

건축물 실시간 원격 스캔을 위한 SLAM 시스템 개발 시 고려사항

Considerations for Developing a SLAM System for Real-time Remote Scanning of Building Facilities

강태욱¹⁾

Kang, Tae-Wook¹⁾

Received November 11, 2019; Received February 24, 2020 / Accepted February 26, 2020

ABSTRACT: In managing building facilities, spatial information is the basic data for decision making. However, the method of acquiring spatial information is not easy. In many cases, the site and drawings are often different due to changes in facilities and time after construction. In this case, the site data should be scanned to obtain spatial information. The scan data actually contains spatial information, which is a great help in making space related decisions. However, to obtain scan data, an expensive LiDAR (Light Detection and Ranging) device must be purchased, and special software for processing data obtained from the device must be available. Recently, SLAM (Simultaneous localization and mapping), an advanced map generation technology, has been spreading in the field of robotics. Using SLAM, 3D spatial information can be obtained quickly in real time without a separate matching process. This study develops and tests whether SLAM technology can be used to obtain spatial information for facility management. This draws considerations for developing a SLAM device for real-time remote scanning for facility management. However, this study focuses on the system development method that acquires spatial information necessary for facility management through SLAM technology. To this end, we develop a prototype, analyze the pros and cons, and then suggest considerations for developing a SLAM system.

KEYWORDS: SLAM, 3D Point Cloud, Scan, Facility, Management, Consideration

키 워 드: SLAM, 3차원 포인트 클라우드, 스캔, 시설물, 관리, 고려사항

1. 서론

1.1 연구의 배경

스캔 데이터는 유용한 데이터를 포함하고 있어, 정밀시공, 무인 자율차, 로봇틱스, 3차원 지도 생성 등 다양한 어플리케이션에서 사용되고 있다. 최근 건설 분야에서도 스캔 기술은 유지보수, 정밀시공 등의 목적으로 활용도가 점차 많아지고 있다(Kang, 2018).

시설물 관리 시 공간정보는 의사결정 시 기본이 되는 데이터이다. 하지만, 공간정보를 취득하는 방법은 쉽지 않다. 많은 경우, 시공 후 시간이 지나고 시설물 변경이 발생해 현장과 도면이 다른 경우가 발생한다. 이 경우, 현장 데이터를 스캔해 공간정보를 얻어야 한다. 스캔 데이터는 실 축적으로 공간정보를 담고 있어, 시설물 관리 시 공간과 관련된 의사결정 시 큰 도움이 된다. 다

만, 스캔 데이터를 얻기 위해서는 고가의 LiDAR(Light Detection and Ranging)장비를 구매해야 하며, 이 장비에서 얻은 데이터를 처리하는 특수한 소프트웨어를 활용해 정합해야 한다. 스캔은 아직 고가이며 특별히 훈련된 엔지니어가 다룰 수 있는 기술이다.

최근 로봇틱스 분야에서 발전된 지도 생성 기술인 SLAM(Simultaneous localization and mapping)이 건설 분야에 확산되고 있다. SLAM 기술은 거리 측정 센서, IMU(Inertial Measurement Unit) 기술 등을 이용해 점군을 획득하여, 2차원 및 3차원 지도를 실시간으로 생성하는 방법이다. SLAM은 주로 로봇틱스 분야에서 로봇의 위치, 이동 방향 등 네비게이션의 목적으로 응용되었다. SLAM은 임의의 위치에서 상대적 거리를 측정할 수 있는 센서를 이용한다. SLAM에서 사용하는 거리 측정 센서는 초음파, 레이저, 사진측량을 위한 이미지 스캔 등 다양하다. 보통 레이저 기반 거리 측정 센서의 정확도가 높다.

¹⁾정회원, 한국건설기술연구원, 연구위원 (laputa99999@gmail.com)

1.2 목적

SLAM은 지상형 고정식 LiDAR에 비해 정확도와 밀도는 낮으나, 실시간 3차원 지도 생성이 가능하기 때문에, 3차원 점군 정합 시간 등을 크게 줄일 수 있다. 지금까지 엔지니어링 분야에서 개발된 SLAM기술의 정확도는 몇 cm에서 수십 cm 급이다. SLAM 가격은 정확도, 밀도, 스캔 거리에 따라 수천만원에서 1억 내외이나 저가형 LiDAR급이나 기술 개발에 따라 가격과 품질이 좋아지고 있어, 주목할만하다. SLAM을 이용하면, 별도 정합과정 없이 실시간으로 3차원 공간정보를 신속하게 얻을 수 있다.

이 연구는 시설물 관리에 필요한 공간정보를 얻기 위해 SLAM 기술을 활용할 수 있는 지를 개발한 후 테스트해 본다. 대상은 건축물에 한정한다. 이를 통해 시설물 관리를 위한 실시간 원격 스캔용 SLAM 시스템 개발 시 필요한 고려사항이 무엇인지 도출한다.

본 연구는 시설물 관리에 필요한 공간정보를 SLAM 기술을 통해 획득하는 시스템 개발 고려사항 도출에 초점을 맞춘다. 이를 위해 프로토타입을 개발하고 장단점을 분석한 후 SLAM 시스템 개발 시 고려사항을 제안한다.

2. 연구방법

시설물 관리에 필요한 공간정보 획득용 SLAM 기반 스캔 장비 개발 시 고려사항을 도출하기 위해 다음과 같은 방식으로 연구를 진행한다.

문헌조사를 통해 시설물 관리에 활용된 SLAM 사례를 조사한다. 이를 통해, SLAM 활용 시 얻은 효과 및 활용 기술을 분석한다. 아울러 3차원 공간정보 스캔을 위한 SLAM 알고리즘을 분석

한다. 이를 바탕으로 시설물 관리에 필요한 SLAM 구조를 정의하고, 이를 바탕으로 이동식 스캔 시스템 프로토타입을 구현한다. 구현된 프로토타입을 활용해 건물을 스캔한 후 SLAM 결과를 분석하고, 이를 바탕으로 시설물 관리에 활용할 수 있는 이동식 스캔 장비 개발 고려사항을 도출한다.

SLAM 시스템 구조는 다음과 같은 순서를 통해 분석한 후 시스템을 설계한다.

1. SLAM 종류 조사 및 분석
2. SLAM 알고리즘 분석
3. 시스템 아키텍처 설계

3. 문헌조사

국내에서는 시설물 관리 시 필요한 공간정보 생성을 위한 SLAM 시스템 개발 연구는 많지 않다. 해외는 SLAM을 기반으로 한 시설물 관리 연구가 점차 많아지고 있다.

3차원 이미지 스캔 기반 MEP 시설물 관리 기술에 관한 연구가 있었다. 이 연구는 3차원 이미지 스캔 기술을 이용해 기계, 설비 시스템을 관리할 경우 발생하는 문제점 및 개선 방안을 제안하였다(Kang, 2016). 공간정보 자료를 이용한 국·공유지 무단점유 시설물 탐색에 관한 연구가 있었다(Lee, 2018). 이 연구는 공간 관리 차원에서 공유지 무단점유 의심 시설물을 탐지하는 방법론을 제시하였다.

MMS(Mobile Mapping System) LiDAR 자료 기반 정밀 공간정보 매핑 시스템에 관한 연구가 있었다(Lee, 2018). 이 연구는 저가의 MMS 장비 개발에 관한 연구로 LiDAR와 INS를 이용해 포인트 클라우드를 취득하는 방법을 제안했다.

해외 관련 연구는 이미지 캡처 기술을 활용한 BIM 기반 시설물 관리에 관한 연구가 있었다(Becker, 2019). 이 연구는 카메라, LiDAR 등 다양한 이미지 캡처 기술을 BIM 데이터와 통합하는 방법을 제안했다.

스마트 시티 서비스 지원을 위한 실내 맵핑 기술 연구가 있었다(Tanishq, 2017). 이 연구는 실내 맵핑을 위해 스테레오 카메라를 이용한 방식을 제안하였다.

모듈러 건축 기반 리노베이션에 스캔 데이터를 활용한 연구가 있었다. Borodinecs (2018)가 진행한 이 연구는 스캔 데이터를 리노베이션에 효과적으로 활용하는 방법을 제안하고 있다.

2D 이미지로부터 BIM 모델 자동 생성에 관한 연구가 있었다(Xue et al., 2018). 이 연구는 2D 이미지로부터 BIM 구성요소 생성 방법을 제안하였다. 이 연구는 불완전한 이미지로부터 시멘틱 관점에서 BIM 객체를 생성하는 초기 연구로 의미가 있다. SLAM

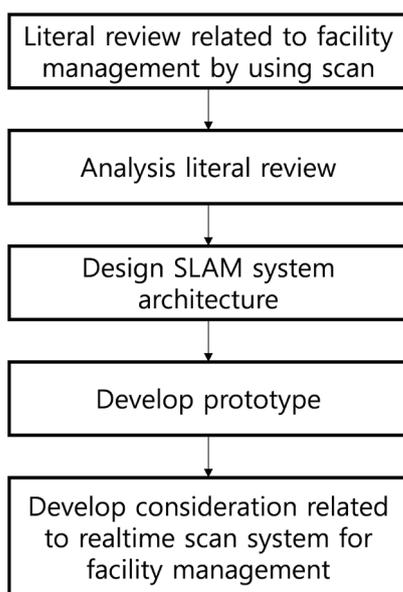


Figure 1. Study process

을 이용해 BIM 객체를 탐색하여 시멘틱 관점에서 맵핑하는 연구가 있었다(Bot, 2019). 이 연구는 SLAM과 BIM에서 추출한 그래프 구조를 서로 비교하여 객체를 맵핑한다.

앞서 언급한 연구는 스캔 프로세스 및 방법론을 개발하거나, 스마트 시티 서비스, 일반 시설물 관리를 위한 스캔 기술, BIM 객체 시멘틱 맵핑 기술 제안이 대부분이다. 본 연구는 건축물을 대상으로 하는 시설물 관리용 공간정보 생성을 위한 SLAM 시스템 개발 시 고려사항을 도출하는 것으로 차이가 있다.

본 연구는 기존 건축물 관리에 필요한 공간정보를 SLAM 기술을 통해 획득하는 시스템 개발 고려사항 도출에 초점을 맞춘다. 이를 위해 프로토타입을 개발하고 장단점을 분석한 후 SLAM 시스템 개발 시 고려사항을 제안한다.

4. SLAM 시스템 구조

4.1 SLAM 종류 조사

시설물 관리 시 필요한 공간정보 획득에 필요한 SLAM 활용을 위해 다음 표와 같이 주요 알고리즘을 조사 분석하였다.

Table 1. SLAM algorithm

Class	Description
LOAM	LOAM(Laser Odometry and Mapping)은 스캔된 데이터에서 곡률 기반 특징점(모서리, 평면 등)을 생성하고, 이전 스캔 데이터에서 생성된 특징점을 기반으로 현재 스캔 데이터의 매칭점과 비교해 주행과적(odometry)을 계산하는 알고리즘이다.
LeGO	LeGO(lightweight and ground optimized lidar odometry and mapping) LOAM을 개선한 방법으로 LOAM에 비해 계산 시간은 줄이고, 루프백(LOOP BACK)을 지원하여 SLAM 안전성을 높인 방법이다. Levenberg-Marquardt algorithm 을 이용해 해 계산방법을 개선한다.
HDL GRAPH	HDL 그래프 SLAM은 3차원 LiDAR를 이용한 SLAM 기술 중 하나로 NDT(Normal Distributions Transformation) 스캔 매칭 및 루프 검출 방식을 알고리즘으로 사용한다. 이 방식은 odometry 예측, RANSAC을 이용한 바닥 검출 등을 이용해 스캔 데이터 매칭을 수행한다.

SLAM 알고리즘은 일반적으로 스캔, 특징점 계산, 정합을 위한 변환행렬 계산, 정합, 정합된 점군 갱신으로 구성되어 있다. 다음 그림은 이를 표현한 알고리즘 정의이다.

SLAM 알고리즘의 주요 계산 과정은 다음과 같다.

A1. Scanning scene data

스캐너에서 본 장면 데이터를 획득한다. 획득한 데이터는 PCD(Point Cloud Data)로 표현된다. 포인트 클라우드는 다음과 같은 데이터로 구성된다.

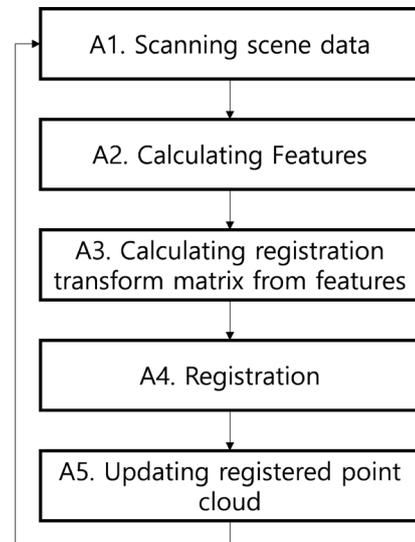


Figure 2. SLAM algorithm

PCD = point, intensity, RGB*

point = x, y, z

RGB = red, green, blue

* = multiple

포인트 클라우드를 구성하는 각 포인트는 스캐너 중심에서 상대적인 좌표이다. 카메라 이미지를 정합하는 기능이 있는 스캐너는 RGB 데이터가 포인트에 맵핑된다. 레이저 스캔 특징으로 인해, 포인트 클라우드는 그림자 영역이나 반사 재질 등은 획득하지 못한다.

A2. Calculating features

일반적으로 스캔된 각 장면에서의 스캔된 데이터 PCD에는 불변인 특징점이 존재한다. 특징점은 특정 곡률을 가진 포인트, 평면 포인트 클라우드 등이 될 수 있다. 각 장면에서 불변인 특징점들을 획득할 수 있다면, 이를 통해 각 장면의 포인트들을 정합할 수 있다. SLAM 처리를 위해서는 실시간으로 각 장면의 특징점들을 다음과 같이 획득해야 한다.

$$\begin{aligned}
 L_s &= \{S_1 \dots S_n\} \\
 S &= PCD, L_f \\
 L_f &= \{F_1 \dots F_n\} \\
 PCD &= \{P_1 \dots P_n\} \\
 P &= \{x, y, z\} \\
 F &= feature
 \end{aligned}$$

여기서, S는 스캔 장면에서 획득한 스캔 데이터로 PCD로 표현된다. Lf는 특징점들을 관리하는 리스트이다. 각 특징점 F는 각 장면에서 불변인 지점이 된다. 이상적인 환경의 경우, F는 각 장면에서 동일하며, 고유하게 구분될 수 있다.

A3. Calculating registration transform matrix

각 장면 별 유사한 특징을 서로 매칭(matching)한다. 서로 같은 최소 3개 특징을 찾아 서로 매칭할 수 있는 매칭 특징 MF(Matching Feature)를 찾을 수 있으면 다음과 같이 정합을 위한 변환행렬인 RTM(Registration Transform Matrix)를 계산할 수 있다. 각 장면별 획득된 MCTM에서 Odometry 데이터를 생성할 수 있다.

다음 식은 이를 표현한 것이다.

$$L_{MF} = \{MF_1, \dots, MF_n\}$$

$$MF = \{F_i, F_j\}, F_i \in L_{f,i}, F_j \in L_{f,i+1}$$

A4. Registration

각 장면의 RTM을 얻으면, 이를 장면의 PCD포인트 클라우드에 적용한다. 이를 통해 하나의 기준 좌표계로 각 장면의 PCD가 정합된다. RTM은 4차원 동차 좌표계로 표현된다. PCD의 각 포인트는 4개의 원소를 가진 벡터로 표현되며, 이를 통해 RTM과 빠른 연산을 실행할 수 있다.

다음 식은 이를 표현한 것이다.

$$RTM = \begin{pmatrix} A & B & C & D \\ E & F & G & H \\ I & J & K & L \\ M & N & O & P \end{pmatrix}$$

$$PCD_r = PCD_o \times RTM$$

4.3 SLAM 객체 구조

이 장은 앞의 SLAM 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 객체 구조를 설계한다.

각 장면은 PCD 데이터를 포함하고, PCD는 포인트들을 포함하여 관리할 수 있어야 한다. 각 장면에서 PCD에 근거한 특징점들을 추출하고, 이는 고유한 특징으로 관리될 수 있어야 한다. 각 장면에 고유한 특징들을 이용해 PCD 정합을 위한 좌표변환행렬을 구할 수 있다.

다음 데이터 구조는 앞에서 기술한 내용을 UML로 설계한 것이다.

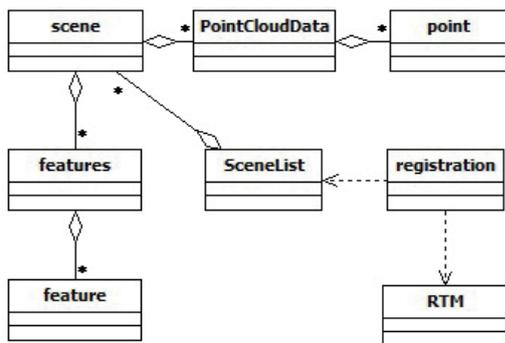


Figure 3. SLAM Object Architecture (UML class diagram)

다음 표는 Figure 3의 클래스 역할을 정의한 표이다.

Table 2. SLAM Class Definition

Class	Role
SceneList	scene list for managing scenes
scene	object including point cloud, features
PointCloudData	object including points scanned from scanner such as LiDAR, photogrammetry, RGBD sensor etc.
point	object including coordinate values such as X, Y, Z
features	object for managing feature
feature	object including feature data
registration	object for calculating RTM by using features
RTM	object including transform matrix for registration

4.4 SLAM 컴포넌트 아키텍처

시설물 관리 시 SLAM을 이용해 PCD를 획득하기 위해서는 이동이 쉬운 장비 제작이 필요하다. 이를 위한 고려사항은 다음과 같다.

- C1. 실시간 스캔을 지원하는 센서 필요
- C2. 시설물 관리 시 필요한 공간정보 획득 가능
- C3. 스캔 데이터를 실시간으로 처리할 임베디드 컴퓨터 (embedded computer) 필요
- C4. SLAM 결과를 확인할 수 있는 디스플레이 장치
- C5. SLAM 시작, 종료, 저장 등 명령 인터페이스 장치

다음 그림은 C1-5 항목을 고려한 컴포넌트 아키텍처이다.

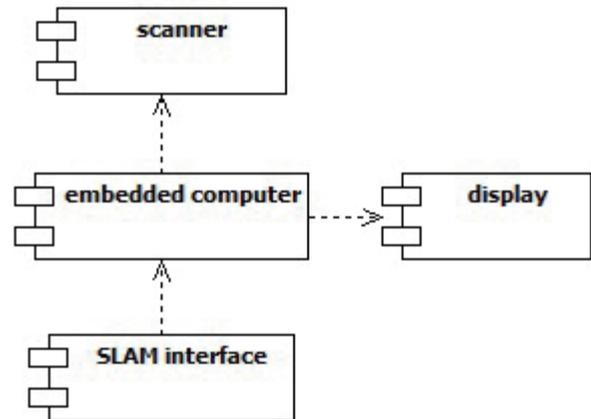


Figure 4. SLAM Component Architecture (UML)

다음 표는 Figure 2의 각 컴포넌트 역할 수행을 위한 조건을 정의한 표이다.

Table 3. SLAM Component Definition

Component	Description
scanner	scanner management component for handling device information with scan position and orientation.
embedded computer	computer for processing PCD acquisition, data noise filtering, SLAM algorithm. data communication with master computer.
display	display for monitoring SLAM process.
SLAM interface	To manipulate SLAM, interface module has function such as start, stop, record, data view etc.

4.5 시퀀스 설계

각 컴포넌트 간 데이터 교환 및 기능 호출을 위한 메시지 교환을 위해서 embedded computer는 말단 센서 및 장치들과 통신을 할 수 있어야 한다.

통신 상태는 모니터링 될 수 있어야 하며, 데이터 및 메시지 교환 시 문제가 있을 경우, 기록되고 진단될 수 있어야 한다. 이를 고려해 본 연구에서는 ROS(Robot Operating System)을 사용한다.

ROS는 일종의 미들웨어로 로봇 뿐 아니라 센서, 액추에이터와 같은 말단 장치들을 연결하고 메시지를 교환하는 역할을 한다. 메시지 교환은 신뢰성있게 처리되며, 관련된 데이터는 진단 및 시뮬레이션 될 수 있도록 기록 및 관리된다.

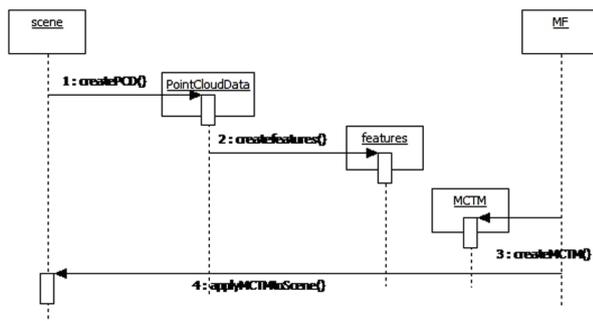


Figure 5. SLAM sequence diagram (UML)

앞서 정의한 알고리즘 및 아키텍처를 고려한 SLAM 처리 흐름은 다음과 같다.

- S1. 각 장면 3차원 스캔 후 PCD 생성
- S2. PCD에서 고유한 특징점 추출
- S3. PCD에서 추출한 특징점을 이용해 각 장면 정합을 위한 좌표변환행렬 계산
- S4. 좌표변환행렬을 이용한 각 장면 PCD 정합
- S5. 앞의 S1~4까지 반복 실행

Figure 5는 S1-5까지 시나리오의 시퀀스 구조를 설계한 것이다. 각 객체는 ROS의 노드(node)로 구현되고, 함수 호출은 ROS 상에서 메시지로 구현된다.

시퀀스 메시지는 데이터 교환에 필요한 기능을 수행하며, 센서 데이터를 획득하거나, 정합하는 데 필요한 정보를 교환하는데 사용된다. Table 4는 시퀀스 구조 상에 기술된 메시지의 역할을 정의한 것이다.

Table 4. SLAM sequence definition

Message	Description
scene::createPCD	Scanning scene data and generating PCD including X, Y, Z with intensity.
PointCloudData::createFeatures	Generating features by using PCDs related to scenes.
MF::createMCTM	Calculating MCTM by using features.
MF::applyMCTMtoScene	Registrating PCDs of scenes by using MCTM.

5. SLAM 프로토타입 개발 및 고려사항 도출

5.1 SLAM 프로토타입 개발

이 장에서는 앞서 기술한 SLAM 프로토타입을 개발하고, 이를 바탕으로 시설물 관리를 위한 SLAM 시스템 개발 고려사항을 도출한다. 시설물 대상은 기존 건축물로 한정한다.

SLAM 프로토타입은 저가의 LiDAR 센서, IMU 센서 및 GPU가 포함된 임베디드 컴퓨터 장비를 이용해 개발한다.

LiDAR는 VLP16 벨로다인 센서를 사용하였고, IMU는 Microstrain사의 중저가 센서를 사용하였다. 시스템 운영 환경은 우분투 운영체제 기반 ROS 18.04 버전을 사용하였다. 임베디드 컴퓨터는 실시간 SLAM처리를 위해, NVIDIA TX2를 사용하였다. SLAM은 ROS에서 구현되었다. ROS에서 ROS 각 노드의 처리 순서는 다음과 같다.

- A1. velodyne node: 스캔 후 PCD 획득
- A2. multi scan registration node: 스캔된 데이터에서 곡률 기반 특징점(모서리, 평면) 생성
- A3. laser odometry: 이전 스캔 데이터에서 생성된 특징점을 기반으로 현재 스캔 데이터의 매 특징점과 비교해 주행과적(odometry)을 계산
- A4-5. laser mapping: 주행과적을 이용해 스캔 데이터를 보정해 정합함. 만약, IMU 센서가 있는 경우, /imu/data에서 얻은 데이터를 이용해 데이터 보정함



Figure 6. Scan Backpack System

각 처리 순서는 앞서 기술한 Figure 2의 A1-5까지 알고리즘과 부합되는 것이다.

건축물 실내 스캔을 위한 SLAM 시스템 개발을 위해, 실시간으로 PCD를 획득하는 상황을 모니터링할 수 있고, 이동이 용이한 백팩 형태의 스캔 장비를 Figure 6과 같이 개발하였다.

스캔 장비 제작 후 SLAM을 통해 다음과 같이 실내 지도 제작에 필요한 점군을 스캔하고, 이를 실시간으로 정합해 보았다. 테스트는 한국건설기술연구원 본관 2동 3층 실내이며, Figure 7과 같이 파티션이 매우 많은 복잡한 환경이다.



Figure 7. SLAM test site

Figure 8은 SLAM으로 획득한 포인트 클라우드 결과 중 일부이다. 포인트 클라우드 가시화는 ROS의 RVIZ 패키지를 사용하였다.

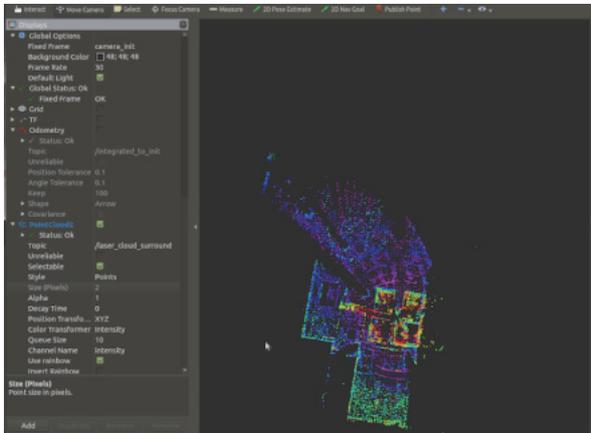


Figure 8. Scanning Building Indoor (KICT)

RVIZ에 가시화되는 포인트 클라우드는 IMU 작동 유무에 따라 Figure 9와 같이 참조 좌표계 프레임 /tf를 기준으로 가시화되도록 하였다.

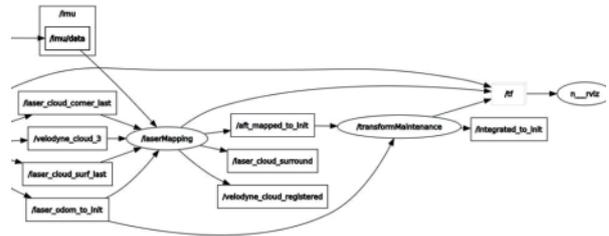


Figure 9. Scanning Building Indoor (KICT)

SLAM은 실시간으로 포인트 클라우드를 정합하므로, 실내 건축물 공간을 전체적으로 순회하면 Figure 10와 같은 결과물을 얻을 수 있다.

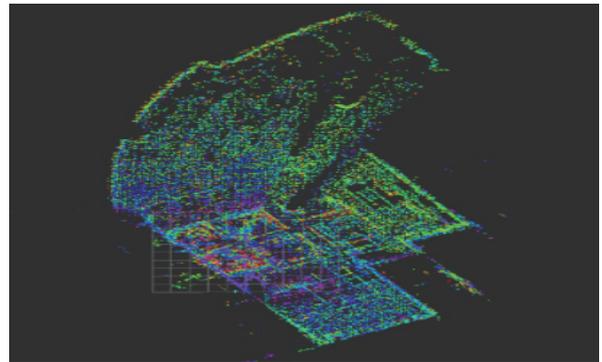


Figure 10. SLAM Results (Topview)

5.2 결과 분석

스캔 대상 장소는 실내이며 파티션이 많은 복잡한 구조로 특징점이 연속적으로 유지되기 어려운 환경적 특징이 있다.

데이터를 확인해 보면 Figure 9에서 포인트 클라우드가 밀집되어 있는 것은 파티션이 모여있어 스캔 데이터가 중첩된 것이다. 그 외에 천장 및 바닥은 위 아래로 포인트들이 흩어져 있다.

실내 창문 쪽이라 반사재질 등이 포함되어 있다. 스캔 결과의 측면을 확인해 보면, Figure 11과 같이 창쪽 유리가 반사되어 노이즈(noise)가 생기는 것을 확인할 수 있다.

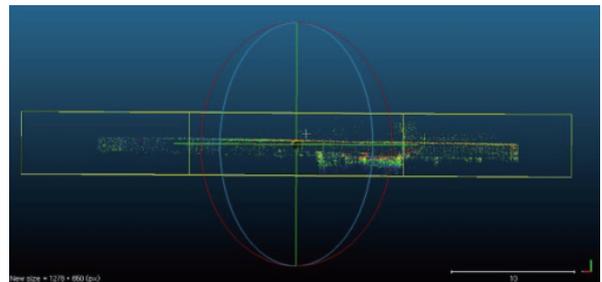


Figure 11. SLAM Results(Sideview) and Noise(red dotted line)

SLAM은 IMU 센서 유무에 따라 테스트해보았다. 두 경우 모두 급격한 회전이나 이동에 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이런 문제를 고려해, SLAM 진행 중에는 가능한 SLAM 알고리즘 계산 시 특징점이 잘 예측 가능한 방향으로 부드럽게 천천히 이동하였다.

IMU 센서가 없는 경우 급격한 회전이나 이동시 오차가 상대적으로 더 많았으며, 정합 대상을 잃어버리면서 스캐닝되는 문제가 좀 더 빈번히 발생한다. 이렇게 정합이 안되고 발산하는 문제는 SLAM 기술의 일반적인 문제로 알려져 있다. 현재 SLAM 기술은 사용자가 스캔하는 방법이나 환경이 정합된 PCD 품질에 나쁜 영향을 줄 수도 있다.

SLAM의 정확도를 확인해 보기 위해, 정합된 PCD와 레이저 거리 측정기(GLM100C)와 측정값을 비교해 보았다. 정확도 비교를 위해서는 스캔 지점으로부터 측정 대상 지점의 점군까지 수평 거리를 정확히 측정할 필요가 있다. 본 연구에서는 다음 수식을 이용해 정확도를 측정하였다.

$$A_{h,L} = |D_{r,L} - D_{s,L}|$$

$D_{r,L} = \text{measure distance}$
 $D_{s,L} = \text{scandistance}$

여기서, $A_{h,L} = D_{r,L}$ 와 $D_{s,L}$ 간 차이 절대값

$D_{r,L} =$ 레이저 거리 측정값

$D_{s,L} =$ SLAM 데이터 거리 측정값

이다.

$A_{h,L}$ 계산을 위해, CloudCompare란 포인트 클라우드 분석 소프트웨어를 이용해 Figure 12와 같이 스캔 바닥으로부터 2미터 지점의 단면을 생성하였다.

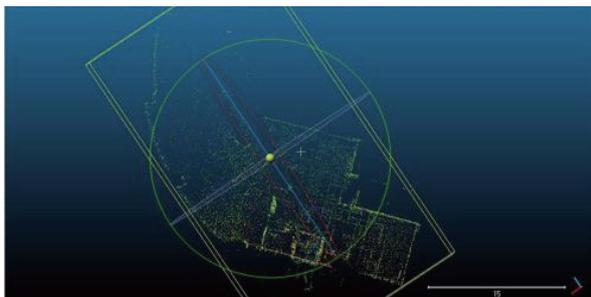


Figure 12. Sectioning result for calculating accuracy (CloudCompare)

이 단면의 상단 위치 중 세 곳을 샘플링하여 기준점을 설정하고, 레이저 거리 측정기와 각 거리를 비교하였다. 기준점과 정확도는 약 0.5미터 사이로 나타났다.

5.3 SLAM 시 고려사항 도출

SLAM 시스템 개발 후 테스트한 결과를 전문가 자문을 통해 검토해 보았다. 전문가 검토 결과 SLAM 정확도는 고정밀 LiDAR에 비해서는 낮으나 건축물 공간 관리, 인테리어와 같이 정밀 시공이 필요 없는 유스케이스에서는 유용하다고 판단하였다.

다만, SLAM 정확도는 스캔 작업 방식 및 스캔 환경에 영향을 받으므로, 적절한 SLAM 작업 지침이 필요하다는 의견이 있었다. 이외에 SLAM 장비 개발 및 활용 시 다음과 같은 부분의 고려가 필요한 것으로 검토되었다.

C1. SLAM에서 노이즈는 포인트 클라우드 정합에 나쁜 영향을 미침. 반사 재질 등에서 발생하는 노이즈를 제거하기 위한 필터링이 필요함.

C2. SLAM 특징점 추출에 관련된 파라미터는 건축물 실내외 환경 조건에 따라 다르게 함으로써, 특징점 추출 품질을 개선할 수 있음.

C3. SLAM 작업 절차를 상황에 따라 표준화함으로써 산출물의 품질을 일정 수준으로 유지할 수 있음.

C4. SLAM이 적용 가능한 범위의 정확도와 밀도를 정하고, 요구사항에 따른 품질 관리 수준을 지침화할 필요가 있음. 아울러, 관련 유스케이스를 예시로 제공하는 것이 산출물 사용자에게 도움이 될 수 있음.

C5. SLAM 시 스캔 현장을 통제하여 사람 등 노이즈를 최소화할 수 있는 여건에서 작업할 수 있도록 지침을 제안하는 것이 필요함.

6. 결론

본 연구에서 기존 건축물 관리를 위해 저가의 SLAM 장비를 개발한 후 테스트함으로써 실제 SLAM이 현장에서 사용될 때 문제점을 검토하고, 이를 개선하기 위한 고려사항을 제안하였다. 이를 위해, 문헌조사를 통한 시설물 관리에 활용된 SLAM 사례를 조사하였고, SLAM 활용 시 얻은 효과 및 활용 기술을 분석하였다.

아울러 3차원 공간정보 스캔을 위한 SLAM 알고리즘을 분석하고, 이를 바탕으로 시설물 관리에 필요한 SLAM 구조를 정의한 후, 이를 바탕으로 프로토타입을 활용해 건물을 스캔한 후 SLAM 결과를 분석하였다. 이를 바탕으로 시설물 관리에 활용할 수 있는 이동식 스캔 장비 개발 고려사항을 도출하였다.

SLAM은 정확도와 밀도 면에서 고정밀 LiDAR에 비해 문제가 있다. 다만, 높은 품질이 필요하지 않은 유스케이스에서는 유용할 것으로 판단된다. 이를 고려한, 장비 및 지침 개발이 필요하다.

향후, 스캔 데이터에서 형상을 맵핑할 때 정확도를 확보하기

위해 노이즈 필터링 기법을 개선하고, 데이터 품질 개선을 위한 방법을 연구할 계획이다. 아울러, 테스트 데이터 양을 보완해 역설계 자동화 효율에 대한 정량적 분석을 할 계획이다. 이를 통해, 다양한 환경에서 사용자가 가능한 SLAM 시스템을 개발할 계획이다.

감사의 글

This research was supported by a grant (20AUDP-B127891-04) from the Architecture & Urban Development Research Program funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government, a grant from Exploratory research on Remote Scan and Defect Detection Platform Technology for Facility and Infrastructure Management funded by Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

References

- Anatolijs, B., Jurgis Z., Modris D., Maris K. (2018). 3D scanning data use for modular building renovation based on BIM model, *MATEC Web of Conferences*, 251, pp. 1-11.
- Becker, R., Lublasser, E., Martens, J., Wollenberg, R., Zhang, H. (2019). Enabling BIM for Property Management of Existing Buildings Based on Automated As-is Capturing. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 36, pp. 201-208.
- Bot, F. (2019). A graph-matching approach to indoor localization: using a mobile device and a reference BIM, Master's Thesis, TUDelft.
- Kang, T. W. (2016). Study on 3D Image Scan-based MEP Facility Management Technology. *KIBIM*, 6(4), pp. 18-26.
- Kang, T. W. (2018). BIM-based Smart Facility Management Framework for Existing Buildings. *Review of Architecture and Building Science*, 62(6), pp. 37-42.
- Lee, J. B., Kim, S. Y., Jang, H. M., H. Y. (2018). Detection of Unauthorized Facilities Occupying on the National and Public Land Using Spatial Data. *Journal of the Korean Society of Surveying*, 36(2), pp. 67-74.
- Lee, K. D., Jung, S. H., Lee, K. H., Choi, Y. S., Kim, M. S. (2018). Mobile Mapping System Development Based on MEMS-INS for Measurement of Road Facility. *Journal of the Korean Society of Surveying*, 36(2), pp. 75-84.
- Pileun, K., Jingdao, C., Yong, C. (2018). SLAM-driven robotic mapping and registration of 3D point clouds, 89, pp. 38-48.
- Tanishq, G., Holden L. (2017). Indoor mapping for smart cities – An affordable approach: Using Kinect Sensor and ZED stereo camera, *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, pp. 18-21.
- Xue, F., Lu, W., Chen, K. (2018). Automatic Generation of Semantically Rich As Built Building Information Models Using 2D Images: A Derivative Free Optimization Approach. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 33(11), pp. 926-942.