

Gabor 필터를 이용한 지문 인식

심 현 보[†] · 박 영 배^{**}

요 약

지문인식은 입력지문이 데이터베이스 내에 있는 특징인의 지문과 일치하는지 여부를 확인하는 것이다. 이를 위해 대형 지문 데이터베이스에서는 여러 가지 전처리 과정과 분류 및 매칭을 하고 소형 지문데이터 인식에서는 분류를 하지 않고 바로 매칭을 한다. 매칭 방법은 특징점(단점, 분기점)에 기초한 매칭이 주를 이루고 있는데, 특징점에 기초한 매칭은 지문의 변환, 회전, 비선형 변형, 가짜 특징점 등이 발생하는 문제로 특징점 추출 및 특징점들 간의 정확한 매칭에 매우 복잡한 계산을 필요로 하고, 지문의 품질향상을 위해 많은 전처리 과정이 필요한 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 지문인식에 특징점을 이용하지 않고, Gabor 필터에 지문을 통과시켜 얻은 지문의 융선에서 Gabor 특징값을 산출하여 이 특징값을 지문인식에 이용하는 간단한 새로운 방법을 제안하고 이 방법이 지문인식 실행에 가능성을 가지고 있음을 실험으로 증명하였다.

Fingerprint Recognition using Gabor Filter

Hyun-Bo Shim[†] · Young-Bae Park^{**}

ABSTRACT

Fingerprint recognition is a task to find a matching pattern in a database for a specific persons fingerprint. To accomplish this task, pre-processing, classification, and matching steps are taken for a large-scale fingerprint database but only the matching step is taken without classification for a small-scale database. The primary matching method is based on minutiae (ridge ending point, bifurcation). This matching method, however, requires a very complex computation to extract minutiae and match minutiae-to-minutiae accurately due to translation, rotation, nonlinear deformation of fingerprint and occurrence of spurious minutiae. In addition, this method requires a laborious preprocessing step in order to improve the quality of fingerprint images. This paper proposes a new simple method to eliminate these problems. With this method, Gabor variance is used instead of minutiae for fingerprint recognition. The Gabor variance is computed from Gabor features that result from filtering a fingerprint image through Gabor filter. In this paper, this method is described and its test result is shown, demonstrating the potential of using this new method for fingerprint recognition.

키워드 : Gabor 필터(Gabor Filter), 지문(Fingerprint), 인식(Recognition), 특징점(Minutiae), 분류(Classification), 매칭(Matching), 중심점(Center Point), 참조축(Reference Frame), 영역분할(Sectorization)

1. 서 론

컴퓨터의 발달과 인터넷을 이용한 전자뱅킹 서비스, 전자상거래, 스마트카드 등의 발달에 따라 여러 가지 데이터베이스에 저장된 정보의 보안과 인증에 대한 수단으로 바이오 매트릭스가 각광을 받고 있다. 개인의 신체적 특성(얼굴, 지문, 홍채 등)에 기초한 바이오 매트릭스들 중에서 지문에 기초한 신분 확인이 가장 발달되고 효과가 증명된 기술이다. 지문은 손가락 끝에 있는 융선(Ridge)과 골(계곡 : Valley)로 이루어져 있는 형상으로 불변성 때문에 E. R. Henry 경이 개발한 과학

단으로 출입관리, 범죄수사, 주민등록증 등 다양한 분야에 적용되어 왔다.

지문기반에 의한 사람들의 신분 자동인식은 입력된 지문이 대량의 지문 데이터베이스 내의 하나의 지문과 일치되는지 확인하는 것이다. 검색시간과 복잡한 계산시간을 줄이고 입력된 지문이 데이터베이스 내에 있는 지문과 일치되는지 확인하는 정확하고 일관된 방법이 가장 바람직한 지문의 인식 방법이다.

기존의 대형 지문인식 시스템은 인식을 위해 먼저 데이터베이스내의 지문을 분류하여 분류 결과로 종류별 인덱스를 만든 다음에 특징점(Minutiae), 즉 단점(Ridge Ending Point)과 분기점(Bifurcation)에 기초하여 지문을 인식하는 시스템이 주를 이루고 있다. 지문에서 융선의 구조는 전체적인 것과 국부적인 정보를 제공 할 수 있기 때문에 대부분의 연구는

[†] 통신회원 : (주)와이즈테크 대표이사

^{**} 정 회 원 : 명지대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 : 2001년 10월 17일, 심사완료 : 2002년 8월 16일

지문의 분류를 위하여 지문의 국부적 용선 방향과 특이점(핵, 삼각점)을 사용하고 확인(Matching)은 특징점(단점, 분기점)의 그룹들을 사용한다.

소형 지문 데이터베이스의 지문인식에서는 분류를 생략하고 바로 매칭을 하는데, 특징점에 기초한 지문 매칭 방법의 알고리즘은 ① 이미지 획득 ② 이미지 향상 ③ 용선 추출 ④ 세선화 ⑤ 특징점 추출 ⑥ 매칭[1, 3]이다. 소형 지문인식 시스템에서는 이 모든 단계를 실행하는 것이 효과적이지 않을 수도 있으며 또한 인식 결과는 각 실행 단계의 정확성에 크게 달려 있다. 이러한 특징점 추출 알고리즘의 성능은 전적으로 입력지문의 품질에 의해 결정되는 문제점이 있다. 즉, 특징점에 기초한 지문인식시스템의 인식율은 잡음과 지문의 변형에 매우 민감하다. 가짜단점과 분기점은 때, 흠터, 상한지문 및 이물질에 의해서 생길 수 있고, 손가락을 너무 눌러 지문을 획득하거나 너무 살짝 대고 지문을 획득하면 단점과 분기점이 없어지는 경우가 많다. 또한 기름기가 많거나 아주 건조한 피부와 같은 각 개인의 비이상적인 피부의 성질은 프리즘에 기반을 둔 센서를 이용한 지문이미지 획득에서는 잘못된 특징점이나 구름같은 잡음을 만들어 내기도하며, 스캐닝 방법에 의한 센서에서는 스캐닝 속도에 따라 지문의 용선이 단락되어 무수한 가짜 단점이 생기는 경우도 있다.

특징점 매칭에서는 ① 두 지문의 일치가 확인되지 않고 ② 데이터베이스의 지문과 입력 지문사이의 변환, 회전, 비선형 변형이 상당히 발생되고 ③ 두 지문 사이에 가짜 특징점이 존재하며 ④ 특징점들이 빠져 있는 경우가 많이 발생한다. 이와 같은 환경에서 특징점에 기초한 매칭 알고리즘은 자동적으로 특징점이 일치되는 결과를 얻을 수 있어야 하며, 변형을 회복시켜주어야 하며, 지문으로부터 가짜 특징점을 찾아내야 하는 어려운 문제점의 해결을 위하여 Gabor 필터를 이용하여 지문의 품질을 향상시키기[4]도 하였다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 지문인식에 특징점들을 사용하지 않고, 주파수와 방향성 표시에서 인간의 시각시스템과 유사한 Gabor 필터의 특성을 이용, 지문을 Gabor 필터로 필터링 하여 용선을 강화시킨 후 용선에서 산출한 Gabor 특징값과 전처리 과정에서 찾은 중심점(참조점)과 참조축 만을 이용하여 입력지문과 데이터베이스에 등록된 지문사이의 유클리드 거리를 계산하는 간단한 지문 매칭 방법을 제안하고 이 새로운 방법이 지문인식 실행에 가능성이 있음을 실험을 통하여 증명하고자 한다.

2. 관련 연구

지문센서가 보다 작아짐에 따라 지문에 기초한 자동신분 확인은 전통적인 신분확인 작업인 수 작업에 대하여 충분한 보완이 되고 있다. 지문사용의 확산에 비판적인 요인은 신분확인

적용에 요구되는 매칭속도와 정확성이 아직 완벽하지 않다는 데 있다. 일반적으로 지문인식 시스템은 시각적으로 수작업에 의해 지문을 매칭하는 지문전문가들을 위한 직관적인 체계로 디자인되고 개발되어왔다. 이러한 시스템은 대부분 Local(특징점에 기초한 지문 일치 시스템)[1]과 Global(Henry System에 기초한 지문분류)[2]의 작업에 의해 실행되고 있다. 특징점에 기초한 자동신분 확인 기술들은 입력된 지문의 특징점의 종류(단점과 분기점)와 위치, 개수, 방향각들을 데이터베이스의 형판(Template)에 저장되어 있는 지문의 특징과 매칭시킨다[5, 7]. 특징점의 개수가 사람에 따라 다른 특징점에 기초한 지문인식시스템은 특징점의 개수가 일정하지 않아 인덱스로 사용하기 어려우며, 두 개의 지문 즉, 입력지문과 저장된 지문의 특징점을 매칭 시키기 위한 전형적인 접근방법은 그것들을 매칭하는데 복잡한 계산과 다양한 개수의 특징점 패턴을 정렬하는 것이 요구된다. 지문에 관련된 연구는 1) 특이점을 이용한 지문분류[5] 2) 특징점에 기초한 지문인식[9] 3) 세공과 용선을 이용한 지문인식[15] 4) Gabor 필터를 이용한 지문분류[16] 등이 있다

2.1 특이점을 이용한 지문분류

지문분류 방법의 알고리즘은 주로 1) 입력된 지문에서 용선의 방향성을 계산하고 2) 잡음을 제거하여 용선 이미지를 선명하게 만들고 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.

C. V. K. Rao[22]에 의하여 제시된 구문론적 접근방법은 지문묘사와 분류를 위해 문법의 형식을 사용하며 이 방법은 특이점의 형태들을 터미널 모양과 연장선의 규칙들로 묘사한다. 터미널 모양은 지문의 이미지 내에 있는 방향성 요소들의 작은 집단들의 조합으로 표현하고, 문법은 각 분류를 정의하며 문장을 분석하는 방법으로 각각의 지문 종류로 분류하고 있다. 실험에서는 94개의 지문만을 이용하였다.

Jain[5], Karu[20], Hong[21]에 의하여 제시된 모델에 기초한 접근 방법은 분류를 위하여 특이점(핵과 삼각점)의 위치를 이용하고 있다. NIST(National Institute of Standard and Technology) 데이터베이스를 사용한 실험에서[20]는 85%, [21]은 87.5%, [5]는 90.2%의 정확성이 보고되었다. 이 접근 방법이 지문 구조에 기초한 접근방법과 함께 기존에 가장 많이 사용되고 있다.

2.2 특징점에 기초한 지문인식

지문매칭은 자동신분 확인에 사용되는 기술중 하나[6]로 범

최수사 현장에서 범죄자 확인 등에 일상적으로 사용되고 있다.

대부분의 지문인식 자동화시스템은 특징점 매칭에 기반을 둔다. 특징점은 지문의 융선에서 부분 불연속 점으로 ANSI (American National Standards Institute)는 4가지 기준으로, 융선이 진행하다 끊어지는 단점(Ridge Ending Point), 융선이 진행하다 분리되는 분기점(Ridge Bifurcation), 세 갈래로 갈라진 융선과 교차점(Trifurcate-Crossover), 그리고 기타 [8]등으로 특징점 구분을 제안하였으며 이 제안에서는 미국의 연방수사국인 FBI(Federal Bureau of Investigation)가 사용한 신분확인 모델을 채택하였다.

우리나라 경찰청에서는 조희목적으로 특수전과자에 한하여 지문자동인식 시스템을 운용하고 있으며, 오른쪽 무지의 특징점을 추출하여 지문을 인식하고있다[18].

지문인식 자동 시스템은 이 4가지 불연속점 중 두 가지 주요 특징점 즉 단점과 분기점에 기초하여 많은 문제점을 해결하고있다. 품질이 좋은 지문은 70~90개의 특징점을 가지며 [9], 부분지문이나 품질이 좋지 않거나 희미하여 잘 보이지 않는 지문은 20~30개의 특징점만을 갖는다[9].

특징점에 기초한 지문인식에서 주요 문제점은 지문의 질이 종종 너무 낮고 노이즈와 때 등에 의해 가짜 특징점이 만들어질 수 있고, 왜곡에 의해 실제의 특징점들이 나타나지 않는 경우가 발생하는 것이다.

L. Hong, Y. Wan, A. Jain[10]은 특징점을 정확히 추출하기 위하여 지문이미지를 Gabor 필터로 필터링하여 잡음을 제거하고 융선과 계곡구조를 강하게 강조하여 융선에서 생기는 단점과 분기점을 명확하고 깨끗하게 하여 전체적인 융선 이미지를 2진화 방법과 비교하여 품질을 향상시켜 특징점 매칭의 인식율을 높이고있다.

입력지문의 특징점을 추출한 후에는 신분확인을 위해 데이터베이스에 등록되어있는 지문의 특징점과 비교하여 일치여부를 확인하는데 이 확인 과정을 매칭이라 하며 정확성 및 효율성을 동시에 만족시키기 위하여 많은 연구들을 해왔다.

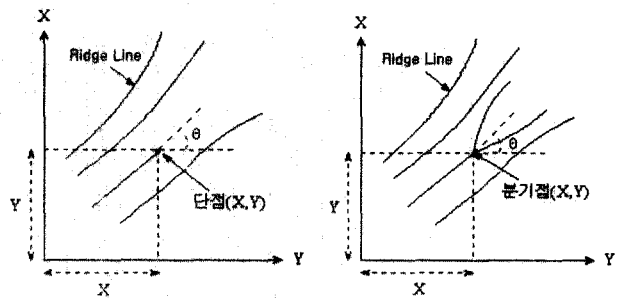
L. Hong과 A. Jain은 [7]에서 Digital Biometrics사의 센서를 이용하여 70명으로부터 700개의 지문을 획득하여(90%의 좋은 품질과 10%의 좋지 않은 품질의 지문) 특징점을 이용한 매칭 실험을 하여 FAR(False Acceptance Rate)이 0.07~0.073%인 경우 88%의 인식율, FAR이 0.02%인 경우 86%, FAR이 0%인 경우 85%의 인식율 결과를 얻었다.

Moayer와 Fu[11]는 구문론적 방법으로 지문의 형태를 인식하는 방법을 제안하였고, 그 후 많은 기하학적인 형태의 매칭 방법들이 사용되고 있다.

채종진, 박래홍[19]은 특징점을 이용한 계층적 매칭 작업으로 본인 인식율 94.81%, 타인 거부율 98.64%의 결과를 얻고 있다[19].

매칭에는 특징점의 종류(단점, 분기점, 기타), 위치, 방향, 상호 관계 등이 이용된다. 단점과 분기점은 각각 x 좌표, y 좌표 그리고 국부적 융선의 방향(θ)의 3 가지 속성(Attribute)을 가지며(그림 1), 매칭은 입력지문과 데이터베이스내의 지문이 서로 같은지를 확인하는 방법으로, 매칭 하고자하는 입력 지문과 데이터베이스내 지문의 각 특징점들이 가지고있는 좌표가 같은지, 아니면 오차범위에 드는지와 두 개의 겹치는 점들이 같은 방향성을 갖는 경우에 일치되는 것으로 Nailni와 Anil[9]은 정의하였다. 매칭시 문제점으로는 가짜 특징점의 존재, DB 형판에 잘못 추출된 특징점이 등록된 경우, 지문 획득시 손가락의 표피가 눌러 지문이 많이 변형되었을 때, 지문이 임의로 회전이 되어 획득된 경우 및 지문이 손상되어 저 품질인 경우는 매칭에 매우 큰 어려움이 발생한다.

매칭 방법에는 Point Set Matching[12], Graph Matching[13], Sub-Graph Isomorphism Matching[14]등이 있다.



(그림 1) 단점과 분기점의 구성요소

2.3 세공(땀구멍)과 융선을 이용한 지문인식

J. D. Stosz와 L. A. Alyea는 [15]에서 지문의 융선과 특이점, 특징점, 세공(땀구멍)형상의 조합을 이용한 자동화시스템을 개발하였다.

지문의 융선에서 세공의 위치는 개인에 대한 독특한 정보를 제공하고 신분확인을 위한 사용에 충분한 것으로 연구되고 있다. 융선과 세공형상의 조합을 이용한 신분확인[15]에 대한 연구에서는 적절한 세공정보의 추출을 위해 고해상도(1,000dpi 이상)로 지문이미지를 획득할 수 있는 광학/전자 센서가 필요하며, 이것으로 지문확인(매칭)에 이용되는 충분하고 적절한 세공자료를 포함하고 있는 지문을 제공한다. 이 기술의 타당성은 시험시스템을 통하여 입증되어왔다. 전처리 과정 후 세공을 획득하고, 핵과 삼각점, 단점, 분기점등의 필요한 정보로 세공도를 작성한 후 매칭 작업을 한다.

2.4 Gabor 필터를 이용한 기존의 지문 관련연구

Gabor 필터는 영상을 공간적으로 국부화(Localization)시키는 특성을 지니고있을 뿐만 아니라 주파수영역에서도 특정 주파수와 방향에 대해서 선택적으로 반응하는 대역 통과 필

터의 특성을 가진다. Gabor 필터는 시간의 함수위에 일정한 크기의 윈도우를 만들고 그 윈도우 내에서 주파수 성분을 추출하는 Short Time Fourier-Transform(STFT)으로 국부적으로는 움직이지 않으나 전체적으로는 고정적이지 않은 음성 시그널 등에 적용이 적당하다. 시간축의 어떤점 T에서 STFT 위치 윈도우 g(t)와 확장 내에서 시그널의 Fourier-Transform 또는 윈도우의 전개 계산식은 다음과 같다.

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

여기서, 윈도우 g(t)가 Gaussian일때 STFT를 Gabor 변환이라 한다.

2D Gabor 필터의 일반적인 공식은 다음과 같다.

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

여기서 $x \theta_k = x \cos \theta_k + y \sin \theta_k$, $y \theta_k = -x \sin \theta_k + y \cos \theta_k$, f는 싸인 평면파의 주파수이며, θ_k 는 Gabor 필터의 방향성이고, $\delta x, \delta y$ 는 x와 y 축을 감싸는 Gaussian의 표준 편차를 의미한다. 이러한 Gabor 필터는 방향성 및 주파수를 선택하는 특징을 갖는 밴드패스 필터로 공간주파수 도메인에서 최적의 집합 분석력을 갖고있다.

A. K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong은 [5]에서 그레이 스케일 지문을 4개 방향(0°, 45°, 90°, 135°)의 Gabor 필터에 통과시켜(그림 2)와 같은 이미지를 얻은 후 이를 다시 재 조합하



135° 필터링 재구성 이미지
(그림 2) Gabor 필터링 이미지 샘플의 그림

여 방향성이 강조된 Gabor 특징을 얻어 이를 분류에 사용하였다. 이 이미지는 원래의 이미지보다 용선 구조가 훨씬 향상된 이미지이다. 국부 용선 구조로부터 직접 획득한 Gabor 특징을 가지고 지문을 분류하였다.

L. Hong과 A. K. Jain[5]은 지문 분류 알고리즘에서 용선의 방향추출을 위한 Gabor 필터링 각도를 6개 각도로 보다 정밀한 영역으로 분할하여 지문을 분류하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 지문 분류에서 가장 어려운, 품질이 좋지 않은 지문에 대해 보다 강하게 처리하여 90.2%에 정확성을 얻었다.

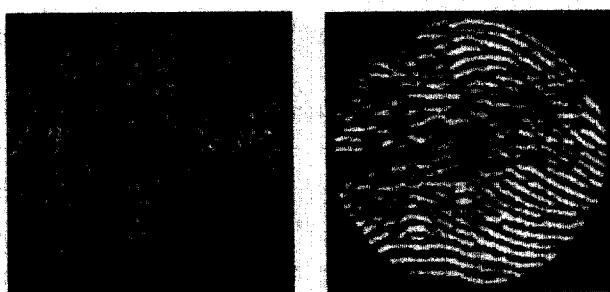
C. J. Lee, S. D. Wang은 [16]에서 Gabor 필터링 각도를 8개 각도로 하여 강화된 용선에서 코어를 검출하는 방법을 제안하여 지문분류에서 90%의 정확성을 얻고있다.

Gabor 필터를 통과하여 필터링된 그레이 스케일인 Gabor 특징들은 얼굴인식[17], 필적인식[17] 등에 넓게 적용되었다.

3. Gabor 필터에 기초한 지문인식

Gabor 필터를 사용하여 얻어지는 Gabor 특징값과 지문의 중심점을 찾아 이점을 기초로 입력지문과 등록지문간의 유클리드 거리를 계산하기 위한 참조점과 참조축을 정하여 빠르고 정확한 매칭으로 지문인식을 한다. 지문에서 특징추출은 전체와 국부의 정보를 합친 Scheme의 개발이 바람직하다. 스마트 카드에 저장하기 좋을 뿐만 아니라 매칭하는데 적합한 비교적 짧고, 고정된 길이의 데이터 값으로 표시할 수 있는 Gabor 특징값으로 지문을 표시한다. 매칭은 이러한 Gabor 특징값들 사이에서 유클리드 거리를 계산하는 것으로 한정한다. 그러므로 이 매칭은 매우 빠르다. 용선과 계곡의 전체적인 흐름과 국부적 용선의 특징을 매칭을 위한 짧고 고정된 길이의 Gabor 특징값으로 산출하여 사용하며 이 Gabor 특징값은 특정 섹터 내의 국부적 정보로부터 산출한 것이다.

Gabor 특징 추출의 알고리즘의 중요한 3 단계는 1) 지문 이미지를 위한 참조축 결정 2) Gabor 필터를 사용하여 10개 각도의(18°씩) 다른 방향에서 지문이미지 필터링 3) Gabor 특징값을 얻기 위해 필터링된 이미지에서 참조축 주변 각 섹터



원 이미지 0° 필터링



45° 필터링 90° 필터링

내의 Gray 값의 표준편차계산 등이다. 지문이미지는 Gabor 필터링을 하기 전에 센서의 잡음영향과 손가락의 압력차이를 제거시키기 위해 평활화 시킨다. $M \times N$ 지문이미지 내의 픽셀 (x, y) 에서 그레이 레벨 편차를 $I(x, y)$ 참조점을 x_c, y_c 라 표시한다. 관심영역은 모든 섹터들 S_i 의 집단(Collection)으로 정의, 여기서 i 번째 섹터 S_i 는 파라미터 r, θ 의 주기에서 다음 식과 같이 계산된다.

$$S_i = \{(x, y) \mid b(T_i + 1) \leq r < b(T_i + 2), \theta_i \leq \theta < \theta_i + 1, 1 \leq x \leq N, 1 \leq y \leq M\} \quad (2)$$

여기서 $T_i = i \text{ div } k, \theta_i = (i \text{ mod } k)(2\pi/k)$,

$$r = \sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2},$$

$$\theta = \tan^{-1}(y-y_c)/(x-x_c) \text{ 이다.}$$

b 는 각 밴드(band)의 폭으로 $b=20$ 픽셀, k 는 각 밴드 내의 분할된 섹터의 수($k=20$)이다. 20픽셀의 밴드에는 대략 2개의 융선과 계곡이 존재하고, 참조점을 중심으로 7개의 동심원을 그려 나누고 제일 안쪽의 밴드는 Gabor 특징 추출에 사용하지 않는다. 이유는 참조점 가까이 있는 영역의 섹터는 크기가 작아 픽셀을 거의 갖고있지 않아 이 영역에 있는 특징은 표준편가의 신뢰도가 없기 때문이다. 그러므로 총 $20 \times 6 = 120$ 섹터($S_0 \sim S_{119}$)를 갖는다. 10개 각도로 필터링된 이미지에 대해 각각 120개의 특징값들을 가지며, 한 개의 지문 이미지에서 1,200(10 이미지 \times 120 섹터)개의 특징값을 얻는다. 각 특징은 256 값으로 양자화 될 수 있고 지문하나의 Gabor 특징값은 1.2K 바이트 저장공간을 필요로 한다. 본 논문에서 Gabor 필터링에 의한 지문인식 알고리즘은 ① 참조점 및 참조축 찾기 ② 섹터 분할과 평활화 ③ Gabor 필터링 ④ 섹터내의 변량(Gabor 특징값) 계산 ⑤ 매칭의 5 단계로 나누어 실행한다.

3.1 1 단계 : 참조점과 참조축(Frame) 결정

지문은 눈에 떠는 확실한 특징 구조를 많이 가지고있고, 그 특징들의 어떠한 조합이라도 참조프레임으로 사용할 수 있다. 실험에서는 지문이미지에 있는 융선의 최대 굴곡점을 지문의 참조점(중심점)으로 정의하며 참조축은 참조점에서 국지적으로 대칭이 되는 축으로 정의한다. 참조점과 참조축은 둘 다 지문 매칭을 위하여 불변의 점과 축으로 확정하며 참조점의 검출은 다음과 같은 방법을 사용한다.

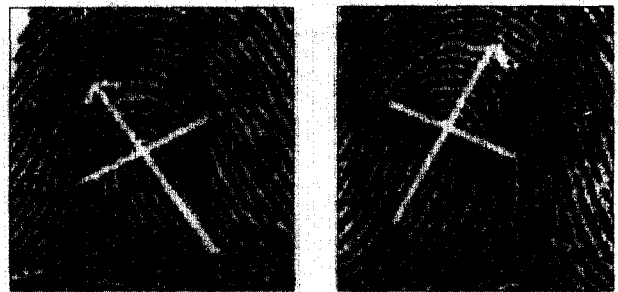
참조점의 위치는 지문에서 융선이 위를 향해 구부러진(감겨진), 융선의 가장 안쪽에서 최 상위점을 찾는 것으로 시작된다. 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 참조점을 찾아낸다.

- 1) 지문에서 잡음을 제거하기 위해 2-D Gaussian Low-

pass Filter를 5×5 픽셀 크기로 지문에 적용하여 필터링한다.

- 2) 필터링한 이미지에서 각 픽셀 x 와 y 의 기울기 크기를 계산하여 $[Gx, Gy]$ 로 나타낸다. 기울기는 두 이웃한 픽셀의 평균값에 의해 구해진다.
- 3) $[Gx, Gy]$ 를 2-D Gaussian Lowpass Filter로 다시 필터링하여 한번 더 잡음을 제거한다.
- 4) 필터링된 이미지를 10×10 픽셀 크기로 중복되지 않게 블록으로 나눈다.
- 5) 각 블록의 국부적 방향성의 기울기를 계산한다.
- 6) 기울기 값이 $\frac{\pi}{2}$ 보다 작은 값들만 산출한다.
- 7) 산출된 값 중에서 수치가 가장 높은 블록내의 $-y$ 방향에서 경사도를 계산하고 지문의 중앙점이 되는 하나의 x, y 점을 계산하여 중심점을 찾은 후 이점에서 x 축의 기울기와 직교하는 선을 그어 이 선을 참조축으로 정한다.
- 8) x, y 점(중심점)을 검출한 후 이점에서 30픽셀 수직 아래의 점을 참조점으로 결정한다.

30픽셀 아래의 점으로 참조점을 결정하는 이유는 7개의 동심원에서 제일 안쪽 밴드의 Gabor 특징은 사용하지 않는 다음 단계의 프로세스 때문이다. 만일 참조점을 30픽셀 아래로 옮기지 않는다면 중심점이 있는 부분의 중요한 정보를 놓칠 수 있기 때문이다. 참조점 프레임 결정에 의한 참조축의 출력은 (그림 3)에서 보이는 것과 같다.

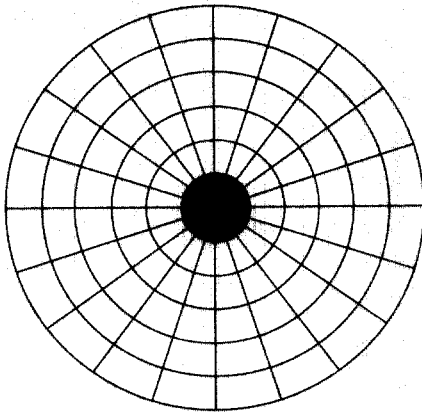


(그림 3) 참조 프레임 출력

3.2 2 단계 : 섹터 분할과 평활화

참조점을 중심으로 300×300 픽셀 크기로 잘라낸 지문 이미지를 이 참조점 주위로 7개 동심원으로 나누는데 각 밴드는 20픽셀의 반지름이고 중앙 원의 반지름은 12픽셀로 총 지름은 263픽셀이다. 전체 원을 20개 섹터로 균등분할(10개 각도로 Gabor 필터링을 하기 때문에) 한 후 중앙 밴드(그림 4의 검은색부분)는 무시한다

이로 인해 분할된 섹터의 수는 $20 \text{ Wedge} \times 6 \text{ 밴드} = 120$ 개의 섹터가 생성되며 각 섹터는 각각의 Gabor 필터에 대응하는



(그림 4) 섹터분할

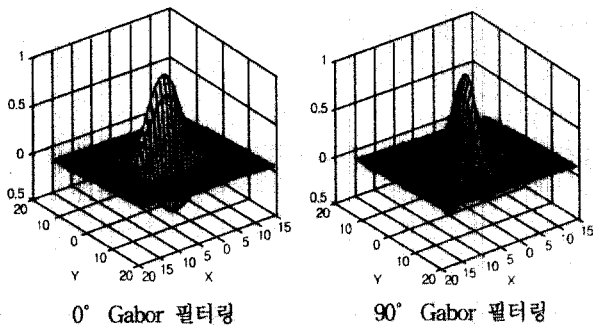
Gabor 특징값을 가지게 된다. 중앙 밴드는 그것을 사용하기에 너무 작은 공간을 가지고 있기 때문에 무시한다. 섹터를 분할하는 또 다른 목적은 평활화 때문이다. 지문 획득시 지문 센서로 스캐닝 할 때 발생하는 잡음과 센서로 지문을 획득할 때 발생한 압력의 변화를 평준화 시켜주는 것이 평활화이다. 평활화에 사용한 공식은

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

여기서, M_0 와 V_0 는 섹터의 픽셀 평균과 변량(Gabor 특징값)으로 실험에서는 평균 M_0 와 변량 V_0 는 각각 상수 100으로 놓았다. i 는 섹터 번호, M_i 와 V_i 는 각각 i 번째 섹터에서 계산되어진 평균값과 변량이다. 평활화는 용선과 계곡구조의 명확성을 변화시키지 않는 픽셀 위주의 실행이다.

3.3 3 단계 : Gabor 필터링

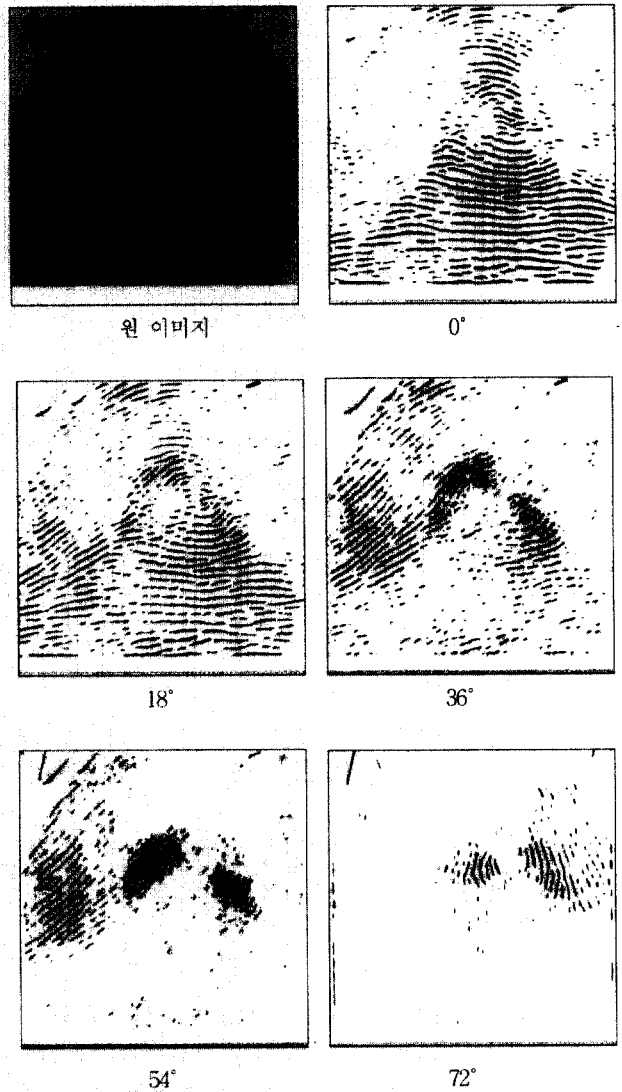
10개의 Gabor 필터에 평활화된 지문 이미지를 통과시킨다. 각각의 필터는 10개의 각도(0°, 18°, 36°, 54°, 72°, 90°, 108°, 126°, 144°, 162°)를 위한 33×33 필터에 의해 형성이 되고(그



(그림 5) Gabor 필터링

림 5)와 같이 지문을 필터링한다. Gabor 필터의 적용목적은 용선 구조를 강하게 하면서 잡음을 제거하고 이미지에서 특별한 방향성 정보를 얻는데 있다. 분할된 섹터내의 그 방향에서 용선의 존재를 발견할 것이다. (그림 5)는 Gabor 필터에 지문을 Convolution시키는 그림이다.

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 보여 주고 있다.



(그림 6) 18° 간격으로 Gabor 필터링 된 지문이미지들

3.4 4 단계 : 분할된 섹터 내에서 변량 계산

10개의 Gabor 필터를 통과 시켜 얻은 10개의 방향 이미지의 각 분할된 섹터 안에서 픽셀값의 변화를 계산한다. 이것은 지문의 그 부분에서 각 방향에 대응하는 용선의 집중을 의미한

다. 섹터 안에서 높은 변화는 Gabor 필터와 같은 방향의 용선을 의미하는 것이고 낮은 변화는 용선이 아니라는 표시이다. 변화 값의 계산식은 다음과 같다.

$$V_i, \theta = \sqrt{\sum_{K_i} F_i, \theta(x, y) - P_i, \theta}^2 \quad (4)$$

여기에서 F_i, θ 는 θ 각도로 필터링된 i 번째 영역에서의 픽셀 값이고, P_i, θ 는 픽셀값의 의미이며 K_i 는 i 번째 섹터에서 픽셀들의 개수이다.

3.5 5 단계 : 매칭

기존의 특징점에 기초한 매칭에서는 모든 특징점의 x, y 좌표값과 5×5 또는 10×10 픽셀내에서 특징점의 대표방향을 구하기 위하여 각 픽셀의 $\cos x, \sin y$ 값을 구하고 그것의 \arctan 값을 취해서 방향값을 구하여 입력지문과 등록지문의 일치 여부를 확인한다.

Gabor 필터를 이용한 지문인식에서는 개인의 지문으로부터 획득한 Gabor 특징(변량)값을 계산하고 계산된 변량값을 매칭을 위해 지문데이터베이스에 저장한다. 특정인의 지문이 입력되면 입력지문에서 각 섹터의 변량값을 계산한 후 이 값과 데이터베이스에 등록된 지문의 각 섹터의 변량값 간의 유클리드 거리를 참조점 및 참조축을 기준으로 계산하여 얻은 값에서 최소거리로 지문의 매칭 여부를 판정한다. 이 계산은 MNN(Mean Nearest Neighbor) 방법[16]을 사용한다. MNN은 매칭 결과 산출을 위한 최소의 계산과 매칭을 위해 각 섹터의 Gabor 특징값(50,000~300,000)을 저장 할 수 있는 아주 적은 저장공간만을 필요로 하는 장점이 있다.

4. 매칭 실험 및 결과 분석

4.1 실험 데이터 및 실험 환경

실험에 사용한 지문데이터는 NIST(National Institute of Standard and Technology)-4 지문 데이터베이스를 사용하였다. NIST-4 지문 데이터베이스는 미국 상무성에서 지문분류 및 지문인식 시스템의 개발과 실험을 위해서 만든 것으로, 하나의 지문을 First와 Second로 나누어 두 번씩 획득한 2,000쌍(4,000개 지문)의 지문을 5종류(좌계상문(L), 우계상문(R), 와상문(W), 궁상문(A), 솟은궁상문(T))로 분류, 각각 400쌍이 저장되어 있다. NIST-4 데이터베이스에서 F지문 400개의 Gabor 특징값을 데이터베이스에 저장하여 등록지문으로 사용하고, F와 같은 손가락에서 획득한 S지문 400개를 테스트 지문으로 매칭에 사용하였다.

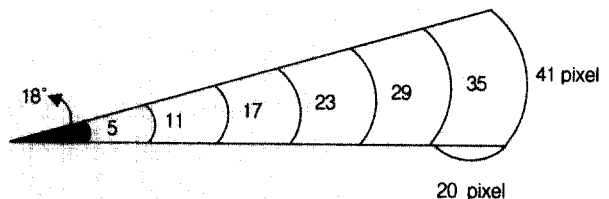
또한 Veridicom사의 FPS110 Solid-State Sensor로 100명

의 같은 지문을 2회씩 F와 S로 나누어 획득하여(총 200개) F인 100개 지문은 데이터베이스로, S의 100개는 테스트 지문으로 사용하였다. 지문을 획득 할 때 $\pm 15^\circ$ 회전 이내의 지문을 날인하도록 세심한 주의를 기울였다. 이는 하나의 섹터를 18° 간격으로 분할함으로써 지문의 회전이 이 간격을 넘어가면 지문인식에 많은 영향을 줄 것으로 염려한 때문이다.

기존의 Gabor Filter를 이용한 방법에서는, 4개각도($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$), 6개각도($0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$), 8개각도($0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$)로 필터링하여 산출된 Gabor 특징값을 4종 또는 5종으로 지문을 분류하는데 적용하였으나, 본 논문에서는 두 지문간의 일치 여부를 확인하는 매칭에 Gabor Filter를 이용한 방법을 처음으로 적용하였다. 18° 간격으로 필터링한 이유는 분할된 섹터의 적절한 크기 때문이었다.

(그림 7)에서와 같이 18° 로 필터링 하였을 때 Gabor 특징값을 구하는 가장 큰 섹터의 크기는 바깥호가 약 41픽셀, 밴드의 폭은 20픽셀, 안쪽 호는 약 35픽셀 크기의 부채꼴이며, 가장 작은 섹터의 크기는 바깥호가 약 11픽셀, 안쪽호가 약 5픽셀이다.

Gabor 특징값을 산출하는 섹터가 너무 큰 경우 불필요한 정보를 포함하는 경우가 발생하며, 너무 작은 경우 충분한 정보가 포함되지 않는 문제를 고려하여 18° 로 분할한 섹터의 크기를 계산하여 본 후 18° 로 적용하였으며, 밴드를 7개로 설정한 이유는, NIST-4 데이터 베이스에 있는 지문의 크기(512×512)에서 보다 많은 용선 정보를 이용하기 위한 섹터 수를 고려한 것이다. 지문의 용선과 용선간의 거리는 약 9~12픽셀(500dpi) 정도이다.



(그림 7) 18° 와 7개 밴드로 분할한 섹터의 크기

실험에 사용한 컴퓨터는 펜티엄III Dual 1GHz, 512MB 메모리, Window 2000 환경 하에서 프로그램은 Visual C를 사용하였다. 실험에서 주파수(f)는 10, 밴드의 폭은 20픽셀, 밴드 수는 7개, Gabor 필터링은 10개각도(18°)로 하였다.

실험은 입력지문으로 사용한 S 지문 500개를 한 개씩 입력시켜 등록지문 F 500개의 Gabor 특징값과 유클리드 거리를 계산하여 500개 계산 결과값 중에서 최소거리로 나타난 지문이 입력지문과 같은 지문인지 여부를 확인하는 방식으로 실

행하여 얻은 결과를 <표 1>에 나타내었다. 회전과 참조점 위치의 불일치로 같은 손가락으로부터 획득한 이미지도 동일한 특징값이 산출되지는 않는다.

4.2 실험 결과 분석

<표 1>에서, 인식은 데이터베이스에 등록되어있는 F지문 500개에 테스트 지문 S 500개를 매칭시켜, 같은 손가락에서 첫 번째 획득하여 데이터 베이스에 등록한 지문 F와 두 번째 획득하여 입력한 지문 S간의 유클리드 거리가 500개의 산출된 값 중에서 최소 유클리드 거리로 산출되면 두 지문이 일치하다고 판정을 내린 것으로, FAR(False Acceptance Rate)이 0% 일때 88.6%의 인식률로 나타나고, 오인식은 F와 S가 다른 지문임에도 최소 유클리드 거리로 나타난 잘못된 지문인 식으로 11.4%이다.

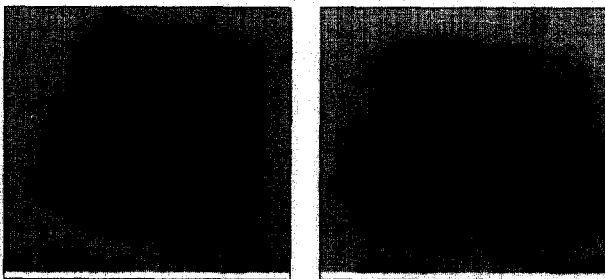
<표 1> 실험 결과 분석표

판 정	데이터 개수	백분율(%)
인 식	443	88.6
오인식	57	11.4

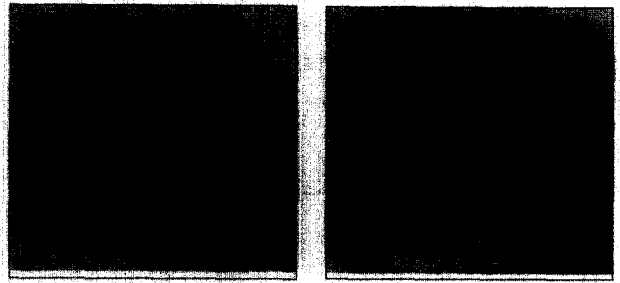
57개의 오인식 내역을 분석하면

- 입력지문이나 등록지문이 15° 이상 기울어졌으며 용선이 뭉개진 지문이 14개(그림 8)
- NIST-4 데이터가 잉크 방식으로 획득한 지문이라 지문 날인 시 잉크가 번져 용선이 붙어버린 지문 11개(그림 9)
- 지문을 너무 압착 날인하여 용선이 붙어버린 지문 7개(그림 10)
- 지문을 너무 살짝 날인한 지문 6개(그림 11)
- 분석이 어려운 오인식 지문이 19개이다.

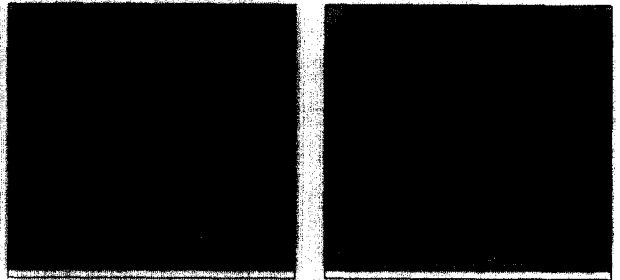
대다수 오인식의 원인은 지문의 회전, 등록과 테스트에 사용한 지문의 용선이 많이 상해있어 Gabor 특징값 추출이 어렵고, 참조점 찾기가 어려워 발생한 것으로 분석에 의해 나타나



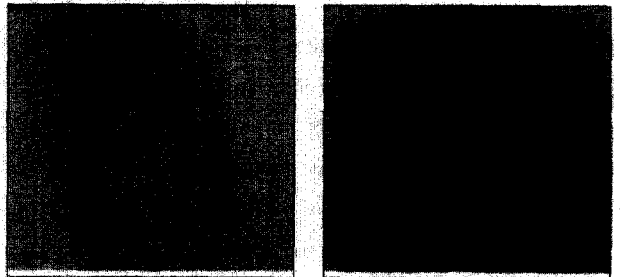
(그림 8)



(그림 9)



(그림 10)



(그림 11)

고있다. 지문 획득시 이 점들을 보완하면 지문의 인식율은 많이 향상될 것이다. 또한 입력지문과 등록지문의 이미지가 불량하여 Gabor 특징의 계산값이 임계값을 벗어나면 Reject로 구분하는 시스템을 구현하면 인식율이 향상될 것이다.

5. 결 론

각 지문이미지를 10개 각도로 필터링하고 7개 밴드중 6개 밴드×20개 섹터에서 얻은 1,200개의 특징값은 지문의 중심점을 기준으로 하여 중심 영역에서 추출한 것이다. 각 섹터내의 특징값 들은 1바이트로 표시되어 한 개 지문의 총 특징값은 1,200바이트로 고정 표시된다. 매칭 단계에서는 데이터 베이스에 등록된 각 섹터내의 특징값 과 입력지문의 각 섹터내의 특징값 사이의 유클리드 거리를 계산하는 간단한 방식으로

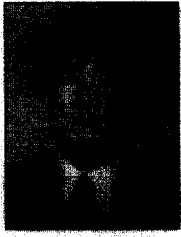
88.6%의 정확성으로 인식하는 결과를 얻어 A. K. Jain과 L. Hong의 논문[7]에서 발표한 특징점에 기초한 매칭결과(88%)와 비교하여 대동한 인식율의 결과이다. 이는 Gabor 필터를 지문의 품질 향상과 분류등에 이용하는 것만이 아니라 지문인식에도 적용이 가능하고 이 새로운 지문인식 방법(특징점 기초한 매칭방법과 비교하여) 지문인식 실험에도 사용될 수 있는 가능성이 있음을 증명한다.

제안방법의 가장 큰 강점은 지문의 용선만을 이용하여 Gabor 특징을 얻고 특징값(변량)을 이용하여 계산에 의해 간단히 매칭을 할 수 있는 것이며, 또 다른 강점은 대형 지문데이터베이스에 등록된 지문이 이미 분류가 되어 등록된 지문이라면 매칭을 위해 입력되는 지문의 Gabor 특징값 계산으로 그 종류를 알 수 있어 데이터베이스에 등록되어 있는 같은 종류의 지문들만 매칭하면 되므로 매칭 실행 시간을 단축할 수 있어 대형지문 데이터베이스에서 유용하게 사용할 수 있다.

Gabor 필터를 이용하여 지문인식을 위한 매칭으로의 시도였기 때문에 본 논문에서 실행한 실험에는 많은 한계들이 있다. 보다 실제적인 접근을 위해 Gabor 필터를 이용한 지문인식에 대하여 보다 깊은 연구와 Gabor 필터링 과정에서 많은 시간이 소요되는 문제점의 해결과 보다 정확하고 간편하게 지문의 회전에 영향을 받지 않고 중심점과 참조축을 결정하는 방법에 대한 집중 연구가 다음의 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] A. K. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-line Fingerprint Verification," IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence, Vol.19, No.4, pp.302-314, 160-166, 1998.
- [2] E. R. Henry, "Classification and Uses of Fingerprint," London : Rout-Ledge, 1900.
- [3] A. Wahab and S. H. Chin, "Novel Approach to Automated Fingerprint Recognition," IEEE Proceeding-Vision, Image and Signal Processing, Vol.145, No.3, pp.160-166, 1998.
- [4] L. Hong, Y. Wan and A. K. Jain "Fingerprint Image Enhancement Algorithms and Performance Evaluation," Proc, 14th Int'l Conf. Pattern Recognition. Brisbane, pp.1373-1375, Aug., 1998.
- [5] A. K. Jain, S. Parbhakar, L. Hong, "A Multichannel Approach to Fingerprint Classification," IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.21, No.4, 1999.
- [6] B. Miller, "Vital Signs of Identity," IEEE Spectrum, Vol.31, No.2, pp.22-30, Feb., 1994.
- [7] A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, and R. Bolle, "A Identity Authentication System Using Fingerprints," Processing of the IEEE, Vol.85, No.9, pp.1365-1388, 1997.
- [8] G. T. Gandela, 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] N. K. Ratha, "A Real-Time Matching System for Large Fingerprint Database," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.18, No.8, Aug., 1996.
- [10] L. Hong, Y. Wan and A. K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement : Algorithms and Performance Evaluation," Proc. IEEE Comp. SOC. Workshop on Empirical.
- [11] B. Moayer and K. S. Fu, "A Syntactic Approach to Fingerprint Pattern Recognition," Pattern Recognition, Vol.7, 991-23, 1975.
- [12] J. H. Wegstein, "An Automated Fingerprint Identification System," Technical Report 500-89, National Bureau of Standards, Bethesda, Md, 1982.
- [13] D. K. Isenor and S. G. Zaky, "Fingerprint Identification Using Graph Matching," Pattern Recognition, Vol.19, No.2. pp. 113-122. Nov., 1993.
- [14] "Application Briefs Computer Graphics in the Detective Business," IEEE Computer Graphics and Applications. Vol. 5, No.4 pp.14-17, Apr., 1995.
- [15] J. D. Stose, L. A. Alyea : "Automated System for Fingerprint Authentication Using Pores and Ridge Structure" Department of Defence 9800 Sauoge Road, Ft. Meade, MD 20755-6000, 301-688-0726.
- [16] C. J. Lee and S. D. Wang, "Fingerprint Feature Extraction Using Gabor Filter," Electronics Letters, Vol.35, No.4, pp. 288-290, 1999.
- [17] Y. Hamamoto, S. Uchimura, M. Watanabe, T. Yasuda, Y. Mitani and S. Tomita, "A Gabor Filter Based Methode for Recognizing Hand Written Numerals," Pattern Recognition, Vol.31, No.4, pp.395-400.
- [18] 경찰청 감식과, "십지 지문 분류 요령집".
- [19] 채종진, 박래홍, "Ridge-Line을 이용한 계층적 지문 인식", 한국정보과학회논문지, Vol.18, No.5, September, 1991.
- [20] K. Karu and A. K. Jain, "Fingerprint Classification," Pattern Recognition. Vol.29, No.3, pp.389-404, 1996.
- [21] L. Hong and A. K. Jain, "Classification of Fingerprint Images," Technical Report MSUCPS ; TR98-18 Michigan State Univ, June, 1998.
- [22] 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.



심현보

e-mail : L4743@chollian.net

1977년 성균관대학교 이학사(물리학)

1980년 연세대학교 공학석사(전자공학)

2000년 명지대학교 박사과정(컴퓨터공학)

1973년~1977년 시그네틱스 KOREA

1977년~1984년 (주)조우니 컴퓨터 상무이사

1984년~1996년 (주)해동시스템 대표이사

1996년~1999년 (주)산내돌인슈 전자통신 연구소소장, 전무이사

1999년~현재 (주)와이즈테크 대표이사

관심분야 : 지문인식 데이터베이스, 데이터마이닝, 패턴인식



박영배

e-mail : parkyb@mju.ac.kr

1974년 동아대학교 전기공학(공학사)

1980년 연세대학교 전자계산학(공학석사)

1993년 서울대학교 컴퓨터공학(공학박사)

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 Inte-
gration 등