

## 지문의 방향분포를 이용한 개인 인증 시스템

# Personal Identification System Using Directional Distribution of Fingerprints

이 정 문\*  
Lee, Jung-Moon

김 진 성\*\*  
Kim, Jin-Sung

---

### Abstract

Personal identification using fingerprints needs much calculational effort. Generally, there are various methods for fingerprint-based identification. In this paper, an identification method is proposed which is based on direction distribution of fingerprint ridges. An 8-directional Gabor filter bank is used for extracting the feature vector from the given fingerprint. Then, it is compared with those of registered fingerprints for matching. This method is simple and fast to implement because it uses the information of ridge directions only. An experiment on 532 fingerprints from NIST database and some other source shows its usefulness.

**키워드** : 개인인증, 가버필터, 방향분포

**Keywords** : personal identification, Gabor filter, directional distribution

---

### 1. 서론

오늘날의 생체 인식 시스템은 많은 기술적 발전이 이루어졌고, 이를 위한 알고리즘들도 다양하게 개발되어 왔다. 또한 첨단기술의 발전과 어울려져 여러 용도에 도입되어 휴대가 가능한 인식 시스템까지 개발되게 되었다. 하지만 아직도 더 빠르고 더 정확한 인식 시스템이 요구되기 때문에 생체 인식 분야의 알고리즘들은 계속해서 연구되어지고 있다.

여러 생체 인식 시스템 중 지문 인식 시스템은 다른 시스템 즉 홍채인식이나 얼굴인식 등에 비하여 적은 비용으로 일정 수준 이상의 보안시스템을

구현할 수 있고, 그 효과가 증명된 기술이다. 지문 인식 시스템은 지난 100여 년 간 가장 효율적인 개인 식별 수단으로 인정되어 출입관리, 범죄수사, 주민등록증 등 다양한 분야에 사용되어 왔고, 앞으로 더욱 발달되어 사용되어질 것으로 예상된다. 또한 현재 생체 인식분야 중 가장 많이 개발되어진 분야라고 할 수 있을 것이다.

지문 인식이란 특정 지문이 데이터 베이스 내에 있는 지문과 일치하는지 여부를 확인하는 것이다. 이러한 인증 시스템은 전처리 과정과 매칭으로 나누어 질 수 있다. 매칭 과정은 특징점(단점, 분기점)을 찾는 것으로서 특징점 추출 및 특징점들 간의 정확한 매칭에 상당한 연산과 노력을 필요로 한다.

기존의 지문 인식 시스템으로는 특징점, 즉 단점(ending point)과 분기점(bifurcation)에 기초한 방법이 있다[2]

---

\* 강원대학교 전기전자공학부 교수, 공학박사

\*\* 강원대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정

이 방법은 지문의 전체(global) 정보를 이용하기 때문에 지문의 개별성과 유일성을 유지시켜 주는 여러 가지 특이점(minutiae)을 이용하여 지문인식에 사용한다.

ANSI(American National Standards Institute)에서는 특이점을 끝점(ending), 분기점(bifurcation), 세갈래로 융선과 교차점(trifurcate-crossover), 그리고 미지점(undetermined points)으로 분류한다 [6].

그러나, 잡음과 지문의 변형에 매우 민감하고, 흠터, 상한 지문, 이물질 등에 의하여 가짜 단점과 가짜 분기점이 생길 수 있어서 센서에서 지문 획득시 지문의 변형에 취약한 점이 있다. 또한 특징으로 잡은 특이점의 개수에 따라 전반적인 지문의 특징을 정확히 표현하지 못할 수도 있다는 단점이 있으며, 이러한 단점을 극복하기 위해서는 충분히 많은 특이점을 찾아 그 위치, 개수, 종류에 따라 지문을 인식해야 한다. 이러한 과정은 지문의 상태에 따라 다르지만 손실이 적은 특징점을 얻기 위해서는 많은 양의 전처리 과정을 필요로 하게 되고, 인증을 위한 특이점의 개수에 따라 지문을 표현하는 데이터의 양은 증가하게 된다. 같은 이유로 저장된 지문의 특징점을 매칭시키기 위한 접근방법에 있어, 복잡한 계산과 다양한 개수의 특징점 패턴을 정렬하는 것이 요구되어 진다.

또한 지문의 땀구멍(hole)을 이용한 방법이 있다. 지문 융선에서 땀구멍의 위치는 개인에 따라 다른 정보를 담고 있어 충분히 인식에 사용되어 질 수 있다. 그러나 이 정보를 사용하기 위해서는 지문이미지가 1,000dpi 정도로 획득되어 질 수 있는 센서를 필요로 하기 때문에 고해상도를 요구하는 문제를 해결할 수 있어야 한다[5].

본 논문에서는 위에서 제시한 문제점을 해결하고 좀더 간단히 지문 인식을 하기 위해서, 지문의 방향분포를 이용하여 지문 인식 과정을 구현해 보았다. 지문의 전처리 과정은 잡음을 제거하는 기초 작업 과정으로 축소하고 가버 필터에 지문을 통과시켜 융선의 방향성분을 추출하여 지문의 특징벡터를 생성하였다. 특징벡터를 생성하는데 사용된 지문은 NIST(National Institute of Standard and Technology)의 지문 데이터와 따로 수집되어진 지문 이미지를 사용하였다. 전처리 과정을 축소하고 방향성분을 추출하여 특징벡터를 만들었기 때문에, 계산량을 상당히 줄일 수 있었다. 또한 특징벡터(feature vector)의 크기를 최소화하였고, 추출된 특징 벡터를 지문의 유형별로 분류하여 지문 인식 과정에 이용하였기 때문에, 연산량을 줄일 수 있었다

## 2. 지문의 유형

지문의 유형은 Arch, Left Loop, Right Loop, Whorl, Double Loop, Tent Arch 등으로 분류한다. 이런 분류는 지문의 융선이 이루는 형태에 따라 나누어진 것인데 지문의 중심점(core)과 삼각주(delta)가 이루는 구조로 분류되는 것이다. 이 분류에 따라 특성이 다르게 나타나므로 시스템을 구현하는데 있어, 지문의 유형에 따라 분류를 하고 있다.

## 3. 전처리

지문 융선의 방향성분만을 추출하여 특징벡터로 사용하기 때문에 특징점을 이용한 방법에 비하여 비교적 간단한 전처리 과정만으로 원하는 결과를 유도해 낼 수 있다.

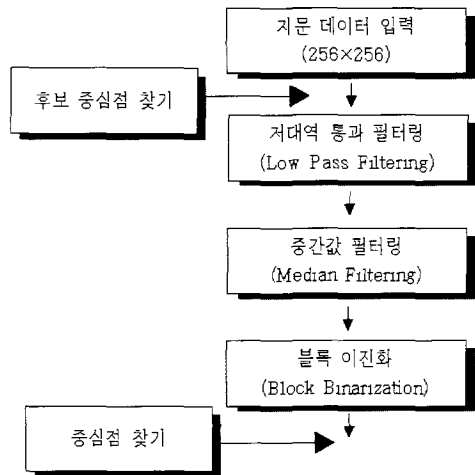


그림 1 전처리 과정 순서도

그림 1은 본 논문에서 사용한 전처리 과정의 순서도를 나타내고 있다. 전처리 과정의 목적은 입력 지문의 잡음을 제거함과 동시에 이진 영상(binary image)으로 바꾸어 주고, 중심 영역을 설정하는 것이다. 전처리 과정 중 저대역 통과 필터(lowpass filter)와 중간값 필터(median filter)를 통하여 지문 영상에 존재하는 고주파 잡음을 제거한다. 다음 과정으로, 국부적인 명암변화를 보정하기 위하여 블록 이진화(block binarization) 과정을 수행하도록 하였다.

저대역 통과 필터는 가우시안(Gaussian) 필터를 이용하여 지문 영상의 급격한 명암변화를 완화시키고, 가우시안 필터로 제거하지 못한 임펄스(impulse) 형태의 잡음을 3x3 중간값 필터를 이용하여 제거하도록 하였다. 이진화 과정은 지문의 정보를 추출할 수 있는 가장 기초적인 작업이 된다

그러므로 보다 나은 지문 이미지를 얻기 위한 많은 노력이 필요하다. 지문 이미지의 명암은 이미지 전체에 걸쳐 일정하지 않다. 따라서, 본 논문에서 제시하고 있는 이진화 방법은 국부적인 명암 변화를 고려하여 설계하였다. 지문 영상은 선과 배경이 이루는 명암대비가 심하므로 임계치(threshold)는 전체 명암의 평균치보다 낮게 설정되는 것을 고려하여 가중치( $\alpha$ )를 조절하여 최적의 이진화 영상을 얻을 수 있도록 하였다. 먼저 식 (1)과 같이 적절한 기본 임계치를 두어 확실한 흑색과 흰색을 미리 변환한 다음, 식 (2)에 따라 블록 단위로 이진화 과정을 수행한다.

$$I(x, y) = \begin{cases} 255, & I(x, y) \geq \text{White threshold} \\ 0, & I(x, y) < \text{Black threshold} \\ I(x, y), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$T(x, y) = \frac{1}{MB^2} \sum_u \sum_v I(x+u, y+v) - \frac{MB-1}{2} \leq u, v \leq \frac{MB-1}{2} \quad (2)$$

$$\text{BinaryI}(x, y) = \begin{cases} 255, & I(x, y) \geq \alpha T(x, y) \\ 0, & I(x, y) < \alpha T(x, y) \end{cases}$$

$T(x, y)$  : 점  $(x, y)$ 를 중심으로 한 블록의 평균값  
 $MB$  : 블록 크기

$\alpha$  : 기준 임계치,  $0 < \alpha \leq 1$

$\text{BinaryI}(x, y)$  : 점  $(x, y)$ 의 이진화 값



(a) (b)  
 그림 2 블록 이진화 결과. (a)입력 영상  
 (b)이진화 영상

그림 2는 위에서 제시한 방법에 따라 수집된 지문 이미지를  $7 \times 7$  크기로 블록 이진화한 결과 영상이다. 지문의 형태는 특정 영역을 중심으로 회전 또는 일정한 패턴을 유지하고 있다. 그러므로 그 특정영역을 찾아내서 중심점으로 삼고, 이 특정영역을 바탕으로 일정 부분의 관심 영역만 재구성하여 이후 가버 필터를 이용한 특징 벡터 추출에 사용하게 된다.

중심점의 추출은 지문의 방향성을 이용하여 구하게 된다. 입력 이미지에 수평 및 수직 방향성을 구하기 위한 필터를 적용하였다. 이 과정에서 사용

한 필터는 sobel 필터의 수직 마스크와 수평 마스크를 각각 사용하였다. 필터링후 나온 데이터를 수평축과 수직축으로 합한다. 이 1차원데이터에서 성분이 뚜렷이 나타나는 곳을 찾고, 수평축과 수직축이 만나는 곳을 후보 중심점으로 하였다. 이 후보 중심점을 중심으로 일정 영역을 관심영역으로 잡고, 이 영역에 대해 같은 방법으로 중심점을 선택하게 된다. 실험결과 같은 종류의 지문에서 유사한 위치에 중심점이 나타나고, 같은 지문에 있어서 중심점이 크게 벗어나지 않음을 확인하였다. 또한 그림3에서 보면 알 수 있듯이 중심점으로 강해진 점이 중심영역에서 크게 벗어나지 않는다.



(a) (b) (c)  
 그림 3 중심점 추출 : (a) 후보 중심점 추출  
 (b) 중심점 추출 (c) 일정영역 분리

#### 4. 가버 필터

특정점을 이용한 지문 인식에서도 가버 필터가 사용된다. 그러나, 그 경우에는 융선(ridge)과 골(valley)의 구조를 강하게 하여 융선에서 생기는 단점과 분기점을 명확하고 깨끗이 하기 위하여 사용된다[1][3][4]

본 논문에서는 지문의 방향성 추출을 위해 가버 필터를 사용하고 있는데, 이 가버 필터는 가버 함수(Gabor function)로 정의되어지는 필터로, 이 함수는 가우시안(Gaussian) 함수에 의해 변조된 사인(sine) 함수로 정의되어진다. 가버 필터는 가버 함수를 이용하여 만들어지는 위상이 다른 여러 개의 필터로 구성된다.

이 필터는 공간과 주파수 특성을 동시에 갖고

있어 공간과 주파수 영역에서 최적의 결합 분해능(joint resolution)을 갖는다

가버 필터는 이 특성을 이용하여 영상 내의 결분할(texture segmentation)을 통해 지문 인식, 얼굴 인식, 홍채 인식 등 여러 분야에 사용되어 지고 있다 가버 필터는 공간 영역에서 특정방향 정보를 추출할수 있다. 이 특성을 이용하여 필터 뱅크(filter bank)를 형성할 수 있으며, 이는 곧 주파수 영역에서 특정 주파수 대역을 통과하는 필터(bandpass filter)들의 집합을 나타낸다. 또한, 통과 대역은 만들어지는 필터 뱅크의 수에 따라 여러 개의 채널(multi-channel filter)로 나누어지게 된다. 가버 필터가 이루는 통과 대역은 지문의 융선 주파수를 기준으로 설정된다.

따라서 가버 필터를 사용하여 지문의 방향성을 추출하기 위해서는 지문이 이루는 융선 주파수를 구해야 한다. 하지만 이러한 과정을 주기적으로 반복하는 것은 시스템 운영에 큰 부하를 주게 되며, 또한, 대부분의 지문의 융선은 유사한 대역의 주파수를 갖게 되므로 정규화된 필터 뱅크를 생성하여 두고 이를 사용하도록 한다. 다음은 가버 함수의 표현식이다.

$$h(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{jw_0x} \quad (3)$$

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi \sigma_x \sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} e^{jw_0(Lx + Vy)} \quad (4)$$

식 (3)은 일차원 가버 함수의 표현이고, 식 (4)는 이차원 가버 함수의 표현이다. 실제로 가버 필터에서 쓰이는 함수는 식 (4)의 이차원 함수가 되고, 이 함수식은 실수영역과 허수영역의 두 개의 함수형태로 나누어 질 수 있다. 본 논문에서는 실수 영역의 함수식을 이용하여 필터를 설계하고 지문의 방향성 추출에 사용하였다. 위 함수식을 적합한 필터식으로 변환하면 다음과 같다.

$$H(x, y, \theta) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_\theta^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\sigma_y^2}\right)\right\} \cos(2\pi f x_\theta) \quad (5)$$

$$x_\theta = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad y_\theta = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

다음은 필터의 전달함수 식이다

$$H(u, v, \phi) = 2\pi \sigma_x \sigma_y \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{(u_\phi - u_0)^2}{\sigma_u^2} + \frac{(v_\phi - v_0)^2}{\sigma_v^2}\right)\right\} + 2\pi \sigma_x \sigma_y \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{(u_\phi + u_0)^2}{\sigma_u^2} + \frac{(v_\phi + v_0)^2}{\sigma_v^2}\right)\right\} \quad (6)$$

$$u_\phi = \frac{2\pi \cos \phi}{f}, \quad v_\phi = \frac{2\pi \sin \phi}{f}$$

$$u_0 = u \cos \phi + v \sin \phi, \quad v_0 = -u \sin \phi + v \cos \phi$$

시스템 운영의 부하를 줄이기 위한 방편으로 본

논문에서는 정규화된 가버 필터 뱅크를 생성하여 사용하고 있다. 가버 필터 뱅크의 생성순서는 다음과 같다. 우선 사용하기 위한 필터의 크기를 설정한다 본 논문에서는 15x15 마스크 크기로 설정하였다. 필터 뱅크를 위한 채널의 개수는 사용 목적에 따라 알맞게 설정한다. 본 논문에서는 8 방향으로 설정하였다. 채널의 개수는 입력 이미지를 일정 간격으로 분할하는 것을 정하게 되는데, 본 논문에서 사용한 8방향으로 설정하게 되면, 22.5°의 간격으로 나누어지게 된다.

### 5. 특징벡터의 생성

지문의 영상에서 일정 방향으로 구성되는 블록을 뽑아내어 주파수 특성을 살펴보면, 지문의 융선의 형성 방향에 따라 추출된 블록의 주파수에 따른 에너지 분포가 유사한 방향으로 형성되게 된다.

또한 가버 필터의 주파수 특성에서도 각 채널에 할당된 방향에 따라 형성되는 통과 대역은 원점을 중심으로 형성된 방향으로 대칭 되는 구조를 가지게 되므로 필터 처리 후 필터의 주파수 특성과 유사한 방향 이미지만이 추출되게 된다.

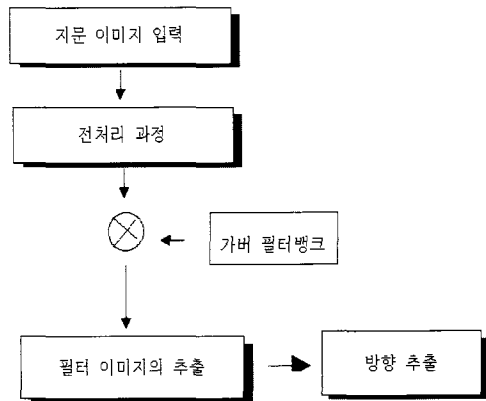


그림 4 방향 추출 순서도

그림 4는 전처리 과정 이후 나온 지문 이미지와 형성된 가버 필터 뱅크 연산을 하여 방향을 추출하는 과정을 간략하게 순서도로 나타낸 것이다.

다음 그림 5는 전처리 과정 이후의 이미지를 가버 필터를 통과시켜 구해진 이미지이다. 그림과 같이 구해진 8개의 이미지에 각각 기울기를 구하기 위한 연산을 수행한다

위치 (i, j)에서 이미지 f의 경사도(gradient)는  $\nabla f(i, j) = \left[ \frac{\partial f}{\partial x}(i, j), \frac{\partial f}{\partial y}(i, j) \right]$ 로 정의된다. 이는 f의 최대 변화율 방향을 가리키고 있다. 본 논문에서는  $\nabla f$ 를 특징벡터를 취하는 수단으로 사

용하고 있다

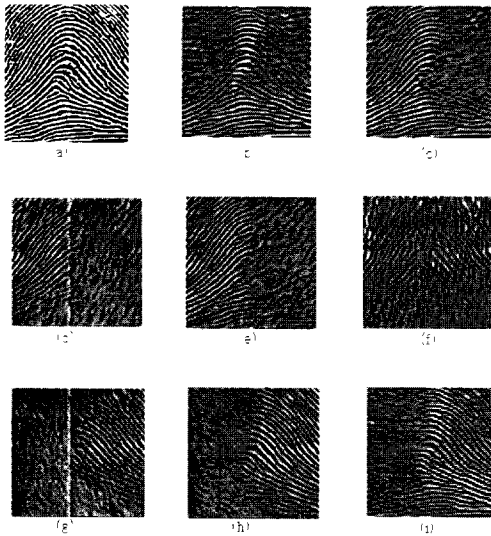


그림 5 가버 필터링 이미지 : (a)관심 영역 (b)~(h)C. 22.5°, 45°, 67.5°, 90°, 112.5°, 135°, 157.5° filtered image

필터링된 8개의 이미지에의 모든 픽셀에서 추출하는  $\nabla f$ 를 특징 벡터로 사용할 수 있다 그러나, 이미지에서 추출되는 모든  $\nabla f$ 를 특징벡터로 사용하기에는 시스템 운영에 커다란 부하를 주므로, 논문에서는  $20 \times 20$  블록으로 나누어 블록단위로  $\nabla f$ 의 대표값을 취하여 사용하였다

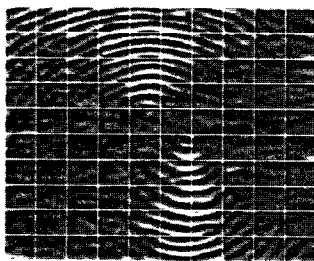


그림 6  $20 \times 20$  블록으로 나눈 모습

그림 6은 가버 필터를 통과하여 나온 이미지를  $20 \times 20$  블록으로 나눈 결과를 보여 주는 것이다. 블록을  $20 \times 20$ 으로 나눈 이유는 너무 큰 값이나 작은 값을 취할 경우 블록내의 경사도의 대표값을 취하는데 있어, 대표값의 오차 범위가 커질 수 있으므로 여러 크기의 블록을 사용해본 결과, 가장 적절한 크기라고 판단되어서이다. 특징 벡터로 블록단위의  $\nabla f$ 의 대표값을 취하는 방식은, 위치  $(i, j)$

에서 구한  $\nabla f$ 의 x축과 y축의 방향정보를 식 (7)로, 대표방향을 경한다

$$\begin{aligned} \alpha(i, j) &= \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{\partial f}{\partial x}(i, j)}{\frac{\partial f}{\partial y}(i, j)} \right] \\ \phi_x(i, j) &= \cos(2 \times \alpha(i, j)) \\ \phi_y(i, j) &= \sin(2 \times \alpha(i, j)) \end{aligned} \quad (7)$$

$\phi_x, \phi_y$  확대된 방향정보의 x, y축 방향 성분

식 (8)과 같이 구해진 성분은 블록별로 x,y축에 대한 평균이 구해지고 최종적으로 사용하게 되는 특징벡터  $v$ 를 추출해낼수 있게 된다.

$$\begin{aligned} v_x &= \sum_{i=0}^w \sum_{j=0}^w \cos 2 \phi_x \\ v_y &= \sum_{i=0}^w \sum_{j=0}^w \sin 2 \phi_y \\ v &= \frac{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}{w^2} \quad w: \text{Blocksize} \end{aligned} \quad (8)$$

이러한 과정을 통하여 추출되는 특징 벡터는 총 8개의 이미지 즉,  $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 로 필터링 된 이미지에서 81개의 특징벡터가 추출되어  $8 \times 81(648)$  개의 값이 특징벡터를 구성하게 된다

## 6. 실험 결과

실험은 NIST의 지문 데이터와 따로 수집되어진 지문 이미지를 합하여 532개의 지문을 입력시켜 각각의 데이터를 그룹별로 저장한 뒤, 임의의 지문을 입력시켜 같은 지문을 찾아내는 방식으로 진행하였다. 판정은 두 지문의 유사도를 비교하는 방식으로 다음의 식 (9)를 사용하였다

$$D_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2\delta^2} d_{ij}\right) \quad (9)$$

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^n (x_i(k) - x_j(k))^2$$

n 특징벡터  $x_i$ 의 길이

$x_i(k)$  :  $x_i$ 의 k번째 성분

$d_{ij}$   $x_i$ 와  $x_j$  사이의 거리

$\delta$  스무딩 계수

$D_{ij}$  유사도

동일한 벡터의 경우 두 특징 벡터 사이의 유사도는 '1' 이 되며, 상관성이 전혀 없는 서로 직교하는 특징 벡터 사이의 유사도는 '0' 이 된다. 따

라서 유사한 지문일수록 유사도는 '1'에 가깝게 나타나게 된다.

그림 7은 동일인으로부터 획득한 2개의 지문중 하나를 입력 지문으로 사용하고, 나머지 하나를 다른 사람의 지문 71개와 함께 비교 데이터로 사용하여 테스트한 결과이다. 방식은 위에서 제시한 대로 입력 지문과 데이터베이스 내의 지문들의 특징 벡터 사이의 유사도를 비교 판단하는 것이다. 입력 지문과 가장 유사하게 나타나는 지문은 17번째 지문이고, 유사 패턴들에서 그에 미치지 못하는 못하지만, 높은 유사도를 나타내는 지문들도 있음을 볼 수 있다.

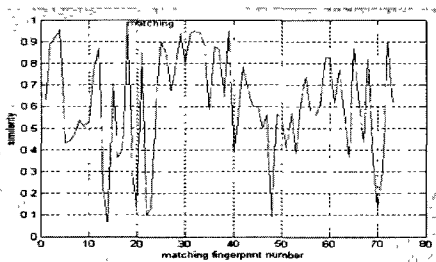


그림 7 입력 지문 매칭

이는 72개의 데이터가 그룹별로 분류되지 않은 상태이기 때문이다

본 논문에서는 유사도가 0.97 이상일 경우 동일인의 지문으로 판단하여 실험을 하였다. 이 유사도의 임계치를 조정하면 FAR(false acceptance rate)과 FRR(false rejection rate)을 어느 정도 적정 수준으로 조정할 수 있게 된다. 그러나 본 논문에서는 임계치를 0.97로 고정하고, 식 (9)의  $\delta$ 를 조정하여 FAR과 FRR을 적절한 수준으로 설정하였다.

표 1 실험 결과

입력지문(532)	인식	오인식
이미지	436	96
비율	81.5%	18.5%

표 1은 532개의 지문을 대상으로 하여 인식성능을 실험한 결과이다. FAR을 0%로 할 때의 인식률로, 바르게 인식되지 않은 18.5%의 지문들은 중심점이 너무 외곽에 위치하여 제대로 된 중심영역을 찾지 못하거나, 지문의 음선이 불어 필터링을 하여도 음선을 정확히 찾지 못하는 경우, 지문의 회전이나 다른 유형으로 분류되는 경우 등이다. 지문 이미지의 상태를 보완해주는 작업이 이루어진다면 좀더 나은 인식률을 얻을 수 있을 것으로 판단한다. 본 논문에서 제안한 시스템의 장점은 지문의

음선만을 이용하여 전체적인 작업을 진행하므로 작업의 진행속도와 계산이 빠르고 간단하다는 것이 있다.

## 7. 결론

본 논문에서는 지문의 방향성분을 바탕으로 한 지문 인식 시스템의 구현하기 위한 방법을 제시하였다. 우선 인식하고자 하는 지문을 입력받아 특징 벡터를 생성하고, 특징벡터를 바탕으로 지문의 유형을 분류한 뒤, 기존의 유형별로 구분되어 있는 데이터 베이스에서 같은 유형의 지문들과 특징벡터를 비교 검색하여 유사도를 판정한다. 가장 가깝다고 판단된 특징벡터와의 유사도가 일정 수준을 넘어서면 인증 성공으로, 그렇지 못한 경우 실패로 하여 새로운 데이터로 판단하도록 되어 있다. 이 방법은 가버 필터를 이용하여 지문의 음선이 가지는 방향정보만으로 인식을 수행하므로 비교적 매칭이 간단하고, 실행 시간을 단축할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 인식률을 더욱 높이기 위하여 전처리 과정이 보다 보완되어야 할 필요가 있으며, 이 부분에 대한 연구가 좀더 이루어져야 하겠다.

## 참고문헌

- [1] A.K. Jain, S. Prabhakar, and L. Hong, "Filterbank-Based Fingerprint Matching", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.9, No.5, May, 2000.
- [2] A.K. Jain, S. Prabhakar, and L. Hong, "A Multichannel Approach to Fingerprint Classification", *IEEE Trans. Pattern Anal. and Machine Intell.*, vol.21, No.4, pp.348-359, 1999.
- [3] A. Ross, J. Reisman, and A. Jain, "Fingerprint Matching Using Feature Space Correlation", *Appeared in Proc. of Post-ECCV Workshop on Biometric Authentication*, LNCS 2359, pp.48-57, Denmark, June 1, 2002.
- [4] A. Ross, J. Reisman and S. Prabhakar, "Fingerprint Matching Using Minuate and Texture Features", *Inproc. International Conference on Image Processing(ICIP)*, pp.282-285, Oct. 2001.
- [5] Vincent Levesque, "Measurement of Skin Deformation using Fingerprint Feature Tracking", *Department of Electrical and Computer Engineering, McGill University, Montreal*, Nov. 2002.
- [6] G.T. Gandela, P.J. Grother, C.I. Watson,

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집). 제24권 A호, 2004.  
지문의 방향분포를 이용한 개인 인증 시스템

R.A. Wilkinson and C.L. Wilson.  
"PCASYS-A Pattern Level Classification  
Automatic System for Fingerprint".  
*Technical Report NISTIR 5647*. Apr. 1955