

## Gabor 필터를 이용한 지문 분류

심 현 보\*\*, 박 영 배\*

명지대학교 컴퓨터 공학과

parkyb@wh.myongji.ac.kr

### Fingerprint Classification Using Gabor Filter

Hyun-Bo, Shim\*\*, Young-Bae Park\*

Dept. of Computer Engineering, Myongji University

#### 요 약

지문인식 분야는 크게 분류(classification)와 정합(matching)으로 나누어져 연구되어왔다. 분류는 일반적으로 와상문, 궁상문, 솟은궁상문, 오른쪽제상문, 왼쪽제상문 등의 5종류로 분류되며, 지문이 어떤 분류에 속하는지 구별하여 특정인의 지문 형태를 결정하여 주는 작업으로 대형 데이터베이스에서 인덱스로 사용되어 검색시간 단축과 매칭의 정확도를 높여준다.

본 논문에서는 지문 분류에서 품질이 나쁜 이미지는 분류를 위한 특이점(핵과 삼각점)의 검출이 어려운 점을 감안하여 방향성과 주파수 선택력이 강한 Gabor 필터의 특징을 이용한 지문 분류 방법으로 지문 분류의 정확성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고 실험을 통하여 이를 증명한다.

#### 1. 서 론

지문은 손가락 끝에 있는 융선(Ridge)과 계곡(Valley)으로 이루어져 있는 주름모양의 형상으로 E. R Henry경 [13]이 파생법을 개발한 100여년 전부터 지금까지 가장 효율적인 개인의 식별 수단으로 출입관리, 범죄수사, 주민등록증 등 여러 분야에 적용되어 왔으며 최근에는 전자뱅킹 서비스, 전자카드, 보안 등의 분야로 그 적용범위가 다양해져 가고 있어 지문인식에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 지문인식 처리에 요구되는 두 가지 주요기술은 분류(Classification)와 정합(Matching)이다. 일반적으로 분류란 능선과 계곡의 모양, 그리고 특이점(Singular point)이라 불리는 지문의 핵(Core)과 삼각점(Delta point)의 개수에 따라 와상문(Whorl), 우제상문(Right Loop), 좌제상문(Left Loop), 궁상문(Arch), 솟은궁상문(Tented Arch)등으로 분류하며 우리나라 경찰청이나 미국의 FBI(Federal Bureau of Investigation) 등에서는 범죄수사에 이용하기 위하여 보다 세밀하게 10~12가지 정도 [1]로 분류하기도 한다. 분류는 대량의 데이터 베이스에서 매칭시간의 단축 및 정확성을 높여준다. 비록 조잡한 분류가 지문을 특이하게 분류하지 않더라도 이것이 두 지문이 매치가 되지 않는 경우를 단정하는데 유용하다. 예를 들면 좌제상문 지문이미지는 데이터 베이스에서 오직 다른 좌제

상문 이미지와 매치가 되어져야 한다. 지문의 분류 문제는 많은 연구자들에 의해 연구되어 발표되었다.

구문론(Stactic)방법이 Rao 와 동료들에 [11]의해 소개되었으며 Kawagoe 와 Tojo [9]는 이미지에서 특이점(Singlura point: 코어와 삼각점)을 추출하기 위해서 Poincare' index를 사용했다. Kamijo는 지문 이미지의 분류를 위해 신경망을 사용했다 [8]. 지금까지 발표된 지문을 분류하기 위한 알고리즘은 주로 i) 융선 방향의 계산 ii) 방향성을 가지는 지문 이미지에서 특이점 발견하기 iii) 추출된 특이점에 기초한 지문의 분류 등의 3단계로 이루어져 있다. 여기에서 특이점인 코어와 삼각점은 지문의 질이 좋지 않거나 잡음이 많은 지문 또는 부분지문인 경우는 추출이 안되는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 코어와 삼각점, 융선의 방향성분을 이용하지 않고 Gabor 필터를 사용하여 국부적 융선 구조로부터 직접 획득한 Gabor featur를 이용하여 지문을 분류하는 방법으로 Gabor 필터를 사용한 방법이 이미지의 품질이 좋지 않은 지문에 대하여 보다 강하고 분류의 정확성이 기존 방법들에 대하여 향상될 수 있음을 증명하고자 한다.

2. 관련 연구

지문분류에 대한 최초의 과학적연구는 1982년 Galton [12] 이 지문을 와상문, 궁상문, 제상문 등의 중요한 3종으로 분류하였고 그 뒤 E.R. Henry 가 Galton의 분류에 Class를 증가시켜 다듬었다. 현재 경찰에서 사용되고 있는 분류의 스킴은 Henry's 분류 스킴의 변형들이다. 지문의 자동 분류를 위한 접근법은 여러 방법이 있으나 대략적으로 Model-based (모형), Structure-based(구조), Frequency-based(주파수), Syntactic(구문론), 그리고 통계적 (Stactical), 신경망을 이용한 방법이 있다.

1) Model-Based 지문 분류 기술은 분류를 위해 특이점(코어와 삼각점)의 위치를 이용한다 [2], [3], [4]. NIST데이터 베이스를 사용한 이 접근 방법은 85% [2], 87.5% [3]의 정확성이 보고되었다.

2) Structure based 접근은 지문이미지에서 방향성분을 추정하여 지문을 5가지 종류로 분류하였으며 10% Rejection과 90.2%의 정확성이 NIST-4에 보고되었다 [5].

3) Frequency based 접근은 분류를 위해 지문의 주파수 스펙트럼을 사용한다 [6].

4) 구문론(Syntactic)접근방법은 지문묘사와 분류를 위해 문법의 형식을 사용한다. 구문론적 방법은 특이점의 형태들이 터미널 상징과 연장선 규칙들에 의해 묘사되어진다. 터미널 상징은 지문의 방향성 이미지 내에 있는 방향 요소들의 작은 집단들의 조합이다. 문법은 각 분류를 정의하고 분석 실행이 각각의 새로운 패턴으로 분류를 한다. 지문 분류에서 가장 많이 사용되는 두 가지 방법은 모양 기초와 구조기초인데 모양기초는 이미지에 나타나는 특이점인 핵과 삼각점을 사용하는 기술이다. 핵과 삼각점의 개수와 위치를 확인한 후 지문을 분류한다. (그림 1) 궁상문은 핵과 삼각점이 없고, 제상문과 솟은궁상문은 하나의 코어와 삼각점을 가지는데 솟은궁상문은 핵과 삼각점이 수직선으로 연결되고 왼쪽제상문은 핵이 있는 Loop가 삼각점의 왼쪽에 오른쪽제상문은 Loop가 삼각점의 오른쪽에 있다. 와상문은 두 개의 코어점이 방향 Vector를 따라 직선으로 연결되고 Twin Loop는 연결되지 않는다 [2].



궁상문 솟은궁상문 우제상문 좌제상문 와상문  
(그림 1, 특이점 위치에 의한 지문분류)

Optical 스캐너에 의한 지문획득은 항상 완전한 지문

을 획득할 수 있는 것은 아니며 가끔 델타 포인트를 빠뜨린다. 새로운 반도체 소자(Solid-State)의 지문 획득 센서는 크기가 작아서, (예: veridicom의 FPS 100은 크기가 우표만 하다) 지문의 한 부분만 획득되기도 한다. 또한 핵이나 삼각점은 잡음이 있는 지문에서는 검출이 어렵다. 그러나 지문 분류를 하기 위한 용선 형태의 정보는 충분하다. 구조기초 접근 방법은 핵과 삼각점에 의존하지 않는 반면 질이 낮은 지문이미지에서는 연기가 대단히 어려운 상태로 방향성 추출의 신뢰성이 요구된다. 위에 거론된 몇 가지의 지문분류 접근 방법에 의해 지문을 와상문, 우제상문, 좌제상문, 궁상문, 솟은 궁상문의 5종으로 분류한다. 지문 분류의 목적은 검색 시간과 복잡한 계산 시간을 줄이기 위한 인덱스 구조를 제공하기 위한 것이다. 우리는 국부 용선 구조로부터 직접 획득하는 새로운 설명에 뒷받침 할 수 있는 지문 분류 알고리즘 [3]에서 용선의 방향추출을 위한 Gabor Filtering 각도를 10개 각도로 한 보다 정밀한 Filterization을 하여 지문을 분류하는 방법을 제안한다. 이 방법은 지문 분류에서 가장 어려운 질이 좋지 않은 지문에 대해 보다 강하게 처리 할 수 있다.

3. Gabor 필터

시간 기능(Time Function)위에 고정 기간 (Fixed Duration) 영역 (Window)과 간격 (Interval)내에 주파수 성분을 추출하는 Short Time Fourier-Transform (STFT)으로 국부적으로는 움직이지 않으나 전체적 (Globally)으로는 고정적이지 않은 음성 시그널 등에 적용이 적합하며, 시간축의 어떤 점 T에서 STFT 위치 Window g(t)와 확장 (Extended)내에서 시그널의 Fourier -Transform 또는 Window의 전개 (Spread)계산은

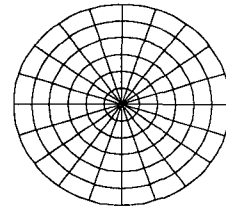
$$F(\Omega T) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) g^*(t-T) e^{-i\Omega t} dt \text{ -식 (1) 이다}$$

여기서 Window g(t)가 Gaussian 일 때 STFT는 Gabor 변환이라 부르며 (식 (1)), 2D Gabor 필터의 일반적인 공식은 다음과 같이 주어진다.

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

여기서  $x\theta k = x \cos \theta k + y \sin \theta k$ ,  $y\theta k = -x \sin \theta k + y \cos \theta k$ , f는 싸인 평면파의 주파수이며,  $\theta k$ 는 Gabor 필터의 방향성이고,  $\delta x, \delta y$ 는 x와 y 축을 감싸는 Gaussian의 표준 편차를 의미한다. 이러한 Gabor 필터는 방향성 선택력이 강하고 주파수 선택력의 특질을 갖는 밴드 패스 필터로 공간주파수 도메인

(Domain)에서 최적의 집합 분석력을 갖고 있다. Gabor 필터를 통과하여 여과된 Gray-Scale인 Gabor Feature들은 얼굴인식, 필적인식 등에 성공적으로 넓게 사용되어 왔으며, 지문인식 분야에도 적용되어 이미지 향상 및 분류 [3] 인식 [10] 등을 위하여 Gabor Filter-Based Feature 들이 제시되었다.



(그림 2, Sectorization)

#### 4. Gabor 필터 이용한 지문 분류

지문 이미지에 Gabor 필터를 정확히 일치시키는 응용에 의해 실제의 용선 과 계곡 (주름) 구조는 강하게 강조될 수 있다. 이렇게 강조된 용선 과 주름이 지문 이미지의 효과적인 표현의 구성 요소이다. 지문 이미지를  $x$  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 콤포넨트 이미지로 분해한다. 즉 지문이미지를 10개의 콤포넨트 이미지로 만들기 위해 10개의 Gabor 필터 각각에 여과시킨다.  $0^\circ$  방향으로 감겨진 필터는  $x$ 축에 평행한 용선을 강조하고 그것은  $x$ 축에 평행하지 않는 용선을 제거한다. 필터는 같은 방법으로 다른 각도로도 맞추어져 수행한다. 지문 이미지는 Gabor filterize 하기 전에 센서의 잡음 영향과 손가락의 압력차이를 제거시키기 위해 평활화(Normalize)시킨다. 우리가 제안하는 Gabor Filterization에 의한 지문의 분류는 향상된 정확성으로 지문을 분류할 것이고 다음과 같이 i) 지문의 전처리, ii) 지문을 나타내는 특징 추출, iii) 결정 여부를 위한 지문 분류의 3단계로 나누어져 실행이 되며 지문 이미지는 500dpi의 해상도를 필요로 한다. 즉, 용선 과 용선의 간격이 약 10픽셀 정도가 필요하며, 300 x 300 Gray-Scale 이미지를 획득하였다.

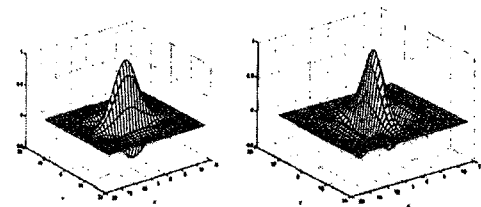
(그림 2) 이로 인해 총 Sector는 20 wedge x 5 band = 100 sector가 생성되며 각각의 Gabor 필터를 위한 대응적 정보를 가지게 된다. 중앙 밴드는 그것을 사용하기에 너무 작은 공간을 가지고 있기 때문에 무시한다. Sectorization을 한 또 다른 목적은 평활화 때문이다. 지문 획득시 지문센서로 스캐닝할 때 발생하는 잡음과 손가락을 센서에 대었을 때 압력의 변화를 표준화 시켜주는 것이 평활화이다.

#### 4.2 Gabor filterization

10개의 Gabor 필터에 평활화 된 지문 이미지를 통과시킨다. 각각의 필터는 10개의 각도 ( $0^\circ, 18^\circ, 36^\circ, 54^\circ, 72^\circ, 90^\circ, 108^\circ, 126^\circ, 144^\circ, 162^\circ$ )를 위한 33 x 33 필터 제공기에 의해 형성이 되고(그림 3)과 같이 지문을 filtering한다. Gabor 필터의 적용목적은 용선 구조를 강하게 하면서 잡음을 제거하고 이미지에서 특별한 방향성 정보를 제공하는데 있다. Sectorization은 그 방향에서 용선의 존재를 발견할 것이다. 223픽셀의 Sectorization은 원형의 뒤틀림의 영향을 피하기 위해 유도된다.

#### 4.1 중앙점 결정

중앙점의 위치는 각 지문 용선이 위로 향해 구부러진 (감겨진) 용선의 가장 안쪽에서 최상위점을 찾는 것으로 시작된다. 우리는 Rao, A. Ravis-Hankar의 [11] 를 이용하여 중앙점을 찾아낸다.



0° Gabor 필터링 90° Gabor 필터링

(그림 3. Gabor 필터링)

#### 4.2 Sectorization

모조 중심점을 중심으로 255 x 255로 잘나낸 지문 이미지를 이 중심점 주위로 6개 동심원으로 나누는데 각 "밴드"는 20 픽셀의 반지름이고 중앙 원의 반지름은 12 픽셀로 총 223 픽셀이다. 전체원을 20 Sectors로 균등분할 (10개 각도로 Gabor Filtering을 하기 때문에) 한 후 중앙 밴드는 무시한다.

Gabor 필터는 홀수 높이와 중심점의 정점을 유지하는 폭(가로)을 갖는다. 다음은 우리가 사용한 Gabor 필터의 정의이다. [7]

$$G(x, y, f, \theta) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi fx) \quad (식 4)$$

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

여기에서  $\delta x$  와  $\delta y$  는 실험에 의한 근거로 둘 다 4.0으로 정한다. 너무 작은 값은 잡음제거에 효과가 없고 너무 큰 값은 용선과 계곡의 상세함을 파괴한다. 용선 간의 거리는 평균 10 픽셀 정도이다.

#### 4. 3. Sectorization 과 변화 계산

10 개의 Gabor 필터를 통과 시켜 얻은 10개의 방향 이미지에서 각 Sector안에서 픽셀 값의 변화를 계산한다. 이것은 지문의 부분에서 지문 용선의 각 방향의 집중을 의미한다. Sector의 높은 변화는 Gabor 필터와 같은 방향의 용선을 의미하는 것이고 낮은 변화는 용선이 아니라는 표시이다. 변화 값의

계산에는 
$$Vi\theta = \sqrt{\sum_{Ki} (Fi\theta(x, y) - Pi\theta)^2}$$
 의 공식을 사용한다. 여기에서  $Fi\theta$ 는  $\theta$ 각도로 filterization된  $i$  번째 sector에서의 픽셀 값이고  $Pi\theta$ 는 픽셀 값의 의미이며  $Ki$ 는  $i$ 번째 Sector에서 픽셀들의 개수이다.

#### 4. 4 분류 (Classification)

Mean Nearest Neighbor방식을 사용하여 분류한다 [14]. 각 개인의 지문으로부터 획득한 특징Vector는 Training Set을 모델로 해서 계산되어지고 특징정합을 위해 DB에 저장된다. 지문이 입력되면 Target Feature Vector와 데이터베이스 내의 각 Class사이의 Euclidean 거리를 계산하여 매치해 가장 가까운 거리의 Class를 선정한다. MNN 은 결과 산출을 위한 최소의 계산과 각 Class를 위해 하나의 특징 Vector가 필요한 정도의 아주 적은 저장 공간을 필요로하는 강점이 있다. 이 분류자(Classifier)는 지문의 같은 분류 내의 변화는 고려하지 않는다.

#### 5. 실험 결과

실험을 위해 각기 다른 40명으로부터 80개 (엄지손가락의 지문을 2회씩 스캔)의 지문을 획득하여 이중 품질이 좋은 40개를 실험에 사용하였다. 센서는 500dpi 해상도를 가진 Veridicom사의 FPS-110 센서 유니트를 사용하여 8 bit Gray- Scale 의 300 x 300 이미지를 스캔하였다. 이 40개의 지문을 35개의 Training set 과 5개의 Testing set으로 나누어 실험한 결과 92%의 정확한 매칭율을 얻었다.

#### 6. 결 론

이 실험은 Pentium III 컴퓨터에서 형상 추출에 1.8 초 이하의 시간이 소요되었고 92%의 Class 매칭의

정확성을 얻었으며 이 결과에 임계값을 적용하면 정확성이 더 향상된다. 이는 Gabor 필터를 이용한 지문분류가 기존에 사용하던 분류방법에 비해 향상된 결과는 보여주는 것이다. Gabor 필터를 이용하여 실제 DB에 적용이 연구과제이며, 또한 Gabor 필터를 이용하여 지문 분류과정을 거치지 않고 직접 인식 (Recognition)을 하는 연구가 앞으로의 과제이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Raffaele Cappelli, Alessandra Lumini, Dario Maio. Darid malton "Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning" IEE Trans on pattern analysis machine intelligence, vol 21, No. 5, 1999.
- [2] K.Karu and A.K.Jain, "Fingerprint classification" Pattern Recognition. Vol 29, No. 3, PP389-404, 1996.
- [3] L.Hong and A.K.Jain "Classification of Fingerprint Images", Techninal report MSUCPS; TR98-18, Michigan State Univ, June 1998.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] A.P.Fitz and R.T.Green "Fingerprint Classification using Hexagonal Fast Fourier Transform." Pattern Recognition, Vol 29, no. 10. PP 1587-1597. 1996
- [7] Y. Hamamoto, S. Uchimura, M. Watanabe, T. Yasuda, Y. Mitani and S. Tomita, "A Gabor filter based methode for recognizing handwritten numerals" pattern recognition, Vo. 31, 4, PP 395-400.
- [8] M. Kamijo, "Classifying Fingerprint images using Neural Network : Deriving the classification state," prol, third in'l cont, Neural Network, PP 1932-231, 1996.
- [9] M. Kawagoe and A. Tojo "Fingerprint pattern classification" Pattern Recognition Vol. 7, No. 3, PP 295-303. 1984.
- [10] C. J. Lee and S.D. Wang "Fingerprint feature extraction using Gabor filters" Electronic letters, Vol. 35, No. 4, PP 288-290, 1999.
- [11] Rao, A. Ravishankar. "A Taxonomy for Texture Description and Identification" Springer-verlay, New York 1990.
- [12] F. Galton, Fingerprints, London : McMillan 1892.
- [13] E. R. Henry, "Classification and uses of fingerprint," London : Rout-ledge, 1900.
- [14] C. J. Lee, S. D. Wang "A Gabor filter based approach to Fingerprint Recognition"