

지하철 플랫폼 스크린 도어 침범 인식을 위한 변형된 캐니에지 검출 알고리즘

이하운*

Modified Canny Edge Detection Algorithm for Detecting Subway Platform Screen Door Invasion

Ha-Woon Lee*

요약

지하철에서 스크린 도어와 플랫폼간의 경계선을 검출할 수 있는 변형된 캐니에지 검출 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 지하철에서는 플랫폼과 스크린 도어 사이의 경계선은 주변에 비해 어둡게 나타나므로 이의 특성을 고려하여 변형된 bottom-hat 변환을 이용해 에지 영상을 만든다. 이렇게 구한 에지 영상에 이중 문턱화를 통해 강한 에지와 약한 에지를 포함하는 이중 문턱화 영상을 얻는다. 이중 문턱화 영상에 호프 변환을 적용하여 플랫폼과 스크린 도어 간의 경계선을 검출하여 그 길이를 계산하고, 사람 등 물체가 있을 때와 없을 때와의 경계선 길이를 비교함으로써, 경계선을 침범 여부를 판단하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 카메라 높이 위치에 따라 두 종류의 서로 다른 입력영상을 사용하여 제안한 변형된 캐니에지 검출 알고리즘에 대한 결과를 컴퓨터 시뮬레이션으로 나타내었다.

ABSTRACT

The modified Canny edge detection algorithm that can detect the boundary between screen door and platform in the subway is proposed in this paper. Generally, in the subway, the boundary line between the platform and the screen door is darker than the surrounding area. Therefore, an edge image is using the modified bottom-hat transform by considering its characteristics. Double thresholded images with strong edge and weak edge through double thresholding are obtained. An algorithm that detects the boundary invasion between the platform and the screen door is proposed by calculating the length by applying the Hough transform to the double thresholded image and comparing the boundary line length between when there is an object such as a person and when there is no object. In this paper, the results of the proposed modified Canny edge detection algorithm using two different input images according to camera height position are shown by computer simulation.

키워드

Modified Bottom-Hat Transform, Modified Canny Edge Detection, Hough Transform, Boundary Detection, 변형된 bottom-hat 변환, 변형된 캐니에지 검출, 호프 변환, 경계선 검출

* 교신저자: 동양대학교 철도전기융합학과
• 접수일 : 2019. 07. 17
• 수정완료일 : 2019. 07. 31
• 게재확정일 : 2019. 08. 15

• Received : Jul. 17, 2019, Revised : Jul. 31, 2019, Accepted : Aug. 15, 2019
• Author : Ha-Woon Lee
Dept. Electric Railway Convergence Science, Dongyang University,
Email : hwlee@dyu.ac.kr

I. 서론

다양한 매체가 발달하고 정보의 홍수 시대인 현대 사회에서 정보처리를 위해 영상을 이용하는 경우가 많이 있으며, 영상을 이용할 경우 영상의 특징을 추출하여 중요한 정보로 활용한다. 영상신호처리의 목적을 크게 두 가지로 나눌 때, 첫 번째로는 영상에 대한 쉬운 관찰을 하고자 하는데 있으며, 두 번째로는 컴퓨터를 이용한 자동 인식 시스템에서 영상을 쉽고 빠르게 인식하여 여러 가지 목적으로 활용하는데 있다고 볼 수 있다[1]. 이러한 영상 인식에 많이 이용되는 방법 중 에지는 물체의 크기, 방향, 윤곽 등의 정보를 포함하고 있으므로 각종 영상 분석이나 인식에 많이 활용되고 있으며, 특히 영상분할, 도로 주행 시 차량 및 차선 인식, 홍채 인식, 로봇 비전, 해산물 특징 인식, 의료 영상 분석 등 다양하게 응용되며 국·내외적으로도 많은 연구가 되고 있다[2-7].

일반적인 에지 검출 방법에는 Roberts, Sobel, Prewitt, Laplacian 및 Morphology, 변형된 bottom-hat 변환 방법, 케니에지 검출을 이용한 방법 등 다양한 알고리즘이 있다[8-10]. 이러한 방법들은 대각선 방향이나 영상의 변화가 완만할 경우 에지 검출 능력이 미흡한 경우가 발생한다. Morphology를 이용한 경우 다소 성능은 개선되나 처리하는데 시간이 좀 더 걸린다. 케니에지 검출 방법[11]은 시간은 다소 걸리나 정확히 에지를 검출할 수 있으며 그 결과가 이진 영상으로 출력되어 기존의 그레이 영상으로 출력되는 방법들과는 차이가 있다. 연속적인 팽창을 이용한 변형된 bottom-hat 변환 방법이 에지 검출에 용이함을 보이는 연구도 있다[11]. 그리고 지하철 PSD(Platform Screen Door)의 침범 인식을 위해 지하철 플랫폼과 스크린 도어 사이에 임의의 경계선을 긋고 이를 인식하는 연구도 있었다. 그러나 이 경우 임의의 선을 지하철에 긋고 이를 인식해야하는 번거로움이 있다[12].

따라서 본 논문에서는 지하철 스크린 도어와 플랫폼 사이의 경계선 침범 여부를 인식하기 위해 경계선을 긋지 않고 인식할 수 있는 알고리즘을 개발하고 컴퓨터 시뮬레이션으로 그 결과를 보여주고자 한다.

제안하는 알고리즘은 변형된 bottom-hat 변환과 이중 문턱화를 사용하여 기존의 케니에지에서 사용하

는 Sobel 연산자에 의한 에지 트래킹과 다른 새로운 방법을 제시하고자 한다. 본 논문에서 제시한 방법에 의해 구한 에지 영상에 이중 문턱화를 적용함으로써 케니에지에서 사용하는 Sobel 연산자에 의한 NMS(Non-Maximum Suppression)와 에지 트래킹을 사용하는 것보다 알고리즘이 간단하여 검출 시간을 줄일 수 있으며, 지하철 플랫폼과 스크린 도어 사이의 경계선이 주변에 비해 어둡게 나타나므로 이의 특성을 활용한 변형된 bottom-hat 변환을 사용함으로써 인식의 정확도도 높일 수 있는 장점이 있다. 이렇게 구해진 이중 문턱화 영상으로 부터 PSD의 경계선을 검출하기 위해 호프 변환(Hough transform)¹⁾을 사용하였다. PSD 접근 여부를 판단하기 위해 사람이 PSD에 접근하지 않았을 때 검출된 경계선과 사람이 PSD에 가까이 접근하였을 때의 경계선 길이를 계산하고 비교하여 판단한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 사람이 없을 때 실제 서울의 지하철에서 카메라 높이를 두 종류로 서로 달리한 영상을 촬영하고, 많은 사람이 있을 때 촬영하여 사람을 PSD 근처로 배치하여 제안한 방법으로 경계선 에지를 검출하고 호프 변환을 통해 침범 여부를 판별하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 이어지는 장에서는 제안한 알고리즘에 대한 방법으로 변형된 bottom-hat 변환 및 이중 문턱화 방법에 의한 에지 검출과 호프 변환에 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 플랫폼과 스크린 도어 사이의 경계선을 카메라에 의한 영상인식을 통한 검출로 기존의 안전사고 예방에 도움이 될 수 있는 영상 인식 알고리즘 제안한다. 이는 지하철 플랫폼과 스크린 도어 사이의 특징을 잘 검출할 수 있는 변형된 bottom-hat 방법을 사용하여 경계선 에지를 검출하고

1) https://www.slideshare.net/mrunal_selokar/edge-detection-using-hough-transform

검출된 에지 영상에 이중 문턱화를 적용하는 기존의 캐니에지 검출 알고리즘에 비해 간단한 변형된 캐니에지 검출 방법을 제안하였으며, 이중 문턱화 영상에 호프 변환을 이용하여 경계선을 찾아내고 경계선의 길이를 계산함으로써 경계선 침범 여부를 판단하도록 하였다. 이를 위한 전체적인 흐름은 그림 1과 같다.

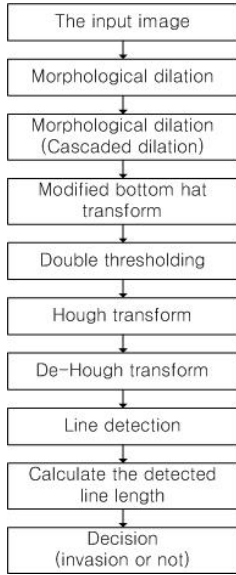


그림 1. 제안한 알고리즘 순서도
Fig. 1 The proposed algorithm flowchart

2.1 변형된 bottom-hat 변환 방법에 의한 에지 검출

Morphology의 기본 연산은 침식(erosion)과 팽창(dilation)으로 이를 이용하여 열기(opening) 또는 닫기(closing)가 이루어지는데 이때 구조 요소(SE: structuring element)를 사용한다. 본 논문에서는 연속적으로 팽창을 수행한 후 이 영상과 원래 영상과의 차이를 이용하는 변형된 bottom-hat 변환을 이용하였다. 그레이 영상에 대한 팽창은 식(1)과 같으며, 식(2)에 팽창된 영상 f_d 를 연속적으로 팽창한 f_{dd} 를 나타내었다.

$$f_d = [f \oplus b](x, y) = \min[f(x + s, y + t) + b(s, t)] \quad (1)$$

$$f_{dd} = [f_d \oplus b](x, y) \quad (2)$$

여기서 f 는 원 영상, x 및 y 는 원 영상의 인덱스 값 그리고 s 와 t 는 SE인 b 의 인덱스 값을 나타낸다.

$$b = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

변형된 bottom-hat 변환은 연속으로 팽창한 영상과 원래 영상과의 차이를 구하는 것으로 본 논문에서 적용하고자 하는 플랫폼과 지하철 스크린 도어와의 사이 경계는 일반적으로 주변에 비해 어둡게 나타나므로 이러한 특징을 갖는 경우 에지를 검출하기에는 매우 효과적인 방법이며 식(4)에 나타내었다.

$$MB_h(x, y) = f_{dd}(x, y) - f(x, y) \quad (4)$$

식(4)에 의해 구한 bottom-hat 변환된 에지 영상을 호프 변환에 용이하도록 이중 문턱화를 수행한다.

이중 문턱화는 높은 값과 낮은 값 두 개의 문턱치를 설정하여 bottom-hat 변환된 영상에 적용하며, 에지값이 높은 문턱치보다 크면 강한 에지로 하고, 낮은 문턱값보다 적으면 에지가 아닌 것으로 하여 없애고, 두 문턱치 사이의 값일 때는 그대로 두어 호프 변환 시 경계선을 잘 검출하도록 하였다.

2.2 호프 변환에 의한 직선 검출

호프 변환은 디지털 영상처리에서 직교좌표 평면의 직선에 대해 특정한 점들 간의 연관성을 찾아 특징을 추출하는 방법으로, 본 논문에서는 지하철 플랫폼과 스크린 도어 사이의 경계면을 나타내는 경계선을 검출하기 위해 사용하였다.

직교좌표 평면에서 직선은 식(5)와 같이 두 개의 정수로 유일하게 구분되어 표현될 수 있다.

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

이것을 극좌표계인 ρ 와 θ 의 평면에서 식(6)과 같이 직선을 표현할 수 있는데, 여기서 ρ 과 θ 는 각각 직선에서 직각으로 원점을 연결했을 때의 거리 및 각도이다.

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

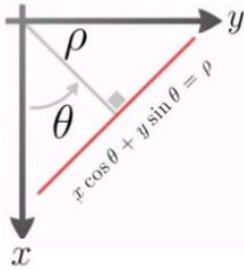
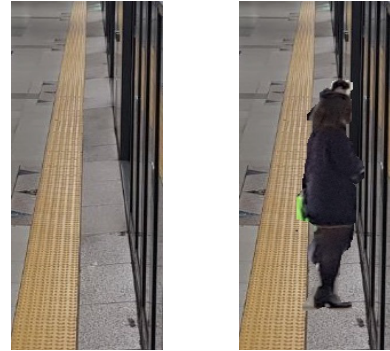


그림 2. 직교좌표와 극좌표와의 관계

Fig. 2 The relation between rectangular coordinates and polar coordinates

III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 지하철 스크린 도어와 플랫폼 사이의 경계선 침범 여부를 검출하기 위해 서울의 지하철역에서 카메라 높이를 두 종류로 하여 하나는 사람키보다 매우 높게, 또 다른 하나는 그 보다는 낮지만 사람키 보다는 높은 위치에서 촬영하여 입력 영상으로 사용하였다. 사람이 없는 두 종류의 영상을 먼저 촬영하고 사람이 많은 영상을 촬영하여 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 사람이 없는 영상에 사람을 스크린 도어가 가까이로 배치하여 경계선을 침범하는 여부를 위한 입력 영상으로 사용하였다. 그림 3에 카메라 높이에 따른 영상을 나타내었다.



(c) (d)

그림 3. 입력영상 (a) 사람 없는 낮은 위치 카메라 영상 (b) 사람 있는 낮은 위치 카메라 영상 (c) 사람 없는 높은 위치 카메라 영상 (d) 사람 있는 높은 위치 카메라 영상

Fig. 3 Input image (a) low position camera image without person (b) low position camera image with person (c) high position camera image without person (d) high position camera image with person



(a) (b)



(a) (b)

그림 4. 사람이 없을 때 연속 팽창된 영상 (a) 낮은 카메라 위치 (b) 높은 카메라 위치 (c) 사람 없는 높은 카메라 위치 (d) 사람 있는 높은 카메라 위치

Fig. 4 Cascaded dilated images without person (a) low position camera (b) high position camera (c) high position camera without person (d) high position camera with person

그림 4에 사람이 없을 때 카메라 위치에 따른 영상에 대해 연속으로 팽창된 영상을 나타내었다. 본 영상에서 PSD의 수직으로 된 부분이 강하게 나타나고 플랫폼과 스크린 도어간의 경계선은 다소 희미하지만 다른 부분에 비해 비교적 잘 나타나고 있다. 그림 5에

bottom-hat 변환 영상을 나타내었는데 스크린 도어의 경계선 부분과 함께 PSD의 수직 부분도 나타나고 있음을 보여주고 있다. 경계선을 잘 검출하기 위해 이 영상에 이중 문턱화를 실시하여 경계선과 관계없는 잡음을 제거하여 가능한 경계선을 잘 검출하도록 하였으며, 이중 문턱화된 영상을 그림 6에 나타내었다. 또한 PSD의 수직 부분은 실제 플랫폼과 스크린 도어 사이의 경계선이 아니므로 호프 변환 시 수직선은 점선으로 나타내도록 하고, 플랫폼과의 경계선은 굵은 실선으로 나타나도록 하였다.

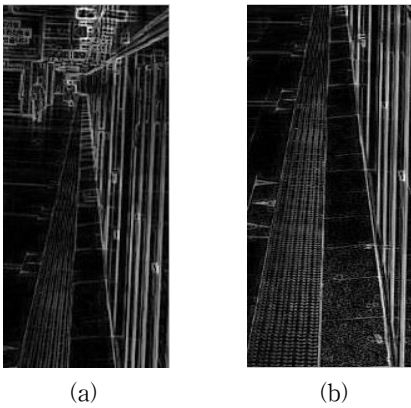


그림 5. 사람이 없을 때 bottom-hat 영상 (a) 낮은 카메라 위치 (b) 높은 카메라 위치

Fig. 5 Bottom-hat transformed images without person (a) low position camera (b) high position camera

그림 6의 이중 문턱화한 영상 각각에 대해 5개의 직선을 구하도록 호프 변환을 실시하였으며, 각각의 영상에서 최대 직선 길이를 계산하여 사람이나 물체의 PSD 접근 여부를 판단하였다. 먼저 사람이 접근하지 않은 영상에 대해 최대 직선 길이를 구하고 그 직선이 PSD를 나타내는 수직선인지 아닌지 판단하고 수직선일 경우 경계선이 아니므로 점선으로 표시하고, 경계선일 경우 굵은 실선으로 실제 경계선임을 나타내고, 경계선 기준으로 하여 다른 영상에서 구한 최대 직선 길이와 비교하여 침범 여부를 판단한다.

그림 7(a) 및 (c)는 사람이 없을 때 검출된 경계선 및 PSD 수직선을 나타내었으며, (b) 및 (d)는 사람이 침범하였을 때, 경계선이 끊어져 경계선이 검출되지 않음을 보여준다. 그리고 그림 7 결과에서 보듯이 카메라 높이에 따른 인식에는 큰 영향이 없음을 보여주

고 있다.

표 1에 최대 경계선 거리를 나타내었으며 최대 길이에 비해 짧은 경우 PSD에 사람이나 물체가 접근했음을 판단할 수 있다. 최대 직선의 길이는 식(7)과 같이 계산한다.

$$L = \max(\sqrt{(x_{ai} - x_{bi})^2 + (y_{ai} - y_{bi})^2})_{i=1:n} \quad (7)$$

여기서 호프 평면에서의 침두치(peaks)를 직선으로 변환하였을 때 임의의 i 번째 직선에 대한 양 끝점의 좌표를 각각 $A(x_{ai}, y_{ai})$, $B(x_{bi}, y_{bi})$ 라 두었으며, n 은 침두치 개수이다. 본 논문에서는 그림 8과 같이 침두치를 5개 즉 n 을 5로 두고 시뮬레이션을 하였다.

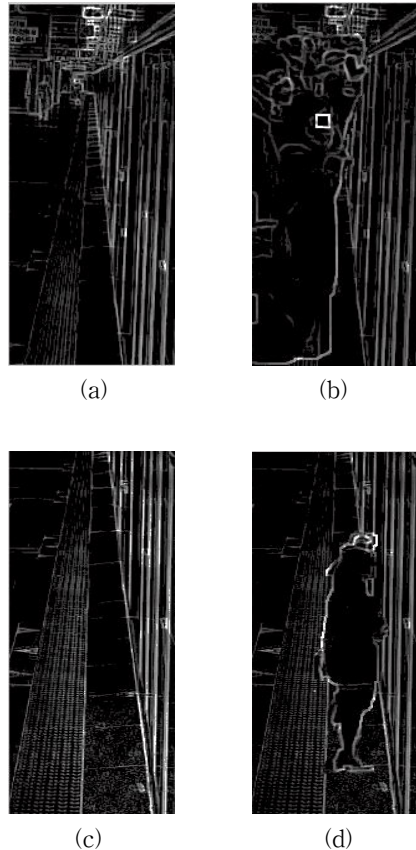


그림 6. 이중 문턱화 영상 (a) 낮은 카메라 위치 (b) 높은 카메라 위치

Fig. 6 Double thresholded images without person (a) low position camera (b) high position camera

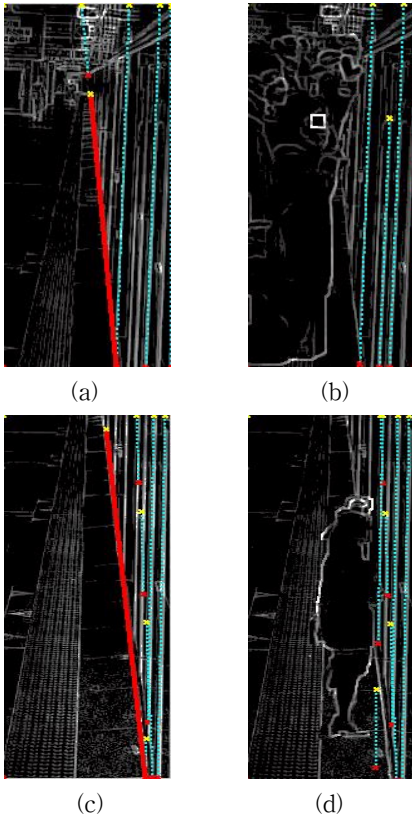


그림 7. 검출된 경계선 영상 (a) 사람 없는 낮은 카메라 위치 (b) 사람 있는 낮은 카메라 위치 (c) 사람 없는 높은 카메라 위치 (d) 사람 있는 높은 카메라 위치 Fig. 7 The detected boundary images (a) (a) low position camera without person (b) low position camera with person (c) high position camera without person (d) high position camera with person

표 1. 호프 변환에 의해 검출된 경계선의 최대 길이 Table 1. Maximum boundary line length detected by Hough transform

	maximum boundary line length L	Invasion
Fig. 7(a)	230.9	X
Fig. 7(b)	-	○
Fig. 7(c)	360.3	X
Fig. 7(d)	-	○

호프 변환에 의해 구한 침투치를 그림 8에서와 같이 나타내었는데, 여기서는 그림 7(c)에 대한 호프 평

면의 결과를 하나의 예로 제시하였으며, 5개의 침투치가 나타나도록 호프 변환을 하였으며 실제 그림 7(c)에서 보듯이 5개의 직선을 확인할 수 있다.

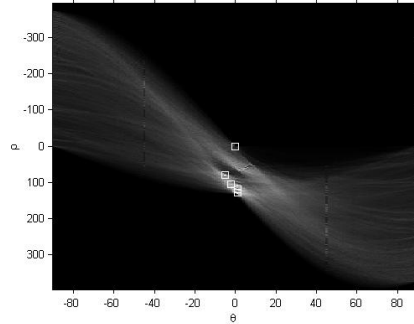


그림 8. 그림 7(c) 영상에 대한 호프 변환 결과 Fig. 8 Hough transform result for the fig. 7(c)

IV. 결론

본 논문에서는 지하철에서 플랫폼과 스크린 도어 사이에 사람이나 물체의 접근 여부를 검출하기 위해 실제 지하철에서 카메라의 위치를 두 가지 높이에 따라 설치하고 영상을 획득하여 시물레이션을 수행하였다. 경계선 접근 여부 인식을 위해 변형된 bottom-hat 변환과 이중 문턱화를 결합한 변형된 케니에지검출 알고리즘과 호프 변환을 이용하여 침범을 검출하는 알고리즘을 제안하고, 그 결과를 컴퓨터 시물레이션을 통해 나타내었다. 지하철 플랫폼과 스크린 도어 사이의 특징을 잘 검출할 수 있도록 연속적인 팽창을 이용한 변형된 bottom-hat 변환과 이중 문턱화를 이용하는 알고리즘으로 기존의 케니에지 검출에서 사용하는 NMS 및 에지 트래킹 없이 쉽게 경계선을 검출할 수 있었다. 카메라의 높낮이 위치에 따른 인식의 차이는 없었으나, 높은 경우 탐지 거리가 짧아져 많은 수의 카메라가 필요할 것으로 보이나, 실제 좀 더 정확한 영상을 얻을 수 있을 것으로 보인다. 본 논문에서 제안한 방법은 추가로 경계선을 긋지 않고 현재의 지하철 상황에서 그대로 사용할 수 있으며, 실제 지하철의 PSD 안전도 향상을 위해 추가적인 방법으로 사용 가능할 것이다. 향후에는 커브 지역 및 다양한 조명하에서도 인식 가능한 알고리즘 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 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] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] J. Kim and J. Ha, "Performing Missions of a Minicar using a Single Camera," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, 2017, pp. 123-128.

[6] 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.

[7] K. Lee, Y. Woo, J. Min, and C. Choi, "Feature Point Extraction of Sea Cucumbers using Canny Edge Detection," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1281-1286.

[8] 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.

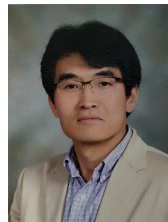
[9] N. Senthilkumaran and R. Rajesh, "Edge detection techniques for image segmentation - A survey of soft computing approaches," *Int. J. of Recent Trends in Engineering and Technology*, vol. 1, no. 2, Nov. 2009, pp. 250-254.

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

[11] 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.

[12] W. Baek and H. Lee, "Algorithm for detecting PSD boundary invasion in subway PSD using image," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 5, 2018, pp. 1051-1058.

저자 소개



이하운(Ha-Woon Lee)

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

1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1994년 ~ 현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

1983년 ~ 1992년 삼성전자 통신연구소

1997년 ~ 1998년 Carnegie Mellon University Post Doc.

※ 관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 이동통신, 사물인터넷, 철도통신

