

# 2023 전기 졸업과제

## 착수 보고서

LiDAR 센서 데이터 기반 3D 공간 구축

지도교수: 김원석

팀명: 카트라이다

201824616 홍주혁

202055640 남예진

202055647 우현우

## <목차>

### 1. 과제 배경 및 목표

### 2. 진행 방안

#### 2.1. 시스템 설계

#### 2.2. 관련 알고리즘

### 3. 예상 문제점 및 대책

### 4. 연구방향

### 5. 역할 분담 및 개발 일정

#### 5.1. 역할 분담

#### 5.2. 개발 일정

### 6. 참고 자료

## 1. 과제 배경 및 목표

최근 다양한 분야에서 3 차원 공간의 정보 생성, 구축, 활용에 관한 연구를 진행하고 있다. 특히 디지털 트윈 시장이 빠르게 확장되고 있다. 디지털 트윈(Digital Twin)이란 현실 세계에 실재하고 있는 것을 가상 공간에 구현하고 현실의 실시간 데이터로 업데이트하며 업데이트 한 가상 공간에서 시뮬레이션, 머신 러닝, 추론을 통해 의사 결정을 돕는 가상 모델을 의미한다. 디지털 트윈은 건축 공사, 토목, 제조업, 도시 운영 등 많은 업계에서 사용되고 있다.

디지털 트윈에 필요한 3 차원 공간 정보를 생성하기 위해 카메라, LiDAR 등의 다양한 센서가 사용된다. 이 중 LiDAR(light detection and ranging) 센서는 레이저 펄스를 쏘고 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 반사체의 위치 좌표를 측정한다. 조명 등 외부 환경적 방해로 적게 받고, 비교적 넓은 범위의 3 차원 정보를 포인트 클라우드(point cloud) 형태로 획득하여 정밀도가 높아 각광받는 시스템이다.

LiDAR 를 이용하는 3 차원 공간과 관련된 선행 연구에서는 빠르고 효율적으로 물체를 감지하는 기술을 주제로 많이 다루고 있었다. 본 과제에서는 LiDAR 센서를 사용할 때 레이저가 투과하지 못해 손실되는 포인트를 보간하여 원본 공간의 벽, 바닥 그리고 장애물을 3 차원으로 구현하는 것을 목표로, 공간 자체에 주목해보고자 한다.

3 차원 공간의 구현은 Unity 를 활용할 예정이다. Unity 는 3D 엔진, 에디터로 게임 제작, 영화, 제조업, 건축 설계 등 3D 시뮬레이션과 시각화가 필요한 분야에서 폭넓게 사용된다. 다양한 플랫폼으로 빌드가 가능하며 확장성이 뛰어나다는 장점이 있다. Unity 의 mesh renderer 기능을 활용하여 원본의 공간과 공간 상의 장애물을 3 차원 가상 환경으로 옮긴 후, Unity 에 구현한 가상 환경에서 이를 다양하게 활용하여 최종적으로 디지털 트윈 공간을 구축할 수 있다. 부동산의 매물 정보 조회, 실내 인테리어, 산업 현장의 가상환경 시뮬레이션 등 다양한 분야에서 본 과제가 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 진행 방안

### 2.1. 시스템 설계

본 과제는 OctoMap 라이브러리 및 기하학적 분석을 통해 진행하려고 한다.

수동 조작으로 작동하는 카트에 LiDAR 센서와 라즈베리 파이를 장착 후 대상 공간을 순회하여 스캔한다. 스캔을 통해 얻은 포인트 클라우드 데이터를 OctoMap 라이브러리에서 처리하여 3차원 공간의 포인트들의 배열을 구할 수 있다. 포인트들의 배열은 TCP 통신으로 클라우드 서버 또는 메인 컴퓨터로 전송한다. 메인 컴퓨터에서 수신한 포인트 배열을 여러 알고리즘으로 분석하고, 최종적으로 Unity에서 3D 모델로 디지털 트윈 공간을 구축한다. 현재 계획 중인 처리 시스템의 대략적인 구성은 다음과 같다.

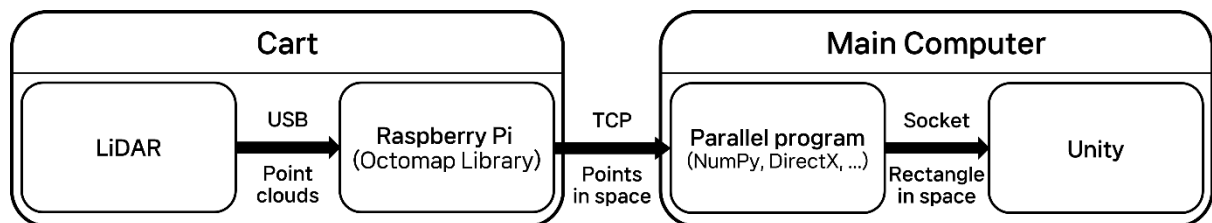


그림 1 처리 시스템 구성도

라즈베리 파이로부터 전송된 포인트 배열은 메인 컴퓨터의 병렬 프로그램(NumPy, DirectX 등)에서 처리한다. 전송 방법은 사용 환경을 고려하여 AWS 등의 클라우드 서버를 경유하거나 직접 전송한다. 병렬 프로그램에서 전달받은 포인트들을 RANSAC, clustering, 기하학적 분석 등을 통해 3차원 사각형들로 변환할 계획이다. 추가로 성능 향상을 위해 포인트들을 3차원 그리드 자료 구조에 배분하여 처리하는 방식도 사용 가능할 것으로 예상된다. 변환된 사각형들의 데이터는 네 개의 3차원 포인트들로 표현된다. 변환된 사각형들의 배열은 소켓, 공유 메모리 등의 프로세스 간 통신을 통해 Unity로 구현된 3D 모델링 프로그램으로 전달된다. 3D 모델링 프로그램은 사각형 배열을 받아 구조적 특성을 분석하여 바닥, 벽, 장애물로 구분하고, 이를 최종적인 3D 모델로 렌더링한다. 해당 프로그램에서는 키보드 및 마우스를 조작하여 화면을 움직이고 장애물 렌더링 여부를 선택할 수 있도록 만들 계획이다.

### 2.2. 관련 알고리즘

- SLAM  
LiDAR 센서가 원본 공간을 측정하며 특징점을 찍고 이를 통해 위치, 거리의 변화를 계산하여 3D 포인트 지도를 형성한다.
- 사각형 추출

- 3차원 그리드 자료구조, XYZ 좌표 별 정렬 배열  
가까운 포인트를 찾는다.
- RANSAC(random sample consensus)  
인접한 포인트들을 토대로 평면의 inlier 및 평면 방정식을 추출한다.
- 평면과의 거리를 통한 평면 포인트 합병  
기존 평면과 새 포인트의 거리로 합병여부를 판명한다.
- 법선 각도를 통한 평면 포인트 합병  
기존 평면의 법선과 새 포인트-기존 평면 소속 포인트들로 구성된 평면 법선의 각도로 합병 여부를 판정한다.
- Clustering  
이미 평면 그룹이 구성된 상태에서 k-means 반복 등을 통해 그룹을 재구성한다.
- KNN  
이미 평면 그룹이 구성된 상태에서 인접한 포인트를 합병한다.
- 벽, 바닥, 장애물 구분
  - Thresholding  
특정 값 또는 포인트를 기준으로 y 좌표 threshold로 바닥 면 포인트들을 구분한다.
  - Convex Hull  
수직 단면도의 점들을 추출하여 볼록 다각형을 형성, 이를 벽으로 구분한다.

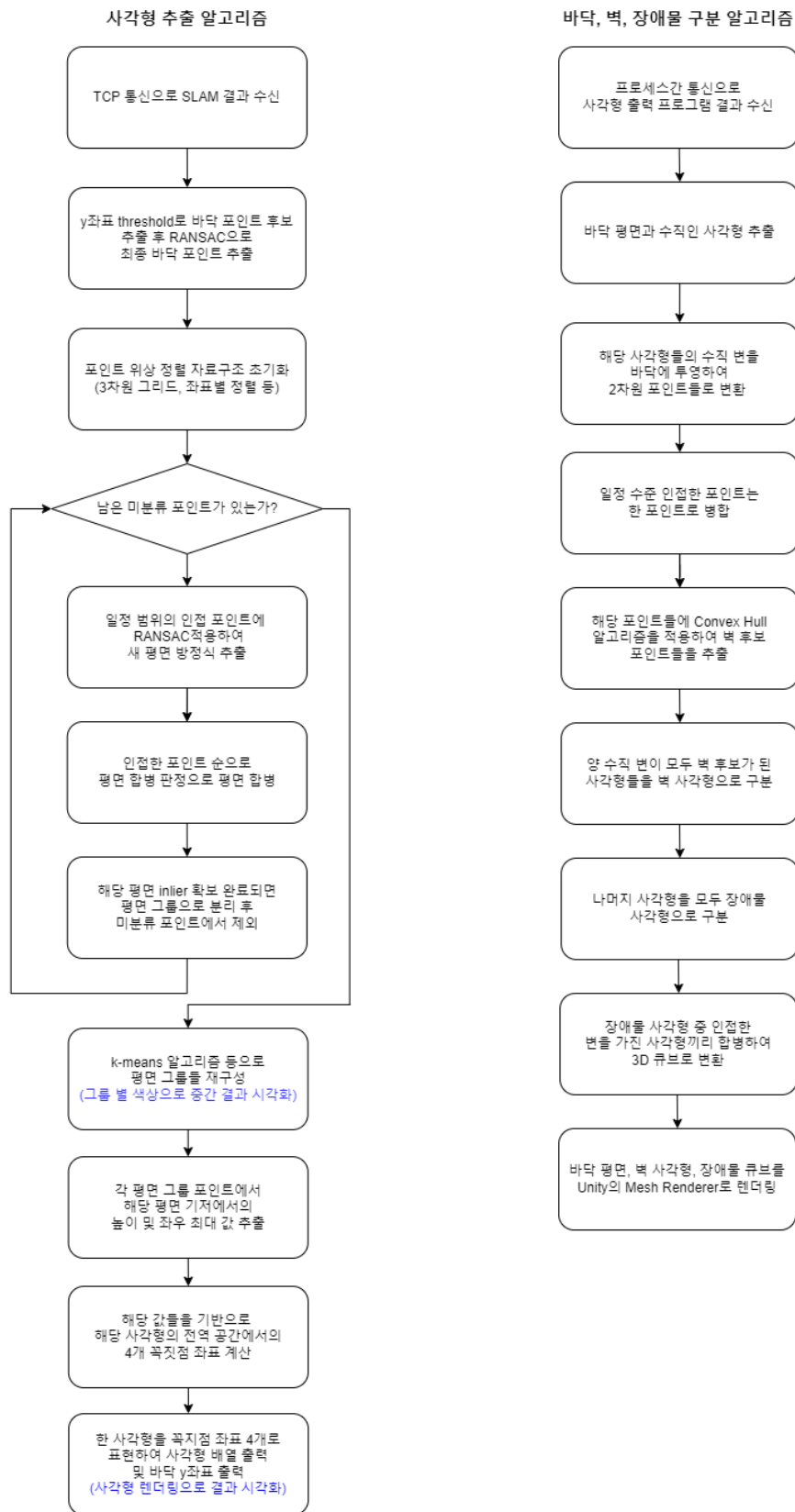


그림 2 flow chart

### 3. 예상 문제점 및 대책

과제 수행 중 예상되는 문제점으로는 네 가지가 있다.

첫째, 공간 구축에 필요한 정보를 충분히 수집하지 않으면 면을 생성하는데 필요한 데이터가 부족할 수 있다. LiDAR 센서가 설치된 카트의 속도를 적절히 조절하는 등 충분한 데이터를 모을 과정이 필요하다.

둘째, 데이터 처리에 필요한 SLAM이나 사각형 추출 연산, 공간 구분의 과정을 라즈베리 파이에 구현하여 실행하기엔 라즈베리 파이의 RAM, 저장 공간의 용량이 부족할 수 있다. 따라서 라즈베리 파이에서는 LiDAR 센서로 얻은 포인트 클라우드 데이터를 수집하고 클라우드 서버로 전송하여 PC 환경에서 처리하는 등의 다른 대안이 필요하다.

셋째, LiDAR 센서는 다양한 가격대가 존재하고 이에 따라 성능 차이 또한 존재한다. 저렴한 센서는 만원 대로도 구할 수 있지만 고가의 센서는 몇 백만 원을 넘기기도 한다. 과제에 사용되는 센서는 18만 원 정도로 고가의 센서에 비해 좋지 않은 성능을 보일 수 있다. 따라서 공간을 측정하는 과정에서 이상 값이 다수 포함된 포인트 클라우드가 생성될 가능성이 있고, 존재하지 않는 장애물을 형성하는 등의 오류를 발생시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 일정 수준의 오차를 감안하여 계산해야 한다.

마지막으로 데이터 수집 과정에서 사람이 센서 앞을 지나가는 등 움직이는 물체를 스캔하는 경우에도 이상 값이 수집될 수 있으므로 카트가 공간을 스캔할 때 주의를 기울여 움직이는 물체가 인식되지 않도록 하거나 이상 값을 제거하는 과정이 필요하다.

### 4. 연구방향

테스트 공간으로는 경사가 없는 바닥, 각 바닥과 90도를 이루는 벽으로 이루어진 3차원 직육면체 방을 구성한다. 장애물 또한 3차원 직육면체로 구성하여 공간 상에 위치시킨다. 장애물이 공중에 띄어져 있는 경우는 없도록 한다. 공간의 벽과 바닥, 장애물은 카트의 이동만으로 충분히 스캔할 수 있는 범위이다.

다양한 SLAM 알고리즘과 사각형 추출 알고리즘을 적용하여 공간 구축에 걸리는 시간이나 정확도를 평가 후 과제에 적절한 알고리즘을 선택하여 연구를 발전시킬 수 있을 것으로 예상된다.

벽, 바닥, 장애물을 이루는 면을 모두 사각형이 되도록 구성하였으나 형태를 다르게 하였을 때도 동일하게 잘 구분되도록 연구를 발전시킬 수도 있다.

## 5. 역할 분담 및 개발 일정

### 5.1. 역할 분담

이름	역할
홍주혁	카트 및 테스트 공간 제작, 카트 조작 프로그램 개발, SLAM 적용
우현우	라즈베리 파이와 메인 컴퓨터 간 TCP 통신 구현, 사각형 추출 알고리즘 구현
남예진	평면 구분 알고리즘 구현, Unity 3D 모델링 프로그램 개발
공통	보고서 작성 및 발표, 테스트 및 성능 평가

### 5.2. 개발 일정

6월				7월				8월				9월			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
관련기술 공부															
		SLAM 구현													
		TCP 통신 구현													
		구분 알고리즘 구현													
					카트 관련 제작, 개발										
					point to rectangle process 개발										
						Unity 프로그램 개발									
						중간 보고 서 작성									
									테스트 공간 제작, 테스트 및 성능 평가						
												최종 보고서 작성 및 발표 준비			



## 6. 참고 자료

"실감형 3D 공간정보 기술로, 고정밀 3D 공간정보 활용 생태계 구축", 공학저널, 2021.11.01

"LiDAR", 「위키백과」

"Unity 활용 사례", <https://unity.com/kr/case-study>

"디지털 트윈(Digital Twin)이란?" <https://www.ibm.com/kr-ko/topics/what-is-a-digital-twin>

"디지털 트윈", 「위키백과」

"OctoMap", <https://octomap.github.io/>

"Easy SLAM with ROS using slam\_toolbox", <https://www.youtube.com/watch?v=ZaiA3hWaRzE>