

8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘

원 남 식* 손 윤 구**

세선화 알고리즘은 문자 인식에서 인식율을 높이기 위한 매우 중요한 과정이 된다. 본 연구는 다양한 문자 인식에 적용 가능한 8-이웃 연결값을 이용한 병렬세선화 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 특징은 병렬성 구현이 용이하며, 세선화된 결과는 완전 8연결이 되고, 수치 정보로 표현된다. 특히 곡선 선분의 골격이 정확하게 표현되므로 영문, 일어 등 곡선이 많은 문자에 더욱 적합함을 보인다. 성능 평가는 기준 골격선과의 유사도 측정 방법에 의해 수행되었다.

A Parallel Thinning Algorithm by the 8-Neighbors Connectivity Value

Won Nam Sik* Son Yoon koo**

ABSTRACT

A thinning algorithm is a very important procedure in order to increase recognition rate in the character recognition. This paper is the study of a parallel thinning algorithm available for the recognition of various characters, and it proposes the parallel thinning algorithm using the 8-neighbors connectivity value. Characteristics of the proposed algorithm are easiness of implementation of parallelism, the result of thinning is perfectly-8 connectivity and represented by numeric information. The proposed algorithm is very suitable for characters having many curve segments such as English, Japanese etc. Performance evaluation was performed by the measure of similarity to reference skeleton.

1. 서 론

영상 골격화에 관한 연구 현황은 지난 30 여년 간 330 여편의 연구 논문이 발표되었으며, 최근 들어 더욱 증가되고 있는 추세이다. 이는 골격화 관련 연구가 문자 인식 분야에 매우 기초적이고 중요한 비중을 차지하는 핵심 연구 분야임을 입증하고 있다. 영상 골격화 알고리즘의 응용 분야로는 문자 인식, 지문 인식 및 검증, 인영 검증, 도면 코딩 및 인식, 인쇄 회로 기판 자동 검사, 정맥 분석과 세포 분석, 광물 섬유류의 분류, 토양의 균열 상태 조사, 산업용 시각 시스템 등 매우 다양한 분야가 있으며, 이의 응용 범위도 확대될 것으로 판단된다[1, 2, 3].

세선화 알고리즘으로는 Rutov [4], Rosenfeld [5, 6], Stefanelli [7], Hilditch [8], Arcel [9], Tamura [10], Pavli [11], Zhang [12], Suzuki [13] 등의 세선화 알고리즘이 잘 알려져 있고, 이외 병렬세선화 알고리즘[14,15,16,17,18, 19]도 다수 발표되었다. 병렬세선화 알고리즘 중 잘 알려진 것은 Zhang and Suen(ZS)에 의해 제안된 알고리즘[12]이 있고, Lu and Wang (LW)[14], Wang, Hui, and Fleming(WHF) [15], Madalia, Pandya, and Sudhaker (MPS) [16] 등이 개선된 알고리즘을 제안하였다.

세선화 알고리즘은 인식 대상 영상을 양자화하여 영상을 구성하는 가장 기본 요소인 화소(Pixel)로 변환한 후, 특징 추출에 무관한 화소를 제거하여 골격선의 두께가 1인 화소로써 그 특징 골격을 형성하는 작업이 된다. 세선화 알고리즘에 의해 추출된 골격선의 품질이 문자 인식율에 크게 영향을 미치게 되므로, 인식 대상 문

* 정 회 원 : 경북산업대학교 전자계산학과 교수

** 정 회 원 : 영남대학교 전산공학과 교수

논문접수 : 1995년 3월 30일, 심사완료 : 1995년 9월 21일

자에 가장 적합한 세선화 알고리즘으로 수행되어야 한다. 더욱이 문서 인식 시스템(OCR)에서는 여러 종류의 문자와 다양한 활자체가 혼용되어 사용되므로 이에 적용 가능한 세선화 알고리즘에 관한 연구가 수행되어야 한다. 그러므로 본 논문에서는 기존의 잘 알려진 병렬세선화 알고리즘에 대한 검토로서 이들 알고리즘을 구현한 후, 이의 문제점을 보인다.

대부분의 기존의 세선화 알고리즘들은 화소 처리를 위한 지역연산 과정에서 3X3 윈도우를 사용하므로, 주변 화소에 대한 정보 부족으로 세선화 작업에 많은 제약 요인이 되고 있다. 그러므로 보다 정확한 특징 추출을 위한 방법으로서 지역연산 과정에서 확장된 윈도우(3X4, 4X5, 5X5)를 사용하기도 한다. 그러나 이러한 방법들은 부분적인 해결책은 되나 알고리즘의 복잡성과 성능 저하를 유발하므로 충분한 해결책이 되지 못하고 있다. 특히 알고리즘의 병렬성을 제하하므로 병렬세선화 알고리즘의 구현에는 부적당한 방법이 된다.

본 연구에서는 기존의 세선화 알고리즘들이 지역연산 시 갖는 제약 요인에 대한 문제 해결과 알고리즘의 병렬성 구현이 가능한 방안으로서, 각 화소들 간의 8방향의 이웃하는 연결 상태를 나타내는 연결값(Connectivity Value)을 이용한 8-이웃 병렬세선화 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가는 기준 골격선과 세선화 알고리즘에 의해 생성된 골격선과의 유사도 측정법에 의해 평가되었다.

2. 병렬세선화 알고리즘 관련 연구

기존의 세선화 알고리즘들에서 발생하는 문제점은 세선화된 결과가 2화소 두께로 남는 것과 연결성이 끊어지는 것이다. 이는 문자 인식 과정에서 여러 가지 나쁜 영향을 미치게 된다. 또한 세선화 작업은 많은 시간을 요하는 작업이므로 순차적세선화 보다는 병렬세선화가 적합한 방법이 된다. 본 장에서는 병렬세선화 알고리즘에 관한 기존의 연구로서 그 성능이 입증된 알고리즘인 Zhang과 Suen이 제안한 알고리즘과, 이 알고리즘에서의 문제점인 2화소 두께의 계단형 패

턴의 무너지는 현상과, 세선화된 결과가 부분적으로 2화소 두께로 남을 수 있는 현상과, 연결성이 끊어지는 현상 등을 수정 및 보완한 Lu and Wang(LW) [14], Wang, Hui, and Fleming (WHF) [15], Madalia, Pandya, and Sudhaker(MPS) [16]등에 의해 제안된 개선된 알고리즘을 소개한다.

2.1 ZS 알고리즘

ZS 알고리즘은 널리 이용되고 있는 대표적인 병렬세선화 알고리즘이다. 그러나 ZS 알고리즘은 ((그림 2)의 (b))에서와 같이 2화소 두께의 계단형 패턴이 골격을 남기지 못하고 사라지는 현상과, 추출된 골격선이 완전한 1화소 두께로 남지 않는 문제가 있다. ZS의 병렬세선화 알고리즘은 골격의 연결성을 보존하기 위해서 2개의 부 반복 단계(subiteration)로 수행된다.

첫번째 부 반복 단계 : 다음의 조건이 만족되는 화소는 제거된다.

- 조건: a) $2 \leq B(P_1) \leq 6$
- b) $A(P_1) = 1$
- c) $P_2 \wedge P_4 \wedge P_6 = 0$
- d) $P_3 \wedge P_5 \wedge P_8 = 0$

조건 a)에서 $B(P_1)$ 은 P_1 의 이웃하는 화소수의 합이 된다.

$$B(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_6 + P_8$$

조건 b)에서 $A(P_1)$ 은 (그림 1)에서와 같이 P_1 화소의 이웃하는 8방향의 화소들의 order set $P_2, P_3, P_4, \dots, P_6, P_8$ 에서의 각 화소값들이 0에서 1로 변화되는 01 패턴의 수가 된다.

두번째 부 반복 단계 : 여기서는 첫번 단계에서 조건 c), d)만을 다음과 같이 바꾼다.

- c') $P_2 \wedge P_4 \wedge P_6 = 0$
- d') $P_2 \wedge P_6 \wedge P_8 = 0$

P_9	P_2	P_3
P_8	P_1	P_4
P_7	P_6	P_5

(그림 1) ZS 알고리즘에서 화소의 위치
(Fig. 1) Pixels location in the ZS Algorithm

2.2 LW 알고리즘

ZS 알고리즘에서는 ((그림 2)의 (a))와 같은 2화소 두께의 계단형 패턴이 ((그림 2)의 (b))와 같이 사라지는 현상이 발생한다. LW 알고리즘에서는 이의 해결 조건으로 ZS 알고리즘의 조건 a)를 $3 \leq B(P1) \leq 6$ 으로 수정하였다. LW 알고리즘은 ZS 알고리즘에서 2화소 두께의 계단형 패턴이 사라지는 현상을 제거하였으나, ((그림 2)의 (C))에서 처럼 2화소 두께의 계단형 패턴이 한 화소 두께로 세선화 되지 않는 문제가 있다.

2.3 WHF 알고리즘

WHF 알고리즘은 LW 알고리즘을 개선한 것으로 LW 알고리즘에 다음의 조건을 추가하였다. 즉, 화소를 제거하기 위해서는 먼저 다음의 조건에 의해 심사하여 이 조건이 만족된 화소는 먼저 제거된다.

$$(P_3 \oplus P_5) \wedge (P_2 \oplus P_6) \wedge \overline{P_4} \wedge P_8 = 1$$

위의 조건은 다음의 조건으로 대체할 수 있다.

$$(P_5 \oplus P_7) \wedge (P_2 \oplus P_6) \wedge \overline{P_8} \wedge P_4 = 1$$

WHF 알고리즘의 문제점은 세선화된 결과가 ((그림 2)의 (d))와 같이 완전히 1화소 두께로 남지 않는 경우와, 특정한 패턴에 대해서는 연결성이 끊어지는 현상이 발생한다.

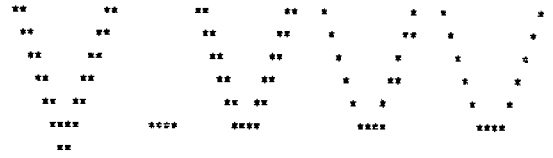
2.4 MPS 알고리즘

LW 알고리즘과 동일한 알고리즘으로 처리되고, 처리된 결과를 다시 다음의 조건 중 하나라도 만족하면 그 화소(P1)는 제거된다.

- 1) $P_2 \wedge \overline{P_5} \wedge P_8$
- 2) $P_2 \wedge \overline{P_3} \wedge P_4 \wedge P_5$
- 3) $\overline{P_3} \wedge P_6 \wedge P_8$
- 4) $P_4 \wedge P_6 \wedge \overline{P_9}$
- 5) $P_2 \wedge \overline{P_5} \wedge \overline{P_6} \wedge \overline{P_7}$

MPS 알고리즘의 세선화 결과는 완전한 1화소 두께(완전 8 연결)로 골격이 남으며, 연결성이 끊어지지 않는 우수한 알고리즘이 된다. 그러나

MPS 알고리즘은 ZS 알고리즘을 개선하기 위한 조건들이 세선화된 골격에 잡영 가치를 발생시킬 수 있는 문제점이 있다.



(a) input image (b) ZS (c) LW (d) WHF (e) MPS
 (그림 2) ZS, LW, WHF, MPS 알고리즘의 수행결과 비교 (Fig. 2) Comparison of Execution Results for the ZS, LW, WHF and MPS Algorithm

3. 8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘

본 절에서는 인접한 화소들 간의 8이웃 방향의 연결 관계를 특정한 값으로 표현하여 이를 8-이웃 연결값이라 정의하고, 이를 구하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 또한 세선화 작업을 위한 병렬세선화 알고리즘을 제안하였다. 그리고 이들 두 알고리즘을 결합한 8-이웃 병렬세선화 알고리즘을 제안한 후, 이의 단계별 수행 과정을 보인다. 기존의 병렬세선화 알고리즘과 8-이웃 병렬세선화 알고리즘의 수행 결과를 비교한다.

3.1 8-이웃 연결값(8-neighbors Connectivity Value)

기존의 세선화 알고리즘들은 대부분이 화소치를 단순히 0과 1의 상태값으로만 처리하고, 지역연산 과정에서 (그림 3)과 같은 3X3 윈도우를 사용하고 있다. 그러나 이는 지역연산을 위한 주변 화소들에 관한 정보의 부족으로 인한 세선화 작업에 많은 제약 요인이 되고 있다. 그러므로 이러한 제약 요인을 해결하기 위한 방법으로 지역 연산시 확장된 윈도우(3X4, 4X5, 5X5)[16, 17, 18, 19]를 사용하기도 한다. 그러나 이는 알고리즘의 복잡성과 병렬성을 저하시키는 요인이 되므로, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘을 제안한다.

8-이웃 연결값이란 인접한 화소들 간의 연결

관계에 특정한 의미를 부여하기 위해 (그림 3)과 같이 임의 화소(P)를 중심으로한 수평, 수직, 대각의 8방향으로 이웃하는 화소의 숫자의 합을 8-이웃 연결값(8-neighbors Connectivity Value:8NCV)이라 정의한다. 또한 세선화를 위한 화소들을 8-이웃 연결값으로 변환(Conversion)하는 과정을 8NCVC (8-neighbors Connectivity Value Conversion)로 표시한다.

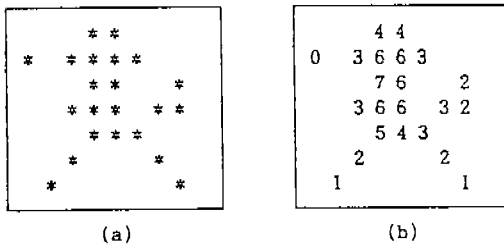
p_7	p_0	p_1
p_6	P	p_2
p_5	p_4	p_3

(그림 3) 제안된 알고리즘에서 화소의 위치
(Fig. 3) Pixels location in the proposed Algorithm

8-이웃 연결값은 그림 3)에서와 같이 8방향(p_1-p_7)에 있는 화소의 합으로 결정된다.

$$8NCV = \sum_{i=1}^7 P_i \dots\dots\dots (1)$$

모든 화소가 갖는 연결값 8NCV는 0에서 8값 중 하나가 된다. 8NCV=0은 8방향에 화소가 하나도 없는 상태 이고, 8NCV=8 는 8방향에 모두 화소가 있음을 나타낸다. ((그림 4)의 (a))에서 이미지를 8-이웃 연결값으로 변환된 상태는 ((그림 4)의 (b))와 같다.



(a) 입력 데이터 (b) 8-이웃 연결값
(a) input data (b) 8-Neighbors Connectivity Value

(그림 4) 8-이웃 연결값으로 변환
(Fig. 4) Conversion of the 8-Neighbors Connectivity Value

3.2 WPTA 병렬세선화 알고리즘

이상적인 세선화 알고리즘은 세선화된 결과가 완전히 1화소 두께로 남는 완전 8연결 방식이어

야 하고, 연결성이 끊어지지 않아야하며, 병렬성 2현이 가능하여야 한다. 그러나 대부분의 기존의 병렬세선화 알고리즘들에서 발생하는 문제점은 세선화된 결과가 완전 8연결 형태로 남지 않는 것과 특이한 경우 연결성이 끊어지는 것이다. 또한 이러한 문제 해결을 위한 방법들이 잡영 가치를 발생시키거나, 병렬성을 저해하는 주된 원인이 되고있다. 그러므로 본 연구에서는 세선화된 결과가 완전한 1화소 두께로 남는(완전 8연결), 세선화 알고리즘을 제안하고, 이를 WPTA (Won's Parallel Thinning Algorithm)라 명한다.

WPTA에서 화소 제거 조건은 제시된 3가지 조건 중 하나라도 만족되면 그 화소는 제거될 수 없다. 즉, 3가지 조건을 모두 만족하지 않을 때 그 화소는 제거된다. WPTA에서 화소를 제거할 수 없는 3가지 조건은 다음과 같다.

[WPTA에서 화소를 제거할 수 없는 3조건]

- 조건 1) 연결점(Connection point) 조건
 $(p_1 \setminus p_2 \setminus p_3) \wedge (p_4 \setminus p_5 \setminus p_6) \wedge (\overline{p_7 \setminus p_0}) = 1$ (2)
- (3)
 $(p_1 \setminus p_2 \setminus p_3) \wedge (p_4 \setminus p_5 \setminus p_6) \wedge (\overline{p_7 \setminus p_0}) = 1$ (3)

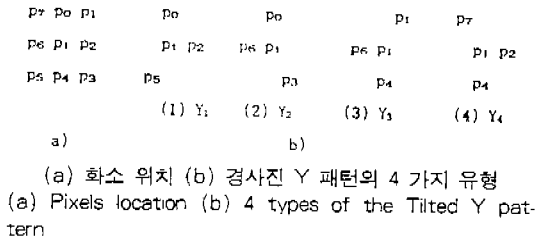
조건 2) 끝점(End point) 조건

$$B(p) = \sum_{i=1}^7 P_i = 1 \dots\dots\dots (4)$$

B(p) : p에 이웃하는 화소들의 합
 조건 3) 4가지 경사진 Y 패턴(Y1, Y2, Y3, Y4)의 연결점 조건

;조건1)에서 검사되지 못한 4가지 경사진 Y 패턴(Y1, Y2, Y3, Y4)의 포함 여부를 검사.

화소를 제거할 수 없는 3가지 조건에서 조건 1)은 제거 대상의 화소가 선분의 연결성을 갖는 화소인가를 판단하기 위한 연결성 검사로서 선분의 다양한 연결 상태에 관해 조사하는 과정이다. 선분의 연결 상태는 수평, 수직, 왼쪽 경사, 오른쪽 경사, ×연결, Y연결, ∧연결, ∨연결,(연결,) 연결등 다양한 형태가 있다. 이러한 선분의 연결



(그림 5) 조건 3)에서의 4가지 경사진 Y 패턴 (Fig. 5) 4 types of the Tilted Y pattern in the condition 3.

상태를 조사하여 연결성을 유지하기 위한 조건을 검사한다. 식(2)는 선분의 연결 형태에서 수직 방향으로의 연결점을 검사하고, 식(3)은 수평 방향의 연결점을 검사하는 조건이 된다. 조건 2)는 끝점을 검사한다. 조건 3)은 조건 1)에서 검출되지 않는 연결점을 처리하는 과정으로, 패턴 비교에 의한 연결점 검사 과정이 된다. 이는 ((그림 4)의 (b))에서와 같은 4가지 경사진 Y 패턴에 대한 연결점으로 Y자를 왼쪽, 오른쪽으로 45도 기울인 형태 (a), (b)와 이를 다시 180도 회전한 형태 (c), (d)의 연결점을 보존하기 위한 조건이므로, 4가지 형태의 경사진 Y 패턴이 포함되는 경우의 화소(pi)는 제거할 수 없다.

[WPTA 알고리즘]

- 단계 1. 각 화소에 대해 세가지 조건(조건 1, 조건 2, 조건 3)의 논리합을 구한다.
- 단계 2. 구해진 논리합이 참이면 화소를 보존하고 거짓이면 화소를 제거한다.

3.3 8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘

8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘은 세선화를 위한 이미지의 화소를 8-이웃 연결값으로 변환하는 8NCVC와 제안된 병렬세선화 알고리즘인 WPTA를 결합하여 구성된 알고리즘으로 이를 8WPTA라 명한다.

8NCVC : 화소 데이터를 8-이웃 연결값으로의 변환

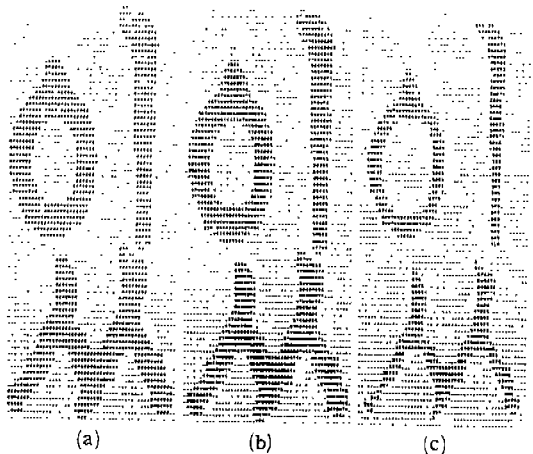
WPTA : 병렬세선화 알고리즘

8WPTA : 8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘

본 논문에서 제안된 8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘은 다음과 같다.

[8WPTA 알고리즘]

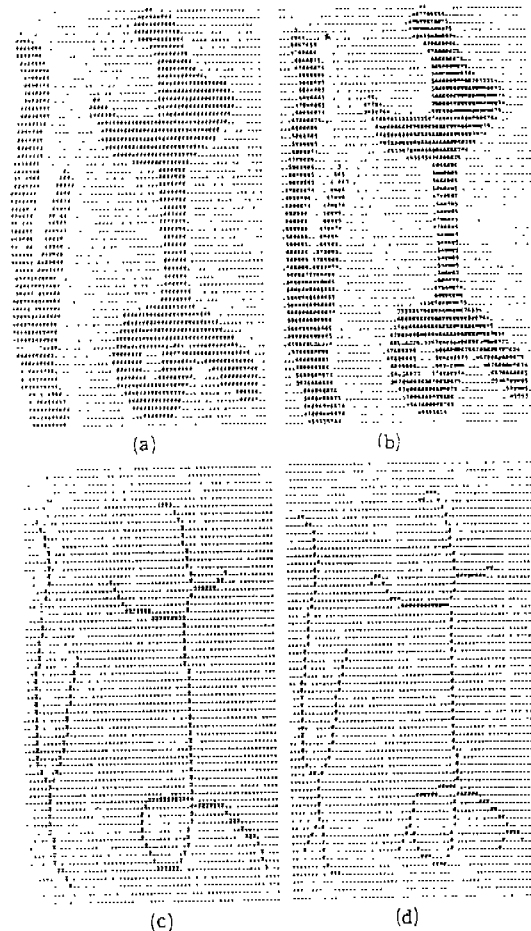
- 단계1. 이미지 화일을 8NCVC로 변환하고, 변환된 이미지 화일에서 연결값 0,1을 갖는 화소를 모두 제거한후 다시 8NCVC로 변환.
- 단계2. 이미지 화일에서 연결값이 0에서 7까지인 화소에 대해 WPTA로 연결값이 0인 화소에서 부터 순차적으로 제거한다.
- 단계3. 단계2의 처리 과정에서 제거되는 화소가 있으면 단계4로 가고, 없으면 종료한다.
- 단계4. 단계3까지 처리된 결과를 8NCVC로 변환하고, 단계2로 간다.



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

(그림 6) 8WPTA 알고리즘에서의 수행 단계 (Fig. 6) Execution Steps in the 8WPTA Algorithm

단계1에서 연결값 0과 1을 갖는 화소를 제거하는 이유는 처음 입력된 이미지 화일에서는 특징 골격과는 무관한 잡영이 되기 때문이다. 8WPТА에 의한 세션화 알고리즘 수행 과정을 (그림 6)에 나타내었다. ((그림 6)의 (a))는 입력 이미지이고, (b)는 입력 이미지를 8NCVC로 변환 후 $8NCV=0$, $8NCV=1$ 화소를 제거한 것이고, (c), (d), (e), (f)는 각각 8WPТА에서 단계2에서 단계4까지를 순차적으로 수행한 결과



(a) 입력 데이터 (b) 8NCVC로 변환
(c) 8WPТА의 수행 결과 (d) MPS의 수행 결과
(a) Input data (b) 8NCVC
(c) 8WPТА Result (d) MPS Result

(그림7) 일본어에서의 8WPТА 알고리즘과 MPS 알고리즘의 수행 결과 비교
(Fig. 7) Comparison of Execution Results for the 8WPТА and MPS Algorithm in the Japanese.

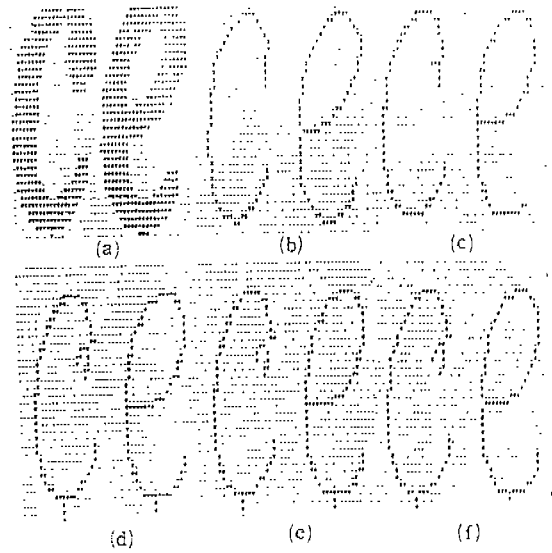
이다. 기존의 세션화 알고리즘들과 제안된 8WPТА 알고리즘의 수행 결과의 비교로써, (그림 7)은 일본어를 8WPТА 알고리즘과 MPS 알고리즘의 수행 과정을 비교한 것이고, (그림 8)은 8WPТА 알고리즘과 ZS, LW, WHF, MPS 알고리즘의 수행 결과를 비교한 것이다.

4. 성능 평가

4.1 성능 평가를 위한 기준 설정 및 실험 환경

성능 평가를 위한 기준 설정은 복원 가능성, 처리 속도, 기준 골격선과의 유사도, 추출된 골격선의 품질, 들쭉화 후의 연결성, 병렬성의 정도 등으로 성능을 평가할 수 있다. 복원 가능성은 추출된 골격선이 원래 패턴의 형태를 정확히 반영하는가를 평가하는 기준이다.

복원 가능성을 높이기 위해서는 잡영 가지 (noisy branch)를 많이 발생시키는 알고리즘이



(a) 입력 데이터 (b) 8WPТА (c) ZS
(d) LW (e) WHF (f) MPS
(a) Input data (b) 8WPТА (c) ZS
(d) LW (e) WHF (f) MPS

(그림 8) 8WPТА 알고리즘과 ZS, LW, WHF, MPS 알고리즘의 수행 결과 비교
(Fig. 8) Comparison of Execution Results for the 8WPТА, ZS, LW, WHF and MPS Algorithm.

어야 하므로, 복원 가능도와 추출된 골격선의 품질 사이에는 상충된 관계가 존재한다. 따라서 높은 복원 가능도를 갖는 알고리즘은 데이터 압축 영역에 적합하나 문자 인식을 위해서는 복원 가능도가 별로 의미를 갖지 못한다. 처리 속도에 대한 평가로서 병렬 알고리즘과 순차적 알고리즘과의 처리 속도에 대한 비교는 실제의 병렬 알고리즘을 하드웨어로 구현하여 비교하지 않는 한 의미를 갖지 못한다[2].

그러므로 본 논문에서의 성능 평가 기준으로는 기준 골격선과의 유사도, 추출된 골격선의 품질, 그리고 골격화 후의 연결성으로 평가한다. 기준 골격선과의 유사도는 추출된 골격선이 원래 패턴의 형태를 반영하는 지를 평가하는 기준으로서, 최근에 Plamon-don과 Suen에 의해 제안되었고, 이는 주관적인 실험을 통하여 그 효용성이 입증된 바 있다[2]. 추출된 골격선의 품질에 대한 평가는 잡영 가지의 수, 끝점의 확장(elongation) 및 수축(shrinkage)으로 평가한다. 본 논문에서는 골격선의 품질 평가 항목으로 골격선에서 2 화소 두께로 남는 정도를 추가하여 평가한다.

성능 평가를 위한 데이터로는 사용되는 문자에 따라 그 구조의 특징이 다르므로 다양한 문자 환경에 적용 가능성을 평가하기 위해 한글, 영문, 일어를 대상 문자로 하였다. 즉, 한글의 경우는 직선 선분이 주가 되는 문자이고, 영문이나 일어는 곡선 선분이 주가 되므로 알고리즘의 정확한 성능 평가가 이루어 질 수 있다. 입력 이미지로 한글은 명조체, 영문은 이탤릭체, 그리고 일어는 히라가나로 선정하였다. 각 나라 문자 당 데이터의 수는 100자로 하여 실험하였다.

성능 평가에 사용된 하드웨어는 IBM PC 486DX, 스캐너(UMAX UG-630)이고, 알고리즘들은 C 언어로 구현하였다.

[기준 골격선과의 유사도]

기준 골격선은 실험 데이터를 인간 전문가에게 나누어주고, 골격선의 개념을 설명한 다음, 각자 골격선을 추출하게 한다. 이 데이터를 모아서 가장 사용 빈도가 높은 화소를 이용하여 다음과 같은 규칙에 의해 기준 골격선을 정의한다[2].

가) 기준 골격선은 완전-8 연결성을 갖고 가

장 높은 빈도의 화소들로 구성된다.

나) 기준 골격선은 한 화소 두께이다. 단, 선분의 교차점에서는 패턴의 전체적인 형태를 유지하기 위하여 필요할 경우 예외적으로 2 이상의 두께가 가능하다.

다) 두개의 이웃한 화소가 동일한 빈도로 선택되었을 경우에는 이웃 화소들에 대한 경사도 분석을 통하여 한 화소만 기준 골격선에 포함시킨다.

라) 어떤 화소의 값이 최대 선택 횟수의 일정 비율 이하로 감소될 때 그 화소는 기준 골격선의 끝점으로 결정된다.

입력 패턴 P에 대하여 R을 기준 골격선 그리고 M을 추출된 골격선이라고 할 때, 검정 화소 p에 대하여 대응되는 최소 거리 d_p 는 p에 대응되는 다른 골격선의 가장 가까운 검정 화소 사이의 거리로 정의되므로 검정 화소 p에 대한 가중치 W_{pk} 는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{if } 0 \leq d_p \leq k \quad W_{pk} = 1/(d_p^2 + 1)$$

$$\text{그 외의 경우 } W_{pk} = -1$$

따라서 기준 골격선 R과 추출된 골격선 M 사이의 유사도 $S^k(R, M)$ 은 다음과 같이 정의된다. 단, N_R 과 N_M 은 각각 R과 M에서의 검정 화소의 총 개수이다.

$$S^k(R, M) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N_R} \sum_{r \in R} W_r^k + \frac{1}{N_M} \sum_{m \in M} W_m^k \right] \dots \dots \dots (5)$$

[추출된 골격선의 품질]

입력 패턴 각각에 대하여 기준 골격선을 추출한 다음, 세선화 알고리즘이 생성하는 골격선에 대한 잡영 가지(noisy branch)의 수, 끝점의 확장(elongation) 및 수축(shrinkage), 골격선에서 2화소 두께로 남는 정도를 바탕으로 골격화 알고리즘의 품질을 평가할 수 있다[2]. 끝점의 확장과 수축의 정도는 기준 골격선과 비교하여 화소의 증감을 계산하여 측정한다.

[골격화 후의 연결성]

골격선에 대한 연결성의 형태는 Rosenfeld[6]

에 의하여 정의되었고, Chen과 Hsu[18]에 의하여 확정되었다. 일반적으로 이상적인 골격선은 완전-8 연결성을 갖는데, 연결성의 형태는 다음과 같이 분류될 수 있다[2].

- 가) 4연결성 : 모든 화소가 대각선 방향으로는 연결되지 않고 상하 좌우로만 연결된 상태
- 나) 완전-8 연결성 : T 교차점을 제외하고 모든 화소가 대각선 방향 또는 상하 좌우로 연결된 상태
- 다) 불완전-8 연결성 : 4 연결성과 완전-8 연결성이 공존하는 형태

4.2 실험 결과 및 고찰

표 1, 2, 3 은 각 알고리즘의 수행 결과로서, 각각 한글, 영어, 일어에 대한 유사도 및 추출된 골격선의 품질 비교를 나타내고, 표 4)는 각 알고리즘의 골격화 후의 연결성을 나타낸다.

〈표 1〉 기준 골격선에 대한 유사도 및 추출된 골격선의 품질 비교(한글)
 (Table 1) Comparison of the Similarity and the Quality of Extracted Skeleton for the Referenced Skeleton.(Korean)

기준 알고리즘	유사도 (%)	골격선의 품질			
		잠영가지수	확 장	수 축	2화소두께
8WPТА	94.9	23	16	29	0
ZS	78.0	24	23	152	1267
LW	79.1	59	67	42	1309
WHF	86.4	68	65	38	543
MPS	88.7	67	54	34	0

〈표 2〉 기준 골격선에 대한 유사도 및 추출된 골격선의 품질 비교(영어)
 (Table 2) Comparison of the Similarity and the Quality of Extracted Skeleton for the Referenced Skeleton.(English)

기준 알고리즘	유사도 (%)	골격선의 품질			
		잠영가지수	확 장	수 축	2화소두께
8WPТА	97.2	13	7	11	0
ZS	78.1	14	15	74	1725
LW	78.9	38	38	31	1450
WHF	83.3	42	41	27	853
MPS	88.9	33	11	23	0

〈표 3〉 기준 골격선에 대한 유사도 및 추출된 골격선의 품질 비교(일어)

〈Table 3〉 Comparison of the Similarity and the Quality of Extracted Skeleton for the Referenced Skeleton.(Japanese)

기준 알고리즘	유사도 (%)	골격선의 품질			
		잠영가지수	확 장	수 축	2화소두께
8WPТА	96.6	6	5	17	0
ZS	75.3	12	11	129	1625
LW	76.8	45	41	54	1947
WHF	79.8	49	43	52	857
MPS	84.9	38	35	51	0

〈표 4〉 골격의 연결성
 (Table 4) The Connectivity of Skeleton

기준 알고리즘	완전 8 연결	불완전 8 연결	불완전 4 연결	완전 4 연결
8WPТА	8 연결	8 연결	8 연결	8 연결
ZS	8 연결	8 연결	8 연결	8 연결
LW	8 연결	8 연결	8 연결	8 연결
WHF	8 연결	8 연결	8 연결	8 연결
MPS	8 연결	8 연결	8 연결	8 연결

실험 결과에 대한 고찰로서, ZS 알고리즘의 특성은 잠영 가지와 끝점의 확장 현상은 4가지 알고리즘 중 가장 적게 발생한다. 그러나 끝점의 수축 현상은 가장 많이 발생되고, 세선화된 결과에서 2화소 두께로 남는 부분이 가장 많이 발생되므로 유사도가 가장 낮게 된다.

LW 알고리즘에서는 잠영 가지의 수와 끝점의 확장 현상이 ZS 알고리즘에 비해 현저히 증가하고, 끝점의 수축 현상은 현저히 감소된다. 그리고 세선화 결과가 2화소 두께로 남는 현상은 ZS 알고리즘과 거의 비슷한 정도가 된다.

WHF 알고리즘은 잠영 가지의 수가 가장 많이 발생되고, 끝점의 확장 및 수축 현상은 LW 알고리즘에 비해 현저히 개선된다. 2화소 두께로 남는 현상은 ZS, LW 알고리즘에 비해 많이 개선되므로 ZS, LW보다 유사도가 향상된다.

MPS 알고리즘은 잠영 가지의 수는 WHF 알고리즘과 거의 비슷하게 많이 발생하고, 끝점의 확장이나 수축 현상은 LW, WHF 알고리즘에 비해 조금 개선된다. 그러나 세선화 결과 2화소 두께가 발생되지 않는 완전 8 연결 방식이 된다. 그러므로 유사도는 기존의 4 가지 알고리즘 중 가장 우수하다. 그러나 MPS 알고리즘은 ZS 알고리즘을 개선하기 위한 조건들이 세선화된 골격에

잡영 가치를 발생시킬 수 있는 문제점이 있다.

제안된 8WPTA 알고리즘은 〈표 1, 2, 3, 4〉에서 알 수 있듯이 유사도, 골격선의 품질, 골격화 후의 연결성에서 타 알고리즘에 비해 현저히 좋은 결과를 나타내었다.

5. 결 론

본 논문에서는 8-이웃 연결값을 이용한 병렬 세선화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 8WPTA 알고리즘은 연결값을 이용하여 세선화하므로 문자의 골격선을 정확한 상태로 추출할 수 있음을 성능 평가를 통해 입증하였다. 연결값을 이용한 세선화 방법은 연결값 자체가 이미 주변의 화소 정보를 포함하므로, 3X3 윈도우를 5X5 윈도우로 확장된 결과와 같다.

제안된 알고리즘의 특징은 병렬성 구현이 용이하며, 세선화된 결과는 1화소 두께의 완전 8 연결 형태가 되고, 결과는 수치 정보로 표현된다. 또한 추출된 골격선에서 특정한 패턴이 사라지는 현상이 발생하지 않으며, 연결성이 끊어지지 않고, 끝점이 잘 유지된다. 또한 세선화 과정에서 처음 처리하는 데이터에 대해서는 연결값 0과 1을 갖는 화소들은 먼저 제거한 후 처리하므로 가장자리 부분의 잡영에 둔감하게 되고, 연결값이 적은 화소부터 순차적으로 제거하여 처리되므로, 문자의 원형이 정확히 표현되므로 폭선이 많은 문자의 세선화에도 매우 적합한 방법이 된다. 그러므로 여러 나라 문자가 혼용된 문서 인식 시스템에 잘 적용될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 이성환, 박희선, "한글 인식의 사례 연구 : 최근 5년 동안의 연구 결과를 중심으로", 제1회 문자인식워크샵 발표논문집, pp.3-46.
- [2] 이성환, "영상 골격화 알고리즘의 성능 평가", 한국정보과학회논문집 제18권 제6호, pp.661-671, 1991년 11월.
- [3] 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.
- [4] D.Rutovitz, "Pattern Recognition," Journal of Royal Statistical Society, Vol.129, Series A, pp.504-530, 1966.
- [5] A. Rosenfeld and J.L. Pfaltz, "Sequential operations in digital picture processing," Journal of the ACM, Vol.13, No.4, pp.471-494, 1966.
- [6] A.Rosenfeld, "Connectivity in digital pictures," Journal of the ACM, vol.17, No.1, pp.146-160, 1970.
- [7] 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.
- [8] C.J. Hilditch, "Linear skeletons from square cupboards," in Machine Intelligence, Vol.4, B.Meltzer and D.Michie, Eds., American Elsevier, New York, pp.403-420, 1969.
- [9] C.Arcelli, L.P.Cordella and S.Levialdi, "Parallel thinning of binary pictures," Electronics Letters, Vol.11, No.7, pp.148-149, 1975.
- [10] Hideyuki Tammura, "A comparison of line thinning algorithm," Proceeding of the Fourth International Joint Conference on pattern recognition, pp.715-719, 1978.
- [11] T.Pavlidis, "A thinning algorithm for discrete binary images," Computer Graphics and Image Processing, Vol.13, No.2, pp.142-157, 1980.
- [12] T.Y.Zang and C.Y.Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns," Communication of the ACM, Vol.27, no.6, March. 1984.
- [13] S.Suzuki and K.Abe, "Sequential thinning of binary pictures using distance transformation," in Proc. 8th Int. Conf. on

Pattern Recognition, Paris, France, pp. 289-292, 1986.

- [14] 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, Singapore, Sep. 1992.
- [15] Lu, H.E., Wang, P.S., "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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.

- [19] W.H.Abdulla, A.O.M.Saleh, A.H.Morad, "A preprocessing algorithm for hand-written character recognition," Pattern Recognition Letters 7. North-Holland, pp.13-18, 1988.



원 남 식

1974년 인하대 공과대학 전자과 졸업
 1984년 영남대 공대 전자과 졸업
 1994년 영남대 공대 전산공학과 박사과정 수료
 1976년~78년 한국과학기술연구소 연구원

1978년~81년 한국전자기술연구소 연구원
 1981년~현재 경북산업대학교 공과대학 전자계산학과 교수

관심분야 : On-line, Off-line 문자인식, 세션화 알고리즘, 네트워크, 컴퓨터 그래픽스.



손 윤 구

1956년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업
 1973년 공학박사 학위취득
 1995년 현재 영남대학교 공과대학 전산공학과 교수
 관심분야 : Real Time Operating System, Computer Vision.