

셀룰러 오토마타를 이용한 화상 첨예화

*이대원[†], 조성진^{††}, 김석태[†]

부경대학교 정보통신공학과[†], 부경대학교 수학과^{††}

Image sharpening using Cellular Automata

*Dae-Won Lee[†], Sung-Jin-Cho^{††}, Seok-Tae Kim[†]

[†] Dept. of Telematics Eng., Pukyong National University

^{††} Division of Mathematical Sciences, Pukyong National University

요약

셀룰러 오토마타는 복잡한 자연 세계를 단순한 규칙으로 해석할 수 있고, 병렬 계산이 가능하다. 본 논문에서는 국부적인 천이 규칙(transient rule)에 의해 움직이는 셀룰러 오토마타를 이용해 화상에 대한 아무런 사전 지식이 없는 상태에서의 화상 첨예화 알고리즘을 제안한다. 제안된 셀룰러 오토마타는 화상의 첨예화를 위한 3개의 천이 규칙을 가지며, 화상의 각 픽셀에서 4연결 이웃과 자유 경계조건을 가진다. 각 규칙은 각기 고유한 특징을 가지면서 화상을 첨예화한다. 또한 이러한 셀룰러 오토마타는 순차적이고 병렬적인 움직임을 가지며, 이 움직임은 Lyapunov functional 을 만족하는 감소함수로 표현된다. 따라서 셀룰러 오토마타를 이용한 화상의 첨예화는 매우 빠른 속도로 수렴하고, 잡음에도 안정적인 결과를 나타낸다. 실험을 통해 본 방법의 유효성을 확인한다.

1. 서론

셀룰러 오토마타는 자연계의 생명 현상을 표현하기 위해 개발된 것으로 공간, 시간 상태가 모두 이산적인 동적 시스템이다. 셀룰러 오토마타는 일정하게 배열된 공간 격자의 점을 셀(cell)이라고 하고 이 셀들은 유한개의 상태 중 하나의 상태를 가진다. 각 셀은 국부적인 규칙에 의해 다음 상태로 천이(Transient)되는데, 천이 규칙은 자신의 현재 상태와 주변 이웃의 상태에 의해 결정된다. 또한 전체 격자내의 각 셀들은 동시에 천이가 일어난다[1-3]. 따라서 셀룰러 오토마타는 그 생성과 성장과정을 결정짓는 규칙으로 표현되며, 각 규칙에 따라 지속적인 성장과 번식, 죽음, 동일 개체의 반복 등의 특성을 지닌다. 특히 셀룰러 오토마타가 어떤 특정한 형태로 고정되어 변하지 않는 채, 수렴하는 현상을 나타내는 경우 이를 화상 처리나 여러 공학 분야에 응용이 가능하다[2-4].

화상의 첨예화는 화상의 전체적인 특징을 변화시키지 않고, 미세한 부분을 강조하거나 뭉그러진 화상이나 화상 획득시 발생할 수 있는 잡음을 개선하는 효과를 가지는 화상 처리법으로, 인쇄기술에서부터 의료용 화상

처리 및 군사용 등으로 다양한 응용 분야를 가진다[5]. 기본적인 화상 첨예화 기법은 각 픽셀간의 변화가 급격한 영역을 상대적으로 강조해 주는 high-pass filtering 에 기초를 두고 있으며, high-boost spatial filtering 이나 derivative filters 등이 이에 속한다[6]. 그러나 화상의 첨예화 기법은 화상내에서 강조나 개선되어야 할 특정부분을 찾아 연산을 집중시키면 보다 나은 결과를 얻을 수 있고 알려져 있다[7,8]. 이와 같은 연산형태로 GST(Gray Scale Transform) 과 같은 비선형 연산이 주로 이용되나 연속적이 연산이 불가능하다는 단점이 있다. 이같은 단점을 보완하기 위해 자신과 인접한 셀들 사이의 관계로 연산을 수행하는 비선형 연산인 셀룰러 오토마타를 적용할 수 있다.

본 논문에서는 3개의 셀룰러 오토마타를 이용해서 화상 첨예화 알고리즘을 개발한다. 각 천이 규칙은 이웃 픽셀과 관계를 정의한 것으로 대상 화상을 국부적으로 그레이 레벨의 차이를 증가 및 감소시켜 화상을 첨예화한다. 반대의 과정으로 화상의 smoothing 효과도 낼 수 있다. 또한 본 방법을 통해 노이즈가 섞인 화상에서도 효과도 가져온다.

2 장에서는 화상의 첨예화를 위한 셀룰러

오토마타와 이들이 Lyapunov functional 을 만족해 수렴하는 것을 보이고, 3 장에서는 이 알고리즘을 통한 실제 실험 화상들을 보인다.

2. 화상의 침예화를 위한 셀룰러 오토마타

2.1 기본 정의

하나의 화상은 각 픽셀로 이루어진 공간격자로 나타낼 수 있으므로 그림 1과 같은 유한 상태 그래프의 확장으로 볼 수 있다.

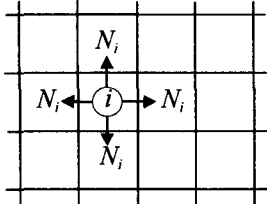


그림 1. 화상의 유한 상태 그래프 표시

픽셀 i 의 이웃 N_i 는 같은 거리 있는 노드들의 집합들로 정의해 각 픽셀의 이웃은 픽셀의 위치에 따라 2개에서 4개의 이웃을 갖는데, 식(1)로 표현된다.

$$N_i = \{j \in T : i \in E, j \in E \text{ and } j \neq i\} \quad (1)$$

T 는 전체 화상의 픽셀을 나타내고, E 는 각 노드를 나타낸다. 또한 픽셀들은 8비트 그레이 레벨 화상인 경우 0에서 255까지의 정수값을 가진다. 화상의 각 픽셀을 다음 상태로 천이시키는 천이 함수 $f(x_j)$ 는 i 의 이웃 중 최대 및 최소값이나 자신의 값으로 변환된다. 다음 식(2)과(3)는 천이 함수의 특성을 나타낸다.

$$f_i(x_j) \in \{s_i, S_i, x_i\} \quad (2)$$

$$s_i = \min_{j \in N_i} x_j, \quad S_i = \max_{j \in N_i} x_j \quad (3)$$

$$\text{if only } x_i \in]s_i, S_i[$$

화상의 침예화는 화상 내 각 영역의 칼라 또는 그레이 값의 차이를 증가시키고 화상의 중요한 특성들의 변화가 손상되지 않게 비슷한 영역에서는 그 값이 변하지 않게 해야 한다. 또한 모든 영역을 일괄적인 방법으로 처리하는 것 보다 처리가 필요한 특정 부분을 집중적으로 연산할 수 있는 방법이 보다 효과적인 침예화를 가져올 수 있다. 셀룰러 오토마타의 3가지 천이 규칙은 완만한 그레이 레벨의 차이를 나타내는 영역을 자동으로 찾아 그 차이를 명확하게 해주는 처리로 각 이웃들의 최대 및 최소값 및 자신의 값을 그

기준으로 한다.

2.2 천이 함수의 천이 규칙

화상의 경우 각 셀이 가질 수 있는 상태값은 256개, 이웃은 4개, 셀의 개수를 n 이라고 하면 각 셀이 다음 단계에서 가질 수 있는 상태값은 n^{256} 가 된다[9,10]. 따라서 규칙의 설정이 잘못되면 다음 상태로 천이가 무한히 일어나는 오류를 가질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 무한 루프에 빠지지 않는 3가지의 천이 규칙을 설정해 셀룰러 오토마타 자체가 발산이나 무한 루프에 빠지지 않고 안정화되어 하나의 고정된 값으로 수렴하게 하였다.

[천이 규칙]

1. 현재 자신의 값이 이웃의 최대 및 최소와 비교하여 그 값의 차이가 작은 쪽의 값으로 천이된다.
2. 이웃의 픽셀의 합을 구하고, 자신의 값에 이웃의 개수와 곱한 후, 그 차이를 구해 0보다 큰 경우 최소, 0보다 작은 경우 최대의 값으로 천이된다.
3. 현재 자신의 값과 이웃의 값과 비교하여 이웃보다 큰 개수와 작은 개수를 중 같거나 많은 경우 이웃의 최대값으로, 그 반대의 경우 최소값으로 천이된다.

단, 모든 3가지 규칙은 현재의 값이 이웃의 최대와 최소값의 사이에 존재해야 하고, 그렇지 않는 경우에는 자신의 값으로 다음 상태로 천이가 이루어진다. ◀

2.3 천이 함수의 수렴 조건

제안된 규칙이 발산이나 무한 루프에 빠지지 않고 안정화되어 하나의 고정된 점으로 수렴해야 한다. 천이 규칙의 동적 행동은 다음 식(4)와 같이 Lyapunov functional 을 만족하는 Quantity 함수로 표현된다.

$$H(x) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j \in V_i} a^{|x_i - x_j|} \quad (4)$$

단, $a > d = \max |N_i|$

이 함수가 순차적 반복(sequential iteration)환경에서 Lyapunov functional 이 성립하기 위해서는 다음의 정리를 만족해야 한다. :

$$\text{If } x' = (x'_1, \dots, x'_n), \text{ where } x'_i = x_j$$

$$\forall j \neq i, x'_i = f(x_j : j \in V_i),$$

then $\Delta H = H(x') - H(x) \leq 0$

and inequality is strict, if only $x'_i \neq x_i$,

<증명>

vertex i 의 첫 단계를 거친다고 가정하면,

$$\Delta H = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} a |x'_i - x'_j| + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} a |x_i - x_j|$$

정의로부터 $x' = (x_1, \dots, x_{i-1}, x'_i, \dots, x_n)$ 이고,

에 대해 $|y_i - y_j|$ symmetry 이다. :

$$\Delta H = -\sum_{j \in N_i} a^{x_i - x_j} + \sum_{j \in N_i} a^{x_i - x_j}$$

$x'_i = x_i \Rightarrow \Delta H = 0$ 이므로,

$x_j = x_i \Rightarrow s_j < x_i < S_j$ and $x_j \in \{s_j, S_j\}$

$|x_i - x_j| \leq M_i - m_i - 1 \forall j \in N_i$

$x_j \in \{s_j, S_j\}$ 이므로 ΔH 는 $a^{|S_j - s_j|}$ 로 나타난다.

그러므로:

$$\begin{aligned} \Delta H &\leq -a^{|S_j - s_j|} + da^{S_j - s_j - 1} \\ &\leq a^{S_j - s_j} \left(\frac{a}{d} - 1 \right) = (d-a)a^{S_j - s_j} - a \end{aligned}$$

$d < a$ 이면 $\Delta H < 0$. ■

3. 실험 및 고찰

그림 2 는 원화상을 나타내고, 그림 3, 그림 4, 그림 5 는 3 가지 천이 규칙을 적용한 후 침예화된 화상을 나타낸다. 각 천이 규칙들은 고유한 특성을 나타내면서 화상을 침예화하였다. 그림 3 은 규칙 1 을 659 회 단계를 거쳐 안정된 화상으로 그레이 레벨의 차이가 완만한 부분에 그 차이를 나타낸다. 그림 4 는 규칙 2 를 적용한 화상으로 머리 부분에 보다 강조되었다. 수행 단계는 약 849 회의 연산을 수행하였다. 그림 5 는 규칙 3 을 적용한 화상으로 화상에서 비교적 비슷한 그레이 레벨을 갖는 넓은 영역에서의 구분은 확실하나, 머리 가락 영역이 뭉개지는 효과를 나타내었다. 연산 횟수는 2340 회였다. 그림 6 은 원화상에 가우시안 노이즈를 넣은 것이고, 그림 7 은 그림 6 의 규칙 2 를 적용한 것으로 노이즈가 섞인 경우에도 비교적 좋은 침예화 결과를 보였다.

시스템의 환경은 Intel-pentiumMMX-166 CPU 에 64MB 메모리를 가지는 PC 에서 실험을 하였다. 각 규칙 당 천이시간은 약 1분 22초에서 2분 23초의 시간이 소요되었으며, 천이시간은 화상의 크기에 매우 의존한다. 본 실험에서는 화상의 크기는 256×256 픽셀이다.

4. 결론

화상의 침예화는 각 영역의 그레이 레벨의 차이를 증가 시켜, 세밀한 부분을 강조하거나

뭉그러진 화상을 개선하는 화상처리 방법이다. 본 논문에서는 셀룰러 오토마타의 고정된 점으로 수렴하는 동적인 특징을 이용하여 3 개의 화상 침예화 천이 규칙을 개발, 실험하였다. 이 방법은 화상에 대한 사전 지식 없이 침예화가 필요한 영역(상대적으로 그레이 레벨의 차이가 완만한 부분)에 연산을 집중해 기존의 일괄적인 방법보다 나은 화상 침예화를 할 수 있다. 또한 수학적으로 각 규칙은 하나의 고정된 값으로 수렴함을 보였다.

향후의 연구는 다양한 화상처리를 위해 고유의 특성을 가지는 셀룰러 오토마타 천이 규칙의 개발과 각 천이 규칙에의 따른 처리시간의 수학적 모델링, 원화상과의 차이를 정량적으로 계산할 수 있는 수식적 작업이 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] 강훈, "셀룰러 오토마타," 대한전자공학 회지, 1997.3
- [2] 스티븐 레비, 인공생명, 사민서각, 1997.
- [3] 미첼 워드롭, 카오스에서 인공생명으로, 범양사출판부, 1995.
- [4] Christopher G. Langton, Artificial Life, MITpress, 1996.
- [5] Randy Crane, simplified approach to image processing, Prentice-Hall, 1997.
- [6] Kenneth R. Castleman, "Digital Image Processing," Prentice-Hall, 1996
- [7] R. Gonzalo & P. wintz, "Digital Image Processing," Addison-welsey, 1987.
- [8] Gregory A. Baxer, Digital Image processing, John Wiley & sons, 1994.
- [9] H.P. Kramer & J.B.Bruckner, "Iterations of a nonlinear transformation for enhancement of digital images." Pattern recognition 7, p.53-58, 1975
- [10] E.Goles and G. Hernandez, "Sequential iteration for extremal automata", in Proceeding Of IV workshop on instabilities and Non Equilibrium Structures, Kluwer, 1993



그림 2. Lenna 의 원화상

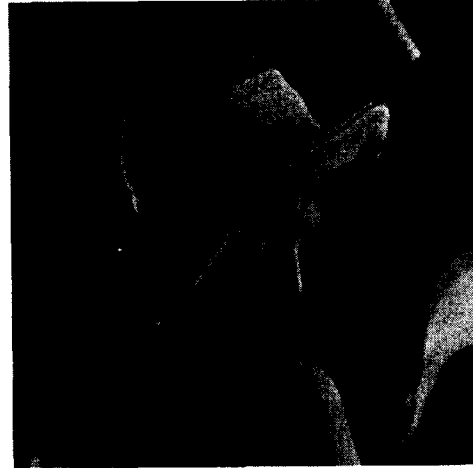


그림 4. 규칙 3 를 적용한 화상

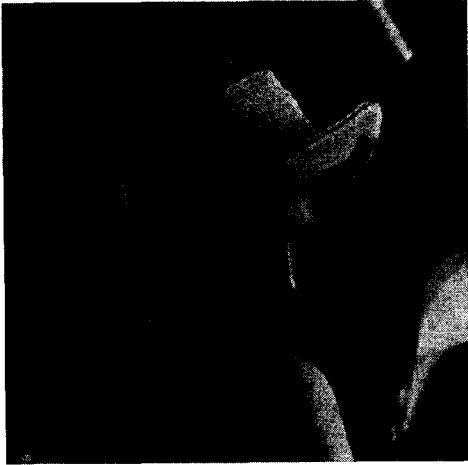


그림 3. 규칙 1 를 적용한 화상

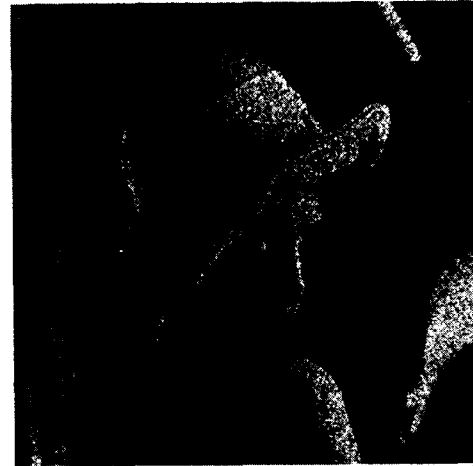


그림 6. 가우시안 노이즈가 들어간 원화상



그림 4. 규칙 2 를 적용한 화상



그림 7. 그림 5 에 규칙 2 를 적용한 화상