

論文2003-40SP-6-1

컨벡스(Convex) 구조를 이용한 지문의 특징점 추출 (Fingerprint Feature Extraction Using the Convex Structure)

金斗炫*, 朴來弘**

(Doo-Hyun Kim and Rae-Hong Park)

요약

본 논문에서는 지문 영상의 컨벡스(convex) 구조를 이용하여 특징점을 추출하는 방법을 제안하였다. 지문영상에서 융선은 일정한 방향성을 가지며 융선의 단면은 주기성이 있는 사인파로 간주할 수 있다. 사인파 신호에서 국부 최대 위치를 검출함으로써 대략적인 한 화소 단위의 융선 추출이 가능하며 사인파 신호의 불룩한 컨벡스는 융선 영역에 해당한다. 이러한 지문의 특징을 이용하여 특징점을 효과적으로 찾는 방법을 제안한다. 이 과정에서 파라미터를 없애고 계산량을 줄임으로써 다양한 환경의 시스템에 적용 가능성을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a new fingerprint feature extraction method using the convex structure. A fingerprint minutiae flows along the uniform direction and is regarded as a sinusoidal signal across the normal direction. Local maxima of the signal represent coarse thinned one-pixel-wide ridges in which the convex region of the signal correspond to ridges. The proposed fingerprint feature extraction method detects the convex structure and local maxima. Finally fingerprint features are extracted from one-pixel-wide ridges. Because it has no parameter, it is efficient for various fingerprint identification systems.

Keyword : 지문, 융선, 특징점, 사인파, 컨벡스

I. 서론

지문 인식은 자동으로 개인의 신원을 확인하는 생체 인식 시스템에서 가장 널리 사용되는 방법이다. 생체 인식 시스템에서 지문 인식이 가장 많이 이용되는 이유는 사람에 따라 지문이 모두 다르고 나이의 변화에

따라 지문이 거의 변하지 않는 특성을 지녔기 때문이다^[1,2]. 이 때문에 지문은 계속적으로 보안 시스템의 인식 수단으로서 사용될 것이고, 이 시스템의 발전과 보안을 위한 연구가 계속되고 있다.

대부분의 지문인식 시스템에서는 지문의 융선(ridge)에서 나타나는 특징점의 패턴을 분석하여 인식과정을 수행한다. 따라서 지문영상에서 효과적으로 특징점을 찾아내는 과정은 자동 지문 인식 시스템의 성능을 결정하는 핵심적인 요소이다^[3].

지문영상에서 이러한 특징점을 찾는 과정은 기존에

* 學生會員, ** 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.)

※ 본 연구는 서강대학교 산업기술연구소에서 지원되었음.

接受日字:2003年7月15日, 수정완료일:2003年11月10日

많은 연구가 되어왔으나 지문영상 취득시 발생하는 여러 가지 요인에 의해 화질이 저하되어 화질 저하된 지문 영상으로부터 완벽하게 특징점을 추출하는 것은 아직도 풀지 못하는 과제로 남아있다. 지문영상에서 특징점을 찾는 방법은 다소의 차이가 있지만, 대표적인 방법으로 입력된 지문영상을 이진화 (binarization)하여 세신화 (thinning) 과정을 거쳐 얻어진 영상을 이용하여 특징점을 찾는 방법을 많이 사용하고 있다^[4].

지문영상의 이진화는 적절한 필터를 사용하여 이루어진다. 이진화를 위한 필터 구현에 있어 가장 문제가 되는 점은 지문의 두께를 추정해야 하는 것이다. 지문 자체가 어느 정도 일정한 주기로 반복되는 형태를 띄고 있기 때문에 효과적인 이진화를 위해서는 지문의 두께 추정을 통한 주기를 파악해야 한다^[1]. 그러나 지문의 두께는 사람마다 틀리고 취득시 지문을 대는 압력 정도에 따라 불규칙적인 분포를 나타내기 때문에 이를 추정하는 것은 어렵다. 또한 지문의 두께에 따라 필터 크기가 매우 커질 수 있기 때문에 계산량이 많게 된다. 제안한 알고리즘은 이러한 단점을 보완하여 지문의 두께 추정 없이 특징점을 추출할 수 있도록 하였으며 기존의 알고리즘에 비해 계산량을 현저히 줄였다.

본 논문의 II장에서는 제안한 방법에 대한 전반적인 흐름과 각 단계별 설명을 기술하였으며, III장에서는 단계별 결과 영상을 기존의 방법과 비교하여 나타내었다. 마지막으로 IV장에서는 기존의 방법과의 비교실험에 따른 결론을 제시한다.

II. 지문영상의 특징점 추출 과정

지문의 특징점 정보를 정의하는 방법은 여러 가지가 있다. 여기서 사용하는 지문영상의 특징점 정보의 표현은 찾아진 특징점의 좌표, 이러한 좌표에 해당하는 융선의 방향, 그리고 특징점이 단점 (termination minutiae) 혹은 분기점 (bifurcation minutiae)인지 나타내는 필드를 정의한다. <그림 1>에서는 특징점 정보의 표현에 사용되는 항목들의 정보를 나타내고 있다. 여기서 (x_0, y_0) , θ 는 각각 특징점의 좌표와 융선의 방향을 나타낸다.

위와 같은 특징점을 찾기 위해 선행되어야 할 것이 융선의 추출이다. 특징점 자체가 융선의 단점과 분기점이기 때문에 융선의 추출은 특징점 추출의 정확도를 좌우하며 이에 대한 많은 연구가 되어왔다. 그러나 지

문영상 자체의 비선형적인 성질과 지문 취득과정의 영향 등으로 인해 융선의 추출은 어렵고 많은 계산을 요한다. 특히 지문의 두께 등과 같은 파라미터, 그리고 스캔 영상과 센서 입력 영상 등과 같은 지문 취득 환경에 따라 융선 추출과정이 영향을 받기 때문에 이를 고려하여 파라미터를 맞추어 주어야 하는 경우가 많다.

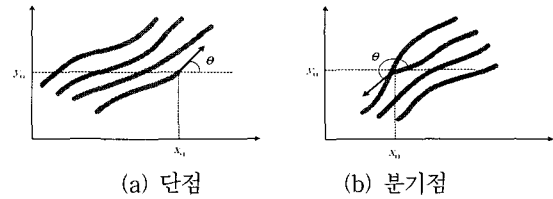


그림 1. 지문 특징점들의 표현

Fig. 1. Representation of fingerprint features. (a) termination minutiae, (b) bifurcation minutiae.

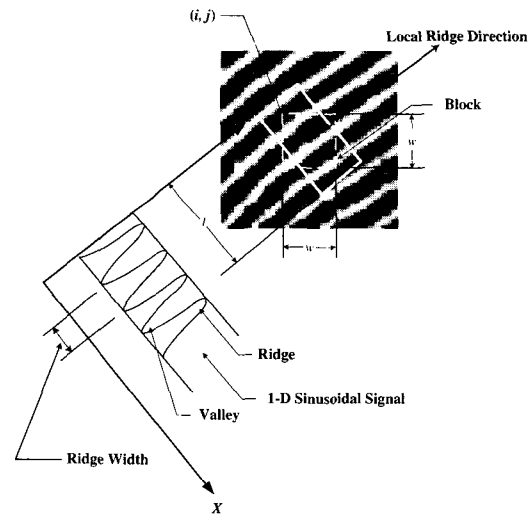


그림 2. 지문영상의 구조

Fig. 2. Fingerprint structure.

<그림 2>는 지문 영상의 구조적 특징을 나타낸 것으로 융선의 수직 방향 단면에 대해 사인과 형태의 신호가 주기적으로 나타남을 알 수 있다. 그림에서 융선의 단면을 길이 1만큼 잘랐을 때 한 주기는 융선의 두께이고 이를 사인과 신호로 보았을 때 볼록한 컨벡스 영역은 융선이고 컨케이브 (concave) 영역은 계곡 (valley)이라고 할 수 있다. 따라서 1차원 사인과 신호의 컨벡스 영역의 추출은 곧 지문 융선의 추출이라고 할 수 있다. 제안한 방법은 이러한 지문영상의 특징을 이용하여 1차원 사인과 신호의 컨벡스 영역 추출 기법을 통

해 용선을 추출한다. 컨벡스 영역 추출은 취득 환경에 상관없이 적용될 수 있도록 파라미터를 없애고 적응적으로 용선을 추적하도록 하였다.

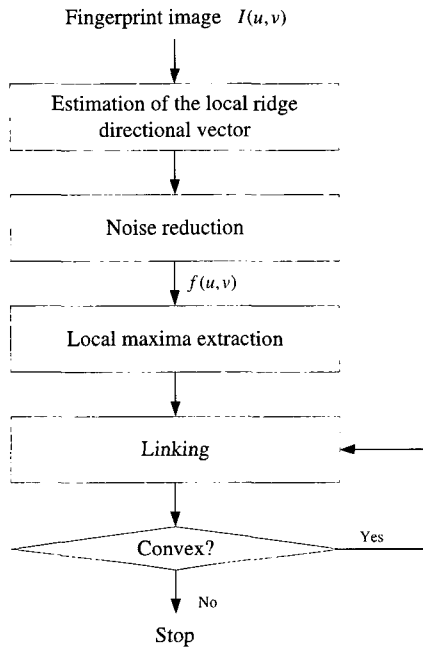


그림 3. 제안한 알고리즘의 블록도
Fig. 3. Flowchart of the proposed fingerprint feature extraction algorithm.

제안한 방법은 크게 용선의 국부 방향 벡터의 추정, 잡음 제거를 위한 전처리, 국부 최대 위치 추출, 링킹(linking)의 네 단계로 이루어진다. <그림 3>은 이 과정을 나타낸 것으로서 지문영상 $I(u, v)$ 가 입력되면 일정 영역에 대한 국부 방향 벡터를 구한다. 국부 방향 벡터를 바탕으로 잡음제거를 위한 평활화 과정을 수행하면 필터링된 지문영상 $f(u, v)$ 를 얻게 된다. 이로부터 국부 최대 위치를 찾아 지문영상의 대략적인 용선을 파악하고 링킹 과정을 거쳐 용선을 한 화소 단위로 만든 후 특징점을 추출한다. 이때 링킹의 지속 여부는 컨벡스 영역을 나타내는 문턱값과 비교하여 적응적으로 판단한다.

1. 국부 방향 벡터의 추정

지문영상은 용선을 따라 일정한 방향을 가지는 형태를 띠고 있다. 이러한 지문의 방향성은 특징점을 추출하는 데 있어 매우 유용하다. 용선을 따르는 방향은 화소의 값이 일정하지만 용선의 수직 방향은 사인과 신

호의 형태를 나타낸다. 제안한 알고리즘은 이러한 성질을 이용하여 사인과 신호의 컨벡스를 추출하기 때문에 용선의 방향 벡터를 구하는 과정이 필요하다. 여기서 사용하는 방향 정보 추정은 최소 평균 자승 (least mean square) 방향 추정 알고리즘을 적용한다^[5-6].

제안한 알고리즘은 <그림 2>에 보인 바와 같이 지문 영상을 $w \times w$ 의 작은 블록으로 나누어 각각의 블록에 대해 하나의 방향을 정하는 국부 방향 벡터 추정을 사용한다. 각각의 화소 (u, v) 에서의 그레디언트 (gradient) $\partial_x(u, v)$ 과 $\partial_y(u, v)$ 를

$$\partial_x(u, v) = I(u, v) - I(u-1, v) \quad (1)$$

$$\partial_y(u, v) = I(u, v) - I(u, v-1) \quad (2)$$

로써 구하면 각 블록의 인덱스 (i, j) 에서의 국부 방향은

$$\nu_x(i, j) = \sum_{u=w \times i}^{w \times (i+1)-1} \sum_{v=w \times j}^{w \times (j+1)-1} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v) \quad (3)$$

$$\nu_y(i, j) = \sum_{u=w \times i}^{w \times (i+1)-1} \sum_{v=w \times j}^{w \times (j+1)-1} (\partial_x^2(u, v) - \partial_y^2(u, v)) \quad (4)$$

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\nu_x(i, j)}{\nu_y(i, j)} \right) \quad (5)$$

로 추정한다^[7-8]. 여기서 $O(i, j)$ 는 블록 인덱스 (i, j) 에서 최소 자승 추정에 의한 국부 용선의 방향을 나타낸다.

지문영상에서 용선의 방향은 급격히 변하지 않고 서서히 변하는 성질이 있다. 위의 과정에 의해 얻어진 용선의 방향 벡터 $O(i, j)$ 는 센서의 잡음이나 지문이 입력될 때 발생하는 변형에 의해 잘못 얻어지는 경우가 많다. 따라서 이를 보정하기 위해 low-pass 필터링이 필요하다. Low-pass 필터링은 식 (3)과 식 (4)로부터 구해진 값을 사용하여

$$\nu_1^i(i, j) = \sum_{u=-\frac{w_a-1}{2}}^{\frac{w_a-1}{2}} \sum_{v=-\frac{w_a-1}{2}}^{\frac{w_a-1}{2}} W(u, v) \cdot \nu_x(i-u, j-v) \quad (6)$$

$$\nu_2^i(i, j) = \sum_{u=-\frac{w_a-1}{2}}^{\frac{w_a-1}{2}} \sum_{v=-\frac{w_a-1}{2}}^{\frac{w_a-1}{2}} W(u, v) \cdot \nu_y(i-u, j-v) \quad (7)$$

와 같이 구한다. 여기서 W 는 홀수 크기의 $w_0 \times w_0$ 인 low-pass 필터이고 평활화 연산은 각각의 블록 단위로 수행한다. 최종적으로 국부 방향 벡터는

$$O_L(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{v'_x(i, j)}{v'_y(i, j)} \right) \quad (8)$$

으로 계산된다.

2. 잡음 제거를 위한 전처리

지문영상의 상태가 양호할수록 지문 단면의 국부적 밝기값이 사인파 형태에 근접하여 컨벡스 영역 추출이 용이하지만 대부분의 경우 지문영상은 잡음이나 입력 센서의 영향에 의해 훼손되는 경우가 많다. 따라서 잡음에 의해 훼손된 용선에서 효과적으로 컨벡스 영역을 추출하기 위해 전처리 과정을 수행해야 한다. 이러한 전처리 과정은 잡음 제거와 부드러운 사인파 신호를 위한 평활화라고 할 수 있다^[9-10].

1	2	5	2	1
1	2	5	2	1
1	2	5	2	1

그림 4. 잡음 제거를 위한 평활화 필터 마스크
Fig. 4. Regularization filter mask for noise reduction.

훼손된 지문영상에 대한 평활화는 용선의 방향에 따라

$$f(u, v) = \frac{1}{K} \sum_{n=-N/2}^{N/2} \sum_{m=-M/2}^{M/2} H(m, n) I(u' - m, v' - n) \quad (9)$$

$$u' = u \sin O_L(i, j) + v \cos O_L(i, j) \quad (10)$$

$$v' = u \cos O_L(i, j) - v \sin O_L(i, j) \quad (11)$$

으로 필터링 과정을 수행한다. (u', v') 은 현재 화소의 위치 (u, v) 로부터 국부 용선의 방향 $O_L(i, j)$ 만큼 회전 변환한 위치이다. $H(m, n)$ 은 평활화를 위한 필터 마스크로 본 연구에서는 가우시안과 평균값이 결합된 형태의 5×3 필터 마스크를 사용하였다. 이는 용선의 단면은 사인파 형태이기 때문에 이 방향에 대해서는 가우시안 필터링을 하고 반대로 용선 방향은 화소값의 변화가 작기 때문에 평균 필터링을 수행함을 의미한다. 그리고 5로 주어진 용선의 단면에 대한 필터 길이가, 3인 용선 방향 필터보다 긴 이유는 일반적으로 화소값이 일정한 용선 방향보다 사인파에 가까운 용선의 단

면 방향이 잡음에 민감하기 때문이다. 또한 국부 최대 위치 추정 및 컨벡스 영역 추출 과정이 용선의 단면 방향으로 수행되므로 이 방향에 대해 더욱 긴 필터 계수를 설정하였으며 필터 마스크는 <그림 4>에 나타난 바와 같이 구성할 수 있다.

3. 국부 최대 위치 추출

제안한 알고리즘의 특징점 추출은 기본적으로 이진화 및 세선화를 통한 방법과 같은 개념을 사용한다. 즉 용선을 한 화소 단위로 만든 후 그로부터 특징을 추출하게 되는데 여기서는 이진화 과정없이 바로 국부 최대값 및 링킹과정을 통해 용선의 세선화를 수행한다.

지문 영상을 용선의 수직 방향에 대해 단면을 나타내면 <그림 5>와 같다. 국부 최대값이 규칙적으로 발생하는 사인파 형태이며 여기서의 국부 최대값은 용선의 중심이라고 할 수 있다. 따라서 국부 최대값을 추출함으로써 대략적인 한 화소 단위의 용선 추적이 가능하다.

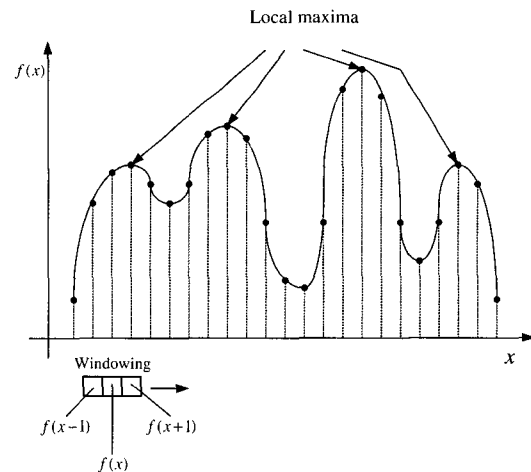


그림 5. 국부 최대 위치 추출
Fig. 5. Extraction of local maxima.

<그림 5>와 같은 1차원 신호에서 국부 최대값은 현재 값을 중심으로 좌, 우의 값을 비교함으로써 추출할 수 있다. <그림 5>에서 현재의 값이 $f(x)$ 이고 인접한 값을 각각 $f(x-1)$, $f(x+1)$ 이라고 하면 만약 $f(x)$ 가 $f(x-1)$, $f(x+1)$ 두 값보다 크면 이는 국부 최대값이 된다. 이렇게 현재 값을 중심으로 3개의 값을 윈도우를 취하면서 비교하여 이동하면 국부 최대 위치를 추출할 수 있다.

2-D 지문영상에서의 국부 최대 위치는 이와 같은 개념을 이용해서 추출한다. 다른 점이 있다면 비교가 되는 화소가 용선의 수직방향으로 이동된 위치라는 점이다. 즉 좌에서 우, 위에서 아래로 화소를 스캔하면서 용선의 단면을 따라 비교한다.

이 방법은 회전변환된 3개의 화소만을 이용하기 때문에 실제 적용에 있어 정확한 방향 각도가 필요하지 않다. 따라서 이를 양자화시켜야 하며 방향에 따라

$$O_L^Q(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{for } -\pi/8 < O_L(i, j) \leq \pi/8 \\ \pi/4, & \text{for } \pi/8 < O_L(i, j) \leq 3\pi/8 \\ -\pi/4, & \text{for } -3\pi/8 < O_L(i, j) \leq -\pi/8 \\ \pi/2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

으로 4가지를 정의할 수 있다.

이로부터 최종적으로 국부 최대값은

$$f(u_h, v_k) = \text{Local Maxima Value} \quad \text{if } f(u_h, v_k) = \max(f(u_{h-1}, v_{k-1}), f(u_h, v_k), f(u_{h+1}, v_{k+1})) \quad (13)$$

$$u_{h-1} = u_h + \sqrt{2} \sin O_L^Q(u_h, v_k) \quad (14)$$

$$v_{k-1} = v_k - \sqrt{2} \cos O_L^Q(u_h, v_k) \quad (15)$$

$$u_{h+1} = u_h - \sqrt{2} \sin O_L^Q(u_h, v_k) \quad (16)$$

$$v_{k+1} = v_k + \sqrt{2} \cos O_L^Q(u_h, v_k) \quad (17)$$

로 나타낼 수 있다. 이때 $f(u_h, v_k)$ 가 위 식에 의해 국부 최대값으로 판별되면 (u_h, v_k) 가 국부 최대 위치가 된다.

4. 링킹과정

위에서 설명한 국부 최대 위치는 대략적인 한 화소 단위의 용선을 추출한다. 이는 지문영상의 훼손 및 접촉시의 압력 등으로 끊긴 점이 생기기 때문이다. 따라서 끊긴 점들간에 서로 이어주는 과정이 필요하며 이 과정 역시 용선의 방향을 고려하여 수행하게 된다.

용선이 대략적으로 한 화소 단위로 추출되었기 때문에 링킹은 현재 화소를 중심으로 주변화소가 하나인 점으로부터 시작한다. 이로부터 주변 화소와 용선의 방향성을 고려하여 국부 최대값인 위치로 이동한다. 국부 최대값은 용선의 방향에 따른 후보점들 가운데서 값이 최대가 되는 곳이며 국부 최대값으로 추정되면 이 위치로 이동한다. 이와 같은 과정을 계속 반복하여 또 다

른 용선을 만나거나 문턱값 이하일 때 링킹과정을 멈추고 다음 용선의 단점으로부터 다시 시작한다. 국부 최대값을 추정하기 위한 후보 위치는 용선 방향에 따라 <그림 6>에 나타내었다.

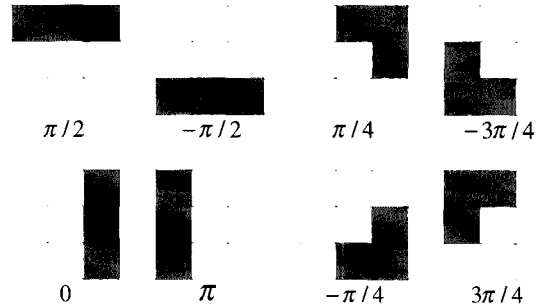


그림 6. 용선 방향에 따른 국부 최대 위치 추정을 위한 후보점

Fig. 6. Candidate points along ridge direction for local maxima in the linking process.

5. 용선 추적 중지 기준

링킹에서 어느 점에서 끝내야 할지 결정해주는 과정이 필요하다. 이는 결국 용선 영역의 검출이라고 할 수 있으며 잘못된 영역을 검출할 경우 특징점 추출에 많은 영향을 끼칠 수 있다. 기존 알고리즘의 경우 이러한 용선 영역을 검출하기 위해 용선 두께라는 중요한 파라미터가 쓰인다. 특히 적응적 필터 기법이나, 푸리에(Fourier) 변환을 이용하는 경우 용선의 두께는 중요하게 이용되며 전체 시스템의 성능을 좌우할 수도 있다. 제안한 방법은 이러한 용선의 두께라는 파라미터 없이 사인파 신호의 컨벡스 추출 방법을 적용하여 용선 영역을 추출하고 이를 링킹 과정의 용선 추적 중지 기준으로 사용한다. 또한 위에서 설명한 국부 최대 위치 추정 방법과 마찬가지로 3개의 화소만으로 용선 영역을 추출함으로써 계산량을 줄였다.

<그림 7>은 용선 추출 과정을 나타낸 것으로 이 역시 국부 최대 위치 추출과 마찬가지로 용선 단면을 따라 수행하게 되며 <그림 7(a)>는 컨벡스 영역을 검출하는 원리를 나타낸 것이다. 현재 화소를 중심으로 좌, 우 두 개의 화소값을 이어주면 <그림 7(a)>와 같은 모양이 된다. 이 그림에서 블록한 부분인 컨벡스는 이웃하는 두 화소의 평균값보다 큼을 알 수 있다. 이로부터 이웃 두 화소의 평균보다 큰 부분만을 검출하여 컨벡스라고 판별하는 경우 <그림 7(b)>와 같이 끊은 선의

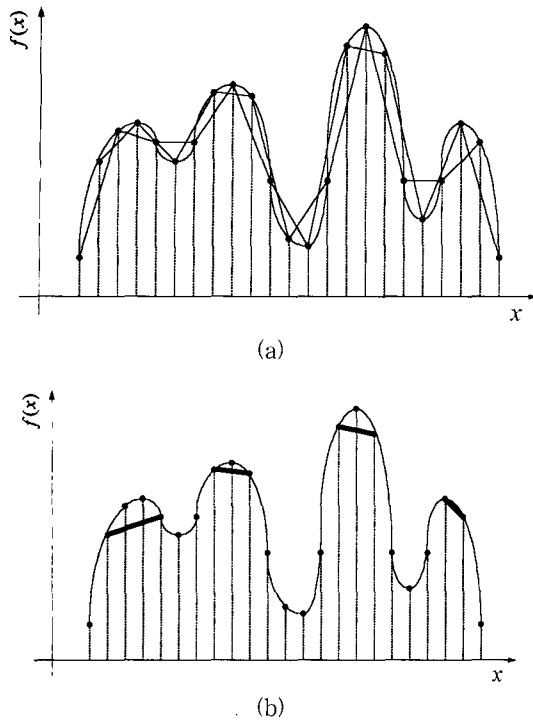


그림 7. 컨벡스 문턱값 추정 (a) 컨벡스 영역 추출 과정 (b) 컨벡스 영역 추출 결과

Fig. 7. Convex threshold. (a) Convex detection process, (b) Result of convex detection.

윗 부분이 된다. 이는

$$(u_h, v_k) = \text{Convex Region}$$

$$\text{if } f(u_h, v_k) \geq \frac{f(u_{h-1}, v_{k-1}) + f(u_{h+1}, v_{k+1})}{2} \quad (18)$$

로 표현되며 (u_{h-1}, v_{k-1}) , (u_{h+1}, v_{k+1}) 은 식 (14) ~ 식 (17)로부터 구한다. 즉 끊긴점을 이어주는 링킹 과정을 수행하면서 이동된 화소값이 식 (18)을 만족하면 계속 링킹을 수행하고 그렇지 않으면 이를 멈추고 다음 끊긴점으로 이동한다.

이 방법은 독립적으로 이진화 및 세선화를 통한 특징점 추출에도 사용될 수 있다. 식 (18)을 만족하게 되면 이는 곧 융선 영역을 의미하기 때문에 이진화에도 쓰일 수 있는 것이다. 이 방법을 이진화에 사용하는 경우 지문 두께 측정이 필요 없고 계산이 간단하기 때문에 다양한 환경에서 적용할 수 있다.

링킹 과정을 통해 완전한 한 화소 단위의 융선이 검출되면 이로부터 특징점을 추출할 수 있다. 한 화소의 융선에서 주변의 융선 화소 개수가 하나이면 단점이

되고 세 개 이상이면 분기점이 된다.

III. 실험결과 및 토의

제안한 알고리즘의 성능 검증을 위해 실제 지문영상으로부터 특징점을 추출하고 그 결과를 기존의 방법과 비교하였다. 실험에 사용된 지문 영상은 NIST (National Institute of Standards and Technology) 영상이고 크기는 512×512이다. 이 영상은 종이에 지문을 찍고 이를 스캔한 영상으로 여러 가지 다양한 잡음이 첨가되어 있다.

비교 실험을 위한 알고리즘은 가버 (Gabor) 필터링 기법을 사용하였다^[11]. 이 방법은 융선의 방향과 두께 정보를 이용하여 필터링하여 이진화시킨 후 최종적으로 세선화 과정을 거쳐 특징점을 추출한다. 이진화를 위한 필터는

$$G(x, y; f, \theta) =$$

$$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{x'^2}{\delta_x^2} + \frac{y'^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi fx') \quad (19)$$

$$x' = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (20)$$

$$y' = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (21)$$

로 나타낼 수 있으며 (x', y') 은 (x, y) 로부터 회전 변환된 좌표이고 θ 는 융선의 방향 벡터이다. 그리고 f 는 융선의 주파수를 나타내는데 융선 두께의 역수를 취한다. 이론적으로는 융선의 두께를 측정하여 필터 계수를 구성해야 하지만 실제로 융선의 두께 측정은 거의 불가능하기 때문에 튜닝 (tuning) 파라미터로 영상



(a) 지문영상 1

(b) 지문영상 2

그림 8. 실험에 사용된 NIST 지문영상

Fig. 8. NIST fingerprint image used in experiments. (a) fingerprint image 1, (b) fingerprint image 2.

의 크기를 고려하여 실험적으로 정해준다. 비교실험은 용선의 두께를 10으로 하여 f 를 0.1로 맞추었다. 필터 크기는 용선의 두께 및 주파수를 고려하여 25×25로 하였다.

실험에 사용된 NIST 지문 영상중 <그림 8>에 두 가지 종류를 보였다. 가버 필터링 기법은 이진화를 통해 용선 영역을 추출하고 이로부터 세선화하는 과정이 제안한 알고리즘과 비슷한 구조를 가지고 있다. 즉 가버 필터링 기법의 이진화는 제안한 알고리즘의 컨벡스 문턱값을 이용한 용선 영역의 추정에 대응될 수 있고 세선화 과정은 국부 최대 위치 추출 및 링킹 과정에 대응될 수 있다. 따라서 실험 결과는 각자 대응되는 중간 결과로서 나타내었다.

먼저 용선 영역 추정에 대한 결과를 <그림 9>와 <그림 10>에 나타내었다. 제안한 알고리즘의 링킹 과

정에서의 용선 추적 중지 기준으로 사용된 컨벡스 문턱값은 용선 영역을 적응적으로 추정하는 것이므로 그림에서 보는 바와 같이 지문영상의 이진화에도 쓰일 수 있다. 용선 영역 추정 결과를 보면 가버 필터링 기법의 경우 매우 큰 크기의 필터를 사용했기 때문에 이진화 영상이 부드럽게 이어져있다. 그러나 용선 두께 추정이 잘못되어 끊김점이 발생하고 특히 용선의 두께가 갑자기 작아진 부분에서 이러한 현상이 많이 발생함을 볼 수 있다. 반면 제안한 알고리즘은 단지 3개의 화소값을 이용하기 때문에 잡음 정도에 민감하여 이진화된 영상이 덜 부드럽지만 용선의 두께에 영향을 받지 않아 실제 용선 영역 추정은 제안한 알고리즘이 더욱 정확함을 볼 수 있다.

용선 영역에 대한 세선화 결과는 <그림 11>과 <그림 12>에 보였다. 가버 필터링 기법은 이진화를 통한 세선화이고 제안한 알고리즘은 이진화 없이 링킹 과정

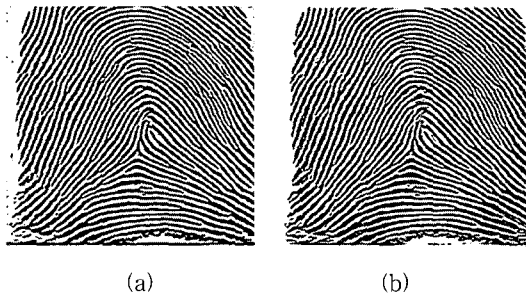


그림 9. <그림 8(a)>의 용선 영역 추정 (지문영상 1)
(a) 가버 필터링 기법 (b) 제안한 방법
Fig. 9. Ridge area detection (fingerprint image 1).
(a) Gabor filtering method, (b) proposed method.

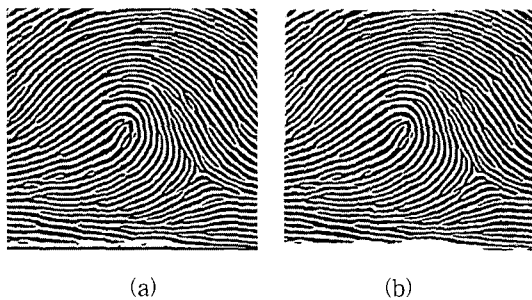


그림 10. 용선 영역 추정 (지문영상 2) (a) 가버 필터링 기법 (b) 제안한 방법
Fig. 10. Ridge area detection (fingerprint image 2).
(a) Gabor filtering method, (b) proposed method.

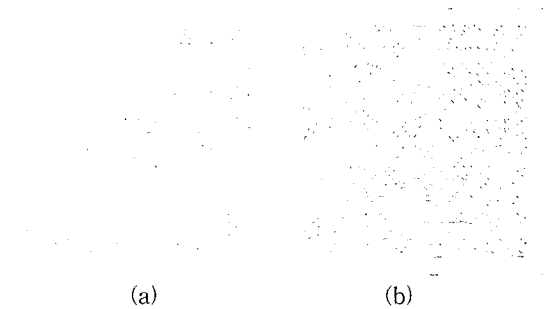


그림 11. 세선화 (지문영상 1) (a) 가버 필터링 기법 (b) 제안한 방법
Fig. 11. Thinning (fingerprint image 1). (a) Gabor filtering method, (b) proposed method.

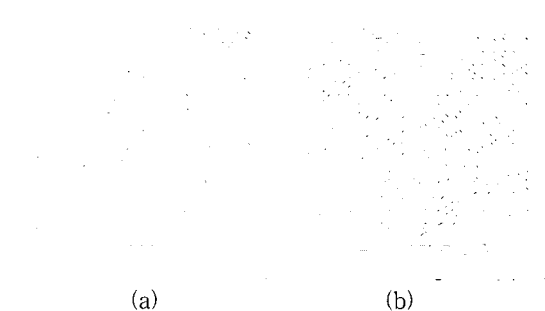


그림 12. 세선화 (지문영상 2) (a) 가버 필터링 기법 (b) 제안한 방법
Fig. 12. Thinning (fingerprint image 2). (a) Gabor filtering method, (b) proposed method.

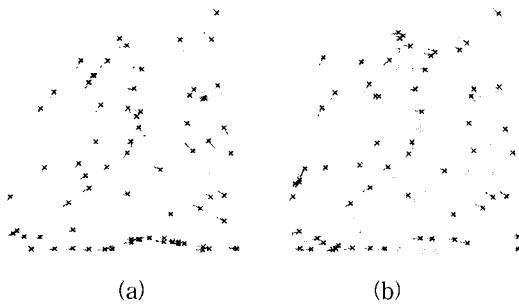


그림 13. 특징점 추출 (지문영상 1) (a) 가버 필터링 기법 (b) 제안한 방법
Fig. 13. Feature extraction (fingerprint image 1). (a) Gabor filtering method, (b) proposed method.

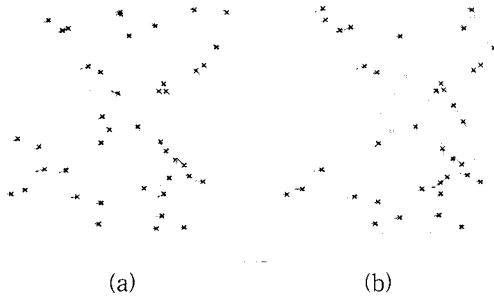


그림 14. 특징점 추출 (지문영상 2) (a) 가버 필터링 기법 (b) 제안한 방법
Fig. 14. Feature extraction (fingerprint image 2). (a) Gabor filtering method, (b) proposed method.

을 통한 세션화이다. 이 역시 제안한 알고리즘이 잡음에 민감하여 가버 필터링 기법에 비해 세션화가 다소 불균일한 모습을 보이고 있지만 융선 추출의 정확도에 영향을 받아 실제 단점과 분기점을 찾기 위한 세션화 결과는 거의 비슷함을 볼 수 있다.

마지막으로 세션화 결과로부터 추출된 특징점의 좌표와 방향을 <그림 12, 13>에 보였다. 그림에서 'x' 모양의 굵은 선은 분기점이고 흐린 선의 '□' 모양은 단점을 나타낸다. 전체적으로 추출된 특징점은 가버 필터링 기법과 제안한 알고리즘이 비슷한 위치와 방향을 나타내고 있다.

가버 필터링 기법과 제안한 알고리즘의 복잡도를 보면 가버 필터링의 경우 가장 많은 연산을 차지하는 것은 필터링 과정이다. 특히 실험에 사용된 영상 자체가 상당히 큰 크기이기 때문에 필터 크기 역시 키질 수밖에 없다. 반면 제안한 알고리즘은 융선 두께와 무관한 방법이기 때문에 영상의 크기에 영향을 받지 않

며 국부 최대 위치 및 융선 영역 추출은 단지 3개의 화소만을 사용한다. 따라서 제안한 알고리즘에서 가장 많은 연산을 차지하는 것은 평활화를 위한 필터링이라고 할 수 있다. 실험에 사용된 가버 필터의 크기는 25×25 이고 제안한 알고리즘의 경우 평활화 필터가 5×3 이므로 가버 필터의 연산량이 제안한 알고리즘보다 약 40배 가량 많음을 알 수 있다. 이를 수치적으로 나타내면 가버 필터링에 사용된 융선의 두께를 l_{ridge} 라 하고 융선의 주기를 고려하여 필터 길이를 주기의 2.5배로 하면 필터 마스크 크기는 $6.25 \times l_{ridge}^2$ 이 된다. 따라서 영상의 가로 세로 크기를 각각 W_{img} , H_{img} 라고 하면 총 연산량은 $6.25 \times l_{ridge}^2 \times W_{img} \times H_{img}$ 가 된다. 제안한 방법은 잡음 제거를 위해 5×3 의 고정된 마스크를 사용하므로 연산량은 $5 \times 3 \times W_{img} \times H_{img}$ 이다. 따라서 평균 융선의 두께를 5에서 15로 할 때 제안한 알고리즘이 최소 10 배에서 최대 94배까지 연산량이 적음을 알 수 있다. 반면 성능에 있어서는 거의 유사함을 실험 결과를 통해 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 지문영상을 사인과 신호로 간주하고 이로부터 국부 최대 위치를 추출하고 컨벡스 영역을 추정함으로써 지문의 특징점을 추출하는 방법을 제안하였다. 이는 기존의 방법에서 많은 문제가 되었던 융선 두께 추정 과정 없이 수행되기 때문에 다양한 환경의 지문 인식 시스템에 사용될 수 있다. 이는 또한 취득 압력등과 같은 취득 당시의 불균일에 따른 융선 영역의 변화량에 상관없이 융선을 추출할 수 있음을 의미하므로 특징점 추출의 정확도를 높일 수 있다. 연산량에 있어서는 국부 최대 위치의 추출과 컨벡스 영역 추정이 단지 3개의 화소값만을 사용하기 때문에 기존의 알고리즘에 비해 매우 적다. 그러나 3개의 화소만을 사용하게 때문에 제안한 방법이 잡음에 다소 민감하다는 단점이 있다. 제안한 방법의 이러한 단점을 보완하기 잡음에 강건한 특징점 추출 연구가 추후과제로 남아있다.

참 고 문 헌

- [1] N. Ratha, S. Chen, and A. K. Jain, "Adaptive flow orientation based feature extraction in

- fingerprint images," *Pattern Recognit.*, vol. 28, no. 11, pp. 1657-1672, Nov. 1995.
- [2] A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, and R. Bolle, "An identity-Authentication system using fingerprints," *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 9, pp. 1365-1388, Sept. 1997.
- [3] A. K. Jain, R. M. Bolle and S. Pankanti, *Biometrics : Personal Identification is a Networked Society*, Norwell, MA : Kluwer, 1999.
- [4] A. K. Jain, L. Hong, and R. Bolle, "On-line fingerprint verification," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-19, no. 4, pp. 302-314, Apr. 1997.
- [5] M. Kass and A. Witkin, "Analyzing oriented patterns," *Coput. Vis. Graph. Image Processing*, vol. 37, no. 4, pp. 362-385, Apr. 1987.
- [6] M. Kawagoe and A. Tojo, "Fingerprint pattern classification," *Pattern Recognit.*, vol. 17, no. 3, pp. 295-303, May 1984.
- [7] A. R. Rao, *A Taxonomy for Texture Description and Identification*, New York : Springer-Verlag, 1990.
- [8] A. K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, and S. Pankanti, "Filterbank-based fingerprint matching," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-9, no. 5, pp. 846-859, May 2000.
- [9] D. Maio and D. Maltoni, "Direct gray-scale minutiae detection in fingerprints," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-19, no. 1, pp. 27-40, Jan. 1997.
- [10] D.-W. Jung and R.-H. Park, "Robust fingerprint identification based on hybrid pattern recognition methods," in *Hybrid Methods in Pattern Recognition*, H. Bunke and A. Kandel, Eds., World Scientific Pub. Co., pp. 275-300, 2002.
- [11] L. Hong, Y. Wan, and A. K. Jain, "Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-20, no. 8, pp. 777-789, Aug. 1998.

 저 자 소 개



金斗炫(學生會員)

2001년 : 서강대학교 전자공학과 학사. 2003년 : 서강대학교 전자공학과 석사. 2003년 8월~현재 : 삼성종합기술원 연구원. <주관심분야 : 패턴인식, 영상압축 등임>

朴來弘(正會員) 第33卷 B編 第9號 參照

현재 : 서강대학교 전자공학과 교수