Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 3 pp. 312-320, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.312
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

신속한 건축물 스캔을 위한 SLAM기반 이동형 스캔백팩 시스템 개발 고려사항 도출

강태욱
한국건설기술연구원 미래융합연구본부

Identifying Considerations for Developing SLAM-based Mobile Scan Backpack System for Rapid Building Scanning

Tae-Wook Kang
Department of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약 3D 스캐닝과 역설계 기술은 기계/제조 분야에서 먼저 시작하였다. 건설 분야에서는 BIM(Building Information Modeling) 기반 3D 모델링 활용 환경이 조성되어 3D 스캐닝 기술을 이용하여 공장 사전제작, 구조물 시공 검측, 플랜트 시설물, 교량, 터널 구조물 검측 등 건설 전반에 활용하고 있다. 스캔 방식 중 고정식 LiDAR는 이동식 LiDAR에 비해 정확도와 밀도가 높으나 정합 시간과 데이터 처리에 오랜 시간이 걸린다. 하지만, 인테리어, 건축물 관리와 같이 상대적으로 높은 정확도가 필요하지 않은 분야에서 사용자가 편리하게 이동하며 스캔할 수 있는 방법이 생산적이고 효율적이다. 이 연구는 자유롭게 이동하면서 실시간 점군 정합을 지원하는 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)기반 스캔백팩 시스템 개발 시 고려사항을 도출한다. 본 연구를 통해 모바일 스캔 기술을 이용한 스캔 생산성 개선을 위해, SLAM기반 스캔백팩(Scan Backpack) 장치 개발을 위한 프레임웍, 시스템 및 컴포넌트 구조를 제안하고, 프로토타입을 통해 개발 시 고려사항을 도출한다. 프로토타입 개발은 SLAM 및 스캔백팩 2단계로 수행해, 고려사항을 도출하고, 수행 결과를 분석하였다.

Abstract 3D scanning began in the field of manufacturing. In the construction field, a BIM (Building Information Modeling)-based 3D modeling environment was developed and used for the overall construction, such as factory prefabrication, structure construction inspection, plant facility, bridge, tunnel structure inspection using 3D scanning technology. LiDARs have higher accuracy and density than mobile scanners but require longer registration times and data processing. On the other hand, in interior building space management, relatively high accuracy is not needed, and the user can conveniently move with a mobile scan system. This study derives considerations for the development of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)-based Scan Backpack systems that move freely and support real-time point cloud registration. This paper proposes the mobile scan system, framework, and component structure to derive the considerations and improve scan productivity. Prototype development was carried out in two stages, SLAM and ScanBackpack, to derive the considerations and analyze the results.

Keywords : Building, Facility Management, Mobile Scan, Consideration, SLAM, Backpack

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.
*Corresponding Author : Tae-Wook Kang(KICT)
email: ktw@kict.re.kr
Received February 14, 2020 Revised February 26, 2020
Accepted March 6, 2020 Published March 31, 2020

1. 서론

3D 스캔 기술은 기계제조 분야에서 먼저 시작하였다. 건설 분야에서는 BIM(Building Information Modeling) 기반 3D 모델링 활용 환경이 조성되어 3D 스캐닝 기술을 이용하여 공장 사전제작, 구조물 시공 검측, 플랜트 시설물, 교량, 터널 구조물 검측 등 건설 전반에 활용하고 있다. 특히 건축물에 3D 스캐닝을 이용한 역설계 기술을 도입하면 시공과정에서 발생하는 잦은 설계 변경, 설계 도면과 시공 현장의 차이, 간섭 및 재시공 등의 문제점을 예방하고 공장 부재 사전 제작에도 BIM 모델을 구축하여 활용할 수 있다.

선진국에서는 이러한 문제 해결을 위해 3차원 스캐닝 기술을 적용한 기존 건축물의 As-Is 3D 모델 구축이 보급되고 있으며, 미국의 경우 2003년부터 3D와 4D, BIM을 이용하여 GSA 사업을 지원하는 70개 이상 주요 프로젝트를 수행하고 있다.

LiDAR(Light Detection and Ranging)는 최근 건설 분야에서 3차원 공간 지도 생성, 정밀 시공 관리, 시설물 관리 등에 활용되는 기술로, 레이저로 측정한 포인트 클라우드(point cloud. 점군)를 생성하는 장치이다. 최근 스캔 기술은 BIM과 연계해 다양한 목적으로 활용된다. 스캔 방식 중 고정식 LiDAR는 이동식 LiDAR에 비해 정확도와 밀도가 높으나 정합 시간과 데이터 처리에 오랜 시간이 걸린다. 하지만, 인테리어, 건축물 관리와 같이 상대적으로 높은 정확도가 필요하지 않은 분야에서 사용자가 편리하게 이동하며 스캔할 수 있는 방법이 생산적이고 효율적이다. 이 연구는 자유롭게 이동하면서 실시간 점군 정합을 지원하는 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)기반 스캔백팩 시스템을 제안한다. SLAM기반 스캔백팩은 이동하면서 점군이 자동 정합되며, 현장에서 스캔되는 점군을 실시간으로 확인할 수 있다.

본 연구 목적은 상대적으로 높지 않은 정확도가 필요한 건축물 관리 분야에서 모바일 스캔 기술을 이용한 스캔 생산성 개선을 위해, SLAM기반 스캔백팩 장치 개발을 위한 프레임웍, 시스템 구조를 제안하고, 프로토타입을 통해 개발 시 고려사항을 도출하는 것에 목적이 있다.

2. 연구 방법

본 연수를 수행하기 위해, 모바일 스캔 기술과 관련된 동향조사를 수행한다. 동향조사를 통해 도출된 내용을 바탕으로 스캔백팩 시스템 프레임웍을 디자인한다. 프레임웍은 컴포넌트 기능과 상호 관계를 정의하는 역할을 한다. 이동형 스캔에서 필수적인 SLAM 시스템 및 알고리즘 설계 후, OOA/D(Object Oriented Analysis and Design) 접근법으로 시퀀스 정의를 통해 객체를 도출한다. 정의된 시스템 및 프레임웍을 바탕으로 프로토타입을 개발한다. 개발된 프로토타입을 통해, 스캔백팩 개발 시 이슈와 고려사항을 확인한다.

본 연구 범위는 건축물 공간관리, 인테리어와 같은 상대적으로 높지 않는 수준의 스캔 점군 데이터를 신속하게 확보하기 위한 이동식 스캔 장비인 스캔백팩 개발 고려사항을 도출하는 것에 초점을 맞춘다.

3. 관련연구

건축물 유지관리 등의 목적으로 이동식 모바일 스캔을 시스템 관점에서 수행하는 연구는 그리 많지 않다.

국내 관련 연구는 이동식 로버 기반 스캔 자동화 계획에 관한연구가 있었다[1]. 이 연구는 사용자가 복잡한 설비로 이루어진 공간을 스캐닝 할 때나, 사용자가 내부로 진입하기 어려운 좁은 공간을 스캐닝하기 어려운 영역에 스캐너가 장착된 로버를 활용해 이미지 스캔을 하는 방법을 제안하였다. 이 연구는 로버를 이용하였고, SLAM과 같은 기술을 사용하지 않았다.

SLAM을 통해 실내 BIM모델 생성 기술을 연구한 사례가 있었다[2]. 이 연구는 준공 BIM 모델링에 필요한 스캔 데이터를 얻기 위해 graph-based SLAM 기술을 제안하였다. 이 연구는 SLAM기술 개발에 초점이 맞춰져 있다.

ROS(Robot Operating System)기반 자율주행 이동로봇 원격제어 및 Visual SLAM에 관한 연구가 있었다[3]. 이 연구는 주차장 관리를 위한 자율 이동 로봇의 제어시스템에 관한 연구이다. 이 연구에는 SLAM을 이용한 로봇이동탐색용 지도생성기술이 포함되어 있다.

일반 그래프 최적화를 이용한 그래프 기반 SLAM에 관한 연구가 있었다[4]. 이 연구는 일반 그래프 최적화를 이용해 그래프 기반 SLAM을 구현하고 성능을 최적화한 것이다. 이 연구는 SLAM 구현에만 초점을 맞추고 있다.

ROS를 활용한 서빙 이동로봇 구현에 관한 연구가 있었다[5]. 이 연구는 ROS 메타운영체제에서 Ubuntu기반 동작 서빙 로봇 개발에 초점이 맞춰져 있다. 이 로봇은 SLAM을 사용해 탐색지도를 생성하며, 장애물을 회피하

돌고 설계되어 있다.

산림조사 고도화를 위한 SLAM 정확도 평가에 관한 연구가 있었다[6]. 이 연구는 SLAM기술을 이용한 산림 흉고직경 및 수고측정 정확도를 분석한 연구이다.

해외에서는 모바일 스캔 장치 사용보다 개발에 관한 연구에 좀 더 초점이 맞춰져 있다.

이동식 로봇 개발을 위한 신뢰성있는 SLAM 알고리즘에 관한 연구가 있었다[7].

이 연구는 이동식 로봇 개발에 사용되는 SLAM의 신뢰성을 높이기 위해 2.5차원 LiDAR를 디자인하여, 스캔 프레임 간 점군 매칭을 ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘으로 구현하였다.

휴대형 맵핑 시스템에 관한 연구가 있었다[8]. 이 연구는 이동체에 부착되는 스캔 센서들 간의 데이터 동기화 문제를 다루고 있다. 센서 장치들 간의 데이터 동기화를 위해서는 시공간적 일치가 필요하다. 여기서는 sensor-fusion 알고리즘을 제안하고 있다.

앞서 언급한 대부분의 연구는 이동시 스캔 시 정합 알고리즘 구현 및 정확도 분석에 대해 초점이 맞춰져 있다. 이동 스캔 정합 방법은 대부분 SLAM을 사용하고 있으며, 로봇 이동 시 장애물 회피를 위한 공간지도를 생성하기 위한 목적으로 활용하는 경우가 많았다. 일부 SLAM 기술을 측량에 사용하는 연구가 있었으나, 치수 추출 및 정확도 분석의 목적이었다. 조사된 대부분의 연구는 모바일 스캔을 지원하는 스캔백팩 개발 시 고려사항 연구와는 대상 및 목적에서 차이가 있다.

이 연구는 건축물 관리를 위한 SLAM기반 스캔백팩 개발 시 고려사항 도출에 초점을 맞춘다.

4. 모바일 스캔백팩 시스템 프레임웍

4.1 프레임웍 설계

모바일 기반 스캔을 위한 백팩 시스템 요구사항을 정의하기 위해 Fig. 1과 같이 프레임웍을 설계하였다.

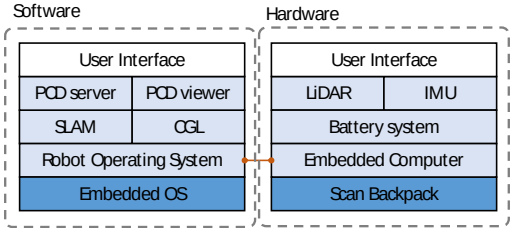


Fig. 1. Framework Definition

모바일 기반 스캔용 백팩은 기본적으로 실시간 정합을 지원하는 SLAM 기능을 포함해야 한다. 데이터 취득은 LiDAR와 IMU 장치를 사용한다. SLAM 알고리즘은 수치해석과 계산기하학을 주로 사용하므로, 이를 지원하는 라이브러리가 필요하다. 장치와 처리모듈 간 통신은 ROS(Robot Operating System)을 사용한다. 고속의 실수 데이터 처리를 위해 성능 좋은 임베디드 컴퓨터(Embedded Computer)가 필요하다.

스캔백팩 하드웨어는 앞서 기술한 프레임웍의 컴포넌트를 패키징하고 스캔 시 이동이 편리해야 한다. 또한, 스캔 시 그림자 영역이 적게 발생되도록 스캔장치 마운트 해야 한다. Fig. 2는 이를 고려한 스캔백팩 하드웨어 개념도이다.

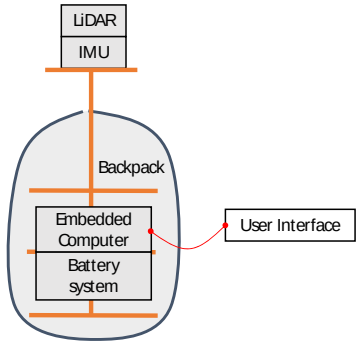


Fig. 2. Scan Backpack Concept Design

4.2 컴포넌트 정의

프레임웍의 세부 컴포넌트 역할은 다음 표와 같다.

Table 1. Framework Component Role Definition

Component	Role
PCD server	Server that manages PCD. Large data storage and retrieval should be possible. Level of Detail (LoD) processing must be available for fast PCD rendering, and spatial indexing must be supported for fast retrieval.
PCD viewer	You should be able to quickly see a large PCD on the screen and see simple dimensions such as distance.
SLAM	A component that implements the SLAM algorithm.
CGL	This component implements the Computational Geometry Library. It must support geometric vector and matrix calculations and be able to handle numerical analysis.
ROS	Robot Operating System is responsible for reliable data exchange between the driver that drives each device and the data processing module.

Embedded OS	It is an operating system for managing programs on small embedded computers that support mobile SLAM and large data processing.
LiDAR	3D image scanning device.
IMU	Device that supports IMU data acquisition.
Battery system	You must have a battery system that supports portable SLAM.
Embedded Computer	It is a small embedded computer capable of processing a large amount of PCD. High speed parallel real number processing for PCD matching calculations should be possible.
Scan Backpack	It is a backpack that can package removable SLAM hardware devices.

SLAM 특성 상 대용량 데이터를 고속으로 정합하기 위해서는 공간인덱싱 구현이 필수적이다. 공간인덱싱은 정합할 점군 데이터를 신속하게 검색할 때 중요한 역할을 한다.

실시간 정합 시 필요한 특징 데이터 계산 및 정합을 위한 좌표변환행렬 계산은 수많은 실수형 연산을 필요로 한다. 이런 이유로 사용되는 임베디드 컴퓨터는 기본적으로 고속의 실수형 병렬 연산이 가능해야 한다.

5. SLAM 시스템 정의

SLAM은 스캔된 포인트 클라우드 장면(Scene)을 실시간으로 정합(registration)할 수 있어야 한다. 각 장면은 스캔 장치에서 스캔 데이터를 얻는 것부터 시작한다. 스캔 데이터는 점군으로 저장되고, 점군에서 불변 특성을 갖는 특징을 추출한다. 각 장면에서 얻은 특징점들의 유사도를 계산해 유사도가 높은 특징점을 얻는다. 그리고 각 장면의 점군을 정합할 수 있는 변환행렬을 계산해 실시간으로 정합시킨다. 다음 SLAM 처리 알고리즘는 이 과정을 기술한 것이다.

5.1 알고리즘 설계

5.1.1 각 장면 별 특징(feature) 계산

보통 각 장면에서 스캔된 PCD에는 불변인 특징 feature가 존재한다. 예를 들어, 특징은 특정 곡률을 가진 포인트, 평면 포인트 클라우드 등이 될 수 있다. 특징은 스캔 장면에 의존된다. 스캔 장면은 PCD를 가지고, 다수의 특징들을 정의한다. 다음 식은 앞서 기술한 내용을 정의한 것이다.

$$F_s = \{F_1 ... F_n\} \quad (1)$$
$$F_s = features\ of\ S \quad (2)$$
$$S = Scene\ PCD \quad (3)$$
$$S_t = S\ set \quad (4)$$
$$PCD = Point\ Cloud\ Data \quad (5)$$

5.1.2 각 장면 별 유사 특징 매칭

각 장면 별로 계산된 특징들 중 유사한 특징을 서로 매칭(matching)한다. 매칭된 특징점들을 MF(Matching Pair)로 정의한다. 서로 같은 최소 3개 특징을 찾아 매칭할 수 있으면 매칭을 통한 좌표변환행렬 T_{mc}(Matching Coordinate Transformation)를 계산할 수 있다. 다음 공식은 이를 기술한 것이다.

$$F_m = \{(F_i, F_j) | 0 \le i \text{ and } j \le F_n\} \quad (6)$$
$$F_m = Feature\ matching\ pair \quad (7)$$
$$F_n = Features\ count \quad (8)$$

5.1.3 장면 정합

각 장면의 매칭 좌표변환행렬 T_{mc}를 얻으면, 이를 장면의 포인트 클라우드에 적용할 수 있다. 이로써 한 좌표계로 각 장면의 데이터가 정합된다. 이는 실시간으로 처리해야하기 때문에 성능 높은 계산 장치를 사용해야 한다.

$$T_{mc} = \begin{Bmatrix} a\ b\ c\ d \\ e\ f\ g\ h \\ i\ j\ k\ l \\ m\ n\ o\ p \end{Bmatrix} \quad (9)$$
$$S' = S_{pcd} \times T_{mc} \quad (10)$$
$$S_{pcd} = PCD\ of\ scene \quad (11)$$

5.2 시퀀스 정의

앞서 기술한 알고리즘을 고려해, 자료구조와 객체설계를 위한 시퀀스를 정의한다.

객체 설계는 OOA/D(Object Oriented Analysis and Design) 방법론에 근거해 알고리즘으로부터 시퀀스, 객체 및 메소드를 도출하고, 이를 객체화하는 방식으로 진행하였다. 시퀀스 설계를 위한 SLAM 처리 흐름은 다음과 같다.

1. SLAM project를 생성한다. project는 프로젝트 기본 정보를 설정하고, SLAM 함수를 호출해 스캔 및 IMU장치를 구동한다.

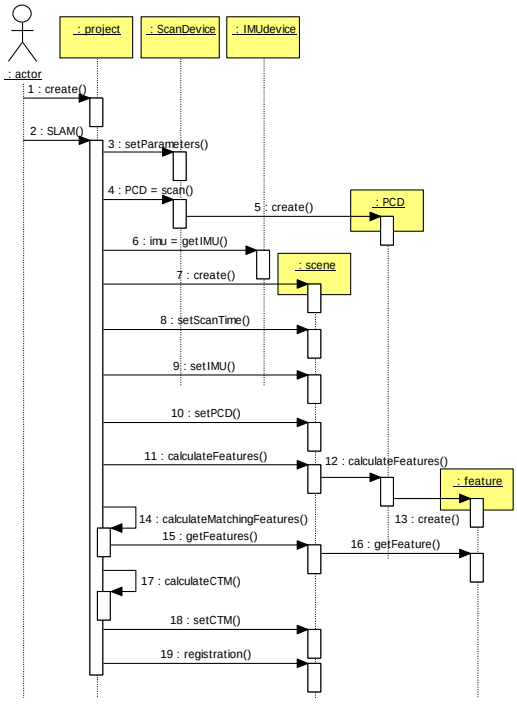


Fig. 3. Sequence Diagram(UML)

2. PCD와 IMU 데이터를 장비로부터 획득한다.
3. scene을 추가 생성한다.
4. scene에 스캔 타임스탬프를 설정한다.
5. scene에 PCD와 IMU데이터를 설정한다.
6. scene에 등록된 PCD에서 feature 데이터를 계산한다.
7. 두 번째 스캔 scene에서 이전 스캔 scene에 포함된 PCD의 feature 데이터와 유사도가 높은 MF를 계산한다.
8. 계산된 MF를 이용해 현재 scene의 PCD를 정합하기 위한 CTM을 계산한다.
9. CTM을 현재 scene의 PCD에 적용해 registration을 수행한다.
10. 앞의 2부터 9까지 단계를 SLAM함수를 종료할 때까지 반복한다.

Fig. 3는 앞의 SLAM 처리 순서를 UML(Uniified Modeling Language) 시퀀스 다이어그램으로 기술한 것이다. 클래스와 멤버를 도출하기 위해, 시퀀스 설계에서 project, scene, PCD와 같은 객체를 추출하였다. 각 객체들은 데이터가 포함된 메시지(message)를 주고 받으며 정보를 생성한다. 메시지는 클래스에서 메소드나 속성 멤버로 추출되었다.

5.3 클래스 설계

SLAM 알고리즘 구동에 필요한 데이터 구조 및 메소드(method)를 정의하여, 컴포넌트(component) 개발에 필요한 요구사항을 규정할 필요가 있다. 앞에서 정의한 SLAM시퀀스에서 정의된 객체와 메소드를 통해 클래스와 멤버를 추출할 수 있다.

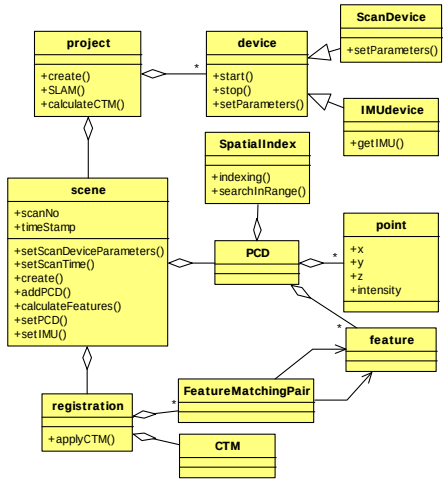


Fig. 4. Class Diagram(UML)

Table 2. SLAM class role definition

Class	Role
project	Manage SLAM project information. Project information includes the scan device and the scanned scene. The members are as follows. create: Creates a project. SLAM: Invoke the SLAM function. calculateCTM: Called to calculate the CTM when the SLAM function is executed.
device	It is a data acquisition device for SLAM. Run the instrument to generate PCD and IMU data. The members are as follows. start: Start the device. stop: Stop running the device. setParameters: Sets the parameters required to drive the device. Scan resolution and the like.
ScanDevice	Scan device such as LiDAR is defined as a class.
IMUdevice	A device such as an IMU is defined as a class.
scene	Scene data is generated for each scan. Scenes are classes that manage this data. The members are as follows. scanNo: The unique number displayed in the order in which the scenes were created when scanning. timeStamp: The time stamp generated in the scan. setScanDeviceParameters: Parameters set on the scan device. setScanTime: Sets the time stamp when scanning. create: Creates a scene. addPCD: Add a scanned PCD. setPCD: Set the scanned PCD.

	setIMU: Set acquired IMU data. calculateFeatures: Calculate the unique features.
PCD	Manage points and calculate features. Use spatial indexes for faster data retrieval.
point	Manage point data. Points basically have real x, y, z and reflection intensities.
SpatialIndex	It supports fast calculation in PCD search for feature data calculation. Spatial indexes should support grid grids, octrees, and R-trees to enable fast retrieval of data. The members are as follows. indexing: Performs spatial indexing using PCD. searchInRange: Searches for and returns data within a given 3D range.
feature	Manage the generated feature data.
registration	It supports matching calculations. For matching, the most similar features among the feature data included in the two scenes are calculated and managed by FeatureMatchingPair.
FeatureMatchingPair	Manage the most similar features in feature data of two scenes.
CTM	CTM for data matching calculated from three or more FeatureMatchingPairs.

Fig. 4는 이를 통해 도출된 클래스 다이어그램이다.

시퀀스 다이어그램에서 각 객체별로 호출된 메시지는 함수로 정의되었으며, 개념상 중복되는 역할을 하는 장치들은 device로 일반화하였다. device는 일반화된 인터페이스 역할을 하므로, 새로운 장치를 추가하고 수정하기 용이해진다. 시퀀스에서 도출되지 않은 공간 인덱스는 프레임웍 설계 때 context를 고려해 추가되었다. 설계된 클래스 다이어그램의 역할 및 함수는 Table 2와 같다.

각 클래스에 정의된 멤버는 데이터 및 알고리즘 결합도를 고려해 할당되었다. 예를 들어, scene은 한 장면 스캔 시 생성되는 점군을 관리하고, 그 데이터에 접근할 수 있으므로, 점군에 대한 특징 데이터를 계산하고, scene 간에 정합을 위한 각종 정보를 관리하기 편리하다. scene에 할당된 멤버는 이런 목적을 위해 정의된 것이다.

registration은 여러 가지 정합계산 전략이 있을 수 있다. 이런 이유로 정합에 관한 연산은 별도 클래스로 설계하였다. registration은 향후 정합 전략에 따라 일반화될 수 있다.

6. 프로토타입 개발

6.1 SLAM 시스템

스캔백팩은 이동형으로 스캔을 하면서 생성된 점군을 실시간으로 정합할 수 있어야 한다. 이를 위해 SLAM 시스템을 포함해야 한다. SLAM은 앞서 기술한 시스템 프레임웍 컴포넌트에 기반해 개발한다.

스캔백팩에 SLAM 시스템을 내장하기 위해서는 소형 임베디드 컴퓨터 및 실시간 LiDAR 센서가 필요하다. 이동식 스캔 시스템이므로 배터리를 이용한 전원이 필요하고, 성능이 뛰어난 임베디드 컴퓨터 장치를 내장해야 한다.

본 프로토타입 개발 시 하드웨어는 이동성과 성능을 고려해 다음과 같이 결정되었다.

- LiDAR: 벨로다인 VLP-16을 사용한다. 고정형 고정밀 LiDAR에 비해 비용이 매우 저렴하고 다양한 산업분야에서 사용될 만큼 개발 시 참조할만한 자료가 많다.
- 임베디드 컴퓨터: NVIDIA TX2를 사용하였다. TX2는 실수형 연산량이 많은 SLAM 알고리즘 계산에 효율적이며, 저렴하다. TX2는 256코어로 고속의 실수 병렬 연산을 지원한다.
- 운영체계: SLAM 실행 환경은 우분투 18.04, ROS melodic을 사용하였다. ROS는 로보틱스 분야에서 표준적으로 사용되는 미들웨어로 로봇의 주요 컴포넌트인 센서와 액추에이터의 구동 드라이버, 데이터 교환, 계산 후 전달 및 시뮬레이션 등을 지원한다.
- 전원체계: 배터리는 14.8V LiPO 배터리를 사용하였다. LiDAR, NVIDIA TX2 등 보드에 LiPO 배터리를 연결하였다. 참고로, TX2에 붙은 개발보드는 모든 테스트 완료 후 제거하고, 캐리어 보드를 부착해 소형화할 수 있다.
- 디스플레이: 정합된 정합을 실시간으로 확인할 수 있는 유저인터페이스 역할을 한다. 디스플레이는 HDMI를 지원하는 장치를 사용한다.

Fig 5는 앞의 내용을 바탕으로 개발한 하드웨어 연결 모습이다.

Fig. 5. SLAM Hardware

6.2 SLAM 시스템 테스트

개발된 모바일 스캔 시스템을 통해 실내 지도 제작에 필요한 점군을 스캔하고, 이를 실시간으로 정합해 본다.

테스트 대상은 한국건설기술연구원 본관 2동 3층 실내이며, 파티션이 매우 많은 환경이다. SLAM 데이터 분석을 위해 ROS의 벨로다인 스캔 모듈에서 생성된 점군을 rosbag 기능으로 실시간 저장한 후 분석하였다.

Fig. 6 중 상단 화면의 점군이 집약되어 있는 부분은 회사에 설치된 파티션이다. 그 외에 점들이 흩어져 있는 부분들은 천장 및 바닥이 스캔된 것이다.

파티션의 경계선은 뚜렷하게 표시된 점군이 생성되며, 창쪽 유리는 반사되어 노이즈가 생기는 것을 확인할 수 있다. 정확도 비교를 위해 SLAM 점군과 측량장비(GLM100C)와 측정값을 조사해 보았다. 그 결과, 조사한 측정한 값의 차이는 평균 0.53미터였다.

개발된 SLAM 시스템 테스트 결과를 다음과 같이 분석해 보았다.

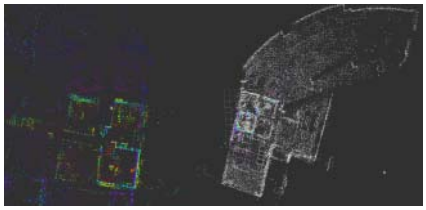


Fig. 6. Scan Backpack Test Results (2019)

- 스캔 환경: 스캔 데이터의 특징점에 적합한 건물 벽, 모서리, 바닥이 있는 넓은 지역에서는 실시간 정합이 잘 처리된다.
- 정합 문제: 파티션 칸막이가 많아 전체 바닥이 잘 안보이는 실내에서는 SLAM이 쉽지 않다. 이는 스캔 데이터에서 안정적인 특징점을 획득을 고려하지 못한 알고리즘이 원인이다. 이 경우, IMU장치를 이용해도 SLAM품질이 크게 개선되지 않았다.
- 노이즈 문제: 유리, 반사 재질 대리석, 화이트 보드 등에서는 스캔 점군에 노이즈가 생성된다. 노이즈는 SLAM시 필요한 특정 데이터 생성 및 매칭에 나쁜 영향을 주었다.
- 대용량 점군 관리 문제: 실외에서는 큰 문제가 없이 진행되나, 점군이 대용량이라 기록파일이 메모리 용량을 넘치는 경우가 발생하였다. 보통 10-20분 이동시 SLAM 점군 데이터 파일은 1GB를 넘어간다.
- 장비 휴대 문제: 사용한 LiDAR 자체가 무겁다. 가능한 LiDAR 장치를 안정적으로 들고 1회 스캔 당 10분에서 20분 정도를 이동하며 스캔하였다. 총 스캔은 6회 였다. 이 경우, 팔 관절에 무리가 가서 이동식 스캔이 쉽지 않았다.

6.3 스캔백팩 시스템 개발

스캔백팩은 모바일 스캔을 위한 실용적 방법이다. 앞서 개발된 SLAM 시스템을 사용해 스캔 백팩을 다음과 같이 개선한다.

- 스캔 센서 위치: 스캔 데이터를 많이 취득할 수 있도록 스캔 장치를 높은 곳에 위치한다.
- 센서 장치 마운트 설계: 스캔 장치를 안정적으로 고정할 수 있는 마운트 장치를 제작한다.

Fig. 7. Scan Backpack with Sensor Mount

Fig. 8. Scan Backpack Test Plan (Scan path: dotted line)

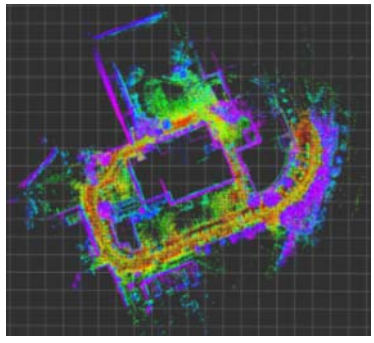


Fig. 9. Scan Backpack Test Results (Top view and ISO view)

이를 반영해, Fig. 7, 8과 같이 스캔백팩 프로토타입을 개발해 스캔을 수행하였다. 실내 스캔 결과와 비교하기 위해 Fig. 8과 같이 한국건설기술연구원 본관 1동, 2동 및 교통 실험동 등을 스캔하기로 동선을 계획하였다. 스캔 전 동선(Fig. 8. 적색 점선 표시)을 계획하고, 건축물 실외에서 이동하며 실시간 스캔 정합을 수행하였다. Fig 9는 SLAM한 점군 결과이다. 건물들을 스캔한 점군이 실시간 정합된 것을 확인할 수 있다.

6.4 고려사항 도출

스캔백팩 프로토타입 테스트 수행 결과 작업 편의성 및 생산성에 개선이 있었다. 다음은 프로토타입 테스트 결과이다.

- 스캔 생산성 개선: 고정식 LiDAR에 비해 정합 시간이 획기적으로 줄어든다. 전문가 의견으로 일반적으로 5개 지점에 대한 스캔 데이터를 정합하기 위해서는 별도 정합 소프트웨어가 필요하고, 작업 준비 시간을 포함해 최소 30분 이상의 시간이 필요하다.
- 작업 편의성 개선: 스캔백팩은 휴대형 스캐너와 같이 손으로 들고다니는 장치에 비해 무겁지 않고, 이동이 편리하다.
- 실시간 정합 결과 확인 가능: 디스플레이 장치를 통해 현재 스캔 작업 과정을 실시간으로 확인할 수 있었다.
- 안전성 있는 스캔: 스캔백팩에 디자인된 무게중심을 고정하기 위한 밸트를 고안해, 안전성있는 스캔이 가능하였다.

스캔백팩 프로토타입으로 테스트한 결과, 장비 운용 및 기능 문제도 확인할 수 있었다.

- 무게중심 문제: 센서가 상단에 위치해 무게중심이 높다. 급하게 이동하면 스캔백팩이 뒤집혀지는 경우가 있었다. 이런 경우, 장비에 손상이 발생할 수도 있다.
- 센서 마운팅 문제: 스캔 장치들과 마운트는 유지보수 등의 목적으로 분리탈착이 필요할 수 있다. 개발된 프로토타입은 마운트와 센서가 고정되어 있어, 별도 분리 시 불편하다.
- 소모성 장비 탈착 문제: 배터리 등 소모성 부품은 장착, 탈착이 편리해야 한다.
- 야외 화면 시인성 문제: 야외가 밝은 날은 명도차이가 부족해 디스플레이에 표시된 정보를 확인하기 어려웠다.
- SLAM 기술 문제: SLAM 기술 특성 상 특정 장면에서 정합문제가 발생되면, 다시 처음부터 스캔 작업을 해야 했다.
- 전원 문제: 배터리 시간에 제약이 있어, 수시로 배터리를 교환해야 했다. 참고로, 본 시스템은 LiPO 14.8V 72000mAh를 사용하여 3시간 동안 스캔 작업을 하였다.

7. 결론

본 연구에서 모바일 스캔 기술을 이용한 스캔 생산성 개선을 위해, SLAM기반 스캔백팩 장치 개발을 위한 프레임웍, 시스템 구조를 제안하였다.

본 연수를 수행하기 위해, 모바일 스캔 기술과 관련된 동향조사를 수행하였고, 도출된 내용을 바탕으로 스캔백팩 시스템 프레임웍을 디자인하였다. 프레임웍은 프로토타입 개발에 반영되었고, 이를 통해 고려사항을 도출하였다. 스캔백팩 프로토타입 개발은 SLAM 시스템 및 스캔백팩 개발의 2단계로 구분되어 수행되었다. 1단계 테스트를 통해 스캔 환경 등 5개 항목. 2단계 테스트를 통해 6개 고려사항을 도출하였다. 이를 통해, 장비 무게중심, 마운팅 방법, 소모성 장비 탈착, 시인성을 고려한 디스플레이 인터페이스, 전원 문제 등을 개발 전에 고려할 필요가 있음을 알 수 있었다.

향후, 개발된 이동형 스캔 시스템을 이용하여 좀 더 다양한 건물에 대한 스캔을 수행해 성능을 정량평가하고, 정확도를 분석할 계획이다. 이를 통해, 작업 효유성이 높은 모바일 스캔 시스템을 개발할 계획이다.

References

[1] Kang, T. W. “3D Image Scan Automation Planning based on Mobile Rover” *Korea Academia-Industrial cooperation Society,* Vol. 20, No. 8, pp.1-7, 2019. DOI:http://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.8.1

[2] Jung, J. H., Yoon, S. H., Cyrill, S., Heo, J. “A Study on 3D Indoor mapping for as-built BIM creation by using Graph-based SLAM” *Korea Journal of Construction Engineering and Management,* Vol.7, No.3, pp32-42, 2016. DOI :http://doi.org/10.6106/KJCEM.2016.17.3.032

[3] Do, J. C., Lee, W. H. “ROS based remote control of an autonomous mobile robot and visual SLAM for parking lot management” *Journal of Institute of*

Control, Robotics and Systems, Vol.24, No.11, pp.1088-1023, 2018.
DOI: http://doi.org/10.5302/J.ICROS.2018.18.0119

[4] Ko, N. Y., Chung, J. H., Jeong, D. B. "The Implementation of Graph-based SLAM Using General Graph Optimization" *Journal of KIECS,* Vol.14, No.4, pp.637-644, 2019.
DOI: http://doi.org/10.1109/MITS.2010.939925

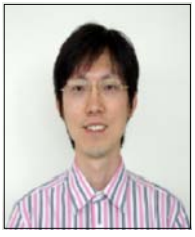
[5] Kim, U. S., Kim, B. S, Kim, I. S. "Implementation of serving mobile robot using ROS" *Journal of KIIT,* Vol.17, No.2, pp.33-43, 2019.
DOI:http://doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.2.33

[6] Yun, H. C., Lee, J. S. "Accuracy Evaluation and Analysis of SLAM for the Advancement of Forest Investigation" Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.19, No.12, pp.734-739, 2018.
DOI: http://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.734

[7] Yang, Y., Yang, G., Tian, Y., Zheng, T., Li, L. and Wang, Z. May. "A robust and accurate SLAM algorithm for omni-directional mobile robots based on a novel 2.5 D lidar device" *In 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA),* pp.2123-2127, 2018.
DOI: http://doi.org/10.1109/ICIEA.2018.8398060

[8] Klingbeil, L., Eling, C., Heinz, E., Wieland, M. and Kuhlmann, H. "Direct georeferencing for portable mapping systems: In the air and on the ground" *Journal of Surveying Engineering*, Vol.143, No.4, pp.4-17, 2017.
DOI: http://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000229

강 태 욱(Tae-Wook Kang) [정회원]



- 2009년 3월 : 중앙대학교 건설환경공학 (공학박사)
- 2010년 6월 ~ 2011년 5월 : 중앙대 겸임교수
- 2011년 6월 ~ 2012년 6월 : 한길아이티 BIM본부장
- 2012년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

〈관심분야〉
CAD, CAM, BIM, GIS, Computer Graphics, SW공학