
개선된 에지검출 특성을 위한 웨이블릿 함수에 관한 연구

배상범* · 김남호**

A Study on Wavelet Function for Improved Edge Detection Properties

Sang-Bum Bae* · Nam-Ho Kim**

요 약

영상에서 명암 차이가 큰 두 영역간의 경계를 나타내는 에지는 대상 물체에 대한 다양한 정보를 포함한다. 따라서 영상분할을 비롯한 물체인식 등의 분야에서 이러한 에지정보를 이용하고 있다. 에지는 밝기 변화의 크기와 지속 시간 등에 따라 다양한 종류가 있으며, 일반적으로 미분을 통해 검출된다. 최근에는 영상처리와 컴퓨터비전 등의 분야에서, 특정 응용에 적용하기 위한 에지검출 방법들이 제시되고 있다. 따라서 본 논문에서는 개선된 에지검출 특성을 위한 웨이블릿 함수를 제안하여, 영상의 라인-에지 성분을 검출하였으며, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

Edge representing the boundary between two regions with the large brightness difference in image includes diverse information about object. Therefore, this information has been utilized in fields such as image segmentation and object recognition. There are many kinds of edge according to duration time and the amplitude of brightness variation, and edge is generally detected through the differential. Recently, in fields of image processing and computer vision, edge detection methods have been proposed to use in specific applications. Hence, in this paper the wavelet function for improved edge detection properties was proposed and detected line-edge components of images and its performance was proven through simulations.

키워드

image processing, edge detection, line-edge, wavelet function

I. 서론

영상에서 명암 차이가 큰 두 영역간의 경계를 나타내는 에지는 대상 물체에 대한 다양한 정보를 포함하고 있으므로, 신호의 특징을 분석함에 있어서 가장 중요한 요소이다. 따라서 영상분할을 비롯한 물체인식과 정보검색, 압축, 복원 등의 분야에서 이러한 에지정보를 이용하고 있으며, 현재 영상으로부터 에지정보를 효과적으로

검출하기 위한 많은 연구들이 영상처리와 컴퓨터비전 등의 분야에서 활발히 진행되고 있다.

영상처리는 일반적으로 원영상과 동일한 영역에서 처리되는 공간영역의 처리 방법과 푸리에변환을 통한 주파수 영역의 처리 방법으로 분류되며, 많은 응용에서 영역간 변환과정을 필요로 하지 않는 공간영역의 처리 방법이 주로 사용되고 있다. 그리고 공간영역에서는 에지검출을 위해, 컨벌루션 마스크를 사용하며, Roberts의

* 부경대학교 전기제어공학부
** 부경대학교 전기제어공학부 (교신저자)

연구 이후 매우 다양한 방법들이 제시되었다. 그러나 이러한 초기의 방법들은 기술기의 큰 변화지점을 검출하였으나, 에지를 선택적으로 검출하기 위해 사용될 수 없다[1],[5].

한편, 웨이브렛 변환은 J. Morlet에 의해 제시된 이후, 신호처리의 여러 응용분야에서 그 활용범위가 급속히 확장되고 있다. 웨이브렛의 우수한 스케일 분석 특성은 영상에서 에지와 같은 특징들을 검출하기 위해 적용되며, Chien은 영상의 수평축과 수직축에 대해 각각 1-D 웨이브렛 함수를 적용하여, 라인-에지를 검출하였다[2],[6]. 그러나 웨이브렛을 이용한 기존의 에지검출 방법들은 각기 다른 폭의 라인에 대해, 국부 극대값의 위치가 변하며, 또한 위치 이동의 폭이 스케일에 비례하지 않는다[3],[5]. 따라서 영상이 다양한 폭의 라인을 포함할 경우, 에지검출을 위해 복잡한 알고리즘과 많은 연산량을 필요로 한다.

본 논문에서는 개선된 에지검출 특성을 갖는 웨이브렛 함수를 제안하여, 영상으로부터 라인-에지 성분만을 선택적으로 검출하였으며, 이때 이산영역에서 표현되는 웨이브렛 함수와 평활화 함수를 사용하였다.

II. 멀티스케일 에지검출

멀티스케일 에지검출은 다양한 스케일에서 신호를 평활화하고, 이것의 도함수로부터 에지를 검출한다. 이때 평활화된 신호의 변곡점은 1차 도함수의 극대값과 2차 도함수의 영교차점에 상응한다. 그리고 연속 웨이브렛 변환에서, 함수 $\psi(x)$ 에 대한 푸리에변환 $\Psi(\omega)$ 가 식 (1)의 허용조건을 만족할 경우 함수 $\psi(x)$ 는 웨이브렛으로 정의되며, 또한 식 (1)은 식 (2)를 포함한다[4].

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega = C < \infty \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (2)$$

위의 식으로부터, C 는 상수이다. 그리고 웨이브렛은 식 (3)과 같이, 전구간 적분이 1이며 0으로 수렴하는 평활화 함수 $\theta(x)$ 의 1차 도함수로부터 정의된다.

$$\psi(x) = \frac{d\theta(x)}{dx} \quad (3)$$

이러한 웨이브렛을 이용하여, 스케일 s 에서 신호 $f(x)$ 에 대한 웨이브렛 변환은 식 (4)와 같이 팽창된 웨이브렛과 신호의 컨벌루션에 의해 계산된다.

$$W_s f(x) = f * \psi_s(x) = s \frac{d}{dx} (f * \theta_s)(x) \quad (4)$$

식으로부터, $\psi_s(x) = (1/s)\psi(x/s)$ 이므로, 스케일 s 에 의한 함수 $\psi(x)$ 의 팽창을 의미한다. 그리고 2-D 웨이브렛 함수 $\psi(x, y)$ 에 의한 영상 $f(x, y)$ 의 웨이브렛 변환은 각 방향에 대해 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} W_s^x f(x, y) &= f * \psi_s^x(x, y) \\ W_s^y f(x, y) &= f * \psi_s^y(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

위의 식으로부터, $\psi_s(x, y) = (1/s^2)\psi(x/s, y/s)$ 이며, $\psi^i(x, y)$ 는 2-D 평활화 함수 $\theta(x, y)$ 의 각 방향 x 와 y 에 대한 편도함수로서, $\psi^x(x, y) = \partial\theta(x, y)/\partial x$ 이고, $\psi^y(x, y) = \partial\theta(x, y)/\partial y$ 이다. 그리고 스케일 s 에서, 2-D 웨이브렛 변환에 의한 modulus와 angle은 각각 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$M_s f(x, y) = \sqrt{|W_s^x f(x, y)|^2 + |W_s^y f(x, y)|^2} \quad (6)$$

$$A_s f(x, y) = \arctan\left(\frac{W_s^y f(x, y)}{W_s^x f(x, y)}\right) \quad (7)$$

위의 두 식으로부터, 멀티스케일 에지는 angle 영상으로부터 주어지는 기술기 방향을 따라서 modulus의 두 국부 극대값으로부터 검출한다.

그리고 $\theta(x, y) = \phi(\sqrt{x^2 + y^2})$ 와 같이 평활화 함수를 정의할 경우, 각 방향에 대한 2-D 웨이브렛 함수는 식 (8)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \psi^x(x, y) &= x\phi'(\sqrt{x^2 + y^2})/\sqrt{x^2 + y^2} \\ \psi^y(x, y) &= y\phi'(\sqrt{x^2 + y^2})/\sqrt{x^2 + y^2} \end{aligned} \quad (8)$$

III. 제안한 라인-에지 검출

에지검출 결과에 의한 국부 극대값은 영상의 밝기가 급격히 변화하는 지점에서 발생한다. 그리고 라인-에지는 임의의 지점에서 영상의 밝기변화가 급격히 발생하지만 곧 이전의 값으로 복귀하는 일정 폭 이하의 불연속점이다. 따라서 다른 에지들과 달리, 라인-에지는 인접한 두 지점에서 국부 극대값이 발생한다. 그러나 기존의 에지검출 방법에 의한 국부 극대값의 위치는 밝기변화가 발생하는 불연속점과 일치하지 않고, 이러한 지점으로부터 전이된 위치에서 나타나며, 각 스케일에서의 위치 이동 폭이 스케일 s 와 비례하지 않는다[3],[5]. 따라서 영상이 다양한 폭의 라인-에지를 포함할 경우, 에지검출을 위해 복잡한 알고리즘과 많은 연산량을 필요로 하게 된다.

본 논문에서는 웨이블릿 modulus에 대한 도함수의 분석으로부터, 다양한 폭을 갖는 라인-에지에 대한 국부 극대값의 위치를 에지의 중심으로부터 동일한 간격 상에 위치시키기 위해, 식 (9)와 같은 함수 $F(x)$ 를 제안하였다.

$$F(x) = \begin{cases} 8x^3 + 30x^2 + 36x + 14, & x \in (-1, -3/4] \\ 8x^3 + 6x^2 + 0.5, & x \in (-3/4, -1/2] \\ -8x^3 - 18x^2 - 12x - 1.5, & x \in (-1/2, -1/4] \\ -8x^3 + 6x^2, & x \in (-1/4, 0) \\ -8x^3 - 6x^2, & x \in (0, 1/4) \\ -8x^3 + 18x^2 - 12x + 1.5, & x \in [1/4, 1/2) \\ 8x^3 - 6x^2 - 0.5, & x \in [1/2, 3/4) \\ 8x^3 - 30x^2 + 36x - 14, & x \in [3/4, 1) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

그리고 함수 $F(x)$ 를 이용하여, 다음의 식 (10)과 식 (11)을 통해, 평활화 함수와 웨이블릿 함수를 계산한다.

$$\phi(x) = -\frac{2}{\pi} \int_x^\infty \frac{F(t)}{\sqrt{t^2 - x^2}} dt \quad (10)$$

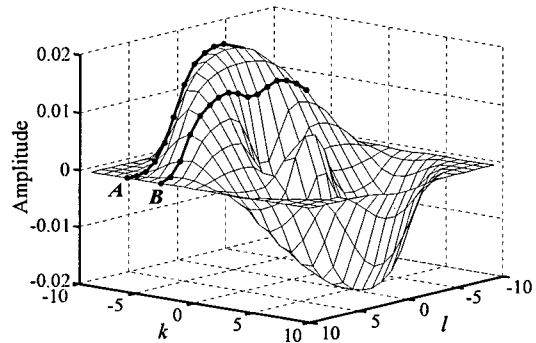
$$\psi(x) = -\frac{2}{\pi} \int_x^\infty \frac{x \{tF'(t) - F(t)\}}{t^2 \sqrt{t^2 - x^2}} dt \quad (11)$$

위의 두 식은 영상처리를 위해 2-D로 확장되며, 식 (12)에 의해, 웨이블릿은 이산적으로 표현된다.

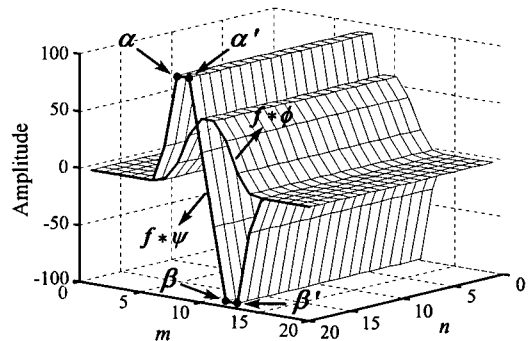
$$\psi_s^i(k, l) = \int_k^{k+1} \int_l^{l+1} \psi_s^i(u, v) du dv \quad (12)$$

식으로부터, k 와 l 은 이산적으로 표현된 웨이블릿 함수의 좌표이며, u 와 v 는 연속적으로 표현된 웨이블릿 함수의 좌표이다. 식 (12)와 같이 표현되는 웨이블릿을 디지털 영상에 적용함에 따라, 라인-에지에 대한 두 국부 극대값의 위치는 라인의 폭과는 무관하게, 중심으로부터 각각 $s/2$ 인 지점에 존재하게 된다.

그림 1은 이산영역에서 표현된 웨이블릿 함수 $\psi_s(k, l)$ 와 평활화 함수 $\phi_s(k, l)$ 에 의한 라인-에지 검출특성을 보이고 있다.



(a) Wavelet function $\psi_s(k, l)$



(b) $f * \psi(m, n)$ and $f * \phi(m, n)$

그림 1. 이산영역에서 라인-에지 검출 특성
Fig. 1. Detection properties for line-edge in discrete domain.

그림 1(a)와 같이, 좌표축을 따라 영상의 급격한 변화 성분을 검출하기 위한 웨이블릿 함수 $\psi_s(k, l)$ 은 k 의 구간 $[1, s]$ 에서, $(s+1)/2$ 를 기준으로 서로 마주보고 있는 웨이블릿 계수의 합이 동일하다. 즉, 그림에서 라인 A에 위치하고 있는 각 계수값의 합과 라인 B에 위치하고 있는 계수값의 합이 동일하다. 이에 따라, 임의의 gray level을 갖는 라인-에지에 대한 국부 극대값은 그림 1(b)의 $f * \psi(m, n)$ 에서, $\alpha - \alpha'$ 및 $\beta - \beta'$ 과 같이 상승과 하강-에지의 각 지점에서 인접하여 두 개씩 발생하게 된다. 그러므로 두 국부 극대값의 중심을 라인-에지로서 검출하는 과정에서 오류가 발생하게 된다. 이와 같은 현상을 제거하기 위해, 평활화 함수에 의한 $f * \phi(m, n)$ 의 결과를 이용하며, 이때 $f * \phi(m, n)$ 의 결과는 전적으로 평활화 함수의 계수값에 의존한다. 그리고 평활화된 결과 영상으로부터 최대 크기 변화는 k 또는 l 이 s 이거나 $s+1$ 인 지점에서 발생하며, 그 크기는 식 (13)과 같다.

$$M_\phi = (2^\gamma - 1) \sum_{l=1}^{2s} \phi(s, l) \quad (13)$$

위의 식으로부터, M_ϕ 는 평활화 함수의 최대 크기 변화값이며, γ 는 영상을 표현하기 위해 사용된 양자화 비트수를 나타낸다.

평활화 함수에 의해 처리된 결과를 식 (14)와 같이 나타낼 경우, 각 방향 성분에서 변형된 웨이블릿 변환은 각각 식 (15) 및 식 (16)과 같다.

$$\Theta_s f(m, n) = \iint f(u, v) \phi_s(m-u, n-v) dudv \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \varpi_s^x f(m, n) &= W_s^x f(m, n) \\ &\cdot \left(1 + \left| \frac{\Theta_s f(m, n) - \Theta_s f(m-1, n)}{\alpha M_\phi} \right| \right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \varpi_s^y f(m, n) &= W_s^y f(m, n) \\ &\cdot \left(1 + \left| \frac{\Theta_s f(m, n) - \Theta_s f(m, n-1)}{\alpha M_\phi} \right| \right) \end{aligned} \quad (16)$$

식으로부터, α 는 평활화 함수에 대한 영향을 가변시키기 위한 파라미터로서, 일반적으로 $\alpha = 1$ 을 선택한

다. 그리고 $\varpi_s^x f(m, n)$ 과 $\varpi_s^y f(m, n)$ 을 식 (6) 및 식 (7)에 적용하여, 웨이블릿 modulus와 angle를 구한 후, modulus의 두 국부 극대값으로부터 라인-에지를 검출한다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 영상에 포함된 다양한 종류의 에지들에서, 라인-에지 성분만을 선택적으로 검출하기 위해, 개선된 에지검출 특성을 갖는 웨이블릿 함수를 제안하였으며, 이때 이산영역에서 표현되는 웨이블릿 함수와 평활화 함수를 사용하였다. 그리고 에지검출 성능을 확인하기 위해, 각기 다른 폭을 갖는 circle 영상과 256×256 크기의 도로 영상을 사용하였으며, $s = 8$ 을 적용하였다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 웨이블릿 함수 $\psi(x, y)$ 와 평활화 함수 $\phi(x, y)$ 를 나타내고 있다.

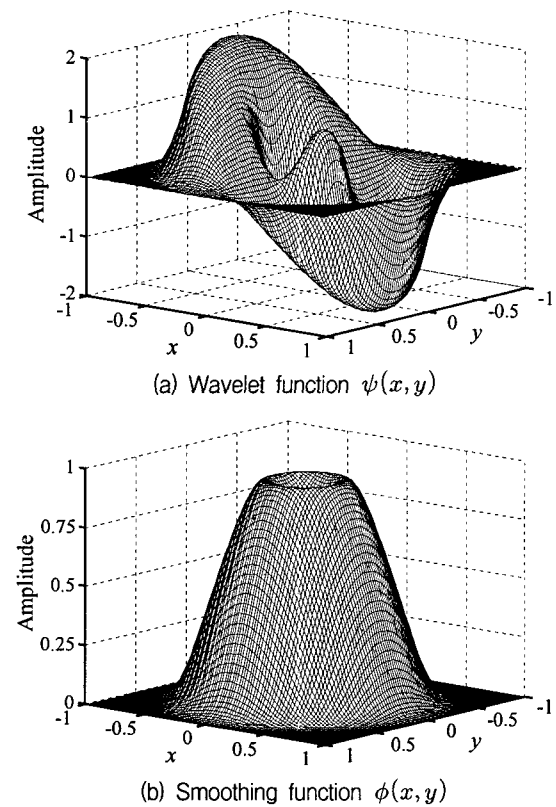


그림 2. 제안한 웨이블릿과 평활화 함수
Fig. 2. Proposed wavelet and smoothing function.

그리고 그림 3은 각기 다른 폭을 갖는 circle 영상에 대한 국부 극대값의 검출 결과이다. 그림 3(a)는 테스트를 위한 circle 영상으로서, 곡선의 폭은 중심으로부터 각각 2, 4, 6, 8이며, 배경은 각기 다른 gray level에 의해 구분되는 스텝-에지로 구성되어 있다. 그리고 그림 3(b)에서 그림 3(d)는 기존의 Roberts, Sobel, Canny method에 의한 에지검출 결과이며, 그림 3(e)와 그림 3(f)는 본 논문에서 제안한 함수에 의한 결과로서, 그림 3(e)는 국부 극대값이고, 그림 3(f)는 에지검출 결과이다. 결과로부터, 기존의 방법들은 각기 다른 라인폭에 대해서, 두 국부 극대값 사이의 간격이 변화함을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 함수에 의한 결과는 각기 다른 폭의 라인-에지에 대해 동일한 간격상에 두 개의 국부 극대값이 위치함에 따라, 라인-에지 검출이 용이하였다. 그림 4와 그림 5는

도로영상에 대한 에지검출 결과이다.

그림 4는 잡음이 중첩되지 않은 영상에 대한 결과이며, 그림 5는 분산 400의 AWGN과 5%의 salt & pepper 잡음이 복합적으로 중첩된 noisy 영상에 대한 결과이다. 각각의 그림으로부터 (a)는 테스트영상이며, (b)에서 (d)는 기존의 Roberts, Sobel, Canny method에 의한 에지검출 결과이다. 그리고 (e)와 (f)는 본 논문에서 제안한 함수에 의한 결과로서, (e)는 국부 극대값이며, (f)는 에지검출 결과이다. 그림으로부터, 기존의 방법들은 영상에 포함된 다양한 종류의 에지와 많은 잡음성분들을 검출하고, 차선과 같이 점차 곡선의 폭이 변화하는 라인-에지에 대해 국부 극대값의 위치가 변화하였다. 그러나 제안한 웨이브렛 함수는 다양한 환경에서 일정폭 이하의 명확한 라인-에지 성분만을 검출하고 그 외의 성분들은 대부분 제거하였다.

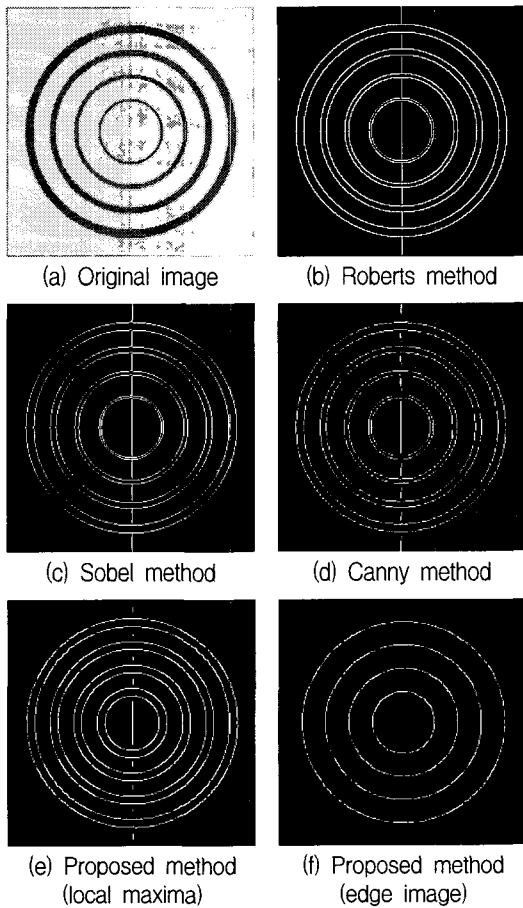


그림 3. Circle 영상에 대한 에지검출 결과
Fig. 3. Edge detection result for circle image.

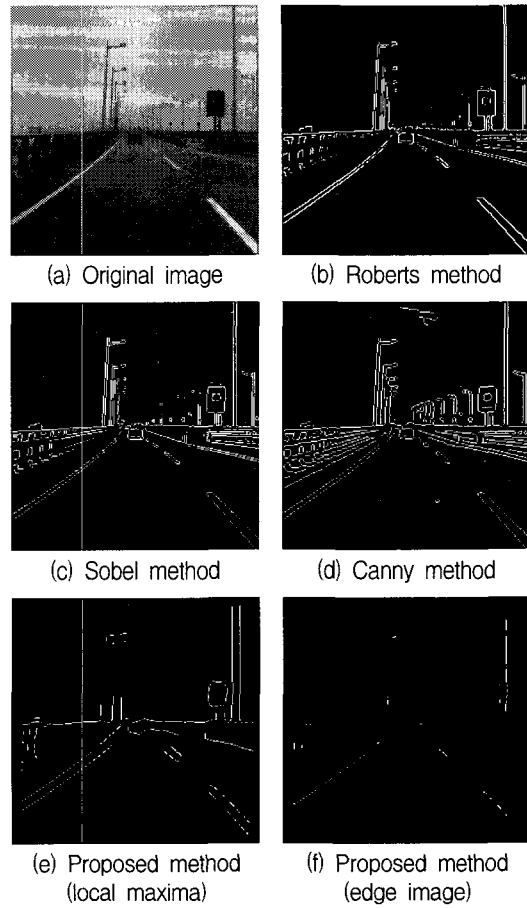


그림 4. 도로 영상에 대한 에지검출 결과
Fig. 4. Edge detection result for road image.

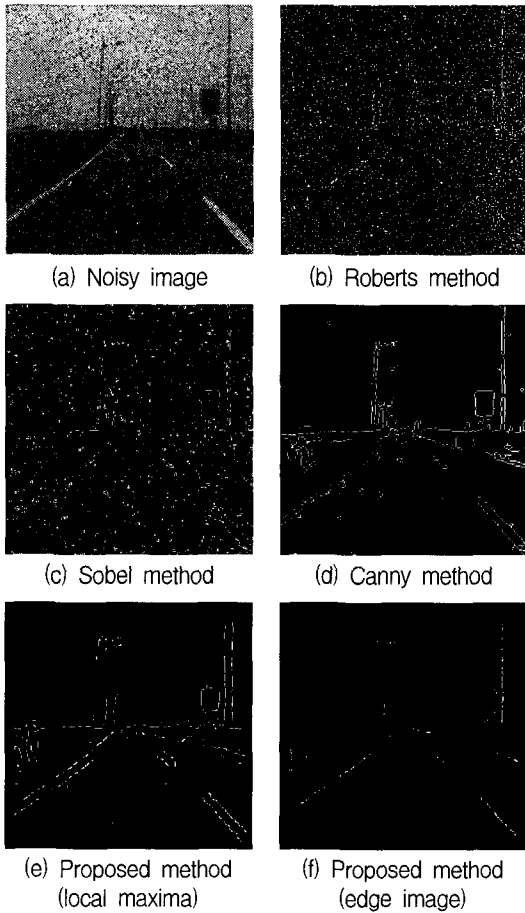


그림 5. Noisy 영상에 대한 에지검출 결과
Fig. 5. Edge detection result for noisy image.

V. 결 론

본 논문에서는 개선된 에지검출 특성을 갖는 웨이브렛 함수를 제안하여, 영상으로부터 라인-에지 성분만을 선택적으로 검출하였다.

시뮬레이션 결과로부터, 제안한 웨이브렛 함수는 스케일 s 이내의 모든 라인-에지에 대해, 동일한 간격상에 두 개의 국부 극대값을 위치시킴에 따라, 다양한 잡음환경에 대해서도 비잡음환경과 유사한 에지검출 결과를 나타내어 우수한 검출성능을 보였다. 따라서 제안한 방법은 영상의 특징검출 및 패턴인식과 같은 분야에 유용하게 적용되리라 사료된다.

참고문헌

- [1] R. Rifaat and W. Kinsner, "Experiments with wavelet and other edge detection techniques", in Proc. WESCANEX 97, 1997, pp. 322-326.
- [2] J. C. Chien and C. C. Li, "Wavelet-based line detection in gray-scale images", in Proc. 1997 IEEE Int. Conf., 1997, pp. 3670-3673.
- [3] J. Dijk, M. van Ginkel, R. J. van Asselt, L. J. van Vliet, and P. W. Verbeek, "A new sharpness measure based on Gaussian lines and edges", LNCS 2756, Springer, pp. 149-156, 2003.
- [4] S. G. Mallat and W. L. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets", IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 38, pp. 617-643, March 1992.
- [5] Jun Li, "A wavelet approach to edge detection", Thesis, Sam Houston State University, 2003.
- [6] T. Aydin, Y. Yemez, E. Anarim, and B. Sankur, "Multidirectional and multiscale edge detection via M-band wavelet transform", IEEE Trans. Image Process. vol. 5, pp. 1370-1377, Sep. 1996.

저자소개



배 상 범(Sang-Bum Bae)

1999년 8월 부경대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
2002년 2월 부경대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

2002년 3월~현재 부경대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정

※관심분야: 신호처리, 회로 및 시스템



김 남 호(Nam-Ho Kim)

제11권 제1호 참조
1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 전기제어공학부 교수

※관심분야: 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이브렛을 이용한 잡음제거 및 신호 복원