

적응성 방향 미분에 의한 에지 검출기의 구현*

김은미**

요약

실제 이미지에서 에지의 속성을 찾아내고 그 정확한 위치를 지정하기 위하여 밝기 분포에 대한 국소적 미분 대신에 “적응성 방향 미분”(Adaptive Directional Derivative, ADD)이라는 비국소적 연산자를 도입함으로써 에지의 램프 폭의 변화에 무관하게 적용할 수 있는 알고리즘이 개발되었다. 본 논문에서는 이러한 알고리즘에 의한 에지 검출 시스템을 개발하고 기존의 알고리즘에 의한 것과 비교·분석한다.

Development of Edge Detection System Based on Adaptive Directional Derivative*

Eun Mi Kim**

ABSTRACT

In order to detect and locate edge features precisely in real images we have developed an algorithm by introducing a nonlocal differentiation of intensity profiles called *adaptive directional derivative* (ADD), which is evaluated independently of varying ramp widths.

In this paper, we first develop the edge detector system employing the ADD and then, the performance of the algorithm is illustrated by comparing the results to those from the Canny's edge detector.

Key words : Edge Detection Algorithm, Adaptive Directional Derivative

* 본 논문은 2006년도 호원대학교 교내학술연구비 지원에 의해 이루어졌음.

** 호원대학교 컴퓨터 & 게임학과 교수

1. 서 론

이상적인 에지는 선명한 윤곽을 가지며 이미지에서 경계를 정확하게 구분할 수 있도록 샘플링되어야 한다. 그러나 잡음이나 일정하지 않은 조명으로부터 생긴 경계의 파손과 밝기의 불연속성을 만들어내는 여러 가지 요인들 때문에 완전한 경계의 특성을 나타내지 못할 때가 많다. 그래서 최적의 에지 검출 알고리즘을 만들기 위하여 다양한 개념들과 이를 구현할 수 있는 복합적인 방법론들이 제시되었다[1-7]. Marr와 Hildreth[1]은 밝기 변화(intensity changes)에 대한 다중 스케일(multi-scale) 탐색을 이용한 에지 검출의 초기 핵심 연구를 실행하였고, 이는 Canny[2]에 의해 더욱 발전되었다.

이들의 연구는 에지를 발견하고 그 위치를 결정하기 위한 정합 필터(matched filter)와 부가적인 노이즈에 대한 효과를 최소화하는 Wiener 필터를 사용한 Boie와 Cox[3, 4]에 의해 일반화되었다. 또한, Canny 알고리즘과 마찬가지로 에지 시그널을 검출하는 속성인 밝기 변화에 대한 미분 연산자의 값에 이력 문턱(hysteresis threshold)방법을 적용한 Shen-Castan[5] 에지 검출기가 있으며, 다른 연구들에서도 에지 검출 속성으로서 밝기 변화에 대한 미분 연산자를 사용해 왔다.

한편, 실제 이미지에서 이러한 에지의 속성을 찾아내고 그 정확한 위치를 지정하기 위하여 밝기 분포에 대한 국소적 미분 대신에 “적응성 방향 미분(Adaptive Directional Derivative, ADD)”이라는 비국소적 연산자를 도입함으로써 에지의 램프 폭의 변화에 무관하게 적용할 수 있는 알고리즘이 개발되었다[8].

일반적으로 샘플링 된 에지의 밝기 변화는 램프(ramp)의 형태를 갖기 때문에 보통의 국소적 미분 연산자를 바탕으로 에지를 검출하려면 램프 에지(의 1차 미분)에 대한 가우시언 템플릿에서의 분산과 같은 에지 폭 파라미터에 따라 검출 기준을

조정해야한다. 그러나 제안한 적응성 방향 미분을 활용하면 에지 폭 등과 같은 부수적인 파라미터에 의한 부분적인 재조정 없이 이미지 밝기의 두드러진 변화영역이 존재하는지를 검증할 수 있다. 즉, 적응성 방향 미분은 에지의 폭이나 선명도 또는 이미지의 스케일변화(확대)에 따른 해상도의 변화 대하여 일관되게 적용할 수 있는 하나의 검출 기준을 제시한다. 그리고 하나의 시그널 에지 픽셀의 위치를 결정하기 위하여, 에지 폭 내에서 비최대값 억제(nonmaxima suppression)를 적용한 후 남게 되는 픽셀들의 위치에 대한 산술평균을 구함으로써 방향미분 크기의 최대값의 중심을 찾는다.

본 논문에서는 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 시스템을 개발하고 현재 에지 검출을 위해 보편적으로 사용되고 있는 Canny의 알고리즘과 비교 분석하여, 제안한 알고리즘이 좀 더 이미지에서의 경계를 정확하고 효율적으로 구분 할 수 있음을 보일 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안한 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 알고리즘에 대해 설명하고, 3장에서는 구현한 에지 검출 시스템에 대해 소개하고 실제 이미지를 적용하여 기존 이미지 검출과 비교한 결과를 보여 준다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 알고리즘

광학적 조건이나 샘플링의 효율 및 그 밖의 다른 영상 획득의 불완전성으로 인하여 실제 이미지의 에지들은 흐려져서 램프 모양의 밝기 분포를 생성한다. 그런데, 점진적으로 변하는 그레이 레벨의 밝기를 갖는 램프 에지에 대하여 기울기나 방향 미분 같은 국소적 연산자에 의한 기준을 적용하면 에지를 누락하거나 여러 개의 픽셀에 걸쳐

중복 검출하게 된다. 램프 에지를 적절하게 검출하기 위하여 대응하는 1차원적 밝기 분포에 대하여 ADD를 활용한다. 이미지의 픽셀들은 가령 p 와 같은 2-D 위치 벡터로서 표시된다. 그러면 임의의 θ -방향으로 픽셀 p 를 가로지르는 1-D 단면의 밝기 분포는 방향벡터 u_θ 에 의하여 주어지는 선형 시퀀스 $\{p + qu_\theta; q \in Z\}$ 의 한 부분에서 정의되며 그레이 레벨 값을 갖는 함수인 $f(p + qu_\theta)$ 로 기술된다. 주요 방향벡터 u_θ 에는,

$$\begin{aligned} u_{\pm x} &\equiv \pm(1, 0), & u_{\pm y} &\equiv \pm(0, 1), \\ u_{\pm+} &\equiv \pm(1, 1), & u_{\pm-} &\equiv \pm(1, -1), \end{aligned} \quad (1)$$

가 있다. 밝기 분포에 대한 θ 방향의 방향 미분은,

$$v_\theta(p) \equiv D_\theta f(p) = f(p + u_\theta) - f(p), \quad (2)$$

로 정의되고, 이를 비국소적으로 확장한 ADD는,

$$\Delta_\theta(p) \equiv [1 - \delta_{s_\theta(p), s_\theta(p-u_\theta)}] \sum_{k=0}^{\infty} \delta_{k+1}, N_\theta(p, k) \quad (3)$$

$$v_\theta(p + ku_\theta),$$

로 정의된다. 여기서,

$$N_\theta(p, k) \equiv \sum_{n=0}^k |s_\theta(p + n\nu_\theta)| \delta_{s_\theta(p), s_\theta(p + n\nu_\theta)}, \quad (4)$$

$$s_\theta(p) \equiv \begin{cases} +1, & v_\theta(p) > 0 \\ 0, & v_\theta(p) = 0 \\ -1, & v_\theta(p) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

이고 $\delta(\dots)$ 는 Kronecker delta이다. 이 정의에 따르면 $\Delta_\theta(p)$ 는 p 가 θ -방향에서 f 의 값이 엄격하게 단조적인 구간이 시작되는 픽셀일 경우만 '0'이 아닌 값을 갖는다. 즉, 만일 f 가 p 에서 θ -방향으로 엄격하게 단조 증가 또는 감소를 시작해서 $p + wu_\theta$

에서 끝난다면,

$$\begin{aligned} \Delta_\theta(p) &= \sum_{q=0}^{w-1} v_\theta(p + qu_\theta) \\ &= f(p + wu_\theta) - f(p) \equiv A \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 정의에 따라, 엄격하게 단조적인 구간인 $[p, p + wu_\theta]$ 에서 $0 < q < w$ 인 q 에 대하여 $v_\theta(p + qu_\theta) = -v_{-\theta}(p + (q+1)u_\theta)$ 인 성질은 밝기 변화의 전체량인 $\Delta_\theta(p) = -\Delta_{-\theta}(p + wu_\theta)$ 와 $\Delta_\theta(p + qu_\theta) = 0$ 인 결과로 나타난다. 그러므로 ADD인 Δ_θ 가 주어진 램프 에지에 대하여, 정해진 θ -방향의 엄격하게 단조적인 밝기 변화의 구간 $[p, p + wu_\theta]$ 와 함께, 그에 따른 밝기 변화의 폭을 제시함을 알 수 있다.

따라서 Δ_θ 에 대하여 일정한 문턱값 T 를 부여하면 램프 에지를 결정하는 기준을 구할 수 있다.

(CRE) 주어진 픽셀 p 에서의 그레이 레벨의 적응성 방향 미분 중 하나의 절대값이 T 보다 크거나 같다. 즉, 적어도 하나의 θ -방향에 대하여 $|\Delta_\theta(p)| \geq T$

이미지 내에서 밝기 변화 A 에 의해 두 부분을 경계 짓는 램프 에지에 대하여, 에지의 법선 방향으로부터 ϕ 의 각도를 이루는 방향을 ' ϕ -방향'이라고 하자. 또한, 같은 방향의 방향 벡터와 램프 폭을 각각 u_ϕ 와 w_ϕ 라고 하면, p 에서 시작되는 ϕ -방향의 램프 단면은 구간 $[p, p + w_\phi u_\phi]$ 에 걸친 엄격하게 단조적인 그레이 레벨의 분포로 기술된다. u_0 는 에지의 법선 방향이고 $u_{\pm\pi/2}$ 는 접선 방향을 나타낸다. 만일 에지가 u_0 의 양의 방향으로 볼록하다면 $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$ 인 모든 ϕ 에 대하여 $\Delta_\phi(p) = A$ 가 된다. 만일 에지가 u_0 의 양의 방향으로 오목하다면 $\phi = 0$ 에 근처의 한정된 범위의 각도 내에서만 $\Delta_\phi(p) = A$ 가 되고, 분명히 $\phi = \pm\pi/2$ 에서는 $\Delta_\phi(p) = 0$ 이 된다. 그러므로 램프 에지에 의한 밝기 변화를 ADD인 Δ_θ 의 값을 이용하여 효과적으로 검출하기 위한

여 적어도 서로 직각을 이루는 고정된 두 방향 θ_1 과 θ_2 에 대한 ADD인 Δ_{θ_1} 과 Δ_{θ_2} 이 필요하다.

θ -방향의 그레이 레벨의 엄격하게 단조적인 분포 구간 중에서 국소적으로 최대 길이를 갖는(즉, 자신을 포함하는 엄격하게 단조적인 구간이 없는) $[p, p + wu_\theta]$ 가 $|f(p + wu_\theta) - f(p)| \geq T$ 을 만족한다면, 위의 (CRE) 기준에 따라 에지의 램프 구간이 되고 이 구간의 $w+1$ 개의 픽셀 중 하나가 정확한 에지 픽셀로 지정되어야 한다. 모든 방향의 에지를 검출하는 것은 서로 직각인 두 방향에 대한 ADD인 $\Delta_{\theta_1}(p)$ 와 $\Delta_{\theta_2}(p)$ 를 이용하여 이루어질 수 있는데, 실제로서 $\theta_1 = x$ 와 $\theta_2 = y$ 의 고정된 두 방향을 사용할 수 있다. 여기서 (CRE)의 기준을 이용하면 에지 폭 w 에 영향을 주는 공간적 흐려짐이나 크기변화에 무관하게 에지를 검출할 수 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 이상에서의 내용을 정리하여 에지 검출 전략에 관한 절차를 다음과 같이 제시한다.

- P1. x 방향을 따라 이미지를 스캔하여 밝기의 편차 $|f(p + wu_\theta) - f(p)|$ 즉, $|\Delta_\theta(p)|$ 이 기준 (CRE) 를 만족하는 엄격하게 단조적인 구간 $[p, p + w_x u_x]$ 를 찾는다.
- P2. 구간 $[p, p + w_x u_x]$ 내에 한 개의 에지 픽셀의 위치를 결정한다.
- P3. y 방향에 대해 프로시저를 반복하여 $[q, q + w_y u_y]$ 와 같은 엄격하게 단조적인 구간을 찾고 그 사이에 에지 픽셀을 위치시킨다.

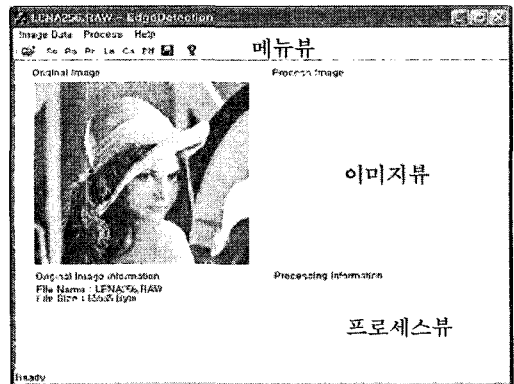
3. 에지 검출 시스템의 구현 및 적용

본 논문에서는 제안한 적응성 방향 미분에 기반을 둔 알고리즘을 이용한 에지 검출 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 Window 를 사용하고 Visual C++로 프로그래밍 하였다.

3.1 에지 검출 시스템의 구현

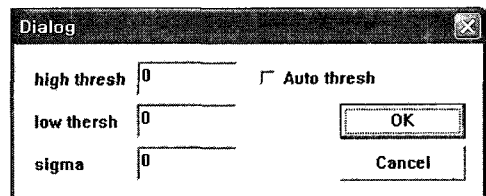
(그림 1)은 시스템의 메인 화면을 보여준다. 메인 화면은 크게 메뉴 뷰, 이미지 뷰, 데이터 뷰로 나누어져 있다. 메뉴 뷰는 에지 검출과 성능 테스트를 위한 메뉴들을 포함하고 있으며, 이미지 뷰에서는 원래 이미지와 다양한 에지 검출 기법을 이용한 결과를 보여준다. 또한, 프로세스 뷰에서는 이미지에 대한 정보 및 이미지 검출 시 소용되는 시간을 측정함으로써 에지 검출기에 대한 성능평가에 대한 데이터를 제공한다.

계는 매우 유용하다.

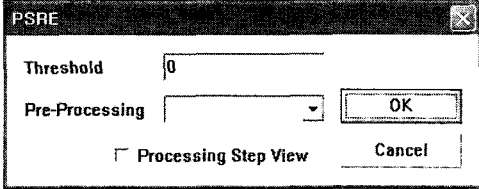


(그림 1) 에지검출시스템의 메인화면

또한, 각 에지 검출기 특성에 맞는 값을 지정하여 입력 할 수 있도록 하였으며, 자동 검출 또한 가능하도록 하였다. (그림 2)와 (그림 3)은 Canny의 방법과 제안한 방법에서 에지 검출에 필요한 입력값을 지정하기 위한 창이다.



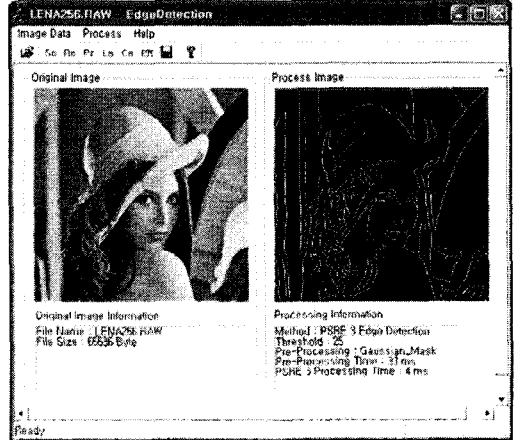
(그림 2) Canny에 의한 입력 값 지정 창



(그림 3) 제안한 방법에 의한 입력 값 지정 창

3.2 적용 및 평가

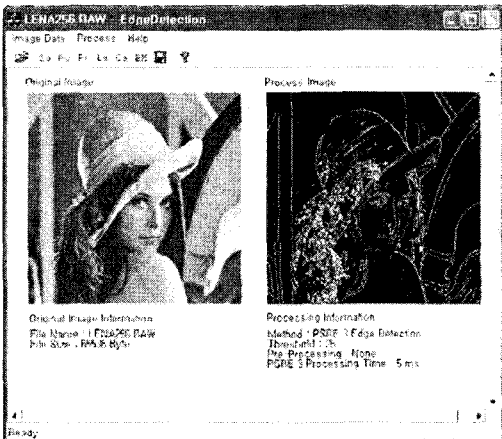
실제 영상에 제안된 알고리즘을 적용한 예를 보여주기 위하여 레나 그림을 사용한다. 제안된 에지 검출 알고리즘은 이미지 밝기의 엄격한 단조적 변화에 결정적으로 의존하는데, 이것은 격리된 점이나 스펙클 형태의 노이즈에 매우 민감하다. 따라서 이러한 종류의 노이즈를 효과적으로 제거할 수 있는 중간값 필터링(median filtering)과 같은 전처리가 필요하다. (그림 4)~(그림 6)는 입력 영상과 제안된 알고리즘 및 Canny 알고리즘을 적용한 결과들을 보여준다. (그림 4)와 (그림 5)는 원 영상에 대하여 제안한 방법으로 문턱 값 $T=25$ 을 사용하여 에지를 추출한 결과이고 (그림 4)는 전처리 전 영상에 대하여 제안한 방법에 의해 에지를 추출한 결과와 (그림 5)는 전처리 후 결과



(그림 5) 입력 영상과 제안된 알고리즘에 적용한 결과(전처리 후)



(그림 6) 입력 영상과 Canny 방법에 의한 결과



(그림 4) 입력 영상과 제안된 알고리즘에 적용한 결과(전처리 전)

보여준다. 마지막으로 (그림 6)는 Canny 영상에 대하여 제안한 방법에 의해 에지를 추출한 알고리즘의 에지 검출 방법을 이용하여 영상을 추출한 결과이다. 여기서는 제안한 방법의 문턱 값 $T=25$ 에 상응하도록 이력문턱의 최소값을 100으로 사용하였다.

검출된 에지가 물체의 윤곽을 잘 보여준다. 이 결과에서 나타난 것처럼, 에지의 폭에 상관없이 물체들의 완전한 경계들이 비교적 정확하게 드러나

게 되는데 이것으로 보아 에지의 정확한 위치가 에지의 폭이나 방향에 관계없이 잘 결정되었음을 알 수 있다. Canny의 이력 문턱 방법을 적용한 결과는 에지의 폭이 여러 픽셀에 걸쳐 확산되어 있다. 따라서 단일 픽셀 폭의 에지를 구하기 위해서는 zero crossing을 검출하는 LoG 필터링과 같은 별도의 처리 과정이 필요함을 알 수 있다. 이에 비하여 제안된 알고리즘은 x 와 y 방향에 대하여 각각 한번 스캔하는 과정을 통하여 완전한 단일 픽셀 폭의 에지가 얻어지는 것을 보여준다.

아래의 <표 1>은 이들의 성능 평가를 위해 에지 검출에 대한 처리 속도를 비교한 것이다. 본 실험은 인텔 펜티엄 4 CPU 3.20GHz, 1GB RAM 환경 하에서 수행되었다. 아래 표에서 알 수 있는 것과 같이 제안한 방법은 Canny에 의해 제안된 방법 보다 처리 속도가 훨씬 적게 드는 것을 알 수 있다.

<표 1> 처리 속도의 비교(단위 : ms)

	처 리 시 간	
	제안한 방법	전처리 전
전처리 후		37
Canny의 방법	81	

4. 결 론

최적의 에지 검출 알고리즘을 만들기 위하여 다양한 에지의 폭에 적합한 최적의 에지 검출 알고리즘을 제안하였다[8]. 제안된 알고리즘에서는 edge point에 대한 새로운 정의를 도입하고, 스케일링에 무관한 확장된 방향 미분을 얻기 위해 픽셀 공간에서의 방향 미분을 일반화하였다.

본 논문에서는 제안한 알고리즘을 Canny의 알고리즘과 비교·분석하여 타당성을 평가하였다. 그

결과, 제안된 알고리즘에 의해 검출된 에지가 물체의 윤곽을 보다 효율적으로 추출함을 알 수 있다. 즉, 물체들의 완전한 경계들이 비교적 정확하게 드러나는 결과에서 나타난 것처럼, 에지의 정확한 위치가 에지의 폭이나 방향에 무관하게 LoG 필터링과 같은 추가적인 처리과정 없이도 잘 결정되었음을 알 수 있다. 또한, 처리 속도의 경우도 기존의 알고리즘에 비해 적게 소요됨을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Wl. D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection", Proc. R. Soc. London B207, pp. 187-217, 1980.
- [2] J. Canny, "A computational approach to edge detection", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-8, pp. 679-698, 1986.
- [3] R. A. Boie, I. Cox, and P. Rehak, "On optimum edge recognition using matched filters", Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 100-108, 1986.
- [4] R. A. Boie and I. Cox, "Two dimensional optimum edge recognition using matched and Wiener filters for machine vision", Proceedings of the IEEE First International Conference on Computer Vision, pp. 450-456, 1987.
- [5] J. J. Shen and S. S. Castan, "An optimal linear operator for step edge detection", CVGIP : Graphical Models and Image Processing, Vol. 54, No. 2, pp. 112-133, 1992.
- [6] R. J. Qian and T. S. Huang, "Optimal Edge Detection in Two-Dimensional Images", IEEE Trans. Image Processing, Vol. 5, No. 7, pp. 1215-1220, 1996.

- [7] Z. Wang, K. R. Rao, and J. Ben-Arie, "Optimal Ramp Edge Detection Using Expansion Matching", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 18, No. 11, pp. 586-1592, 1996.
- [8] 김은미, "적응성 방향미분에 의한 에지 검출기의 설계 및 평가", *멀티미디어학회 논문지* 제8권 제10호, pp. 1329-1336, 2005. 10.



김은미

1991년 전북대학교 전산통계학과
(이학사)

1993년 전북대학교 전산통계학과
(이학석사)

1997년 오사카대학교 정보공학부
(공학박사)

1997년~현재 호원대학교 컴퓨터 & 게임학과 교수