

웨이브렛 기반 에지 검출기에 관한 연구

A Study on Wavelet-Based Edge Detector

김 남 호*, 배 상 범**

Nam-Ho Kim*, Sang-Bum Bae**

요 약

신호에서 급격한 변화의 지점은 신호의 특징을 분석함에 있어서 가장 중요한 요소이며, 영상에서 에지는 위치, 모양 그리고 재질 등과 같은 다양한 정보를 포함한다. 따라서 이러한 에지를 검출하기 위한 많은 연구가 수행되었으며, 공간영역에서 컨벌루션 마스크를 이용한 방법들이 대표적이다. 그러나 이와 같은 초기의 방법들은 영상에 잡음과 다양한 종류의 에지가 존재할 경우, 선택적으로 에지를 분리하는 것이 용이하지 않다. 한편, 멀티스케일 에지 검출이 가능한 웨이브렛은 영상의 특징들을 분석하기 위해 광범위하게 응용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 잡음에 강인한 웨이브렛 기반의 에지 검출기를 제안하여 라인-에지 성분을 선택적으로 분리-검출하였다.

Abstract

Points of sharp variations in signals are the most important factors when analyzing the features of signals. And in the image, edges include diverse information such as the locations, shape and material. There have been a variety of researches on edge detections, among them, methods based on convolution in the spatial domain have been most popular. However at the early stage of the method, if the noise and many kinds of edges exist in the image, it is not easy to separate edges selectively from corrupted images by noise. In meantime, the wavelet transform for multiscale edge detection is being applied widely to analyze the properties of images in various fields. In this paper, we suggest a robust wavelet-based method, which selectively detects line-edge elements from images in the presence of noise.

Keywords : edge, wavelet transform, multiscale

I. 서 론

다양한 형태의 신호들에서 급격한 변화를 나타내는 에지는 신호의 특징을 분석함에 있어서 가장 중요한 요소이다. 즉, 1차원 신호의 경우에는 상태천이 또는 레벨의 변화를 이용하여 신호 발생원에 대한 진단 및 예측을 수행할 수 있다. 그리고 2차원 영상의 경우에는 물체의 인식과 생체연구, 압축, 복원 그리고 노이즈 제거 등의 처리과정에서 에지 정보를 이용할 수 있다. 이에 따라, 신호로부터 에지를 검출하기 위한 다양한 연구들이 현재까지 활발히 진행되고 있다.

영상은 저주파에서 고주파에 이르는 다양한 주파수 성

분들의 합성으로 이루어지며, 공간영역에서 이러한 성분들을 선택적으로 검출하기 위해 컨벌루션 마스크를 사용한다. 에지 성분을 검출하기 위한 초기단계의 방법들에는 Sobel, Prewitt 그리고 Roberts 등이 있었다. 그러나 이들 연산자들은 에지 검출을 위해 용이하게 사용되고 있으나, 선택적인 에지 검출이 불가능하다[4],[6].

한편, 웨이브렛 변환은 많은 웨이브렛 이론들의 급속한 발전과 더불어, 에지와 같은 특징들을 분석하는 분야에서도 널리 응용되고 있으며, Chien은 라인을 검출하기 위해 1-D 웨이브렛을 이용하여, 두 개의 웨이브렛 maxima 사이에서 발생하는 zero-crossing 점에 대한 정보를 이용하였다[1],[2]. 그러나 이러한 기존의 웨이브렛 기반 에지 검출방법들은 각기 다른 폭을 갖는 라인-에지에 대해, 국부 극대값의 위치가 변화한다. 이에 따라 영상 내에 존재하는 다양한 폭의 라인-에지를 검출하기 위해, 복잡한 알고리즘과 많은 연산량을 필요로 하며, 영상에 잡음이 중첩될 경우, 검출 성능은 더욱 저하된다[5],[6].

*부경대학교 전기제어공학부(교신저자)

**부경대학교 제어계측공학과

논문 번호 : 2006-4-22 접수 일자 : 2006. 11. 27

심사 완료 : 2007. 4. 2

※이 논문은 2005학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음.

본 논문에서는 잡음환경에 강인한 웨이브렛 기반 에지 검출기를 제안하여, 영상에서 라인-에지 성분을 선택적으로 검출하였다. 이때, 복합적인 잡음에 의해 훼손된 영상에서, 일정 폭 이하의 라인-에지 성분에 대한 국부 극대값의 위치를 에지의 중심으로부터 동일한 간격 상에 위치하도록 하였으며, 고주파에 대한 영향을 감소시키기 위해 웨이브렛 함수에 필터를 적용하였다.

II. 웨이브렛 변환

멀티스케일 에지 검출기는 다양한 스케일에서 신호를 평활화하고, 이것의 도함수로부터 급격한 변화 지점을 검출한다. 따라서 저역통과 필터에 대한 임펄스 응답으로서 표현되는 평활화 함수로부터 웨이브렛 함수 $\psi(x)$ 를 유도하기 위해, 먼저 어떤 함수 $\theta(x)$ 를 평활화 함수로 정의하고, $\theta(x)$ 의 1차와 2차 도함수를 식 (1)과 같이 각각 $\psi^a(x)$ 와 $\psi^b(x)$ 로 정의한다[3].

$$\psi^a(x) = \frac{d\theta(x)}{dx}, \quad \psi^b(x) = \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} \quad (1)$$

이때, 함수 $\psi^a(x)$ 와 $\psi^b(x)$ 가 다음의 식 (2)를 만족할 경우, 웨이브렛으로 정의한다.

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

그리고 웨이브렛 변환은 팽창된 웨이브렛과 신호의 콘볼루션으로 계산되며, 위치 x 와 스케일 s 에서 웨이브렛 $\psi^a(x)$ 와 $\psi^b(x)$ 에 의한 함수 $f(x) \in L^2(R)$ 의 웨이브렛 변환은 각각 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} W_s^a f(x) &= f * \psi_s^a(x) \\ &= f * \left(s \frac{d\theta_s}{dx} \right) (x) = s \frac{d}{dx} (f * \theta_s)(x) \end{aligned} \quad (3)$$

$$W_s^b f(x) = f * \psi_s^b(x) = s^2 \frac{d^2}{dx^2} (f * \theta_s)(x) \quad (4)$$

여기서, $\psi_s(x) = (1/s)\psi(x/s)$ 이며, 스케일 인자 s 에 의한 함수 $\psi(x)$ 의 팽창을 의미한다. 위의 두 식에서, $W_s^a f(x)$ 의 국부 극대값은 $f * \theta_s(x)$ 의 변곡점과 $W_s^b f(x)$ 의 영교차점에 해당한다. 따라서 영상의 웨이브렛 변환 데이터에 각기 다른 임계값을 적용하여 에지 성분을 분리하기 위해, $\theta(x)$ 의 1차 도함수에 의한 웨이브렛 $\psi^a(x)$ 를 사용한다.

웨이브렛은 영상처리를 위해서 2-D로 확장되며, 평활

화 함수를 $\theta(x, y)$ 로 나타낼 때, 2-D 웨이브렛 함수 $\psi^1(x, y)$ 와 $\psi^2(x, y)$ 는 각각 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$\psi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \quad (5)$$

$$\psi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \quad (6)$$

그러므로 스케일 s 에서 함수 $f(x, y)$ 의 웨이브렛 변환에 대한 각 성분은 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} W_s^1 f(x, y) &= f * \psi_s^1(x, y) \\ &= s \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_s)(x, y) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} W_s^2 f(x, y) &= f * \psi_s^2(x, y) \\ &= s \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_s)(x, y) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, $\psi_s(x, y) = (1/s^2)\psi(x/s, y/s)$ 이며, 스케일 s 에서 웨이브렛 변환 절대값과 각도는 각각 식 (9) 및 식 (10)과 같다.

$$M_s f(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2} \quad (9)$$

$$A_s f(x, y) = \arctan \left(\frac{W_s^2 f(x, y)}{W_s^1 f(x, y)} \right) \quad (10)$$

응용환경에 따라 선택되는 평활화 함수 $\theta(x, y)$ 로서 식 (11)과 같이 표현되는 $\phi(\cdot)$ 을 사용할 경우, 각각에 대한 2-D 웨이브렛 함수 $\psi^1(x, y)$ 과 $\psi^2(x, y)$ 는 위의 식 (5)와 식 (6)에 의해, 식 (12)와 같이 정의된다.

$$\theta(x, y) = \phi(\sqrt{x^2 + y^2}) \quad (11)$$

$$\begin{cases} \psi^1(x, y) = \frac{x \phi'(\sqrt{x^2 + y^2})}{\sqrt{x^2 + y^2}} \\ \psi^2(x, y) = \frac{y \phi'(\sqrt{x^2 + y^2})}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{cases} \quad (12)$$

III. 웨이브렛 기반 에지 검출기

1. 웨이브렛 함수의 선택

웨이브렛을 이용하여 데이터를 처리함에 있어서, 응용 환경에 따라 적절한 웨이브렛 함수를 선택하는 것이 가

장 먼저 이루어져야 할 문제이다.

영상은 스텝-에지, 램프-에지, 루프-에지, 라인-에지와 같은 다양한 종류의 에지들을 포함한다. 에지에 대한 특징들로부터 스텝-에지는 영상의 밝기가 불연속 점을 기준으로 급격히 변화한 후, 그 값을 계속 유지하는 형태의 에지이며, 램프-에지는 이러한 불연속 점에서의 변화가 완만한 경우이다. 또한 라인-에지는 영상의 밝기가 급격히 변화하지만 곧 이전의 밝기값으로 복귀하는 일정한 폭 이하의 불연속점이며, 루프-에지는 라인-에지에서 불연속 점 사이의 변화가 완만한 경우에 해당한다.

에지 검출기는 영상의 밝기가 급격히 변화하는 각 불연속점에 대하여 국부 극대값을 나타내며, 라인-에지는 인접한 두 지점에서 국부 극대값을 갖는다. 그러나 기존의 웨이브렛 기반 에지 검출기는 각 스케일에서, 국부 극대값의 위치가 정확하게 에지 지점과 일치하지 않고 에지의 중심으로부터 약간 전이된 위치에서 나타나며, 또한 이러한 위치이동의 폭이 스케일 s 에 비례하지 않는다[5],[6]. 그러나 각기 다른 폭을 갖는 라인-에지의 웨이브렛 변환으로부터, 국부 극대값의 위치가 동일한 간격 상에서 존재할 경우, 에지 검출을 위한 알고리즘과 연산량에서 이점을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 웨이브렛 절대값에 대한 도함수의 분석으로부터 국부 극대값의 위치를 에지의 중심으로부터 동일한 간격 상에 위치시키기 위한 웨이브렛 함수를 설계하여, 다양한 폭과 종류의 에지에서 라인-에지를 효과적으로 검출하도록 하였다.

그림 1은 곡선의 특성을 분석하기 위한 파라미터를 나타낸 것이다. 그림에서, gray level로 표현된 부분은 분석을 위해 예시된 곡선의 일부이며, mesh는 이러한 곡선에 대한 웨이브렛 절대값이다. g_c 는 곡선에 대한 gray level이며, d 는 분석을 위한 곡선의 폭이다. 그리고 l 는 곡선의 중심이며, l_m 은 곡선 l 과 평행인 두 곡선이고, δ 는 곡선 l 과 l_m 사이의 간격이다.

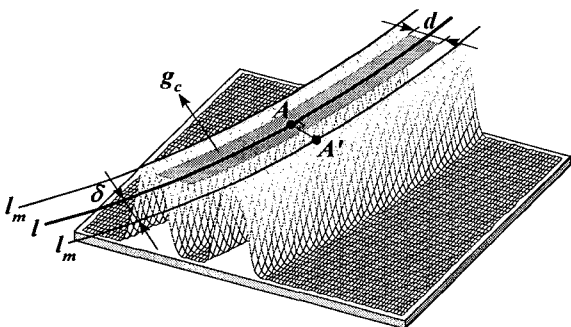


그림 1. 곡선의 파라미터
Fig. 1. Parameters of curve

또한 A' 은 곡선의 한 지점 A 에서 법선방향으로 거리 δ 인 지점 (x_δ, y_δ) 이다. 곡선 l 과 l_m 사이의 간격에 대한 변수를 ρ 로서 표현할 경우, 곡선에 대한 웨이브렛 변환은 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} W_s f(x, y) &= -g_c \int_a^b \int_{-d/2}^{d/2} \psi_s(x-u, y-v) d\rho dt \\ &= -g_c \int_a^b \int_{-d/2}^{d/2} \psi_s(x-u(t)-\rho\zeta_2, \\ &\quad y-v(t)+\rho\zeta_1) d\rho dt \end{aligned} \quad (13)$$

식에서, $t (\in [a, b])$ 는 분석을 위한 곡선의 구간이며, $(u(t), v(t))$ 는 gray level로 표현되는 곡선 상의 한 지점이고, (ζ_1, ζ_2) 은 이러한 지점에서의 단위 접선 벡터이다. 따라서 식 (13)에 의해서, 임의의 지점 (x, y) 에서의 웨이브렛 변환 데이터를 얻을 수 있으며, 곡선의 중심 l 상의 한 지점 $(u(t_0), v(t_0))$ 에 대해서 (x_δ, y_δ) 는 식 (14)와 같다.

$$x_\delta = u(t_0) + \zeta_2 \delta, \quad y_\delta = v(t_0) - \zeta_1 \delta \quad (14)$$

짧은 분석 구간에서 곡선은 직선으로 고려될 수 있으므로, 식 (13)의 $u(t) = u(t_0) + \zeta_1(t-t_0)$ 이며, 동일한 과정에 의해 $v(t) = v(t_0) + \zeta_2(t-t_0)$ 이다. 그러므로 위의 식들로부터, 지점 (x_δ, y_δ) 의 웨이브렛 변환은 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned} W_s f(x_\delta, y_\delta) &= -g_c \int_a^b \int_{-d/2}^{d/2} \psi_s(x_\delta - u(t_0) - \zeta_1(t-t_0) - \rho\zeta_2, \\ &\quad y_\delta - v(t_0) - \zeta_2(t-t_0) + \rho\zeta_1) d\rho dt \\ &= -g_c \int_{t_0-b}^{t_0-a} \int_{\delta-d/2}^{\delta+d/2} \psi_s(\zeta_1 t + \zeta_2 \rho, \zeta_2 t - \zeta_1 \rho) d\rho dt \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)에 스케일 인자 s 와 식 (12)를 적용할 경우, (x_δ, y_δ) 에서의 웨이브렛 절대값은 식 (16)과 같다.

$$\begin{aligned} M_s f(x_\delta, y_\delta) &= 2 \left| g_c \int_0^\infty \left[\phi \left(\sqrt{t^2 + \left(\frac{\delta+d/2}{s} \right)^2} \right) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \phi \left(\sqrt{t^2 + \left(\frac{\delta-d/2}{s} \right)^2} \right) \right] dt \right| \end{aligned} \quad (16)$$

그리고 $M_s f(x_\delta, y_\delta)$ 가 국부 극대값이 되기 위해, 이것의 1차 도함수가 $(d/d\delta) M_s f(x_\delta, y_\delta) = 0$ 를 만족해야 하므로, $F(x)$ 를 식 (17)과 같이 나타낼 경우, 식 (18)의 조건이 구해진다.

$$F(x) = x \int_0^\infty \frac{\phi'(\sqrt{t^2+x^2})}{\sqrt{t^2+x^2}} dt \quad (17)$$

$$F\left(\frac{\delta}{s} + \frac{d}{2s}\right) - F\left(\frac{\delta}{s} - \frac{d}{2s}\right) = 0 \quad (18)$$

위의 식 (18)에서, $F(x)$ 가 만약 $\text{supp } F = [-1, 1]$ 이며, 구간 $[0, 1]$ 에 대하여 $x = 1/2$ 에서 대칭이고 단조함수일 경우, 국부 극대값은 곡선의 폭 d 와는 무관하게, 곡선의 중심에서 양측으로 대칭적인 지점 $|\delta| = s/2$ 에 존재하게 된다. 이때 조건을 만족하는 $F(x)$ 로부터 유도되는 웨이브렛 함수 $\psi(x)$ 는 식 (19)와 같다.

$$\psi(x) = -\frac{2}{\pi} \int_x^\infty \frac{t F'(t) - F(t)}{t^2 \sqrt{t^2 - x^2}} dt \quad (19)$$

2. 잡음에 강인한 웨이브렛 함수

라인-에지를 검출하기 위한 웨이브렛 함수 $\psi(x)$ 를 설계하기 위해, 조건을 만족하는 $F(x)$ 는 여러 가지 방법에 의해 선택될 수 있다. 이러한 방법들 중 구간별 다항식 함수(piecewise polynomial function)를 이용한 방법은 주어진 구간을 여러 개의 소구간으로 분할하고, 각 구간에 저차의 다항식을 적용함에 따라, 식 (19)의 적분계산을 용이하게 한다. 따라서 본 논문에서는 $[0, 1]$ 사이의 구간을 $x = 1/2$ 을 기준으로 두 부분으로 분할하여, 단조함수에 대한 조건을 만족하도록 3차 다항식을 적용하였으며, 식 (20)은 이러한 과정에 의해 본 논문에서 제안한 웨이브렛 함수이다.

$$\psi(x) = \begin{cases} -\frac{2}{\pi} \left\{ 12x \log \left(\frac{2x}{1 + \sqrt{1-4x^2}} \right) + 16x \sqrt{1-4x^2} \right\}, & x \in \left[0, \frac{1}{2} \right) \\ -\frac{2}{\pi} \left\{ 36x \log \left(\frac{1 + \sqrt{1-x^2}}{x} \right) - \left(32x + \frac{4}{x} \right) \sqrt{1-x^2} \right\}, & x \in \left[\frac{1}{2}, 1 \right] \end{cases} \quad (20)$$

또한 디지털 신호에 대한 고속 연산과 고주파 성분에 대한 영향을 감소시키기 위해, $\psi(x)$ 을 따르고 길이 N 을 갖는 이산영역에서의 웨이브렛 함수 $\psi(n)$ 에 필터를 적용하였다. 최적등리플 설계방법은 통과대역과 저지대역 주파수를 정확하게 설정할 수 있으며, 오차를 통과대역과 저지대역에서 각각 균일하게 분포시키는 것에 의해 낮은 차수의 필터설계를 가능하게 한다. 선형위상 FIR (finite impulse response) 필터의 주파수 응답은 식 (21)과 같다.

$$H(e^{j\omega}) = H_r(e^{j\omega}) e^{j(\beta - \alpha\omega)} \quad (21)$$

여기서 $H_r(e^{j\omega})$ 는 실함수의 진폭응답이며, $\alpha = (M-1)/2$ 이고, M 은 필터의 차수이다. 그리고 $\beta = 0$ 또는 $\beta = \pi/2$ 이다. $H_r(e^{j\omega})$ 의 공통형식은 ω 에 따른 고정함수 $Q(e^{j\omega})$ 와 cosine의 함으로 이루어진 $P(e^{j\omega})$ 을 사용할 경우 식 (22)와 같다[7].

$$H_r(e^{j\omega}) = Q(e^{j\omega}) P(e^{j\omega}) \quad (22)$$

그리고 Chebyshev 근사문제로 선형위상 FIR 필터설계를 공식화하기 위해, 통과대역과 저지대역에서의 이상적인 응답 $D(e^{j\omega})$ 와 가중함수 $W(e^{j\omega})$ 및 식 (23)의 가중 오차를 정의한다.

$$\begin{aligned} E(e^{j\omega}) &= W(e^{j\omega}) [D(e^{j\omega}) - H_r(e^{j\omega})] \\ &= W(e^{j\omega}) Q(e^{j\omega}) \left[\frac{D(e^{j\omega})}{Q(e^{j\omega})} - P(e^{j\omega}) \right] \\ &= \hat{W}(e^{j\omega}) [\hat{D}(e^{j\omega}) - P(e^{j\omega})] \end{aligned} \quad (23)$$

식에서, $\omega \in \mathcal{J}$ 이며 \mathcal{J} 는 통과대역과 저지대역 모두를 포함한다. 즉, 저역통과 필터의 경우, 통과대역과 저지대역의 대역끝(band-edge) 주파수를 각각 ω_p 와 ω_s 라 할 때, $\mathcal{J} = [0, \omega_p] \cup [\omega_s, \pi]$ 이다. 그리고 $W(e^{j\omega})$, $Q(e^{j\omega})$, $D(e^{j\omega})$ 가 FIR 필터의 설계사양으로부터 결정되므로, 근사문제는 통과대역과 저지대역에서 $E(e^{j\omega})$ 의 절대값에 대한 최대값을 최소화하는 $P(e^{j\omega})$ 에서의 계수값을 찾는 것이다. 최적의 FIR 필터를 설계하기 위해, Parks-McClellan은 Remez 교환 알고리즘을 사용하였으며, 이것은 먼저 극점 주파수를 추측하여 오차 δ 를 계산한다. 그리고 $P(e^{j\omega})$ 를 얻기 위해, 극점 주파수에서 Lagrange 보간식을 사용하며, 모든 주파수에 대해 $|E(e^{j\omega})| \leq \delta$ 을 만족하면 최적의 근사값은 얻어진다. 그러나 $|E(e^{j\omega})| > \delta$ 일 경우에는 새로운 극점 주파수를 선택하여, 앞의 과정을 반복한다[7].

위의 과정으로부터 얻어지는 임펄스 응답 $h(n)$ 은 웨이브렛 함수 $\psi(n)$ 에 적용된다. 이때, 저역통과 필터를 적용하는 것에 의해 얻어지는 웨이브렛 함수 $\tilde{\psi}(n)$ 의 길이를 $2(s+1)$ 으로 최소화하기 위해, $\psi(n)$ 의 길이 L_1 과 $h(n)$ 의 길이 L_2 를 식 (24)와 같이 선택한다.

$$L_1 = 2sK, \quad L_2 = 2K + 1 \quad (24)$$

여기서, K 는 식 (25)의 $\tilde{\psi}_s(n)$ 을 얻기 위해, 합 연산이 이루어지는 구간의 길이를 나타내는 임의의 양수이다. 그리고 함수 $\tilde{\psi}(n)$ 은 $\psi(n)$ 과 $h(n)$ 의 콘볼루션 연산으로부터 얻어지며, 구간 $[-K(s+1), K(s+1)-1]$ 에서 길이 $L_1 + L_2 - 1$ 로서 표현된다. 그리고 스케일 s 의 $\tilde{\psi}_s(n)$ 은 식 (25)와 같이 $\tilde{\psi}(n)$ 에 대한 합 연산을 통해 계산한다.

$$\tilde{\psi}_s(n) = \sum_{i=n_1}^{n_2} \tilde{\psi}(i) \quad (25)$$

식에서, $n = -(s+1), -s, \dots, s-1, s$ 이며, $n_1 = Kn$ 이고, $n_2 = K(n+1) - 1$ 이다.

따라서 스케일 s 에서, 라인-에지는 식 (25)의 $\tilde{\psi}_s(n)$ 을 이용하여, $M_s f$ 가 국부 극대인 지점으로부터 $A_s f$ 의 방향을 따라 거리가 s 인 지점이 국부 극대일 경우, 이러한 두 국부 극대점 사이의 중심으로 한다.

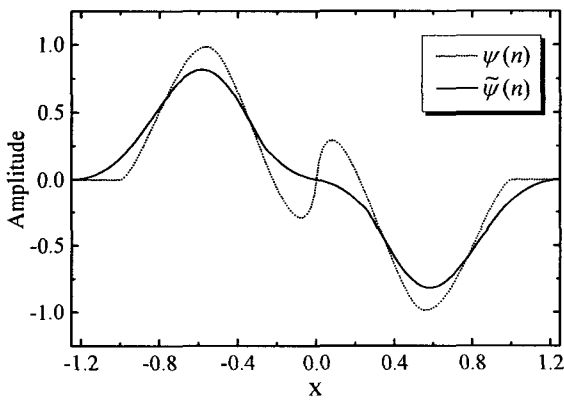
IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 잡음 환경에 강인한 웨이브렛 기반의 에지 검출기를 제안하여, 다양한 폭을 갖는 곡선들이 동일한 간격 상에서 국부 극대값을 갖도록 하였다. 그리고 라인-에지에 대한 검출 성능을 확인하기 위해, 테스트 영상으로서, 각기 다른 에지와 라인 폭을 갖는 circle 영상과 512×512 의 Peppers 영상을 사용하였다.

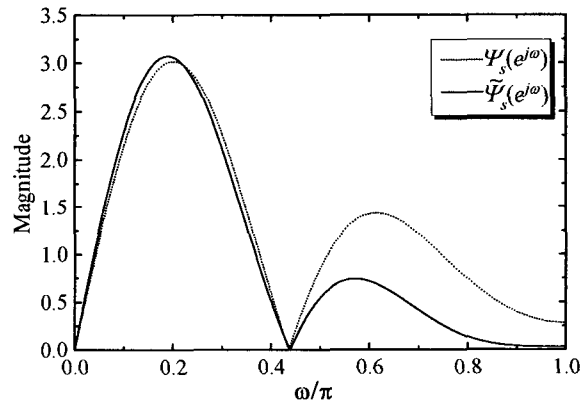
본 논문에서 제안한 식 (20)의 웨이브렛 함수에 대한 1-D 및 2-D 표현은 그림 2와 같다. 그림 2(a)는 샘플링 주파수 20[Hz]에 의해서 표현되는 $\psi(n)$ 과 $\tilde{\psi}(n)$ 이다. 이때 $\tilde{\psi}(n)$ 은 통과대역과 저지대역 주파수가 각각 0.06π , 0.17π 일 때, $K=5$ 를 적용하여 설계된 $h(n)$ 과 $\psi(n)$ 의 컨볼루션에 의해 생성되었으며, 식 (20)과의 비교를 위해 $\psi(x)$ 와 같은 위치에서 나타내었다. 그리고 그

림 2(b)는 $K=5$, $s=4$ 가 적용된 $\psi_s(n)$ 과 $\tilde{\psi}_s(n)$ 에 대한 이산시간 푸리에 변환 $\Psi_s(e^{j\omega})$, $\tilde{\Psi}_s(e^{j\omega})$ 이며, 그림 2(c)는 2-D의 $\tilde{\psi}(n, m)$ 이고, 그림 2(d)는 $K=5$, $s=4$ 가 적용된 경우의 $\tilde{\psi}_s(n, m)$ 이다.

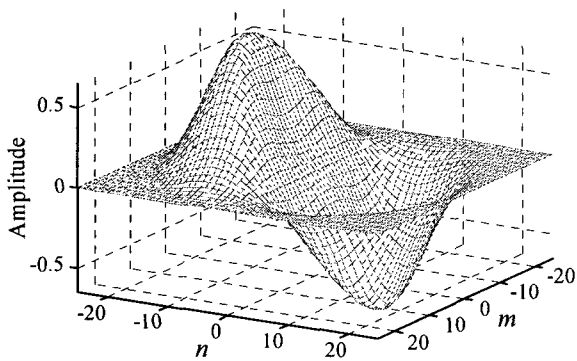
그림 3은 각기 다른 폭을 갖는 라인-에지에 대한 국부 극대값 검출 결과이다. 그림 3(a)는 테스트 영상으로서, 곡선의 폭은 중심으로부터 각각 1~4이다. 그리고 그림 3(b)에서 그림 3(f)는 각각 Sobel, Prewitt, Roberts, Canny method 및 본 논문에서 제안한 웨이브렛 함수에 의한 결과이다. 검출 결과로부터, 기존의 방법들은 곡선의 폭에 의존하여 국부 극대값의 위치가 변하므로, 각기 다른 폭의 라인-에지를 검출하기 위해서는 많은 연산시간과 복잡한 알고리즘을 필요로 한다. 그러나 제안한 방법은 스케일 인자 이내의 모든 곡선에 대해, 동일한 위치에서 국부 극대값이 존재하므로 라인-에지 검출이 용이하다.



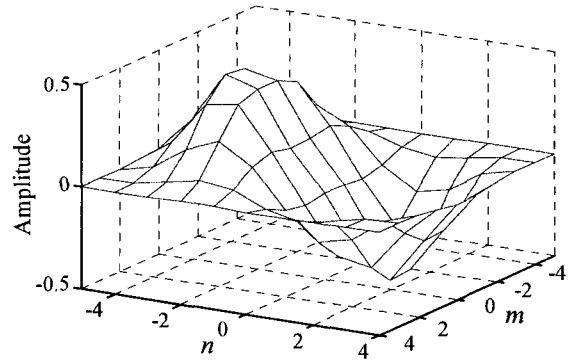
(a) $\psi(n)$ and $\tilde{\psi}(n)$



(b) $\Psi_s(e^{j\omega})$ and $\tilde{\Psi}_s(e^{j\omega})$



(c) $\tilde{\psi}(n, m)$



(d) $\tilde{\psi}_s(n, m)$

그림 2. 웨이브렛 함수
Fig. 2. Wavelet function

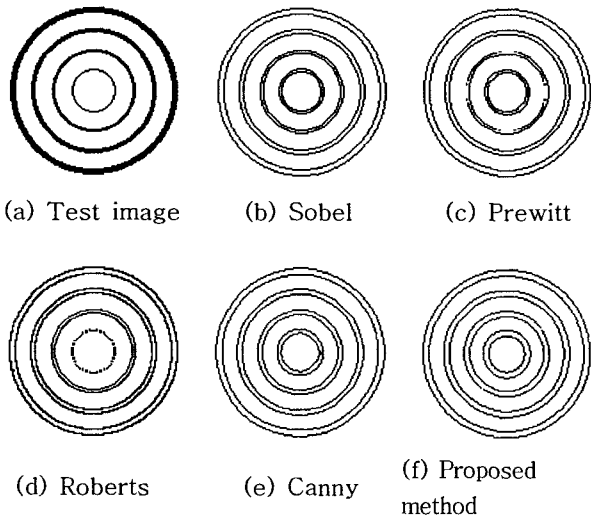


그림 3. 국부 극대값의 위치
Fig. 3. Positions of local maxima

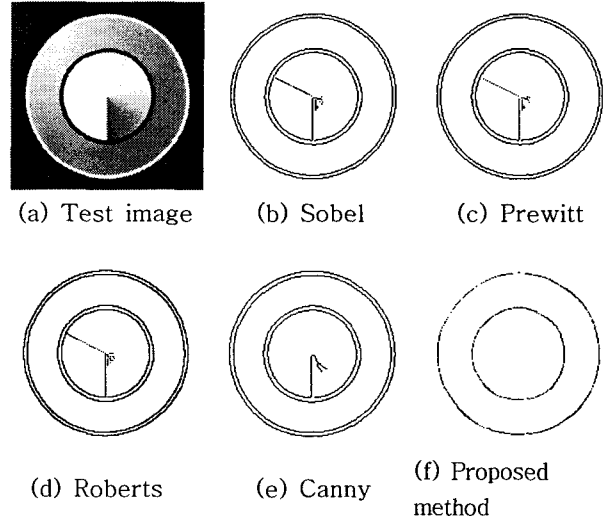


그림 4. 에지 검출 특성
Fig. 4. Properties of edge detection

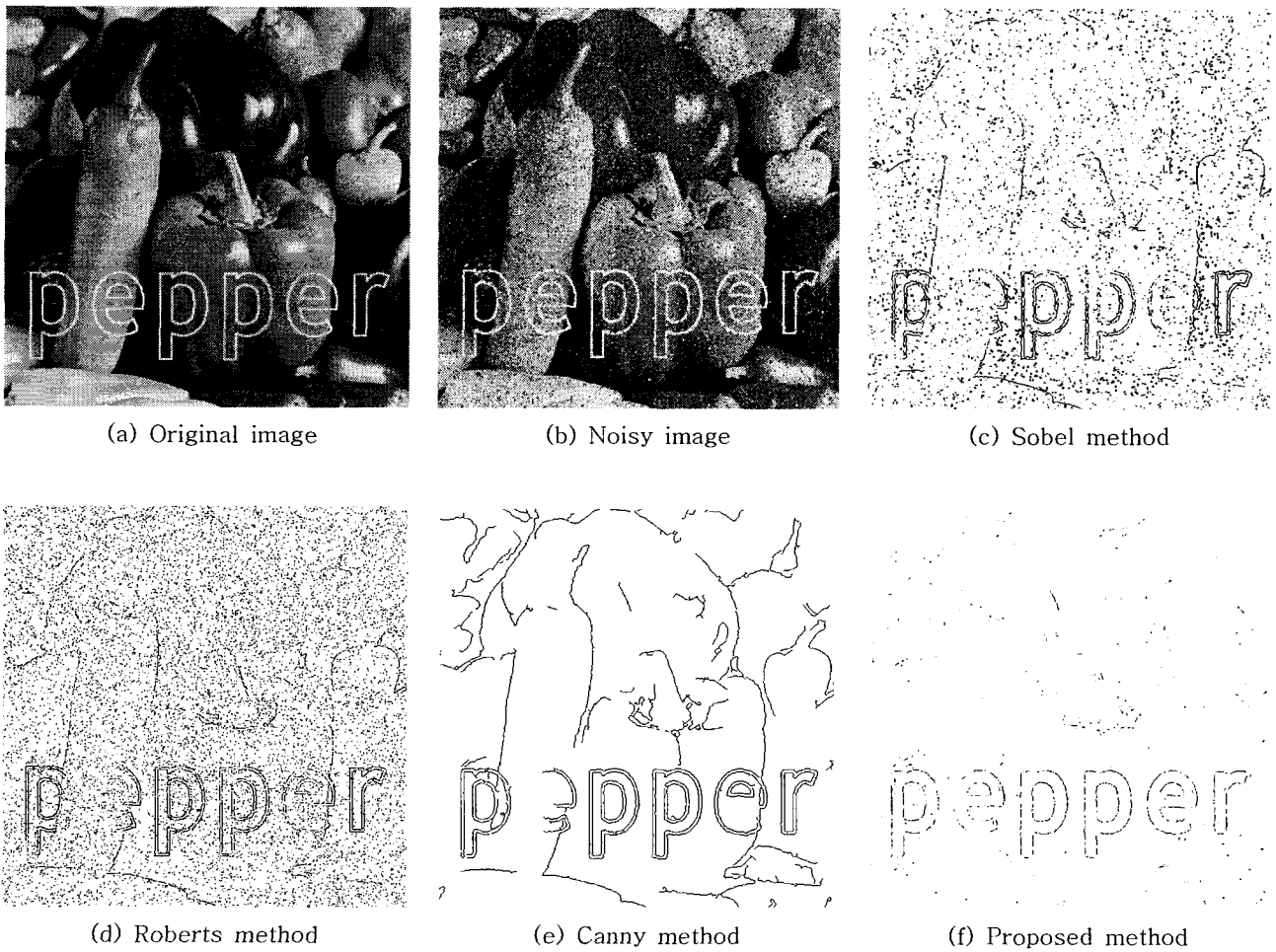


그림 5. 라인-에지 검출 결과
Fig. 5. Detection results of line-edge

그림 4는 다양한 에지를 포함하는 영상에 대한 에지 검출 결과이다. 그림 4(a)는 라인-에지와 스텝-에지 그리고 램프-에지를 포함하는 테스트 영상이다. 그리고 그림 4(b)에서 그림 4(e)는 각각 Sobel, Prewitt, Roberts, Canny method에 의한 결과이며, 그림 4(f)는 본 논문에서 제안한 웨이브렛 함수에 의한 결과이다. 검출 결과로부터, 기존의 에지 검출기는 다양한 형태의 에지를 검출하고 있으나, 제안한 방법은 라인-에지만을 검출하였다.

그림 5는 잡음환경에서의 에지 검출 결과이다. 그림 5(a)는 테스트 영상으로서, Peppers 영상에 gray level의 텍스처를 중첩하였다. 그리고 그림 5(b)는 5%의 salt & pepper 잡음과 분산 100의 AWGN (additive white Gaussian noise)이 복합적으로 중첩된 noisy 영상이다. 또한 그림 5(c)와 그림 5(d), 그림 5(e)는 각각 Sobel, Roberts, Canny method에 의한 에지 검출 결과이며, 그림 5(f)는 제안한 방법에 의한 결과이다. 결과로부터, Sobel과 Roberts는 밝기의 변화에 매우 민감한 특성으로 인해, 많은 잡음 성분을 그대로 포함하고 있다. 그리고 Canny method는 Gaussian filter를 사용하여 잡음을 제거한 후, 에지를 검출함에 따라 잡음에 강한 특성을 나타내며 강한 윤곽선만을 검출하였다. 그러나 본 논문에서 제안한 웨이브렛에 의한 그림 5(f)의 결과는 복합적으로 중첩된 잡음환경에서, 라인-에지를 제외한 대부분의 잡음과 에지 성분들을 제거하여, 라인-에지 검출 특성이 우수하였다. 이것은 고역성분이 억제된 웨이브렛을 사용하여, 에지 검출 및 잡음 제거 성능이 동시에 나타난 결과이다.

V. 결 론

본 논문에서는 잡음 환경에 강인한 웨이브렛 기반의 에지 검출기를 제안하여 라인-에지 성분을 선택적으로 분리-검출하였다. 이러한 과정에서 웨이브렛 절대값과 각도 정보를 이용하여, 동일한 간격 상에서 발생하는 국부 극대값으로부터 에지를 검출하였으며, 고주파 성분에 대한 영향을 감소시키기 위해, 필터를 적용하였다.

검출성능을 확인하기 위해, 테스트 영상으로서 각기 다른 에지와 라인 폭을 갖는 circle 영상과 텍스트가 중첩된 Peppers 영상을 사용하였으며, 5%의 salt & pepper 잡음과 분산 100의 AWGN을 적용하여 시뮬레이션하였다.

결과로부터, 기존의 에지 검출기들은 각기 다른 곡선의 폭과 잡음환경에서 선택적인 라인-에지 검출이 용이하지 않았다. 그러나 제안한 방법은 스케일 인자 이내의 모든 곡선에 대해서, 동일한 위치에서 국부 극대값을 나타내었으며, 복합적인 잡음 환경에 대해서도 검출 성능이 우수하여, 특징검출 및 패턴인식과 같은 분야에 유용하게 적용되리라 사료된다.

참고 문헌

- [1]G. Xiaoping and G. Zequan, "Edge detection of high resolution remote sensing imagery using wavelet", IEEE Conf, pp. 302-307, 29 Oct. - 1 Nov. 2001.
- [2]J. C. Chien and C. C. Li, "Wavelet-based Line Detection in Gray-scale Images", IEEE Conference on, vol. 4, pp. 3670-3673, Oct. 1997.
- [3]S. Mallat and W. L. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 38, pp. 617-643, Mar. 1992.
- [4]R. Rifaat and W. Kinsner, "Experiments with Wavelet and other Edge Detection Techniques", WESCANEX 97: Communications, Power and Computing. Conference Proceedings, IEEE 22-23, pp. 322-326, May 1997.
- [5]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, 149-156, 2003.
- [6]Jun Li, "A Wavelet Approach to Edge Detection", Thesis, Sam Houston State University, 2003.
- [7]L. R. Rabiner, J. H. McClellan and T. W. Parks, "FIR Digital Filter Design Techniques Using Weighted Chebyshev Approximation", in Proc. IEEE, vol. 63, pp. 595-610, April 1975.



김 남 호(Nam-Ho Kim)

1984년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1991년 8월 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 3월 ~ 현재 부경대학교 전기제어공학부 교수

※ 관심분야 : 적응필터와 웨이브렛을 이용한 영상 및 신호처리, 통신이론, 회로 및 시스템



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