

수정된 WPTA 細線化 알고리즘

원 남 식[†] · 남 인 길^{**} · 전 일 수^{***}

요 약

본 논문은 다양한 문자 인식에 적용 가능한 WPTA 알고리즘의 개선에 대한 연구이다. WPTA 알고리즘은 각 화소의 연결성을 나타내는 연결값을 이용하여 원래의 패턴에 매우 유사한 골격을 추출할 수 있는 알고리즘이다. 본 논문에서는 WPTA 알고리즘에서 나타나는 골격 소멸 현상을 보이고 이러한 현상을 제거할 수 있는 수정된 알고리즘을 제안한다.

A Modified WPTA Thinning Algorithm

Nam-Sik Won[†] · In-Gil Nam^{**} · Il-Soo Jeon^{***}

ABSTRACT

This paper is a study on the improvement of WPTA algorithm available for the recognition of various characters. WPTA 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 WPTA and propose modified algorithm which can eliminate this phenomena.

1. 서 론

세선화 알고리즘은 영상 패턴의 특징을 파괴하지 않는 조건으로, 배경과 인접한 경계화소(contour pixel)를 제거하는 연산 과정이다[1]. 즉, 인식대상 영상을 양자화 하여 이를 구성하는 가장 기본요소인 화소를 다루는 작업으로써 인식대상 영상의 특징 추출에 무관한 화소를 제거하여 골격선에서 화소의 두께가 1인 골격을 형성하는 과정이다.

세선화 알고리즘에서 기하학적인 특성의 유지는 매우 복잡한 문제이다. 알고리즘의 단순성과 하드웨어적인 처리를 위하여 적은 영역의 화소들만 이용해야 하는데, 이러한 정보로는 잡영가지와 원래의 끝점의 구별에 필요한 전역적이고 구조적인 정보를 유지하지 못한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 침식과 잡영가지의 생성을 방지하기 위해서 끝점 조건을 없애는 방법[2], 조건을 더 광범위하게 적용시키는 방법[3], 또는 세선화의 마지막 단계에서만 조건을 적용시키는 방법[4] 등 다양한 방법이 시도되었다. 그러나, 이러한 형태의 모든 수정은 균일하게 적용시켰을 때 상충 관계를 가지며, 각 경우를 더 잘 구별하려면 부가적인 정보가 필요하다. 이러한 이유 때문에 거리 변환을 사용하는 다양한 기준이 도입되었다[5, 6, 7].

그리고 병렬세선화 알고리즘에서는 각 부분복 단계의 끝에 남아있는 영상은 다음 번의 부분복 단계를 위하여 갱신된다. 이러한 알고리즘의 예로서, 각 형태(동, 서, 남, 북)의 윤곽점을 4개의 부사이클 단계에서 제거하는 알고리즘[5, 8, 9]이 있다. 이러한 부사이클들은 2번의 부분복 단계로 결합하기도 한다[4, 8, 10, 11, 12]. 예를 들면 한번의 부분복 단계에서는 북, 동면의 윤곽 화소를 제거하고, 다른 부분복 단계에서는 남, 서면의

† 정 회 원 : 경일대학교 컴퓨터공학과 교수

** 정 회 원 : 대구대학교 컴퓨터 정보공학부 교수

*** 정 회 원 : 경일대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 : 1998년 11월 30일, 심사완료 : 1999년 9월 10일

윤곽 화소를 제거한다. 그러나 대부분의 세선화 알고리즘들은 여러 형태의 골격소멸현상을 보이므로 추출된 최종 골격선에 나쁜 영향을 나타낸다.

본 연구에서는 8-이웃 연결값을 이용한 병렬세선화 알고리즘(WPTA)[13]에서 발생하는 골격 소멸현상을 제거하기 위하여 기존의 WPTA 알고리즘을 수정하였고, 그 결과를 구현하여 세선화된 결과가 추출된 골격선의 연결성에 영향을 미치지 않도록하여 골격 소멸현상을 제거하였음을 입증하였다.

2. 8-이웃 연결값을 이용한 병렬세선화 알고리즘

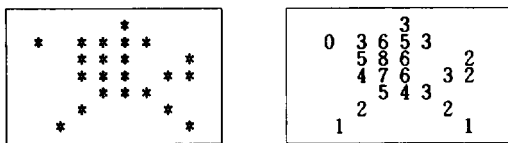
2.1 8-이웃 연결값

8-이웃 연결값이란 (그림 1)과 같이 임의 화소(P)를 중심으로 수평, 수직, 대각의 8방향(P0~P7)으로 인접하는 화소의 합을 8-이웃 연결값(8-neighbors connection value: C8p)이라 정의한다[13]. 그러므로 모든 화소가 갖는 연결값 C8p는 0~8 값 중 하나가 된다. 임의의 입력 이미지를 식 (1)에 의해 연결값으로 변환한 예를 (그림 2)에 나타내었다.

$$C^8_p = \sum_{i=0}^7 P_i \tag{1}$$

P ₇	P ₀	P ₁
P ₆	P	P ₂
P ₅	P ₄	P ₃

(그림 1) window



(a) input data (b) 8-neighbors connection value

(그림 2) An examples of 8-neighbors connection value

2.2 WPTA 알고리즘

세선화 과정에서 병렬성 구현이 용이하고 연결성이 끊어지지 않는 병렬세선화 알고리즘인 WPTA(Won's Parallel Thinning Algorithm)[13]에서의 화소 제거 조건은 골격의 연결성 유지를 위한 연결점(Connection point) 조건 세 가지와 끝점(End point) 유지를 위한 끝점 조

건 하나를 갖는다. 그러므로 네 가지 조건 중 하나라도 만족되면 그 화소는 제거될 수 없다.

WPTA에서 화소를 제거할 수 없는 네 가지 조건은 다음과 같다.

【WPTA에서 화소를 제거할 수 없는 네 가지 조건】

[조건 1] 연결점 조건 1

$$(P_0 \vee P_1 \vee P_7) \wedge (P_3 \vee P_4 \vee P_5) \wedge \overline{(P_2 \vee P_6)} = 1 \tag{2}$$

[조건 2] 연결점 조건 2

$$(P_1 \vee P_2 \vee P_3) \wedge (P_5 \vee P_6 \vee P_7) \wedge \overline{(P_0 \vee P_4)} = 1 \tag{3}$$

[조건 3] 연결점 조건 3

$$\sum_{i=0}^7 P_{2i} \cdot P_{(2i+2)MOD8} \cdot P_{(2i+5)MOD8} \geq 1 \tag{4}$$

[조건 4] 끝점 조건

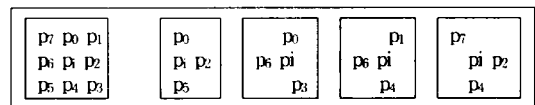
$$B(P) = \sum_{i=0}^7 P_i = 1 \tag{5}$$

[조건 1]은 수직 선분의 왼쪽 경사(\), 오른쪽 경사(/), X연결, Y연결, <뿔> 형태의 모든 수직 방향의 연결 상태를 조사하여 연결 상태가 유지되어야 하는 화소를 보존하기 위한 조건이다.

[조건 2]은 수평 선분의 왼쪽 경사(\), 오른쪽 경사(/), X연결, ^ 및 v 형태의 모든 수평 방향의 연결 상태를 조사하여 연결 상태가 유지되어야 하는 화소를 보존하기 위한 조건이다.

[조건 3]은 [조건 1]과 [조건 2]에서 검출되지 않은 네 가지 형태의 연결점 화소를 검출한다. 이는 (그림 3)과 같이 경사진 Y 패턴(tilted Y pattern)형태의 연결점으로 Y자를 왼쪽과 오른쪽으로 45도 기울어진 형태인 (그림 3)에서 (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.



(a) window (b) (c) (d) (e)

(그림 3) Four types of the tilted Y pattern in the condition 3.

알고리즘 WPTA

(입력 : 이미지 데이터

출력 : 세선화된 골격)

```

begin
  repeat
    for each pixel p do
      if (조건1 or 조건2 or 조건3 or 조건4) then delete p;
    until ( no more pixels deleted );
  end;

```

2.3 8-이웃 연결값을 이용한 WPTA(WPTA8N)

본 논문에서 제안하는 8-이웃 연결값을 이용한 세선화 알고리즘은 C8p와 WPTA를 결합한 후 여기서 발생하는 골격소멸 현상을 제거한 알고리즘으로 이를 WPTA8N으로 표시한다. WPTA8N에서는 입력 이미지 데이터를 연결값으로 변환하고 연결값 0과 1을 갖는 화소를 먼저 제거한 다음, 이를 다시 연결값으로 변환한다. 그리고 WPTA에 의해 연결값이 0에서 7까지의 화소를 순서적으로 제거한 다음 이미지 데이터를 다시 연결값으로 변환한다. 이 과정은 제거되는 화소가 없을 때까지 반복한다.

알고리즘 WPTA8N

{입력 : 이미지 데이터
출력 : 세선화된 골격}

$$C^8p = \sum_{i=0}^7 P_i \}$$

```

begin
  for each pixel p do calculate C8p;
  for each pixel p do
    if C8p = 0 or C8p = 1 then delete p;
  for each pixel p do calculate C8p;
  repeat
    for k = 0 to 7 do
      for each pixel p do
        if (C8p=k) then WPTA(p); {C8p=k이면 WPTA(p) 호출}
      for each pixel p do calculate C8p;
    until ( no more pixels deleted );
  end;

```

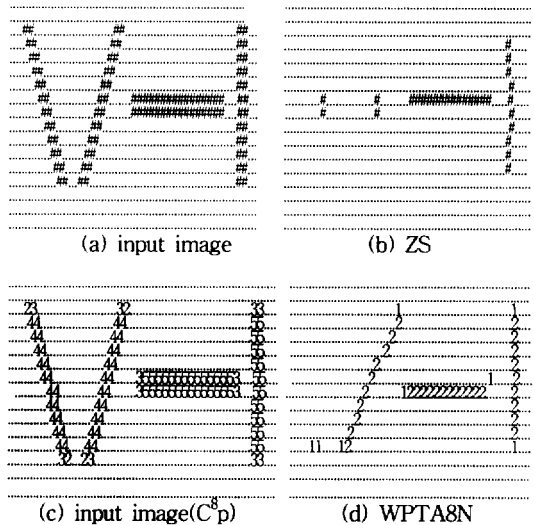
3. WPTA8N 알고리즘에서의 골격소멸현상 제거

잡영 발생과 골격 보존간에는 서로 상충하는 관계가 있다. 대부분의 세선화 알고리즘에서는 골격소멸현상을 제거하기 위한 조건으로 인하여 발생되는 잡영이 문제가 되기도 한다. 그러므로 문자인식에서는 골격소

멸현상에 대한 알고리즘의 보완시 잡영 발생 관계를 정확히 분석하여 이러한 현상을 제거하기 위한 알고리즘이 적절히 선택되어야 한다.

3.1 WPTA8N 알고리즘에서의 골격소멸현상

일반적인 세선화 알고리즘에서 골격소멸현상은 두 화소 두께의 수직, 수평, 경사 선분에서 주로 발생되고 있다. WPTA8N 알고리즘에서의 골격소멸현상은 그림 4와 같이 2화소 두께의 왼쪽 경사 선분에서 나타난다. (그림 4)는 제안된 알고리즘 WTA8N와 ZS 알고리즘에서 두 화소 두께의 수직, 수평, 경사 선분에 대한 골격소멸현상을 보여주고 있다. (그림 4)에서 (a)는 입력 이미지이고, (b)는 (a)를 ZS[11] 알고리즘에서의 골격소멸현상을 나타내며, (c)는 입력 이미지를 8-이웃 연결값으로 변환된 데이터를 나타내고, (d)는 WPTA8N에서 발생하는 골격소멸현상을 보인다.



(그림 4) The result of skeleton disappearance in the WTA8N and ZS algorithm

3.2 WPTA8N 알고리즘의 골격소멸현상 제거 조건

WPTA8N에서 골격소멸현상은 (그림 4)의 (d)에서와 같이 왼쪽 경사 선분에서 발생한다. 이러한 현상을 막기 위한 방법은 (그림 1)의 윈도우에서 화소 P4와 P5가 1이고 그외의 화소가 0일 때 그 화소를 보존하기 위한 조건을 추가하는 것이다. 그러나 연결값을 이용한 알고리즘에서 1방향에 대해서만 골격소멸현상을 처리할 경우, 4방향에서의 끝점(end point)에 대한 동질

성 유지가 어렵고, 세션화된 골격의 유사도나 등방성에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다. 이러한 문제점들은 2방향이나 4방향에서 골격소멸현상을 동시에 제거하는 조건에 의해 해결될 수 있다.

그러므로 WPTA8N에서는 서로 다른 4방향에서 처리하여 골격소멸현상을 제거할 수 있도록 하였다.

【 WPTA8N에서의 골격소멸현상 제거 조건 】

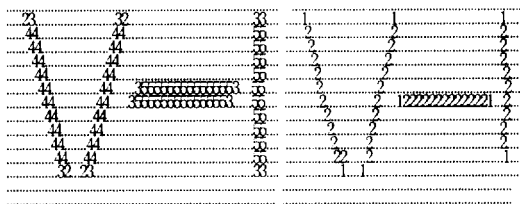
$$P_0 \cdot P_1 \cdot \frac{P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7}{P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7} = 1 \quad (6)$$

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

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

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

WPTA8N에서의 4 방향에 대한 골격소멸현상 제거 조건은 식 (6)에서 식 (9)와 같고, 4가지 조건중 하나를 만족하면 그 화소는 보존되도록 하였다. (그림 5)에서는 수정된 WPTA8N 알고리즘의 수행 결과를 나타내었다.



(a) input image(C^p) (b) WPTA8N
(그림 5) The result of the modified WPTA8N algorithm

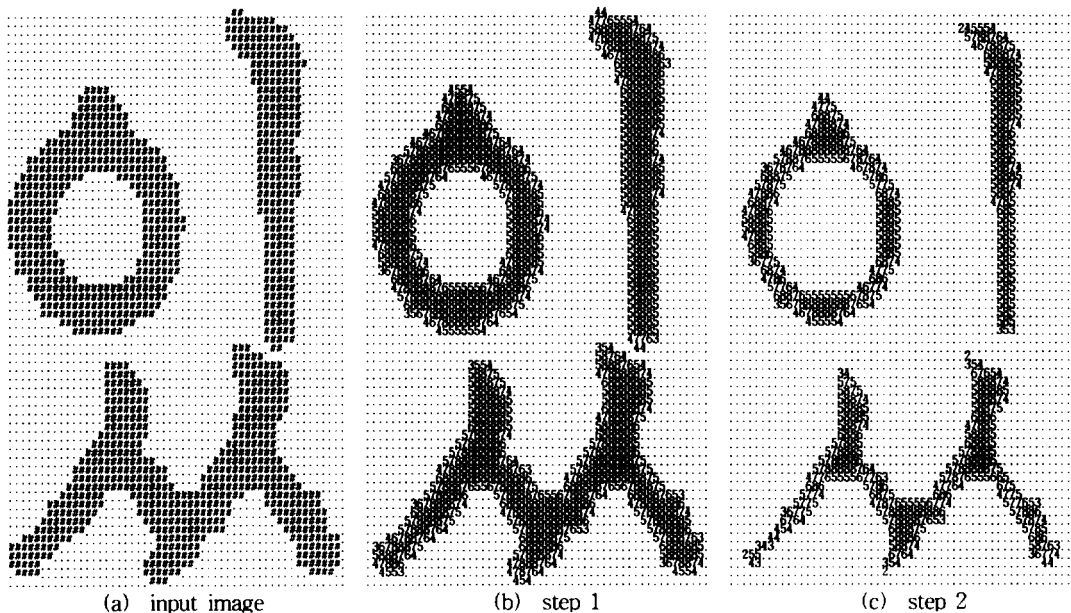
4. WPTA8N 수행 결과

WPTA8N의 단계별 수행과정을 그림 6에 나타내었다. (그림 6)에서 (a)는 입력 이미지이고, (b)는 입력 이미지를 연결값으로 변환하여 연결값이 0과 1인 화소를 제거한 것이며 (c), (d), (e) 및 (f)는 각각 WPTA8N에서 단계별로 수행하여 최외곽 화소를 한 겹씩 제거해 가는 과정을 나타내고 있다.

WPTA8N의 수행결과를 보면 골격선의 끊어짐이 없이 연결성이 잘 유지되며 연결성의 형태는 완전-8 연결 형태로 되어 있다. 또한, 최종 골격선의 화소는 1에서 3까지의 수치 정보로 표현되므로 문자인식 과정에서 다양한 형태의 정보로 이용될 수 있다.

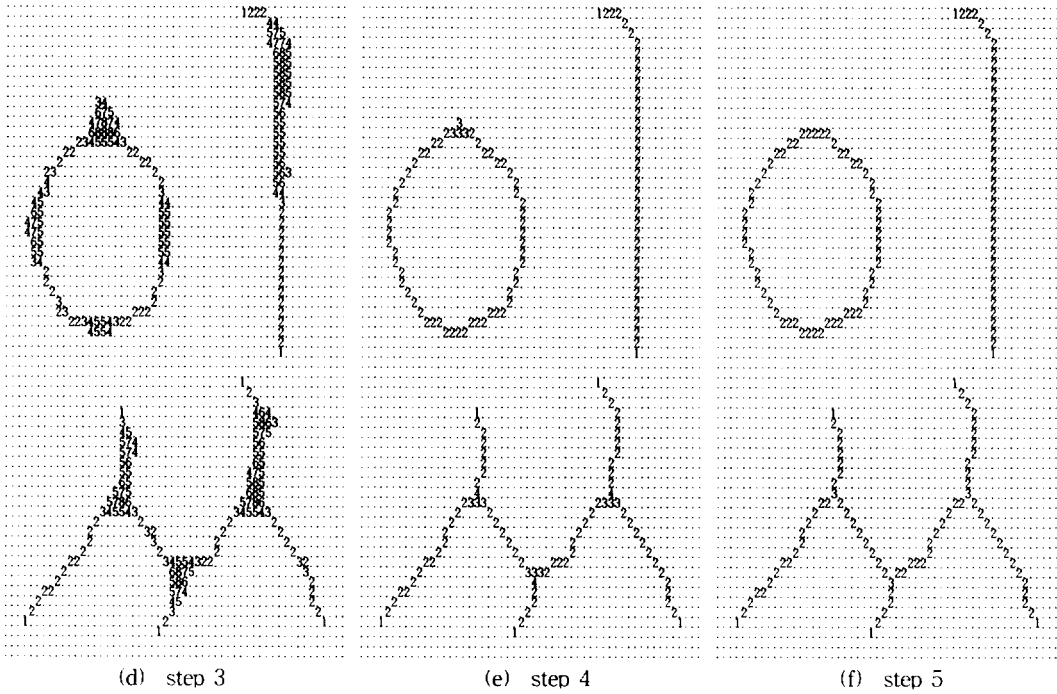
제안된 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위하여 기존의 잘 알려진 병렬세션화 알고리즘으로서 Zhang 등이 제안한 알고리즘[11]과 Lu 등이 제안한 알고리즘[3], Wang 등이 제안한 알고리즘[14], Madalia 등이 제안한 알고리즘[15] 및 Chen 등에 의해 제안된 알고리즘[16]들을 구현하여 그 수행 결과를 (그림 7)에 비교하였다.

수행 결과로서 제안된 알고리즘의 유사도와 골격선의 품질이 매우 우수함을 알 수 있다. 특히, 곡선선분이 많은 문자에서 곡선의 획을 이루고 있는 형태를 잘 나타내므로 다양한 문자인식을 위한 세션화 알고리즘으로 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

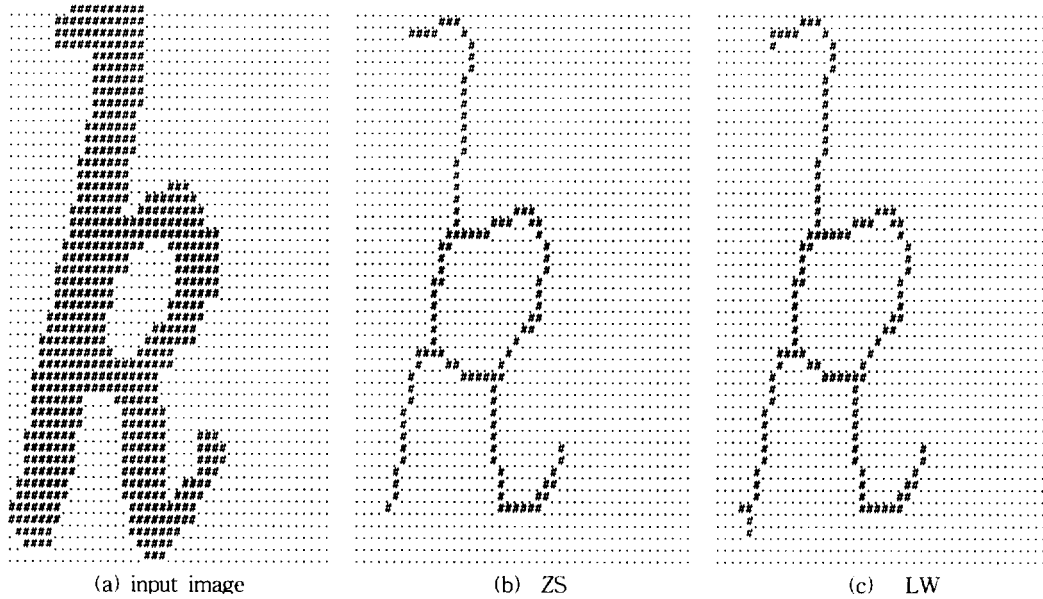


(a) input image (b) step 1 (c) step 2
(그림 6) Process steps in the WPTA8N algorithm(a) - (f)

(그림 6) 계속

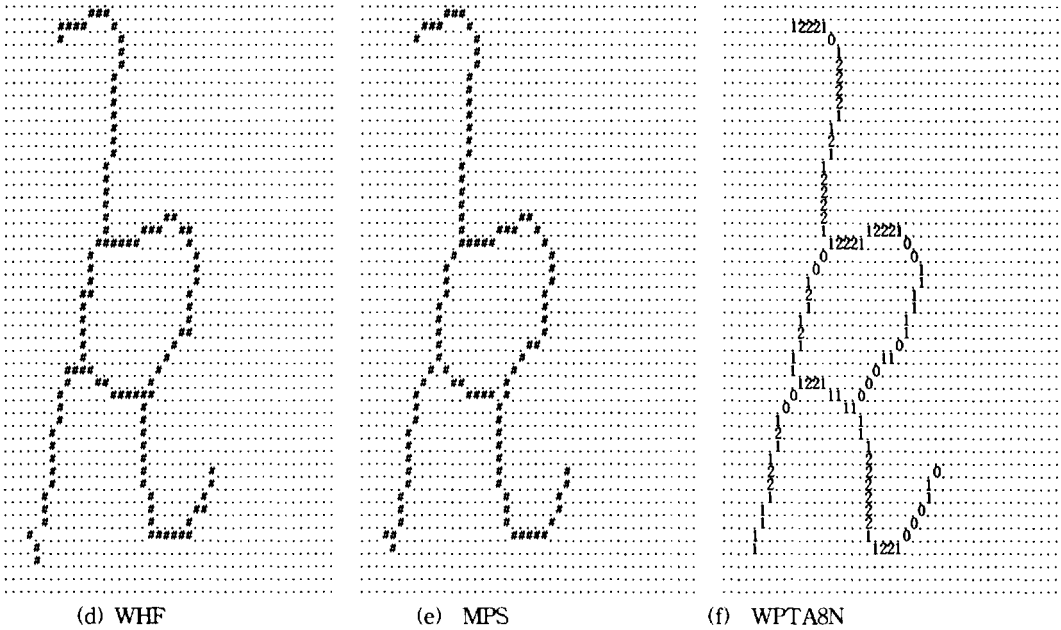


(그림 6) Process steps in the WPTA8N algorithm(a) - (f)



(그림 7) Comparison of the thinning results for the ZS, LW, WHF, MPS and WPTA8N algorithm applied to the English.

(그림 7) 계속



(그림 7) Comparison of the thinning results for the ZS, LW, WHF, MPS and WPTA8N algorithm applied to the English.

5. 결 론

기존의 세선화 알고리즘에서는 3×3 윈도우에서 나타나는 여러 가지 제약 요인을 해결하기 위해 확장된 윈도우나 특수한 template를 사용하므로 알고리즘의 복잡하고, 성능이 저하될 수 있으나, WPTA8N 알고리즘은 연결값 자체가 주변의 화소 정보를 포함하고 있으므로, 3×3 윈도우를 5×5 윈도우로 확장한 결과와 같다. 그러므로 확장된 윈도우나 특수한 template가 불필요하므로 알고리즘이 단순하고 성능이 우수한 특성을 갖는다.

WPTA8N 알고리즘의 특징은 골격선의 유사도와 품질이 기존의 세선화 알고리즘 중에서 가장 우수하고, 병렬성 구현이 용이하며, 세선화된 결과는 한 화소 두께의 완전 8 연결 형태가 되고, 그 결과는 숫치 정보로 표현된다. 또한, 추출된 골격선에서 특정한 패턴이 사라지는 현상이 발생하지 않고, 연결성이 끊어지지 않고, 끝점이 잘 유지되므로 문자의 골격선을 정확한 상태로 추출할 수 있음을 실험을 통하여 입증하였다.

본 논문은 WPTA 알고리즘에서 발생하는 골격소멸 현상을 제거하기 위한 WPTA8N 알고리즘을 제안하였고, 이를 구현하여 기존의 세선화 알고리즘들과 그 결

과를 비교하였다. 제안된 알고리즘은 다중 문자, 다중 폰트 환경의 문서인식 시스템 개발에 적용할 경우 우수한 결과가 기대된다.

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] M. Beun, "A flexible method for automatic reading of handwritten numerals," Philips Technical Review, Vol.33, No.5, pp.89-101:130-137, 1973.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] A. Rosenfeld and L. S. Davis, "A note on thinning,"

IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.25, pp.226-228, 1976.

[6] C. Arcelli and G. Sanniti di Baja, "A thinning algorithm based on prominence detection," Pattern Recognition, Vol.13, No.3, pp.225-235, 1981.

[7] 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, pp.169-179, 1986.

[8] R. Stefanelli and A. Rosenfeld, "Some parallel thinning algorithms for digital picture," Journal of Association for Computing Machinery, Vol.18, No.2, pp.255-264, April, 1971.

[9] A. Bel-Lan and L. Montoto, "A thinning transform for digital images," Signal Processing, Vol.3, No.1, pp.37-47, 1981.

[10] Yung-Sheng CHEN, Wen-Hsing HSU, "A modified fast parallel algorithm for thinning digital patterns," Pattern Recognition Letters 7, No.2, North-Holland, pp.99-106, 1988.

[11] T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns," Communications of the ACM, Vol.27, No.6, pp.236-239, March, 1984.

[12] Z. Guo and R. W. Hall, "Parallel thinning with two-subiteration algorithms," Comm of the ACM, Vol.32, No.3, pp.359-373, 1989.

[13] 원남식, 손윤구, "8-이웃 연결값에 의한 병렬 세션화 알고리즘", 한국정보처리 학회논문집 제2권 제5호, Dec., 1995.

[14] 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.

[15] A. D. Mandalia, A. S. Pandya, R. Suchaker, "Modified fast parallel thinning algorithm for noisy handprinted characters," 92 Proceedings of the 2nd Singapore International Conference on Image Processing, Singapore, pp.7-11, Sep., 1992.

[16] Yung-Sheng CHEN, Wen-Hsing HSU, "A modified fast parallel algorithm for thinning digital pa-

terns," Pattern Recognition Letters 7, No.2, North-Holland, pp.99-106, 1988.



원 남 식

e-mail : nswon@bear.kyungil.ac.kr

1944년 인하대학교 전자과(학사)

1984년 영남대학교 대학원 전자과
(공학석사)

1996년 영남대학교 대학원 전산
공학과(공학박사)

1976년~1978년 한국과학기술연구소 연구원

1978년~1981년 한국전자기술연구소 연구원

1981년~현재 경일대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 문자인식, 세션화 알고리즘, 네트워크, 컴퓨터그래픽스



남 인 길

e-mail : ignam@biho.taegu.ac.kr

1978년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1981년 영남대학교 대학원 전자공
학과 계산기전공(공학석사)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학
과 전산공학전공(공학박사)

1978년~1980년 대구은행 전산부

1980년~1990년 경북산업대학 전자계산학과 부교수

1990년~현재 대구대학교 컴퓨터 정보공학부 교수

1996년~1997년 미국 루이지애나 주립대학 객원교수

관심분야 : 데이터베이스, 패턴인식, 지리정보시스템



전 일 수

e-mail : isjeon@bear.kyungil.ac.kr

1984년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1988년 경북대학교 대학원 전자
공학과(공학석사)

1995년 경북대학교 대학원 전자
공학과(공학박사)

1984년~1985년 삼성전자(주)

1985년~현재 경일대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 패턴인식, 데이터베이스