

論文98-35S-1-11

# Local min/max 연산에 의한 계조치 세선화 알고리즘

## (Gray-scale thinning algorithm using local min/max operations)

朴重祖 \*

(Joong Jo Park)

## 요 약

본 논문에서는 local min/max 연산을 이용한 새로운 계조치 세선화 알고리즘을 제시한다. 본 방법에서는 local min/max 연산의 erosion 및 dilation 특성을 이용하여, 영상으로부터 새로운 ridge를 생성하고 이 ridge를 검출하여 누적시킴으로써 점진적으로 계조치 골격선을 만들어 간다. 본 방법은 물체가 배경으로부터 명확히 분할되지 않은 영상에 적용할 수 있으며, 구해진 골격선은 입력 영상의 ridge부분에 대응하게 된다.

## Abstract

A new gray-scale thinning algorithm using local min/max operations is proposed. In this method, erosion and dilation properties of local min/max operations are used for generating new ridges and detecting ridges in gray-scale image, and gray-scale skeletons are gradually obtained by accumulating the detected ridges. This method can be applicable to the unsegmented image in which objects are not specified, and the obtained skeletons correspond to the ridges (high gray values) of an input image.

## I. 서 론

세선화(thinning)란 영상내의 물체를 그의 골격선(skeleton)으로 변환하는 것으로서, 이는 영상 처리에 의한 물체의 형태 분석과 패턴 인식에 있어서 매우 중요한 전처리 단계에 속한다. 물체의 골격선은 그 물체에 대한 구조적인 정보나 형태학적인 정보를 보유하고 있으면서 처리할 데이터량을 크게 감소시키므로, 이를 이용하면 물체의 원하는 특징을 용이하게 추출할 수가

있게 된다. 일반적으로 좋은 골격선이 되기 위해서는 구해진 골격선의 연결성이 보존되어야 하고, 그 위치가 물체의 중앙축이 되어야 하며, 그 두께가 1화소 폭으로 가늘어야 한다.<sup>[1]</sup>

영상의 세선화에 있어서, 그동안 이치 영상에 대한 세선화 기법의 연구는 매우 많이 이루어져 왔으며, 또한 좋은 결과를 얻고 있다.<sup>[1-5]</sup> 이러한 이치 세선화(binary thinning) 기법은, 먼저 계조치 영상을 이치화하여 영상의 배경으로부터 물체를 명확히 분할하여야 적용할 수 있는데, 염색체 분류나 필기체 문자 인식 및 부품 검사등 실제적인 컴퓨터 비전의 많은 적용 분야에 있어서 물체의 경계를 배경으로부터 명료하게 정의하기는 쉽지 않으며, 사실상 모호하여 영상을 이치화하기가 용이하지 않은 경우가 많다. 이에 대해 계조치 영상에 대하여 직접 세선화 작업을 행하는 연구도 수행되고 있다.<sup>[6-8,11]</sup> 계조치 세선화(gray level thinning)는 이치 세선화의 일반화로서, 불균일한 명

\* 正會員, 慶尙大學校 制御計測工學科, 生産技術研究所  
(Dept. of Control and Instrumentation Eng. Gyeongsang National Univ. Researcher, Research Institute of Industrial Technology)

※ 본 연구는 경상대학교 부속 생산기술연구소의 지원  
의 의해 이루어졌음

接受日字: 1997年5月27日, 수정완료일: 1997年12月4日

암을 갖는 물체의 세선화나 가는 에지(thinned edge)의 결정등 이치 세선화가 할 수 없는 유용한 기능도 가지고 있는데, 이에 대한 연구는 아직 많이 이루어져 있지 않은 실정이다.

계조치 세선화에 대한 기존의 연구로서, Dyer<sup>[6]</sup>는 이치 세선화 기법을 일반화한 알고리즘을 제안하였다. 이는 패러렐 처리 방법으로서, 계조치 영상내의 각 화소가 물체 경계선상의 화소에 해당하는지의 여부를 그의 근방 화소값을 조사함으로써 결정하고, 연결성을 파손시키지 않는 경우에 한하여 경계선상의 화소값을 그의 근방내의 최소 화소값으로 대체시킴으로써 영상을 세선화한다. 그러나 이 기법은 국부적인 근방 연결성을 검사하는 방식을 사용하므로 골격선의 전역적인 연결성을 보장하지 못하며, 또한 구해진 골격선의 위치는 물체내의 큰 화소값 부분이 되지 못하고 물체의 경계선간의 중앙선 부분이 되는 단점을 가진다. 또 다른 계조치 세선화 기법으로서 Peleg<sup>[7]</sup>는 local min/max 연산을 근방 연산으로 사용할 때 얻어지는 erosion 및 dilation 특성을 이용하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 계조치 영상을 배경과 물체로 분할할 필요가 없고, 구해진 골격선의 위치가 물체내의 큰 화소값 부분이 된다는 잇점은 있으나, 골격선의 연결성에 있어서 치명적인 단점을 가진다. 또한, Salari<sup>[8]</sup>는 ridge추적에 의한 계조치 세선화 기법을 제안하였다. 이 방법에서는 영상을 erosion시킴으로써 점차 새로운 ridge 부분이 생성되게 하고, 이 ridge 부분을 검출함으로써 물체의 골격선을 구하게 되는데, 골격선의 연결성이 보장되고 단일 두께의 골격선을 얻을 수 있으며, 골격선의 위치가 물체내의 큰 화소값 부분이 되는 등 다른 기법에 비하여 많은 잇점을 갖는다. 그러나 이 기법을 사용하려면 계조치 영상내의 각 물체가 반드시 상호 분리되어 있어야 하는데, 일반적인 계조치 영상에 있어서 이 전제 조건은 매우 큰 제약성이 될 수 있다. 그외에 Wang<sup>[11]</sup>은 이치 영상에 대한 기존의 연결수(connectivity number)를 구하는 방법을 다소 수정하여 계조치 영상에 사용할 수 있는 계조치 연결수를 구하는 방법을 제시하고 이를 사용하여 계조치 영상에서의 끝점과 연결점을 보존하면서 각 화소값을 근방의 최소값으로 대체하는 방식으로 계조치 영상을 세선화한다. 이 기법은 계조치 영상내의 각 물체가 상호 분리되어 있지 않은 경우에도 세선화가 가능하다는 장점이 있는 반면, 사용되는 계조치 연결수

가 연결점을 제외한 다른 특징점들(끝점, 분기점, 교차점)에는 완벽한 정보를 제공하지 못하여 골격선의 상실 및 그 연결성이 보장되지 못하는 단점을 가진다.

이에 대해, 본 연구에서는 local min/max 연산을 이용한 새로운 계조치 세선화 기법을 제안한다. Salari 및 Wang의 방법이 특정한 조건(연결점 및 끝점이 아닌 점)을 만족하는 화소들만을 erosion시켜 감으로써 연결성이 보존된 ridge를 만들어 가고 최종적으로 얻어진 ridge를 골격선으로 결정하는 방식을 취하는데 반해, 제안 기법에서는 local min/max 연산을 사용하여 이미 존재하는 ridge를 검출하고, 그후 local min 연산에 의해 새로운 ridge를 생성시켜 이를 다시 검출하며, 각 처리 절차의 후반부에서 연결수 정보에 의해 끊어진 골격선의 연결성을 복구하는 방식을 반복적으로 사용함으로써 골격선을 구한다. 따라서 본 기법은 ridge의 추적 및 연결성의 복구 측면에서 기존의 방법과 구별된다. 본 기법에 의하면 구해진 계조치 골격선의 연결성이 양호하게 보존되고, 골격선의 위치가 물체내의 큰 화소값 부분이 되며, 초기에 영상내의 물체들이 상호 분리되어 있을 필요가 없는 등의 장점을 갖는다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어, II장에서는 제안하고자 하는 계조치 세선화 기법의 기본 원리를 기술하고, III장에서는 local min/max 연산을 이용하여 II장에서 설명한 원리를 구현하는 세선화 알고리즘에 대해 설명한다. IV장에서는 실험영상에 본 알고리즘을 적용한 결과를 보이고, 마지막으로 V장에 결론을 실었다.

## II. Ridge추적에 의한 계조치 세선화의 원리

이 장에서는 본 연구에서 제안하는 계조치 세선화 기법의 기본 원리를 개념적으로 기술한다. 계조치 세선화에 의해 구해진 골격선은 그 폭이 가능한한 1-화소폭으로 가늘어야 하고, 연결성이 유지되어야 하며, 골격선의 위치가 물체내의 최대 화소값 부분이 되어야 한다. 또한 계조치 영상의 경우 각 물체를 배경으로부터 명확히 분할하는 것이 어려운 경우가 많으므로 배경과 물체가 분리되지 않은 상태에서도 물체의 골격선을 얻을 수 있는 세선화 기법이 바람직하다.

계조치 영상으로부터 이상의 요건을 만족하는 골격

선을 구하는 방안으로서, 영상을 점차로 erosion시켜서 ridge 부분의 출현을 유도하고, 그로부터 ridge를 검출함으로써 골격선을 구하는 방법을 생각할 수 있다.

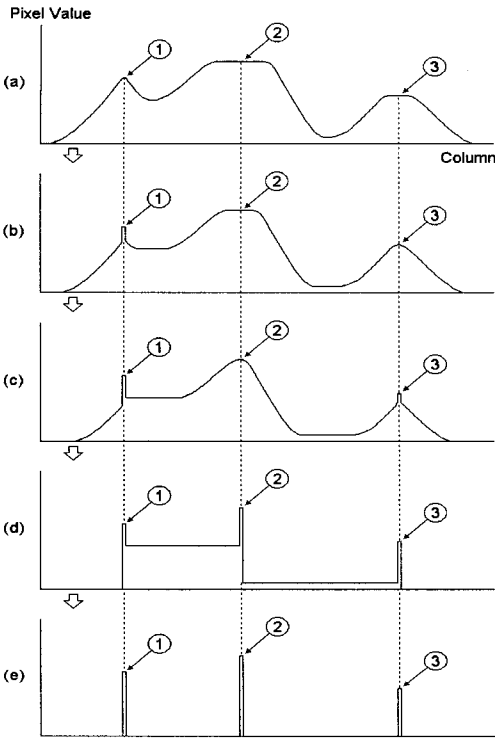


그림 1. 제안 기법의 계조치 세선화 과정  
(a) 원영상 (b),(c),(d) 영상의 erosion 및 ridge검출 과정 (e) 세선화된 영상

Fig. 1. Process of Gray level thinning by proposed algorithm.

(a) original image (b),(c),(d) process of image erosion and ridge detection (e) thinned image

그림 1은 이 개념에 의한 계조치 세선화의 과정을 일차원적으로 보여준다. 먼저 그림 1(a)는 원영상의 단면을 보여 주는데, 여기서 구하고자 하는 골격선 부분은 ①,②,③위치가 된다. 이 계조치 영상에 대해 ridge 검출을 행하면 ①부분은 이미 ridge의 형태를 이루고 있으나 ②,③부분은 평평한 형태이므로 ①부분만이 ridge로 추출된다. 그림 1(b)는 그림 1(a)를 erosion시키고 이에 그림 1(a)에서 추출된 ridge 부분만을 원상태로 다시 복구시킨 영상이다. 이 영상에 대해 ridge 검출을 행하면 ①부분은 ridge 형태를 계속 유지하고 있으며, ②부분은 아직 평평한 상태로 남아 있

고, ③부분은 영상의 erosion에 의해 ridge 형태로 변형되어 있으므로, ①,③부분만이 ridge로 추출된다. 그림 1(c)는 그림 1(b)를 다시 erosion시키고 이에 그림 1(b)에서 추출된 ridge 부분을 원 상태로 다시 복구시킨 결과이다. 이 경우 영상의 erosion에 의해 ②부분이 ridge 형태로 변형되어 있으므로 이 영상으로부터 ridge를 검출하면 ①,②,③부분이 ridge로 추출된다. 그림 1(d)는 그림 1(c)에 상기의 erosion 및 ridge 검출 절차를 여러번 반복 수행한 후 ridge 부분을 복구시켜 놓은 결과이다. 이 영상에 대해 상기의 절차를 반복 시행하여도 이 영상은 더 이상 변화하지 않는다. 더 이상 변화하지 않는 이 영상에 대해 ridge 검출을 수행하고 이때 검출된 ridge 부분만을 취하면 그림 1(e)의 영상이 얻어지는데, 이것이 계조치 세선화의 결과 영상이며, 이 영상의 ridge 부분이 원영상의 골격선에 대응하게 된다. 한편, 처리 결과로부터 어떠한 다른 정보들을 얻기위해, 세선화 영상으로서 배경 부분의 계조치도 유지하기를 원한다면, 그림 1(d)의 결과를 사용하면 될 것이다. 이러한 방식으로 계조치 영상을 세선화할 수 있는데, 이 과정에서 기본적으로 필요한 처리 수단은 계조치 영상의 erosion 연산과 ridge 검출 방법이다. 본 논문에서 제안하는 계조치 세선화 기법은 local min/max 연산을 이용하여 이들을 구현함으로써 골격선을 구하게 된다.

### III. 계조치 세선화 알고리즘

본 절에서는 II절에서 개념적으로 기술한 계조치 세선화 방법을 구현하기 위한 구체적인 알고리즘을 제시한다. 본 방법은 영상의 erosion 연산과 ridge 검출 기법을 필요로 하는데, 이들은 모두 local min/max 연산으로 구현될 수 있다.<sup>[9],[10]</sup> 영상의 erosion에 사용되는 local min 연산과 dilation에 사용되는 local max 연산은 패러렐로 처리되는 근방 연산으로서, 근방으로는 4-근방이나 8-근방이 사용될 수 있다. 이들 각각을 연산자  $\min_R()$ 과  $\max_R()$ 을 사용하여 표현한다면, 그림 2의 3x3 크기인 영상 영역에서 중심 화소  $x_0$ 에 대해 이들 연산은 각각 식 (1), (2)로 계산된다. 이들 식에서, 4-근방을 사용하는 경우에는  $k=1,3,5,7$ 이 되며, 8-근방인 경우에는  $k=1,2,3,4,5,6,7,8$ 이 된다.

$$\min_R(x_0) = \min(x_k) \tag{1}$$

$$\max_R(x_0) = \max\{x_k\} \quad (2)$$

X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>
X <sub>5</sub>	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>
X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>

그림 2. 화소 x<sub>0</sub>와 그의 8 근방  
Fig. 2. pixel x<sub>0</sub> and its eight neighbors.

크기가 IxJ인 계조치 입력 영상을 Π<sub>G</sub>라 표시할 때, 이 영상의 각 화소에 대한 erosion 연산은 local min 연산을 사용하여 식 (3)에 의해 계산되며, 이에의해 계산된 erosion 영상 Π<sub>EROSION</sub>을 영상 단위로 나타내면 식 (4)로 표현된다.

$$EROSION(x_{ij}^{\ddot{}}) = \min_R(x_{ij}^{\ddot{}}), \text{ for all } i, j, x_{ij}^{\ddot{}} \in \Pi_G \quad (3)$$

$$\Pi_{EROSION} = EROSION(\Pi_G) = \min_R(\Pi_G) \quad (4)$$

한편, 계조치 영상내의 ridge는 모폴로지의 opening 연산을 local min/max 연산으로 구현함으로써 검출한다. 즉, ridge 영상 Π<sub>RIDGE</sub>는 입력 영상 Π<sub>G</sub>로부터 다음의 식 (5)에 의해 구해진다.<sup>[10]</sup>

$$\Pi_{RIDGE} = \{x_{ij}^{\ddot{}}; i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J\} \quad (5)$$

여기서,

$$x_{ij}^{\ddot{}} = \begin{cases} x_{ij}^{\ddot{}} & \text{if } x_{ij}^{\ddot{}} - \max_R(\min_R(x_{ij}^{\ddot{}})) > 0, x_{ij}^{\ddot{}} \in \Pi_G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

식 (5)는 영상내의 모든 ridge를 검출하므로 잡음성의 미소한 ridge들도 검출하게 되는데, 만일 근방과 비교하여 큰 값을 갖는 뚜렷한 ridge만을 검출하고자 한다면, 다음의 식 (6)을 사용하면 된다.<sup>[10]</sup> 이 식에서 연산자 min<sub>R</sub>()과 max<sub>R</sub>()상의 첨자 (1),(2)는 이 연산의 반복 수행 횟수를 나타내며, 임계값 height를 큰 값으로 취할수록 주변에 비해 상대적으로 큰 값의 ridge들만이 검출된다.

$$\Pi_{RIDGE} = \{x_{ij}^{\ddot{}}; i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J\} \quad (6)$$

여기서,

$$x_{ij}^{\ddot{}} = \begin{cases} x_{ij}^{\ddot{}} & \text{if } \{x_{ij}^{\ddot{}} - \max_R^{(1)}(\min_R^{(1)}(x_{ij}^{\ddot{}})) > 0\} \text{ and } \\ & \{x_{ij}^{\ddot{}} - \max_R^{(2)}(\min_R^{(2)}(x_{ij}^{\ddot{}})) > \text{height}\}, x_{ij}^{\ddot{}} \in \Pi_G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

본 알고리즘에서는 영상의 erosion을 위해 식 (4)를

사용하며, ridge 검출 방식으로는 식 (5)를 사용한다. 먼저, 주어진 계조치 영상 Π<sub>G</sub>로부터 식 (5)를 사용하여 ridge영상 Π<sub>RIDGE</sub>를 구하고, 식 (4)를 이용하여 원영상 Π<sub>G</sub>를 erosion시킨 영상 Π<sub>EROSION</sub>을 구한다. 그리고 구해진 두 영상 Π<sub>RIDGE</sub>와 Π<sub>EROSION</sub>의 합성 영상 Π<sub>COMP</sub>를 식 (7)에 의해 구한다.

$$\Pi_{COMP} = \{x_{ij}^{\ddot{}}; i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J\} \quad (7)$$

여기서,

$$x_{ij}^{\ddot{}} = \max_P(x_{ij}^{\ddot{}}_{RIDGE}, x_{ij}^{\ddot{}}_{EROSION}), x_{ij}^{\ddot{}}_{RIDGE} \in \Pi_{RIDGE},$$

$$x_{ij}^{\ddot{}}_{EROSION} \in \Pi_{EROSION}$$

여기서 max<sub>P</sub>()는 두 영상 Π<sub>RIDGE</sub>와 Π<sub>EROSION</sub>의 각 대응 화소 위치에 대해 local max 연산을 포인트 연산으로 적용하는 연산자를 나타낸다. 이와 같이 구해진 Π<sub>COMP</sub>를 다시 입력 영상으로 취하여 상기의 ridge 검출과 영상의 erosion 과정을 반복하게 되는데, 이때 영상에 erosion 연산을 적용하는 부분은 ridge의 출현을 유도하는 과정이 되고, ridge를 검출하는 부분은 골격선을 구하는 과정이 된다. 본 방법에 의하면, 중간 단계에서 구해지는 ridge 부분은 최종적으로 구하고자 하는 골격선의 일부분에 해당하므로, 식 (4)에 의해 새로이 출현된 ridge를 식 (7)을 이용하여 원래 존재하던 ridge에 추가로 누적시키고, 이로부터 ridge를 다시 검출함으로써 골격선을 완성해 간다. 이러한 처리 과정은 Π<sub>COMP</sub> 영상에 더이상의 변화가 없을 때까지 반복 수행되는데, 이 수렴 상태에 도달하면 마지막으로 이 영상에 ridge 검출을 적용하고 이에 의해 구해진 ridge 부분을 영상의 골격선으로 결정한다.

그런데, 계조치 세선화를 위해 본 방법을 사용할 경우, Π<sub>COMP</sub> 영상에 있어서, 이미 구해진 ridge 부분과 erosion된 영상 부분 사이에 화소값 크기의 관점에서 연결성이 끊어지는 현상이 발생할 수 있다. 그림 3에 이와 같은 현상을 보여준다. 그림 3(a)의 원영상에 대해, 그림 3(b)는 위 과정을 한번 수행한 후 얻어진 Π<sub>COMP</sub> 영상이다. 그림 3(b)에서 검은 화소 부분은 검출된 ridge 부분이고, 흰 화소 부분은 원영상의 erosion에 의해 얻어진 화소 부분이다. 이 그림에서 보듯이 점선으로 표시한 화소 부분에서 연결성이 파손된 것을 알 수 있다. 따라서 Π<sub>COMP</sub> 영상에서 이 연결성을 복구시켜 줄 필요가 있다.

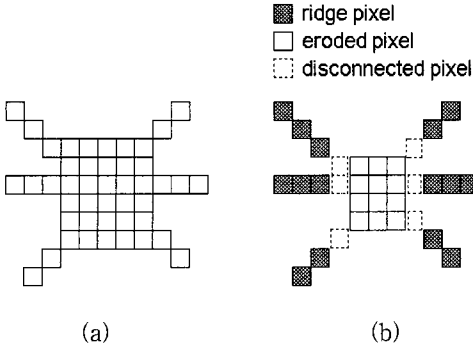


그림 3. 연결성 문제  
 (a) 원영상 (b) 합성 영상 (I\_COMP)  
 Fig. 3. Connectivity problem.  
 (a) original image (b) composite image (I\_COMP)

이 끊어진 연결점은 계조치 연결수(connectivity number)의 정보를 사용하여 복구할 수 있다. 계조치 연결수는 이치 영상에 대한 8-연결수 개념을 계조치 영상에 적용할 수 있도록 확장한 것으로서, 그림 2의 3x3 영상 영역에 대해 중심 화소  $x_0$ 의 연결수  $C_8(x_0)$ 는 다음 식 (8), (9)와 같이 정의되는 8개의 화소값  $f_k$ 가 -1에서 1로 변화하는 개수로서 계산된다<sup>[11]</sup>. 이때, 화소들의 조사(scan)는 시계방향(즉,  $f_3, f_7, \dots, f_1$ )으로 한바퀴 돌며, -1과 1사이에 들어오는 0값은 무시하고,  $x_9 = x_1$ 이다. 그림 4는  $x_0$ 와 구해진  $f_k$ 의 배치를 보인다.

$$f_{2l-1} = \begin{cases} -1, & \text{if } x_{2l-1} < x_0 \text{ and} \\ & (x_{2l-1} < x_{2l} \text{ or } x_{2l-1} < x_{2l+1}) \\ 1, & \text{if } x_{2l-1} > x_{2l+1} \text{ and } x_{2l+1} < x_0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (l=1,2,3,4) \quad (8)$$

$$f_{2l} = \begin{cases} 1, & \text{if } x_{2l} > x_{2l+1} \text{ and } x_{2l+1} < x_0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (l=1,2,3,4) \quad (9)$$

$f_4$	$f_3$	$f_2$
$f_5$	$x_0$	$f_1$
$f_6$	$f_7$	$f_8$

그림 4. 화소  $x_0$ 와  $f_k$   
 Fig. 4. pixel  $x_0$  and  $f_k$

그러나 이러한 방법으로 계산되는 계조치 연결수는 사실상 이치 영상에 대한 연결수와는 달리 연결 상태에 대한 정보를 완벽하게 제공하지는 않는다. 실험을 통하여 상기 방법에 의해 계조치 연결수를 구해보면, 이 연결수의 정보로부터 연결점(connected point)은 울

바르게 판정되나, 끝점과 분기점 그리고 교차점에 대해서는 올바른 판정이 보장되지 않는다. 즉, 상기 방법으로 계산된 연결수의 값이 2인 화소는 연결점인 것으로 보증되나, 그외의 끝점, 분기점, 교차점들은 값이 1, 3, 4로 일관되게 계산된다는 보장이 없다. 그러나 본 계조치 세션화 알고리즘에서는 끝점과 분기점 그리고 교차점들은 ridge 검출 처리에서 효과적으로 검출되며 따라서 골격선의 연결성을 보존하는데는 연결점만 찾아내면 되므로 이 계조치 연결수는 유효하게 사용될 수 있다.

본 알고리즘에서 골격선의 연결성 복구는 다음 방법을 사용한다. 즉, 현 단계의 합성 영상  $I_{COMP}$ 의 모든 화소점들 중에서 ridge점이 아닌 점들만을 검사하는데, 이때 검사점  $x_0$ 의 값만을 이전 단계의 합성 영상의 대응 화소값으로 교체하고 그의 8-근방 화소값들은 현 단계의 합성 영상의 화소값을 그대로 사용하여 계조치 연결수  $C_8(x_0)$ 를 계산한다. 이런 방식으로 계산된 연결수의 값이 2 이상일 때만, 그 검사점의 화소값을 이전 단계의 합성 영상의 대응 화소값으로 변경한다. 그러면 골격선의 연결성이 복구되는데, 이러한 방식은 계조치 영상의 화소값이 주변의 값에 대해 급격히 변화하지 않는다는 성질에 근거한 것이다. 그리고 이 수정된 합성 영상을 다시 입력 영상으로 취하여 ridge 검출과 erosion 처리 과정을 반복 수행하면 연결성이 보존된 골격선을 얻을 수 있다.

이상의 방법에 의한 계조치 세션화 알고리즘은 다음의 7 단계로 정리될 수 있다.

- 단계 1 : 주어진 계조치 영상을 처리할 입력 영상  $I_G$ 로 취한다.
- 단계 2 : 식 (5)를 이용하여  $I_G$ 로 부터 ridge영상  $I_{RIDGE}$ 를 구한다.
- 단계 3 : 식 (4)를 이용하여  $I_G$ 를 erosion시킨 영상  $I_{EROSION}$ 을 구한다.
- 단계 4 : 식 (7)을 이용하여  $I_{RIDGE}$ 와  $I_{EROSION}$ 의 합성 영상  $I_{COMP}$ 를 구한다.
- 단계 5 : 계조치 연결수를 사용하여 합성 영상  $I_{COMP}$ 를 수정함으로써 골격선의 연결성이 복구된 합성 영상을 만든다.
- 단계 6 : 수정된 합성 영상이 이전 과정의 합성 영상과 동일하여 더이상 화소값에 변화가 없으면, 단계 7로 가고 그렇지 않으면 수

정된 합성 영상을 다시 입력 영상  $I_G$ 로 취하고 단계 2로 가서 본 과정을 반복한다.

단계 7 : 수정된 합성 영상에 식 (5) 또는 (6)을 적용하여 ridge를 추출하고, 이 추출된 ridge 부분을 구하고자하는 골격선으로 결정한다.

본 알고리즘은 반복 처리 방식으로 골격선을 찾아가게 되는데, 이때 필요한 반복 횟수는 단계 6에서 자동적으로 결정된다. 그러나 영상내 물체의 최대 ridge 폭(width)의 1/2 값에 해당하는 횟수만큼 반복 연산을 함으로써도 동일한 골격선을 얻을 수 있다. 따라서 영상내 물체의 최대 ridge 폭을 미리 알 수 있으면, 이 정보를 이용하여 반복 횟수를 미리 지정함으로써 처리 시간을 단축시킬 수 있다. 한편, 일반적으로 계조치 영상을 세선화할 경우, 골격선에 짧은 가지들이 나타나는 수가 많은데, 이런 현상을 피하기 위해 입력 영상을 미리 평활화한 후 세선화 처리를 하기도 한다.

#### IV. 실험 및 결과

본 실험에서는 실험용 영상으로서 인위적으로 제작한 패턴 영상과 카메라로 취득한 문자 영상 그리고 스캐너로 취득한 지문 영상을 사용하였으며, 이것들은 256 그레이 레벨을 갖는 계조치 영상들이다. 그리고 제안된 알고리즘에서 영상의 erosion 및 ridge 검출을 위해 이용된 local min/max 연산은 근방 영역으로서 4-근방을 사용하였다. C 언어를 이용하여 알고리즘을 구현하여 그 결과를 상호 비교하였으며, 이하의 실험 결과들은 편의상 원래 영상을 역상(inverse image)으로 나타내었다.

그림 5는 인위적으로 제작한 패턴 영상에 대한 실험 결과를 보인다. 크기가 256x190인 그림 5(a)의 원영상에 대해, 그림 5(b),(c),(d),(e)는 각각 Peleg, Salari, Wang 그리고 제안 알고리즘에 의한 결과 영상을 보인다. Peleg의 기법은 우측 상단 및 중단의 패턴에서 보듯이 골격선의 형태와 연결성에 문제가 있다. 이는 이 방법이 단지 ridge를 점진적으로 생성하여 골격선을 완성해 간다는 개념을 제시할 뿐 연결성은 고려해 주지 않았기 때문이다. Salari의 기법은 우측 상단의 패턴 부분에서 보듯이 골격선이 구해지지 않는 부분이 발생한다. 이는 이 방법이 배경의 화소값을 기

준으로 영상내의 물체의 외곽선을 계속 erosion해 가면서 ridge 부분을 추적하는 방법이므로 물체내에 배경의 화소값보다는 다소 큰 우물과 같은 형상의 계조치 분포가 있는 경우 이러한 부분은 erosion이 이루어지지 않게되어 골격선의 검출이 불가능하게 되기 때문이다. Wang의 기법은 우측 상단의 패턴 및 중단의 패턴에서 보듯이 골격선의 형태와 연결성에 문제가 있는데, 이는 이 방법이 사용하는 계조치 연결수가 완전한 정보를 제공하지 않기 때문이다. 이에 대해, 제안 기법은 골격선의 형태와 연결성의 면에서 다른 기법들보다 우수함을 보인다. 단지 좌측의 패턴에서 불필요한 가지가 나타나는데, 이는 본 방법이 먼저 이미 존재하는 ridge를 추출한 후 영상을 새로이 erosion시켜 추가의 ridge를 유도하기 때문에 일어나는 현상으로서, 이 현상은 Peleg의 방법과 Wang의 방법에서도 다소 보인다. 본 결과는 식 (6)에서 height=30을 이용하여 최종적인 ridge를 구한 경우이다.

그림 6은 카메라로 취득한 한글 문자 영상을 임계화하여 얻은 영상에 대한 실험 결과를 보인다. 크기가 180x90인 그림 6(a)의 원영상에 대해, 그림 6(b),(c),(d),(e)는 각각 Peleg, Salari, Wang 그리고 제안 알고리즘에 의한 결과 영상을 보인다. Peleg의 기법은 임계값 20으로 임계화를 수행하여 얻은 결과로서 역시 골격선의 형태와 연결성에 문제가 있음을 보이며, Salari의 기법은 '복'자에서 보듯이 과도한 erosion으로 인해 골격선의 형태가 손상되어 있음을 볼 수 있다. Wang의 기법은 깨끗한 골격선을 나타내고 있으나 역시 연결성에서 약간의 문제가 있음을 보인다. 제안 기법은 골격선의 형태와 연결성의 면에서 다른 기법들보다 양호한 결과를 보인다. 본 결과는 최종적으로 ridge를 구한 후 임계값 250으로 임계화를 수행하여 얻은 결과이다.

그림 7은 스캐너로 취득한 지문 영상을 임계화하여 얻은 영상에 대한 실험 결과를 보인다. 크기가 256x256인 그림 7(a)의 원영상에 대해, 그림 7(b),(c),(d),(e)는 각각 Peleg, Salari, Wang 그리고 제안 알고리즘에 의한 결과 영상을 보인다. Peleg의 기법은 임계값 20으로 임계화를 수행하여 얻은 결과로서 원래 연결성을 고려해 주지 않는 방법이므로 골격선의 형태와 연결성에 문제가 있으며, Salari의 기법은 역시 그림 5에서와 동일한 이유에 의해 골격선이 구해지지 않는 부분이 발생한다.

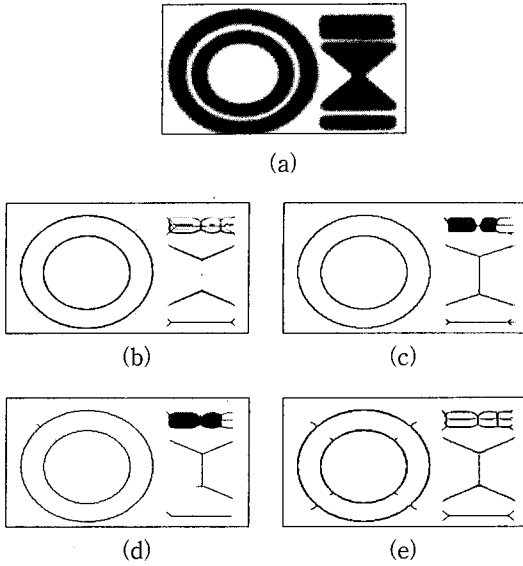


그림 5. 패턴 영상에 대한 실험 결과  
 (a) 원영상 (b) Peleg 알고리즘 (c) Salari 알고리즘 (d) Wang 알고리즘 (e) 제안 알고리즘

Fig. 5. The applied results on the pattern image.  
 (a) original image (b) Peleg algorithm (c) Salari algorithm (d) Wang algorithm (e) proposed algorithm

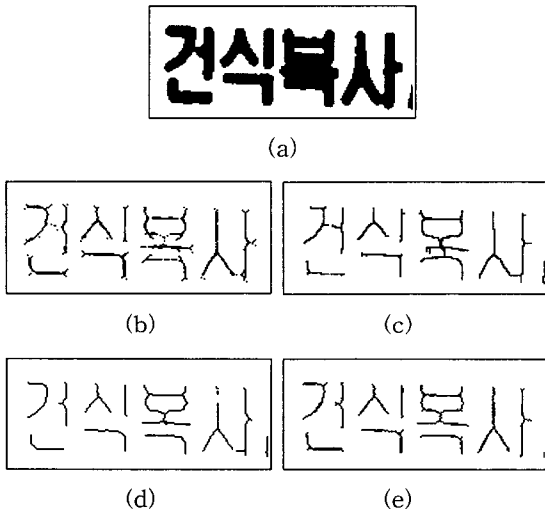


그림 6. 분할된 한글 문자 영상에 대한 실험 결과  
 (a) 원영상 (b) Peleg 알고리즘 (c) Salari 알고리즘 (d) Wang 알고리즘 (e) 제안 알고리즘

Fig. 6. The applied results on the segmented Korean character image.  
 (a) original image (b) Peleg algorithm (c) Salari algorithm (d) Wang algorithm (e) proposed algorithm

Wang의 기법은 사용하는 제조치 연결수에 기인하여 연결성이 불량하다. 이에 대해, 제안 기법은 골격선의 형태와 연결성의 면에서 다른 기법들 보다 우수함을 보인다. 본 결과는 식 (6)에서 height=20을 이용하여 최종적인 ridge를 구한 경우이다.

그림 8은 영상내의 문자들이 상호 분리되어 있지 않은 영상에 대한 실험 결과이다. 이러한 영상에 대해서는 Salari의 방법은 적용이 불가능하다. 그림 8(a)의 원영상에 대해, 그림 8(b)는 Peleg의 기법을 사용한 결과이고, 그림 8(c)는 Wang의 기법을 사용한 결과이다. 그림 8(d)는 그림 8(c)에 임계값 220으로 임계화를 수행하여 얻은 결과이다. 그림 8(e)는 제안 기법을 사용하여 최종적인 ridge를 얻기 직전의 결과이고, 그림 8(f)는 그림 8(e)에 임계값 240으로 임계화를 수행하여 얻은 결과이다. 이들 결과에서도 골격선의 형태와 연결성의 관점에서 제안기법이 보다 양호한 것을 볼 수 있다.

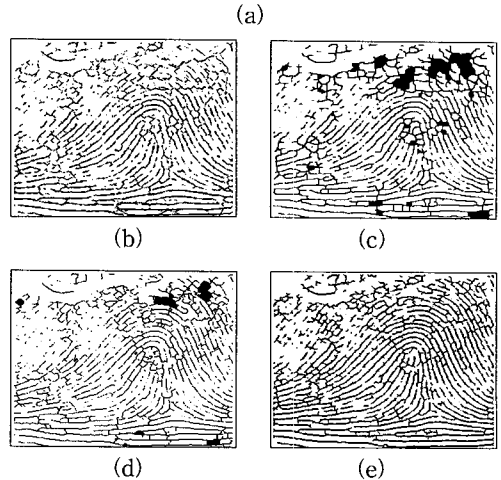


그림 7. 분할된 지문 영상에 대한 실험 결과  
 (a) 원영상 (b) Peleg 알고리즘 (c) Salari 알고리즘 (d) Wang 알고리즘 (e) 제안 알고리즘

Fig. 7. The applied results on the segmented finger print image.  
 (a) original image (b) Peleg algorithm (c) Salari algorithm (d) Wang algorithm (e) proposed algorithm

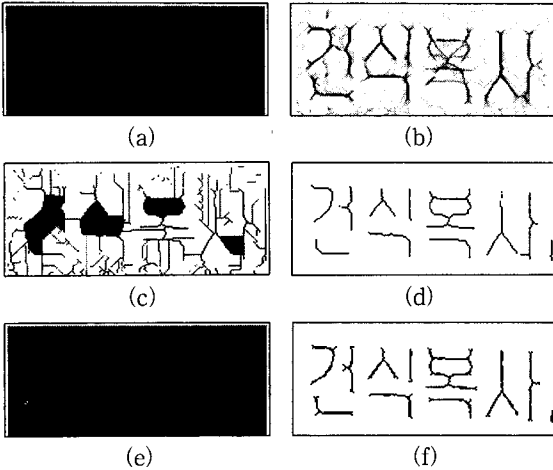


그림 8. 한글 문자 영상에 대한 실험 결과  
 (a) 원영상 (b) Peleg 알고리즘 (c) Wang 알고리즘 (d) Wang 알고리즘(T=220) (e) 제안 알고리즘 (f) 제안 알고리즘(T=240)

Fig. 8. The applied results on Korean character image.  
 (a) original image (b) Peleg algorithm (c) Wang algorithm (d) Wang algorithm (T=220) (e) proposed algorithm (f) proposed algorithm(T=240)

이상의 실험 결과들을 종합하여 분석해 보면, Peleg의 기법은 local min/max 연산을 이용하는 초기의 세선화 기법으로서 연결성에 문제를 야기하고 있고, Salari의 기법은 영상내의 물체들이 상호간에 완전히 분리되지 않은 경우에는 적용이 불가능하며, 내부에 배경과 다른 계조치를 갖는 원형의 패턴은 세선화가 되지 않는 단점을 갖는다. 그리고 Wang의 기법은 다른 기법에 비해 양호한 골격선을 제공하나 연결성에 다소의 문제가 있다. 이에 대해 제안 기법은 골격선의 형태와 연결성의 관점에서 기존의 방법보다 개선된 특성을 보이고 있다. 단지 제안 기법에 의해 구해지는 골격선의 폭(width)이 2화소 이내로 얻어지는데, 이는 결과 영상에 추가로 이치 영상의 세선화를 적용하면 해결할 수 있을 것이나, 향후 1화소 폭인 골격선의 획득에 대해서는 추가의 연구가 필요하다고 본다.

V. 결 론

세선화는 영상 처리에 의해 물체의 형태를 분석할 때 많이 사용되는 중요한 전처리 기법이다. 기존에 이치 영상에 대한 세선화 기법은 많은 연구가 이루어져

왔는데, 이들 기법을 사용하기 위해서는 먼저 영상을 이치화하여 영상내의 물체와 배경을 명확히 분리해야 한다. 그러나 실제의 경우, 계조치 영상내의 물체와 배경사이의 경계가 모호한 경우가 빈번하여 원하는 바 대로 영상을 이치화하는 것이 용이하지 않은 경우가 많다. 따라서, 계조치 영상 자체에서의 세선화 작업이 요구된다.

본 연구에서는 local min/max 연산의 erosion 및 dilation 기능을 이용하여 계조치 영상을 세선화하는 기법을 제시하였다. 본 기법에서는 영상의 erosion과 ridge 검출을 통하여 계조치 영상내의 물체의 골격선을 추출하게 되는데, 이때 영상의 erosion은 새로운 ridge의 출현을 유도하고 그후 ridge의 검출에 의해 골격선을 추출하게 된다. 이 과정은 각 단계의 결과 영상에 반복적으로 수행되며, 그에 따라 골격선이 누적되어 점차로 물체의 골격선이 완성되어 간다. 본 기법은 기존의 Peleg 기법이 사용하는 local min/max 연산을 사용하고 있으나 ridge의 유도 및 검출 방법등 골격선 추출 방법의 개념이 다르고, Salari 방법과는 달리 물체의 윤곽선에 관계없이 물체의 ridge 부분을 직접 검출하는 방식을 채택하고 있으며, Wang이 화소의 제거 조건으로 사용한 계조치 연결수를 골격선의 연결성 복구에 응용하였다.

본 기법은 구해진 골격선의 연결성이 양호히 보존되고, 골격선의 위치가 물체내의 큰 화소값 부분이 되며, 미리 계조치 영상내의 물체를 명확히 분리할 필요가 없다는 장점을 갖는다. 또한 본 기법에서 사용하는 주된 연산은 처리가 패러렐 타입인 단순한 local min/max 연산으로 이루어지므로 이 연산을 H/W로 구현할 경우 처리 속도의 향상을 기할 수 있다. 실험을 통하여 기존의 기법들과 성능을 비교해 본 결과, 본 기법이 골격선의 형태와 연결성의 관점에서 개선된 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

한편, 본 기법을 사용할 경우, 구해지는 골격선의 폭이 2화소 이내의 두께를 가지게 되는데, 이는 본 기법에서 사용된 ridge 검출 기법이 가지는 내재적인 특성에 기인하는 것으로서, 향후 1화소 폭의 ridge를 검출하는데 대한 추가의 연구가 필요하리라 본다.

참 고 문 헌

[1] L.Lam, S.W.Lee and C.Y.Suen, "Thinning



- Methodologies - A Comprehensive Survey", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.9, pp.869-885, 1992.
- [2] V.K.Govindan and A.P.Shivaprasad, "A pattern adaptive thinning algorithm", Pattern Recognition, Vol.20, No.6, pp.623-637, 1987.
- [3] N.J.Naccache and R.Shinghal, "SPTA : A proposed algorithm for thinning binnary patterns", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol.14, No.3, pp.409-418, 1984.
- [4] T.Y.Zhang and C.Y.Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns", Comm. of the ACM, Vol.27, No.3, pp.236-239, 1984.
- [5] Y.S.Chen and W.H.Hsu, "A modified fast parallel algorithm for thinning digital patterns", Pattern Recognition Letters, Vol.7, No.2, pp. 99-106, 1988.
- [6] C.R.Dyer and A.Rosenfeld, "Thinning algorithm for gray-scale pictures", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-1, No.1, Jan., 1979.
- [7] S.Peleg and A.Rosenfeld, "A min-max medial axis transformation", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-3, pp.208-210, 1981.
- [8] E.Salari and P.Sly, "The Ridge-Seeking Method for Obtaining the Skeleton of Digital Images", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-14, No.3, pp.524-528, 1984.
- [9] Y.Nakagawa and A.Rosenfeld, "A note on the use of local min and max operations in digital picture processing", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-8, pp.632-635, 1978.
- [10] 박중조, 김경민, 정순원, 박귀태, "Local min/max 연산을 이용한 Ridge 및 Valley의 검출", 대한전자 공학회 논문지, 제 33권 B편, pp.974-982, 1996
- [11] C.Wang and K.ABE, "A Method of Gray-scale Image Thinning : The Case without Region specification for Thinning", IEEE 11th Int. Conf. on Pattern Recognition., Vol. 3, pp.404-407, 1992.

---

 저 자 소 개
 

---

朴重祖(正會員)

第 33卷 B編 第 5號 參照

현재 경상대학교 제어계측공학과 조교수