

RSTI불변 지문인식 알고리즘

(Rotation-Scale-Translation-Intensity Invariant Algorithm for Fingerprint Identification)

金 賢 * , 金 學 一 *

(Hyun Kim and Hakil Kim)

요 약

본 논문에서는 지문 영상의 개별적이고 부분적인 특성(밝기, 품질 차이 등)을 고려하여 지문의 특징량 추출을 수행함으로써 지문 입력기간의 차이에서 오는 문제점을 극복하며, 정합 과정시에는 회전 및 크기 변화, 위치 이동 등에 관계없이 균일한 성능을 보장하면서도 실시간 내에 처리가 가능한 자동 지문인식 알고리즘을 제안한다. 특히 본 방법에서는 지문의 분류 작업을 옹선의 전체적인 흐름 모양과 중심점, 삼각주와 같은 특이점 간의 상호 관계를 이용하여 결정하게 된다. 개발된 알고리즘을 평가하기 위해 NIST 지문 및 한국인의 연령과 직업별 인구 분포에 따라 구축된 압착 날인 지문, 그리고 회전 날인 후 수취화된 지문과 같은 다양한 영상들에 대해 제안된 방법을 적용하였으며, 전체적인 인식 성능이 타인 수락 오류율을 0%로 설정했을 때 본인 거부 오류율이 0.07%라는 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, an algorithm for a real-time automatic fingerprint identification system is proposed. The fingerprint feature volume is extracted by considering distinct and local characteristics(such as intensity and image quality difference etc.) in fingerprint images, which makes the algorithm properly adaptive to various image acquisition methods. Also the matching technique is designed to be invariant on rotation, scaling and translation (RST) changes while being capable of real-time processing. And the classification of fingerprints is performed based on the ridge flow and the relations among singular points such as cores and deltas. The developed fingerprint identification algorithm has been applied to various sets of fingerprint images such as one from NIST(National Institute of Standards and Technology, USA), a pressed fingerprint database constructed according to Korean population distributions in sex, ages and jobs, and a set of rolled-then-scanned fingerprint images. The overall performance of the algorithm has been analyzed and evaluated to the false rejection ratio of 0.07% while holding the false acceptance ratio of 0%.

I. 서 론

현대에 이르러 일반인에게 컴퓨터와 통신망이 급속히 보급되고, 전자상거래가 현실화되면서 보안의 중요

성이 크게 부각되었다. 그러나 기존의 개인식별번호(PIN- Personal Identification Number)나 암호가 누출등의 위협으로 인해 사용자의 신분 확인 및 증거로 활용될 수 없으며 단지 누군가가 보안 시스템의 특

* 正會員, 仁荷大學校 自動化工學科
(Signals and Information Eng. Lab., Dept. of

Automation Engineering, INHA University)
接受日字: 1997年12月29日, 수정완료일: 1998年4月29日

성을 알고 그것을 사용했음을 인지할 뿐이기 때문에, 시간과 공간의 제약이 없어진 현대에 와서 이를 대체할 수 있는 새로운 수단의 필요성이 더욱 절실해지고 있다. 게다가 이와 같이 큰 비중을 가지는 보안에는 두가지 측면이 고려되어야 하는데 그 중 하나는 보안의 대상이 되는 지역 또는 정보에 비인가자의 접근을 막는 것과, 다른 하나는 인가받은 사람이 불편없이 접근할 수 있도록 하는 것이다^[1]. 따라서 본 연구에서는 이러한 목적을 만족시킴은 물론 분실 및 망각, 도용의 위험이 없는 신체적 특징을 이용한 보안시스템에 주목하고, 이들 기술 중 적용 범위 및 사용의 편의 등에서 우수하다고 판단된 지문인식 기법을 중심으로 실생활, 특히 전자주민증 및 전자상거래에 응용 가능한 알고리즘을 개발하고자 하였다.

그러나 이러한 지문인식 기법은 기존의 영상처리에 서와는 달리 다음과 같은 여러 가지 문제점을 포함하게 된다. 즉 지문에는 기준 좌표축이 존재하지 않으므로 임의로 회전되어 채취된 지문에 대한 처리가 어려우며, 지문은 신체의 일부로서 유연성을 가지고 있어 채취될 때마다 그 모양이 달라보이고, 지문은 손상될 수 있어 저품질의 지문이 빈번히 발생할 수 있다는 것이다. 이에 대한 해결책으로서 기존의 연구에서는 개인별 특징을 추출하기 위해 크게 세션화나^[2-5] 주파수 공간에서의 Fourier^[6-8] 및 Wavelet 변환^[9], 또는 신경회로망이나 퍼지논리^[10-13] 등을 사용해 왔으며, 최근 특징적인 방법으로 체인 코드(chain code)^[14]나 용선 추적^{[15][16]} 등이 사용된 바 있다. 본 연구에 앞서 개발된 FFT기반 지문인식 시스템^[6]도 실시간 처리에 있어 우수한 성능을 보이며 보안성에 있어서도 엄지와 검지 모두에 적절한 인식률을 보장하지만, 알고리즘의 특성상 주파수 공간에서 운용됨으로 인해 전자주민증에서 요구하는^[17] 단점이나 분기점의 정확한 위치와 방향을 찾아내기에는 부적합하였다. 또한 정합 방식에서도 비교 대상 지문의 이동 변화에는 강한 면모를 보이나, 다양한 하드웨어 상황에서의 크기 및 회전, 밝기 변화에 대해 취약성을 가지는 등 이에 대한 개선이 요구되었으며, 대규모 조회 작업(범죄 수사 목적) 등에 이용하기 위해선 인식률을 더욱 향상시킬 필요가 있었다. 그러므로 위의 사항들에 대해 적절히 대응할 수 있는 방법으로서, 기존의 용선 방향에 기초한 인식 알고리즘에 더불어 특징량에 대한 처리 요소를 포함시켜야 할 필요성이 대두되었고 이에 다음

과 같은 고려 사항들을 선정, 이에 대한 해결책을 모색하고자 하였다.

첫째, 엄지와 검지 등, 비교 대상 영역 크기에 상관 없어야 한다.

둘째, 등록시, 압착 날인과 회전 날인 모두에 적용될 수 있어야 한다.

셋째, 등록시, 온라인과 오프라인 방법 모두 적용할 수 있어야 한다.

넷째, 다양한 연령층과 직업군에 사용될 수 있어야 한다.

다섯째, 하드웨어 특성 변화(밝기 차 등)에 강인해야 한다.

여섯째, 데이터 호환성을 유지하여야 한다.

그 결과 이러한 고려 사항을 모두 충족시킴은 물론 본 연구의 주요 연구 목적인 인식률 증가를 실현하는 방법을 개발하였고, 이를 다양한 지문 표본에 적용함으로써 그 타당성을 검증할 수 있었다. 즉 밝기 차 등의 잡음이 포함된 지문을 양질화 시킬 수 있었고, 대상 지문의 품질에 따라 이후 처리에 차등을 주거나 사전 실험을 통한 다양한 참조표를 활용함으로써 처리 시간을 줄였으며, 위치 이동이나 회전, 크기 변화에 불변인 정합 방법을 개발함으로써 다양한 종류의 수치 지문에 적용하여 타인 수락 오류율을 0%로 설정했을 때의 본인 거부 오류율이 0.07%라는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

II. 지문인식 소개

지문에서 산맥과 같이 솟아 오른 부분을 용선(ridge)이라 하고, 반대로 용선과 용선 사이에 계곡과 같이 파인 부분을 골(valley)이라 한다. 그림 1에 나타난 바와 같이 지문 영상 내에는 이러한 용선과 골의 단순한 흐름 외에도 여러 특징적인 형태를 가진 부분들이 존재하게 된다. 우선 용선이 부드럽게 흐르다가 끊어지거나 갈라지는 점들, 그리고 이들이 복합되어 있는 형태를 들 수 있으며, 이 때 용선이 끊어지는 점을 단점(ending point)이라 하고 갈라지는 점은 분기점(bifurcation point)이라 한다. 보통 육안 인식시에는 단점과 분기점 외에 짧은 용선(short ridge, island), 고립(enclosure, lake), 교차(cross over)등도 특징점으로 이용되고 있으나, 자동화된 처리에서는

이의 구성을 단점과 분기점의 조합으로 보아 이들을 특징 요소에 포함시키지 않는 것이 대부분이다^[18].



그림 1. 지문의 구조적 특징들 (검은색이 용선)
Fig. 1. Structural features of fingerprint.

또한 이러한 특징점 외에도 대용량 데이터베이스에서의 검색 목적 등을 위해 지문을 몇 가지 대분류로 나누기도 하는데, 본 연구에서는 전자주민증 사업과의 호환성을 위해 중심점(upper core), 아래 중심점(lower core), 왼쪽 및 오른쪽 삼각주(left, right delta)를 정의하여 사용하게 되며, 이들의 상관 관계로부터 지문을 그림 2와 같이 궁상문(arch), 우제상문(right delta), 좌제상문(left delta), 와상문(whorl), 변태문(transient)의 5가지로만 분류하게 된다. 여기서의 중심점이란 지문 용선의 굴곡이 위쪽으로 가장 큰 곳을 의미하며, 아래 중심점은 그와 반대로 아래쪽으로 굴곡이 가장 큰 곳이다. 그 외에 삼각주란 지문의 용선 흐름이 세군데 방향에서 한곳으로 모이는 것으로, 그 모양이 마치 하천에서 나타나는 삼각주와 비슷한 형태를 가진다. 그리고 이들을 이용한 분류중 궁상문이라 함은 삼각주가 존재하지 않는 특성을 보이는 지문을 말하며, 우제상문은 지문 중심점 오른쪽에 삼각주가 1개 존재하는 것이고 반대로 좌제상문은 중심점 왼쪽에 삼각주가 1개 존재하는 것이다. 와상문은 지문 중심점 왼쪽과 오른쪽에 삼각주가 각각 1개씩 총 2개가 존재하는 것이며, 변태문은 위에서 열거한 지문 부류중 어디에도 속하지 않는 지문을 말하게 된다. 단눈으로 바라보는 위치와, 자동화 기구를 통해 수치화(live scan)될 때 바라보는 위치가 서로 다르게 되므로 이에 주의하여야 한다. 예를 들어, 종이에 지문을 날인한 후 수치화된 것과 직접 기구의 프리즘 등을 통해 수치화된 것을 비교해보면 지문의 좌, 우가 서로 바뀌어 있게 된다.



그림 2. 지문 분류 (변태문은 위 네가지에 속하지 않는 지문)

Fig. 2. Type classifications of fingerprints.

또한 지문인식 시스템에서 사용하는 특징으로는 위에서 열거한 특징점 및 특이점 외에도 여러 가지가 있을 수 있다. 즉 잔류 지문(latent fingerprint)등과 같이 정합에 필요한 충분한 정보를 줄 수 없는 경우에, 특징점 및 특이점간의 상호 관계, 지문 분류, 화질 정보 등 정합에 도움을 줄 수 있는 제 2, 제 3의 것이 필요하게 되고, 본 논문에서는 이러한 특징점 및 특이점을 포함한 모든 것들을 통칭하여 특징량(feature volume)이라 정의한다.

이외에도 지문 입력 방법을 정의할 필요가 있는데, 예를 들어 주민등록증에는 회전(rolling)하여 지문을 날인하게 되나 일반적인 자동화 시스템에서는 압착하여 날인하는 경우가 대부분이다. 그림 3은 압착 날인의 예로 수치화된 지문의 면적이 작으며 좌, 우에 있어야 할 삼각주가 소실되어 있음을 알 수 있다. 이러한 경우 지문의 정확한 분류는 몇 가지 특이한 경우를 제외하곤 불가능하다.

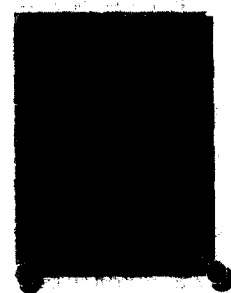


그림 3. 압착 날인에서의 삼각주 유실 예 (흰색이 용선)

Fig. 3. An example of missing delta points in pressed fingerprint image.

마지막으로 지문 정합시 시스템 성능을 평가하는 대표적인 방법으로, 그림 4에서 보여주는 바와 같이 전체적인 오인식율이 최소화되도록 문턱치를 설정할 때 나타나는 타인 수락 오류율(FAR-False Accep-

tance Ratio)과 본인 거부 오류율(FRR-False Rejection Ratio)을 들 수 있다. 즉 타인 수락 오류라 함은 하나의 지문을 이미 등록된 지문과 비교했을 때 동일인이 아님에도 불구하고 동일인이라 잘못 판정하는 것이고, 반대로 본인 거부 오류는 동일인임에도 불구하고 타인이라 잘못 판정하는 것이다. 보통 지문인식 시스템은 보안을 목적으로 하므로, 타인 수락 오류율이 높을수록 치명적이다. 그러므로 타인 수락 오류율을 0%로 하였을 때의 본인 거부 오류율을 시스템의 보안 성능 지표로 하는 경우가 많다. 그러나 범죄 수사를 목적으로 용의자 색출을 하는 경우, 후보 지문이 누락되는 경우가 없어야 하므로 본인 거부 오류율을 0%로 맞추어 사용하는 예도 있다.

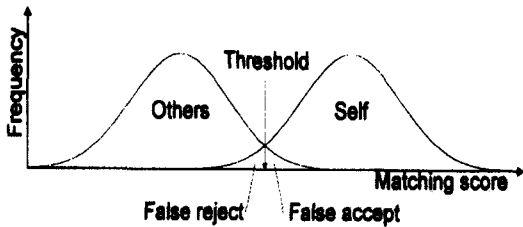
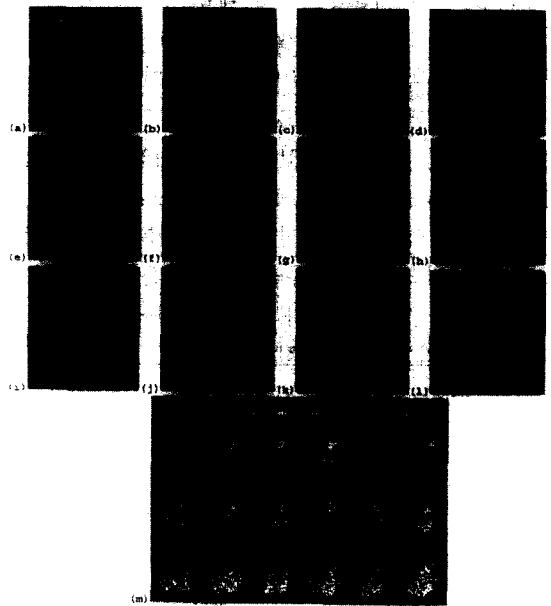


그림 4. 지문 정합의 오류 구분 (1차원 특징 사용 예)
Fig. 4. Type of errors in matching fingerprints.

III. 지문 데이터베이스

본 연구에 사용된 지문 표본은 크게 3가지의 종류로 구성되어 있다. 첫번째의 것은 NIST 지문 데이터베이스로 종이에 회전 날인된 지문을 수치화한 것이며 기존의 연구에서 실험 대상으로 많이 이용되어온 것이다. 그러나 이는 모두가 회전 날인된 형태인 관계로 본 연구에서와 같이 자동화된 기구를 이용한 시스템을 개발하기에는 실험 대상으로서 부족한 면이 있고, 또한 저장된 지문 소유자의 연령 및 직업 분포를 알 수 없어 사용 대상자의 성별, 직업별 등의 성능을 평가하기에 부적합하다. 두번째 전자주민증 사업에 관련하여 수집한 8명분의 지문영상도 NIST 4번 표본에서처럼 512x480 화소 크기(500DPI)에 회전 날인된 형태를 가지고 있기는 하나, 종이에 날인한 후 수치화하는 것이 아닌 자동화된 기구를 통한 직접 입력 방식을 사용했다는 차이점이 있다. 즉 사용자가 손가락을 회전시켜가며 날인하는 동안 CCD가 여러 장의 지문영상을 얻은 다음 이들을 취합하여 하나의 지문으로 재구성하

게 된다. 그러나 이의 숫자가 개인당 10장씩 총 80장에 불과하므로 이것 역시 시스템의 성능을 평가하기에는 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 세번째의 지문 표본으로 660DPI의 288x352 화소 크기 압착 날인 지문영상들을, 1990년에 발표된 보고서^[19] 기초로 하여 200명분, 1000장(1인당 5장)의 지문 데이터베이스로 구축하였다. 그 후, 실험을 거쳐 사용 대상층의 특성별로 시스템의 성능을 평가하고, 또한 향후 새로운 기법이 개발될 경우 이와의 비교를 가능하게 함으로써 일종의 성능 평가 기준을 마련하고자 하였다. 이들에 대한 세부적인 대상 선정 내용과 수집시 고려 사항, 방법 및 절차 그리고 이에 따라 수집된 표본들에 대한 통계 분석은 참고문헌 17에 자세히 소개되어 있다.



(a)-(b)국부적인 밝기차, (c)-(d) 동일인의 지문을 서로 다른 시간에 채취 (e)-(f) 선천적으로 특징점 수가 적음, (g)-(h) 융선이 불거나 끊어짐, (i)-(j) 융선 굵기 차, (k)-(l) 후천적 변인에 의한 지문 손상 예, (m) 숙련자의 시간 추이에 따른 형태 변화 예

그림 5. 특징적인 지문 예
Fig. 5. Examples of the abnormal fingerprint images.

표본들을 살펴보면 그림 5와 같은 여러 특징적인 형태를 관찰할 수 있다. 즉 특정 지문의 경우 기타의 요인에 의해 심각한 국부적인 밝기 차를 보인다던가, 동일인의 지문을 다른 시간에 수집했을 경우 동일인임에도 불구하고 형태상의 극심한 차이를 보이는 등, 지

문인식 기법 개발에 장애가 되는 것들이 다수 존재하게 된다. 이 중 극부적인 밝기차는, 지문 융선 자체가 땀샘이 융기하여 형성된 것이므로 자체적으로 습기를 내포하게 되어 이 부분이 밝게 반사되는 것으로 판단되며, 이와 마찬가지로 융선 사이에 존재하는 밝은 잡음도 융선 사이에 존재하는 습기로 인한 것으로 생각된다. 그러나 극심한 형태상의 변형은, 그림 5의 (m)에서 확인되듯 사용자가 시스템에 익숙해지면 급속히 줄어들 수 있게 된다.

IV. 지문 특징량 추출

본 논문에서는 지문을, 수치 지문 획득시에 발생한 기타 잡음이나 뒤틀림에 의한 왜곡, 상처에 의한 홈터등을 제외하곤 완전한 곡률 변화를 가지는 융선의 부드러운 흐름으로 볼 수 있다고 보고, 이를 효과적으로 이용하기 위해 지문이 일정한 방향을 갖는 최소 크기의 융선들로 이루어져 있다고 가정하였으며, 이들의 방향을 구하여 특징점 추출의 유용한 사전 정보로서 활용하고자 하였다. 전체적인 특징량 추출 알고리즘은 그림 6과 같으며, 최종 추출된 특징량은 전자주민증에 호환되도록 구성되어 있다^[17]. 아래에서 제안된 알고리즘을 각 기능별로 설명한다.

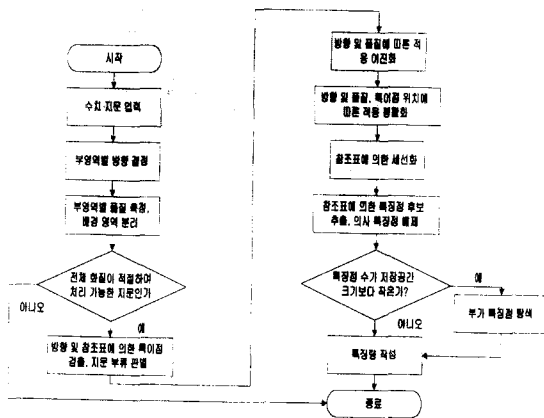


그림 6. 지문 특징점 추출 흐름도
Fig. 6. Flow-chart of extracting feature volume in fingerprints.

1. 부영역별 방향 결정

지문 영상을 일정 크기의 부영역으로 나눈 다음, 각 부영역 내의 모든 화소에 대해 그림 7과 같은 8단계의 융선 방향 결정용 5x5크기 창틀 마스크를 설정한

다.

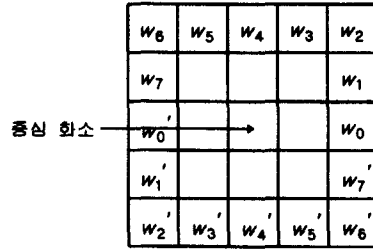


그림 7. 융선 방향 결정 창틀 마스크
Fig. 7. Window-frame mask for deciding ridge direction.

그리고 다음 수식을 적용하여, 가장 작은 값을 가지게 되는 i 를 부영역 대표 방향으로 결정한다.

$$S_i = \sum_{x=0}^{a-1} \sum_{y=0}^{b-1} |w_i(x, y) - w'_i(x, y)|, i = 0, 1, \dots, 7 \quad (1)$$

여기서 x 와 y 는 처리 대상 화소의 좌표이며 a 와 b 는 각각 부영역의 너비 및 높이이다. 즉 화소값의 변화가 가장 작은 방향을 찾고자한 것이며, 양자화를 8 단계 이상으로 늘리고자 하는 경우 마스크의 크기 및 수식을 적절히 변형함으로써 쉽게 확장될 수 있다.

2. 부영역 및 전체 지문영상에 대한 품질 측정, 배경 분리

전단계에서 구해진 방향을 이용하여 입력된 지문의 전체적인 품질을 상, 중, 하의 3등급으로 판별한다. 이를 위해 우선 각 부영역별로, 대표 방향 결정에 사용된 그림 7과 같은 창틀 마스크에서 지문 융선 방향 u 와 이에 수직인 방향 v 에 대해 다음과 같이 계산되는 값을 결정한다.

$$D_u = \sum_{x=0}^{a-1} \sum_{y=0}^{b-1} |w_u(x, y) - w'_u(x, y)| \quad (2)$$

$$D_v = \sum_{x=0}^{a-1} \sum_{y=0}^{b-1} |w_v(x, y) - w'_v(x, y)|$$

여기서 융선 방향에 대하여 계산한 값 D_u 가 크다는 것은 지문 융선이 끊기는 부분이나 기타 잡음이 많이 존재한다는 것을 의미하며, 반면에 수직 방향에 대하여 계산한 값 D_v 가 크다는 것은 융선과 골간이 뚜렷하게 구별된다는 것이므로, 이러한 두 값을 이용하면 각 부영역별로 상, 중, 하 및 배경 등으로 지문영상 품질을 구분지을 수 있다. 그리고 이들 각각의 품질에, 육안 검사를 통해 얻은 전체 지문 영상에 대한

상, 중, 하 품질 비율과 가장 높은 상관 관계를 가지도록 가중치를 설정하여 전체적인 지문 영상의 품질을 결정한다. 그러나 이러한 판단 기준은, 위 방법에 따라 품질이 나쁘다고 판정된 지문이 오인식을 발생시킬 확률이 얼마나 높은지 검정하는 절차를 통해 조정되어야 함은 물론, 사용자가 요구하는 보안 등급 정도에 따라서도 적절히 조절될 수 있어야 한다.

3. 특이점 검출, 지문 부류 판별

특이점은 2x2크기의 부영역 대표 방향 집합으로부터 결정하게 된다. 즉 각 부영역이 가질 수 있는 대표 방향 부호값을 4단계로 간략화하면, 2x2크기의 부영역으로부터 나올 수 있는 모든 가능한 형태의 경우는 256가지가 되므로 이에 따른 경우의 수를 준비해 놓고 전문가의 목적에 의해 사전 실험을 거쳐 우제상 중심점, 우제상 아래 중심점, 좌제상 중심점, 좌제상 아래 중심점, 외상, 삼각주, 평이의 7가지로 구분하여 참조표로 준비하였다. 실제 특이점 추출을 수행할 때의 참조 순번 결정법은 그림 8과 같으며, 이에 따라 참조표에서 특이점인지의 여부를 판별한 후 이를 기록하게 된다.

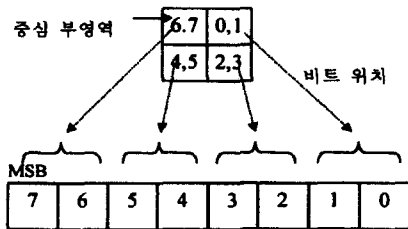


그림 8. 특이점 후보 추출 참조표 순번 결정 방법
Fig. 8. Look-up table index determination method for singular point candidate extraction.

그러나 이러한 과정을 거치면 보통 하나의 지문 영상에, 의사 특이점을 포함한 여러개의 특이점 후보들이 나타날 수 있으므로 추가적인 처리가 필요해진다. 이에 특이점 부근의 부영역 대표 방향들의 전체적인 형태를 참조하여 의사 특이점들을 배제하고자 하였고 그 수식 및 방법은 다음과 같다.

$$A(i, j)_k = |D_4(i, j)_k - D_4(x, y)_k|, i \neq x, j \neq y$$

$$B(i, j)_k = \begin{cases} (i)A(i, j)_k, & \text{if } A(i, j)_k \leq 4 \\ (ii)8 - A(i, j)_k, & \text{if } A(i, j)_k \geq 5 \end{cases} \quad (3)$$

$$Dist(x, y) = \frac{1}{M} \times N \sum_{k=0}^3 \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} B(i, j)_k$$

여기서 D_4 는 4단계로 간략화된 부영역 대표 방향이며, i 와 j 는 특이점 구분 4구역을 구성하는 부영역들이고, n 는 특이점 구분 4구역들을 표시한다. 그리고 x 와 y 는 각각 특이점 구분 4구역중의 하나인 처리 대상 부영역이며, M, N 은 사전에 주어진 일치도 계산 영역 크기로 지문 영역을 벗어나지 않도록 다시 조정되는 값이다. 즉 특이점 후보들 중 하나씩을 선택하여 그림 9와 같이 일정 크기의 4개 영역으로 구분하고, 특이점 후보 부영역 대표 방향과의 불일치도를 위 수식과 같이 계산하여 이 중 가장 작은 값을 가지게 되는 특이점을 중심점과 삼각주 각각에 대해 최대 2개까지 선택하게 된다.

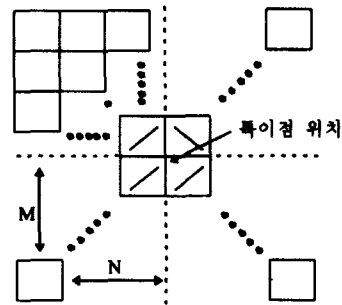


그림 9. 특이점 확인 4구역
Fig. 9. 4 sub-block for singular point confirmation.

이러한 과정을 거치게 되면 의사 특이점은 모두 배제되고 나머지 실제 특이점만 남아 있게 되므로, 이들을 삼각주를 찾을 수 없는 압착 날인 지문에 대해서도 적용할 수 있도록 준비한 표 1에 적용하여 최종적인 지문 부류를 판별한다.

표 1. 지문 부류 결정
Table 1. Fingerprint type classification.

중심점	삼각주	부 류	특이 사항
0	*	궁상문	
1	0	궁상,좌제상,우제상문	중심점에 대한 참조표 분류에 따름
1	1	좌제상,우제상문	중심점에 대한 참조표 분류 및 중심점과 삼각주의 위치 관계
1	2	궁상문	삐뚤은 궁상문(tented arch)
2	*	외상문	참조표상의 두 중심점의 방향이 서로 반대이어야 함

4. 방향 및 품질에 따른 적응 이진화

이진화시의 문턱치 설정을 용선 방향 추출에서와 마찬가지로 용선과 골의 경계가 되는 모서리 부분 화소에서의 구배도를 이용하여 수행하도록 함으로써 밝기 차 불변 특성을 가지도록 하였다. 즉 전단계에서 구해진 용선 방향에 수직으로 화소값을 관찰하게 되면 그림 10에서와 같이 트랜섹트(transect)를 구할 수 있고, 이 트랜섹트를 이루는 화소값들의 평균을 문턱치로 선택함으로써 용선과 골이 대략 반반씩 나누어지기를 기대할 수 있다. 단 이때 처리의 효율을 가하기 위해, 전단계에서 구해진 부영역 화질이 좋은 경우에는 부영역 일부에서만 문턱치를 구함으로써 전체적인 처리시간을 단축한다.

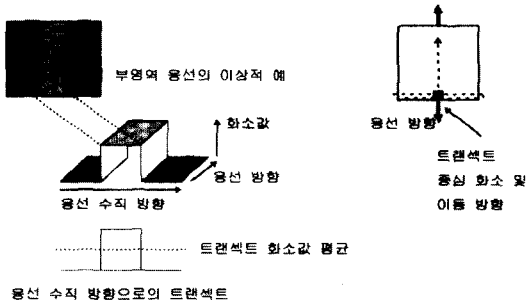


그림 10. 이진화를 위한 문턱치 설정
 Fig. 10. Determination of threshold for binarization.

5. 방향 및 품질, 특이점 위치에 따른 평활화

연구에 사용된 지문영상 중에는 그림 11에서와 같이 용선과 용선 사이가 서로 붙거나 용선의 흐름이 중간에 툭툭 갈라지는 등, 특징량 추출에 악영향을 미치는 여러 가지 요소를 포함하고 있는 것이 많다. 보통 이러한 현상은 특정인의 지문 자체가 그렇게 생겼다고 보다는 다양한 주변 요인에 의해 잡음이 발생한 것으로 볼 수 있으며, 본 논문에서는 이들을 보정하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다.

이진화 처리된 지문영상의 부영역에서 골 부분 화소 수를 세어 이 수가 미리 정해진 값보다 크면 부영역 내에 골이 용선보다 많다고 판단하고, 이와 반대인 경우는 용선이 골보다 많다고 판단한다. 즉 골이 용선보다 많은 경우는 이러한 골 부분을 줄여야 하고, 골이 용선보다 적은 경우는 골 부분을 늘여야 한다고 결정한다. 그 후 부영역내 매 화소마다 다음 그림 12와 같이, 그가 속하는 부영역 용선 대표 방향에 일치하도록

중심 화소 양쪽의 일정 거리 떨어진 부분에 일정 크기 마스크를 대어 보고, 이 마스크내에 존재하는 골 부분 화소 수를 센다. 이 때, 양쪽 마스크 모두에서 골 부분 화소 수가 미리 정의된 숫자보다 크면 중심 화소를 골로 설정하고 이와 반대의 경우에는 용선으로 설정한다.

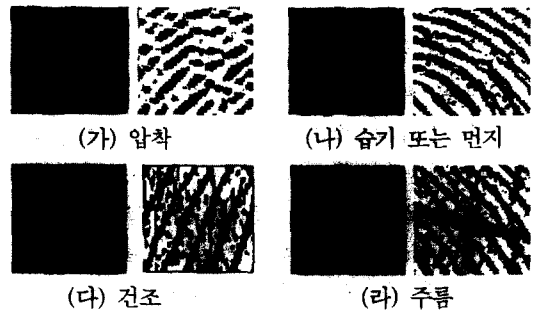


그림 11. 압착, 습기, 먼지, 건조, 주름이 있는 영상과 그 이진화 결과

Fig. 11. Pressed, moistured, dirty, dry, wrinkled fingerprints and their binarized result.

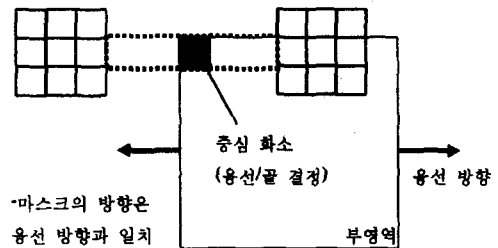


그림 12. 부영역 내 방향별 연결 마스크의 중심 화소 값 결정

Fig. 12. Determination of center pixel value of directional connecting mask in sub-block.

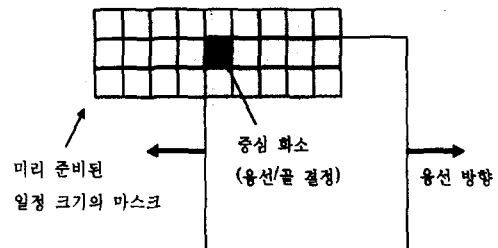


그림 13. 부영역 내 방향별 평활화 마스크의 중심 화소 값 결정

Fig. 13. Determination of center pixel value of directional smoothing mask in sub-block.

이러한 과정을 모든 화소에 대해 그림 12와 같은 방법으로 진행한 후에 다시 세부적인 평활화를 그림 13과 같은 마스크를 이용하여 위와 같이 반복 적용한다.

6. 세선화

일반적으로 두꺼운 물체를 세선화한 다음 골격선만으로 이를 표시하게 되면 원래의 모습을 거의 찾아볼 수 없게 되나, 지문 영상의 경우는 거의 일정한 폭과 완만한 경사를 지닌 용선의 흐름으로 구성되어 있으므로 두께 1의 골격선으로 표시하기에 매우 적당한 형태라 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 세선화를 3x3 국소 영역 중심 화소를 제외한 나머지 8이웃 화소로부터 256가지의 모든 가능한 경우를 준비해 놓고 이에 대해 사전 실험을 거쳐, 미리 중심 화소를 지울 수 있는 경우와 지울 수 없는 경우로 나누어 참조표를 구성하여 놓은 다음, 이에 따라 처리함으로써 수행 시간을 단축하고자 하였다.

7. 특징점 후보 추출, 의사 특징점 배제

특징점 후보들 중에는 기타 잡음으로 인한 의사 특징점들도 일부 포함되어 있게 된다. 이는 미처 평활화 과정에서 보정되지 못한 것들로 그 비율은 적다고 할 수 있다. 하지만 일부 사람에 있어 지문이 심하게 손상되었음에도 불구하고 이를 대체할 만한 지문이 존재하지 않아 그대로 사용할 수 밖에 없는 경우도 있기 때문에, 이러한 잡음에 대한 대책은 꼭 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다음 그림 14와 같은 경우를 의사 특징점이라 정의하고 이들을 특징점 후보군에서 찾아 배제하게 된다. 이러한 의사 특징점들은 모두 단점 및 분기점들의 조합으로 되어 있다는 것에 착안하면 각각에 대하여 그 특성을 정의할 수 있고 그에 따른 조건을 만족하는 특징점 후보들을 의사 특징점으로 색출해 낼 수 있다.

의사 특징점이 모두 배제되고 남은 특징점들로부터 그 종류와 위치를 구하였으면 마지막으로 그들의 방향을 추출하여 기록하여야 한다. 우선 단점의 경우, 그 위치를 시작으로 하여 골격선을 추적, 일정 거리에 도달한 추적 종료점을 찾아, 이 두점을 연결하는 벡터의 방향으로 정의한다. 그리고 분기점의 경우는 추적할 수 있는 골격선이 모두 3가지이므로, 우선 이들로부터 다음 그림 15의 가, 나, 다와 같은 세개의 추적 종료

점을 얻는다. 그 후 이들간의 거리를 가나, 가다, 나다와 같이 구하여, 그 중 가장 짧은 요소를 찾은 다음, 추적 시작 위치인 분기점 위치와 찾은 요소, 즉 나다간의 중심점을 잇는 벡터를 구하고 이의 방향 성분을 분기점의 방향으로 결정한다.

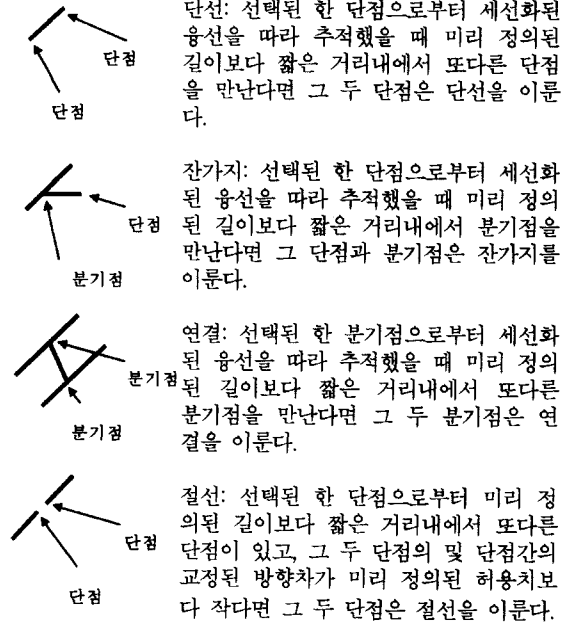


그림 14. 의사 특징점 정의
Fig. 14. Definition of Pseudo-minutiae.

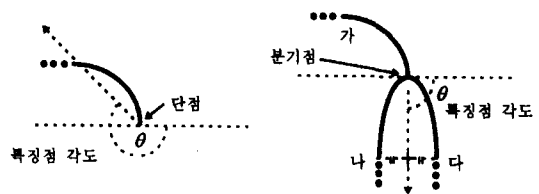


그림 15. 특징점 방향 결정
Fig. 15. Determination of minutiae direction.

8. 부가 특징점 탐색, 특징량 구성

일반적으로 모든 사람의 손가락에서, 본인 여부를 확인할 수 있을 정도로 충분한 양의 특징점을 추출할 수 있는 것은 아니다. 본 연구에서는 그 수가 한정될 수 있는 특징점 외에 부가적인 특징 요소를 도입하여 부가 특징점이라 이름짓고, 이를 기존의 특징점 공간 중 남은 부분에 추가하여 인식률을 제고하고자 하였다. 즉, 특징점을 저장하기 위한 공간으로 특징점 110개본

이 할당되었으나, 압착 날인 방식에서 보듯 실제로는 그 중 일부만이 사용되고 있다는 것에 주목하여 이 공간을 활용하고자 한 것으로, 추출된 특징점 수가 회전 날인에서처럼 충분하다면 부가적으로 특징을 탐색하지 않으나 압착 날인 지문에서처럼 특징점 수가 적어 정합에 충분치 않을 경우만 부가적인 특징을 찾아 이용하게 된다. 이를 위해 다음 그림 16에서 보듯 이미 추출된 특징점들로부터 그 방향에 수직한 선을 긋게 되면, 그 주위에 분포한 여러 골격선들과 만나게 된다는 점에 착안하였다. 즉. 보통 사람마다 용선의 흐름 형태가 불규칙하고 그들간의 폭도 서로 다르다는 특성을 가지고 있으므로, 일정 횟수번째에 만나게 되는 골격선들의 위치 및 방향을 부가 특징점으로 하여 정합에 충분히 이용할 수 있음을 확인하였다.



그림 16. 부가 특징점
Fig. 16. Additional minutiae.

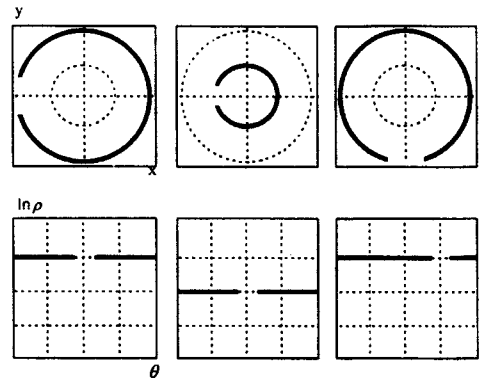
V. 지문 정합

1. 제안된 극좌표 변환 정합

근래에 들어 불변 인식을 위해 많이 이용되는 방법으로 복소-대수 사상(Complex-Log Transform)이 있다. 이러한 복소-대수 사상은 직각 좌표로 표현되는 자료를 극 좌표로 변환시키는 것으로, 인간의 망막 구조를 모방한 것이다. 즉 망막에 맺힌 영상을 시세포가 감지할 때 중심으로부터 지수적으로 감소시키며 표본을 수집하는 원리를 이용하게 된다. 이에 대한 자세한 내용은 참고 문헌 20에 잘 설명되어 있으며, 참고 문헌 21에서 필기체 숫자 인식에 적용된 바 있다. 즉, 이러한 복소-대수 사상은 다음 그림 17과 같은 특성을 가지게 되는데, 입력 영역에서 크기 및 회전 변형된 영상은 사상 후에 위치 이동은 있지만 모양은 변하지 않는다는 것이다.

본 연구에서는 이러한 복소-대수 사상을 지문간의 정합에 이용하고자 하였으며, 다만 지문인식에서는 손가락의 작은 부분에 집약되어 있는 정보만을 대상으로

하므로 복소-대수 사상의 대수 대신에, 스케일 및 렌즈 왜곡 요소를 고려한 두 점간의 거리를 사용해도 충분함을 확인하였다.



(a) 원래의 영상 (b) 50% 축소 (c) 90도 회전

그림 17. 복소-대수 사상의 크기 및 회전 불변 특성
Fig. 17. Complex-log transforms scale and rotational invariant characteristics.

전체적인 정합 과정은 다음과 같다. 우선, 위치 이동 불변 특성을 만족시키기 위해 기준 좌표로 설정할 특징점의 쌍을 선택하게 된다. 즉 비교 대상 지문에 대해 각 특이점 위치로부터 미리 정의된 크기만큼의 영역에서 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로 진행하면서 특징점을 하나씩 선택한다. 그리고 이렇게 하나씩 비교 대상 특징점이 선택될 때마다, 입력 지문의 비교 대상 지문과 동일한 특이점 위치를 중심으로, 미리 정의된 크기만큼의 영역을 정하고 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로 진행하면서 특징점을 다시 하나씩 선택한다. 이러한 과정을 통해 선택된 비교 대상 지문의 특징점 하나와 입력 지문의 특징점 하나를 동일한 특징점으로 간주하고 다음 두번째의 처리 과정을 거친다.

두번째로, 비교 대상 지문과 입력 지문에서 선택된 각각 하나씩의 특징점 위치 및 방향을 중심으로 주변의 특징점들을 극좌표 변환한 후, 부호화를 거쳐 각각 미리 정의된 크기만큼 마련된 특징점 갯수 테이블에 저장한다. 이후 두 특징점 갯수 테이블간의 일치도를 계산한 다음 이 값이 사전 실험에서 결정된 문턱치보다 클 경우 특징점 쌍이 바르게 선택되었다고 판단하여 다음의 처리 과정으로 진행하고, 문턱치보다 작을 경우에는 위 첫번째 과정으로 돌아간다. 단, 이러한 일치도를 계산할 경우에는 기준 특징점의 방향에 오류가

있을 경우를 대비하여 좌우로 한단계씩 이동하며 계산 해준다.

과 정합되었음을 표시하는 것이다.

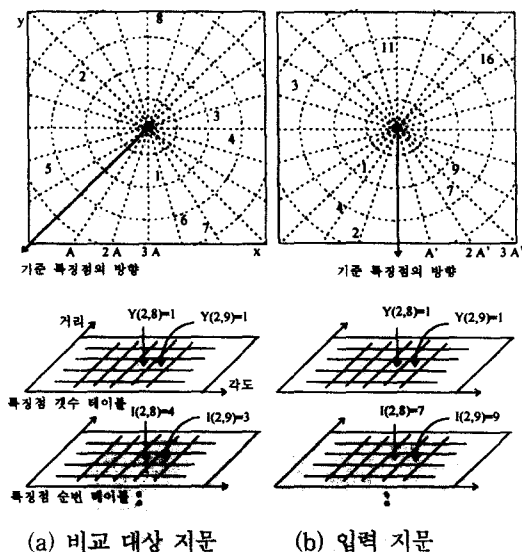


그림 18. 극좌표 변환 방법
Fig. 18. Polar coordinate transform method.

세번째 과정으로, 위 테이블간 일치도가 사전 조건을 만족하였던 좌표를 기준으로 하여 특징점 순번 테이블상에서 일치하는, 비교 대상 지문과 입력 지문의 특징점 순번을 추출하고 이들(연관된 부가 특징량이 있으면 이들도 포함해서)간의 거리, 방향을 모두 허용치 내에서 만족하는 것을 찾아, 그 개수를 일치도로 판단, 사전 실험을 거쳐 결정된 문턱치보다 클 경우 본인으로 판정하고 그렇지 않을 경우 다시 첫번째의 과정으로 돌아간다. 단, 이러한 일치도는 입력 지문의 배정 영역을 제외한 나머지 실제 지문 영역의 크기로 정규화된다.

그림 18은 두번째 과정을 그림으로 표현한 것으로, 이중 (a)의 6번과 7번 특징점은 한 영역내에 존재하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 특징점 개수 테이블에는 두개의 특징점이 있다는 표시로 2가 기록이 되며, 바로 아래 특징점 순번 테이블들중 첫번째 것에 두개의 특징점 중 하나의 순번인 6이, 그리고 그 다음 특징점 순번 테이블에 7이 저장되게 된다. 본 실험에서는 특징점 순번 테이블로 3개본을 준비하여 사용하였다.

제안된 정합 방법을 이용한 결과는 그림 19와 같으며, 비교 대상 지문과 입력 지문의 특징점중 일치하는 것들을 흰색으로 표시하였다. 즉 오른쪽의 흰색으로 표시된 숫자는 왼쪽의 동일한 숫자로 표시되는 특징점

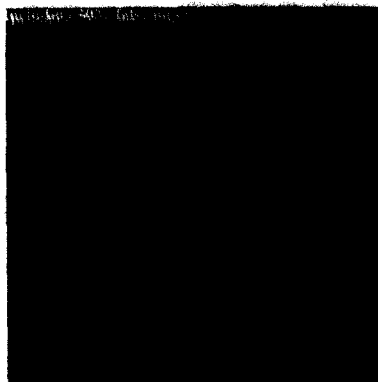


그림 19. 본인 및 타인간의 정합 예
Fig. 19. Examples of matching the same finger and the other fingers.

VI. 실험 결과 및 고찰

실험은 특징량 추출과 정합 부분으로 나누어 실시하였다. 이 중, 특징량 추출 부분은 앞에서 소개된 바와 같은 세가지 종류의 지문영상 모두에 대하여 진행하였고, 정합 부분은 전자주민증 사업에서 수집한 지문만으로 국한하여 실시하였다. 이는 표 2에서 설명되는 바와 같이 특징량 추출 방법에 대한 평가에서 세가지 종류의 지문들간에 성능상의 큰 차이가 없으므로, 전체 지문에 대해 정합 실험을 하는 것이 의미가 없다고 판단되기 때문이다. 다만, 보다 포괄적인 정합 실험을 압착 날인 지문영상에 대해 동 연구실에서 수행중이며 이에 대한 연구 결과는 곧 발표할 예정이다.

먼저 특징량 추출의 경우, 수집된 세가지 종류의 지문 데이터베이스 각각을 품질별로 다시 세가지 등급으로 분류한 다음, 숫자가 적은 전자주민증 지문에 대해서는 전체 다름, 그리고 그 숫자가 많은 NIST 및 압착 날인 지문에 대해서는 각각 20%씩을 무작위로 선출하여, 육안으로 특징점을 확인한 후 그 위치와 방향을 기록하였다. 그리고 이들을 제안된 방법에 의해 추출된 특징점의 위치 및 방향과 비교하여 특징량 추출 방법에 대한 성능으로 평가하였다. 즉, 육안으로 확인한 결과 특징점으로 판명되었음에도 불구하고 제안된 방법에서는 이를 찾지 못했을 경우 이를 누락이라 하고, 반대로 특징점이 아님에도 불구하고 특징점이라 잘못 판단하였을 경우에는 오류라 한 다음, 이들의 숫자를 각각의 지문에서 육안으로 판정한 특징량의 숫자

로 나누게 된다. 그 결과 표 2에서 보듯 특징량 추출의 경우 품질이 매우 조악한 경우를 제외하고는 대부분의 지문영상에서 적절한 성능을 보였으며, 특히 일부의 경우 하드웨어적인 잡음이 심하게 포함되어있음에도 불구하고 정확히 동작함을 보여주었다.

표 2. 지문 특징량 추출 분석

Table 2. Analysis of fingerprint feature volume extraction

지문 종류 (규모)	품질	오류 (%)	누락 (%)	특이 사항
NIST (400장)	상	5.15	18.51	누락율이 큰 이유는 준비된 특징점 저장 공간이 110개로서 NIST 지문에서 육안으로 확인 가능한 특징점 수보다 부족하기 때문으로 판단됨
	중	7.74	23.46	
	하	9.83	22.39	
전자 주민증 (80장)	상	3.01	15.37	역시 준비된 특징점 공간이 적기 때문에 누락율이 큰 것으로 판단되며, 상대적으로 NIST보다 품질이 좋은 관계로 성능이 보다 좋게 판단됨
	중	4.75	17.40	
	하	8.81	18.13	
압착 날인 (200장)	상	3.29	4.41	다른 두 종류의 지문보다 손상 정도가 심한 지문이 많이 포함되어 있음
	중	4.05	3.97	
	하	14.64	5.26	

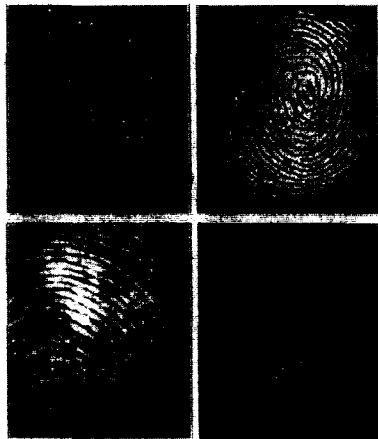


그림 20. 압착 날인에서의 특징량 추출 결과
Fig. 20. Minutiae extraction results of pressed fingerprint.

이러한 최종적인 특징량 추출의 결과 중 일부를 살펴보면 그림 20에서 22까지와 같으며, 곡률 변화가 심한 특이점 부근에서 오류가 발생하지 않았고 또한 압착 날인이나 회전 날인, 그리고 종이에 날인된 후 수취화한 지문에 관계 없이 적절히 동작하였음을 알

수 있다. 그리고 전자상거래 등의 응용에서, 사전 등록을 위해 사용하는 지문 입력기와 실제 비교를 위해 사용하는 지문 입력기간의 밝기 차 문제는 적응적 이진화 과정을 통해 효과적으로 해결될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 품질 결정은 경험치 값에 의존한 것이므로 영상의 품질과 규격이 변하는 경우 다시 검토해야 할 필요성이 있으며, 또한 아주 드물게 지문 영상 중간 부분이 어떠한 이유로 서로 크게 떨어진 경우 지문이 두 부분으로 나눌 수 있으므로 이에 대한 추가적인 고려가 있어야 한다. 그리고 평활화와 세션화에 대한 추가적인 처리 시간 감축이 필요하며, 의사 특징점 배제시에 진짜 특징점이 섞여 처리되지 않도록 개선시켜야 한다.



그림 21. 전자주민증 지문영상에서의 특징량 추출 결과
Fig. 21. Minutiae extraction results of fingerprint for Korea electronic ID project.

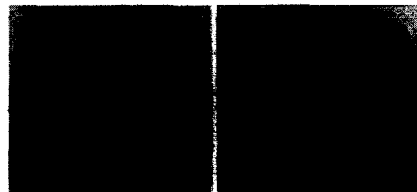


그림 22. NIST 지문영상에서의 특징량 추출 결과
Fig. 22. Minutiae extraction results of NIST's fingerprint.

그리고 전자주민증 지문(8명분 80장)을 대상으로, 제안된 방법에 의한 정합 실험을 본인에 대해 720회, 타인에 대해 5600회 진행한 결과, 그림 23과 같이 타인 수락 오류율을 0퍼센트로 설정했을 때의 본인 거부 오류율이 0.07퍼센트라는 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 특히 이 중 본인 거부 오류를 발생시킨 지문들은 위치 이동이 매우 크게 나타난 경우가 대부분으로, 사용자가 시스템에 익숙해질 경우 오류가 발생되지 않을 수 있는 것들이다. 이에 따른 정합에 대한 실제 예를 그림 24와 25에 보인다.

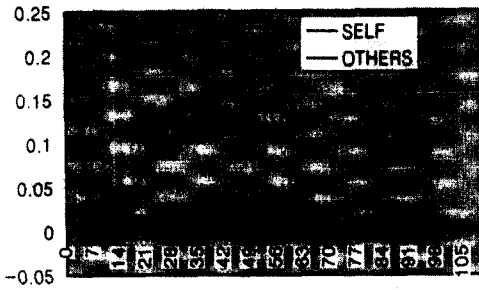


그림 23. 전자주민증 지문에서의 지문 정합 히스토그램

Fig. 23. Fingerprint matching histogram about Korea electronic ID projects fingerprints.

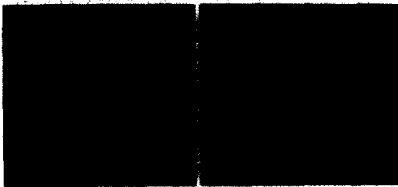


그림 24. 전자주민증 지문에서의 회전 불변 정합 결과

Fig. 24. Rotational invariant matching result in Korea electronic ID projects fingerprint.

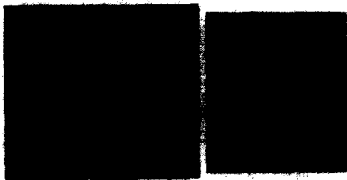


그림 25. 전자주민증 및 압착 날인 지문간의 정합 결과

Fig. 25. Matching result between Korea electronic ID project and pressed fingerprint.

VII. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문이 제안하는 시스템은 수치화된 지문들간의 동일성 여부를 자동으로 판단하는 것으로, 최근 이러한 목적의 실용화된 시스템이 다양하게 선보이고 있으나 이들은 각각 대상으로 하는 지문의 크기 및 품질 상태가 서로 다르며, 구현하는 방법에도 차이가 있으므로 이들을 정량적으로 비교 평가하기에는 어려움이 있다. 그러나 본 논문이 제안하는 방법은 그 특성이 명확히 서술되었으므로 다른 방법과의 정성적인 비교가 가능하다고 판단된다.

본 연구에서 달성한 성과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 특징량 추출에 있어 새로운 방법을 제시하였다. 즉, 단점과 분기점의 특징점 및 중심점과 삼각주의 특이점 외에 준비된 저장 공간이 남는 한 그 자리에 부가 특징점을 포함시킬 수 있도록 하였다. 이들은 지문의 전체적인 형상 및 윤선 간극치를 표현하므로 정합 과정에 충분히 이용될 수 있는 정보량이 확인되었다. 둘째, 추출 과정 초기에 구해진 화질 정보를 충분히 이용하였다. 즉 화질이 좋은 경우와 나쁜 경우를 구분하여 처리함으로써 효율적인 대응을 할 수 있도록 하였고, 또한 전체 화질을 더러움(습기), 건조등으로 구분함으로써 사용자가 적절히(더러움-손을 닦음, 건조-콧기름 바름) 반응할 수 있게 하였다. 셋째, 시간이 많이 걸리는 세션화 과정등을 참조표를 이용하여 처리하였으며, 이를 하드웨어로 처리할 수 있는 여지가 있다. 넷째, 중심점과 삼각주의 특이점을 구하는 새로운 방법을 제시하였으며 이들을 이용해 압착 날인 지문에서와 같이 삼각주를 찾을 수 없는 지문에서도 그 부류를 판별할 수 있다. 다섯째, 정합 과정시 극 좌표계를 이용하여 위치 이동 및 회전, 크기 변화에 불변인 정합을 하며, 이 때 렌즈의 왜곡 문제도 해결될 수 있다. 여섯째, 특징량 추출을 회전 날인, 압착 날인, 회전-압착 날인에 대하여 실험하였다. 일곱째, 정합 실험을 전자주민증 지문을 대상으로 수행하여 타인 수락 오류율을 0%로 설정했을 때 본인 거부 오류율이 0.07%라는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 과제로서, 실험을 보다 구체적으로 진행하여 정합 결과를 직업군, 성별, 나이 등에 따른 상관 관계로서 도출하도록 하여야 한다. 또한 실험 대상 지문의 수도 지금보다 더욱 늘려야 하는데, 이는 법적인 근거를 가지기 위해서는 대략 5000에서 50000까지의 학습 표본을 구축해야 함은 물론 학습 표본에 포함되지 않은 500에서 5000개 정도의 실험 표본이 필요하기 때문으로, 이러한 표본은 필수적으로 일반성을 유지하고 있어야 한다. 그리고 비용이 허락하는 한 생체측정학 방법들간의 접목을 시도해 보아야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 (주)팬택미디어의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] R. Morris, and K. Thomson, Password Security : A Case History, Comm ACM, Vol.22, No.11, 1979.
- [2] 이기돈, 컴퓨터에 의한 지문 영상의 자동 인식과 matching에 관한 연구, 연세대학교 박사학위논문, 1986
- [3] 김봉일 외 6인, 지문을 이용한 Security System의 개발에 관한 연구, 한국과학기술원 시스템공학센터, 1988
- [4] 우성재, 박윤식, 이대용, PC를 이용한 지문 인식에 관한 연구, KICS, pp.611-620, 1989
- [5] N. Ratha, S. Chen, and A.K. Jain, Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images, Pattern Recognition, Vol.28, no.11, pp.1,657-1,672, 1995.
- [6] 안도성, 김학일, 블럭 FFT를 이용한 실시간 지문 인식 알고리즘, 전자공학회지, Vol.32, pp.909-921, 1995
- [7] 문명권, 정규식, 구조적 방법에 근거한 지문영상의 효율적인 분류, 정보과학회논문지, Vol.24, pp.170-179, 1997
- [8] 이상이, JTC를 이용한 복소수 상관기의 실시간 구현, 광운대학교 박사학위논문, 1996
- [9] 이우규, 웨이블릿 변환 영역에서의 방향 정보를 이용한 지문 인식 알고리즘, 인하대학교 석사학위논문, 1997
- [10] L.V. Kravchinsky, S.O. Kuznetsov, I.V. Nuidel, A.G. Khobotov, A.U. Sharov, and V.G. Yakhno, Application of neural networks for analyzing and encoding of fingerprint, Neurocomputing, Vol.4, pp. 65-74, 1992.
- [11] M. T. Leung, W.E. Engeler, and P. Frank, Fingerprint Processing Using Back Propagation Neural Networks, IJCNN, Vol.I, pp.15-20, 1990.
- [12] 박중조, 박귀태, 김민기, 김경민, 지문영상의 자동분류, JCEANF, pp.310-319, 1992
- [13] 이취석, 우용태, 정성환, ART2를 이용한 지문 인식, 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol.23, No.2, pp.375-387, 1996
- [14] B. Moayer and K. Fu, A Tree System Approach for Fingerprint Pattern Recognition, IEEE Trans. on PAMI, Vol.8, No.3, pp.376-387, 1986.
- [15] D. Maio and D. Maltoni, Direct Gray-Scale Minutiae Detection in Fingerprints, IEEE Trans. on PAMI, Vol.19, No.1, pp.27-40, 1997.
- [16] 우성재, 박윤식, 이대영, PC를 이용한 지문 인식에 관한 연구, 한국통신학회논문지, Vol.14, No.6, pp.611-620, 1989
- [17] 김 현, RSTI불변 지문 특징량 추출 및 인식과 응용, 인하대학교 석사학위논문, 1998
- [18] E. Kaymaz, and S. Mitra, Analysis and matching of degraded and noisy fingerprints, SPIE, Vol.1771, pp.498-508, 1992.
- [19] 인구 주택 총 조사 결과와 고용 구조 통계 조사 보고서, 경제 기획원 조사 통계국, 1989
- [20] 권희용, 김병철, 조동섭, 이홍호, 황희용, 복소-대수 사상과 수정된 이차 신경망을 이용한 회전 및 크기 변형에 무관한 패턴 인식, 한국정보과학회논문지, Vol.21, No.3, pp.455-463, 1994
- [21] 오명관, 전병민, 복소-대수 사상 함수와 신경회로망을 이용한 필기체 숫자의 불변인식, 한국정보과학회논문지, Vol.21, No.3, pp.464-470, 1994

저 자 소 개

金 賢(正會員)

1969년 7월 14일생. 1996년 2월 인하대학교 자동차 공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 인하대학교 자동차 공학과 졸업(공학석사). 현재 인하대학교 자동차 공학과 박사과정 재학중. 주 연구분야는 생체인식, 암호, 전자상거래 등임

金 學 一(正會員) 第 32卷 B編 第 6號 參照