

변형된 히스토그램 평활화를 적용한 에지 검출에 관한 연구

이창영 · 김남호*

A Study on Edge Detection using Modified Histogram Equalization

Chang-Young Lee · Nam-Ho Kim*

Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요 약

에지 검출은 문자, 차선 및 물체 인식 등을 구현하는 과정에서 영상을 단순화하기 위한 중요한 기술 중 하나이며, 우수한 에지 검출을 위한 다양한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 기존의 에지 검출 방법에는 공간 영역에서 방향성 기울기 마스크를 적용하여 에지를 구하는 방법과 SE(structure element)를 이용한 수학적 모폴로지(mathematical morphology) 기반의 에지 검출 방법 등이 있다. 이러한 기존의 방법들은 지나치게 어둡거나 밝은 영상에서 에지 검출 특성이 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 기존의 방법 중 Sobel 방법과 히스토그램 평활화 방법을 적용하는 알고리즘을 제안하였다.

ABSTRACT

Edge detection is one of the important technologies to simplify images in the text, lane and object recognition implementation process, and various studies are actively carried out at home and abroad. Existing edge detection methods include a method to detect edge by applying directional gradient masks in spatial space, and a mathematical morphology-based edge detection method. These existing detection methods show insufficient edge detection results in excessively dark or bright images. In this regard, to complement these drawbacks, we proposed an algorithm using the Sobel and histogram equalization among the existing methods.

키워드 : 에지 검출, 알고리즘, 히스토그램 평활화, Sobel, 영상

Key word : Edge Detection, Algorithm, Histogram Equalization, Sobel, Image

Received 28 January 2015, Revised 23 February 2015, Accepted 10 March 2015

* Corresponding Author Nam-Ho Kim(E-mail:nhk@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6328)

Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.5.1221>

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. 서론

에지는 영상을 해석하는데 필요한 여러 정보를 포함하고 있으며, 문자, 차선 및 물체 인식 등을 구현하는 과정에서 에지 검출은 최우선적으로 수행하는 영상 처리 기술이다[1-3].

이에 따라 우수한 특성의 에지 검출 결과를 얻기 위해, 다양한 관련 연구가 국내 및 해외에서 진행되고 있다. 기존의 에지 검출 방법에는 공간 영역에서 마스크를 적용하는 Sobel, 수학적 모폴로지(mathematical morphology)에 기반하는 방법 등이 있다[4,5]. 그리고 심화된 에지 검출 방법에는 Fuzzy, Wavelet, SVM 등을 이용한 방법들이 있다[6-8]. 이러한 방법들은 밝기 분포를 고려하지 않기 때문에 에지 검출 결과가 다소 미흡하다. 특히, 지나치게 어둡거나 밝은 영상에서 기존의 방법으로 에지를 검출할 경우, 검출 특성이 상당히 미흡하게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 기존의 방법 중 Sobel 방법과 히스토그램 평활화 방법(histogram equalization)을 적용하여 최종 에지 영상을 얻는 에지 검출 알고리즘을 제안하였다.

제안한 에지 검출 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 512×512 크기의 Cameraman 영상을 사용하여 기존의 방법들과 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

II. 기존의 에지 검출 방법

영상의 에지는 물체와 배경 및 물체와 물체에서 일반적으로 나타나며, 그레이 레벨 영상의 경우 화소값이 급격히 변화하는 부분에서 나타난다. 이러한 특징을 갖는 에지를 검출하기 위한 기존의 에지 검출 방법에는 공간 영역에서 방향성 기울기 마스크를 적용하는 방법과 구조 요소를 사용한 수학적 모폴로지 기반의 에지 검출 방법 등이 있다. 공간 영역에서 마스크를 적용하는 대표적인 방법은 Sobel 에지 검출 방법이 있으며, 모폴로지 기반의 에지 검출 방법에는 단일 구조 요소를 사용하는 방법 그리고 다중 구조 요소를 사용하는 방법이 있다.

2.1. Sobel 에지 검출 방법

Sobel 에지 검출 방법은 공간 영역에서 방향성 기울기 마스크를 적용하는 방법 중에서 대표적인 방법이다. 이 방법으로 에지 검출 결과를 얻기 위해서는 먼저 I 영상에 대해서 식 (1)과 같이 수평 및 수직 기울기를 구한다.

$$\begin{aligned} G_x &= I(x-1, y-1) + 2I(x, y-1) + I(x+1, y-1) \\ &\quad - \{I(x-1, y+1) + 2I(x, y+1) + I(x+1, y+1)\} \\ G_y &= I(x-1, y-1) + 2I(x-1, y) + I(x-1, y+1) \\ &\quad - \{I(x+1, y-1) + 2I(x+1, y) + I(x+1, y+1)\} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 x, y 는 영상에서 화소의 위치 인덱스이다.

Sobel 방법에 대한 최종 에지 영상은 식 (2)와 같이 구한다.

$$O(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

2.2. 수학적 모폴로지 기반의 에지 검출 방법

수학적 모폴로지는 집합 이론에 기반하며, Serra에 의해 영상 해석에 확장되었다[9]. 이는 영상 처리 및 컴퓨터 비전에서 다양한 문제를 다루는데 있어서 강력한 도구이다. 이것의 기본적인 동작은 침식, 팽창, 열기, 닫기 등이 있으며, 영상의 모양에 기반한 특징 검출이 가능하다. 수학적 모폴로지는 구조 요소(SE:structure element)의 크기나 형태에 따라 관련된 응용에 사용된다.

2.2.1. 단일 SE를 사용한 방법

그레이 영상에 대해 수학적 모폴로지를 구하기 위한 침식과 팽창은 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$(I \ominus B)(x, y) = \min [I(x+s, y+t) - B(s, t)] \quad (3)$$

$$(I \oplus B)(x, y) = \max [I(x+s, y+t) + B(s, t)] \quad (4)$$

여기서 I 는 입력 영상, B 는 SE이다.

수학적 모폴로지 기반 단일 구조 요소를 사용한 방법의 에지 영상을 구하는 방법은 세 가지가 있으며, 각각 원 영상과 침식만을 이용한 방법, 팽창만을 이용한 방법, 그리고 팽창 및 침식을 동시에 이용하는 방법이 있

으며, 각각 식 (5)-(7)과 같다.

$$E_d = I - (I \ominus B) \quad (5)$$

$$E_e = (I \oplus B) - I \quad (6)$$

$$E = (I \oplus B) - (I \ominus B) \quad (7)$$

일반적으로 사용하는 단일 SE는 그림 1과 같다.

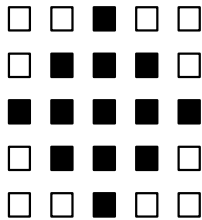


그림 1. 단일 SE(5×5)
Fig. 1 Single SE

그림 1에서 채워진 영역은 SE의 요소이다.

2.2.2. 다중 SE를 사용한 방법

단일 SE를 사용한 수학적 모폴로지 기반의 에지 검출 방법은 같은 방향으로 형성된 에지의 경우 우수한 특성으로 검출하지만 복잡한 형태로 형성된 에지를 검출하기에는 다소 미흡한 특성을 나타낸다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 방향성을 고려한 SE를 사용하며, 0° 방향의 단일 SE로부터 회전시켜 나머지 SE를 얻는다.

그림 2는 8 방향 중에서 0° 방향 및 22.5° 방향의 단일 SE를 나타낸 것이다.

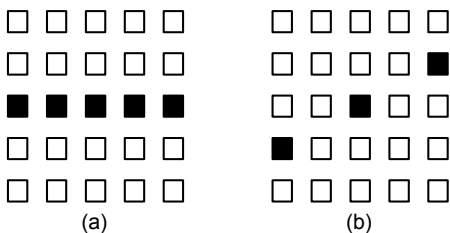


그림 2. 0° 및 22.5° 방향 SE (a) 0° 방향 SE (b) 22.5° 방향 SE
Fig. 2 0° and 22.5° directional SE (a) 0° directional SE (b) 22.5° directional SE

그림 2의 SE를 회전시켜 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°, 112.5°, 135°, 157.5°에 대한 SE를 구하고 각각 $B_1 \sim B_8$ 로 정의한다. 그리고 각 SE에 대한 에지맵은 식 (8)과 같이 구한다.

$$E_k = (I \oplus B_k) - (I \ominus B_k) \quad (8)$$

여기서 k 는 1에서 M 의 범위를 가지며, M 은 SE의 개수이다. 최종 에지는 가중치 ω_k 를 각 SE에 적용하여 구하며, 식 (9)와 같다.

$$E = \sum_{k=1}^M \omega_k E_k \quad (9)$$

여기서 ω_k 는 $1/M$ 의 값으로 적용한다[5].

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 에지 검출 방법으로 처리하였을 때 다소 미흡한 검출 결과를 보완하기 위하여 변형된 히스토그램 평활화를 적용한 에지 검출 알고리즘을 제안하였다.

영상 처리에서 히스토그램은 영상이 갖는 그레이 레벨에 대한 분포를 수치적으로 한번에 파악할 수 있는 도구이다. 히스토그램으로 영상을 개선하는 대표적인 방법에는 히스토그램 평활화 방법이 있다[10]. 히스토그램 평활화는 영상의 화소 분포가 그레이 레벨의 최소값인 0에서 그레이 레벨의 최대값인 255까지 분포되어 있지 않고 전체적으로 아래쪽 또는 위쪽에 치우쳐진 경우에 히스토그램이 0에서 255까지 분포하도록 평활화하는 기법이다. 이 기법은 저조도 영상이나 고조도 영상에 적용할 경우 시각적으로 높은 개선도를 나타낸다.

3.1. 히스토그램 평활화

제안한 히스토그램 평활화는 입력 영상으로부터 얻은 히스토그램의 그레이 레벨을 분할하여 그 부분 영역의 누적합이 동일하도록 평활화하여 영상의 화질을 개선하는 방법이며, 다음과 같은 과정을 거친다.

Step 1. 입력 영상에 대한 히스토그램의 결과를 식

(10)과 같이 정의한다.

$$h(i) = n_i, \quad \text{if } 0 \leq i \leq 255 \quad (10)$$

여기서 n_i 은 그레이 레벨 i 의 화소값을 갖는 총 화소 수이다. 영상의 화질 여부를 판단하기 위하여, 히스토그램을 사용하여 식 (11)의 조건을 만족하는지 확인한다.

$$\left| \sum_{\phi=0}^{127} h(\phi) - \frac{RC}{2} \right| \leq \alpha \quad (11)$$

여기서 R, C 는 영상의 가로 및 세로 크기이고 α 는 편차 기준 상수이다.

Step 2. 입력 영상의 히스토그램이 식 (11)을 만족하는 경우, 현재의 입력 영상을 최종 평활화 영상으로 결정하며, 식 (11)을 만족하지 않는 경우, 그림 3과 같이 히스토그램을 n 구간으로 균등 배분하여 평활화한다.

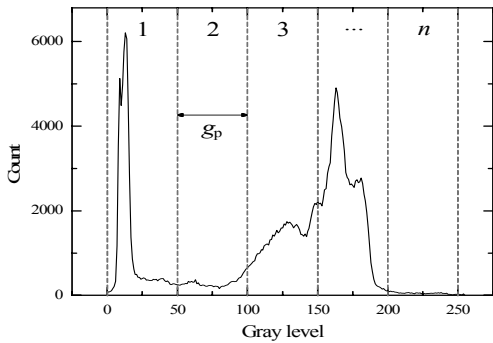


그림 3. 히스토그램 분할
Fig. 3 Histogram decomposition

그림 3에서 g_p 는 각 구간의 그레이 레벨 범위이며, 식 (12)와 같다.

$$g_p = \text{int} \left(\frac{2^b}{n} \right) \quad (12)$$

여기서 int 는 정수를 나타내며, 소수점 이하를 버리는 함수이고, b 는 8비트 그레이 레벨의 비트 크기이다. 히스토그램의 분할을 위한 각 구간별 누적 화소 수를 식 (13)과 같이 정의한다.

$$p = \frac{RC}{n} \quad (13)$$

각 구간 까지의 누적 화소 수를 식 (14)와 같이 정의한다.

$$s(r) = rp \quad (14)$$

그리고 각 구간별 그레이 레벨 범위의 시작 및 끝값을 식 (15)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} g_{p1}(r) &= (r-1)g_p \\ g_{p2}(r) &= r g_p - 1 \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 r 은 구간 번호이며 1에서 시작한다.

Step 3. step 1에서 구한 히스토그램 h 에 대해 k 번째 그레이 레벨을 갖는 화소까지의 누적합은 식 (16)과 같다.

$$S_k(r) = \sum_{i=0}^k h(i) \quad (16)$$

k 를 증가시켜 식 (16)의 누적합이 식 (17)의 조건이 만족하는 최초의 k 값을 구한다.

$$S_k(r) \geq s(r) \quad (17)$$

Step 4. step 3에서 구한 k 값을 이용하여 r 구간에 대한 히스토그램 평활화를 위해 직선 보간법을 이용한다. 이를 위해, 먼저 입력 영상에 대한 그레이 레벨을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} t_1(r) &= \begin{cases} \text{index}[\min(h)], & \text{if } r=1 \\ k', & \text{otherwise} \end{cases} \\ t_2(r) &= k \end{aligned} \quad (18)$$

여기서 $\text{index}[\min(h)]$ 는 히스토그램이 0이 아닌 값을 갖는 최초의 그레이 레벨 값이며, k' 는 r 이 1보다 큰 값을 갖는 경우, 이전 r 구간에서 구한 k 의 값이다. 식 (18)의 입력 영상에 대한 그레이 레벨 $t_1(r) \sim t_2(r)$ 을 $g_{p1}(r) \sim g_{p2}(r)$ 로 평활화한다.

평활화를 위한 기울기 및 절편은 식 (19)와 같이 구한다.

$$a(r) = \frac{g_{p2}(r) - g_{p1}(r)}{t_2(r) - t_1(r)} \quad (19)$$

$$c(r) = g_{p2}(r) - \frac{g_{p2}(r) - g_{p1}(r)}{t_2(r) - t_1(r)} t_2(r)$$

그리고 r 의 값을 1 증가시켜 다음 구간에 대해 step 4를 반복하며, r 의 값이 n 인 경우, 다음 단계를 진행한다.

Step 5. 모든 구간에 대한 직선의 기울기 및 절편이 구해지면, 식 (20)과 같이 최종 평활화 영상을 구한다.

$$M_n(x, y) = a(r)I(x, y) + c(r), t_2(r) < I(x, y) \leq t_2(r + 1) \quad (20)$$

3.2. 히스토그램 평활화를 적용한 알고리즘

Step 1. 식 (21)에서 구한 히스토그램 평활화에 의한 최종 출력 영상 M_n 을 정규화한 후, 식 (1)의 소벨 연산을 처리한 수직, 수평 기울기를 G_{Mx}, G_{My} 라 한다. G_{Mx}, G_{My} 에 대한 에지 결과를 식 (21)과 같이 정의한다.

$$E_1(x, y) = \left(\frac{1}{8} G_{Mx}\right)^2 + \left(\frac{1}{8} G_{My}\right)^2 \quad (21)$$

Step 2. 원 영상 I 를 정규화한 후, 식 (1)의 소벨 연산을 처리하고, 에지 결과를 식 (22)와 같이 정의한다.

$$E_2(x, y) = \left(\frac{1}{8} G_x\right)^2 + \left(\frac{1}{8} G_y\right)^2 \quad (22)$$

Step 3. step1, 2에서 구한 에지 결과들로부터 최종 에지 영상을 얻기 위한 임계값을 다음과 같이 구한다.

$$T_1 = \gamma m_1, T_2 = \gamma m_2 \quad (23)$$

여기서 γ 는 스케일 상수로서 일반적으로 4의 값이 사용되며, m_1, m_2 은 각 에지 영상에 대한 평균값이다. 에지 결과들과 임계값으로부터 최종 에지 결과는 다음과 같이 구한다.

$$O(x, y) = \begin{cases} 1, & E_1(x, y) > T_1 \text{ or } E_2(x, y) > T_2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

제안한 알고리즘의 구성도는 그림 4와 같다.

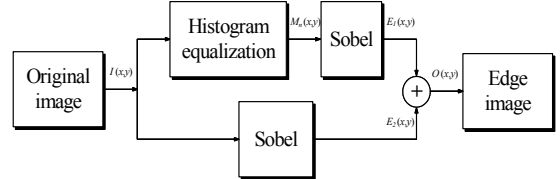


그림 4. 제안한 에지 검출 알고리즘
Fig. 4 Proposed edge detection algorithm

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문은 기존의 에지 검출 방법으로 처리한 영상에서 검출되지 않은 에지를 구하기 위해, 입력 영상에 변형된 히스토그램 평활화를 적용하여, 에지를 구하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 에지 검출 성능을 확인하기 위하여, 기존의 Sobel 에지 검출 방법과 단일 및 다중 모폴로지 기반의 에지 검출 방법들과 비교하였으며, 시험 영상은 512×512 크기의 8비트 그레이 레벨 Cameraman 영상을 이용하였다.

그림 6은 그림 5의 시험 영상을 사용하여 기존의 방법들과 제안한 알고리즘을 시뮬레이션 한 결과이다.



그림 5. Cameraman 영상(512×512)
Fig. 5 Cameraman image(512×512)

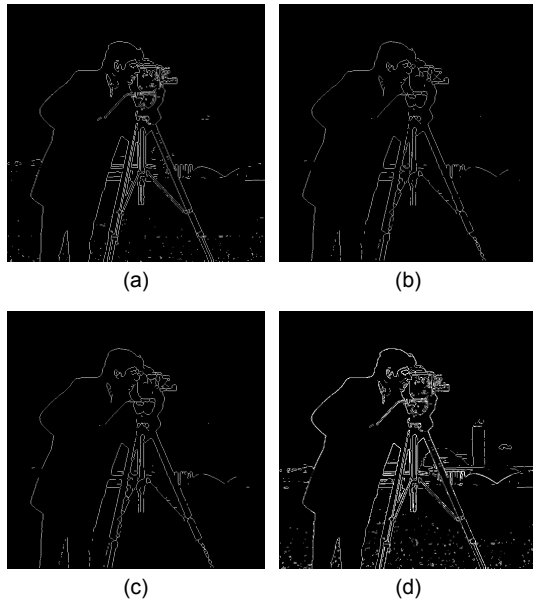


그림 6. 시뮬레이션 결과 (a) Sobel (b) Morphology (single SE) (c) Morphology(Multi-SE) (d) 제안한 알고리즘($n=5$)
Fig. 6 Simulation result (a) Sobel (b) Morphology (single SE) (c) Morphology(Multi-SE) (d) Proposed algorithm($n=5$)

그림 6에서 (a)는 Sobel, (b)는 단일 SE를 사용한 모폴로지 기반, (c)는 다중 SE를 사용한 모폴로지 기반 에지 검출 방법으로 처리한 결과 영상이며, (d)는 제안한 알고리즘으로 처리한 결과 영상이다. 동일한 비교를 위해서 모든 영상의 이진화는 Sobel 방법과 동일하게 γ 값을 4로 하여 적용하였다.

그 결과, Sobel 에지 검출 방법으로 처리한 결과 영상에서 일부 에지가 검출되지 않음을 나타내었으며, 단일 SE를 사용한 모폴로지 기반 에지 검출 방법으로 처리한 영상은 Sobel 방법에 비해 시각적으로 다소 미흡한 에지 검출 결과를 나타내었다.

또한 다중 SE를 사용한 모폴로지 기반 에지 검출 방법으로 처리한 영상은 단일 SE를 사용한 방법에 비해 시각적으로 에지 검출 정도가 다소 향상된 결과를 나타내었지만 Sobel 방법에 비해 미흡한 결과를 나타내었다. 그리고 제안한 알고리즘으로 처리한 결과 영상에서 기존의 방법에 비하여 전반적으로 우수한 에지 검출 특성을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문은 기존의 에지 검출 방법으로 처리할 경우 검출되지 않는 에지를 검출하기 위해, 변형된 히스토그램 평활화와 Sobel 방법을 적용하여, 최종 에지 영상을 구하는 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과, Sobel 방법은 영상의 일부 에지가 검출되지 않는 결과를 나타내었고, 단일 및 다중 SE를 사용한 수학적 모폴로지 기반의 에지 검출 방법들은 Sobel 방법에 비해 전체적으로 다소 미흡한 에지 검출 결과를 나타내었다. 그러나 제안한 알고리즘은 우수한 에지 검출 결과를 위해 알고리즘의 복잡도는 증가하지 않, 처리 결과 영상에서 기존의 방법에 비하여 전반적으로 우수한 에지 검출 특성을 나타내었다. 따라서, 제안한 알고리즘은 산업 전반적으로 물체 인식, 물체 검출, 차선 인식, 문자 인식 등의 여러 응용 분야에서 유용하게 활용되리라 사료된다.

REFERENCES

- [1] Fukun Bi, Mingming Bian, Feng Liu, Lining Gao, "A local descriptor based model with visual attention guidance for guidance for generic object detection", *International Congress on Image and Signal Processing*, pp. 1599-1604, 2010.
- [2] Xiaojun Zhai, Bensaali F., Sotudeh R., "Real-time optical character recognition on field programmable gate array for automatic number plate recognition system", *Circuits, Devices & Systems, IET*, vol. 7, no. 6, pp. 337-344, Nov. 2013.
- [3] Zhang, D., Feng Liu, Qijun Zhao, Guangming Lu, Nan Luo, "Selecting a Reference High Resolution for Fingerprint Recognition Using Minutiae and Pores", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 3, pp. 863-871, March 2011.
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed., Prentice-Hall, 2007.
- [5] Yuqian Zhao, Weihua Gui, Zhencheng Chen, "Edge Detection Based on Multi-Structure Elements Morphology", *The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation*, vol. 2, pp. 9795-9798, 2006.
- [6] Melin P., Gonzalez, C.I., Castro J.R., Mendoza O., Castillo

- O., "Edge-Detection Method for Image Processing Based on Generalized Type-2 Fuzzy Logic", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 22, no. 6, pp. 1515-1525, Dec. 2014.
- [7] Guan Y.-P., "Automatic extraction of lips based on multi-scale wavelet edge detection", *Computer Vision IET*, vol. 2, no. 1, pp. 23-33, March 2008.
- [8] Wei Guo, Zhenhong Jia, "Improved Edge Detection Based on LS-SVM", *Fourth International Conference on Natural Computation*, vol. 2, pp. 86-90, 2008.
- [9] Stanley R. Sternberg, "Grayscale Morphology", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 35, no. 3, pp. 333-355, 1986.
- [10] Yeganeh H., Ziaei A., Rezaie A., "A novel approach for contrast enhancement based on Histogram Equalization", *International Conference on Computer and Communication Engineering*, pp. 256-260, 2008.



이창영(Chang-Young Lee)

2011년 2월 부경대학교 제어계측공학과 공학사
2013년 2월 부경대학교 대학원 제어계측공학과 공학석사
2013년 3월~현재 부경대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정
※관심분야: 영상처리



김남호(Nam-Ho Kim)

한국정보통신학회논문지 제19권 제1호 참조
1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수
※관심분야: 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이블릿을 이용한 잡음제거 및 신호복원