

적응성 방향 미분에 의한 에지 검출기의 설계 및 평가

김 은 미[†]

요 약

본 논문에서는 다양한 에지의 폭에 적합한 최적의 에지 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 적용할 edge point에 대한 새로운 정의를 도입하고, 스케일링에 무관한 확장된 방향 미분을 얻기 위해 픽셀 공간에서의 방향 미분을 일반화한다. 또한, 2D 영상에 대하여 제안한 알고리즘을 적용한 에지 검출의 결과를 구하고 기존의 알고리즘에 의한 것과 비교·분석한다.

Design of Edge Detection Algorithm Based on Adaptive Directional Derivative

EUN MI KIM[†]

ABSTRACT

We propose an optimal edge detection algorithm adaptive to the various widths of edges. In order to construct this algorithm, we introduce an alternative definition of edge point and generalize the directional derivatives in the pixel space to obtain an extended directional derivatives beyond scaling. The result from applying our algorithm to a 2D image is analyzed comparing to that from the other algorithm.

Key words: Edge Detection Algorithm(에지 검출 알고리즘), Adaptive Directional Derivative(적응성 방향 미분)

1. 서 론

에지는 이미지 안에 있는 객체의 경계(boundary)를 가리키는 것으로서, 모양이나 방향성을 인식할 수 있는 중요한 정보를 가지고 있는 것이다. 이상적인 에지는 선명한 윤곽을 가지며 이미지에서 경계를 정확하게 구분할 수 있도록 샘플링 되어야 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] 밝기 변화(intensity changes)에 대한 다중 스케일(multi-scale) 탐색을 이용한 에지 검출의 초기 핵심 연구가 Marr와 Hildreth[1]에 의해 이루어졌고, 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.

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김은미, 주소 : 전북 군산시 임피면 월하리 727(573-718), 전화 : 063)450-7543, FAX : 063)450-7540, E-mail : ekim@mail.howon.ac.kr
접수일 : 2005년 3월 21일, 완료일 : 2005년 6월 10일
[†] 정회원, 호원대학교 컴퓨터게임학부 부교수
※ 본 논문은 2003년 호원대학교 교내학술연구조성비에 의해 연구되었음.

한편, 기존의 방향 미분을 비국소적으로 확장한 적응성(adaptive) 방향 미분이 픽셀 공간에서 에지를 특징짓는 새로운 시그널 속성으로서 소개되었다[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 제한한 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 제안한 알고리즘을 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. 기존의 에지 검출 알고리즘은 모두 기울기(gradient)와 같은 국소적 미분 연산자를 사용하므로, 에지검출 속성으로서 국소적 미분 연산자를 사용하는 대표적인 알고리즘인 Canny 알고리즘에 의한 결과와 비교함으로써, 기존의 알고리즘과 달리 비국소적인 적응성 방향미분을 사용하면 이미지의 확대나 축소에 상관없이 하나의 검출기준에 의하여 에지가 확인되는 것을 알 수 있다.

2. 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 알고리즘

2.1 에지 검출 기준

에지 픽셀들은 다른 영역들 사이에 놓여있는 경계 점들에 대응한다. 그러므로 한 에지 점의 이웃에는 항상 각각 다른 영역에 속하는 점들을 포함한다. 2차원 이미지 픽셀은 8개의 이웃한 픽셀을 가지고 있고, 한 영역내의 픽셀은 이웃하고 있는 모든 픽셀들과 비슷한 이미지 밝기(또는 칼라 컴포넌트, color com-

ponent)를 가져야만 한다. 그러므로 어떤 픽셀이 유사성 기준(similarity criterion)에 의해 허용되는 값(가령 T 라고 하자)보다 더 큰 밝기 차이를 갖는 적어도 하나의 이웃하는 픽셀을 가지면 그 픽셀은 에지 점이 된다. 즉, 에지 점은 적어도 하나의 이웃한 픽셀과의 사이에서 이미지 밝기의 두드러진 변화를 보이며 그것은 이미지 밝기의 불연속성과 연관된다. 자연수 집합 N 에 대하여 $i, j \in N$ 인 (i, j) 는 픽셀 유닛으로 디지털화된 직교 좌표이다. 이미지 함수는 $f : N \times N \rightarrow G$ 의 사상(mapping)으로 정의되는데, 여기서 $f(i, j) \in G$ 는 좌표가 (i, j) , $1 \leq i \leq W$, $1 \leq j \leq H$ 인 픽셀의 그레이 스케일 밝기이고, $H, W \in N$ 인 H 와 W 는 디지털화된 이미지 f 의 높이와 폭을 각각 나타내게 된다. 만약 그레이 스케일이 l 개의 레벨에 의해 분류된다면, 가장 어두운 단계인 0에서 가장 밝은 단계인 $l-1$ 로 구성된 그레이 레벨 $G = \{0, 1, \dots, l-1\}$ 로 이미지의 밝기가 표시된다.

본 논문에서는 픽셀 위치 벡터(pixel position vector) $p = (i, j)$ 를 소개하고 또한 8개의 방향 벡터를 다음과 같이 정의한다.

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

또한, 이들 벡터를 이용하여 픽셀공간의 p 에서 함수 F 의 방향 미분을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} D_{\theta} F(p) &\equiv F(p+u_{\theta}) - F(p) \\ &= -D_{-\theta} F(p+u_{\theta}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 θ 는 (1)의 정의에서 $u_{\pm\theta} = \pm u_{\theta}$ 인 p 에 이웃한 픽셀의 8 방향을 나타낸다. D_{θ} 를 이미지 함수 f 에 적용하면, 이미지의 경계 특징들(boundary features)을 결정하기 위해 사용될 수 있는 그레이 레벨의 방향 미분(DDGL)

$$v_{\theta}(p) \equiv D_{\theta} f(p) = f(p+u_{\theta}) - f(p) \quad (3)$$

을 얻을 수 있다. 에지 픽셀은 그것과 이웃한 픽셀들 중 최소한 하나와의 그레이 레벨 차이가 어떤 문턱값 T 보다 크기 때문에, 다음 기준에 의해 에지 픽셀을 결정할 수 있다.

(EC 1) 어떤 픽셀 p 에서 그레이 레벨의 방향미분들 중 하나의 절대값이 T 보다 더 크다. 즉, $|v_{\theta}(p)| \geq T$ 인 어떤 θ 가 존재한다.

p 가 $|v_\theta(p)| \geq T$ 을 만족하는 에지 픽셀이라면, $v_\theta(p) = -v_{-\theta}(p + u_\theta)$ 이므로 $p + u_\theta$ 역시 동일한 물체의 에지 특징(feature)을 나타내는 에지 픽셀이 될 수 있다. 기준 (EC 1)에 의해 검출된 에지 픽셀들은 점이나 선과 같은 에지 특징들을 이루기 위해 모여지거나 연결된다. $v_\theta(p)$ 는 픽셀공간의 가장 기본적인 국소적 미분연산자로서, 에지의 특성을 강조하는 여러 가지 에지검출 마스크들을 구성하고 에지의 특성들을 반영하는 기본 요소이다. 그러므로 다른 특별한 마스크(mask)를 사용하지 않더라도 이러한 기준 하나만 적용함으로써 에지 특성들을 모두 확인할 수 있다는 것을 쉽게 알 수 있다.

실제 이미지에서 에지는 광학적 조건, 샘플링 비율 그리고 이미지 인지의 다른 불완전성 등 때문에 희미해져서 램프(ramp) 모양의 프로파일을 가진다. 그러나 앞의 기준은 다양하게 변하는 그레이 레벨을 가진 램프 에지를 발견하지 못할 수도 있다. 이러한 램프 에지를 가우시언 모델로 표시하면, 에지 시그널은 배경 물체 시그널에 가우시언의 적분을 더함으로써 나타난다. 에지에 수직인 방향에서의 방향 미분은, 그 절대값이 기울기(gradient)의 크기와 같은데, 에지 수직 방향의 길이 파라미터 q_n 을 이용하면 템플릿의 함수적 형태가

$$\partial_n f \equiv v_n(q_n) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{q_n^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

로 표현된다. 여기에서 진폭(amplitude) A 는 에지에 의해 분리된 두 영역사이의 밝기변화의 크기와 부호를 나타내며, 표준 편차 σ 는 에지 시그널의 경사(slope), 즉 에지의 날카로움 또는 폭을 나타낸다. 이 때 에지에 수직인 방향으로부터 각도가 ϕ 인 방향에 대하여 방향 미분의 템플릿 함수는

$$\begin{aligned} \partial_\phi f &\equiv v_\phi(q_\phi) = (\cos\phi) \partial_n f \\ &\equiv \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} \exp\left(-\frac{q_\phi^2}{2\sigma_\phi^2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다. 여기에서 $\sigma_\phi \equiv \frac{\sigma}{\cos\phi}$ 와 $q_\phi \equiv \frac{q_n}{\cos\phi}$ 는 이 방향에 대한 표준편차와 길이 파라미터가 된다. 또한, $|v_\phi(q_\phi)| = |(\cos\phi) v_n(q_n)| \leq |v_n(q_n)|$ 이기 때문에, 어떤 θ 에 대한 기준 (EC 1)의 조건 $|v_\theta(p)| \geq T$ 은

$$|v_n(p)| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \geq T \quad (6)$$

로 전환될 수 있다. 여기에서 $|v_n(p)|$ 은 에지 수직 방향에서의 방향 미분의 절대값이며, 이미지 밝기의 기울기(gradient)의 크기 $\sqrt{G_x^2 + G_y^2}$ 와 같다. 그러므로 기준 (EC 1)은 에지를 특징짓는 시그널 속성으로서 기울기의 크기를 사용하는 기존의 에지 검출 알고리즘의 기준과 동등한 결과를 준다. 템플릿 함수 (4)에 의해 표현되는 램프 에지에 대해 조건 (6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|v_n(0)| = \frac{|A|}{\sqrt{2\pi}\sigma} \geq T(\sigma) \quad (7)$$

여기에서, 문턱값 T 는 에지 폭 또는 번짐과 무관하게 $|A| \geq T_0$ 인 에지 시그널을 검출하려면 $T(\sigma) = T_0/(\sqrt{2\pi}\sigma)$ 와 같이 σ 에 의해 표현되는 에지 폭에 대한 길이 스케일로 파라미터화 되어야 함에 주목하자. 즉, $|A| \geq T_0$ 에 해당하는 이미지 밝기의 두드러진 변화는 에지 폭에 따라서 에지 검출 파라미터를 조정함으로써 탐지될 수 있다고 할 수 있다. 예를 들어 κ 배 만큼 이미지가 확대되거나 에지 폭이 기준보다 큰 경우에, $\sigma \rightarrow \kappa\sigma$ 로 되고 동일한 밝기 변화를 에지로 검출하려면 $T(\sigma) \rightarrow T(\kappa\sigma)$ 로 조정하여야 한다. 이때 에지 검출 파라미터를 $T(\sigma)$ 로 고정시키면 $|A| \geq \kappa T_0$ 인 에지들만 검출되게 된다.

각각의 에지의 폭에 상응하는 에지 검출 파라미터의 조정 없이 램프에지를 검출하기 위하여 국소적 미분연산자인 DDGL $v_\theta(p)$ 을 수정하여 그레이 레벨의 적응성 방향 미분(adaptive directional derivative of gray level, ADDGL)을 다음과 같이 정의한다:

$$\Delta_\theta(p) \equiv [1 - \delta_{s_\theta(p), s_\theta(p-u_\theta)}] \sum_{k=0}^{\infty} \delta_{k+1, N_\theta(p,k)} v_\theta(p + ku_\theta) \quad (8)$$

여기에서

$$s_\theta(p) = \begin{cases} +1, & v_\theta(p) > 0 \\ 0, & v_\theta(p) = 0 \\ -1, & v_\theta(p) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$N_\theta(p,k) \equiv \sum_{n=0}^k |s_\theta(p + \nu_\theta)| \delta_{s_\theta(p), s_\theta(p + \nu_\theta)} \quad (10)$$

그리고, $\delta(\dots)$ 은 Kronecker delta이다. 이러한 정의에 의해, $\Delta_\theta(p)$ 은 p 가 f 의 θ 방향 프로파일에서

엄격하게 단조적인(strictly monotonic) 구간의 시작 픽셀일 때만 0이 아닌 값을 가진다. 즉, 만약 f 가 θ 방향을 따라서 p 점의 $f(p)$ 에서 시작하여 $p+wu_\theta$ 점의 $f(p+wu_\theta)$ 까지 엄격하게 단조 증가하거나 감소(순증가하거나 순감소)한다면,

$$\Delta_\theta(p) = \sum_{n=0}^{w-1} v_\theta(p+\nu_\theta) = f(p+wu_\theta) - f(p) \quad (11)$$

이 된다.

DDGL의 짝을 이루는 성질 $v_\theta(p+\nu_\theta) = -v_{-\theta}(p+(n+1)u_\theta)$ 을 적용하면

$$\begin{aligned} \Delta_\theta(p) &= \sum_{n=0}^{w-1} v_{-\theta}(p+wu_\theta + (w-1-n)u_{-\theta}) \\ &= -\sum_{n=0}^{w-1} v_{-\theta}(p+wu_\theta + \nu_{-\theta}) \\ &= -(f(p+wu_\theta + wu_{-\theta}) - f(p+wu_\theta)) \\ &= -\Delta_{-\theta}(p+wu_\theta) \end{aligned} \quad (12)$$

으로 되고, $0 < h < w$ 이면 $\Delta_{\pm\theta}(p+hu_\theta) = 0$ 이다. 여기에서 ADDGL가 고정된 θ 방향에서 밝기의 엄격하게 단조로운 변화와 해당 구간 $[p, p+wu_\theta]$ 를 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 한 에지를 특징짓는 시그널 속성으로서 국소적인 기울기의 크기 즉, 에지 수직 방향에서 DDGL의 절대값 대신에 비국소적인 ADDGL을 사용한다. (5)를 만족하는 램프 에지 템플릿에 대해, 에지 수직 방향으로부터 각도 ϕ 인 고정된 방향으로 엄격하게 단조적인 램프 에지의 시작 점 p 에서 ADDGL의 값은

$$\Delta_\sigma(p) = \begin{cases} A, & \phi \neq \frac{\pi}{2} \\ 0, & \phi = \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (13)$$

으로 계산된다. σ 와는 무관하며 비국소적으로 정의되는 ADDGL의 특징이다. 즉, $\Delta_\sigma(p)$ 는 만약 방향이 에지의 접선과 평행($\phi = \pi/2$)이 아니라면 에지와 연관된 그레이 레벨의 두드러진 변화 A 를 에지 폭과 상관없이 검출할 수 있다. 그러므로 우리는 원칙적으로 $\Delta_\sigma(p)$ 가 θ 방향에 평행인 에지를 제외한 램프 에지들을 발견할 수 있음을 알 수 있다. 또한, θ 방향에 평행인 에지는 또 다른 방향 θ' 에 대한 $\Delta_{\theta'}(p)$ 에 의해 탐지된다. 이러한 성질을 이용하여 램프 에지들을

검출하기 위해서 Δ_θ 에 의한 새로운 기준을 제시한다:

(EC 2) 어떤 픽셀 p 에서 그레이 레벨의 적응성 방향 미분 중 하나의 절대값이 T 보다 더 크다. 즉, $|\Delta_\theta(p)| \geq T$ 인 어떤 θ 가 존재한다.

이 기준을 적용하면, $|f(p+wu_\theta) - f(p)| \geq T$ 을 만족하는 $\pm\theta$ 방향의 엄격하게 단조적인 그레이 레벨 변화의 지역적 최대 길이 구간 $[p, p+wu_\theta]$ 은 램프 에지의 폭에 해당하는 것으로 나타난다. 두 개의 평행하지 않은 방향 θ_1 과 θ_2 의 ADDGL인 $\Delta_{\theta_1}(p)$ 와 $\Delta_{\theta_2}(p)$ 이 임의의 방향의 에지를 발견할 수 있기 때문에, 실제 적용에 있어서는 두 개의 고정된 방향 $\theta_1 = x$ 와 $\theta_2 = y$ 를 사용할 수 있다. 본 논문에서는 이상에서의 내용을 정리하여 에지 검출 전략에 관한 절차를 다음과 같이 제시한다.

- P1. x 방향을 따라 이미지를 스캔하여 밝기의 편차 $|f(p+w_xu_x) - f(p)|$ 즉, $|\Delta_x(p)|$ 이 기준 (EC 2)를 만족하는 엄격하게 단조적인 구간 $[p, p+w_xu_x]$ 를 찾는다.
- P2. 구간 $[p, p+w_xu_x]$ 내에 한 개의 에지 픽셀의 위치를 결정한다.
- P3. y 방향에 대해 프로시저를 반복하여 $[q, q+w_yu_y]$ 와 같은 엄격하게 단조적인 구간을 찾고 그 사이에 에지 픽셀을 위치시킨다.

DDGL과 같은 국소적 미분연산자를 사용하는 기존의 에지 검출에서와는 달리, 에지 폭 또는 번짐과 무관하게 $|A| \geq T_0$ 인 에지 시그널을 검출하기 위하여, ADDGL에 의한 에지 검출 기준 (EC 2)의 문턱값은 에지 폭의 크기에 따라 조정될 필요 없이 $T = T_0$ 인 하나의 값으로 고정될 수 있다. 따라서 원 이미지의 확대 또는 축소에 따른 에지 폭의 변화에 무관하게 에지를 검출할 수 있으며, 확대나 축소에 따른 변화에 상관없이 이미지의 윤곽을 찾아낼 수 있다.

2.2. 에지 픽셀 위치 결정 과정과 에지 검출 알고리즘

앞 절에서 에지의 존재를 어떻게 검증하는지에 대해 설명하였다. 그러나 에지 검출 알고리즘을 완성하기 위해서는, 위의 에지 검출 전략의 P2와 P3에서 서술한 것처럼 에지 픽셀의 위치를 기준 (EC 2)을 만족하는 엄격하게 단조적인 밝기의 에지 폭 구간 내에서 위치시키는 방법이 필요하다. 고정된 θ 방향

의 이러한 구간 $[p, p+wu_\theta]$ 내에서 하나의 에지 픽셀을 위치시키기 위해, DDGL $v_\theta(p+ku_\theta)$ ($0 \leq k < w$)의 값을 조사하고 구간 내에서 최대값을 가지는 픽셀을 구하기 위해 비최대값(non-maximum values)을 가지는 픽셀들을 제외한다. 만약 $k=k_M$ 인 픽셀에서 유일한 최대값 $V_M \equiv \max\{v_\theta(p+k_i u_\theta)\}$ 을 갖는다면, 에지 픽셀은 $p+k_M u_\theta$ 에 위치된다. 일반적으로 이 구간 내에서 N 개의 픽셀이 최대값을 가지면, 에지 점은 최대값 $V_M = |v_\theta(p+k_i u_\theta)|$ ($i=1, 2, \dots, N$)의 중심인

$$p+k_M u_\theta \equiv \frac{\sum_{i=1}^N V_M(p+k_i u_\theta)}{\sum_{i=1}^N V_M} = p + \frac{\sum_{i=1}^N k_i}{N} u_\theta \quad (14)$$

으로 결정한다. 픽셀 공간에서, k_M 은 정수 값 $(k_M) \equiv \delta \left[\sum_{i=1}^N k_i / N \right]$ 을 얻기 위해 반올림하고, 에지 픽셀은 $p+(k_M)u_\theta$ 으로 결정되며

$$p+(k_M)u_\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p+k_i u_\theta) - \left[\frac{\sum_{i=1}^N k_i}{N} - (k_M) \right] u_\theta \quad (15)$$

으로 나타낼 수 있다. 이것을 θ 방향에서의 최대 방향미분의 국소 중심(the local center of maximum directional derivative, LCMDD)으로 부른다. $p=p_I$ 에서 시작하여 $p=p_F$ 에서 끝나는 θ 방향의 직선 상의 순증가 구간에 대하여, 하나의 에지 픽셀의 위치를 LCMDD로 결정하는 순증가 에지 검출(strictly increasing edge detection, SIED) 프로시저는 다음과 같이 기술된다.

Procedure SIED:

1. θ 방향으로 순서에 따라 픽셀을 스캔하여 $v_\theta(p)$ 의 값이 $v_\theta(p) > 0$ 이고 $p \neq p_F$ 인 연속되는 픽셀 p 들에 대하여,
 - 1-1. 처음에 $\text{Max}v = v_\theta(p)$, $\sum P = p$, $N = 1$ 그리고 $\sum k = 0$ 을 입력한다.
 - 1-2. $\Delta = \sum_p v_\theta(p)$ 을 계산한다.
 - 1-3. k 의 값을 얻기 위해 스캔된 픽셀들의 수를 센다.

1-4. $v_\theta(p) > \text{Max}v$ 이면, $\text{Max}v$ 와 $\sum P$ 각각에 새로운 값 $v_\theta(p)$ 와 p 를 할당한다.

1-5. $v_\theta(p) = \text{Max}v$ 이면, p 와 k 를 각각 $\sum P$ 와 $\sum k$ 에 더하여 새로운 값으로 지정하고 N 을 1 증가시킨다.

2. $v_\theta(p) \leq 0$ 또는 $p=p_F$ 일 때, 만약 $\Delta \geq T$ 이라면,

2-1. $(k_M) \equiv \delta \left[\sum k / N \right]$ 을 계산한다.

2-2. 에지 픽셀로서 LCMDD인

$$\frac{\sum P}{N} - \left[\frac{\sum k}{N} - (k_M) \right] u_\theta$$

을 결정한다.

순감소 구간에 대해서는 순감소 에지 검출(strictly decreasing edge detection, SDED) 프로시저를 적용한다. 이는 SIED 프로시저에서 $v_\theta(p)$ 을 $-v_\theta(p)$ 로 대치함으로써 쉽게 얻을 수 있다. θ 방향의 한 직선 전체를 따라 프로파일을 스캐닝하면서 에지 픽셀들을 탐색하는 프로시저를 완성하기 위해서, $v_\theta(p) > 0$ 와 $v_\theta(p) < 0$ 인 픽셀들에 대한 각각의 SIED, SDED 프로시저들과 $v_\theta(p) = 0$ 인 픽셀에 대해 어떤 결과도 출력하지 않는 바이패스 프로시저가 서브프로시저로서 결합한다. 그 결과로 구성되는 그림 1의 EDSLS

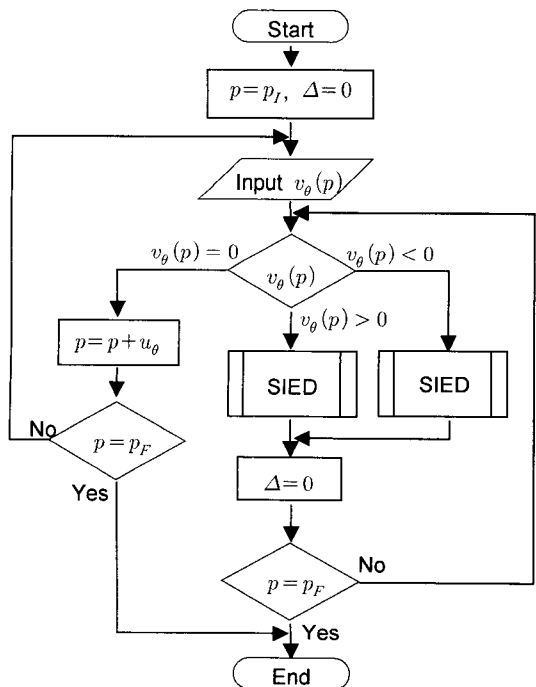


그림 1. $p=p_I$ 에서 시작하여 $p=p_F$ 에서 끝나는 θ 방향의 직선에 대한 EDSLS 프로시저

(edge detection from single line scan) 프로시저는 θ 방향의 단일 라인을 스캔하는 과정에서 SIED 또는 SDED 프로시저로부터 LCMD에 대응하는 에지 픽셀들을 결정할 수 있다.

이미지로부터 완전한 에지 검출을 하기 위해서 EDLSL 프로시저를 x 와 y 방향의 모든 직선형 픽셀 시퀀스에 적용한다. 즉, 이미지의 완전한 에지 검출 알고리즘은 주요 방향인 $\theta=x$ 와 y 의 모든 완전한 직선에 대하여 적용되는 EDLSL 프로시저의 통합에 의해 구성된다.

3. 알고리즘의 적용 및 분석

3.1 알고리즘의 적용 및 비교

실제 영상에 제안된 알고리즘을 적용한 예를 보여 주기 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 2는 입력 영상과 제안된 알고리즘 및 Canny 알고리즘을 적용한 결과들을 보여준다. (a)는 원 영상을, (b)는 5×5 가우시안 스무딩으로 처리한 것이다. (c)는 원 영상에 대하여 제안한 방법으로 문턱 값 $T=30$ 을 사용하여 에지를 추출한 결과이고 (d)는 (b)의 전처리 영상에 대하여 제안한 방법에 의해 에지를 추출한 결과를 보여준다. 마지막으로 (e)와 (f)는 각각 같은 입력 영상 (a)와 (b)에 대하여 Canny 알고리즘의 에지 검출 방법을 이용하여 영상을 추출한 결과이다. 여기서는 Sobel 마스크를 이용하였고 제안한 방법의 문턱 값 $T=30$ 에 상응하도록 이력문턱의 최소값을 120으로 사용하였다.

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

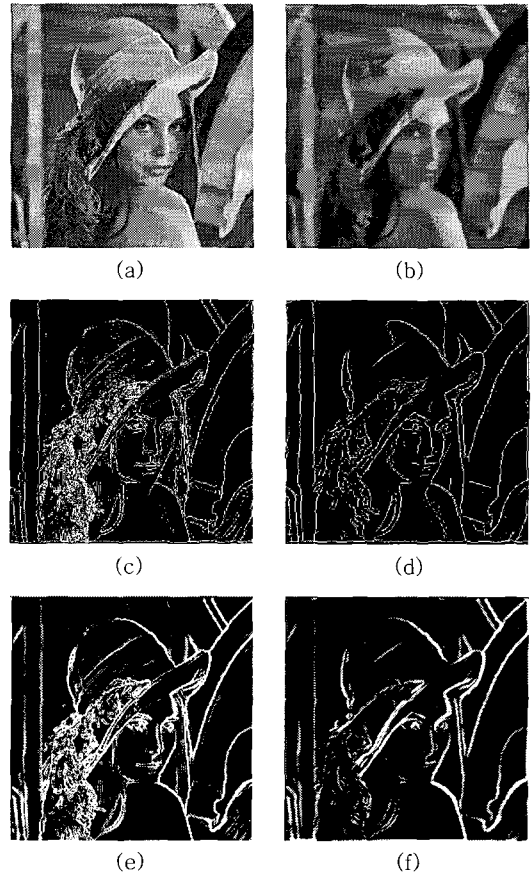


그림 2. 레나 이미지에 대한 제안된 알고리즘과 Canny 방법에 의한 결과 비교

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.

3.2 확대된 영상에 대한 에지 추출

본 논문에서 제안한 알고리즘의 특징은 에지 폭의 변화에 상관없이 일정한 하나의 파라미터만으로 에지를 검출해낼 수 있다는 것이다. 이것은 이미지의 확대에 의하여 에지 폭이 증가하더라도 동일한 에지 검출 조건으로 정확한 이미지의 윤곽을 추출할 수 있다는 것이다. 이러한 성질을 보여주기 위하여 그림 2 (a)의 이미지를 4배 확대하여 얻은 이미지에 동일한 에지 검출 조건을 적용하였다. 그림 3은 확대된 이미지의 부분들과 동일한 에지 검출 조건을 적용한 결과들을 보여주고 있다. (a)와 (b)는 확대된 이미지

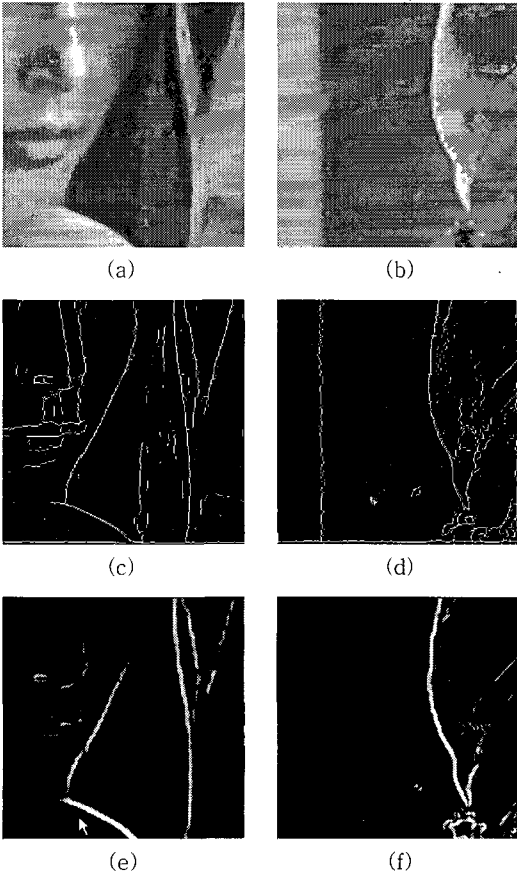


그림 3. 확대된 레나 이미지에 대한 에지 추출의 결과 비교

의 두 부분을 나타내고 (c)와 (d)는 이들 각각의 확대된 부분에 제안한 알고리즘을 적용한 결과이다. 그리고 (e)와 (f)는 각각 Canny 알고리즘을 적용한 것이다. (c)와 (d)의 결과에서 나타나듯이 제안된 알고리즘을 사용하면 동일한 문턱 값 $T=30$ 을 적용하여도 확대된 이미지의 윤곽들이 변함없이 추출됨을 알 수 있다. 그러나 마찬가지로 이력문턱의 최소값을 120으로 하여 Canny 알고리즘을 적용한 (e)와 (f)에서는 이미지의 주요 윤곽들이 나타나지 않아서 에지 검출이 적절하지 않음을 알 수 있다.

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 확

장된 방향 미분을 얻기 위해 픽셀 공간에서의 방향 미분을 일반화하였다.

제안된 알고리즘에서 비선형인 중간값 필터링을 사용하면 보통의 선형 필터링에 비하여 계산 부담이 일반적으로 더 크지만 작은 스펙클 노이즈에 대하여는 필터의 길이를 아주 작게 잡을 수 있으므로 실제로 계산 부담은 크지 않다. 더구나 제안된 방법에서는 에지의 존재를 확인하기 위해 두 방향에 대한 ADDGL만을 조사하므로 기울기의 크기를 계산해야 하는 보통의 에지 검출기에 비하여 훨씬 쉽게 결과를 얻을 수 있다.

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 부분적으로는 전체적으로는 이미지의 확대나 번짐에 의하여 에지 폭의 변화가 발생하더라도, 방향미분을 비국소적으로 확장한 적용성 방향미분을 활용함으로써, 단일한 에지 검출 파라미터에 의하여 정확한 이미지의 윤곽을 추출해낼 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 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. 1586-1592, 1996.
- [8] E. M. Kim and C. S. Pakh, "Strict Monotone of an Edge Intensity Profile and a New Edge

Detection Algorithm," *LNCS 2690: Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, pp. 975-982, 2003.



김 은 미

1991년 전북대학교 전산통계학과 졸업(이학사)

1993년 전북대학교 전산통계학과 대학원 졸업(이학석사)

1997년 일본 오사카대학 정보공학과 졸업(공학박사)

현재 호원대학교 컴퓨터게임학

부 부교수

관심분야: 소프트웨어품질평가, 객체지향시스템, 영상처리