

도로조명변화 및 노면표시에 강인한 차선 검출 및 이탈 경고 시스템

(A Lane Detection and Departure Warning System Robust to Illumination Change and Road Surface Symbols)

김 광 수¹⁾, 최 승 원²⁾, 곽 수 영³⁾*

(Kim Kwang Soo, Choi Seung Wan, and Kwak Soo Yeong)

요 약 본 논문에서는 도로에서 주행 중인 차량에서 차선을 검출하고 차선이탈여부를 확인 및 경고처리할 수 있는 영상기반의 알고리즘을 제안한다. 차량 탑재된 카메라 영상을 이용하여 차선을 검출하는 경우, 도로면 위의 다양한 표지로 인하여 오검출률이 증가하거나, 터널 통과시 터널 내의 조명 효과로 인해 노랑색의 중앙선이 미검출되거나 또는 우천시 차선 검출이 쉽지 않은 문제들을 안고 있기 때문에 제안된 알고리즘은 이러한 문제점들을 해결하는 데에 초점을 맞추었다. 또한 제안된 알고리즘은 검출된 차선 정보를 이용하여 차로 내에서 한쪽으로 치우치는 정도를 판단하여 차선 이탈 여부를 확인하고 경고처리할 수 있다. 제안된 알고리즘의 성능은 블랙박스를 통해 얻어진 실제 도로주행 영상을 이용하여 도로의 조명변화가 심하거나 노면에 표시가 있는 환경에서의 테스트 하였고, 실험 결과 높은 검출률을 보이는 것을 확인하였다.

핵심주제어 : 차선 검출, 차량 이탈 판단, 지능형 자동차

Abstract An Algorithm for Lane Detection and Lane Departure Warning for a Vehicle Driving on Roads is proposed in This Paper. Using Images Obtained from On-board Cameras for Lane Detection has Some Difficulties, e.g. the Increase of Fault Detection Ratio Due to Symbols on Roads, Missing Yellow Lanes in the Tunnel due to a Similar Color Lighting, Missing Some Lanes in Rainy Days Due to Low Intensity of Illumination, and so on. The Proposed Algorithm has been developed Focusing on Solving These Problems. It also has an Additional Function to Determine How much the Vehicle is leaning to any Side between The Lanes and, If Necessary, to Give a Warning to a Driver. Experiments Using an Image

* Corresponding Author : sykwak@hanbat.ac.kr

+ 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2015R1C1A1A02037299)

Manuscript received November 28, 2017 / revised December 8, 2017 / accepted December 18, 2017

1) 한밭대학교 전자제어공학과, 제1저자

2) 한밭대학교 전자제어공학과, 제2저자

3) 한밭대학교 전자제어공학과, 교신저자

Database Built by Collecting with Vehicle On-board Blackbox in Six Different Situations have been conducted for Validation of the Proposed Algorithm. The Experimental Results show a High Performance of the Proposed Algorithm with Overall 97% Detection Success Ratio.

Key Words : Lane Detection, Lane Departure Decision, Intelligent Vehicle

1. 서 론

자동차 운행의 안전과 편의성 향상을 위한 첨단 운전자 지원 시스템 (Advanced Driver Assistance System: ADAS)에 대한 연구가 자율주행 관련 산업체와 연구기관을 중심으로 최근 활발하게 진행되고 있다. ADAS는 운전자를 돕고 보완하는 시스템이지만, 궁극적으로는 운전자를 대체하는 자율주행 시스템으로 발전하는 것을 목표로 한다[1-3]. ADAS와 자율주행 기능이 원활하게 활용되기 위해서는 차선 유지 및 차선 변경 제어 기술과 장애물 회피제어 기술 등이 필수적이다. 본 논문에서는 ADAS와 자율주행 기술의 여러 가지 핵심 기술 중에서 차선검출 및 차선이탈 방지 시스템에 대한 연구를 주제로 다룬다.

현재까지 문헌 등에서 발견할 수 있는 차선 검출 방법은 크게 색상을 이용하는 방법[4-7]과 에지를 이용하는 방법[8,9]으로 나눌 수 있다. 이러한 차선 검출 방법들은 다음과 같은 경우 검출의 어려움이 있다는 것을 알 수 있다. 첫 번째, 전처리를 하지 않은 일반 영상을 이용하여 원근감을 고려하지 못함으로써 점선 차선 또는 비교적 멀리 있는 차선을 검출하기 어려울 수 있다. (Fig. 1의 (a)). 두 번째, 황색 차선, 어두운 장소에서의 차선, 그리고 색이 변질되어 흐릿해진 차선 등의 엣지 성분을 제대로 검출하지 못하여 차선 검출이 어렵고 (Fig. 1의 (b)), 세 번째, 차선 사이의 다양한 표식들에 영향을 받아 정확한 차선검출에 어려움을 겪을 수 있다 (Fig. 1의 (c)). 본 논문에서는 이러한 문제점들을 염두해 두고 도로 조명변화가 심한 터널 및 비오는 환경 또는 노면에 여러 가지 표식이 있는 환경에서 차선 검출 성능을 높일

수 있는 방법을 제안하고자 한다. 또한, 개발된 시스템에는 검출된 차선을 기반으로 차선 이탈 여부를 판단하여 운전자에게 경고 등을 줄 수 있는 기능도 포함되어 있다.

제안하는 시스템은 크게 영상 전처리 단계, 차선 검출 단계, 그리고 차선 이탈 여부 판단 단계로 이루어져 있다. 영상 전처리와 차선 검출 방법에 대해서는 2절에서 자세히 설명하고 차선의 위치를 고려하여 차선 이탈 여부를 판단하는 방법에 대해서는 3절에서 별도로 설명한다. 4절에서는 실제 차량 운행 중 촬영한 블랙박스 영상을 이용하여 제안한 알고리즘의 성능을 측정된 실험 결과를 보여주고, 향후 연구 과제와 논문의 결론을 5절에서 제시한다.

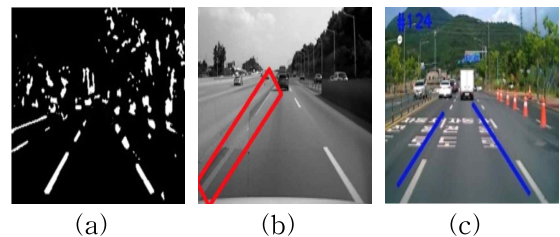


Fig. 1 Conventional Problems of Lane Detection Algorithms When Detecting Dotted or Faraway Lanes (a) or Yellow Lanes(b), and Disturbed by Road Surface Symbols (c)

2. 차선 검출 알고리즘

2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 차선 검출 알고리즘의 전체적인 개요는 Fig. 2와 같다. 먼저 입력된 영상에서 황색차선 인식이 잘 되지 않는 문제를

해결하기 위해 황색 성분을 강조한 후, 원근감을 배제하기 위해 역투영 사상 (Inverse perspective mapping, IPM)을 이용하여 탑뷰 (topview) 영상으로 변환한다. 변환된 영상에서 노면과 차선의 밝기 차이 및 색상 정보를 이용하여 차선 후보 픽셀을 검출하고 RANSAC(RANdom SAmple Consensus) 알고리즘으로 탑뷰 영상에서의 차선을 검출한다. 이를 역변환을 수행하여 입력 영상에 최종 검출된 차선 정보를 표시한다. 또한, 차선 사이의 거리 관계를 이용하여 차선의 이탈 여부 판단과 경고 처리를 하는 단계를 거친다. 아래에서는 각 주요 단계들의 내용을 상세하게 설명한다.

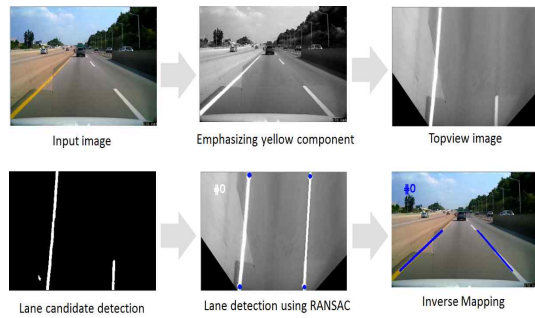


Fig. 2 Overview of the Proposed Lane Detection Algorithm

2.2 전처리 과정

전처리 과정에서는 기존 알고리즘에서 자주 나타나는 황색 차선 검출 문제점과 카메라 설치 각도에 의한 왜곡 문제점을 보정한다. 우선 황색 성분을 강조하기 위해 원본 영상을 YCbCr 영상으로 변환한 후 각 픽셀에서 다음과 같은 식을 이용하여 황색 성분이 강조된 그레이 픽셀 값을 얻는다.

$$Gray = \begin{cases} Y + (128 - Cb) \times 2, & 0 < Cb < 128 \\ Y, & 129 < Cb < 255 \end{cases} \quad (1)$$

Fig. 3의 (a)는 원본 영상이고 Fig. 3의 (b)는 원본 영상을 단순한 그레이 영상으로 변환한 것이며, Fig. 3의 (c)는 식 (1)을 적용하여 황색 성분을 강조하여 변환한 그레이 영상의 예이다. Fig. 3을 보면 흰색 차선이 거의 영향을 받지

않으면서 황색 차선이 뚜렷하게 강조되어 변환 되는 것을 확인할 수 있다.

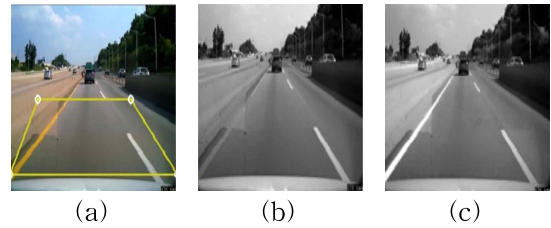


Fig. 3 Preprocessing for Emphasizing Yellow Color Component (a) Original Image (b) Conventional Gray Image (c) Gray Image after Emphasizing Yellow Color Component

영상의 첫 프레임에서 검출된 차선의 양쪽 차선 정보를 다음 식과 같은 호모그래피 변환을 적용함으로써 황색 성분이 강조된 그레이 영상을 탑뷰 영상으로 변환한다.

$$w \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

호모그래피 변환은 하나의 영상을 서로 다른 카메라 위치에 대한 영상으로 투영하는 것으로 식 (2)에서 x, y 는 변환전 영상에서의 픽셀값이고 x', y' 는 변환후 영상에서의 픽셀값이며, w 는 1로 사용하였고, 호모그래피 행렬의 원소들인 h_i 들은 Fig. 4의 (a)에서 흰색동그라미로 표기되어 있는 네개의 좌표와 이와 매칭되는 좌표값을 쌍으로 입력하여 결정된다. Fig. 4의 (a)는 원본 입력 영상이고 Fig. 4의 (b)는 황색 강조 알고리즘과 호모그래피 변환을 적용하여 변환된 탑뷰 영상이다.

2.3 차선 후보 영역 검출

본 논문에서의 차선의 후보 영역을 검출하기 위해 노면과 차선의 밝기 차이 및 차선 색상 정보를 이용하였다. 후보 영역에서 한 행씩 수행하면서 현재 픽셀 위치에서 좌, 우 일정 값만큼 주변보다 밝기 값이 높은 곳을 찾는다.

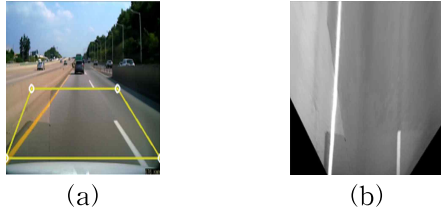


Fig. 4 Topview Image Generation through Homography Transformation (a) Original Image (b) Topview Image

수행 방법은 아래 식 (3)과 같다. 여기서 x_i 는 현재 픽셀의 밝기 값이며, y_i 는 필터를 거쳐 나온 결과 값이다. τ 값은 차선 너비 파라미터를 뜻하며 현재 픽셀에서 좌, 우 τ 거리 차이에 존재하는 이웃한 픽셀 밝기 값보다 크면 y_i 값이 높은 응답 값을 갖는다. 즉 좌, 우 픽셀 밝기 값이 유사하면 양수 값을 가진다. 본 논문에서는 τ 값을 10으로 사용하였다. 제안하는 방법은 빠르게 수행 할 수 있다는 장점이 있다. 차선 밝기 및 색상 정보 기반 후보 픽셀 추출 결과에서 임계치를 이용하여 차선의 후보 영역을 검출한다.

$$y_i = 2x_i - (x_{i-\tau} + x_{i+\tau}) - |x_{i-\tau} - x_{i+\tau}| \quad (3)$$

Fig. 5의 (a)는 전처리를 거친 탐부 영상이고 Fig. 5의 (b)는 캐니 에지(Canny edge) 검출 방법을 적용하여 경계선을 검출한 결과이며 Figure 5의 (c)는 식 (3)의 방법을 사용하여 검출한 결과이다. Fig. 5에서 볼 수 있는 것처럼 캐니 에지 검출기보다 훨씬 뚜렷하게 차선을 잘 검출하는 것을 알 수 있다. 이는 빠른 속도로 이동시 촬영한 차량 영상의 경우 영상 블러(blur)가 발생하기 쉬운데, 이러한 현상에 대해 캐니 에지 검출기보다 훨씬 강인한 성질을 갖고 있기 때문이다.

2.4 RANSAC을 이용한 직선 정합

차선의 후보 영역이 검출되면 후보 픽셀들 중에서 RANSAC을 이용하여 직선을 검출하게

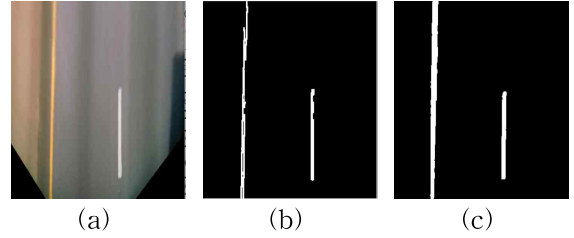


Fig. 5 Performance Comparison of Edge Detection (a) Topview Image (b) Lane Candidate Using Canny Edge Detector (c) Lane Candidate Using Difference of Color and Brightness

된다. 입력 영상이 탐부 영상이기 때문에 후보 픽셀을 관측 데이터로 사용하고 직선의 방정식의 에러가 최소화 되는 직선을 검출하게 된다. RANSAC은 무작위로 샘플 데이터를 추출하여 최대 일치도(consensus)가 형성되는 곳을 선택하는 방법으로 사용자가 샘플링 횟수와 인라이어(inlier)와 아웃라이어(outlier)를 정해야 한다. 본 논문에서는 정의한 후보 픽셀들을 점과 직선 사이 거리를 통해 실제 차선 후보점이 아닌 아웃라이어들은 제거하고 일정 거리내에 있는 인라이어들이 지나는 일차 함수 직선 모델을 생성한다. 일차 함수 직선 모델을 지나는 점의 위치를 통해 좌우 차선을 탐부 영상에 표기하게 된다. 이렇게 검출된 직선은 좌우 주행 차선의 간격이 일정한지 검증을 통해 최종 차선으로 결정이 된다.

첫 번째 프레임에서 차선이 검출되면 두 번째 프레임부터는 이전 프레임의 결과에 두꺼운 직선 마스크를 적용하여 이를 다음 프레임의 후보 영역으로 설정하게 된다. 이렇게 함으로써 관심 영역 이외의 성분을 제거하여 차선 이외의 기타 표식 등에 의한 잡음을 제거할 수 있고, 궁극적으로는 차선 검출률을 향상시킬 수 있다. Fig. 6의 (a)는 탐부로 변환된 원본 영상이고 Fig. 6의 (b)는 RANSAC을 적용한 후 검출된 후보 차선과 각 끝점을 표시하고 있으며 Fig. 6의 (c)는 이전 프레임의 결과를 적용한 다음 프레임에 차선이 나타날 수 있는 후보 영역을 나타낸 것이다.

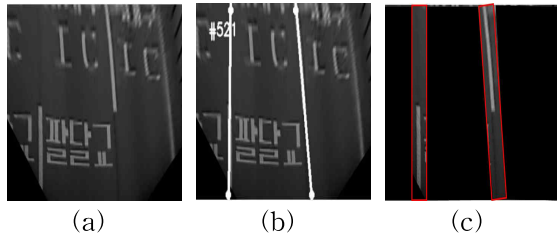


Fig. 6 Lane Detection Using RANSAC and Noise Removal (a) Original Topview Image (b) Lane Candidates Detected and Their End Points (c) Lane Candidate Region for Next Frame

3. 차선 이탈 여부 판단

차선 이탈 경보 기능은 차선 이탈 방지 또는 차선 유지 시스템 구현을 위한 중요한 첫 단계이다. 우선 차선들 사이의 간격은 항상 일정하고 블랙박스의 카메라가 차량의 중앙에 설치되어 있어 차량의 중심과 영상의 가로 방향 중심선이 일치한다고 가정한다. 따라서 영상의 가로 방향 중심 하단에 차량의 중심점을 놓으면 카메라의 파라미터와 차선 간격의 정보를 이용하여 차량이 차선의 정중앙에 놓여 있을 경우 왼쪽 차선과 오른쪽 차선의 예상 위치를 영상 내에서 구할 수 있다. 또한, 영상내의 일정한 거리에 가상의 수평선을 그린 다음 이 수평선이 양측의 차선과 만나는 점을 구한다. 왼쪽 차선과 만나는 점으로부터 차량의 중심점까지의 거리를 K_L 이라 하고 오른쪽 차선과 만나는 점으로부터 차량의 중심점까지의 거리를 K_R 이라고 할 때, Fig. 7에서와 같이 $K_L \approx K_R$ 이고 예상되는 차선의 위치와 실제 차선의 위치가 비슷하면 정상 주행, $K_L \ll K_R$ 이고 예상되는 왼쪽의 차선 위치가 실제 왼쪽 차선보다 왼쪽으로 치우치면 왼쪽 차선 쪽으로 치우침, $K_L \gg K_R$ 이고 예상되는 오른쪽 차선 위치가 실제 오른쪽 차선보다 오른쪽으로 치우치면 오른쪽 차선 쪽으로 치우친 것으로 판단한다. 이러한 이탈 정도가 어떤 임계값을 넘어 가면 차선 이탈 경보를 주도록 구현하였다. Fig.

7은 이러한 판단 기준을 요약한 것이고, Fig. 8은 실제 영상에서 이를 구현한 모습을 보여주고 있다.

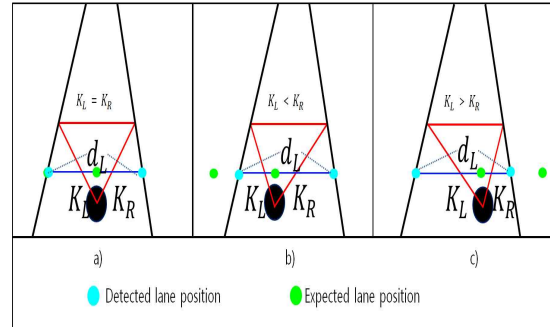


Fig. 7 Determination of Vehicle's Position between Lanes (a) Center (b) Leaning to Left (c) Leaning to Right

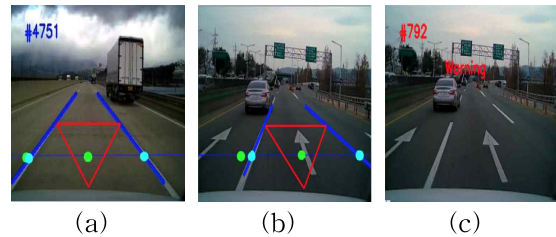


Fig. 8 Experimental Image for Lane Departure Warning (a) Normal Driving (b) Leaning to Left (c) Lane Departure Warning Fired

4. 실험결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위해 차량용 블랙박스를 통해 실제 차량 주행 영상 데이터를 구축하여 차선 검출 및 차선 이탈 판단에 대한 실험을 수행하였다. 구축된 데이터는 총 45개의 동영상으로 구성되어 있고, Fig. 9와 같이 고속도로 주행 영상, 도심도로 주행 영상, 우천시 영상 등 다양한 환경을 포함하고 있다.

Driving on a highway



Driving in urban environments



Driving in a rainy day



Driving on curved roads



Driving a road with symbols



Driving in the tunnel



Lane departure warning



Fig. 9 Some examples of experiments using videos obtained from real driving under various environments

Table 1 Experimental results for lane detection and lane departure warning

	number of detection frames	number of missing frames	detection rate(%)
Driving on a highway	93,966	1,010	98.9
Driving in urban environment	41,015	1,880	95.6
Driving in a rainy day	35,271	1,715	95.1
Driving on curved roads	25,376	1,494	94.1
Driving a road with symbols	26,324	666	97.5
Driving in the tunnel	15,459	635	95.8
Lane departure warning	9,055	51	99.4
Total	246,466	7,451	97.0

성능 검증을 위한 검출률 계산은 프레임 단위로 수행하여 Table 1에 정리하였다. 환경에 따른 성능을 검증하기 위해 먼저 총 6가지 환경에서의 검출 결과를 별도로 구하였다. 그 결과, 고속도로주행 환경에서는 98.9%, 표지가 있는 도로주행 환경에서는 97.5%, 도심도로주행 환경에서는 95.6%로 검출률이 비교적 높게 나왔고, 일반적으로 영상처리가 쉽지 않은 우천시 주행, 곡선도로 주행, 터널 주행과 같은 환경에서는 일반적인 환경보다 낮은 검출률을 보였지만 94% 이상의 여전히 높은 검출률을 보여주었다. 전체 실험데이터의 총 검출률은 97%로 상당히 높은 검출률을 보이고 있다. 또한 차선이탈 여부 판단 성능도 99.4%로 높은 검출률을 보였다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 기존의 차선검출 알고리즘에 대한 문제점들을 보완 할 수 있는 차선검출 및 차선이탈여부 확인 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법의 성능을 검증하기 위해 실제 주행 차량의 블랙박스를 통해 얻은 영상을 사용하여 실험을 수행하였고, 실험 결과 제안한 알고리즘이 기존의 차선검출 알고리즘에 대한 몇 가지 문제점을 보완할 수 있음을 확인하였다. 주행중에 발생할 수 있는 여러 가지 조명변화(터널, 나무 그늘, 비오는날 등) 및 노면에 표시되어 여러 가지 심볼에 강인하다는 것을 확인하였다. 하지만 여전히 물기가 있는 도로의 빛 반사, 급커브, 터널내의 어두운 조명 등에 대해

서는 영상처리 기술의 한계가 존재한다. 향후에는 이와 같은 환경 변화에 조금 더 강인한 성능을 보여줄 수 있는 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] Cho, S.Y., Lee, G.H., Hyun, J.H., and Roh, C.W., "Future Direction of Designing ADAS from an User Perspectives," The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 869-870, 2013
- [2] Jiang, T., Petrovic, S., Ayyer U., Tolani A. and Husain, S. "Self-Driving Cars: Disruptive or Incremental," Applied Innovation Review, UC Berkeley, No. 1, pp. 3-22, 2015.
- [3] Moon, I.S., Jeong, T.K., and Hong, W., "A Study on the Development of Intelligent Autonomous Vehicle Using Wireless Communication and Computer Vision Technologies (in korean)," The International Industrial Information Systems Conference, pp. 77-81, 2009
- [4] Choi, N.R., and Choi, S.I., "Preprocessing Technique for Lane Detection Using Image Clustering and HSV Color Model," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 20, No. 2, pp. 144-152, 2017
- [5] Cheng, H. Y., Tseng, C. C., Fan, K. C., Hwang, J. N., and Jeng, B. S.,

“Hierarchical Lane Detection for Different Type of Roads,” IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 1349-1352, 2008.

- [6] Wang, Y., Teoh, E. K., and Shen, D., “Lane Detection and Tracking Using B-Snake,” Elsevier Image and Vision Computing, Vol. 22, pp. 269-280, 2004
- [7] Son, J., Yoo, H., Kim, S., and Sohn, K. “Real-time Illumination Invariant Lane Detection for Lane Departure Warning System,” Expert Systems with Applications, Vol. 42, No. 4, pp. 1816-1824, 2015
- [8] Jung, H., Min, J., and Kim, J. “An Efficient Lane Detection Algorithm For Lane Departure Detection,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 976-981, 2013
- [9] Li, Y., Iqbal, A., and Gans, N.R., “Multiple Lane Boundary Detection Using A Combination of Low-Level Image Features” IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 1682-1687, 2014.



최 승 완 (Choi Seung Wan)

- 학생회원
- 2008년 3월~현재 : 한밭대학교 전자제어공학과
- 관심분야 : 영상처리, 지능형자동차



곽 수 영 (Kwak Soo Yeong)

- 정회원
- 2010년 2월 : 연세대학교 컴퓨터과학과 공학박사
- 2010년 3월~2011년 1월 : 삼성전자 영상디스플레이사업부 책임연구원
- 2011년 2월~현재 : 한밭대학교 전자제어공학과 부교수
- 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 지능형시스템



김 광 수 (Kim Kwang Soo)

- 정회원
- 2004년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사
- 2004년 1월~2007년 3월 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원
- 2007년 4월~2008년 2월 : 현대자동차 차량정보기획팀 과장
- 2008년 3월~현재 : 한밭대학교 전자제어공학과 부교수
- 관심분야 : 모바일로봇, 통계신호처리, 제어공학