

새로운 2-D 웨이블릿 함수를 이용한 라인-에지 검출

배상범[†], 김남호^{**}

요 약

영상에서 신호가 급격히 변화하는 지점은 영상의 특징을 분석함에 있어서 가장 중요한 요소이며, 영상의 위치와 모양 등에 대한 다양한 정보를 포함하고 있다. 그러므로, 이러한 에지를 검출하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 초기에 사용한 에지 검출 연산자는 인접한 화소들 사이에 대한 관계를 이용하는 것이었다. 이와 같은 방법들은 모든 경계 지점에서 에지를 검출하므로, 라인-에지와 같은 일정한 폭 이하의 곡선에 대해서도 에지의 중복 검출을 수행한다. 한편, 최근 신호처리 분야에서 새로운 기법으로 제시된 웨이블릿 변환은 멀티스케일 에지 검출이 가능하며, 영상에서 에지를 포함한 특징들을 분석하는 분야에 널리 응용되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 라인 폭에 의존하지 않는 새로운 2-D 웨이블릿 함수를 사용하여, 영상에 존재하는 다양한 폭의 곡선에서 라인-에지 성분을 검출하였다.

Line-Edge Detection Using New 2-D Wavelet Function

Sang-Bum Bae[†], Nam-Ho Kim^{**}

ABSTRACT

Points of sharp variations in image are the most important components when we analyze the features of image. And they include a variety of information about image's shape and location etc. So a lot of researches for detecting edges have been continued. Edge detection operators which were used at the early stage of the research were to utilize relations among neighboring pixels. These methods detect edge at all boundaries, therefore they perform edge detection twice about curves below some width such as line-edge. In the meantime, wavelet transform which is presented as a new technique of signal processing field provides multiscale edge detection and is being applied widely in many fields that analyze edge-like characteristic. Therefore, in this paper we detected line-edge with new 2-D wavelet function which is independent of line's width.

Key words: Edge(에지), Wavelet Transform(웨이블릿 변환), Multiscale(멀티스케일)

1. 서 론

영상에서 에지는 입력 영상에 대한 위치, 모양, 크기 그리고 재질 등과 같은 정보를 포함하고 있으며,

영상의 특징을 분석함에 있어서 가장 중요한 요소이다. 그러므로, 이러한 에지를 검출하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 초기에 사용된 방법들은 소벨, 로버트, 프리윗, 라플라시안 등이 대표적이다[1].

* 교신저자(Corresponding Author) : 김남호, 주소 : 부산광역시 남구 용당동 산 100번지(608-739), 전화 : 051)620-1635, FAX : 051)623-4227, E-mail : nhk@pknu.ac.kr
접수일 : 2004년 4월 29일, 완료일 : 2004년 9월 15일

[†] 준회원, 부경대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정
(E-mail : blueskybsb@mail1.pknu.ac.kr)

^{**} 정회원, 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수

그러나, 이들 연산자들은 매우 간단하며 쉽게 에지를 검출할 수 있으나, 노이즈가 존재하는 영상에서는 성능이 우수하지 않으며, 선택적인 에지 검출이 불가능하다.

컴퓨터 비전에서는 동일한 영상 내에 존재하는 다양한 종류의 에지들을 검출하기 위해, 멀티스케일 에지 검출에 대한 개념이 소개되었으며, 이것은 신호처리 분야에서 새로운 기법으로 제시되고 있는 웨이브렛 변환과 밀접하게 관계되어 있다[5].

또한, 현재 웨이브렛 변환은 많은 웨이브렛 이론들이 발전함에 따라 에지와 같은 특징들을 분석하는 분야에 널리 응용되고 있다[2,3]. 이에 따라, 최근 웨이브렛의 영교차점을 이용한 라인-에지 검출 방법이 소개되었다[4]. 그러나, 이러한 방법은 영상을 수평 및 수직 방향에 대하여 1-D 웨이브렛 변환을 수행한 후, 각각의 영교차점들에 대한 합집합과 연속된 영교차점 개수에 대한 파라미터를 사용한다. 그러므로, 라인 폭과 전체 영상의 그레이 레벨이 변화함에 따라 우수한 성능을 나타내지 못한다. 따라서, 본 논문에서는 문자 및 차선 같은 패턴인식과 특징검출을 위해, 라인 폭에 의존하지 않는 2-D 웨이브렛 함수를 이용하여 영상에 존재하는 다양한 종류의 에지들에서 라인-에지 성분을 검출하였다.

2. 웨이브렛 변환

멀티스케일 에지 검출기는 다양한 스케일에서 신호를 평활화하고, 1차 또는 2차 도함수로부터 날카로운 변화 지점을 검출한다. 그리고, 라인-에지와 같은 급격한 변화를 검출하기 위해서, 평활화 함수 $\theta(x)$ 의 도함수를 웨이브렛 함수로서 사용한다. 이러한 평활화 함수는 저역통과 필터에 대한 임펄스 응답이며, 웨이브렛에 의한 에지 검출은 특별한 필터링 연산이다. 따라서, 평활화 함수로부터 웨이브렛 함수를 유도하기 위해, 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[5].

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

이때, 유한 에너지를 갖는 함수 $\psi^a(x)$ 와 $\psi^b(x)$ 가 식 (2)를 만족하면, 웨이브렛 함수이다.

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

그리고, 웨이브렛 변환은 팽창된 웨이브렛과 신호의 콘볼루션으로 계산하며, 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 같이 정의한다.

$$W_s^a f(x) = f * \psi_s^a(x) = f * (s \frac{d\theta_s}{dx})(x) \quad (3)$$

$$= s \frac{d}{dx} (f * \theta_s)(x)$$

$$W_s^b f(x) = f * \psi_s^b(x) \quad (4)$$

$$= s^2 \frac{d^2}{dx^2} (f * \theta_s)(x)$$

여기서, $\psi_s(x) = (1/s)\psi(x/s)$ 이며, 스케일링 인자 s 에 의한 함수 $\psi(x)$ 의 팽창을 의미한다. 위와 같은 두 식으로부터 웨이브렛 변환 $W_s^a f(x)$ 와 $W_s^b f(x)$ 는 각각 스케일 s 에서 평활화된 신호의 1차와 2차 도함수이다. 그러므로, $W_s^a f(x)$ 의 국부 극값은 $f * \theta_s(x)$ 의 변곡점과 $W_s^b f(x)$ 의 영교차점에 해당한다. 이때 스케일 s 가 클 경우 웨이브렛 변환은 신호 내에서 작은 변화 성분을 제거하는 동시에 큰 변화 성분을 검출한다.

그리고, 위와 같은 두 가지 형태의 웨이브렛은 각기 다른 특징들을 나타낸다. 1차 도함수를 사용할 경우 이것에 대한 절대값의 최대와 최소값은 $f * \theta_s(x)$ 의 변곡점을 나타낸다. 여기서, 최대값은 $f * \theta_s(x)$ 가 급격한 변화를 갖는 지점에 해당하며, 최소값은 상대적으로 완만한 변화를 갖는 지점이다. 또한, 신호의 불연속 점들에 대한 진폭의 변화를 각기 다른 임계값으로써 분리할 수 있다. 그러나 2차 도함수를 사용할 경우, 이러한 변곡점에 대한 위치정보는 알 수 있으나, 최대-최소에 대한 두 가지 형태를 쉽게 분리할 수 없다.

따라서, 라인-에지를 검출하기 위해 $\theta(x)$ 의 1차 도함수에 의한 웨이브렛 함수 $\psi^a(x)$ 를 사용한다. 그리고, 웨이브렛 변환은 영상처리를 위해서 2-D로 확장되며, 평활화 함수를 $\theta(x, y)$ 로 나타낼 때 2-D 웨이브렛 함수 $\psi^1(x, y)$ 와 $\psi^2(x, y)$ 는 각각 식 (5)와 같다.

$$\begin{cases} \phi^1(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \\ \phi^2(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \end{cases} \quad (5)$$

웨이브렛 변환에 대한 각 성분은 식 (6), 식 (7)과 같으며, 웨이브렛 변환에 의한 국부 최대 특징은 수평, 수직축을 따라 영상에 존재하는 과도성분에서 나타난다.

$$\begin{aligned} W_s^1 f(x, y) &= f * \phi_s^1(x, y) \\ &= f * \left(s \frac{\partial}{\partial x} \theta_s \right)(x, y) \\ &= s \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_s)(x, y) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} W_s^2 f(x, y) &= f * \phi_s^2(x, y) \\ &= s \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_s)(x, y) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, $\phi_s(x, y) = (1/s^2)\phi(x/s, y/s)$ 이고, 위의 두 식은 다음의 식 (8)과 같이 그래디언트 벡터 $\vec{\nabla}(f * \theta_s)(x, y)$ 로써 나타내며, 에지 지점은 웨이브렛 변환의 두 구성 성분 $W_s^1 f(x, y)$ 와 $W_s^2 f(x, y)$ 로부터 얻어진다.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} W_s^1 f(x, y) \\ W_s^2 f(x, y) \end{pmatrix} &= s \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_s)(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_s)(x, y) \end{pmatrix} \\ &= s \vec{\nabla}(f * \theta_s)(x, y) \end{aligned} \quad (8)$$

식으로부터 웨이브렛 변화의 두 구성요소는 그래디언트 벡터 $\vec{\nabla}(f * \theta_s)(x, y)$ 의 두 구성요소에 비례한다. 따라서 스케일 s 에서 그래디언트 벡터의 모듈러스는 식 (9)에 비례하며, 방향각은 식 (10)과 같다 [5].

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

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

위와 같은 두 식으로부터 에지는 $A_s f(x, y)$ 에 의한 방향을 따라 $M_s f(x, y)$ 가 국부 최대인 지점에 존재한다. 그리고, 평활화 함수 $\theta(x, y)$ 는 식 (11)과

같은 원시함수 $\phi(\cdot)$ 로 정의한다. 이때, 각각에 대한 2-D 웨이브렛 함수 $\phi^1(x, y)$ 와 $\phi^2(x, y)$ 는 식 (12)와 같으며, $\phi'(\cdot)$ 는 $\phi(\cdot)$ 의 1차 도함수이다.

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

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

3. 라인-에지 검출을 위한 웨이브렛

응용 환경에 따라서 적절한 웨이브렛 함수를 선택하는 것은 가장 먼저 이루어져야 할 문제이다[6]. 그리고 영상은 스텝-에지, 램프-에지, 루프-에지, 라인-에지와 같은 다양한 종류의 에지들을 포함한다. 따라서, 이러한 다양한 종류의 에지에서 라인-에지 성분을 검출하기 위하여, 곡선들이 웨이브렛 변환에 의해 동일한 간격 상에서 국부 최대값을 갖도록 하였다. 에지에 대한 특징들로부터, 라인-에지는 영상의 밝기가 급격히 변화하지만 곧 이전의 밝기값으로 복귀하는 일정한 폭 이하의 불연속 점이다. 따라서, 이러한 특징들로부터 라인-에지에 대한 웨이브렛 변환은 라인의 중심으로부터 인접한 두 지점에 국부 최대값을 갖게 된다. 그러나, 영상에서 모든 라인-에지가 동일한 폭을 가지지 않으므로, 이에 상응하는 모듈러스의 국부 최대값에 대한 위치가 변하게 되며, 라인-에지 검출은 비선형 함수의 해석이 필요하게 된다 [5]. 그러나, 어떠한 조건에서 이러한 국부 최대값에 대한 위치가 동일한 간격 상에서 존재한다면 라인-에지를 검출하기 위한 알고리즘과 연산량은 많은 이점을 얻을 수 있다.

식 (12)에 의해 정의된 웨이브렛 함수에 대해서, 웨이브렛 변환 $W_s^1 f(x_\rho, y_\rho)$ 와 $W_s^2 f(x_\rho, y_\rho)$ 가 식 (13)을 만족한다. 식 (13)에서 d 는 분석을 위한 곡선의 폭이며, ρ 는 곡선의 중심으로부터 법선 방향으로 평행인 지점 (x_ρ, y_ρ) 사이의 거리를 나타내고, g_c 는 곡선에 대한 그레이 레벨 (c : curve), t 는 곡선의 구간이다.

그리고, $M_s f(x_\rho, y_\rho)$ 가 국부 최대값이 되기 위한 ρ 를 찾기 위해 도함수를 사용하며, $G(x)$ 를 식 (14)와 같이 나타낼 때, 도함수는 식 (15)와 같다.

식 (15)를 $(d/d\rho) M_s f(x_\rho, y_\rho) = 0$ 로 두는 것에 의해 식 (16)을 얻는다.

$$M_s f(x_\rho, y_\rho) = 2 \left| g_c \int_0^\infty \left[\phi \left(\sqrt{t^2 + \left(\frac{\rho + d/2}{s} \right)^2} \right) - \phi \left(\sqrt{t^2 + \left(\frac{\rho - d/2}{s} \right)^2} \right) \right] dt \right| \quad (13)$$

$$G(x) = x \int_0^\infty \frac{\phi'(\sqrt{t^2 + x^2})}{\sqrt{t^2 + x^2}} dt \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\rho} M_s f(x_\rho, y_\rho) &= -2 |g_c| \frac{1}{s} \left[G\left(\frac{\rho}{s} + \frac{d}{2s}\right) - G\left(\frac{\rho}{s} - \frac{d}{2s}\right) \right] \quad (15) \end{aligned}$$

$$G\left(\frac{\rho}{s} + \frac{d}{2s}\right) = G\left(\frac{\rho}{s} - \frac{d}{2s}\right) \quad (16)$$

여기서, 식 (16)을 해결하기 위해 다음과 같은 조건을 만족하는 $G(x)$ 를 가정한다.

$\text{supp } G = [-1, 1]$ 이고, $G(x) \leq 0 (\forall x \geq 0)$ 이다. 그리고 $G(x)$ 는 $[0, \frac{1}{2}]$ 에서 단조함수이며, 구간

$[0, 1]$ 에 대하여 $x = 1/2$ 에서 대칭이다. 또한 어떤 $\delta > 0$ 에 대해서, $G(x)$ 는 (δ, ∞) 에서 미분 가능하다. 이러한 조건으로부터, 국부 최대값을 갖는 $M_s f(x_\rho, y_\rho)$ 는 곡선의 폭 d 와는 무관하게, 중심에서 양측으로 대칭적인 지점 $|\rho| = s/2$ 에 존재하게 된다. 따라서, $s \geq d$ 이하의 모든 곡선은 동일한 간격 상에 국부 최대값이 위치하게 된다. 그리고, $G(x)$ 가 위와 같은 조건들을 만족하는 경우, $\psi(x)$ 는 식 (17)과 같다.

$$\begin{aligned} \psi(x) &= -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{x} \int_1^\infty \frac{tx G'(tx) - G(tx)}{t^2 \sqrt{t^2 - 1}} dt \quad (17) \end{aligned}$$

위와 같은 과정에서 구해진 웨이브렛에 의한 라인-에지 검출 알고리즘은 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 응용 대상에 따른 적절한 스케일 s 를 선택한 후, 각 방향에 대한 웨이브렛 변환 $W_s^1 f(x, y)$ 와

$W_s^2 f(x, y)$ 을 계산한다. 그리고, 이러한 웨이브렛 변환의 구성 성분으로부터 $M_s f(x, y)$ 와 $A_s f(x, y)$ 를 계산한다. 최종적으로 어떤 한 지점이 국부 최대 모듈러이며, 이 지점으로부터 기울기 방향을 따라 거리가 s 인 지점 역시 국부 최대 모듈러이면 이러한 두 국부 최대 지점의 중심을 라인-에지의 중심으로 선택한다.

그리고, 일반적으로 영상에 존재하는 에지는 한 방향에 대해서 급격한 변화를 갖지만, 다른 방향의 인접한 지점과는 부드러운 변화를 갖는 곡선 형태를 나타낸다. 따라서, 곡선에서 짧은 구간은 직선으로 근사화될 수 있으므로, 식 (17)과 같은 웨이브렛 함수는 일반적인 곡선에 대해서 사용된다. 또한, 스케일 s 에 대한 선택에서, 만약 작은 스케일을 사용한다면 모듈러스의 최대값은 영상의 미세한 질감 성분에 대한 특성을 대부분 반영할 것이다. 반면, 필요 이상으로 큰 스케일을 사용한다면 미세한 질감에 대한 영향은 최소화할 수 있지만, 원하지 않는 에지의 검출과 연산량의 증가를 가져온다. 따라서, 적절한 스케일 s 를 사용하여, 라인-에지를 검출한다.

4. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 다양한 폭을 갖는 곡선들이 웨이브렛 변환에 의해 동일한 간격 상에 두 개의 국부 최대값이 위치하도록 하였으며, 이를 위해 조건을 만족하는 $G(x)$ 를 선택한 후, $G(x)$ 로부터 각 방향에 대한 웨이브렛 함수를 유도하였다. 그리고 라인-에지 검출 성능을 확인하기 위해, 테스트 영상으로서 각기 다른 폭 d 와 그레이 레벨을 갖는 circle 영상과 girl 영상을 사용하였다.

2-D 웨이브렛 함수를 유도하기 위한 $G(x)$ 는 식 (18)과 같으며, 이때 $G(x) = 0 (\forall x > 1)$ 이고, 또한 $G(x) = -G(-x) (\forall x < 0)$ 이다.

$$G(x) = \begin{cases} 8x^3 - 6x^2 & x \in [0, \frac{1}{2}] \\ -8x^3 + 18x^2 - 12x + 2 & x \in [\frac{1}{2}, 1] \end{cases} \quad (18)$$

그림 1은 함수 $G(x)$ 를 나타내고 있으며, 함수 $G(x)$ 로부터 식 (17)을 사용하여 그림 2와 같은 웨이브렛 함수를 유도한다. 그리고, 웨이브렛 함수는 식

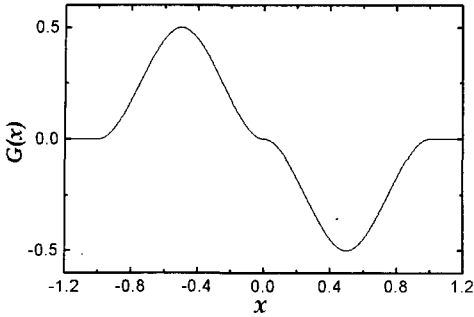


그림 1. 함수 $G(x)$

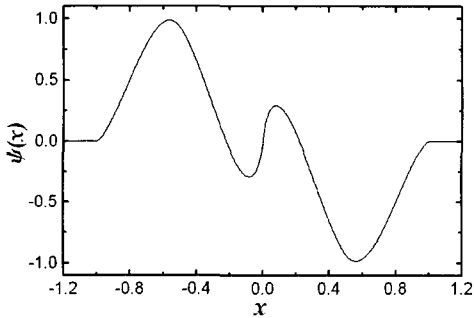


그림 2. 1-D 웨이블릿 함수

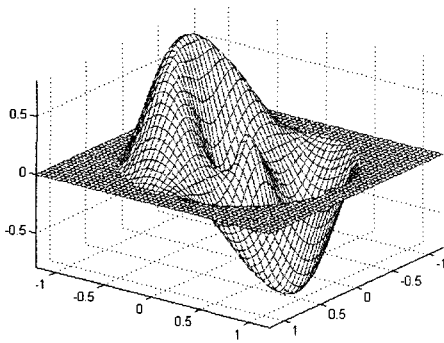


그림 3. 2-D 웨이블릿 함수 $\psi(x, y)$

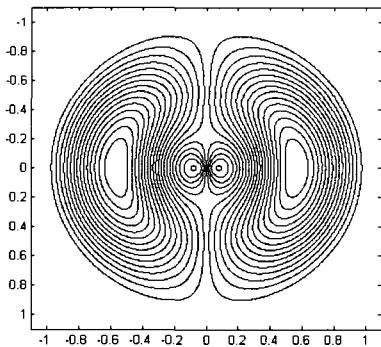


그림 4. 2-D 웨이블릿 함수의 윤곽선

(12)에 의해 2-D에서 표현되고, 그림 3은 이러한 2-D 웨이블릿 함수를 나타내고 있으며, 그림 4는 이것의 윤곽선이다.

그림 3과 같은 2-D 웨이블릿 함수의 라인-에지 검출 성능에 대한 시뮬레이션은 그림 5, 그림 6 그리고 그림 7에 나타내었으며, 이때 스케일 s 는 4를 적용하였다. 그림 5는 각기 다른 폭 d 를 갖는 circle 영상에 대한 라인-에지 검출 결과를 나타내고 있으며, 원 영상은 두 개의 circle에 의해 분할된 세 영역이 각기 다른 그레이 레벨을 갖도록 하였다. 그림으로부터 좌측 열의 영상들은 테스트를 위한 원 영상을 나타내고 있으며, 우측 열은 각각에 대한 라인-에지 검출 결과를 나타내고 있다. 그림 (a)의 두 circle 영상의 폭은 $d=1$ 이며, 그림 (b)는 $d=2$ 이다. 그리고, 그림 (c)의 circle 영상의 폭은 $d=3$ 이며, 그림 (d)는 $d=4$ 이다.

그림 6은 그림 5와 동일한 테스트 영상에 AWGN (additive white gaussian noise)이 중첩된 영상에 대한 라인-에지 검출 결과를 나타내고 있다

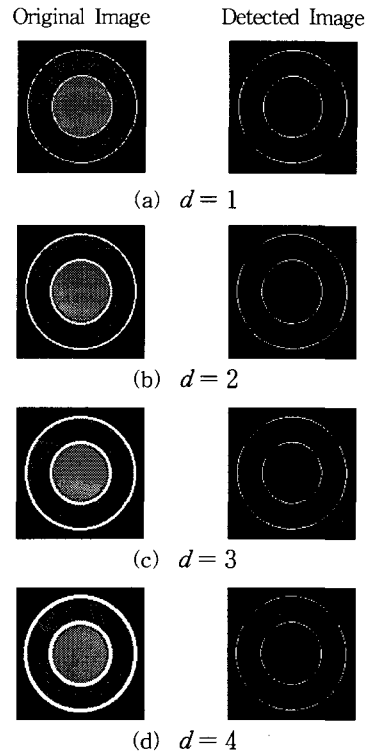


그림 5. 라인-에지 검출 결과

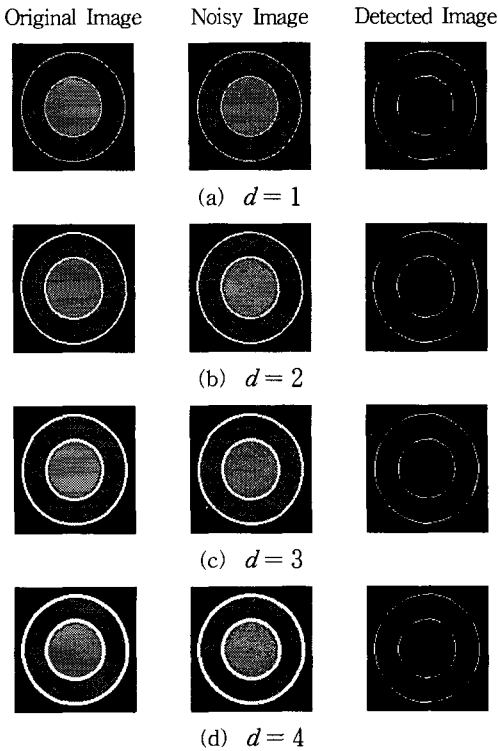


그림 6. 노이즈 영상에서 라인-에지 검출

그림으로부터 좌측 열의 영상들은 각각의 테스트 영상이며, 중앙 열은 원 영상에 AWGN이 중첩된 영상이고, 우측 열은 검출된 라인-에지 영상을 나타내고 있다.

그림 7에서는 girl 영상에 대한 라인-에지 검출 결과를 기존의 방법들과 비교하였다. 그림 (a)는 그레이 레벨의 텍스트가 중첩된 원 영상이 AWGN에 훼손된 영상이며, 이때 노이즈의 표준편차는 20이다. 그리고, 그림 (b)는 소벨 method에 의한 에지 검출 결과이며, 그림 (c)는 프리윗 method, 그림 (d)는 로버트 method에 의한 검출 결과이다. 또한 그림 (e)는 LoG(Laplacian of Gaussian) method에 의한 검출 결과이며, 그림 (f)는 본 논문에서 제안된 새로운 2-D 웨이블릿 함수에 의한 라인-에지 검출 결과이다. 시뮬레이션 결과, 본 논문에서 사용한 2-D 웨이블릿 함수는 그림 5와 그림 6으로부터 곡선의 폭 d 와는 무관하게 동일한 위치에서 라인-에지의 중심을 검출하였다. 또한 그림 7의 결과로부터 기존의 방법들은 다양한 종류의 에지와 노이즈를 포함하고 있으며, 제안한 방법은 영상에서 텍스트에 해당하는 라인-에지

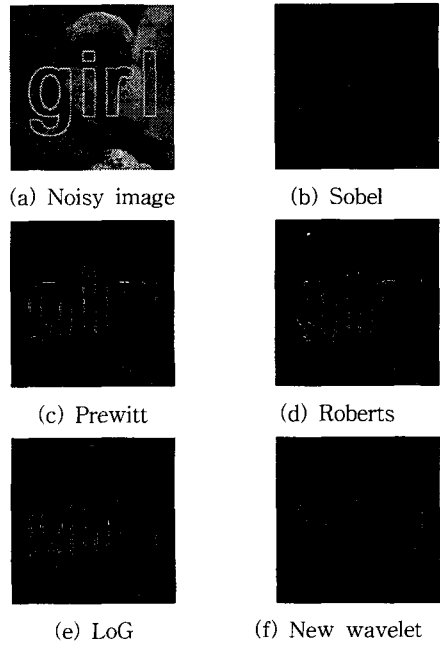


그림 7. 검출 결과 비교

성분만을 검출하고, 그 외의 성분들은 대부분 제거하였다. 이러한 결과는 두 개의 2-D 웨이블릿 변환에 의한 기울기 방향을 따라 국부 최대값을 갖는 모듈러스가 동일한 간격 상에서 대칭적으로 존재할 경우, 쌍을 이루는 국부 최대값에 대한 중심으로부터 검출되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상 내의 라인-에지 성분을 검출하기 위해, 라인 폭에 의존하지 않는 새로운 2-D 웨이블릿 함수를 설계하였다. 그리고, 검출과정에서 웨이블릿 변환 모듈러스와 방향각 정보를 사용하였다.

라인-에지 검출 성능을 확인하기 위해, 테스트 영상으로서 다양한 그레이 레벨의 평면상에 존재하는 circle 영상과 텍스트가 중첩된 girl 영상을 사용하였으며, 원 영상에 대한 검출과 AWGN이 중첩된 영상에 대한 검출 성능을 시뮬레이션하였다.

시뮬레이션 결과, 본 논문에서 설계된 2-D 웨이블릿 함수는 원 영상과 노이즈가 존재하는 영상에서 라인-에지 검출 성능이 기존의 방법들보다 우수하였다. 따라서, 제안된 방법은 영상에서 특징검출 및 패턴인식과 같은 여러 응용분야에 적용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] R. Nevatia, "Evaluation of simplified Hueckel edge-line detector", *Comput., Graph., Image Process.*, vol. 6, no. 6, pp. 582-588, 1977.

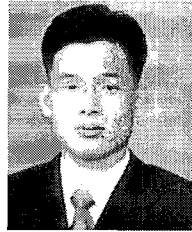
[2] T. Aydin, Y. Yemez, E. Anarim, B. Sankur, "Multidirectional and multiscale edge detection via M-band wavelet transform", *IEEE Trans. Image Process.* vol. 5, pp. 1370-1377, Sep. 1996.

[3] Y. Wang, Y. L. Cai, "Construction and properties of B-spline wavelet filters for multi-scale edge detection", in *International Conference on Image Processing*, vol. B, pp. 2145-2148, Oct. 1995.

[4] J. C. Chien, C. C. Li, "Wavelet-based Line Detection in Gray-scale Images", *IEEE Conference on*, vol. 4, pp. 3670-3673, Oct. 1997.

[5] S. Mallat, S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* vol. 14, pp. 710-732, July 1992.

[6] 배상범, 김남호, "웨이브렛 변환쌍과 적응-길이 메디안 필터를 이용한 임펄스 노이즈 제거에 관한 연구", *한국해양정보통신학회논문지*, 제7권 제7호, pp. 1575-1581, 2003.



배 상 범

1999년 8월 부경대학교 제어계측공학과(공학사)
 2002년 2월 부경대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)
 2002년 3월~현재 부경대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정

관심분야 : 통신 및 신호처리



김 남 호

1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수
 1999년 3월~현재 한국해양정보통신학회 편집위원

관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리