

## 전방 차량 움직임 추정 알고리즘

박한동<sup>1</sup> · 오정수<sup>2\*</sup>

### Forward Vehicle Movement Estimation Algorithm

Han-dong Park<sup>1</sup> · Jeong-su Oh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>IVM Co. Ltd., Gyeonggi-Do, 13216, Korea

<sup>2</sup>Department of Display Engineering, Pukyong National University, Pusan, 48508, Korea

#### 요 약

본 논문은 영상 기반 전방 충돌 경고를 위한 전방 차량 움직임 추정 알고리즘을 제안한다. 사전에 취득된 영상에서 차도 영역이 관심 영역으로 지정되고 거리 참조표가 생성된다. 거리 참조표는 실험 차량 위치인 기준 화소에서 관심 영역 상 차량 위치인 임의 화소까지 수평과 수직 실제 거리를 보여준다. 제안된 알고리즘은 관심영역에서 차량들을 검출하고, 검출된 차량들에게 레이블을 지정하고, 거리 참조표를 이용해 그들의 거리 정보를 저장한다. 그리고 나서 제안된 알고리즘은 프레임간 거리 변화를 이용해 접근 거리, 측방 접근 속도, 전방 접근 속도 같은 차량 움직임을 추정한다. 도로 주행 동영상들을 이용한 전방 차량 움직임 추정 실험에서 제안된 알고리즘은 차량 움직임들에 대해 각각 평균 98.7%, 95.9%, 94.3%를 유효하게 추정하고 있다.

#### ABSTRACT

This paper proposes a forward vehicle movement estimation algorithm for the image-based forward collision warning. The road region in the acquired image is designated as a region of interest (ROI) and a distance look up table (LUT) is made in advance. The distance LUT shows horizontal and vertical real distances from a reference pixel as a test vehicle position to any pixel as a position of a vehicle on the ROI. The proposed algorithm detects vehicles in the ROI, assigns labels to them, and saves their distance information using the distance LUT. And then the proposed algorithm estimates the vehicle movements such as approach distance, side-approaching and front-approaching velocities using distance changes between frames. In forward vehicle movement estimation test using road driving videos, the proposed algorithm makes the valid estimation of average 98.7%, 95.9%, 94.3% in the vehicle movements, respectively.

**키워드** : 움직임 추정, 거리 참조표, 차량 검출, 전방 충돌, top-view 변환

**Key word** : Movement estimation, Distance LUT, Vehicle detection, Forward collision, Top-view transform

Received 21 April 2017, Revised 25 April 2017, Accepted 08 May 2017

\* Corresponding Author Jeong-su Oh(E-mail: ojs@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-6414)

Department of Display Engineering, Pukyong National University, Pusan 48508, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1697>

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

IT 기술이 급격하게 발전하고 있는 오늘날 자동차 산업에서 가장 큰 관심사는 운전자 보조 시스템(advanced driver assistance system ADAS)을 갖는 스마트 자동차(smart car)나 무인 자율 주행 자동차(self driving car)의 개발일 것이다[1-4]. 이들은 다양한 종류의 센서들을 이용해 운전자가 인식할 정보들을 취득하고 판단하여 운전자의 운전을 도와주거나 자율 주행을 수행한다. 자동차가 주행하는 동안 전방 차량과 추돌을 감지하고 경고하는 전방 추돌 경고 시스템은 보다 안전한 주행을 위한 기본적인 기능이다[3,4]. 전방 추돌 감지를 위해서는 전방 차량의 움직임을 추정하는 것은 필수적이다.

본 논문은 영상 기반 전방 추돌 경고를 고려해 차량 전방에 장착된 단일 카메라를 이용해 취득된 영상에서 움직이는 차량을 검출하고 검출된 차량의 움직임을 추정하는 알고리즘을 제안한다. 보다 정확한 정보를 얻기 위해 카메라 렌즈에 의한 방사 왜곡과 카메라 자세에 의한 영상 기울어짐을 보정하고, 차량간 거리 계산을 쉽게 하기 위해 원근감이 제거된 top-view 영상에서 화소 위치에 따른 거리 참조표를 생성한다. 제안된 전방 차량 움직임 추정 알고리즘은 HSV 색공간에서 차량 그림자를 이용해 차량 후보 객체들을 검출하고, 모폴로지와 레이블링 기법을 이용해 검출된 객체들에서 유효 차량들을 검출하고, 거리 참조표를 이용해 이들의 거리 정보를 저장한다. 검출된 차량들의 프레임간 거리 변화는 접근 거리, 측방과 전방 접근 속도같은 차량 움직임을 추정할 수 있고, 이들은 전방 추돌 위험을 인지하는 중요한 정보가 될 것이다.

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 외곽 도로의 다른 환경에서 취득된 주행 동영상들을 이용해 전방 차량 움직임 추정의 유효성 평가 실험을 수행한다.

## II. 화소간 거리 계산

본 장에서는 실험 차량에 대한 전방 차량의 거리를 나타내는 화소간 거리를 계산하는 방법을 제안한다.

### 2.1. 영상 보정

영상은 자연계 형상을 그대로 표현할수록 더 정확하

정보를 제공하나 필연적으로 왜곡을 수반한다. 왜곡 보정을 위해 본 논문에서는 렌즈에 의한 방사 왜곡과 카메라 자세에 의한 기울어짐을 보정하고 있다. 방사 왜곡은 렌즈에 의해 영상 가장자리에서 화소 위치가 왜곡되는 현상으로 체스판 형태의 캘리브레이션 패턴을 촬영하고 패턴의 코너점들을 이용해 왜곡 계수를 구한 후 행렬식을 이용해 보정한다[5,6]. 기울어짐은 카메라의 수평 기울어짐에 의해 발생하고 소실선(vanishing line) 기울어짐과 일치한다. 그래서 소실선 기울기에 근거해 영상 기울어짐을 보정한다. 소실선은 설치된 카메라로 평행인 두 직선을 여러 방향에서 촬영하여 검출된 소실점들을 한 영역에 표시하고 연결하면 얻을 수 있다[7].

### 2.2. Top-view 영상 변환

Top-view 영상은 높은 상공에서 지상을 바라보는 듯한 영상으로 원근감이 없어 화소간 거리가 일정하여 거리 계산이 쉽다. Top-view 영상 변환은 3x3 호모그래피 행렬에 의해 수행된다 [6,8]. 호모그래피 행렬은 그림 1(a) 원근감이 있는 원 영상의 사다리꼴 검은 네 점들이 그림 1(b) 수평 수직 원근감이 제거된 영상의 사각형 검은 네 점들로 대응되도록 하는 변환 행렬이다. 본 논문에서 대응점들은 도로 영상의 차선에서 선택하여 그 결과 top-view 영상에서 주행 차로와 양옆 차로들이 근사적으로 수평 영역을 3등분하도록 하였다.

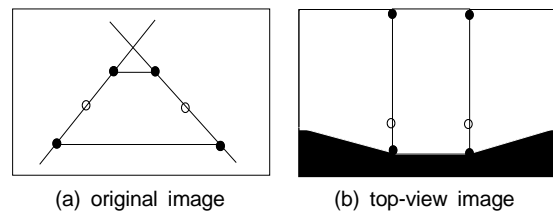


Fig. 1 Top-view image transform

### 2.3. 화소간 거리 계산

영상에서 화소간 거리 계산은 원근감이 제거된 top-view 영상에서 수행된다. 즉 원 영상의 기준 화소(실험 차량)와 임의 화소(전방 차량)의 위치를 top-view 영상으로 변환하여 거리를 계산한다. 그림 2는 거리 계산을 위한 영상간 대응 관계를 보여주고 있다. 원 영상에서 수평과 수직의 참조 거리인  $l_h$  [m]과  $l_v$  [m]는 실측 거리이고 이들은 top-view 영상에서 각각 거리  $n_h$  [pixel]과

$n_v$ [pixel]로 대응된다. 따라서 top-view 영상에서 수평과 수직의 화소간 거리  $u_h$ 과  $u_v$ 는 식 (1)로 계산된다. 그림 2(a)의 원영상의 기준 화소( $o$ )와 임의 화소( $p$ )간 수평과 수직 방향의 실제 거리  $d_x$ 과  $d_y$ 는 그림 2(b) 영상에서  $o$ 와  $p$ 의 대응점인  $O$ 와  $P$ 간 거리  $n_x$ 과  $n_y$ 를 화소 단위로 검출하여 식 (2)을 이용해 m 단위로 계산한다.

$$u_h = l_h/n_h \text{ [m/pixel]}, u_v = l_v/n_v \text{ [m/pixel]} \quad (1)$$

$$d_x = n_x \times u_h \text{ [m]}, d_y = n_y \times u_v \text{ [m]} \quad (2)$$

계산 부담을 줄이기 위해 기준 화소와 임의 화소 사이의 거리를 나타내는 거리 참조표를 사전에 생성하는 것이 유용하다.

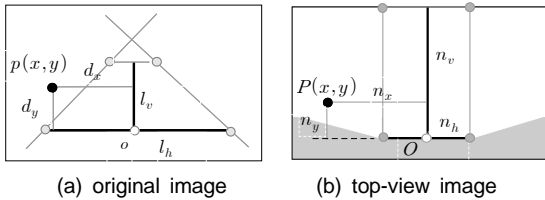


Fig. 2 Distance calculation

### III. 전방 차량 움직임 추정 알고리즘

본 장에서는 차도 영역에서 차량을 검출하고 프레임 간 차량의 움직임을 추정하는 알고리즘을 기술한다. 그림 3은 제안된 알고리즘의 순서도이다.

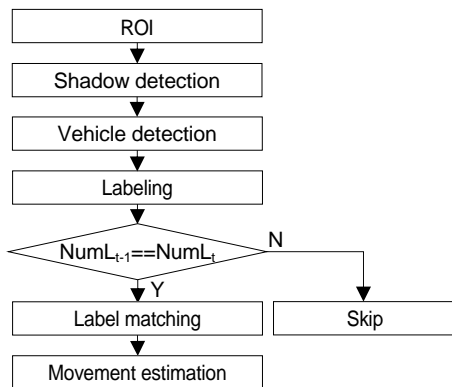


Fig. 3 Flowchart for the proposed algorithm

ROI 블록은 차량 움직임 추정을 위한 관심 영역을 주행 차로와 양옆 차로가 top-view 영상의 유효 영역에 포함되도록 지정한다. 즉, 그림 1(b)의 흰 영역이 호모그래피 행렬[6,8]의 역변환으로 변환된 형상으로 그림 4와 같다. 검은 색으로 제외된 상단은 배경 영역이고 하단은 영상에 들어온 실험 차량의 본넷 영역이다.

Shadow detection 블록은 차량 하단 그림자를 검출한다. 차량 하단 그림자는 일관성있게 도로면에 나타나 차량 검출에 유용할 뿐만 아니라 차량 크기에 무관하게 차량 위치를 대표할 수 있다. 그림자 검출은 그림자가 높은 채도와 낮은 밝기를 갖는 사실을 이용하고 있다 [9]. 먼저 채도 성분( $I_s$ )과 명도 성분( $I_v$ )의 차로 그림자가 강조된 영상( $I_{ES} = I_s - I_v$ )을 생성하고, 식 (3)의 임계치 기법을 적용하여 그림자 영상( $I_{VS}$ )을 생성한다.

$$I_{VS} = I_{ES} > th, th = \max\left(T, \frac{\text{mean}(I_{ES}(>0))}{2}\right) \quad (3)$$

여기서  $\text{mean}(I_{ES}(>0))$ 은  $I_{ES}$ 에서 0보다 큰 값들의 평균이고,  $T$ 는 실험적으로 얻어진 최저 임계치로 100을 사용하고 있다. 그림 5는 도로 영상의 관심 영역에서 (a) 명도, (b)채도, (c)그림자 영상들을 보여주고 있다. 차량 하단부의 그림자는 물론 차량 전면의 그릴과 가드레일 같은 주변 잡음이 검출된 것을 확인할 수 있다.



Fig. 4 ROI

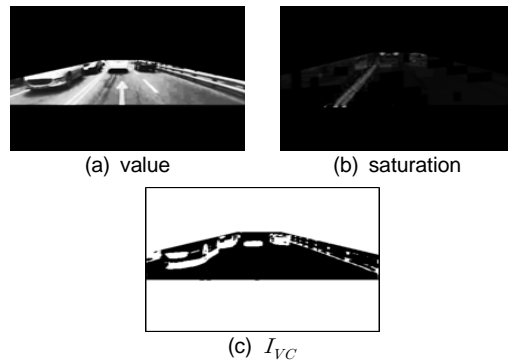


Fig. 5 Shadow detection

Vehicle detection 블록은 그림자 영상에서 유효 차량 그림자를 검출한다. 유효 차량 그림자 검출을 위해 그림자 영상에서 주변 잡음들을 제거 하고 연결된 인접 차량들의 그림자들을 분리해야 한다. 그림자들의 제거, 분리, 결합은 모폴로지 연산에 의해 수행된다. 일반적으로 모폴로지[10]의 구조 요소(structuring element)는 정사각형 구조이지만 본 논문에서는 가로형 직사각형 구조(15×3)와 세로형 직사각형 구조(3×15)를 사용한다. 전자는 수직 위치가 다른 차량들의 연결된 그림자들을 분리하기 위한 침식(erosion) 연산에 사용되고, 후자는 그림처럼 동일 차량에 의해 그림자 상단에 발생하는 그림자를 병합하기 위한 닫기(close) 연산에 사용된다. 그림 6(a)는 침식 연산으로 차량들을 분리시키면서 주변 잡음을 제거시켜 주고, 그림 6(b)는 닫기 연산으로 동일 차량에서 발생한 그림자들을 결합시켜 주고 있다. 모폴로지 연산 후 남아 있는 객체는 차량 후보가 된다.

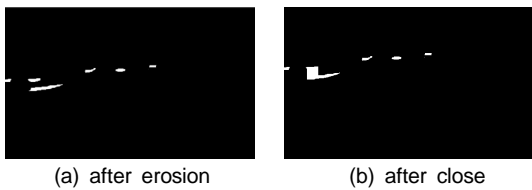


Fig. 6 Vehicle candidate detection

Labeling 블록은 차량들의 프레임간 움직임 추정을 위해 객체들에게 순차적으로 레이블(label)을 부여한다. 레이블 순서는 화소 단위의 좌우상하 방향으로 이동하면서 발견된 객체 순서에 따라 지정된다. 레이블링 과정에서 50 화소 이하의 작은 객체들은 제거되고, 유지된 레이블들의 중심 좌표를 차량의 위치로 간주하고 실험 차량에 대한 수평/수직 거리를 거리 참조표를 참조해 저장한다.

Labeling matching 블록은 현 프레임(t)의 차량(레이블)을 직전 프레임(t-1)에서 가장 인접한 차량을 대응시켜주는 것으로 검출된 차량의 수(NumL)가 프레임간 유지될 때만 수행된다. 차량 수가 달라지면 매칭 오류가 발생할 수 있어 Skip 블록을 통해 다음 프레임을 기다린다. 차량 겹침이나 추월 상황에서 매칭 오류가 발생할 수 있지만 두 차량이 인접해 위치가 같거나 오차가 매우 작다. 그림 7은 검출된 차량들의 레이블들과 실험 차량에 대한 거리들을 보여주고 있다. 그림에서 차량의

위치에 비해  $d_y$ 의 차가 큰 것은 같은 차량도 근거리에서와 원거리에서 다르게 보이듯 위치에 따라 화소간 실제 거리가 다르기 때문이다. Movement estimation 블록은 레이블 매칭된 차량들의 프레임간 움직임을 추정한다. 고려된 움직임 추정은 실험 차량에 대한 근접 거리( $W_a$ ), 프레임간 측방 접근 속도( $W_x$ ), 프레임간 전방 접근 속도( $W_y$ )이고 식 (4)를 이용해 추정되고 있다.

$$\begin{aligned} W_a &= d_y(t), \\ W_x &= |d_x(t-1) - d_x(t)|, \\ W_y &= d_y(t-1) - d_y(t), \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $d_x$ 와  $d_y$ 는 각각 실험 차량과 전방 차량간 수평, 수직 방향 거리이다. 움직임 추정은 전방 차량 추돌 경고를 위한 정보로 활용될 수 있다.

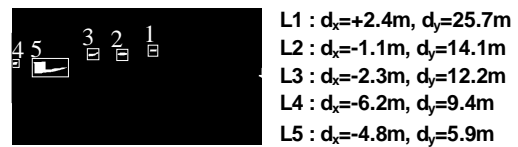


Fig. 7 Labeling

#### IV. 실험 및 검토

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 화소 위치에 따른 거리 계산의 유효성을 확인하고, 다양하게 취득된 표 1의 도로 주행 동영상들에서 전방 차량의 움직임 추정을 수행한다. 실험 동영상들은 2001년식 기아 옵티마의 전방 내부에 장착된 소니 액션캠 HDR-AZ1에 취득된 HD급 영상을 640×360 영상으로 변환되었다.

그림 8은 본 논문에서 제안된 수직 화소 위치(y)에 따라 계산된 거리와 실제 측정 거리를 비교하고 있다. 측정 거리는 도로상 1m 간격으로 마커를 표시하여 측정하였다. 그러나 top-view 변환의 특성상 먼 거리(영상 상단)는 화소간 거리가 멀어지면서 영상이 펼쳐지고, 가까운 거리(영상 하단)는 화소간 거리가 가까워지면서 축소된다. 그래서 원영상과 top-view 영상간 마커의 대응관계의 정확성이 떨어진다는 사실은 피하기 어려웠고 특히 먼 거리일수록 오차는 더 커졌다. 그러나 실제 위험 요소가 될 수 있는 전방 10m 내의 거리에서는 오차가 1m 이하로 신뢰할 수 있다.

Table. 1 Experiment videos

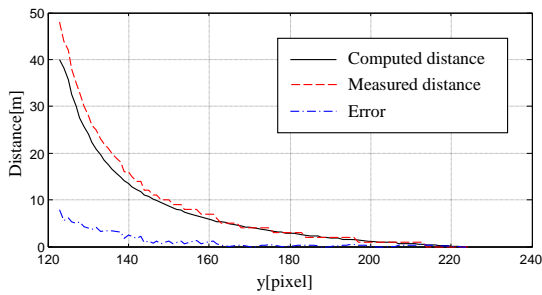


Fig. 8 Evaluation on the distance calculation

영상기반 전방 추돌 경고에 적용이 고려되고 있는 제안된 알고리즘의 성능 평가 실험은 정확한 움직임 추정보다 전방 추돌 위험 요소를 검출할 수 있는지를 평가하였다. 여기서 고려된 위험 요소는 그림 9와 같이 근접 거리(Wa), 측방 접근 속도(Wx), 전방 접근 속도(Wy)이고 각각 5[m] 이하, 0.3[m/5프레임] 이상, 0.5m[m/5프레임] 이상일 때를 위험 상황으로 판단하였다.

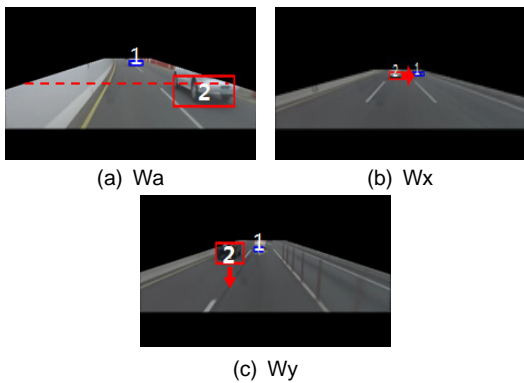


Fig. 9 Types of forward collision danger

표 2는 전방 차량 움직임 추정의 유효성 평가 실험의 결과이다. N\_O\*는 사전에 조사된 동영상내 전방 추돌 위험 요소들이 발생한 횟수이고, N\_W\*는 제안된 알고리즘이 위험 상황을 감지한 횟수이다. 각 동영상에서

전방 추돌 위험 검출률이 각각 평균 97.0%, 97.5%, 96.5%, 95.2%, 98.1%이고, 전방 추돌 위험 종류에 따른 검출률은 각각 평균 98.8%, 95.8%, 94.4%이다. 근접 위험의 경우 비교적 가까운 거리에서 수행되므로 가장 우수한 검출 성능을 보여주고 있다. 위험 검출에 실패하는 경우는 비교적 원거리에 있는 차량들에서 발생하고 있는데 이는 원거리의 화소간 거리가 근거리의 화소간 거리보다 멀기 때문에 발생하고 있다.

Table. 2 Detection rate of forward collision danger

danger \ videos		v1	v2	v3	v4	v5	total (%)
Wa	N_Oa	45	55	50	55	40	98.8
	N_Wa	45	55	49	53	40	
	rate(%)	100	100	98.0	96.3	100	
Wx	N_Ox	20	15	25	20	25	94.3
	N_Wx	18	14	23	19	25	
	rate(%)	90.0	93.3	92.0	95.0	100	
Wy	N_Oy	35	50	40	50	40	95.8
	N_Wy	34	48	39	47	38	
	rate(%)	97.1	96.0	97.5	94.0	95.0	
total(%)		97.0	97.5	96.5	95.2	98.1	

## V. 결론

본 논문은 차량 전방에 장착된 단일 카메라에 의해 취득된 영상에서 차량을 검출하고 검출된 차량의 움직임을 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 차량 움직임 추정에 앞서 차량간 거리를 쉽게 계산하기 위해 거리 참조표를 생성하였다. 제안된 알고리즘은 관심 영역에서 차량의 그림자를 이용해 차량 후보 객체들을 검출하고, 모폴로지와 레이블링 기법을 이용해 객체들 중 유효 차량을 검출하고 거리 정보를 저장한다. 유효 차량들에 대해 프레임간 실험 차량에 대한 거리 변화를 계산해 근접 거리, 측방 접근 속도, 전방 접근 속도 같은 차량

움직임을 추정한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가는 도로 주행 동영상들에서 일정 조건을 만족하는 전방 추돌 위험들을 검출하는 것으로 수행되었다. 전방 추돌 위험인 근접 위험, 측방 접근 위험, 전방 접근 위험에 대한 검출률은 각각 평균 98.8%, 95.8%, 94.4%이다. 비교적 가까운 거리에서 수행된 근접 위험에서 가장 우수한 검출 성능을 보여주었고 실패한 위험 검출은 비교적 원거리에서 있는 차량들에서 발생하고 있다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Pukyong National University Research Abroad Fund in 2015(C-D-2015-0497)

### REFERENCES

[ 1 ] T. Jiang, S. Petrovic, U. Ayyer, A. Tolani and S. Husain, "Self-Driving Cars: Disruptive or Incremental?," *Applied Innovation Review*, UC Berkeley, no 1. pp. 3-22, Jun. 2015.

[ 2 ] Autonomous\_car [Internet]. Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous\\_car](https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_car).

[ 3 ] M. Zhao, "Advanced Driver Assistant System," Technical White Paper, Intel, 2015 [Internet]. Available : <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/advanced-driver-assistant-system-paper.pdf>.

[ 4 ] K. D. Kusano, and H. C. Gabler, "Safety benefits of forward collision warning, brake assist, and autonomous braking systems in rear-end collisions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, no. 4 pp. 1546-1555, Dec. 2012.

[ 5 ] D. G. Bailey, "A new approach to lens distortion correction," in *Proceedings of Image and Vision Computing*, Auckland, pp. 59-64, 2002.

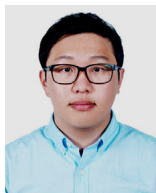
[ 6 ] Y. H. Yu and S. W. Jang, "Design and Implementation of 4-sided Monitoring System Providing Bird's Eye View in Car PC Environment," *Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 1, pp.153- 159, Aug. 2012.

[ 7 ] H. G. Jung, and J. K. Suhr, "Lane Detection-based Camera Pose Estimation," *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 23, no. 5, pp. 463-470, Sep. 2015.

[ 8 ] H. D. Park and J. S. Oh, "Lane Departure Detection Using a Partial Top-view Image," *Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 10, pp.1553- 1559, Aug. 2017.

[ 9 ] A. Mukhtar, L. Xia, and T. B. Tang, "Vehicle detection techniques for collision avoidance systems: A review," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* vol. 16, no. 5, pp. 2318-2338, Oct. 2015.

[10] R. C. Gonzalez and E. W. Richard, *Digital Image Processing*, 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey, NJ: Prentice Hall, 2008.



박한동(Han-dong Park)

부경대학교 융합디스플레이공학과 공학사  
부경대학교 대학원 융합디스플레이공학과 공학석사  
현재 ㈜VM 연구원  
※관심분야 : 디지털영상처리, 비디오영상처리, 컴퓨터비전



오정수(Jeong-su Oh)

중앙대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학박사  
현재 부경대학교 융합디스플레이공학과  
※관심분야 : 디지털영상처리, 비디오영상처리, 적외선 신호처리