

관성측정장치 갱신 주기에 따른 3 차원 LiDAR 기반 SLAM 프레임워크 비교 분석

김도형¹, 이헌철^{*1,2}

¹ 금오공과대학교 전자공학부

² 금오공과대학교 IT 융복합공학과

askalif@kumoh.ac.kr, *hcleee@kumoh.ac.kr

Comparison and Analysis of 3D LiDAR-based SLAM Frameworks according to IMU Update Frequency

Do-hyeong Kim¹ and Heoncheol Lee^{*1,2}

¹School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요 약

LiDAR 를 기반으로 한 SLAM 기술은 모바일 로봇의 핵심 요소이다. SLAM 의 성능을 평가하는 지표는 여러가지가 있지만 그 중에서도 원점복귀 오차는 실내 공간에서 실험할 때 확인할 수 있는 훌륭한 지표이다. 본 논문은 정확한 3D-LiDAR 기반 SLAM 수행 및 지도 작성을 수행하는 환경에서 관성측정장치 데이터의 갱신 주기가 어떠한 영향을 끼치는지 알아보기 위해 고안되었다. 관성측정장치 갱신 주기에 따른 성능 차이를 LIO-SAM(Tightly-coupled LiDAR Inertial Odometry via Smoothing and Mapping)과 LeGO-LOAM(Lightweight and Ground-Optimized LiDAR Odometry and Mapping)을 비교 분석하여 각 환경에 따른 오차를 계산하고 분석한다.

I. 서론

3 차원 SLAM 은 이전에는 실내 환경에서의 자율 주행 및 지도 작성에 주로 사용되었고, 최근에는 극한 지역이나 외부 동적인 환경에서 활발하게 연구되고 있다. 3 차원 SLAM 은 주로 LiDAR 를 통해서 수행되며, 선택적으로 관성측정장치 및 주행거리측정계 정보를 사용하여 안정성을 높일 수 있다. 상대적으로 LiDAR 보다 높은 주기로 데이터를 얻어낼 수 있는 관성측정장치를 사용하면 LiDAR 만으로 자세와 위치를 추정하는 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 관성측정장치의 갱신 주기에 따른 원점복귀 오차를 비교하여 갱신 주기 별 SLAM 성능과 그에 대한 이유를 분석한다.

II. 3 차원 LiDAR 기반 SLAM

1. 수행 구조

본 연구에서는 두 가지의 3 차원 SLAM 을 사용하여 데이터를 분석한다. 현재 다룰 수 있는 3 차원 SLAM 에는 여러 종류가 있지만, 그중에서도 LeGO-LOAM[1]과 LIO-SAM[2]을 선정하였다. 우선 조건으로 관성측정장치의 데이터가 사용되는 SLAM 이어야 하고, 둘 간의 작동 구조에서 차이가 존재하여야 했다. LeGO-LOAM 은 noise filtering 을 위해 Segmentation 모듈을 도입하였고, 위의 과정을 통해 자세와 위치를 추정한다. LIO-SAM 은 관성측정장치로부터 들어온 데이터를 pre-integration 하여 낮은 주파수의 여러 개의 데이터를 하나의 데이터로 통합한다. 이런 방법을 통해 연산량을 줄이고 실시간성을 확보하게 된다. LeGO-LOAM 같은 경우는 관성측정장치의 데이터를 자세와 위치를

추정하기 위해 direct 하게 사용되지만, LIO-SAM 에서는 GTSAM (Georgia Tech Smoothing and Mapping)의 IMU pre-integration 을 통해 위치 추정에 필요한 연산량을 줄이고 자세를 추정할 수 있다. LeGO-LOAM 과 LIO-SAM 의 수행 구조는 각각 그림 1 및 그림 2 와 같다.

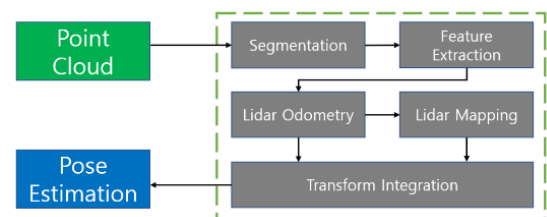


그림 1 LeGO-LOAM 수행 구조

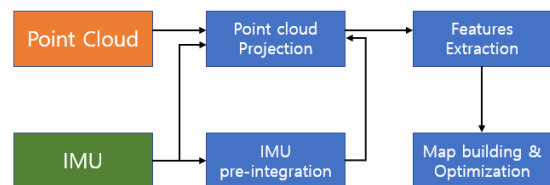


그림 2 LIO-SAM 수행 구조

2. 성능 지표

본 연구는 Ubuntu 18.04.6(Bionic Beaver), ROS melodic 에서 구현되었다. 테스트 PC 는 AMD Ryzen 5900HS, Nvidia RTX3080 을 탑재한 laptop 이고 센서는 Velodyne VLP-16 Puck, microstrain 3DM-GX5-AHRS 를 사용하였다. LiDAR 의 동작은 10Hz 로 고정하였고 IMU 는 1Hz~300Hz 까지 유동적으로 조절하였다. 측정을 위해 원점을 표시해두고 복도의

끝에서 다시 돌아오는 것을 코스로 측정하였다. 조작은 로봇을 사용해 Manual 하게 조작하였으며 정확도의 판단 지표는 원점 복귀 오차를 미터로 측정한다. 또한 실제 구간의 길이와 SLAM 으로 측정된 길이를 비교하여 구간의 오차율을 산출한다.

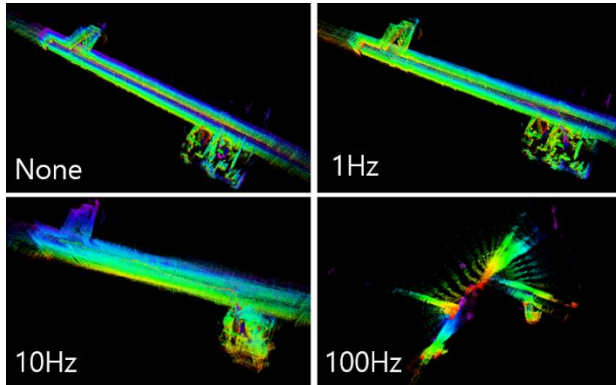


그림 3 관성측정장치 갱신 주기 별 LeGO-LOAM 결과

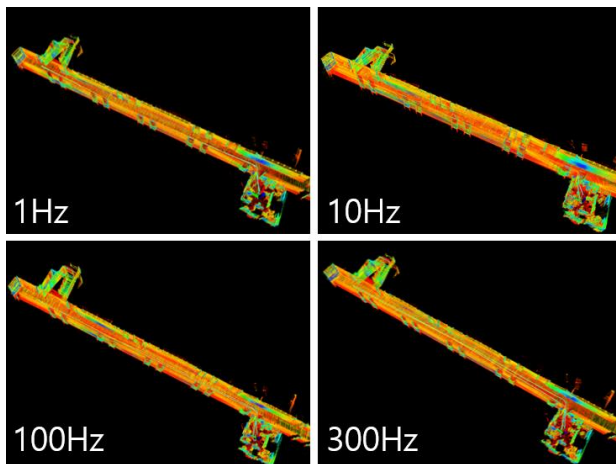


그림 4 관성측정장치 갱신 주기 별 LIO-SAM 결과

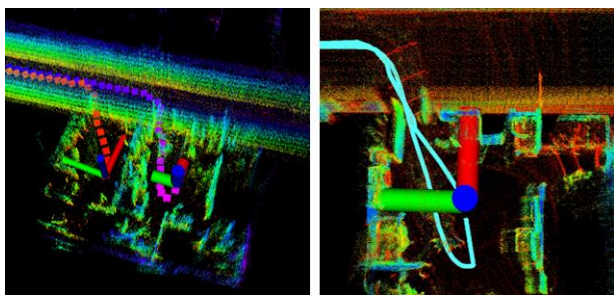
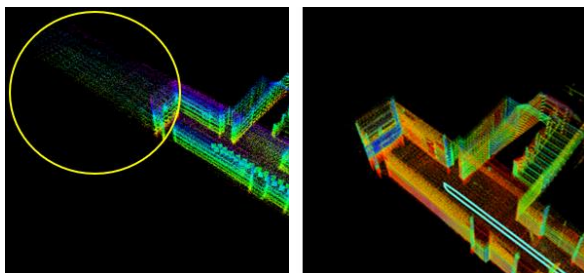


그림 5 LeGO-LOAM(좌), LIO-SAM(우) 원점복귀 오차



(a) LeGO-LOAM

(b) LIO-SAM

그림 6 SLAM 알고리즘별 소실점 발생 현상

III. 비교 및 분석

사용된 IMU의 갱신 주기는 none, 1Hz, 10Hz, 100Hz, 300Hz이며 LeGO-LOAM에서 100Hz와 300Hz는 SLAM이 정확하게 수행이 불가능하기에 제외하였다. 또한 LIO-SAM은 IMU 데이터가 필수 요소이기 때문에 IMU 토픽을 제외하는 실험은 진행하지 않았다. 원점복귀 오차를 시작점과 도착점의 거리를 측정하여 진행하였으며 거리의 오차율은 반환점의 복도 끝과 시작점을 기준으로 길이를 측정하였고 이를 퍼센트로 표기하였다. 그림 3에서 LeGO-LOAM은 IMU의 갱신 주기가 빨라질수록 점점 지도가 변형되어 10Hz를 넘어가는 순간부터는 위치추정과 자세 추정이 불가능하게 되었다. 그림 4 LIO-SAM에서는 LeGO-LOAM보다 회전에 대한 내성이 강력하였으며 조금씩 차이가 존재하지만, 성공적으로 SLAM을 수행하였다. 원점 복귀 오차는 LIO-SAM이 LeGO-LOAM보다 우수하다는 것을 그림 5를 통해 알 수 있다. 추가로 복도에서의 위치 추정이 불안정하여 생기는 소실점 발생 현상은 그림 6를 통해서 확인할 수 있다. LeGO-LOAM이 LIO-SAM보다 소실점 발생률이 높다.

표 1 갱신 주기 별 원점복귀 오차 및 길이 오차율

		IMU renewal cycle(Hz)				
		none	1	10	100	300
Back to origin(m)	LeGO	3.242	3.051	2.154	-	-
	LIO	-	0.169	0.100	0.087	0.029
Length error(%)	LeGO	28.17	21.07	22.36	-	-
	LIO	-	2.88	2.99	1.08	-0.3

IV. 결론

본 논문은 관성측정장치 갱신 주기에 따른 3D-LiDAR 기반 SLAM 기술의 오차율을 측정하는 연구를 수행하였다. 결과에 대한 표로 보아 LIO-SAM의 오차율이 LeGO-LOAM보다 줄어들고 성능이 향상되었음을 확인하였다. 또한 위치 추정에서의 성능 차이로 인해 복도에서의 소실점 발생 현상도 LeGO-LOAM에서는 빈번하게 발생하였던 반면 LIO-SAM에서는 발생하지 않았다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 과학기술정보통신부/정보통신기획평가원의 Grand ICT 연구센터지원사업(IITP-2021-2020-0-01612) 및 ICT 첨단융합기술육성사업(No.2021-0-02087, 사회적 상호작용 기반 다중 로봇 자율 주행을 위한 3차원 Semantic Scene 재구성 응용 기술) 및 한국연구재단 기본연구(2021R1F1A1064358)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] T. Shan and B. Englot. "LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain" IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, 2018
- [2] T. Shan, B. Englot, D. Meyers, W. Wang, C. Ratti and D. Rus. "LIO-SAM: Tightly-coupled Lidar Inertial Odometry via Smoothing and Mapping" IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, 2020