

개선된 전처리 과정을 이용한 지문 인식 시스템

Fingerprint Verification System Using Improved Preprocessing

이 동 옥*, 안 도 랑*, 이 지 원*

Dong-Wook Lee*, Do-Rang Ahn*, Jee-Won Lee*

요 약

지문에 기반을 둔 인식시스템은 오래 전부터 사용되었다. 지문은 이미 잘 알려진 바와 마찬가지로 개개인이 서로 다른 특징을 가지고 있기 때문에, 가장 널리 사용되는 생체계측적인 특징의 하나이다. 그러나 지문 인식 시스템은 입력 지문 영상의 상태가 나쁜 경우 인식 성능이 크게 저하되는 치명적인 약점이 있다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해 향상된 방향과 향상된 이진화 및 세션화 영상을 이용한 영상 향상 알고리즘을 전처리 과정에서 사용한다. 영상 향상의 목적은 입력 지문 이미지의 품질을 정확히 측정하고, 지문 영상의 융선과 골의 구조를 개선시키는 것이다. 또한 인식 속도를 향상시키기 위하여 색인 테이블을 사용한 융선의 방향 정보 추출 방법을 제안하였다. 제안한 지문 인식 시스템이 특징점 추출과 인식 성능에서 향상되었음을 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

Abstract

Fingerprint-based verification system has been used for a very long time. Because of their well-known uniqueness and immutability, fingerprint is one of the most widely used biometric features. However, fingerprint identification system has such a critical weakness that the performance of verification is reduced drastically for a poor input fingerprint. In this paper, an image enhancement algorithm using enhanced direction and enhanced binary and thinning image is used to mitigate the problem in the preprocessing. The goal of image enhancement is to estimate the quality of input fingerprint image and to improve the clarity of ridge and valley structures of input fingerprint image. Also, a ridge orientation extraction method using index table is proposed to improve the speed of verification. It is shown by the experiments that proposed fingerprint verification system improves the minutiae extraction accuracy and performance of verification.

Keywords : Fingerprint Identification System, Image Enhancement, Index table, Enhanced Binary and Thinning

I. 서 론

최근 개인용 컴퓨터와 통신망이 급속히 확산 보급되어 정보화가 빠르게 진행되면서 개인 정보를 보호하기 위한 인증 기술에 대한 요구가 증가하고 있으며, 보안의 중요성이 높이 부각되고 있다. 기존의 개인 인증 수단으로 많이 사용되는 열쇠, 비밀번호, 카드 등은 사람의 망각, 분실 등으로 인하여 신뢰도, 안전도 및 사용 편리성에서 문제점이 나타나고 있다. 이와 같은 위험과 불편을 해소하고자 신체 특징을 이용한 보안 시스템(Biometrics Security System : BBS)의 연구가 활발히 진행되고 있다

[1]. 최근 실현 가능한 생체특징으로는 지문, 얼굴, 홍채, 정맥, 서명, 음성 등이 있으나 이중에서 지문[2,3]은 가장 오랫동안 연구되어 왔고 생체계측학의 기초가 되는 보편성, 불변성, 유일성, 수집성을 만족하기에 충분할 뿐 아니라 정확도, 수행속도, 구현비용 등 모든 평가 항목에서 가장 현실성 있는 수단으로 주목받고 있다.

센서를 통해 지문을 입력받는 지문인식 시스템은 입력 시 손가락의 압력, 습도, 청결도, 상처 등이 지문영상의 품질에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 일반적인 지문인식 시스템은 센서를 통해서 입력된 지문영상을 검증에 위한 영상처리 단계로 보내기 전에 반드시 전처리 과정을 거치게 된다. 본 논문에서는 지문인식 시스템의 성능 향상을 목적으로 전처리 과정에서 개선된 방향영상을 이용한 이진화 및 세션화를 통해서 입력 영상의 품질을 개선하고자 한다. 이와 같은 전처리과정은 지문의 정확한 특징점 추출에 많은 영향을 미

*동국대학교 전기공학과
논문 번호 : 2006-2-18
심사 완료 일자 : 2006. 4. 25

접수 일자 : 2006. 3. 20

친다. 또한 지문인식 시스템의 기본이 되는 방향 영상 단계에서 융선의 방향 정보 추출을 위한 역탄젠트(inverse tangent)연산의 연산량 증가 문제를 해결하기 위해 전처리 과정에서 색인 테이블(index table)을 이용하여 융선의 방향 정보를 추출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 지문인식 시스템의 개요에 대해 살펴본다. III장에서 본 논문에서 제안하는 지문인식 시스템의 구성에 대해서 살펴보고, IV장에서는 실험을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론과 향후 개선 방향에 대해 논의한다.

II. 지문인식 시스템의 개요

지문은 땀샘이 융기되어 일정한 흐름을 형성한 것으로 산맥과 같이 솟아오른 것을 융선, 융선 사이에 계곡과 같이 파인 것을 골이라 한다. 이 융선과 골의 형태에 따라서 지문의 모양이 달라지게 된다. 중심점과 삼각점은 지문의 형태에 따라 존재하지 않을 수도 있으며 존재하더라도 그 수가 적어 지문인식을 위한 특징으로 사용되기는 어렵다. 따라서 지문인식에서는 모든 지문 형태에 존재하고 그 수가 많은 분기점과 단점이 지문인식의 중요한 특징량으로 사용된다. 분기점은 융선이 부드럽게 흐르다가 갈라지는 점이고, 단점은 융선이 끊어지는 점이다. 이들을 통칭하여 지문의 특징점이라고 부른다. 이러한 특징점은 지문영상의 크기나 개인의 특징에 따라서 다소 차이가 있으나 일반적으로 한 개의 지문에 40~70개 정도가 존재하게 된다. 이러한 특징점이 사람마다 그 위치 등이 서로 다르므로 이들의 정보는 지문인식 시스템에서 매우 중요한 역할을 한다[5].

일반적인 지문인식 시스템은 그림 1과 같은 형태로 구성된다.

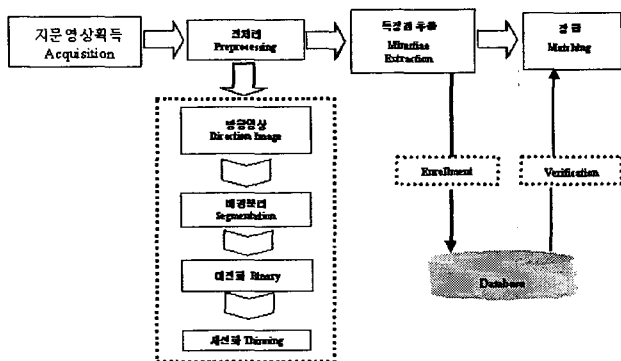


그림 1. 지문인식 시스템
Fig. 1. Fingerprint verification system

일반적인 지문인식 시스템은 지문영상획득 후, 전처리 과정을 거쳐 특징점을 추출하고, 등록 또는 검증에 따라 데이

터베이스에 특징량을 저장하는 단계와 저장된 특징량과 정합하는 과정으로 이루어진다.

일반적으로 센서를 통해서 지문을 입력받는 지문인식 시스템은 입력된 지문의 품질에 많은 영향을 받는다. 입력된 지문이 손가락의 습도가 지나치게 높거나, 매우 건조한 경우 또는 이물질 등에 오염된 경우에 채취되면 전체적인 시스템의 성능을 저하하게 된다. 따라서 지문의 특징점을 추출하는 단계의 전단계인 전처리 과정이 대단히 중요하게 된다. 또한 지문은 다른 생체정보와 달리 상당히 오랫동안 사용된 관계로 대규모의 자료가 저장되어 있어서 지문 검색 시간이 증가되고 있다. 지문 검색 시간을 줄이는 것이 시스템의 효율성에 많은 영향을 미친다.

III. 제안하는 지문인식 시스템

3.1 지문 영상 획득

본 논문에서는 지문영상획득을 위해 250 dpi(dot per inch) 96×96 화소의 이미지를 입력받는 센서입력 부분과 입력받은 이미지를 처리하는 메인부분으로 구성되는 그림 2와 같은 지문인식 센서모듈을 구현하였다. 센서모듈의 CPU는 ATMEL, Inc. 8-bit AVR ATmega 162를 사용하였으며, SRAM(static RAM)으로는 SAMSUNG, Inc. 128Kx8 bit Low Power CMOS K6x1008C2D를 사용하였다. 센서는 반도체 방식의 AuthenTec, Inc. FingerLoc AFS8600로서, JEDEC 표준 LQFP(Low-profile Quad Flat Package)형태의 144핀으로 센서 매트릭스, Drive ring, Power management, Sensor Control, Data Control 등의 보조회로로 구성되어 있다. 센서 매트릭스와 매트릭스주변의 Drive ring에 손가락이 접촉되어야만 센서가 동작하게 된다. 또, 센서는 비동기식 RS-232 통신과 USB 통신을 지원한다.

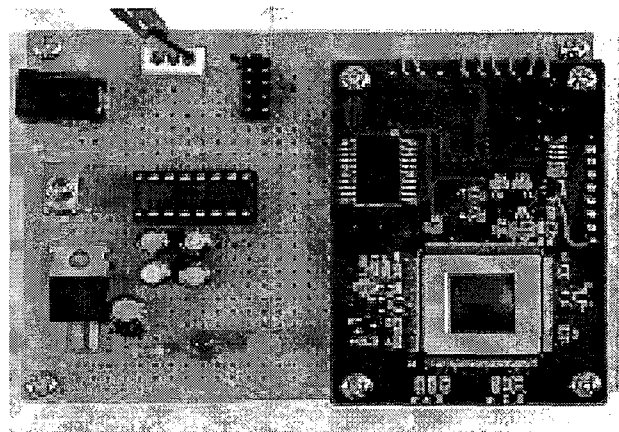


그림 2. 지문인식 센서 모듈
Fig. 2. Fingerprint verification sensor module

8-bit 데이터를 사용한 표준 CMOS-level RS-232 비동기 시리얼 통신으로 115.2Kbps baud rate를 사용하여 PC 응용프로그램에 이미지 데이터를 전송하게 된다. 입력받은 지문이미지는 3×3 블록의 미디언 필터(median filter)를 사용해 잡음을 제거하여 전체 이미지를 평균화 시켰다.

3.2 전처리 과정

전처리 과정은 지문에서 융선(ridge)과 골(valley)의 구분을 명확히 함으로써 정확한 특징량 추출을 목표로 한다. 각 단계는 지문영상의 특징인 융선의 방향성 정보를 추출하는 단계, 방향정보를 이용하여 지문영역인 전경과 배경영역으로 분리하는 단계, 그레이레벨(Gray level)값 '0'과 '255'만을 가지고 융선과 골 부분을 명확히 구분 짓는 slit sum의 방법을 응용한 적응 이진화 단계[5], 특징점 추출을 용이하게 하기 위해서 융선의 폭을 1화소로 하는 Zhang Suen의 세선화 단계로 구성된다[7-10].

3.2.1 방향 영상

방향 영상은 지문 이미지의 개별화소 또는 일정 크기의 부영역 내에서 융선 흐름의 방향 정보를 찾는 것으로 지문 인식에 있어 기본이 되는 중요한 요소로 볼 수 있다. 융선의 방향 정보를 추출하는 방법이 여러 가지가 있으나 Sobel 연산자를 이용하여 융선과 골의 경계가 되는 에지(Edge)부분에서 구배도(Gradient)가 급격히 변화하는 것을 이용한다.

우선 지문 영상과 Sobel 연산자를 그림 3과 4와같이 정의하였을 때, 각 화소(I_0)에 대하여 식 (1)을 사용하여 x 축 구배도(G_x)와 y 축 구배도(G_y)를 구하고, 식 (2)와 같이 x 축, y 축 구배도를 이용하여 각각의 영역 내 융선의 방향 값을 계산한다.

I_1	I_2	I_3
I_8	I_0	I_4
I_7	I_6	I_5

그림 3. 지문영상 영역 (3×3)
Fig. 3. Fingerprint image area(3×3)

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

(a) x 축 마스크 (b) y 축 마스크
그림 4. Sobel 마스크

Fig. 4. Sobel mask (a) x-axis mask (b) y-axis mask

$$G_x = (I_7 + 2I_6 + I_5) - (I_1 + 2I_2 + I_3)$$

$$G_y = (I_3 + 2I_4 + I_5) - (I_1 + 2I_8 + I_7)$$

(1)

$$\theta_d(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \{G_x^2(x+i, y+j) - G_y^2(x+i, y+j)\}}{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 2G_x(x+i, y+j)G_y(x+i, y+j)} + 45$$

(2)

$\theta_d(x, y)$ 는 처리 대상 화소(x, y)에 대한 방향 값이다. 이후, 잡음으로 인한 잘못된 방향 정보를 제거하기 위하여 평활화 과정을 거친다. 평활화 과정은 식 (3)과 같이 θ_d 를 두 배 하여 x, y 성분으로 분리한 후, 저주파 통과 필터로 공간적인 평균을 취해서 잡음을 제거한다.

$$\phi_x(x, y) = \frac{1}{v \times v} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \cos 2\theta_d(x+i, y+j)$$

$$\phi_y(x, y) = \frac{1}{v \times v} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \sin 2\theta_d(x+i, y+j)$$

(3)

여기서 ϕ_x, ϕ_y 는 각각의 x, y 성분을 평활화한 것이고, v 는 필터의 크기로 3×3으로 하였다.

최종적으로 식 (4)와 같이 평활화 된 x, y 성분을 이용하여 융선의 방향 정보를 추출한다.

$$\Theta(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\phi_y(x, y)}{\phi_x(x, y)}$$

(4)

3.2.2. 특징점 추출

3.2.2.1 후보 특징점 추출

세선화 이미지에서 융선의 골격으로 처리된 밝기값 0을 갖는 화소에 대하여 CN(Crossing count Number)값을 이용하여 특징점으로 사용되는 단점과 분기점에 대한 정의를 내린다. 밝기값이 0인 검은색의 처리 대상 화소 I_0 의 8-이웃 화소를 그림 3과 같이 정의 하였을 때 CN은 식 (5)에 의하여 계산된다.

$$CN = \sum_{n=1}^7 |I_n - I_{n+1}| + |I_8 - I_1|$$

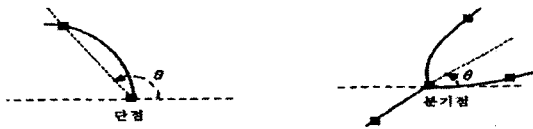
(5)

여기서 I_n 은 골격을 이루는 밝기 값이 0인 경우 1로, 배경을 이루는 밝기 값이 255인 경우 0으로 하여 계산한다. 처리 대상 화소 I_0 에 대하여 CN=2이면 I_0 는 단점, CN=6이면 I_0 는 분기점이다. 이때 각각의 특징점에 대한 특징량으로 특징점의 종류(단점 혹은 분기점)와 x, y 좌

표 값이 추출된다. 또한, CN=8이면 I_0 는 교차점(Cross Point)이며, 이는 의사 특징점 제거 과정에서 이용한다.

3.2.2.2 특징점 방향 결정

특징점의 방향은 그림 5와 같이 각각의 후보 특징점을 시작점으로하여 세선화된 용선을 추적하여 결정할 수 있다. 이 때 방향을 결정하기 위하여 시작점으로부터 용선을 따라 일정거리에 있는 점과의 각도에 의하여 결정된다. 그리고 시작점과 각도를 구하는 점사이의 거리는 지문 이미지의 해상도에 의해서 결정된다. 그리고 분기점에서는 3개의 방향 중에서 각도차가 적은 2개의 방향의 중간 각도에 의해 결정된다. 또한 특징점의 방향은 x 축과 이루는 $-\pi$ 에서 π 사이의 각도로 표현한다.



(a) 단점의 방향 결정 (b) 분기점의 방향 결정
그림 5. 특징점의 방향 결정

Fig. 5. Orientation determination of minutiae point

3.2.2.3 의사 특징점 제거

지문의 상처, 잡음 또는 전처리 과정의 미숙으로 인한 잘못된 특징점을 의사 특징점이라 정의한다. 세선화 된 지문 이미지의 특징점이 나타내는 구조적 특성을 근거로 다음의 규칙을 적용하여 의사 특징점을 제거한다.[11]

[규칙 1] : 짧은 용선과 끊긴 용선 처리

짧은 용선 구조는 한 단점으로부터 용선의 끝까지 따라 추적하였을 때 미리 정의된 거리 내에서 또 다른 단점을 만나는 경우로 정의 될 수 있다. 용선을 추적하는 과정에서 종료점 전에 단점이 있는 경우 이는 짧은 용선으로 간주하여 두 단점을 후보 특징점 목록에서 제거한다.

끊긴 용선은 그림 6과 같이 단점을 중심으로 일정한 크기의 블록 내에 다른 단점이 있는 경우 해당 단점의 방향 θ_1 ,

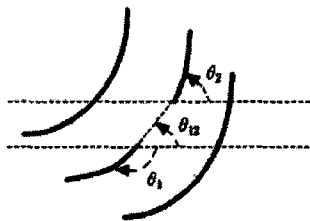


그림 6. 끊긴 용선
Fig. 6. Broken ridge

다른 단점의 방향 θ_2 와 두 끝점을 이어주는 벡터의 방향 θ_{12} 를 입력으로 하여 식 (6)에 적용한다.

$$|\theta_1 - \theta_2| \geq \pi - \theta_{th}$$

$$\min(|\theta_1 - \theta_{12}|, |\theta_2 - \theta_{12}|) \leq \theta_{th}$$

$$\max(|\theta_1 - \theta_{12}|, |\theta_2 - \theta_{12}|) \geq \pi - \theta_{th}$$

(6)

θ_{th} 는 각도변화를 허용하는 임계치 각도이다.

그림 7과 같이 A, B점이 식(6)을 만족할 경우 연결된 것으로 볼수 있기 때문에 후보 특징점 목록에서 제거된다.



그림 7. 규칙 1의 시범
Fig. 7. Demonstration of Rule 1

[규칙 2] : 브리지 용선 처리

후보 특징점 목록 중 분기점인 경우 그 점을 중심으로 일정한 크기의 블록 내에 또 다른 분기점이 있는 경우 다음 세 가지 경우에 따라 용선을 처리한다.

(i): 그림 8과 같이 연결된 분기점 A, B가 그림 9 (b)의 브리지 조건을 만족하면 분기점 A와 B는 연결되지 않는 점으로 볼수 있기 때문에 후보 특징점 목록에서 제거한다.

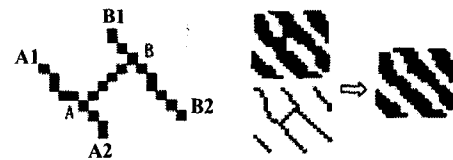
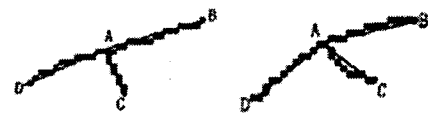


그림 8. 규칙 2 (i)의 시범
Fig. 8. Demonstration of Rule 2 (i)



(a) (b)
그림 9. 브리지 조건
Fig. 9. Bridge Condition

그림 9의 브리지 조건

(a) $\angle BAD > 165^\circ$ and $75^\circ < \angle BAC < 105^\circ$
and $75^\circ < \angle CAD < 105^\circ$

(b) $\angle BAD > 135^\circ$ and $45^\circ < \angle BAC < 135^\circ$
and $45^\circ < \angle CAD < 135^\circ$

(ii): 그림 10은 분기점 B와 교차점 A가 연결된 상태이다. 여기서 B가 그림 9 (a)의 브리지 조건을 만족하면 A, B의 연결은 노이즈로 인한 것으로 볼 수 있기 때문에 후보 특징점 목록에서 제거되지만 A는 분기점으로 바뀌어 특징점으로 인식하게 된다.



그림 10. 규칙 2 (ii)의 시범
Fig. 10. Demonstration of Rule 2 (ii)

(iii): 그림 11과 같이 연결된 분기점 A, B가 다음의 조건을 만족하면, 분기점 A와 B를 후보 특징점 목록에서 제거한다.

$$\text{조건 : } \angle A_1 A A_2 < 60^\circ \quad \text{and} \quad \angle B_1 B B_2 < 60^\circ$$

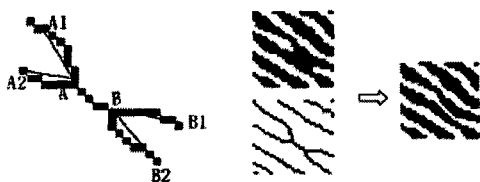


그림 11. 규칙2 (iii)의 시범
Fig. 11. Demonstration of Rule 2 (iii)

[규칙 3] : 상처 처리

지문의 상처로 인한 의사 특징점의 처리는 세 가지 경우로 나누어 처리하나, 그 중의 하나인 끊긴 음선은 규칙 1에서 처리 하였으므로 여기서는 나머지 두 경우에 대해서만 다룬다.

(i): 그림 12에서 A, C는 분기점이고, B는 $\angle A B B_1 < 105^\circ$ 을 만족하는 회전점(Turning point)이다. 단점 D, E 그리고 F는 A, B 그리고 C와 각각 마주하고 있다.



그림 12. 규칙 3 (i)의 시범
Fig. 12. Demonstration of Rule 3 (i)

여기서 A는 그림 9 (a)의 브리지 조건을 만족하고, A와 마주하고 있는 D에 대해서 $\angle D A A_1 > 165^\circ$ 을 만족해야 한다. 이상을 만족하면 A와 D, B와 E, C와 F를 연결하고 A와 B, A

와 C의 연결을 끊으면서 모두 후보 특징점 목록에서 제거한다.

(ii): 위 (i) 조건과 동일하다. 그러나 그림 13에서 D가 분기점이고 A와 같이 그림 9 (a)의 브리지 조건을 만족한다.

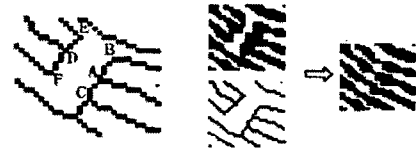


그림 13. 규칙 3 (ii)의 시범
Fig. 13. Demonstration of Rule 3 (ii)

역시 조건을 만족하면 A와 D, B와 E, C와 F를 연결하고, A와 B, A와 C, D와 E, D와 F의 연결을 끊고 A, B, C, D, E를 후보 특징점 목록에서 제거한다.

[규칙 4] : 잘못된 연결 처리

음선의 잘못된 연결에 대한 처리는 대표적인 두 가지 경우에 대해서만 다룬다.

(i): 그림 14는 블록 내에 분기점 A와 단점 B가 존재하는 경우이다.

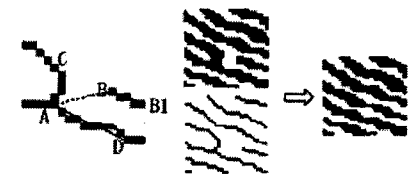


그림 14. 규칙 4 (i)의 증명
Fig. 14. Demonstration of Rule 4 (i)

A와 B가 $\angle B A D < 90^\circ$ and $\angle A B B_1 > 90^\circ$ 의 조건을 만족하면 B와 C를 연결하고, A와 C의 연결을 끊으면서 A와 B를 후보 특징점 목록에서 제거한다.

(ii): 그림 15는 블록 내에 두 개의 분기점 A와 B가 존재하는 경우이다.

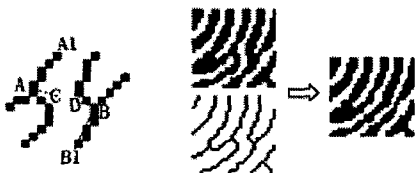


그림 15. 규칙 4 (ii)의 증명
Fig. 15. Demonstration of Rule 4 (ii)

A와 B가 $\angle A_1 A B < 90^\circ$ and $\angle B_1 B A < 90^\circ$ 의 조건을 만족하면 C와 D를 연결하고, A와 C, B와 D는 연결을 끊으면서 A와 B를 후보 특징점 목록에서 제거한다.

3.2.3 색인 테이블(index table)을 이용한 속도개선

Sobel 연산자를 이용한 방향 영상 생성 단계에서 역탄젠트 연산으로 인한 연산량 증가에 따른 연산속도의 문제를 개선하기 위해 방향 영상 추출의 마지막 단계인 식 (4)의 역탄젠트연산을 실행하지 않고, Sobel 연산자를 적용하여 미리 작성해둔 색인 테이블의 값을 최종 융선 흐름의 방향 정보로 활용한다.

융선의 방향을 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 의 범위로 나타내기 위해 식 (3)의 평활화 된 성분 ϕ_x, ϕ_y 의 부호와 식 (7)에서 계산된 γ 의 값을 이용하여 각도에 대한 색인 테이블을 작성하여 최종적으로 융선의 방향 정보를 추출한다. γ 의 값은 반올림 없이 정수부분만 유효하다.

$$\gamma = \left| \frac{\phi_y(x, y)}{\phi_x(x, y)} \times 100 \right| \quad (7)$$

ϕ_x, ϕ_y 의 부호를 검색하고, 계산된 γ 의 값에 해당하는 값을 색인 테이블에서 찾아 융선의 방향을 결정한다. ϕ_x, ϕ_y 가 모두 0인 경우 융선의 방향은 -89° 로 한다.

[Case 1] $\phi_x, \phi_y > 0$

표 1. 융선 방향 색인 테이블

Table 1. Ridge direction index table

γ	Index (각도)	γ	Index (각도)
0~3	0	104~111	23
4~6	1	112~119	24
7~10	2	120~127	25
11~14	3	128~137	26
15~17	4	138~148	27
18~21	5	149~160	28
22~24	6	161~173	29
25~28	7	174~188	30
29~32	8	189~205	31
33~36	9	206~224	32
37~40	10	225~247	33
41~44	11	248~274	34
45~48	12	275~307	35
49~53	13	308~348	36
54~57	14	349~401	37
58~62	15	402~470	38
63~67	16	471~567	39
68~72	17	568~711	40
73~78	18	712~951	41
79~83	19	952~1430	42
84~90	20	1431~2863	43
91~96	21	2864이상	44
97~103	22		

[Case 2] $\phi_x < 0, \phi_y > 0$

표 2. 융선 방향 색인 테이블

Table 2. Ridge direction index table

γ	Index (각도)	γ	Index (각도)
0~3	89	104~111	66
4~6	88	112~119	65
7~10	87	120~127	64
11~14	86	128~137	63
15~17	85	138~148	62
18~21	84	149~160	61
22~24	83	161~173	60
25~28	82	174~188	59
29~32	81	189~205	58
33~36	80	206~224	57
37~40	79	225~247	56
41~44	78	248~274	55
45~48	77	275~307	54
49~53	76	308~348	53
54~57	75	349~401	52
58~62	74	402~470	51
63~67	73	471~567	50
68~72	72	568~711	49
73~78	71	712~951	48
79~83	70	952~1430	47
84~90	69	1431~2863	46
91~96	68	2864이상	45
97~103	67		

[Case 3] $\phi_x > 0, \phi_y < 0$

표 3. 융선 방향 색인 테이블

Table 3. Ridge direction index table

γ	Index (각도)	γ	Index (각도)
0~3	0	104~111	-23
4~6	-1	112~119	-24
7~10	-2	120~127	-25
11~14	-3	128~137	-26
15~17	-4	138~148	-27
18~21	-5	149~160	-28
22~24	-6	161~173	-29
25~28	-7	174~188	-30
29~32	-8	189~205	-31
33~36	-9	206~224	-32
37~40	-10	225~247	-33
41~44	-11	248~274	-34
45~48	-12	275~307	-35
49~53	-13	308~348	-36
54~57	-14	349~401	-37
58~62	-15	402~470	-38
63~67	-16	471~567	-39
68~72	-17	568~711	-40
73~78	-18	712~951	-41
79~83	-19	952~1430	-42
84~90	-20	1431~2863	-43
91~96	-21	2864이상	-44
97~103	-22		

[Case 4] $\phi_x, \phi_y < 0$

표 4. 융선 방향 색인 테이블

Table 4. Ridge direction index table

γ	Index (각도)	γ	Index (각도)
0~3	-89	104~111	-66
4~6	-88	112~119	-65
7~10	-87	120~127	-64
11~14	-86	128~137	-63
15~17	-85	138~148	-62
18~21	-84	149~160	-61
22~24	-83	161~173	-60
25~28	-82	174~188	-59
29~32	-81	189~205	-58
33~36	-80	206~224	-57
37~40	-79	225~247	-56
41~44	-78	248~274	-55
45~48	-77	275~307	-54
49~53	-76	308~348	-53
54~57	-75	349~401	-52
58~62	-74	402~470	-51
63~67	-73	471~567	-50
68~72	-72	568~711	-49
73~78	-71	712~951	-48
79~83	-70	952~1430	-47
84~90	-69	1431~2863	-46
91~96	-68	2864이상	-45
97~103	-67		

IV. 실험 결과

실험을 위하여 반도체 방식 센서(AuthenTec. Inc. FingerLoc AFS8600, 250dpi, 96×96)를 이용하여 20명으로부터 한 명당 5개씩 100개의 엄지 지문 이미지를 입력받아 실험하였다. 전체적인 지문인식 시스템의 전처리 및 특징추출, 검증하는 소프트웨어 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0과 800MHz Intel CPU, 256MB 메모리를 가진 PC의 Windows 2000환경에서 기존의 지문인식 알고리즘과 비교하기 위하여 참고논문[5]와 유사하게 실험환경을 구성하였다.

등록지문에 대한 입력지문의 유사도를 결정하기위해 등록 지문의 특징점과 입력지문의 특징점을 비교한다. 각각의 특징점 목록은 특징점의 좌표와 방향으로 표현된다. 유사도 결정은 3 단계로 나누어 실행한다. 첫 번째로 등록지문과 입력지문 간의 특징점의 방향에서 유사도를 비교한 후, 두 번째로 등록지문과 입력지문간의 특징점의 위치에서 유사도를 비교한다. 마지막으로 이들 유사도가 만족되는 특징점의 개수를 이용하여 두 지문의 정합율(Th_M)을 판명한다[5].

표 5는 검증 기준인 정합 임계값(Th_M) 기준에 따른 FAR과 FRR에 대한 실험결과이다. 이때 등록지문과 입력 지문의 회전엔 대한 임계값은 "20", 특징점의 사잇각에 대한 회전 임계값은 "30"으로 설정하고, 정합 임계값을 "65, 70, 75, 80"으로 변화시켜 실험하였다.

방향영상을 이용한 이진화 및 세선화 영상 향상을 통한 전처리 방법을 적용한 결과 지문인식 시스템의 성능을 결정하는 FAR, FRR에서 성능이 향상되었음을 볼 수 있다.

또한 용선의 간격이 좁거나, 얇고 희미한 경우, 지문이미지 획득 시 시간차에서 생기는 일정치 않은 지문이미지, 센서에 따른 지문이미지에서의 불규칙한 명도값 등의 여러 가지 영상의 문제점을 해결하는 것을 확인할 수 있었다.

표 5. 정합 임계값에 따른 실험 결과

Table 5. Experiment results according to matching threshold

Th_M	FAR (타인 수락율)	FRR (본인 거부율)
65 이상	2.21 % (42/1900)	1.75 % (7/400)
70 이상	1.63 % (31/1900)	2.5 % (10/400)
75 이상	0.84 % (16/1900)	3.0 % (12/400)
80 이상	0.05 % (1/1900)	4.25 % (17/400)

표 6은 지문인식 속도 향상의 실험을 위하여 각 전처리 단계별로 수행한 시간을 측정하여 평균값을 계산한 결과이다.

표 6. 전처리 단계별 시간 비교에 따른 실험 결과

Table 6. Experiment results according to time comparison of preprocessing step

전처리 단계	시간 (msec)	
	inverse tangent 연산	색인 테이블(index table) 적용
방향 영상	310	200
배경분리	150	150
이진화	200	190
세선화	190	180
특징점 추출	100	100
총 합	950	820

이를 통해 색인 테이블을 적용한 용선의 방향 정보 추출과정이 역탄젠트 연산을 이용한 것에 비하여 전체적인 수행속도가 향상됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 지문인식 시스템의 정확성 향상을 주목적으로 하여 Sobel 연산자를 이용하여 얻은 방향값을 개선하여 이를 이진화 및 세선화에 이용하여 영상의 품질을 개선함으로써 고른 지문 형태의 표현으로 오차를 줄일 수 있었으며, 정확한 특징점을 추출할 수 있었다. 지문인식 시스템에서 용선 방향의 추출은 전체 시스템의 성능에 영향을 줄뿐만 아니라 인식 속도를 결정하는 중요한 부분이다. 이 인식 속도를 향상시키기 위한 방법으로 방향 영상 단계에서 빠른 용선의 방향성 추출을 위하여 복잡한 역탄젠트 연산대신 색인 테이블을 이용한 방법을 사용하였다.

지문 영상이 입력된 후, 방향 영상 단계에서 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 범위내의 용선의 방향 정보를 추출하기 위해 Sobel 연산자와 평활화를 적용하여 획득한 ϕ_x, ϕ_y 의 부호와 γ 값을 기초로 4가지 경우에 대한 각각의 색인 테이블을 만들었다. 이 색인 테이블을 이용하여 ϕ_x, ϕ_y 의 부호와 γ 값에 해당하는 부분을 색인 테이블에서 검색하여 최종적인 용선의 방향 정보를 추출한다. 이러한 색인 테이블을 이용한 방법으로 방향을 결정하게 되면, 복잡한 역탄젠트 연산에 비해 색인 테이블에서의 검색으로 용선의 방향을 찾을 수 있기 때문에 연산량 감소로 인한 전체적인 인식 시간이 단축된다.

앞으로 지문 영상 획득 장비 즉, 센서의 발달과 효과적인 전처리 과정의 알고리즘 개발이 이루어진다면 임베디드 시스템에 적합한 지문인식 시스템은 물론 더 정확하고 신뢰성있는 시스템을 구성할 수 있을 것이다. 또한 지문인식 시스템의 응용기술은 더 광범위하게 수용되어 우리 일상생활 속으로 급속히 확산 될 것이다.

참고 문헌

- [1] Anil K. Jain et al, "Introduction to biometrics," Biometrics-Personal Identification in Networked Society, Kluwe Academic Publishers, pp.1-41, 1999.
- [2] Davide Maltoni, Draio Maio, Anil K. Jain, and Salil Prabhakar, "Handbook of Fingerprint Recognition," Springer, 2003.
- [3] Henry C. Lee and R.E.Gaensslen, "Advances in Fingerprint Technology," CRC Press, 1993.
- [4] Anil K. Jain, Lin Hong, and Yifei Wan, "Fingerprint Image Enhancement : Algorithm and Performance Evaluation," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Matching Intelligence, Vol.20, No.8, pp.777-789, 1998.
- [5] 김은희, "위치이동에 무관한 지문인식 정합 알고리즘에 관한 연구," 홍익대학교 석사학위논문, 2001.
- [6] Anil K. Jain, Lin Hong, and Ruud Bolle, "An

Identity-Authentication System Using Fingerprint,"
Proceeding of the IEEE, Vol.58, No.9, pp.1365-1388, 1997.

[7] 김현, 김학일, "RSTI 불변 지문인식 알고리즘," 전자공학회
지, 35권, S편, 6호, pp.828-850, 1998, 6.

[8] A. Farina, Z. M. Kovacs-Vajna, and Alverto Leone,
"Fingerprint Minutiae Extraction Form Skeletonized binary
images," Pattern Recognition, Vol.32, No.4, pp.877-889, 1999.

[9] Ralfae C. Gonazlez and Richard E. Woods, "*Digital
Image Processing*," Addison-Wesley Publishing Company,
1992.

[10] 장동혁, "디지털 영상처리의 구현," PC 어드밴스, 1999.

[11] Xiping Luo and Jie Tian, "Knowledge Based Fingerprint
Image Enhancement," Pattern Recognition, Vol.4, pp.783-786,
2000.



이 동 옥(Dong-Wook Lee)

1960년 10월 2일생.

1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업.

1985년 동 대학원 전기공학과 졸업
(석사).

1992년 미국 조지아 공대 전기공학과
졸업(공학박사).

1992년~1993년 삼성SDS(주) 선임연구원.

1993년 ~현재 동국대 공대 전기공학과 부교수.



안 도 량(Do-Rang Ahn)

1972년 3월 3일생.

1997년 동국대 공대 전기공학과 졸업.

1999년 동 대학원 전기공학과 졸업
(석사).

1999년~ 현재 동 대학원 전기공학과

(박사과정)



이 지 원(Jee-Won Lee)

1976년 7월 30일생.

2003년 동국대 공대 전기공학과 졸업

2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석
사).
