

## 부분 top-view 영상을 이용한 차선 이탈 검출

박한동<sup>1</sup> · 오정수<sup>2\*</sup>

### Lane Departure Detection Using a Partial Top-view Image

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 자동차 전방에 장착된 단일 카메라를 이용한 차선 이탈 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 카메라에 의해 취득된 영상으로부터 top-view 공간에 지정된 작은 관심 영역을 위한 부분 top-view 영상을 생성하고, 작은 부분 top-view 영상에서 차선을 검출하고, 미리 지정된 가상 자동차와 검출된 차선들의 겹침을 조사해 차선 이탈을 결정한다. 또한 제안된 알고리즘은 차선 사이에서 차선 이탈 검출을 방해하는 도로 표기(잡음)에 의한 직선들의 제거와 이전 프레임의 차선 정보를 이용한 손실된 차선의 예측을 포함한다. 실제 주행 동영상을 이용한 차선 이탈 검출 실험에서 제안된 알고리즘은 차선 유지 상태에서 99.0%, 차선 이탈 상태에서 94.7%를 정상적으로 검출한다.

#### ABSTRACT

This paper proposes a lane departure detection algorithm using a single camera equipped in front of a vehicle. The proposed algorithm generates a partial top-view image for a small ROI (region of interest) designated on the top-view space from the image acquired by the camera, detects lanes on the small partial top-view image, and makes a decision on the lane departure by checking overlap between the pre-assigned virtual vehicle and the detected lanes. The proposed algorithm also includes the removal of lines occurred by road symbols (noises) disturbing the lane departure detection between lanes and the prediction of lost lanes using lane information of previous frames. In lane departure detection test using real road videos, the proposed algorithm makes the right decision of 99.0% in lane keeping conditions and 94.7% in lane departure conditions.

**키워드** : 차선 이탈, 차선 검출, 차선 예측, 자율 주행, top-view 영상

**Key word** : Lane Departure, Lane Detection, Lane Prediction, Self Driving, Top-View Image

Received 30 March 2017, Revised 04 April 2017, Accepted 13 April 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.2017.21.8.1553>

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

최근 IT 기술이 자동차에 접목되면서 운전자 보조 시스템(advanced driver assistance system, ADAS)을 갖는 스마트 자동차(smart car)는 물론 무인 자율 주행 자동차(self driving car) 개발에 관심이 커지고 있다[1-4]. 이들은 다양한 센서들을 이용해 운전자의 시각 정보를 대신 취득하고, 시스템이 인지된 정보를 운전자에게 알리거나 인지된 정보를 근거로 주행 자동차를 제어한다. 다양한 운전자 보조 기능 중 자동차가 주행하는 동안 운전자의 의지와 달리 발생하는 차선 이탈을 인지하고 경고하는 것은 스마트 자동차나 자율 주행 자동차에 있어 보다 안전한 주행을 위한 기본적인 기능이다[3,4].

본 논문은 자동차 전방에 설치된 단일 카메라를 이용한 차선 이탈 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 보다 정확한 정보를 얻기 위해 카메라 렌즈에 의한 방사 왜곡(Barrel distortion)과 카메라 자세에 의한 영상 기울어짐을 보정한다. 그리고 효율적인 차선 이탈 결정을 위해 보정된 영상에서 top-view 공간에 미리 지정된 작은 관심 영역의 부분 top-view 영상을 생성한다. 차선 이탈은 자동차 전방의 작은 영역만으로 판단할 수 있어 관심 영역을 top-view 공간의 영상 전체가 아닌 자동차 전방의 작은 영역에 지정된다. 제안된 알고리즘은 부분 top-view 영상에서 차선을 검출하여 미리 설정된 가상 자동차와 겹침을 비교하여 차선 이탈을 결정한다. 아주 작은 부분 top-view 영상을 사용하므로 계산량을 크게 줄일 수 있고 분명한 차선을 얻을 수 있다. 또한 제안된 알고리즘은 차선 이탈 검출을 방해하는 차선 사이의 도로 표기(잡음)에 의한 직선들을 제거하고, 차선이 검출되지 않을 때는 이전 프레임의 차선 정보를 이용해 손실된 차선을 예측한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 외곽 도로에서 취득된 시간과 장소가 다른 여러 동영상들에서 차선 이탈을 검출하여 제안된 알고리즘의 유효성을 평가하고 있다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서 영상 보정, 3장에서 Top-view 영상 변환에 대해 기술하고, 4장에서 제안된 차선 이탈 검출 알고리즘 기술하고, 5장에서 제안된 알고리즘의 실험 결과를 평가하고 결론을 맺는다.

## II. 영상 보정

카메라에 의해 취득된 영상은 카메라 렌즈와 카메라 자세에 의해 필연적으로 방사 왜곡과 영상 기울임을 포함하게 된다. 본 논문에서는 보다 정확한 정보를 추출하기 위해 이들을 보정한다.

방사 왜곡은 렌즈의 중심으로부터 멀어질수록 화소의 위치가 왜곡되는 현상이다. 방사 왜곡을 보정하기 위해서는 초점 거리(focal length), 주점(principal point), 비대칭 계수(skew coefficient) 등의 카메라 내부 계수와 왜곡 계수를 구한 후 행렬식을 이용해 보정한다. 계수들은 체스판 형태의 보정 패턴을 촬영하고 특징점들을 이용하여 계산된다[5,6].

자동차 전방 카메라는 설치하는 순간마다 카메라 자세가 달라지고 영상 기울임이 발생한다. 영상 기울임은 영상처리에 장애를 줄 수 있어 보정이 필요하다. 수작업에 의한 카메라 자세 보정은 보정 결과를 보장할 수 없다. 그래서 본 논문에서는 평행인 두 직선을 여러 방향에서 촬영하고 평행한 두 직선들이 교차하는 소실점들(vanishing point)을 한 영역에서 표시하고 이들을 이어 생성된 소실선(vanishing line)을 이용한다. 이는 카메라 기울기와 일치하고 이를 수평으로 변환하면 영상 기울어짐을 보정할 수 있다[7].

그림 1은 영상 보정 과정을 보여주고 있다. 그림 1(a)에서 방사 왜곡에 의해 건물 경계가 휘어진 모습(곡선 점선)이 보정에 의해 그림 1(b)에서 반듯한 건물 경계(직선 점선)으로 보정되었고, 그림 1(b)에서 흰 수평선처럼 기울어진 영상이 보정에 의해 그림 1(c)에서 흰 수평선처럼 반듯한 영상으로 보정되었다.

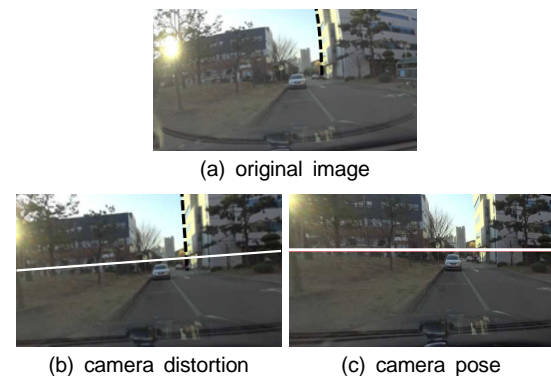


Fig. 1 Image correction

### III. Top-view 영상 변환

Top-view 영상 변환은 높은 상공에서 지상을 바라보는 듯한 영상을 생성하는 것이다. Top-view 영상은 원근감이 제거되고 관심 영역에 필요한 정보가 집중되는 효과를 갖는다. Top-view 영상 변환은 호모그래피(Homography)에 의해 가능하다[6,8]. 호모그래피는 한 평면이 다른 평면으로 투영될 때 대응점들 사이의 일정한 변환 관계를 나타내는 것으로 3×3 행렬로 표현된다. 호모그래피 행렬은 두 평면간 4쌍 이상의 대응점들을 이용해 식 (1)을 만족하는 행렬 요소인  $h_{11} \sim h_{33}$ 을 구하므로 얻을 수 있다. 본 논문에서는 차선이 이상적으로 취득된 그림 2(a) 영상에서 차선 위 4개의 대응점들을 지정하고 이를 사각형으로 투영하는 호모그래피 행렬을 구했다. 그림 2(b)는 호모그래피를 이용해 변환된 top-view 영상으로 차선이 가상 자동차(흰 수평선) 앞의 영역으로 집중되어 차선 검출을 위한 관심 영역(ROI)을 작게 설정할 수 있다. Top-view 영상 변환의 계산 부담은 top-view 영상 전체가 아닌 관심 영역만을 변환하여 줄인다.

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}, i = 1,2,3,4 \quad (1)$$

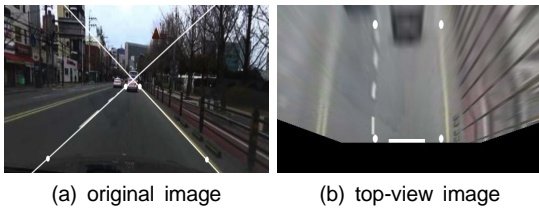


Fig. 2 Top-view image conversion

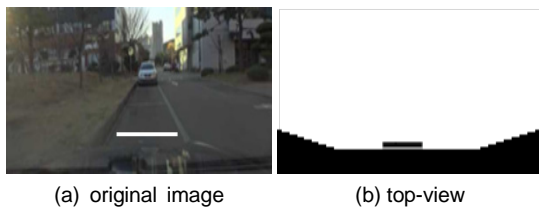


Fig. 3 Virtual car's width and position in images

그림 3은 차선 이탈 검출을 위한 가상 자동차의 폭과 위치를 보여주고 있다. 원 영상에서 주차 공간을 이용해 그림 3(a)와 같이 가상 자동차(흰 수평선)가 지정되고, 이를 top-view 변환에 의해 그림 3(b)와 같이 가상 자동차(검은 수평선)가 top-view 공간에 지정된다.

### IV. 제안된 차선 이탈 검출 알고리즘

제안된 차선 이탈 검출 알고리즘은 부분 top-view 영상(PTVIm)에서 차선을 검출하고, 차선과 가상 자동차가 겹치는지를 판단하여 차선 이탈을 검출한다. 그림 4는 제안된 알고리즘의 흐름도이다.

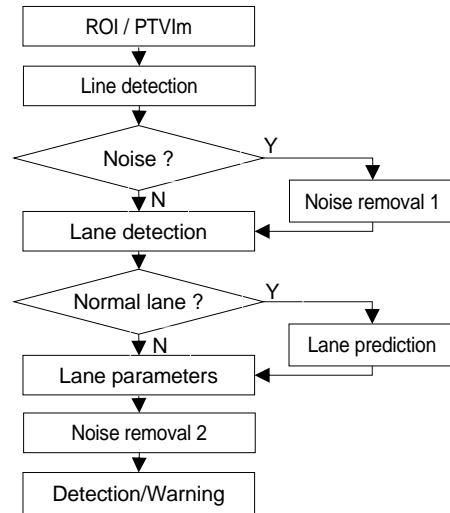


Fig. 4 Flowchart for lane departure detection

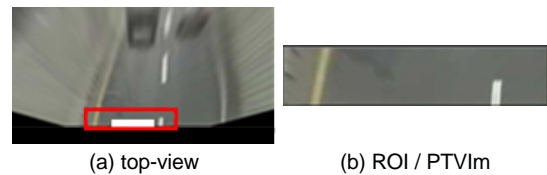


Fig. 5 ROI setting

관심 영역은 그림 5(a)와 같이 top-view 공간에서 가상 자동차 전방의 작은 영역(220×40)에 지정된 부분 top-view 영상이다. 부분 top-view 영상은 비록 작은 영역이지만 그림 5(b)와 같이 차선 이탈을 검출할 수 있을

정도로 차선을 충분히 포함하고 있다. 부분 top-view 영상은 원 영상의 3.82% 밖에 안 된다.

관심 영역에서 차선 검출 과정을 그림 6에 보여주고 있다. 먼저 그림 6(a) 같은 이진 영상이 생성되고, 이를 그림 6(b)와 같이 확장된 관심 영역(Ext-ROI)의 영상으로 변환한다. 그리고 확장 관심 영역에서 허프 변환을 수행하여 그림 6(c)와 같은 유효한 직선들을 검출한다 [9]. 검출된 직선은 잡음 제거 후 차선으로 인식된다. 확장 관심 영역은 관심 영역의 상하단에 관심 영역 높이의 1/4 크기 영역이 덧붙여진 영역으로 추후 차선과 구분되는 잡음 직선들을 제거하기 위해 생성되었다. 그림 6은 분명한 차선 형태를 갖는 이상적인 조건의 영상이다. 그러나 횡단보도, 정지선, 노면 안내 표기 등이 관심 영역에 포함되는 경우 이들은 다양한 수직/수평 방향의 직선들을 발생시키고 차선 검출을 방해한다. 그래서 이들은 불필요한 잡음 직선으로 제거되어야만 한다. 잡음 제거는 검출된 유효한 수평 직선으로 잡음 존재를 확인하고 수행된다.

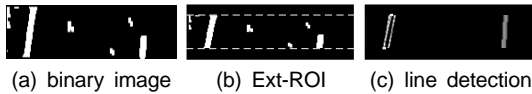


Fig. 6 Lane detection

잡음의 존재를 확인하고 제거 방법을 기술하기 위해 횡단보도가 관심 영역에 포함된 경우를 그림 7에 모델링하고 있다. 수평 방향 두 직선(굵은 직선)은 잡음의 존재를 의미하고, 수평 방향의 직선들에서 좌측 상단(minY)와 우측 하단(maxY)으로 생성되는 빗금친 박스의 내부 직선들을 잡음으로 간주하여 제거한다. 그러나 도로 표기가 훼손되어 유효한 수평 직선을 검출하지 못하는 경우 잡음 제거를 할 수 없다. 이런 잡음들은 2차 잡음 제거에 의해 제거된다. 확장 관심 영역은 도로 표기들이 관심 영역에 의해 잘려 만들어 지는 수평 직선을 검출하기 위해 필요하다. 반면 차선에서는 무의미한 짧은 수평 직선이 생성된다.

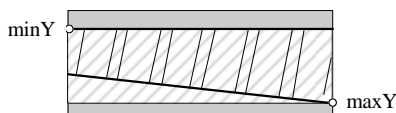


Fig. 7 Noise Removal

잡음 제거 후 남은 차선들은 그림 8과 같이 3 가지 형태가 존재한다. 그림 8(a)는 두 차선이 정상적으로 검출된 경우이고 그림 8(b)와 (c)는 각각 한 차선과 두 차선이 검출되지 않은 경우이다. 그림 8(b)와 (c)와 같이 손실된 차선에 대해서는 차선 예측이 수행된다.

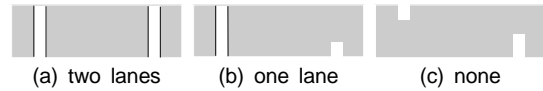


Fig. 8 Types of detected lanes

검출된 차선이나 예측된 차선에 대해서 이후 프레임에서 차선 예측을 대비해 그림 9와 같은 차선 변수를 계산하여 저장한다. 한 차선만 손실된 경우는 현 차선 변수를 식 (2)와 같이 계산하고, 두 차선이 손실된 경우는 직전 두 프레임의 차선 변수들을 이용해 현 차선 변수들을 식 (3)와 같이 테일러 급수(Taylor series)를 활용한 근사식으로 계산한다[10].

$$D_R = D_{LW^{-1}} - D_L, \quad D_L = D_{LW^{-1}} - D_R \quad (2)$$

$$D_X = D_{X^{-1}} + (D_{X^{-1}} - D_{X^{-2}}), \quad X: R, L \quad (3)$$

여기서 첨자 -1과 -2는 각각 전 프레임과 전전 프레임을 의미한다. 손실된 차선의 위치는 식 (2)와 (3)에서 계산된 변수들을 이용해 식 (4)와 같이 예측된다.  $X_c$ 는 차량의 중심 위치이고 모든 변수는 ROI의 수직 중심에서 계산된다.

$$X_R = X_c + D_L, \quad X_L = X_c - D_L \quad (4)$$

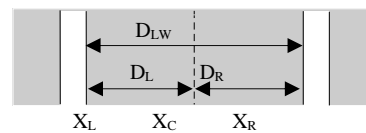


Fig. 9 Parameters for lane prediction

실제 검출되는 차선 혹은 예측된 차선이 양쪽 모두 존재한다면 차선 사이의 직선들을 제거시킨다. 이는 2차 잡음 제거로 1차 잡음 제거에서 제거되지 않은 잡음을 제거시킬 수 있다.

Table. 1 Experiment videos



V. 실험 결과 및 검토

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 다양한 시간과 장소에서 표 1과 같은 자동차 주행 동영상을 취득하였다. 실험 동영상은 2001년식 기아 옵티마의 전방 유리창 내부에 장착된 소니 액션캠 HDR-AZ1에 취득된 HD급 영상이 640×360 영상으로 변환된 영상이다.

표 2는 원 영상(ORG)과 top-view 공간에서 허프 변환을 이용한 차선 검출 결과를 비교하고 있다. ORG 공간에서는 소실점 위와 자동차 본넷 영역이 제거된 중간 영역(640×220)에서, top-view 공간에서는 ROI 영역(220×40)에서 차선이 검출되었다. 허프 변환을 위해 이용된 에지 화소수는 교통 환경에 따라 차이가 있지만 top-view 공간이 ORG 공간과 비교해 4%~6% 정도밖에 안되고 검출된 차선도 ORG 공간에서는 차선이 중복 검출되고 있으나 top-view 공간에서는 실제 차선만 간결하게 검출하고 있다. 괄호의 수는 각도가 제한된 직선으로 순수 차선에 의한 직선이다.

Table. 2 Example of lane detection

space	lane detection	# of pixel	# of lane
ORG		3155	32(8)
top-view		163	5

그림 10은 한 차선의 길이가 너무 작아 손실된 차선을 근사적으로 예측한 예를 보여준다. 실험에서 차선을 유지하며 손실된 차선들은 100% 근사적으로 예측되어 차선 이탈 검출에 영향을 주지 않는다.



Fig. 10 Lane prediction

표 3은 횡단 보도(CW), 정지선(SL), 과속 방지턱(SB), 노면 안내 표시(RW), 노면 화살표(RA)의 잡음들에서 잡음 제거율을 보여주고 있다. 전체적으로 잡음 제거율이 98.3%이고 실패한 경우는 대부분 도로 표기가 심하게 훼손되어 수평 직선이 검출되지 않아 잡음 존재를 확인하지 못해 발생한다. 이때 차선이 유지되면서 수직 직선들이 검출되는 경우 차선 이탈 검출에 영향을 줄 수 있다.

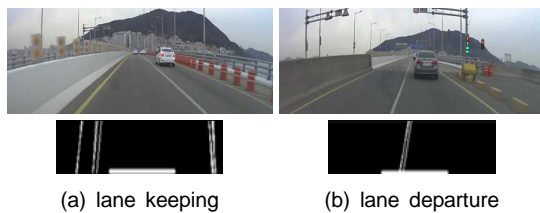
Table. 3 Rate of noise removal

	CW	SL	SB	RW	RA
# of noise	88	107	57	31	13
# of removal	85	107	56	31	12
rate(%)	96.5	100	98.2	100	92.3

차선 이탈 평가는 자동차의 측면 영상을 취득하여 차선 이탈 순간을 비교한다. 표 4는 각 동영상의 500프레임에 대해 차선을 유지하는 경우(LaneK)와 차선을 이탈하는 경우(LaneD)에서 올바른 검출(RightD) 횟수를 보여주고 있다. 차선 유지의 경우 98.5%~99.5%, 차선 이탈의 경우 89.5%~ 98.7%를 올바르게 검출하고 있다. 실패하는 경우 극소수가 잡음의 영향이고 대부분은 차선 이탈 순간에 발생하고 다음 평가에서 올바른 검출이 이루어진다. 그림 11은 실험에서 차선 유지의 경우와 차선 이탈의 예를 보여주고 있다.

**Table. 4** Results of lane departure detection

	v1	v2	v3	v4	v5
LaneK	411	378	425	407	443
RightD	408	376	420	401	438
rate(%)	99.3	99.5	98.8	98.5	98.9
LaneD	89	122	75	93	57
RightD	85	113	74	90	51
rate(%)	95.5	92.6	98.7	96.8	89.5



**Fig. 11** Examples of lane departure detection

## VI. 결 론

본 논문은 부분 top-view 영상을 이용해 주행 자동차의 차선 이탈을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 보다 정확한 정보 추출을 위해 취득된 영상의 방사 왜곡과 기울어짐이 보정되었고, 부분 top-view 영상 영역에서 설정된 가상 자동차와 검출된 차선의 겹침을 조사해 차선 이탈을 검출한다. 적절한 차선 이탈 검출을 위해 도로 표기(잡음)에 의한 직선들을 제거하였고, 손실된 차선을 예측하였다. 차선 검출이 차선이 집중되는 top-view 공간의 아주 작은 영역에서 수행되어 허프 변환(직선 검출)을 위한 에지 화소수가 원 영상과 비교해 4%~6%에 불과해 계산량을 크게 줄여 주었고 분명한 차선을 얻게 하였다. 차선 유지와 차선 이탈을 검출하는 실험에서 동영상에서 따라 차선 유지의 경우 98.5%~99.5%, 차선 이탈의 경우 89.5%~98.7%를 올바르게 검출하였다. 잘못된 검출의 대부분은 차선 경계에서 발생하여 다음 프레임에서 정상적인 검출이 이루어진다.

## 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 ] C. R. Jung and C. R. Kelber, "A lane departure warning system based on a linear-parabolic lane model," in *Proceedings of 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, pp. 891-895, 2004.
- [ 5 ] D. G. Bailey, "A new approach to lens distortion correction," in *Proceedings of Image and Vision Computing*, Auckland, pp. 59-64, 2002.
- [ 6 ] S. G. Hwang, *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, Seoul, Hanbit Publishing Network, Inc., 2009.
- [ 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, May 2015.
- [ 8 ] L. Alvarez, L. Gomez, P. Henriquez, and L. Mazorra, "Automatic camera pose recognition in planar view scenarios," in *Proceedings of 17th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition*, Buenos Aires, pp.406-413, 2012.
- [ 9 ] P. Mukhopadhyay, and B.B. Chaudhuri, "A survey of Hough transform." *Pattern Recognition*, vol. 48, no. 3, pp.993-1010, Mar. 2015.
- [ 10 ] Y. Ren, B. Zhang and H. Qiao, "A Simple Taylor-series Expansion Method for a Class of Second Kind Integral Equations," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 110, no. 1, pp. 15-24, Jan. 1999.



**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, 딥러닝, 적외선 신호처리