

정밀 지도에 기반한 자율 주행 시스템 개발

김병광* · 이철하* · 권수림* · 정창영* · 천창환* · 박민우* · 나용천*

A Development of the Autonomous Driving System based on a Precise Digital Map

Byoung-Kwang Kim*, Cheol Ha Lee*, Surim Kwon*, Changyoung Jung*,
Chang Hwan Chun*, Min Woo Park*, Yongcheon Na*

Key Words : Autonomous driving(자율주행), Urban environment(도심 환경), Precise digital map(정밀디지털지도)

ABSTRACT

An autonomous driving system based on a precise digital map is developed. The system is implemented to the Hyundai's Tucson fuel cell car, which has a camera, smart cruise control (SCC) and Blind spot detection (BSD) radars, 4-Layer LiDARs, and a standard GPS module. The precise digital map has various information such as lanes, speed bumps, crosswalks and land marks, etc. They can be distinguished as lane-level. The system fuses sensed data around the vehicle for localization and estimates the vehicle's location in the precise map. Objects around the vehicle are detected by the sensor fusion system. Collision threat assessment is performed by detecting dangerous vehicles on the precise map. When an obstacle is on the driving path, the system estimates time to collision and slow down the speed. The vehicle has driven autonomously in the Hyundai-Kia Namyang Research Center.

1. 서론

최근 자율 주행은 차량 제조사뿐만 아니라 Google, apple 과 같은 IT 회사에서도 핵심 기술 과제로 여기고 있는 분야이다.^{(1),(2)} 자율 주행은 궁극적으로 운전자의 개입 없이 다양한 상황에서도 차량 스스로 운전할 수 있는 것을 목표로 하고 있다. 도심지에서는 고속도로와는 다르게 GPS 수신률이 낮고 보행자나 교차로 등 다양한 상황이 존재하기 때문에 고도화된 시스템이 필요하다. 또한 센서의 정확도나 정보 획득량을 높이기 위해 DGPS 와 정밀 GPS 수신기 혹은 3D LiDAR 센서를 이용하기도 한다. 다만 이런 센서의 경우 고가인 경우가 많고 센서 크기가 커서 자동차 외관에 돌출이 되는 단점이 존재

한다. 또한 센서를 많이 장착하거나 대용량의 데이터를 획득할 수 있는 센서의 경우 데이터를 처리하기 위해서 많은 계산량을 요구하고 있어 실시간성을 보장하기 어렵거나 고가의 제어를 필요로한다. 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 DGPS와 3D LiDAR 없이 도심지에서 정밀지도에 기반한 자율 주행 시스템을 개발 하였다.

2. 본론

2.1 자율 주행 차량 구성

자율 주행 시스템은 SUV 차량인 투싼수료연료차를 기반으로 제작되었으며 시스템은 전방 카메라, SCC RADAR, 전/측방 4-Layer LiDAR, BSD RADAR, 그리고 일반 GPS로 센서류를 구성하였고 센서 신호 처리 및

* 현대자동차
E-mail : byoungkwangkim@hyundai.com

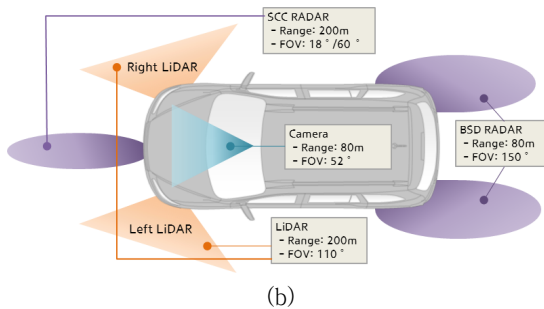
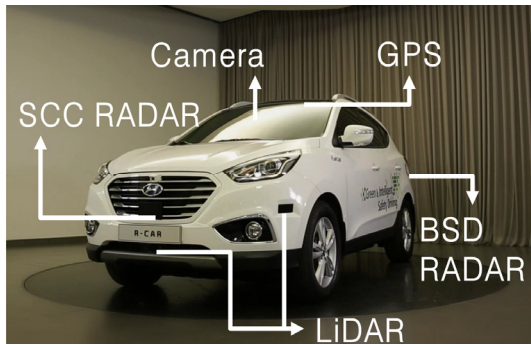


Fig. 1 (a) Sensor installation (b) Sensor range and field of view (FOV)

차량 제어를 담당하는 제어기, 그리고 제어기를 이용하여 실제 종/횡 방향 제어가 이루어지는 MDPS/ ESC 액추에이터가 포함되었다(Fig. 1, Table 1).

Table 1 Sensor specification for the autonomous driving System

	LIDAR		GPS
제조사	IBEO	IBEO	U-BLOX
모델명	SCALA	LUX2010	C027
주요 제원	FOV : 145° Range: ~345m	FOV : 110° Range: ~200m	위치정확도 : 2.5~10m
	RADAR		CAMERA
제조사	DELPHI	만도헬라	CLAIRPIXEL
모델명	ESR	GEN2.0	C8104
주요 제원	주파수:77GHZ Range: ~200m FOV: 20°/ 90°	주파수 : 4GHz Range: ~70m FOV: -50°~+70° / 70°~-50°	FOV : 52° 해상도 : 640X 480

2.2. 자율 주행 시스템 아키텍처 및 알고리즘

2.2.1. 자율 주행 시스템 아키텍처

시스템 아키텍처는 Fig. 2와 같다. 먼저 입력단에서 센서 신호, 지도 정보 및 차량 정보가 입력으로 들어온다. 지도 정보의 경우 차선 정보, 로드마커 (정지선, 횡단보도, 과속 방지턱) 및 랜드마크로 구성되어 있으며 도로 형태에 따라서 노드와 링크로 구성되어 있다. 메인 시스템은 크게 차차 측위, 주변 물체 인지 및 추적, 위험

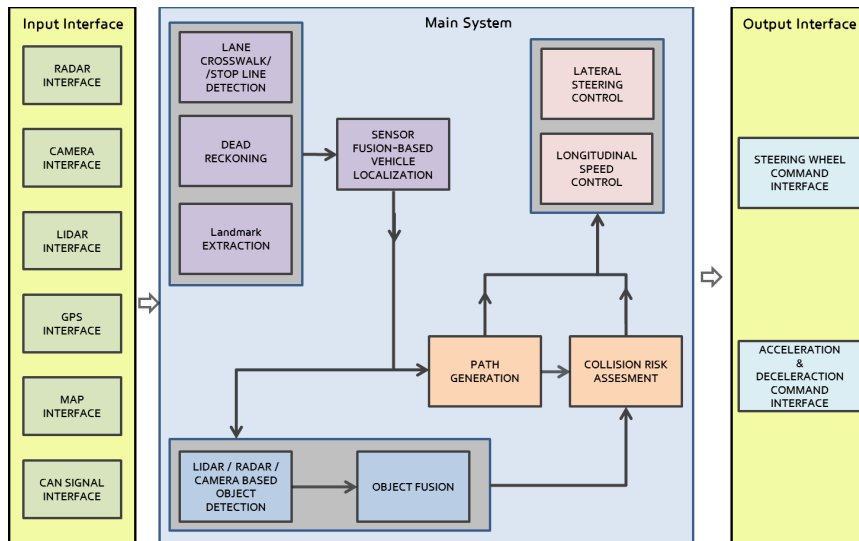


Fig. 2 System architecture

도 판단 및 경로 생성, 그리고 차량 종/횡 제어값 계산 부분으로 이루어져 있다. 위치 인식은 카메라, LiDAR, RADAR, GPS 등 센서를 통해 입력된 값을 파티클 필터로 정밀 지도와 비교해 가중치를 계산하여 최종적으로 자차의 위치를 추정한다. 주변 물체 인지 및 추적은 LiDAR와 RADAR를 통해 물체의 위치 및 속도를 추정한다. 단순히 LiDAR와 RADAR의 신호만으로는 노이즈 때문에 검출 성능에 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 지도 정보를 이용하여 LiDAR 클러스터링 및 추적 성능을 향상 시켰고, RADAR 정보와 융합하였다. 또한 도심지 주행이기 때문에 보행자 검출이 필요하다.

이를 해결하기 위해 LiDAR와 카메라 정보를 융합해서 보행자를 검출 및 추적하였다(Fig. 4). LiDAR 검출된 물체의 위치 정보를 기반으로 카메라에서 보행자 검출 가능 영역을 줄이고 이를 통해 보행자를 검출함으로써 검출 속도 및 카메라로만은 검출에 한계가 있는 거리 정확도를 향상 시켰다. 경로 생성은 정밀 지도를 이용하여 자차의 차선 정보 및 목적지를 이용하여 경로를 생성한다. 현재 주행하고 있는 차선 내에 전방 위험 장애물을 검출하고 충돌예상시간을 계산하여 이를 기반으로 위험도를 판단한다. 교차로에 진입시 대향차와 충돌 가능성이 있는 경로를 추출하고 해당 경로 상에 차량이 존재하면 충돌예상시간을 계산하여 위험도를 판단한다. 주행 경로와 현재 나의 위치를 바탕으로 이탈 각, 이탈 거리를 계산하여 횡방향 제어를 위한 스티어링 휠 입력 각도를 계산한다. 종방향 제어의 경우 지도 정보를 이용하여 현재 위치에서의 제한 속도 및 로드마커에 따른 속도, 그리고 전방 장애물의 속도 등을 고려하여 목표 속도를 설정하고 이를 현재 속도와 비교하여 가속도 값을 계산한다. 계산된 종/횡방향 제어 값은 스티어링 휠 및 가감속 명령을 통해 실제 차량이 움직이게 된다.

2.2.2. 정밀 지도

본 시스템은 정밀 지도에 기반한 것으로서 정밀한 자차 측위, 주행 상황 판단, 경로 생성 및 제어에 활용되면서 센서의 정밀도를 보완해 주거나 계산량을 감소시킬 수 있다. 본 시스템에서 말하는 정밀 지도란 일반 네비게이션 지도 수준이 아닌 차량이 구분 가능한 수준의 정보 및 정밀도를 지닌 지도를 말한다. 자율주행에 필요한 다양한 정보가 50cm 이내의 정확도로 정밀지도 구조에 포함되어 있다.

본 시스템에서는 정밀 지도를 전역 생성 및 지도 용

량을 고려하여 토폴로지컬 맵으로 구축하였다. 정밀 지도는 노드와 링크로 이루어져 있다(Fig. 3). 노드는 도로 속성 변환 지역에 위치한다. 도로 속성은 도로종별, 제한 속도, 총차로수 등을 포함한다. 또한 교차로의 경우 통행정보를 포함하고 주행 경로에 대한 위치 정보를 포함한다. 링크는 노드와 노드 사이의 구간을 의미하며 차선, 도로 마커, 랜드마크 맵정보, 도로종별, 시설물, 통행방향, 제한 속도 정보 등을 포함한다.

차선은 다각선 형태로 링크 번호, 차선 위치 및 종류, 정방향 및 역방향을 구분하는 정보가 포함되어 있다. 도로 마커는 정지선 및 횡단 보도, 과속 방지턱 위치 정보가 있다. 정지선은 다각선 형태로 정지선이 위치한 도로내 양끝점으로 나타내어진다. 횡단보도, 방지턱은 다각형 형태로 네 모서리 좌표로 나타내어진다. 랜드마크의 경우 다각선 형태로 건물, 벽, 가드레일, 주변 화단 등을 포함한다.

맵 최대 위치 오차는 0.5m로 현대자동차 남양연구소 내 도로를 중심으로 구축하였다.

2.2.3. 자차 정밀 측위

지도 정보에 기반하는 자율 주행은 자차가 지도상에 어디에 위치해 있는지 파악하는 것이 중요하다. 저가의 일반 GPS의 경우 위치 오차가 10m 이상 발생하는 경우가 있고 음영 지역이 다수 존재하기 때문에 GPS만 의존하여 차로 레벨 수준의 정밀 측위는 어려움이 있다. 따라서 본 시스템은 차량 내 장착된 센서에서 획득한 데이터를 융합하여 자차 위치를 추정하는 알고리즘을 적용하였다. 센서 데이터 융합을 위해 파티클 필터 알고리즘

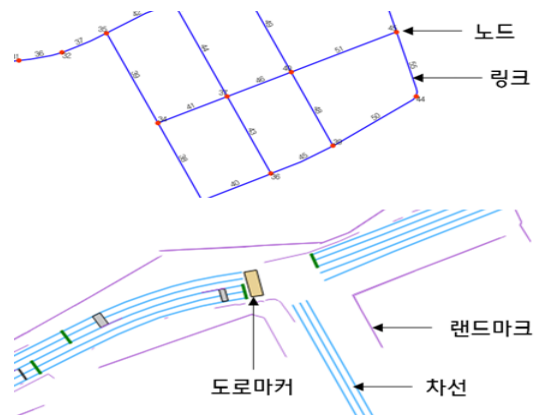


Fig. 3 Precise digital map

을 사용하여 자차 위치를 추정한다.⁽³⁾ 입력되는 센서 데이터들은 차선, 정지선, 횡단보도, 랜드마크 측정 정보(LiDAR 데이터 및 Radar 데이터)이다. 지도 정보 내에 포함된 feature 요소와 실시간으로 획득된 센서 데이터 간의 차이를 이용하여 위치 후보 파티클에 대한 가중치를 계산하고 이를 정규화하여 최종 위치를 추정한다.

2.2.4. 경로 생성

경로 생성은 정밀 지도를 이용하여 자차의 현재 차선 정보 및 목적지를 이용하여 경로를 생성한다. 정밀 지도의 링크와 노드에 각각의 주행 경로가 존재한다. 링크의 주행 경로는 차로 중심선, 노드의 주행 경로는 교차로에서 통행 가능한 모든 경로 및 통행 정보를 포함한다.

본 연구에서는 출발지와 목적지가 정해져 있고, 기본적으로 링크와 노드의 시퀀스로 이루어진 전역 경로가 주어져 있다고 가정한다. 이때, 현재 차로를 기준으로 주행 경로가 생성된다. 예를 들어 전역경로가 링크 1 - 노드 1 - 링크 2로 이루어져있고 현재 자차 위치가 링크 1의 1차로라고 가정해보자. 그러면 1차선에 주행경로가 생성 되고 링크 1과 연결된 노드 1에서는 링크 1이 진입 링크이며 링크 2가 탈출 링크인 경로를 검색한다. 그 중에서 현재 주행차로와 동일한 1차로가 진입 차로인 주행 경로가 노드 1에서의 주행 경로로 선택이 된다. 링크 2에서는 노드 1에서 선택한 주행 경로의 탈출 차로와 동일한 차로가 선택된다. 대부분 1차로 진입을 하면 교차로를 지난후 1차로로 빠져나오기 때문에 링크 2의 1차로가 선택이 될 것이다.

2.2.5. 주변 물체 인지 및 추적

주변의 물체를 인지하고 추적하는 것은 자율주행에서 위험도 판단이나 제어에 있어서 상당히 중요하다.⁽⁴⁾ 본 시스템에서는 전측방 LiDAR, SCC Radar, BSD radar, 전방 카메라로 들어오는 데이터를 융합해서 주변 물체들을 인식한다.

LiDAR 센서를 통해 입력되는 데이터는 사각형 박스 형태로 들어온다고 가정한다. 모든 LiDAR 데이터의 물체 정보를 인식하고 추적한다면 프로세스 리소스를 많이 차지하고 오검출이 많이 발생할 수 있다. 그래서 본 알고리즘에서는 지도 정보를 활용하여 지도상에서 자율주행시 영향을 미칠만한 영역 내에서 존재하는 LiDAR 데이터만을 처리한다. 편도 1차선 기준으로는 양방향 차선

및 최외각 차선 기준 2m 폭까지 데이터를 처리한다. 편도 2차선의 경우 같은 방향 차선 및 반대방향 1차선까지 LiDAR 데이터를 처리한다. 박스 형태의 물체 데이터는 지도 정보를 바탕으로 차선 정보를 포함하게 된다. 지도를 구축한 현대자동차 남양연구소는 최대 차선이 편도 2차선, 왕복 4차선으로서 차선 정보는 자차 주행 방향 1차선, 2차선, 자차 주행 반대방향 1차선, 2차선, 중앙선(중앙화단) 내부, 최외각 차선 바깥 영역, 교차로 영역으로 나뉘게 된다. 차선 정보를 검출하는 방법은 박스 데이터의 4개 꼭지점에 대해서 각 꼭지점이 어느 차선에 위치하는지를 판단하고 3개이상의 꼭지점이 동일 차선에 위치할 경우 해당 차선에 위치한다고 추정한다. 2개씩 다른 차선으로 나뉘는 경우 박스가 각 영역에 중첩되는 면적을 계산하여 많이 겹치는 영역으로 차선을 추정한다.

LiDAR 기반 물체 검출을 위해서 먼저 point 데이터를 군집화 한다. 군집화 되어 박스 형태로 들어온 물체가 데이터 연계(Data association)로 이전 프레임과 현재 프레임간의 동일 물체에 대해 연결 시킴으로써 추적한다. 데이터 연계는 Global Nearest Neighbor 방법⁽⁵⁾에 기반하였으며 이는 이전 프레임에서의 위치와 가장 가까운 물체를 연결시킨다. 이전 프레임과 현재 프레임간의 시간, 연결된 물체의 상대위치를 통해 속도를 추정할 수 있다. 속도 추정 알고리즘은 널리 알려진 Interactive Multiple Model^(6,7)을 사용하였으며, constant velocity model, constant acceleration/turning model을 적용하였다.

본 자율주행 시스템에서는 단일 센서만을 사용하는 것이 아니라 여러 센서를 사용함으로써 redundancy를 확보하고자 하였다. 그래서 하나의 물체를 감지할 때 LiDAR로 인지된 결과와 Radar로 인지된 결과가 중복되어 입력된다. 결국 이를 하나로 통합하지 않으면 하나의 물체를 여러 개의 물체가 존재하는 것처럼 오인할 수 있다. 본 시스템에서는 하나의 물체에 대해서 Radar와 LiDAR 결과를 융합함으로써 물체의 위치 및 속도 추정 정확도를 향상 시키고 이를 통해 위험도 판단 성능을 향상 시키고자 하였다.

이때 Radar Point와 융합할 LiDAR 물체간에 데이터 연계를 수행 해야 한다. 이는 Radar Point와 LiDAR Box 간 거리와 종방향 속도 차이의 weighted sum으로 비용함수를 설정하여 비용함수가 최소인 LiDAR 물체를 선택한다. 즉, Global Nearest Neighbor 방식에서 neighbor를 찾는 distance의 비용함수를 식 (1)과 같이 설정한다.

$$f = aD_d + (1-a)D_v \quad (1)$$

이때 D_d 는 LiDAR와 Radar 사이의 거리(m), D_r 는 LiDAR와 Radar 사이의 종방향 속도 차 (m/s), α 는 가중치 파라미터이다.

최종 융합 물체 인지 결과는 LiDAR를 통해 검출된 물체의 외곽선이 정확하다고 가정하고 LiDAR 만 검출된 경우와 LiDAR와 Radar와 융합된 경우 LiDAR box의 윤곽선을 사용하고 Radar 만 검출된 경우 radar point 중심으로 $4m \times 2m$ 크기의 박스를

생성한다. 속도 추정 시 Radar Point만 검출된 경우는 radar 센서의 속도, 그 외에는 LiDAR로 추정된 속도 결과를 사용한다.

인식된 물체 인식 및 추적이 있어서 보행자는 차량에 대비 크기가 작고 이동 방향이나 검출 패턴이 일정치 않아 검출에 어려움이 있다. 그래서 본 시스템에서는 LiDAR와 Radar와 같은 거리 센서뿐만 아니라 영상 정보를 활용하여 인식 성능을 높이고자 하였다(Fig. 4).

우선 카메라로 검출 가능한 영역 내에 LiDAR로 물체를 검출한다. 영상 및 LiDAR 통합 캘리브레이션을 통해 LiDAR에서 검출된 물체의 위치를 영상에서의 좌표로 변환한 다음 그 주변으로 후보영역을 추출한다. 후보 영역 내에서 보행자 검출 알고리즘을 수행하고 검출 되었다면 보행자 검출 위치 정보 및 검출 결과를 LiDAR 인지 결과와 융합하여 보행자 여부를 판단한다. 보행자 검출은 HOG⁽⁸⁾ (histogram of oriented gradient)를 feature로 사용하고 SVM⁽⁹⁾ (support vector machine)분류기로 검출한다.

2.2.6. 위험도 판단

본 자율주행 시스템은 지도 기반으로 출발지부터 목적지까지 정해진 주행 경로를 추종한다. 주행시 위험한

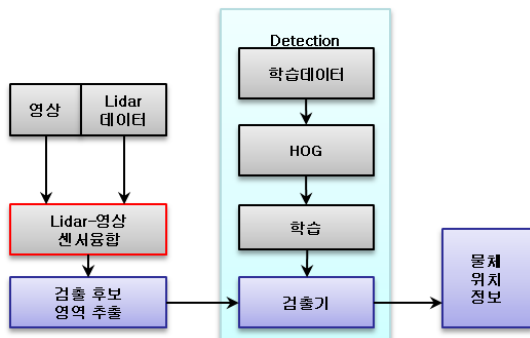


Fig. 4 The flowchart of the camera/LiDAR fusion algorithm

상황을 판단하는 기준은 주행 경로상 전방에 위험 장애물을 검출하여 물체별 충돌 예상 시간(Time to Collision, TTC)를 추정하고 이를 통해 위험물을 감지한다. 실제로 큰 곡률이 있는 도로의 경우 단순히 차차 기준 전방물체를 기준으로 위험물을 판단한다면 가드레일이나 벽면을 위험물로 감지할 수 있다. 하지만 지도 정보를 바탕으로 충돌 위험 예상 영역을 필터링 할 수 있기 때문에 위험도 판단이 용이할 수 있다.

교차로에서는 자차의 주행 경로 및 대향차의 주행 경로에 따라서 충돌 가능 여부를 1차적으로 판단할 수 있다. 따라서 자차의 현재 위치가 정밀 지도 상에서 교차로 직진 링크 혹은 교차로 전에 위치하면서 주행경로상 교차로를 진입할 것을 확인하면, 자차의 주행 경로에 따른 위험 지역의 주행 경로를 추출한다. Fig. 5는 사거리 교차로에서 자차가 직진한다고 가정할 때, 충돌 가능성이 있는 대향차의 경로를 나타내고 있다. 그리고 해당 경로 상에 차량이 존재하였을 때 충돌 예상 지점을 계산한다. 충돌 예상 지점은 자차의 주행 경로와 해당 경로상의 교점이다. 그리고 대향 차와의 TTC를 계산하여 충돌 여부를 판단한다.

2.2.7. 종/횡 방향 주행 제어

종방향 주행 제어는 목표 속력 및 목표 거리에 따른 목표 가속도를 도출하고 이를 통해 제어를 실시하였다.

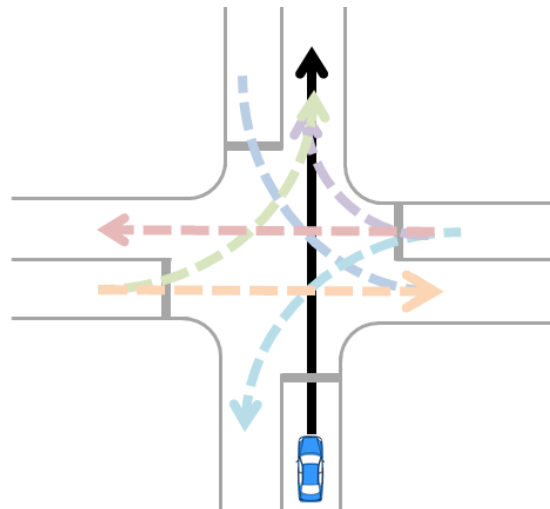


Fig. 5 Target vehicle paths (dashed line) according to the ego-vehicle path driving straight (solid line) at the intersection

기본적으로 지도 정보에 저장된 속도 프로파일을 따라서 주행하나 장애물이 존재할 때 장애물에 대한 속력이나 거리를 이용하여 제어를 한다. 목표 거리는 다음과 같다.

$$d_{req} = v_e T + D \quad (2)$$

V_e 는 자차 속력, T 는 headway time, D 는 최소 유지 거리 이다.

목표 거리 및 목표 속력에 따른 가속도는 다음과 같이 계산한다.

$$a = K_v (v_{req} - v_e) + K_d (d - d_{req}) \quad (3)$$

이때 V_{req} 는 목표 속도, K_v 와 K_d 는 가중치 파라미터이다. d 는 전방 차량과의 거리이다. 전방 차량이 없거나 전방 차량의 속력이 속력 프로파일보다 빠르다면 V_{req} 는 프로파일 속력, $d = d_{req}$ 가 된다. 전방 차량이 존재한다면 V_{req} 는 전방 차량의 속력이 된다.

횡방향 주행 제어의 경우 Stanley Method⁽¹⁰⁾를 기본으로 하며 경로에서 현재 차량의 위치 기준에서 일정 크기의 경로를 추출 하여 2차 다항 곡선(Polynomial curve)로 근사(fitting)한다. 그 곡선에서 목표점을 설정하고 2차 polynomial curve에 목표점을 대입하여 이탈 각, 이탈 거리를 계산하고 Stanley function을 이용하여 스티어링 휠 입력 각도를 계산한다.

2.3. 시험 결과

본 자율 주행 시스템은 현대자동차 남양 연구소내 일

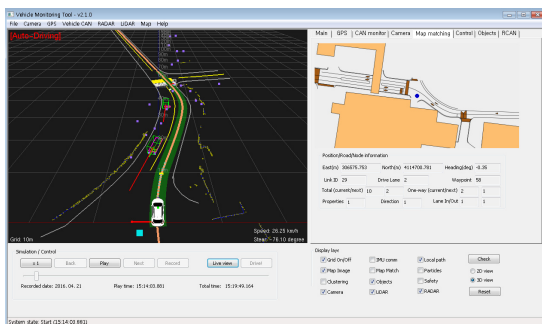


Fig. 6 Monitoring program

부 구간을 자율 주행 하였으며 이를 위해 남양 연구소내 정밀 지도를 제작하였다. 구간은 편도 1차선 및 2차선으로 구성 되어있고 교차로가 포함되어 있다. 경로상 거리는 약 5km이다. 차선 옆에 보도블럭 및 건물들이 세워져 있어서 도심지라 할 수 있는 환경이다. 최고 속도는 소내 제한 속도인 40km/h로 구성하였다. 자율 주행 교차로 영역에서는 따로 신호등이 존재 하지 않으며 직선 혹은 좌/우 회전이 존재 하기 때문에 주변 차량에 대한 위험도 판단을 통하여 주행을 하였다. 자차 측위 결과 차선을 벗어나지 않는 범위내에 주행이 가능함을 확인하였다. 도심지 자율 주행 시나리오를 위해 자율 주행시 주변 차량 cut-in, 추종 주행, cut-out을 시험하였고, 보행자 무단횡단 인지 및 제동 시험을 통해 자율 주행 성능을 확인하였다. 주행중 센서 및 제어 신호를 모니터링 하기 위해 모니터링 프로그램을 제작하였고 그 결과는 Fig. 6과 같다. 해당 차량으로 현재 국토교통부에서 발급하는 자율 주행 임시 운행 면허를 취득하였다.

3. 결론

자율주행용 정밀 지도를 이용하여 투싼수요연료자동차 기반 자율 주행 시스템을 개발하였다. 정밀 지도를 이용하였기 때문에 현재 자차에서 획득할 수 있는 센서 정보 또한 정밀 지도에 저장함으로써 위치를 정확하게 추정하는 것이 가능하였다. 또한 지도 정보를 이용해서 센서데이터를 필터링 할 수 있었기 때문에 장애물 인식 시 데이터 처리에 있어서 이득을 가져 올수 있었다. 위험도 판단의 경우 주행 경로 상에 존재 하거나 진입하는 물체들을 찾아서 위험 여부를 판단 할 수 있었다. 종횡방향 제어의 경우 지도 정보에 저장된 경로 및 속도 프로파일을 통해 제어를 용이하게 할 수 있었다.

다만 위험도 판단을 지도를 이용할 경우 자차 측위 성능이 판단 성능에 영향을 많이 미칠 수 있으나 본 시스템의 시험은 현대자동차 남양 연구소내 일부 구간에 한정되 있으므로 주행 환경에 대한 제약이 있다. 따라서 향후에는 좀 더 다양한 실도로 환경에서 자율주행 시험 및 개발을 할 예정이다.

참고문헌

- (1) J. Levinson, J. Askeland, J. Becker, J. Dolson, D. Held, S. Kammel, J. Z. Kolter, D. Langer, O. Pink, V. Pratt, M. Sokolsky, G. Stanek, D. Stavens, A.

- Teichman, M. Werling, and S. Thrun, 2011, "Toward Fully Autonomous Driving: Systems and Algorithms," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 163~168.
- (2) J. Wei, J. M. Snider, J. Kim, J. M. Dolan, R. Rajkumar and B. Litkouhi, 2013, "Toward a Viable Autonomous Driving Research Platform," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 763~770.
- (3) A. U. Peker, O. Tosun, and T. Acarman, 2011, "Particle Filter Vehicle Localization and Map-Matching Using Map Topology," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 248~253.
- (4) C. Mertz, L. E. Navarro-Serment, R. MacLachlan, P. Rybski, A. Steinfeld, A. Suppé, C. Urmson, N. Vandapel, M. Hebert, C. Thorpe, D. Duggins, and J. Gowdy, 2013, "Moving Object Detection with Laser Scanners," Journal of Field Robotics, Vol. 30, No. 1, pp. 17~43.
- (5) S. Blackman, and R. Popoli, 1999, Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House.
- (6) E. Mazor, A. Averbuch, Y. Bar-Shalom, and J. Dayan, "Interacting Multiple Model Methods in Target Tracking: A Survey," 1999, IEEE Transactions on aerospace and electronic systems, Vol. 34, No. 1, pp. 103~123.
- (7) N. Kaempchen, K. Weiss, M. Schaefer, K. C. J. Dietmayer, 2004, "IMM Object Tracking for High Dynamic Driving Maneuvers," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 825~830.
- (8) N. Dalal and B. Triggs, 2005, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 886~893.
- (9) C. M. Bishop, 2006, Pattern Recognition and Machine Learning, Springer.
- (10) J. M. Snider, 2009, Automatic Steering Methods for Autonomous Automobile Path Tracking, Carnegie Mellon University.