

국부경로 탐색을 위한 실시간 3D 점군 데이터 클러스터링 알고리즘

(Real-time 3D Point Cloud Data Clustering Algorithm for Local Path Planning)

최 우 철, 이 재 민, 방 해 원, 문 지 양, 한 영 준*

송실대학교 스마트시스템소프트웨어학과

(Woocheol Choi, Jaemin Lee, Hyewon Bang, Jiyang Moon, Youngjoon Han)

(Department of Smart Systems Software, Soongsil Univ.)

Abstract : Local path planning of autonomous vehicles in complex road environments requires high performance and real-time processing to ensure a control and driving safety of vehicle. This paper proposes a 3D point cloud data clustering algorithm based on 2D point cloud data segmentation to ensure the real-time performance of local path planning of autonomous vehicles. We project 3D point cloud data into 2D point cloud data on the predicted road plane, which is an important area of interest in local path finding. Using the Quadtree segmentation algorithm, the candidate object region of the 2D point cloud data is partitioned to improve the processing speed of 3D point cloud data clustering. And real-time 3D point cloud data clustering is performed by segmentation and merging based on candidate object areas of the segmented 2D point cloud data. In order to prove the performance of the proposed method, the proposed method showed 5.44 times and 32.2% performance in comparison with the previous Euclidian clustering algorithm in terms of processing speed and precision of object detection.

Keywords : 3D Point Cloud Data, Quadtree Segmentation, Local Path Planning, Object Detection

1. 서 론

최근 구글, 현대자동차, 테슬라 등 세계적 IT 관련 기업들이 자율주행 자동차에 관한 다양한 선도적인 연구들을 진행하고 있다. 이들 연구에서 운전자의 편의성과 안정성을 극대화하기 위한 경로 탐색 알고리즘은 자율주행 자동차의 분야에서 매우 중요하다. 경로 탐색은 크게 전역 경로계획(Global Path Planning)과 국부 경로계획(Local Path Planning)으로 나누어진다. 전자의 경우 전체 주행 환경에 대한 모델을 필요로 하고 목표 지점까지의 개략적인 경로를 결정한다. 후자는 주행 중인 자동차 주변의 일정

범위 내 동적 장애물(Dynamic Obstacle)들을 파악하여 국부 경로를 탐색하는 알고리즘이다. 국부 경로 계획은 차량과 인접한 공간의 데이터를 기반으로 이루어지기 때문에 운전자의 안전성 확보를 위하여 객체들에 대한 정확한 검출과 실시간 처리를 요구한다.

국부 경로계획을 위한 LiDAR(Light Detection And Ranging) 센서를 이용한 객체 검출 알고리즘으로 3D 점군 데이터 간의 유클리드 거리(Euclidean Distance)를 이용하는 K-평균(K-means) Clustering 알고리즘과 점군이 형성되어있는 영역에 대하여 점들의 밀도를 이용하는 DBSCAN(Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise)이 있다. 최근 Multilevel Cube Code를 이용하는 분할 알고리즘과 Octree 분할 알고리즘 등이 연구되고 있다[1].

Autoware의 자율주행시스템에서 사용되는 유클리언 클러스터링 알고리즘은 모든 점에 대해 유클리디언 거리를 계산하여 군집을 예측하는 방법을 사용한다[2]. Chunxiao는 DBSCAN을 사용하여 모든 차

* 교신저자(Corresponding Author)

한영준 : 송실대학교 스마트시스템소프트웨어학과
최우철, 이재민, 방해원, 문지양 : 송실대학교 스마트시스템소프트웨어학과

※ 본 논문은 한국연구재단(No. NF-2017R1A2B4012886)의 지원을 받아 연구됨

원의 공간에서 임의의 클러스터 모양을 점들의 밀도 기반으로 분할하였다[3]. 또한, 박소영은 항공기의 LiDAR 데이터를 3D 객체 모델링 인식 및 공간 확장을 위하여 다단계 Cube Code를 사용하여 점군 데이터를 분할하였다[4].

3D 점군 데이터를 이용한 대다수의 클러스터링 알고리즘은 객체 검출을 위해 모든 점군을 연산에 사용함으로써 자율주행 자동차의 실시간 국부 경로 계획에 적합하지 않다. 평균적으로 40km/h ~ 100km/h의 고속으로 주행하는 자율주행 자동차에서 점군 데이터를 이용한 객체 검출 알고리즘의 실시간 성능 보장은 매우 중요하다.

본 논문은 전처리 과정으로 원 3D 점군 데이터에 복셀 격자 필터(Voxel Grid Filter)를 적용하여 노이즈의 제거와 데이터 크기를 줄이기 위해 3D 공간 샘플링을 수행한다. 실시간 3D 클러스터링의 전단계로서 3D 점군 데이터를 RANSAC 알고리즘을 통해 예측된 도로 평면에 투영한다. 도로 영역을 포함한 국부 경로의 임계영역에 한하여 Quadtree 분할 기법(Quadtree Segmentation Algorithm)을 이용하여 2D 점군 데이터의 분할을 수행한다. 마지막으로 분할된 2D 객체 영역들을 Z축으로 확장한 후보 객체 영역들 간에 분할이나 합병을 통해 3D 클러스터링을 수행한다. 제안하는 실시간 3D 점군 클러스터링 알고리즘은 그림 1과 같다.

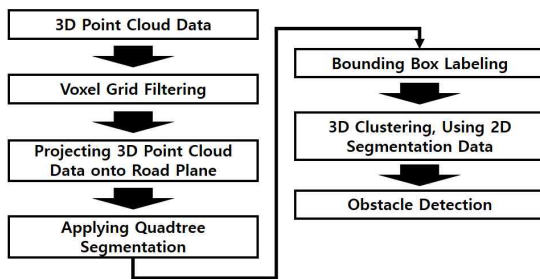


그림 1. 시스템 순서도
Fig. 1. System Flowchart

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 본문에서는 3D 점군 데이터를 도로 평면으로 투영하는 알고리즘, Quadtree 분할 기법을 통해 2D 점군 데이터의 분할 기법, 그리고 2D 분할 정보를 이용한 실시간 3D 클러스터링 알고리즘을 기술한다. 마지막으로 실험을 통해 유클리디언 클러스터링 방법과 성능을 비교하고, 결론과 향후 연구 방향을 기술한다.

II. 본 문

1. 3D 점군 데이터의 전처리

LiDAR 센서에서 획득된 3D 점군 데이터의 클러스터링을 수행하기 전에 잡음 제거와 데이터 크기를 줄이기 위해 전처리 과정을 수행한다. 본 논문에서는 Ouster 사의 OS1 64 채널 LiDAR 센서로부터 획득된 3D 점군 데이터를 사용한다. 먼저, 3D 점군 데이터를 Voxel Grid 필터에 적용하고 국부 경로의 임계영역으로 한정한다. 국부 경로의 임계영역으로 제한된 데이터가 원본 3D 점군 데이터의 크기보다 약 1/4로 줄었다.

2. 도로면의 투영을 통한 3D 점군 데이터의 2D 변환

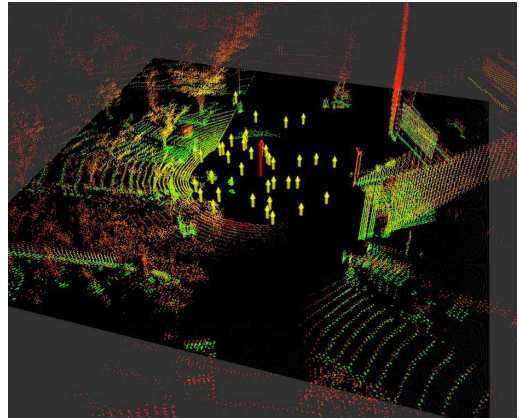


그림 2. RANSAC을 통해 얻은 도로 평면.

Fig. 2. Road Plane by RANSAC.

RANSAC 알고리즘은 주어진 데이터에 관해 랜덤 샘플링 원리를 이용하여 원하는 모델에 가장 근사한 모델을 예측하는 알고리즘이다[5]. RANSAC 알고리즘을 통해서 도로면의 방정식을 구하기 위해 3D 점군 데이터 중 도로면이 존재하는 z 범위를 가진 점군 데이터를 추출한다. 이후, 선별된 점군 데이터에 대해 RANSAC 알고리즘을 적용한다. RANSAC 알고리즘은 입력 값 중에 무작위로 3개 점을 샘플링하여 평면을 예측한다. 예측된 평면과 나머지 점들과의 거리를 측정하여 인라이어들(inliers)을 추출한 후 가장 근사화된 도로면의 방정식을 예측한다. 그림 2는 3D 점군 데이터로부터 예측된 도로 평면(검은색 영역)을 보여준다.

3. 2D 점군 데이터의 분할

본 논문은 전처리 과정을 통해 노이즈 제거와 데이터의 크기를 줄이고 3D 점군 데이터를 2D 점군 데이터로 변

환함으로써 3D 점군 데이터 클러스터링의 연산량을 줄인다. 국부 경로 영역을 가로, 세로 각각 128개 영역으로 나누고, 이들 영역에 대해 Quadtree 분할 알고리즘을 수행한다. 그림 3을 통해서 볼 수 있듯이 Quadtree 분할 알고리즘은 객체 영역을 세밀하게 분할하고, 배경 영역을 거칠게 분할한다. 분할된 영역마다 점 데이터의 수가 임계치 이상이면 객체의 경계 박스(Bounding Box)를 생성한다.

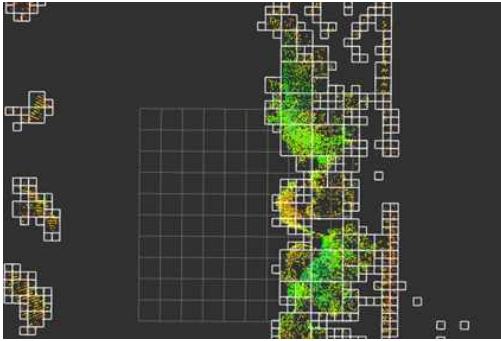


그림 3. 2D Quadtree 분할의 결과
Fig. 3. Result of 2D Quadtree Segmentation

4. 2D 분할 데이터 기반 3D 클러스터링

2D 분할 알고리즘으로부터 예측된 2D 분할 데이터와 3D 점군 데이터를 이용함으로써 3D 클러스터링의 속도를 개선한다. 국부 경로 계획에서 중요한 관심 영역인 도로 면에 투영된 2D 점군 데이터의 분할을 통해 도로 면에 존재하는 객체 영역들을 검출한다. 객체 영역들을 Z축으로 확장하여 후보 객체 영역들을 예측하고, 이들 영역을 분할과 합병을 한 후 3D 점군 데이터의 분포를 고려하여 3D 클러스터링을 수행한다. 그림 4는 그림 3의 2D 분할 데이터를 이용하여 3D 클러스터링을 수행한 결과를 보여준다. 표 1은 본 논문에서 제안하는 3D 클러스터링 알고리즘을 제시한다.

표 1. 2D 분할 데이터의 3D 클러스터링

Table 1. 3D Clustering of 2D Segmentation Data

알고리즘: 2D 분할 데이터의 3D 클러스터링	
입력: 2D Segment Data, 3D Point Cloud Data	
출력: 3D Clustering Data	
1	for (N → the number of segmentation areas)
2	두 인접한 객체 영역 선택
3	if(distance of two objects < threshold)
4	합병을 통해 객체 영역 검출
5	for (N → the number of candidate objects)
6	z축 방향으로 후보 객체 영역의 확장
7	이웃 후보 객체 영역들과 분할 및 합병
8	후보 객체 영역 내 3D 클러스터링

III. 실험 및 결과

1. 실험 방법

본 논문에서 제안하는 클러스터링 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 각각 다른 4가지 도로 상황에서 획득한 3D 점군 데이터를 사용한다. Data 1과 2는 숭실대학교 내부 도로에서 점심과 새벽 시간대에 각각 획득된 3D 점군 데이터이다. Data 3를 일반 도심도로에서 획득하였고, Data 4를 화성 K-City 도로에서 획득하였다.

실험의 성능 비교를 위해 주로 사용하는 유클리디언 클러스터링 알고리즘과의 성능 및 처리시간을 비교한다. 실험 환경은 16GB RAM 및 Intel Core i5-8250U CPU를 장착한 데스크탑 PC에 설치한 Ubuntu 16.04 환경에서 실험한다. 주행 도로에서 3D 점군 데이터를 수집하기 위해 Ouster사의 OS1 64채널 LiDAR 센서를 사용한다.

2. 2D 분할 데이터의 3D 클러스터링의 실험

제안하는 3D 클러스터링의 알고리즘은 약 40Hz의 LiDAR 데이터에 대해 평균 25ms 처리속도를 보였다. 그림 4는 제안하는 3D 클러스터링 방법과 유클리디언 클러스터링의 비교 실험 결과를 보여준다. 그림 4에서 빨간 박스 영역은 Ground Truth이고, 녹색 박스 영역은 유클리디언 클러스터링 알고리즘의 결과이다. 제안하는 알고리즘은 유클리디언 클러스터링 알고리즘에 비해 도로 영역 내에서 대부분의 객체들을 검출한 결과를 보여준다.

표 2은 도로 상황별 평균 처리시간의 비교 실험 결과를 보여준다. 제안하는 3D 클러스터링 알고리즘은 기존 유클리디언 클러스터링 알고리즘보다 처리속도 면에서 약 5.44배 빠른 실험 결과를 보였다.

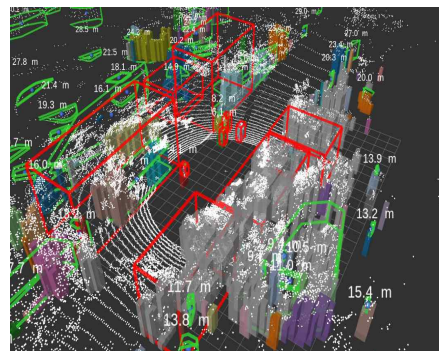


그림 4. 클러스터링들의 결과 비교
Fig. 4. Result Comparison of Clustering Algorithms

표 2. 평균 성능 비교(단위: ms)

Table 2. Comparison of Average Performance

	제안하는 방법	유클리디언
Data 1	24.9	132.2
Data 2	27.4	149.3
Data 3	25.1	141.3
Data 4	21.1	113.9

3. 객체 검출 실험 및 결과

논문에서 제안하는 3D 클러스터링 알고리즘의 결과로 그림 4에서 볼 수 있듯이 객체 영역을 섬세하게 분할하며 객체의 오검출률이 낮은 것을 확인할 수 있다. 반면에 유클리디언 클러스터링은 객체의 오검출률이 높은 것을 확인할 수 있다.

4가지 도로 상황에서 획득된 20개의 3D 점군 데이터 별로 Ground Truth를 설정하였다. 표 3, 4는 제안하는 3D 클러스터링 알고리즘과 유클리디언 클러스터링 알고리즘과 객체 검출의 성능을 비교한 결과를 보여준다. 객체 검출의 성능의 지표로 정확률(Precision)과 재현율(recall)을 사용하였다. 이들 표에서 알 수 있듯이 제안하는 3D 클러스터링 알고리즘은 유클리디언 클러스터링 알고리즘보다 정확률과 재현율 면에서 약 32.2%와 51.9% 성능 향상을 보였다.

표 3. 객체 검출의 정확률

Table 3. Precision of Obstacle Detection

	제안하는 방법	유클리디언
Data 1	0.95	0.73
Data 2	0.90	0.64
Data 3	0.83	0.61
Data 4	1.00	0.80

표 4. 객체 검출의 재현율

Table 4. Recall of Obstacle Detection

	제안하는 방법	유클리디언
Data 1	1.00	0.70
Data 2	1.00	0.55
Data 3	0.95	0.55
Data 4	1.00	0.80

IV. 결 론

본 논문은 실시간 3D 점군 데이터 클러스터링을 위해 국부 경로 계획에서 중요한 관심 영역인 도로 면에 투영한 2D 점군 데이터의 Quadtree 분할 기법

을 사용하였다. 또한, 2D 분할 영역들을 Z축으로 확장한 후보 객체 영역들을 분할과 합병을 통해 3D 영역들 내에서 3D 클러스터링을 수행하였다.

제안하는 방법의 성능을 검증하기 위해 기존 Euclidian 클러스터링 알고리즘과 비교 실험을 통해 제안하는 방법이 기존 유클리디언 클러스터보다 처리속도와 객체 검출의 정확률(precision) 면에서 각각 5.44배와 32.2%의 높은 성능을 보였다.

향후 연구로 2D 분할 데이터로부터 객체 검출을 보다 향상시키는 3D 클러스터링 알고리즘을 개발할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Bassier, M. Bonduel, B. Van Genechten, M. Vergauwen, "SEGMENTATION OF LARGE UNSTRUCTURED POINT CLOUDS USING OCTREE-BASED REGION GROWING AND CONDITIONAL RANDOM FIELDS", ISPRS, 2017
- [2] Hyunki Seong, Hyungi Kim, Sanggeun Moon, David Hynchul Shim, "Configuration and Analysis of Object Detection Based on Euclidean Cluster Detect", 2019 한국 자동차 공학회 춘계학술대회, 2019
- [3] Chunxiao Wang, Min Ji, Jian Wang, Wei Wen, Ting Li and Yong Sun, "An Improved DBSCAN Method for LiDAR Data Segmentation with Automatic Eps Estimation". Journal of Sensors, 2019
- [4] So-Young Park, Dae Geon Lee, Eun Jin Yoo, and Dong-Cheon Lee, "Segmentation of LiDAR Data Using Multilevel Cube Code", Journal of Sensors, 2019
- [5] Wang Gyu Jeon, Byoung Gil Choi, "A Study on the Automatic Detection of Railroad Power Lines Using LiDAR Data and RANSAC Algorithm", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.31, No.4, 2013