

Potts Automata를 이용한 영상의 에지 추출

이석기*, 김석태*, 조성진**
*부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
**부경대학교 수리과학부
e-mail: setakim@pknu.ac.kr

A Potts Automata algorithm for Edge detection

Seok-Ki Lee*, Seok-Tae Kim*, Sung-Jin Cho**
*Division of Electronic, Computer and Telecommunication
Engineering, Pukyong National University
**Division of Mathematical Sciences, Pukyong National
University

요약

Edge detection is one of issues with essential importance in the area of image process. An edge in image is a boundary or contour which a significant change occurs in image intensity.

In the paper, we process edge detection algorithms which are based on Potts automata. The dynamical behavior of these automata is completely determined by Lyapunov operators for sequential and parallel update. If Potts Automata convergence to fixed points, then it can be used to image processing. From the generalized Potts automata point of view, we propose a Potts Automata technique for detecting edge. Based on the experimental results we discuss the advantage and efficiency.

I. 서론

에지는 물체와 배경의 경계이며 색이나 농도의 급격한 변화가 있는 부분이다. 영상처리에서 에지추출이 중요한 이유는 영상에서 많은 정보가 서로 다른 영역간의 경계선에 위치하며 인간의 시각 시스템이 물체를 인식하는데 있어서 윤곽선 만으로 인식이 가능하기 때문이다. 또한 영상을 에지로 표현하게 되면 형태에 관한 정보를 그대로 유지하면서 자료의 양을 줄일 수 있고 다른 영상 처리 알고리즘과 쉽게 결합할 수 있는 장점이 있다[1,2].

기존의 에지 검출 기법으로는 그래디언트(Gradient)에 의한 방법, 라플라시안(Laplacian)에 의한 방법, 가우시안(Gaussian)을 기반으로 하는 스페이셜 필터(spatial filter) 형태의 에지추출 기법이 제시되었다[3,4]. 그러나 기존의 기법들은 잡음에 약하고, 전 영역에 동일한 마스크를 적용하므로 영상의

국소적인 특징에 유연한 대처가 어려운 단점이 있다. 이러한 기존의 단점을 보완하기 위한 새로운 추출 기법으로 Cellular Automata 기법이 각광을 받고 있다[5].

본 논문에서는 Potts Automata를 이용한 영상의 에지추출법을 제안한다. 제안된 방법은 에지 보존을 위해 이웃 픽셀들의 관계를 이용한 국부적인 친이 규칙을 사용한다. 각 친이 규칙은 이웃 픽셀과 관계를 정의한 것으로 대상 영상에 대해 국부적으로 밝기값의 차이를 증가 및 감소시켜 에지를 강조하여 추출하는 방법이다.

II장에서는 영상의 에지추출을 위한 알고리즘을 제안하며, III장에서는 알고리즘을 이용한 실험 영상을 보이고 결과를 고찰한다.

II. 에지추출

2.1 Potts Automata

Potts Automata는 규칙적으로 상호 연결된 많은 셀들로 구성된 유한 상태 머신(finite state machine)이다. Potts Automata는 시간 및 공간, 상태가 모두 이산적인 동적 시스템으로, 각 셀들은 상호 연결된 이웃의 현재 상태와 국부적인 규칙에 따라 새로운 상태로 천이된다. 천이 규칙은 자신의 현재 상태와 주변 이웃의 상태에 의해 결정된다. 따라서 Potts Automata는 그 생성과 성장과정을 결정짓는 규칙으로 표현되며, 각 규칙에 따라 지속적인 성장과 번식, 죽음, 동일 개체의 반복 등의 특성을 지닌다. 특히 Potts Automata는 어떤 특정한 형태로 고정되어 변하지 않고 수렴하는 특성을 가진다[6,7,8].

본 논문에서는 셀룰러 오토마타의 주변 이웃과의 관계에 의해 천이하며, 수렴하는 특성을 가지는 Potts automata를 이용해서 영상의 에지를 추출한다. 일반적인 Potts-Hamiltonians은 식(1)로 표현된다

$$H(x) = -\frac{1}{2} \sum_{(i,j) \in V} \delta(x_i, x_j) + \sum_{i \in I} \delta^*(b_i, x_i) \quad (1)$$

$x_i \in Q$ and $b_i \in R$

여기서 Q 는 상태의 집합을 나타낸다. V 는 이웃으로 다음의 식으로 나타낸다.

$$V_i = \{j \in I : (i, j) \in V\}$$

i 지점에서의 potential 은 식(2)와 같이 나타낸다:

$$H_i(x) = -\sum_{j \in V_i} \delta(x_i, x_j) + \delta^*(b_i, x_i) \quad (2)$$

Potts 모델은 sequential, parallel 두가지의 경우가 있다. sequential한 경우에는 고정된 한점으로 수렴되는 간단한 동적 특성을 나타낸다. parallel한 경우에는 고정점 혹은 2주기를 가지는 복잡한 특성을 가지게 된다. 식(1)이 Lyapunov functional[9]을 만족하면 수렴한다.

2.2 에지 추출 알고리즘 제안

제안하는 천이 규칙은 다음과 같다

$$f_i(x) = \begin{cases} x_i - 1 & \text{if } |\{j \in V_i \mid x_j < x_i\}| > \frac{|V_i|}{2} \\ x_i + 1 & \text{if } |\{j \in V_i \mid x_j > x_i\}| > \frac{|V_i|}{2} \\ x_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

천이규칙은 식(1)에 대해서 $\delta(a, b) = \min(a, b)$,

$\delta^*(a, b) = ab$, $b_i = \frac{|V_i|}{2}$ 로 표현할 수 있다. 일반적인 Potts-Hamiltonian으로 나타내면 식(4)와 같다.

$$H(x) = -\frac{1}{2} \sum_{(i,j) \in V} \min(x_i, x_j) + \sum_{i \in I} \frac{|V_i|}{2} x_i \quad (4)$$

천이규칙의 local rule은 sequential과 parallel의 2가지 경우를 가진다. sequential한 경우의 수렴성의 증명은 비교적 간단하다. 여기서는 parallel한 경우에 고정점 또는 2주기로 수렴한다는 것을 증명한다. 식(1)은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$E_{sy}(x(t)) = -\sum_{(i,j) \in V} \min(x_i(t), x_j(t-1)) + \sum_{i \in I} \frac{|V_i|}{2} (x_i(t) + x_i(t-1)) \quad (5)$$

식(5)에서

$$\Delta E_{sy} = \sum_{j \in V} (-\min(f_i(x), x_j) + \min(s, x_j)) + \frac{|V_i|}{2} (f_i(x) - x_i) \quad (6)$$

이며, $s = x_i, x_i + 1$ 이다.

i) $f_i(x) = x_i \Rightarrow (\Delta E_{sy})_i = 0$

ii) $f_i(x) = x_i + 1$

$$\begin{aligned} (\Delta E_{sy})_i &= \sum_{j \in V_i} (-\min(x_i + 1, x_j) + \min(s, x_j)) + \frac{|V_i|}{2} \\ &= -\sum_{j \in V_i} (x_i + 1 - x_j) + \frac{|V_i|}{2} < 0 \end{aligned}$$

iii) $f_i(x) = x_i - 1$

$$\begin{aligned} (\Delta E_{sy})_i &= \sum_{j \in V_i} (\min(x_i - 1, x_j) - \min(s, x_j)) - \frac{|V_i|}{2} \\ &= \sum_{j \in V_i} (x_i - 1 - x_j) - \frac{|V_i|}{2} < 0 \end{aligned}$$

따라서 parallel한 경우 제안하는 천이규칙은 Lyapunov function을 만족함을 알 수 있다.

식(3)에 제안된 천이 규칙은 이웃 픽셀과의 밝기값의 차이가 많은 곳에 대해서만 연산을 수행하므로 에지추출에 사용할 수 있다.

제안하는 에지 추출 방법은 세단계로 이루어져 있다. 처음 단계에는 에지를 추출하고자 하는 영상에 대해 천이 규칙을 적용한다. sequential, parallel한 방법이 적용가능하며, 세세한 에지 추출을 위해서 8방향의 이웃을 사용한다. 결과 영상은 천이 규칙의 특성에 의해 주변 이웃과의 밝기 차가 큰 부분만 원영상과 다른 값을 가지게 된다, 두 번째 단계는 원영상과 천이규칙이 적용된 영상의 차(difference)영상을 구한다. 영상이 가지는 각 픽셀들의 차 값은 일반적인 에지 추출 방법의 픽셀값과는 다르다. 일반적인 에지 추출 방법에서 결과 영상의 각 픽셀값은 주목 픽셀과 이웃 픽셀과의 밝기 경사, 즉 미분값을 가지지만 제안된 방법의 결과 영상의 픽셀값은 이웃 픽셀과의 관계를 이용 주목 픽셀에 적용된 연산량의 값을 가지게 된다. 그러므로 일반적인 에지 추출 방법에서는 임계값이 대상 영상의 처리 결과에 따라서 변화되어야 하지만 제안된 방법의 임계값 결정은 모든 영상에 대해 고정적으로 적용시킬 수 있다. 마지막 단계에서는 에지를 강조하기 위해서 영상의 임계화를 실행한다. 두 개의 레벨을 이용하여 상한과 하한 임계값으로 픽셀값을 변경한다. 작은 변화량을 가진 픽셀은 이웃과의 차이가 거의 없는 곳이며 너무 큰 변화량을 가진 픽셀은 잡음 성분이므로 제거하여, 일정성분의 변화량을 가지는 픽셀을 선택하여 영상의 에지를 추출 할 수 있다.

2.3 알고리즘 이해

식(3)은 이웃 픽셀과의 관계에 의해 주목 픽셀의 밝기값을 증가 또는 감소시키는 형태를 나타낸다. 이웃 픽셀 중 주목 픽셀의 값보다 큰 픽셀과 작은 픽셀의 개수를 측정한다. 그리고, (이웃 픽셀의 수)/2보다 큰 값의 픽셀 수가 많으면 주목 픽셀의 값을 1 증가시키고, 작은 값의 픽셀 수가 많으면 값을 1 감소시킨다. 즉, 이웃 픽셀들과 급격한 밝기값의 차이가 나는 영역에 대해서만 연산을 처리함으로써 영상의 에지를 잘 보존한다.

천이 규칙의 예제가 Fig. 1에 나타나 있다. 첫 번째의 경우에는 주목 픽셀 값이 15이며, $\frac{|V_i|}{2} = 4$ 이다. 주목 픽셀의 값 15보다 작은 이웃의 수

($|\{j \in V_i | x_j < 15\}|$)는 5개이고, 큰 이웃의 수 ($|\{j \in V_i | x_j > 15\}|$)는 3개이므로 픽셀의 값이 1 감소하여 14가 된다. 두 번째의 경우는 값이 큰 이웃 픽셀의 수가 6, 값이 작은 이웃 픽셀의 수가 2이므로 1 증가하여 16이 된다. 세 번째의 경우는 값이 큰 이웃 픽셀의 수가 3, 값이 작은 이웃 픽셀의 수가 4이므로 원래의 값을 가지게 된다.

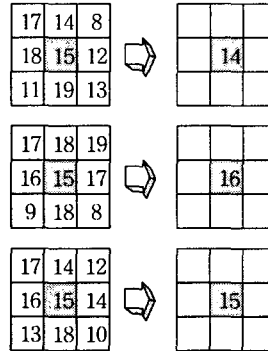


Fig. 1. Local evolution of proposed rule

III. 실험 결과 및 고찰

실험은 Pentium III-800, Windows 98 PC 환경에서 C++로 구현한 프로그램을 사용하였다. 256×256의 크기를 가지는 256 밝기값의 lena영상들을 이용했다.

Fig. 2는 영상에 대한 에지 추출 결과를 나타낸다. (a)는 원영상, (b)는 sequential방법을 적용한 에지추출 결과 영상, (c)는 parallel방법을 적용한 에지추출 결과 영상, (d)는 모폴로지 필터, (e)는 sobel 필터 (f)는 라플라시안 필터를 사용한 에지추출 결과 영상이다. 모폴로지 필터를 사용한 결과 에지의 강도가 약하며 곡선 부분과 밝기 값이 완만히 변하는 부분에서 효과적인 에지 추출이 되지 않았다. Sobel 필터는 대각선 성분의 에지만 민감하게 반응했으며 에지가 두꺼운 단점이 있다. 라플라시안 방법은 비교적 에지가 선명하게 나타났지만 밝기값이 완만한 경사를 이루는 곳에서는 에지 추출이 효과적이지 못했다. 제안된 방법은 직선과 곡선 성분의 에지가 선명하게 추출되었으며 복잡한 부분도 효과적으로 에지를 추출할 수 있었다. 또한 라플라시안 방법에 비해 밝기 변화가 완만한 곳에서도 효과적으로 에지 추출을 할 수 있었다.

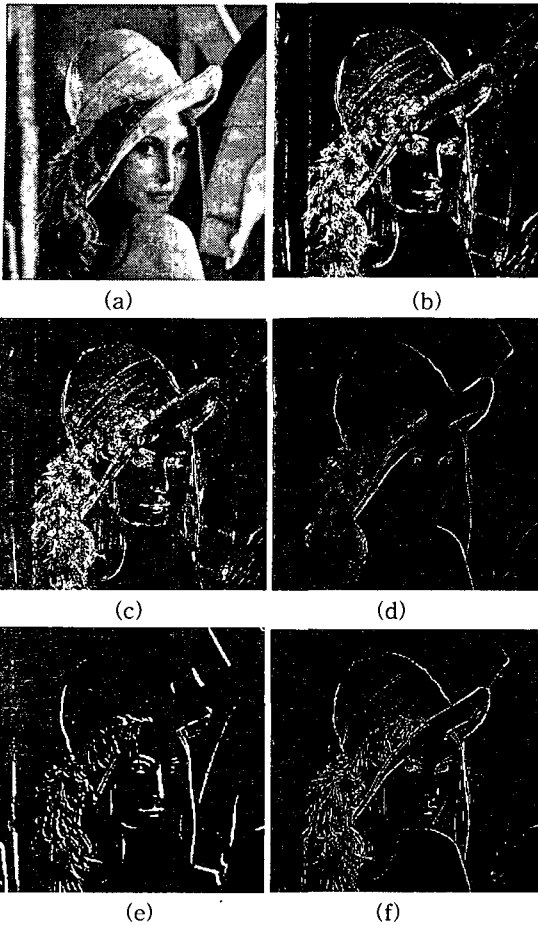


Fig. 2. Lenna image (a)Original image, (b)result of 8-neighborhood sequential updating (c)result of 8-neighborhood parallel updating (d)result of morphology filtering (e)result of sobel filtering (f)result of laplacian filtering

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 에지추출 기법들의 단점을 개선한 Potts Automata를 이용하여 에지 추출 기법을 제안하고 실험하였다.

제안된 방법은 상대적으로 밝기값의 차이가 급격한 영역에 연산을 집중한다. 따라서 대상 영상의 모든 픽셀의 밝기 값을 변화시키지 않고 필요한 부분만 처리를 하므로 기존의 방법보다 효과적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 전이 규칙에 의한 최적의 상태로 수렴하므로 최적의 결과를 얻기 위해 인위적인

반복 조작이 필요하지 않다.

기존의 방법에 비해 상세한 에지 추출이 가능하며 선명한 결과 영상을 얻을 수 있었다. 그리고 기존 방법에서는 임계값이 대상 영상의 처리 결과에 따라서 변화되어야 하지만 제안된 방법은 각 픽셀이 연산 처리 횟수를 가지므로 고정적인 임계값의 사용이 가능하다.

제안된 에지 추출 방법은 의료 영상 등의 영상의 밝기값의 중요한 분야와 문자 인식과 지문 인식등의 에지 정보가 중요한 분야에 응용이 가능하다.

참고문헌

- [1] Kenneth R. Castleman, "Digital Image Processing", Practice-Hall, 1996.
- [2] S. Sarker & K. L. Boyer, "On Optimal Infinite Impulse Response Edge Detection Filters" IEEE Transac. on PAMI, Vol. 13, No. 11, pp.699-714, November 1986.
- [3] 김희승, "영상인식", 생능출판사, pp.111-121, 1993.
- [4] Randy Crane, "A simplified approach to image processing", Practice-Hall, 1997.
- [5] C. Langton, "Artificial life", C. Langton(ed), Addison-Wesley, pp.1-47, 1989.
- [6] 강훈, "셀룰러 오토마타", 대한전자공학회지, 제 24권 제3호, pp.32-43, 1997.
- [7] Henry P. Kramer & Judith B. Bruckner, "Iteration of Non-linear Transformation for Enhancement of Digital Images", Pattern Recognition, Vol 7, pp.53-53, 1975.
- [8] 김석태, "미디안 규칙을 갖는 셀룰러 오토마타를 이용한 영상의 잡음제거", 한국해양정보통신학회 논문집, 제5권 제2호, pp.343-348, 2001.
- [9] Eric Goles & Servet Martinez, "Neural and Automata Networks", Kluwer Academic Publisher, 1990.