

## 2D 영상에서의 예지 검출 기법들의 비교 연구

양우석 조남국  
홍익대학교 전기공학과

## Comparison of Various Edge Detection Techniques Using 2D Intensity Image

Yang, Woo Suk      Cho, Nam Gook  
Dept. of Electrical Eng., Hong-Ik Univ.

## ABSTRACT

Edges are one of the most important features used in various computer vision applications. Most of the known edge detection techniques are categorized into three groups: First two approaches are to find gray level changes using first-order or second-order differentiation. The third method uses intrinsic properties of edges such as the result shown during scale space filtering.

In this paper, we study various kind of edge detection techniques. Two images (Lenna image and a certain image which is composed of step, ramp, roof, and other artificial edge patterns) are used to compare different edge detection techniques and to verify the advantages and disadvantage of each techniques.

1. 서론

최근 영상 처리에 대한 인구가 계속되면서 영상은 자동화 분야, 의료 분야, 통신 분야등에서 매우 중요한 정보로 자리 잡게 되었다. 영상 처리에 있어서 가장 기본적이면서도 후처리에 영향을 주는 것은 에지 진출(Edge Detection)이다.

본 논문에서는 흑백 영상을 대상으로 했다. 에지는 물체 인식, 화상 전송, 화상 분할 등에 이용되는 요소적인 특성이다. 문헌을 조사하면 에지를 검출하는 방법에는 크게 3가지로 나뉘는데 1차 미분을 이용하여 에지점에서 영상의 금각 한 변화를 검출하는 방법, 2차 도 합수 값이 zero점을 지난다는 성질을 이용한 방법 그리고 Scale Space Filtering개념을 이용한 방법 등이 있다. 좋은 에지 검출 기법은 노이즈에 강하고 면서도 정확한 에지 위치를 찾을 수 있는 방법으로서 고속 연산이 가능해야 할 것이다.

본 논문에서는 가장 많이 일리진  $256 \times 256$ 의 Lenna영상과 step, ramp, roof 에지 등 여러 가지 형태의 다양한 에지를 들고려하여 만든 표준 Pattern 영상을 대상으로 기존의 에지 검출 기법들을 이용하여 에지를 검출한 후, 검출된 에지를 비교 분석하여 여러 가지 에지 검출 기법에 대한 장단점을 논하고자 한다. 절대적으로 우수한 에지 검출 방법은 없겠지만 에지의 종류와 영상의 종류에 따라 좋은 에지 검출기법이 분석된다면, 여러 분야에 다양하게 이용될 것이다.

## 2. 1차 미분에 의한 예지 검출 기법

영상함수를  $f$ 라 하면 1차 미분한 결과는 다음과 같다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{vmatrix} \quad (1)$$

1차 미분에 의한 에지 검출 기법은 (1)식을 기반으로 한 것으로 크게 Differential Gradient Operators, Template Matching Operators, 그리고 Frei-Chen의 에지 검출 기법 같은 수학적인 용용에 의한 방법으로 분류할 수 있다. 이를 방법은 다양한 모습의 1차 미분용 마스크를 만들고 마스크와 영상을 칸불루션한 후 임계치를 조정하여 원하는 에지를 얻는다.

## 2.1 Differential Gradient Operators

공간적인 명암도의 변화를 방향에 따른 gradient를 구하는 마스크를 만들어 적용할 것으로 많이 사용되고 있는 연산자들로는 Robert[8], Prewitt[9], Sobel[1], Isotropic[12]와 같은 연산자들이 있다.

## 2.2 Template Matching Operators

여러 가지 방향을 가진 에지들을 고려하여 방향에 따른 가중치를 적용한 연산자를 이용하는 방법으로 Kirch[6], Compass[5], Robins[10], Nevatia-Babu[2], Abdou Pyramid 연산자들이 있다.

### 2.3 기타 연산자

위에서 설명한 방법이외에도 여러 가지 수학적인 개념을 도입한 다양한 에지 검출 기법이 개발되었다. Frei-Chen[7]은 Orthogonal 함수 집합을 이용하여 에지를 검출했다. 이 방법은 영상을 에지 성분과 비(非)에지 성분으로 나누어 에지 검출에 적용시켰다.

그림1은 일반적인 방법과 Frei-Chen의 방법을 비교한 것이나 영상에서 구한 애지 성분은 애지 space와 비애지 space의 성분으로 나타나는 벡터라고 할 수 있다.  $B_1, B_2$ 를 영상의 두점에서 인어진 애지값이라 하자. 기준의 알고리즘은 임계치를 스칸과 값  $T_1$ 으로 하여  $B_2$ 의 경우 그림(a)에서 보는 바와같이 애지 Subspace에 가까이 있어도 그 값이 무시되었다. Frei-Chen은 임계치( $T_2$ )를 (b)의 경우처럼 벡터값으로 잡아서 애지 성분이 비애지 Subspace 보다 애지 Subspace에 가까이 있으면 애지로 비인식 했다.

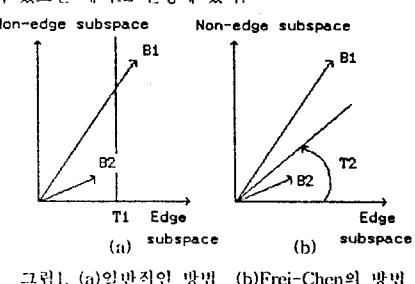


그림 1. (a) 원반적의 방법 (b) Frei-Chen의 방법

### 3. 2차 미분에 의한 에지 검출 기법

영상함수  $f$ 의 2차 미분은 다음과 같다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2)$$

2차 미분에 의한 에지 검출 기법은 에지점에서 2차 미분값이 영점을 통과하는 성질을 이용하는 방법이다. 2차 미분을 이용하여 에지를 구할 경우 Laplacian 연산자가 많이 사용된다. 그러나 2차 미분이 노이즈에 민감하여 이를 보완하기 위한 아래의 여러 가지 방법들이 소개되고 있다.

#### 3.1 Laplacian of Gaussian(LOG)

LOG 알고리즘은 노이즈에 대한 영향을 줄이고자 영상을 가우시안 합수로 평활화시킨 후, 2차 미분하여 영점 교차점(Zero-Crossing)들을 에지로 판별하는 방법이다.  $\sigma$ 에 따라 화소값의 분포를 미리 정해서 에지를 생성하기 때문에 임계치가 필요없고 일반적으로  $\sigma$ 이 0.5~0.6인 경우에 가장 좋은 에지를 검출할 수 있다. 영상 함수  $f(x,y)$ 와 가우시안 합수  $g(x,y)$ 를 Convolution시킨 후 Laplacian을 취하면,

$$h(x,y) = \nabla^2 [g(x,y)*f(x,y)] = \nabla^2 g(x,y)*f(x,y) \quad (3)$$

이 된다. 이를  $\rho^2 = x^2 + y^2$ 를 이용하면

$$h(\rho) = \nabla^2 g(\rho)*f(x,y) \quad (4)$$

$$\nabla^2 g(\rho) = \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2}$$

$$= -\frac{1}{\pi\sigma^4} (1 - \frac{\rho^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}) \quad (5)$$

가 된다. (5)식을 이용하여 마스크를 만들고 영상에 적용하여 영점들을 에지로 취한다.

#### 3.2 Haralick의 2개 방향성 면함수 모델

Haralick이 제안한 에지 검출 방법은 2차 미분값이 노이즈에 매우 민감하다는 것을 고려하여 영상 대신 영상에 가장 균등한 방향으로 이루어진 임의의 합수를 구하여 수식화한 합수를 2차 미분한 후 영점(Zero-Crossing)들을 구하는 방법으로 에지를 검출하였다.

Haralick은 화소 공간의 망원도에 적합시킬 면함수로 2번수 3차 합수를 이용하였다. 이 경우 에지의 방향을  $\alpha$ 라 하면  $\alpha$ 방향에 대한 2차 미분  $f''(x,y)$ 는

$$f''(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \sin^2 \alpha + \frac{2\partial^2 f}{\partial x \partial y} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \cos^2 \alpha$$

의된다.  $x = \rho \sin \alpha$ ,  $y = \rho \cos \alpha$ 로 정의한 때  $f''(x,y) = A\rho + B$ 로 정리된다. 여기서 A와 B는 상수이다.

에지점에서는  $f''(x,y) = 0$ 을 즉,  $A\rho + B = 0$ 을 만족해야 하므로 에지가 하나의 화소내에 존재한다면 하나의 화

소를 반경 0.5인 원으로 가정할 때  $\rho = -\frac{B}{A} < 0.5$ 임을 만족

하는 화소들을 에지라고 정의할 수 있다. 이 방법을 사용한 경우 면함수는 2차 합수이하인 경우, 두번 미분하는 과정에서 모두 소거 되므로 3차 합수 이상으로 모델링 하여야 한다.

### 4. Scale Space 개념의 에지 검출 기법

전처리 단계에서 scale을 변화하였을 경우 나타내는 결과를 이용한 방법이다. 가우시안 필터링된 합수의  $\sigma$ 에 대한 2차 미분값으로 이루어진 합수는 에지점 혹은 inflection점을 지나게 된다. 이 경우 우선 2차 미분값이 영을 갖는 점들을 구한 후 1차 미분값을 임계치로 처리를 하게 되면 에지점을 구할 수 있다. 이러한 성질은 Limit 이론을 적용하였을 때,  $G_\sigma(y + \sqrt{2}\sigma) * I(x, y + \sqrt{2}\sigma) - G_\sigma(y - \sqrt{2}\sigma) * I(x, y - \sqrt{2}\sigma) \geq T$ 를 이용하여 y방향의 에지 성분을 검출할 수 있다. 마찬가지

방법으로 x방향의 에지 성분을 검출하고 조합하여 에지를 추출한다. 이 방법은 step에지의 경우를 모멘트 하이 개발되었다.

### 5. 실험 및 결론

로비트 연산자는 마스크( $2 \times 2$ )가 작아서 1차 미분의 다른 경우( $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ )보다 노이즈가 많았다. 프레위트, 소벤, 아이소트로피는 가중치만 변화시킨 동일한 마스크로 아이소트로피가 더 좋았다. 마스크를 보고 비교해 보면 프레위트는 가중치가 1이고, 소벤은 2, 아이소트로피는  $\sqrt{2}$ 이다.

카르시, 킴스는 평탄 영상에서의 선부분이 다른 에지 검출 기법과 달리 전하게 검출되었다. 로빈슨 3레벨과 5레벨은 가중치만 틀린 것으로 로빈슨 3레벨은 1, 로빈슨 5레벨은 2를 사용하였다. 앞의 프레위트, 소벤, 아이소트로피와 같이  $\sqrt{2}$ 를 사용한다면 좋은 연산자가 나올 것 같다. 나마티아-페부는 12방향으로 가중치를 부여한 연산자로서 노이즈는 적은편이지만 마스크가 크기 때문에 에지가 두껍게 나타나는 단점이 있다. 앤도우 피라미드는 피라미드 형태의 연산자를 사용하여 중심에서 멀어질수록 가중치를 감소시켰다. 그렇다면 루프에지 검출 능력이 좋을까 생각했지만 결과는 그렇지 않았다. 한편 평탄 영상에서 루프에지를 나타내는 도형의 수평쪽은 에지가 검출되거나 수직쪽은 검출되지 않았다. 나마티아-페부 영상과 마찬가지로 노이즈는 적은편이지만 에지가 두껍게 검출되었다. 두 연산자는 세선화 과정을 거쳐서 한 화소의 에지를 검출해야 할 것이다.

프레이-챈은 1차 미분 에지 검출 기법 중 제일 좋은것 같았다. 다른 연산자와 같은 임계치를 사용한 결과 별로 좋지 않아 다른 임계치를 사용하였다.

LOG은 폐곡선의 형태로 에지가 검출되었다. 루프에지를 잘 검출하는 편이고 노이즈는 많으나 전체적인 에지는 잘 검출되는 편이었다. 좋은 에지 검출 기법이라 할 수 있다.

Haralick은 다른 에지 검출 기법에 비해 잘 검출되지 못했다.  $5 \times 5$  마스크를 사용할 때 보다  $7 \times 7$  마스크를 사용할 때가 더 괜찮은것 같았다. 이유는 마스크가 쿱수록 영상함수와 면함수의 오차가 다소 적어지기 때문이다.

일반적으로 1차 미분에 의한 에지 검출은 마스크의 크기가 커짐에 따라 노이즈가 감소되는 경향이 있다. 그렇다고 마스크를 너무 크게 하면 에지가 두껍게 나타나고 에지 위치가 민감할 수 있으므로 적절한 마스크를 선택해야 좋은 에지를 검출해 낼 수 있다. 2차 미분에 의한 에지 검출은 노이즈에 민감하기 때문에 펀더밍[4]을 거치거나 다른 방법이 수반되어야 좋은 에지를 검출할 수 있다.

### 참고 문헌

[1] R.C.Gonzalez and R.E.Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Pub., 1992.

연산자	검출방법	결과	비교	참고
로비트	2X2 마스크 4개 사용	많은편	마스크가 세워으로 노이즈 밀어 밖생	
프레위트	3X3 마스크 4개 사용	보통		가중치만 줄임
소벤	3X3 마스크 4개 사용	보통		
아이소트로피	3X3 마스크 4개 사용	보통	프레위트, 소벤보다 좋은 에지 검출	
카르시	3X3 마스크 8개 사용	적은편		
김스	3X3 마스크 8개 사용	적은편		
로빈슨 3레벨	3X3 마스크 8개 사용	보통		
로빈슨 5레벨	3X3 마스크 8개 사용	보통		
나마티아-페부	5X5 마스크 12개 사용	적은편	에지가 두껍게 나타남 (세선화 과정 필요)	
앤도우 피라미드	7X7 마스크 4개 사용	적은편	에지가 두껍게 나타남 (세선화 과정 필요)	
프레이-챈	3X3 마스크 8개 사용	기의 일정	1차 미분이 가장 좋은 에지 검출 가능	
LXXI	위치 값에 따라 7X7 마스크 1개 사용하여 기우사한 빙대형 마스크(XG5, TX7)에 마리 면화수의 계수를 구함	많은편	루프에지 기준 선형 계수화의 형태로 에지가 검출됨	
Haralick		많은편	마스크가 기울 때 더 좋은 에지가 검출됨 에지가 검출됨 보이	제일 나쁜 에지 검출 보이

표 1. 에지검출 비교표

- [2] R.Nevatia and Babu, "Linear feature extraction and description," CVGIP, vol 13, 1980
- [3] R.M.Haralick, "Digital step edges from zero crossing of 2nd directional derivatives," IEEE Trans. PAMI, 3,1984
- [4] J.J.Clark, "Singularity theory and phantom edges in scale space," IEEE Trans. PAMI 10, 1988.
- [5] G.S.Robinson, "Edge detection by compass gradient masks," CGIP 6, 1977.
- [6] R.Kirsch, "Computer determination of the constituent structure of biological images," comput. Biomed. Res. vol 4, 1971.
- [7] W.Frei and C.-C.Chen, "Fast Boundary Detection: A Generalization and a New Algorithm," IEEE Trans. Computers, vol. c-26, no 10, 1977.
- [8] L.G.Roberts, "Machine perception of three-dimensional solids," in Optical and Electro-Optical Information Processing, J.T.Tippett et al., eds. Cambridge, MA: MIT Press, 1965.
- [9] J.M.S. Prewitt, "Object enhancement and extraction," in Picture Processing and Psychopictories, B.S.Lipkin and A.Rosenfeld, eds. New York: Academic Press, 1970.
- [10] G.S.Robins, "Detection and coding of edges using directional masks," Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, USC-IPL. Rep. 660, 1976.
- [11] D.Marr and E.C.Hildreth, "Theory of edge detection," Proc.Royal Soc.London.B, vol 207, 1980.
- [12] A.K.Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989.
- [13] W.S.Yang, "Computation of partial derivatives from an image," 92 KACC, 1992.

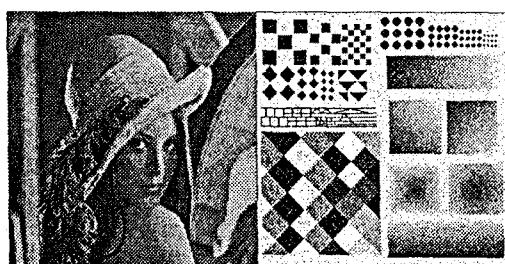


그림 2. 레나영상과 노이즈가 첨가된 패턴영상

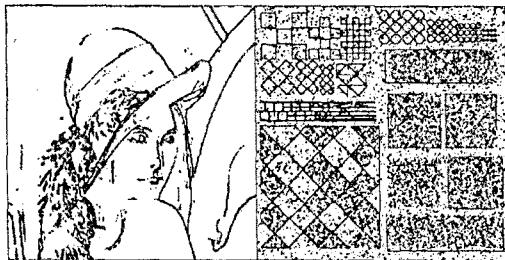


그림 3. Robert연산자에 의한 에지 (T=22)

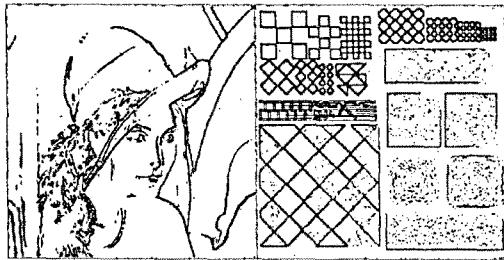


그림 4. Isotropic 연산자에 의한 에지(T=22)

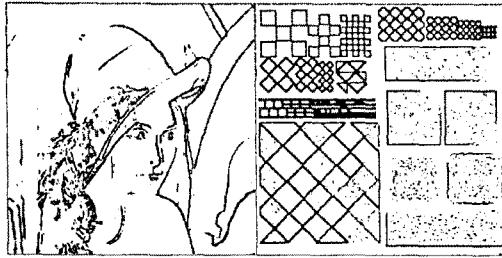


그림 5. Kirch 연산자에 의한 에지(T=22)

MIT Press, 1965.  
 [9] J.M.S. Prewitt, "Object enhancement and extraction," in Picture Processing and Psychopictories, B.S.Lipkin and A.Rosenfeld, eds. New York: Academic Press, 1970.  
 [10] G.S.Robins, "Detection and coding of edges using directional masks," Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, USC-IPL. Rep. 660, 1976.  
 [11] D.Marr and E.C.Hildreth, "Theory of edge detection," Proc.Royal Soc.London.B, vol 207, 1980.  
 [12] A.K.Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989.  
 [13] W.S.Yang, "Computation of partial derivatives from an image," 92 KACC, 1992.



그림 6. Abdou Pyramid 연산자에 의한 에지(T=22)

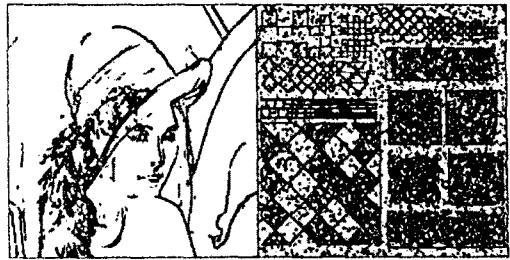


그림 7. Frei-Chen 연산자에 의한 에지(T=9)



그림 8. LOG 방법에 의한 에지( $\sigma=0.6$ )

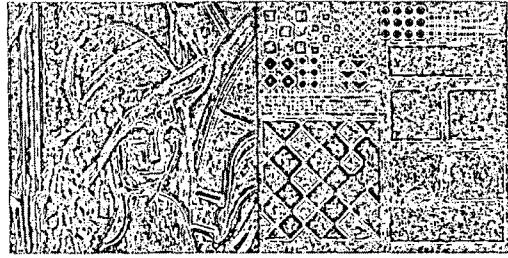


그림 9. Haralick 방법에 의한 에지(7×7마스크 사용時)