

# 적응성 방향 미분에 의한 에지 검출기의 성능 평가\*

김은미\*\* · 박철수\*\*\*

## 요 약

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 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서는 이미 제안한 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 시스템을 현재 에지 검출을 위해 보편적으로 사용되고 있는 Canny 알고리즘과의 성능평가를 실험을 통해 보여준다.

## Performance Evaluation of Edge Detection System Based on Adaptive Directional Derivative

Eun Mi Kim\*\* · Cherl Soo Park\*\*\*

### 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, Performance Evaluation

---

\* 본 논문은 2007년도 호원대학교 교내학술연구조성비에 의해 연구되었음.

\*\* 호원대학교 컴퓨터&게임학과 교수

\*\*\* 대불대학교 교양학부 교수

## 1. 서 론

영상에서 에지란 픽셀의 밝기가 변하는 영역의 경계에 해당하는 것으로 물체에 대한 위치, 크기, 텍스처 등에 대한 정보를 포함하고 있다. 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[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 조정해야 한다. 그러나 적응성 방향 미분을 활용하면 에지 폭 등과 같은 부수적인 파라미터에 의한 부분적인 재조정 없이 이미지 밝기의 두드러진 변화영역이 존재하는지를 검증할 수 있다.

본 논문에서는 본 저자가 이미 제안한 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 시스템을 개발하고 현재 에지 검출을 위해 보편적으로 사용되고 있는 알고리즘들과의 성능평가를 통해 제안한 알고리즘이 좀 더 이미지에서의 경계를 정확하고 효율적으로 구분할 수 있으며, 성능 우수함을 실험을 통해 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 관련연구에 대해 간략히 알아보고 제 3장에서는 구현한 에지 검출 시스템을 이용한 성능평가 결과에 대하여 논의한다. 마지막으로 제 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 알고리즘

본 장에서는 이미 제안한 적응성 방향 미분을 이용한 에지 검출 알고리즘에 대해 소개한다. 램프

프 에지를 적절하게 검출하기 위하여 대응하는 1차원적 밝기 분포에 대하여 적응성 방향 미분을 활용한다. 이미지의 픽셀들은 가령  $\mathbf{p}$ 와 같은 2-D 위치 벡터로서 표시된다. 그러면 임의의  $\theta$ -방향으로 픽셀  $\mathbf{p}$ 를 가로지르는 1-D 단면의 밝기 분포는 방향벡터  $\mathbf{u}_\theta$ 에 의하여 주어지는 선형 시퀀스  $\{\mathbf{p} + q\mathbf{u}_\theta; q \in Z\}$ 의 한 부분에서 정의되며 그레이 레벨 값을 갖는 함수인  $f(\mathbf{p} + q\mathbf{u}_\theta)$ 로 기술된다. 주요 방향 벡터  $\mathbf{u}_\theta$ 는 식 (1)과 같이 정의된다.

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

밝기 분포에 대한  $\theta$  방향의 미분은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$v_\theta(\mathbf{p}) \equiv D_\theta f(\mathbf{p}) = f(\mathbf{p} + \mathbf{u}_\theta) - f(\mathbf{p}), \quad (2)$$

이미지의 픽셀 공간에서  $q \in Z$ 인  $\theta$ -방향의 1-D 밝기 분포  $f(\mathbf{p} + q\mathbf{u}_\theta)$ 는 엄격하게 단조적인 밝기 변화 구간이나 상수 밝기 구간들의 연쇄로 나뉘므로, 이렇게 나뉜 각각의 구간 중의 하나의 구간  $0 < q < w$ 는 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$[\mathbf{p}, \mathbf{p} + w\mathbf{u}_\theta] \equiv \{\mathbf{p} + q\mathbf{u}_\theta; q = 0, 1, \dots, w\} \quad (3)$$

미분을 비국소적으로 확장하여 각각의 픽셀에 대응시키는 ADD는 이 구간의 마지막 픽셀인  $\mathbf{p} + w\mathbf{u}_\theta$ 를 제외한 나머지 픽셀에서 식 (4)로 정의된다.

$$\Delta_\theta(\mathbf{p} + q\mathbf{u}_\theta) = \begin{cases} \sum_{k=0}^{w-1} v_\theta(\mathbf{p} + k\mathbf{u}_\theta), & q = 0 \\ 0, & q = 1, 2, \dots, w-1 \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)의 정의에 의하여  $\Delta_\theta(\mathbf{p})$ 는  $\mathbf{p}$ 가  $\theta$ -방향에서  $f$ 의 값이 엄격하게 단조적인 구간이 시작되는 픽셀일 경우만 '0'이 아닌 값을 갖는다. 즉, 만일  $f$ 가  $\mathbf{p}$ 에서  $\theta$ -방향으로 엄격하게 단조 증가 또는 감소를 시작해서  $\mathbf{p} + w\mathbf{u}_\theta$ 에서 끝난다면  $\Delta_\theta(\mathbf{p})$ 는 식 (5)와 된다.

$$\Delta_{\theta}(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^{w-1} v_{\theta}(\mathbf{p} + k\mathbf{u}_{\theta}) = f(\mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}) - f(\mathbf{p}) \equiv A \quad (5)$$

마지막 픽셀인  $\mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}$ 은 이어지는 다음 구간의 시작 픽셀이 되므로 다음 구간의 시작 픽셀에 대한 ADD의 값이 지정된다. 엄격하게 단조적인 구간인  $[\mathbf{p}, \mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}]$ 에서  $0 < q < w$ 인  $q$ 에 대하여  $v_{\theta}(\mathbf{p} + q\mathbf{u}_{\theta}) = -v_{-\theta}(\mathbf{p} + (q+1)\mathbf{u}_{\theta})$ 인 성질은 밝기 변화의 전체량인  $\Delta_{\theta}(\mathbf{p}) = -\Delta_{-\theta}(\mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}) = A$ 와  $\Delta_{\theta}(\mathbf{p} + q\mathbf{u}_{\theta}) = 0$ 인 결과로 나타난다. 그러므로 ADD인  $\Delta_{\theta}$ 가 주어진 램프 에지에 대하여, 정해진  $\theta$ -방향의 엄격하게 단조적인 밝기 변화의 구간  $[\mathbf{p}, \mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}]$ 와 함께, 그에 따른 밝기 변화의 폭을 제시함을 알 수 있다.

따라서  $\Delta_{\theta}$ 에 대하여 일정한 임계값  $T$ 를 부여하면 램프 에지를 결정하는 기준(Criterion for Ramp Edges ; CRE)을 구할 수 있다. CRE는 주어진 픽셀  $\mathbf{p}$ 에서의 그레이 레벨의 적응성 방향 미분 중 하나의 절대 값이 임계값  $T$ 보다 크거나 같다. 즉, 적어도 하나의  $\theta$ -방향에 대하여  $|\Delta_{\theta}(\mathbf{p})| \geq T$ .

이미지 내에서 밝기 변화  $A$ 에 의해 두 부분을 경계 짓는 램프 에지에 대하여, 에지의 법선 방향으로부터  $\phi$ 의 각도를 이루는 방향을 ' $\phi$ -방향'이라고 하자. 또한, 같은 방향의 방향 벡터와 램프 폭을 각각  $\mathbf{u}_{\phi}$ 와  $w_{\phi}$ 라고 하면,  $\mathbf{p}$ 에서 시작되는  $\phi$ -방향의 램프 단면은 구간  $[\mathbf{p}, \mathbf{p} + w_{\phi}\mathbf{u}_{\phi}]$ 에 걸친 엄격하게 단조적인 그레이 레벨의 분포로 기술된다.  $\mathbf{u}_0$ 는 에지의 법선 방향이고  $\mathbf{u}_{\pm\pi/2}$ 는 접선 방향을 나타낸다. 만일 에지가  $\mathbf{u}_0$ 의 양의 방향으로 볼록하다면  $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$ 인 모든  $\phi$ 에 대하여  $\Delta_{\phi}(\mathbf{p}) = A$ 가 된다. 만일 에지가  $\mathbf{u}_0$ 의 양의 방향으로 오목하다면  $\phi=0$ 에 근처의 한정된 범위의 각도 내에서만  $\Delta_{\phi}(\mathbf{p}) = A$ 가 되고, 분명히  $\phi = \pm\pi/2$ 에서는  $\Delta_{\phi}(\mathbf{p}) = 0$ 이 된다. 그러므로 램프 에지에 의한 밝기 변화를 ADD인  $\Delta_{\theta}$ 의 값을 이용하여 효과적으로 검출하기 위하여 적어도 서로 직각을 이루는 고정된 두 방향  $\theta_1$ 과  $\theta_2$ 에 대한 ADD인  $\Delta_{\theta_1}$ 과  $\Delta_{\theta_2}$

이 필요하다.

$\theta$ -방향의 그레이 레벨의 엄격하게 단조적인 분포 구간 중에서 국소적으로 최대 길이를 갖는 (즉, 자신을 포함하는 엄격하게 단조적인 구간이 없는)  $[\mathbf{p}, \mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}]$ 가  $|f(\mathbf{p} + w\mathbf{u}_{\theta}) - f(\mathbf{p})| \geq T$ 을 만족한다면, 위의 (CRE) 기준에 따라 에지의 램프 구간이 되고, 이 구간의  $w+1$ 개의 픽셀 중 하나가 정확한 에지 픽셀로 지정되어야한다. 모든 방향의 에지를 검출하는 것은 서로 직각인 두 방향에 대한 ADD인  $\Delta_{\theta_1}(\mathbf{p})$ 와  $\Delta_{\theta_2}(\mathbf{p})$ 를 이용하여 이루어질 수 있는데, 실제적으로  $\theta_1 = x$ 와  $\theta_2 = y$ 의 고정된 두 방향을 사용할 수 있다. 여기서 (CRE) 기준을 이용하면 에지 폭  $w$ 에 영향을 주는 공간적 흐려짐이나 크기 변화에 무관하게 에지를 검출할 수 있음을 알 수 있다.

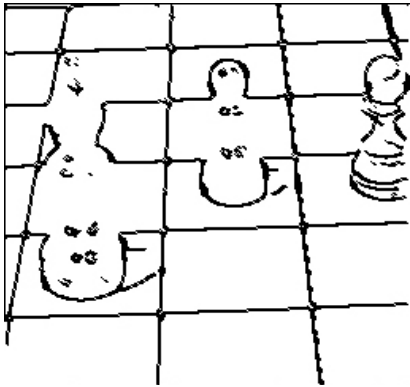
### 3. 성능평가

제안한 알고리즘을 체스 이미지에 적용하여 실험하여 보았다. 체스 이미지의 크기는 256×256이고, 256 그레이 레벨을 가진 이미지이다. (그림 3-2)과 (그림 3-4)의 결과를 보면 각각의 이미지로부터 엄격하게 단조적인 밝기 변화 구간을 Canny 알고

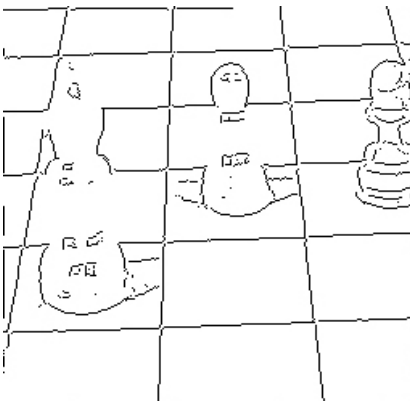


(그림 3-1) 체스 이미지

리즘보다 더 간단한 알고리즘으로 정확한 에지가 검출되었음을 알 수 있다. 또한 모든 에지 선이 단일한 픽셀의 두께를 가진 선명한 에지만을 검출할 수 있는 장점이 있다.



(그림 3-2) Canny 결과(체스)



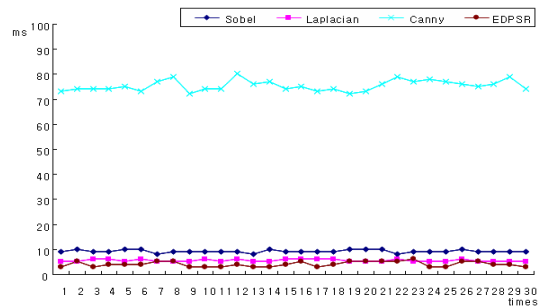
(그림 3-3) EDPSR 결과(체스)

### 3.1 처리시간 비교분석

성능평가를 위해 적응성 방향 미분에 기반을 둔 알고리즘을 이용한 에지 검출 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템은 Window를 사용하고 Visual C++로 프로그래밍 하였다.

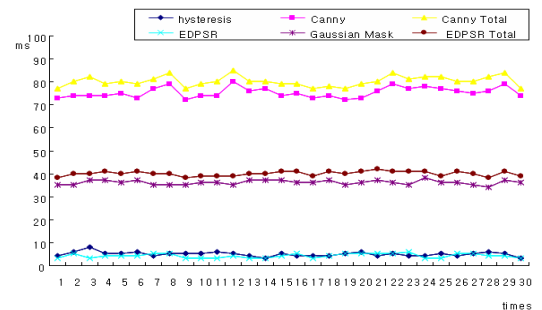
제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 구현된 프로그램에서 에지 검출 시간을 측정하였으

며, 에지의 정확도를 확인하기 위하여 MathWork사의 MATLAB 7.1을 이용하여 에지의 정확도를 측정하였다. 이미지에서 에지 검출시 소요되는 시간을 기존의 연구들과 비교하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 비교해 본다. 검출시 소요되는 시간은 시스템의 성능에 따라 가변적이기 때문에 동일한 환경에서 30회의 반복 수행을 통하여 검출 시간을 비교하였다.



(그림 3-4) 알고리즘별 검출 시간 비교

(그림 3-4)은 각각의 알고리즘의 처리시간을 비교하는 그래프이다. 알고리즘의 처리시간이란 Canny 방법의 경우는 hysteresis 시간을 제외한 것이며 제안한 알고리즘(EDPSR)의 경우는 전처리 Gaussian 마스크 처리 시간을 제외한 시간이다. EDPSR이 알고리즘의 처리시간이 가장 빠른 것을 확인할 수 있다.

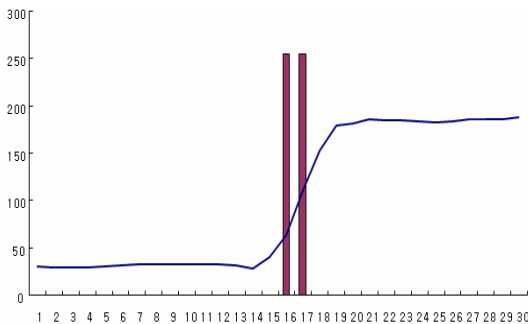


(그림 3-5) 에지 검출 시간 비교(Canny, EDPSR)

(그림 3-5)는 Canny 방법과 EDPSR 방법의 처리 시간을 세부적으로 보여준다. Canny 알고리즘의 경우는 hysteresis 시간과 Canny 알고리즘의 시간 그리고 둘의 합인 Canny Total 시간을 보여준다. EDPSR의 경우는 EDPSR을 수행하는 시간과 전처리 과정인 Gaussian 마스크 시간을 보여주며, 이들의 합을 Total 시간으로 보여준다. 즉, 본문에서 제안한 EDPSR 알고리즘은 기존의 마스크에 의한 방법에 비하여 알고리즘이 복잡하지만, Canny 알고리즘과 비교하여 보면 단순한 알고리즘으로 이미지에서 에지만을 선명하게 검출할 수 있는 장점이 있다. 또한, 기존의 마스크에 의한 방법에서 에지만을 보여주기 위하여 후처리를 수행하면 제안한 EDPSR 알고리즘보다 수행 시간이 많이 소비된다.

### 3.2 에지 픽셀 정보 비교 분석

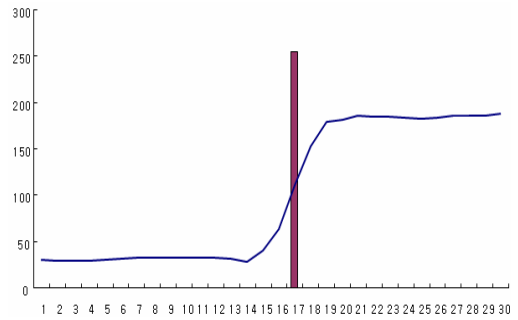
(그림 3-6)은 Canny 알고리즘에 의하여 수행하여 값의 변화를 보여주고 있다. Canny 알고리즘에 의한 결과를 보면 램프 구간에서만 에지 픽셀을 검출한다.



(그림 3-6) Canny 에지 검출 픽셀값(체스 이미지)

(그림 3-7)는 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 수행하여 픽셀의 변화를 보여주고 있다. 제안한 알고리즘으로 수행한 결과 램프 구간을 찾고 그

구간에서 유일하게 하나의 에지 픽셀을 검출하여 준다. 또한, 램프 구간의 중심에 에지 픽셀이 존재한다.



(그림 3-7) 제안한 에지 검출 픽셀값(체스 이미지)

## 4. 결 론

최적의 에지 검출 알고리즘을 만들기 위하여 다양한 에지의 폭에 적합한 최적의 에지 검출 알고리즘을 제안하였다[8]. 본 논문에서는 제안한 알고리즘을 Canny의 알고리즘과 비교·분석하여 성능을 평가하였다. 그 결과, 제안된 알고리즘에 의해 검출된 에지가 물체의 윤곽을 보다 효율적으로 추출함을 알 수 있다. 또한, 처리 속도의 경우도 기존의 알고리즘에 비해 적게 소요됨을 확인 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] W. 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", CV GIP : 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] 김은미, "적응성 방향미분에 의한 에지 검출기의 설계 및 평가", 멀티미디어학회논문지 제8권, 제10호, pp. 1329-1336, 2005.



**김은미**

1991년 전북대학교  
전산통계학과(이학사)  
1993년 전북대학교  
전산통계학과(이학석사)  
1997년 오사카대학교  
정보공학부(공학박사)

1997년~현재 호원대학교 컴퓨터&게임학과 교수



**박철수**

1986년 서울대학교  
물리학과(이학사)  
1988년 서울대학교  
물리학과(이학석사)  
1991년 서울대학교  
물리학과(이학박사)

1994년~현재 대불대학교 교수