

# 다중카메라와 레이저스캐너를 이용한 확장칼만필터 기반의 노면인식방법

## Road Recognition based Extended Kalman Filter with Multi-Camera and LRF

변재민<sup>†</sup>, 조용석<sup>1</sup>, 김성훈<sup>2</sup>

Jaemin Byun<sup>†</sup>, Yong Suk Cho<sup>1</sup>, Sung Hoon Kim<sup>1</sup>

**Abstract** This paper describes a method of road tracking by using a vision and laser with extracting road boundary (road lane and curb) for navigation of intelligent transport robot in structured road environments. Road boundary information plays a major role in developing such intelligent robot. For global navigation, we use a global positioning system achieved by means of a global planner and local navigation accomplished with recognizing road lane and curb which is road boundary on the road and estimating the location of lane and curb from the current robot with EKF(Extended Kalman Filter) algorithm in the road assumed that it has prior information. The complete system has been tested on the electronic vehicles which is equipped with cameras, lasers, GPS. Experimental results are presented to demonstrate the effectiveness of the combined laser and vision system by our approach for detecting the curb of road and lane boundary detection.

**Keywords:** Road Recognition, Lane Detection, Autonomous Navigation, Sensor Fusion

### 1. 서론

요즘 많은 관심을 받고 있는 실외 무인 자율주행기술에 신뢰성 있는 도로 환경 인식 방법은 필수적인 기술이다. 이런 기술과 관련하여 대부분의 연구들은 단일 카메라, 스테레오 카메라, 레이더, 레이저 스캐너 등, 단일 센서들을 활용하여 수행되었다. 특별히 차선인식 기술은 주로 비전 기반으로 수행되었으며, 이런 기술들은 카메라로 들어 온 영상을 그레디언트 기법을 이용하여 인식 하는 방법들이 주로 연구되었다<sup>1,4</sup>. 이런 방법의 성능은 아주 이상적인 환경에서는 좋은 결과를 얻을 수 있지만, 실제 도로 환경 및 날씨 변화에 의해서 발생할 수 있는 화이트 밸런스가 깨진 영상들에 대해서 문제점들이 있을 수 있다. 최근 도

로 노면 인식을 위해서 카메라 대신 레이저 스캐너 사용이 널리 이용되고 있다<sup>5</sup>. 레이저 스캐너의 큰 장점은 날씨 변화(강설, 우천), 광량의 변화 등 다양한 환경 변화에 강인하다는 것이다. 그러나 레이저 스캐너 사용의 단점은 고가의 장비라는 것이며 작동 시 많은 전력을 사용한다는 점이 있다. 그래서 최근 들어 많은 연구들이 이 두 가지 센서를 적절하게 융합하는 방법들에 대해서 많은 관심을 가지고 있다<sup>6</sup>.

본 논문은 레이저 스캐너에 의한 결과와 카메라로 의해 인식된 도로 노면 정보를 확장 칼만 필터를 이용하여 무인 자율 차량이 도로의 중앙에서 벗어난 거리 및 추종하는 방법들에 대해서 소개하고 있다. 본 논문 구성은 2 장에서는 전체적인 시스템 구성을 소개하고, 3 장에서는 도로 노면 인식을 위한 차선인식 방법 및 연석인식에 의한 모델링 기반의 센서 퓨전 방법을 소개하고 있다. 4 장에서는 본 방법의 타당성을 확인하기 위해서 직선/곡선도로의 실험 및 결과를 보이는 것으로 구성되어 있다.

Received : Feb. 07. 2011; Reviewed : Mar. 29. 2011; Accepted : Apr. 18. 2011

※ 본 논문은 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [10030826, OPRoS 프레임워크 신뢰성 보장 기술 개발]

<sup>†</sup> 한국전자통신연구원 지능로봇제어연구팀

<sup>1</sup> 건양대학교 전자정보공학과

<sup>2</sup> 한국전자통신연구원 지능로봇제어연구팀

## 2. 시스템 구성

본 시스템에서는 환경 모델링을 위해서 위상지도 형태를 사용하였으며, 무인차량의 전역 위치 인식을 위해서 위성 항법 장치(DGPS)와 차량의 주행계의 정보를 융합하여 사용하였다. 현재 차량의 위치 및 환경지도를 통해서 현재 주행 중인 도로에 대한 정보(도로 폭, 도로의 종류, 등)를 획득하도록 되어 있다.

본 시스템의 소프트웨어 아키텍처는 개방형 로봇 소프트웨어 플랫폼(OPRoS)기반의 컴포넌트 구조로 되어 있으며, 크게 센서 컴포넌트, 제어 컴포넌트, 인식 컴포넌트, 주행 컴포넌트, 등 네 가지 컴포넌트로 구성되어 있으면, 각 컴포넌트들은 다음과 같은 기능들을 수행한다.

- 센서 컴포넌트 : 환경 및 위치 인식을 위한 센서(카메라, 레이저스캐너, GPS, 등)와 차량의 제어를 위한 조향 및 엑셀에 대한 센서 데이터를 처리함
- 제어 컴포넌트 : 자율 주행을 위한 자동 조향 제어 및 가감속을 위한 엑셀 제어함
- 인식 컴포넌트 : 센서 데이터 기반으로 절대/상대 위치 인식, 장애물 인식 등 환경 인식을 수행함
- 주행 컴포넌트 : 전역/ 지역 경로 생성 및 도로 주행을 위한 조향 각 산출 및 속도 결정함

## 3. 도로 인식 방법

본 논문에서는 도로의 경계를 인식하기 위해서 다중 카메라 및 레이저 스캐너를 이용한다. 다중 카메라를 통해서 도로 노면에 표시된 차선을 인식하고, 각 카메라에 대해서 역원근 변환(Inverse Perspective Mapping)을 통해서 영상 좌표계를 차량의 전역 좌표계를 변환하여 무인차량과 양쪽 차선까지의 거리를 구하고, 레이저 스캐너를 이용하여 도로와 비 도로를 구분하는 연석을 추출하여 무인차량과 연석간의 상대적 거리를 구하고, 이런 정보를 이용하여 확장

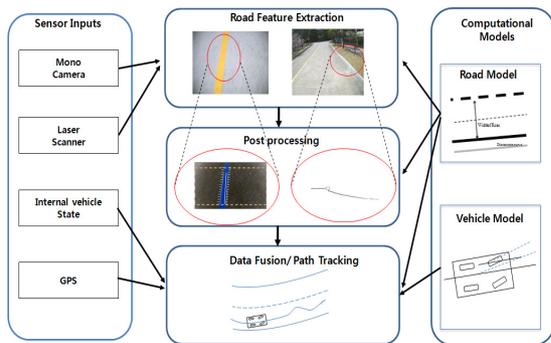


그림 1. 도로 인식 및 추종 방법

칼만 필터 기반으로 도로상에서 무인차량의 상대적 위치를 추정하고, 최종적으로 절대 위치 인식 기반으로 환경지도를 이용하여 현재 주행 중인 도로의 정보를 가지고 무인 차량이 도로를 벗어나지 않고, 도로의 중앙을 따라 주행할 수 있도록 한다.

### 3.1 도로 차선 인식

일반적으로 구조화된 도로는 도로 교통법 상에 근거하여 도로와 비도로를 구분하는 차선을 가지고 있다. 본 논문에서 신뢰성 있는 차선 인식을 위해서 근/원거리 카메라로 구성된 다중카메라를 이용하였다.

각 카메라에서 나온 영상들은 다음과 같은 과정을 수행한다. 첫째로 영상 채널 변환단계(Color-Gray),상황별 적절한 ROI(Region Of Interests) 결정 과정이 수행되고, 결정된 ROI내의 노이즈 제거를 위한 필터링 과정을 수행한다. 둘째로 차선의 에지 추출을 위해서 에지 크기 및 방향을 고려하여 에지 영상을 만든다. 마지막으로 히프 변환을 이용하여 직선을 추출 과정 수행 후 추출된 직선의 방향 및 직선 간의 거리 등을 고려하여 최종적으로 차선을 결정하게 된다.

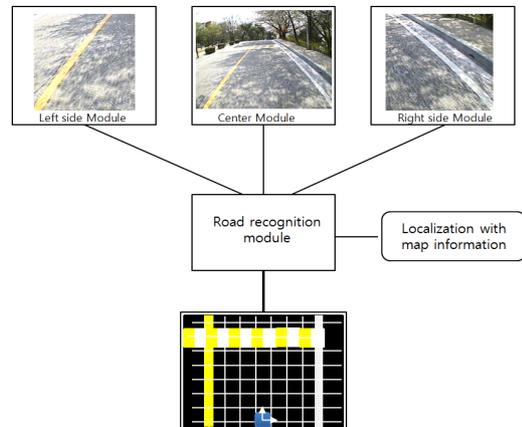


그림 2. 다중카메라를 이용한 차선 인식 방법

#### 3.1.1 선 처리

먼저 연산처리 시간을 줄이기 위해서 입력된 칼라 영상을 그레이 영상으로 변환 과정을 수행한다. 변환된 그레이 영상 내에서 실제 차선이 존재할 가능성이 높은 영상의 중앙 하단 부분을 ROI영역으로 잡게 되는데, 이것은 카메라 중앙이 대략적으로 전방 거리 3~5m의 노면을 볼 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 결정된 ROI 영역에 대해서 미디언(Median) 필터를 이용하여 임펄스노이즈(Impulse Noise) 제거를 수행한다.

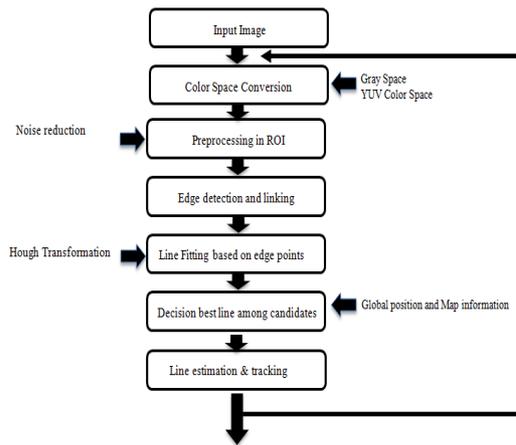


그림 3. 차선 인식 흐름도

### 3.1.2 에지추출 과정

에지 추출의 목적은 가능한 정확하게 도로 영상에서 차선의 에지를 추출하는 것이다. 그래서 먼저 좋은 결과를 얻기 위해서 에지연산자를 선택이 중요하다. 에지 연산자는 캐니, 소벨, 프리윗(Prewitt), 로버츠(Roberts), 라플라시안 연산자들이 있으며, 각각 연산자는 상황에 맞게 적절하게 결정되었을 때 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 명도 값의 불연속성을 추출하기에 용이한 소벨 연산자를 이용하여 연속된 에지인 차선을 인식하는데 사용하였다.

기본적으로 에지 추출은 명도 값의 급격한 변화가 생기는 부분을 찾는 것으로, 임의의 문턱치값을 이용한 방법 대신 두 픽셀간의 명도차가 나는 부분을 찾는 것이다. 도로 영상은 아래와 같은 두 가지 특징이 있다. 첫째 차선의 경계면을 따라 반드시 에지가 있다. 둘째로 영상에서의 각 에지는 차선과 유사한 방향으로 방향성을 가지고 있다. 영상의 한 픽셀  $f(x,y)$ 에 대한 그레디언트 함수는 다음과 같이 벡터로 근사 화를 할 수 있다.

$$\nabla f(x,y) = [G_x \quad G_y]^T = \left[ \frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

이 벡터의 크기는 다음 방정식처럼 단순화 시킬 수 있다.

$$|\nabla f(x,y)| = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \approx |G_x| + |G_y| \quad (2)$$

그레디언트 벡터의 물리적인 양은  $f(x,y)$ 에 대해서 가장 큰 변화가 생기는 방향을 말한다. 따라서 다음과 같다.

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_y}{G_x} \right) \quad (3)$$

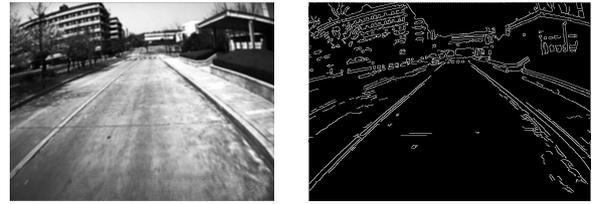


그림 4. 원영상 및 에지추출된 영상

차선의 방향을 결정하기 위해서 앞서 구한 그레디언트의 크기 및 방향을 이용한다. 대부분 차선은 직선이나 도로의 중앙을 기준으로 곡률을 가지고 있기 때문에, 다음과 같이 방향 및 크기에 대하여 표현할 수 있다.

$$g(x,y) = \left\{ \begin{array}{ll} |\nabla f(x,y)| & , \text{if } \alpha(x,y) = T_\alpha \\ 0 & , \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (4)$$

여기서  $T_\alpha$ 는 어떤 차선인지 따라 달라지는데, 대략적으로 오른쪽 차선의 방향은  $T_\alpha = 135^\circ$ 이며, 왼쪽 차선의 방향은  $T_\alpha = 45^\circ$ 을 가진다.

### 3.1.3 차선표시 및 결정

본 논문에서는 직선을 표현하기 위해서 일반적인 허프 변환을 사용하였다. 직교좌표계에서  $y = ax + b$  직선을 원형 좌표계로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (5)$$

이런 변환과정 후 직선의 방향 및 거리들을 고려하여 최종 직선들을 결정하게 되고, 환경지도 및 위치인식을 통하여 현재 도로의 정보를 획득하고, 주행 중인 도로 폭 등을 고려하여 최종적으로 인식된 결과를 재검증하고, 마지막으로 차선과 무인차량과 실제 거리를 알기 위해서 인식된 차선의 결과를 역원근 변환을 수행한다.

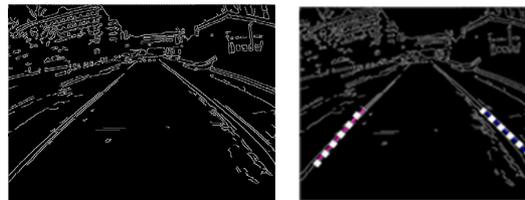


그림 5. 에지추출된 영상과 직선추출

### 3.2 도로 연속 인식

도로와 비 도로를 구분할 수 있는 연석을 추출하기 위해서 레이저 스캐너를 그림 6과 같이 도로의 바닥면에 기

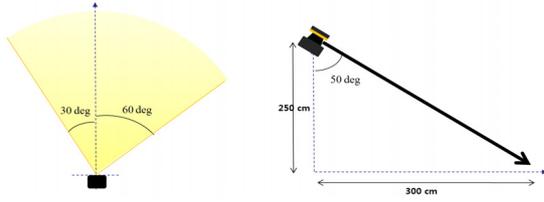


그림 6. 레이저 스캐너 인식 범위 및 구성

을여 조사함으로써 연석의 높이와 도로바닥 높이 사이에 차를 이용하여 계산하게 된다.

그림 6에서 보듯이, 레이저 스캐너는 총 90도의 범위에 있는 점 P(x,y) 들로 조사하며, 실제 연석 모양의 모델링을 통해서 식 6과 식 7에서 알 수 있듯이, 각 점들 사이에 y방향의 8~15cm 차이가 발생하면서, 식 8에서 보듯이 임의의 너비를 가지고 있는지를 판단하게 되는데, 이런 조건들은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P_y^{i+5} - P_y^i > d \tag{6}$$

$$P_y^i - P_y^j > \sigma \tag{7}$$

$$j - i > n \tag{8}$$

그림 7 에서 볼 수 듯이, 위의 식들을 만족하는 점 P(x,y)이 연석의 위치임을 확인할 수 있다.



그림 7. 레이저 스캐너 영상 및 연석 추출 결과

### 3.3 확장 칼만 필터를 이용한 도로 인식 및 추종

앞서 소개한 차선 및 연석 인식을 통해서 무인차량 과의 상대적인 위치를 구하고, 인식된 결과를 이용하여 현재 도로 중앙으로부터 무인차량이 얼마나 벗어난 지를 측정할 수 있으며, 이 정확성을 높이기 위해서 확장 칼만 필터를 기반으로 하여 차량의 위치를 추정하게 된다.

확장 칼만 필터를 위해서, 먼저 무인차량의 모델은 일반적인 이륜차량의 모델을 사용하였다.

$$x(t+1) = x(t) + \frac{v_R(t) + v_L(t)}{2} \sin\theta(t)\Delta t \tag{9}$$

$$y(t+1) = y(t) + \frac{v_R(t) + v_L(t)}{2} \cos\theta(t)\Delta t \tag{10}$$

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \frac{2L(v_R(t) - v_L(t))}{w(v_R(t) + v_L(t))} \Delta t \tag{11}$$

$\theta$ 는 x축을 기준으로 차량의 방향이며,  $v_R(t)$ 는 차량 오른쪽 뒷바퀴 속도이며,  $v_L(t)$  차량 왼쪽 뒷바퀴 속도이다.

그림 8에서 볼 수 있듯이, 차량 왼쪽을 기준으로 카메라를 이용하여 도로의 중앙으로 왼쪽 차선까지의 상대적인 거리는 다음과 같다.

$$lP = -((Rw \times 0.5) - (Ld + CarW)) \tag{12}$$

차량 오른쪽 기준으로 레이저 스캐너를 이용하여 도로의 중앙으로 오른쪽 연석까지의 상대적인 거리는 다음과 같다.

$$rP = (Rw * 0.5) - ((Cd - Cw) + CarW) \tag{13}$$

본 논문에서 확장 칼만 필터 기반으로 카메라 및 레이저 스캐너를 이용하여 획득된 정보와 차량의 모델링을 통해서 센서 퓨전을 하였다. 일반적으로 확장 필터의 상태

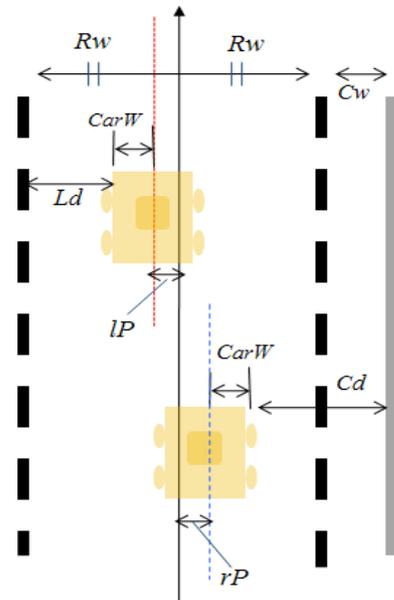


그림 8. 도로에서 차선/연석 상대적인 위치 및 중앙선 기준 차량의 위치

방정식과 관찰 모델은 선형화를 위해서 함수의 편미분을 사용한다. 그리고 차량의 위치는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$x_k = (x, y, \theta) \tag{14}$$

여기서 x,y는 도로 중앙을 기준으로 하는 직교 좌표계에 위치이며, 는 이 좌표계의 x축에 대한 회전각이다.

초기에는 차량의 위치 및 방향을 알고 있다는 가정 하에 차량의 위치  $x_k$ 을 표현하는 상태 방정식을 다음과 같다.

$$x_k = f(x_{k-1}, u_{k-1}) + w_{k-1}, w_k \sim N(0, Q_k) \tag{15}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \varepsilon_x v^2 & 0 \\ 0 & \varepsilon_\theta \theta^2 \end{bmatrix} \tag{16}$$

여기서  $f(x_{k-1}, u_{k-1})$ 는 비선형 상태방정식이며,  $w_k \sim N(0, Q_k)$  평균이 0인 노이즈를 나타낸다.

관찰 모델은 다음과 같이 표현할 수 있다 .

$$z_k = h(x_k) + v_k, v_k \sim N(0, R_k) \tag{17}$$

$$R_k = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\theta^2 \end{bmatrix} \tag{18}$$

선형화를 위해서 상태 방정식의 편미분  $\nabla_x f$ 을 하게 되며 다음과 같다.

$$\nabla_x f = A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{V_R + V_L}{2} \cos(\theta) \cdot \Delta t \\ 0 & 1 & -\frac{V_R + V_L}{2} \sin(\theta) \cdot \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{19}$$

관찰 모델  $W$ 은 다음과 같이 선형화 할 수 있다.

$$\nabla_u f = W = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \sin(\theta) \cdot \Delta t & \frac{1}{2} \sin(\theta) \cdot \Delta t \\ \frac{1}{2} \cos(\theta) \cdot \Delta t & \frac{1}{2} \cos(\theta) \cdot \Delta t \\ \frac{4 \cdot L}{w} \left( \frac{v_l(t)}{(v_R(t) + v_L(t))^2} \right) \Delta t & -\frac{4 \cdot L}{w} \left( \frac{v_R(t)}{(v_R(t) + v_L(t))^2} \right) \Delta t \end{bmatrix} \tag{20}$$

### 4. 실험 및 결론

본 방법에 대한 타당성을 보이기 위해서 무인 차량에

적용하여 실제 직선/곡선 도로에 대해서 실험 및 테스트 해 보았다.

#### CASE 1) 직선 구간 테스트

직선 구간(거리 25m)에서 실험을 했을 때, 실제 각각 단일 센서들만을 사용했을 경우 오차 범위  $\pm 20$  cm 이상 발생하는 것을 그림 10에서 확인할 수 있으며, 본 방법을 적용할 경우 오차 범위  $\pm 5$  cm 이내 로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그림 11에서 알 수 있듯이, 각 센서들에 의해서 발생 되는 노이즈가 필터링 되면서 참값에 수렴해나가는 것을 볼 수 있다

#### CASE 2) 곡선 구간 테스트

곡선 구간에서 실험을 했을 때, 그림 12 볼 수 있듯이,

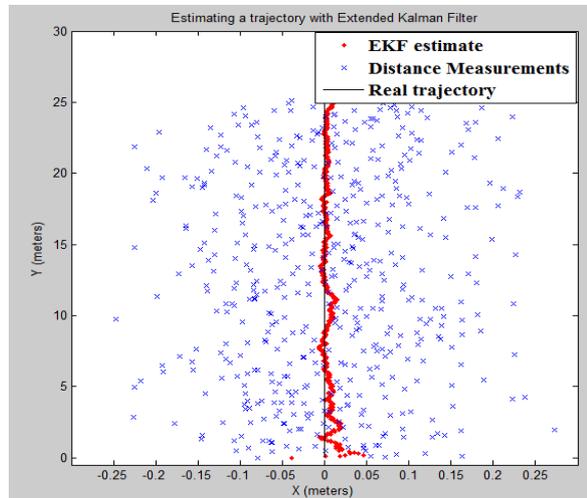


그림 10. 직선 구간 테스트 (검은색:참값, 빨간색점(o): 본 방법에 의한 결과, 파란색점(x)는 각각 센서데이터만을 고려할 경우의 결과)

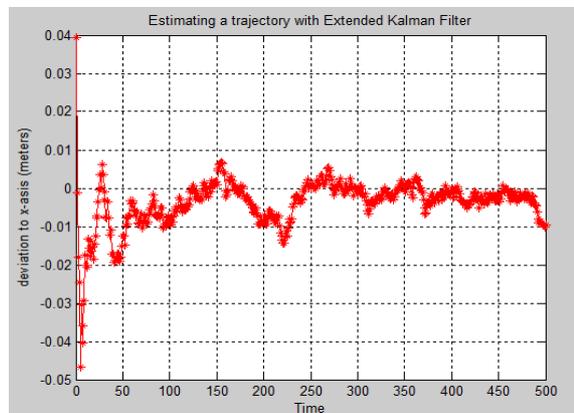


그림 11. 직선 구간에서 참값에 대한 오차

실제 각각 단일 센서들만을 사용했을 경우 오차 범위  $\pm 30$  cm 이상 발생하는 것을 알 수 있으며, 본 방법을 적용할 경우 오차 범위  $\pm 10$  cm 이내로 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 13에서 알 수 있듯이, 50ms 이내에 필터링 값들이 참값에 수렴해나가는 것을 볼 수 있다

본 논문에서는 다중 카메라 및 레이저 스캐너를 이용하여 도로의 경계인 차선 및 연석 추출 방법을 소개하고 이런 방법들의 결과를 이용하여 확장 칼만 필터 알고리즘 기반으로 무인 차량이 현재 도로의 중앙으로부터 벗어난 거리를 구함으로써, 도로 환경 내에서 실제 무인차량이 자율주행을 위해서 반드시 필요한 정보인 도로상의 차량의 위치를 알 수 있게 된다. 또한 직선/곡선 구간에 대해서 테스트

트의 결과를 확인으로써 본 방법의 타당성을 보였으며, 차후 좀 더 복잡한 도로 환경에 대해서 더 다양한 센서 및 융합을 시도하여 더 높은 정확성 확보를 위해서 연구를 계속적으로 진행할 것이다.

참고문헌

[1] J.P Gonzalez, Umit Ozguner, "Lane Detection Using Histogram-Based Segmentation and Decision Trees", Proc. Of IEEE Intelligent Transportation Systems, 2000, pp 3461-351.

[2] Haiping Lin, Hyongsuk Kim, Chun-shin Lin, and Leon O. Chua, "Road Boundary Detection Based on the Dynamic Programming and the Randomized Hough transform", Proc. Of ISITC, 2007.

[3] Mohamed Aly, "Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets", Proc. Of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2008, pp7-12.

[4] Dezhi Gao, Wei Li, Jianmin Duan, Banggui Zheng, "A Practical Method of Road Detection for Intelligent Vehicle", Proc. Of International Conference on Automation and Logistics, 2009, pp.980-985.

[5] Kodagoda, Arjuna P. Balasuriya, "CuTE: Curb Tracking and Estimation", IEEE Trans on Control Systems Technology, 2006, Vol.14, pp.951-957.

[6] Yoshiteru Matsushita, Jun Miura "Simultaneous Estimation of Road Region and Ego-Motion with Multiple Road Models", Proc. Of IEEE Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2008, pp.526-532.

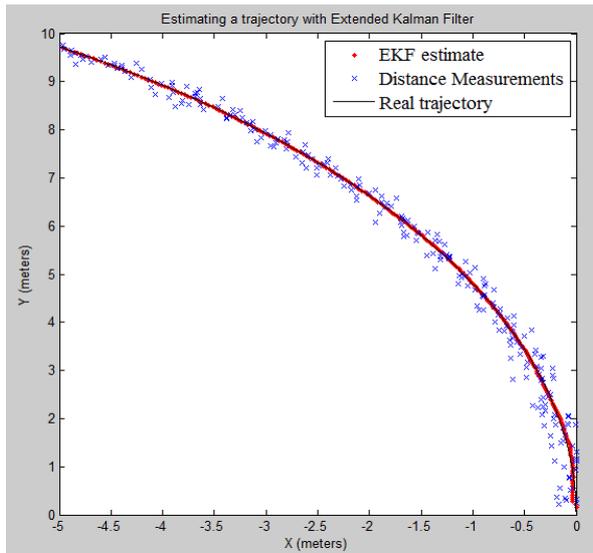


그림 12. 곡선 구간 테스트  
(검은색: 참값, 빨간색점(o): 본 방법에 의한 결과, 파란색점(x)는 각각 센서데이터만을 고려할 경우의 결과)

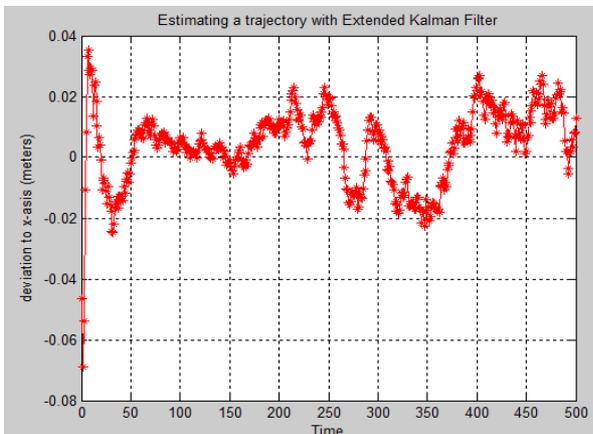


그림 13. 곡선 구간에서 참값에 대한 오차



변재민

2005 충남대학교 메카트로닉스 공학과(공학사)  
 2007 충남대학교 메카트로닉스 공학과 로봇시스템공(공학석사)  
 2009~현재 한국전자통신연구원 지능로봇제어 연구팀

관심분야 : Navigation, Localization

E-mail : jaemin.byun@etri.re.kr



**조 용 석**

- 1989 성균관대학교 전기공학과(공학사)
- 1992 성균관대학교 전기공학과(공학석사)
- 1998 성균관대학교 전기공학과(공학박사)

관심분야: 다변수 제어시스템, 로봇제어, 센서 및 생체 계측



**김 성 훈**

- 1995 광운대학교 전자공학과(공학사)
- 1997 광운대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997~현재 한국전자통신연구원 지능로봇제어 연구팀

관심분야: 로봇제어, 로봇지능, 로봇 소프트웨어