

윤곽선 검출을 위한 DSC 와 기존 알고리즘 비교

오중훈^o 정창성

고려대학교 전자 컴퓨터공학과

jhoh@korea.ac.kr^o csjeong@charlie.korea.ac.kr

Comparison between DSC and previous algorithms for edge detection

Jonghoon Oh^o, Changsung Jeong

Dept. of Electronics and Computer Engineering, Korea University

요 약

영상에서 Edge는 영역의 경계를 표현하며, 특징으로는 픽셀 밝기의 불연속점을 나타낸다. 이러한 Edge를 찾아내는 Edge detection은 여러 가지 영상 처리 기법에서 유용하게 사용되고 있다. 현재까지 많은 알고리즘들이 제안 되었으며, 이 논문에서는 이러한 알고리즘들에 대한 장단점을 파악하고, 미분 연산자를 이용한 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, 그리고 Canny 마스크를 이용한 윤곽선 검출방법과 Discrete Singular Convolution (DSC) 알고리즘을 이용한 윤곽선 검출방법을 백색 가우시안 잡음 환경과 비 잡음 환경에서 비교해 보았다.

1. 서 론

영상에서 에지는 상대적으로 그레이 값이 차이가 큰 영역들 간의 경계를 의미한다. 예를 들어, 어린이 등이 동전을 종이 밑에 놓고 굵으면 숫자 또는 사람의 얼굴이 표현 된다. 이러한 에지들은 영상 안에 있는 물체의 윤곽에 대응되며 많은 정보를 가지고 있고 물체의 위치, 모양, 크기, 표면의 모양 등에 대해 알려준다. 상당한 밝기 차이가 나는 지점이 불연속점이라고 하며, 이러한 픽셀이 보통의 경우 물체의 경계에 해당하는 곳이다. 불연속점은 영상의 밝기가 갑자기 변하는 곳을 스텝 불연속점이라고 하며 해당하는 윤곽선은 스텝에지라 한다. 또한, 영상의 밝기가 갑자기 변하지만 조금 지나면 다시 돌아오는 지점을 라인 불연속점이라 하며 해당하는 연산을 라인에지라고 한다. 이러한 윤곽선에 해당 하는 픽셀을 구하는 방법을 윤곽선 검출이라고 하며, 지금까지 많은 알고리즘이 제안되었다. 픽셀의 밝기 변화를 이용한 에지 검출 방법에는 통계적인 방법[7], 차 연산 방법[8] 등이 있다.

대부분 윤곽선 검출 방법은 편미분 연산자 계산을 이용한다. 영상에서 기울기를 그라디언트라고 하며, 영상에서 그라디언트의 크기를 구하면 윤곽선을 쉽게 구할 수 있게 된다. 영상에 밝기가 급격히 변하는 부분이 그라디언트의 크기가 커지므로, 이 지점이 윤곽선이라고 말할 수 있다. 1차 미분 값의 크기는 영상에서 윤곽선의 존재 여부를 알수 있으며, 2차 미분 값의 부호는 윤곽선 픽셀의 밝고 어두운 부분의 위치를 나타낸다. 다음으로 그라디언트의 방향 역시 중요한 값이며, 방향 값이 서로 같은 윤곽선은 하나의 윤곽선으로 구분되어진다. 미분 연산자 역할을 하는 마스크가 필요하며, 이 논문에서는

3x3, 5x5, 1x5 마스크를 사용했다. 어떤 종류의 마스크라도 항상 모든 픽셀의 합은 0이 되어야한다.

2.1에서는 여러 종류의 마스크를 이용한 윤곽선 검출과 Discrete Singular Convolution (DSC) 알고리즘을 이용한 윤곽선 검출의 특징과 장단점을 비교 했다. 2.2에서는 실험 결과 와 분석을 했다.

2. 본 론

2.1 여러 윤곽선 검출 알고리즘의 특징과 장단점

윤곽선 검출의 가장 대표적인 미분연산자인 소벨 마스크를 살펴보면, 2차 미분 연산자이며 X축, Y축으로 각각 한번씩 미분하게 되어 있다. 소벨 마스크는 연산 속도가 비교적 느리며 잡음 부분도 윤곽선으로 인식할 만큼 밝기정도에 매우 민감한 특성을 보인다. 소벨 마스크 연산 후 임계값을 이용하여 잡음을 제거 할 수도 있다.

프리트 마스크는 소벨 마스크의 결과와 거의 같은 결과 값을 나타내는데, 응답 시간이 약간 빠르며 마스크 형태는 비슷하나 밝기의 경계에 대해 비중을 약간 다르게 주었다. 비중값을 틀리게 주면 윤곽선 검출할 때, 윤곽선이 덜 부각되어 나타난다.

로버트 마스크는 윤곽선 검출 마스크 중 기본이 되는 마스크이고 매우 민감한 필터를 이용한다. 매우 빠른 연산 속도를 나타내며, 작은 커널을 사용하기 때문에 잡음에 매우 민감하며, 분명한 에지만을 검출해 내며, 마스크의 모양은 45도 기울기를 가지고 있다.

지금까지의 윤곽선 검출방법은 너무 많은 윤곽선을 검출하는 단점이 있다. 2차 미분 값을 이용한 라플라시안 윤곽선 검출은 국지적으로 최대한 포인트만을 윤곽선으로 인정하는 특징이 있다. 연산속도도 매우 빠르며, 모

든 방향의 윤곽선을 검출해 내며 다른 연산자와 비교하여 사프한 윤곽선을 검출해 내며, 하나의 마스크로 윤곽선 검출을 수행한다. 마스크의 중심 픽셀은 항상 양수이며, 외부 픽셀 계수는 음수며, 합은 항상 0이다. 2차 도함수는 2개의 에지를 생성하므로 영교차 성질을 이용한다.

캐니 마스크를 이용한 윤곽선 검출은 다른 마스크 연산자를 이용한 응용이라고 볼 수 있다. 대부분은 윤곽선 검출 마스크는 잡음에 대하여 매우 민감한 특성을 가지고 있어서 작은 잡음도 윤곽선으로 검출할 경우가 많이 있다. 캐니 마스크는 먼저 가우시안 마스크를 이용하여 잡음을 제거한 후 소벨 마스크와 같은 윤곽선 검출 마스크를 수행한다. 즉 윤곽선 검출 전 잡음 제거 마스크를 사용하며, 잡음에 강하며, 여러 다른 윤곽선 검출 마스크를 사용할 수 있으며, 강한 윤곽선들만 검출 된다는 장점이 있다. 실험에서는 가우시안 5X5 마스크 연산을 사용했다.

Discrete Singular Convolution (DSC) 알고리즘은 이산 적분을 이용한 컴퓨터 그래픽에 제안되었다[2,3]. 이 알고리즘의 수학적 기반은 분포 및 웨이블릿 해석 이론에 기반을 둔다[4]. singular kernel은 힐버트, 아벨, 델타 타입으로 구성된다. 이 논문에서는 델타 타입의 DSC kernel 방식을 사용하며 비교적 쉽게 이용할 수 있는 Schwartz class로부터 DSC kernel을 도출할 수 있다[5]. 또한 백색 가우시안 잡음 환경과 잡음이 없는 환경에 따른 두 가지 윤곽선 검출 기법으로 나누었다.

DSC 알고리즘을 보면, singular convolution은 식(1)과 같이 정의 된다. 여기서 $T(t-x)$ 는 singular kernel 이다. 또한, 식(2)는 델타 타입의 singular kernel이다. 여기서 δ 는 델타 분포다.

$$F(t)=(T*\eta)(t)=\int_{-\infty}^{\infty} T(t-x)\eta(x)dx \quad \text{식(1)}$$

$$T(x)=\delta^{(n)}(x), \quad n=0, 1, 2, \dots \quad \text{식(2)}$$

스무드 하게 근사화 하기 위해 식(3)과 같은 Discrete Singular Convolution을 사용한다. 여기서 $Fa(t)$ 는 $F(t)$ 로 근사화 되며, X_k 는 정의된 DSC의 근사화된 이산 지점들의 집합이다. 식(4)는 대표적인 Shannon의 delta kernel이다.

$$Fa(t)=\sum_k Ta(t-x_k)f(x_k) \quad \text{식(3)}$$

$$\delta_a(x) = \frac{\sin(ax)}{\pi x} \quad \text{식(4)}$$

DSC 필터를 보면, 샤논의 delta kernel 식(4)는 이상적인 로패스필터 식(5)와 부합된다. $\delta_a(x)$ 와 $\Psi_a(x)$ 는 infinite impulse response(IIR)필터이므로, 푸리에 변환은 미분이 불가능하게 된다. 이러한 특성 때문에 좌표에서 유한한 모멘트를 가질 수 없어서, 샤논의 delta kernel의 asymptotic behavior를 향상시키기 위해서 식(6)과 같이 표현할 수 있다. 또한, 다른 많은 DSC 필터들은 [4]에

서 자세히 언급하고 있다.

$$\Psi_a(x)=\frac{\sin 2ax - \sin ax}{\pi x} \quad \text{식(5)}$$

$$\Psi_{\alpha,a}(x-x_k)=\frac{\sin(\pi/\Delta)(x-x_k)}{(\pi/\Delta)(x-x_k)} e^{-(x-x_k)^2/2\sigma^2}, \sigma>0 \quad \text{식(6)}$$

DSC 윤곽선 검출기를 제작하기 위해서는 1차원 N제곱의 델타타입의 DSC 커널 식(7)이 필요하며, 또한 식(8)은 미분을 통하여 표현된 식으로 하이패스 필터에도 적용이 가능하다.

$$\delta_{\sigma,a}^{(n)}(x-x_k) \quad n=0,1,2,\dots \quad \text{식(7)}$$

$$\delta_{\sigma,a}^{(n)}(x-x_k)=\left[\left(\frac{d}{dx}\right)^n \delta_{\sigma,a}(x-x_k)\right] \quad \text{식(8)}$$

식(9)은 잡음이 없는 환경의 DSC 윤곽선 검출식이며, 식(10)은 백색가우시안 잡음 환경에 적합하도록 제안된 윤곽선 검출식이다. 작은 a 는 잡음에 의한 손실을 줄 수 있다.

$$\left| \sum_{k=-W_n}^{W_n} \delta_{\sigma_n a_n}^{(n)}(x_i-x_k)I(x_k y_j) \right| + \left| \sum_{l=-W_n}^{W_n} \delta_{\sigma_n a_n}^{(n)}(y_j-y_l)I(x_i, y_l) \right|, \quad n=1,2,\dots \quad \text{식(9)}$$

$$\left| \sum_{k=-W_0}^{W_0} \sum_{l=-W_0}^{W_0} \delta_{\sigma_0 a_0}^{(n)}(x_i-x_k) \delta_{\sigma_0 a_0}^{(0)}(y_j-y_l)I(x_k, y_j) \right| + \left| \sum_{k=-W_0}^{W_0} \sum_{l=-W_0}^{W_0} \delta_{\sigma_0 a_0}^{(0)}(x_i-x_k) \delta_{\sigma_0 a_0}^{(n)}(y_j-y_l)I(x_k, y_j) \right| \quad n=1,2,\dots \quad \text{식(10)}$$

2.2 실험 및 결과 분석

실험에는 256*256 픽셀 크기의 그레이 영상을 사용했다. 잡음이 없는 노말한 환경과 Independently Identically Distributed (i.i.d.) 가우시안 잡음 10dB 환경이다. 각각의 환경에서 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, 3x3 2차원 마스크 (그림 1) 그리고 Canny를 위한 가우시안 5x5 마스크를 사용해 윤곽선 검출을 시도했다. 하지만, DSC 윤곽선 검출은 1차원 1X5 마스크를 사용했다.

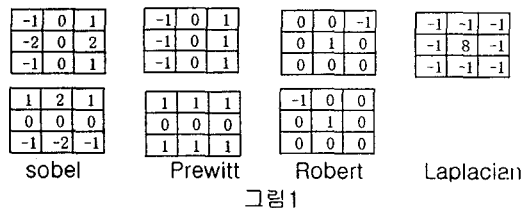


그림 1

첫 번째로 잡음이 없는 노멀한 환경을 보면 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian 윤곽선 검출 방법을 그림 1에서 제시한 마스크를 사용해서 그림 2 하단에 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian 순서대로 윤곽선 검출 이미지 결과를 보여준다. 하지만, DSC 경우 파라미터 값 σ, α 를 세 가지 다른 경우로 설정해서 실험했다. 잡음이 없는 조건에서 실험 결과는 그림 2를 보면 상단은 DSC를 이용한 결과이며 좌측부터, $\sigma_1=0.8, \alpha_1=1.2, \sigma_1=0.8, \alpha_1=0.4, \sigma_1=2.5, \alpha_1=1.2$ 이다.

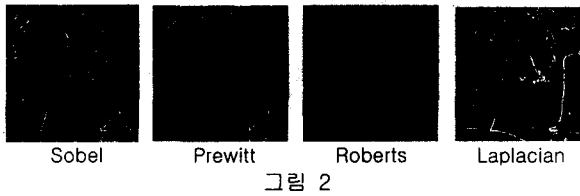
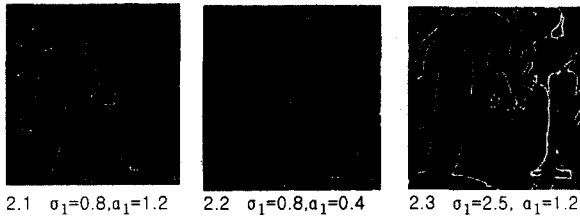


그림 2

그림2의 상단의 DSC 윤곽선 검출 이미지 결과를 보면 2.1과 2.3 α_1 는 동일한 값 $\alpha_1=1.2$ 로 하면서 σ_1 를 변화 시켰는데, σ_1 값이 큰 이미지(그림2.3)가 조금 더 날카로운 경계를 보여주고 있다. 왜냐하면, 작은 σ_1 는 고주파 영역에서 광대역 응답으로 인한 결과라고 생각된다. 그림 2.1과 2.2는 σ_1 는 동일한 값 $\sigma_1=0.8$ 로 하면서 α_1 를 변화 시켰는데, α_1 값이 작은 이미지(그림2.2)가 조금 더 성세하게 나왔다. α_1 값이 협대역 응답으로 인한 결과로 생각된다. 즉, DSC 윤곽선 검출은 파라미터 σ_1 가 큰 경우, α_1 가 작은 경우 잡음 없이 날카로운 윤곽선이 검출된다. DSC와 나머지 Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian를 비교해보면 Sobel, Prewitt경우는 거의 비슷한 결과를 보이는 것 같지만, DSC와 다르게 피망안쪽에 약간의 잡음이 보이며 이미지의 오른쪽 하단 부분에 몇 개의 경계가 검출 되지 않았다.

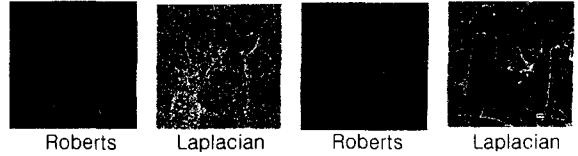
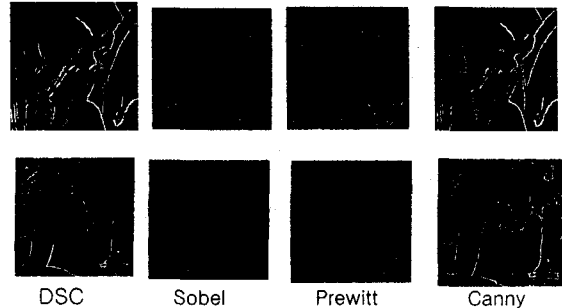


그림 3

그림 3은 Independently Identically Distributed (i.i.d.) 가우시안잡음 10dB 환경에서 DSC Sobel Prewitt Canny, Roberts, Laplacian 이용한 윤곽선 검출을 Lena와 Peppers이미지로 실험해 보았는데, 기존 Sobel 마스크등에서는 원래 이미지에 존재하지 않은 윤곽선들이 검출되고 잡음이 많아 보인다. 하지만, DSC 경우에는 기존 검출 방법보다 훨씬 더 정확한 윤곽선을 표현해 주는 것을 확인해 볼 수 있다.

3. 결론

Sobel, Prewitt, Roberts, Laplacian, canny, DSC 알고리즘을 이용해서 잡음이 없는 환경과 10dB의 가우시안 잡음 환경에서 실험한 결과, 기존 윤곽선 검출 마스크 보다 향상된 성능을 보였으며, Canny의 경우는 파라미터 하나 σ 를 이용하기 때문에 캐니필터가 주파수를 선택하는데 제약이 따르기 마련이지만, DSC 알고리즘의 경우 두 가지 파라미터 σ 와 α 를 사용하여 주파수 선택이 자유로워 졌으며, 그에 따른 눈에 띄는 성능 향상도 실험 결과를 통해 볼 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] J. Canny, A computational approach to edge detection, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-8 (1986) 679.698.
- [2] G.W. Wei, Discrete singular convolution for the solution of the Fokker-Planck equations, J. Chem. Phys. 110 (1999) 8930.8942
- [3] G.W. Wei, A uni4ed approach for the solution of the Fokker-Planck equation, J. Phys. A: Math. Gen. 33 (2000) 4935.4953.
- [4] L. Schwartz, ThVeore des Distributions, Hermann, Paris, 1951.
- [5] Z.J.Hou, G.W.Wei, A new approach to edge detection, Pattern Recognition 35 (2002) 1559-1570
- [6] G.W. Wei, GeneralizedPerona.Malik equation for image restoration, IEEE Signal Process. Lett. 6 (1999) 165.168.
- [7] D. Stern, L. Kurz, Edge detection in correlated noise using Latin squares models, Pattern Recognition 21 (1988) 119.129.
- [8] D. Marr, E. Hidreth, Theory of edge detection, Proc. Roy. Soc. London PAMI-6 (1984) 58.
- [9] G. Deng, J.-C. Pinoli, Di=erentiation-based edge detection using the logarithmic image processing model, J. Math. Imaging vision 8 (1998) 161.180.
- [10] G.W. Wei, Wavelets generated by using discrete singular convolution kernels, J. Phys. A: Math. Gen. 33 (2000)