

수정된 4-이웃 연결값을 이용한 細線化 알고리즘

(A Modified Thinning Algorithm using the 4-Neighbors Connection Value for the Character Recognition)

원 남식*
(Nam-Sik Won)

요약 본 논문은 다양한 문자 인식에 이용 가능한 WPTA4 알고리즘의 개선에 대한 연구이다. WPTA4 알고리즘은 각 화소의 연결성을 나타내는 연결 값을 이용함으로써 원래의 패턴에 매우 유사한 골격을 추출할 수 있는 알고리즘이다. 제안된 논문에서는 WPTA4 알고리즘에 나타나는 골격소멸현상을 보이고 이러한 현상을 제거할 수 있는 수정된 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 골격소멸현상이 제거되었고 추출된 골격선의 품질이 우수함을 보였다.

Abstract This paper is the study about the improvement of the WPTA4 algorithm available for the recognition of various characters. The WPTA4 algorithm can extract the skeleton of a character almost similar to the original pattern by using the connection value representing connectivity of each pixel. In this paper we show that the skeleton disappearance phenomena existing in the WPTA4 and propose an modified algorithm which can eliminate this phenomena. The proposed algorithm shows that the skeleton disappearance phenomena is eliminated and the quality of extracted skeleton is excellent.

1. 서론

세션화 알고리즘은 영상 패턴의 특징을 파괴하지 않는 조건으로, 배경과 인접한 경계화소(contour pixel)를 제거하는 연산 과정이다. 즉, 인식대상 영상을 양자화 하여 이를 구성하는 가장 기본요소인 화소를 다루는 작업으로서 인식대상 영상의 특징 추출에 무관한 화소를 제거하여 골격선에서 화소의 두께가 1인 골격을 형성하는 과정이다. 세션화 알고리즘이 만족해야하는 일반적인 사항으로는 위상적인 특성, 기하학적인 특성, 등방성, 복원력, 빠른 처리

속도 등이 있다[1,2].

특히, 문자인식에서 세션화된 골격선의 기하학적인 특성 유지는 매우 중요한 문제로서 이는 문자의 인식률에 직접적인 영향을 준다. 그러나 대부분의 세션화 알고리즘에서는 세션화된 결과에서 골격의 한 부분이 사라지는 골격소멸현상이 발생하므로 기하학적인 특성 유지가 어려워지므로 세션화 알고리즘에서는 이러한 현상을 제거하기 위한 특별한 방법을 사용한다.

대부분의 세션화 알고리즘에서는 국부적인 이웃 화소만을 이용하여 처리하므로, 이러한 정보로는 잡영 가지와 원래의 끝점의 구별에 필요한 정보를 유지하지 못하기 때문에 이상적인 기하학적인 특성의 유지는 매우 어려운 문제가 된다. 그러므로 기하학적인 특성 유지를 위한 방법으로서 심한 침식과 잡영 가지의 생성을 동시에 방지하기 위

* 경일대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수
원남식 : nswon@bear.kyungil.ac.kr

해서 끝점 조건을 없애는 방법[3], 조건을 더 광범위하게 적용시키는 방법[4], 또는 세선화의 마지막 단계에서만 조건을 적용시키는 방법[5]등 다양한 방법이 시도되었다. 그러나, 이러한 형태의 모든 수정을 적용시켰을 때에는 상충 관계를 가지므로 이를 위한 부가적인 정보가 필요하게 된다. 이러한 이유 때문에 거리 변환을 사용하는 다양한 기준이 도입되었다[6,7,8].

세선화 알고리즘에서 발생하는 골격소멸현상과 이러한 현상을 제거하기 위해 만들어진 알고리즘들의 수행 결과로 알 수 있듯이, 대부분의 세선화 알고리즘에서는 골격소멸현상을 제거하기 위한 조건을 추가하면 그로 인해서 발생하는 잡영이 문제점으로 대두된다. 문자인식을 위한 세선화 알고리즘에서 잡영 발생과 골격 보존간에는 서로 상충되는 관계가 있으므로 골격소멸현상에 대한 알고리즘의 보완과 잡영 발생 관계를 정확히 분석하여 이러한 현상을 제거하기 위한 알고리즘이 적절히 선택되어야 한다.

기존의 세선화 알고리즘들은 이미지 화소를 단순히 0과 1의 상태 값으로만 처리하고 화소 제거를 위한 지역연산 과정에서 3×3 윈도우를 사용하므로, 제거 대상 화소에서 이상적인 골격 추출을 위한 주변 화소에 대한 정보 부족으로 인하여 세선화 작업에 많은 제약 요인이 되고 있다. 이러한 제약 요인을 해결하기 위한 방법으로 지역연산을 위해 확장된 윈도우(3×4, 4×5, 5×5) [9,10,11]를 사용하기도 한다. 그러나 이는 알고리즘의 복잡성과 효율을 저하시키는 주된 요인이 되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하고, 품질이 우수한 골격선을 추출할 수 있는 4-이웃 연결값을 이용한 세선화 알고리즘[12]이 제안된 바 있다.

본 연구에서는 4-이웃 연결값을 이용한 세선화 알고리즘[12]에서 발생하는 골격 소멸현상을 제거하기 위한 알고리즘을 제시하였고, 이를 구현하여 세선화 된 결과가 추출된 골격선의 연결성에 영향을 미치지 않고 골격 소멸현상을 제거하였음을 입증하였고, 그 수행 결과를 기존의 알고리즘들과 비교하였다.

2. 4-이웃 연결값을 이용한 세선화 알고리즘

2.1 4-이웃 연결값

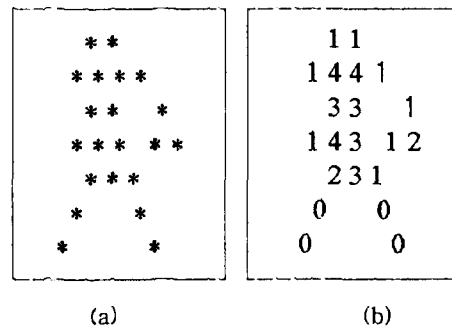
4-이웃 연결값이란 그림 1과 같이 한 화소(P)를 중심으로 수평, 수직의 4방향으로 연결된 화소(P_0, P_2, P_4, P_6)들의 합을 4-이웃 연결값(4-neighbors connection value: V_{α})이라 정의한다^[12]. 그러므로 모든 화소가 갖는 연결값은 0에서 4까지의 값 중 하나가 된다. 즉, $V_{\alpha}=0$ 는 4방향에

화소가 하나도 없는 상태이고, $V_{\alpha}=4$ 는 4방향에 모두 화소가 있음을 나타낸다. 식 (1)은 4-이웃 연결값 V_{α} 를 얻기 위한 것이고, P_{2i} 는 4방향의 주변 화소로서 화소가 있으면 1이 되고 없으면 0이 된다. 그림 2에서 (a)의 데이터를 4-이웃 연결값으로 변환한 상태는 그림 2의 (b)와 같다.

$$V_{\alpha} = \sum_{i=0}^3 P_{2i} \cdot \dots \cdot \dots \quad (1)$$

P_7	P_0	P_1
P_6	P	P_2
P_5	P_4	P_3

<Figure 1> The window for the proposed algorithm



<Figure 2> Conversion to the 4-neighbors connection value V_{α} (a) input data (b) 4-neighbors connection value

2.2 알고리즘 WPTA

기존의 세선화 알고리즘들에서 흔히 발생하는 문제점은 세선화된 결과가 두 화소 두께로 남는 것과 연결성이 끊어지는 것과 골격소멸현상 등이다. 이러한 현상은 문자인식 과정에서 여러 가지 나쁜 영향을 미치게 되므로 반드시 제거되어야 한다.

알고리즘 WPTA(Won's Parallel Thinning Algorithm)[12]는 세선화된 결과가 완전-8 연결 형태로 남으며, 연결성이 끊어지지 않는 세선화 알고리즘이다. WPTA 알고리즘의 화소 보존 조건은 골격의 연결성

유지를 위한 연결점(Connection point) 조건 세 가지와 끝점(End point) 유지를 위한 끝점 조건 하나를 갖는다. 그러므로 네 가지 조건 중 하나라도 만족되면 그 화소는 제거될 수 없다. WPTA에서 화소를 제거할 수 없는 네 가지 조건은 다음과 같다.

WPTA 알고리즘에서 화소를 제거할 수 없는 4 조건

[조건 1] 연결점 조건 1
 $(P_0 \vee P_1 \vee P_7) \wedge (P_3 \vee P_4 \vee P_5) \wedge \overline{(P_2 \vee P_6)} = 1 \dots (2)$

[조건 2] 연결점 조건 2
 $(P_1 \vee P_2 \vee P_3) \wedge (P_5 \vee P_6 \vee P_7) \wedge \overline{(P_0 \vee P_4)} = 1 \dots (3)$

[조건 3] 연결점 조건 3
 $\sum_{i=0}^3 P_{2i} \cdot P_{(2i+2) \text{ MOD } 8} \cdot P_{(2i+5) \text{ MOD } 8} \geq 1 \dots (4)$

[조건 4] 끝점 조건
 $B(P) = \sum_{i=0}^7 P_i = 1 \dots (5)$

[조건 1]의 연결점 조건은 수직 선분의 왼쪽 경사 (\), 오른쪽 경사(/), X연결, Y연결, <, > 형태의 모든 수직의 연결 상태를 조사하여 그 연결 상태가 유지되어야 하는 화소를 보존하기 위한 조건이다.

[조건 2]의 연결점 조건은 수평 선분의 왼쪽 경사 (\), 오른쪽 경사(/), X연결, ^, v 형태의 모든 수평의 연결 상태를 조사하여 그 연결 상태가 유지되어야 하는 화소를 보존하기 위한 조건이다.

[조건 3]의 연결점 조건은 [조건 1]과 [조건 2]에서 검출되지 않은 네 가지 형태의 연결점 화소를 검출한다. 이는 그림 3과 같이 경사진 Y 패턴(tilted Y pattern) 형태의 연결점으로 Y자를 왼쪽과 오른쪽으로 45도 기울어진 형태 (b), (c)와 이를 다시 180도 회전한 형태 (d), (e)와 같은 형태의 연결점을 보존하기 위한 조건이다.

[조건 4]는 끝점을 보존하기 위한 조건이다. 이는 제거 대상 화소의 주변 화소의 합이 1일 때 만족된다.

세션화 알고리즘에 따라 끝점 조건은 다양하게 적용될 수 있는데 어느 한쪽으로 2개 또는 3개의 연속적인 점은 화소들이 있을 때만 P를 유지하거나[14], 또는 끝점 조건을 두 번째 반복 단계 이후부터 적용시키는 경

우가 있으며[15], 불필요한 가지 때문에 끝점 조건을 완전히 생략하는 경우도 있다[16].

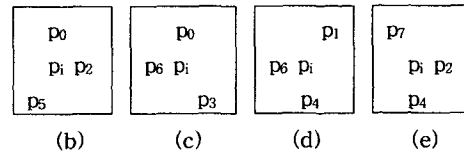
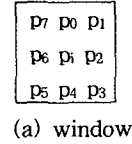


Fig. 3 Four types of the tilted Y pattern in the condition 3.

2.3 4-이웃 연결값을 이용한 세션화 알고리즘(WPTA4)

연결값 V_{cl} 와 WPTA를 결합한 4-이웃 연결값을 이용한 세션화 알고리즘을 WPTA4로 표시한다. WPTA4의 알고리즘 수행 과정은 입력 이미지 데이터를 연결값으로 변환하고 연결값 0과 1을 갖는 화소를 먼저 제거한 다음, 이를 다시 연결값 V_{cl} 로 변환한다. 그리고 WPTA에 의해 연결값이 0에서 4까지의 화소를 연결성이 낮은 값 부터 순서적으로 제거한 다음, 남은 화소 이미지 데이터를 다시 연결값으로 변환한다. 이 과정은 WPTA에 의해 제거되는 화소가 없을 때까지 반복한다.

알고리즘 WPTA4

{ 입력: 이미지 데이터

출력: 세션화된 골격, $V_{cl} = \sum_{i=0}^3 P_{2i}$ }

begin

for each pixel p do calculate V_{cl} ;

for each pixel p do

if $V_{cl} = 0$ or $V_{cl} = 1$ then delete p ;

for each pixel p do calculate V_{cl} ;

repeat

for $k = 0$ to 3 do

for each pixel p do

if ($V_{cl} = k$) then WPTA;

for each pixel p do calculate V_{cl} ;

```

until ( no more pixels deleted );
end;

WPTA
{입력 : 제거 대상 화소
 출력 : 보존 화소}
begin
  if ( 조건1 or 조건2 or 조건3 or 조건4)= false then
    delete p;
  end;
end;

```

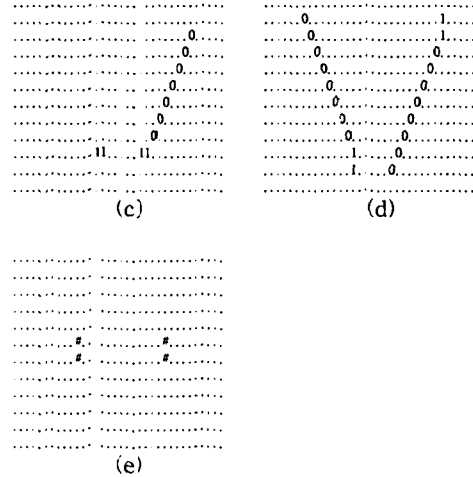
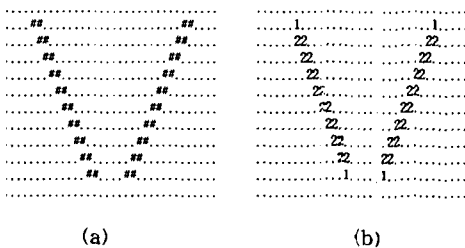
3. WPTA4에서 골격소멸현상 제거

대부분의 세선화 알고리즘에서 나타나는 골격소멸현상과 같이 WPTA4에서도 두 화소 두개의 왼쪽 경사 선분에서 골격소멸현상 현상이 발생한다. 본 논문에서는 WPTA4에서 발생하는 골격소멸현상을 보이고, 이 현상을 제거하기 위한 알고리즘을 제안한다.

3.1 WPTA4에서 발생하는 골격소멸현상

세선화 알고리즘에서 골격소멸현상은 두 화소 두개의 왼쪽, 오른쪽 경사 선분에서 주로 발생되므로 WPTA4의 골격소멸현상에 대한 검토도 이와 같이 수행하였다. 그림 4는 WPTA4과 ZS 알고리즘에서의 두 화소 두개의 왼쪽, 오른쪽 경사 선분에 대한 골격소멸현상을 나타낸다.

그림 4의 (b)는 WPTA4 알고리즘의 첫 번째 수행 단계로서 입력된 이미지를 연결값으로 변환한 상태이고, (c)는 WPTA4에서 발생하는 골격소멸현상으로, 왼쪽 경사 선분이 사라짐을 알 수 있다. (d)에서는 수정된 WPTA4의 수행 결과로 골격소멸현상이 제거되었음을 보인다. (e)에서는 ZS[13] 알고리즘에서의 골격소멸현상으로 경사 선분이 완전히 소멸됨을 보인다. WPTA4에서 발생하는 골격소멸현상으로 그림 4의 (c)에서 왼쪽 경사 선분에서만 나타나고, 오른쪽 경사 선분에서 나타나지 않는 것은 WPTA 알고리즘의 4조건 중 끝점 조건인 [조건 4]에 기인한다.



<Figure 4> The results of skeleton disappearance in the each algorithm. (a) input image, (b) connection value : V_{cl} , (c) WPTA4, (d) Modified WPTA4, (e) ZS

3.2 WPTA4에서의 골격소멸현상 제거 조건

WPTA4에서 골격소멸현상은 그림 4의 (c)에서와 같이 왼쪽 경사 선분에서 발생한다. 이러한 왼쪽 경사 선분에서 발생하는 현상 만을 막기 위한 방법으로는 그림 1의 윈도우에서 화소 P_2, P_3 가 1이고 P_2, P_3 를 제외한 모든 화소가 0일 때 그 화소를 보존하기 위한 조건을 추가하면 된다. 그러나 연결값을 이용한 알고리즘에서 1방향에 대해서만 골격소멸현상을 처리할 경우, 4방향에서의 끝점(end point)에 대한 동질성 유지가 어렵고, 세선화된 골격의 유사도나 등방성에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다. 이러한 문제점들은 4방향에서 골격소멸현상을 동시에 제거하는 조건에 의해 해결될 수 있으므로 WPTA4에서 골격소멸현상 제거 조건은 4방향에 대하여 처리하였다.

【 WPTA4에서의 골격소멸현상 제거 조건 】

$$P_0 \cdot P_1 \cdot \overline{P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7} = 1 \dots (6)$$

$$P_2 \cdot P_3 \cdot \overline{P_0 + P_1 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7} = 1 \dots (7)$$

$$P_4 \cdot P_5 \cdot \overline{P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_6 + P_7} = 1 \dots (8)$$

$$P_6 \cdot P_7 \cdot \overline{P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5} = 1 \dots (9)$$

WPTA4에서의 4 방향에 대한 골격소멸현상 제거 조건

은 식6)에서 식9)와 같고, 4가지 조건중 하나를 만족하면 그 화소는 보존한다. 그림 4의 d)에서는 수정된 WPTA4 알고리즘의 수행 결과를 보인다.

4. 알고리즘의 수행 결과

본 장에서는 WPTA4에서 골격소멸현상을 제거한 알고리즘 수행결과를 그림 4의 d)에 나타내었고, 그림 5와 그림 6과 그림 7에서는 잘 알려진 병렬세선화 알고리즘으로서 T.Y.Zhang 과 C.Y.Suen[ZS]이 제안한 알고리즘[13]과

ZS 알고리즘에서의 골격소멸 및 두 화소 두께로 남는 문제와 연결성을 유지하기 위해 ZS를 개선한 Lu,HE, and Wang,P.S.F[14]가 제안한 알고리즘[4]과 A.D.Mandalia, A.S.Pandya, R.Sudhaker[MPS] 알고리즘[17]의 수행 결과를 비교하였다.

그림 5의 c)에서는 수정된 WPTA4 알고리즘의 수행 결과를 보인다. WPTA4 알고리즘의 수행 결과는 골격선의 연결성이 유지되고, 그 형태는 이상적인 완전-8 연결 형태로 남으며, 최종 골격선의 화소는 1에서 3까지의 수치 정보로 표현되므로 문자인식 과정에서 다양한 형태의 정보로 이용될 수 있다. 특히, 곡선선분이 많은 문자에서 곡선 획의 형태를 잘 나타내므로 다양한 문자인식을 위한 세선화

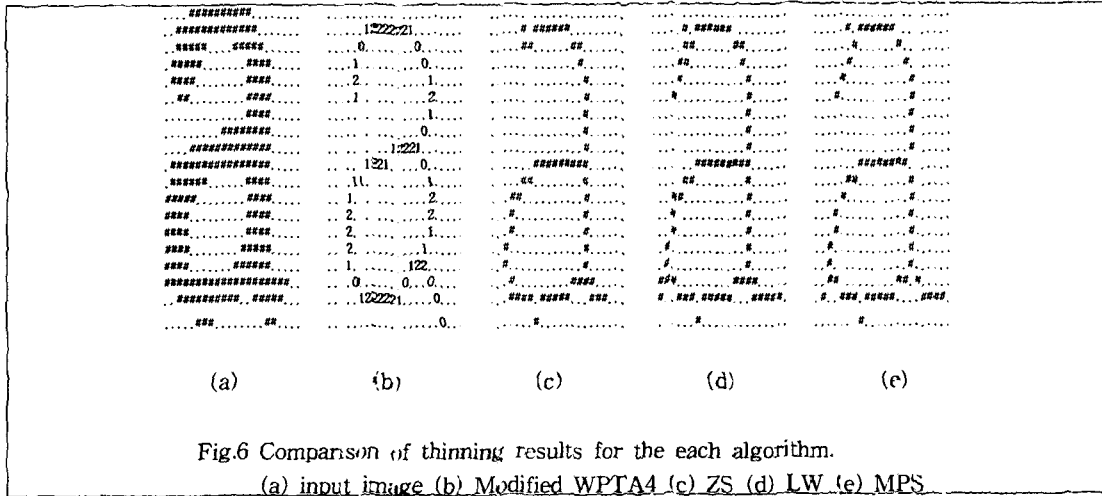


Fig.6 Comparison of thinning results for the each algorithm.

(a) input image (b) Modified WPTA4 (c) ZS (d) LW (e) MPS

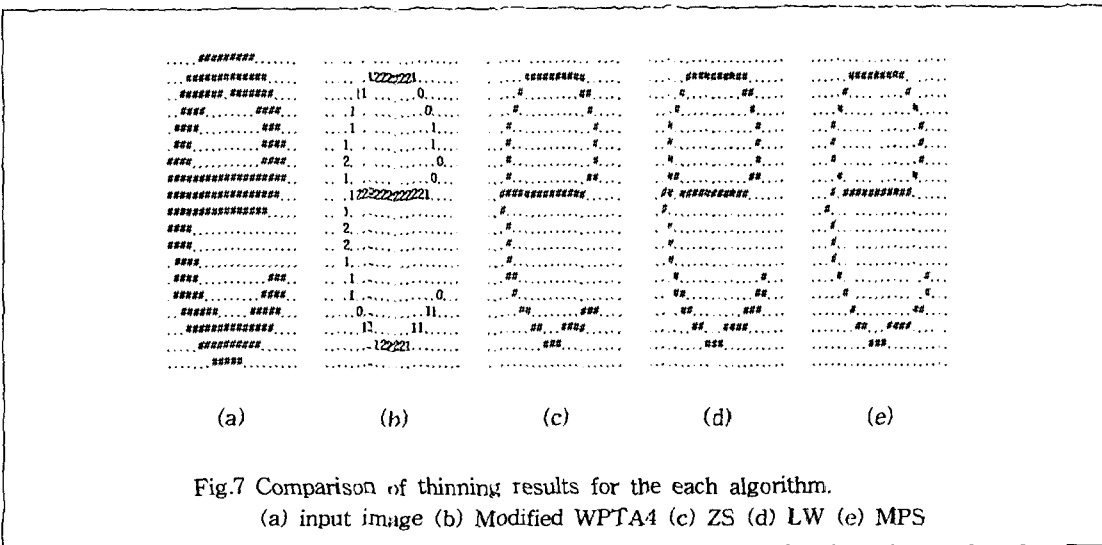


Fig.7 Comparison of thinning results for the each algorithm.

(a) input image (b) Modified WPTA4 (c) ZS (d) LW (e) MPS

알고리즘으로 적용될 수 있을 것으로 생각된다. WPTA4 알고리즘의 유사도와 골격선의 품질에 대한 평가는 논문 [12]에 나타내었다.

5. 결 론

WPTA4 알고리즘은 연결값이 적은 화소부터 제거하여 가장자리 부분의 잡영에 민감하지 않고, 문자의 원형이 정확히 표현되므로 곡선이 많은 문자인식의 세선화 알고리즘으로 적합한 방법이 되므로 여러 나라 문자가 혼용된 문서 인식 시스템에 잘 적용될 수 있는 알고리즘이다. 그리고 WPTA4 알고리즘은 골격선의 유사도와 품질이 우수하고, 병렬성 구현이 용이하며, 세선화 된 결과는 한 화소 두께의 완전 8 연결 형태가 되고, 그 결과는 숫자 정보로 표현된다. 또한 연결성이 끊어지지 않고 끝점이 잘 유지되는 우수한 세선화 알고리즘이다[12].

본 논문은 문자인식을 위한 연결값을 이용한 세선화 알고리즘 WPTA4에서 발생하는 골격소멸현상을 보이고, 이러한 골격소멸현상을 제거하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘으로 WPTA4에서 나타나는 골격소멸현상이 제거되었고, 세선화된 결과가 연결성과 유사도에 영향없이 문자의 골격선을 정확한 상태로 추출할 수 있음을 수행 결과를 통해 입증하였다. 제안된 알고리즘은 다중 문자, 다중 폰트 환경의 문서인식 시스템 개발에 적합할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] L.Lam, S.W.Lee and C.Y.Suen, "Thinning methodologies - a comprehensive survey," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.9, pp.869-885, sep. 1992.
- [2] 이성환, "문자인식 이론과 실제", 홍릉과학출판사, pp.229-278, 1993.
- [3] M.Beun, "A flexible method for automatic reading of handwritten numerals," Philips Technical Review, Vol.33, No.5, pp.89-101; 130-137, 1973.
- [4] Lu,H.E. and Wang,P.S.P., "An improved fast parallel thinning algorithm for digital patterns," In Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.364-367, 1985.
- [5] S.Suzuki and K.Abe, "Binary picture thinning by an iterative parallel two-subcycle operation," Pattern Recognition, Vol.10, No.3, 1987, pp.297-307.
- [6] A.Rosenfeld and L.S.Davis, "A note on thinning," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.25, pp.226-228, 1976.
- [7] C.Arcelli and G.Sanniti di Baja, "A thinning algorithm based on prominence detection," Pattern Recognition, Vol.13, No.3, pp.225-235, 1981.
- [8] N.Chuei, T.Y.Zhang and C.Y.Suen, "New algorithm for thinning binary image and Chinese character," Computer Processing of Chinese Oriental Languages, Vol.2, No.3, 1986, pp.169-179.
- [9] Wang,P.S.P., Hui,L., Fleming Jr.,T., "Further improved fast parallel thinning algorithm for digital patterns," In Computer Vision, Image Processing and communications systems and appli.edt.by P.S.P Wang, pp. 37-40, 1986.
- [10] Y.S.Chen and W.H.Hsu, "A systematic approach for designing 2-Subcycle and pseudo 1-Subcycle parallel thinning algorithms", Pattern Recognition, Vol.22, No.3, pp.267-282, 1989.
- [11] 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," in Proc.Int.Conf.on CVPR, San Diego, USA, pp.208-215, 1989.
- [12] 원남식, 손윤구, "4-인접 연결값을 이용한 병렬 세선화 알고리즘," 한국정보과학회논문집 제22권 제7호, pp.1047-1056, 1995년7월.
- [13] T.Y.Zhang and C.Y.Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns,"

Communications of the ACM, Vol.2 7, No.6,
pp.236-239, March 1984.

[14] N.J.Naccache and R.Shinghal,"STPA:A
proposed algorithm for thinning binary pattern s,"
IEEE Trans. on Systems, Man, and Cyber-
netics, Vol. 14, No.3, pp.409-418, 1984.

[15] M.I.Izutsdkdiver, "Algorithm for the initial
processing of an ensemble of symbols in the
recognition process," Automatic Remote Control,
Vol.35, No.8, pp.1292-1298, 1974.

[16] M.Beun,"A flexible method for automatic
reading of handwritten numerals," Philips Techn-
ical Review, Vol.33, No.5, pp.89-101; 130-137,
1973.

[17] A.D.Mandalia, A.S.Pandya, R.Sudhaker,
"Modified fast parallel thinning algorithm for
noisy handprinted characters",92 Proceedings of
the 2ND Singapore international conference on
image processing pp.7-11,Sep 1992.



원 남 식 (Nam-Sik Won)

1974년 인하대 공대 전자공학과 졸업

1984년 영남대 공대 전자공학과 졸업
(공학석사)

1996년 영남대 공대 전산공학과 졸업
(공학박사)

1976년 한국과학기술연구소

1978년 한국전자기술연구소

1981년 부터 현재 경일대학교 컴퓨터공학과

관심분야 문자인식, 컴퓨터 네트워크 컴퓨터그래픽스