

비학습 기반 하이브리드 기법을 이용한 LiDAR 차선 검출

강대근, 은승우, 한동석*

경북대학교 전자전기공학부

kangdg@knu.ac.kr, sweunwave@knu.ac.kr, *dshan@knu.ac.kr

Non-Learning-Based Hybrid Framework for LiDAR Lane Detection

Dae Geun Kang, Seung Woo Eun, Dong Seog Han*

Kyungpook National Univ.

요 약

최근 자율주행 및 ADAS의 확산으로 조도 변화·악천후에 취약한 카메라 기반 차선 검출의 한계가 부각되고 있다. 본 논문에서는 외부 광원에 덜 민감한 LiDAR의 반사강도와 기하 정보를 직접 활용하여 비학습 기반으로 동작하는 차선 검출 파이프라인을 제안한다. Region of Interest로 도로 영역을 선별하고 RANSAC 알고리즘으로 노면을 분리한 뒤, 진행 방향 수직축의 반사강도 히스토그램 피크로 좌·우 차선을 초기화한다. 이후 동적 프로그래밍과 평행성 제약으로 프레임 전역에서 연속적이며 잡음·이상치에 강한 차선 경로를 복원한다. 제안하는 연구 방법의 목적은 학습 데이터나 사전 훈련 없이도 다양한 실도로 조건에서 신뢰할 수 있는 차선을 검출하는 데 있다. 실도로 데이터로 검증한 결과, 제안 기법은 직선뿐 아니라 곡률의 변화가 있는 곡선 구간에서도 차선을 안정적으로 추종하며, 거짓 피크에 덜 민감하게 동작하여 형상 안정성을 유지하였다.

I. 서 론

자율주행 시스템 및 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS, advanced driver-assistance systems) 기술이 빠르게 발전함에 따라, 차량의 안전성과 편의성을 극대화하기 위한 주변 환경 인식 기술의 중요성이 그 어느 때보다 부각 되고 있다. 다양한 인식 기술 중에서도 차선 검출은 차량의 정확한 위치를 파악하고, 주행 경로를 계획하며, 차선 유지 보조(lane keeping assist)와 같은 핵심적인 차량 제어 기능의 필수적인 기술이다.

기존의 차선 검출 연구는 주로 카메라 기반 접근 방식에 의존해 왔다. 카메라는 색상과 질감 정보를 효율적으로 제공하며 낮은 비용으로 구현이 가능하다는 장점이 있으나, 외부 환경 변화에 매우 취약하다. 특히 야간이나 터널, 그림자, 역광과 같은 조도 변화 상황에는 차선의 명암 대비가 약화 되거나 소실되어 인식 성능이 급격히 저하되며, 눈·비·안개 등 악천후 조건에서는 노면 반사 및 렌즈 오염 등으로 인해 인식 신뢰도가 크게 낮아지는 문제가 발생한다.

이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 라이다(LiDAR, Light Detection and Ranging) 센서가 각광받고 있다. 라이다는 능동형 센서로, 외부 광원에 의존하지 않고 야간이나 그림자 환경에서도 안정적인 성능을 제공하며, 3차원 공간에 대한 정밀한 거리 정보를 통해 도로의 구조를 보다 정확하게 파악할 수 있다. 특히 라이다의 반사 강도 정보는 차선 도색과 배경 도로 간의 재질 차이를 기반으로 한 명확한 대비를 제공함으로써, 조도 변화에 상대적으로 강한 차선 검출이 가능하다는 장점을 가진다 [1].

본 논문에서는 이러한 라이다의 특성을 활용하여, 학습 없이도 동작 가능한 비학습 기반 차선 검출 알고리즘을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 LiDAR 기반 차선 검출 알고리즘의 성능을 검증하기 위해, Ouster OS1-128 3D LiDAR 센서를 장착한 자율주행 실험 차량을 활용했다. 실험은 경북대학교 대구캠퍼스 내 다양한 도로 환경(직선, 곡선, 분기점, 주차장 진입로 등)을 포함하는 구간을 주행하면서 데이터를 수집하는 방식으로 진행된다. 이 과정에서 ROS 2 기반의 센서 드라이버를 통해 LiDAR 데이터를 수집하였으며, 각 프레임은 .pcd 형식으로 변환하여 총 3,310장의 포인트 클라우드를 확보했다.

그림 1은 수집된 LiDAR 포인트 클라우드 데이터를 시각화한 결과를 나타낸다. 그림1에서 도로의 윤곽뿐만 아니라, 차선 도색에 해당하는 영역이 주변 아스팔트에 비해 높은 반사 강도를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 이는 차선 검출 알고리즘의 초기 입력으로 사용된다.

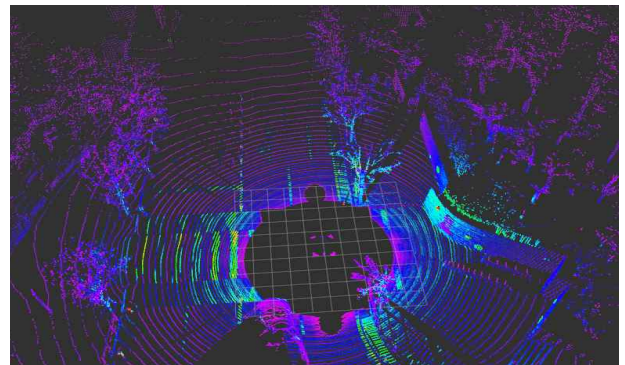
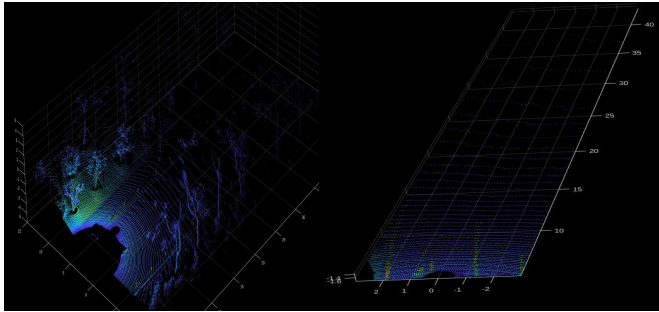


그림 1. 수집된 LiDAR 포인트 클라우드 예시

원본 PCD 데이터에는 도로 이외에도 주변 건물, 가로수, 보행자, 차량 등이 포함되어 있으므로, 전체 포인트 클라우드를 그대로 차선 검출에 사용하는 것은 비효율적이다. 예이 본 연구에서는 차량 좌표계를 기준으로 전방 0 ~ 50m, 좌우 6m, 높이 -2 ~ 2m의 범위를 ROI(Region of Interest)로 설정하였다. ROI 필터링은 차선이 존재할 가능성이 높은 도로 영역만

을 남겨 연산량을 줄이고, 이후 과정의 정확도를 높이는 역할을 한다.

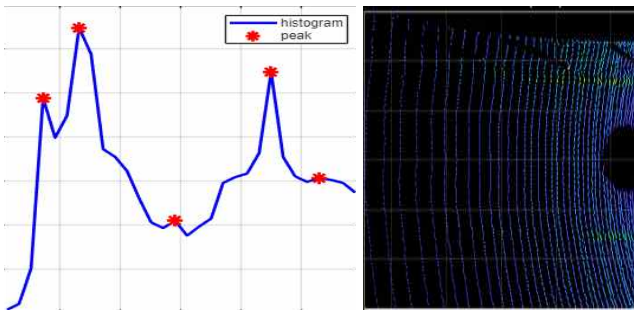
그림 2는 ROI 적용 전과 적용 후를 비교한 것으로, 차선 검출에 필요한 도로 표면 데이터만이 효과적으로 남아 있음을 보여준다.



(a) ROI 적용 전 (b) ROI 적용 후

그림 2. ROI 적용 전과 후 결과

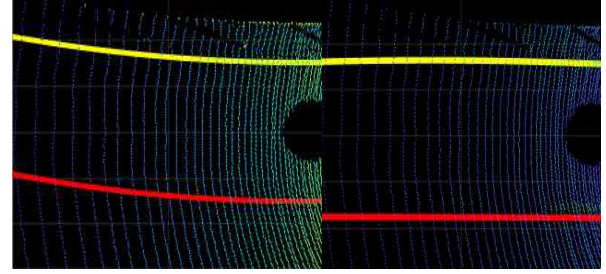
ROI가 적용된 포인트 클라우드에 대해서는 도로 평면을 추출하기 위해 RANSAC(random sample Consensus) 기반 평면 분리 기법을 적용하였다. 이는 잡음과 이상치가 포함된 환경에서도 도로 평면을 안정적으로 모델링할 수 있도록 한다. 평면 분리 후, 도로 위의 반사 강도 값 분포를 분석하여 차선 후보 영역을 찾는다. 아스팔트 대비 차선 도색은 상대적으로 높은 반사율을 보이기 때문에, 이를 이용해 차량 진행 방향과 수직한 축에 대해 히스토그램을 생성한다[2]. 히스토그램 상의 뚜렷한 피크는 좌우 차선에 해당하며, 이를 통해 초기 차선 후보 지점을 검출한다. 그림 3-(a)는 ROI 내 반사 강도 분포와 히스토그램 피크 검출 결과를 시각화한 것으로, 그림 3-(b)의 실제 차선 위치와 높은 일치율을 보인다.



(a) 히스토그램 피크 검출 결과 (b) 실제 차선 위치

그림 3. 히스토그램 피크와 실제 차선 위치

그러나 단순히 히스토그램 피크만을 이용하면 검출 결과가 불연속적이거나 잡음에 민감할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 동적 프로그래밍(Dynamic Programming, DP)을 활용하여 전체 후보 지점 중에서 전역 최적 경로를 탐색하였다. DP 기반 경로 탐색은 프레임 전체에 걸쳐 연속적이고 매끄러운 차선을 형성하며, 특히 곡선 구간 등 잡음으로 인한 이상치(outlier)를 효과적으로 제거한다. 그림 4-(a)는 히스토그램 피크 기반 차선 검출 방법과 히스토그램 피크와 DP 최적 경로를 비교한 결과로, 본 논문의 방법이 도로 차선 형상을 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있다.



(a) 제안된 방법 (b) 기존 방법

그림 4. 차선 검출 결과

III. 결론

본 논문에서는 학습 기반 접근법을 배제하고 LiDAR 포인트 클라우드 데이터의 기하학적·반사 강도 특성을 직접 활용하여 차선을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법은 ROI 필터링을 통해 도로 영역만을 효과적으로 분리하고, 반사 강도 분포에 기반한 히스토그램 분석으로 초기 차선 후보를 검출하였다. 이후 동적 프로그래밍 기반 최적 경로 탐색과 병렬성 제약 조건을 통해 직선 및 곡선 도로뿐만 아니라 연속적이고 안정적인 차선을 형성할 수 있음을 확인하였다.

실험 결과, Ouster OS1-128 LiDAR 센서를 이용하여 수집한 실제 도로 주행 데이터에서 본 연구의 알고리즘은 기존의 학습 기반 모델이 요구하는 대규모 학습 데이터나 복잡한 학습 절차 없이도 신뢰성 있는 차선 검출이 가능함을 입증하였다. 또한, 각 모듈은 독립적으로 설계되어 있어 시스템 확장성 측면에서도 유리하며, 향후 정밀 지도 제작 및 자율주행 시스템의 경로 계획 단계에서 직접적으로 활용될 수 있다[3].

다만, 본 논문에서는 강도값이 약하거나 마모된 차선의 경우 검출 성능이 저하되는 한계가 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해, 향후 연구에서는 차선 도색 패턴의 기하학적 일관성을 추가로 활용하거나, 카메라와 같은 다른 센서와의 융합을 통해 강건성을 더욱 향상시킬 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 과학기술사업화진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임('학연협력플랫폼구축 시범사업' RS-2023-00304695).

참 고 문 헌

- [1] Hata, A., and Wolf, D., "Road Marking Detection Using LiDAR Reflective Intensity Data and Its Application to Vehicle Localization," Proc. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), pp. 584 - 589, 2014.
- [2] Jung, J., and Bae, S.-H., "Real-Time Road Lane Detection in Urban Areas Using LiDAR Data," Electronics, 7(11):276, 2018. DOI: 10.3390/electronics7110276.
- [3] Dong, H., Gu, W., Zhang, X., Xu, J., Ai, R., Lu, H., Kannala, J., and Chen, X., "SuperFusion: Multilevel LiDAR - Camera Fusion for Long-Range HD Map Generation," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA), 2024.