

論文91-28B-12-6

다해상도 에지 검출기법

(Multiresolution Edge Detection Technique)

朴 德 濬*, 朴 來 弘**

(Deok Joon Park and Rae-Hong Park)

要 約

본 논문에서는 국부 분산의 모드를 해상도 결정의 기준으로 사용하여 에지 창틀의 크기와 스케일을 자동적으로 선택하는 다해상도 에지 검출방법을 제시한다. $(2p+1) \times (2p+1)$ 의 창틀에서 계산된 국부 분산 분포의 모드는 주어진 화소의 해상도 결정에 사용되며 주어진 화소의 해상도에 따라 다른 스케일의 에지 검출기를 적용한다. 제안한 다해상도 에지 검출기법은 해상도 결정기법을 기존의 Canny와 LoG 에지 연산자와 결합함으로써 이루어진다. 시뮬레이션 결과로 부터 제안한 기법이 효과적임을 볼 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a multiresolution edge detection method which selects the edge detection window size and scale automatically by using the local variance information as an edgeness measure of a region. The mode of the local variance distribution which is calculated over the $(2p + 1) \times (2p + 1)$ windows is used to determine the resolution of the given pixel and the edge operator with different scale can be applied to the pixel depending on its resolution. The combination of the resolution determination scheme with the conventional Canny and LoG edge detectors gives the proposed multiresolution edge detection schemes. The effectness of the proposed schemes is shown via computer simulation.

I. 서 론

복잡한 영상을 해석함에 있어서 영상 자체의 그레이 레벨(gray level) 값보다는 명암이 불연속적인 지점을 추적함으로써 필요한 정보를 간단히 하는 것이 유용한 경우가 많다. 명암의 불연속 지점은 물체 표면의 반사(reflectance), 조도(illumination) 또는 관측 지점으로 부터의 거리(distance), 방향(orientation) 등

에 따라 생기는 에지(edge)성분으로 영상의 중요한 골격을 지니고 있다. 따라서 초기 시각 인식 시스템에서 에지 성분의 추출은 중요한 부분을 차지하고 있으며 많은 연구가 진행되어 왔다.

에지 검출시 적합한 창틀 크기의 선정은 중요하면서 어려운 문제중의 하나이다. 일반적으로 작은 창틀(fine resolution)에서는 잡음에 민감하며, 불필요한 세세한 성분의 검출을 낳게 한다. 반면에 큰 창틀(coarse resolution)에서는 잡음에 덜 민감하나 세밀한 부분의 검출에 어려움을 낳는다. 영상에서 의미 있는 명암의 변화(intensity change)는 여러 해상도(resolution)에 걸쳐 일어나므로 각 해상도 지역에

*準會員, **正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)

接受日字: 1991年 9月 4日

맞는 최적의 창틀크기는 한 영상에 있어서 여러 경우가 있게 된다.^{1,2} 따라서 다해상도 (multiresolution)에 의한 에지 검출방법이 여러 방면에서 시도되어 왔다.²⁻⁵

다해상도 에지 검출시 창틀의 크기를 변화시키는 방법을 보면 크게 두분야로 나눈다. 한 분야는 몇개의 서로 다른 창틀에서 구한 각각의 에지 성분을 비교하고 이로부터 에지를 찾는 것이다.^{2,3} 이 중 Korn의 접근방법³은 에지 창틀을 정규화 (normalize)하고 여러 스케일로 필터링된 데이터로부터 에지 방향에 따라서 작은 스케일로부터 큰 스케일의 각 성분을 비교하여 에지를 구한다. 이 방식은 많은 메모리와 계산시간을 필요로 하고 스케일간격 ($\Delta\sigma$)의 선택에서 문제가 된다. 다른 한 분야는 영상의 각 부분을 서로 다른 창틀로써 몽롱화 시키는 것이다.^{4,5} Bergholm의 에지 focusing 방법⁵은 우선 큰 해상도 (σ_c)에서 에지점 $E(i, j, \sigma_c)$ 을 찾고 다음 단계로 $E(i, j, \sigma_c)$ 지점과 그 주변화소에 대해서만 에지 연산자를 적용하여 $E(i, j, \sigma_c - \Delta\sigma)$ 를 찾는다. 위의 과정을 최종 단계인 σ_f 까지 적용하여 최종 에지 성분 $E(i, j, \sigma_f)$ 을 얻는다. 이 방법은 coarse-to-fine의 형식으로 스케일하여 윤곽이 뚜렷한 에지 성분 주위를 focusing 하는 것으로 잡음에 강하며 에지 위치 (locality)에 좋은 성능을 보여주고 있다.

이에 본 논문에서는 새로운 다해상도 에지 검출방법으로 국부 분산 (local variance)의 분포에 대한 모드(mode)를 해상도 결정 기준(edgeness measure)으로 도입한다.⁶ 이 기법은 영상을 여러 해상도 (multiresolution)를 갖는 $(2p+1) \times (2p+1)$, $p=1, 2, \dots, p_{\max}$,의 창틀에서 중심화소에 대한 국부 분산을 구하고 이 분산값이 이루는 분포의 모드값을 기준으로 영상을 반복적으로 각 해상도에 맞게 나눈다. 에지 검출시 각 해상도 지역에 따라서 서로 다른 창틀의 크기를 갖게 함으로써 스케일의 크고 작음에서 오는 상충관계를 개선하는데 효과적인 방법임을 보였다. 여기서 스케일은 가우시안 함수의 표준편차 (σ)를 의미한다

본 논문의 구성을 살펴보면 먼저 II 장에서는 제안한 에지 검출을 위한 해상도 결정기법을 설명하며, III 장에서는 제안한 해상도 결정기법을 Canny의 방법과 LoG 방법에 적용하여 여러 해상도 에지 검출기의 구현 방법의 예를 보였으며, IV 장에서는 제안한 에지 검출방법을 합성 영상과 실제 영상에 대해서 고정된 스케일의 경우와 Bergholm의 에지 focusing 방법⁵과 비교하였다. 그리고 V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안한 해상도 결정 기법

영상의 각 영역에 맞는 해상도 결정을 위해 $(2p+1) \times (2p+1)$, $p=1, \dots, p_{\max}$,의 다해상도 창틀을 사용하며, 각 창틀의 중심화소에 대한 주변화소의 명암변화 정도의 판단은 각 해상도의 창틀에서 구한 국부 분산값에 의한다. 해상도 선택에 있어서 우리의 목적은 저해상도 (p_{\max})에서 부터 시작하여 각 해상도 창틀의 중심화소와 유사한 주변 화소들을 선택하는데 있다. 즉 주어진 해상도 창틀에서 밝기의 변화가 상대적으로 균일하다고 판단되는 지역을 그 해상도 선택 지역으로 추정하는 것이다. 여기서 국부 분산의 창크기를 큰데서부터 작은 순서로 취했는데 작은 창틀에서는 잡음에 민감한 반면에 큰 창에서는 평활화 (smoothing)하는 성질이 있어 이 방법은 coarse-to-fine 기법의 범주에 속한다.

우선 최저 해상도 ($p=p_{\max}$)의 창틀로 부터 시작하여 각 창틀의 중심화소마다 국부 분산값을 계산한다. 잡음이 섞인 입력 영상 $g(i, j)$ 에 대한 국부 평균과 분산은 다음과 같다.

$$m_g(i, j) = \frac{1}{(2p+1)^2} \sum_{k=i-p}^{i+p} \sum_{l=j-p}^{j+p} g(k, l) \quad (1)$$

$$s^2_g(i, j) = \frac{1}{(2p+1)^2} \sum_{k=i-p}^{i+p} \sum_{l=j-p}^{j+p} [g(k, l) - m_g(i, j)]^2 \quad (2)$$

이때 식 (2)로부터 각 창틀의 중심화소마다 구한 국부 분산은 unimodal한 분포를 이룰 것으로 예상된다. 이 국부 분산의 분포에서 최대 피크 (maximum peak) 지점을 해상도 p 에서 모드 I^2_p 로 추정하여 국부 분산이 이 모드값보다 작은 지역을 그 해상도에서 균일한 지역으로 추정한다. 그림 1은 Lena 영상에 대해서 $p=1$ 에서 구한 국부 분산의 분포와 그때의 모드값 (I^2_1)을 나타내고 있다.

저해상도로부터 균일한 지역을 분리하므로 3×3 창틀이 될 때까지 위의 과정을 반복하면 $p=1$ 의 모드값보다 큰 지역이 남게 된다. 효율적인 p_{\max} 의 결정은 입력 영상에 따라 달라지게 되나 $(2p_{\max}+1) \times (2p_{\max}+1)$ 로 평활화시 몽롱화가 너무 심하게 일어나지 않는 정도에서 결정해야 하며 여러 영상의 실험 결과 대체로 $p_{\max}=3$ 혹은 4 경우가 적당함을 알았다. 이러한 처리 과정을 마치면 영상은 각 해상도에 맞게 분리되며 각 해상도에 맞는 창크기의 에지 검출기를 각 지역에 적용한다. 에지 검출을 위한 구체적인 해상도 결정방법은 다음과 같다.

먼저 전처리 과정으로 에지 후보점을 선정한다. 에지 후보점은 명암의 변화가 조금이라도 있는 지역을

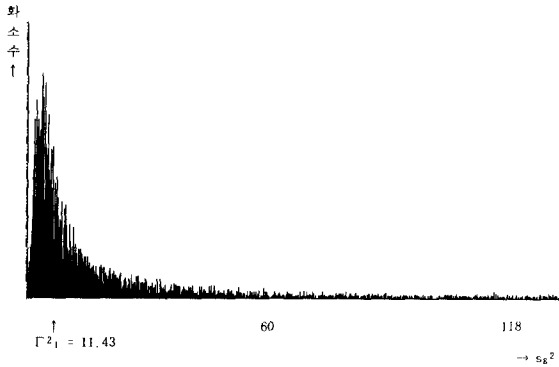


그림 1. 국부분산의 분포 (3×3 창틀, Lena 영상)
 Fig. 1. Local variance distribution (3×3 window, Lena image).

찾기 위한 것이므로 명암 변화에 민감한 3×3 국부 분산의 창틀에서 행한다. 각 중심화소마다 국부 분산을 구하고 이 국부 분산의 모드 Γ^2 보다 큰 지역을 에지 후보점으로 선정하여 $c_e(i, j) = 1$ 로 초기화한다. 그리고 그 외의 지역은 입력 영상에서 밝기 변화가 거의 없는 균일한 지역 (에지 후보점이 없는 지역)에 속하므로 $c_o(i, j) = 1$ 로 지정하여 에지 검출 과정에서 제외시킨다. 다음은 에지 후보점으로 지정된 $c_e(i, j) = 1$ 지역에 대해서만 $p = p_{max}$ 에서부터 3×3 창틀이 될 때까지 다음의 과정을 수행한다(coarse-to-fine).

```

for (p = p_max; p >= 1; p--)
    initialize c_p(i, j);
    while (one frame)
        if (c_e(i, j) == 1) calculate s_g^2(i, j);
        calculate mode(Γ_p^2 for pixels with c_e(i, j) = 1);
        while (one frame)
            if (Γ_p^2 > s_g^2(i, j) and c_e(i, j) == 1)
                c_p(i, j) = 1;
                c_e(i, j) = 0;
            }
    }
    
```

위의 과정중 $c_p(i, j) = 1$ 은 해상도 p에서 국부 분산이 모드 Γ_p^2 보다 작은 지역을 그 해상도에서 균일한 지역으로 지정한 것이며, $c_e(i, j) = 0$ 는 그 다음 해상도 선택 과정에서 이 화소들을 제외시키는 과정이다. 입력 영상은 해상도 선택 파라미터 p_{max} 에 따라 $p_{max} + 2$ 개의 지역 즉, $c_e(i, j) = 1$, $c_{p_{max}}(i, j) = 1, \dots, c_1(i, j) = 1$, $c_o(i, j) = 1$ 의 지역으로 나누어지게 된다. $p_{max} =$

3일 때 위의 과정을 Lena 영상에 적용하여 각 해상도 선택 지점을 보인 예가 그림2에 있다. 그림2(f)의 하얀 지점이 전처리 과정에서 에지 후보점으로 선택된 곳, 즉 ($c_e(i, j) = 1$ 로 초기화된 지역)이며 (e), (d), (c)의 검은 점이 각각 $p = 3, 2, 1$ 의 해상도에서 선택된 지점이다. 그림 2(b)의 검은 곳은 3×3 창틀까지 수행한 후에 남은 $c_e(i, j) = 1$ 지역으로 밝기의 변화가 제일 심한 지역을 나타낸다. 이와 같이 결정된 각 해상도 지역은 해상도에 따라 다른 크기의 창틀을 가진 에지 연산자를 적용하게 된다.

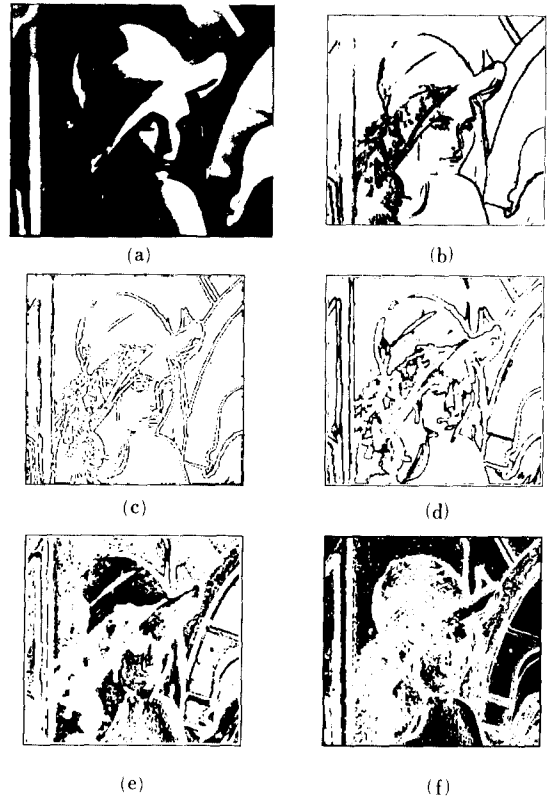


그림 2. 국부 분산에 의해 나누어진 영상 ($p_{max} = 3$)
 (a) Lena 원영상 (b) $c_e(i, j) = 1$ 지역
 (c) $c_1(i, j) = 1$ 지역 (d) $c_2(i, j) = 1$ 지역
 (e) $c_3(i, j) = 1$ 지역 (f) $c_o(i, j) = 1$ 지역

Fig. 2. Divided regions by local variance ($p_{max} = 3$).
 (a) original Lena image,
 (b) region with $c_e(i, j) = 1$,
 (c) region with $c_1(i, j) = 1$,
 (d) region with $c_2(i, j) = 1$,
 (e) region with $c_3(i, j) = 1$,
 (f) region with $c_o(i, j) = 1$.

III. 다해상도 예지 검출기

위에서 제안한 다해상도 예지 검출기법의 성능을 시험하기 위해서 여러 예지 검출기중 Canny의 방법과 LoG 방법에 적용하여 실험을 행하였다.

1. 다해상도 Canny 방법

$c_e(i, j) = 1$ 지역과 $c_p(i, j) = 1, p = 1, 2, \dots, p_{max}$, 지역에 각 해상도에 대응되는 스케일로 예지 검출기를 적용한다. 밝기의 변화가 심한 $c_e(i, j) = 1$ 지역은 작은 스케일 (σ_0)로, $c_p(i, j) = 1, p = 1, 2, \dots, p_{max}$, 지역은 해상도 p 가 증가함에 따라 스케일이 커지게 ($\sigma_p = \sigma_0 + \Delta\sigma \times p$) 지정한다. 이때 초기 스케일값 (σ_0)과 스케일의 증가분 ($\Delta\sigma$)의 선택이 문제가 된다. 보통 초기 스케일 값은 $\sigma_0 = 1.0$ 내외에서 지정하며, 스케일의 증가분은 일반적으로 $\Delta\sigma = 1.0$ 일때 예지점이 2화소 이상 벗어나지 않으므로 0.35내지 0.5의 간격으로 증가시킨다¹⁵. 스케일의 증가분이 너무 크면 각 해상도에서의 모롱화가 심하게 되어 영상의 골격을 잃어버리며, 반대로 증가분이 너무 적으면 각 해상도 지역간의 공간적 특성을 추출하기가 어려워진다. 따라서 $\Delta\sigma$ 는 위의 상충관계를 고려하여 적당한 값을 정해야 하며 위의 $\Delta\sigma = 0.35 \sim 0.5$ 는 실험적으로나 Bergholm¹⁶이 언급한 것을 고려할 때 적당한 증가분으로 여겨진다. 이렇게 각 해상도에 지정된 스케일값에 의거해서 입력 영상을 각 스케일의 창틀과 convolution한다(단, $c_0(i, j) = 1$ 지역은 제외).

$$D_i(i, j) = G_i(i, j) * g(i, j) \tag{3}$$

$$D_j(i, j) = G_j(i, j) * g(i, j) \tag{4}$$

여기서

$$G(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}\right\} \tag{5}$$

이며 index i, j 는 그 방향으로의 미분을 의미한다. 그리고 $g(i, j)$ 는 입력 영상을 나타내고 $*$ 는 convolution을 의미한다. 두 마스크와 convolution된 결과로부터 크기 $[M(i, j)]$ 와 방향 $[\alpha(i, j)]$ 정보를 얻는다.

$$M(i, j) = [D_i^2(i, j) + D_j^2(i, j)]^{1/2} \tag{6}$$

$$\alpha(i, j) = \tan^{-1}[D_j(i, j)/D_i(i, j)] \tag{7}$$

위의 크기와 방향 정보를 가지고 thresholding 과정과 세선화 과정을 거쳐 최종 결과를 얻는다. Thresholding은 두개의 threshold값, th_h (high value), th_l (low value)을 두어 $M(i, j) > th_h$ 인 지역은 threshold map(M_{th})에 바로 지정하고 $th_h > M(i, j) > th_l$ 지역은 M_{th} 와의 연결성을 고려하여 M_{th} 로 취한다¹⁷ 세선화

과정¹⁷에서는 M_{th} 로부터 국부 최대값(local maximum)을 취하고 크기 $(M(i, j))$ 가 같은 지역에서 국부 최대값이 없어서 끊기는 지역은 연결성을 고려하여 이어 주었다.

2. 다해상도 LoG 방법

위의 Canny의 방법과 동일한 방법으로 스케일된 여러 해상도의 창틀로 입력 영상을 convolution한다.(단, $c_0(i, j) = 1$ 지역은 제외)

$$D(i, j) = \nabla^2 G(i, j) * g(i, j) \tag{8}$$

여기서

$$\nabla^2 G(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^4} \left\{ 2 - \frac{i^2+j^2}{\sigma^2} \right\} \exp\left\{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}\right\} \tag{9}$$

이다. $D(i, j)$ 에서 한가지 부호의 예지값을 갖는 화소들 중에서 자신을 중심으로 수직이나 수평방향으로 4개의 주위 화소중 하나라도 자신과 다를 부호를 갖는 화소만을 영 교차점(zero crossing point)으로 판단하여 예지를 얻는다.

IV. 실험 결과 및 검토

본 장의 실험은 크게 두부분으로 나누어진다. 첫 부분은 Abdou등이 제안한 figure of merit¹⁸를 도입하여 합성 영상(syntactic image)에 대해서 성능 비교를 한 부분이며, 다른 한 부분은 실제 영상(real image)에 대한 실험 결과를 비교 검토한 부분이다. 실험에 사용된 영상은 256×256 어레이(array), 256 그레이 레벨을 갖는 영상이며, IBM-PC 386 DX 상에서 수행하였다.

1. Figure of merit 비교¹⁸

예지 검출의 성능을 비교함에 있어서 올바른 예지의 검출과 잘못된 예지의 검출에 대한 해석적인 또는 실험적인 분석은 예지 검출기의 성능 비교에 있어서 매우 유용하다. 본 실험에서는 Abdou등이 제안한 mean-square distance of merit를 예지 검출의 성능비교에 사용한다. Figure of merit의 정의는 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{\max\{I_h, I_\lambda\}} \sum_{i=1}^{I_h} \frac{1}{1 + \alpha d^2(i)} \tag{10}$$

여기서 I_h, I_λ 는 각각 이상적인 예지와 실제 예지의 갯수이며, $d(i)$ 는 i 번째 검출된 예지와 이상적인 예지 화소 사이의 거리이다. 그리고 α 는 스케일 상수로써 본 실험에서는 $\alpha = 1$ 을 사용하였다.

합성 영상은 이상적인 예지 성분을 이루게 하였으

며, 에지의 명암차는 1사분면이 50, 2사분면이 40, 3사분면이 20, 4사분면이 30의 차이를 갖도록 하였다. 잡음이 없는 경우에는 고려할 에지 검출기법 모두 에지를 잘 검출하였기 때문에 가산형 잡음을 섞어 에지 검출기의 성능 평가를 시도하였다. 따라서 여기서는 Abdou등이 정의한 signal-to-noise 대신에 가산형 가우시안 잡음의 표준편차 (σ_n)에 대한 성능 실험이 된다. 그림 3(a)에 실험에 사용한 잡음 합성영상 ($\sigma_n=10$)을 보였으며 3(b), (c) 및 (d)에 에지 검출 결과를 보였다. 그림 4에 가산형 가우시안 표준편차에 대한 figure of merit의 실험결과가 있다. 여기서 실험의 대상이 되는 에지검출 방법은 3가지로서 * 표시부분이 고정된 스케일 ($\sigma=1$)인 경우의 Canny의 방법이며, ○표시는 Bergholm의 에지 focusing 방법 ($\sigma_c=2.4, \sigma_r=1.0, \Delta\sigma=0.35$)에 대한 것이고, ■표시가 에지 focusing 기법에서와 같이 4단계의 스케

일로 다해상도의 기법 ($p_{max}=4, \sigma_c=1.0, \Delta\sigma=0.35$)을 적용한 Canny의 방법이다. 그래프를 살펴보면 잡음의 정도가 작은 경우에 대해서는 3가지 방법의 성능이 유사한 반면 잡음의 정도가 커질수록 스케일이 고정된 방법보다는 제안한 다해상도 방법이 보다 낮고, 제안한 다해상도 방법보다는 에지 focusing 방법이 보다 좋은 수치를 보이고 있다. 이것은 식(10)의 figure of merit가 에지 검출 (detection)보다는 에지 위치 (locality)에 대한 성능 평가를 주로 하고 있기 때문에 뚜렷한 (significant) 에지 성분에서 촛점을 맞추는 에지 focusing 방법이 좋은 수치를 보이고 있다고 보여진다. 반면에 시각적인 검출의 성능을 고려할 때 그림 3의 결과를 살펴보면 에지 focusing 방법의 경우 에지의 명암차가 낮은 3사분면에서는 제안한 다해상도 방법보다 많은 부분에서 에지의 모양을 잃고 있으며, 에지가 한곳에 집중되는 현상을 보이고 있다. 이 현상은 잡음의 정도가 커질때에도 유사한 경우의 결과를 낳는다. 이상의 결과를 살펴볼 때 여러 스케일을 사용한 두 방법이 고정된 스케일의 경우 보다는 우수함을 볼 수 있으며 에지 focusing 방법은 에지 위치면에서 그리고 제안한 다해상도 기법은 검출면에서 좋은 결과를 얻고 있다. 이들 수치는 에지 검출 갯수에 따라 다르게 나타나므로 잡음이 없는 경우의 에지갯수 (4034개)와 유사하게 ($\pm 5\%$ 이내) 검출한 결과이다.

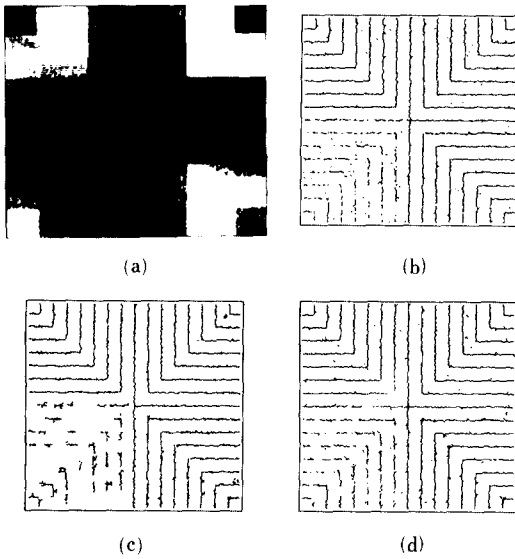


그림 3. 합성 영상(가우시안 잡음, $\sigma_n=10$)에서의 에지 검출 결과
 (a) 잡음영상 ($\sigma_n=10$)
 (b) 고정된 스케일의 경우(Canny 방법, $\sigma=1.0$)
 (c) 에지 focusing 방법
 (d) 제안한 다해상도 기법을 적용한 경우 ($p_{max}=4$)

Fig. 3. Edge detection for a syntactic image (gaussian noise, $\sigma_n=10$).
 (a) syntactic image ($\sigma_n=10$),
 (b) fixed scale (Canny method, $\sigma=1.0$),
 (c) edge focusing method,
 (d) proposed multiresolution method ($p_{max}=4$).

2. 기존 방법과의 비교
 본 실험에서는 다해상도 기법을 적용한 Canny 방법과 LoG 방법에 대해서 고정된 스케일과 비교하였으며, 기존의 다해상도 기법으로는 에지 focusing 방

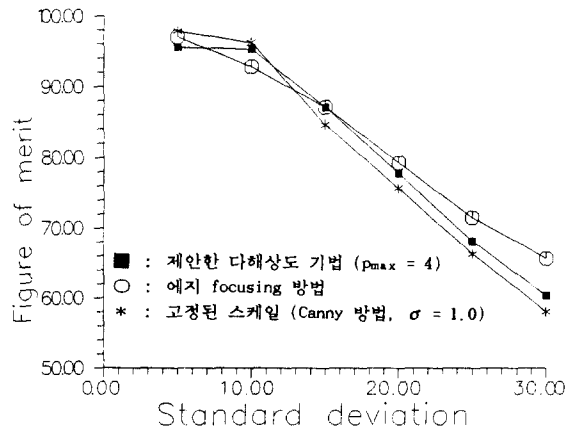


그림 4. 성능비교
 Fig. 4. Performance comparison.

법과 비교하였다. 먼저 그림 5는 Canny 방법에 대한 비교로서 몇개의 고정된 스케일 ($\sigma=0.5, 1.0, 1.5$)의 경우와 네가지의 스케일을 사용한 다해상도 기법($p_{\max}=3, \sigma_0=0.5, \Delta\sigma=0.5$)을 적용한 결과에 대한 비교이다. 작은 스케일에 대해서는 세밀하고 정확한 위치에서 에지 검출을 하지만 불필요한 성분의 검출이 많으며, 큰 스케일인 경우는 불필요한 성분의 검출은 억제하면서 뚜렷한 윤곽선을 찾는 반면 에지의 위치와 세밀한 검출에는 손실이 큼을 볼 수 있다. 그림 5(a)는 오른쪽 아래부분 및 왼쪽 윗부분등 밝기차가 완만하게 변하는 곳에서의 에지를 찾지 못하고, 5(c)의 경우는 머리카락 부분등에서 세밀한 검출을 못하고 있다. 그림 5(b)의 $\sigma=1.0$ 인 경우가 (a), (c)보다는 대체로 스케일이 잘 선택되었음을 볼 수 있지만 그림 5(d)의 다해상도 기법은 여러 해상도의 장점을 고루 가지고 있어 여러 스케일에 걸친 변화 성분을 잘 찾고 있음을 볼 수 있다. 그림 5의 결과는 threshold의 값이 변함에 따라 다르게 나타나므로 여러



그림 5. Canny 방법에 대한 비교

- (a) 고정된 스케일의 경우 ($\sigma=0.5$)
- (b) 고정된 스케일의 경우 ($\sigma=1.0$)
- (c) 고정된 스케일의 경우 ($\sigma=1.5$)
- (d) 제안된 다해상도 기법의 경우 ($p_{\max}=3$)

Fig. 5. Canny edge detector.

- (a) fixed scale ($\sigma=0.5$),
- (b) fixed scale ($\sigma=1.0$),
- (c) fixed scale ($\sigma=1.5$),
- (d) proposed multiresolution method ($p_{\max}=3$).

시행착오(trial and error) 중에서 각각 최적의 결과를 얻는 것이다.

그림 6은 LoG 연산자에 대한 비교 부분이다. Girl 영상에 대해서 고정된 스케일 ($\sigma=1.5$)의 경우와 다해상도 기법 ($p_{\max}=3, \sigma_0=1.0, \Delta\sigma=0.35$)을 적용한 결과를 비교하였다. 고정된 스케일의 경우 밝기의 변화가 작은 지역에서 잘못 검출된 에지(false edge)가 많이 검출된 반면에 다해상도 기법을 적용한 경우는 잘못 검출된 에지가 많이 사라졌으며, 뚜렷한 윤곽의 에지 검출이 보다 잘 되었음을 볼 수 있다. 그림 6(a)의 고정된 스케일의 결과는 균일한 지역에서 잘못 검출된 에지가 다른 스케일 결과보다 상대적으로 적고 윤곽선 검출이 보다 좋은 스케일의 경우를 선택한 것이다. 이상의 결과는 새로이 제안한 다해상도 기법이 주변화소의 국부적인 성질에 따라 각 해상도에 적합한 파라메타 및 convolution 영역을 잘 선정했음을 보여주고 있다.

다음은 그림 7의 잡음 영상에 대한 에지 focusing 방법과의 비교 부분이다. 서로의 비교를 위해서 에지의 갯수를 비슷하게 맞추어 주었는데 그림 7(a)의 Canny의 고정된 스케일 ($\sigma=1.0$)의 경우는 6225개, 7(c)의 에지 focusing 방법 ($\sigma_c=2.05, \sigma_f=1.0, \Delta\sigma=0.35$)은 6191개, 그리고 7(d)의 제안한 다해상도 ($p_{\max}=3, \sigma_0=1.0, \Delta\sigma=0.35$) Canny 방법은 6202개이다. 입력 영상은 가우시안 잡음의 표준편차가 10이 섞인 실제 영상이다. 그림 7(a)의 고정된 스케일인 경우는 균일한 지역에서 잡음에 의한 잘못된 에지검출이 많음을 볼 수 있다. 반면 에지 focusing 방



(a)

(b)

그림 6. LoG 방법에 대한 비교

- (a) 고정된 스케일의 경우 ($\sigma=1.5$)
- (b) 제안한 다해상도 기법에 의한 경우 ($p_{\max}=3$)

Fig. 6. LoG edge detector.

- (a) fixed scale ($\sigma=1.5$),
- (b) proposed multiresolution method ($p_{\max}=3$).

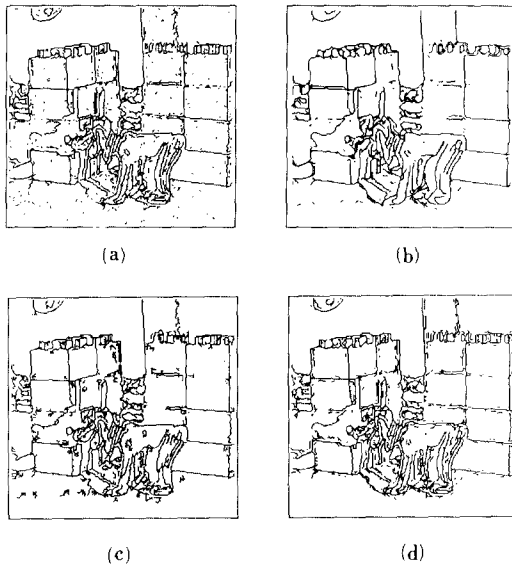


그림 7. 잡음 영상에 대한 비교(가우시안 잡음, $\sigma_n=10$)
 (a) 고정된 스케일의 경우(Canny 방법, $\sigma=1.0$)
 (b) 에지 focusing 방법의 coarse level 결과 ($\sigma=2.05$)
 (c) 에지 focusing 방법
 (d) 제안한 다해상도 기법을 적용한 경우 (Canny 방법, $p_{max}=3$)

Fig. 7. Performance comparison for the noisy image (gaussian noise, $\sigma_n=10$).
 (a) fixed scale (Canny method, $\sigma=1.0$),
 (b) coarse level result of the edge focusing method ($\sigma=2.05$),
 (c) edge focusing method,
 (d) proposed multiresolution method (Canny method, $p_{max}=3$).

법과 다해상도 기법은 잡음에 강한 면모를 보여주나 에지 focusing 방법은 coarse level (그림 7(b))에서 찾지 못한 부분은 fine level에서도 찾지 못함을 볼 수 있고 focusing되면서 에지 성분에서 구름처럼 뭉치는 현상이 나타나고 있다(그림 7(c) 참조). 제안한 다해상도 에지 검출기법을 사용한 경우는 균일한 지역의 잡음에 덜 민감하면서도 검출(detection)에 좋은 결과를 보여주고 있다. 계산 시간면에서는 에지 focusing 방법

과 다해상도 기법 모두 에지 검출성능의 개선에 대한 댓가로서 검출에 소요되는 시간이 고정된 스케일의 경우보다 큰 것이 사실이다(약 2배 정도).

V. 결 론

본 연구에서는 해상도 결정의 기준으로 국부 분산의 모드를 이용하였으며, 이 모드를 이용하여 영상에 존재하는 각 지역의 해상도를 결정하였다. 각 해상도 지역은 에지 검출시 다른 창크기의 연산자를 적용하여 고정된 창크기의 검출에서 오는 문제점을 개선하였고, 잡음에도 덜 민감한 결과를 보여주었다. 그러나 여러 해상도의 창틀에서 계산되는 분산값과 모드를 결정하는데 걸리는 계산시간이 단점으로 지적된다. 앞으로 더 연구될 과제로 thresholding 자동화에 대한 연구가 진행되어서 파라메타에 의존적이지 않는 자동 에지 검출기가 요구된다.

參 考 文 獻

- [1] J.S. Lim, *Two-dimensional Signal and Image Processing*. Prentice-Hall, pp. 476-494, 1990.
- [2] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection," *Proc. Royal Soc. London*, vol. 207, pp. 187-217, 1980.
- [3] A.F. Korn, "Toward a symbolic representation of intensity changes in images," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-10, pp. 610-625, Sep. 1988.
- [4] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-8, pp. 679-698 Nov. 1986.
- [5] F. Bergholm, "Edge Focusing," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-9, pp. 726-741, Nov. 1987.
- [6] 박 덕준, 박 래홍, "다해상도 에지검출," 1991년도 하계학술대회 논문집, 대한전자공학회, 제14권 제 1호, pp. 462-465, 1991년 6월.
- [7] R. Nevatia and K.R. Babu, "Linear feature extraction and description," *Comput. Graphics Image Process.*, vol. 13, pp. 257-269, 1980.

著 者 紹 介



朴 德 瀟 (準會員)

1967年 5月 21日生. 1991年 2月
서강대학교 전자공학과 졸업. 현
재 서강대학교 전자공학과 석사
과정 재학중. 주관심분야는 컴퓨
터비전, 패턴인식, 신경망 등임.

朴 來 弘 (正會員) 第 23卷 第 6號 參照

현재 서강대학교 전자공학과
부교수