

Gabor 필터를 이용한 효율적인 지문분류

심 현 보[†] · 박 영 배^{††}

요 약

지문인식 분야는 크게 지문의 분류(classification)와 정합(matching)으로 연구되고 있다. 분류는 일반적으로 좌제상문, 우제상문, 와상문, 궁상문, 솟은궁상문 등 크게 5종류로 나누며, 특정인의 지문이 어떤 분류에 속하는 지를 결정하는 것은 대형지문 데이터베이스에서 인덱스로 사용하여 매칭 시간의 단축과 정확도를 높여 주는데 있다. 기존의 지문분류는 특이점이라 불리는 핵과 삼각점의 개수 및 위치에 의한 분류방법이 주를 이루고 있는데, 이러한 방법은 지문분류의 정확성이 떨어지고, 특히 품질이 나쁜 지문이나 부분지문 등에서는 분류가 어려워 정확성이 더욱 떨어지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 품질이 나쁜 지문이나 부분지문까지도 방향성과 주파수 선택력이 강한 Gabor 필터의 특징을 이용하여 지문분류의 정확성을 향상시킬 수 있는 효율적인 방법을 제안하고 실험을 통하여 이를 증명하고자 한다.

An Efficient Fingerprint Classification using Gabor Filter

Hyun-Bo Shim[†] · Young-Bae Park^{††}

ABSTRACT

Fingerprint recognition technology was studied by classification and matching. In general, there are five different classifications : left loop, right loop, whorl, arch, and tented-arch. These classifications are used to determine which class an individual's fingerprint belong to, thereby identifying the individual's fingerprint pattern. The result of this classification, which is sent to the large fingerprint database as an index, helps reduce the matching time and enhance the accuracy of fingerprint matching. The existing fingerprint classification method relies on the number and location of cores and delta points called singular points. The drawback of this method is the lack of accuracy stemming from the classification difficulty involving unclear and/or partially-erased fingerprints. The current paper presents an efficient classification method to rectify the problem associated with identifying Singular points from unclear fingerprints. This method, which is based on Gabor filter's unique characteristics for magnifying directional patterns and frequency range selections, improves fingerprint classification accuracy significantly. In this paper, this method is described and its test result is presented for verification.

키워드 : Gabor 필터(Gabor filter), 지문(fingerprint), 분류(classification), 중심점(center point), 핵(core), 삼각점(delta point), 섹터(sector), 노말라이즈(normalize), Gabor 필터링(Gabor filtering)

1. 서 론

지문은 손가락 끝에 있는 융선(ridge)과 계곡(valley)으로 이루어져 있는 주름모양의 형상으로, E. R Henry경[1]이 파생법을 개발한 100여 년 전부터 지금까지 가장 효율적인 개인식별 수단으로 출입관리, 범죄수사, 주민등록증 등 여러 분야에 적용되어 왔다. 최근에는 전자뱅킹 서비스, 전자카드, 보안등의 분야로 그 적용범위가 다양해짐에 따라서 지문인식에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

지문 분류는 지문의 융선과 계곡의 모양 그리고 특이점(singular point)이라 불리는 지문의 핵(core)과 삼각점(delta point)의 개수와 위치에 따라 분류하며, 지문분류에 대한 최초의 과학

학적 연구는 1892년 Galton이 지문을 제상문, 와상문, 궁상문의 3종류로 분류하였고[2], 그 후에 E. R. Henry경이 Galton의 분류에서 제상문을 좌제상문과 우제상문으로 세분화하고 솟은궁상문을 추가하여 5종류로 분류하였다[1].

미시간 주립대에서는 인간의 자연적 지문비율을 (그림 1)과 같이 좌제상문(left loop)이 33.8%, 우제상문(right loop)이 31.7%, 와상문(whorl)이 27.9%, 궁상문(arch)이 3.7%, 솟은궁상문(tented arch)이 2.9%로 분류하고 있다[3]. 우리나라 경찰청이나 미국의 FBI(Federal Bureau of Investigation) 등에서는 범죄수사에 이용하기 위하여 보다 세밀하게 8~12가지 정도로 분류하기도 하는데, FBI 경우는 plain arch, tented arch, radial loop, ulnar loop, plain whorl, central pocket, double loop, accidental whorl등 8가지 분류 이상을 사용하고 있다[4].

특정인의 지문이 어떤 분류에 속하는 지를 결정하는 것은, 지문 분류를 대형 지문 데이터베이스에서 인덱스로 사용할

[†] 중신회원 : (주)와이즈테크 대표이사

^{††} 정 회원 : 명지대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 : 2001년 10월 8일, 심사완료 : 2002년 1월 7일

수 있어 매칭시간을 단축할 수 있기 때문이다. 예를 들면, 좌제상문의 지문은 대형지문 데이터베이스 내에 있는 좌제상문의 지문들하고만 매칭하면 되므로 매칭시간을 단축할 수 있다. 이러한 경우 지문의 분류가 정확하면, 그만큼 지문매칭의 정확성을 높일 수 있는 것이다. 그러나 지문의 융선과 계곡의 모양, 그리고 특이점의 개수와 위치에 따라 분류하는 기존의 지문분류 방법들은, 지문 분류율이 대체로 90% 이하[3, 5, 6]로 정확성이 떨어지며, 특히 품질이 나쁜 지문이나 부분지문은 정확성이 더욱 떨어지는 문제점이 있다.



좌제상문 우제상문 와상문 공상문 솟은공상문
(그림 1) 지문의 종류

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 품질이 나쁜 지문이나 부분지문까지도 방향성과 주파수 선택력이 강하고, 섹터내의 융선 구조로부터 직접 획득한 Gabor feature를 이용하는 지문분류법으로 지문분류의 정확성을 향상시킬 수 있는 효율적인 방법을 제안하고 실험을 통하여 이를 증명하고자 한다.

2. 관련 연구

기존의 지문분류 방법의 알고리즘은 주로 1) 입력된 지문에서 융선의 방향성을 계산하고, 2) 방향성을 가진 지문 이미지를 smoothing하고, 3) 특이점(핵과 삼각점)을 추출한 후, 4) 특이점 개수와 위치로 지문을 분류하고 있다. 이 알고리즘에서 특이점인 핵과 삼각점은 지문의 질이 좋지 않거나 잡음이 많은 지문, 또는 부분지문인 경우에는 추출되지 않는 문제점이 발생한다.

2.1 특이점 위치에 의한 지문의 종류

자연인의 지문은 대체로 (그림 2)에서와 같이 좌제상문은 핵이 있는 loop가 삼각점의 왼쪽에 있고, 우제상문은 loop가 삼각점의 오른쪽에 있으며, 와상문은 두 개의 핵점이 방향 벡터를 따라 직선으로 연결된다. 공상문은 핵과 삼각점이 없고, 제상문과 솟은공상문은 하나의 핵과 삼각점을 가지는데, 특히 솟은공상문은 핵과 삼각점이 수직선으로 연결되어 있다.



(그림 2) 특이점 위치에 의한 지문 종류

2.2 기존의 지문분류 방법

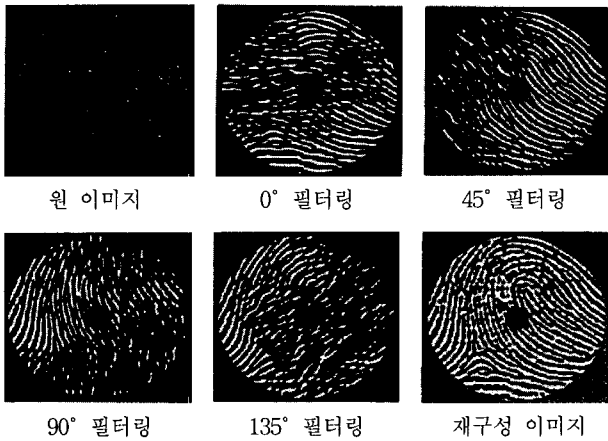
1. C. V. K. Rao[7]에 의하여 제시된 구문론(syntactic) 접근방법은 지문묘사와 분류를 위해 문법의 형식을 사용하며, 이 방법은 특이점의 형태들을 터미널 상징과 연장선의 규칙들로 묘사한다. 터미널 상징은 지문의 이미지 내에 있는 방향성 요소들의 작은 집단들의 조합으로 표현하고, 문법은 각 분류를 정의하며 문장의 분석 실행으로 각각의 새로운 종류로 분류를 하고 있다. 실험에서는 94개의 지문만을 이용하였다.
2. Shelock[2]에 의하여 제시된 hybrid 접근방법은 분류를 위해 두 가지, 또는 그 이상의 접근방법을 결합하여 실험하였으나, 이 방법은 많은 기대감을 주었지만 실험에 대형 데이터베이스를 사용하지 않았다.
3. Gandela[8]에 의하여 제시된 structure-based 접근방법의 향상된 알고리즘은 지문이미지에서 방향 성분을 추정하여 지문을 5가지 종류로 분류하며, 10% rejection과 90.2%의 정확성이 NIST-4에 보고되고 있다.
4. Fitz[9]에 의하여 제시된 frequency-based 접근방법은 지문분류를 위해 지문의 주파수 스펙트럼을 사용하고 있으나 40개의 지문만을 가지고 실험결과를 내어 정확성에 문제가 제기되고 있다.
5. Kamijo[10]에 의하여 제시된 신경망(neural network) 접근방법은 다중 인지방식으로 여러 분류에 속하는 지문들을 인식하기 위해 관련되는 여러 가지 다중인지방식에 의한 흥미 있는 피라미드 구조를 구성하고 있다.
6. Jain[3], Karu[5], Hong[6]에 의하여 제시된 model-based 접근 방법은 분류를 위하여 특이점(핵과 삼각점)의 위치를 이용하고 있다. NIST(National Institute of Standard and Technology) 데이터베이스를 사용한 실험에서 [5]는 85%, [6]은 87.5%, [3]은 90.2%의 정확성이 보고되고 있다. 이 접근방법이 structure-base 접근방법과 함께 기존에 가장 많이 사용되고 있다.
7. Chong[11]은 융선의 기하학적 형태로 지문을 분류하고 있다.

2.3 기존의 Gabor filter-based 지문분류 방법

1. Jain, Prabhakar, Hong은 [3]에서 gray scale 지문을 4개 각도(0°, 45°, 90°, 135°)의 Gabor filter에 통과시켜 (그림 3)과 같은 이미지를 얻은 후, 이를 다시 조합하여 방향성이 강조된 Gabor 특징(feature) 이미지를 얻어 이를 분류에 사용하고 있다. 이 이미지는 원래의 이미지보다 훨씬 융선 구조가 향상된 이미지가 된다. 섹터내의 융선 구조로부터 직접 획득하는 Gabor 특징을 가지고 지문을 분류하고 있으며, 분류시 첫 번째 단계는 K-nearest neighbor 분류자를, 두 번째는 신경망 분류자를 사용하여 90%의 분류정확성을 얻었다.
2. Hong은 [6]에서 융선의 방향추출을 위한 Gabor 필터링 각

도를 6개 각도로 하여, 보다 조밀한 영역으로 분할하여 지문을 분류하는 방법을 제안하고 있다. 이 방법은 지문분류에서 가장 어려운, 품질이 좋지 않은 지문에 대해 보다 강하게 처리하여 90.2%에 정확성을 얻고 있다.

3. C. J. Lee, S. D. Wang[12]은 전 처리 과정을 생략하고 Gabor 필터링 각도를 8개 각도로 하여 강화된 융선에서 코어를 검출하는 방법을 제안하여 90.0%에 정확성을 얻고 있다. 전처리 과정을 생략한 관계로 노이즈 때문에 필터링 각도가 조밀함에도 정확성에서 약간의 손해를 보았다.



(그림 3) Gabor 필터링 이미지 샘플의 그림

2.4 Gabor 필터

Gabor 필터는 시간기능(time function)위에 고정기간(fixed duration) 윈도우(window)와 간격(interval)내에서 주파수 성분을 추출하는 short time fourier-transform(STFT)으로 국부적으로는 움직이지 않으나 전체적으로는 고정적이지 않은 음성 시그널 등에 적용이 적당하다. 시간축의 어떤 점 T에서 STFT 위치 window g(t)와 확장 (extended) 내에서 시그널의 fourier-transform 또는 윈도우의 전개 (spread) 계산식은 다음과 같다.

$$F(\Omega T) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) g^*(t - T) e^{-i\Omega t} dt \quad (1)$$

여기서, window g(t)가 Gaussian일 때 STFT를 Gabor 변환이라 한다.

2D Gabor 필터의 일반적인 공식은 다음과 같다.

$$h(x, y, \theta k, f, \delta x, \delta y) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x\theta k^2}{\delta x^2} + \frac{y\theta k^2}{\delta y^2}\right)\right) \times \exp(i2\pi f x \theta k) \quad (2)$$

여기서 $x\theta k = x\cos\theta k + y\sin\theta k$, $y\theta k = -x\sin\theta k + y\cos\theta k$, f 는 짜인 평면과의 주파수이며, θk 는 Gabor 필터의 방향성이고, $\delta x, \delta y$ 는 x 와 y 축을 감싸는 Gaussian의 표준 편차를 의미한다. 이러한 Gabor 필터는 방향성 및 주파수 선택력의 특

성을 갖는 밴드패스 필터로 공간주파수 도메인에서 최적의 집합 분석력을 갖고있다. Gabor 필터를 이용한 응용분야로는 얼굴인식[13], 필적인식[13]이 있다.

3. Gabor Filter를 이용한 지문 분류

지문 이미지에 Gabor 필터를 정확히 일치시키는 응용에 의해 실제의 융선과 계곡 구조는 강하게 강조될 수 있으며, 이렇게 강조된 융선과 계곡이 지문이미지를 효과적으로 표현하는 구성요소이다. 지문이미지를 x 축에 관련된 $\theta(0^\circ, 18^\circ, 36^\circ, 54^\circ, 72^\circ, 90^\circ, 108^\circ, 126^\circ, 144^\circ, 162^\circ)$ 의 10개 값에 대응하는 10개의 콤포넌트 이미지로 분해한다. 즉 지문이미지를 10개의 콤포넌트 이미지로 만들기 위해 10개의 Gabor 필터에 각각 여과시킨다. 0° 방향으로 감겨진 필터는 x 축에 평행한 융선만을 강조하고 x 축에 평행하지 않는 융선은 제거한다. 필터는 같은 방법으로 다른 각도로도 맞추어져 수행한다. 10개 각도, 즉 각각 18° 로 지문이미지를 필터링하는 이유는 18° 이하로 너무 좁게 잡으면 하나의 섹터가 아주 적은 픽셀을 포함하게 되기 때문이다. 너무 작은 섹터 안에서의 평균편차 값은 신뢰성이 적기 때문에 18° 로 나누었다. 지문이미지는 Gabor 필터링을 하기 전에 센서의 잡음영향과 손가락의 압력차이를 제거시키기 위해 노말라이즈(normalize)시킨다.

본 논문에서는, Gabor 필터링에 의한 지문의 분류 알고리즘을 ㉠ 중심점 찾기 ㉡ 섹터 분할과 노말라이즈 ㉢ Gabor 필터링 ㉣ 섹터내의 변량(Gabor 특징값) 계산 ㉤ 분류의 5단계로 나누어 실행한다.

3.1 1 단계 : 중심점 찾기

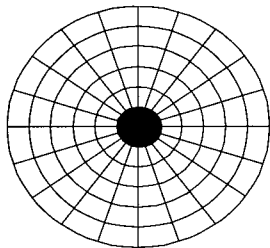
지문의 핵, 또는 지문의 융선에서 위를 향해 구부러진(감겨진) 융선의 가장안쪽에서 최상위점을 찾아 이점에서 y 축으로 30 픽셀 아래의 점을 중심점이라 한다. 이점을 찾는 알고리즘은 다음과 같다.

- wiener2 lowpass filter를 이용하여 지문을 5×5 로 필터링하여 지문 이미지에서 잡음을 제거한다.
- 필터링한 이미지에서 각 픽셀의 기울기 값을 산출, 산출한 값은 픽셀단위 $[G_x, G_y]$ 로 나타낸다.
- $[G_x, G_y]$ 를 wiener 필터로 다시 필터링하여 한번 더 잡음을 제거하고
- 이미지를 10×10 크기의 블록으로 나눈 후 각 블록의 각 픽셀에서 x 와 y 의 기울기 값을 계산
- 기울기 값이 $\frac{\pi}{2}$ 보다 작은 값들을 추출
- 추출한 값들 중 표시된 수가 가장 높은 블록내의 한 점을 산출
- 산출한 점에서 30픽셀 y 축 아래로 이동하여 중심점으로 결정한다.

중심점을 y축 30픽셀 아래 점으로 결정하는 이유는 이 중심점을 기준으로 지문에 20픽셀 반경의 6개 동심원을 그려 맨 안쪽에 위치한 원 안의 어떠한 픽셀도 무시하는 다음단계의 프로세스 때문이다. 만약 이 중심점을 30픽셀 아래로 움직이지 않는다면 핵이 있는 부분의 중요한 정보를 놓치는 경우가 발생할 수 있기 때문이다.

3.2 2 단계 : 색터화와 노말라이즈

중심점을 중심으로 255×255로 잘라낸 지문 이미지를 이 중심점 주위로 6개 동심원으로 나누는데 각 “밴드”는 20 픽셀의 반지름이고 중앙 원의 반지름은 12 픽셀로 총 223 픽셀이다. 전체 원을 (그림 4)와 같이 20개 색터로 균등분할(10개 각도로 Gabor 필터링을 하기 때문에)한 후 가장 안쪽의 중앙 밴드(그림 4의 검은색 부분)는 무시한다.



(그림 4) 색터분할

이로 인해 분할된 색터는 20 wedge × 5 band = 100개의 색터가 생성되며, 각 색터는 각각의 Gabor 필터에 대응하는 정보를 가지게된다. 중앙 밴드는 그것을 사용하기에 너무 작은 공간을 가지고 있기 때문에 무시한다. 색터를 분할하는 또 다른 목적은 노말라이즈 때문이다. 노말라이즈란 지문 획득시 지문센서로 스캐닝 할 때 발생하는 잡음과 손가락을 센서에 대었을 때 발생하는 압력의 변화를 평준화 시켜주는 것이다. 이는 잉크 방식으로 지문을 획득할 때에도 같이 적용된다. 노말라이즈에 사용한 공식은 다음과 같다.

$$N_i(x, y) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_0 \times (I(x, y) - M_i)^2}{V_i}}, & \text{if } I(x, y) > M_i \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_0 \times (I(x, y) - M_i)^2}{V_i}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

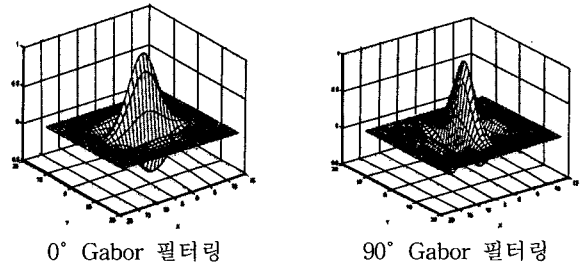
여기서, M_0 와 V_0 는 색터의 픽셀 평균값과 변량값으로 실험에서는 평균 M_0 와 변량 V_0 는 각각 상수 100으로 놓았다. i 는 색터 번호, M_i 와 V_i 는 각각 i 번째 색터에서 계산되어진 평균값과 변량이다.

노말라이즈는 용선과 계곡구조의 명확성을 변화시키지 않는 pixel-wise operation이다.

3.3 3 단계 : Gabor 필터링

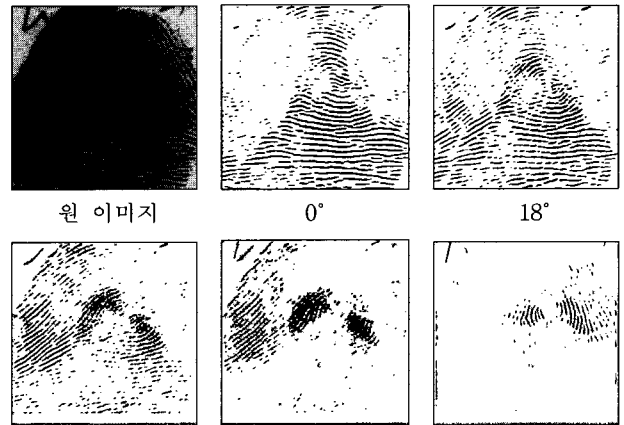
10개의 Gabor 필터에 노말라이즈된 지문이미지를 통과시킨

다. 각각의 필터는 10개의 각도(0°, 18°, 36°, 54°, 72°, 90°, 108°, 126°, 144°, 162°)를 위한 33×33 필터로 만들어지고 (그림 5)와 같이 지문을 필터링한다. Gabor 필터의 적용목적은 용선의 구조를 강하게 하면서 잡음을 제거하고, 이미지에서 특별한 방향성정보를 제공하는데 있다. 분할된 색터 내에서 필터링 하는 방향에 대응하는 용선의 존재를 발견한다. (그림 5)는 Gabor 필터에 지문을 convolution 시키는 그림이다.



(그림 5) Gabor 필터링

Gabor 필터는 홀수 높이와 중심점의 정점을 유지하는 폭 (가로)을 갖는다. 지문을 18° 간격으로 Gabor 필터링한 결과 (그림 6)과 같이 필터링 각도에 대응하는 용선의 구조는 강화되고 그 이외의 각도에 해당하는 용선은 무너져 나타나지 않는 것을 보여주고 있다.



(그림 6) 18° 간격으로 Gabor 필터링 된 지문이미지들

3.4 4 단계 : 색터내의 변량(Gabor 특징값) 계산

10개의 Gabor 필터를 통과시켜 얻은 10개각도 방향 이미지의 각 분할된 색터 내에서 픽셀 값의 변화를 계산하며 이것을 변량(Gabor 특징값)이라 한다. 변화의 값은 지문의 각 방향에 대응하는 용선의 집중을 의미한다. 색터 내에서 높은 변화는 Gabor 필터와 같은 방향의 용선을 의미하는 것이고, 낮은 변화는 용선이 아니라는 표시이다. 변량 계산식은 다음과 같다.

$$V_{i\theta} = \sqrt{\sum_{K_i} (F_{i\theta}(x, y) - P_{i\theta})^2} \quad (4)$$

여기서, $F_{i\theta}$ 는 θ 각도로 필터링된 i 번째 섹터에서의 픽셀 값이고, $P_{i\theta}$ 는 픽셀 값의 평균이며, K_i 는 i 번째 섹터에서 픽셀들의 개수이다.

3.5 5 단계 : 분류

MNN(mean nearest neighbor) 방식[12]을 사용하여 분류한다. 각각의 지문으로부터 얻은 Gabor 특징값을 계산하고, 계산된 특징값을 분류를 위해 지문데이터베이스에 저장한다. 특징인의 지문이 입력되면 입력된 지문의 Gabor 특징값과 저장된 지문데이터베이스 내의 각 지문의 Gabor 특징값과의 euclidean 거리를 계산하여 가장 가까운 거리 값으로 지문의 종류를 판정한다. MNN은 결과 산출을 위한 최소의 계산과 각 종류를 위해 하나의 Gabor 특징값이 필요한 정도의 아주 적은 저장공간을 필요로 하는 장점이 있다.

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험 환경 및 실험 데이터

실험에 사용한 컴퓨터는 펜티엄 III dual 1Ghz, 512MB 메모리, Window 2000 환경 하에서 프로그램은 C++ 언어를 사용하였다. 실험에서 주파수(f)는 10, 밴드는 6개, 각 밴드의 픽셀은 20, Gabor 필터링은 10개각도(18°씩)를 사용하였다.

실험에 사용한 지문데이터는 NIST-4 special 지문데이터베이스를 사용하였다. NIST-4 지문데이터 베이스는 미국 상무성에서 지문분류 및 지문인식시스템의 개발과 실험을 위해서 만든 것으로, 하나의 지문을 f(first)와 s(second)로 두 번씩 획득하여 2,000쌍(4,000개 지문)의 지문을 5종류 좌제상문(L), 우제상문(R), 좌상문(W), 궁상문(A), 솟은궁상문(T)로 분류하여 각각 400쌍이 저장되어 있다. 지문은 8bit gray scale 이미지이고, 하나의 지문은 512×512 픽셀 크기이다.

본 논문에서는, NIST-4 지문데이터베이스 f에서 각 종류별로 80개씩 총 400개의 지문을 선택하여 Gabor 특징값을 만들어 실험용 지문데이터베이스에 등록하고, NIST-4 데이터베이스 s에서 각 종류별로 200개씩 총 1,000개 지문을 선택하여 테스트 지문으로 사용하였다.

4.2 실험 결과 분석

테스트용 1,000개 지문의 Gabor 특징값을 데이터베이스내 400개 지문의 Gabor 특징값과 각각 400,000회(400개×1,000개)의 euclidean 거리를 계산한 실험결과 중에서 샘플 15개만 <표 1>에 나타냈다.

<표 1>에서 테스트지문 s0002-R, s0013-A 등으로 표기된 것은 NIST-4 데이터베이스의 지문 중 두 번째 획득한 지문 2,000개 중 1,000개를 선택하여 테스트지문으로 사용한 것으로 s는 second 의미이고, L은 좌제상문, R은 우제상문, W는 좌상문, A는 궁상문, T는 솟은 궁상문을 표시하며, 등록지문의 f는

first 지문 2,000개 중 선택하여 등록한 400개 지문을 의미한다. 1st 최소거리, 2nd 거리, 3rd 거리로 표시된 의미는 테스트지문 s0002-R을 입력시켜 데이터베이스에 등록된 f 지문 400개와 각각의 euclidean 거리를 계산하여 그 중 1st 최소거리의 지문을 찾아 입력지문과 같은 종류의 지문이 선택되는지 여부이며, 2nd 거리, 3rd 거리는 두 번째, 세 번째 가까운 거리고 이 역시 같은 종류로 분류되는지 확인하여 분류의 정확도에 참조한 것이다. 실험에서 얻은 결과분석표는 <표 2>와 같다.

<표 1> 실험 결과표

(euclidean거리계산 결과)

등록지문과 테스트 지문	1st 최소거리	2nd 거리	3rd 거리
s0002-R	f0002-R	f0067-R	f0290-R
s0013-A	f0012-A	f0315-A	f0283-TA
s0029-S	f0029-S	f0019-L	f0086-L
s0074-W	f0074-W	f0258-W	f0253-W
s0111-A	f0111-A	f0332-A	f0268-A
s0252-W	f0074-W	f0253-W	f0258-W
s0264-W	f0264-W	f0077-W	f0313-W
s0274-R	f0274-R	f0002-R	f0067-R
s0283-T	f0283-T	f0332-A	f0303-T
s0298-L	f0029-L	f0086-L	f0019-L
s0343-L	f0343-L	f0358-L	f0363-L
s0375-T	f0375-T	f0389-T	f0277-T
s0660-R	f0067-R	f0274-R	f0163-R
s0728-A	f0332-A	f0126-A	f0178-A
s0948-T	f0091-T	f0154-T	f0259-T

<표 2> 실험 결과 분석표

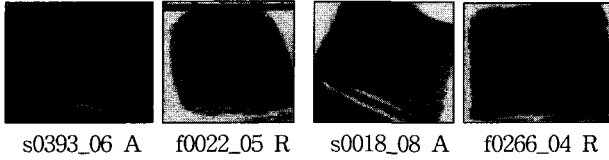
판 정	데이터 개수	백 분 율 (%)
정상분류	923개	92.3
오 분 류	77개	7.7

<표 2>에서 정상분류는 테스트 지문과 실험용 지문데이터 베이스와의 비교에서 1st 최소거리가 테스트 지문과 같은 종류로 분류된 것이고 그 외는 오분류로 정의한 결과, 1,000개의 지문에 대하여 정상분류 92.3%, 오분류 7.7%의 결과를 얻었다. 77개의 오분류 내역을 분석하면

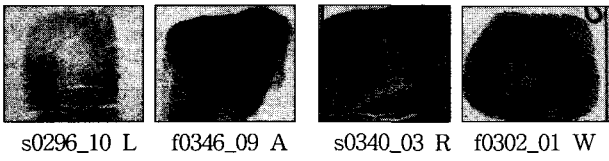
- 융선이 무너져 있어 오분류된 지문이 39개 (그림 7)
- 지문이 18° 이상 기울어져 있는 경우가 27개 (그림 8)
- 지문 날인시 너무 살짝 날인하여 지문의 중심부가 잘 나타나지 않은 경우가 6개 (그림 9)
- 지문의 모양이 너무 비슷하여 오분류된 경우가 5개 (그림 10)이다.

이런 결과 분석으로 지문 획득시 손가락에 너무 힘을 주어 날인하여 표피가 눌러 융선이 서로 붙어 버린 경우와, NIST-4 데이터베이스는 잉크를 이용한 날인방식이라 잉크가 묻쳐서 지문의 융선이 뭉개진 경우가 많아 이러한 경우 융선의 흐름만을 가지고 분류하는 Gabor 필터를 이용하는 지문분류 방법에서 오분류가 발생할 수 있다. 또한 지문이 18° 이상 기울어졌을 때 본 논문에서 사용한 중심점 찾기 알고리즘에 의해

여 찾은 중심점이 입력지문과 DB등록 지문사이에 위치 차이가 날수 있어 오분류의 결과가 나오고 있는 것으로 분석된다.



(그림 7) (그림 8)



(그림 9) (그림 10)

숫은궁상문과 궁상문을 하나의 종류로 분류하면 분류의 정확성은 95.4%로 증가한다. 이것은 인간의 자연적 지문비율이 궁상문(Arch)이 3.7%, 숫은궁상문(Tented Arch)이 2.9%이므로, 두 지문이 비슷하고 또 비중이 낮기 때문에 하나의 종류로 분류하는 실험논문도 있다.

5. 결 론

Gabor 필터링을 이용하여 5종류로 지문을 분류하는 실험에서는 92.3%의 정확성을 나타내었고, 궁상문과 숫은궁상문을 하나의 종류로 통합하여 4종류로 분류하는 경우에는 95.4%의 정확성을 얻을 수 있었다. 92.3%의 정확성을 가지는 실험의 결과로 기존의 지문분류 방법들과 비교하여 볼 때 정확성이 향상되었음을 알 수 있었다. 또 Gabor 필터링을 6개 각도로 실험한 Hong[6]의 90.2%와, 8개 각도로 실험하며 전처리 과정을 생략한 C. J. Lee, S. D. Wang[12]의 90.0%보다 정확성이 향상되었음을 알 수 있다. 실험의 결과로 Gabor 필터링의 각도와 지문의 중심점 찾기, 전처리(노이즈 제거)과정이 정확성에 많은 영향을 주었다고 분석된다.

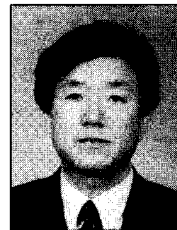
Gabor 필터링을 이용한 지문분류의 문제점은 Gabor 필터링 하는데 많은 시간이 소요된다는 점이다. 하나의 지문을 실험에 사용한 PC로 Gabor 필터링 하는데 1분 20초 정도 소요되었다. Gabor 필터링 시간을 단축하는 것보다 정확한 중심점 찾기에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] E. R. Henry, "classification and uses of fingerprint," London : rout-ledge, 1900.
 [2] B. G. Shelock and D. M. Monro, "A model for interpreting fingerprint topology," pattern recognition, Vol.26, No.7, pp. 1047-1055, 1993.
 [3] A. K. Jain, Salil Prabhakar, Lin Hong, "A multichannel approach to fingerprint classification," IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, Vol.21, No.4, April, 1999.

[4] Raffaele Cappelli, Alessandra Lumini, Dario Maio, Darid Malton "fingerprint classification by directional image partitioning," IEEE trans on pattern analysis machine intelligence, Vol.21, No.5, 1999.
 [5] K. Karu and A. K. Jain, "fingerprint classification," pattern recognition, Vol.29, No.3, pp.389-404, 1996.
 [6] L. Hong and A. K. Jain, "classification of fingerprint images," technical report MSUCPS ; TR98-18, michigan state univ, june, 1998.
 [7] C. V. K. Rao and K. Black, "type classification of fingerprints : a syntactic," IEEE trans, pattern analysis and machine intelligence, Vol.2, No.3, pp.223-231, 1980.
 [8] G. T. Candela, P. J. Grother, C. I. Watson, R. A. Wilkinson, and C. L. Wilson, "PCASYS-A pattern-level classification automation system for fingerprints," technical report NISTIR 5647, Apr. 1995.
 [9] A. P. Fitz and R. T. Green, "fingerprint classification using hexagonal fast fourier transform," pattern recognition, Vol. 29, No.10, pp.1587-1597. 1996.
 [10] M. Kamijo, "classifying fingerprint images using neural network : deriving the classification state," proc, third int'l conf, neural network, pp.1932-231, 1996.
 [11] M. M. S. Chong, T. H. N. Gee, L. Jun and K. L. Gay, "geometric frame work for fingerprint classification," pattern recognition, Vol.30, No.9, pp.1475-1488. 1997.
 [12] C. J. Lee and S. D. Wang, "fingerprint feature extraction using Gabor filters," electronic letters, Vol.35, No.4, pp.288-290, 1999.
 [13] Y. Hamamoto, S. Uchimura, M. Watanabe, T. Yasuda, Y. Mitani and S. Tomita, "A Gabor filter based methode for recognizing handwritten numerals," pattern recognition, Vol. 31, No.4, pp.395-400.

심 현 보



E-mail : L4743@chollian.net
 1977년 성균관대학교 이학사(물리학)
 1980년 연세대학교 공학석사(전자공학)
 2000년 명지대학교 박사과정 수료(컴퓨터공학)
 1973년~1977년 시그네틱스 KOREA
 1977년~1984년 (주)조우니 컴퓨터 상무이사
 1984년~1996년 (주)해동시스템 대표이사
 1996년~1999년 (주)산내들인슈 전자통신 연구소소장, 전무이사
 1999년~현재 (주)와이즈테크 대표이사
 관심분야 : 지문인식 데이터베이스, 데이터마이닝, 패턴인식

박 영 배



E-mail : parkyb@mju.ac.kr
 1974년 동아대학교(공학사) 전기공학
 1980년 연세대학교(공학석사) 전자계산학
 1993년 서울대학교(공학박사) 컴퓨터공학
 1974년~1981년 한국전력공사 전자계산소
 과장대리
 1990년~1992년 명지대학교 전자계산소 소장
 1993년~2000년 중앙전산개발경진대회(행정자치부) 심사위원장
 1997년~2001년 산업대학원 원장
 1981년~현재 명지대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : Spatial, Multidimensional, Web, Scientific Databases, Data warehousing and Data mining, System Integration 등