

LDP 기반 비접촉식 지문 인식

강병준^{*}, 박강령^{**}, 유장희^{***}, 문기영^{****}, 김정녀^{*****}, 신재호^{*****}

요 약

지문인식은 융선과 골로 이루어진 지문 정보를 이용하여 개인의 신원을 식별하는 바이오인식 기술이다. 대부분의 지문인식 시스템들은 접촉식 센서를 이용하여 지문 영상을 획득한 후, 지문의 특징점을 검출하여 인식을 수행한다. 접촉식 지문 인식은 센서와 지문과의 접촉으로 인해 동일한 크기의 선명한 영상을 얻을 수 있는 장점을 지닌다. 하지만, 사용자의 손가락과 센서의 접촉 압력 차이에 의해 상당히 건조한 지문이나 습한 지문의 경우 지문 영상의 품질이 떨어질 수 있는 가능성이 있고, 센서에 남아있는 잔존 지문 정보로부터 사용자의 지문이 유출될 수 있는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 비접촉식 지문인식 장비들이 제안되고 있지만 비접촉식으로 지문 영상을 취득할 경우, 조명 변화에 의해 영상의 품질이 훼손되어 지문 특징점 오검출 증가와 함께 인식을 감소의 문제가 발생된다. 따라서 본 논문에서는 조명 변화에 강인한 LDP(Local Derivative Pattern) 기반의 비접촉식 지문인식 방법을 제안한다. LDP 방법을 기반으로 지문의 융선과 골이 반복되는 특징 패턴을 효율적으로 추출하였으며, 추출된 특징코드에 대한 히스토그램을 구성한 후 카이 제곱 거리를 측정하여 최종적으로 개인의 신원을 식별하였다. 실험 결과, 제안하는 LDP 기반의 비접촉식 지문인식 방법은 기존의 LBP 기반의 방법보다 EER(Equal Error Rate)이 0.521% 만큼 감소하였다.

Contactless Fingerprint Recognition Based on LDP

Byung Jun Kang^{*}, Kang Ryoung Park^{**}, Jang-Hee Yoo^{***},
Kiyong Moon^{****}, Jeong Nyeo Kim^{*****}, Jae-ho Shin^{*****}

ABSTRACT

Fingerprint recognition is a biometric technology to identify individual by using fingerprint features such as ridges and valleys. Most fingerprint systems perform the recognition based on minutiae points after acquiring a fingerprint image from contact type sensor. They have an advantage of acquiring a clear image of uniform size by touching finger on the sensor. However, they have the problems of the image quality can be reduced in case of severely dry or wet finger due to the variations of touching pressure and latent fingerprint on the sensor. To solve these problems, the contactless capturing devices for a fingerprint image was introduced in previous works. However, the accuracy of detecting minutiae points and recognition performance are reduced due to the degradation of image quality by the illumination variation. So, this paper proposes a new LDP-based fingerprint recognition method. It can effectively extract fingerprint patterns of iterative ridges and valleys. After producing histograms of the binary codes which are extracted by the LDP method, chi square distance between the enrolled and input feature histograms is calculated. The calculated chi square distance is used as the score of fingerprint recognition. As the experimental results, the EER of the proposed approach is reduced by 0.521% in comparison with that of the previous LBP-based fingerprint recognition approach.

Key words: Contactless (비접촉식), Fingerprint Recognition (지문인식)

* 교신저자(Corresponding Author): 박강령, 주소: 서울시 중구 필동 3가 26(100-715), 전화: 010)3111-7022, FAX: 02)2277-8735, E-mail: parkgr@dongguk.edu
접수일: 2010년 3월 11일, 수정일: 2010년 5월 6일
완료일: 2010년 6월 17일

^{*} 정회원, 현대모비스 기술연구소 메카선행연구팀 선임 연구원(E-mail: kangbyj@mobilis.co.kr)

^{**} 정회원, 동국대학교 전자전기공학부 부교수, 생체인식 연구센터 (Biometrics Engineering Research Center)

^{***} 정회원, 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀 책임 연구원(E-mail: jhy@etri.re.kr)

^{****} 정회원, 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀 책임 연구원(E-mail: kymoon@etri.re.kr)

^{*****} 정회원, 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀장 책임 연구원(E-mail: jnkim@etri.re.kr)

^{*****} 정회원, 동국대학교 전자전기공학부 교수 (E-mail: jhshin@dongguk.edu)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지정 연세대학교 생체인식연구센터의 지원을 받아 이루어졌습니다.(No. R112002105070020(2010))

1. 서 론

최근 정보 보호에 대한 요구와 그 중요성이 증가함에 따라 홍채, 지문, 얼굴과 같은 바이오인식을 이용한 개인 인증을 통해 정보에 대한 접근을 제어함으로써 정보 보호의 목적을 달성하고자 하는 연구가 많이 진행되었다. 이 중 지문인식은 사람 손가락의 융선(ridges)과 골(valleys)로 이루어진 지문 정보를 이용하여 개인의 신원을 식별하는 바이오인식 기술을 말하며, 바이오인식 기술 가운데 가장 오래된 방법일 뿐 아니라, 가장 널리 사용되는 인식 기술이다 [1-3].

기존의 지문인식 시스템들은 주로 접촉식 센서 장비를 이용하여 획득한 지문 영상으로부터 지문 특징을 추출하여 인식을 수행하였다. 접촉식 지문 인식은 센서와 지문과의 접촉으로 인해 동일한 크기의 선명한 영상을 얻을 수 있는 장점을 지닌다. 하지만, 접촉식 지문인식 방법은 사용자의 손가락과 센서의 접촉 압력 차이에 의해 상당히 건조한 지문이나 습한 지문의 경우 지문 영상의 품질이 떨어질 수 있는 가능성이 있고, 센서에 남아있는 잔존 지문 정보로부터 사용자의 지문이 유출될 수 있는 문제점이 있다[4-6]. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 비접촉식으로 지문영상을 획득하기 위한 비접촉식 지문인식 장비들이 제안되었지만[6,7], 일반적으로 접촉식 지문인식 대비 비접촉식 지문인식의 경우, 손가락의 3차원적인 이동 회전에 대한 보상이 필요하고, 센서와의 거리에 따른 오차의 증가되는 문제점이 있다. 또한, 비접촉식 지문영상 취득 장비에 의해 취득된 영상은 조명 변화에 의해 영상이 훼손되는 경우가 빈번하게 발생된다. 이러한 조명 변화의 문제는 지문의 특징점 오검출과 함께 인식 정확성 감소의 원인이 된다. 따라서 기존의 연구에서는 이러한 조명 변화의 문제를 해결하기 위해 특징점 기반의 지문인식 방법 대신에 LBP(Local Binary Pattern) 방법을 기반으로 지문 특징 정보를 추출하는 비접촉식 지문인식 방법을 제안하였다[8]. LBP 방법은 중심 픽셀과 주변 픽셀간의 차이값을 이용하여 지문 특징 코드를 추출하기 때문에 조명 변화에 강인할 수 있다. 하지만 지문의 경우 일정한 방향성을 지닌 융선과 골이 반복적으로 나타나는 특성이 있는데, LBP에서는 이러한 지문의 반복적인 특징을 반영하지 못하는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 2차 미분의 성질을 지닌 LDP(Local Derivative Pattern) 기반의 비접촉식 지문인식 방법을 통해 융선과 골이 반복적으로 발생하는 특징을 함께 반영함으로써 효율적으로 특징코드를 추출하고 이로 인해 인식 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. LDP에 의해 32 비트의 지문 특징 코드가 추출되는데, 본 논문에서는 특징코드를 각 비트별로 매칭하는 경우와 특징코드를 8개의 비트씩 묶어서 병합하여 히스토그램을 구성하고 등록 히스토그램과의 카이 제곱 거리(Chi square distance)를 측정함으로써 개인을 식별하는 경우를 고려하여 기존의 LBP기반의 지문인식 방법과 비교 실험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 LDP 기반 비접촉식 지문인식 방법에 대해 상세하게 설명하고, 3장에서는 실험을 통해 제안하는 방법의 인식 성능을 평가한다. 최종적으로 4장에서는 제안하는 방법에 대한 결론을 맺는다.

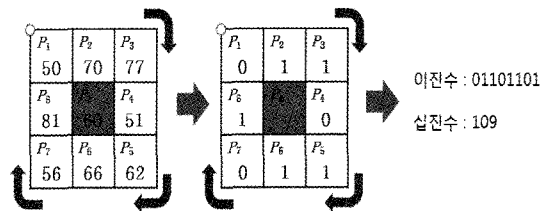


그림 1. LBP 특징코드 추출의 예

2. 관련 연구

2.1. LBP(Local Binary Pattern)

LBP(Local binary pattern)는 국소 영역에서 중심 픽셀의 값과 주변 픽셀 값 사이의 차이를 이용한 1차 미분에 의해 특징코드를 추출하는 방법이다[9,10]. LBP는 매우 빠른 처리 시간과 조명에 강인한 특성을 가지고 있어서 얼굴인식, 손가락 정맥인식 등의 특징 패턴을 추출하기 위해 많이 사용되고 있다[11-15]. LBP는 식 (1)과 같이 표현되며, 그림 1은 LBP에 의해 추출된 특징코드의 예를 보여준다[9,10].

$$B(x_c, y_c) = \sum_{j=1}^8 f(P_{j-1} - P_c) \cdot 2^{j-1} \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > th \\ 0, & \text{if } x \leq th \end{cases} \quad (2)$$

2.2. LDP(Local Derivative Pattern)

LBP는 1차 미분에 의해 특징코드를 추출하는 반면, LDP는 2차 미분에 의해 효율적으로 특징코드를 추출하는 방법을 말한다[16]. LDP는 2차 미분으로 이루어지므로 2차 미분의 방향성을 가지게 되며, 0°, 45°, 90°, 135°의 방향에 대한 LDP 특징 코드에 대한 비트 추출은 다음과 같다[16].

$$B'_{0}(x_c y_c) = f(P_4 - P_c) \quad (3)$$

$$B'_{45}(x_c y_c) = f(P_3 - P_c) \quad (4)$$

$$B'_{90}(x_c y_c) = f(P_2 - P_c) \quad (5)$$

$$B'_{145}(x_c y_c) = f(P_1 - P_c) \quad (6)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > th \\ 0, & \text{if } x \leq th \end{cases}$$

LDP 기반의 특징코드는 LBP와 유사한 방법으로 각 방향에 대한 중심 픽셀과 주변 픽셀 간의 차이로 얻어진 비트들의 exclusive OR(⊗) 연산으로 추출된다. 따라서 각 방향에 대해 8비트만큼의 이진코드가 추출되며, 총 32비트의 이진코드가 추출된다[16].

$$LDP_{\alpha}(x_c y_c) = \sum_{j=1}^8 \{B'_{\alpha}(x_c y_c) \otimes B'_{\alpha}(x_c + u_j, y_c + v_j)\} \cdot 2^{j-1} \quad (7)$$

$$u_q = \begin{cases} -1, & \text{if } q=1 \\ 0, & \text{if } q=2 \\ 1, & \text{if } q=3 \\ 1, & \text{if } q=4 \\ 1, & \text{if } q=5 \\ 0, & \text{if } q=6 \\ -1, & \text{if } q=7 \\ -1, & \text{if } q=8 \end{cases}, \quad v_q = \begin{cases} -1, & \text{if } q=1 \\ -1, & \text{if } q=2 \\ -1, & \text{if } q=3 \\ 0, & \text{if } q=4 \\ 1, & \text{if } q=5 \\ 1, & \text{if } q=6 \\ 1, & \text{if } q=7 \\ 0, & \text{if } q=8 \end{cases} \quad (8)$$

$$LDP(x_c y_c) = \{LDP_{\alpha}(x_c y_c) | \alpha = 0, 45, 90, 135\} \quad (9)$$

그림 2는 0° 방향에 대해 LDP기반의 이진코드를 추출하는 예를 보여준다. 0° 방향으로의 LDP 특징 추출 방법은 LBP와 방법과 유사하게 주변 픽셀들을 검색하면서 0° 방향으로의 차이로부터 비트를 추출한 후, 중심 픽셀의 0° 방향 차이에 의한 비트와 주변 픽셀의 0° 방향 차이에 의한 비트 간의 exclusive OR 연산을 수행하여 최종적으로 비트를 추출한다. 그림 2의 예에서 보면, 중심 픽셀 값은 3이고 0° 방향으로의 픽셀 값은 9이므로 중심 픽셀에서의 0° 방향 차이에 의한 $B'_{0}(3,3)$ 의 비트는 1이 된다. 그림 1의 LBP

방법과 마찬가지로 좌측 대각선 위의 주변 픽셀부터 시계 방향으로 돌면서 주변 픽셀에서의 0° 방향으로의 차이로부터 비트를 추출한다. 그림 2의 첫 번째 예에서 보는 바와 같이 좌측 상단의 픽셀 값은 6이고 0° 방향으로의 픽셀 값은 5이므로 $B'_{0}(2,2)$ 의 비트는 0이 되고, 중심 픽셀에서 추출된 비트 1과의 exclusive OR 연산에 의해서 최종적으로 1의 비트가 추출된다. 같은 방법으로 시계방향으로 돌면서 비트를 추출하면 최종적으로 00011101의 비트가 추출되고 이를 십진수 형태로 바꾸면 29의 값을 얻게 된다. 각 방향에 대하여 추출된 LDP 특징코드를 십진수 형태로 고려하여 각 방향에 대한 히스토그램을 구성할 수 있으며, 각 방향에서 추출된 특징코드는 8비트의 형태로 구성되므로 0부터 255의 범위의 값을 가지게 된다. 결과적으로 0°, 45°, 90°, 135°의 방향에 대한 4개의 히스토그램이 생성된다.

추출된 히스토그램 간의 비유사도를 측정하기 위해 카이 제곱 거리(Chi Square Distance)가 사용된다 [10,17].

$$CSD = \frac{1}{2} \sum_{j=0}^{255} \frac{[h_e(j) - h_r(j)]^2}{h_e(j) + h_r(j)} \quad (10)$$

$h_e(\cdot)$ 와 $h_r(\cdot)$ 는 각각 등록된 히스토그램의 빈도수와 입력 히스토그램의 빈도수를 나타낸다. 4개의 히스토그램에 대해서 각각 카이 제곱 거리를 계산하고, 계산된 거리의 합으로써 두 LDP를 계산한 후, 히스토그램 간의 비유사도를 측정한다[10,17].

3. 비접촉식 지문인식

3.1. 전체 흐름도

그림 3은 제안하는 방법의 전체 흐름도를 나타낸다. 먼저 그림 4와 같은 USB(Universal Serial Bus) 카메라와 백색 LED 조명으로 구성된 지문 영상 취득 장비를 통해 지문 영상을 취득한 후, 그림 5에서 보는 바와 같이 영상 이진화와 모폴로지 연산을 이용하여 손가락 영역을 검출한다. 검출된 손가락 영역으로부터 그림 6에서 보는 바와 같이 손가락의 중심 선(medial line)을 추출한 후, 허프 변환(Hough transform)을 이용하여 손가락의 회전 각도를 측정하고 손가락 회전에 대한 정렬 과정을 수행함으로써 손가락 회전에 의해 손가락 특징 패턴 변형으로 인한 인식

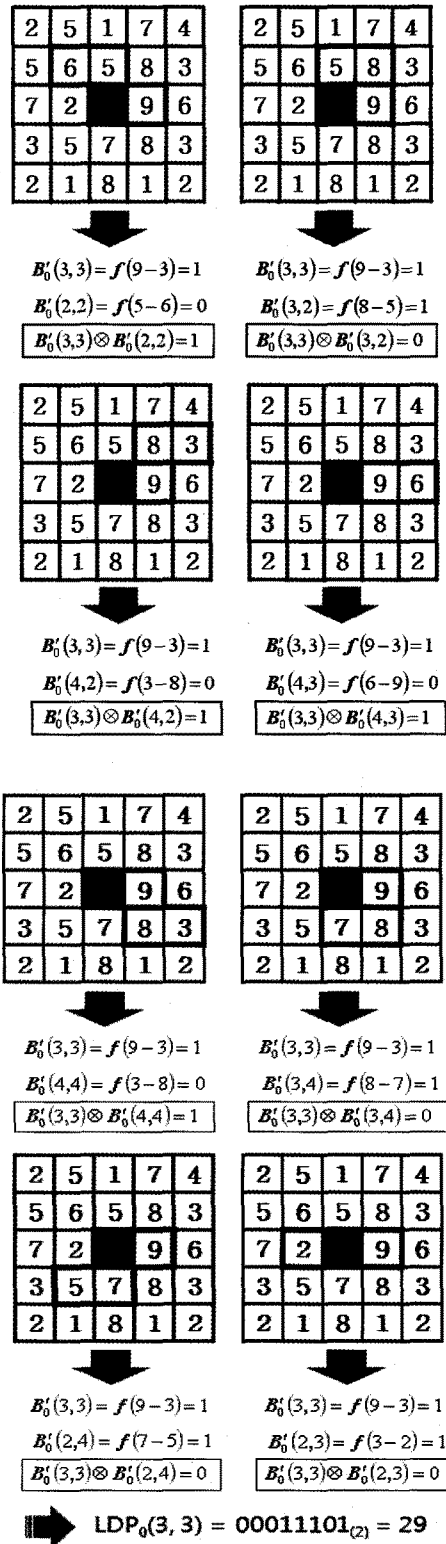


그림 2. 0° 방향에서의 LDP 특징코드 추출의 예

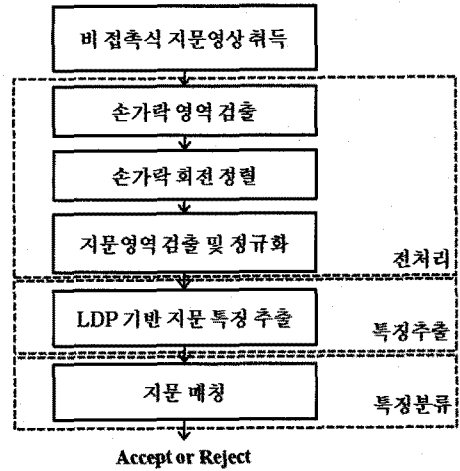


그림 3. 제안하는 비접촉식 지문인식 방법의 흐름도

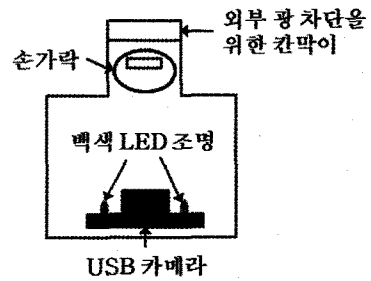


그림 4. 비접촉식 지문 영상 취득 장비의 구조

정확성 감소의 문제를 해결한다. 그림 8에서 보는 바와 같이 추출된 손가락 끝으로부터 M 픽셀 만큼 떨어진 영역에서 손가락 크기를 고려하여 지문 영역을 선택하고, $L \times L$ 픽셀 만큼의 크기로 지문 영역을 정규화한 후에 LDP 방법에 의해 지문 특징 코드를 추출한다. 추출된 LDP 기반 지문 특징들의 히스토그램을 구성하고, 등록된 지문 특징 히스토그램과의 카이제곱 거리를 측정하여 최종적으로 사용자의 신원을 식별한다.

3.2. 비접촉식 지문영상 취득 장비

그림 4는 백색 LED 조명, USB 카메라로 구성된 비접촉식 영상 취득 장비의 구조를 보인다. 본 논문의 실험에서는 정점(peak) 파장이 600nm인 백색 LED 조명과 로지텍사의 웹캠 카메라[18]가 사용되었다. 가시광선 환경에서 영상을 취득하기 때문에 영상 취득 시에 외부 광이 카메라에 투영되는 것을 막기 위해 외부 광 차단 칸막이를 사용하였으며, 실시

간 처리를 위한 계산 복잡도 감소를 위해 8비트 그레이(gray) 영상을 취득하였다.

3.3. 손가락 영역 검출

손가락 영역은 조명에 의해 반사되어 다른 주변 배경보다 밝은 명암도를 가진다는 특징과 카메라와 사용자 손가락 사이의 거리에 따라 손가락의 크기가 변화되지만 초점이 맞는 위치에서 손가락이 영상의 약 25% 정도의 비율을 차지한다는 사전 지식을 이용하여 손가락 영역을 검출하였다. 즉, 입력 손가락 지문 영상의 히스토그램을 구성하고, 높은 그레이 레벨의 빈도수부터 측정하여 25%되는 빈도수의 그레이 레벨을 임계값으로 결정하여 영상을 그림 5(b)와 같이 이진화하였다. 영상 취득시에 외부 광이 영상에 투영되지 않도록 칸막이를 사용하였지만, 백색 LED 조명이 주변의 장비들에 반사되어 그림 5(b)와 같이 오검출되는 영역이 발생한다. 이러한 오검출을 감소시키기 위해 본 논문에서는 구성요소 라벨링(component labeling)[19]을 통해 크기가 가장 큰 구성요소를 선택하고 열림(opening) 연산[19]을 통해 주변의 노이즈들을 제거하여 그림 5(c)와 같이 손가락 영역을 검출하였다. 검출된 영역에서 가장 큰 x 좌표 값을 손가락 끝(fingertip)의 x 좌표(x_{ft})로 결정하고, 손가락 끝의 x 좌표로부터 K 픽셀만큼 떨어진 x 좌표

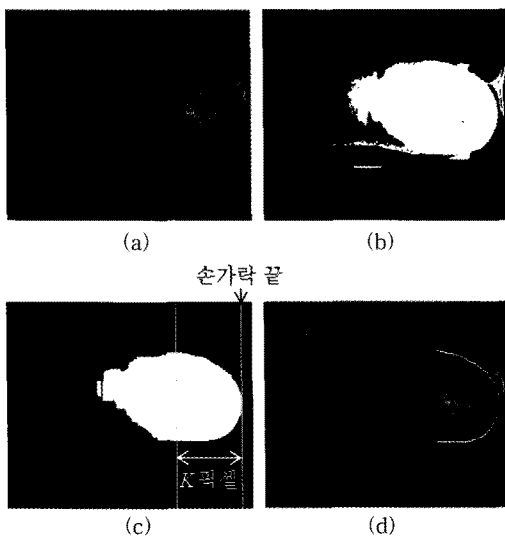


그림 5. 손가락 영역 검출 (a) 원 영상 (b) 이진화 영상 (c) 라벨링과 열림 연산에 의한 이진화 영상 (d) 검출된 손가락 영역의 외곽선

에서 손가락 끝 좌표 사이의 영역을 선택한 후, 그림 5(d)와 같이 손가락의 외곽선을 검출하였다. 본 논문의 실험에서 K 값은 150으로 정하였다.

3.4. 손가락 회전 정렬

비접촉식 손가락 인식의 경우 비제약적인 환경에서 손가락을 취득하기 때문에 사용자의 손가락이 회전된 영상이 취득될 가능성이 있으며, 이러한 회전된 손가락은 특징 패턴의 기하학적 특성을 변화시키기 때문에 인식 성능을 감소시키는 요인이 된다[20]. 따라서 본 논문에서는 그림 6과 같이 손가락의 회전 각도를 측정된 후, 손가락 회전에 대해 영상을 정렬시켰다. 먼저, 그림 6과 같이 검출된 손가락 영역에서 동일한 x 좌표에 위치한 손가락 위쪽 선과 손가락 아래쪽 선의 y 좌표 값의 평균을 계산함으로써 위쪽 선과 아래쪽 선의 중심선을 추출한 후, 중심선의 한 점을 회전의 중심으로 결정하였다. 손가락 영역의 중심선 추출 시에 오검출이 발생할 수 있는데 이러한 오검출 점을 회전의 중심으로 결정하는 것을 피하기 위해 추출된 중심선의 y 좌표 값들 중 중앙 값(median value)을 가지는 한 점(x_c, y_c)을 회전의 중심으로 결정하고, 식 (11)과 같은 허프 변환을 통해 회전의 각도(θ)를 측정하였다.

$$y = x \cdot \tan\theta + y_c \quad (11)$$

(x, y)는 중심선 위에 존재하는 점들의 좌표 값을 나타내고, y_c 는 회전의 중심으로 결정된 중심선 상의 점의 y 좌표를 나타낸다. 본 논문에서는 허프 변환의 빠른 처리 시간을 위해 회전의 각도를 -30° 에서 30° 까지의 범위로 제한하였다. 그림 7은 회전 정렬된 결과 영상을 보여준다.

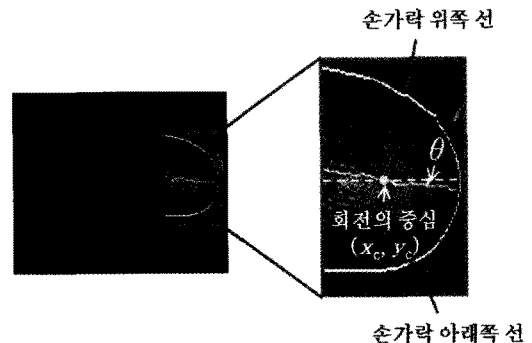


그림 6. 손가락 회전 각도 측정의 예

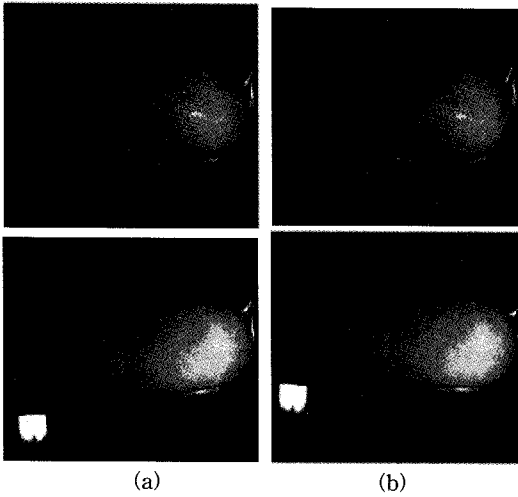


그림 7. 손가락 회전 정렬 결과 영상 (a) 원 영상 (b) 회전 정렬 영상

3.5. 지문 영역 검출 및 정규화

비접촉식 손가락 지문 인식에서는 사용자의 손가락과 카메라 사이의 거리에 따라서 손가락 영역의 크기가 변화된다. 따라서 정렬된 손가락의 크기를 고려하여 지문 영역을 검출하기 위해 다음 수식 (12) 및 (13)과 같이 검출된 손가락 영역의 평균 두께를 측정하고, 손가락 평균 두께의 1/2 크기의 영역을 인식할 지문 영역으로 선택하였다.

$$N = \frac{1}{2K} \sum_{i=x_{ft}-K}^{x_{ft}} |y_{upper,i} - y_{lower,i}| \quad (12)$$

$$M = w \cdot N \quad (13)$$

$y_{upper,i}$ 는 x 좌표가 i 일 때의 손가락 위쪽 선의 y 좌표 값을 나타내고, $y_{lower,i}$ 는 x 좌표가 i 일 때의 손가락 아래쪽 선의 y 좌표 값을 나타낸다. K 는 그림 5에서 보는 바와 같이 손가락 영역을 선택하기 위해 결정된 상수 값이다. 본 논문에서는 손가락 크기 변화에 상관없이 동일한 영역에서 지문을 검출하기 위해 손가락 끝으로부터 손가락 두께가 고려된 M 픽셀만큼 떨어진 영역에서 지문 영역을 $N \times N$ 픽셀 크기만큼 선택하였다. 입력된 영상의 손가락 두께에 따라 선택된 지문 영역의 크기가 서로 다르기 때문에 본 논문에서는 동일한 특징 패턴을 추출하기 위해 최종적으로 $L \times L$ 픽셀 크기로 지문 영상을 정규화하였다. 본 논문의 실험에서 상수 w 값은 2/3였고, L 은 40이었다.

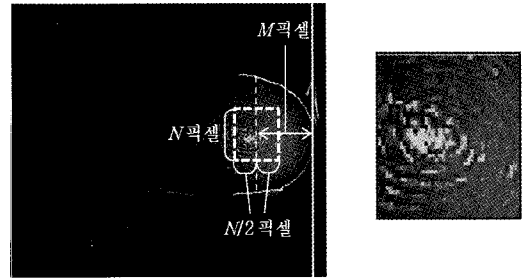


그림 8. 손가락 지문 영상 추출

3.6. LDP 기반 지문 특징 추출 및 매칭

본 논문에서는 정규화된 지문 영상으로부터 0° , 45° , 90° , 135° 의 방향에 대한 LDP 기반의 지문 특징코드를 추출하였다[16]. 추출된 LDP 기반 지문 특징코드로부터 각 방향에 대한 히스토그램을 구성하고, 식 (10)과 같이 등록된 지문 특징 히스토그램과의 카이 제곱 거리를 측정함으로써 비유사도를 측정하였다. 결과적으로 사전에 결정한 임계값보다 카이 제곱 거리가 작을 경우에는 등록된 사용자로 수락하고, 임계값보다 클 경우에는 등록되지 않은 사용자로 거부한다.

4. 실험결과

본 연구에서는 제안하는 LDP 기반의 비접촉식 지문인식 방법의 성능 평가 실험을 위해 40명의 사람으로부터 엄지손가락을 제외한 총 8개의 손가락에 대해 9~10장의 영상을 획득하여 비접촉식 지문 영상 데이터베이스를 구축하였다. 각 지문 영상은 640×480 픽셀 크기의 8비트 그레이 영상이며, 총 3,190장의 영상으로 구성되어 있다. 그림 9는 취득한 데이터베이스의 예를 보인다.

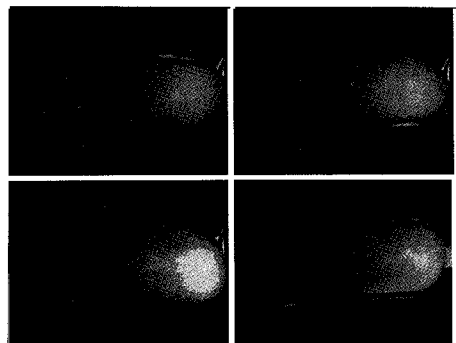


그림 9. 비접촉식 지문 영상

본 연구에서는 특징점과 지문 방향을 이용한 기존의 지문인식 방법을 통해 비접촉식 지문 영상의 인식 성능을 측정하였다. 특징점을 이용한 지문인식을 위해 먼저 그림 10(b)와 같이 지문의 용선을 검출하였다. 용선은 주변의 골보다 높은 픽셀 값을 가지기 때문에 (7×7)의 국소 영역의 중심 픽셀 값이 (7×7)의 국소 영역의 평균보다 클 경우 용선 위의 점으로 검출하였다. 검출된 라인을 Zhang-Suen이 제안한 세선화 알고리즘을 통해 그림 10(c)와 같이 용선을 세선화한 후 [21,22], 특징점의 위치를 검출하였다. 특징점은 끝점(ending point)과 교차점(bifurcation point)으로 구분할 수 있는데, (3×3)의 국소 영역의 주변 픽셀을 시계 방향으로 검색하면서 용선(0)과 골(255)의 변화가 2번 발생되면 끝점으로 검출하였고, 용선(0)과 골(255)의 변화가 6번 이상 발생되면 교차점으로 검출하였다. 최종적으로 등록 영상과 입력 영상의 특징점 위치들 간의 하우스도르프(Hausdorff) 거리를 측정함으로써 인식을 수행하였다[23]. 그림 10 (d)는 특징점 검출의 예를 보인다.

지문 방향 정보는 본 논문에서 제안한 방법으로 추출한 정규화된 지문 영상을 각각 (5×5)의 국소영역으로 나눈 후, 그림 11과 같은 지문 경계 방향을 나타내는 12개의 마스크를 이용하여 추출하였다. 지문 방향의 각도를 나타내는 마스크의 정합 값이 최대가 되는 마스크의 각도를 지문 방향의 특징값으로 사용하였으며, 총 64개의 지문 방향 정보로부터 유클리디안(Euclidean) 거리를 측정함으로써 인식을 수행하였다.

본 연구에서는 모든 매칭 쌍을 대상으로 인식 실험을 수행하였다. 그림 12는 각 인식 방법의 DET (Detection error trade-off) 곡선을 보여주며, 가로축 및 세로축의 단위는 %이다. FRR(False Rejection Rate)은 등록된 사용자를 등록되지 않은 사용자로 잘못 인식하는 에러율을 나타내며, FAR(False

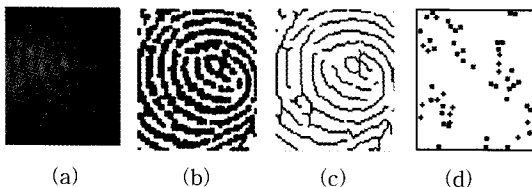


그림 10. 지문 특징점 추출 방법의 예 (a) 원 영상 (b) 용선 추출 영상 (c) 세선화된 영상 (d) 특징점 추출 예 [4]

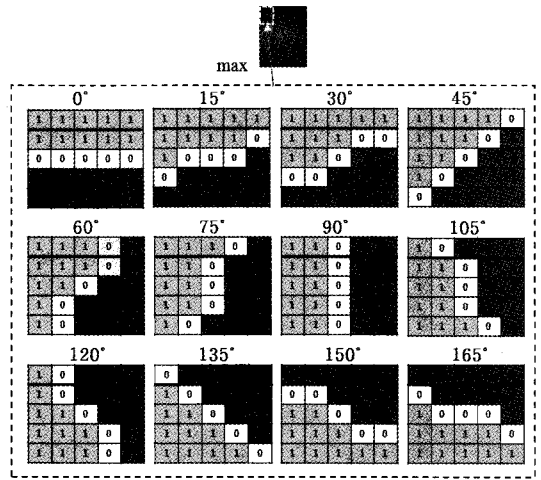


그림 11. 지문 방향 추출 마스크 [4]

Acceptance Rate)은 등록되지 않은 사용자를 등록된 사용자로 잘못 인식하는 에러율을 나타낸다. 또한 EER(Equal Error Rate)은 FRR과 FAR이 최소로 같아지는 지점에서의 에러율을 의미한다.

비접촉식 지문 영상의 경우, 조명의 변화로 인해 특징점과 지문 방향의 오검출이 빈번하게 발생되었으며 이로 인해 그림 12에서 보는 바와 같이 지문의 특징점 (minutia) 나 용선(ridge)을 이용하는 두 방법 모두 EER이 20%이상으로 인식 성능이 매우 저하되는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 LBP 기반의 비접촉식 지문인식 방법[8]과 본 논문에서 제안하는 LDP 기반의 비접촉식 지문인식 방법의 인식 성능을 비교하였다. 두 비접촉식 지문인식 방법은 두 가지 매칭 방법을 고려할 수 있다. 한 가지는 본 논문에서 제안하는 매칭 방법으로 각 이진코드에 대한 히스토그램을 구성하고, 이를 카이 제곱 거리를 통해 비유사도를 측정하는 방법이고, 나머지는 식(14)와 같이 특징코드의 각 비트를 매칭하여 계산하는 해밍 거리(Hamming distance)를 통해 비유사도를 측정하는 방법이다.

$$HD = \frac{1}{J} \sum_{j=0}^J b_e(j) \otimes b_r(j) \quad (14)$$

$b_e(\cdot)$ 와 $b_r(\cdot)$ 은 각각 LBP 또는 LDP에 의해 추출된 등록 특징코드와 입력 특징코드를 나타내며, J 는 특징코드의 총 비트수를 나타낸다.

그림 12에서 보는 바와 같이 각각의 비트를 매칭하여 비유사도를 측정하는 해밍 거리(HD)에 의한 방

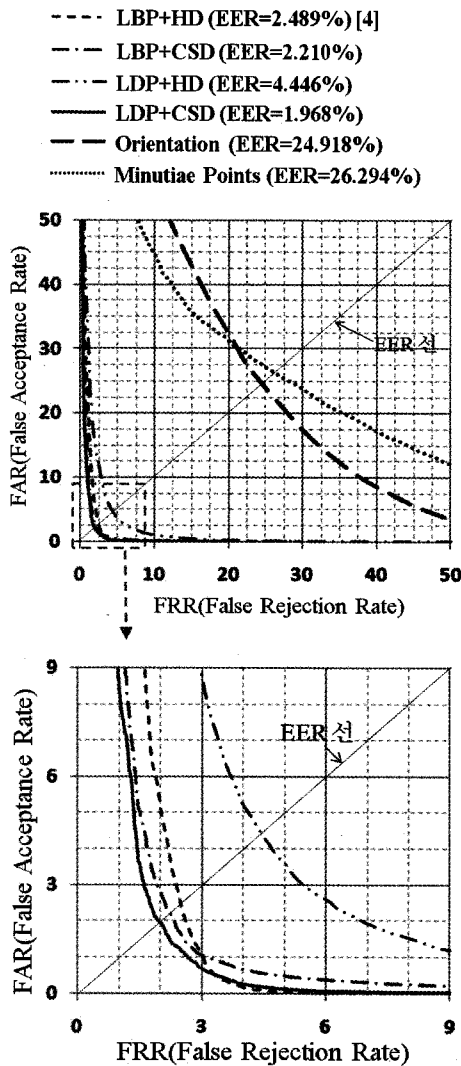


그림 12. 비접촉식 지문인식 방법의 DET 곡선

법보다 특징코드의 빈도수를 측정하여 매칭하는 카이 제곱 거리(CSD)에 의한 방법이 더 좋은 인식 결과를 나타내었다.

지문의 경우에는 융선과 골에 의해 일정한 방향성을 지닌 예지들이 반복되어 나타나기 때문에 LBP 또는 LDP 방법에 의해 동일한 특징 패턴을 지닌 특징코드들이 빈번하게 나타나며, 이러한 동일 특징코드의 빈도수를 이용하는 것이 더욱 효과적인 인식방법임을 실험을 통해 알 수 있었다. 비트 매칭을 이용하는 해밍 거리의 경우에는 본인 테스트 시에 동일한 위치에서 동일한 비트가 추출되어야 하기 때문에, 약간의 정렬 오차에 의한 비트 이동에 의해 해밍 거리

가 증가하는 단점이 있었다. 또한 그림 12를 통해, LBP 기반의 지문 특징 추출 방법보다 LDP 기반의 지문 특징 추출 방법이 더 좋은 인식 성능의 결과를 얻음을 알 수 있었다. 이는 2차 미분에 의해 특징을 추출하는 LDP 방법이 융선과 골이 반복되는 지문의 특징을 효율적으로 추출하기 때문이다.

인텔 코어 쿼드 CPU 2.66 GHz에서 제안된 방법의 처리시간을 측정하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 제안된 방법은 특징코드 추출과 매칭을 위해 매우 적은 처리시간이 소요되었으며, 총 처리 시간은 96.1ms로 초당 10.4프레임의 영상을 처리할 수 있었다.

표 1. LDP 기반 지문인식 방법의 처리시간

방 법	처리시간(ms)
손가락 영역 검출	79
손가락 회전 정렬	16
손가락 영역 정규화	0.8
LDP 기반 특징코드 추출	0.2
지문특징매칭(CSD)	0.1
총 계	96.1

4. 결 론

본 논문에서는 비접촉식 지문인식을 위한 LDP 기반의 지문인식 방법을 제안하였다. 비접촉식 지문 인식은 부가적인 지문 센서 장비를 필요로 하지 않기 때문에, 핸드폰과 같은 모바일 환경에서 부가 장비 없이 카메라를 이용하여 지문인식을 수행할 수 있으며, 센서에 남아 있는 잔존 지문으로부터 도용을 방지할 수 있다. 제안하는 LDP 특징 추출 방법은 중심 픽셀과 주변 픽셀간의 차이를 이용한 방법이기 때문에 비접촉식 지문 영상에서 자주 발생하는 조명 변화에 강인한 특성을 보인다. 또한, 지문의 경우 융선과 골이 반복적으로 이루어지는 특징을 보이기 때문에 2차 미분 형태인 LDP가 1차 미분 형태인 LBP 보다 지문 특징을 효율적으로 추출할 수 있었으며, 이로 인해 더 좋은 인식 정확성을 보일 수 있었다.

비접촉식 지문인식의 경우에는 손가락의 3차원적인 이동 및 회전에 대한 보상이 요구되며, 본 논문에서는 이동과 회전에 대한 정렬을 위해 전처리 과정을 수행하지만 굽혀진(bending) 손가락 영상이나 x축을 기준으로 회전된(rolling) 손가락이 입력될 경우

인식 오류가 증가되는 문제점이 있었다. 또한 카메라와 사용자의 손가락 간의 거리에 따라 초점이 맞지 않는 손가락 영상이 취득될 가능성이 있으며, 본 논문의 LDP 기반 방법이나 기존 LBP 기반 방법들은 이러한 광학 블러(optical blur)가 발생될 경우 영상의 픽셀 간의 차이가 불명확하여 인식 정확성이 감소되는 문제점이 발생된다. 따라서 이러한 블러가 발생된 영상에서 인식 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 연구할 계획이다. 또한 제안하는 비접촉식 지문인식 시스템의 경우에는 손가락의 외형 정보도 함께 얻을 수 있기 때문에 손가락 기하학 인식(finger geometry recognition)과의 결합을 통해 인식 성능 향상과 함께 인식 가능한 인구 수용력(population capacity)을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 반성범, 문지현, 정용화, 김학일, “지문 인식 기술 동향,” 전자통신동향분석, 제16권, 제5호, pp. 46-54.
- [2] A. Jain, L. Hong, and R. Bolle, “On-line Fingerprint Verification,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.
- [3] N. Sharma, and J. Lee, “Fingerprint Minutiae Matching Algorithm using Distance Histogram of Neighborhood,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 10, No. 12, pp. 1577-1584, 2007.
- [4] A. K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, “An Introduction to Biometric Recognition,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 4-19, Jan. 2004.
- [5] G. Parziale, and Y. Chen, “Advanced Technologies for Touchless Fingerprint Recognition,” *Handbook of Remote Biometrics*, pp. 83-109, 2009.
- [6] C. Lee, S. Lee and J. Kim, “A Study of Touchless Fingerprint Recognition System,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4109, pp. 358-365, 2006.
- [7] J. Palma, C. Liessner, and S. Mil'Shtein, “Contactless Optical Scanning of Fingerprints with 180° View,” *Scanning*, Vol. 28, issue 6, pp. 301-304, 2007.
- [8] B. J. Kang, H. C. Lee, K. R. Park, and J. N. Kim, “Multimodal Biometrics Based on the Fusion of Fingerprint and Finger-vein Recognition,” *IET computer vision*, submitted.
- [9] T. Ojala, M. Pietikäinen, and D. Harwood, “A Comparative Study of Texture Measures with Classification Based on Feature Distributions,” *Pattern Recognition*, Vol. 29, issue. 1, pp. 51-59, 1996.
- [10] T. Ojala, M. Pietikäinen, and T. Maenpaa, “Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, No. 7, pp. 971-987, 2002.
- [11] E. C. Lee, H. C. Lee, and K. R. Park, “Finger Vein Recognition by Using Minutia Based Alignment and Local Binary Pattern-based Feature Extraction,” *International Journal of Imaging Systems and Technology*, Vol. 19, issue 3, pp. 179-186, 2009.
- [12] H. C. Lee, B. J. Kang, E. C. Lee, and K. R. Park, “Finger Vein Recognition by Using Weighted LBP Code Based on SVM,” *Journal of Zhejiang University-Science C*, Vol. 11, No. 7, pp. 514-524, July 2010.
- [13] T. Ahonen, A. Hadid, and M. Pietikäinen, “Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, No. 12, pp. 2037-2041, 2006.
- [14] G. Guo, and M. J. Jones, “Iris Extraction Based on Intensity Gradient and Texture Difference,” *Proc. of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 1-6, 2008.
- [15] H. Yang, and Y. Wang, “A LBP-based Face Recognition Method with Hamming Distance Constraint,” *Proc. of the 4th International*

- Conference on Image and Graphics*, pp. 645-649, 2007.
- [16] B. Zhang, Y. Gao, S. Zhao, and J. Liu, "Local Derivative Pattern Versus Local Binary Pattern: Face Recognition With High-Order Local Pattern Descriptor," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 19, No. 2, 2010.
- [17] H. Ling, D. W. and Jacobs, "Using the Inner-Distance for Classification of Articulated Shapes," *Proc. of the 2005 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 719-726, 2005.
- [18] Logitech QuickCam, <http://www.logitech.com> (accessed on 2010.02.12)
- [19] R C. Gonzalez, and R. E. Woods, *Digital Image Processing 3rd edition*, Pearson Prentice Hall, 2008.
- [20] 심재창, 김세영, 최미순, 김익동, "양면 지문 입력 방법," *한국멀티미디어학회논문지*, 제11권, 제3호, pp. 323-330, 2008년.
- [21] J. R. Parker, *Practical Computer Vision using C*, Wiley Computer Publishing, 1994.
- [22] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision," CL-Engineering, 1998.
- [23] L. Wang, G. Leedham, and D. S.Cho, "Minutiae Feature Analysis for Infrared Hand Vein Pattern Biometrics," *Pattern Recognition*, Vol. 41, No. 3, pp. 920-929, 2008.



강 병 준

2004년 상명대학교 소프트웨어학과 이학사
2006년 상명대학교 컴퓨터과학과 컴퓨터과학석사
2009년 상명대학교 컴퓨터과학과 컴퓨터과학박사

2009년 2월~2009년 5월 한양대학교 의공학연구소 연구 조교수
2009년 6월~2010년 8월 한국전자통신연구원 휴먼인식 기술연구팀 선임연구원
2010년 9월~현재 현대모비스 기술연구소 선임연구원
관심분야: 바이오인식, 영상신호처리, 컴퓨터비전 등



문 기 영

1986년 경북대학교 전자공학과 공학사
1989년 경북대학교 전자공학과 공학석사
2006년 충남대학교 전산학과 이학박사

1992년~1994년 (주)대우정보시스템 기술연구소 전임연구원
1994년 3월~현재 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀 책임연구원
관심분야: 바이오인식, 웹서비스 보안, 분산시스템 등



박 강 령

1994년 연세대학교 전자공학과 졸업
1996년 연세대학교 전자공학과 석사
2000년 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사

2000년~2003년 LG 전자 기술원 Digital Vision Group 선임 연구원
2003년~2008년 상명대학교 소프트웨어대학 디지털미디어학부 조교수
2008년~현재 동국대학교 전자전기공학부 부교수
관심분야: 영상/음성신호처리, 바이오인식, 패턴인식



김 정 너

1987년 전남대학교 전산통계학과
2000년 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2004년 충남대학교 컴퓨터공학과 박사
2005년 University of California, Irvine Post-Doc.

1988년 2월~현재 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀장 책임연구원
관심분야: 시스템·네트워크보안, 보안 OS, 바이오보안 등



유 장 희

1989년 한국외국어대학교 전자물리과
1990년 한국외국어대학교 경영정보대학원 전산학과 석사
2004년 영국 University of Southampton 전자 및 컴퓨터 박사

1989년 11월~현재 한국전자통신연구원 휴먼인식기술연구팀 책임연구원
관심분야: 실시간 영상처리, 패턴인식, 바이오인식, Robotics 및 HCI 등



신 재 호

1979년 서울대학교 전자공학과 학사
1982년 서울대학교 전자공학과 공학석사
1987년 서울대학교 전자공학과 공학박사
1983년~1988년 명지대학교 조교수

1988년~현재 동국대학교 전자전기공학부 교수
관심분야: 신호처리, 음향신호처리, 음향위터마킹