

논문 2004-41SP-3-8

# 지문영상 처리를 위한 개선된 병렬 세선화 알고리즘

(Improved Parallel Thinning Algorithm for Fingerprint Image Processing)

권 준 식\*

( Jun-Sik Kwon )

## 요 약

지문영상에서 신뢰할 만한 특징을 추출하기 위한 세선화 알고리즘은 전처리 과정에 있어서 매우 중요한 부분을 차지한다. 본 논문에서 제안하는 세선화 알고리즘은 2치화된 지문영상의 연결성을 파괴하지 않고, 중심선에 가장 근접한 골격선을 최소 1화소 두께로 만들 수 있는 강건한 병렬 세선화 알고리즘을 제안하는 것이다. 제안한 기법은 3개의 부분반복에 의해 반복 수행되며, 첫 번째 부분반복은 내부점에 의해 최외각 경계 화소만을 제거하는 것이며, 두 번째 부분반복은 2화소 두께의 골격선을 찾아 한쪽 골격선만을 추출한다. 세 번째 부분반복은 골격선에 여분으로 존재하는 2화소 두께의 화소를 제거한다. 따라서 제안하는 세선화 방법은 회전과 잡음에 강건하며 균형 잡힌 중심선을 만들어낸다. 세선화 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 이전에 발표된 알고리즘들과 비교 분석하였다.

## Abstract

To extract the creditable features in fingerprint image, many people use the thinning algorithm that has a very important position in the preprocessing. In this paper, we propose the robust parallel thinning algorithm that can preserve the connectivity of the binarized fingerprint image, make the thinnest skeleton with 1-pixel width and get near to the medial axis extremely. The proposed thinning method repeats three sub-iterations. The first sub-iteration takes off only the outer boundary pixel by using the interior points. To extract the one side skeletons, the second sub-iteration finds the skeletons with 2-pixel width. The third sub-iteration prunes the needless pixels with 2-pixel width existing in the obtained skeletons and then the proposed thinning algorithm has the robustness against the rotation and noise and can make the balanced medial axis. To evaluate the performance of the proposed thinning algorithm, we compare with and analyze the previous algorithms.

**Keywords :** Fingerprint image, Parallel thinning, Skeleton

## I. 서 론

현대에는 정보통신기기의 빠른 확산으로 보안의 필요성이 높이 부각되고 있다. 보안의 문제에서 가장 중요한 것은 개인 인증 방식으로 신뢰성과 안정을 확보한 기술 개발이라 할 수 있다. 지금까지의 개인 인증 방식은 누출, 분실, 망각, 도용 등의 위험성을 항상 내포하고 있다. 최근에는 위조의 위험성을 해소하고자 생체계측학(Biometrics)을 기반으로 하여 신체의 특징을 이용한 개인 확인 및 인증 시스템이 활발히 연구되고 있으며,

개인의 물리적 특성인 지문(Fingerprint), 장문(Palm print), 홍채(Iris), 손모양(Hand Geometry), 망막(Retina), 얼굴(Face), 정맥(Vein) 등이 있고, 행동적 특성으로 서명(Signature), 음성(Voice), 타이핑(Typing) 등이 있다. 그 중에 지문 인식 기술은 복제 및 유출의 위험이 없고, 안정성 높으며 사용법이 간단하며 구현비용이 적어 가장 현실성 있는 수단으로 주목받고 있다.<sup>[1-2]</sup>

지문인식 기법은 기준 좌표축이 존재하지 않으므로 임의로 회전되어 채취된 지문에 대한 처리가 어려우며, 지문은 신체의 일부로서 유연성을 가지고 있어 채취될 때마다 그 모양이 달라 보이고, 손상될 수 있어 잡음이 포함된 저품질의 지문이 빈번히 발생할 수 있다.<sup>[3]</sup> 이에 대한 해결방법으로 세선화를 들 수 있다. 세선화는 지

정회원, 세명대학교 전기공학과  
Department of Electrical Engineering, Semyung University)

접수일자: 2003년7월18일, 수정완료일: 2004년3월20일

문 영상에서 특징을 추출할 때 유용하게 쓰일 수 있는 방법으로 지문영상의 형태정보가 정확히 보존되어야 한다는 전제 하에 지문영상의 구조적 특징만을 추출하는 것이다. 지문영상의 경우 거의 일정한 폭과 완만한 경사를 지닌 용선의 흐름으로 구성되어 있으므로 두께 1의 골격선으로 표시하기에 매우 적당한 형태라 할 수 있다.<sup>[3-4]</sup> 결과적으로 지문영상 내의 정보를 최대한 보존한 상태에서 특징을 추출하기가 쉬워진다.

세선화는 크게 비반복적 방법과 반복적 방법으로 나뉘는데, 비반복적 방법은 인간의 직관 및 지각과 같은 방법으로 영상 신호의 기하학적 구조의 여러 정황을 정량화하여 정보를 추출하며 대상물체의 연결성 보존보다는 복원 가능성에 우선순위를 둔다.<sup>[5-6]</sup> 반복적 세선화는 다시 순차적 방법<sup>[7]</sup>과 병렬적 방법<sup>[8-14]</sup>으로 분류할 수 있는데, 순차 세선화 알고리즘은 각 반복연산 단계에서 이전의 모든 연산결과 값이 현 연산단계에 적용되어 수행된다. 연산복잡도가 타방식에 비해 낫다는 장점이 있지만 대상물체의 골격이 주사 방향에 의존되어 한쪽 방향으로만 치우친 결과 영상을 나타낸다. 병렬 세선화 알고리즘은 각 반복연산 단계에서 모든 화소가 독립적으로 수행된다. 대상물체의 중심에 가장 가까운 골격을 나타내는 장점이 있지만 폭이 2화소 두께인 패턴이 한꺼번에 제거되는 단점이 있다.

기존의 세선화 방법으로는 많은 알고리즘이 발표되어 왔으나 응용분야와 그에 따른 성능이 다르므로 알고리즘마다 세선화에 대한 정의와 요구사항이 같지 않다. 많은 세선화의 요구사항들이 제시 되었지만 다음은 대부분의 세선화에 대해 공통적으로 적용되는 중요한 일반적 요구사항들이다.<sup>[9],[15-18]</sup>

- 요구사항 1. 연결되는 대상물체 영역은 연결되는 선 구조까지 남아야 한다. (연결성 보존)
- 요구사항 2. 비슷한 끝선 위치는 유지되어야 한다. (지나친 침식 방지)
- 요구사항 3. 세선화 결과는 최소 8연결된 것이어야 한다. (단위넓이 골격)
- 요구사항 4. 세선화 결과는 그 중심선에 근접해야 한다. (중심선 접근)
- 요구사항 5. 세선화에 의해 발생된 외래의 잡음은 최소가 되어야 한다. (경계 잡음 면역)

하지만 모든 세선화 알고리즘들은 중요한 세선화 요구사항을 완전히 만족시킬 수 없다. 특히, 완전한 병렬

3×3의 윈도우를 사용하는 지역연산 과정은 처리요소의 정보부담을 최소로 하지만, 패턴의 연결성을 보존하지 못한다. 그래서 확장된 지역연산(3×4, 4×3, 4×4, 4×5 ...)을 사용하기도 한다.<sup>[6],[8],[14]</sup> 또한 얇아진 결과의 영상은 대상물체의 8근방 연결성을 이루면서 골격에 여분의 화소(끝점이 아닌 중간에 존재하는 화소들으로써 제거하더라도 중심선을 끊지 않는 화소로 정의됨)들을 포함한다.

본 논문에서 제안하는 세선화 알고리즘은 내부점에 의한 대상물체의 중심선을 찾고 대상물체의 순수한 최외각 경계화소만을 찾아 제거하므로 회전에 강건하며 균형 잡힌 중심선을 만들어낸다. 또한 잡음에 강건한 이점을 가지고 있다.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 기술하고, III장에서 기존의 병렬 세선화 알고리즘들 중 그 성능이 입증된 알고리즘으로서 ZS 알고리즘<sup>[8]</sup>, CCS 알고리즘<sup>[9]</sup>, GH 알고리즘<sup>[10]</sup>, LW 알고리즘<sup>[11]</sup>, MPS 알고리즘<sup>[12]</sup>, KG 알고리즘<sup>[13]</sup>, AW 알고리즘<sup>[14]</sup>들과 제안한 병렬 세선화 알고리즘을 비교 및 평가할 것이다.

## II. 내부점에 의한 병렬 세선화 알고리즘

제안된 알고리즘의 목적은 세선화 패턴에서 연결성을 파괴하지 않고, 대상물체의 순수한 경계 화소만을 찾아 제거하여 중심선에 가장 근접한 골격선을 최소 1화소 두께로 만들 수 있는 병렬 세선화 알고리즘을 고안하는 것이다. 본 알고리즘은 크게 3개의 부반복에 의해 반복연산을 수행한다. 각 부반복에는 목표가 주어지며 그 목표가 달성되기 전까지 반복연산이 수행된다.

첫 번째 부반복의 목적은 순수한 경계 마스크로부터 내부점 조사가 이루어져 대상물체에 순수하게 존재하는 최외각 경계 화소만을 제거해 대상물체의 최대 두께를 2화소 이내로 세선화 하는 것이다. 그로 인해 대상물체가 어떤 각도로 회전하더라도 그 결과로서 만들어지는 골격 패턴 또한 같은 각도로 회전한다. 두 번째 부반복의 목적은 첫 번째 부반복으로부터 형성된 2화소 두께의 골격선을 찾아 한쪽의 골격선만을 추출하기 위한 반복 연산이다. 따라서 대상물체에 가장 근접한 중심선을 찾을 것이다. 세 번째 부반복의 목적은 이미 형성된 골격선에서 여분으로 존재하는 2화소 두께의 화소들만을 제거함으로써 대상물체를 단위넓이 골격으로 만들어지기 위한 것이다. 때문에 순차처리로써 반복연산 수행된다.

제안된 알고리즘의 기본적인 제거패턴 마스크는 3×3이지만, 이 경우 알고리즘의 효율 저하 문제로 인해 제거 패턴 판단 마스크는 3×3의 지역적 마스크를 사용하는 것보다 더 많은 이웃 화소를 지원해 사용한다. 제안된 알고리즘의 확장 마스크는 4×4나 5×5를 지원하기도 하며 경우에 따라 관심화소(Pi)의 정확한 판단을 위해 가변적일 수 있다. 또한 본 알고리즘은 마스크 패턴의 특성상 각 부분복 단계를 트리구조로써 수행가능하다. 이는 많은 복잡한 연산과정으로 인한 속도저하의 문제를 개선한다. 예를 들면, II장 1절에 제시된 순수한 경계 마스크 조건 1), 2)로부터 이웃화소의 개수인  $N(P_i)=1, N(P_i)=2, \dots, N(P_i)=7$ 을 가지는 마스크들은 각각 8개의 순수한 경계 화소 마스크들로 조합된다. 또한 3×3 마스크 안에서 만족하는 대상물체의 경계화소는 제시된 마스크들 중 하나만을 만족한다. 따라서 만족하는 경계 패턴 마스크에 주어진 제거 판단 조건만을 연산하여 그 결과를 관심화소(Pi)에 적용시키고 다음 화소를 수행한다. 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. (여기에서 C는 임의의 카운터이다.)

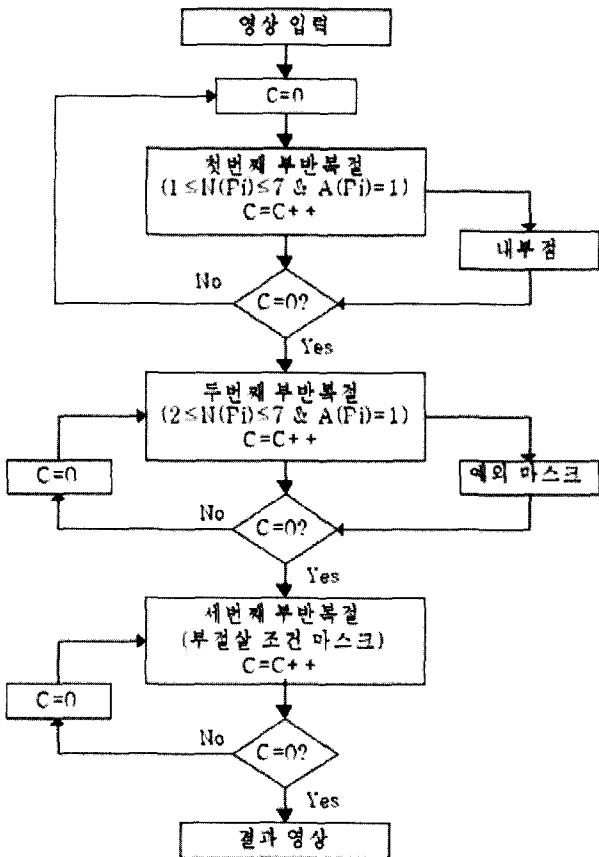


그림 1. 트리구조에 의하여 변경된 부분복절의 순서도  
Fig. 1. Flowchart of the modified sub-iteration by the tree structure

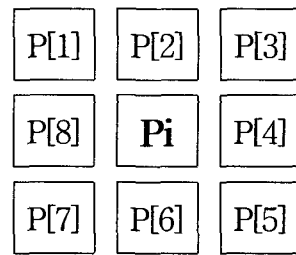
1. 최외각 경계화소

대상물체의 최외각 경계화소는 영상의 배경화소와 대상물체화소가 서로 연결되어 이루어진 집합이라 할 수 있다. 그림 2(a)에 의해 관심화소(Pi)를 포함하는 3×3의 마스크로 경계화소를 표현한다면 무려 255개의 경계 마스크를 생성한다. 생성된 경계 마스크들 중 관심화소(Pi)를 제거하더라도 대상물체의 본 영역을 보존할 수 있는 순수한 경계화소만을 본 세션화 알고리즘에 적용시킨다. 즉 8-이웃 화소들의 합( $N(P_i)$ )이 1에서 7의 범위에 있으며 그림 2 (b)에서 0→1 패턴(여기서 0은 배경화소이며 1은 대상 물체화소)의 변화를 가지는 화소의 수( $A(P_i)$ )가 1의 값을 가지는 관심화소(Pi)만을 순수한 경계화소로 정의한다.

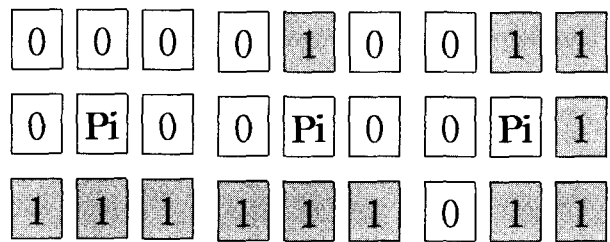
순수한 경계 마스크 : 1)  $1 \leq N(P_i) \leq 7$   
2)  $A(P_i)=1$

2. 이웃화소들의 내부점 조사

본 세션화 알고리즘은 대상물체의 순수한 경계에 놓인 화소만을 찾아 제거한다. 순수하게 경계에 놓인 관심화소(Pi)들의 이웃화소들 중 하나 이상 내부점을 가지게 되면 관심화소(Pi)는 중심선에 해당되지 않으면서 순수한 최외각 경계에 놓인 화소이다. 즉, 그림 3과 같이 보통 대상물체의 중심선은 대상물체의 내부에 존재

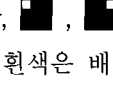


(a)

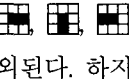


(b)

그림 2. (a) 화소 P(i)와 마스크 (b) 0→1 패턴의 수  
Fig. 2. (a) Pixel P(i) and its mask and (b) Number of 0 → 1 Patterns

하며 순수하게 경계에 놓인 관심화소(Pi)들의 이웃화소들 중 하나 이상 내부점을 가지게 된다. 그림 3에서 점선은 대상물체의 내부점이면서 골격선에 해당된다. 그림 4와 같이 두 해당 마스크가 결합하여 골격선의 연결성을 끊을 것이다. 이웃하는 화소 중 배경화소가 1개이면서 나머지는 모두 대상물체영역의 화소일 때 '0', '1' 등이 '0'이 '0'으로 침식되는 현상을 방지 할 수 있지만 해상마스크가 대상물체의 완벽한 경계 화소로 정의되지 않는다면 제거되는 안된다. 이러한 관심화소(Pi)는 더 이상의 연산 수행없이 제거된다. 단, 의 경우만은 예외가 된다. 여기서 흰색은 배경영역 화소, 흑색은 대상 물체영역 화소이다. 이 경우 하나의 내부점만으로는 관심화소(Pi)가 대상 물체의 순수한 최외각 경계 화소라고 판단할 수는 없으며, 이 경우만은 내부점의 개수를 5개 이상으로 예외적으로 정의한다. 내부점 조사는 제안된 알고리즘의 첫 번째 부분에서만 적용되어 대상물체의 순수한 경계화소만을 제거한다.

3. 제외 마스크와 제거 판단 마스크

본 세선화 알고리즘에서 순수한 경계 마스크만으로는 원 대상물체의 본질적 구조를 가지는 골격선으로 표현하기에는 불충분하다. 그래서 각 부분의 목표를 만족하기 위해 몇몇의 서브사이클이 추가된다. 세선화에 의해 형성된 골격선의 끝점이 한없이 줄어들거나 연결성 보존이 되지 않으면 안된다. 그러므로 의 순수한 경계 마스크들은 연산에서 제외된다. 하지

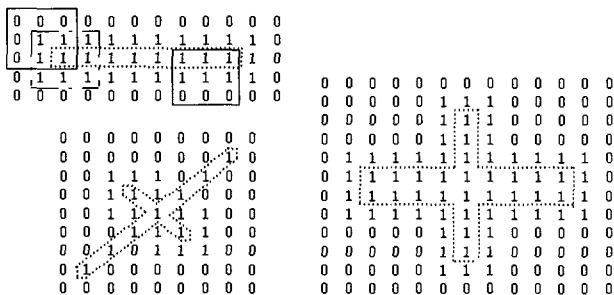


그림 3. 내부점이 곧 물체의 골격인 경우  
Fig. 3. Interior-point is also skeleton of objects

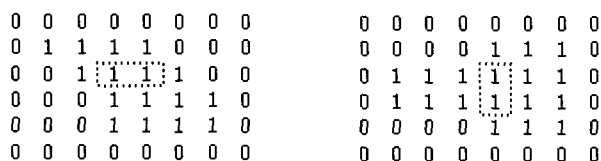






그림 4. 연결성이 끊어지는 경우  
Fig. 4. The case of broken connectivity

만 사선방향 끝점 패턴인 은 다음 조건을 추가해 모서리 부분의 잡영으로 간주되는 화소를 제거한다

사선방향 끝점 패턴 마스크 조건 : 다음의 논리연산 조건을 만족하는 관심화소(Pi)는 제거된다.

$$ABCDE + A'BE(C + D) + CDE = 1$$

그림 5의 A, B, C, D, E는 그림 4에서 예시한 해당화소의 값을 나타낸다. 순수한 경계 마스크들 중 의 경계 패턴 마스크인 경우 그 관심화소(Pi)는 대상물체의 경계에 속하므로 제거된다. 단, 그것이 지그재그형 계단 패턴의 끝점이거나 수평, 수직 방향에서 2화소 두께의 직선에 속하는 경우에 제거하면 안된다. 이런 화소는 골격의 중심에 놓인 화소이기 때문이다. 따라서 위와 같은 경우를 제외한 최외각 경계화소일 때만 제거가 가능하다.

마지막으로 순수한 경계 마스크에서 고려되어야 하는 마스크들은 수평, 수직 방향으로 직선인 2화소 두께를 가지는 경우이다. 이와 같은 경우에는 한쪽 선상에 연속으로 존재하는 관심화소(Pi)만을 제거하여 1화소 두께를 가지는 중심선을 만들어낸다. 또한 수평, 수직 방향으로 연속되는 길이가 고려된다면 상하좌우가 균형잡힌 중심선을 만들어낼 것이다. 따라서 는 연속되는 길이 정보를 계산하여 마스크에 적용되고 는 이웃하는 화소들을 고려하여 제거된다. 전자의 경우는 두 번째 부분 조건에 속하며 후자의 경우는 모든 부분 조건에서 수행될 것이다. 그리고 완전한 정방형의 패턴이면서 2화소 두께의 경우 마지막 부분 조건에 의해 완전한 1화소 두께를 만들어낸다.

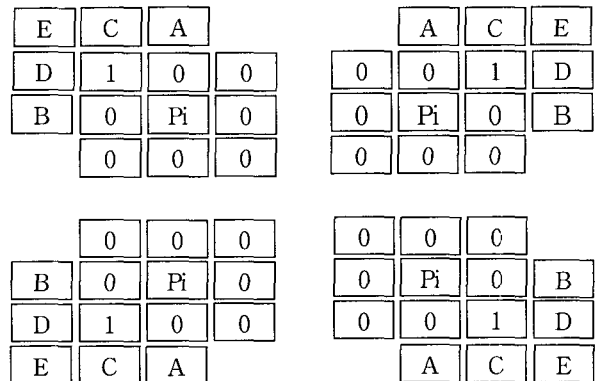
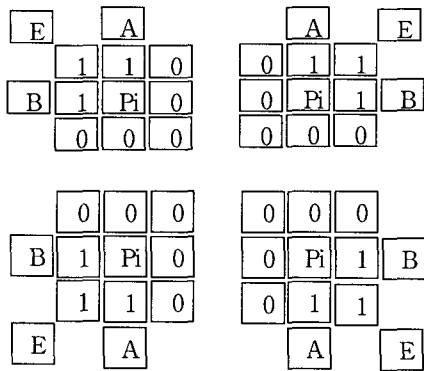
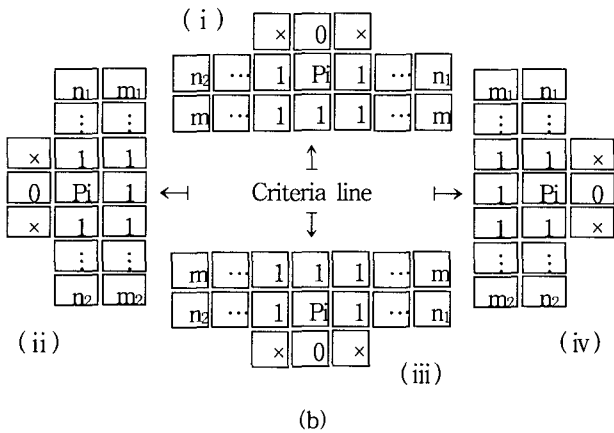


그림 5. 사선 방향 끝점 마스크  
Fig. 5. End-point masks of diagonal direction



(a)



(b)

그림 6. (a) 정방향 패턴 마스크와 (b) 수평, 수직 패턴 마스크, x는 "don't care"

Fig. 6. (a) Square pattern masks and (b) Horizontal and vertical pattern masks, x denotes "don't care"

정방향 패턴 조건 : 다음의 논리연산 조건을 만족하는 관심화소(Pi)는 제거된다.

$$AB + AE + BE = 1$$

여기서 A, B, E는 그림 6(a)에서 해당화소의 값이다.

수평, 수직 패턴의 방향성 길이 정보는 단순히 대상물체 화소 개수들 배열의 합으로 알 수 있으며, 다음 식 (1)로 표현된다.

$$CS1 = \sum_{k=1}^{n1} k, CS2 = \sum_{k=1}^{n2} k, CS1' = \sum_{k=1}^{m1} k, CS2' = \sum_{k=1}^{m2} k \quad (1)$$

여기서, CS1, CS2, CS1' 및 CS2'는 그림 6 (b)에서 기준선을 중심으로 각각 n1, n2, m1 및 m2 방향으로 배경화소를 만날 때까지 존재하는 대상물체 화소들 개수의 합이다. 식 (1)에서 구해진 수평, 수직 패턴의 방향성 길이 정보인 CS1, CS2, CS1'과 CS2'으로부터 다음의 두 조건으로 중심선을 추출한다.

수평, 수직 패턴 조건 :

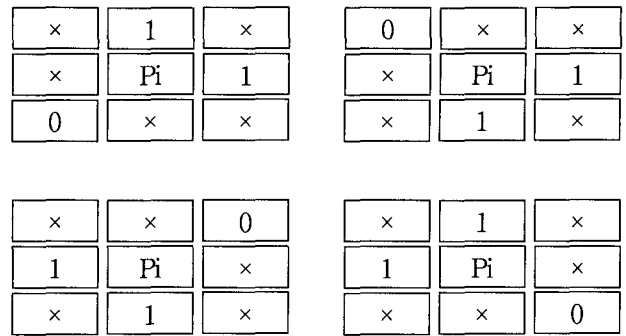


그림 7. 부절삭 조건 마스크. x는 "don't care"  
Fig. 7. Masks of sub-deletion condition. x denotes "don't care"

① 그림 4의 (b)에서 (i), (iii)는 다음 조건을 만족하는 관심화소(Pi)는 제거된다.

$$CS1 \leq CS1' \ \& \ CS2 \leq CS2' = 1$$

② 그림 4(b)에서 (ii), (iv)는 다음 조건을 만족하는 관심화소(Pi)는 제거된다.

$$CS1 \geq CS1' \ \& \ CS2 \geq CS2' = 0$$

#### 4. 제거될 중심 화소

세션화에 의한 결과영상물은 단위넓이의 골격선을 이루어야 한다. 따라서 8근방 연결성을 이루며 2화소 두께로 존재하는 관심화소(Pi)를 제거하더라도 대상물체의 연결성을 보존하며 단위넓이를 이룰 수 있는 적절한 조건이 세션화 알고리즘에 추가된다. 본 알고리즘은 다음과 같은 부절삭 조건 마스크들을 제안하며 이는 세 번째 부반복 조건에 의해서만 반복연산 수행되어 만족하는 관심화소(Pi)를 제거한다. 부절삭 조건 마스크는 그림 7에 나타내었으며, 그 마스크의 정의는 다음과 같다.

부절삭 조건 마스크 정의 : 다음의 조건중 하나라도 만족하는 관심화소(Pi)는 제거된다.

- ① P[2]\*P[4]=1 & P[7]=0
- ② P[4]\*P[6]=1 & P[1]=0
- ③ P[6]\*P[8]=1 & P[3]=0
- ④ P[2]\*P[8]=1 & P[5]=0

부절삭 조건 마스크들은 병렬처리에서 적용되면 안 된다. 그 이유는 이미 본 알고리즘에 의해 두 번의 세션화 단계를 거친 결과 영상물의 끝점이나 연결성 보존을 파괴하기 때문이다. 따라서, 부절삭 조건 마스크들은 계단형 끝점 보존 마스크와 함께 대상물체에 순차적으로 적용돼야 한다. 그림 8 (a)의 경우 왼쪽 대각선상의 점

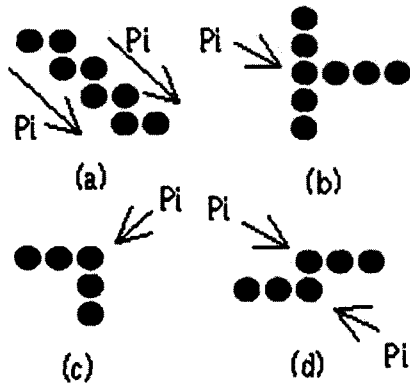


그림 8. 두 화소 두께로 연결된 중심 화소들  
Fig. 8. Central pixels connected with two pixel width

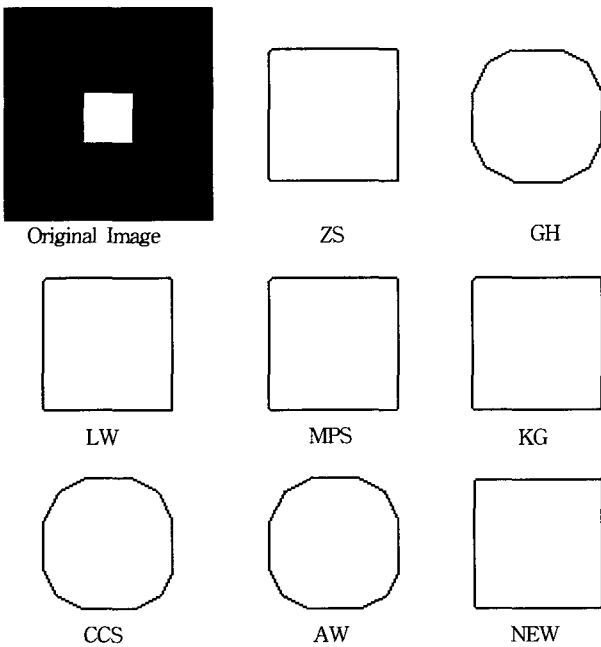


그림 9. '□' 모양 영상의 세선화 결과  
Fig. 9. Thinned results of '□' shaped image

들어나 오른쪽 대각선상의 점들이 제거되어도 연결성에 문제가 되지 않는다. 또한 (b)와 (c)의 경우 관심화소 (Pi)가 제거되어도 연결성에 문제가 없으며, (d)의 경우는 두개의 관심화소(Pi) 중 하나가 제거되어도 연결성에는 전혀 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

### III. 실험 평가 및 비교

II장에서 기술한 본 알고리즘을 바탕으로 이전에 발표된 알고리즘(ZS, LW, MPS, KG, GH, CCS, AW)들과 비교 평가한다. 본 연구의 실험 환경은 Visual C++ 언어를 사용하여 세선화 알고리즘들을 구현하였으며,

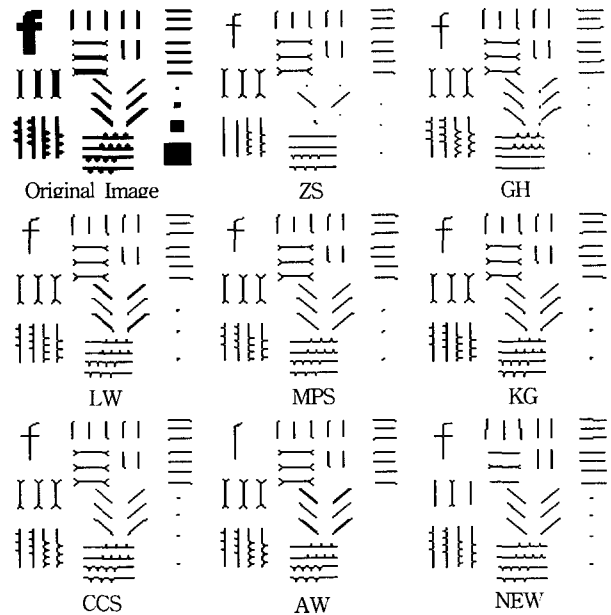


그림 10. 수평, 수직, 대각선, 사각형의 세선화 결과  
Fig. 10. Thinned results of the horizontal, vertical, diagonal lines and squares

Pentium III 800MHz의 CPU와 128MB의 메모리를 장착한 PC로 사용OS는 Windows98이다. 영상 입력을 위하여 EPSON GT-9000 Scanner의 해상도 300DPI를 사용한다.

각 알고리즘의 성능 평가를 위한 실험 자료로 영문자, 숫자, 기호, 도형, 지문 등 다양한 형태의 영상 패턴을 사용한다. 채취된 지문영상의 경우 2번의 전처리 단계를 거친 후 본 세선화 알고리즘의 실험영상으로 적용한다. 원영상에 평활화 및 9×9의 블록 이진화를 전처리 단계에서 적용한다.

본 논문에서 제시된 기존의 병렬 세선화 알고리즘과 성능 평가는 서론에서 제시된 세선화에서의 일반적인 요구조건들을 만족시키는지를 고려한다.

#### 요구조건 1) 연결성 보존

제시된 알고리즘들 중 AW와 MPS 알고리즘만이 특정패턴에 대한 연결성이 파괴된다. AW 알고리즘은 패턴의 넓이가 완전한 짝수계의 정방형 패턴에 대해서는 연결성을 보존하지 못하는 것을 실험영상에서 확인할 수 있다. (그림 10, 그림11과 그림 12)

#### 요구조건 2) 지나친 침식 방지

본 논문에 실험영상으로 적용된 영상 모두 각 세선화 알고리즘에 각기 다른 양의 침식현상을 보여주고 있으며, 특히 ZS 알고리즘은 사선방향으로 과도한 침식결과

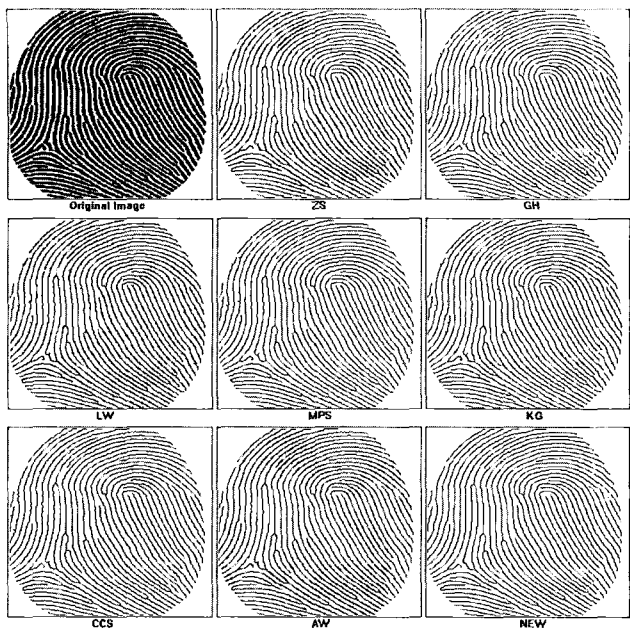


그림 11. 지문 영상1의 실험결과  
Fig. 11. Experimental results of fingerprint image 1

를 보여준다. GH, CCS 및 AW 알고리즘 또한 특정 패턴에 대한 과도한 침식현상을 보여준다.(그림 9과 그림 10)

요구조건 3) 단위 넓이 골격

일반적으로 병렬 세선화 알고리즘들은 요구조건 3을 만족하기 위해 종속 부반복 조건을 수반한다. 우리가 제안하는 병렬 세선화 알고리즘은 요구조건 3을 만족하기 위해 3단계의 부반복 조건을 사용하여 어떠한 결과영상도 완벽한 8-연결성을 갖는 단위 넓이 골격을 만든다. 기존의 세선화 알고리즘들 중 특히 LW 알고리즘이 생산된 골격선에 여분의 화소들이 많이 생산되며, 이를 제거하기 위한 종속 조건절을 갖게끔 설계된 MPS와 KG 알고리즘이 있으나 완벽한 단위 넓이를 만들지 못하는 것을 실험영상들로부터 확인할 수 있다. 이는 주 조건에 의한 반복 연산 단계에서 만들어진 골격선이 이미 종속 조건에 부합하지 않는 2-화소 넓이를 만들어냈기 때문이다. 그러나 종속 조건에 의해 많은 여분의 화소들이 제거되어 최종 만들어진 결과영상, 특히 지문 영상에서 골격선이 개선되고 있음을 확연히 볼 수 있다.

요구조건 4) 중심선 접근

아직까지 좋은 골격에 대한 어떠한 정의도 있지 않으므로 이를 평가한다는 것은 그리 쉽지 않다. 그러나 보

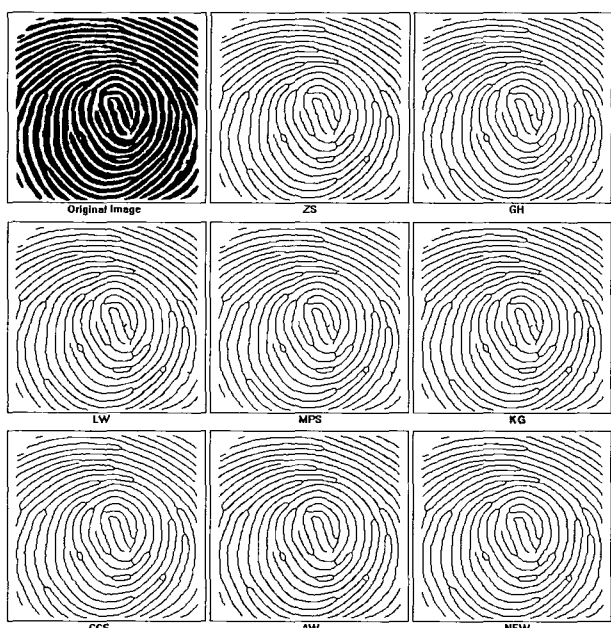


그림 12. 지문 영상2의 실험결과  
Fig. 12. Experimental results of fingerprint image 2

통 세선화 알고리즘의 결과를 평가할 때 비전문인들에 의해 유사한 참조 골격을 얻으므로 이를 평가하는 방법이 있다. 우리가 사용한 실험영상에서 GH 알고리즘은 때때로 물체의 중심선을 벗어나는 경우를 만들고 있음을 보여준다.

요구조건 5) 경계 잡음 면역

8개의 알고리즘 모두 경계면에 존재하는 1화소의 잡음 영상에는 강건함을 보여주는 것을 알 수 있다. 단, 물체의 코너에 존재하는 1화소의 잡음은 기존의 알고리즘이 처리할 수 있도록 설계되어 있지 않으므로 제거되지 않아 최종 골격선에 많은 왜곡 현상을 나타내지만 제안된 알고리즘은 이를 개선한 결과영상을 만들어낸다.

일반적으로 지문영상은 세선화로 전처리 하여 그림 11과 그림 12와 같이 중심점(core) 그리고 삼각주와 같은 특이점(singular-point)이나 단점(ending-point) 그리고 분기점(bifurcation-point)과 같은 특징점을 추출할 수 있도록 하여야 한다. 따라서 세선화 과정 중에 뜻하지 않는 많은 의사 특징점(minutiae)을 만들어서는 안 된다. 하지만 그림 11과 그림 12에서 보는 바와 같이 GH, LW, MPS, KG와 CCS알고리즘에서는 뜻하지 않은 많은 의사 특징점을 만들어내고 있다.

표 1은 지문영상을 대상으로 한 모든 알고리즘의 실험결과를 보여주며, 표 2는 세선화의 일반적 요구조건

표 1. 8개의 병렬 세선화 알고리즘 실험 데이터  
Table 1. Experimental data of the 8 parallel thinning algorithms

		알고리즘							
		ZS	GH	LW	MPS	KG	CCS	AW	NEW
지문영상 1	So	29389	29389	29389	29389	29389	29389	29389	29389
	Ni	7	6	6	7	8	5	4	8
	SM	8821	7906	8930	7843	8020	7873	8849	7840
	SR	1909	8	1970	1	154	5	1963	0
지문영상 2	So	34137	34137	34137	34137	34137	34137	34137	34137
	Ni	9	14	9	10	11	8	8	11
	SM	6342	5550	6405	5546	5623	5533	6162	5048
	SR	1592	2	1636	0	68	12	1273	0

Note. So : 원패턴에서 화소들의 수

Ni : 반복횟수

SM : 중심선을 이루는 화소들의 수

SR : 여분의 화소들의 수

표 2. 8개의 병렬 세선화 알고리즘 실행 비교  
Table 2. Performance comparison of the 8 parallel thinning algorithms

알고리즘	연결성 보존	과도한 침식	단위 넓이 골격선	중심선 근접	경계선 노이즈 면역성 <sup>†</sup>
ZS	보존	있음	여분의 화소 많음	근접	+
GH	보존	있음	여분의 화소 약간 존재	근접 안함	+
LW	보존	없음	여분의 화소 많음	근접	+
MPS	보존 안됨	없음	여분의 화소 크소량	근접	+
KG	보존	없음	여분의 화소 약간 존재	근접	+
CCS	보존	있음	여분의 화소 약간 존재	근접	+
AW	보존 안됨	있음	여분의 화소 많음	근접	+
NEW	보존	없음	여분의 화소 없음	근접	*

<sup>†</sup> +표는 수평, 수직경계 잡음만을 제거할 수 있음을 나타내는 반면, \* 표는 수평, 수직 및 대각선 경계 잡음도 제거할 수 있음을 나타낸다.

들의 만족 여부를 요약해서 표현하고 있다. 모든 알고리즘에서의 반복횟수는 표 1에서 보는 바와 같으며, 제안하는 알고리즘은 타 알고리즘보다 다소 많은 조건을 이용하지만, 반복 횟수는 트리구조에 의한 알고리즘 연산으로 타 알고리즘과 비슷한 수준이다. 또한 제안하는 알고리즘의 결과 영상에서는 여분의 화소가 남아있지

않아 중심선을 이루는 화소의 수가 적어지는 반면, 타 알고리즘의 결과 영상에는 여분의 화소가 존재하여 중심선을 이루는 화소의 수가 많아짐을 알 수 있다. GH, MPS와 CCS알고리즘의 경우에는 매우 적은 여분의 화소를 생성하기는 하지만 완벽한 단위넓이의 골격선을 생성하지는 못한다.

#### IV. 결 론

본 논문에서 제안된 병렬 세선화 알고리즘은 지역적 마스크를 사용하여 물체의 최외각 경계화소를 찾아 물체의 내부점, 확장된 지역적 마스크 그리고 가변적 마스크로부터 제거판단이 이루어져 순수한 경계화소만을 제거하여 결과 영상을 만들어내게 된다.

가변적 마스크의 사용은 알고리즘의 계산 복잡도를 측정하기에 적합하지는 않지만 물체의 중심선에 접근하기 위한 가장 적합한 골격선 형성을 위한 중요한 정보를 찾아준다. 또한 제안된 알고리즘은 여타 알고리즘들에 비해 구현하기가 좀더 복잡한 단점이 있으며, 이는 각 가중치에 대해 각각 다른 마스크와 일일이 비교하거나 제거판단 조건과 비교 연산해야 하기 때문이다. 그러나 단순 연산의 반복이므로 계산 복잡도나 최종 반복 횟수가 크게 증가하지 않았으며, 트리구조에 의한 알고리즘의 연산으로 처리속도가 마스크의 수에 비해 향상되었고 한 화소에 비교되는 마스크의 수가 기존 세선화 알고리즘에 비해 줄어들었다. 한번의 반복에 의한 제거 화소 또한 기존의 세선화 알고리즘에 비해 증가되었다. 또한 상황에 맞는 마스크와 제거 조건을 사용함으로써 골격선의 품질을 크게 높일 수 있었다.

본 논문에 제안된 병렬 세선화 알고리즘은 골격선 추출이 여타 알고리즘에 비해 우수하기 때문에 지문인식에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 여겨진다. 향후 본 병렬 세선화 알고리즘을 여러 분야에 적용하여 그 유효성을 입증해 보일 것이며, 영상해석이나 패턴인식 등의 분야에 폭넓게 이용하여 그 활용성에 대한 연구를 계속 진행해 나갈 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] A. K. Jain, R. Bolle, and S. Pankatil, Biometrics- Personal Identification in Networked Society, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-41, 1999.



[2] A. K. Jain, L. Hong, and R. Bolle, "On-line Fingerprint Verification", IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence, vol. 19, no. 4, pp. 302-313, Apr. 1997.

[3] 김현, RSTI 불변 지문 특징량 추출 및 인식과 응용, 인하대학교 석사학위논문, 1998년.

[4] 안도성, 김학일, "블록 FFT를 이용한 실시간 지문 인식 알고리즘", 대한전자공학회논문지(B), 제32권, 제 6호, 909-921쪽, 1995년 6월.

[5] 권준식, 수리형태학을 이용한 2차원 물체인식 및 영상해석에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 1995년.

[6] 이성환, "영상 골격화 알고리즘의 성능평가", 한국정보과학회 논문집, 제18권 제6호, 661-671쪽, 1991년 11월.

[7] S. Suzuki and K. Abe, "Sequential Thinning of Binary Pictures Using Distance Transformation", Proc. 8th Int. Conf. on Pattern Recognition, Paris, France, pp. 289-292, 1986.

[8] Y. T. Zhang and C. Suen, "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", Comm. ACM, vol. 27, no.3, pp. 236-239, 1984.

[9] S. S. O. Choy, C. S. T. Choy, and W. C. Siu, "Note New Single-Pass Algorithm for Parallel Thinning", Computer Vision and Image Understanding, vol. 62, no. 1, pp. 69-77, Jul. 1995.

[10] Z. Gao and W. R. Hall, "Parallel Thinning with Two-Subiteration Algorithm", Communications of the Association for Computing Machinery, vol. 32, no. 3, pp. 359-373, 1989.

[11] H. E. Lu and P. S. P. Wang, "An Improved Fast Parallel Thinning algorithm for Digital Patterns", Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 364-367, 1985.

[12] A. D. Mandalia, A. S. Pandya, and R. Sudhaker, "Modified Fast Parallel Thinning Algorithm for Noisy Handprinted Characters", IEEE Proc. of 2nd International Conference on Image Processing, pp. 7-11, Singapore, Sep. 1992.

[13] J. S. Kwon, J. W. Gi, and E. K. Kang "An Enhanced Thinning Algorithm Using Parallel Processing", Proc. of 11th IEEE International Conference on Image Processing, vol. III, pp. 752-755, Thessaloniki Greece, Oct. 2001.

[14] M. Ahmed and R. Ward, "A Rotation Invariant Rule-Based Thinning Algorithm for Character Recognition", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 12, pp. 1672-1678, Dec., 2002.

[15] A. Rosenfeld and J. L. Pfaltz, "Distance

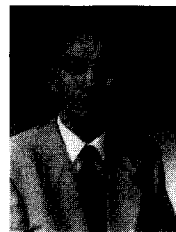
Functions on Digital Pictures", Pattern Recognition, vol. 1, pp. 33-61, 1968.

[16] C. Arcelli and G. S. D. Baja, "A Width-Independent Fast Thinning Algorithm", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-7, pp. 463-474, Jul. 1985.

[17] H. Tamura, "A Comparison of Line Thinning Algorithms from Digital Geometry Viewpoint", IEEE Proc. of 4th International Conference on Pattern Recognition, pp. 715-719, Kyoto, Japan, 1978.

[18] L. O. Gorman, "k×k Thinning", Comput. Vision Graphics Image Process., vol. 51, pp. 195-215, 1990.

— 저 자 소 개 —



권 준 식(정회원)

1984년 8월 중앙대학교

전자공학과 졸업(공학사)

1986년 8월 중앙대학교

전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 2월 중앙대학교

전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 10월~1987년 10월 현대전자 근무

1987년 10월~1991년 8월 금성통신 근무

1995년 3월~현재 세명대학교 전기공학과 교수

<주관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터비전, 수리형태학, 영상정보은닉>

