論文2003-40SP-1-13

변형된 게이버 필터를 사용한 지문영상의 향상

(Fingerprint Image Enhancement Based on a Modified Gabor Filter)

張 元 喆 *, 李 東 宰 *, 金 在 熹 *

(Won Churl Jang, Dong Jae Lee, and Jae Hie Kim)

요 약

지문 인식의 성능을 안정적으로 유지하기 위해서는 지문 영상을 향상(Enhancement)시켜야한다. 그렇기 때문에 지문 영상을 향상시키는 방법에 대해 많은 연구가 이루어졌다. 그 중에서 대표적인 방법이 게이버 필터(Gabor Filter)를 사용하는 것이다. 그러나 GF를 사용한 지문영상 향상 방법은 처리 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 본 논문에서는 온라인(on-line) 환경에서 빠르게 지문영상을 향상시키기 위해 게이버 필터를 변형시킨 HGF(Half Gabor Filter)를 제안하였다. 제안한 HGF는 기존의 게이버 필터에 비해 연산량을 반으로 줄여 처리시간을 단축시킨 방법이다. 반면에 HGF로 향상시킨 지문영상은 GF를 적용한 경우와 거의 같은 효과를 갖는다. 본 논문에서는 HGF를 사용하여 GF로 지문영상을 향상시키는 경우와 거의 같은 결과를 얻을 수 있음을 이론적, 실험적으로 확인하였다.

Abstract

We must enhance a fingerprint image to improve the performance of a fingerprint recognition. Because of this reason, many researches were achieved about the fingerprint image enhancement. Representative method is to use Gabor-Filter among them. However GF has the weakness which a processing hour takes long. In this paper, we proposed Half Gabor Filter (HGF) to enhance the fingerprint image fast in the on-line. The HGF, however, can make calculation much simpler, as well as both minutiae-extraction rate and recognition rate. On the other hand, the fingerprint image to enhance using HGF has almost same with the case effectiveness to apply GF. In this paper, we confirme it mathematically and experimentally.

Keyword : 생체인식, 지문인식, 영상처리, Image Enhancement

Ⅰ. 서 론

사회가 발전하면서 보다 안전한 개인 신분 확인 방법에 대한 필요성이 커지고 있다. 이런 이유로 최근에 생체인식 기술에 대한 관심이 점점 커지고 있다. 그 중에 지문인식 기술은 사용의 편리성과 안정성 때문에 큰 인기를 얻고 있다. 대부분의 지문인식 시스템은 온라인 환경에서 융선 특징(Minutiae)들을 이용하여 인식한다. 따라서 지문인식 시스템은 지문 영상으로부터 융선 특징들을 안정적으로 추출해야한다. 그리고 온라인 환경에서 사용하기 위해서는 빠르게 지문영상을 처리해야 한다. 다시 말해, 지문인식 시스템을 설계하기 위해서 지문영상의 융선 구조를 안정적으로 빠르게 추출하는 방법이 필요하다. 이런 필요성 때문에 효과적으로 지문영상을 향상시키는 방법에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 지문영상을 향상시키는 방법에는 크게 5가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 지문영상을 여러 블록으

* 正會員, 延世大學校 電氣電子工學科
(Depy. of Electrical & Electronic Engineering)
接受日字:2002年5月22日, 수정완료일:2002年11月29日

로 나누어 블록별로 임계값을 적용하여 이진화하는 Dynamic Thresholding 방법이다[1,2]. 이 방법은 처리 시간이 적게 소요되는 장점이 있다. 그러나 잡음(Hole)이 포함된 지문영상에 대해서는 지문영상을 향상시키는 능력이 떨어지는 단점이 있다. 두 번째 방법은 방향성 필터를 적용하는 방법이다[3,4]. 초기에 많이 연구되었던 방법으로, 지문영상을 향상시키는 능력이 다른 방법에 비해 우수하다. 그러나 매우 많은 연산량이 소요되어 처리 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 세 번째 방법은 지문영상을 여러 블록으로 나누어 퓨리에 변환을 하여 주파수 영역에서 자기 상관 관계(Autocorrelation)를 이용하여 지문영상을 향상하는 방법이다[5]. 이 방법은 지문이 지역적으로 선형성을 갖는다는 특성을 이용한 방법으로 지문영상을 향상시키는 능력이 우수하다. 그러나 에어리징(Aliasing)이 발생하는 단점이 있다. 에어리징 현상을 피하기 위해서는 나이퀘스트(Nyquest) 조건을 만족하도록 처리해야한다. 결국 처리시간이 많이 소요되는 문제점을 발생한다. 네 번째 방법은 지문영상내의 융선들을 추적하여 융선 구조를 재구성하는 융선 추적(Ridge following)방법이다[6]. 이 방법은 처리시간과 지문영상 향상 능력이 우수하다고 평가받는다. 그러나 융선 추적 알고리즘은 설계자의 경험에 의존하여 설계하는 방법으로 설계자의 능력에 따라 성능 차이가 심한 단점이 있다. 그리고 마지막 방법은 지문영상에 대해 GF(Gabor Filter)를 적용하여 지문의 융선을 추출하는 방법이다[7,8]. 이 방법은 처리 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 그러나 다른 방법에 비해 지문향상 능력이 매우 우수한 장점이 있다. 이런 장점 때문에 가장 일반적으로 사용되고 있다.

본 논문에서는 GF의 단점을 해결하기 위해 연산량을 반으로 감소시킨 HGF(Half Gabor Filter)를 제안하였다. HGF는 GF와 거의 같은 지문영상 향상 효과를 갖는다. 반면에 연산량은 반으로 감소하여 처리 시간이 단축되는 장점을 갖는다. 본문에서는 HGF를 정의하였고, HGF의 처리 결과와 GF 처리 결과를 비교하였다. 또한 HGF가 지문영상을 향상시키는 능력을 확인하기 위해 특징점 추출율과 지문 인식 성능을 평가하였다.

Ⅱ. 지문 영상의 특징

일반적으로 지문의 구조는 <그림 1>과 같이 융선(Ridge)과 골(Valley)로 구성되어있다. 또한 융선의 끝나는 점을 끝점(Ridge End)라 하고 두 융선이 만나는 점을 분기점(Bifurcatio n) 이라 정의한다. 끝점과 분기점을 합하여 특징점이라 정의한다. 지문영상에는 몇 가지 특성이 있다. 첫 번째 특성은 융선이 지역적으로 단일한 방향성과 간격을 갖는다는 것이다. 즉 <그림 1(b)>와 같이 융선은 지역적으로 선형성(Linearity)을 갖는 특성이 있다. 이런 특성 때문에 능동 필터를 사용하여 쉽게 융선을 추출할 수 있게 된다. 그리고 세선화된 융선으로부터 특징점들을 용이하게 추출하게 된다. 두 번째 특성은 여러 외부 환경(피부 상태, 날씨 등)에 의해 센서에 입력되는 지문영상은 다양한 상태를 갖는다는 것이다. 지문영상의 상태는 크게 중성(Neutral), 건조(Dry), 습한(Oily) 상태로 나눈다<그림 2>. 지문영상의 상태가 습하거나 건조한 경우 지문영상의 향상 과정에서 잘못된 구조의 융선을 생성하게 된다. 지문의 마지막 특징으로 지문에는 땀구멍(Pore)이 존재한다. 땀구멍은 <그림 1(a)>처럼 융선 내부에 작은 구멍들을 말한다. 이런 땀구멍은 특징점들을 추출하는 과정에서

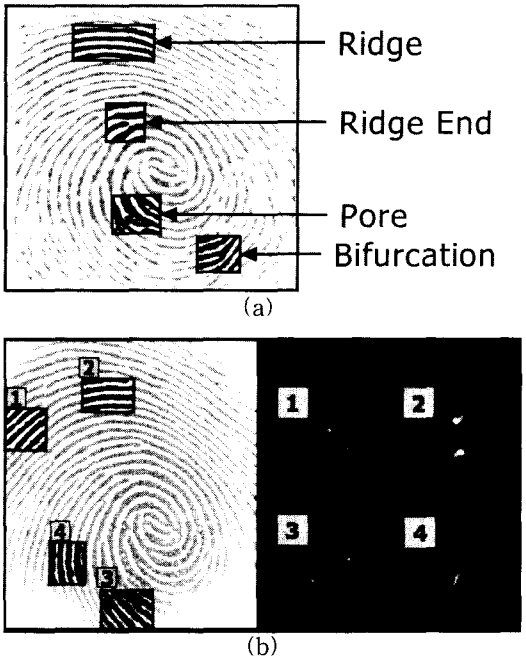
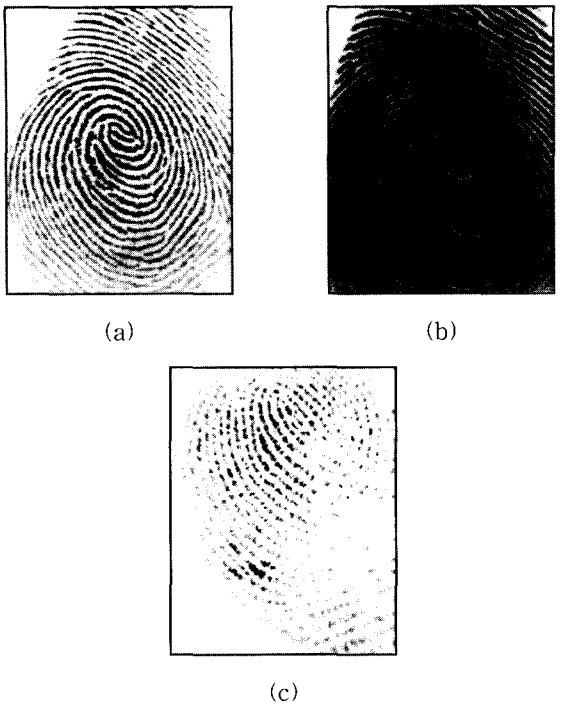


그림 1. 지문의 구조 및 특징 : (a) 지문의 구조, (b) 공간 영역과 주파수 영역에서 융선의 특징

Fig. 1. The structure and feature of the fingerprint : (a) the structure of the fingerprint, (b) the feature of ridges in the space and frequency domain.

잘못된 특징점들을 생성하게 한다. 그러므로 지문영상 향상 모듈(Fingerprint Image Enhancement Module)을 설계할 때는 건조하거나 습한 상태의 지문영상에서도 융선들을 안정적으로 생성할 수 있으며, 땀구멍에 의해 융선 내부에 생기는 구멍들을 제거할 수 있어야 한다.



(a) (b)

(c)

그림 2. 지문 영상의 상태 : (a) Neutral, (b) Oily, (c) Dry

Fig. 2. The conditions of the fingerprint image : (a) Neutral, (b) Oily, (c) Dry.

Ⅲ. 지문 영상의 향상

지문의 특징점(Minutiae)을 이용한 지문 인식 시스템은 크게 4단계로 구성되어있다<그림 3>. 즉, 지문 입력(Image Acquisition), 특징 추출(Minutae Extraction), 지문의 종류 분류(Classification), 그리고 지문의 특징 정보를 정합(Minutiae Matching)하는 부분으로 구성되어있다. 이런 지문 인식 시스템은 획득된 지문영상으로부터 안정적으로 특징 정보들을 추출하는 것이 매우 중요하다. 그러나 일반적으로 획득된 지문영상은 여러 원인(피부의 상태, 주위 습도, 센서의 상태 등) 때문에 불안정한 융선 구조를 갖는 경우가 많다. 그렇기 때문에 지문 인식 성능을 향상시키기 위해서는 획득된 지문영상의 융선 구조를 안정적으로 추출하도록 도와주는 지문영상의 향상(Fingerprint Image Enhancement) 모듈이 필요하다.

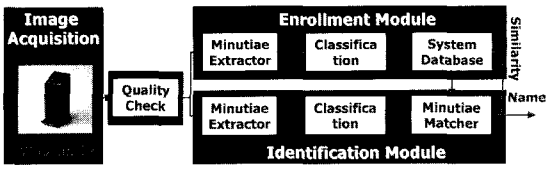


그림 3. 지문 인식 시스템

Fig. 3. Fingerprint Recognition System.

지문영상 향상 모듈은 기본적으로 두 가지 기능을 할 수 있어야 한다. 첫 번째 기능은 획득된 지문영상으로부터 융선(Ridge)과 골(Valley)의 구조를 명확하게 복원하는 것이다. 두 번째 기능은 지문영상 내에 땀구멍 등에 의해 생기는 잡음을 제거하는 것이다. <그림 4>는 앞의 두 조건을 만족하는 GF를 사용하여 지문영상을 향상시키는 일반적인 지문의 특징점 추출 과정을 보여준다.

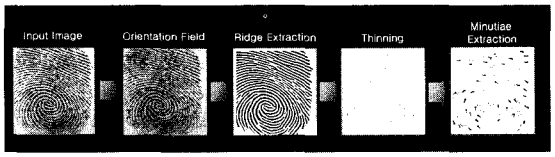


그림 4. 지문영상의 특징점 추출

Fig. 4. The feature extraction of the fingerprint image.

서론에서 언급했듯이, GF는 융선의 복원력과 잡음 제거 능력이 우수하여 지문영상을 향상시키기 위해 많이 사용된다. 그러나 GF는 처리 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 GF의 단점을 해결하기 위해 변형된 게이버 필터인 HGF를 제안하였다. <그림 5>는 본 논문에서 제안한 HGF를 사용하여 지문의 융선을 추출하는 과정을 보여준다. HGF를 적용하여 지문영상을 향상시키기 과정은 크게 세 가지로 이루어진다. 첫 번째 단계는 지문영상으로부터 융선의 방향성을 평가하는 것이다. 두 번째 단계는 융선의 주파수(간격)를 평가하는 것이다. 세 번째 단계는 앞에서 평가한 융선의 방향 정보와 주파수 정보를 이용하여 HGF를 적용하는 것이다.

1. 지문의 방향성 평가(Orientation Field Estimation)

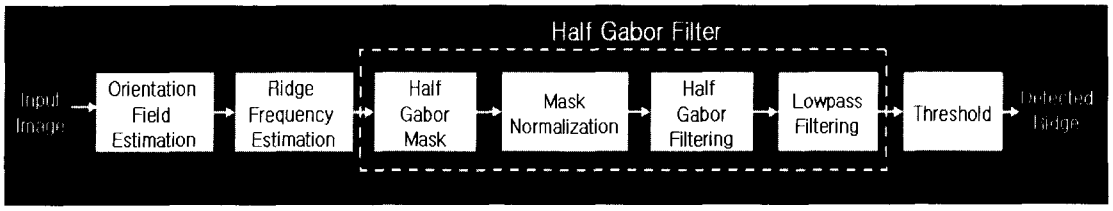


그림 5. HGF를 사용한 지문영상 향상 및 융선 추출
Fig 5. The fingerprint image enhancement by the Half Gabor Filter

지문영상에 HGF를 적용하기 위해서는 융선들의 방향성을 알아야 한다. 본 논문에서는 융선의 방향성을 평가하기 위해 Jain[7]이 제안한 방법을 사용하였다. 융선의 방향성 평가 방법은 아래와 같다.

(1) $W \times W(7\times7)$ 크기의 블록들로 지문영상을 나눈다.

(2) 블록내의 각 화소에 대해 소벨(Sobel) 연산자를 사용하여 경도(Gradient) G_x , G_y를 계산한다.

(3) 계산된 경도들을 이용하여 식 (1)에 따라 블록들의 방향(Orientation)을 평가한다.

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{u=i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{v=j+\frac{w}{2}} 2G_x(u,v)G_y(u,v)$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{u=i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{v=j+\frac{w}{2}} (G_x^2(u,v) - G_y^2(u,v))$$

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{V_x(i,j)}{V_y(i,j)}\right) \qquad (1)$$

2. 융선의 주파수 평가(Ridge Frequency Estimation)

HGF를 사용하여 지문영상을 향상시키기 위해서는 융선의 방향성과 함께 융선의 주파수(Ridge Frequency)를 알아야한다. Jain[8]은 각각의 블록 내의 융선의 방향에 수직인 방향으로 융선의 간격을 계산하여 융선의 주파수를 평가하였다. 이 방법을 사용하여 주파수를 평가하는 경우에는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째, 융선의 방향성 평가가 부정확한 경우 잘못된 주파수를 평가하게 된다. 둘째, 블록내의 융선과 골의 구조가 모호한 경우 잘못된 주파수를 평가하게 된다. 마지막으로, 블록의 융선 간격을 계산하는 과정이 복잡하다는 것이다. 그렇기 때문에 간단하고 명확히 융선의 주파수를 계산하는 방법이 필요하다. 본 절에서는 기존의 융선 주파수 평가 방법에 비해 간단하고 정확한 평가 방법을 제안한다.

지문의 블록들의 융선 주파수를 평가하기 위해서는, 앞 절에서 설명한 지문 융선이 지역적으로 선형성을 갖는 특성을 이용한다. <그림 6>의 (a)와 (b)는 지문의 융선이 지역적으로 선형성을 갖음을 보여준다. 지문의 융선이 지역적으로 선형성을 갖기 때문에 블록내의 융선 방향성은 단일 방향을 갖으며, 블록내의 융선의 간격은 거의 일정한 간격을 갖는다. 그렇기 때문에 <그림 6(c)>에서와 같이 블록내의 융선의 주파수는 주파수 영역에서 파워가 두 번째로 큰 점이 된다(가장 큰 점은 DC 성분을 의미함.) 다시 말해, 식 (2)를 통해 블록의 융선 주파수를 계산하게 된다.

$$f_0 = \sqrt{(u_{peak}-u_c)^2 + (v_{peak}-v_c)^2} \qquad (2)$$

f_0 : 블록(블록 크기: 16×16)내의 융선의 주파수.

u_{peak}, v_{peak} : 블록을 퓨리에 변환했을 때 주파수 영역에서 주파수가 '0' 인 점을 제외했을 때 가장 큰 파워을 갖는 점의 u,v 좌표.

u_c, v_c : 블록을 퓨리에 변환했을 때 주파수 영역에서 주파수가 '0' 인 점의 u,v 좌표.

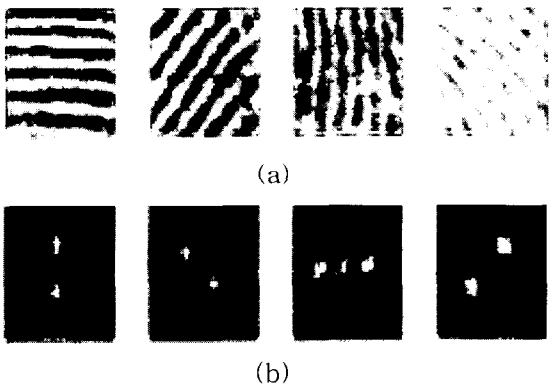


그림 6. 지문의 융선 주파수 : (a) 여러 블록들의 융선, (b) (a) 블록들의 퓨리에 변환, (c) 주파수 영역에서 융선의 주파수
Fig. 6. The ridge frequency of the fingerprint : (a) ridge patterns, (b) frequency features fo the (a), (c) the estimation of ridge frequency.

3. HGF를 사용한 지문영상의 향상

본 절에서는 지문영상을 향상시키는 방법에 대해 제안한다. Jain[7,8]등 여러 사람은 지문영상을 향상시키기 위해 GF를 사용하였다. 그러나 GF를 사용하는 경우 연산량이 많아 처리 시간이 많이 소요되는 것이 문제였다. 이런 문제를 해결하기 위해 변형된 게이버 필터인 HGF(Half Gabor Filter)를 제안한다. HGF를 이용해 지문영상을 향상시키기 위해서는 크게 4가지(Half Gabor Mask Generation, Mask Normalization, HGF, Lowpass Filtering) 일을 수행하여야 한다. 첫 번째로 HGM(Half Gabor Mask)를 생성해야한다. HGF는 식 (3)과 같이 $h(x, y, \theta, f)$로 정의된다.

$$g(x, y, \theta, f) = \exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{x^2}{\delta_x^2} + \frac{y^2}{\delta_y^2}\right)\right)\cos(2\pi fx \cdot \cos\theta)$$

$$h(x, y, \theta, f) = \frac{1}{2}[g(x, y, \theta, f) + (-1)^{x+y} g(x, y, \theta, f)] \quad (3)$$

θ : 블록 내의 융선 방향

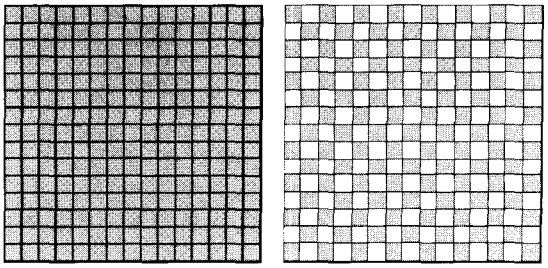
($\theta = 0^o, 11.25^o, 22.5^o \cdots 168.75^o$)

f : 블록 내의 융선 주파수

2δ : 융선 두께 ($\delta_x = \delta_y = \delta$)

식 (3)을 이용해 HGF를 표현하는 $W \times W(15 \times 15)$ 크기의 마스크를 생성한다. 두 번째 과정은 생성된 HGM에 대해 마스크의 파라미터의 합이 영(zero)이 되도록 비례상수를 사용해 정규화 한다. HGF가 BF(Bandpass Filter)의 역할을 하기 위해서는 HGM의 정규화는 매우 중요하다. 만약 정규화가 이루어지지 않는 경우 잘못된 융선들이 추출되거나 제거되는 현상이 발생한다. 또한, 잘못 추출된 융선에 의해 잘못된 특징점들이 생성되게 된다. 세 번째 과정으로 HGF 처리된 지문영상에 대해 LF(Lowpass Filter)를 사용하여 필터처리 한다. 이것은 GF와 달리 HGF는 고주파대의 잡음을 통과시키기 때문에 LF를 사용하여 잡음을 제거한다. LF로는 일반적인 가우시안 필터(Gaussian Filter)를 사용하였다.

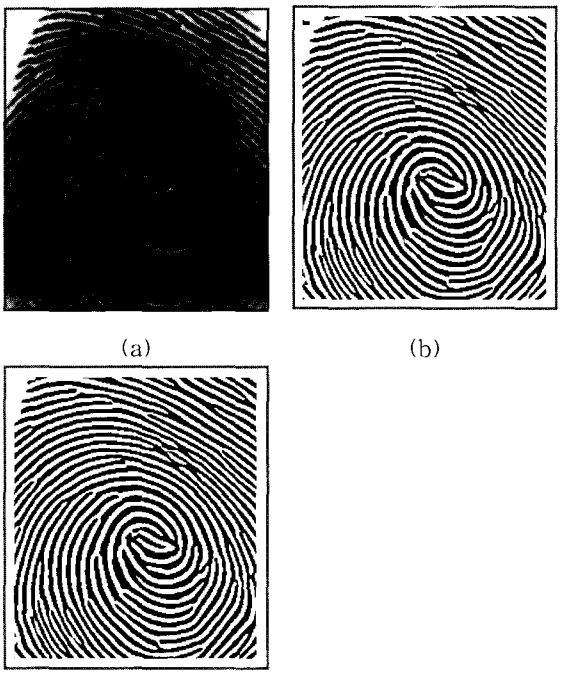
식 (3)으로 표현되는 HGF와 일반 GF를 비교 하면, HGF는 GF에 대해 체스판처럼 사이 사이를 영을 채워 넣은 것과 같다. 즉 <그림 7(b)>와 같은 형태의 필터 마스크를 생성하게 된다. <그림 7(a)>는 일반 GF의 마스크를 표현한 것이고, <그림 7(b)>는 HGF의 마스크를 표현한 것이다. 마스크내에 색이 칠해진 부분들은 필터의 역할을 하는 화소들이고 색이 칠해지지 않은 부분들은 영으로 채워진 부분이다. <그림 7(b)>의 마스크를 사용해 필터 처리하는 경우 일반 GF의 마스크



(a) (b)

그림 7. GF와 HGF의 마스크 형태 : (a) GF의 마스크, (b) HGF의 마스크 (색이 칠해지지 않은 영역은 마스크 값이 영. 색이 칠해진 영역은 마스크 값이 영이 아님.)

Fig. 7. GF mask and HGF mask : (a) GF mask, (b) HGF mask.



(a) (b)

(c)

그림 8. 입력된 지문영상에 대한 향상 : (a) 입력된 지문영상, (b) GF를 적용하여 융선을 추출한 결과, (c) HGF를 적용하여 융선을 추출한 결과

Fig. 8. The enhancement of the fingerprint image : (a) the original fingerprint image, (b) the enhanced fingerprint image by the GF, (c) the enhanced fingerprint image by the HGF.

에 비해 연산량이 반으로 감소하게 된다. 이런 효과에 의해 지문영상을 향상시키는데 소요되는 처리시간이 감소하게된다. 그리고 지문영상에 대해서는 HGF와 LF를 적용한 결과는 일반적인 GF를 적용한 결과와 같은 효과를 얻는다. 그 이유는 지문 융선들의 주파수 특성 때문인데, 자세한 내용은 5장에서 설명한다. 그림 8은 입력된 지문영상에 대해 GF를 적용하여 융선을 추출한 결과와 HGF를 적용하여 융선을 추출한 결과를 보여준다.

Ⅳ. 게이버 필터

본 절에서는 HGF의 기본이 되는 GF에 대해 설명하겠다. 식 (4)는 일반적인 우대칭 게이버 필터(Even Symmetrical Gabor Filter)의 기본식이다. GF는 식 4와 같이 두 부분($g_1(x,y)$, $g_2(f,\theta)$)으로 구성되어 있다. $g_1(x,y)$는 가우시안 필터로 땀구멍 등의 원인에 의해 생기는 지문영상의 잡음을 제거해주는 역할을 한다. 그리고 $g_2(f,\theta)$는 지문영상 내의 융선과 골의 구조가 명확하도록 구분하여준다. 즉 $g_1(x,y)$는 잡음을 제거하는 LF 역활을 하며, $g_2(f,\theta)$는 융선의 방향과 간격을 조절하는 필터 역할을 수행한다.

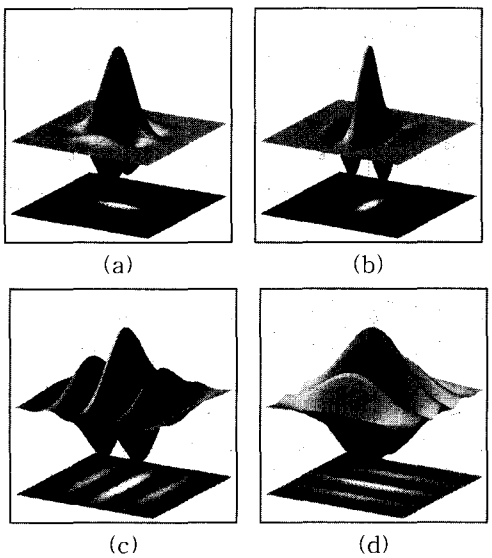


그림 9. 방향과 주파수 변화에 따른 GF의 형태 :
(a) $f=0.14,\ \theta=0^o$, (b) $f=0.14,\ \theta=90^o$,
(c) $f=0.28,\ \theta=0^o$, (d) $f=0.28,\ \theta=90^o$

Fig. 9. Various Gabor Filter :
(a) $f=0.14,\ \theta=0^o$, (b) $f=0.14,\ \theta=90^o$,
(c) $f=0.28,\ \theta=0^o$, (d) $f=0.28,\ \theta=90^o$

<그림 9>는 융선의 방향이 변할 때 GF의 변화와 융선의 주파수가 변할 때 GF의 변화를 보여준다. <그림 9>의 (a)와 (b)를 보면, 융선의 방향이 0^o에서 90^o로 변하는 경우 가우시안 필터의 적용방향이 0^o에서 90^o로 변하는 것을 알 수 있다. 그리고 <그림 9>의 (a)와 (c)를 보면, 융선의 주파수가 0.14에서 0.28로 두 배 증가하면 가우시안 필터의 간격 또한 두배로 변함을 확인 할 수 있다.

$$g_1(x,y) = \exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{x^2}{\delta_x^2}+\frac{y^2}{\delta_y^2}\right)\right)$$

$$g_2(f,\theta) = \cos(2\pi fx\cdot\cos\theta)$$

$$g(x,y,\theta,f) = g_1(x,y)g_2(f,\theta)$$

$$g(x,y,\theta,f) = \exp\left(\frac{-1}{2}\left(\frac{x^2}{\delta_x^2}+\frac{y^2}{\delta_y^2}\right)\right)\cos(2\pi fx\cdot\cos\theta) \quad (4)$$

Ⅴ. 변형된 게이버 필터

3장에서 지문영상에 대해 HGF와 LF를 적용한 결과와 GF만을 적용한 결과가 같다고 주장하였다. 본 절에서는 위 사실에 대해 설명하겠다. 앞에서 HGF(식 (3))을 두 GF(식 (4))의 조합으로 표현하였다. 일반 GF(식 (4))의 퓨리에 변환된 신호가 $G(u,v,f,\theta)$(식 (5))와 같다면, 식 (3)에 대해 퓨리에 변환을 통해 주파수 특성을 보면 식 (6)과 같이 표현된다.

$$G(u,v,f,\theta) = FFT[g(x,y,f,\theta)] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} H(u,v,f,\theta) &= FFT[h(x,y,f,\theta)] \\ &= \frac{1}{2}FFT[g(x,y,\theta,f)+(-1)^{x+y}g(x,y,\theta,f)] \\ &= \frac{1}{2}FFT[g(x,y,\theta,f)+\exp^{j\pi(x+y)}g(x,y,\theta,f)] \\ &= \frac{1}{2}[G(u,v,f,\theta)+G(u-\pi,v-\pi,f,\theta)] \end{aligned} \quad (6)$$

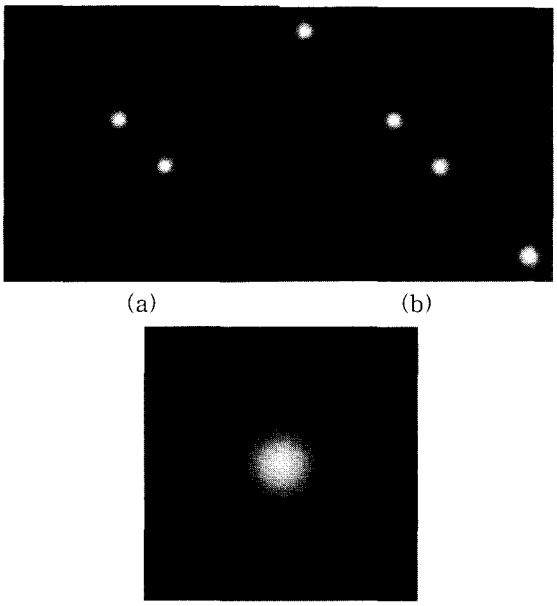
식 (6)의 HGF를 지문영상에 적용한 결과에 대해 LF를 사용하여 $G(u-\pi,v-\pi,f,\theta)$ 성분의 필터를 통과한 고주파 신호를 제거하면 $G(u,v,f,\theta)$ 성분의 필터를 통과한 신호만 남게 된다. 다시 말해, 식 (7)의 조건을 만족하는 LF를 사용하면, HGF를 적용하여 GF를 적용한 경우와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$f_0+\delta_f < f_{lp} < \sqrt{2}\pi+\delta_f-f_0 \quad (7)$$

f_0 : GF의 중심 주파수, $\delta_f = \frac{1}{2\pi\delta}$, δ : 융선의 두께

f_{lp} : LF의 통과 대역의 최대 주파수(그림 10.(c))

대부분의 지문영상의 융선 특성은 f_0, δ_f 의 값이 매우 작다($f_0 + \delta_f << 1.0$). 따라서, 일반적으로 사용되는 3×3또는 5×5 크기의 가우시안 필터($\delta = 1$)는 식 (7)의 조건을 만족한다.



(a) (b)

(c)

그림 10. GF, HGF, Gaussian Filter의 주파수 특성 : (a) $f = 0.14, \theta = 45^o$ 일 때 GF의 주파수 특성, (b) $f = 0.14, \theta = 45^o$ 일 때 HGF의 주파수 특성, (c) $\delta = 1$인 경우 Gaussian Filter의 주파수 특성

Fig. 10. The frequency features of the GF, HGF, Gaussian Filter : (a) Gabor Filter ($f = 0.14, \theta = 45^o$), (b) Half Gabor Filter ($f = 0.14, \theta = 45^o$), (c) Gaussian Filter ($\delta = 1$).

또한 지문영상의 향상을 위해 보다 제한된 대역폭을 갖는 LF를 적용하면, 앞에서 제안한 HGF대신 아래에 식 8과 같이 HGF를 변형시킨 DHGF(Double Half Gabor Filter)도 사용이 가능하다.

$$h_d(x, y, \theta, f) = \frac{1}{2}[h(x, y, \theta, f) + (-1)^y h(x, y, \theta, f)] \quad (8)$$

HGF대신 DHGF를 사용할 수 있는 이유는, 주파수 특성을 보면 알 수 있다. 식 (8)로 정의되는 DHGF를 퓨리에 변환하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} H_d(u, v, f, \theta) &= FFT[h_d(x, y, \theta, f)] \\ &= \frac{1}{2}[H(u, v, f, \theta) + H(u, v-\pi, f, \theta)] \\ &= \frac{1}{4}[G(u, v, f, \theta) + G(u-\pi, v-\pi, f, \theta) \\ &+ G(u, v-\pi, f, \theta) + G(u-\pi, v-2\pi, f, \theta)] \end{aligned} \quad (9)$$

DHGF의 주파수 특성은 식 (9)와 같다. 식 (9)의 결과에 대해 LF를 적용하여 $G(u, v, f, \theta)$ 성분만 남게 된다면, DHGF를 적용한 결과와 일반적인 GF를 적용한 결과가 같음을 알 수 있다. 즉, LF의 통과 대역의 주파수 특성이 식 (10)의 조건을 만족하면, DHGF를 적용하여 지문영상을 향상한 결과와 GF를 적용하여 향상한 결과가 같게 된다.

$$f_0 + \delta_f < f_{lp} < \pi + \delta_f - f_0 \quad (10)$$

f_0 : GF의 중심 주파수(그림 10-(c)), $\delta_f = \frac{1}{2\pi\delta}$,
δ : 융선의 두께
f_{lp} : LF의 통과 대역의 최대 주파수

VI. 실험 결과

HGF와 GF의 성능을 비교하는 실험에 사용한 시스템은 Pentium-III(500MHz) PC와 지문을 256그레이레벨을 갖는 248×292 화소 크기의 영상으로 획득하는 광학 센서(니트젠사)를 사용하였다. 그리고 실험을 위해 광학 센서로부터 68명에 대해 10번씩 입력하여 총 680장의 영상을 획득하였다. 획득된 680장의 지문영상은 <그림 11>과 같은 품질 분포를 갖는다. 지문영상의 품질 검사는 Directional Difference[9]를 이용하여 평가하였다.

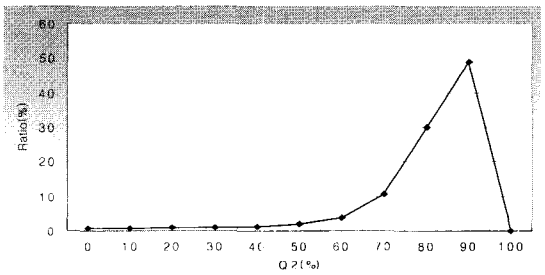


그림 11. 실험에 사용한 680개 지문 영상에 대한 Quality Index(Q_2)의 분포

Fig. 11. The distribution of the Quality Index.

<그림 12>는 여러 지문영상에 대해 GF 및 HGF를 적용했을 때 지문의 융선 추출 결과를 보여준다. <그림 12>는 GF를 적용한 결과와 HGF를 적용한 결과가 같은 효과를 나타냄을 보여준다. 그러나, GF와 HGF의 성능 차이를 보다 자세히 알기 위해 정량적인 평가가 필요하다. 그래서, HGF와 GF에 의해 지문영상을 향상시킬 때 성능을 정량적으로 비교하기 위해 세 가지 평가를 한다. 첫 번째, 680장의 지문영상에 대해 특징점 추출 성능을 평가한다. 두 번째, 지문 인식 성능에 미치는 영향(FAR 및 GAR)을 평가한다. 마지막으로, 지문영상을 향상하는데 소요되는 처리 연산량을 평가한다.

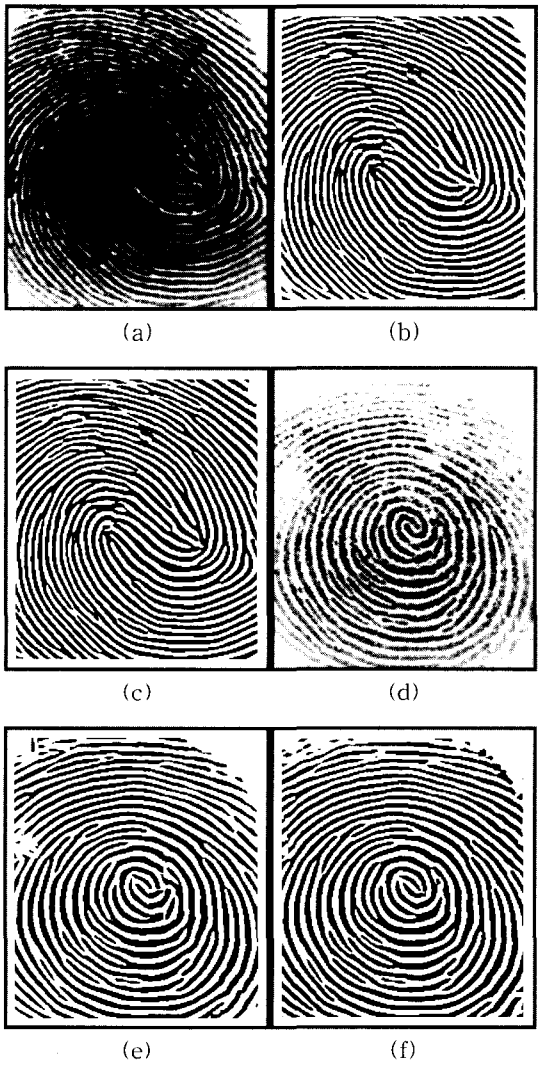


그림 12. HGF 및 GF에 의한 융선 추출 결과 : (a),(d),(g),(j)는 입력 지문영상, (b),(e),(h),(k)는 입력 지문영상으로부터 GF를 사용하여 융선 추출 결과, (c),(f),(i),(l)은 입력 지문영상으로부터 HGF를 사용하여 융선 추출 결과

Fig 12. The results of ridge extraction by the HGF and GF : Input fingerprint image ((a),(d),(g),(j)), the ridge extracted image by the GF ((b),(e),(h),(k)), and the ridge extracted image by the HGF ((c),(f),(i),(l)).

1. 특징점 추출 성능 비교

HGF와 GF의 성능 차이를 조사하기 위해 특징점 추출 성능을 평가하였다. 또한 필터 마스크를 생성할 때, 마스크 값의 정규화가 필터링 결과에 미치는 영향을

조사하기 위해 특징점 추출 성능을 평가하였다. 특징점을 추출하는 알고리즘으로는 S. Kim[11]이 제안한 방법을 사용하였습니다. 또한, 특징점 추출 성능을 평가를 위해 680장의 지문영상에 대해 세 명의 지문 전문가가 참인 특징점을 정의하였다. 전문가에 의해 정의된 680장의 참인 특징점과 HGF와 GF를 적용하여 추출한 특징점을 비교하였다. 그리고 시스템이 검출한 특징점의 정확성의 평가를 위해 네 가지(DMR, EMR, TMR, FMR) 평가 항목을 정의하였다[11]. DMR(Dropped Minutiae Ratio)은 시스템이 검출하지 못한 참인 특징점의 비율이다. EMR(Exchanged Minutiae Ratio)은 시스템이 검출한 특징점 중 형태(Ridge End, Bifurcation)를 잘못 정의한 특징점의 비율을 말한다. TMR(True Minutiae Extraction Ratio)은 시스템이 정확하게 검출한 특징점의 비율을 의미한다. 마지막으로 FMR(False Minutiae Extraction Ratio)은 시스템이 잘못된 특징점들을 검출한 비율을 말한다.

<그림 13>은 앞에서 제안한 HGF(Method B)와 기존의 GF(Method A)의 특징점 추출 성능을 보여준다. <그림 13>의 결과는 680장의 지문 영상들에 대해 세명의 전문가가 추출한 특징점을 참 특징점(True minutiae)이라 정의하여 시스템이 검출한 특징점들과 비교한 결과이다. 추출 결과를 보면 DMR, EMR의 성능은 9%, 2%로 같았다. 그리고 TMR의 성능은 GF를 적용할 때는 89%이고, HGF를 적용할 때는 88%로 1% 감소하였다. 또한 FMR의 성능은 GF를 적용할 때는 7%이고, HGF를 적용할 때는 9%로 2% 증가하였다. 다시말해, 특징점 추출성능은 HGF를 적용할 때와 GF를 적용할 때가 거의 같았다.

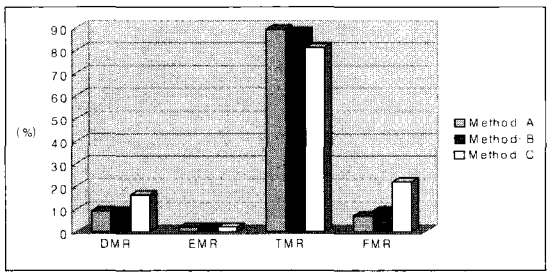


그림 13. 특징점(Minutiae) 추출 성능 비교 : Method A(GF를 적용한 경우), Method B(HGF를 적용한 경우), Method C(HG의 마스크 값을 정규화 하지 않은 경우)

Fig. 13. The feature extraction performance.

앞에서 언급했듯이, 필터 마스크의 정규화가 필터링 결과에 미치는 영향을 조사하기 위해 특징점 추출 성능을 평가하였다. <그림 13>의 Method C는 HGF의 마스크를 생성할 때 정규화를 하지 않은 경우이다. 실험결과를 보면, Method C의 방법으로 지문영상을 향상시키는 경우 HGF의 마스크를 정규화하여 생성(Method B)했을 때에 비해 DMR, TMR은 각각 7% 나빠졌고 FMR은 13% 나빠졌다. 즉 정규화가 이루어지지 않은 경우 융선을 잘못되게 생성하는 비율이 커지고 그 결과 잘못된 특징점들을 다수 발생함을 확인 할 수 있었다. 다시 말해, 지문영상에 대해 GF 및 HGF를 통해 주파수 와 방향에 대해 능동 필터의 기능을 수행하기 위해서는 정규화는 필수적이다.

2. 지문 인식 성능 비교

앞 절에서 HGF와 GF의 특징점 추출 성능을 비교하여 지문영상을 향상시키는 성능이 같음을 확인하였다. 이번에는 지문 인식 성능을 조사하여 HGF와 GF의 지문영상 향상 성능을 비교하였다. 지문 인식 성능을 평가하기 위해, 이동재[10]가 제안한 특징점 정합 방법을 사용하였다. 그리고 지문의 인식 성능은 GAR(Genuine Acceptance Ratio)와 FAR(False Acceptance Ratio)를 사용하여 평가하였다. GAR은 지문이 올바르게 인식되는 비율을 말하며, FAR은 잘못된 지문에 대해서 시스템이 통과시키는 비율을 말한다.

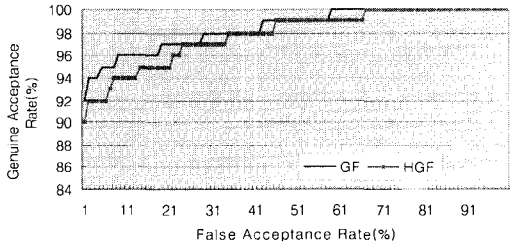


그림 14. 지문의 인식 성능 : GAR(Genuine Acceptance Ratio: $GAR = 100 - FAR(\%)$), FAR(False Acceptance Ratio), FRR(False Rejection Ratio)

Fig. 14. Reciever Operating Characteristic Curves: GAR(Genuine Acceptance Ratio: $GAR = 100 - FAR(\%)$), FAR(False Acceptance Ratio), FRR(False Rejection Ratio).

GAR과 FAR을 이용하여 HGF로 지문영상을 향상시킬 때 인식 성능과 GF로 지문영상을 향상시킬 때 인식

성능을 비교한 결과는 <그림 14>와 같다. <그림 14>의 결과를 보면, 전체적으로 GF와 HGF가 비슷한 인식 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 다시 말해 HGF를 사용하여도 GF를 사용하는 경우와 같은 인식 성능을 기대할 수 있었다.

3. 처리 속도 비교

앞의 두 절의 성능 비교를 통해 HGF와 GF가 지문영상을 향상시키는 능력이 거의 같음을 확인할 수 있었다. 본 절에서는 지문영상을 향상시키는데 있어 HGF와 GF 효율성을 평가하기 위해 처리 속도를 비교한다. 정확한 처리 속도 평가를 위해 HGF 및 GF를 각각 1000번 수행하여 평균 시간을 측정하였다.

<표 1>은 HGF 및 GF를 사용하여 지문영상을 향상시키는데 소요되는 처리 시간을 보여준다. <표 1>의 처리 시간은 입력된 지문영상으로부터 융선을 추출하는데 까지의 시간이다<그림 5>. <표 1>의 결과에 따르면, HGF를 사용하여 지문영상을 향상시킨 경우 GF를 사용한 경우보다 41%의 속도 향상이 생겼음을 확인할 수 있다.

표 1. 지문 영상 향상에 소요되는 처리 시간 비교

Table 1. The processing times of enhancement methods.

Enhancements	GF	HGF
Processing times	0.286 sec	0.170 sec

Ⅶ. 결 론

대부분의 지문 인식 시스템이 융선의 특징들을 이용한다. 그렇기 때문에 안정적으로 융선을 추출하도록 지문영상을 향상시켜야 한다. 또한 온라인 환경에서 사용하기 위해서는 빠르고 정확하게 융선들을 추출하여야 한다. 이런 이유로, 본 논문에서는 효율적으로 지문영상을 향상시키기 위해 HGF를 제안하였다. HGF는 기존의 GF를 변형시킨 필터이다. 그러나 지문영상이 지역적으로 선형성을 갖는 특성 때문에 HGF와 LF를 함께 사용하여 GF와 같은 효과를 낼 수 있음을 5장에서 증명하였다. 그리고 HGF가 지문인식 시스템에 미치는 영향을 정량적으로 조사하기 위해 지문의 특징점 추출 성능과 지문 인식 성능을 평가를 하였다. 지문의 특징점 추출 성능을 평가한 결과, HGF를 사용한 경우 지문 특징 추출 성능이 GF에 비해 DMR, EMR의 성능 차이는 없었고, TMR은 1%, FMR은 2%의 성능 차이만 있었다.

두 번째 실험으로 지문의 인식 성능을 평가하였는데, HGF 사용한 경우와 GF를 사용한 경우 지문 인식 성능의 차이는 1%밖에 없었다. 두 실험을 통해, 지문영상이 지역적으로 선형성을 갖으며, 융선의 주파수와 융선의 두께가 매우 작은($f_0 + \delta_f << 1.0$) 특징을 갖기 때문에, HGF를 사용해 지문영상을 향상하여도 GF와 유사한 효과를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 반면에 HGF의 처리 속도를 1000번의 반복 처리를 통해 평가한 결과 GF를 사용해 지문영상을 향상시켰을 때에 비해 41%의 속도 향상이 있음을 확인하였다. 위 세 가지 실험결과를 통해 볼 때, HGF를 사용하므로 빠르고 안정적이게 지문영상을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] I. Emiroglu, and M. B. Akhan, "Pre-processing of fingerprint images", *Security and Detection, ECOS 97.*, pp. 147~151, 1997.

[2] C. L. Wilson, G. T. Candela, P. J. Grother, C. I. Watson, and R. A. Wilkinson, "Massively Parallel Neural Network Fingerprint Classification System", *NIST*, Technical Report NISTIR 4880, Jul. 1992.

[3] L. O'Gorman, and J. V. Nickerson, "Matched filter design for fingerprint image enhancement", *Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-88.*, Vol. 2, pp. 916~919, 1988.

[4] B. G. Sherlock, D. M. Monro, and K. Millard, "Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering", *Vision, Image and Signal Processing, IEEE Proceedings*, Vol. 141, pp. 87~94, Apr. 1994.

[5] C. I. Watson, G. T. Candela, and P. J. Grother, "Comparison of FFT Fingerprint Filtering Methods for Neural Network Classification", *NIST*, Technical Report NISTIR 5493, Sept.

1994.

[6] X. Jiang, W. Y. Yau, and W. Ser, "Detecting the fingerprint minutiae by adaptive tracing the gray-level ridge", *Pattern Recognition*, Vol. 34, pp. 999~1013, 2001.

[7] A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, and R. Bolle, "An Identity Authentication System Using Fingerprints", *IEEE Proceedings*, Vol. 85, pp. 1365~1388, Sept. 1997.

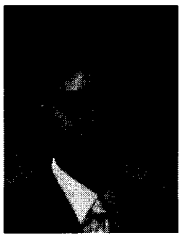
[8] L. Hong, Y. Wan, and A. K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement : Algorithm and Performance Evaluation", *IEEE Trans. Pattern and Machine Intelligence*, Vol. 20, No. 8, Aug. 1998.

[9] 장원철, 이상훈, 김재희, "지문 인식을 위한 지문 영상의 품질 검사", *한국정보과학회, 컴퓨터비전 및 패턴인식 연구회 추계 워크샵*, pp. 69, 2001.

[10] 이동재, 이상준, 김재희 ," 지역 일치를 이용한 지문 정합 방법", *대한전자공학회 하계 종합학술대회*, Proc. IV, pp. 195~198, 2001.

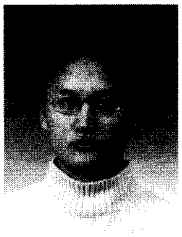
[11] S. Kim, D. Lee, and J. Kim, "Algorithm for detection and Elimination of False Minutiae in Fingerprint Images", *Third International Conference, AVBPA 2001*, Halmstad, Sweden, Proceedings, pp. 235~240, June 2001.

저 자 소 개



張 元 喆(正會員)

1999년 2월 광운대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 2002년 2월 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 3월~현재 : 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 생체인식, 패턴인식, 컴퓨터비전 >



李 東 宰(正會員)

1997년 2월 연세대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 2월 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 3월~현재 : 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 생체인식, 패턴인식, 컴퓨터비전>

金 在 熹(正會員)

1979년 2월 연세대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 8월 Case Western Reserve University Electrical Eng. 대학원 졸업(공학석사). 1984년 5월 Case Western Reserve University Electrical Eng. 대학원 졸업(공학박사). 2002년 8월~현재 : 연세대학교 전기전자공학부 교수, 생체인식연구센터 소장. <주관심분야 : 생체인식, 컴퓨터비전, 인공지능, 패턴인식>