

# 실외 자율주행 로봇을 위한 실시간 Point Cloud Ground Segmentation

손지원<sup>1</sup>, 문형필<sup>2</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 기계공학부 학부생

<sup>2</sup>성균관대학교 기계공학부 교수

sonji100@naver.com, hyungpil@g.skku.edu

## A Real-time Point Cloud Ground Segmentation Study for Outdoor Autonomous Robots

Ji-Won Son<sup>1</sup>, Hyung-Pil Moon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School. of Mechanical Engineering, Sung-Kyun-Kwan University

<sup>2</sup>Dept. Mechanical Engineering, Sung-Kyun-Kwan University

### 요 약

Real-time Point Cloud Ground Segmentation은 자율주행에서 판단 및 객체 탐지/추적 등 다양한 분야에 도움을 준다. 이에 따라, Real-time Point Cloud Ground Segmentation을 했으며, 센서로는 라이다, 알고리즘으로는 TRAVEL논문을 인용했다. 또한 Real-time Point Cloud Ground Segmentation뿐만 아니라 이동가능지형 판단(Traversability)을 하였다. 그리고 최종적으로, 위와 같은 알고리즘들을 회사 로봇(Scout Mini Robot)에 접목시켰으며 그 과정에서 TRAVEL 알고리즘내에 내제된 파라미터 값들을 최적화시키는 과정이 필요하였다. 그래서 3가지의 방법을 통해 파라미터 값을 선정한 후, 결과값을 비교 분석하였다. 연구 결과, Rellis-3D와 베이지안 최적화를 사용한 베이지안 파라미터가 최적의 파라미터임을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

자율주행에서는 크게 인지, 판단, 제어로 나누어진다. 이 중 인지인 지면분할을 연구하였다. 지면 분할은 판단 및 객체 탐지/추적 등에 도움을 줄 수 있다. 이에 따라 지면분할이 자율주행에 있어서 중요한 부분임을 알 수 있으며, 지면분할을 하기 위해 센서로 라이다를 사용하였다. 라이다는 카메라, 레이더와 같은 다른 센서들과 비교하였을 때, 높은 해상도와 정확도를 가지기에 지면분할에 있어서 다른 센서들에 비해 보다 적합함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 라이다 센서를 사용했으며, 라이다 센서를 사용하는 지면분할 중 TRAVEL 논문[1]에 있는 TRAVEL 알고리즘을 사용하였다. TRAVEL 알고리즘은 삼각형 격자 구조를 이용하여 분할한 후, 각 구간을 주성분 분석을 통해 평면 모델(Planar Model)을 만들며, 오목성과 볼록성을 고려하여 이동 가능한 최종 지형 모델을 만든다. 이후, 지형 모델과 포인트 간의 거리를 비교분석하여 지면 포인트와 비지면 포인트를 구분한다. 다른 알고리즘들과 비교하였을 때, 노드-엣지 그래프 구조(Node-Edge Graph Structure)를 이용한 이동가능 지형 판단, 너비 우선

탐색(BFS)와 주성분 분석(PCA)등을 통한 실시간성 보장이라는 특징들이 있으며, 추가적으로 러닝(Learning) 기반의 알고리즘이 아니기에 처음 접하는 환경에서도 사용이 가능하다는 특징이 있다.

### 2. TRAVEL 알고리즘 최적화 과정

TRAVEL알고리즘을 회사 로봇(Scout Mini Robot)에 접목시키고자 하였다. 기존의 TRAVEL 알고리즘에서는 Node\_msgs라는 커스텀 메시지를 사용하였지만 회사 로봇에서는 Sensor\_msgs::PointCloud2라는 메시지를 사용하기에 이에 맞추어 코드의 일부분을 변경하였다. 이후 회사 로봇으로 취득한 백파일(Bag File)을 통해 TRAVEL 알고리즘이 어느 정도 잘 작동하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 환경 및 로봇의 구조 차이로 인해 TRAVEL 알고리즘 내의 파라미터 값들을 최적화할 필요가 생겼다. 그래서, 지면과 비지면, 미정(Unknown)을 구분하는데 사용되는 파라미터 5개, 이동가능지형을 판단하는데 사용되는 파라미터 2개의 값을 변경하고자 하였다. 그리고 총 3가지의 방법으로 파라미터 값들을 선정한 후, 결과값을 비교 분석하였다. 3가지의 방법으로는 TRAVEL 알고리

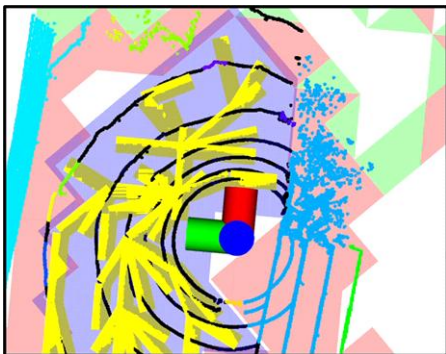
즘 내에 지정되어있는 파라미터 값인 기존의 파라미터, 백파일(Bag File)을 직접 돌려보며 값을 수정한 수정된 파라미터, Rellis-3D[2]라는 오픈 데이터셋을 바탕으로 베이지안 최적화를 통해 파라미터 값을 구한 베이지안 파라미터가 있다.

**3. 최적의 파라미터 선정 과정**

기존의 파라미터, 수정된 파라미터, 베이지안 파라미터에 대해서 Rellis-3D[2]를 통해 스코어(Score)와 시간(Time)을 계산하여 비교한 후, 추가적으로 백파일(Bag File)을 통해 성능을 파악하였다. 먼저, Rellis-3D[2]에서 설정된 라벨들을 지면, 비지면, 미정(Unknown)으로 분류해준 후,  $0.65 * F1\_Score + 0.35 * (0.1 * 1000 / Time(ms))$ 라는 스코어(Score)식을 통해 각각의 파라미터 값에 대한 결과값을 만들어주었다. 그 결과, 표1와 같이 베이지안 파라미터에서 스코어(Score)가 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 특히, 시간(Time)에 있어서 베이지안 파라미터가 다른 파라미터에 비해 월등히 적은 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 Rellis-3D[2]에서는 베이지안 파라미터가 최적화된 값을 알 수 있었으며, 이러한 값이 회사 로봇에서도 좋은 성능을 유지하는지 확인하고자 백파일(Bag File)에 적용하였다. 그 결과, 그림1과 같이, 베이지안 파라미터에서 좋은 성능을 유지하는 것을 확인할 수 있었으며, 특히 시간(Time)에서 Rellis-3D[2]처럼 베이지안 파라미터가 월등히 작은 것을 확인할 수 있었다. 추가적으로 이동가능지형 판단(Traversability)에서도 그림1의 노란색 엣지(Edge)를 통해 잘 판단하는 것을 확인할 수 있다.

<표 1> Rellis-3D의 스코어(Score)와 시간(Time)

	기존의 파라미터	수정된 파라미터	베이지안 파라미터
Score	0.6282	0.5952	0.6507
Time(ms)	97.2227	98.6286	76.4028



(그림 1) 베이지안 파라미터 관련 백파일(Bag File)

**4. 결론**

본 논문에서는 회사 로봇으로 지면 분할을 하기 위해 TRAVEL 알고리즘을 사용하였다. 그 과정에서 코드 수정 및 파라미터 값의 최적화 과정이 필요하였다. 따라서 회사 로봇에 맞게 코드 수정을 하였으며, 파라미터 최적화에 있어서는 기존의 파라미터, 수정된 파라미터, 베이지안 파라미터로 나누어 비교 분석하였다. 이에 따라, Rellis-3D[2]를 통해 얻은 스코어(Score)와 시간(Time)값을 분석하고자 하였으며, 회사 로봇으로 취득한 백파일(Bag File)을 이용하여 추가적으로 좋은 성능을 유지하는지 확인하고자 하였다. 그 결과, Rellis-3D[2]에서 베이지안 파라미터가 가장 높은 스코어(Score)와 낮은 시간(Time)을 가지는 것을 알 수 있었으며, 백파일(Bag File)에서도 좋은 성능을 유지하는 것을 볼 수 있었다. 하지만, 지면 포인트와 비지면 포인트를 잘못 판단하는 경우도 가끔 존재하였다. 그래서, Rellis-3D[2]의 오픈 데이터셋이 아닌 백파일(Bag File)을 목적에 맞게 지면 포인트와 비지면 포인트로 라벨링을 하여 정확도를 높여줄 필요성을 느꼈다.

**ACKNOWLEDGMENT**

이 논문은 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0022098, 2024년 미래형자동차 기술융합혁신인재양성사업)

**참고문헌**

[1] OH, MINHO; Jung, Euigon; Lim, HyungTae; SONG, WONHO; Hu, Sumin; LEE, EUNGCHANG; Park, Junghee; Kim, Jaekyung; Lee, Jangwoo; Myung, Hyun, 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS-2022, IEEE Robotics and Automation Society (RAS), 2022-10-23.  
 [2] Jiang, Peng, et al. "Rellis-3d dataset: Data, benchmarks and analysis." 2021 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2021.