

논문 2007-44SP-3-8

# 지문이미지 인증률 향상을 위한 전처리 알고리즘

## (Preprocessing Algorithm for Enhancement of Fingerprint Identification)

정 승 민\*

(Seung-Min, Jung)

## 요 약

본 논문에서는 지문 인식에 있어서 정확한 특징점 추출이 가능하도록 지문 이미지의 전처리를 개선하는 새로운 방법을 제안하였다. 지문 이미지는 자동 지문인증 시스템의 인증률 향상에 가장 중요한 요소이다. 본 논문에서는 방향지향성 필터에 기초한 새로운 전처리 알고리즘을 적용하여 지문 이미지의 유효 용선 벡터와 용선 확률을 이용하여 품질이 낮은 지문 이미지를 지문인식에 더 적합하도록 품질을 향상시켰다. 품질이 좋지 않은 지문 이미지는 용선 구조가 불명확하고, 용선 사이에 잡음 점들이 많이 포함되어 있기 때문에 제안된 지문 이미지 향상 알고리즘을 통해서 그 잡음이 제거되고 용선이 더 선명하게 추정되었다. 이로 인하여 용선의 지역적 방향과 주파수를 더 정확히 추출 할 수 있다. 이 결과는 지문인식의 후처리 알고리즘에서 특징점을 정확하게 추출 할 수 있게해준다. 아울러 가짜 특징점이 생길 확률이 낮아지므로 이를 제거 할 때 함께 없어지는 진짜 특징점 수도 감소 시켜 준다. 두 가지 방법으로 이루어진 실험에서는 반도체 지문센서로부터 얻어진 이미지를 이용한 인증률 테스트의 향상도 측정방법과, IEEE 공인인증 데이터베이스인 FVC2002 DB3 지문이미지 데이터를 이용하여 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘의 인증률을 측정하였다.

## Abstract

This paper proposes new preprocessing algorithm to extract minutiae in the process of fingerprint recognition. Fingerprint images quality enhancement is a topic phase to ensure good performance in a topic phase to ensure good performance in a Automatic Fingerprint Identification System(AFIS) based on minutiae matching. This paper proposes an algorithm to improve fingerprint image preprocessing to extract minutiae accurately based on directional filter. We improved the suitability of low quality fingerprint images to better suit fingerprint recognition by using valid ridge vector and ridge probability of fingerprint images. With the proposed fingerprint improvement algorithm, noise is removed and presumed ridges are more clearly ascertained. The algorithm is based on five step: computation of effective ridge vector, computation of ridge probability, noise reduction, ridge emphasis, and orientation compensation and frequency estimation. The performance of the proposed approach has been evaluated on two set of images: the first one is self collected using a capacitive semiconductor sensor and second one is DB3 database from Fingerprint Verification Competition (FVC).

**Keywords :** fingerprint, ridge, valley, minutiae, enhancement, pre-processing, orientation

## I. 서 론

지문은 인간의 손가락 끝에 있는 용선(ridge)과 골(valley) 패턴들의 집합이며 각 개인을 타인으로부터 구별할 수 있게 하는 고유의 특성을 가진다. 지문의 개인별 독특함은 이것의 부분적인 특징과 이들 상호간의 관

계에 의하여 주로 나타난다. 부분적인 특징 중 가장 중요하며 현저히 나타나는 용선 특징들을 특징점이라 부르며 그 중에는 그림 1과 같이 단점과 분기점이 있다. 단점은 용선이 끝나는 지점으로 정의되고 분기점은 용선이 가지로 갈라지거나 모이는 지점으로 정의 된다. 이들은 모두 유효 용선 벡터와 용선 확률의 패턴을 가지고 있다. 지문인식은 각 개인을 타인으로부터 구별하기 위하여 지문의 특징점과 그들의 상호관계를 이용한다. 지문 인식의 가장 중요한 단계는 시스템에 입력된 지문 이미지로부터 알고리즘이 특징점들을 신뢰성 있게 추출하는 것이다.

\* 정희원, 한신대학교 정보과학대학 정보통신학과  
(Department of Information Science and Telecom,  
Hanshin University)

※ 이 논문은 2007학년도 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2006년10월1일, 수정완료일: 2007년4월6일

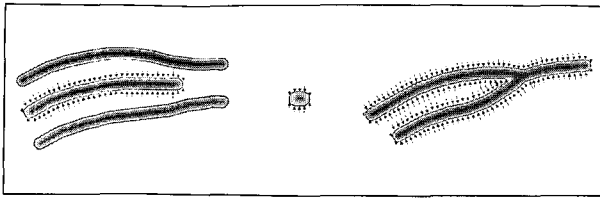
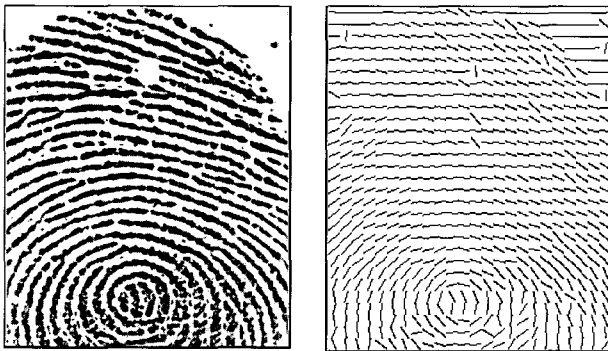


그림 1. 지문의 특징점 (왼쪽부터 단점, 잡음 점, 분기점)

Fig. 1. Fingerprint minutiae (Ending, noise, bifurcation).



(a)원 이미지 (a)Original image  
(b)방향성 추출 결과 (b)local ridge orientation

그림 2. 품질이 낮지만 복원가능한 지문 이미지  
Fig. 2. Fingerprint image that includes a corrupted but recoverable region.

성능이 좋은 특징점 추출 알고리즘의 기본은 입력되는 지문 이미지의 품질에 크게 좌우되는 현상을 보인다<sup>[1-3]</sup>. 복원 가능한 지문 이미지에서는 융선의 방향 및 주파수의 정확한 추정과 융선 구조를 명확하게 복원하는 것이 중요하다. 그림 2는 품질이 낮지만 복원가능한 부분을 포함하는 지문 이미지의 일반적인 예이다. 이와 같은 지문 이미지의 융선 구조는 선명하거나 뚜렷하지 않아서 지문 이미지 처리 알고리즘이 항상 그것을 정확하게 찾을 수는 없었다. 또한 융선이 불명확함으로 인하여 이미지 처리 과정에서 많은 수의 가짜 특징점이 만들어 질 수 있고 진짜 특징점이 무시 될 수도 있다. 따라서 품질이 낮지만 복원 가능한 부분을 포함하는 지문 이미지에서는 특징점 추출 알고리즘이 정확하게 동작하게 하기 위하여 융선 구조를 명확하게 강조 해주는 이미지 향상 알고리즘이 필수적이다.

이상적인 지문 이미지에서는 융선이 선명하게 보이며 특징점들의 위치와 종류가 쉽고 정확하게 추출 된다. 그러나 실제로는 지문을 찍는 순간의 인자 압력 변화, 피부의 상태, 손가락 움직임의 변화 등에 의하여 획득된 지문의 상당수는 지문 인식에 사용하기에는 품질이 낮은 이미지가 된다. 이 경우 융선 구조가 불명확하

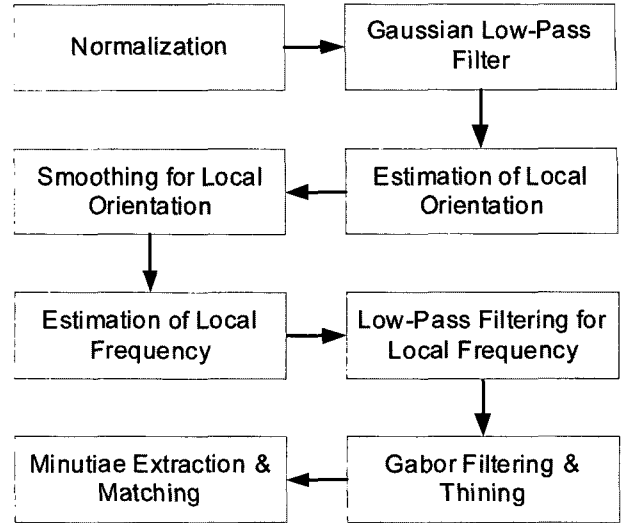


그림 3. 일반적인 지문 인식의 알고리즘의 흐름도  
Fig. 3. Flowchart of general fingerprint recognition algorithm.

며 땀구멍의 영향으로 끊어진 융선이 많이 나타나기도 한다. 또한 융선 사이의 골이 넓은 경우에는 잡음과 유사한 작은 점들이 융선 사이에 많이 나타나기도 한다.

이러한 낮은 품질의 지문영상에서는 융선의 방향이나 주파수 추정 결과가 왜곡될 수밖에 없다. 특히 큰 땀구멍과 융선 사이의 잡음 점들에 의하여 융선의 방향 및 주파수가 심각하게 왜곡된다. 더욱이 특징점 주변에서는 융선이 훼손 되면 왜곡현상이 더욱 더 크게 나타난다. 이는 특징점 주위에서 융선의 방향 및 주파수가 상대적으로 급격하게 변하므로 이들은 일단 훼손되면 일반적인 필터에 의하여 복구 될 수 없기 때문이다. 이런 잘못된 융선의 방향과 주파수를 이용하여 가보(Gabor) 필터링을 통과한 지문 이미지는 진짜 특징점이 왜곡되는 현상을 보인다. 단점이 인근의 융선에 붙으면서 특징점 종류가 변하기도한다. 따라서 낮은 품질의 지문 이미지에서는 잡음이 먼저 제거 되어야 융선의 방향과 주파수를 정확히 추정 할 수 있다.

일반적인 지문알고리즘인 전형적 가보필터 기반(TGF:Traditional Gabor Filter)알고리즘은 그림 3에서 처럼 먼저 가우스 저역 통과 필터를 사용하여 지문 이미지의 잡음을 줄인 후에 융선의 방향과 주파수를 정확히 추출하는 방법이 적용된다<sup>[1]</sup>. 가우스 저역 통과 필터를 사용하여 어느 정도 잡음이 제거 되지만 충분하지는 않다. 근본적으로 끊어진 융선과 잡음 점에 의하여 잘못 추정된 방향과 주파수 성분이 나타나기 때문에 이를 해결하기 위하여 추가로 벡터 방식의 스무딩 필터가 필요하고 추출된 주파수는 저역 통과 필터에 다시 한번

통과 시켜야 한다. 또한 가우스 저역 통과 필터는 방향 지향성이 없기 때문에 성능에 있어서 한계를 지닐 수밖에 없다<sup>[5]</sup>.

그림 2(a)의 아래 부분과 같이 품질이 낮지만 복원 가능한 영역에서는 용선 사이에 생기는 잡음 점들과 용선을 구별하기 위하여 방향 지향적인 필터가 필수적으로 필요하다. 그림 2(b)는 원 지문 이미지에서 기존의 방법을 적용하여 추출한 지역별 용선 방향이며 왜곡된 방향이 나타남을 알 수 있다.

인간의 지능과 경험으로는 지문의 용선과 골 구조가 완전히 왜곡 되지 않으면 지역적인 용선 방향, 용선의 연속성, 용선의 가능성 등 여러 가지 시각적인 단서들을 이용하여 특징점을 정확하게 찾아 낼 수 있다<sup>[6]</sup>. 지문 이미지 항상 알고리즘의 목표는 복원 가능한 영역에서 용선 구조의 명확도를 향상 시켜서 특징점 추출이 빠르고 정확하게 이루어지도록 돕는 것이다. 지문 이미지 항상 알고리즘은 가짜 골 구조를 만들어 내지 않아야 한다. 이는 가짜 골 구조가 지문 이미지의 신원을 변경 할 수도 있기 때문에 중요하다. 지금까지 용선이 명확하거나 복원 불가능한 영역 보다는 복원 가능한 영역이 항상 인식률을 높이기 위한 관심의 초점이 되어 왔으며 제안하는 알고리즘도 여기에 초점을 맞춘다. 지역적인 용선의 방향과 주파수 정보를 이용하여 용선과 골의 구조를 명확하게 향상 시킬 수 있는 지문 이미지 항상 알고리즘이 다음 섹션에서 제시 된다. 이 알고리즘의 성능 측정 실험은 추출된 지문 이미지를 사용하여 섹션3에서 기술 되며 섹션 IV는 요약과 결론이다.

## II. 지문이미지 항상알고리즘

그림 2에서 보는 바와 같이 복원 가능한 영역에서는 잡음에 의하여 잘못된 방향이 추정 될 수 있다. 특히 끊어진 용선과 코어(Core) 주변의 불명확한 용선에서는 정확한 방향이 추정되지 않는다. 기존 방법에서는 이 문제를 개선하기 위하여 이미 먼저 가우스 저역 통과 필터를 사용 하였지만 여전히 완전히 개선되지 않는다. 이를 개선하기 위하여는 또 다른 강한 벡터 방식의 스무딩 필터를 추가로 적용하여야 한다. 스무딩 필터는 이미 검출된 방향성 잡음을 주변 블록으로 분산 시키는 역할을 할 뿐이다. 아울러 지문 특징점 주위의 고주파 특성을 약화시키기 때문에 결과적으로 특징점을 왜곡시킨다. 위에서 알 수 있듯이 용선의 방향과 주파수 오차는 검출초기부터 가능한 검출되지 않게 하는 것이 중

요하다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 먼저 지역적인 용선 방향을 추정 한 후에 이 추정된 용선 방향을 이용하는 방향 지향성 필터를 제안한다. 본 논문에서 제안한 기법은 기본적으로 물리학의 만유 인력의 법칙을 지문인식 알고리즘에 새롭게 적용한 것이다. 지문의 용선값을 질량값으로 바꾸어 생각하면 용선간 인력과 각 화소의 이동도의 차이로 인하여 강한 유효 용선값을 가진 화소가 주변의 작은 잡음 점들을 끌어 당겨 흡수해 버리며 지문의 용선은 스스로 명확한 용선으로 정리가 된다. 용선 방향을 추정할 때에는 기존 방법에서 사용한 가우스 저역 통과 필터를 더 이상 사용할 필요가 없다. 이때 생기는 방향 추정 오차는 뒤따르는 간단한 스무딩 필터에 의하여 필요한 정도로 줄일 수 있다. 제안된 방향 지향성 필터를 통과한 지문 이미지에서는 용선의 정확한 방향과 주파수 추정에 악영향을 미치는 용선 사이의 잡음 성분이 선택적으로 제거되며 용선도 충분히 강조 된다. 이 향상된 이미지는 용선의 방향과 주파수를 정확히 추정하는 데에 적합하다. 그 결과 강조된 용선 이미지와 이로 인하여 정확히 추정된 방향 및 주파수 정보를 가보 필터링에 적용할 수 있다. 그 결과 용선 왜곡은 자연스럽게 줄여준다.

제안된 지문 이미지 항상 알고리즘의 흐름도를 그림 4에서 나타내며 알고리즘의 주요 단계는 다음과 같다.

1) *Rough Estimation of Local Orientation*: 지문 이미지는 센서로부터 획득된 이후에 정규화 되어 미리 규정된 평균이나 분산을 가진다. 또한 정규화된 지문 이미지는 서로 중복되지 않는  $w \times w$  크기의 윈도우들로 나뉘어진다. 임의의 윈도우  $B_{wxw}(i, j)$ 의 중심 화소에서 하나의 방향이 추정되어 할당 된다. 다음의 수식으로 정의되는 최소민스퀘어(least mean square) 방향 추정 알고리즘을 각 윈도우에 적용하여 지문 이미지의 각 블록별 지역적인 방향을 계산한다. 미분 연산자는 단순한 소벨(Sobel) 연산자를 사용 하였고 식(3)의  $\theta(i, j)$ 는 각 블록의 중심 화소에서의 용선 방향이다.

앞서 언급한 바와 같이 그림 2(b)는 이 계산 결과를 나타내며 용선 방향 추정에 오차가 있음을 알 수 있다. 그림 2(a)의 원 이미지와 비교해 보면 이는 주로 끊어진 용선과 코어(Core) 주변의 불명확한 용선에서 집중적으로 나타남을 확인 할 수 있다. 이 오차는 간단한 스무딩 필터를 적용하여 줄일 수 있으며 그 결과 개략적인 용선 방향을 얻을 수 있다.

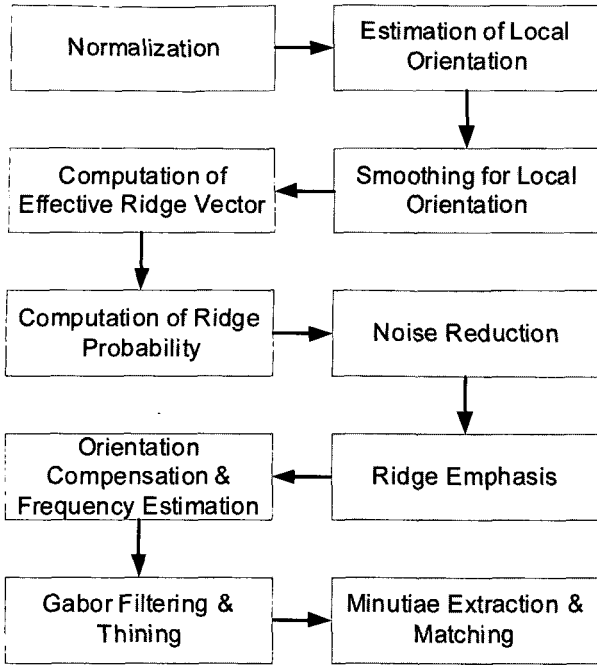


그림 4. 제안된 지문 이미지 향상 알고리즘의 흐름도.  
Fig. 4. Proposed flowchart of fingerprint recognition algorithm.

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

$$v_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x^2(u, v) \partial_y^2(u, v) \quad (2)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{v_y(i, j)}{v_x(i, j)} \right) \quad (3)$$

2) *Computation of Local Oriented Window*: 지문 이미지의 임의의 화소가 속하는 방향 윈도우  $B_{wxw}(i, j)$  에는 앞 단계에서 이미 지역적 방향을 할당 하였다. 이 화소를 중심으로 하여 그 지역적 방향  $B_{wxw}(i, j)$  에 수직 이 되는  $N \times N$  이미지 윈도우  $G_{N \times N}$  을 정의한다. 정규화된 원 지문 이미지에서 회전되어 정의된 윈도우로 사상되는 모든 화소를 원 지문 이미지로부터 구하여 할당 한다.

3) *Computation of Ridge Value*: 지문 이미지에서는 융선을 검은 선으로 표현한다. 지문 인식에서는 골보다 융선에서 구조가 훨씬 중요하기 때문에 본 논문에서는 각 화소의 밝기를 이용하여 그 화소의 융선 강도를 나타 내는 융선값을 정의한다. 즉 임의의 지문 이미지의 임의

의 화소에서 융선값이 높으면 현저히 뚜렷한 융선을 나타낸다. 다음의 수식(4)에서는 임의의 지문 이미지 화소에서 정의되는 융선값  $r(i, j)$  을 정의한다.  $w(i, j)$  는 임의의 화소 밝기를 나타내고  $r_{max}$  는 식(5)와 같으며 화소의 가능한 최대 융선값을 나타낸다. 8bit 회색조 이미지에서는 255를 나타낸다.

$$r(i, j) = r_{max} - w(i, j) + 1 \quad (4)$$

$$r_{max} = 2^n - 1 \quad (5)$$

4) *Computation of Reference Ridge Value*: 윈도우  $G_{N \times N}$  의 중심 화소로부터 떨어진 임의의 화소가 융선값  $r$  을 갖는다고 가정하고 중심 화소에서 볼 때 떨어진 화소의 유효한(effective) 융선 값은 상호간의 거리가 증가함에 따라 감소 한다고 가정한다. 이 유효 융선값을 중심 화소에서 떨어진 화소를 참조하는 융선값으로 정의한다. 이때 두 화소간의 거리에 따른 융선값 참조 비율을 표1에 나타내었으며 이를 참조 계수  $K$  로 정의 한다. 참조할 떨어진 화소의 융선값  $r$  에 거리에 따른 참조 계수  $K$  를 곱하여 참조 융선값  $r_{ref}$  로 정의 한다. 그림 5 는 참조 계수를 나타내었으며 가로축에서 거리가 10인 중앙부분이 중심 화소의 위치를 나타낸다.

표 1. 정규화된 참조 계수

Table 1. Normalized reference coefficient.

1	2	3	4	5
0.00134	0.002681	0.005362	0.010724	0.021448
6	7	8	9	10
0.042895	0.08311	0.128686	0.134048	0.13941
11	12	13	14	15
0.134048	0.128686	0.08311	0.042895	0.021448
16	17	18	19	
0.010724	0.005362	0.002681	0.00134	

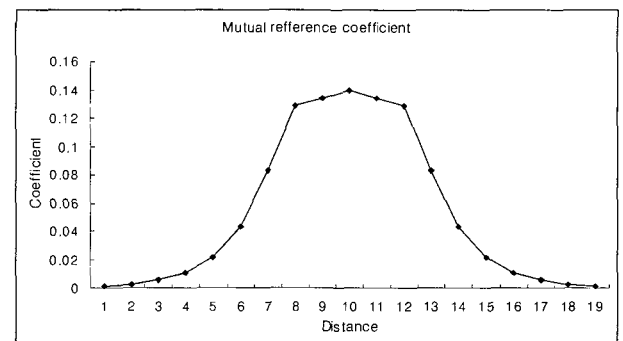


그림 5. 참조 계수 분포도

Fig. 5. diagram of reference coefficient.

5) *Computation of Effective Ridge*: 임의의 중심 화소에 맞게 정의된 윈도우  $G_{N \times N}$  내에서 용선 방향에 수직인 모든 좌측 주변 화소의 참조 용선값을 합하면 이는 중심 화소에서 참조하는 모든 좌측 주변 화소의 총 참조 용선 값이 된다. 이 값이 크면 좌측 방향에서 오는 총 유효 용선값이 큰 것을 의미하며 좌측의 유효 거리 이내에 용선이 많이 모여 있어 용선 밀도가 높음을 의미 한다. 이를 좌측 유효 용선  $m_{left}(i, j)$ 라 정의하고 식(6)에 나타낸다. 이는 본 논문에서 제안한 기법으로 기본적으로 물리학의 만유 인력의 법칙을 지문인식 알고리즘에 새롭게 적용한 것이다. 지문의 용선값을 질량값으로 바꾸어 생각하면 용선간 인력과 각 화소의 이동도의 차이로 인하여 강한 유효 용선값을 가진 화소가 주변의 작은 잡음 점들을 끌어 당겨 흡수해 버리며 지문의 용선은 스스로 명확한 용선으로 정리가 된다. 동일한 방법으로 윈도우 내의 중심 화소에서 우측 주변 화소로부터 계산되는 유효 용선  $m_{right}(i, j)$ 도 구할 수 있다.

$$m_{left}(i, j) = \sum_{u=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} \sum_{v=j-\frac{N}{2}}^j K(u, v) r(u, v) \quad (6)$$

$$m_{right}(i, j) = \sum_{u=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} \sum_{v=j}^{j+\frac{N}{2}} K(u, v) r(u, v) \quad (7)$$

6) *Computation of Effective Ridge Vector*: 임의의 화소에서의 좌측 및 우측 유효 용선은 각각 반대 방향으로 방향을 가지는 벡터로 표현할 수 있다. 이들의 벡터합은 화소의 유효 용선 벡터가 되며 이는 유효 용선의 변화에 기인하고 화소에 미치는 인력을 의미한다. 지문 이미지는 모든 화소가 각각의 유효 용선 벡터 값을 가지므로 이들의 집합으로 나타낼 수 있다. 유효 용선 벡터의 변화는 용선 방향 예측, 특징점 찾기와 잡음 제거에 큰 역할을 한다. 그림 2와 같이 용선이 불명확하고 잡음 점들을 많이 포함하는 지문에서 유효 용선 벡터가 효과적으로 사용 된다. 이들은 지문 이미지에서 용선을 명확히 하고 잠재된 특징점을 왜곡시키지 않는 이미지 향상을 가능하게 한다.

7) *Computation of Ridge Probability*: 임의의 화소에서 자기 참조 용선값을 구한 후 앞에서 정의한 좌측 유효 용선  $m_{left}(i, j)$ 와 우측 유효 용선  $m_{right}(i, j)$ 의 두 스칼라 값을 더하여 용선 확률  $p(i, j)$ 라 정의하며 수식(8)

과 (9)에서 나타내었다. 자기참조 용선값은 자기 참조계수(거리가 0일 때의 상호 참조 계수  $K_0$ )에 중심 화소의 용선값  $r(i, j)$ 을 곱하여 구한다. 중심 화소에서의 용선 확률  $p(i, j)$ 은 그 중심 화소에서 윈도우 방향  $O(i, j)$ 에 수직인 모든 주변 화소를 참조한다. 이때 주변 화소는 중심 화소에 속하는 윈도우  $G_{N \times N}$ 의 내부 화소에 한정한다. 지문 이미지는 모든 화소가 각각의 용선 확률값을 가지므로 이들의 집합으로 나타낼 수 있다. 이 용선 확률은 앞에서 구한 유효 용선 벡터와 함께 지문 이미지의 개선에 있어서 중요한 역할을 한다.

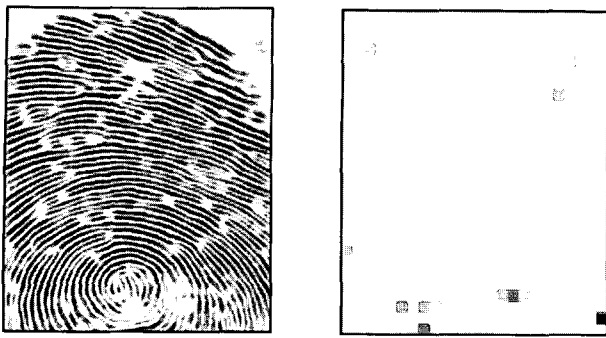
$$p(i, j) = m_{left}(i, j) + m_{right}(i, j) + K_0 r(i, j) \quad (8)$$

$$p(i, j) = \sum_{u=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} \sum_{v=j-\frac{N}{2}}^{j+\frac{N}{2}} K(u, v) r(u, v) \quad (9)$$

8) *Noise Reduction*: 지문 이미지에서 잡음 점 주변의 유효 용선 벡터는 그 점의 중심으로 향하는 구조로 배치되므로 이를 이용하여 그 점의 중심을 쉽게 찾아내어 그 점을 제거 할 수 있다. 용선 사이의 잡음 점들이 제거 되면 가보 필터링을 통하여 아주 우수한 용선 구조를 찾아낼 수 있다.

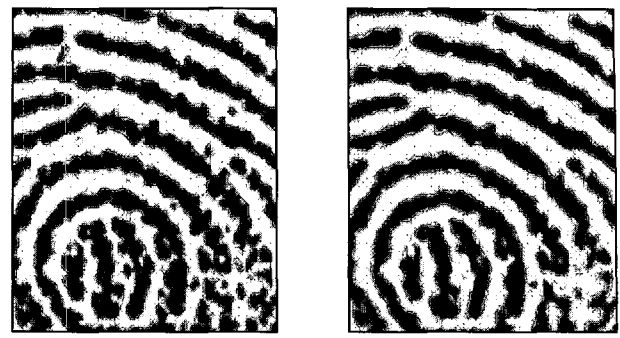
9) *Ridge Emphasis by Filtering*: 유효 용선 벡터와 용선 확률을 이용하면 손상된 용선도 더 뚜렷이 할 수 있다. 지문 이미지의 임의의 화소에서의 이 유효 용선 벡터의 방향은 그 화소가 속하는 영역의 부분적인 용선 방향에 수직이다. 따라서 유효 용선 벡터의 변화는 용선의 방향 예측에 아주 중요한 단서이다. 또한 유효 용선 벡터는 속성상 화소가 속하는 용선에서 화소의 용선이 중심에서 이탈한 정도를 나타내기 때문에 그 용선을 명확히 하기 위한 용선값의 보정에 이용 될 수 있다. 모든 지문 이미지에서 용선의 임의의 화소가 최대의 용선 확률값을 가질 때 이 화소의 좌측과 우측의 용선 벡터는 정반대의 방향으로 향하는 거의 같은 스칼라 값을 가진다. 또한 이때의 유효 용선 벡터는 거의 제로가 된다. 이와 반대로 골의 최하점에서는 용선 확률값과 유효 용선 벡터가 거의 제로가 된다. 따라서 용선 확률을 이용하여 용선을 강조하면 용선과 골이 명확하게 구분 되며 결과적으로 가보 필터링에서 단점이 인근의 용선에 불거나 땀구멍에 의하여 용선이 끊어 지는 것을 막아 준다.

10) *Compensation of Orientation and Frequency*: 그림 6(a)는 그림 2(a)의 원이미지에 대한 유효 용선 벡터



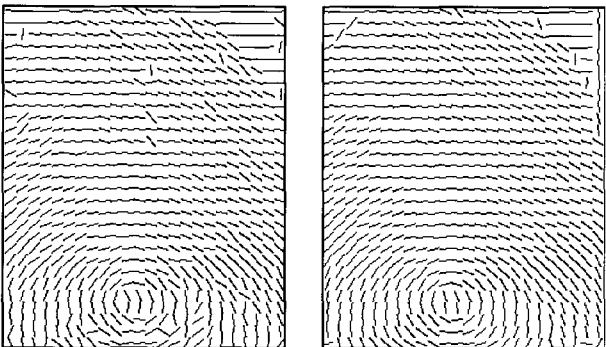
(a)스칼라 값 (a)Scalar  
(b)주파수 차이량 (b)Frequency difference

그림 6. 융선 주파수의 차이량  
Fig. 6. Difference of ridge frequency.



(a)기존 알고리즘 (a)Conventional  
(b)제안된 알고리즘 (b)Proposed

그림 8. 잡음 제거 전후의 확대이미지  
Fig. 8. Extended image.



(a)기존 알고리즘 (a)Conventional  
(b)제안된 알고리즘 (b)Proposed

그림 7. 방향성 추출성분의 개선  
Fig. 7. Improvement of ridge orientation.



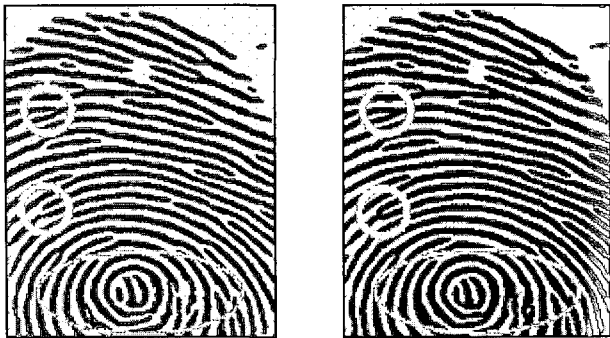
(a)적용전 (a)Conventional  
(b)적용후 (b)Proposed

그림 9. 제안된 방향 지향성 필터 적용결과  
Fig. 9. Effect of directional filter.

의 스칼라 값을 이미지화 한 것이다. 그림 6(b)는 제안된 방향 지향성 필터를 적용한 후에 보정된 융선 주파수의 차이량을 보여 준다. 검은색은 그 영역에서 주파수가 보상된 상대적인 양이 큰 것을 의미한다. 그림 2와 그림 6에서 보는 바와 같이 복원가능한 영역에서 지역적인 융선의 방향과 주파수 추정에 많은 에러가 포함된다. 또한 특징점 부근에서 이들의 급격한 변화를 보정해야 가보 필터링에서 융선 구조나 특징점의 왜곡을 최소화 할 수 있다. 가보 필터링이 특징점 부근에서 급격하게 휘어지는 융선을 제대로 찾아내지 못하는 것은 특징점 부근에서의 융선의 방향과 주파수를 정확하게 추정 할 수 없었기 때문이다. 앞에서 기술한 단계8과 9에서 이미 잡음이 제거되었고 유효 융선 벡터와 융선 확률을 이용하여 융선이 명확하게 강조 되었다. 따라서 융선의 방향과 주파수는 정확하게 추출 될 수 있다. 그림 7(a)는 그림 2(a)의 원 이미지에 대하여 기존의 알고리즘을 적용한 지역별 융선 방향을 나타내고 그림 7(b)는 제안된 방향지향성 필터를 적용한 후에 융선 방향이 정확히 추정되는 것을 보

여주고 있다. 지문의 가장자리 경계면에서는 융선들이 갑자기 끝나기 때문에 융선방향이 잘못 추정되었지만 이는 지문인식에 영향을 미치지 않는다.

그림 8(a)는 잡음이 제거되기 전의 지문 영상을 확대한 것이고 그림 8(b)는 제안된 방향 지향성 필터를 적용한 후의 지문 이미지를 확대한 것이다. 융선 사이의 잡음 점들이 제거되고 융선 구조가 향상된 것을 볼 수 있다. 그림 9(a)는 그림 2(a)과 같은 원 이미지이며 그림 9(b)는 제안된 방향 지향성 필터를 적용한 후에 융선 사이의 잡음 점이 제거되고 융선 구조가 명확하게 보상되었음을 보여준다. 특히 코어(Core) 부근에서 융선이 명확하게 강조되었음을 볼 수 있다. 그림 10(a)는 그림 2(a)의 원 이미지를 기존의 알고리즘으로 처리한 후 가보 필터링 한 것이고 그림 10(b)는 제안된 방향 지향성 필터를 적용하여 가보 필터링 한 것이다. 지문의 코어(Core) 주변을 보면 융선이 연결되었음을 보여 준다. 이는 잡음 점이 제거되고 융선이 보상된 결과이다.



(a) 기존 알고리즘  
(a) Conventional

(b) 제안된 알고리즘  
(b) Proposed

그림 10. 가보필터링 결과  
Fig. 10. Gabor filtering.



(a) 기존 알고리즘  
(a) Conventional

(b) 제안된 알고리즘  
(b) Proposed

그림 11. 세선화 결과  
Fig. 11. Thinning.

그림 11은 그림 10의 두 영상을 세선화 한 것을 나타낸 것이다. 좌측은 기존의 알고리즘으로 처리한 것이고 우측은 제안된 이미지 향상 알고리즘으로 처리하여 세선화 한 것을 나타낸 것으로 원안에서 개선된 차이를 볼 수 있다.

### III. 실험결과

지문 시스템의 정확도는 지문이미지 전처리, 특징점 추출 및 가짜 특징점 제거에 의하여 크게 좌우된다. 물론 지문센서의 성능이나 정합도 기준에 따라 지문 인식의 성능이 달라지겠지만 이들은 본 논문이 다루는 주제를 벗어난다. 또한 특징점 추출도 더 이상 이슈가 되지 못한다. 실험에서는 특징점 추출 및 가짜 특징점 제거를 제외한 제안된 지문인식의 전처리의 성능을 측정한다. 따라서 실험에서는 두 특징점 사이의 특징점의 종류, 특징점이 속한 융선 각도, 특징점 간의 거리가 모두

일치할 때 두 특징점은 정합함을 의미하는 것으로 정의한다. 이들 각각에 대한 상대적 중요도는 배제한다. 두 융선 각도와 특징점 간의 거리는 지문 이미지 고유의 주파수에 따라 정해진 허용오차 범위 이내에 있을 때 정합함으로 판정한다. 특징점 종류에 관해서는 비교하려는 두 특징점 모두 단점 이거나 분기점이어야 그 종류가 정합하는 것으로 한다.

제안된 알고리즘의 검증을 위해서 본 논문에서는 서로 다른 두 개의 지문데이터 그룹을 이용하여 기존의 알고리즘(TGF)<sup>[1]</sup>과 제안된 전처리 알고리즘의 성능을 평가하였다. 첫 번째 방법은 423dpi, 160x192 픽셀의 지문센서시스템<sup>[12]</sup>을 이용하여 직접 추출된 지문이미지를 이용한 것이고 두 번째 방법은 IEEE 표준 공인 지문이미지 데이터인 FVC2002<sup>[13]</sup>의 DB3를 이용하였다. 첫 번째 실험에 사용된 데이터는 10사람으로부터 각각 5번씩 채취한 50개의 지문 이미지를 사용하였다. 이 실험용 지문 중에서 임의의 한 사람의 지문 5개 중 하나를 등록한 후 나머지 4개를 인증하는 방법으로 한 사람의 다른 지문 5개 내에서 20번의 실험을 실시하였다. 임의의 두 지문 이미지 사이에서는 교대로 한 번씩 등록되면서 동일하지만 반대로 인증 실험이 실시된다. 동일한 방법으로 10사람의 지문을 번갈아 가며 200번의 실험을 실시하였다. 그림 12는 제작된 지문 알고리즘 테스트 보드로서 용량형 반도체방식의 지문 인식센서를 탑재하고 있다.

두 번째 실험은 FVC2002의 DB3의 이미지를 이용하여 개선 전(not-filtered)과 제안된(filtered) 알고리즘을 각각 수행하였다. 알고리즘의 수행결과 두 가지 지문 이미지 데이터 그룹에 대한 정합도 분포는 그림 13과 14와 같이 Receiver Operating Characteristic(ROC) 곡선으로 나타났다. ROC 곡선은 0에서 1까지의 오인식률(FAR: False Accept Rate) 대비 정인식률(GAR: Genuine Accept Rate)를 나타낸다. 양쪽의 그림에서 아래쪽 곡선은 기존의 알고리즘(TGF)<sup>[1]</sup>의 결과를 나타내고 위쪽 곡선은 방향성 필터가 적용된 새로운 전처리 알고리즘을 적용한 결과를 나타내고 있다. 실험결과 용량성 반도체 지문센서로부터 얻은 이미지는 FAR 0.1%에 대하여 GAR이 기존 알고리즘에서 90%에서 제안된 알고리즘은 97%로 인증율이 향상되었음을 나타내었다. 또한 FVC DB에서는 인증률의 향상이 더욱 높아져 GAR이 81%에서 91%를 보여 지문센서의 결과보다 더욱 향상됨을 나타내고 있다.

실험 결과를 볼 때 본 논문에서 제안한 유효 융선 백

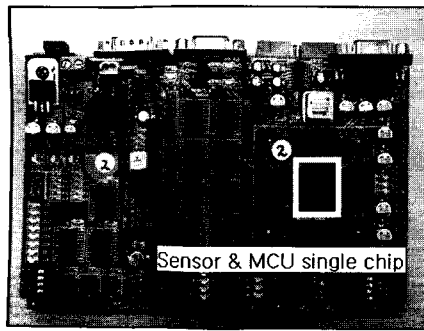


그림 12. 지문알고리즘 테스트보드  
Fig. 12 Test board.

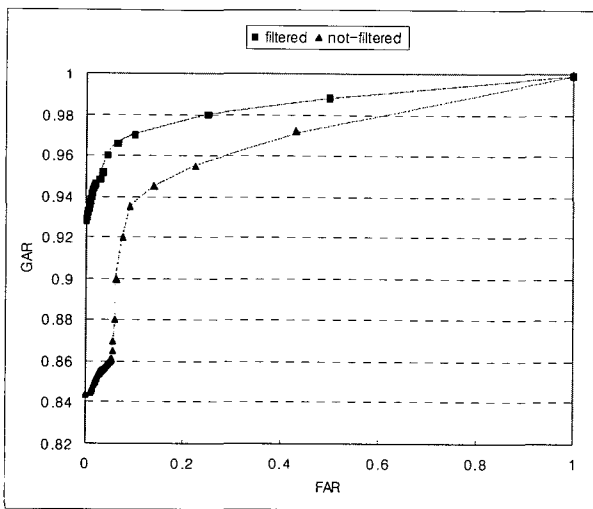


그림 13. 반도체센서추출 이미지에 대한 ROC 결과  
Fig. 13. ROC related to the capacitive sensor DB.

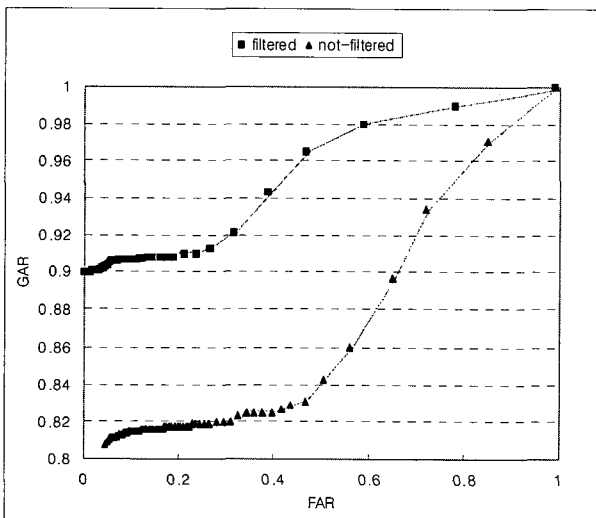


그림 14. FVC2002 DB3 이미지에 대한 ROC 결과  
Fig. 14. ROC related to the FVC2002 DB3.

터와 융선 확률을 이용한 지문 이미지 전처리 방법은 품질이 낮은 지문 이미지에서 기존의 방법보다 상대적으로 좋은 성능을 보인다. 이제까지 낮은 품질의 지문 이미지

에서 인식을 향상이 항상 해결하기 어려운 문제점이었음을 생각할 때 제안하는 알고리즘이 지문 인식의 전반적인 인식을 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

#### IV. 결 론

융선 구조가 불명확하고, 융선 사이에 잡음 점들이 많이 포함되어 있는 지문 이미지는 특징점 왜곡이 없이 정확히 추출하기가 어려울 뿐 아니라 융선의 지역적 방향도 왜곡되는 경우가 많다. 이러한 지문은 그 분류 과정에서 다른 종류로 인식되기도 한다. 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 먼저 지역적인 융선 방향을 추정한 후에 이 추정된 융선 방향을 이용하는 방향 지향성 필터를 제안한다.

본 논문에서 제안한 기법은 기본적으로 물리학의 만유 인력의 법칙을 지문인식 알고리즘에 새롭게 적용한 것이다. 지문의 융선값을 질량값으로 바꾸어 생각하면 융선간 인력과 각 화소의 이동도의 차이로 인하여 강한 유효 융선값을 가진 화소가 주변의 작은 잡음 점들을 끌어 당겨 흡수해 버리며 지문의 융선은 스스로 명확한 융선으로 정리가 된다. 특징점 추출 알고리즘은 세션화된 이치화상에서 특징점을 추출하고 그리고 가짜 특징점도 제거한다. 본 논문에서는 기존의 알고리즘단계와는 달리 유효융선 값과 유효융선 벡터를 추출하고 융선 가능성 확률을 추출하여 제안된 새로운 이론을 구현하였다.

제안된 알고리즘의 검증을 위해서 본 논문에서는 서로 다른 두 개의 지문데이터 그룹을 이용하여 기존의 알고리즘(TGF)<sup>[1]</sup>과 제안된 전처리 알고리즘의 성능을 평가하였다. 첫 번째 방법은 423dpi, 160x192 픽셀의 지문센서시스템<sup>[12]</sup>을 이용하여 직접 추출된 지문이미지를 이용한 것이고 두 번째 방법은 IEEE 표준 공인 지문 이미지 데이터인 FVC2002<sup>[13]</sup>의 DB3를 이용하였다. 실험 결과 용량성 반도체 지문센서로부터 얻은 이미지는 FAR 0.1%에 대하여 GAR이 기존 알고리즘에서 90%에서 제안된 알고리즘은 97%로 인증률이 향상되었음을 나타내었다. 또한 FVC DB에서는 인증률의 향상이 더욱 높아져 GAR이 81%에서 91%를 보여 지문센서의 결과보다 더욱 향상됨을 나타내고 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] Lin Hong, Yifei Wan, and Anil Jain, "Fingerprint



- Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 20, No. 8, pp. 777-789, August 1998.
- [2] Anil K. Jain, Salil prabhakar, Lin Hong and Sharath Pankanti, "Filterbank-Based Fingerprint Matching," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, No. 5, pp. 846-859, May, 2000.
- [3] N. Ratha, K. Karu, S. Chen and A. K. Jain, "A Real-time Matching System for Large Fingerprint Database," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 18, No. 8, pp. 799-813, 1996.
- [4] Chul-Heui Lee, Min-Seob Lee, "An Efficient Fingerprint Image Classification using Singular Points and Gabor filter," *Journal of Telecommunications and Information*, Vol. 7, 2003.
- [5] B. G. Sherlock, D. M. Monro, and K. Millard, "Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering," *Proc. Inst. Elect. Eng. Visual Image Signal Processing*, Vol.141, No.2, pp.87-94, 1994.
- [6] Lin Hong, Anil Jain, Sharath Pankanti, and Ruud Bolle, "Fingerprint Enhancement," *IEEE WACV*, May 1996.
- [7] B. G. Sherlock, D. M. Monro, and K. Millard, "Algorithm for enhancing fingerprint images," *Electronics Letters*, Vol. 28, No. 18, pp. 1,720-1,721, 1992.
- [8] A. K. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-Line Fingerprint Verification," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.
- [9] D. Maio and D. Maltoni, "Direct-Grey Scale Minutiae Detection in Fingerprints," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 1, pp. 27-40, 1997.
- [10] L. Coetzee and E. C. Botha, "Fingerprint Recognition in Low Quality Images," *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 10, pp. 1,441-1,460, 1993.
- [11] C. R. Dyer and A. Rosenfeld, "Thinning Algorithms for Gray-Scale Pictures," *IEEE Pattern Recognition*, Vol. 1, No. 1, pp. 88-89, 1979.
- [12] Seung-Min Jung, Jin-Moon Nam, Dong-Hoon Yang and M. K. Lee, "A CMOS Integrated Capacitive Fingerprint Sensor with 32-bit RISC Microcontroller," *IEEE Journal of Solid-state Circuit*, Vol. 40, No. 8, pp. 1745-1750, 2005.
- [13] URL:<http://bias.csr.unibo.it/FVC2002/>
- [14] X. Tan, B. Bhanu, "Robust fingerprint identification," *IEEE IICIP Conference*, Vol 1, pp. 277-280, 2002.

---

 저 자 소 개
 

---



정 승 민(정회원)  
 제44권 SD편 제3호 참조  
 2007년 4월 현재 한신대학교  
 정보통신학과 조교수