



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 논문

자율주행자동차를 위한 고정밀
점군지도로부터 객체검출을 이용한
벡터지도의 반자동 생성에 관한 연구

Study for Semi-automatic
Generation of Vector Map Using
Object Detection from High
Precision Point Cloud Map for
Autonomous Vehicles

2019년 12월

승실대학교 대학원

융합소프트웨어학과

김 나 리

석사학위 논문

자율주행자동차를 위한 고정밀
점군지도로부터 객체검출을 이용한
벡터지도의 반자동 생성에 관한 연구

Study for Semi-automatic
Generation of Vector Map Using
Object Detection from High
Precision Point Cloud Map for
Autonomous Vehicles

2019년 12월

승실대학교 대학원

융합소프트웨어학과

김 나 리

석사학위 논문

자율주행자동차를 위한 고정밀
점군지도로부터 객체검출을 이용한
벡터지도의 반자동 생성에 관한 연구

지도교수 한 영 준

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2019년 12월

숭실대학교 대학원

융합소프트웨어학과

김 나 리

김 나 리 의 석 사 학 위 논 문 을 인 준 함

심 사 위 원 장 김 강 희 인

심 사 위 원 한 영 준 인

심 사 위 원 한 현 수 인

2019년 12월

승실대학교 대학원

감사의 글

저의 석사 생활은 부족했던 공부나 하고 싶었던 연구를 하면서 제 나이에 경험하지 못할 것들을 많이 경험하고 배우는 시간이었던 것 같습니다. 혼자서는 도저히 해낼 수 없었던 것들을 많은 분들의 도움으로 하나씩 배우면서 처음으로 스스로 선택했던 길을 무사히 끝낼 수 있게 되었습니다. 먼저, 부족한 저를 항상 가르쳐주시고 발전할 수 있도록 지도해주신 한영준 교수님 너무 감사드립니다. 또 멋진 꿈을 꿀 수 있도록 이끌어주시는 한현수 교수님, 아버지 같은 김종국 교수님께도 감사드립니다. 일찍 대학원에 들어와서 배우는 것이 마냥 쉽고 재밌지만은 않아서 많이 힘들었는데 그럴 때마다 함께 생활하면서 챙겨주시고 신경 써주신 Vision System 연구실의 김정후 선배님, 소재현 선배님, 한상훈 선배님, 박호범 선배님, 변승환 오빠에게도 너무 고맙다고 전하고 싶습니다. 그리고 항상 힘이 되어주고 늘 곁에 있어준 하은이, 은영이, 지연이, 현준이 덕분에 졸업한다! 응원해준 많은 친구들에게도 고맙다는 말을 전합니다. 마지막으로 사랑하는 가족들, 처음 이 길을 가겠다고 했을 때 굉장히 좋아하던 가족들의 모습이 포기하지 않고 끝까지 올 수 있게 해주었습니다. 오래오래 건강하고 행복하면 좋겠습니다. 항상 감사하고 사랑합니다!

배움의 시간들 속에서 많이 성장하고 소중한 경험을 하였습니다. 오래 걸렸지만 늦었다고 생각하지 않습니다. 아직 많이 부족하지만 지금까지 해 온 노력들과 감사함을 잊지 않고 발전하여 공학도로써 더 큰 목표를 향해 달려가는 사람이 되도록 하겠습니다. 감사합니다!

2020. 02

김나리 올림

목 차

국문초록	vi
영문초록	vii
제 1 장 서론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구 동향	3
1.3 연구 내용 및 구성	6
제 2 장 배경이론	7
2.1 정밀지도	7
2.2 점군지도	8
2.3 벡터지도	9
제 3 장 제안하는 시스템	12
3.1 객체검출	13
3.1.1 도로영역	13
3.1.1.1 도로영역 검출	13
3.1.1.2 차선 검출	14
3.1.1.3 도로정보 검출	18
3.1.2 교통표지시설	19
3.1.2.1 표지판 검출	20
3.1.2.2 신호등 검출	21

3.2 벡터지도 생성	21
3.2.1 벡터요소 변환	21
3.2.2 표준화 형태의 벡터지도 변환	22
제 4 장 실험 및 결과	24
4.1 실험 설계와 환경	24
4.2 실험 평가	25
4.2.1 평가 방법	25
4.2.2 실험 결과	27
4.2.3 평가 결과	30
제 5 장 결론 및 향후 연구방향	34
참고문헌	35

표 목 차

[표 2-1] Autoware용 벡터지도 생성 요소 목록	10
[표 4-1] 실험 환경에 사용된 하드웨어 자원	25
[표 4-2] 실험 데이터에 따른 성능 평가	31
[표 4-3] 실험 데이터에 따른 평균 오차	32

그 립 목 차

[그림 1-1] LDM(Local Dynamic Map)의 4-layer	5
[그림 1-2] 국토지리정보원에서 제정한 정밀 도로지도	5
[그림 2-1] 항법지도와 정밀지도의 차이점	8
[그림 2-2] MMS 측량 장비와 센서 활용 범위	9
[그림 2-3] 점군지도 생성 결과 예시	9
[그림 2-4] 벡터지도 생성 결과 예시	11
[그림 3-1] 제안하는 시스템의 순서도	12
[그림 3-2] 도로영역 검출 과정	14
[그림 3-3] 황색 차선 검출 결과	14
[그림 3-4] 차선 후보 추출 결과	15
[그림 3-5] 기울기를 고려한 차선 후보 검증	15
[그림 3-6] 흰색 차선 검출 결과	15
[그림 3-7] Intensity를 이용한 차선 검출 결과	16
[그림 3-8] 차선 Merging 과정	16
[그림 3-9] 전체 Merging & Labeling 결과	17
[그림 3-10] 차량 진행 방향 추출 방법	18
[그림 3-11] DT Lane 검출 결과	18
[그림 3-12] 도로정보 검출 결과	19
[그림 3-13] 검출할 표지판의 종류	20
[그림 3-14] 속도 인식을 통한 표지판 후보 검증 결과 예시	20
[그림 3-15] 잡음 제거 후 신호등 검출 결과 예시	21
[그림 3-16] 벡터요소 변환 결과	22
[그림 3-17] UI를 이용한 벡터요소 데이터 리스트 확인	23

[그림 4-1] 실험에 사용한 4가지 환경의 고정밀 점군지도 데이터셋	24
[그림 4-2] Line 요소의 평가방법	26
[그림 4-3] Cross Track Error(XTE)	26
[그림 4-4] 고속도로의 도로영역 검출 결과	27
[그림 4-5] 일반국도의 차선 검출 결과	28
[그림 4-6] K-CITY의 도로정보 검출 결과	28
[그림 4-7] 도심부의 교통표지시설 검출 결과	29
[그림 4-8] UI 사용 예시	30
[그림 4-9] 경로추종 알고리즘을 통한 결과 예시	33

국문초록

자율주행자동차를 위한 고정밀 점군지도로부터 객체검출을 이용한 벡터지도의 반자동 생성에 관한 연구

김나리

융합소프트웨어학과

승실대학교 대학원

자율주행시스템에서 센서의 인지능력 한계로 인해 정확한 환경정보 인지가 어려울 경우, 큰 인명 사고로 이어질 수 있다. 이에 정확한 인지, 판단 시스템을 위해 지도가 센서의 한계를 보완하는 중요한 역할을 하면서 정밀한 지도의 필요성이 부각되었다. 본 논문은 고정밀 점군지도로부터 객체검출을 이용해 벡터지도를 반자동으로 생성하는 기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 고정밀 점군지도에서 자율주행에 필요한 차선, 신호등, 교통 표식 등에 해당하는 3차원 환경정보를 객체검출 알고리즘을 통해 자동으로 검출하여 벡터지도의 요소로 변환한다. 벡터지도는 공개 플랫폼인 Autoware용 벡터지도의 형태와 국토지리정보원에서 제정한 표준화된 벡터지도의 형태로 생성된다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 이용함으로써 사용자의 편리성을 증가시키고 효율적으로 원하는 형태의 벡터지도를 생성할 수 있다.

ABSTRACT

Study for Semi-automatic Generation of Vector Map using Object Detection from High Precision Point Cloud Map for Autonomous Vehicles

KIM, NA-RI

Department of Software Convergence
Graduate School of Soongsil University

In the autonomous driving system, difficulty of accurate recognition about environmental information due to sensor's cognitive ability limitation can lead to a big accident. Therefore, the necessity of high precision map has been highlighted as map plays an important role to complement the limitation of sensor for accurate recognition and judgment system. This paper proposes a semi-automatic generation of vector map using object detection from high precision point cloud maps. The proposed algorithm automatically detects three-dimensional environmental information corresponding to lanes, traffic lights, traffic signs, etc. required for autonomous driving in high precision point cloud maps and converts them into elements of vector maps. Vector

maps are created in the form of vector maps for the open platform Autoware and standardized vector maps established by the National Geographic Information Institute. By using the algorithms proposed in this paper, we can increase the user's convenience and efficiently generate the vector map of the desired shape.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

자율주행자동차는 운전자 또는 승객의 조작없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차로 정의된다[1]. 자율주행 관련 업체들이 2020년부터 2030년까지 자율주행자동차의 상용화를 목표로 하면서 자율주행 관련 기술이 급속도로 발전되고 있다. 자율주행자동차의 기술은 인지, 판단, 제어 시스템 기능을 중심으로 분류될 수 있으며 자율주행프로세스 또한 인지, 판단, 제어의 순서로 구성되어 있다. 자율주행시스템은 먼저 ADAS 센서를 통해 환경 정보를 인지하여 주행 전략을 결정하거나 경로를 생성하는 판단 시스템을 거쳐 차량을 제어한다. 자율주행자동차는 주행 환경 인지능력을 갖추기 위해 카메라, 레이더, 라이다, GPS 등의 센서를 탑재하고 있다. 이때 주행 환경이나 거리에 따라서 센서의 검지 범위와 검출 오류가 발생할 수 있다는 센서 인지 능력의 한계가 존재한다. 자율주행자동차는 주변 차량이나 물체, 위치 측정에 오차가 발생할 경우 인명 사고로 이어질 가능성이 크다. 이와 같은 이유로 정확한 환경정보 인지를 위해 현재 자율주행 시스템은 정밀지도와 V2X를 통해 센서의 인지 능력의 한계를 보완한다.

정밀지도는 자율주행에 필요한 차선정보, 표지판, 신호등 등 각종 구조물 등의 3차원 환경정보가 담긴 지도를 말한다. 정밀지도를 통해 정확하게 환경을 인지할 수 있고 이는 안전한 자율주행시스템을 가능하게 한다. 고정밀지도를 구축하기 위해서 사용하는 MMS(Mobile Mapping System)는 이동하는 물체에 다양한 센서를 탑재하여 지형 공간 데이터를 수집하는 프로세스이다. 이를 통해 주변 환경을 측정하고 주행 도로의 위치와 환경 데이터를 수집하여 점군지도를 제작한다. 자율주행시스

템에서 사용하기 위해 점군지도에서 차선, 신호등 위치, 교통 표식 등에 해당하는 3차원 도로 환경정보를 추출해야 한다. 데이터를 가공하는 후 처리 과정을 통해 자율주행에 필요한 각종 정보를 추출하고 추출한 객체들의 속성을 자동차 데이터베이스 포맷의 형태로 변환하여 벡터지도가 생성된다. 생성된 벡터지도는 자율주행자동차의 인지 시스템을 보완하고 이를 통해 판단 시스템과 제어 시스템의 성능을 높인다.

그러나 고정밀 점군지도를 생성하기 위해 사용하는 MMS 장비가 고가에 해당하여 지도 구축의 진입 장벽의 요인이 되었고, 이러한 고가의 장비로 인해 정밀한 벡터지도 생성을 위해서는 3차원 도로 환경정보를 추출하는 과정이 핵심 기술이 되었다. 기존에는 벡터지도를 생성하기 위해 수작업을 통해 각종 정보를 추출하거나 요소들을 labeling하는 방식을 사용하였으나, 이는 많은 요소들을 처리하기에 시간이 오래 걸리고 비효율적인 방법이다. 최근에는 다양한 요소들을 정확하게 추출하는 알고리즘이 구현되었는데 이를 벡터지도의 요소로 변환하는 작업은 여전히 까다로운 일로 남아있다. 현재 대부분의 기업들은 벡터지도를 생성하는 소프트웨어 프로그램을 보유하거나 개발을 진행하고 있으나 현재까지 점군지도를 벡터지도로 자동적으로 생성하는 공개된 기법은 없다.

또한, 자율주행시스템에서 공개된 벡터지도를 사용할 경우 직접 수집한 점군지도 데이터와 매핑 시 센서 포즈의 차이로 정밀한 매핑이 불가능하다. 따라서 수집한 점군지도 데이터로부터 정확하게 매핑되는 벡터지도가 필요하다.

본 논문에서는 여러 환경에서의 고정밀 점군지도로부터 3차원 환경 정보를 자동으로 검출하는 객체검출 알고리즘을 통해 표준화 형태의 벡터지도를 생성하는 방법에 관해 연구하였다.

1.2 연구 동향

자율주행시스템에서 정확한 인지, 판단 시스템을 위해 자율주행시스템에 사용되는 지도가 중요한 역할을 하면서 정밀한 지도의 필요성이 부각되었다. 안전한 자율주행시스템을 위해 고정밀지도를 구축하기 위하여 점군지도와 벡터지도 생성에 대한 연구가 진행되고 있다.

정밀지도에 관한 연구의 시작은 고정밀 점군지도를 생성하기 위해 센서를 융합하는 연구에 초점을 맞추어 진행되었다[2][3]. 이중 센서를 융합하여 높은 정밀도를 가진 점군지도를 생성한 후 수작업을 통해 객체를 추출하여 벡터지도를 생성하는 방법으로 지도에 관한 연구가 진행되었으며 융합 센서를 이용하여 이중 센서를 상호 보완한다. 현재에도 융합 센서를 통해 고정밀 점군지도를 생성하는 연구는 계속 진행되고 있다[4]. 이후 벡터지도는 사용목적에 따라 다양한 연구가 진행되었다.

먼저 벡터지도를 위치측정지도로 생성하는 연구[5][6][7][8]가 진행되었는데 자율주행시스템에서 주변 환경을 인지하고 차량의 위치를 파악하는 일은 매우 중요하다. 이에 점군지도로부터 위치측정지도를 생성하여 위치파악이나 측위 시스템으로 사용하였다. 대부분의 위치측정지도는 차선을 객체로 제작하였는데 MMS를 통해 생성한 고정밀 점군지도로부터 차선 추출 알고리즘을 수행한 후 수동으로 라벨을 붙여 마킹한 위치측정지도를 제작하여 위치를 파악하는 연구[7]나 수작업을 통해 차선을 추출한 위치측정지도를 제작한 후 주행 차량이 융합센서를 이용해 차선 검출 알고리즘을 통해 위치측정지도의 차선과 정합하여 측위에 사용하는 연구[8]가 진행되었다. 기존에는 점군지도나 위치측정을 위한 지도 생성에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다면 현재는 주행 경로를 제어하기 위한 지도 생성 연구가 진행되고 있다. 현재 자율주행자동차시스템에서 대표적으로 사용하는 두 가지 형태의 벡터지도는 1)자율주행 공개 플랫폼

Autoware에서 사용하기 위한 형태와 2)국내 국토지리정보원에서 제공한 shape 파일의 형태가 있다. 따라서 벡터지도를 자율주행시스템에 사용하기 위해 변환하는 방향의 연구가 진행되고 있으며 연구[9]는 차량의 진행방향의 waypoints를 입력으로 받아 자율주행자동차가 실제로 주행하는 경로인 DT Lane에 해당하는 요소만 벡터지도로 변환하는 공개 툴을 제안한다.

또한 0.2m 이내의 오차를 가진 정밀지도 생성을 위해 고가의 장비가 사용되면서 자율주행시스템에 필요한 요소들을 정확하게 추출하고 labeling하기 위한 연구는 계속 진행되고 있다[10].

대부분의 연구들로 생성된 벡터지도의 형태는 생성 목적이나 활용 방향에 따라 제각각 다른 형태로 제작되어진다. 이전에는 기업이나 연구소 별로 각기 다른 벡터지도를 구축하여 활용하였으나 현재 국제적으로는 ISO(International Standardization Organization), 국내에서는 TTA GIS 프로젝트를 중심으로 표준화를 추진하고 있다.

유럽의 경우 SAFESPOT이라는 연구개발과제를 통해 개발된 Local Dynamic Map(LDM)을 표준으로 적용하고 있고 국내의 경우 마찬가지로 LDM 표준규격을 ITS 표준총회 단체표준에 제안해 재정을 추진하고 있다[11]. ISO에서 추진하고 있는 표준화 형태의 지도인 LDM의 형태는 [그림 1-1][12]에서 볼 수 있듯이 4개의 층으로 구성된다. LDM의 1-계층과 2-계층은 정적인 요소에 해당하고 3-계층과 4-계층은 동적인 요소에 해당한다[12].

국내에서는 국토교통부가 국토지리정보원을 국내 정밀지도 연구 책임 운영기관으로 지정하였고 국토지리정보원은 2020년까지 자율주행자동차 상용화 실현을 위한 정밀 도로지도를 구축하고 있다[13]. 국토지리정보원은 점군지도와 벡터지도가 포함되어 있는 정밀지도에 대하여 데이터 포

맷과 구축 항목, 구축 항목에 대한 속성을 정의하였다. [그림 1-2][13]는 국토지리정보원에서 제정한 형태의 정밀 도로지도의 데이터 포맷과 구축 항목에 관한 내용이다.



[그림 1-1] LDM(Local Dynamic Map)의 4-layer

(a)

구분	설명
shp	기하학적 위치정보를 포함하고 있는 벡터 파일
shx,sbx,sbn	기하학적(shx), 공간적(sbx,sbn) 인덱스 파일
dbf	속성정보를 포함하고 있는 데이터베이스 파일
prj	projection (투영좌표계) 정보를 포함하고 있는 프로젝션 파일

(b)

정밀도로지도 구축 세부항목				추가 구축항목	
목록	구분인자	설명 항목	목록	구분인자	설명 항목
차선 표시	(1) 규격선	① 중앙선 ② 좌우구획선 ③ 차선 ④ 버스전용차선 ⑤ 진로변경차단선 ⑥ 가변차선	표지 시설	(1) 교통안전 표지	① 주의표지 10종 ② 규제표지 27종 ③ 지시표지 23종
	(2) 도로경계선	① 길가장자리 구획선 ② 주차금지 표시선 ③ 정차주차금지 표시선		(2) 노면표지	① 정차금지대 ② 유도선 ③ 유도면 ④ 진행방향 표시 ⑤ 차로변경 표시 ⑥ 오프라드 경사면 ⑦ 횡단보도 ⑧ 자전거 횡단보도
	(3) 정차선	① 정차선		(3) 신호기	① 신호기
	(4) 차로중심선	① 차로중심선			
도로 시설	(1) 중앙분리대	① 중앙분리대 방지시설 ② 중앙분리대 계구부			
	(2) 터널	① 터널			
	(3) 교량	① 교량			
	(4) 지하도로	① 지하도로			

[그림 1-2] 국토지리정보원에서 제정한 정밀 도로지도
(a) 정밀 도로지도의 데이터 포맷, (b) 정밀 도로지도
구축 항목

1.3 연구 내용 및 구성

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 LDM 1-계층과 2-계층에 해당하는 차선, 신호등, 교통 표식 정보를 자동으로 추출하는 알고리즘을 개발하고 자동화된 객체검출을 통해 표준화 형태의 벡터지도를 생성하는 기법을 개발한다. 개발한 객체검출 알고리즘을 통해 중앙선, 차선, DT Lane, 정지선, 횡단보도, 신호등, 표지판 정보를 편리하고 효율적으로 벡터지도의 요소로 추출하고 이를 벡터지도로 변환하는 기법을 통해 사용자의 편리성을 증가시키고 원하는 벡터지도의 형태로 생성할 수 있게 한다. 벡터지도의 요소들이 모두 점, 선, 면의 형태로 제작되어 요소의 속성을 자유롭게 변환할 수 있으며, 공개 플랫폼 Autoware의 형태와 국토지리정보원에서 제정한 표준화 형태의 벡터지도로 변환하여 성능을 평가한다.

본 논문은 도심, 고속도로, 국도 등의 여러 환경에서의 고정밀 점군지도로부터 자율주행에 필요한 3차원 환경정보를 객체검출을 통해 자동으로 검출하고 이를 보정하여 두 가지 형태의 벡터지도를 생성하는 알고리즘에 관해 연구하였다.

제안하는 알고리즘은 다음과 같은 우수성을 갖고 있다. 첫째, 사용자가 원하는 형태의 벡터지도를 UI를 이용함으로써 편하고 효율적으로 생성할 수 있다. 둘째, 도로정보뿐만 아니라 신호등, 교통 표식 정보를 검출함으로 실용성을 높인 벡터지도를 생성한다. 셋째, 개별 수집된 점군지도 데이터와 정밀하게 매핑되는 벡터지도를 빠르고 쉽게 생성할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 정밀지도에 관하여 점군지도와 벡터지도에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 방법을 객체검출, 벡터지도 생성으로 나누어 구체적으로 설명한다. 4장에서는 실험 내용과 결과를 보여주고 마지막 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 설명한다.

제 2 장 배경이론

2.1 정밀지도

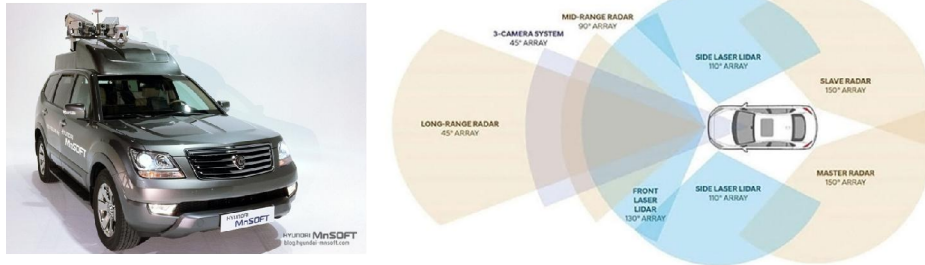
자동차용 지도는 크게 항법지도, ADAS지도, 정밀지도로 구분할 수 있다. 항법지도는 GPS와 카메라로 제작한 네비게이션에 해당하는 지도로 주로 도로 단위의 정보를 표현하고 경로 탐색이나 안내 정보를 제공한다. ADAS 지도는 MMS 기반의 첨단 운전자보조시스템 지도로 도로의 곡률과 경사에 대한 정보를 담고 있어 감속과 가속 구간 정보를 알려줌으로써 운전자보조시스템이 정교하게 작동할 수 있도록 보완한다. 정밀지도는 자율주행시스템에 필요한 1. 차선(중앙선, 정지선, 일반차선, 유도선), 2. 도로시설(터널, 지하차도, 고가차도, 교량), 3. 표지시설(교통안전 표지판, 노면표시, 신호등) 정보를 3차원의 형태로 제작한 전자지도를 의미한다. 도로 단위로만 인식이 가능한 항법지도와 ADAS지도에서 더 나아가 각 차선 단위와 신호등이나 표지판의 위치 정보까지 상세하게 표현함으로 훨씬 더 안전한 운행을 가능하게 한다. 세 가지 지도는 센서에 따라 정밀도가 결정되는데 항법지도는 하나의 GPS로 단독 위치 측정 방식을 이용해 만들어지고 정확도는 수십m 반경 내이다. ADAS지도와 정밀지도를 구축하기 위해 사용하는 MMS 장비는 고성능의 다양한 센서들로 구성되어 항법지도에 비해 훨씬 정교한 데이터로 이뤄진다[14]. [그림 2-1][15]은 항법지도와 정밀도로지도의 차이점을 나타낸다.

구분	기존 수치지형도	정밀도로지도
지도		
방법	항공사진 측량	Mobile Mapping System (MMS)
용도	<ul style="list-style-type: none"> - 항법지도(Navigation用)은 도로 단위의 정보, 경로 탐색/안내 정보 제공 - 국토,도시관리, 건설, 토목, 행정,인터넷 지도, 내비지도 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율주행차 연구·개발 및 상용화,도로관리, 정밀 내비지도 개발 등 - 자율주행을 위해 차선(Lane) 단위 정보 제공
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 2차원 전자지도 * 정적인 정보 제공 * 고정된 지형지물의 위치 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 3차원 전자지도 * 정적 + 동적인 정보 제공 * 도로 고저, 차선 너비 등의 도로환경 및 교통상황
정확도	(1/5천) 평면 : $\pm 3.5m$ / 수직 : $\pm 1.67m$ (1/1천) 평면 : $\pm 0.7m$ / 수직 : $\pm 0.33m$	평면 : $\pm 0.25m$ / 수직 : $\pm 0.25m$
자율주행차 지원정보	차선 : X 차로중심선 : X 규제선 : X 도로경계 : O 도로중심선 : △ 교통표지 : △ (도심지, 위치정보) 노면표지 : X	차선 : O 차로중심선 : O 규제선 : O 도로경계 : O 도로중심선 : △(필요시) 교통표지 : O(위치 + 속성정보) 노면표지 : O(위치 + 속성정보)

[그림 2-1] 항법지도와 정밀지도의 차이점

2.2 점군지도

점군지도는 MMS를 통해 수집된 점군 데이터를 바탕으로 생성된다. MMS 장비에는 카메라, 라이다, 레이더, GPS 등의 다양한 센서가 장착되어 있다. 카메라를 통해 색상 정보를 획득하고 라이다를 통해 3차원 공간을 매핑할 수 있다. GPS를 통해 위도와 경도에 해당하는 위치 정보를 취득할 수 있으며 이를 통해 3차원 환경 정보를 세밀하고 정교하게 수집한다. [그림 2-2][16]은 점군지도를 생성하기 위한 MMS를 보여주고 [그림 2-3][15]는 생성된 점군지도를 나타낸다.



[그림 2-2] MMS 측량 장비와 센서 활용 범위



[그림 2-3] 점군지도 생성 결과 예시

2.3 벡터지도

MMS를 통해 수집된 점군지도는 자율주행시스템에서 사용할 수 있도록 정보로 변환해주는 작업이 필요하다. 점군지도로부터 데이터를 가공하는 일련의 과정을 통해 자율주행시스템에 필요한 각종 정보를 점, 선, 면의 형태로 추출하여 생성한 지도를 벡터지도라 한다. 이전까지 벡터지도는 사용 목적과 활용 방향에 따라 다른 형태로 개발되었다.

가장 대표적으로 오픈 소프트웨어 플랫폼인 Autoware에서는 점군지도와 벡터지도를 사용하여 경로 계획, 물체 감지, 신호등 인식 등의 인지, 판단 시스템에 활용한다. Autoware는 벡터지도를 csv 파일 형태로 생성하고 이때 만들 수 있는 csv 파일 목록은 [표 2-1]과 같다[17].

[표 2-1] Autoware용 벡터지도 생성 요소 목록

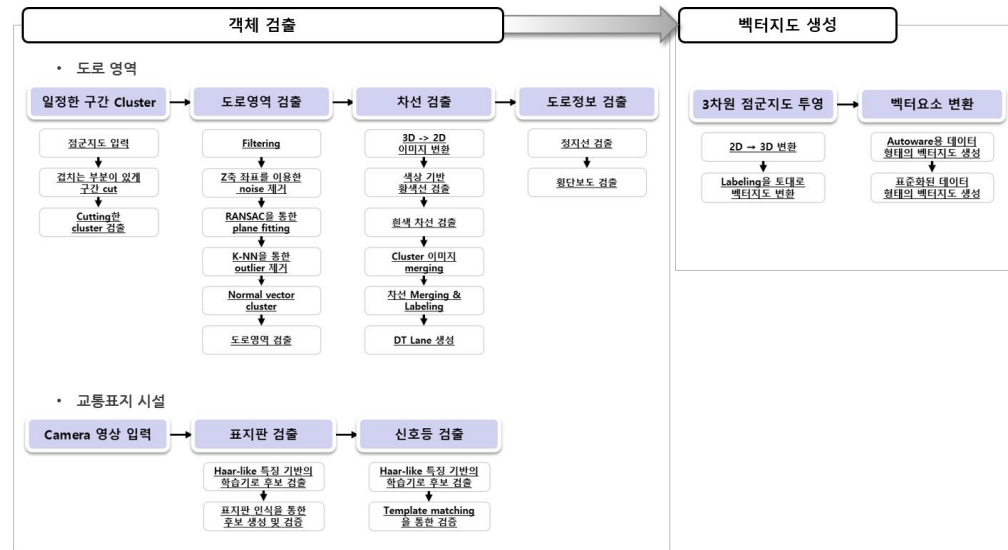
CSV FILE	파일 이름	속성
	idx	id, 요소종류, 파일이름
Road	node	NID, PID
	lane	LnID, DID, BLID, FLID, BNID, FNID
	area	AID, SLID, ELID
	dtlane	DID, Dist, PID, Dir, r, slope, LW, RW
Road Shape	curb	ID, LID, Height, Width, Dir, LinkID
	roadedge	ID, LID, LinkID
	gutter	ID, AID, Type, LinkID
	instersection	ID, AID, PID, LinkID
Road Surface	whiteline	ID, LID, Width, Color, type, LinkID
	stopline	ID, LID, TLID, SignlID, LinkID
	zebrazone	ID, AID, LinkID
	crosswalk	ID, AID, Type, BdID, LinkID
	road_surface_mark	ID, AID, Type, LinkID
Roadside	guardrail	ID, AID, LID, Type, LinkID
	sidewalk	ID, AID, PID, LinkID
Road Structure	poledata	ID, PLID, LinkID
	utilitypole	ID, PLID, LinkID
	roadsign	ID, VID, PLID, Type, LinkID
	signaldata	ID, VID, PLID, Type, LinkID
	streetlight	ID, LID, PLID, LinkID
연결 속성	point	PID, B, L, H, Bx, Ly
	vector	VID, PID, Hang, Vang

현재는 정밀지도를 통일된 형태로 제작하기 위해 표준화 형태의 벡터지도가 제작되고 있다. [그림 2-4][18]는 점군지도로부터 객체를 추출하는 과정을 거쳐 생성된 벡터지도의 결과를 나타낸다. [그림 2-4][18]에서 볼 수 있듯이 벡터지도는 차선 정보뿐만 아니라 신호등, 교통 표식 정보를 함께 추출한다.



[그림 2-4] 벡터지도 생성 결과 예시

제 3 장 제안하는 시스템



[그림 3-1] 제안하는 시스템의 순서도

본 논문에서 제안하는 시스템의 순서도는 [그림 3-1]과 같다. 먼저 Color 정보와 Intensity 정보를 통합한 3차원 고정밀 점군지도로부터 객체검출을 통해 벡터지도의 구성요소들을 자동적으로 검출한다. 벡터지도의 구성요소로 도로영역에는 중앙선, 흰색 차선, DT lane, 정지선, 횡단보도가 포함되고, 교통표지시설에는 신호등, 표지판이 포함된다. 3차원 환경정보를 검출하기 위해 입력된 고정밀 점군지도를 일정한 간격으로 겹치는 부분이 있게 잘라 여러 개의 cluster로 분할한다.

차선, 횡단보도, 정지선과 같은 도로정보들을 정확하게 검출하기 위해 도로영역을 검출하고 검출한 도로영역에서 도로정보들을 검출한다.

이후 카메라 영상정보를 이용하여 표지판과 신호등을 검출하고 이를 3

차원 점군지도에 labeling된 형태로 투영한다. 검출된 3차원 환경정보들은 모두 각각의 요소들로 labeling이 되어있으며, 점과 선과 면의 형태로 표현된다.

마지막으로 객체검출을 통해 검출된 3차원 환경정보를 벡터지도의 요소로 변환하는 과정을 거쳐 표준화된 벡터지도를 생성한다.

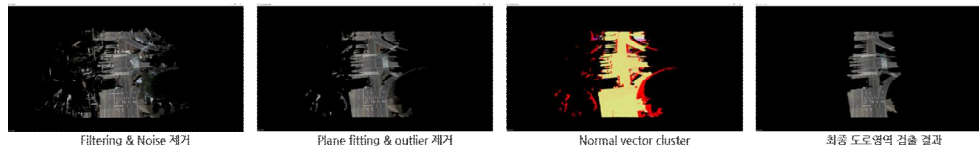
3.1 객체검출

3.1.1 도로영역

효과적인 차선, 도로정보 검출을 위해 차로 정보가 포함되어 있는 도로영역을 먼저 검출한다. 구간이 직선이 아닌 경우 전체 구간으로 정확한 차선을 검출하기 어렵기 때문에 겹치는 부분이 있도록 일정한 구간을 잘라 여러 개의 cluster를 제작한 후 각각의 cluster에서 도로영역 검출을 진행한다.

3.1.1.1 도로영역 검출

고정밀 점군지도는 무수히 많은 점군 데이터로 이루어져 있고 이를 한꺼번에 처리하기에 많은 시간이 걸린다. 따라서 Voxel filtering과 Z축 좌표를 이용한 관심영역 설정으로 Down sampling을 수행하여 불필요한 영역을 제거한다. 연산량을 줄이기 위해 RANSAC 알고리즘으로 Plane fitting과정을 수행하고 K-NN으로 outlier를 제거하여 대략적인 도로영역을 검출한다. 이후 Normal vector cluster를 통하여 도로 턱과 도로를 정확하게 분리하여 정확한 도로영역을 검출한다[그림 3-2].

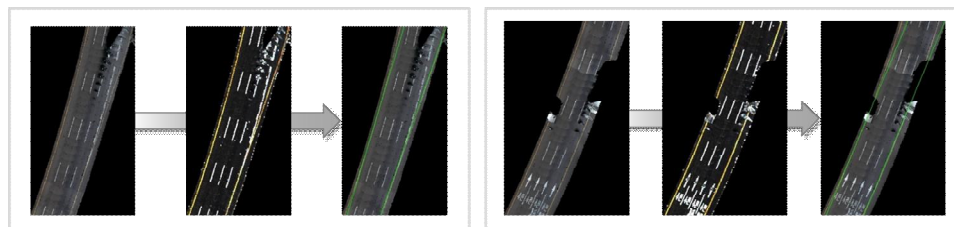


[그림 3-2] 도로영역 검출 과정

3.1.1.2 차선 검출

검출한 3차원의 도로영역이 평면임을 이용하여 2차원으로 투영시킨 후 이미지로 변환하여 차선을 검출한다.

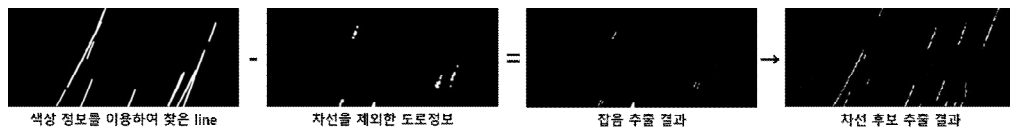
황색 차선의 경우, HSV 색공간을 이용하는데 Hue 채널에서 색상의 범위를 결정하고 Saturation과 Value 채널을 통해 채도와 명도를 활용하여 황색에 해당하는 색상을 추출한다. 추출된 이미지의 밝기를 강조하여 황색 영역을 보정한 후 hough line을 이용하여 차선을 검출한다[그림 3-3].



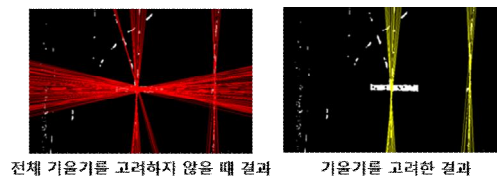
[그림 3-3] 황색 차선 검출 결과

흰색 차선의 경우, 흰색인 도로정보에 해당하는 데이터를 추출하기 위하여 RGB 색공간과 HSV 색공간을 동시에 사용한다. 흰색 차선은 차선 이외의 도로정보와 차선을 구분하기 위해 Opening 연산을 수행하고 이때 임계값을 지정하여 차선을 제외한 도로정보를 추출한다. 색상 정보를 이용하여 찾은 line과 차선을 제외한 도로정보의 차영상을 통하여 차선 이외의 잡음을 추출하고 이를 제거하여 차선 후보를 추출한다[그림

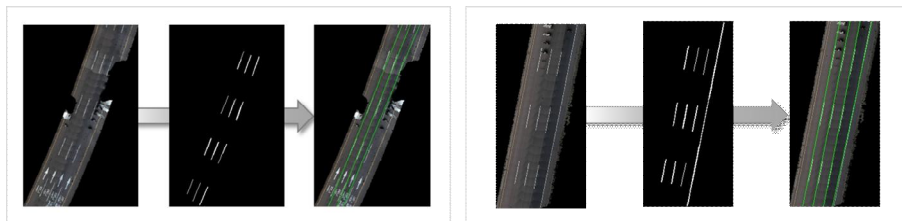
3-4]. 오검출을 줄이기 위해 [그림 3-5]와 같이 검출한 황색 차선의 기울기를 이용하여. 이전에 검출한 황색 차선을 통하여 전체 기울기를 추출한 후 기울기 범위에 해당하는 차선을 실제 차선으로 검출한다.



[그림 3-4] 차선 후보 추출 결과

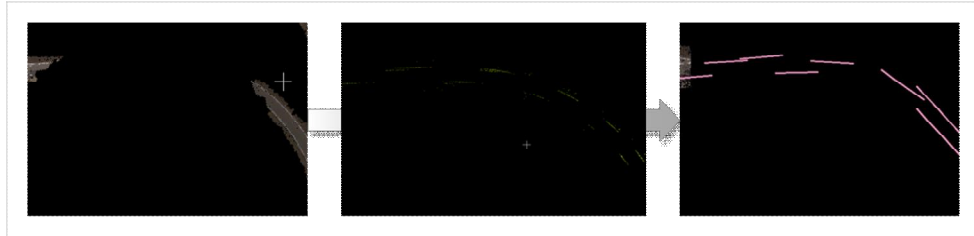


[그림 3-5] 기울기를 고려한 차선 후보 검증



[그림 3-6] 흰색 차선 검출 결과

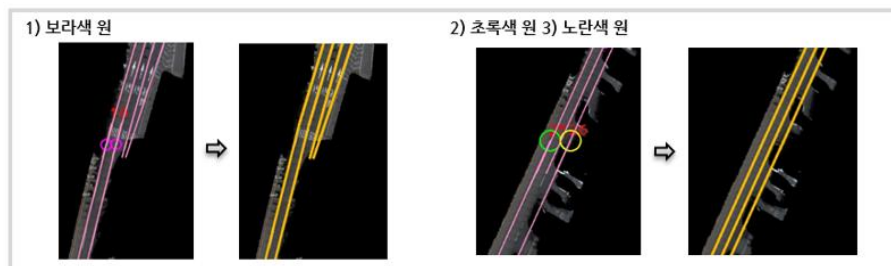
또한 색상 정보가 없는 영역의 경우, Intensity정보를 이용하여 차선 검출을 보완한다.



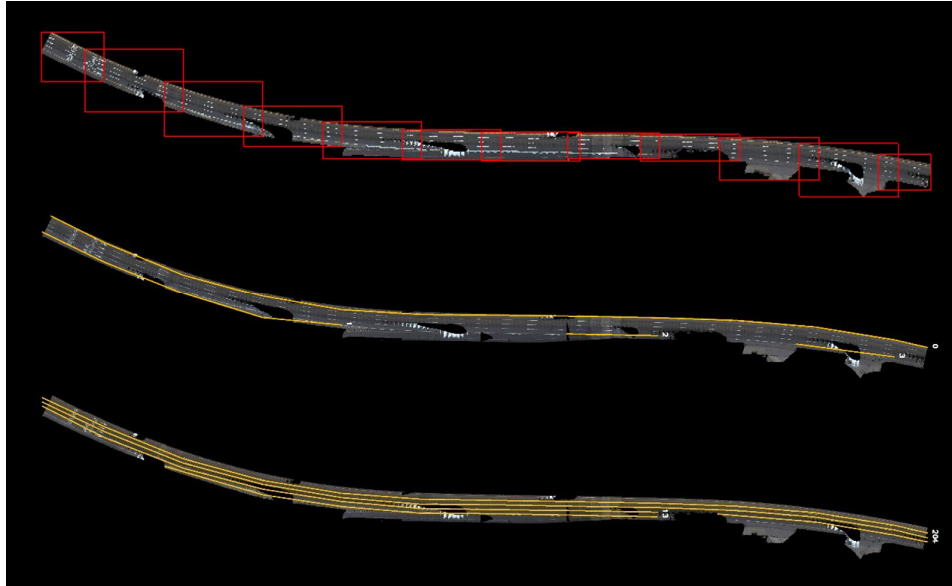
[그림 3-7] Intensity를 이용한 차선 검출 결과

DT Lane을 생성하기 위해 여러 개의 cluster 각각에서 검출된 차선을 하나의 전체 이미지로 통합하여 병합하는 과정을 수행한다. cluster 위치 좌표를 이용하여 각각의 cluster를 하나의 전체 이미지로 통합한다. 검출한 차선을 병합하기 위해 차선의 rho와 theta를 이용하여 두 선의 관계를 확인한다. 두 선의 관계를 확인하는 과정은 다음과 같다.

1. 두 선의 기울기가 같지 않을 때 교점 확인
2. 두 선의 기울기가 같지 않고 교점이 없을 때 기울기와 거리 비교
3. 두 선의 기울기가 같을 때 거리와 임계값 비교



[그림 3-8] 차선 Merging 과정



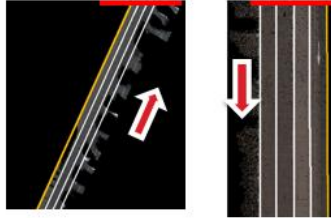
[그림 3-9] 전체 Merging & Labeling 결과

이후 전체 이미지에서 병합된 차선에 Labeling 수행하고 이를 통하여 분류된 차선은 실제 차선으로 정확히 표현하기 위해 curve fitting을 수행한다.

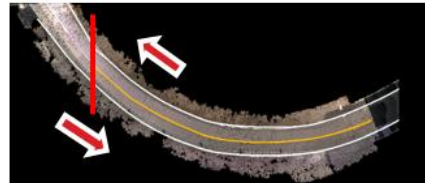
DT Lane은 실제 차가 주행하는 방향의 lane에 해당하기 때문에 Labeling된 차선 중 Tool을 통해 두 선을 선택하여 두 선 사이의 line을 생성한다. 이때 차의 진행 방향은 황색 차선을 기준으로 선택된 두 선의 위치로 추출한다[그림 3-10]. Tool에서는 두 선을 선택할 때 사용자가 Finish 지점을 선택하도록 하여 현재 진행 방향을 검증하거나 임의로 수정이 가능하게 하였다. 또한 사용자가 Start 지점과 Finish 지점을 시각적으로 확인할 수 있도록 점의 색상을 구분하여 Start 지점은 초록색, Finish 지점은 빨간색 점으로 표현하였다[그림 3-11].

- 황색 차선 기준

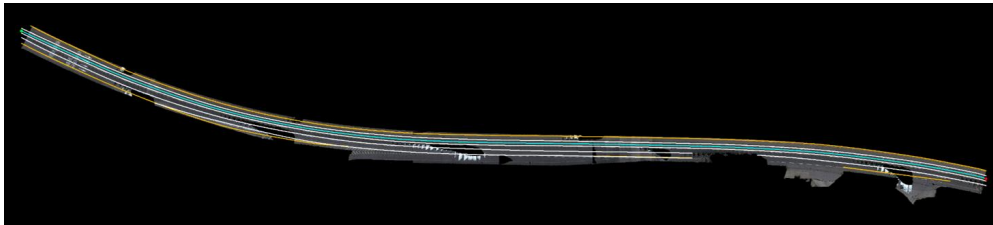
1) 높이가 길 때 - 선의 x 좌표로 비교



2) 너비가 길 때 - 선의 y 좌표로 비교



[그림 3-10] 차량 진행 방향 추출 방법



[그림 3-11] DT Lane 검출 결과

3.1.1.3 도로정보 검출

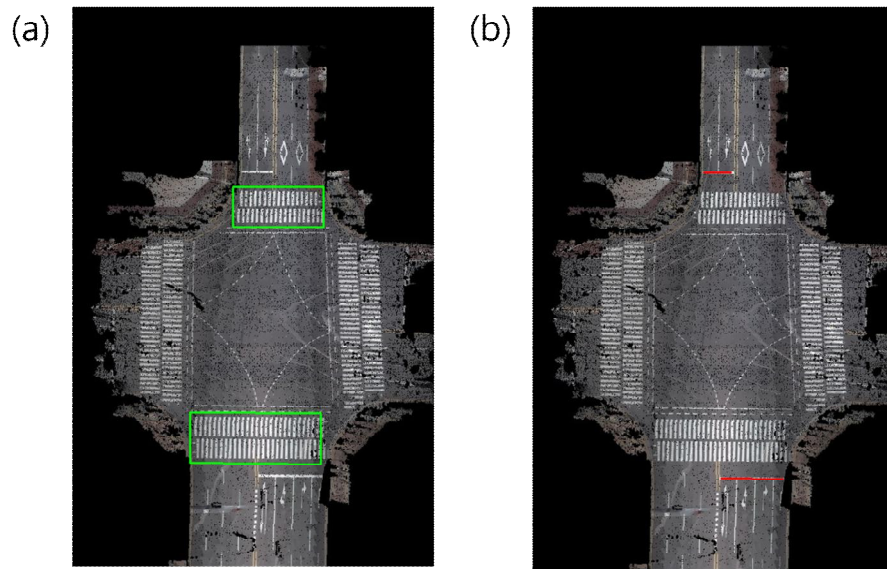
도로영역에서 차선 이외의 도로정보 검출요소로 차량이 진행하고 있는 방향의 횡단보도, 정지선을 검출한다.

횡단보도와 정지선은 먼저 RGB 색공간과 HSV 색공간을 동시에 사용하여 흰색 영역을 추출한 후 Opening 연산을 수행하여 도로정보로 추출한다.

횡단보도의 경우, 윤곽선 검출 알고리즘을 통해 영역을 검출한다. 횡단보도에 해당하는 영역은 다음 2가지 조건을 만족해야 한다. (1) 횡단보도 영역은 일정 크기 이상의 면적을 가져야 하고 (2) 횡단보도 영역은 차량의 진행 방향에 따라 너비와 높이의 비율이 일정해야 한다.

정지선의 경우, 횡단보도 영역을 제외하고 hough line을 이용하여 정지

선 후보를 검출한다. 정지선은 차량의 진행 방향에 수직으로 표현된다. 따라서 후보 중 황색 차선의 기울기의 수직 범위에 해당하는 값을 정지선으로 검출한다.



[그림 3-12] 도로정보 검출 결과
(a) 횡단보도 검출 결과, (b) 정지선 검출 결과

3.1.2 교통표지 시설

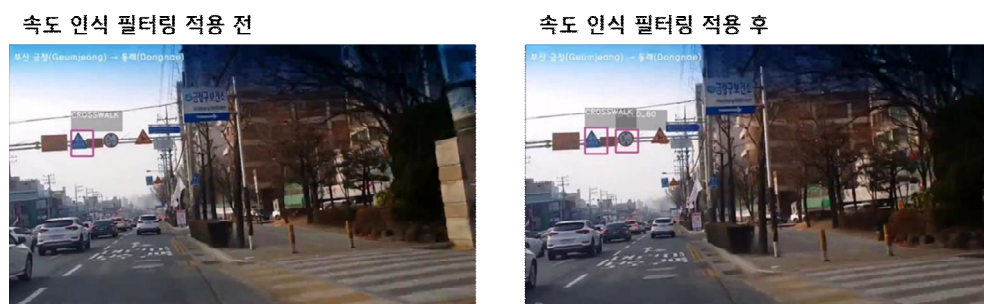
교통표지 시설을 검출하기 위해 카메라 영상 이미지를 이용한 영상 기반 객체검출 알고리즘을 이용한다. 카메라 영상 이미지를 이용하여 표지판, 신호등을 검출하고 3차원의 고정밀 점군지도에 투영하여 교통표지 시설을 벡터지도의 요소로 변환한다. 영상 이미지 내에서 표지판과 신호등 검출은 YOLO v3를 사용하였다.

3.1.2.1 표지판 검출

검출할 표지판의 출력층은 22종류로, 그림[3-13]과 같다. YOLO v3를 통해 검출된 표지판 후보영역의 인식률을 높이기 위해 제한속도 표지판을 통해 후보영역을 검증한다. 검출된 후보영역에서 인공지능망을 이용한 숫자 분류기를 사용하여 표지판 후보영역이 제한속도 표지판인지 확인한다. 제한속도 표지판의 속도를 인식하여 인식률을 높이고 타 후보의 표지판의 오검출을 줄인다. [그림 3-14]는 제한속도 표지판에 대한 검증을 추가하였을 때 표지판 검출 결과 예시를 보여준다.



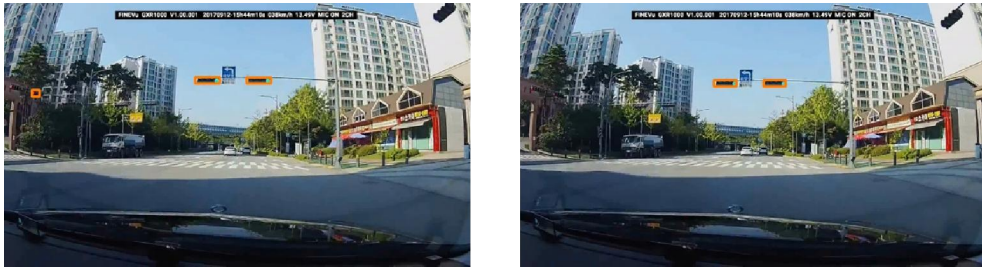
[그림 3-13] 검출할 표지판의 종류



[그림 3-14] 속도 인식을 통한 표지판 후보 검증 결과 예시

3.1.2.2 신호등 검출

신호등 검출의 경우, 신호등이 나타날 수 있는 영역을 지정한다. YOLO v3 알고리즘을 통해 현재 차량이 진행하는 방향에 해당하지 않는 신호등이 검출될 확률이 높기 때문에 관심영역을 설정하여 신호등을 검출한다. 신호등의 훈련데이터는 coco data set을 이용하였고 검출된 신호등이 일정 frame 이상 지속된 후의 신호등을 검출하여 잡음을 제거하였다. [그림 3-15]는 잡음 제거 후 신호등 검출 결과 예시를 나타낸다.

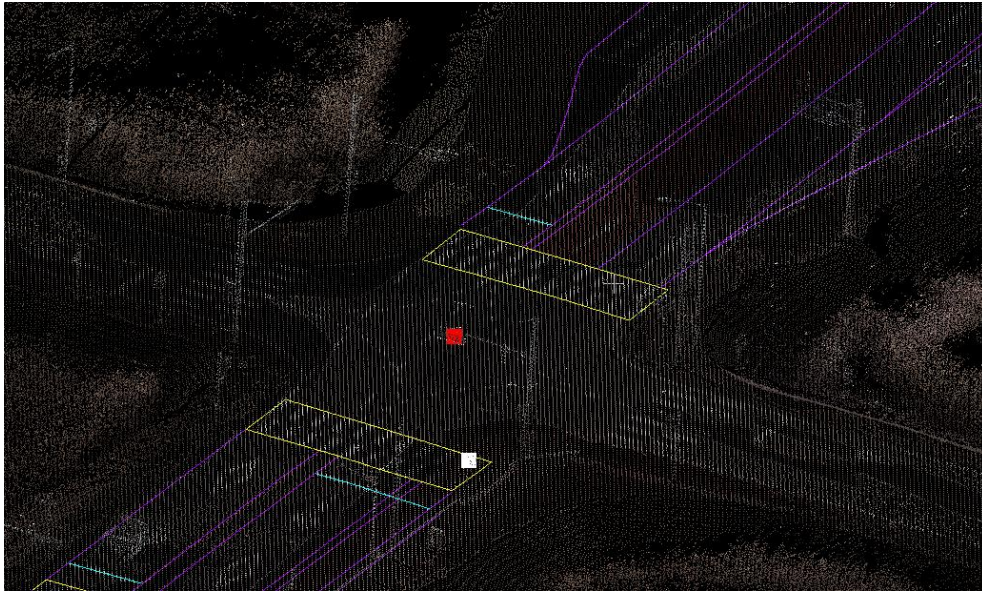


[그림 3-15] 잡음 제거 후 신호등 검출 결과 예시

3.2 벡터지도 생성

3.2.1 벡터요소 변환

객체검출을 이용하여 객체를 자동적으로 검출한 후 객체를 벡터의 요소로 변환하기 위해서는 검출된 객체들을 3차원 형태로 원래대로 투영시킨 후 점, 선, 면의 형태로 변환한다. 각 객체들이 가질 수 있는 최소의 형태로 검출한 후 UI에서 요소의 속성을 변경할 수 있는 버튼을 통해 객체들의 형태를 수정할 수 있다. [그림 3-16]은 검출된 객체들을 3차원의 정보들로 투영시킨 결과를 나타낸다.



[그림 3-16] 벡터요소 변환 결과

3.2.2 표준화 형태의 벡터지도 변환

벡터지도를 생성하기 위해서는 벡터지도의 요소와 그에 맞는 형태로 변환하는 과정이 필요하다. 검출된 객체를 벡터의 요소로 변환한 후 생성하고자 하는 파일에 맞는 데이터 형태로 변경한다.

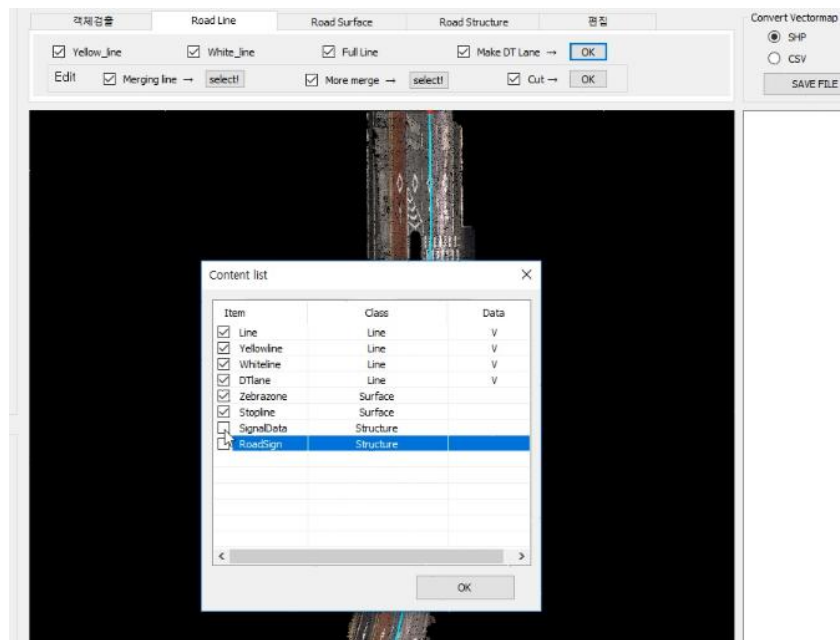
shp 파일의 형태가 아닌 Autiware용 벡터지도의 형태로 제작할 때 노드정보를 추가해야 한다. 차로정보의 경우, 3차원 형태의 벡터요소로 변환한 후 하나의 선에 등간격을 갖는 포인트를 생성하여 노드정보로 추가한 후 Labeling을 토대로 벡터지도의 요소로 변환한다. Autoware용 벡터지도의 형태로 차로정보를 통하여 만들 수 있는 csv 파일의 종류는 다음과 같다.

- idx.csv, whiteline.csv, line.csv, lane.csv, dtlane.csv, node.csv, point.csv, stopline points.csv, stoplines.csv, crosswalks.csv

교통표지시설 정보의 경우, 2차원 이미지의 표지정보를 3차원 포인트로 변환하여 벡터지도의 요소로 생성한다. 이미지에서 검출한 영역을 3차원 공간으로 투영할 때 영역의 중심점을 포인트로 생성하고 Labeling을 토대로 벡터지도의 요소로 변환한다. 마찬가지로 Autoware용 벡터지도의 형태로 변환할 때 교통표지시설 정보를 통하여 만들 수 있는 csv 파일의 종류는 다음과 같다.

- idx.csv, signaldata.csv, roadsignes.csv, vector.csv, point.csv

검출된 객체들을 벡터지도의 요소로 변환하여 원하는 형태의 벡터지도를 생성한다. 이때 UI를 이용하여 사용자가 검출한 객체의 유무와 벡터지도의 요소로 원하는 요소들을 선택하거나 원하는 형태의 벡터지도로 제작할 수 있다. [그림 3-17]은 UI를 이용하여 벡터지도 생성의 편리함을 보여주는 예시를 보여준다.

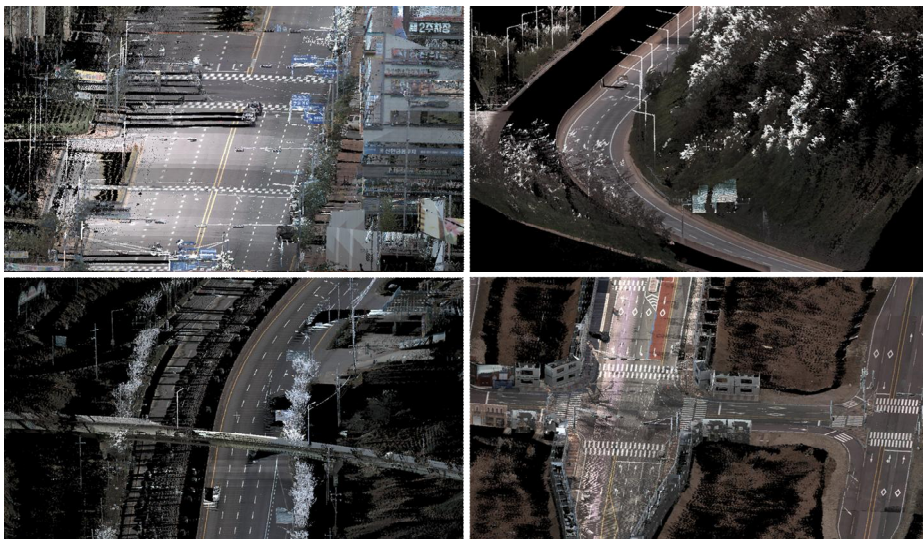


[그림 3-17] UI를 이용한 벡터요소 데이터 리스트 확인

제 4 장 실험 및 결과

4.1 실험 설계와 환경

본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 실험하기 위해 국토지리정보원에서 제공한 데이터셋을 사용하였다. 실제 도로환경과 같이 다양한 데이터를 실험하기 위해 정밀 센서들을 통해 획득한 고정밀 점군지도를 [그림 4-1]과 같이 4가지의 환경(1. 도심 2. 국도 3. 고속도로 4. K-City)으로 구성하였다. 도심의 경우, 판교제로시티 데이터의 일부 구간에 해당하는 데이터를 사용하였고, 일반국도는 서수원IC부터 오성IC에 해당하는 국도의 일부 구간을 사용하였으며, 고속도로는 고속국도 65호선(동해선)에 해당하는 데이터를 사용하였다. K-City는 경기도 화성에 위치한 자동차안전연구원 주행시험장 내부에 조성된 자율주행 실험도시로 5개의 평가 환경(도심부, 커뮤니티부, 자동차전용도로, 교외도로, 자율주차시설)으로 구성되어 있어 주행 구간을 실험 데이터로 사용하였다.



[그림 4-1] 실험에 사용한 4가지 환경의 고정밀 점군지도 데이터셋

4가지 환경의 고정밀 점군지도로부터 벡터지도를 생성하기 위해 객체 검출, 벡터지도 변환 알고리즘을 수행하고 생성된 벡터지도의 성능을 평가한다. 실험에 사용된 하드웨어의 제원은 [표 4-1]과 같으며, 개발언어는 C++을 사용하였고 UI는 MFC를 이용하여 제작하였다.

[표 4-1] 실험 환경에 사용된 하드웨어 제원

구분	항목	제원
PC	CPU	Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz
	RAM	16.0GB
	OS	Windows 10 Pro 64bit
	VGA	NVIDIA GeForce GTX 1060

4.2 실험 평가

4.2.1 평가방법

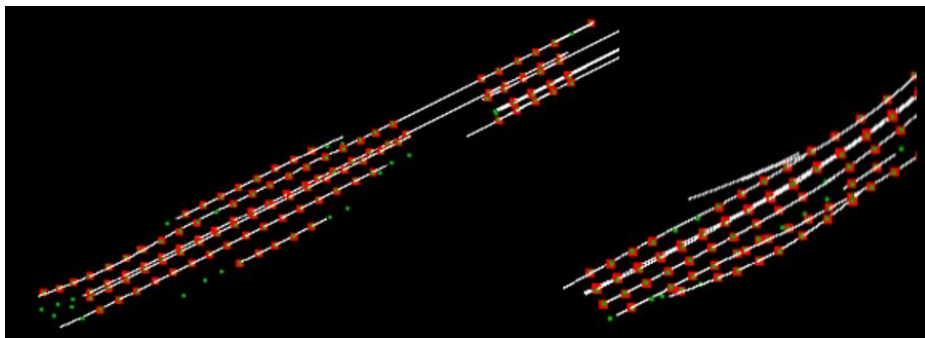
본 논문을 통해서 생성된 벡터지도 중 먼저 국토지리정보원에서 제정한 표준화 형태의 벡터지도를 평가한다. 국토지리정보원에서 제작한 고정밀 점군지도로부터 제안하는 알고리즘으로 생성한 벡터지도를 국토지리정보원에서 생성한 벡터지도와 비교하여 벡터지도 반자동 생성 알고리즘의 성능을 평가한다. 이때 국토지리정보원의 벡터지도를 Ground Truth로 사용할 수 있는지 고정밀 점군지도와 매칭을 수작업으로 확인하였고 이상이 없음을 확인하였다.

Ground Truth를 통해 벡터지도의 성능을 평가할 때 벡터요소의 속성을 구분하여 평가한다.

1) 벡터요소가 Line에 해당하는 경우, Ground Truth의 선과 벡터요소의 선에 동일한 간격으로 3차원 점 좌표를 샘플링 한 후 샘플링 point 간의 matching을 비교한다. [그림 4-2]에서 흰색 선의 경우 검출한 벡터

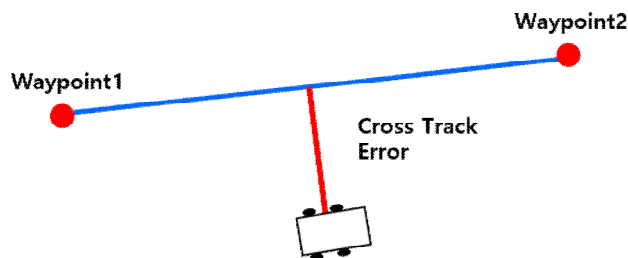
요소를 표현한 것이고, 초록색 점 좌표는 Ground Truth에서 샘플링한 점, 빨간색 좌표는 Ground Truth와 벡터요소의 샘플링 point가 일치한 경우를 나타낸다.

2) 벡터의 요소가 Polygon에 해당하는 경우, Ground Truth의 영역과 벡터요소의 영역의 IoU(Area of Overlap / Area of Union)를 계산하여 인식률을 평가한다.



[그림 4-2] Line 요소의 평가방법

다음은 벡터지도의 적용 테스트를 평가하는 방법이다. Autoware용 형태로 생성한 벡터지도는 공개 플랫폼 Autoware를 이용하여 경로추종 테스트를 진행한다. 경로추종 테스트시 생성한 벡터지도의 DT Lane과 경로 추종 알고리즘을 통해 실제 차가 주행한 위치정보의 차이인 Cross Track Error(XTE)값을 오차로 간주하고 이를 통해 벡터지도의 적용 성능을 평가한다.



[그림 4-3] Cross Track Error(XTE)

4.2.2 실험 결과

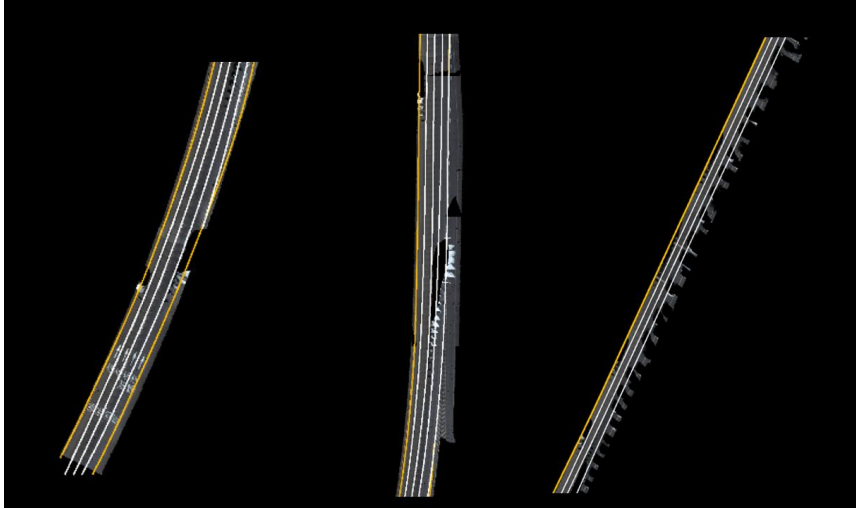
입력에 사용되는 고정밀 점군지도의 경우, 국토지리정보원에서 제공한 데이터를 이용하였으며 크기가 큰 데이터의 경우 구간 별로 나누어 실험을 진행하였다. 본 논문에서 제안한 벡터지도 반자동 생성 알고리즘을 이용하여 고정밀 점군지도로부터 벡터지도를 생성하여 성능을 평가한다.

1) 도로영역 검출



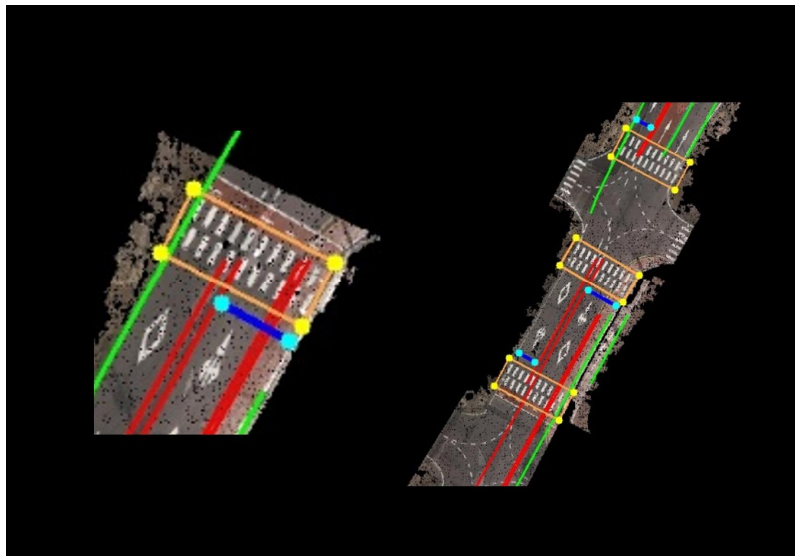
[그림 4-4] 고속도로의 도로영역 검출 결과

2) 차선검출



[그림 4-5] 일반국도의 차선 검출 결과

3) 도로정보 검출



[그림 4-6] K-CITY의 도로정보 검출 결과

4) 교통표지시설 검출



[그림 4-7] 도심부의 교통표지시설 검출 결과

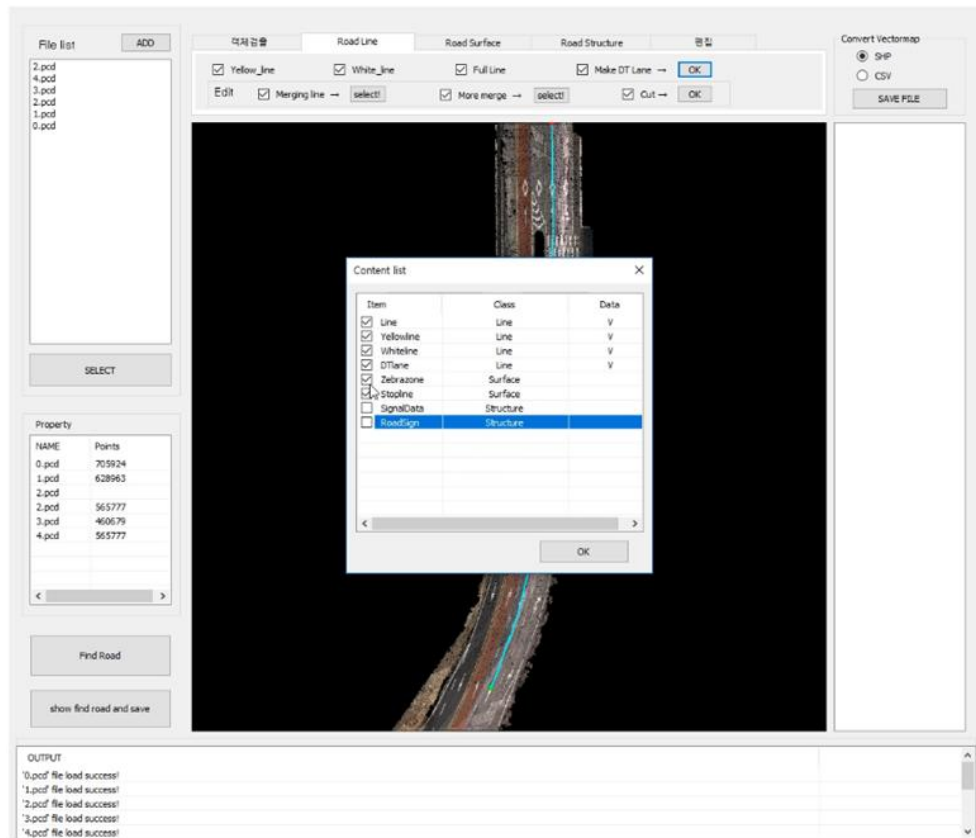
4) 반자동 벡터지도 UI 생성 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 통해 생성한 반자동 벡터지도 UI는 파일 로드 버튼, 추가한 파일의 속성 창, 도로영역 검출 버튼, 점군지도 저장 버튼, 객체검출 탭, 벡터지도 생성 부분, 결과 log, viewer로 나누어져 있다. 객체검출의 경우, 차선, 도로정보, 교통표지시설로 탭을 나누어 두었고 편집 탭을 만들어 객체 병합 및 제거, 추가 등의 편집 기능과 벡터 요소의 속성을 변경할 수 있는 기능을 추가하였다.

본 논문을 통해서 다음과 같은 두 가지 형태의 벡터지도가 생성된다.

1. Autoware용 형태의 벡터지도
2. 국토지리정보원에서 제정한 형태의 벡터지도

[그림 4-7]은 제안하는 알고리즘을 통해 생성된 UI를 사용하는 모습을 보여준다.



[그림 4-8] UI 사용 예시

4.3.1 평가결과

제안하는 방법을 평가하기 위해 다양한 도로 환경을 가진 (1. 도심 2. 일반국도 3. 고속도로 4. K-City) 데이터에서 실험 평가를 진행하였다. 고정밀 점군지도를 통해 생성된 벡터요소들의 속성을 확인하여 평가하였으며 표[4-3]은 환경 데이터에 따른 실험 평가 결과를 나타낸다.

도심 데이터 중 차선과 정지선의 경우, 데이터 내의 구조물과 차량정보로 인해 손실된 데이터 정보가 많아 데이터가 상대적으로 낮은 것을 볼 수 있다. 도심 데이터 중 차선은 전체 2170개의 샘플링 개수 중 1589개

의 point가 일치하여 73.226%의 정확도를 보였고 정지선은 전체 13개 중 12개를 검출하여 92.307%이고, 횡단보도는 8개, 신호등은 11개, 표지판은 5개 모두 검출하여 100% 정확도를 보였다.

일반국도 데이터 중 차선은 전체 1846개의 샘플링 개수 중 1590개의 point가 일치하여 86.132%의 정확도를 보였고, 정지선과 횡단보도, 신호등은 존재하지 않았으며, 표지판은 2개 모두 검출하여 100%의 정확도를 보였다.

고속도로 데이터의 차선은 전체 983개의 샘플링 개수 중 925개의 point가 일치하여 94.099%의 정확도를 보였고, 정지선과 횡단보도, 신호등, 표지판에 대한 요소는 존재하지 않았다.

K-City 데이터 중 차선의 전체 샘플링 개수는 3522개이고 샘플링 point가 일치한 경우는 2693개로 차선의 정확도는 76.462%이다. 차선의 곡선 구간이 많아 curve fitting 과정에서 생기는 오차로 인해 상대적으로 낮은 성능을 보였다. 정지선은 15개, 횡단보도는 7개, 신호등은 11개 모두 검출하여 100%의 정확도를 보였으며, 표지판의 경우 전체 7개 중 6개를 검출하여 85.714%의 정확도를 보였다.

[표 4-2] 실험 데이터에 따른 성능 평가

구분	차선	정지선	횡단보도	신호등	표지판
Data 1 (도심)	73.226	92.307	100	100	100
Data 2 (일반국도)	86.132	-	-	-	100
Data 3 (고속도로)	94.099	-	-	-	-
Data 4 (K-City)	76.462	100	100	100	85.714

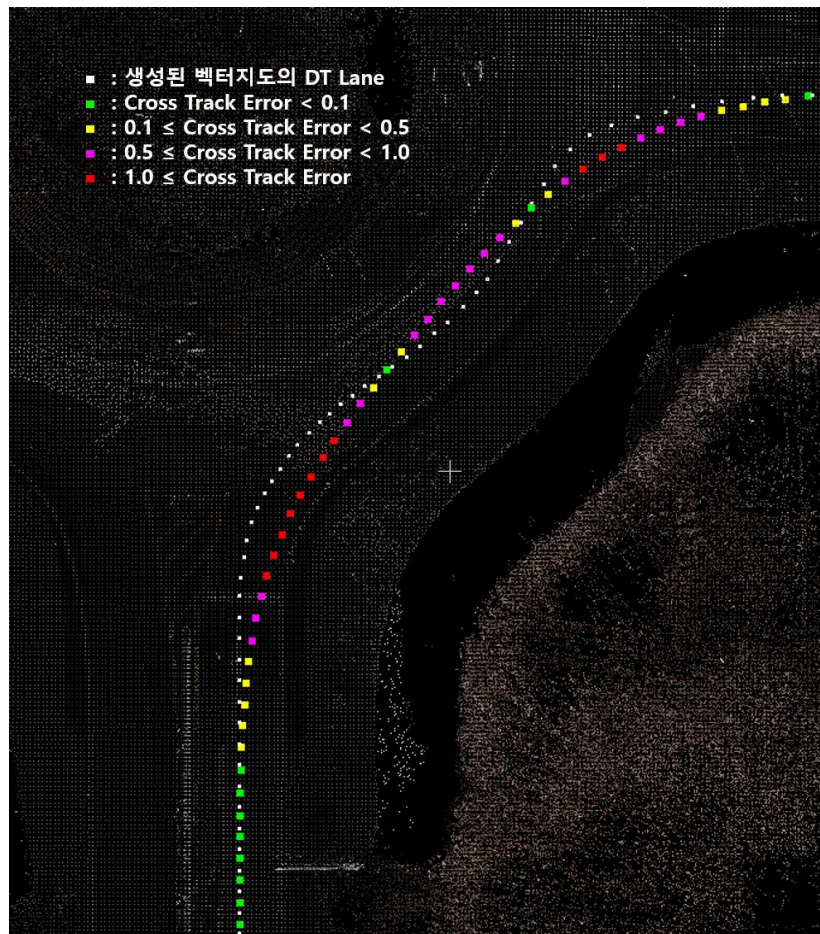
제안하는 방법을 통해 생성된 벡터지도의 적용 테스트를 평가하기 위하여 Autoware의 시뮬레이션을 이용하였다. 실험을 위해 경로추종 알고

리즘을 사용하였으며, 제안하는 알고리즘을 사용하여 제작한 벡터지도의 DT Lane으로부터 주행해야 하는 위치정보와 pure pursuit 알고리즘을 통해 실제 차가 주행한 위치정보의 차이로 벡터지도의 적용 능력을 평가하였다. 실제 주행한 위치정보에 해당하는 포인트에서 발생한 오차(Cross Track Error) 값을 구한 후 전체 포인트의 평균 오차를 계산하였다. 4가지 환경의 데이터셋에서 제안하는 방법을 통해 생성된 벡터지도의 Cross Track Error 평균은 다음과 같다.

[표 4-3] 실험 데이터에 따른 평균 오차

구분	평균 오차(m)
Data 1 (도심)	0.054
Data 2 (일반국도)	0.021
Data 3 (고속도로)	0.014
Data 4 (K-City)	0.095

[그림 4-8]은 경로추종 알고리즘의 결과로 오차범위를 표현한 경로의 일부분을 나타낸다. pure pursuit 알고리즘을 이용하여 경로를 추종할 경우, 곡률이 심한 구간에서의 오차가 크다는 것을 알 수 있다. 하지만 이는 생성된 벡터지도 자체의 문제라 보기 어렵고, 이러한 문제점을 제외하면 경로추종 알고리즘을 통해 생성한 벡터지도의 DT Lane을 잘 추종하고 있음을 볼 수 있다.



[그림 4-9] 경로추종 알고리즘을 통한 결과 예시

제 5 장 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 자율주행자동차를 위한 고정밀 점군지도로부터 객체검출을 이용한 벡터지도의 반자동 생성에 관한 연구를 진행하였다. 제안하는 알고리즘은 중앙선, 흰색 차선, DT Lane, 횡단보도, 정지선, 신호등, 표지판을 자동으로 추출하는 알고리즘을 개발하고 자동화된 객체검출을 통해 표준화 형태의 벡터지도를 생성하는 알고리즘을 개발한다.

자동화 목적에 맞게 고정밀 점군지도로부터 차선, 신호등, 교통표지시설 정보를 자동으로 추출하는 알고리즘을 개발하고 차로정보 뿐만 아니라 교통표지시설 검출 알고리즘을 통해 실용성을 높인 벡터지도를 생성한다. 이때 오검출을 최소화하기 위해 다양한 알고리즘 기법을 조합하여 객체검출 알고리즘의 성능을 높였다.

또한 UI를 이용함으로써 다양한 환경에서의 고정밀 점군지도 데이터로부터 편리하고 효율적으로 사용자가 원하는 형태의 벡터지도를 생성할 수 있다.

향후에는 도로 노면 정보와 구조물들에 대한 검출을 추가하여 객체요소들을 다양하게 검출하면 더욱 실용성있는 벡터지도를 생성하여 활용할 수 있을 것이라고 생각된다. 또한 벡터지도 생성의 중간 과정을 확인할 수 있도록 하는 창과 객체검출 파라미터 조절 기능을 추가하여 사용자가 벡터지도의 생성 과정을 가시적으로 확인할 수 있도록 보완할 계획이다.

참고문헌

- [1] 자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률
- [2] 강민성, 허수정, 박익현. “자율주행을 위한 센서 데이터 융합 기반의 맵 생성.” 한국자동차공학회논문집, 22.6 (2014): 14-22.
- [3] 박중태. “센서융합을 통한 시맨틱 지도의 작성.” 제어로봇시스템학회 논문지, 17.3 (2011): 277-282.
- [4] 신용호, 민재식. “고밀도 깊이 지도 획득을 위한 스테레오 카메라와 라이다 센서 융합.” 한국자동차공학회, 2018.6 (2018): 1424-1429.
- [5] Z. Tao, P. Bonnifait, V. Fremont, and J. Ibanez-Guzman.
“Mapping and localization using gps, lane markings and proprioceptive sensors.” in Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'13), (2013): 406 - 412.
- [6] S. Zheng, and J. Wang. “High Definition Map-Based Vehicle Localization for Highly Automated Driving: Geometric Analysis.” 2017 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), (2017)
- [7] M. Schreiber, C. Knoppel, and U. Franke. “LaneLoc: Lane marking based localization using highly accurate maps.” in Proc. 2013 IEEE 4th Intelligent Vehicles Symp., (2013): 449 - 454.
- [8] 정호기, 서재규. “센서 융합 기반 자동차용 정밀 측위시스템.” Auto Journal, (2015)
- [9] WN Tun, S Kim, and JW Lee. “Open-source Tool of Vector Map for Path Planning in Autoware Autonomous Driving

- Software.” 2019 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing, (2019)
- [10] G. P. Gwon, W. S. Hur, S. W. Kim, and S. W. Seo. “Generation of a precise and efficient lane-level road map for intelligent vehicle systems.” IEEE Trans. Vehicular Tech., 66.6 (2016): 4 517-4533
- [11] 강상구. “자율주행 자동차를 위한 정밀도로지도의 정책동향.” ITS BRIEF 8.1 (2018)
- [12] Hideki Shimada¹, Akihiro Yamaguchi, Hiroaki Takada, and Kenya Sato¹. “Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems.” Journal of Transportation Technologies, 5.2 (2015): 102-112
- [13] <https://www.ngii.go.kr/kor/content.do?sq=210>
- [14] 하상태. “자율주행 지원을 위한 고정밀지도 기술 동향.” 한국정보통신기술협회, TTA Journal 9월호
- [15] 국토교통부 보도자료(2016.9.27.)
- [16] <https://blog.hyundai-mnsoft.com/841>
- [17] https://tools.tier4.jp/vector_map_builder/
- [18] <http://www.hyundai-mnsoft.com/KR/>