

# 영상처리를 이용한 지하철 스크린 도어의 경계선 침범인식 알고리즘 연구

백운석\* · 이하운\*\*

## Algorithm for Detecting PSD Boundary Invasion in Subway PSD using Image Processing

Woon-Seok Baek\* · Ha-Woon Lee\*\*

### 요 약

지하철 스크린도어(PSD)에서 발생할 수 있는 안전사고 예방을 위한 영상처리 알고리즘을 제안한다. 우선 지하철 스크린도어 영상에 대해 에지를 검출 하고, 사람의 스크린도어 접근 여부를 판단하기 위해 호프변환을 이용하여 직선을 검출한다. 이를 위해 스크린도어 경계면에 일직선을 긋고 이 직선의 굽김 여부로 사람의 접근을 판단한다. 일반적으로 에지는 영상의 가장 기본적인 특징을 나타내며, 에지 검출은 영상처리 및 컴퓨터 비전 분야에서 매우 중요하다. 에지 검출 방법에는 로버츠, 소벨, 프리윗, 라플라시안 등 고정된 값의 마스크를 사용하는 방법과 영상을 형태학적 관점에서 접근하여 처리하는 모폴로지 방법 및 캐니에지 검출 방법 등이 있다. 본 논문에서는 캐니에지 검출방법과 호프변환을 이용하여 지하철 스크린도어에서 사람의 접근 여부에 대한 감지 알고리즘을 제안하고 실제 그 결과를 컴퓨터 시뮬레이션으로 나타내었다.

### ABSTRACT

This paper propose image processing algorithm to prevent safety accidents near by subway platform screen door(PSD). First, edges of the subway PSD images are detected and the boundary line between PSD and subway platform is detected to decide people's approach to the PSD using Hough transform. To do this, we draw the boundary line between the PSD and platform, to detect the boundary line and to decide the people's approach to the detected line is completely connected or not. Generally, edge is the basic characteristic of image; thus, edge detection is very important in image processing applications and computer vision area. The conventional edge detection methods such as Roberts, Sobel, Prewitt, and Laplacian etc, which are using a fixed value of mask, and morphological gradient from the structuring element of view and Canny edge detector are widely used. In this paper, we propose the detection algorithm about the people's approach to the subway PSD to prevent the safety accidents by using Canny edge detector and Hough transform and the computer simulation shows the results.

### 키워드

Canny Edge Detection, Edge Detection, Hough Transform, Line Detection, PSD  
캐니 에지 검출, 에지 검출, 호프 변환, 직선 검출, PSD

\* 동양대학교 컴퓨터정보통신공학부(wsbaek@dyu.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 동양대학교 철도전기융합학과

• 접수일 : 2018. 08. 20

• 수정완료일 : 2018. 09. 17

• 게재확정일 : 2018. 10. 15

• Received : Aug. 20, 2018, Revised : Sep. 17, 2018, Accepted : Oct. 15, 2018

• Corresponding Author : Ha-Woon Lee

Dept. Electric Railway Convergence Science, Dongyang University,

Email : hwlee@dyu.ac.kr

## 1. 서론

현대와 같은 정보화 사회에서 매체의 발달에 따라 영상을 이용하여 정보처리에 많이 활용하고 있으며, 이를 위해 영상의 주요 특징점을 추출하여 중요한 정보로 사용한다. 영상신호처리를 하는 목적을 크게 두 가지로 볼 때 첫 째로 영상 관찰을 쉽게 하려는데 있다. 두 번째로는 컴퓨터를 이용한 영상 자동 인식 시스템에서 쉽게 영상을 인식하여 여러 가지 용도에 활용하는데 있다고 볼 수 있다[1]. 이러한 영상 인식에 많이 이용되는 방법 중 에지 검출은 물체의 크기, 방향, 윤곽 등의 정보를 포함하므로 각종 영상 분석에 많이 활용되는데, 특히 차량 번호 인식, 도로 주행시 차선 인식 및 차량 인식, 사람 얼굴 인식, 로봇분야, 의료 영상에 대한 분석 등에 다양하게 응용되며 국내외적으로도 많은 연구가 되고 있다[2-9].

일반적인 에지 검출 방법에는 로버츠(Roberts), 소벨(Sobel), 프리윗(Prewitt), 라플라시안(Laplacian) 및 모폴로지(morphology)를 이용한 방법 등 다양한 알고리즘이 있다[10-12]. 이러한 방법들은 대각선 방향이나 영상의 변화가 완만할 경우 에지 검출 능력이 미흡한 경우가 발생한다. 모폴로지를 이용한 경우 다소 성능은 개선되나 처리하는데 시간이 좀 더 걸린다. 캐니에지검출(Canny Edge Detection) 방법[13]은 시간은 다소 걸리나 정확히 에지를 검출할 수 있으며 그 결과가 이전 영상으로 출력이 되어 기존의 다른 방법과 차이가 있다.

따라서 본 논문에서는 지하철 스크린도어(PSD, Platform Screen Door)에 접근하는 사람의 PSD 접근 여부를 알기 위해 PSD의 경계선에 사람의 침범 여부를 검출하는 알고리즘을 제안한다.

시간이 다소 걸리더라도 정확히 에지를 검출하는 캐니에지검출 방법과 PSD의 경계선을 검출하기 위해 호프변환(Hough transform)<sup>1)</sup>을 사용하였다. 사람이 PSD에 접근하지 않았을 때 검출된 경계선과 사람이 PSD에 접근하였을 때의 경계선 길이를 검출하여 비교하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 실제 서울의 지하철에서 영상을 촬영하여 획득한 영상에 PSD 경계선을 표시하고 사람을 이동시켜 복수의 숫자로 만들어 PSD 경계선 침범 여부를 에지 검출과 호프 변환을 통해 확인하였다. 에지 검출을 위해서는 캐니에지

검출 방법을 사용하고 캐니에지검출 방법에 의해 검출된 영상에 호프변환을 적용하여 경계선의 길이도 측정하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 실제 지하철의 PSD 안전도 향상을 위해 추가적인 장치로 사용 가능할 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 이어지는 장에서는 제안한 알고리즘에 대한 방법으로 캐니에지에 의한 에지 검출 및 호프변환에 의한 직선 검출 알고리즘에 대한 내용을 기술하고, 3장에서는 제안한 알고리즘에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과를 제시하고, 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구 내용에 대해 기술한다.

## II. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 지하철 스크린도어에서 안전사고 예방을 위해 지하철 스크린도어 경계선을 정확히 검출하여 사람이 근접하고 있는지 아닌지를 판단하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 실제에는 없지만 스크린도어 경계선을 나타내는 선을 긋고 캐니에지 검출 알고리즘과 호프 변환을 이용하여 경계선 및 사람을 검출하여 사람의 접근 여부를 판단하도록 한다. 이를 위한 전체적인 흐름은 그림 1과 같다.

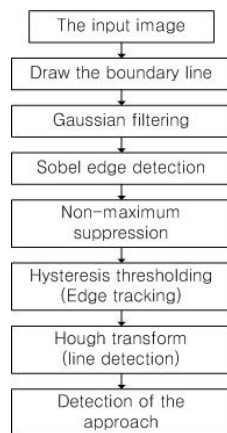


그림 1. 제안한 알고리즘 순서도  
Fig. 1 The proposed algorithm flowchart

1) [http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro\\_refs/HoughTrans\\_lines\\_09.pdf](http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/HoughTrans_lines_09.pdf)

### 2.1 캐니 에지 검출 방법에 의한 에지 검출

캐니에지검출 알고리즘은 일반적으로 4가지 단계로 나눈다. 첫 번째로 입력 영상을 블러링하기 위해 가우스 필터를 통과 시킨다. 두 번째로 블러링된 영상에 대해 소벨 연산자를 적용하여 에지 영상을 구하고 그 영상의 크기와 기울기를 계산한다. 세 번째로 소벨 연산자에 의해 구한 영상에 대해 비 최고 억제 알고리즘(NMS, Non-Maximum Suppression algorithm)을 적용한다. 마지막으로 히스테리시스 문턱화(hysteresis thresholding)를 시행한다.

가우스 함수는 영상의 에지를 검출하기 전에 영상의 잡음을 제거하기 위해 사용하는 것으로 영상을 블러링하여 잡음을 제거하는 역할을 하는데 본 논문에서 사용한 함수는 식(1)과 같다.

$$g(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

여기서  $\sigma$ 는 가우스 필터의 폭을 결정하는 것으로 블러링 정도 즉 이 값이 클수록 블러링이 많이 된다. 만약  $\sigma$ 값이 너무 크면 희미한 영상이 검출되지 않으며, 너무 적으면 잡음이 제거되지 않아 영상에 나타날 수 있다. 본 논문에서는 영상의 크기와 특성을 고려하여 1.3을 사용하였으며, 실제 영상에 적용할 때는 식(2)와 같은 5X5 매트릭스를 적용하였다.

$$\frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

소벨 연산자에 의해 구한 영상을  $s(x,y)$ 라고 하면 이에 대한 크기  $M(x,y)$ 와 기울기  $\theta(x,y)$ 는 식(3), (4)와 같다.

$$M(x,y) = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (3)$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{S_y}{S_x}\right) \quad (4)$$

여기서  $S_x$  및  $S_y$ 는 각각  $x$  및  $y$  방향의 에지 영상을 나타낸다.

NMS는 에지의 위치를 효과적으로 찾고 잘못된 에지를 없애주는 역할을 한다. 3x3 윈도우를 사용하여 기울기의 방향을 따라 두 개의 이웃하는 픽셀값을 비교하여 값이 크면 그 픽셀은 에지로 표시하고 아니면 에지가 아닌 것으로 한다.

히스테리시스 문턱화는 높은 값과 낮은 값 두 개의 문턱치를 설정하여 NMS 결과에 대해 적용하여 약한 에지는 없애고 에지를 연결해주는 역할을 한다. 에지 값이 높은 문턱치보다 크면 에지로 하고, 낮은 문턱치보다 적으면 없애고, 두 문턱치 사이의 값일 때는 높은 값과 연결되어 있으면 에지로 한다.

### 2.2 호프 변환에 의한 직선 검출

호프변환은 영상분석이나 컴퓨터비전 등 디지털 영상처리에서 특정한 점들 간의 연관성을 찾아서 특징을 추출 하는 방법으로 본 논문에서는 지하철 스크린 도어에서 경계면을 나타내는 경계선을 검출하기 위해 사용하였다.

직교좌표 평면에서 직선은 두 개의 정수로 유일하게 구분되어 표현될 수 있다. 식(5)에서 정수  $a$ 와  $b$ 로 구별되어 표현됨을 나타내었다.

$$y = ax + b \quad (5)$$

이것을 극좌표계인  $r$ 과  $\theta$ 의 평면으로 나타내어 식(6)과 같이 직선을 표현할 수 있는데, 여기서  $r$ 과  $\theta$ 는 각각 직선에서 직각으로 원점을 연결했을 때의 거리 및 각도이다.

$$r = x\cos\theta + y\sin\theta \quad (6)$$

식(6)을 식(5)와 같은 형태로 나타내면 식(7)과 같은데, 이는 그림2에서 보듯이 직선은 하나의 점으로 대응됨을 의미한다.

$$y = -\frac{\cos\theta}{\sin\theta}x + \frac{r}{\sin\theta} \quad (7)$$

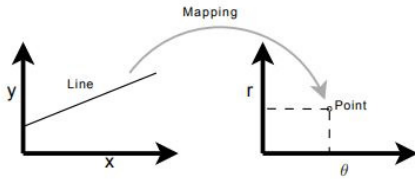


그림 2. 직선의 호프 평면으로의 대응  
Fig. 2 Mapping of one unique line to the Hough space

### III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 지하철 스크린 도어 경계선 및 사람을 검출하기 위해 실제 서울의 지하철역에서 영상을 촬영하여 사용하였으며, 촬영한 영상은 스크린 도어에서 멀리 떨어진 두 종류의 영상이며 시뮬레이션을 위해 촬영한 영상에서 사람을 스크린도어 가까이로 배치하여 경계선을 침범하는 여부를 판단하였다. 그림 3에 사용한 입력 영상을 나타내었는데 실제 지하철에서 영상을 촬영한 후 경계선 검출을 위해 스크린도어 경계를 나타내는 선을 그려 넣었다. 그림 3 및 4에서 (a)가 실제 촬영한 영상이며 (b)가 시뮬레이션을 위해 사람을 한 명 더 재배치한 영상이다.

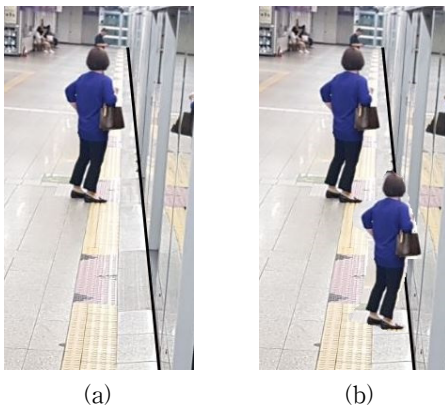


그림 3. 입력영상(뒤 모습) (a) 한 명 (b) 두 명  
Fig. 3 Input image(appearance from the back) (a) one person (b) two persons

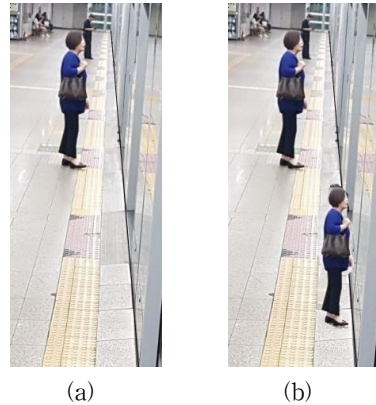


그림 4. 입력영상(옆 모습) (a) 한 명 (b) 두 명  
Fig. 4 Input image(appearance from the side) (a) one person (b) two persons

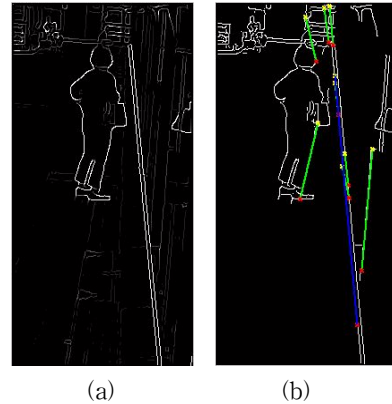


그림 5. 그림 3(a)에 대한 (a) NMS 영상 (b) 히스테리시스 문턱화 영상의 호프변환에 의한 직선 검출  
Fig. 5 (a) NMS image and (b) line detection by hough transform of the hysteresis thresholded image for fig 3(a)

그림 5, 6, 7 및 8에 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 5 및 7은 PSD에 접근하지 않은 한 명에 대한 것이고 그림 6 및 8은 PSD에 접근한 경우로 하여 결과를 나타낸 것이다. 각각의 그림에서 (a)는 NMS 영상이고 여기에 히스테리시스 문턱화를 적용하고 호프 변환하여 직선을 검출한 영상이 (b)이다. 그림 5(b) 및 7(b)에서 보듯이 사람이 PSD에 접근하지 않았을 때 PSD의 경계선을 잘 검출하고 그때의 검출된 직선의 길이는 표1에서 제시한 바와 같이 각

각 276.1, 331.2로 최대의 길이를 나타낸다. 그 값을 기준으로 PSD를 침범하였을 때 길이가 짧아지는 것으로 침범여부를 판단한다. 따라서 그림 6(b)와 8(b)에서와 같이 사람이 침범한 경우 직선을 검출하였으며 표 1에 제시한 바와 같이 직선의 길이가 각각 135.5 및 239.9로 짧아져 침범 여부를 알 수 있다. 또한 사람의 수가 많아질수록 직선의 길이가 짧아져 검출이 더 용이할 수 있을 것이다.

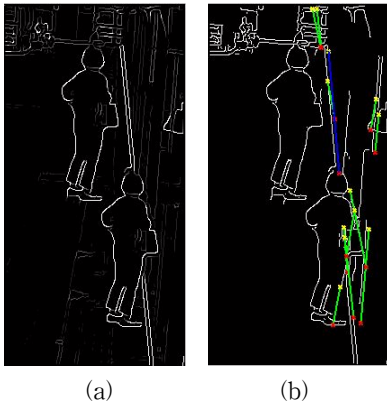


그림 6. 그림 3(b)에 대한 (a) NMS 영상 (b) 히스테리시스 문턱화 영상의 호프변환에 의한 직선 검출

Fig. 6 (a) NMS image and (b) line detection of the hysteresis thresholded image by hough transform for fig 3(b)

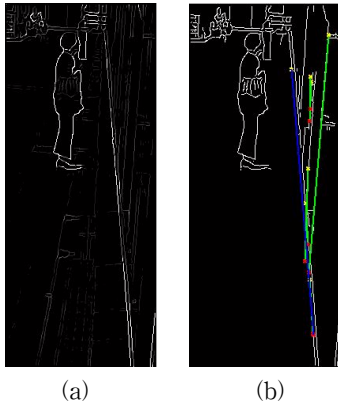


그림 7. 그림 4(a)에 대한 (a) NMS 영상 (b) 히스테리시스 문턱화 영상의 호프변환에 의한 직선 검출

Fig. 7 (a) NMS image and (b) line detection of the hysteresis thresholded image by hough transform for fig 4(a)

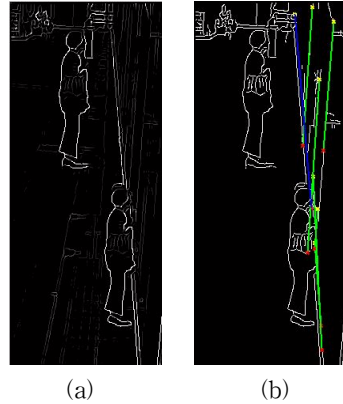


그림 8. 그림 4(b)에 대한 (a) NMS 영상 (b) 히스테리시스 문턱화 영상의 호프변환에 의한 직선 검출

Fig. 8 (a) NMS image and (b) line detection of the hysteresis thresholded image by hough transform for fig 4(b)

호프 변환에 의해 구한 첨두치(peak)를 그림 9에서와 같이 호프평면에 나타내었는데, 여기서는 그림 6(b)에 대한 호프평면의 결과로 5개의 첨두치를 나타내는 점을 한 예로 제시하였다.

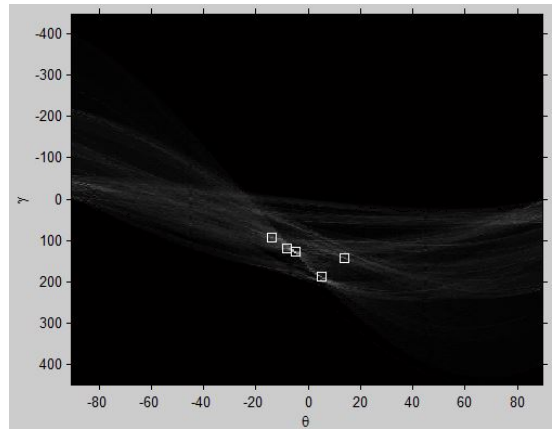


그림 9. 그림 6(b)에 나타난 검출된 직선에 대한 호프 평면에서 결과

Fig. 9 Hough space result about the detected lines shown in fig. 6(b)

본 논문에서 사용한 그림 5(b), 6(b), 7(b) 및 8(b) 영상 각각에 대해 5개의 첨두치를 구해 이 첨두치에

해당하는 직선을 나타내고, 각각의 영상에서 최대 직선 길이를 계산하여 사람의 PSD 접근 여부를 판단하였다. 우선 사람이 접근하지 않은 영상에 대해 최대 직선 길이를 구하고 그 직선의 길이와 각각의 영상에서 구한 최대 직선의 길이와 비교하여 접근 여부를 판단한다. 표 1에 각각의 영상에 대해 측정된 최대 직선거리를 나타내었다. 그림 5(b)에 비해 그림 6(b)의 결과가 훨씬 적어 PSD에 접근했음을 알 수 있고, 그림 7(b)에 비해 그림 8(b)의 결과 역시 적어 PSD 접근 여부를 판단할 수 있다.

최대 직선의 길이를 식(8)과 같이 계산한다.

$$m = \max(\sqrt{(x_{ai} - x_{bi})^2 + (y_{ai} - y_{bi})^2})_{i=1:n} \quad (8)$$

여기서 호프 변환에 의해 구한 호프 평면에서의 침두치를 직선으로 변환하였을 때 임의의  $i$ 번 째 직선에 대한 양 끝점의 좌표를 각각  $A(x_{ai}, y_{ai})$ ,  $B(x_{bi}, y_{bi})$ 라 두고,  $n$ 은 침두치 개수(즉 직선의 개수)를 의미한다. 본 논문에서는 그림 9에서 나타낸 바와 같이 침두치를 5개로 하여  $n$ 을 5로 두고 시물레이션을 하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 표1에서 제시한 검출된 직선의 길이가 경계선을 침범하지 않았을 때를 기준으로 이보다 검출된 직선의 길이가 짧으면 침범한 것으로 판단한다. 따라서 제안한 방법에 의해 침범여부를 완전히 판단할 수 있다.

표 1. 호프변환에 의해 검출된 직선의 최대 길이  
Table 1. Maximum straight line length detected by Hough transform

	Detected maximum straight line length	Invasion
Fig. 5(b)	276.1	X
Fig. 6(b)	135.5	○
Fig. 7(b)	331.2	X
Fig. 8(b)	239.9	○

#### IV. 결론

본 논문에서는 지하철 스크린도어에서 사람의 접근 여부를 검출하기 위해 실제 지하철 영상에 경계를 나타내는 경계선을 긋고 여기에 사람이 침범하여 접근하는지를 캐니 에지 검출 알고리즘과 호프변환을 이용하여 검출하는 알고리즘을 제안하고 그 결과를 나타내었다. 실제 지하철에는 조명의 밝기에 따라 스크린도어의 경계선이 영상에 의해 명확하게 나타나지 않아 경계선 검출이 어려우므로 경계선을 긋고 이를 호프변환에 의해 경계선을 검출하고 그 길이를 측정함으로써 사람의 경계선 침범 여부를 완전히 판단할 수 있었다. 표1에서와 같이 침범했을 경우 길이가 침범하지 않았을 때보다 검출된 직선의 길이가 짧아 제안한 알고리즘에 의해 적절히 검출됨을 보여주고 있다. 제안한 내용은 현재의 지하철 스크린도어 안전 시스템에 추가적으로 적용하여 안전사고 예방에 활용할 경우 도움이 될 것이다. 향후 연구로 영상을 획득하는 카메라의 위치와 각도에 따른 비교를 통한 응용 방안 제시가 필요할 것으로 보인다.

#### 감사의 글

본 논문은 2017년도 동양대학교 연구지원사업의 지원으로 수행되었음.

#### References

- [1] L. Bin and M. Samiei, "Comparison for image edge detection algorithms," *International Organization of Scientific Research Journal of Computer Engineering*, vol. 2, Issue 6, 2012, pp. 1-4.
- [2] A. Calba, H. Wilkinson, and J. Roerdink, "Morphological hat-transform scale spaces and their use in pattern classification," *Pattern Recognition*, vol. 37, Issue 5, May 2004, pp. 901-915.
- [3] R. Muthukrishnan. and M. Radha, "Edge detection techniques for image segmentation," *International Journal of Computer Science & Information Technology*, vol. 3, no. 6, Dec. 2011, pp. 259-267.

[4] K. Kim, W. Son, M. Lee, and Y. Park, "The study of parking management system by image processing," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017, pp. 651-656.

[5] H. Lee, "Road extraction of urban areas from satellite imaginary using wavelet transform and morphological process," In *Proc. of the International Conference of Korea Institute of Maritime and Communication Science*, Gold Coast, Australia, 2010, pp. 160-163.

[6] N. Kim and J. Ha, "Performing missions of a small biped walking robot using image processing," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 12, 2016, pp. 1225-1230.

[7] J. Lee and J. Kim, "Recognition of a new car plate using color information and error back-propagation neural network algorithms," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 6, 2010, pp. 471-476.

[8] H. Kim, G. Lee, J. Park, and Y. Yu, "Vehicle detection in tunnel using Gaussian mixture model and mathematical morphological processing," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 967-974.

[9] K. Kim, "The lines extraction and analysis of the palm using morphological information of the hand and contour tracking method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 243-248.

[10] W. Baek and H. Lee, "A modified top-hat and bottom-hat transform for edge detection," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 9, 2016, pp. 901-908.

[11] M. Roushdy, "Comparative study of edge detection algorithms applying on the grayscale noisy image using morphological filter," *J. on Graphic, Vision and Image Processing*, vol. 6, Issue 4, Dec. 2006, pp. 17-23.

[12] N. Senthilkumaran and R. Rajesh, "Edge detection techniques for image segmentation - A survey of soft computing approaches," *Int. J. of Recent Trends in Engineering and*

*Technology*, vol. 1, no. 2, Nov. 2009, pp. 250-254.

[13] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* vol. 8, no. 6, 1986, pp. 679-698.

## 저자 소개

### 백운석(Woon-Seok Baek)



1982년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1988년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)  
2014년 ~ 현재 동양대학교 컴퓨터정보통신군사학과 부교수  
2011년 ~ 현재 ㈜엘엔비 이사  
2000년 ~ 2010년 ㈜우리별 전무이사  
1995년 ~ 2000년 동양대학교 정보통신공학과 조교수  
1988년 ~ 1995년 국방과학연구소 선임연구원  
※ 관심분야 : EMI/EMC, 이동통신

### 이하운(Ha-woon Lee)



1982년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1984년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)  
1994년 ~ 현재 동양대학교 정보통신공학과 교수  
1983년 ~ 1992년 삼성전자 통신연구소  
1997년 ~ 1998년 Carnegie Mellon University Post Doc.  
※ 관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 이동통신, 사물인터넷

