

문자 패턴의 골격화 향상을 위한 효과적인 병렬 처리 방법

신 충 호[†]

요 약

골격선 추출에 대한 향상된 디지털 이미지를 획득하기 위해서 효과적인 골격화 방법을 제안한다. 제안한 방법은 임계값을 이용한 이진화를 거친 후에 본 방법을 적용하여 영상 골격화 효율을 높이고자 한다. 골격선의 비교분석을 위해서 기존의 골격화 방법들과 SPTA 방법을 사용하였다. 기존 방법들의 단점은 확장과 수축이 심하고 잡영까지로 인해서 원형의 영상을 유지하기 어렵다. 이러한 단점을 보완한 새로운 방법인 SPTA 방법을 제안한다.

The Effective Parallel Processing Method for the Skeleton Improvement of Character Patterns

Choong-Ho Shin[†]

ABSTRACT

In this paper, an effective skeleton method is proposed in order to obtain an enhanced digital image of skeleton line. The binary image using the threshold values is applied in the preprocessing stage and then The proposed method is applied to obtain the improved image of skeleton line. We used the existing skeleton methods and SPTA(Shin's Parallel Thinning Algorithm) method for the comparison. The demerits of the existing skeleton methods have a result of noise branch, expansion and contraction. and then we are proposed a SPTA method.

Key words: Threshold Value(임계값), Skeleton Line(골격선)

1. 서 론

영상처리는 패턴인식 시스템의 전처리 과정에서 유용하며, 몇가지 예를 들면 우편봉투인식 시스템, 지문인식 도어록 시스템, 로봇경기 시스템등이다. 각각의 패턴 인식 시스템의 전처리 과정들은 서로 다르며, 영상 처리 스케줄 정도에 따라서 인식 시스템의 성능이 결정된다.

패턴 인식에 관한 연구 초창기부터 입력 영상의 형태를 반영하면서 한 화소 두께의 선 표현인 골격선을 추출하는 영상 골격화 방법은 입력 영상으로부터 구조적인 특징 추출을 위한 대표적인 전처리 기술로써 활용되어 왔으며, 1959년에 H. Sherman에 의해서 골격선 추출을 위한 최초의 방법이 개발되었다.

특히, 문자나 선 도형 같은 패턴들의 인식을 위해서는 인식 대상 패턴의 선분 두께가 인식 과정에서 별로 도움이 되지 않음으로 문자 인식, 지문 인식, 도면 코딩 및 인식, 회로 기판의 자동검사, 정맥 분석, 염색체 분류, 세포 분석, 광물 섬유 분류, 토양의 균열 상태 조사등을 포함한 다양한 응용 분야에서 골격화 방법들이 효과적으로 사용된다[2].

* 교신저자(Corresponding Author) : 신충호, 주소 : 광주광역시 남구 송하동 금호타운 105동 108호(503-300), 전화: 062) 676-6587, E-mail : sch012@hufs.ac.kr

접수일 : 2004년 6월 16일, 완료일 : 2004년 10월 12일

[†] 준회원, (주)바이오피아 선임연구원

골격화는 원래도형의 연결성은 변화시키지 않고, 선으로 변화시키는 것이 필요하다. 골격화의 결과에서 도형의 결합 관계의 특징이 구해지므로, 글씨나 도면 등에서 선 구조를 해석하는데 불가결한 처리로 되어 있다. 골격화에서는 선의 원래 형태를 유지하는 것이 중요하다[7].

기본적인 개념은 두꺼운 선을 최 외각부터 한 겹씩 벗겨나가서 마지막에 남은 선 성분을 추출하는 것이다. 얻어진 윤곽에 다시 처리를 가함으로써 깨끗한 윤곽 영상을 얻을 수 있으며, 이러한 윤곽을 조정하는 것이 골격화이다. 윤곽선 추출과 비교하여 보면 윤곽선 추출은 외각의 선들을 추출하는 반면 골격화는 가운데 선을 추출한다. 즉 영상의 본질적인 구조를 보존한 채, 선도형을 추출하는 조작이다[22].

문자 패턴 인식에 있어서 골격화 방법에는 순차와 병렬처리 방법이 양분되어 연구되었으며, 대체적으로 병렬처리 방법의 우수함이 판명되었다. 기존 병렬처리 방법의 문제점은 첫째, 중앙화소의 8-이웃인 화소들과의 연결성이 대각선 방향이 아닌 상하좌우로만 연결되어 연결부위가 부드럽게 처리되지 않으며, 둘째, 많은 잡영가지들과 끝점이 원본 이미지에 비해서 수축 및 확장 되었으며, 마지막으로 특별한 문자 패턴의 삭제와 원본이미지의 왜곡 현상을 볼 수 있었다. 그러므로 기존 방법들의 단점을 수정 및 보완하여, 개선된 병렬처리 방법의 개발과 추후 실용적인 구조적 패턴 인식 시스템에 기초자료를 제공함을 그 목적으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 병렬처리 골격화 방법들을 설명하고, 각 방법들에 대한 특성들을 체계화 시켰고, 3장에서는 SPTA(Shin's Parallel Thinning Algorithm)방법에 대해서 설명하며, 4장에서는 실험 및 결과에 대해서 분석하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 골격화 방법의 관련 연구

기본적인 골격화 병렬처리 방법은 Stefanelli에 의해 제안되었는데[17], 이 방법에서는 다음의 필요충분 조건을 모두 만족하는 경우 화소 p 를 제거한다.

- ① $2 \leq b(p) \leq 6$
- ② $x(p) = 2$

- ③ $x_1 * x_3 * x_5 = 0$
- ④ $x_1 * x_3 * x_7 = 0$

조건 ①의 $b(p)$ 은 p_i 의 이웃하는 화소수의 합이된다.

$$b(p_i) = x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_8 + x_9$$

조건 ②에서 $x(p)$ 은 그림 1에서와 같이 p_i 화소의 이웃하는 8 방향의 화소들의 순서 집합 $x_2, x_3, x_4, \dots, x_8, x_9$ 에서의 각 화소들 값들이 0에서 1로 변화되는 01 패턴의 수가된다. 이 방법의 특징은 화소 p 를 제거하더라도 구멍을 만들지 않는다. 외곽선 잡영에는 영향을 받지 않는 연결된 골격선을 만들어내지만, 심한 침식을 유발할 수 있다.

위의 조건을 만족하는 모든 화소를 제거한다 하더라도 대각 선분들이 단위 화소 너비로 줄어들지 않는다. 이러한 문제를 해결하고 p 가 2화소 너비의 대각 선분에 있을 때 $x(p) = 4$ 인 화소 p 를 제거할 수 있도록 하기 위하여 다른 조건이 부가되었다.

Deutsch 방법은 p 를 제거하기 위한 규칙들의 집합이 되기 위한 조건을 다음과 같이 제시했다[4].

- ① $x(p) = 0, 2$ 또는 4
- ② $b(p) \neq 1$
- ③ $x_1 * x_3 * x_5 = 0$
- ④ $x_1 * x_3 * x_7 = 0$
- ⑤ $x(p) = 4$ 이면, 조건 a)와 b)를 만족
 - a) $x_1 * x_7 = 1, x_2 + x_6 \neq 0$ and $x_3 + x_4 + x_5 + x_8 = 0$
 - b) $x_1 * x_3 = 1, x_4 + x_8 \neq 0$ and $x_2 + x_5 + x_6 + x_7 = 0$
- ⑥부터 ⑧은 ③부터 ⑤까지 180도 회전된 형태

이 방법에서는 또한, 2개의 부 반복단계를 사용하였는데, 첫 번째 부 반복단계에서는 조건 ①부터 ⑤까지를 만족하는 화소를 제거하고, 두 번째 부 반복

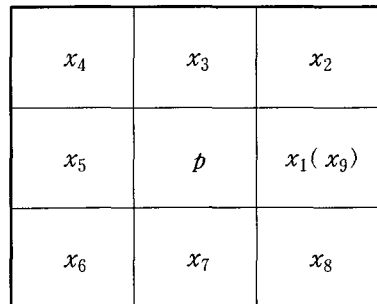


그림 1. 8 이웃의 화소들

단계에서는 ①, ②와 ⑥부터 ⑧을 만족하는 화소를 제거한다.

Zang의 방법은 2개의 부 반복단계에서 조건 ①부터 ⑧까지의 부분집합을 구현한 것이다[1]. 첫 번째 부 반복단계에서, 화소 p 는 다음의 조건을 만족하면 제거한다.

- ① $2 \leq b(p) \leq 6$
- ② $x(p) = 2$
- ③ $x_1 * x_3 * x_7 = 0$
- ④ $x_1 * x_5 * x_7 = 0$

두 번째 부 반복단계에서는 조건 ③과 ④를 180도 회전된 형태로 대체하여 적용하였다. 따라서, 첫 번째 부 반복단계에서는 북서쪽 코너 화소를 비롯하여 남쪽과 동쪽 테두리에 있는 4 단순화소를 제거하며, 두 번째 부 반복단계에서는 이와 반대 방향에 있는 화소를 제거한다. 이 방법은 간단하며 코너 잡영에 무관한 효과적인 방법이지만 그 화소 너비의 대각선은 심하게 침식될 수 있으며, 따라서 2×2 사각형은 완전히 없어질 수도 있다[9]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 조건 ①을 $3 \leq b(p) \leq 6$ 으로 대체한 방법이 제안되었다. 그러나 이러한 수정된 방법은 관계없는 화소를 계속 유지시키는 문제를 유발했다.

Wang 방법은 조건 ①, ② 그리고 ⑧을 Deutsch 방법과는 다른 방식으로 순차적으로 구현했다[9,10].

3. SPTA 골격화 방법

효과적인 병렬처리 방법은 영상에서 개체의 향상된 인식률과 라벨링 혹은 변형과 같은 후처리에서 처리시간을 줄일 수 있기 때문에 중요하다[3]. 본 논문에서 제안한 SPTA 병렬처리 방법의 조건은 다음과 같다.

- ① $3 \leq b(p) \leq 7$
- ② $x(p) = 1$
- ③ $x_2 * x_4 * x_8 = 0$
- ④ $x_2 * x_6 * x_8 = 0$

전체 화소를 카운트하여 짝수이면 ③, ④를 수행하고 홀수이면 다음 두 번째 반복단계 ③', ④'를 수행한다. 첫 번째 반복단계에서 수행했던 결과는 불완전 8 연결성을 보였으므로 이를 보완하기 위해서 다음

과 같이 두 번째 부 반복단계를 덧붙였다.

- ③' $x_2 * x_4 * x_6 = 0$
- ④' $x_3 * x_6 * x_8 = 0$

위 조건들을 만족하면 외곽선 화소 p 를 삭제하기 위해 표시하며, 각각의 화소는 그림 1과 같이 8 이웃으로 배열된다[9].

기존의 병렬처리 방법은 반복단계를 2 혹은 4개를 수행하여 골격화를 이룬다. 그러나 결과적인 영상은 입력영상에 따라서 그 결과가 다르게 도출되며, 많은 부분에서 수축과 팽창 그리고 잡음가지들이 생성되어 골격화를 이루는데 어려운 점이 많았다. 그 해결책으로 SPTA 방법은 기존의 3가지 방법들을 토대로 하였으며, 서두에서 기술된 조건 즉, ①, ②, ③, ④와 ③', ④'들을 통해서 기존의 방법들에 의해서 제기된 문제점들을 제거하였다.

4. 실험 및 분석

4.1 기존 방법과 비교분석

제안한 방법은 IBM에서 비주얼 C++언어로 구현하여 실험하였고, 실험 환경에 사용한 영상의 크기는 256×256 이다. 화소의 농도 값은 $0 \leq \text{화소} p \leq 255$ 인 원영상을 이용하였다.

그레이 영상에 대해서 기존의 3가지 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 적용하였고, 그 결과 각 방법들에서 서로 다른 특성의 결과이미지를 보이는 경우가 있었으나 대체적으로 동일한 특성을 갖는 것으로 나타났다. 결과이미지에서 각 방법의 특성을 잘 반영한 한글영상을 아래와 같이 실험했다.

이진화 영상은 아주 단순하고 명쾌한 방법이며, 영상처리를 이해하는데 기본이 되는 중요한 개념이다. 그러므로 그림 2, 3, 4, 5는 원본이미지에서 임계값 이진화를 적용하여 화소에 일정한 값을 비교하여 그 값에 적용되면 객체의 화소를 변화시켜서, 이진화 영상을 획득한 이후에 기존 방법들과 제안한 방법을 적용한 결과영상이 각각 (b), (c), (d), (e)이다.

그림 3의 영문 영상에서는 Zang의 방법이 원본 영상과 유사 하지만 머리부분에 잡음가지가 발생함을 알 수 있었다. 그러나 SPTA 방법은 원본 영상과의 일치하며, 잡음가지도 발생하지 않음을 알 수 있다.

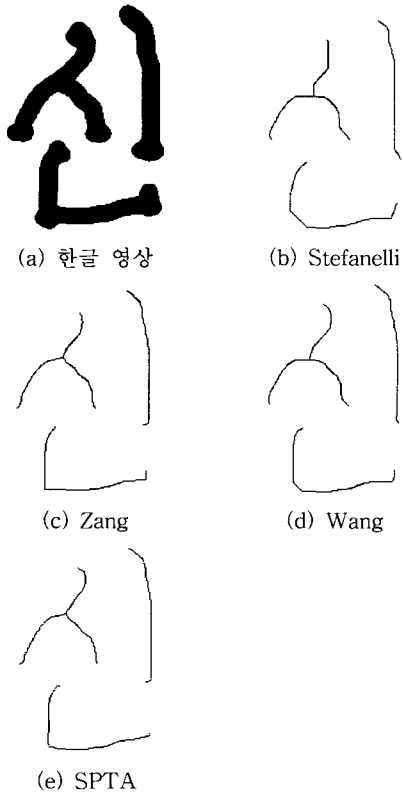


그림 2. (a) 한글 영상 (b) Stefanelli (c) Zang (d) Wang (e) SPTA 방법

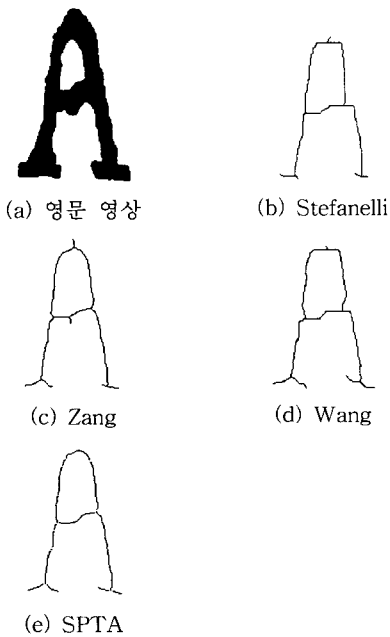


그림 3. (a) 영문 영상 (b) Stefanelli (c) Zang (d) Wan 방법

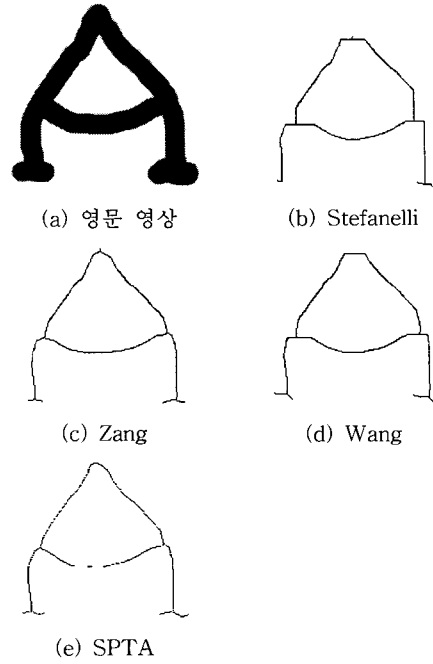


그림 4. (a) 영문 영상 (b) Stefanelli (c) Zang (d) Wang (e) SPTA 방법

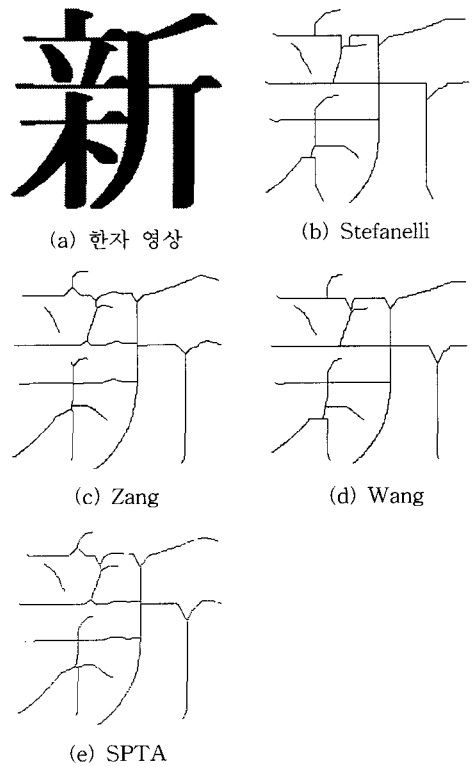


그림 5. (a) 한자 영상 (b) Stefanelli (c) Zang (d) Wang (e) SPTA 방법

그림 4의 영문 영상은 그림 3의 영상과 비슷한 형태를 띄고 있으며, 특히 SPTA 영상이 거의 원본 영상과 유사하지만 침식이 많이 발생한 것을 알 수 있다.

그림 5의 한자 영상에서는 Zang 방법이 원본 영상과 유사하지만 SPTA 방법에 비해서 잡영가지가 보인다. 그러나 SPTA 방법은 잡영가지가 없고, 연결성이 좋음을 알 수 있다.

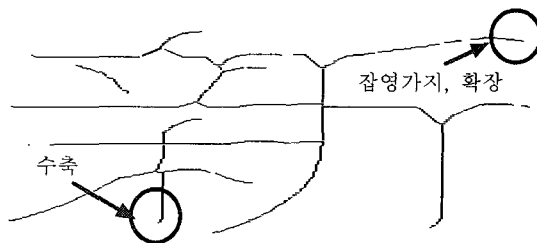


그림 6. 골격선 품질의 각 기준

4.2 성능평가 및 분석

여러 성능 평가 기준들 가운데 가장 중요한 기준 중의 하나는 추출된 골격선의 품질에 대한 기준이다. 하지만 추출된 골격선의 품질에 대한 비교는 매우 주관적이고 응용영역에 따라 달라질 수 밖에 없다. 왜냐하면 중앙축, 잡영가지, 확장 및 수축의 개념이 아직 명확히 정의되어 있지 않기 때문이다. 그 뿐 만 아니라, 어떻게 하면 골격선이 표현하는 원본이미지의 두 가장자리의 형태를 잘 반영할 수 있는지에 대해서 명확하지 않다. 표 1은 골격선의 품질에 대한 요약된 결과이다. 본 연구에서는 3종류의 한자 문자 데이터에 대해서 8가지 병렬처리 방법을 적용하여 골격화 방법의 품질을 평가하였다.

표 1을 관찰해 보면, 평균 잡영가지의 수가 가장 많은 방법은 Stefanelli 방법이다. 평균 수축과 팽창은 Stefanelli 방법이 2와 7이며, 제안 방법은 4와 2이다. 결과적으로 SPTA 방법이 Stefanelli 방법에 비해서 확장가지의 수가 적음을 알 수 있으나 수축은 많다. 결론적으로 확장과 수축의 차이가 적은 방법이 좋은 병렬처리 방법이라고 할 수 있다. 그림 6은 각 기준들을 기술한다. 여기에서 잡영가지는 원본 영상의 잡음에 속함으로 원본 영상의 확장이라고 할 수 있으며, 원본 영상에서 아주 벗어난 확장은 잡영가지로 보지않고 확장이라고 정의했다. 수축은 원본 영상이 침식된 것이다.

표 1. 골격선의 품질

기준 방법	잡영가지				수 축				확 장			
	고 딕	중 서	샘 물	평 균	고 딕	중 서	샘 물	평 균	고 딕	중 서	샘 물	평 균
Stefanelli	6	4	6	5	1	3	1	2	6	7	8	7
Zang	3	3	4	3	3	2	3	3	4	5	6	5
Wang	2	2	3	2	3	2	3	3	5	4	4	4
SPTA 방법	2	1	1	1	5	3	4	4	3	2	2	2

골격선에 대한 연결성의 형태는 Rosenfeld 방법에 의해서 정의되었고, Chen과 Hsu 방법에 의해서 확장되었다[6]. 연결성의 형태는 다음과 같다.

- 1) 4 연결성 : 모든 화소가 대각선 방향으로 연결되지 않고 상하 좌우로만 연결됨
- 2) 완전 8 연결성 : T교차점을 제외하고 모든 화소가 대각선 방향 또는 상하 좌우로 연결됨
- 3) 불완전 8 연결성 : 4 연결성과 8 연결성이 공존

대부분의 병렬처리 방법의 경우, 실제로는 각 반복단계에서 여러개의 부 반복 단계를 사용한다. 그 이유는 Rosenfeld 방법에 의해서 증명된 바와 같이 병렬연산을 사용하면서 연결성을 보존하려면 3×3 지역 연산만으로는 불충분하고 최소한 5×5 지역연산이 필요하다. 그러나 5×5 지역연산은 병렬처리 방법의 시간 복잡성을 증가시킴으로 일반적으로 3×3 지역연산을 사용하지만 각 반복단계는 여러개의 부 반복 단계로 나누어서 각 부 반복단계가 가장자리 화소의 일부분을 담당하여 제거하는 역할을 맡도록 한다. 이상적인 병렬처리 방법의 경우 부 반복단계의 횟수는 1이다. 따라서 병렬화 정도는 부 반복단계의 수에 의하여 비교 될 수 있다.

표 2에서 각 방법에 대한 연결성 및 병렬성의 정도를 나타낸다. 표 2를 관찰해보면, Stefanelli 방법은 연결성이 완전 8로 좋은 결과이미지를 형성하였으나 부반복 단계가 4로 병렬성이 나쁘다. 결과적으로 대부분의 병렬처리 방법은 부 반복단계가 2로 병렬성이 좋다고 할 수 있다.

여러 성능평가 기준들 가운데 가장 중요한 기준 중의 하나는 골격선의 품질에 대한 기준이다. 하지만 골격선의 품질에 대한 비교는 매우 주관적이고, 응용영역에 따라 달라질 수 있다.

표 3는 앞서 소개된 3종류의 평가 기준에 따라서 저자가 4종류의 골격화 방법의 성능을 표 1, 표 2를

표 2. 연결성 및 병렬성의 정도

기준 방법	연결성	부반복단계	분류
Stefabelli	완전 8	4	병렬처리
Zang	불완전 8	2	병렬처리
Wang89	불완전 8	2	병렬처리
SPTA	불완전 8	2	병렬처리

표 3. 각 방법에 대한 성능평가

기준 방법	골격선 품질	병렬성	연결성
Stefanelli	×	△	○
Zang	△	○	△
Wang	○	○	△
SPTA 방법	○	○	△

바탕으로 주관적으로 판단한 결과이다. 결과적으로 골격화에는 만병통치약은 있을 수 없음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 각각의 그레이 화상을 임계값을 적용하여 이진화를 시킨후에 골격화를 시행했다. 골격화는 기존의 3가지 병렬처리 방법 즉, Stefanelli, Zang, Wang 방법들이며, 다음으로 SPTA 병렬처리 방법을 적용했다.

문자 패턴의 영상을 4가지 방법을 이용하여 골격화를 시행하였고, 4가지 병렬처리 방법들을 체계적으로 분석하였다. 각각의 골격화 방법들을 다양한 이미지들에 적용한 이후에 골격선 품질, 병렬성, 연결성등을 기준으로 성능평가를 한 결과 기존 방법들보다 SPTA 방법이 우수함을 알 수 있었다.

성능평가 결과 각각의 결과들이 모두 같은 모양을 형성한다고 할 수 없으며, 입력영상에 따라서 차이를 보였다. 그러므로 향후 연구방향은 다소 주관적일 수 있는 골격화 방법을 체계적인 분석을 통해서 각 영상에 대한 골격화 방법의 표준을 마련하여야 하며, 본 논문에서는 영상에 대해서 이진화를 시행한 이후에 골격화를 적용하였으나, 앞으로는 칼라영상에 골격화를 시행하는 처리가 이루어져야 하며, 인식 시스템의 전처리 과정 중에서 중요한 골격화 방법을 토대로 더욱 더 다양한 패턴 인식 시스템이 개발되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. Y. Zang and C.Y. Suen, "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", Comm. of the ACM, Vol. 27, No. 3, pp. 236-239, 1984.
- [2] T. Pavlidis, "A Thinning Algorithm for Discrete Binary Images", Computer Graphics and Image Processing, Vol. 13, No. 2, pp. 142-157, 1980.
- [3] Paler, K., Kitter, J., "Grey level edge thinning", Pattern Recognition letters, Vol. 1, No. 5, pp. 409-416, 1983.
- [4] E. S. Deutsch, "Thinning Algorithms on Rectangular, Hexagonal, and Triangular Arrays," Comm. of the ACM, Vol. 15, No. 9, 1972, pp. 827-837.
- [5] S. Suzuki and K. Abe, "Binary Picture Thinning by an Iterative Parallel Two Subcycle Operation", Pattern Recognition, Vol. 10, No. 3, pp. 297-307, 1987.
- [6] Y. S. Chen and W.H. Hsu, "A 1-subcycle Parallel Thinning Algorithm for Producing Perfect 8-curves and Obtaining Isotropic Skeleton of an L-shape Pattern", Proc. Int. Conf. on CVPR, San Diego, USA, pp. 208-215, 1989.
- [7] R. M. Brown, T. H. Fay and C. L. Walker, "Hand-printed recognition system", Pattern Recogn., Vol. 21, No. 2, pp. 91-118, 1988.
- [8] A. Rosenfeld, "Connectivity in Digital Pictures", Journal of the ACM, Vol. 17, pp. 146-160 1970.
- [9] P. S. P. Wang and T. Y. Zang, "A fast and flexible thinning algorithm", IEEE Trans. on Computers, Vol. 38, pp. 741-745, 1989.
- [10] L. Lam, S. W. Lee, C. Y. Suen, "Thinning methodologies-a comprehensive survey", IEEE Trans. Patt. Recongn Machine Intell., Vol. 14, No 9, pp. 869-885, 1992.
- [11] M. P. Martinez-Perez, J. Jimenez and J. L. Navalon, "A thinning algorithm based on contours", Compt. Vision Graphics Image Processing, Vol. 38, pp. 186-201, 1987.
- [12] Z. Guo and R. W. Hall, "Pattern thinning with

two-subiteration algorithms”, Comm of the ACM, Vol. 32, No. 3, pp. 359-373, 1989.

[13] R. W. Smith, “Computer Processing of Line Images: A Survey”, Pattern Recognition, Vol. 20, No. 1, pp. 7-15, 1987.

[14] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, “Digital Image Processing”, Addison Wesley, 1992.

[15] S. Gshal and R. Merotra, “Detection of Composite edge”, IEEE Trans. Image Processing, Vol. 3, No. 1, pp. 14-25, 1994.

[16] Scott E. Umbaugh, “Computer Vision Image Processing”, Prentice Hall, 1999.

[17] R. Stefanelli and A. Rosenfeld, “Some Parallel Thinning Algorithm for Digital Pictures,” Journal of the ACM, Vol. 18, No. 2, 1971, pp. 255-264.

[18] 이성환, “영상 골격화 알고리즘에 관한 연구”, 한국정보과학회, pp. 305-326. 1990.

[19] 이성환, “인간과 컴퓨터에 의한 영상 골격화”, 한국정보과학회, pp. 205-208, 1990.

[20] 이성환, “영상 골격화 알고리즘의 체계적인 성능평가”, 한국정보과학회, Vol. 18, No. 6, pp 661-671, 1991.

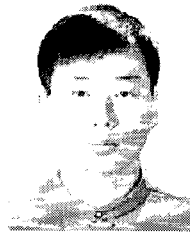
[21] 이성환, 박희선, “한글 인식의 사례의 연구”: 최근 5년 동안의 연구 결과를 중심으로“, 제1회 문자 인식워크샵 발표논문집, pp. 3-46.

[22] 국제테크노정보연구소, “C 언어에 의한 화상처리실무”, 국제테크노정보연구소, 2002.

[23] 유숙현 외2명, “회색조 영상의 이진화 및 세션화”, 한국정보과학회, Vol. 28, No. 1, pp. 490-492, 2001.

[24] 원남식 외2명, “수정된 WPTA 세션화 알고리즘” 한국정보처리학회, Vol. 6, No. 7, pp. 2823-2829, 1999.

[25] 원남식 외 1명, “8이웃 연결값에 의한 병렬 세션화 알고리즘”, 한국정보처리학회, Vol. 2, No. 5, pp. 701-710, 1955.



신 충 호

1988년 조선대학교 전산기공학과 졸업(공학사)
 1991년 한국외국어대학교 경영정보대학원 응용전산학과 졸업(이학석사)
 2004년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

현재 : (주)바이오피아 선임연구원
 관심분야 : 멀티미디어, 소프트웨어공학등