

# 차선 유실구간 측위를 위한 레이저 스캐너 기반 고정 장애물 탐지 알고리즘 개발

서호태\* · 박성렬\* · 이경수\*\*

## Laser Scanner based Static Obstacle Detection Algorithm for Vehicle Localization on Lane Lost Section

Hotae Seo\*, Sungyoul Park\*, Kyongsu Yi\*\*

*Key Words* : Automated Driving(자율주행), Localization Algorithm(측위 알고리즘), Laser Scanner(레이저 스캐너)

### ABSTRACT

This paper presents the development of laser scanner based static obstacle detection algorithm for vehicle localization on lane lost section. On urban autonomous driving, vehicle localization is based on lane information, GPS and digital map is required to ensure. However, in actual urban roads, the lane data may not come in due to traffic jams, intersections, weather conditions, faint lanes and so on. For lane lost section, lane based localization is limited or impossible. The proposed algorithm is designed to determine the lane existence by using reliability of front vision data and can be utilized on lane lost section. For the localization, the laser scanner is used to distinguish the static object through estimation and fusion process based on the speed information on radar data. Then, the laser scanner data are clustered to determine if the object is a static obstacle such as a fence, pole, curb and traffic light. The road boundary is extracted and localization is performed to determine the location of the ego vehicle by comparing with digital map by detection algorithm. It is shown that the localization using the proposed algorithm can contribute effectively to safe autonomous driving.

### 1. 서론

최근 기술의 발달과 주행 시 안전에 대한 관심 증가 및 편리한 주행 추구 등의 여러 이유로 자율주행자동차에 대한 관심이 증대되고 있다.<sup>(1)</sup> 최근 보고서에 따르면 가까운 미래에 자율주행차량이 발전된 국가의 도로를 주행할 것이다.<sup>(2)</sup> 또한 많은 자동차 제조업체들은 2020년까지 자율주행차량의 상용화 연구에 많은 노력을 기울이고 있다.<sup>(3)</sup>

현재 자율주행 기술은 차선 이탈 경고 시스템(LDWS, Lane Departure Warning System), 차선 이탈 방지 시스템(LDPS, Lane Departure Prevention System), 차선 유지 보조 시스템(LKAS, Lane Keeping Assistant System) 등 차선 정보를 기본으로 차량의 위치를 추정하는 기술이 많다.<sup>(4)</sup> 현재 자율주행 알고리즘 중 전방 카메라를 통한 차선 인식을 바탕으로 한 차량측위 알고리즘은 차량의 횡방향 위치에 관하여 정확도가 높다.<sup>(5)</sup> 하지만 차선이 유실된 구간의 경우 오직 데드 레코닝(Dead Reckoning)을 통해서만 차량의 위치를 추정할 수 있다.<sup>(6)</sup> 이 때 차량 측위 정확도가 많이 손실되며, 특히 횡방향 위치의 경우 조금만 오차가

\* 서울대학교 기계항공공학부

\*\* 서울대학교 기계항공공학부, 교신저자

E-mail : hotae23@snu.ac.kr

생겨도 차선을 이탈하는 등 주행 안정성과 직결된다.<sup>(7)</sup> 실제로 도로 주행 시, 차선이 낡아서 희미해진 경우, 교차로, 교통 체증 등 여러 상황에서 차선이 보이지 않을 수 있고,<sup>(8)</sup> 차선 기반 주행 기술은 이러한 경우에 심각한 문제를 유발할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 차선이 유실된 구간에서 신호등이나 펜스, 연석 등의 고정 장애물을 레이저 스캐너를 통하여 인지하는 탐지 알고리즘을 개발하였다. 이렇게 개발한 알고리즘에서 도로주행 시 발견되는 장애물을 실제로 탐지할 수 있는지 검증하기 위해 약 4.5km 구간의 서울대학교 교내순환도로 K7 주행데이터를 사용하였다. 또한 알고리즘 구현을 위하여 LabVIEW/MATLAB을 사용하였다.

## 2. 알고리즘 구성 및 사용 장비

### 2.1. 고정 장애물 탐지 알고리즘 구성

레이저 스캐너 기반 고정 장애물 탐지 알고리즘은 Fig.1에 나타낸 것과 같이 구성되어 있다. Input data는 Front vision, Radar sensor 및 Laser scanner를 사용해 들어온 신호를 사용한다. Front vision의 경우 차선을 판단 인지하여, 가상의 차선을 이차함수로 추정하며, 추정된 데이터와 데이터의 신뢰도를 함께 시스템에 전달한다.

시스템으로 전달된 신뢰도는 차량의 좌우 차선에 대해 각각 주어진다. 두 차선의 신뢰도 중 하나라도 신뢰도가 높을 경우, 차선이 유실되지 않았다고 판단하고 알고리즘을 종료한다. 두 차선의 신뢰도가 모두 낮은 경우, 차선이 유실되었다고 판단한다.

차선이 유실되었다고 판단될 경우, 알고리즘은 레이저 스캐너를 통해 들어온 데이터가 고정된 물체인지 움직이는 물체인지 먼저 판단한다. 이 판단을 위해 레이더 센서를 통해 들어온 속도 데이터도 함께 사용된다. 고정 장애물일 가능성이 없는 이동 장애물을 제거한 후, 남은

장애물 중 고정 장애물을 판단한다. 이 고정 장애물 정보를 통하여 도로 경계를 유추할 수 있으며 이는 차선이 없는 상황에서의 자차량의 측위 성능 향상에 기여할 수 있다.

### 2.2. 사용 센서의 특징

전방 카메라의 경우 이미지를 통하여 사물을 판단하기 때문에 위치정보만 판단하며, 2차원 이미지가기에 차량 진행방향의 오차는 높은 편이지만, 비전과 진행방향과 수직인 방향으로의 오차는 적다. 따라서 종방향으로 길게, 횡방향으로 촘촘히 뻗어있는 차선을 판단하기에 적합하다. 레이더 센서는 주변 차량들의 자차량에 대한 상대위치와 상대속도를 추정하여 시스템에 전달한다. 파동을 이용하므로, 회절현상 등에 의해 위치의 정확도는 상대적으로 떨어지나, 도플러 효과 등을 이용하여 추정하는 상대속도의 정확도는 높다. 레이저 스캐너는 빛이 반사되었다가 돌아오는 것을 이용하여 주변의 모든 사물을 거리와 각도의 2차원 데이터로 받아들여 시스템으로 전달한다.<sup>(9)</sup> 상대적으로 레이저 스캐너의 경우 위치에 대한 정확도가 높다.

## 3. 차선 유실 구간 판단

### 3.1. 차선 유실 구간 판단 알고리즘의 구성

차선 유실 구간 판단 알고리즘은 전방 카메라를 통하여 들어온 신뢰도 정보를 이용해 판단한다. 전방 카메라는 차선을 인식하여 가상의 차선을 추정하고, 이를 이차함수 형태로 추정한다. 이후 추정된 이차함수의 계수와 신뢰도를 시스템에 전달한다. 이차함수의 계수를 통하여 차선을 그리면 차선의 길이는 무한하게 되는데, 신뢰도에 따라서 어느 거리까지의 차선을 신뢰할 것인지 정할 수 있다. 본 연구에서는 식 (1) 과 같이 차선의 길이를 신뢰도에 관련하여 나타내었다.

$$L_l = 10 C_l \tag{1}$$

$L_l$  : length of lane

$C_l$  : confidence level of lane

이를 레이저 스캐너 및 레이더 센서 정보와 함께 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

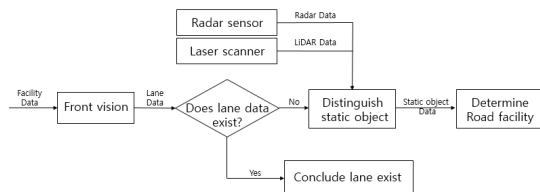


Fig. 1 Static obstacle detection algorithm

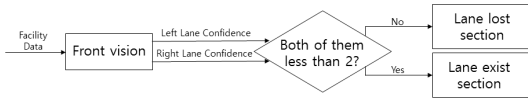


Fig. 2 Algorithm of lane loss section

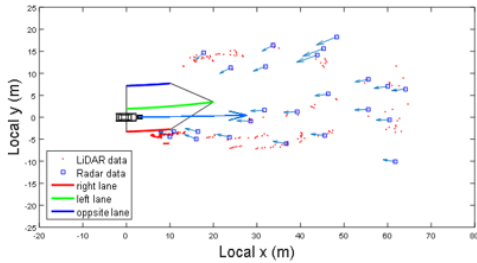


Fig. 3 Lane confidence visualization

이 신뢰도를 바탕으로 알고리즘은 전방 카메라의 차선 인식여부를 판단하도록 한다. 신뢰도의 값이 0, 1, 2, 3으로 출력되며, 차선 탐지가 잘 될수록 높은 값을 출력한다. 신뢰도의 값이 0 또는 1일 경우 차선을 인식하지 못하였다고 판단한다. 나머지 경우에는 차선을 인식하였다고 판단하고, 알고리즘을 종료한다.

### 3.2. 도로주행 데이터를 바탕으로 한 차선 유실 구간 판단 알고리즘 수행 결과

실제 도로주행 시 설계된 차선 인식 알고리즘이 적절히 작동하는지를 알아보기 위하여, 서울대학교 교내순환도로 주행 데이터에 차선 유실 구간 판단 알고리즘을 적용시켜 보았다. 전방 카메라는 자차량을 기준으로 왼쪽과 오른쪽의 두 차선을 인식하는데, 두 차선이 모두 인식되지 않았을 경우 차선을 통한 자차량의 측위에 문제가 생긴다. 따라서 각각의 차선에 대해 전방 카메라의 차선인식 여부를 판단하고, 중복된 구간을 구하였다. 그 결과는 Fig. 4와 같이 좌우측 차선이 모두 인식되지 않는 구간이 존재하였다.

Fig. 5와 차선 유실 구간에서 전방 카메라를 통해 들어온 이미지를 확인해보면, 차선의 유실 여부 판단 알고리즘이 잘 작동하는 것을 알 수 있었다. 차선이 실제로 존재하지 않는 구간도 있었으며, 경사진 도로에서의 급격한 커브길로 인해 차선이 존재하지만 보이지 않는 경우도 있었으며 교차로의 경우도 존재하였다.

Fig. 5에 표시한 경우 외에도, 자차량에 근접한 전방 차량에 의해 차선이 가려져 보이지 않는 경우가 추가로

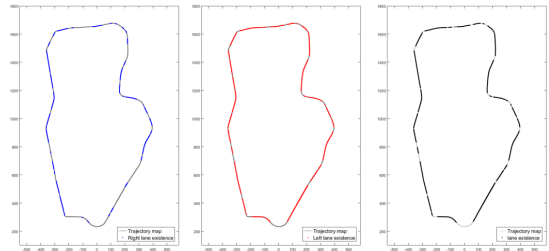


Fig. 4 Lane existence in SNU circulation path

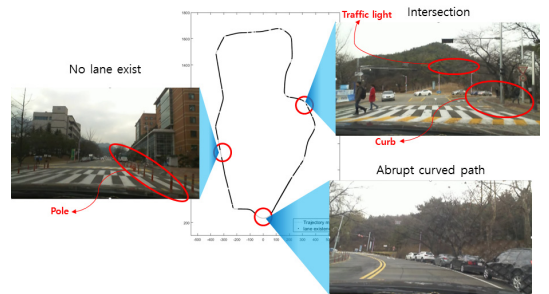


Fig. 5 Vision of lane loss section

존재하였다.

이러한 차선 유실 구간에서 차선을 대신하여 자차량의 측위를 위해 사용될 기둥, 연석, 신호등, 펜스 등의 고정 장애물들을 발견할 수 있다. 이러한 고정 장애물의 탐지를 위해서는 레이저 스캐너를 통해 들어오는 데이터의 위치정보가 이용되는데, 클러스터링 및 필터링 알고리즘을 통한 형상 판단만으로는 고정 장애물을 판단하기 힘들다. 때문에 고정 장애물이 아닌 장애물들을 제거하는 알고리즘이 선행될 필요가 있다.

### 4. 고정 장애물 판단 알고리즘

본 연구에서 개발한 고정 장애물 탐지 알고리즘의 최종 결과인 도로 경계 추정을 위해서는 레이저 스캐너를 통해 들어오는 정보의 위치정보가 사용된다. 해당 알고리즘에서는 레이저 스캐너를 통해 1081개의 신호가 100ms마다 들어온다. 따라서 사물의 형상과 배열을 이용하여 장애물을 찾기에는 데이터의 양이 너무 많아 알고리즘 수행 시간이 길어지고, 정확도가 낮아진다. 이번 장에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 고정 장애물 탐지 알고리즘에서 효과적으로 고정 장애물을 선별하는 과정을 설명할 것이다.

#### 4.1. 속도 기반 고정 장애물 판단 알고리즘

고정 장애물 판단 알고리즘으로 첫 번째로 속도를 통한 판단방법을 사용하였다. 알고리즘의 구성은 Fig. 6과 같이 구성된다. 고정 장애물을 탐지하기 위해 사용되는 레이저 스캐너를 통하여 들어온 데이터는 위치정보가 정확하다. 따라서 레이더 센서를 통하여 들어온 속도정보를 이용하여 물체의 속도를 판단하는 과정이 필요하다. 레이더 센서의 속도정보는 노이즈를 포함한 정보이므로 정확한 정보는 아니다. 또한 속도 정보는 상대 속도 정보이기 때문에 차차량의 속도 정보 추정과정에서의 오차가 존재한다. 이러한 이유로, 속도 정보를 실제 값과 유사하게 추정하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 매 단계마다 들어오는 정보를 이용해 다음 단계의 속도 정보를 추정하고 다음 단계에서 실제로 들어온 속도 정보와 비교하여 실제 물체의 속도를 판단하는 필터링 알고리즘을 통하여 물체의 속도를 실제 값에 근사하도록 추정한다.<sup>(10)</sup>

이렇게 추정된 속도 데이터를 통해 비슷한 속도 값을 가지고 가까운 위치에 있는 데이터는 같은 물체라고 판단한다. 이를 클러스터링 과정이라 지칭하며 Fig. 7에서 수행된 것과 같이 데이터를 큰 덩어리로 묶는 과정이다. 이후 클러스터링 된 데이터의 속도를 필터링 과정을 통하여 실제 값과 유사하게 추정한다. 이렇게 묶여진 물체가 일정 속도 이상을 지니고 있을 경우, 해당 물체는 이동 장애물이라고 판단할 수 있다.

이렇게 판단된 정보는 레이더 센서 정보이다. 알고리즘에서는 위치 정보의 정확성을 위해 고정 장애물을 최종적으로 레이저 스캐너로 판단한다. 따라서 필터링 및 클러스터링 된 레이더 센서의 정보를 레이저 스캐너의 정보와 합치는 과정이 필요하고 이를 퓨전이라 지칭한다.

본 알고리즘에서 수행한 퓨전 과정은 다음과 같다. 레이더 센서를 이용해 이동 장애물이라고 판단된 물체의 중심 위치를 기준으로, 이동 물체의 평균 반지름만큼의 원형 범위를 만든다. 이 범위 이내에 있는 레이저 스캐너 신호를 제거함으로써 이동 장애물이라고 판단되는 장애물들을 제거할 수 있다.

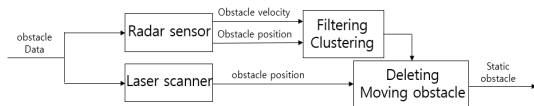


Fig. 6 Velocity based static obstacle detection algorithm

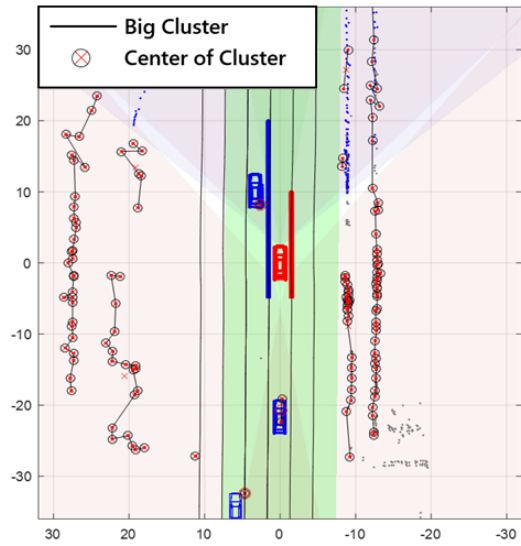


Fig. 7 Visualization of clustering

속도 값을 이용한 고정 장애물 판단은 가장 직관적인 방법이지만, 센서의 노이즈, 추정과정에서의 오차, 클러스터링의 부정확도 등의 문제가 있다. 또한 신호대기 상황, 교통 혼잡 상황 등에서 정지하거나 서행하는 차량의 경우 고정 장애물 판단에서 누락될 수 있다. 이러한 이유로 레이저 스캐너의 위치 정보 누적을 이용한 고정 장애물 판단 알고리즘을 병행하여 사용하였다.

#### 4.2. 누적 위치 기반 고정 장애물 판단

속도 기반 고정 장애물 판단 알고리즘에 이어 두 번째로 Fig. 8과 같이 레이저 스캐너 위치 정보의 누적을 통한 판단 알고리즘을 사용하였다. 100ms당 1회씩 정보가 시스템으로 전달되는데, 이 과정에서 고정 장애물은 위치가 동일할 것이고, 이동 장애물은 위치가 바뀔 것이다.

위치의 동일성을 판단하기 위해서는 차차량에 대한

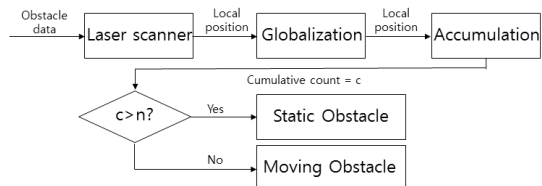


Fig. 8 Accumulation based static obstacle detection algorithm

상대 좌표계를 기준으로 생성되는 레이저 스캐너 정보를 전역 좌표계로 변환하는 과정이 필요하다. 이 과정을 위해서는 자차량의 측위가 선행되어야 한다. 차선 유실 구간에서는 차선이 존재하였던 마지막 구간까지의 위치를 차선 정보를 기반으로 추정한다. 이후 마지막 시점에서의 위치정보와 속도 정보를 기반으로 차량의 새로운 위치를 추정하는 데드 레코닝 과정과, 저가형 GPS를 통하여 추정된 자차량의 위치를 이용해 자차량의 위치를 추정할 수 있다. 이렇게 추정된 자차량의 위치정보를 이용하여 레이저 스캐너로 들어온 정보를 글러블 좌표계로 변환할 수 있다. 변환에는 오일러 회전변환 행렬 식 (2) 가 사용된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [Roll \cdot Pitch \cdot Yaw]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Roll = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Pitch = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$Yaw = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} : Global\ coordinate, \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} : Local\ coordinate$$

글로벌 좌표계로 변환된 레이저 스캐너 정보의 위치 또한 노이즈가 존재하며 좌표변환과정에서의 오차가 존재하므로, 좌표를 격자화하여 격자의 사이즈까지의 정보만 유효숫자로 취한다.

이렇게 변환된 위치정보가 이전 단계에도 존재했던 위치에 동일하게 존재한다면 해당 위치정보의 신뢰도를 높인다. 동일한 위치에 존재하는 횟수가 많을수록 고정 장애물일 가능성이 높다.

속도 기반으로 고정 장애물을 판단할 경우 매 단계마다 판단이 이루어지지만, 누적 횟수를 기반으로 고정 장애물을 판단할 경우 잠깐 정지했다가 움직이는 차량이나 서행하는 보행자 등을 구분하기 용이하다는 장점을 가지고 있다.

### 4.3. 고정 장애물 판단 알고리즘 수행 결과

실제 도로 주행 시 알고리즘이 얼마나 효율적으로 작동하는지 살펴보기 위하여 차선 유실 구간 판단 알고리즘의 성능을 평가할 때 사용한 것과 동일한 서울대학교 교내주행 데이터를 사용하였다.

Fig. 9은 위치 누적 정보를 이용해서 고정 장애물만 남긴 경우이다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 판단기준이 2회일 경우 이동 장애물이 많이 지워지지 않고, 판단기준이 8회일 경우 고정 장애물까지 지워졌음을 알 수 있다. 이 결과에서는 판단횟수가 4번이 가장 좋은 결과이다.

위치 누적을 이용한 고정 장애물 판단 알고리즘의 경우 레이저 스캐너의 범위가 제한적이고 차량이 이동하기 때문에, 고정 장애물 또한 레이저 스캐너의 탐지 범위 밖으로 벗어나 인지되지 않을 수 있다. 서행하는 차량의 경우 식(6)을 통해 필요한 반복횟수 n을 정량화하여 구할 수 있다.

$$V_t(n-1)\Delta t \geq L_t \quad (6)$$

$V_t$  : velocity of target vehicle

$n$  : cumulative count

$\Delta t$  : step time

$L_t$  : length of target vehicle

즉, 차량의 속도가 10m/s로 저속 주행하고 있고, 차량의 전장이 3m라 가정했을 때, n이 3 이상이 되어야 차량이 이동물체로 판단되어 삭제될 수 있다.

Fig. 10의 왼쪽 그림과 같이 속도를 기준으로 고정 장애물을 판단할 경우 차량에 대한 정보 제거 능력은 더 뛰어나다. 하지만, 노이즈에 대한 제거를 하지 못하므로, 고정 장애물 이외의 정보도 많이 남는다. 두 알고리즘을

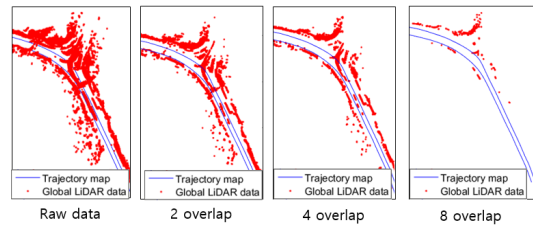


Fig. 9 The result of accumulation based static obstacle detection algorithm

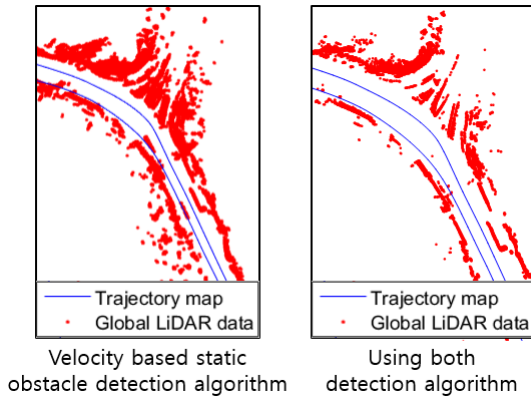


Fig. 10 The result of velocity based static obstacle detection algorithm and both detection algorithm

병합 수행한 결과는 Fig. 10의 오른쪽에 나타내었다. 이 경우 이동 장애물과 노이즈를 잘 제거하며, 고정 장애물로 판단할 수 있는 장애물을 최대한 남겼다.

### 5. 고정 장애물 탐지를 통한 도로 경계 추정 결과

앞서 수행한 알고리즘을 바탕으로, 레이저 스캐너로 들어오는 정보 중 고정 장애물이라고 판단되는 장애물들만 남길 수 있다. 이러한 고정 장애물들 중, 차량의 진행방향에 평행한 직선과 가까운 형태를 가지며 연속적인 분포를 가지는 고정 장애물들을 뽑을 수 있다. 이러한 장애물들은 도로 경계를 판단할 수 있다.

실제 도로 주행 시 알고리즘이 효과적으로 작동하지 확인하기 위하여 서울대학교 교내도로 주행 데이터에 알고리즘을 적용해 보았다. Fig. 11에서는 보이는 것과 같이, 고정 장애물이라 생각하는 장애물들을 선으로 연결하여 나타내었다. 이렇게 나타낸 선은 도로 경계를

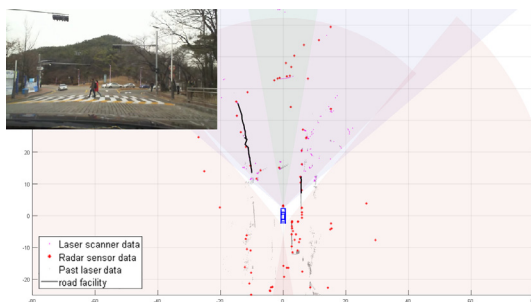


Fig. 11 The result of Accumulation based static obstacle detection algorithm

파악하는데 좋은 참조가 됨을 전방 카메라를 통한 영상 이미지를 통하여 확인할 수 있다. Fig. 11의 경우 두 개의 고정 장애물은 모두 도로 경계에 있는 연석을 나타내고 있다.

### 6. 결론

본 연구에서는 자율주행시스템의 차선 유실 구간에 대한 측위를 위한 고정 장애물 탐지 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘은 실제 도로 주행 데이터를 바탕으로 검증되었으며, 다양한 차선유실 경우에 대해 고정 장애물을 탐지할 수 있도록 복합적 과정을 이용하였다. 또한 고정 장애물을 통해 도로 경계를 판단하는 것이 가능하다. 이를 통해 차선 유실 구간에서 차량의 측위를 효율적으로 수행하는데 기여할 수 있다. 이는 자율주행자동차의 도로 주행 범위를 넓히고, 주행 안정성을 확보하는데 기여할 것이다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 교통물류연구개발사업의 연구비지원(17TLRP-B101406-03)과 2017년 BK21 플러스 사업 및 서울대학교 정밀기계설계공동연구소(SNU-IMAD)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- (1) Abdulhakam.AM. Assidiq, Othman O. khalifa, Md. Rafiqul Islam, 2008, "Real time lane detection for autonomous vehicles," IEEE Xplore, 10.1109/ICCCE.2008.4580573.
- (2) Matthew Brown, Joseph Funke, Stephen Erlien, J. Christian Gerdes, 2017, "Safe Driving envelopes for path tracking in autonomous vehicles," Control Engineering Practice, Vol. 61, pp. 307~316.
- (3) Jongsang Suh, Beomjun Kim, Kyongsu Yi, 2016, "Stochastic predictive control based motion planning for lane change decision using a Vehicle Traffic Simulator" IEEE Xplore, 10.1109/ITEC-AP.2016.7513079.
- (4) A. Kullack, I. Ehrenpfordt, K. Lemmer, "Lane departure prevention system based on behavioural control," IET Intelligent Transport Systems, Vol. 2, Issue 4, pp. 285~293.

- (5) 채홍석, 정용환, 이명수, 신재근, 이경수, 2017, “자율주행 안전성 평가 시나리오 개발 및 검증,” 자동차안전학회지, Vol. 9, No.1, pp. 6~12
- (6) Meng Zhang and Ke Liu, 2016, “Unmanned ground vehicle positioning system by GPS/dead-reckoning/IMU sensor fusion,” Advances in Engineering Research (AER), Vol. 117, pp. 737~747.
- (7) Shivani Godha, 2017, “On-road obstacle detection system for driver assistance,” Asia Pacific Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 16~21.
- (8) 김민우, 문상찬, 주다니, 이진기, 김병수, 이순걸, 2013, “영상에 의한 DGPS기반의 LDWS 오작동 주행 평가,” KASE 부문 종합학술대회, pp. 929~933.
- (9) Valentina Campanelli, Stephen M. Howell, Maury L. Hull, 2016, “Accuracy evaluation of a lower-cost and four higher-cost laser scanners,” Journal of Biomechanics, Vol. 49, Issue 1, pp. 127-131.
- (10) Kang, Chul-Woo, Yoo, Young\_Min, Park, Chan-Gook, 2008, “Performance Improvement of Attitude Estimation Using Modified Euler Angle Based Kalman Filter,” Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 14, Issue 9, pp. 881~885.