

## 역투영 변환과 칼만 필터를 이용한 주행차선 추적

여재윤<sup>1</sup> · 구경모<sup>2</sup> · 차의영<sup>3\*</sup>

### A Lane Tracking Algorithm Using IPM and Kalman Filter

Jae-yun Yeo<sup>1</sup> · Kyung-mo Koo<sup>2</sup> · Eui-young Cha<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

<sup>2</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

<sup>3</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 차선 이탈 경고 장치 시스템에서 사용될 수 있는 주행차선 추적 방법을 제안한다. 먼저 역투영 변환을 이용해 차량에 부착된 카메라로 입력 받은 영상의 원근 효과가 제거된 조감도 영상을 생성한다. 그다음 차선의 형태학적 사전 지식을 이용하여 차선 검출에 적합한 특징들을 추출한다. 이후 블록 단위의 관심영역에 해당하는 차선 특징을 클러스터링하고 차선 유사도 함수를 이용함으로써 잡음이 제거된 차선 특징들을 얻을 수 있다. 이후 RANSAC(RANdom Sample Consensus) 알고리즘을 사용하여 차선 모델을 계산하고 칼만 필터를 이용하여 검출된 차선 모델을 추적한다. 제안하는 알고리즘은 고속도로 상의 다양한 환경에서 20ms 이내의 처리 속도와 90% 가량의 추적률을 얻을 수 있었다.

#### ABSTRACT

In this paper, A lane tracking algorithm is proposed for lane departure warning system. To eliminate perspective effect, input image is converted into Bird's View by inverse perspective mapping. Next, suitable features are extracted for lane detection. Using clustering and lane similarity function with noise suppression features are extracted. Finally, lane model is calculated using RANSAC and lane model is tracked using Kalman Filter. Experimental results show that the proposed algorithm can be processed within 20ms and its detection rate approximately 90% on the highway in a variety of environments.

**키워드** : 차선 검출, 차선 추적, 역투영 변환, 랜삭, 칼만 필터

**Key word** : Lane Detection, Lane Tracking, Inverse Perspective Mapping, RANSAC, Kalman Filter

접수일자 : 2013. 10. 01 심사완료일자 : 2013. 10. 25 게재확정일자 : 2013. 11. 06

\* **Corresponding Author** Eui-young Cha(E-mail:eycha@pusan.ac.kr, Tel:+82-051-510-2878)

Department of Electrical Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2013.17.11.2492>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

과거부터 지금까지 운전자의 편리와 안전을 위한 다양한 운전자 보조 시스템(Driver Assistance Systems)들이 연구되었다. 그 결과 현재 컴퓨터 기술의 발전과 기계식에서 전자식으로 자동차의 핵심 기술들이 변화함에 따라 이미 상용화되어 사용중인 ABS(Anti-lock Brake System)나 VDC(Vehicle Dynamic Control)와 같이 하드웨어 시스템을 통하여 수동적으로 주행을 보조해주는 장치를 넘어선 전방 충돌 경고 시스템(Forward Collision Warning System)이나 차량 이탈 경고 시스템(Lane Departure Warning System)과 같은 첨단 운전자 보조 시스템(Advanced Driver Assistance Systems)에 주목하고 연구들이 진행 중이다. 특히 차선 이탈 경고 시스템은 주행 중인 차선의 정보를 이용해 차량의 차선 이탈 정도를 측정하여 운전자가 인지하지 못한 위험 상황을 경고해 운전자가 유동적으로 상황을 대처할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 장점을 가지고 있다. Han[1]은 그림자 정보와 HSV 컬러 모델 기반의 차선 검출 방법을 제안하였다. HSV 컬러 모델을 사용하여 그림자 정보 내에 존재하는 특징을 추출하고 라인 패치 기법을 사용하여 차선의 후보군들을 생성한다. 이후 차선 후보군과 기울기 정보를 결합하여 차선을 결정한다. Mohamed Aly[2]는 탑뷰(Top View) 영상과 RANSAC 알고리즘을 이용한 차선 검출 방법을 제안하였다. 차량의 전방 영상에 존재하는 원근 효과를 제거하기 위하여 역투영 변환 방법을 사용하여 탑뷰 영상을 생성한다. 이후 제안된 가우시안 커널을 사용하여 차선 특징을 추출하고 차선 특징의 곡선을 피팅하는 방법을 사용하여 차선을 검출한다. Guolian Liu[3]는 통계학적 허프 변환과 파티클 필터를 이용하여 차선을 검출하고 추적하는 방법을 제안하였다. 기존의 허프 변환대신 차선 검출에 강건한 통계학적 허프 변환을 사용해 차선을 검출하고 파티클 필터를 사용하여 차선을 추적하는 방법 소개하였다. 본 논문에서는 고속도로 환경에서 주행차선을 실시간으로 검출 및 추적하는 방법을 제안한다. 도로 노면의 노이즈를 감소하기 위하여 전처리 과정을 수행하고 역투영 변환을 이용해 조감도 영상을 생성한다. 이후 주위 환경에 강건한 차선 특징을 추출 한 뒤 클러스터링 과정과 RANSAC 알고리즘을 사용하여 직선 차선 모델을 검출한다. 또한 차선 확장 기법을 통해 미 검출된 지역

의 차선 모델을 예측한다. 마지막으로 칼만 필터를 사용하여 검출된 주행차선 모델을 추적한다. 그 결과 주위 밝기 변화나 다양한 형태의 차선에 대해 좋은 추적 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 영상 내에서 차선을 검출하는 방법을 소개하고 3장에서는 검출된 차선을 추적하는 방법을 제안한다. 4장에서는 제안하는 방법으로 실험한 결과를 보이고 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 차선 검출

### 2.1. 전처리 과정

차량의 전방에 설치된 카메라를 통해 획득된 차량의 전방 영상에는 도로 노면의 손상이나 이물질 그리고 카메라에 묻어있는 먼지들이 차선 검출에 있어서 불필요한 잡음으로 판단하였다.

본 논문에서는 잡음을 감소시키기 위하여 아래의 식 (1)과 같은 2차원 가우시안 필터를 사용하였으며 그 결과 그림 1의 (b)와 같은 영상이 생성된다.

$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

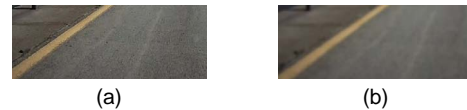


그림 1. (a) 입력 영상 (b) 가우시안 필터 적용 영상  
Fig. 1 (a) input image (b) gaussian filtered image

### 2.2. 조감도 영상 생성

본 논문에서는 차선 검출을 위하여 아래의 그림 2와 같은 실제 차선에 대한 너비와 마커의 정보를 이용한다.

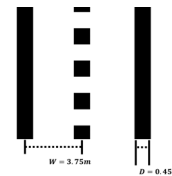


그림 2. 차선의 사전 정보  
Fig. 2 Prior knowledge of lane

하지만 실제 차선의 파라메타 값은 실세계 좌표계에 대한 절대 값이기 때문에 차선 특징들이 포함된 2차원 입력 영상을 3차원 실세계 좌표계로 표현된 영상으로 변환한 뒤 파라메타 값들을 차선 검출 과정에 사용해야 한다. Bertozzi[4]는 역투영 변환을 이용하여 원근 효과가 제거된 조감도 영상을 생성하는 방법을 제안하였다. 조감도 영상을 얻기 위해서는 입력 영상의 각 픽셀들을 조감도 영상이라는 새로운 2차원 평면으로 리샘플링(Resampling)하는 작업이 필요하다. 이를 위해 아래와 같은 2개의 유클리디언(Euclidean) 공간을 정의하였다.

$$\begin{aligned} W &= (x, y, z) \in E^3 : 3\text{차원 실세계 좌표계} \\ I &= (u, v) \in E^2 : 2\text{차원 영상 좌표계} \end{aligned} \quad (2)$$

실세계 좌표계에서의 카메라 위치, 수평과 수직 화각, 조리개의 각도, 그리고 해상도 정보를 이용하여 아래의 식 (3)의 과정을 수행함으로써  $I$ 를  $W$ 로 매핑하고 그 결과 그림 3의 (b)와 같은 조감도 영상을 생성할 수 있다. 또한 본 논문에서는 주행 차선을 검출함이 목적으로 그림 3의 (c)와 같이 차선 검출의 관심 영역을 설정하였다.

$$\begin{aligned} x(u, v) &= \frac{h}{\tan[(\bar{\theta}-\alpha)+u\frac{2\alpha}{n-1}]} \times \cos[(\bar{r}-\alpha)+v\frac{2\alpha}{n-1}] + l \\ y(u, v) &= \frac{h}{\tan[(\bar{\theta}-\alpha)+u\frac{2\alpha}{n-1}]} \times \sin[(\bar{r}-\alpha)+v\frac{2\alpha}{n-1}] + d \\ z &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

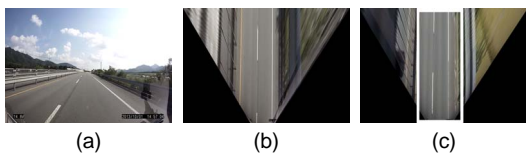


그림 3. (a) 입력 영상 (b) 조감도 영상 (c) 관심 영역  
Fig. 3 (a) input image (b) bird's view image (c) the region of interest

### 2.3. 차선 특징 추출

2.2에서 생성된 조감도 영상 내에 존재하는 도로의 노면에는 차량과 차선 이외에도 노면의 손상, 차선 마커의 손상, 그림자, 이물질과 같이 차선 검출에 방해가 될 수 있는 잡음들이 나타난다. 본 논문에서는 이러한 다양한 환경에서도 강건하게 차선에 해당하는 특징을

추출하기 위해 영상의 그래디언트 정보에서 지역적 극값을 찾고 이를 차선의 특징으로 사용하였으며 위와 같은 잡음에도 강건한 특성을 지니기 위해 적응적 가중치를 이용하여 지역적 극값을 검출 하였다.

본 논문에서는 식 (4)을 이용하여 지역적 극값의 차이가 큰 위치들을 검출하고 식 (5)를 만족하는 위치를 차선이 될 수 있는 특징  $F$ 의 위치로 결정하였다. 그 결과 그림 4의 (b)와 같이 일반적인 경우나 그림 4의 (d)처럼 그림자가 존재하더라도 차선의 특징들을 추출할 수 있었다.

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{\sum_{i=0}^{n_{max}} \max(i)}{n_{max}} + w \left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{max}} \max(i)}{n_{max}} - \frac{\sum_{i=0}^{n_{min}} \min(i)}{n_{min}} \right) \\ t_2 &= \frac{\sum_{i=0}^{n_{min}} \min(i)}{n_{min}} + w \left( \frac{\sum_{i=0}^{n_{max}} \max(i)}{n_{max}} - \frac{\sum_{i=0}^{n_{min}} \min(i)}{n_{min}} \right) \\ G'(j) &= \begin{cases} \max(j) & \max(j) > t_1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \\ G'(k) &= \begin{cases} \min(k) & \min(k) < t_2 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} t_3 &= G'(i) + \frac{\text{MIN}(\min(j))}{2}, t_4 = \frac{G'(i)}{t_3} \\ F(i) &= \begin{cases} G'(i) & t_3 > 0.5, t_4 < 1.5 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

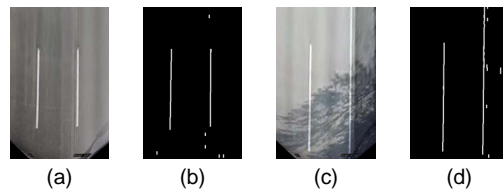


그림 4. (a) 입력 영상 (b) 차선 특징 (c) 입력 영상 (d) 차선 특징  
Fig. 4 (a) input image (b) lane features (c) input image (d) lane features

### 2.4. 차선 후보군 검출

2.3에서 추출된 특징에는 그림 6의 (b)와 같이 차선 뿐만이 아니라 차선과 비슷한 경계 특징을 지니는 잡음들이 포함될 수 있다. 본 논문에서는 잡음들이 제거된 차선 특징들을 추출하기 위해 다음과 같은 방법들을 수행한다. 제일 먼저 블롭 레이블링(Blob Labeling)을 수행하여 지역적 유사성을 지닌 특징들을 하나의 블롭

(Blob)으로 정의하였다. 이후 RANSAC[5] 알고리즘을 사용하여 블롭내에 존재하는 특징들을 대표할 수 있는 직선 모델들을 계산하고 그림 5와 같은 조건을 만족하는 블롭들을 하나의 클래스로 묶는 클러스터링 작업을 수행함으로써 끊어진 차선의 특징을 연결시켜주는 효과를 얻을 수 있었다. 그 결과 지역적으로 유사성을 가진 특징들로 구성된 클래스들을 검출할 수 있었다.

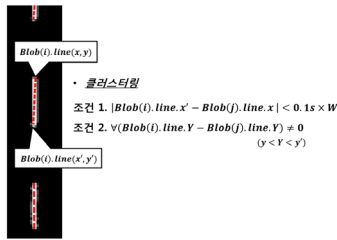


그림 5. 클러스터링 조건  
Fig. 5 The conditions for clustering

그리고 식 (6)과 같이 정의된 차선 유사도 함수  $V(k)$  값이 최대가 되는 좌우 블롭을 차선 후보군으로 정의한 결과 그림 6의 (c)와 같이 차선에 해당하는 특징들을 검출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Size(k) &= \frac{Blob'(i).height + Blob'(j).height - 2f_{height}}{MAX(Blob.height) - 2f_{height}} \\
 Dist(k) &= \frac{s \times w - |Blob'(i).line.x + Blob'(j).line.x|}{f_{interval}} \\
 Diff_{angle}(k) &= \frac{(Blob'(i).angle - Blob'(j).angle) - MIN(Blob'.angle)}{MAX(Blob'.angle) - MIN(Blob'.angle)} \\
 V(k) &= \frac{1.3 \times Size(k) + 1.3 \times Dist(k) + 0.4 \times Diff_{angle}(k)}{3}
 \end{aligned} \tag{6}$$

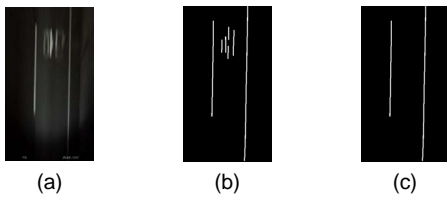


그림 6. (a) 차선 영상 (b) 차선 특징 (c) 차선 후보군 내 특징  
Fig. 6 (a) lane image (b) lane features (c) lane features in candidates

### 2.5. 차선 모델 계산

차선 모델 계산 단계에서는 2.4에서 검출된 차선 후

보군 내의 특징과 RANSAC 알고리즘을 사용하여 차선 모델을 계산한다. RANSAC 알고리즘은 잡음(Outlier)이 포함된 데이터들로부터 수학적 모델의 파라메타(Parameter)를 추정하는 방법으로 여러 번의 작업이 반복적으로 수행될수록 증가되는 일정한 확률을 이용하여 합리적인 결과 즉 수학적 모델의 파라메타를 도출할 수 있는 비 결정적 알고리즘이다. 차선 검출에 있어서 RANSAC은 영상에서 추출된 특징으로 직선이나 곡선의 차선 모델을 계산하는데 매우 효과적이다.

하지만 그림 7의 (b)와 같이 후보군 내 특징의 수가 적은 경우 잡음에 영향을 크게 받게 되고 그림 7의 (c)와 같이 차선 모델의 계산 결과가 실제 차선과 크게 차이나는 문제점이 발생된다. 본 문에서는 이러한 문제를 보완하기 위하여 그림 7의 (d)와 같이 구간별 직선 모델을 계산한 뒤 그림 7의 (e)와 같이 검출된 지역의 직선 모델을 확장시킨다. 그 결과 그림 7의 (f)와 같이 실제 차선과 유사한 차선 모델을 생성할 수 있다.

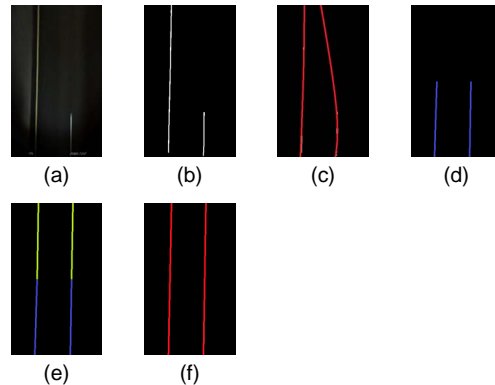


그림 7. (a) 차선 영상 (b) 차선 특징 (c) 잘못 계산된 차선 모델 (d) 영역별 직선 모델 (e) 차선 확장 결과 (f) 보완된 차선 모델  
Fig. 7 (a) lane image (b) lane features (c) miscalculated lane model (d) areal lane model (e) expanded lane model (f) supplemented lane model

## III. 차선 추적

### 3.1. 칼만 필터를 이용한 차선 추적

2.5에서 계산된 주행 차선의 경우 차선의 특징에 대한 움직임이 선형성을 띤다. 그래서 움직임을 정의할 수 있는 모델을 계산할 수 있으면 다음에 검출될 차선

의 위치나 형태를 근사하게 표현할 수 있다. 본 논문에서는 칼만 필터[6]를 사용하여 이전에 검출된 주행차선 모델의 사후 확률을 최대로 만드는 움직임 모델을 구축하고 이를 통하여 다음 프레임에서 나타날 수 있는 주행 차선의 모델을 추정함으로써 영상내의 차선을 지속적으로 추적한다. 본 논문에서는 아래와 같이 그림 8의 좌표와 위치 변화량을 상태 벡터  $x(t)$ 로 설정하였다.

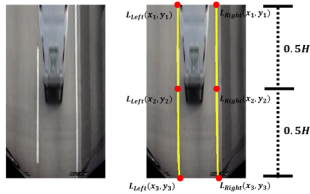


그림 8. 추적 대상  
Fig. 8 The objects for tracking

$$x(t) = [Lx \quad Ly \quad \Delta Lx \quad \Delta Ly]^T \quad (7)$$

칼만 필터는 다음과 식 (8)의 상태 예측과 식 (9)의 오차 공분산 예측의 예측 단계와 식 (10)의 칼만 이득 값의 추정과 식 (11)의 측정값에 의한 식 (12)의 새로운 상태 추정 그리고 식 (13)의 새로운 상태 추정에 의한 오차 공분산 추정의 추정 단계를 번갈아가며 수행하고 이를 통하여 갱신된 최적의 상태 벡터를 사용해 추적하고자 하는 대상의 다음 상태를 알 수 있다.

$$x_k = Fx_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (8)$$

$$P_k^- = FP_{k-1}F^T + Q_{k-1} \quad (9)$$

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (10)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (11)$$

$$x_k = x_k^- + K_k (z_k - H_k x_k^-) \quad (12)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (13)$$

#### IV. 실험 결과

제안하는 주행차선 추적 알고리즘은 경부 고속도로, 남해 고속도로에서 차량의 앞 유리에 설치된 카메라를

통하여 1280×720의 해상도와 초당 30프레임으로 캡처된 영상을 사용하여 실험하였다. 표 1은 밝기 환경에 따른 차선 검출 결과를 나타낸 것으로 야간보다는 차선의 특징들이 많이 추출될 수 있는 주간에 검출률이 더 높음을 살펴볼 수 있다.

표 2는 차선의 형태에 따른 차선 검출 결과를 나타낸 것으로 점선이 많이 포함된 차선의 경우 다른 형태의 차선에 비해 검출률이 낮은 경향을 보인다.

그림 9는 실험에서 사용된 데이터별 차선 추적 결과를 나타낸다. 주위 환경의 밝기나 그림자와 같은 잡음에도 강건하게 주행차선이 추적됨을 살펴볼 수 있다.

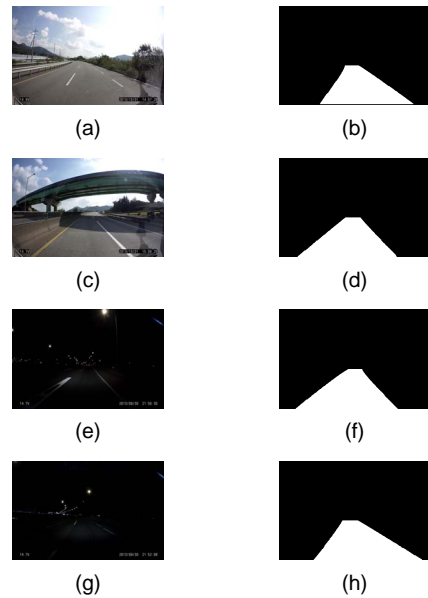


그림 9. 실험에 사용된 데이터 (a) 주간1 입력 영상 (b) 주간1 차선 추적 결과 (c) 주간2 입력 영상 (d) 주간2 차선 추적 결과 (e) 야간1 입력 영상 (f) 야간1 차선 추적 결과 (g) 야간2 입력 영상 (h) 야간2 차선 추적 결과

Fig. 9 Data used for experiments (a),(c),(e),(g) input image (b),(d),(f),(h) lane tracking results

표 1. 주위 밝기에 따른 차선 검출률

Table. 1 Lane detection rate for ambient brightness

데이터 명	프레임 수	검출률
주간1	1766	95.32%
주간2	1766	94.49%
야간1	1766	91.01%
야간2	1766	93.52%

표 2. 주간2에서 차선 형태에 따른 차선 검출률

Table. 2 Lane detection rate for lane shapes at Day2 data

차선 형태	프레임 수	검출률
실선	931	95.14%
점선+실선	273	93.84%

## V. 결 론

본 논문에서는 역투영 변환으로 생성된 조감도 영상을 이용하여 차선을 추적하는 방법을 제안하였다.

전처리 과정을 수행하여 고속도로 노면에 존재하는 잡음을 감소시켰으며 주위 환경에 강건한 차선 특징을 검출하고 차선의 사전 정보를 이용해 지역적 유사성을 지닌 특징들을 클러스터링 함으로써 추출된 특징들에 존재하는 잡음을 감소시켰다. 또한 차선 확장 기법과 같은 검출 오류에 대한 보정을 수행하여 차선 검출률을 높일 수 있었다. 하지만 차선의 곡률이 높은 경우에는 검출률이 낮은 문제점이 발생함으로 이를 보완하기 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유 과제 학술 연구비(2년)에 의하여 연구되었음



#### 여재윤(Jae-Yun Yeo)

2012년 부산대학교 정보컴퓨터공학과 졸업(학사)  
2012년~현재 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정  
※관심분야 : 로봇비전, 차선검출, 차량검출, 객체



#### 구경모(Kyung-Mo Koo)

2005년 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사  
2005년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
2008년~2011년 해군 기술연구소 전산컴퓨터공학 연구원  
※관심분야 : 로봇비전, 패턴인식, 인공지능

## REFERENCES

- [1] S. H. Han, and H. J. Joe, "HSV Color Model Based Front Vehicle Extraction and Lane Detection using Shadow Information," Journal of Korea Multimedia Society, vol 5, no. 2, pp. 176-190, Apr. 2002.
- [2] M. Aly, "Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets," in Proceeding of the Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, pp. 7-12, 2008.
- [3] G. Liu, "Combining Statistical Hough Transform and Particle Filter for Robust Lane Detection and Tracking," in Proceeding of the Intelligent Vehicles Symposium, California, pp. 993-997, 2010.
- [4] M. Bertozzi, "Stereo Inverse Perspective Mapping: Theory and Applications," Journal of Image and Vision Computing, vol 8, pp. 585-590, 1998.
- [5] M. A. Fischler, and R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Communications of the ACM, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, Jun. 1981.
- [6] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," Journal of basic Engineering, vol 82, no. 1, pp. 35-45, 1960.



**차의영(Eui-Young Cha)**

1982년 서울대학교 전자계산학과 공학석사  
1998년 서울대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
1981~1985년 한국전자기술연구소 연구원  
1995년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수  
※관심분야 : 패턴인식, 영상처리, 인공지능경망