

論文96-33B-2-13

그레이 스케일 골격선 영상으로부터 새로운 형태론적 이진영상의 복원

(A New Morphological Algorithm for Reconstruction of a Binary Image from its Grayscale Skeleton)

金朱敬*, 金翰均**, 鄭己鉉**, 羅相臣**, 崔太永**

(Ju Gyung Kim, Han Gyoon Kim, Ki Hyun Chung, Sang Sin Na, and Tae Young Choi)

요 약

본 논문에서는 이진영상의 그레이 스케일 형태론적 골격선으로부터 원래의 이진영상을 복원하는 새로운 연산법을 제안한다. 기존의 방법들은 이진 형태론적 연산법을 사용한 반면에, 이 방법에서는 그레이 스케일 불림 연산을 사용하였다. 제안된 방법의 타당성을 수학적으로 증명하였고, 컴퓨터 모의실험에 의하여 확인하였다.

Abstract

In this paper, a new morphological algorithm for binary image reconstruction from grayscale skeleton is proposed. In the proposed algorithm, grayscale morphological dilation is utilized, instead of binary morphological operations for the conventional methods. The algorithm is proven mathematically and verified by computer simulation results.

I. 서 론

최근 활발히 연구되고 있는 수리 형태론적 영상처리는 형태를 신호처리의 기반으로 하여 영상내의 필수적인 형태를 보존하면서 불필요한 정보를 제거함으로써 잡음제거, 영상분할, 결합검출, 골격선(skeleton)추출 등에 유효한 비선형 신호처리이다^[1-8].

형태론적 골격선^[1-3]은 형태론적 연산에 의해 원 영상의 기하학적 형태를 간략히 묘사하는 물체 특징 추출이라 할 수 있다. 그리고, 많은 양의 데이터가 제거되었을뿐 아니라 골격선 영상으로부터 원 영상으로 환

원 복원이 가능하기 때문에 데이터 압축면에서도 그 가능성을 보이고 있다.

최근에, 그레이 스케일 형태론을 사용한 이진영상의 골격선 추출방법이 제안되었다^[1]. 이 방법은 0과 1 두 값을 갖는 이진영상을 -1과 ∞의 값을 갖는 이진영상으로 축척을 변환시킨 후 형태론적 녹임(erosion) 연산을 주어진 조건에 도달할 때까지 반복적으로 수행하여 그레이 스케일 골격선 영상을 얻는다. 그레이 스케일 골격선 영상에서 동일한 陽의 그레이값을 갖는 화소들만으로 이루어진 이진 부분 골격선(sub-skeleton)을 얻은 후 이들의 합집합으로 최종 골격선을 얻는 방법이다. 또한, 이들 이진 부분 골격선들에 대응하는 크기의 형태소와 이진 불림(dilation)한 결과의 합집합으로 원래의 이진영상을 복원할 수 있다.

본 논문에서는 이진 부분 골격선들에 의한 기존의 복원방법 대신에 그레이 스케일 골격선으로부터 원래의 이진영상을 복원하는 알고리즘을 제시하였다. 이 방

* 準會員, ** 正會員, 亞洲大學校 電子工學科.

(Dept. of Electronics Engineering, Ajou Univ.)

※ 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

接受日字: 1995年1月28日, 수정완료일: 1996年1月24日

법은 그레이 골격선 영상을 3×3크기의 형태소로 주어진 수만큼 반복적으로 그레이 스케일 불림한 후 이치화하므로써 원래의 이진영상을 복원할 수 있다. 그러므로 기존의 방식은 각 부분 골격선과 이진 부분 골격선들에 대응하는 크기의 형태소를 가져야하나 제안방법에서는 하나의 그레이스케일 영상과 피라미드형 형태소만으로 원 영상을 얻을 수 있다. 본 논문은 II장에서 수리 형태론적 골격선에 대하여 고찰하고, III장에서 그레이 스케일 골격선 영상으로부터 원 영상을 복원하는 알고리즘을 제안하고, IV장에서 컴퓨터 모의실험 결과를 보이고, 마지막 V장의 결론순으로 되어있다.

II. 수리 형태론적 골격선

1. 수리 형태론적 연산의 정의

기본적 수리 형태론적 연산에는 영상의 밝은 부분을 확장하는 불림과 축소하는 녹임이 있으며, 이들의 조합 형태로서 형태소의 크기보다 작고 밝은 부분을 제거하는 열림(opening)과 이와는 반대로 형태소의 크기보다 작고 어두운 부분을 제거하는 불임(closing)이 있다. 여기서는 먼저, 수리 형태론적 연산자들의 정의에 대하여 간단히 언급하고 이들 연산자에 의한 골격선을 정의하겠다.

1) 이진 형태론적 연산

집합 F와 B가 2차원 평면상의 주어진 좌표점들을 원소로 하는 집합일때, F를 B로 녹임 및 불림한 $F \ominus B$ 와 $F \oplus B$ 는 식(1)과 같이 정의된다^[41].

$$F \ominus B = \bigcap_{d \in B} F_{-d} \tag{1}$$

$$F \oplus B = \bigcup_{d \in B} F_d$$

여기서, \cap 와 \cup 기호는 각각 교집합과 합집합을, F_d 는 F를 d만큼 이동한 집합을 나타낸다.

2) 그레이 스케일 형태론적 연산

2차원 평면 좌표계상에서 주어진 존재영역이 각각 D_i 와 D_b 인 $f(x)$ 와 $b(x)$ 의 그레이 스케일 녹임 및 불림한 $f \ominus b$ 와 $f \oplus b$ 의 2차원 평면 좌표계상의 점 x에서의 그레이값 $(f \ominus b)(x)$, $(f \oplus b)(x)$ 는 식(2)와 같이 정의된다^[41].

$$(f \ominus b)(x) = \min_{y \in D_b} \{ f(x+y) - b(y) \mid x+y \in D_i \} \tag{2}$$

$$(f \oplus b)(x) = \max_{y \in D_b} \{ f(x-y) + b(y) \mid x-y \in D_i \}$$

여기서, 만약 $b(x)$ 가 존재영역 D_b 내에서 모든 좌표점 x에 대해 zero값을 갖고(즉, 위치만 나타내는 좌표점들의 집합과 같아 위 1)의 B집합으로 볼 수 있다.), $f(x)$ 가 D_i 내에서 이치값(l_0 또는 $l_1 : l_0 < l_1$) 만을 갖는다고 하면 식(2)의 그레이 스케일 연산결과도 마찬가지로 l_0 또는 l_1 값을 갖게된다. 그중 큰 값 (l_1)만을 갖는 좌표점으로 된 집합이 결국은 식(1)의 $F = \{ x \mid f(x) = l_1 \}$ 와 B의 이진 연산결과와 동일함을 알 수 있다. 따라서 D_b 영역내에서 $b(x)$ 가 zero값을 갖고, 즉, $b(x)$ 가 단순히 위치만을 나타내는 집합 B이고, $f(x)$ 가 D_i 영역내에서 이진(이치)값만을 갖는다면 식(2)의 결과는 $f(x)$ 의 값중 큰 값만을 갖는 점들의 집합 F와 B의 이진 연산 결과로 얻어진 집합(좌표점)과 이것의 보집합에 해당하는 좌표만의 값을 각각 크고 작은 서로 다른 이치값을 부여한 것과 같다.

위 1), 2)의 기본적인 형태론적 연산인 녹임과 불림의 조합연산인 열림과 불임은 이진인 경우나 그레이 스케일인 경우 모두다 동일한 수식형태로 식(3)과 같이 정의되는데 단지 본 논문에서는 식(1), (2)처럼 대·소문자로 이진과 그레이 스케일로 각각 구별하기로 하겠다.

$$\begin{aligned} \text{열림} : F \circ B &= (F \ominus B) \oplus B \\ f \circ b &= (f \ominus b) \oplus b \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \text{불임} : F \bullet B &= (F \oplus B) \ominus B \\ f \bullet b &= (f \oplus b) \ominus b \end{aligned}$$

2. 기존의 수리 형태론적 골격선 추출 및 개념

우선, $f(x)$ 가 0 또는 1의 두 가지 값만을 갖는 이진 영상이고 $f(x) = 1$ 인 영역이 골격선화 하려는 대상물영역(집합F)이고, 이 대상물영역의 바깥은 $f(x) = 0$ 인 배경영역으로 되어 있다고 가정하자. 즉, D_i 가 무한 2차원평면이고 그 무한평면의 경계면에서 $f(x) = 0$ 이다. 이미 알려진 이진영상의 골격선 과정에 대하여 간략히 기술하기로 하겠다.

1) 이진 형태론적 골격선 (방법 I) ^[41]

집합 Z를 2차원 공간좌표의 원점만을 원소로 하는 원점집합이라 할 때, 이 Z를 그림 1. (a)와 같이 3×3점을 원소로 하는 집합 B로 n번 불림한 것을 B^n 이라 하자 (단, $B^0 = Z$ 로 정의하고, $B^1 = B$). 집합 F를 B^n 으로 녹임한 것과 이것을 다시 B로 열림한 것과의 차집합을 n번째 부분 골격선 $S_n(F)$ 라 하면, F의 골격선 S(F)는

식(4)와 같이 정의된다.

$$S(F) = \bigcup_{n=0}^N S_n(F) \quad (4)$$

여기서,

$$S_n(F) = (F \ominus B^n) - (F \ominus B^n) \circ B$$

$$B^n = Z \oplus B \oplus B \oplus \dots \oplus B : Z \text{를 } B \text{로 } n \text{번 불림}$$

$$N = \max \{ n | (F \ominus B^n) \neq \emptyset \} \text{ 이다.}$$

역으로, $S_n(F)$ 를 B^n 으로 불림하여 모든 n 에 대하여 합집합을 구하면 원래의 이진영상 F 가 식(5)와 같이 복원된다.

$$F = \bigcup_{n=0}^N [S_n(F) \oplus B^n] \quad (5)$$

$$= \{ \{ \dots \{ \{ \{ S_N(F) \oplus B \} \cup S_{N-1}(F) \} \oplus B \} \dots \cup S_1(F) \} \oplus B \} \cup S_0(F)$$

여기서, 두번째 등식은 $(X \oplus B) \cup (Y \oplus B) = (X \cup Y) \oplus B$ 의 성질을 이용한 결과이다.

2) 그레이 스케일 형태론적 골격선 (방법 II) ^[11]

이진 $f(x)$ 의 이치값 0과 1을 각각 -1 과 ∞ 값으로 바꾼 $f^0(x)$ 와 원점을 포함하는 집합 B 의 영역내에서 원점과 그 외의 점에 각각 0과 -1값을 부여한 이진 형태소 b (그림 1 (b))와의 그레이 스케일 녹임연산을 $(M+1)$ 번 반복연산한 후 식(6)과 같이 그레이 스케일 골격선 $g(x)$ 를 얻는다.

$$g(x) = \begin{cases} -1 & f^{M+1}(x) = -1 \text{ or } f^{M+1}(x) < f^{M+1}(x) \text{ and } f^{M+1}(x) \geq 0, \\ f^{M+1}(x) & f^{M+1}(x) \geq f^{M+1}(x) \text{ and } f^{M+1}(x) \geq 0. \end{cases} \quad (6)$$

여기서,

$$f^{m+1} = f^m \ominus b, \quad m \geq 0,$$

$M = \{ m | f^{m+1} = f^m \text{ or } f^{m+1} < \infty \}$: 식(4)의 N 과 동일.

$\bar{x} \in (B)_x$, and $\bar{x} \neq x : (B)_x$ 는 B 를 x 만큼 이동한 집합이고, \bar{B} 는 B 를 원점대칭한 집합이다.

또한, 식(7)과 같이 이 그레이 스케일 골격선의 양의 그레이값을 갖는 좌표점들 $S(F)$ 와 같고, $g(x)$ 가 $n(n \geq 0)$ 이 되는 좌표점들의 집합이 n 번째 부분 골격선 영상이 된다.

$$S(F) = \{ x | g(x) \geq 0 \}$$

$$= \bigcup_{n=0}^N S_n(F), \quad (7)$$

$$S_n(F) = \{ x | g(x) = n, \quad n \geq 0 \}$$

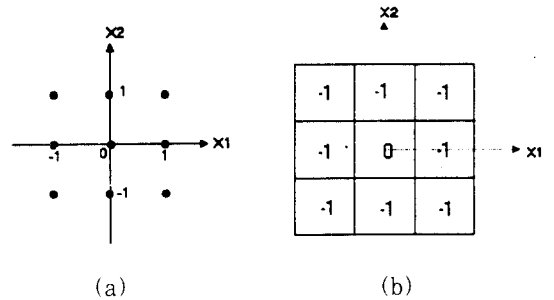


그림 1. 이진 및 그레이 스케일 골격선을 위한 형태소 B 와 b :
(a) 이진 형태소 B , (b) 그레이 스케일 형태소 $b : b(z) = \begin{cases} 0 & z \in Z \\ -1 & z \in B \cap Z^c \end{cases}$

Fig. 1. Structuring elements B and b for binary and grayscale skeletons :
(a) binary structuring element B ,
(b) grayscale structuring element b .

III. 그레이 스케일 골격선으로부터 형태론적 이진영상 복원

II장에서 고찰한 기존의 골격선화 방법 I, II는 부분 골격선을 얻는 방법은 달랐으나 이 부분 골격선으로부터 $F = \{ x | f(x) = 1 \}$ 를 복원하는 방법은 동일하였다.

여기서는, 식(6)의 그레이 스케일 골격선 $g(x)$ 로부터 부분 골격선 과정을 거치지 않고 직접 $g(x)$ 로부터 F 를 복원하는 방법을 유도하고자 한다.

우선, $\{ x | g(x) \geq 0 \} \neq \emptyset$ 라 가정하면(D_g 영역내의 모든 점 x 에서 $g(x) \neq -1$: 골격선이 존재), $g(x)$ 를 표본화한 $g_n(x)$ 를 식(8)로 정의할때 $g(x)$ 와 $S_n(F)$ 는 식(9)와 식(10)처럼 각각 나타낼 수 있다.

$$g_n(x) = \begin{cases} n & g(x) = n \\ -1 & \text{그외} \end{cases} \quad (8)$$

$$g(x) = \max_{0 \leq n \leq N} g_n(x) \quad (9)$$

$$S_n(F) = \{ x | g_n(x) \geq 0 \} \quad (10)$$

또한, 원점집합 Z 를 그림 1. (b)의 형태소 b 로 n 번

불림한 b^n (식(11))은 그림 2와 같이 원점에 중심을 둔 피라미드 구조를 갖는데, $(2m+1) \times (2m+1)$ 정사각형($m \geq n$) 둘레상의 모든점에서 동일한 $-m$ 의 값을 갖는다. 이러한 $(2m+1) \times (2m+1)$ 정사각형 둘레상의 모든점을 원소로하는 집합을 P_m ($P_0 = Z$)이라 한다.

$$b^n = Z \oplus b \oplus b \cdots \oplus b : Z \text{를 } b \text{로 } n \text{번 불림,}$$

$$(b^0 = Z, b^1 = b) \tag{11}$$

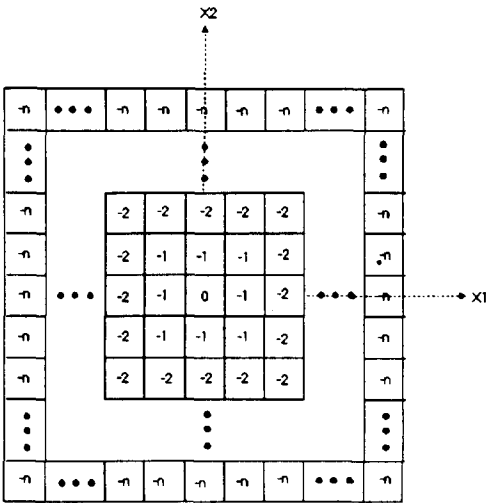


그림 2. 피라미드형 형태소 $b^n : Z$ 를 b 로 n 번 불림.
Fig. 2. Pyramidal structuring element of b^n : dilated Z by b n times.

그러면, 식(8) 및 (11)의 g_n 과 b^n 은 다음과 같은 특성을 갖는다.

Property 1 : 표본화된 그레이 스케일 골격선 g_n (식(8))과 피라미드형 형태소 b^m ($m \geq n$)과의 불림은 g_n 과 b^n 의 불림과 동일하다. 즉,

$$g_n \oplus b^m = g_n \oplus b^n \quad (m \geq n)$$

(증명) 식(8), (10) 및 (2)에서,

$$\begin{aligned} (g_n \oplus b^m)(x) &= \max_{z \in B^m} \{ g_n(x-z) + b^m(z) \} \\ &= \max_{\substack{z \in P_k \\ 0 \leq k \leq m}} \{ g_n(x-z) - k \} \\ &= \max_{\substack{z \in P_k \\ 0 \leq k \leq n}} \{ g_n(x-z) - k \} \end{aligned}$$

$$= \max_{z \in B^n} \{ g_n(x-z) + b^n(z) \}$$

여기서, 두번째 등식은 $B^m = \bigcup_{k=0}^m P_k$ 이라는 사실에서 나왔고 세번째는 $g_n(x)$ 가 -1 또는 n 인 이치값만 갖기 때문에, $z(z \in P_0)$ 에 대해서는 두번째 우변식의 $\{ \}$ 항이 -1 또는 n 의 값을 가질 수 있는데 반하여 $z \in P_k$ ($k \geq n+1$)일때는 이 $\{ \}$ 항이 -1 이하이기 때문에 최대값을 취하는 데에는 $z \in P_k$ ($0 \leq k \leq n$)만 유효하기 때문이다.

Property 2

$$\max_i (f_i \oplus k) = \max_i (f_i) \oplus k$$

$$\{ x \mid \max_i f_i(x) \geq \theta \} = \bigcup_i \{ x \mid f_i(x) \geq \theta \}$$

(증명) : 식(2)의 그레이 스케일 형태론적 연산정리에 의하여,

$$\begin{aligned} (\max_i (f_i \oplus k))(x) &= (\max_i (\max_{z \in D_i} (f_i(x-z) + k(z))))(x) \\ &= (\max_{z \in D_i} (\max_i (f_i(x-z) + k(z))))(x) \\ &= \max_i (f_i) \oplus k \end{aligned}$$

그리고, $\max(a,b) \geq \theta = (a \geq \theta \text{ or } b \geq \theta)$ 인 집합공리를 이용하여,

$$\begin{aligned} \{ x \mid \max_i f_i(x) \geq \theta \} &= \{ x \mid f_1(x) \geq \theta \text{ or } f_2(x) \geq \theta \text{ or } \dots \} \\ &= \{ x \mid f_1(x) \geq \theta \} \cup \{ x \mid f_2(x) \geq \theta \} \cup \dots \end{aligned}$$

Theorem : 집합 F 는 그레이 스케일 골격선 $g(x)$ 를 형태소 $b^N(x)$ 로 불림한 결과가 0 이상인 점의 집합과 같다. 즉,

$$F = \{ x \mid (g \oplus b^N)(x) \geq 0 \}.$$

여기서, N 은 $g(x)$ 의 최대값이다.

(증명) 우선, $\{ x \mid (g \oplus b^N)(x) \geq 0 \} = Q$ 라 하자. 그러면,

$$\begin{aligned} Q &= \{ x \mid (\max_{0 \leq n \leq N} (g_n \oplus b^n))(x) \geq 0 \} \\ &= \{ x \mid \max_{0 \leq n \leq N} (g_n \oplus b^N)(x) \geq 0 \} \\ &= \bigcup_{n=0}^N \{ x \mid (g_n \oplus b^N)(x) \geq 0 \} \end{aligned}$$

여기서, 첫번째 등식은 식(9)의 g 를 대입한 것이고 두번째 세번째 등식은 Property 2 를 이용하여 얻을 수 있다. 이 수식을 더 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q &= \bigcup_{n=0}^N \{x \mid (g_n \oplus b^n)(x) \geq 0\} \\ &= \bigcup_{n=0}^N \{x \mid \max_{z \in B^n} (g_n(x-z) + b^n(z)) \geq 0\} \\ &= \bigcup_{n=0}^N \bigcup_{z \in B^n} \{x \mid g_n(x-z) \geq -b^n(z)\} \end{aligned}$$

여기서, 첫번째 등식을 얻기위하여 Property 1을 이용하였고, 두번째를 위해서 식(2)의 불림정의를 사용하였고, 마지막 수식은 Property 2를 이용하여 얻을 수 있다.

그런데, 위 마지막 수식의 $\{ \}$ 항은 -1 또는 n 의 값을 갖는 $g_n(x-z)$ 가 $-b^n(z)$ 보다 큰 점 x 를 구하는 것이지만, $0 \leq -b^n(z) \leq n$ 이므로 모든 n 에 대하여 구하고자하는 점 x 는 $g_n(x-z) \neq -1$ 인 점. 즉, $g_n(x-z) \geq 0$ 인 점과 같아서 다음 수식으로 간략화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q &= \bigcup_{n=0}^N \bigcup_{z \in B^n} \{x \mid g_n(x-z) \geq 0\} \\ &= \bigcup_{n=0}^N S_n(F) \oplus B^n \end{aligned}$$

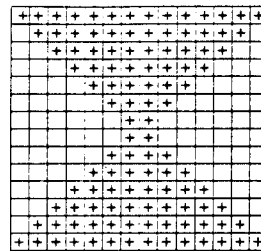
여기서, 마지막 수식은 식(10), 식(2) 및 식(1)의 이진 및 그레이 스케일 연산정의를 이용하여 얻을 수 있고 이 마지막 수식이 바로 식(5)에서 정의한 F 이다.

따라서, 그레이 스케일 골격선 g 로부터 기존의 방법 I, II와는 달리 g 를 형태소 B^N 로 한 번 불림하여 이치화하므로써 복원됨을 알 수 있다.

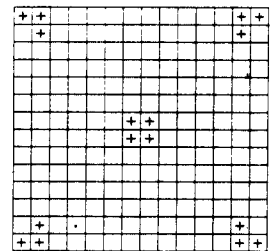
IV. 모의 실험

여기서는 III의 Theorem을 증명하기 위하여 컴퓨터 실험을 해보았다. 그림 3은 (a)의 원 영상 F 를 방법 I (이진 형태론적 골격선화)에 의하여 부분 골격선을 구하는 과정을 나타내었다. 주의할 점은 II장에서 언급한 바와 같이 그림 3. (a)의 \oplus 표시(1) 외의 모든 주변 배경화소는 \square 표시(0)이다. 즉, 그림 3. (a)의 14×14 정사각형 외부의 모든점에서의 값은 0이다. 그림 3의 (b), (c), (d)는 식(4)에 의한 부분 골격선 추출 결과이고($N=2$ 임을 알수있음.), 이 (b), (c), (d)의 $S_n(F)$ ($n=0, 1, 2$)들로부터 원 영상 F 가 복원된다

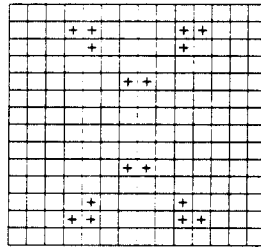
(식(5)). 그림 4는 그림 3. (a) 이진영상의 방법II에 의한 골격선 과정을 보여준다. 그림 4. (a)는 그림 3. (a)의 0과 1을 각각 -1 과 ∞ 로 변환된 이진영상 $f^0(x)$ 를 나타내고 그림 4. (b)는 식(6)에 의해 구해진 그레이 스케일 골격선 영상 $g(x)$ 를 보여준다. 이 $g(x)$ 영상으로부터 식(7)에 의한 부분 골격선을 구하면 바로 그림 3의 (b), (c), (d)와 동일함을 알 수 있다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 Theorem에 의한 연산 결과이다. 그림 5의 (a)는 $(g_n(x) \oplus b^2(x))(x)$ 이고, (b)는 이것을 문턱값 0으로 이치화 한것으로 그림 3. (a)의 F 와 동일함을 알 수 있다. 여기서, b^2 은 3단 피라미드형 형태소(그림 2)이다.



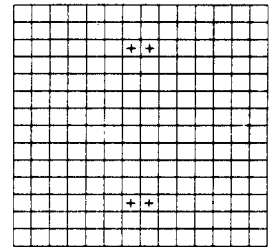
(a) original image : F



(b) $S_0(F)$



(c) $S_1(F)$



(d) $S_2(F)$

여기서, \oplus : 1, \square : 0 이다.

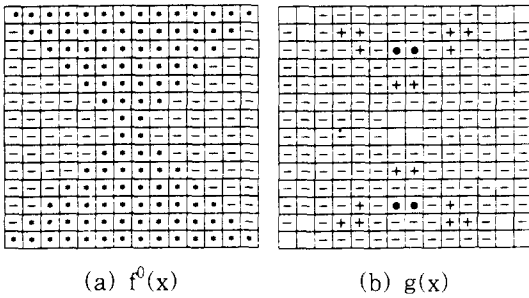
그림 3. 이진 형태론적 골격선화 방법 I : (a) 원 영상 F 이고, (b), (c), (d)는 각각 부분 골격선 $S_0(F)$, $S_1(F)$, $S_2(F)$ 이다.

Fig. 3. Skeletonizing method I by binary morphology : (a) original image, (b), (c), and (d) are sub-skeletons $S_0(F)$, $S_1(F)$, and $S_2(F)$, respectively.

V. 결론

본 논문에서는 여러개의 이진 부분 골격선을 이용하

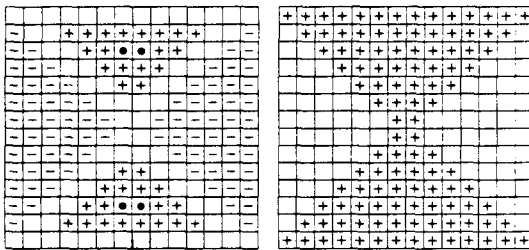
여 원래의 이진영상을 복원하는 기존 방법 대신에 이진 부분 골격선들을 가중하여 하나의 함수로 나타낸 그레이 스케일 골격선을 피라미드형 형태소에 의한 그레이 스케일 불림에 의하여 원 영상을 복원하는 방법을 제안하였다.



여기서, \square : ∞ , \bullet : 2, $+$: 1, \square : 0, \square : -1 이다.

그림 4. 방법 II에 의한 골격선화 : (a) -1과 ∞ 값을 갖는 이진영상 $f^0(x)$, (b) 그레이 스케일 골격선 $g(x)$.

Fig. 4. Skeletonizing method II : (a) binary image $f^0(x)$ with two levels of -1 and ∞ , (b) grayscale skeleton $g(x)$.



여기서, \bullet : 2, $+$: 1, \square : 0, \square : -1 이다.

그림 5. 제안한 복원 알고리즘의 결과 :

(a) $(g \oplus b^2)(x)$, (b) $\{x | (g \oplus b^2)(x) \geq 0\}$.

Fig. 5. Results of proposed reconstruction algorithm :

(a) $(g \oplus b^2)(x)$, (b) $\{x | (g \oplus b^2)(x) \geq 0\}$.

기존의 방법으로 골격선을 구하여 N 개의 부분 골격선을 얻는다면 기존의 방법에 의한 골격선에 수행되는 녹임과 불림 횟수는 형태소를 각 부분골격선을 만들기 위해 필요한 N 번과 녹임이 $(3 \times N) - 2$ 필요하다. 여기서 -2 는 부분 골격선의 0 번째에서는 원 영상에서 원 영상을 열림한 영상의 차를 구하므로 2 번의 녹임을 하지않는다. 제안 방법에서는 같은 수의 녹

임과 불림의 과정을 거치므로 연산의 횟수에서는 차이가 없다. 여기에서는 결과 영상을 그레이 스케일 영상으로 저장하여 복원시 계산과정을 줄이게 된다. 복원 과정에서 기존의 방법은 N 번째 부분 골격선을 원 영상으로 복원하기위해 형태소를 N 번 불림 연산을 하여야 하고 또한 이 B^N 형태소와 원 영상을 불림하여야 N 번째 부분 골격선에 대한 복원을 할 수 있다. 계속 반복적으로 부분 골격선 1 번째 까지 불림연산을 하여 합집합을 취하면 원 영상이 된다. 합집합하기 전까지의 총 불림 연산수는 $\sum_{k=1}^N k$ 가 된다. 제안 방법에서는 그레이 스케일로 저장된 영상에 대하여 N 단 피라미드형 형태소로 1 번의 불림을 행하면되므로 이때의 연산수는 N 단 피라미드형 형태소를 만들기위한 그레이 스케일 불림이 N 번 필요하게 되고 이것과 그레이 스케일 골격선과의 그레이 스케일 불림이 한번 필요하여 N + 1 번의 그레이 스케일 불림이 필요하다. 이러한 그레이 스케일 연산을 도입하므로써 여러개의 부분 골격선 영상과 각 부분 골격선에 따른 다른 크기의 형태소에 대한 정보를 가지지 않고 원 영상으로 복원됨을 알 수 있다. 따라서 복원시 연산횟수는 기존의 방법보다 줄어들게 된다. 이를 효과적으로 처리하기위한 구조는 계속 연구되어야 할 것이다. 또한, 이를 수리 형태론적 연산의 성질을 이용하여 수식적으로 증명하였고, 실험적으로 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] E. Liang and E. K. Wong, "An efficient method for obtaining morphological skeletons", *Pattern Recognition Letters* 14, pp. 689-695, 1993.
 [2] T. W. Pai and J. H. L. Hansen, "Bit plane decomposition and shape analysis for morphological skeletonization", *SPIE, Visual Communications and Image Processing* Vol. 1818, pp. 885-896, 1992.
 [3] P. E. Trahanias, "Binary shape recognition using the morphological skeleton transform", *Pattern Recognition*, Vol. 25, No. 11, pp. 1277-1288, 1992.
 [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1992.

- [5] R. M. Haralick and L. G. Shapiro. *Computer and Robot Vision* Vol. I, Addison-Wesley, 1992.
- [6] 박덕홍 외, "형태론적 고속 복원성 여파기", 대한전자공학회논문지, 제31권 B편 제12호, pp. 81-89, 1994년 12월
- [7] C. R. Giardina and E. R. Dougherty, *Morphological Methods in Image and Signal Processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1988.
- [8] E. R. Dougherty, *Digital Image Processing Methods*, Marcel Dekker, New York, 1994.

 저 자 소 개



金 朱 敬(準會員)

1971년 9월 17일생. 1994년 월 동의대학교 전자공학과 학사. 1996년 2월 아주대학교 전자공학과 석사. 현재 대한전선 정보통신연구소 연구원. 주관심분야는 영상 처리, 통신망, 멀티미디어

金 翰 均(正會員) 第32卷 B編 第 6號 參照

현재 현대전자 멀티미디어 연구소 근무중

鄭 己 鉉(正會員) 第32卷 B編 第 6號 參照

현재 아주대학교 전자공학과 교수

羅 相 臣(正會員) 第32卷 B編 第 6號 參照

현재 아주대학교 전자공학과 교수

崔 太 永(正會員) 第32卷 B編 第 6號 參照

현재 아주대학교 전자공학과 교수