Salt & Pepper 잡음 환경에서 에지 검출 알고리즘에 관한 연구

이창영 · 김남호*

A Study on Edge Detection Algorithm in Salt & Pepper Noise Environments

Chang-Young Lee · Nam-Ho Kim*

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

요 약

영상, 차선, 물체 인식 등을 위한 에지 검출은 중요한 영상 처리 방법이며, 이를 위한 기존의 방법에는 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, LoG(Laplacian of Gaussian) 등이 있다. 이러한 방법들은 salt & pepper 잡음에 훼손된 영상에서 특성이 미흡하다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 중심 화소의 인접 화소를 중심으로 국부 마스크를 설정하여, 그것의 중심 화소가 비잡음인 경우 그대로 처리하고 잡음인 경우 추정 마스크를 구한 후, 가중치 마스크를 적용하여 에지를 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

ABSTRACT

Edge detection for such as image, lane and object recognition is important image processing method. And some traditional method for this, there are Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, LoG(Laplacian of Gaussian) and so on. Characteristics of these methods are insufficient in the salt & pepper noise added image. In order to improve such a problem of conventional methods, in this paper, we proposed an algorithm applying the weighted mask for detecting an edge by setting the local mask centered on the adjacent of the central pixel if central pixel of the mask is non-noise, it is intactly set by element of estimated mask, after calculating estimated mask if it is noise.

키워드 : 에지 검출, Salt & Pepper 잡음, 알고리즘

Key word : Edge Detection, Salt & Pepper Noise, Algorithm

접수일자 : 2014. 04. 08 심사완료일자 : 2014. 04. 28 게재확정일자 : 2014. 05. 12

* **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.2014.18.8.1973>

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

에지 검출은 영상 분할 및 인식 과정 등 대부분 영상 처리의 전처리 과정에서 필수적인 요소이고, 군용 및 의료용 전자기기, 스마트폰, 자동차 번호판 인식 등 여러 분야에서 적용되며, 영상 처리 및 컴퓨터 비전 분야에서 많은 연구가 활발히 진행되고 있다[1-7].

일반적으로 공간 영역에서 에지를 검출하기 위한 방법에는 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, LoG (Laplacian of Gaussian) 방법 등이 있다. 그러나 이러한 기존의 방법들은 비잡음 영상에서 에지 검출 특성이 우수한 반면, AWGN(additive white Gaussian noise) 및 salt & pepper 잡음에 훼손된 영상에서 처리 특성이 미흡하다[8-10].

따라서 본 논문에서는 salt & pepper 잡음 환경에서 에지 검출을 위하여 입력 영상 마스크의 중심 화소를 기준으로 인접한 이웃 화소에 대한 9개의 국부 마스크를 설정하여 그것의 중심 화소의 잡음 여부를 판단한다. 판단 결과에 의해 비잡음일 경우 그대로 처리하고, 잡음일 경우 국부 마스크의 요소들 중 비잡음 요소들의 메디안 값으로 추정 마스크를 구한 후, 그 마스크에 가중치 마스크를 적용하여 에지를 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

제안한 에지 검출 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 512×512 크기의 Cameraman 및 DSP 보드 영상에 salt & pepper 잡음($p=45\%$)을 첨가하여 기존의 방법들과 비교하였다.

II. 기존의 에지 검출 방법

2.1. Sobel 방법

Sobel 방법은 수평 및 수직 방향의 마스크로 구성되며, 식 (1)과 같이 정의된다[7-9].

$$\begin{aligned} g_h(i, j) &= [I(i-1, j+1) + \alpha I(i, j+1) + I(i+1, j+1)] \\ &\quad - [I(i-1, j-1) + \alpha I(i, j-1) + I(i+1, j-1)] \\ g_v(i, j) &= [I(i+1, j-1) + \alpha I(i+1, j) + I(i+1, j+1)] \\ &\quad - [I(i-1, j-1) + \alpha I(i-1, j) + I(i-1, j+1)] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 I 는 원 영상이며, (i, j) 는 화소 인덱스이다.

Sobel 방법은 식 (1)에서 $\alpha=2$ 이며, 최종 결과는 식 (2)와 같이 정의된다[11].

$$O(i, j) = \sqrt{g_h(i, j)^2 + g_v(i, j)^2} \quad (2)$$

여기서, $g_h(i, j)$, $g_v(i, j)$ 는 수평 및 수직 방향의 기울기이다.

2.2. Prewitt 방법

Prewitt 방법은 Sobel 방법과 동일하게 수평 및 수직 방향의 마스크로 구성되며, 식 (1)에서 $\alpha=1$ 로 정의하며, Prewitt 방법의 최종 결과는 식 (2)와 같이 구한다[12].

2.3. Roberts 방법

Roberts 방법은 대각선 방향에 대한 두 개의 마스크로 구성되며, 식 (3)과 같이 정의된다[13-15].

$$\begin{aligned} g_h(i, j) &= [I(i+1, j) - I(i, j+1)] \\ g_v(i, j) &= [I(i+1, j+1) - I(i, j)] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $g_h(i, j)$, $g_v(i, j)$ 는 45도 및 135도 대각선 방향에 대한 기울기 값이며, Roberts 방법의 결과는 식 (2)와 같이 구한다.

2.4. Laplacian 방법

Laplacian 방법은 하나의 마스크로 최종 결과를 구하는 방법이다[15-18]. Laplacian을 영상 I 에 적용한 결과는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} O(i, j) &= \nabla^2 I = \frac{\partial^2 I}{\partial i^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial j^2} \\ \frac{\partial^2 I}{\partial i^2} &= 2I(i, j) - I(i-1, j) - I(i+1, j) \\ \frac{\partial^2 I}{\partial j^2} &= 2I(i, j) - I(i, j-1) - I(i, j+1) \end{aligned} \quad (4)$$

2.5. LoG 방법

LoG 방법은 Gaussian 함수의 Laplacian 결과로 에지를 검출하는 방법이며, LoG 방법에 이용되는 마스크는

식 (5)와 같다[19-20].

$$\nabla^2 G(x,y) = \frac{-1}{\pi \sigma^4} \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

여기서, x, y 는 마스크의 화소 위치, σ 는 표준편차이며, σ 값에 따라 마스크의 크기가 결정된다. LoG 방법의 최종 에지 검출 결과는 식 (6)과 같다.

$$O = I * (\nabla^2 G) \quad (6)$$

여기서 $*$ 연산자는 컨볼루션 연산자이다.

이러한 기존의 방법들은 비잡음 영상에서 우수한 에지 검출 특성을 나타내며, 잡음 영상에서는 특성이 미흡하다[19, 20].

III. 제안한 에지 검출 알고리즘

본 논문에서 제안한 에지 검출 알고리즘은 국부 마스크의 중심 화소가 비잡음일 경우 그대로 처리하고, 잡음일 경우 추정 마스크를 구한 후, 그 마스크에 가중치 마스크를 적용하여 에지를 검출한다.

Step 1. 국부 마스크는 그림 1과 같이 중심 화소 $I_{19} = I(i,j)$ 를 기준으로 3×3 영역의 마스크 요소를 중심으로 하여 식 (7)과 같이 정의한다.

그림 1. 제안한 마스크
Fig. 1 Proposed mask

그림 1에서, 빗금 영역은 국부 마스크 $R_1^{i,j}$ 이고, 음영 영역은 국부 마스크 $R_9^{i,j}$ 이다.

$$\begin{aligned} R_1^{i,j} &= \{I_1, I_4, I_5, I_6, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{25}\} \\ R_2^{i,j} &= \{I_2, I_5, I_6, I_7, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{26}\} \\ R_3^{i,j} &= \{I_3, I_6, I_7, I_8, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{27}\} \\ R_4^{i,j} &= \{I_5, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{31}\} \\ R_5^{i,j} &= \{I_6, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{32}\} \\ R_6^{i,j} &= \{I_7, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{33}\} \\ R_7^{i,j} &= \{I_{11}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{35}\} \\ R_8^{i,j} &= \{I_{12}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{36}\} \\ R_9^{i,j} &= \{I_{13}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{37}\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, (i,j) 및 k 는 마스크의 중심 화소 및 국부 마스크들의 인덱스이다.

Step 2. 국부 마스크의 중심 화소가 비잡음일 경우, 그대로 처리하고 잡음일 경우 추정 마스크를 구하여 처리하며, 잡음 판단의 여부는 식 (8)과 같다.

$$N_k = \begin{cases} 0, & R_k^{i,j}(7) = 0 \text{ or } 255 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기서, $R_k^{i,j}(7)$ 은 각 국부 마스크의 중심 화소이며, k 는 1, ..., 9이다.

Step 3. 각 국부 마스크의 중심 화소가 비잡음인 경우, 추정 마스크 요소는 식 (9)와 같다.

$$E^{i,j}(p,q) = R_k^{i,j}(7), \quad \text{if } N_k = 1 \quad (9)$$

여기서 p 및 q 는 추정 마스크 내의 위치 인덱스이며, -1, 0, 1이다.

Step 4. 각 국부 마스크의 중심 화소가 잡음인 경우, 먼저 국부 마스크의 요소들에 대한 잡음 판단은 식 (10)과 같이 한다.

$$RN_k(l) = \begin{cases} 0, & R_k^{i,j}(l) = 0 \text{ or } 255 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

여기서, $R_k^{i,j}(l)$ 은 각 국부 마스크의 요소이며, l 은 $1, \dots, 13$ 이다.

각 국부 마스크를 잡음 요소와 비잡음 요소로 나누며, 잡음 요소의 수를 I_k , 비잡음 요소 수를 S_k 라 한다. 그리고 국부 마스크의 요소가 잡음인 경우 RN_k , 비잡음인 경우 RS_k 에 저장하며, 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} RN_k(m) &= R_k^{i,j}(l), & \text{if noise} \\ RS_k(n) &= R_k^{i,j}(l), & \text{otherwise} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, m 은 $1, \dots, I_k$, n 은 $1, \dots, S_k$ 를 갖는다.

Step 5. 추정 마스크 요소는 국부 마스크의 잡음 요소와 비잡음 요소에 의해 결정되며, 식 (12)와 같이 구한다.

$$E^{i,j}(p,q) = \begin{cases} \frac{1}{I_k} \sum_{m=1}^{I_k} RN_k(m), & \text{if all noise} \\ \text{median}(RS_k), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

여기서, $\text{median}()$ 은 메디안 값을 구하는 함수이다.

Step 6. 추정 마스크 $E^{i,j}$ 에서 가중치 마스크를 구하기 위하여 먼저 식 (13)과 같이 중심 화소와 주변 화소 간의 거리(d) 및 화소 위치에 따른 각도(θ)를 구한다.

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{p^2 + q^2} \\ \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{q}{p}\right) \end{aligned} \quad (13)$$

가중치 마스크는 효과적으로 에지를 검출하기 위하여, 중심 화소와 주변 화소의 거리에 따라 식 (14)와 같이 수평 및 수직 가중치를 설정하였다.

$$\begin{aligned} W_h(p,q) &= d^3 \sin \theta = d^2 q \\ W_v(p,q) &= d^3 \cos \theta = d^2 p \end{aligned} \quad (14)$$

Step 7. 최종 에지를 구하기 위한 수평 및 수직 방향의 기울기는 추정 마스크에 가중치 마스크를 적용하여 식 (15)와 같이 구한다.

$$G_h(i,j) = \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 E^{i,j}(p,q) * W_h(p,q) \quad (15)$$

$$G_v(i,j) = \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 E^{i,j}(p,q) * W_v(p,q)$$

제안한 알고리즘의 최종 에지 결과는 식 (16)과 같이 구한다. 그리고 제안한 알고리즘의 흐름도는 그림 2와 같다.

$$O(i,j) = \sqrt{G_h(i,j)^2 + G_v(i,j)^2} \quad (16)$$

그림 2. 제안한 알고리즘
Fig. 2 Proposed algorithm

IV. 시뮬레이션 및 결과

제안한 알고리즘의 에지 검출 성능을 확인하기 위하여 Cameraman 및 DSP board 영상에 45%의 salt & pepper 잡음을 첨가한 영상을 사용하여 시뮬레이션하였다.

그림 3. Cameraman (a) Original image (b) Noisy image ($p=45\%$)

Fig. 3 Cameraman (a) Original image (b) Noisy image ($p=45\%$)

그림 4. DSP board (a) Original image (b) Noisy image ($p=45\%$)

Fig. 4 DSP board (a) Original image (b) Noisy image ($p=45\%$)

그림 5. 시뮬레이션 결과(cameraman $p=45\%$) (a) Sobel (b) Prewitt (c) Roberts (d) Laplacian (e) LoG($\sigma=0.35$) (f) 제안한 알고리즘

Fig. 5 Simulation result(cameraman $p=45\%$) (a) Sobel (b) Prewitt (c) Roberts (d) Laplacian (e) LoG($\sigma=0.35$) (f) Proposed algorithm

그림 6. 시뮬레이션 결과(DSP board $p=45\%$) (a) Sobel (b) Prewitt (c) Roberts (d) Laplacian (e) LoG($\sigma=0.35$) (f) 제안한 알고리즘

Fig. 6 Simulation result(DSP board $p=45\%$) (a) Sobel (b) Prewitt (c) Roberts (d) Laplacian (e) LoG($\sigma=0.35$) (f) Proposed algorithm

그림 3, 4는 Cameraman 영상과 DSP board 영상의 원 영상 및 잡음 영상($p=45\%$) 그리고 각 영상의 프로파일(256라인)이다.

그림 5, 6은 Cameraman 영상 및 DSP board 영상을 사용하여 시뮬레이션 한 경우이며, (a)는 Sobel, (b)는 Prewitt, (c)는 Roberts, (d)는 Laplacian, (e)는 LoG 방법이며, (f)는 제안한 알고리즘으로 처리한 결과이다.

그림 5에서 Sobel 방법은 잡음에 의해 훼손된 부분이 에지로 처리되는 결과를 나타내어 에지 검출 특성이 미흡하였으며, Prewitt 방법은 Sobel 방법과 유사한 특성을 나타내었고, Sobel 방법에 비해 화소값의 포화 정도가 완화되었으나 에지 검출 특성은 미흡하였다. Roberts 방법은 잡음에 의해 훼손된 부분이 에지로 검출되어 Sobel 및 Prewitt 방법에 비해 포화 정도는 개선되지만 미흡한 에지 검출 특성을 나타내었으며, Laplacian 방법은 잡음 처리 특성이 Sobel, Prewitt, Roberts에 비해 우수하였으나 에지 검출 특성이 미흡하였다. LoG 방법은 잡음 처리 특성이 기존의 방법 중 가장 우수하였으며, 에지 검출 특성면에서 미흡함을 나타내었다. 그리고 제안한 알고리즘은 잡음의 영향을 대부분 제거하고 저주파 영역에서 우수한 에지 검출 특성을 나타내었다.

그림 6에서 Sobel 방법은 전반적으로 에지 검출 특성은 우수하였으나 잡음 처리 특성이 미흡함을 나타내었으며, Prewitt 방법은 포화된 영상을 나타내었다. Roberts 방법은 잡음의 영향으로 인하여 화소값이 자주 변화하는 영역에서 미흡한 에지 검출 결과를 나타내었으며, Laplacian 방법은 Sobel, Prewitt, Roberts에 비해 잡음 제거 특성이 우수하였고, 세밀한 에지를 검출하였으나 전반적으로 미흡한 결과를 나타내었다. LoG 방법은 잡음 처리 특성이 우수하였으며, 세밀한 에지를 검출하였다. 그리고 제안한 알고리즘은 기존의 방법들에 비해 잡음에 대한 영향이 가장 적었으며, 세밀한 영역의 에지도 잘 검출하여 우수한 에지 검출 특성을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문은 salt & pepper 잡음 환경에서 에지 검출을 위하여 중심 화소를 기준으로 인접한 이웃 화소에 국부 마스크를 설정하여 그것의 중심 화소에 대해 잡음을 판

단하며, 비잡음일 경우 그대로 처리하고, 잡음일 경우 비잡음 요소들의 메디안 값으로 추정 마스크를 구한 후, 그 마스크에 가중치 마스크를 적용하여 에지를 검출하는 알고리즘을 제안하였다.

에지 검출 특성을 확인하기 위하여 Cameraman 영상 및 DSP board 영상에 $p=45\%$ 의 salt & pepper잡음을 첨가한 영상을 사용하여 시뮬레이션하였다. 그 결과, 기존의 방법들은 잡음으로 인하여 에지 검출 특성면에서 미흡한 결과를 나타내었다. 그리고 제안한 알고리즘은 잡음에 대한 영향이 가장 적었으며, 좁고 넓은 에지를 모두 검출하여 시각적으로 우수한 에지 검출 결과를 나타내었다.

따라서 제안한 알고리즘은 salt & pepper 잡음 환경에서 에지 검출 특성이 우수하여, 물체 인식, 물체 검출, 차선 인식 등 여러 응용분야에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] G. Economou, "Detecting edges using density value", *Electronics letters*, vol. 40, no. 24, pp. 1528-1530, 2004.
- [2] Sarif K. Naik, C. A. Murthy, "Standardization of Edge Magnitude in Color images", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 15, no. 9, pp. 2588-2595, 2006.
- [3] Shun-feng Ma, Geng-feng Zheng, Long-xu Jin, Shuang-li Han, Ran-feng Zhang, "Directional Multiscale Edge Detection Using the Contourlet Transform", *Advanced Computer Control*, vol. 2, pp.58-62, 2010.
- [4] B Kaur, A Garg, "Mathematical Morphological Edge Detection For Remote Sensing Images", *Electronics Computer Technology*, vol. 5, pp. 324-327, 2011.
- [5] Hongyan Sun, Shuxue Tian, "Image retrieval based on blocked histogram and Sobel edge detection algorithm", *International Conference on Computer Science and Service System*, pp.3277-3281, 2011.
- [6] Gupta K.G., Agrawal N., Maity S.K., "Performance analysis between aparapi (a parallel API) and JAVA by implementing sobel edge detection Algorithm", *National Conference on Parallel Computing Technologies*, pp.1-5, 2013.
- [7] Hua Xiang, Bin Yan, Qiong Cai, Guangyi Zou, "An edge detection algorithm based-on Sobel operator for images captured by binocular microscope", *International Conference on Electrical and Control Engineering*, pp.980-982, 2011.
- [8] Rosenfeld Azriel, "The Max Roberts Operator is a Hueckel-Type Edge Detector", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.PAMI-3, no.1, pp.101-103, Jan. 1981.
- [9] Snehalatha, Anburajan M., Venkatraman,B., Menaka M., Raj B., "Evaluation of rheumatoid arthritis in small animal model using Thermal imaging", *International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies*, pp.785-791, 2011.
- [10] Cai Lei, Zhang Ji-hua, Zhang Shi-qiang, Guan Xiao-wei, "Study on the method to process the images of the laser initiative illumination", *International Conference on Image Analysis and Signal Processing*, pp.1-4, 2012.
- [11] Nema M.K., Rakshit S., Chaudhuri S., "Image Denoising Using Edge Model-based Representation of Laplacian Subbands", *International Conference on Advances in Pattern Recognition*, pp.329-332, 2009.
- [12] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing Third Edition*, Prentice- Hall, 2007.
- [13] Haralick R.M., "Comparing the laplacian zero crossing edge detector with the second directional derivative edge detector", *Proc. IEEE international Conference on Robotics and Automation*, vol.2, pp.452-457, 1985.
- [14] Yong-Hoon Lee, Park S.Y., "A study of convex/concave edges and edge-enhancing operators based on the Laplacian", *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, vol.37, no.7, pp.940-946, 1990.
- [15] Amarunnishad, T.M., Govindan, V.K., Mathew, A.T., "A Fuzzy Complement Edge Operator", *International Conference on Advanced Computing and Communications*, pp. 344-348, 2006.
- [16] Khunteta, A., Ghosh, D., "Edge detection via fuzzy rule-based edge strength estimation and optimal threshold selection using PSO," *International Conference on Industrial and Information Systems*, pp.560-565, 2013.
- [17] Wang Can, Su Weimin, Gu Hong, Shao Hua, "Edge detection of SAR images using incorporate shift-invariant DWT and binarization method," *International Conference on Signal Processing*, vol.1, pp.745-748, 2012.
- [18] Guoqing Xu, Xiaocui Wu, Li Liu, Zhengbin Wu, "Real-time pedestrian detection based on edge factor and Histogram of Oriented Gradient," *IEEE International Conference on Information and Automation*, pp.384-389, 2011.
- [19] Yan Wan, Shanshan Jia, Dong Wang, "Edge Detection

Algorithm Based on Grey System Theory Combined with Directed Graph," *International Conference on*, pp.180-185, 2013.

[20] Ohsaki, M., Sugiyama, T., Ohno, H., "Evaluation of edge

detection methods through psychological tests-is the detected edge really desirable for humans?," *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol.1, pp.671-677, 2000.

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)

한국정보통신학회 논문지 제11권 제1호 참조
1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수
※관심분야: 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이블릿을 이용한 잡음제거 및 신호복원