반도체디스플레이기술학회지 제15권 제3호(2016년 9월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, No. 3. September 2016.

에지 검출 방법을 이용한 열화상 카메라의 영상 개선

정 민 철†
†상명대학교 공과대학 컴퓨터공학과

Image Enhancement of an Infrared Thermal Camera Using Edge Detection Methods

Min Chul Jung†
†Dept. of Computer Engineering, Sangmyung University

ABSTRACT

This paper proposes a new image enhancement method for an infrared thermal image. The proposed method uses both Laplacian and Prewitt edge detectors. Without a visible light, it uses an infrared image for the edge detection. The method subtracts contour images from the infrared thermal image. It results black contours of objects in the infrared thermal image. That makes the objects in the infrared thermal image distinguished clearly. The proposed method is implemented using C language in an embedded Linux system for a high-speed real-time image processing. Experiments were conducted by using various infrared thermal images. The results show that the proposed method is successful for image enhancement of an infrared thermal image.

Key Words : Image enhancement, infrared thermal image, infrared image, edge detection, Laplacian edge, Prewitt edge

1. 서 론

절대온도 0도(-273 ℃) 이상의 온도를 가진 모든 물체, 즉 에너지를 가진 모든 물체는 그 에너지를 사람의 눈에는 보이지 않는 적외선으로 방출한다. 열화상 카메라(infrared thermal camera)는 물체가 스스로 방사한 적외선을 전자적으로 측정하고 데이터화하여 검출된 적외선을 열화상 영상으로 합성하여 나타낸다. 검출된 적외선의 세기에 따라 유사 색상(pseudo color)을 사용하여 물체가 방출한 에너지, 온도 분포를 색으로 표현하는 데 무지게(rainbow)색을 색인으로 사용할 경우 영상에서 가장 높은 온도는 빨강색으로 가장 낮은 온도는 보라색으로 할당한다. 최근 들어 열화상 카메라 제조사들은 작은 온도계처럼 작동하는 화소(pixel)배열을 갖고 있는 비냉각식 마이크로 볼로미터(micro bolometer)라는 저렴한 이미징 센서를 개발하여 고가 장비였던 열화상 카메라의 가격이 크게 떨어지고 있다[1]. 앞으로는 소수의 전문가뿐 아니라 일반 소비자들도 열화상 카메라를 폭넓게 사용할 것으로 예상된다. 최근에는 스마트폰 바닥에 끼우는 저렴한 가격의 소형 열화상 카메라 모듈도 출시되고 있으며, 일부 고급차에도 야간에 보행자나 물체를 감지하기 위해 열화상 기술을 적용하고 있다.

본 논문에서는 디지털 영상처리에서 폭넓게 사용되는 에지 검출(edge detection) 방법을 이용하여 열화상 카메라의 영상을 개선하여 유사 색상으로 표현된 열화상 영상에서 물체를 쉽게 구별할 수 있게 하는 간단하고 효과적인 새로운 방법을 제안한다.

2. 열화상 영상 개선

2.1 열화상 영상의 특성

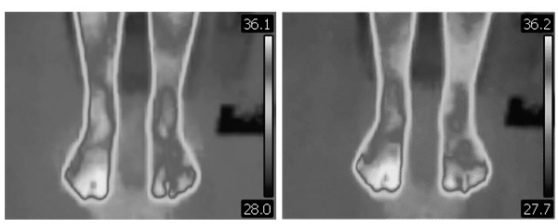
열화상 카메라의 영상은 사람 눈에는 보이지 않고 색

†E-mail: mjung@smu.ac.kr

도 없는 적외선 영상에 적외선의 세기에 따라 색을 적절히 부여하여 표현한 영상이다. 따라서 열화상 영상은 물체의 윤곽선이 없이 색상으로만 구성된 영상이라서 물체를 구별하기가 어렵다. 열화상 카메라를 사용할 때 열화상 카메라의 LCD 화면으로 열화상 영상을 모니터링하면서 실제 촬영되는 곳을 육안으로 번갈아 봐야 하는 경우가 많다. 플리어 시스템즈(FLIR Systems) 제조사의 열화상 카메라는MSX(Multi-Spectral Dynamic Imaging)라는 영상개선을 하여 열화상 영상내의 사물을 구분하기 쉽게 한다. 또한 여러 장의 이미지 프레임에서 데이터를 추출, 처리하여 해상도를 높이고 잡음을 제거하는 UltraMax라는 기술도 있다[2].

(a) (b)

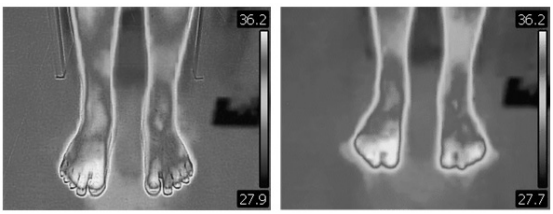
Fig. 1. (a) A digital image in a visible light, and (b) the image without a visible light.



(a) (b)

Fig. 2. (a) The infrared thermal image of Fig. 1(a) in a visible light, and (b) the infrared thermal image of Fig. 1(b) without a visible light.

Fig. 1(a)는 가시광선이 있는 밝은 곳에서 사람 발을 촬영한 디지털 영상이다. Fig. 1(b)는 가시광선을 완전히 없애 어둡게 한 후 촬영한 디지털 영상이다. 당연한 결과로 물체에서 반사된 가시광선이 없으므로 물체가 있으나 우리 눈에는 검은색으로만 보인다. 이것을 열화상 카메라로 촬영하면 가시광선의 유무에 관계없이 Fig. 2와 같은 열화상 영상을 얻을 수 있다. 발 부분은 적외선을 스스로 많이 방출하여 빨강색으로 표현되고 바닥은 적외선을 적게 방출하여 파랑색으로 표현된다. 그런데 상대적으로 차가운 발가락 끝 마디에서는 적외선을 적게 방출하여 노랑색과 파랑색 등으로 표현되어 바닥과 비슷하게 표현된다. 결과적으로 열화상 영상에서 사람 발은 오리발처럼 보여진다. 이러한 현상은 기온이 낮아 발끝이 차게 되면 심화되고 발목 아래가 열화상 영상에서 아예 배경 속으로 사라지기도 한다.



(a) (b)

Fig. 3. (a) The infrared thermal image after MSX processing of Fig. 2(a), and (b) the infrared thermal image after MSX processing of Fig. 2(b).

Fig. 3은 플리어 시스템즈 제조사의 열화상 카메라에 내장된 기능인 MSX 영상 처리를 하여 이러한 현상을 개선한 영상이다. Fig. 3(a)를 보면 Fig. 2(a)에 비하여 발가락 끝이나 의자 다리 등이 어느 정도 구분되어지나 여전히 물체의 윤곽선이 흐릿하여 인지하기 힘들다. 해상도가 높은 모니터 상에서는 어느 정도 구분이 되나 해상도가 낮은 모니터나 영상이 출력된 인쇄물에서는 좀 더 구분하기 어렵다. Fig. 3(b)를 보면 MSX 영상 처리를 하였으나 전혀 변화가 없다. 가시광선이 없는 어두운 곳에서는 Fig. 2(b)처럼 보이는 열화상 영상에서 물체의 원래 모양인 윤곽을 구분하는 것이 어려웠다.

본 논문에서는 가시광선이 있는 밝은 곳에서 촬영한 열화상 영상뿐만 아니라 가시광선이 없는 어두운 곳에서 촬영한 열화상 영상도 물체의 윤곽선을 개선하는 새로운 방법을 제안한다.

2.2 에지 검출

에지 검출(edge detection)은 디지털 영상에서 영상의 밝기가 급격히 변하는 지점을 찾아내는 수학적인 방법이다. 검출된 에지는 물체의 윤곽선에 해당된다. 에지 검출 방법에는 여러 가지가 있지만[3-4] 본 논문에서는 Fig. 4에서 보이듯이 2차 미분 연산 역할을 하는 3×3 라플라시안

(a)

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

(b) Δx

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Δy

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

Fig. 4. (a) Laplacian operator, and (b) Prewitt operators.

(Laplacian) 연산자와 1차 미분 연산 역할을 하는 프리윗(Prewitt) 연산자를 사용하였다[5].

디지털 영상 처리에서 많이 사용되는 소벨(Sobel) 연산자는 윤곽선이 너무 두꺼워 열화상 영상과 합성했을 때 열화상 영상의 물체의 상세한 부분을 윤곽선이 가리는 역효과가 있었다.

(a) (b)

Fig. 5. (a) The image with Laplacian contour of Fig. 1(a), and (b) the image with Prewitt contour of Fig. 1(a).

Fig. 5(a)는 Fig. 1(a)의 영상을 라플라시안 연산 처리한 영상이고, Fig. 5(b)는 프리윗 연산 처리한 영상이다. x 방향과 y 방향의 결과값에 절대값을 취하여 더하는 1차 미분인 프리윗 연산에 비해 절대값을 취하지 않는 2차 미분인 라플라시안 연산자의 윤곽선이 훨씬 더 가늘게 된다. 열화상 영상 에 있는 물체의 윤곽선을 보통으로 볼 때는 라플라시안 연산 처리를, 윤곽선을 뚜렷하게 볼 때는 프리윗 연산 처리를 한다.

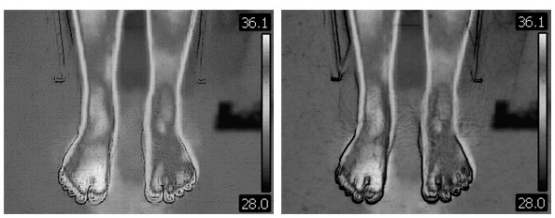
2.3 가시광선 영상을 이용한 열화상 영상 개선

열화상 영상과 우리가 실제로 보는 가시 광선으로 구성된 디지털 영상의 차이를 줄이기 위해 디지털 영상에서 검출된 물체의 윤곽선 영상을 열화상 영상과 차분하였다. 영상 차분은 동일한 지점을 촬영한 영상들의 차이를 나타낸다[6]. 수식 (1)은 영상 차분을 나타낸다.

$$O(\mathrm{x},\mathrm{y}) = I_1(x,y) - I_2(x,y) \tag{1}$$

위 수식에서 $I_1(x, y)$는 열화상 영상이고 $I_2(x, y)$는 디지털 영상의 윤곽선 영상이다. 결과 영상 $O(x, y)$에서 윤곽선에 해당하는 픽셀값은 음수를 가질 수 있으므로 수식 (1)을 수행하면서 클램핑(clamping) 처리를 한다.

Fig. 6는 Fig. 2(a)의 열화상 영상을 본 논문에서 제안한 방법으로 개선한 영상이다. 앞에서도 언급했듯이 Fig. 2(a)의 열화상 영상에서는 발가락 끝마디가 배경으로 사라졌다. Fig. 6(a)는 라플라시안 연산 처리를 한 윤곽선을 합성한 영상이다. 오리발 처럼 보였던 사람 발가락 다섯개와 뒷부분에 있는 의자발도 볼 수 있다. Fig. 6(b)는 프리윗 연산 처리를 한 윤곽선을 합성한 영상인데 물체의 윤곽선을 더욱 뚜렷하게 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 열화상 영상개선 방법은 앞에서 언급한 MSX 처리로 영상개선을 한 Fig. 3(a)보다 더욱 뚜렷하게 물체를 식별할 수 있다. 또한 모니터링을 하는 화면 해상도나 인쇄물 등 사용자의 필요에 따라 윤곽선의 강약을 선택하여 열화상 영상을 개선할 수 있다.



(a) (b)

Fig. 6. (a) The enhanced infrared thermal image of Fig. 2(a) with Laplacian contour, and (b) the enhanced infrared thermal image of Fig. 2(a) with Prewitt contour.

2.4 적외선 영상을 이용한 열화상 영상 개선

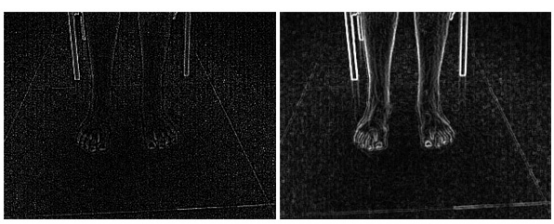
야간에 가시광선이 없어 우리 눈에는 검은색으로만 보이는 Fig. 1(b) 영상에 대해서도 열화상 카메라는 Fig. 2(b)와 같은 열화상 영상을 얻을 수 있었으나 물체의 윤곽은 알아보기 힘들었다. 또한 앞에서 언급한 MSX 처리로는 Fig. 3(b)에서 보이듯이 영상 개선이 전혀 되지 않았다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 적외선(IR) 카메라를 이용하였다. 열화상 카메라와 달리 적외선 카메라는 야간에 카메라의 LED에서 적외선을 발산하여 가까운 거리에 있는 물체에서 반사된 적외선을 검출하여, 검출된 적외선의 양에 따라 그레이스케일(grayscale)로 영상을 나타낸다. 최근에 야간 방범 및 감시 시스템으로 건물의 내부 및 외곽에 설치되어 널리 사용되고 있다.

(a) (b)

Fig. 7. (a) An infrared(IR) image without a visible light, and (b) the infrared thermal image of Fig. 7(a).

Fig. 7(a)는 가시광선이 전혀 없어 Fig. 1(b)처럼 우리 눈

에는 전혀 보이지 않는 장면을 적외선 카메라로 촬영한 영상이다. 적외선 영상은 카메라에 내장된 작은 적외선 LED를 조명으로 사용함으로 탈색되고 명암도가 많이 떨어진다. 이러한 적외선 영상의 명암 대비(contrast)를 개선하려는 연구도 시행되고 있다[7]. Fig. 7(b)는 똑같은 장면을 열화상 카메라로 촬영한 영상이다. 앞에서와 마찬가지로 차가운 발가락 끝이 배경으로 사라져 사람발이 오리발처럼 보여진다. 또한 이 영상은 앞에서 언급된 MSX 처리로도 전혀 개선이 안되었다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 앞에서와 마찬가지로 적외선 영상에서 에지 검출을 하여 윤곽선을 추출하였다. Fig. 8(a)는 Fig. 7(a)의 영상을 라플라시안 연산 처리한 영상이고, Fig. 8(b)는 프리윗 연산 처리한 영상이다. 적외선 영상은 명암 대비가 낮으므로 윤곽선도 가시광선의 윤곽선보다는 흐리다.



(a) (b)

Fig. 8. (a) The image with Laplacian contour of Fig. 7(a), and (b) the image with Prewitt contour of Fig. 7(a).

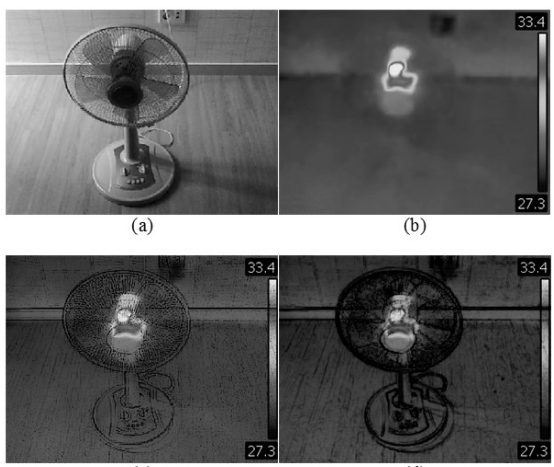
앞에서와 마찬가지로 수식 (1)을 사용하여 열화상 영상에서 적외선 영상의 윤곽선 영상을 차분하면 Fig. 9와 같은 영상을 얻을 수 있다. Fig 7(b)에서 오리발 처럼 보였던 사람 발가락 다섯개와 뒷부분에 있는 의자발도 볼 수 있다.

(a) (b)

Fig. 9. (a) The enhanced infrared thermal image of Fig. 7(b) with Laplacian contour, and (b) the enhanced infrared thermal image of Fig. 7(b) with Prewitt contour.

3. 실험 결과

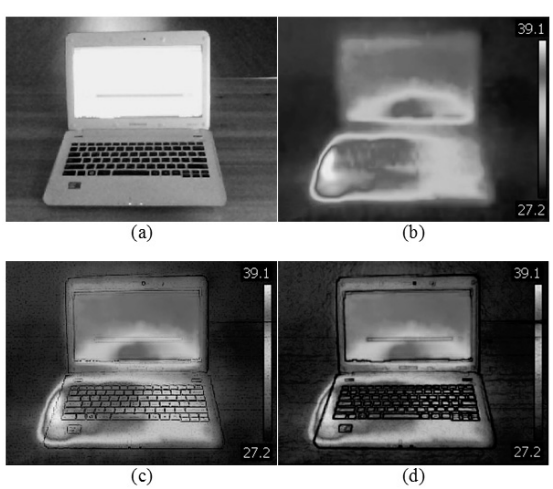
본 논문에서 제안한 방법을 C 언어로 구현하여 임베디드 리눅스 시스템에서 실험하였다. Fig. 10에서 Fig. 13은 본 논문에서 제안한 방법으로 열화상 영상 개선을 실험한 결과 영상들 중 일부 예이다.



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 10. (a) An electric fan in a visible light, (b) the infrared thermal image, (c) the enhanced infrared thermal image with Laplacian contour, and (d) the enhanced infrared thermal image with Prewitt contour.



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 11. (a) A notebook computer in a visible light, (b) the infrared thermal image, (c) the enhanced infrared thermal image with Laplacian contour, and (d) the enhanced infrared thermal image with Prewitt contour.

Fig. 10(a)의 선풍기를 열화상 카메라로 촬영하면 Fig. 10(b)처럼 보이는 데 선풍기 몸체의 온도는 배경과 온도가 비슷해 배경과 같이 파랑색으로 표현되어 배경 속으로 사라졌다. 온도가 높은 선풍기 모터 부분만 노랑색과 빨강색 등으로 열화상 영상에는 보여진다. 따라서 Fig. 10(b) 영상만 봐서는 무슨 물체인지 식별하는 것이 대단히 어렵다. 이 영상을 라플라시안 연산 처리를 한 윤곽선으로 개선한 영상 Fig. 10(c)와 프리윗 연산 처리를 한 윤곽선으로 개선한 영상 Fig. 10(d)를 보면 열화상 영상에서도 선풍기의 몸체 부분뿐만 아니라 전선 부분, 바닥과 벽면도 식별할 수 있다. 마찬가지로 열화상 영상 Fig. 11(b)만 봐서는 무엇인지 대충 짐작만 해야 하지만 영상개선을 한 Fig. 11(c)나 Fig. 11(d)를 보면 바로 노트북 컴퓨터인지 알 수 있고 어느 부분이 온도가 높고 낮은지를 짐작하여 어림잡지 않고 구체적으로 식별할 수 있다. 또한 Fig. 12(b)를 보면 컵의 손잡이를 식별하는 것이 어려우나 영상 개선을 한 Fig. 12(c)나 Fig. 12(d)를 보면 컵의 손잡이를 식별하는 것이 쉬우며 컵이나 내용물인 커피에 비해 컵 손잡이는 아주 낮은 온도임을 알 수 있다. Fig. 13(a)는 두 개의 천장등에서 왼쪽 등 한 개만 한동안 켜놓았다가 전원을 끄고 가시광선이 없는 어두운 상태에서 적외선 카메라로 촬영한 영상이다. 열화상 카메라로 촬영한 Fig. 13(b)를 보면 왼쪽 부분에서 빨강색, 노랑색 등으로 온도가 높게 나타난다. 적외선 영상은 윤곽선이 잘 검출되지 않아 비록 뚜렷하지는 않지만 Fig. 13(c)과 Fig. 13(d)를 보면 오른쪽 등의 윤곽선과 천장과 벽의 경계선을 볼 수 있다.

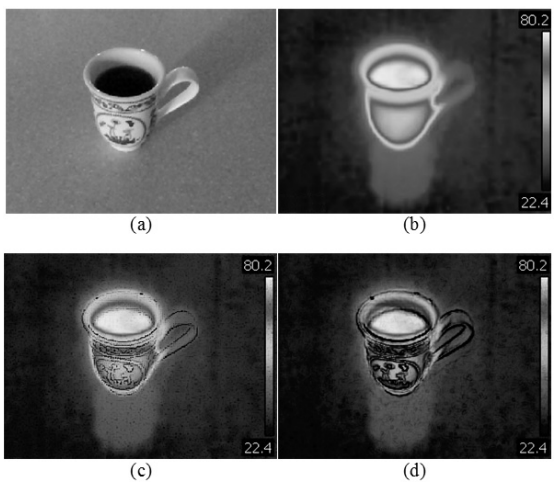


Fig. 12. (a) A cup with hot coffee in a visible light, (b) the infrared thermal image, (c) the enhanced infrared thermal image with Laplacian contour, and (d) the enhanced infrared thermal image with Prewitt contour.

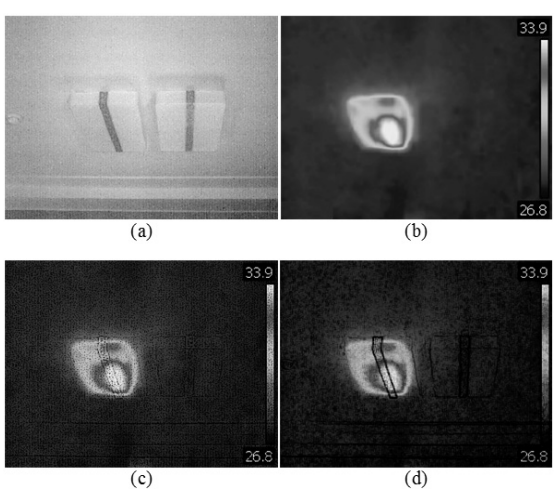


Fig. 13. (a) A two ceiling lamps in an infrared light, (b) the infrared thermal image, (c) the enhanced infrared thermal image with Laplacian contour, and (d) the enhanced infrared thermal image with Prewitt contour.

본 논문에서 제안한 방법으로 개선된 열화상 영상은 개선전의 열화상 영상 보다는 화질이 다소 어둡게 된다. 이는 에지 검출이 영상의 밝기가 급격하게 변하는 윤곽선 부분뿐만 아니라 밝기가 미세하게 변화하는 부분들도 작은 값의 픽셀들로 검출하기 때문이다. 윤곽선을 구성하지 않는 이러한 작은 값의 픽셀들은 앞의 수식 (1)에 의한 영상 차분을 수행할 때 열화상 영상과 차분되어 개선된 열화상 영상을 어둡게 한다. 이러한 점을 개선하기 위해서는 윤곽선 영상에서 윤곽선을 구성하지 않는 작은 값을 가지는 픽셀들을 제거하는 것이 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 최근에 일반 사용자들도 점차 폭넓게 사용하고 있는 열화상 카메라의 영상을 개선하는 간단하고 효과적인 새로운 방법을 제안했다. 열화상 카메라의 영상은 물체가 스스로 발산하는 적외선의 세기에 따라 유사 색상으로 표현되므로 물체간 적외선의 세기가 비슷한 경우 물체의 구분이 없게 된다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 물체의 윤곽선을 추출하여 열화상 영상과 차분하여 합성하였다. 결과 영상은 제안한 방법이 기존의 MSX 영상 개선보다 우수함을 나타냈다. 더구나 기존의 MSX 영상 개선 방법은 가시 광선이 있는 밝은 영상만 가능한 데 제안한 방법은 가시광선이 전혀 없는 어두운 영상도 가능함을 보여주었다. 다시 말해서 야간에도 물체

가 적외선으로 방출하는 온도 에너지 영상과 함께 물체의 윤곽선을 볼 수 있어 물체를 단순히 감지할 뿐만 아니라 동시에 물체를 인식하는 것이 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 국방, 보안, 자동차(야간주행 및 자율주행) 산업 등에 응용되어 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

본 논문에서 제안한 방법은 에지 검출 방법에 따라 영상 개선 효과가 다르다. 따라서 열화상 영상에 맞게 다양한 에지 검출 방법을 개발, 응용하여 열화상 영상을 더욱 더 개선할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 상명대학교 2016학년도 교내연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals, FLIR Systems, (2016).
2. Joo-Hyun Baek, “Advanced image processing technology for thermal imaging cameras,” The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 45, No. 3, pp. 64-67, (2016).
3. Choong Ho Shin, “The Study of Edge Extract Methods Using Improved Detect Mask,” Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 12, No. 2, pp. 191-199, (2009).
4. Chang-Young Lee, Nam-Ho Kim, “A Study on the Edge Detection using Region Segmentation of the Mask,” The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 718-723, (2013).
5. Kazuhide Okada, “Image Improvement using Prewitt and Dynamic Laplacian,” International Technical Conference on Circuits Systems, Computers and Communications, pp. 1470-1473, (2009).
6. Sung-Hwan Jeong, Joon-Whoan Lee, “Measurement of the Traffic Congestion using Difference of Images in Intersection,” The Institute of Electronics Engineers of Korea: *2008 Fall Conference*, pp. 801-802, (2008).
7. Minchul Jung, “Infrared Image Enhancement using a Histogram Partition Stretching and Shrinking Method,” Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 50-55, (2015).

접수일: 2016년 8월 31일, 심사일: 2016년 9월 9일,
게재확정일: 2016년 9월 21일