다. 이때 데이터 병목 현상을 방지하기 위해 460800bps 의 고속 통신 환경을 구축하여 데이터 수신률의 무결성을 확보하였다.

처리 단계에서는 수집된 Raw 데이터를 ROS2 드라이버 노드를 통해 필터링하고, Visual SLAM 알고리즘과 결합한다. 이 과정에서 본 연구의 핵심인 데이터 저장 최적화 기법이 적용되어, 대용량 데이터를 처리함에 있어 하드웨어 자원의 효율성을 극대화하고 동적 콘텐츠에 대한 공간적 일관성을 유지한다.

마지막으로 제어 및 시각화 단계에서는 ROS2 Humble 미들웨어를 통해 가공된 데이터를 전송하며, Rviz2 기반의 인터페이스를 통해 실제 공간의 디지털 트윈 결과물을 실시간으로 사용자에게 제공한다.

3. 제안하는 데이터 취득 및 저장 최적화 방법론

본 장에서는 본 연구의 핵심인 대용량 3D 공간 데이터의 효율적인 수집과 하드웨어 자원 최적화, 그리고 이를 활용한 실시간 시각화 알고리즘 설계에 대해 상세히 기술한다.

3.1 고속 LiDAR 데이터 수집 및 전송 최적화

3D LiDAR 센서는 초당 수만 개의 포인트 데이터를 생성하므로, 데이터 병목 현상과 패킷 유실을 방지하기 위한 물리적 계층의 최적화가 필수적이다.

고속 시리얼 통신 환경: 데이터 전송 지연 최소화 및 대역폭 확보를 위해 통신 속도를 460,800 bps 로 설정하여 원시 데이터의 실시간 수집 효율을 높였다..

패킷 무결성 검증: 시리얼 통신 인터페이스에서의 데이터 수신 상태를 실시간으로 분석하여, 대용량 데이터 전송 시에도 패킷 누락 없는 무결한 데이터 수집 환경을 구축하였다.

3.2 데이터 저장 최적화 기법

제한된 하드웨어 자원을 가진 이동 로봇 플랫폼(myAGV Pro)에서 방대한 포인트 클라우드를 처리하기 위해 본 연구에서 제안하는 최적화 기법은 다음과 같다.

하드웨어 자원 효율화: 수집된 Raw 데이터를 즉시 전수 처리하는 대신, ROS2 의 큐 (queue) 시스템을 활용한 데이터 선별 처리 기법을 도입하였다. 이는 시스템의 CPU 및 메모리 점유율을 최적화하여 시스템 다운 현상을 방지하고 안정적인 매핑을 가능케 한다.

3.3 Visual SLAM 기반 공간 데이터 통합 및 시각화

취득된 포인트 클라우드 데이터를 실시간 3 차원 지도로 변환하기 위해 Visual SLAM 기술을 결합하였다.

***공간적 일관성 확보:** 로봇의 이동 속도와 LiDAR 스캔 주기를 정밀하게 동기화하여, 주행 중에도 포인트 클라우드가 겹치거나 뒤트리지 않도록 설계하였다.

***실시간 시각화 파이프라인:** 그림 4 에서 확인되는 바와 같이, ROS2 Humble 미들웨어를 통해 가공된 데이터를 Rviz2 환경으로 즉각 전송하여 사용자가 실시간으로 3D 공간 정보를 모니터링할 수 있는 파이프라인을 완성하였다.

4. 실험 및 결과 분석

본 장에서는 제안된 3D LiDAR 데이터 취득 시스템의 실시간 성능과 시각화의 정밀도를 검증하기 위한 실험 결과를 기술한다. 실험은 실제 실내 복도 환경에서 myAGV Pro 플랫폼을 주행하며 수행되었다.

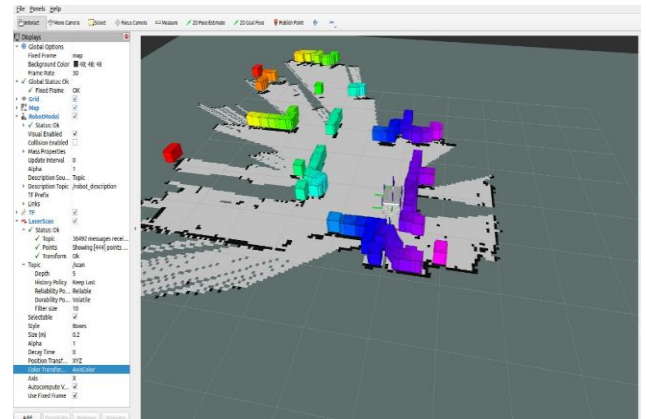


그림 3. RViz2 기반의 실시간 3차원 포인트 클라우드 매핑 결과

4.1 SLAM 기반 실시간 3D 시각화 성능

취득된 포인트 클라우드 데이터를 활용하여 실시간 3 차원 지도를 생성한 결과는 다음과 같다.

좌표계 동기화 및 정밀도: 그림 3 의 rviz2 시각화 화면에서 확인되는 바와 같이, 하드웨어 제약을 극복하기 위해 2D LiDAR 의 거리 스트리밍 데이터 (/scan)를 실시간으로 3 차원 공간 구조체인 포인트 클라우드 데이터로 변환하여 투영하였다. 로봇의 기구학적 모델 (TF)과 고밀도 입체 복셀 (Boxes) 데이터가 정밀하게 동기화되어 월드 좌표계 상에 실시간으로 매핑됨을 확인하였다.

공간적 일관성 확보 및 가독성 향상: 로봇이 주행하는 동안 공간 인지력을 극대화하기 위해 거리에 따른 AxisColor 트랜스퍼머 필터를 적용하였으며, 시간 경과에 따른 데이터 누적 필터링 (decay time)을 통해 실제 연구실 환경의 벽면과 장애물 구조를 뾰뚱한 3 차원 볼륨 데이터로 왜곡 없이 재현하였다. 이는 본 연구에서 제안한 데이터 처리 및 시각화 최적화 기법이 성공적으로 동작하여 연산 부하를 효과적으로 관리함과 동시에 고해상도 3 차원 시각화 데이터를 안정적으로 확보할 수 있음을 증명한다.

5. 결론

본 논문에서는 3D LiDAR 센서가 탑재된 이동 로봇 플랫폼을 활용하여 실시간으로 고정밀 공간 데이터를 취득하고 시각화하는 시스템을 제안하였다.

연구의 핵심 성과로서, 460800bps 의 고속 통신환경을 구축하고 데이터 저장 최적화 기법을 적용함으로써 대용량 포인트 클라우드 처리 시 발생하는 하드웨어 자원의 병목 현상을 성공적으로 해결하였다. 또한, 이를 Visual SLAM 기술과 연동하여 동적 환경에서도 공간적 일관성이 확보된 3 차원 지도를 실시간으로 생성할 수 있음을 실험을 통해 검증하였다.

본 시스템은 향후 지능형 스마트팜 내 자율 영농 로봇의 정밀 환경 인지는 물론, 현실 공간의 디지털 트윈 복원을 위한 핵심적인 미디어 데이터 생성 플랫폼으로 활용될 가치가 높다. 향후에는 딥러닝 기반의 객체 인식 기술을 결합하여 보다 지능화된 공간 분석 시스템으로 고도화할 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2026 년도 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 “SW 중심대학사업” 지원을 받아 수행되었음 (2023-0-00065).

참고문헌

- [1] ROS 2 Documentation. 2022. About ROS 2 Humble Hawksbill. Available: <https://docs.ros.org/en/humble/>
- [2] Elephant Robotics. 2023. myAGV Pro 2023 Technical Specifications and User Manual. Available: <https://www.elephantrobotics.com/>
- [3] G. Grisetti, C. Stachniss, W. Burgard. 2007. Improved Techniques for Grid Mapping with Rao-Blackwellized Particle Filters. IEEE Transactions on Robotics, vol. 23, no. 1, pp. 34-46.
- [4] Lslidar. 2024. N10P 3D LiDAR Sensor Specification and Protocol Manual. Available: <http://www.lslidar.com/>
- [5] Elephant Robotics. 2023. myAGV Pro Hardware Architecture and Embedded Controller Specification. Available: <https://www.elephantrobotics.com/>
- [6] Nav2 Documentation. 2022. Navigation 2 Configuration and Architecture. Available: <https://navigation.ros.org/>