

논문 2011-48SP-1-17

비접촉식 지문의 날인 지문과의 호환성 평가 연구

(Assessment of Interoperability Between Touchless and Legacy Rolled Fingerprints)

최희승*, 김재희**

(Heeseung Choi and Jaihie Kim)

요약

본 논문은 비접촉식 지문 영상 획득 방식에 대한 소개와 함께 비접촉식 지문 영상의 유용성을 증명하기 위해, 현재 경찰청 등에서 사용되는 날인 지문과의 호환성을 접촉식 놀림 지문과 비교를 통해 평가한다. 이를 위하여 획득한 비접촉식 지문 영상과 접촉식 지문과의 차이를 분석하고, 비접촉식 지문 영상의 문제점인 상대적으로 낮은 지문의 명암 대비, 해상도 차이를 보정하여 접촉식 날인 지문과의 정합 성능을 예측하였으며 특징점 기반의 정합 알고리즘을 사용하여 정합을 수행한 결과, 비접촉식 지문 영상은 일반 접촉식 놀림 영상에 비해 접촉식 날인 지문과의 인식 성능이 약 2.5% 하락하지만, 기존 연구 사례와 비교하여 볼 때 상당히 높은 수준의 성능인 EER 7.9%를 보임을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구 결과는 비접촉식 지문 인식의 유용성을 증명하여 사용 확대를 가능하게 하고, 향후 비접촉식과 접촉식 지문 인식 시스템 통합 시 요구되어지는 호환성 문제에 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다.

Abstract

The purpose of this paper is the brief introduction of touchless fingerprint recognition and the assessment of interoperability between touchless and legacy rolled fingerprints for the wide use of touchless fingerprint recognition system. In order to assess the interoperability, the contrast and resolution of the touchless images are optimized firstly. And we perform the matching by using conventional minutiae-based matcher. Experimental results are promising that our touchless fingerprints have enough matching performance with equal error rate 7.9%. We can expect that our paper will make a significant contribution to the wide use of touchless fingerprint recognition and the increment of interoperability in the system integration between touchless-based and touch-based fingerprint systems.

Keywords: Touchless fingerprint, rolled fingerprint, interoperability, perspective distortion, resolution compensation

I. 서 론

최근 국제 테러 위협의 증가, 전자상거래 등의 정보

* 학생회원, ** 평생회원-교신저자, 연세대학교 전기전자공학과, 생체인식 연구센터
(School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Biometrics Engineering Research Center)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지정 연세대학교 생체인식연구센터의 지원을 받아 이루어졌습니다.
(R112002105070010(2010)).

접수일자: 2010년9월17일, 수정완료일: 2010년12월17일

통신 기술의 발달과 더불어 개인 인증 기술은 빠른 속도로 발전하였다. 특히 패스워드 및 전파식별 (RFID)을 이용한 개인 인증 기술의 문제점인 분실, 타인의 남용 및 암기의 불편함을 해소하기 위하여, 바이오인식 기술이 대두되었고 이는 수년간 비약적인 발전을 이루었다. 바이오인식 기술은 사용자의 얼굴, 손 모양, 홍채, 망막, 손등 정맥 등의 신체 특성 및 음성, 서명 등의 행동 특성 정보를 이용하여 개인 인증을 시도하는 새로운 개인 인증 기술이다^[1]. 따라서 바이오인식 기술은, 사용자가 자신의 생체를 직접 인증 시스템에 입력해야 하므로 이는 분실의 위험이 없으며, 보안적인 측면에서도 기존의

패스워드 및 전파식별(RFID) 기반의 인증기술보다 안전하다는 장점이 존재한다. 한편 지문 인식은 다른 여타 바이오인식에 비해 상대적으로 높은 인식률, 저렴한 가격 등에 의해 보안을 요구하는 은행, 공공 기관, 각종 출입국 관리소에서 널리 사용되고 있다. 이와 같은 지문 인식 기술의 발전 및 활용과 더불어 다양한 지문 영상 획득 방식이 제안되었다^[2]. 최근 가장 널리 사용되고 있는 지문영상 획득 방식은 접촉 방식(touch-based)으로써 이는 사용자가 센서의 입력 창에 지문을 접촉한 후 일정 이상의 압력을 가해 센서와 지문간의 접촉되는 영역의 영상을 취득하는 방식이다. 이의 종류로는 크게 광학식(optical), 반도체식(capacitive), 전기장식(electric field), 열전도 방식(thermal) 등이 있다. 하지만 다양한 접촉 방식의 지문입력 센서들이 개발되고 이에 맞는 영상 처리 및 인식기술이 발전하였음에도 불구하고 접촉 방식의 지문 입력은 근본적인 수 가지의 문제점을 내포하고 있다. 사용자의 불규칙적인 접촉에 의해 발생하는 일관성 없는 지문 영상 취득 (그림 1.(a) 및 (b)) 및 지문 영상의 왜곡에 의한 성능 저하, 사용자의 지문의 누름의 세기에 따른 지문 특징의 변화 (그림 1.(c) 및 (d)), 외부 환경 및 사용자의 지문 상태에 따른 지문 영상의 품질 변화 (그림 1.(e) 및 (f)), 센서의 평판 위에 생기는 잔여 지문에 의한 인식률의 저하 문제 (그림 1.(g)) 등은 기존의 접촉 방식의 지문 입력이 가지는 문제점이라

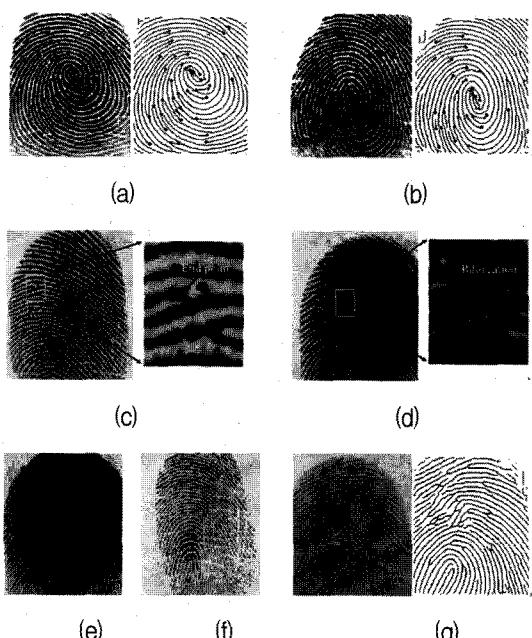


그림 1. 접촉식 지문 입력 방식의 문제

Fig. 1. Problems of touch-based fingerprint sensing.

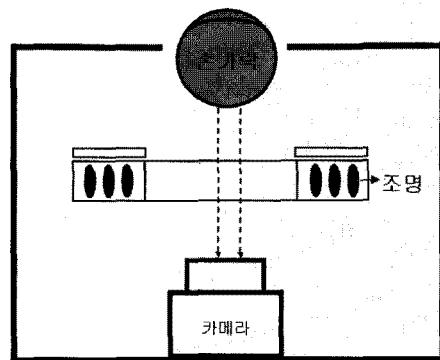


그림 2. 비접촉식 지문 영상 획득 장치의 개념도

Fig. 2. Schematic view of touchless fingerprint image capturing device.

고 할 수 있다. 또한 접촉 방식의 센서를 사용할 경우 여러 사람의 손가락이 동일한 센서 표면상에 접촉해야 하기 때문에 위생상의 문제도 발생할 가능성이 있으며 최근에는 위조 지문에 의해 시스템이 공격받는 사례 또한 증가하고 있는 실정이다.

상기 문제들을 해결하기 위해, 최근 비접촉식 지문 입력 방식이 개발되었다^[2]. 비접촉식 지문 입력 방식은 그림 2에서 보는 바와 같이 사용자가 손가락을 평면 센서에 접촉하지 않고, 카메라 등의 촬영 장치를 이용하여 지문을 촬영하는 방식이다.

따라서 비접촉식 지문 영상은 접촉 방식으로 획득한 영상과는 달리 지문의 전체 영역을 포함하며, 사용자의 불규칙적인 접촉에 의해 발생하는 왜곡이 없고, 사용자의 지문 상태에 따른 지문 영상의 품질 변화가 없으며, 잔여 지문이 생기지 않아 인식률의 저하를 해결할 수 있다. 이러한 수가지 장점에도 불구하고 현재까지 비접촉식 지문 영상과 기존의 접촉식 지문 영상과의 호환성 평가는 이루어지지 않았다. 이는 비접촉식 지문 영상과 현재 경찰청, 공항, 항만 등에서 구축되어진 접촉 방식으로 획득한 지문 데이터베이스와의 정합 가능 여부를 확인하지 못함으로써, 시장에서 비접촉식 지문 영상 획득 장치가 사용되지 못하는 가장 큰 단점으로 작용한다. 따라서 본 논문에서는 비접촉식 지문 영상의 유용성을 증명하기 위해, 비접촉식 지문 영상과 기존의 경찰청 등에서 사용되는 접촉식 날인 지문(rolled fingerprint)과의 정합 성능 비교를 통하여 호환성(interoperability)을 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 지문 센서간의 호환성에 대한 간략한 소개 및 접촉식 및 비접촉식 지문 영상에 대한 비교를 하고, III장에서는 비접촉식 지문 영상과 접촉식 날인

지문과의 호환성 실험 결과 및 이에 대한 분석을 다루고, IV장에서는 최종 결론을 도출하였다.

II. 접촉식 및 비접촉식 지문 센서간의 호환성

2.1. 지문 센서 호환성

최근 지문 인식 기술이 발전함에 따라서 Live scan 방식의 영상 획득이 보편화되고 있다. Live scan 방식은 사용자가 ink등을 사용하여 지문을 날인하는 방식이 아닌, 센서가 지문의 표면(융선과 골)을 인식하고, 이를 디지털 신호로 변환하여 영상을 획득하는 방식을 의미한다. 이러한 Live scan 지문 입력은 광학식, 반도체식 등의 센서를 이용하며, 이러한 센서들은 제작 시 표준 규격이 없기 때문에 서로 다른 크기, 해상도를 갖고 이에 따라 영상의 성격도 달라진다. 그림 3은 동일한 사람의 지문을 각기 다른 센서에서 취득한 예를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이, 동일 지문이라 할지라도 획득하는 방식에 따라, 지문 영상의 성격은 다르게 나타남을 볼 수 있다.

따라서 서로 다른 센서를 통해, 각기 다른 방식으로 획득한 동일 지문의 영상은 성격이 다른 특징을 추출하게 된다. 또한 대부분의 정합 방법이 동종 센서를 사용한다는 가정 하에 개발되었으므로, 이기종 센서간의 매칭 시에는 동일 센서를 사용하여 정합하는 경우보다 성능이 하락한다. 이를 정량적으로 평가하기 위하여 지문 센서 호환성(sensor interoperability) 평가 연구가 최근 진행되고 있으며, 대부분의 연구는 이기종 지문 센서로부터 획득한 지문 데이터들 간의 영상 일치 정도 및 정합 성능을 평가한다. Ross 등^[3]은 접촉 방식의 광학식 및 반도체식 지문 센서간의 호환성을 평가하였다. 이를



그림 3. 지문 획득 방식, (a) 날인 지문, (b) 놀린 지문, (c) 스와이프(swipe) 지문, (d) 비접촉식 센서 지문

Fig. 3. Different schemes for fingerprint acquisition, (a) rolled fingerprint, (b) dab fingerprint, (c) swipe fingerprint, (d) touchless fingerprint.

위해 각각의 센서에서 총 2560장의 지문 영상에 대하여 인식률을 비교한 결과, 다른 센서간의 정합 성능이 Equal Error Rate(EER) 23.1.3%로 동종 센서에서의 정합 성능(광학식 - EER 6.14%, 반도체식 - EER 10.39%)에 비해 매우 낮은 수준으로 나오는 것을 보였다. Alonso-Fernandez 등^[4]은 2종의 광학식 센서와 1종의 스와이프(swipe) 방식의 센서에서 간의 호환성을 특징점(minutiae) 기반과 융선(ridge) 기반의 매칭 알고리즘을 이용하여 평가하였다. 실험 결과, 모든 실험 결과에서 약 40% 정도의 EER를 갖는 것으로 나타났다. Modi 등^[5]은 8종의 접촉식 센서의 호환성을 평가하기 위하여, 센서에서 추출되는 평균 특징점 개수, 평균 지문 품질, 일관성 있는 지문 입력 등의 성격이 이기종 센서간의 호환성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 지문 호환성 평가를 위해, 최근에는 ISO 표준화 기구에서 지문 데이터 호환을 위한 표준 데이터 포맷을 정의하고^[6], 이를 평가하기 위한 방법에 대한 표준화도 진행되고 있다^[7].

2.2. 접촉 광학식 및 비접촉식 지문 영상 비교

본 절에서는 현재 접촉 방식 센서 중 가장 널리 사용되고 있는 광학식 센서로부터 획득한 영상과, 비접촉식 지문 센서로부터 획득한 영상의 장단점을 비교하였다. 비교를 위해 사용한 광학식 센서는 crossmatch 사의 L-1000T 센서^[8]이며, 비접촉식 지문 영상은 생체인식연구센터에서 개발한 비접촉식 지문 영상 획득 장치^[9]를 사용하였다. 그림 4에서 보이는 바와 같이, 동일한 사람으로부터 획득한 접촉 광학식 및 비접촉식 지문 영상은 다음과 같다.

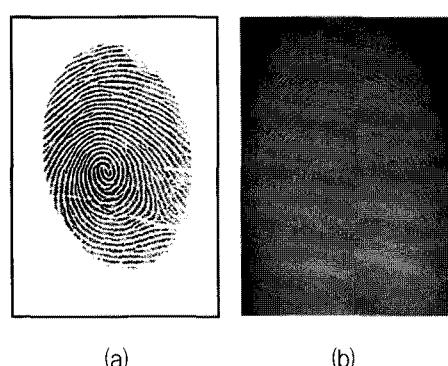


그림 4. 접촉식 및 비접촉식 지문 영상 비교, (a) 접촉 광학식 지문 영상, (b) 비접촉식 지문 영상

Fig. 4. Comparison between touch-based optical image and touchless sensor image, (a) a touch-based image, (b) a touchless image.

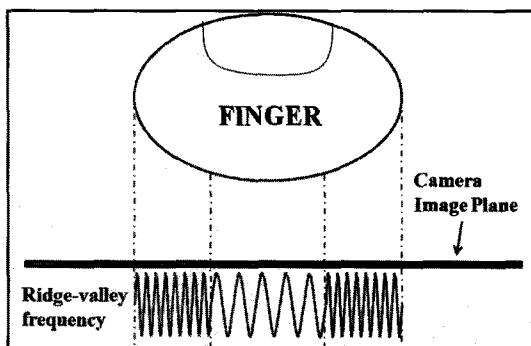


그림 5. 비접촉식 지문 영상의 원근 왜곡
Fig. 5. Perspective distortion in touchless fingerprint images.

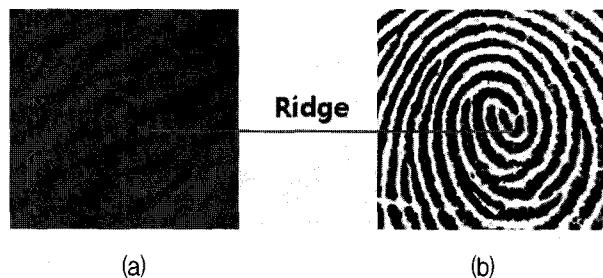


그림 6. 접촉식 및 비접촉식 지문 영상에서의 융선과 골의 특성 차이, (a) 비접촉식 지문 영상,
(b) 대응되는 접촉 광학식 지문 영상
Fig. 6. Differences of ridge and valley characteristics between touch-based and touchless images,
(a) touchless image
(b) corresponding touch-based image.

그림에서 보는 바와 같이, 접촉식 지문 센서 영상의 경우는 사용자가 센서에 누르는 지문의 부분만 영상을 획득하므로, 지문의 모든 영역 영상을 모두 획득하지 못하는 반면, 비접촉식 지문 영상은 카메라로부터 지문의 전 영역의 획득이 가능하다. 또한 접촉식 지문 영상은 사용자의 불균일한 접촉, 지문 상태 등에 의한 지문 왜곡이 발생하지만 비접촉식 지문 영상은 이러한 왜곡이 발생하지 않는다.

하지만 그림 5에서 보는 바와 같이, 비접촉식 지문 영상은 지문의 중앙에서부터 측면으로 갈수록 원근왜곡(Perspective distortion)이 존재하여, 융선(ridge)과 골(valley)의 주파수가 높아지는 특성이 존재한다.

또한 그림 6에서 보는 바와 같이, 비접촉식 지문 영상은 접촉식 지문과는 달리, 융선과 골의 밝기가 반전이 되어 나타나고, 융선과 골의 명암 대비가 상대적으로 낮아, 접촉식 지문과의 호환을 위해서는 이러한 영상 특성을 보정해 주는 작업이 필요하다.

III. 호환성 평가 실험

3.1. 비접촉식 지문 영상의 획득 및 전처리

접촉식 날인 지문(rolled fingerprint)과의 호환을 위해서, 우선적으로 비접촉식 지문 영상을 획득할 시 다음과 같은 사항을 고려하였다.

▷ 하드웨어적 측면^[9]

- 카메라 및 렌즈: 사람의 손가락의 최대 크기(약 3cm × 4cm)를 고려하고 대부분의 접촉식 지문 영상이 갖는 평균 해상도인 500dpi를 만족시키기 위해 1024*768 유효 픽셀개수를 갖는 카메라를 사용하였다. 또한 사람 손가락의 평균 두께를 고려하여 ±2.6mm 이상의 심도를 갖는 렌즈를 설계하여 대부분의 지문 영역에서 초점이 고르게 맞는 영상을 획득하였다.

- 조명: 사람 손가락에 존재하는 헤모글로빈의 빛의 흡수율이 가장 낮은 파장(525 nm)의 빛을 조사하여 명암 대비가 높은 비접촉식 지문 영상을 획득한다. 이를 위해 525nm 대역의 녹색광을 조사하고, 525nm 대역의 빛만을 통과시키는 편광필터를 사용하여 지문의 융선과 골의 명암 대비를 향상시켰다^[9].

▷ 알고리즘적 측면

- 영상 반전 및 명암 대비 개선: 비접촉식 지문 영상은 접촉식 영상과는 다르게 융선과 골의 밝기가 반전이 되어 나오므로, 기존의 접촉 방식의 정합 알고리즘을 사용할 경우, 특징점의 타입이 반대로 출력되어 성능이 하락한다. 따라서 우선적으로 비접촉식 영상의 명암 반전이 이루어져야 한다. 또한 비접촉식 지문 영상의 전 영역에 대해, 명암 대비를 더욱 개선하고 고른 밝기 분포를 갖게 하기 위해, 본 논문에서는 Hong 등^[10]이 제안한 영상 정규화(normalization) 과정을 보완하여 적용하였다. 우선적으로 지문을 8×8 픽셀 블록(pixel block)로 나눈 다음, 다음과 같은 수식을 적용하여 해당 블록의 명암 값을 정규화하였다.

$$G(i,j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{VAR_0 \cdot (I(i,j) - M)^2}{VAR}}, & \text{if } I(i,j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{VAR_0 \cdot (I(i,j) - M)^2}{VAR}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 M_0 과 VAR_0 은 우리가 원하는 밝기의 평균과 분산 값이며, M 과 VAR 는 계산된 블록 밝기의 평균과 분산 값이다. 이 때 블록 간에 생기는 밝기 차이를

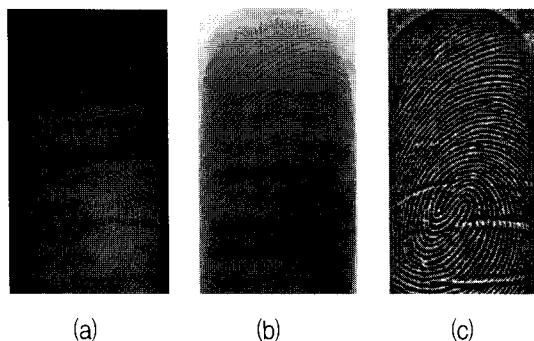


그림 7. 영상 품질 개선, (a) 원 영상, (b) 반전 영상, (c) 명암 대비 개선 영상

Fig. 7. Touchless fingerprint image enhancement, (a) original image, (b) grayscale inverted image, (c) contrast enhanced image.



그림 8. 비접촉식 영상과 접촉식 날인 영상간의 평균 해상도 보정

Fig. 8. Average resolution compensation between touchless and rolled fingerprint.

최소화하기 위해, 주변의 40×40 픽셀 블록의 밝기 합과 분산 값을 측정하여 이를 적용하였다. 위의 방법이 적용된 결과는 다음과 같다.

- 해상도 보정: 비접촉식 지문의 평균 해상도를 보정해주기 위해, 본 논문에서는 참고 문헌^[11]에서 제안한 실질 해상도를 구하는 방법을 사용하였다. 이를 위하여 획득한 비접촉식 지문 영상과 대응되는 Crossmatch L-1000T 센서로부터 획득한 접촉식 날인 지문 영상에 대하여 동일한 대응점을 수동으로 찾고, 이 때 대응점은 그림 8과 같이 수직한 특징점 쌍과 수평한 특징점 쌍 간의 직선이 직각인 특징점 쌍을 선택하였다. 그리고 영상 상에서 두 특징점 쌍 사이의 픽셀 거리의 비율을 고려하여 비접촉식 영상의 전체 해상도를 수식 2와 같이 보정하였다.

$$\begin{cases} R^V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\text{touchless}^V}{\text{rolled}^V} \\ R^H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\text{touchless}^H}{\text{rolled}^H} \end{cases} \quad (2)$$

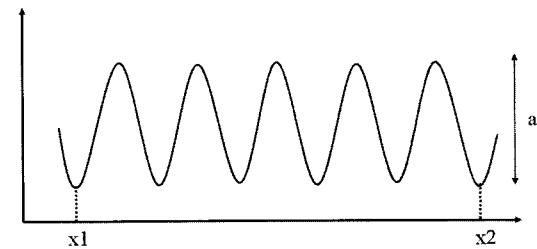


그림 9. 정현파 형태의 지문의 융선과 골의 모양

Fig. 9. Sinusoidal shape of ridge and valley.

여기서 R^V 와 R^H 는 두 영상간의 수직 및 수평 해상도의 비율을 의미하며, touchless^V 와 touchless^H 는 비접촉식 영상에서의 특징점 사이의 픽셀 거리, rolled^V 와 rolled^H 는 접촉식 날인 영상에서의 수평 및 수직 특징점 사이의 픽셀 거리를 의미한다. N 은 실험에 사용한 영상 수로서, 본 논문에서는 10장의 대응되는 접촉식 및 비접촉식 지문 영상에 대하여 상대적인 해상도를 추정하고, 평균 R^V 와 R^H 값을 비접촉식 영상에 대해 나누어주어, 보정된 비접촉식 지문의 융선과 골의 주파수 분포를 관찰하였다. 주파수 분포를 관찰하기 위해, 지문의 주파수 추정 알고리즘은 Maio^[12]등이 제안한 방법을 사용하였다. 본 방법은 지역적인 지문의 융선 패턴을 그림 9와 같은 정현파(sinusoidal)의 형태로 가정하고, 지문의 특정 지역의 평균 주파수를 수식 3과 같이 구한다.

$$f = \frac{V}{2 \cdot (x_2 - x_1) \cdot a} \quad (3)$$

여기서 V 는 구간 x_1 과 x_2 사이에서의 지문 밝기 변화의 총 합이며, a 는 지문 융선의 평균 진폭

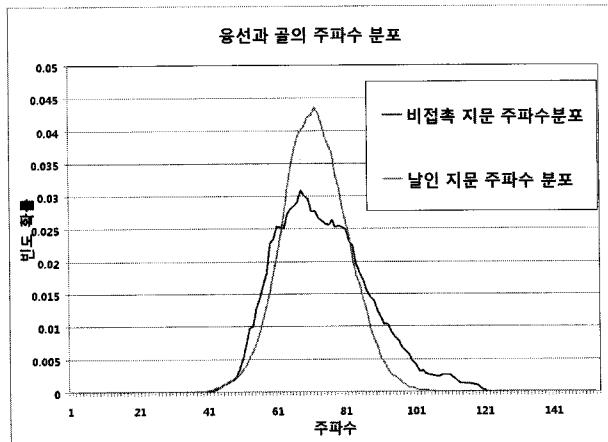


그림 10. 지문의 주파수 분포 비교

Fig. 10. Comparison of fingerprint frequency distribution.

(amplitude), f 는 우리가 구하고자 하는 평균 주파수를 의미한다.

위 방법을 적용한 결과 비접촉식 및 날인 지문의 응선과 골의 주파수 분포는 그림 10과 같은 모양을 띠며, 평균 주파수의 값이 매우 유사하게 조정됨을 확인하였다. 하지만 비접촉식 영상의 특성인 원근 왜곡에 의해 발생하는 지문 측면 쪽의 고주파는 보정이 되지 않아 비접촉식 지문이 상대적으로 높은 주파수 영역을 많이 포함하는 것을 알 수 있다.

3.2. 비접촉식 지문 영상의 호환성 평가 및 분석

비접촉식 지문의 호환성을 접촉식 지문과 비교 및 평가하기 위해서, 본 논문에서는 접촉식 날인 지문(rolled fingerprint)과의 인식률을 비교하였다. 실험에 사용한 데이터베이스는 크게 3종(접촉식 날인 지문, 접촉식 놀림 지문, 비접촉식 지문)으로 구분된다. 각각의 데이터베이스는 120 손가락에 대하여, 각각 5 장의 영상으로 구성되어 총 600장의 지문 영상을 포함하고 있다. 접촉식 날인 지문과 놀림 지문은 동일한 센서를 사용하여 획득하였으며, 사용한 센서는 미국 입국 시 사용되는 Crossmatch 사의 L-Scan 1000T 제품을 사용하였다. 또한 비접촉식 지문 영상은 3.1절에서 제안된 장치를 통하여 획득하였다. 또한 호환성 평가를 위하여, 최근 접촉식 지문 인증에서 가장 널리 사용되는 특징점 기반의 정합기(matcher)인 Neurotechnology 사의 Verifinger 6.2^[13]를 사용하였다. 실험의 시나리오는 3가지 종류로 구분할 수 있으며, 각 시나리오 별로 본인(genuine) 인증 및 타인(impostor) 인증 횟수, 인식률은 다음과 같다.

또한 인식률은 EER(Equal Error Rate)로 평가하였으며 ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선은 그림 11과 같다.

표 1과 그림 11에서 보듯이, 비접촉식 지문과 접촉식

표 1. 인식률 비교 시나리오 및 성능

Table 1. Experimental scenario and performance evaluations.

비교 시나리오	본인인증횟수	타인인증횟수	EER
날인지문 vs 날인지문	1200	178500	2%
날인지문 vs 놀림지문	3000	357000	5.1%
날인지문 vs 비접촉식지문	3000	357000	7.6%

날인 지문과의 정합 성능은 접촉식 놀림 지문과 날인 지문과의 정합 성능보다 EER 2.5% 가 하락함을 확인

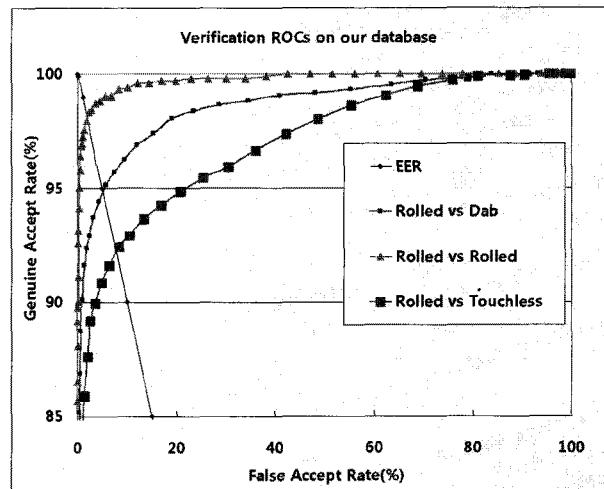
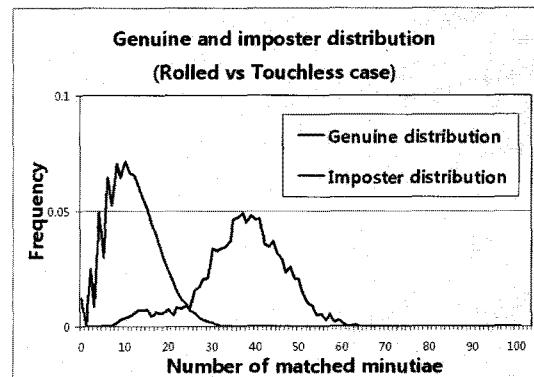
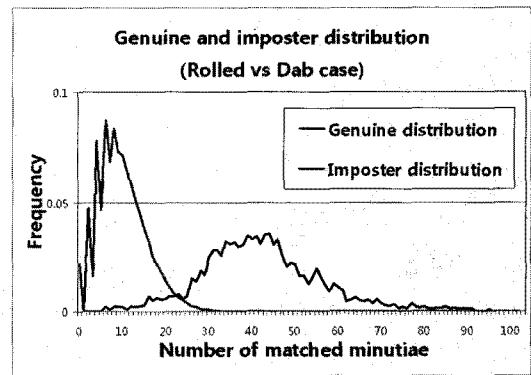


그림 11. 성능 비교를 위한 ROC 곡선

Fig. 11. ROC curves for performance comparison.



(a)



(b)

그림 12. 본인 정합 및 타인 정합 분포, (a) 접촉식 날인 지문 및 비접촉식 지문의 비교, (b) 접촉식 날인 지문 및 접촉식 놀림 지문의 비교

Fig. 12. Genuine and imposter distribution, (a) Rolled vs touchless case, (b) Rolled vs dab case.

할 수 있었다. 이러한 성능 하락의 원인은 다음과 같이 분석하여 볼 수 있다.

우선 그림 12. (a)는 접촉식 날인 지문과 비접촉식 지문과의 정합되는 특징점의 개수 분포를 나타내며, 그림 12. (b)는 접촉식 날인 지문과 접촉식 놀림 지문과의 정합되는 특징점의 개수 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 비접촉식 지문의 정합의 경우, 접촉식 놀림 지문과 비교하여, 타인 정합의 경우 정합되는 특징점의 개수가 유지되는 것에 반해 본인 정합의 경우 정합되는 특징점의 개수가 줄어듦을 확인할 수 있었다.

이러한 결과의 원인은 비접촉식 지문의 원근 왜곡에서 비롯된 것으로 볼 수 있다. 이는 비접촉식 지문의 측면 영역에서 융선과 골의 주파수가 증가하여, 정면 영역에서의 특징점과 비교하여 볼 때, 측면 영역의 특징점 간의 상대적인 거리가 달라지는 것을 의미한다. 따라서 그림 13에서 보는 바와 같이, 기존 접촉식 기반의 특징점 기반의 정합 알고리즘을 사용할 경우, 변화된 특징점간의 위치 정보에 의해 정합이 이루어지지 않는 현상이 발생한다. 그림에서 보이는 바와 같이 지문의 형태는 서로 매우 유사하더라도, 정합되는 특징점(빨간 점으로 표시)의 개수는 매우 적음을 확인할 수 있었다.

하지만 위의 결과를 기존 연구 사례^[3~4]와 비교하여 볼 때 비접촉식 지문의 접촉식 날인 지문과의 호환성은 상당히 높은 수준임을 확인할 수 있었다. 이는 비접촉식 지문의 원근 왜곡 해결 방법 및 비접촉식 지문에 특화된 정합 알고리즘이 사용되지 않고 도출된 결과로써, 향후 이를 보완할 시 더욱 높은 비접촉식 지문의 접촉식 지문과의 호환이 가능할 것으로 기대된다. 따라서 향후 연구로는 지문의 3차원 모델을 생성하여, 이를 접촉식 날인 지문과 유사하게 펼치는(unwrap) 투영 방법을 수행할 계획이며, 또한 접촉식 지문과 비접촉식 지



그림 13. 본인 지문간의 낮은 유사도의 예

Fig. 13. Example of low similarity between fingerprints from same individual.

문간의 평균 모양 변형 모델(average deformation model)을 설정하여 호환성을 향상시키는 연구도 수행할 예정이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 접촉식 지문 영상 획득 방식의 문제를 근본적으로 해결하기 위해 카메라를 이용하여 지문을 센서에 접촉하지 않고 촬영하고 이를 인식하는 비접촉식 인식 기술에 대해 논의와 함께 비접촉식 지문 영상의 유용성을 증명하기 위한, 접촉식 날인 지문과의 호환성을 평가하였다. 실험 결과, 비접촉식 지문의 접촉식 날인 지문과의 인식 성능이 일반 접촉식 놀림 지문에 비해 약 2.5% 하락함을 확인할 수 있었다. 하지만 본 성능을 기준의 연구 사례와 비교해 볼 때, 비접촉식 지문의 접촉식 날인 지문과의 호환성은 상당히 높은 수준임을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여, 비접촉식 지문의 유용성을 확인하여 사용 가능성을 확대할 수 있을 것으로 기대되며, 비접촉식 및 접촉식 지문간의 호환성 문제 해결에 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다. 향후에는 접촉식과 비접촉식 간의 정합 알고리즘을 개선하고, 3차원 비접촉식 지문 생성 및 이를 2차원 공간상에 투영하는 연구를 수행하여, 접촉식 날인 지문과의 호환성을 더욱 향상시킬 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, "An Introduction to Biometric Recognition," *IEEE Trans. Circuit and Systems For Video Technology*, vol. 14, no. 1, pp. 4-20, 2004.
- [2] N. K. Ratha and V. Govindaraju, "Advances in biometrics: Sensors, Algorithms and Systems," Springer, 2008.
- [3] A. Ross and A. Jain, "Biometric Sensor Interoperability: A Case Study in Fingerprints," *Proc. Int'l European Conf. Computer Vision Workshop Biometric Authentication (BioAW '04)*, pp. 134-145, 2004.
- [4] F. Alonso-Fernandez, R. N. J. Veldhuis, A. M. Bazen, J. Fierrez-Aguilar and J. Ortega-Garcia, "Sensor Interoperability and Fusion in Fingerprint Verification: A Case Study using Minutiae and Ridge-Based Matchers," *9th Int'l Conf. Control, Automation, Robotics and Vision*,

- pp. 422-427, 2006.
- [5] S.K Modi, S. J. Elliott, H. Kim, "Statistical Analysis of Fingerprint Sensor Interoperability Performance," *IEEE 3rd Int'l Conf. On Biometrics: Theory, Applications, and Systems (BTAS '09)*, pp.1-6, 2009.
- [6] ISO/IEC JTC1/SC37 IS 19794-2, Biometric Data Interchange Formats Part2: Finger Minutiae Data
- [7] Text of CD 19795-4, Biometric Performance Testing and Reporting-Part 4: Performance and Interoperability Testing of Interchange Formats.
- [8] http://www.crossmatch.com/L_SCAN_1000T.html (accessed on 2010.08.25)
- [9] 최희승, 최경택, 김재희, "거울을 이용한 비접촉식 지문 센서 개발," 대한전자공학회 학계학술대회, pp. 231-232, 2007.
- [10] L. Hong, Y. Wan and A. K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, No. 8, pp. 777-789, August 1998.
- [11] 남정우, 김학일, "지문 인식 센서 평가를 위한 통계학적 분석," 정보보호학회 논문지 제 16권 제 4 호, pp.105-118, 2006.
- [12] D. Maio, D. Maltoni, "Ridge-line Density Estimation in Digital Images," *Proceedings. 14th Int'l Conf. on Pattern Recognition*, vol.1, pp.534-538, 1998.
- [13] <http://www.neurotechnology.com/verifinger.html> (accessed on 2010.08.2)

저자 소개



최희승(학생회원)
2004년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2006년 연세대학교 전기전자
공학과 석사 졸업.
2010년 연세대학교 전기전자
공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 패턴 인식, 컴퓨터 비전, 영상 처리, 생체 인식>



김재희(평생회원)-교신저자
1979년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.
1984년 Case Western Reserve
University 전기공학과
박사 졸업.

1984년~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수
2002년~현재 (과학기술부 지정 ERC) 생체인식
연구센터 소장
2005년~현재 한국공학한림원 정회원
2008년~현재 한국바이오인식포럼(KBA) 의장
<주관심분야 : 생체인식, 패턴인식, 영상처리 및
인식>