

3D LiDAR를 이용한 차선 검출 및 정밀지도 매칭을 통한 자율주행 자동차의 위치 인식 기법

전슬기, 성창기, 명현*

*한국과학기술원 미래도시로봇연구실

jseulgi@kaist.ac.kr, cs1032@kaist.ac.kr, *hmyung@kaist.ac.kr

Localization of Autonomous Vehicle based on HD Map Matching with Lane Marking Detection using a 3D LiDAR

Seulgi Jeon, Changki Sung, Hyun Myung*

*Urban Robotics Lab, School of Electrical Engineering, KAIST

요 약

자율주행을 위한 자동차의 위치 인식은 일반적으로 GNSS와 같은 범지구 위성항법 시스템을 이용하지만, 고층 빌딩이 많은 도심 환경이나 터널과 같이 GNSS 신호가 수신되지 않는 음영지역에서는 위치 인식 결과를 신뢰할 수 없다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고자 정밀지도의 기하학적 정보와 3D LiDAR로 검출한 차선의 매칭을 이용한 파티클 필터 기반 자율주행 자동차의 위치 인식 기법을 제안한다. 3D LiDAR의 반사율 정보를 이용해 검출한 차선의 점군 데이터를 누적하여 차량의 위치기반 특징 지도를 실시간으로 생성하였으며, 이를 정밀지도로 투영시킨 2차원 그리드 지도에 매칭시켜주었다. 실험은 호남고속도로의 일부 구간에서 수행하여 그 결과를 RTK GNSS/INS와 비교하였으며, 이를 통해 본 논문에서 제시한 위치 인식 기법의 정확도 및 성능을 검증하였다.

I. 서 론

자율주행 자동차가 주변의 교통 환경을 인지하여 스스로 주행하기 위해 자신의 위치를 정확히 인식하는 것은 무엇보다 중요하다. 일반적으로 차량의 위치는 GPS (Global Positioning System)와 GLONASS (GLObal Navigation Satellite System)와 같은 범지구 위성항법 시스템 (GNSS; Global Navigation Satellite System)을 이용하여 추정하지만, GNSS 수신율이 낮은 도심 환경에서는 다중경로 오차로 인해 신뢰할 수 없는 수준의 위치 정확도를 갖는다. 이러한 단점을 보완하고자 카메라, LiDAR, 레이더와 같은 차량에 장착된 센서 기반의 위치 추정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 특히, 더 높은 정확도를 갖는 위치 추정을 위해 사전에 제작된 지도정보와 현재 차량의 센서 데이터를 비교하여 위치를 추정하는 기법이 활용되기도 한다 [4]. 국토지리정보원에서는 차로, 도로 마킹, 신호등과 같이 자율주행을 위해 필수적인 요소의 기하학적 정보를 포함하는 고 정밀지도 (High Definition Map)를 제공하고 있다 [5].

본 논문에서는 국토지리정보원에서 제공하는 정밀지도와 차량에 장착된 3D LiDAR 센서를 이용한 위치 인식 기법을 제안한다. LiDAR의 반사율을 이용해 도로 노면의 차선 정보만을 추출하였으며, 파티클 필터를 적용하여 정밀지도와의 매칭을 통해 차량의 위치를 추정하였다. 본 논문에서 제시한 위치 추정 시스템을 검증하기 위해 실도로에서 실험을 수행하였으며, 그 결과를 RTK GNSS/INS와 비교하였다.

II. 본 론

II-1. 3D LiDAR 기반 도로 특징 지도

차량에 장착된 3D LiDAR로부터 점군 데이터를 획득한 후 주변 점들과의 수직 경사도를 이용하여 지면을 추출한다 [6]. 추출된 지면의 점군 데

이터에서 비슷한 곡률과 법선 벡터를 가지는 점을 탐색하는 영역 확장 기법을 통하여 도로 영역을 검출한다 [7]. 검출된 도로 영역의 점군 데이터는 반사된 점의 기하학적 정보뿐만 아니라 반사율을 포함하고 있다. 일반적으로 도로 노면의 마킹은 높은 굴절률을 갖는 글라스비드를 페인트 위에 도포하기 때문에 주변 환경 대비 반사율이 높으며, 이를 검출하기 위해 Otsu threshold를 적용하였다. 그림 1은 점군 데이터로부터 검출한 지면, 영역 확장 기법을 통해 추출한 도로 영역, 반사율 정보로 추출한 도로 차선을 보여준다. 추출된 차선의 점군 데이터는 일정 프레임 이상 누적하여 지역 도로 특징 지도를 실시간으로 제작하는 데 사용하였다. 그림 2의 (a)는 하나의 프레임에서 추출된 도로 특징을 나타내며, (b)는 누적된 도로 특징 지도를 보여준다.

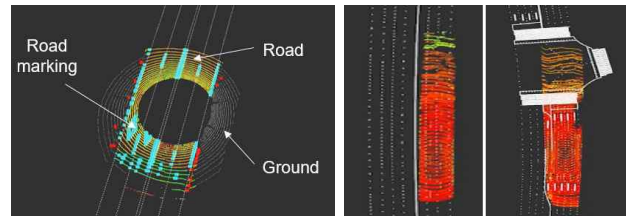
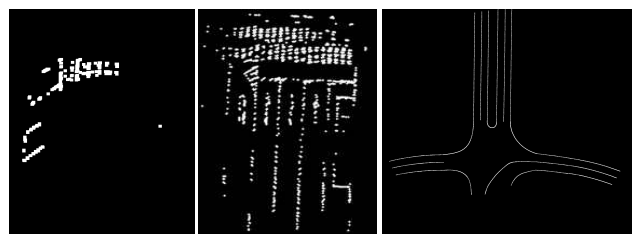


그림 1. 3D LiDAR 점군 데이터(좌), 영역 확장 기법을 통한 도로 추출(우)



(a) 단일 frame (b) frame 누적 (c) 2D 그리드 지도

그림 2. LiDAR 기반 도로 특징 지도 및 정밀지도 기반 2차원 그리드 지도

II-2. 정밀지도 기반 2차원 그리드 지도

3D LiDAR의 측정 가능 거리를 고려해 차량의 위치를 중심으로 반경 50m의 정밀지도 점군 데이터를 KD tree를 이용하여 추출한다. 분류된 데이터는 2차원으로 투영되어 5cm의 해상도를 갖는 그리드 지도로 제작되었으며, 그 결과는 그림 2의 (c)와 같다.

II-3. 파티클 필터

본 논문에서 제안한 정밀지도 기반 자율주행 자동차의 위치 인식 시스템의 구조는 그림 3과 같다.

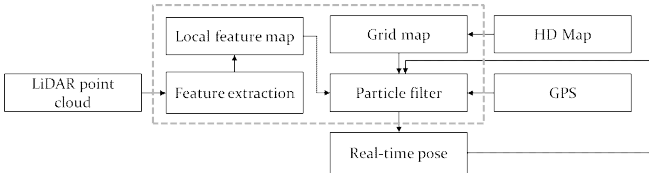


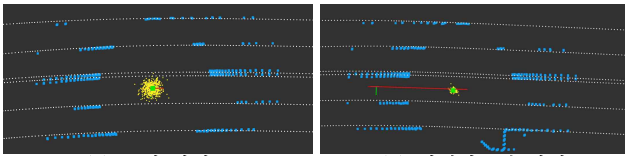
그림 3. 파티클 필터 기반 위치 인식 시스템

파티클 필터를 통해 3D LiDAR로 추출한 도로 특징 지도와 정밀지도 기반의 그리드 지도를 매칭하여 차량의 위치를 추정하였다. 파티클 필터 알고리즘은 motion prediction, measurement prediction, weight update, resampling의 단계로 이루어져 있다. 파티클의 가중치는 수식 (1), (2)와 같이 추출된 도로 특징 지도와 2D 그리드 지도의 논리곱 연산을 통해 두 지도 간 유사도를 평가하여 계산하였다. 가중치가 높은 5%의 파티클의 위치 평균을 차량의 위치로 추정하였다.

$$p(m_j|z_k) = I_{feature} \cdot I_{map} \quad (1)$$

$$w_j = \alpha \sum_k p(m_j|z_k) \quad (2)$$

그림 4의 (a)는 가우시안 잡음을 추가하여 생성된 파티클을 보여주며, (b)는 추출된 도로 특징으로부터 업데이트된 후의 파티클을 나타낸다. 노란색 마커는 파티클, 청색 마커는 LiDAR로 추출된 차선, 적색 마커는 GPS 위치, 초록색 마커는 파티클 필터로 추정된 차량의 위치를 나타낸다.



(a) 초기 파티클 (b) 업데이트된 파티클

그림 4. 파티클 필터 기반 차량의 위치 추정

II-4. 실험 결과

실험에 사용된 자율주행 자동차에는 Ouster 사의 64채널 3D LiDAR와 Novatel 사의 GPS 모듈이 장착되어 있으며, 그림 5와 같이 호남고속도로의 일부 구간에서 실험을 진행하였다. 각 구간에서의 거리와 속도, 위치 추정 결과는 표 1과 같으며, RTK GNSS/INS와 비교하여 오차를 분석하였다. 노면의 차선 정보를 이용하기 때문에 횡 방향의 위치 추정 오차는 0.30m 이내로 발생하였지만, 종 방향 오차는 비교적 크게 나타났다.

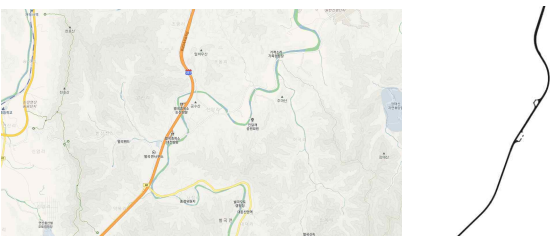


그림 5. 고속도로 실험 환경: 위성지도(좌), 정밀지도(우)

		구간 1	구간 2
주행 거리		0.8 km	0.5 km
차량 속도		60 km/h	60 km/h
위치 추정 오차	횡 방향	0.18 m	0.16 m
	종 방향	2.78 m	2.44 m

표 1. 위치 추정 실험 결과

III. 결론

본 논문에서는 정밀지도 매칭 기반의 3D LiDAR 점군 데이터를 활용한 자율주행 차량의 위치 인식 기법을 제안하였다. 점군 데이터의 반사율 정보를 이용하여 차선을 추출하고 정밀지도와의 매칭을 통해 유사도를 파악하였다. 동적인 도로 환경에서 파티클 필터를 적용한 차량의 위치 추정 실험을 수행하여 제안한 시스템의 성능을 검증하였으며, 그 결과 차량의 횡 방향 오차는 30cm 이내의 수준으로 확인되었다. 향후 노면의 차선 정보 뿐만 아니라 도로 노면 표시 및 도로 교통표지판 정보를 추가하여 자율주행 차량의 종 방향 및 횡 방향 오차를 줄이기 위한 연구가 필요하다. 또한, 고 정밀지도는 제작 기간이 길고 수작업이 불가피하기 때문에, 수집된 센서 정보로 도로의 변화를 감지 및 반영하여 정밀지도 데이터를 갱신할 수 있는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2019-0-00399, 비정형 주행 환경 대응이 가능한 자율차 탑재용 AI기반 인지, 판단 및 제어 솔루션 개발]

참 고 문 헌

- [1] Zhang, J. and Singh, S., "LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time," in Proc. Robotics: Science and Systems (RSS), 2014.
- [2] Shan, T. and Englot, B., "LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain," in Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018, pp. 4758-4765.
- [3] Qin, T., Li, P., and Shen, S., "VINS-Mono: A Robust and Versatile Monocular Visual-Inertial State Estimator," IEEE Transactions on Robotics, vol. 34, no. 4, pp. 1004-1020, 2018.
- [4] Schlichting, A., Zachert, F., and Forouher, D., "Map Matching for Vehicle Localization Based on Serial Lidar Sensors," IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 2019, pp. 1257-1262.
- [5] 국토정보맵, 국토지리정보원.
<http://map.ngii.go.kr/ms/pblctn/preciseRoadMap.do>
- [6] Himmelsbach, M., Hundelshausen, F., and Wuensche, H., "Fast Segmentation of 3D Point Clouds for Ground Vehicles," IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010, pp. 560-565.
- [7] Vo, A., Truong-Hong, L., Laefer, D., and Bertolotto, M., "Octree-based region growing for point cloud segmentation," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 104, pp. 88-100, 2015.