

## 광학적 상관관계를 기반으로 하는 지문인식 방법에 관한 연구

김상백<sup>†</sup> · 주성현 · 정만호

청주대학교 레이저 광정보공학과

Ⓣ 360-764 충북 청주시 상당구 내덕동 36번지

(2002년 7월 10일 받음, 2002년 11월 8일 수정본 받음)

지문 인식은 보통 지문 영상의 획득과 획득된 지문 영상을 비교하는 단계로 구분해서 생각할 수 있다. 본 논문에서는 지문 영상을 획득하는 단계에서 지문 입력 센서를 사용하여 연구의 초점을 지문의 비교 방법에 맞추었다. 지문 입력 센서에서는 지문 영상이 영상처리되어 출력되기 때문에 지문을 획득할 때 발생할 수 있는 잡음들에 대해서는 고려하지 않았고, 사용자가 임의적으로 여러 번 지문을 입력하게 하여 회전과 이동이 복합적으로 존재하는 영상 왜곡을 고려하였다. 사용자의 지문 인식을 위한 방법으로 광학적 상관관계(Optical Correlation)를 출력하는 Non-linear Joint Transform Correlator(NJTC)를 컴퓨터 상에서 구현하였고, 지문 입력 시에 발생할 수 있는 왜곡에 불변적인 특징을 갖도록 지문의 중심점을 찾는 알고리즘을 추가하여 지문 인식의 정확도를 보완하였다. 또한, 찾아진 지문 영상의 중심점을 가지고 100×100 픽셀 크기의 중심 영역만을 추출하여 지문 인식에 필요한 시간과 입력 영상의 정보를 줄이면서 높은 정확도를 갖는 매칭 기법을 제시하였다.

주제어 : fingerprint, matching, joint transform correlator, center point determination.

### I. 서 론

지문은 인간의 손가락에 나타나는 융선을 영상이나 그림 등으로 표현한 것이다. 지난 수 세기동안 이러한 지문들은 개인을 식별하는데 넓게 사용되어 왔다.<sup>[1]</sup> 홍채 인식, 음성 인식 등과 같은 생체 인식 분야 중에서 특히 지문 인식이 발전할 수 있었던 이유는 그 유용성과 편의성에 있다. 지문은 다른 생체 인식에 이용되는 것들 보다 비교적 패턴을 추출하기 용이하고 시스템을 구성하는데 있어서 저렴하고 안전하다는 장점을 가지고 있다. 이런 이유로 지문인식은 출입통제, 개인의 금융 서비스 등과 같은 분야에 활발하게 응용되고 있다.<sup>[1]</sup>

오늘날 과학기술의 발달로 인한 인터넷의 보급과 인구 증가에 따른 정보 공유량의 급증에 따라 보안의 중요성이 날로 커지게 되면서 생체인증(Biometrics Authentication)에 대한 관심이 커지게 되었다. 이에 따라서 더 빠르고 정확한 인식 및 인증을 위한 지문 인식 시스템이 요구되고 있다.<sup>[1,2]</sup>

대부분의 지문인식 시스템에서 고려해야할 문제들은 보통 지문 영상 획득(acquisition), 지문 인증(verification), 지문 인식(identification), 지문 분류(classification)와 같은 문제들 중 몇 개 또는 전부에 관계된다.<sup>[3]</sup> 지문 영상 획득은 양질의 지문 영상을 획득하고 적절한 형태로 표현하는 과정을 말하고, 지문 인증은 1:1의 개념으로 두 지문이 일치하는지 아닌지를 판단하는 절차이다. 지문 인식은 1:N의 개념으로 조회하고자 하는 지문을 데이터 베이스에서 찾아내는 것이고, 지문 분류라는 것은 지문의 기하학적인 모양에 따라서 미리 설정된 종류들로 구분하는 것을 말한다.<sup>[3,4]</sup>

지문 인증 및 인식에서 가장 중요한 과제는 지문을 비교하

는 방법이다. 입력된 지문을 비교하는 방법은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데, 그 중 하나가 지문의 특징점에 의한 비교이고 다른 하나가 광패턴 인식에서의 광학적 상관관계에 의한 비교이다. 전자의 비교 방법은 지문의 특징점을 추출하여 특징점의 위치나 개수 등을 가지고 비교하는 것이고, 후자의 경우는 상관 첨두치(correlation peak value)의 크기와 신호대 잡음비(SNR) 등을 가지고 비교하는 방법이다. 이러한 광학적 상관관계에 기반을 두는 지문 인식 방법은 실시간으로 구현이 가능하고 비교 시간이 빠르며, 임의의 두 입력 영상을 비교할 수 있다는 장점을 가지는 반면에 입력 영상의 왜곡, 즉 이동이나 회전에 대하여 출력 특성이 민감하다는 단점을 가지고 있다.<sup>[5]</sup>

본 논문에서는 광학적 상관관계를 기반으로 하는 지문 인식 시스템의 성능을 보완하기 위한 방법으로 중심점 찾기 알고리즘을 추가하여 입력 영상의 데이터 양을 축소시키면서 양질의 상관관계를 얻을 수 있는 방법을 제안한다.

### II. 지문 인식을 위한 알고리즘

#### 2.1. Center Point Determination

지문의 융선과 골(ridge-valley)의 구조는 지문으로부터 얻을 수 있는 정보의 주요한 출처로 지문 인식에 있어서 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 지문의 융선과 골 구조로부터 얻을 수 있는 정보는 지문의 기본적인 모양을 나타내는 방향성 필드(Directional Field, DF)와 지문의 더 자세한 정보를 제공하는 특징점이 있다. 방향성 필드는 융선-골 구조의 지역 방향성(local orientation)으로 정의되며 보통 지문의 분류에 사용된다. 그리고 특징점은 융선-골 구조의 자세한 정보를 제공하는 것으로 분기점, 단점, 중심점 등이 있으며, 주로 지문을 비교하

<sup>†</sup>E-mail: smtm12@lycos.co.kr

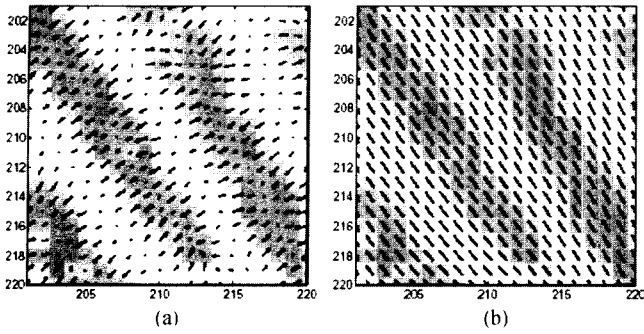


그림 1. 세분화된 지문 영상에서 (a) 경사도 벡터와 (b) 방향성 필드.

는 과정에서 이용된다.<sup>13,6)</sup>

지문의 중심점을 결정하기 위한 기본적인 개념은 용선-골 구조의 방향성 필드를 계산하여 곡률이 가장 심한 점을 찾아 나가는 것이다. 지문에서 방향성 필드를 계산하는 방법은 많이 알려져 있다. 그 중에 지문 영상에서 특정한 수의 방향성(orientation)을 구하는 match-filter 방법, 2차원 스펙트럼 산출 방법과 경사도(gradient)를 이용하는 방법이 있다.<sup>6)</sup> 경사도를 이용하는 방법은 다른 방법들에 비해서 정확도가 좋다는 장점이 있다. 따라서, 본 논문에서도 경사도를 이용하는 방법을 사용하여 지문의 방향성 필드를 산출하여 지문의 중심점을 찾아가도록 하였다. 경사도는 지문 영상의 각 픽셀에서 원소 방향성(elementary orientation)으로 간주될 수 있다.

그림 1은 경사도와 방향성 필드와의 관계를 나타낸다. 원리적으로 방향성 필드는 경사도에 수직하지만, 경사도는 픽셀 스케일에서의 방향성인 반면에 방향성 필드는 훨씬 더 큰 스케일인 용선-골 구조의 방향성을 나타내므로 방향성 필드는 주변의 인접한 픽셀들을 포함하는 경사도에 평균을 취해서 구해야 한다. 본 논문에서는 경사도 벡터의 평균을 구할 때 서로 반대 방향의 벡터들이 상쇄되는 효과가 발생하지 않도록 경사도 벡터의 각도를 두 배로 하고 크기를 제공한 후 평균을 취하는 방법으로 하였고, 다음과 같은 과정을 통해서 지문의 중심점을 결정하였다.<sup>6)</sup>

먼저, 경사도를 구하는 과정에서 지문에 포함된 잡음으로 인해 잘못된 연산결과를 얻을 수 있으므로 획득된 지문 영상에서 잡음을 제거해 주어야 할 필요가 있다. 지문 영상에서 잡음을 제거하기 위해 pixel-wise adaptive 2D Gaussian low pass filtering 기법을 사용하였고 필터링 윈도우의 크기는 5×5픽셀로 하였다. 잡음을 제거한 후 지문의 x방향의 지역 경사도  $G_x$ 와 y방향의 지역 경사도  $G_y$ 를 계산한 후, 지문 영상을 10×10 픽셀 크기의 블록으로 겹치지 않게 나누고 각 블록 내에서  $G_x$ 와  $G_y$ 의 제곱의 평균을 구한다.

$$\begin{bmatrix} \overline{G_{s,x}} \\ \overline{G_{s,y}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_w G_{s,x} \\ \sum_w G_{s,y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} G_x^2(i,j) - G_y^2(i,j) \\ \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} 2G_x(i,j) - G_y(i,j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{xx} - G_{yy} \\ 2G_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$\begin{aligned} G_{xx} &= \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} G_x^2(i,j) \\ G_{yy} &= \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} G_y^2(i,j) \\ G_{xy} &= \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} G_x(i,j)G_y(i,j) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)에서  $\overline{G_{s,x}}$ 와  $\overline{G_{s,y}}$ 는 각각 경사도 벡터  $G_x$ 와  $G_y$ 의 제곱의 평균을 나타낸다. 식 (2)에서  $G_{xx}$ 와  $G_{yy}$ 는 각각  $G_x$ 와  $G_y$ 의 분산을 나타내고  $G_{xy}$ 는  $G_x$ 와  $G_y$ 의 공분산을 의미한다. 그 다음, 위에서 사용한 2D Gaussian low pass filter를  $\overline{G_{s,x}}$ 와  $\overline{G_{s,y}}$ 에 적용하여 다시 한번 잡음을 제거하고, 직각 좌표계에서 극좌표계로의 좌표 변환을 통하여 평균을 취한 경사도의 방향(average gradient direction)을 구한다.

$$\phi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2 \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} G_x(i,j)G_y(i,j)}{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} G_x^2(i,j) - G_y^2(i,j)} \right] \quad (3)$$

마지막으로, 식 (3)에 수직인 성분을 계산하여 평균된 용선-골 구조의 방향(average ridge-valley direction)을 구한다.

$$\Theta = \begin{cases} \phi + \frac{\pi}{2} & \text{for } \phi \leq 0 \\ \phi - \frac{\pi}{2} & \text{for } \phi > 0 \end{cases} \quad (4)$$

지문의 중심점을 결정하기 위해서, 10×10픽셀로 나뉘어진 각각의 블록 내에서  $\phi$ 의 값이 0에서부터  $\pi/2$ 범위인 기울기만을 따라 -y방향으로 내려가다가  $\phi$ 의 값이 0에서  $\pi/2$  사이의 값이 아닌 블록을 만나게 되면 찾아가는 것을 정지하고 그 블록에 표시를 한다. 이런 방법으로 전체의 블록에 대하여 누적하여 가장 많은 표시가 된 블록이 지문의 중심에 해당하는 곳이 되고, 그 블록의 x 좌표와 y 좌표를 지문의 중심점으로 결정하였다. 위와 같은 방법으로 계산한 방향성 필드와 그것으로부터 얻어진 지문의 중심점을 그림 2에 나타내었다.

그림 2(a)는 경사도 벡터의 방향을 구하여 지문 영상 위에 나타낸 그림이고, 2(b)는 평균을 취하여 각도가 음이 되는 부분만을 실선으로 나타낸 것이다. 그림 2(c)는 2(b)의 각 블록에서 실선으로 표시된 부분을 따라 내려가는 방법, 즉 지문의 기울기가 0에서  $\pi/2$  사이의 값을 갖는 블록을 찾아가는 방법으로 찾아낸 지문의 중심 부분에 해당하는 블록이며 그림 2(d)는 실제 지문 영상에 지문의 중심을 표시한 것이다.

### 2.2 Nonlinear Joint Transform Correlator(NJTC)

일반적인 Joint Transform Correlator(JTC)의 구조는 홀로그래피 기술과 유사하게 기록 및 재생하는 2단계 광학시스템으로 구성되어 있다. 다시 말하면 동일 공간상에 다중화된 입력에

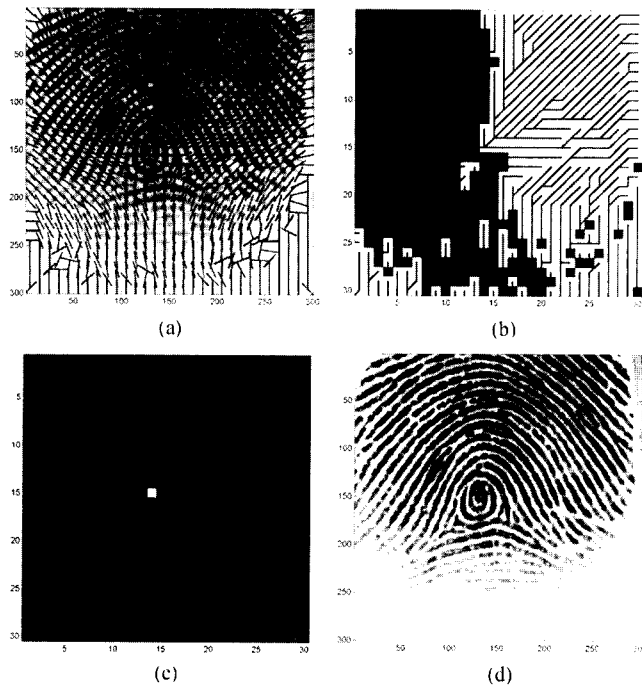


그림 2. (a) 경사도 벡터 (b) 평균된 경사도 벡터 (c) 지문의 중심에 해당하는 블록 (d) 실제 지문의 중심점.

대해서 on-axis 홀로그래피 기술과 같이 기록 및 재생하게 된다. 이러한 JTC는 필터의 정교한 정렬이 요구되는 VanderLugt 필터와 달리 필터의 정교한 정렬 없이도 상관 신호를 쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있다.<sup>17,81</sup> 최근에는 그림 3과 같이 JTC의 입출력 장치를 고해상도의 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator, SLM)와 CCD 카메라를 이용하여 비디오 프레임으로 상관 결과를 얻을 수 있게 되었다.<sup>18-101</sup> 그러나 기존의 JTC는 파워 스펙트럼을 이용하는 특성상 위상과 진폭 성분이 상관에 미치는 영향을 효과적으로 처리할 수 없었다. 즉 진폭 성분은 Peak-to-Sidelobe Ratio(PSR)을 낮추게 되므로 위상 성분을 강조할 필요가 있지만, 위상 성분을 지나치게 강조하게 되면 다중 표적 영상에 대해서 상관 오류 및 상관유실을 발생시키는 단점을 나타내게 된다.<sup>111</sup>

그림 3(a)는 광학적으로 어드레스되는 고대비 공간 광 변조기(high contrast optically addressed SLM)를 사용한 NJTC의 구조를 나타내고, 그림 3(b)는 전자적으로 어드레스되는 공간 광 변조기(electrically addressed SLM)를 사용한 NJTC의 구조를 나타낸다.

$P_1$ 면은 입력면으로 기준영상과 입력영상이  $SLM_1$ 에 동시에 입력되어 디스플레이 된다. 입력면으로 들어온 영상들은  $FTL_1$ 에 의하여 후리어 변환되고 각 영상의 후리어 변환들 사이의 간섭이  $P_2$ 면에 형성된다. 이 간섭 패턴, 즉 Joint Power Spectrum(JPS)은  $SLM_2$ 에 디스플레이 되는 과정에서 장치의 비선형성에 의하여 JPS에 문턱값을 주어 새롭게 표현될 수 있다. 또는 그림 3(b)에서처럼 JPS를 CCD 카메라로 캡처한 후 문턱 처리 네트워크와 같은 전자적인 방법을 사용하여 비선형 이진화할 수 있다. 이렇게 하여  $SLM_2$ 에 디스플레이 되는 문턱 처리

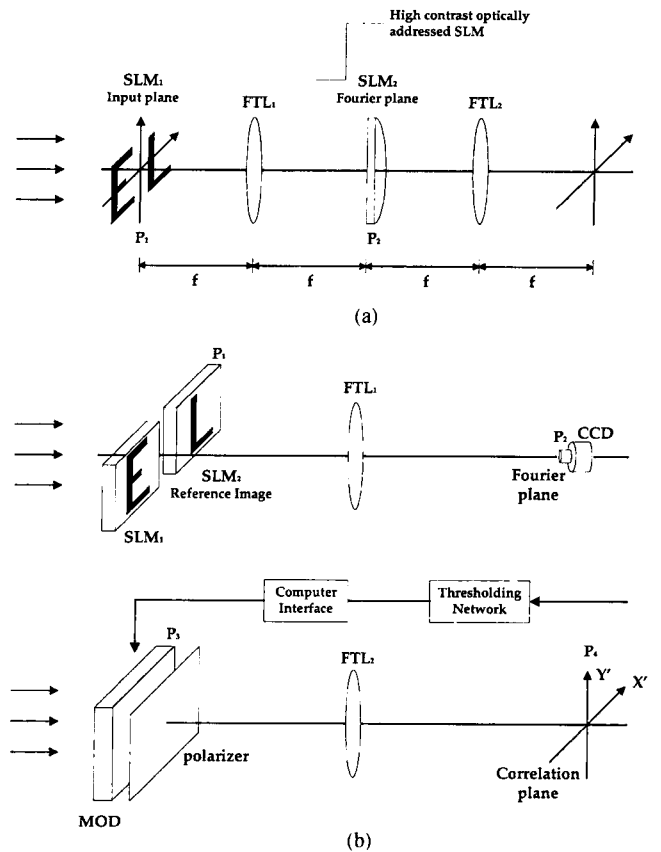


그림 3. Nonlinear Joint Transform Correlator (a) Optically addressed SLM을 이용한 경우. (b) Electrically addressed SLM과 Thresholding network를 이용한 경우.

된 간섭 세기 분포(thresholded interference intensity)는  $FTL_2$ 에 의하여 역 후리어 변환되어 상관신호(correlation signal)가 출력면에 나타나게 된다. 참고문헌 [9]에서 설명하는 NJTC의 방법에 따라 광 상관기를 컴퓨터 상에서 구현하였다. 기준영상을  $r(x+x_0, y)$ , 입력영상을  $s(x-x_0, y)$ 라고 하면, 두 입력함수 자체의 자기상관에 의한 DC항을 제거한 JPS는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$E_{new}(\alpha, \beta) = 2R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta) \cos[2x_0\alpha + \phi_R(\alpha, \beta) - \phi_S(\alpha, \beta)] \quad (5)$$

여기서,  $R(\alpha, \beta)$ 와  $S(\alpha, \beta)$ 는 각각  $r(x, y)$ 와  $s(x, y)$ 의 진폭 스펙트럼이고,  $\phi_R(\alpha, \beta)$ 와  $\phi_S(\alpha, \beta)$ 는 각각  $r(x, y)$ 와  $s(x, y)$ 의 후리어 변환의 위상이다. 식 (5)에서 진폭 성분은 각각 0보다 크거나 같은 값을 갖게 되고 부호는 코사인 값에 영향을 받는다. 이러한 분포를 갖는 함수를 일반적인 디지털 기기에 응용하기 위해 JPS를 이진화하여 재구성하게 된다. 그러나 선형 이진화 하였을 경우 실질적인 JPS가 가지는 미세한 변화량에 해당되는 영상을 구성하는 형상정보에 손실이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 최소화하기 위하여, 이진화 방법을 적용할 디지털 기기의 입출력 특성 전달함수와 유사한 함수로 모델링하여 이진화한다.<sup>19,101</sup> 따라서, 본 논문에서는 비선형 이진화 방법을 사용하여 JPS를 이진화하였고, 비선형성을 부여하기 위한 전

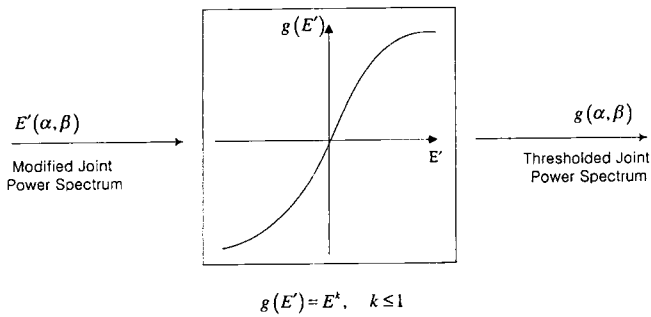


그림 4. 장치의 비선형 특성을 이용한 문턱 처리.

달 함수의 모델로는 SLM의 입출력 특성과 비슷한 시그모이드(Sigmoid)함수를 사용하였다. 문턱 처리된 JPS(thresholded JPS)는 그림 4와 같이 비선형 시스템의 출력으로 간주될 수 있다.

if  $E_{new} \geq 0$

$$g(\alpha, \beta) = 2[R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta)]^k \cos[2x_0\alpha + \phi_R(\alpha, \beta) - \phi_S(\alpha, \beta)] \quad (6a)$$

if  $E_{new} < 0$

$$g(\alpha, \beta) = -2[R(\alpha, \beta)S(\alpha, \beta)]^k \cos[2x_0\alpha + \phi_R(\alpha, \beta) - \phi_S(\alpha, \beta)] \quad (6b)$$

위 식에서  $k$ 는 0과 1사이의 값을 가지며, 비선형성의 정도를 나타낸다.  $k=1$ 이면 비선형성이 존재하지 않는 선형 장치에 대응되고,  $k=0$ 은 hard clipping 비선형성에 대응된다. 식 (6)에서  $k$ 의 값을 변화시킴으로써 진폭성분의 가중을 조절하여 상관신호의 특성을 향상시킬 수 있다. 또한 얻고자하는 상관신호나 구현하고자 하는 상관기의 특성에 대하여  $k$  값을 최적화하면 상관기의 성능을 최대 할 수 있다.<sup>12)</sup>

### III. 전산 모의 실험 및 결과

광학적 상관관계를 기반으로 하는 패턴 인식에서 가장 크게 대두되는 문제는 영상의 회전이나 이동, 크기 변화 등에 의한 영상 왜곡이다. 지문 인식에서 지문 영상의 크기 변화는 비교될 두 지문 영상을 동일한 방법으로 채취하게 되면 무시될 수 있는 영상 왜곡이다. 또한, 영상의 이동은 상관 출력 면에서 상관 신호가 나타나는 위치만 변하게 되므로 상관 결과에는 큰 변화를 주지 않는 왜곡이다. 따라서, 본 연구에서는 광학식 센서인 Bio Vision사의 BioEye/SDK™(표 1참고)라는 모델의 지문 입력 센서를 사용하여 비교되는 지문 영상이 항상 동일한 크기를 갖도록 하였고, 지문 입력 창이 있는 센서를 사용하여 영상의 회전 및 이동과 관련된 영상 왜곡을 최소한으로 줄인 후 제한된 방법에 의하여 회전에 무관한 성질을 갖는 지문 인식 알고리즘을 구현하였다. 실질적인 경우에 지문 입력 창의 존재로 인하여 영상의 회전 왜곡은 크게 감소된다. 지문 영상을 인위적으로 회전시켜 회전에 의한 영상 왜곡을 부여하는 대신에 지문 영상을 채취할 때 한 사람이 임의적으로 5회 정도 입력하여 실질적인 경우와 더욱 비슷하게 하였다. 그림 5는 본



그림 5. 획득된 지문의 예 (a) Arch형 (b) Tented Arch형 (c) Left Loop형 (d) Right Loop형 (e) Twin Loop형 (f) Whorl형.

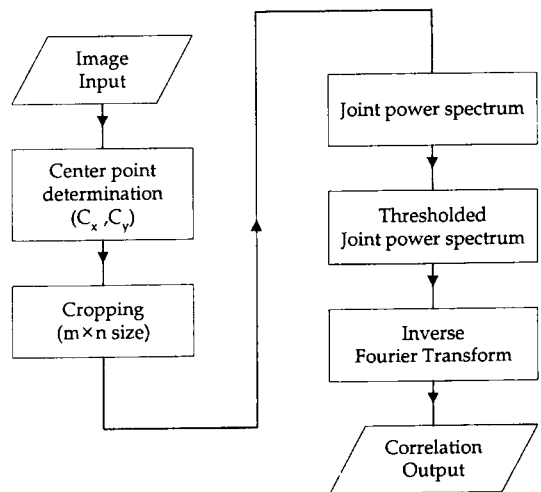


그림 6. 지문 비교 알고리즘의 순서도.

연구에서 사용된 지문 입력 센서로 획득된 지문 영상의 예이다. 센서로부터 획득된 지문 영상은 300×300픽셀의 크기를 가

지며 디지털 영상 처리되어 출력된다. 그림 5에 나타난 지문은 지문 분류에서 이용되고 있는 지문의 대표적인 형태로 (a)는 arch형, (b) tented arch형, (c) left loop형, (d) right loop형, (e) twin loop형, (f) whorl형이다. 지문 분류는 지문 인식 분야에서 큰 부분을 차지하며 더욱 빠르고 안전한 시스템을 위해서는 반드시 수행되어야 할 과정이고 최근에 여러 가지의

지문 분류 방법이 제안되고 있다.<sup>[13]</sup> 본 연구에서는 총 60명이 임의적으로 5회씩 지문을 입력하여 300개의 지문 영상을 얻어 실험에 사용하였다.

기존의 광학적 상관관계를 기반으로 하는 지문 인식에서는 획득되는 지문 영상 전체를 사용하여 처리하게 되므로 처리 용량이 너무 커서 비효율적인 연산을 수행할 수 밖에 없었다.

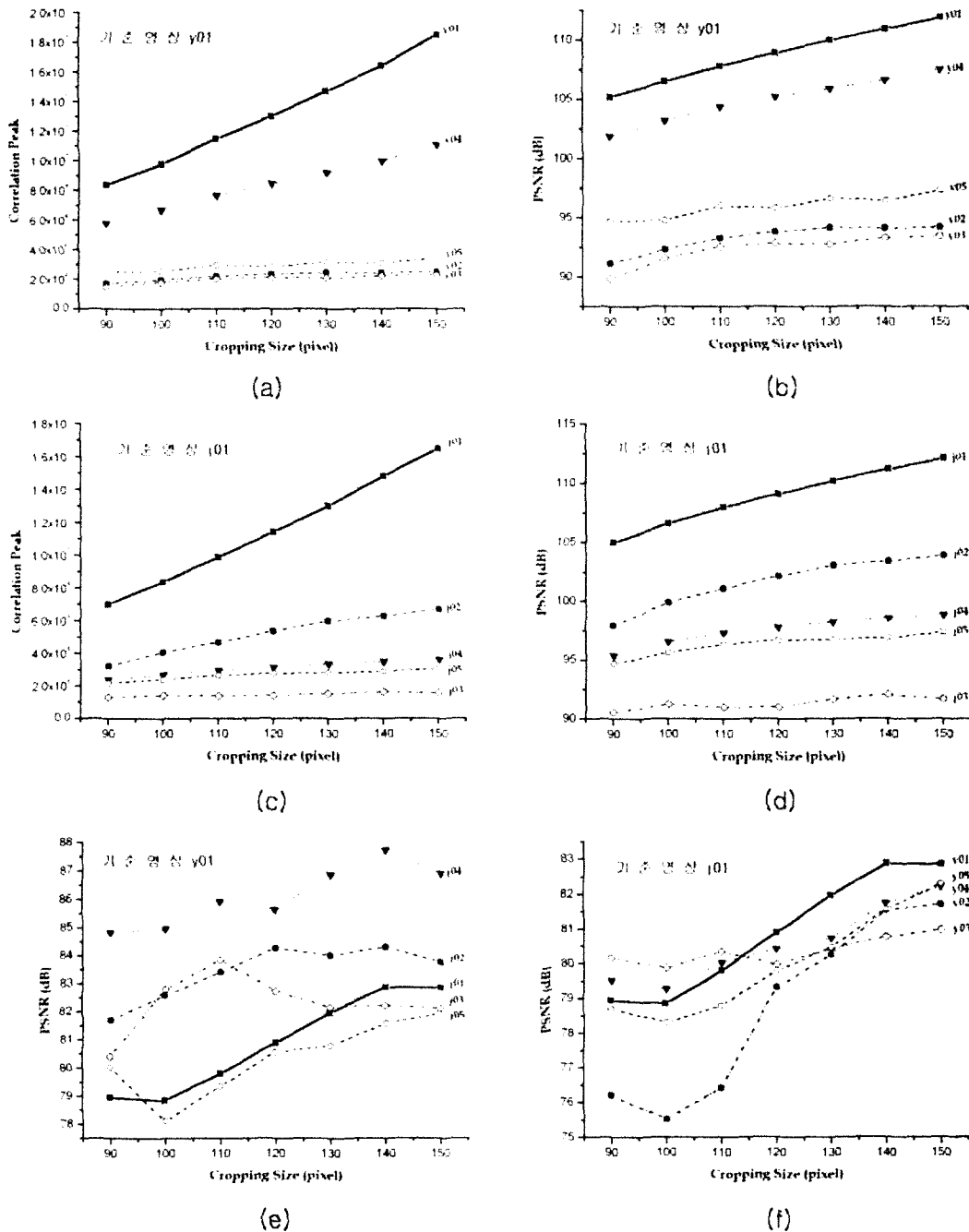


그림 7. 동일인으로부터 얻어진 지문 영상 사이의 비교에서 (a) 기준영상을 y01로 한 경우, cropping size에 따른 상관 척도치의 변화 (b) 기준영상을 y01로 한 경우, cropping size에 따른 PSNR의 변화 (c) 기준 영상을 j01로 한 경우, cropping size에 따른 상관 척도치의 변화 (d) 기준 영상을 j01로 한 경우, cropping size에 따른 PSNR의 변화. 서로 다른 사람으로부터 얻어진 지문 영상 사이의 비교에서 (e) 기준 영상이 y01일 때 cropping size에 따른 PSNR의 변화와 (f) 기준 영상이 j01일 때 cropping size에 따른 PSNR의 변화.

그 이유는 광학적 상관기 자체로는 지문 영상에서 처리에 기준이 될 수 있는 점을 찾기가 쉽지 않기 때문이다. 따라서, 지문 영상에서 기준으로 작용할 수 있는 점으로 지문의 중심점을 찾아 이용하였고, 두 영상을 비교하는 광상관기로는 NJTC를 컴퓨터 상으로 구현하였다. 그림 6은 지문을 입력하여 NJTC로부터 상관 신호를 얻어내는 과정을 나타내는 순서도이다.

그림 6에서와 같이 처리되는 영상 데이터를 줄여주기 위하여 앞 절에서 논의된 방법으로 지문의 중심점을 찾은 후, 지문 영상이 NJTC에 입력되기 전에 중심점 주위의 일정 영역만을 채취하였다. 지문 영상에서 잘라내어야 할 영역의 크기를 결정하기 위하여, 한 사람으로부터 임의적으로 5회씩 지문 영상을 채취하여 잘라내는 크기를 변화시키면서 상관 첨두값(Correlation peak)과 첨두 신호 대 잡음비(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)을 구하여 최적의 크기를 결정하여 보았다. 위 실험에 대한 대표적인 결과를 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서, (a)와 (b)는 한 사람으로부터 얻어진 5개의 지문 영상(y01-y05)을 사용하여 cropping size를 변화시키면서 상관 첨두치와 PSNR을 계산한 것이다. 그림 7(c)와 (d) 또한 다른 한 사람으로부터 얻어진 5개의 지문 영상(j01-j05)에 대한 실험 결과이며, 그림 7(a), (b)에서는 y01을 기준 영상으로 하였고, 그림 7(c), (d)에서는 j01을 기준으로 하여 비교하였다. 그림 7(e), (f)는 각각 기준 영상 y01에 대하여 j01-j05를 비교하

여 얻어진 PSNR과 j01에 대하여 y01-y05를 비교하여 얻어진 PSNR이다. cropping size가 커질수록 상관 첨두치와 PSNR은 증가하지만 연산시간이 길어지게 되며, 연산시간을 짧게 하기 위하여 cropping size를 작게 하면 광 상관기의 분별력이 떨어지게 된다. 동일인의 지문 영상 사이의 상관 결과가 서로 다른 지문 영상 사이의 상관 결과와 비교하여 그 차이가 클수록 상관기의 분별력이 높아진다고 할 수 있으므로 위의 두 가지 조건 모두를 적절하게 만족시켜 주어야 한다. 그림 8은 한 사람으로부터 얻어진 지문 영상들 사이의 비교에서 가장 낮은 PSNR을 보인 것과 서로 다른 사람으로부터의 지문들 사이에서 가장 높은 PSNR을 보인 경우를 비교하여 나타낸 것이다. 따라서 두 실험 결과 사이의 차이가 가장 컸을 때의 cropping size를 최적의 크기로 결정 할 수 있다.

그림 8의 (a)와 (b)로부터 cropping size가 100×100픽셀이었을 때 두 그래프 사이의 차가 가장 큰 것을 알 수 있다. (c)는 각각 기준 영상 y01에 대하여 그림 5에 나타낸 지문 영상 사이의 비교 결과를 나타내며, (d)는 기준 영상으로 j01을 사용한 경우이다. 그림 8(c), (d)에서는 cropping size를 110×110픽셀로 결정할 수 있다. 그림 8은 수행된 실험중에서 대표적인 것을 선택하여 나타낸 것이며, 대부분의 지문에서 cropping size는 90×90픽셀과 100×100픽셀로 나타났으며, 동일 영상과 다른 영상을 분별해 낼 수 있는 능력과 지문 인식

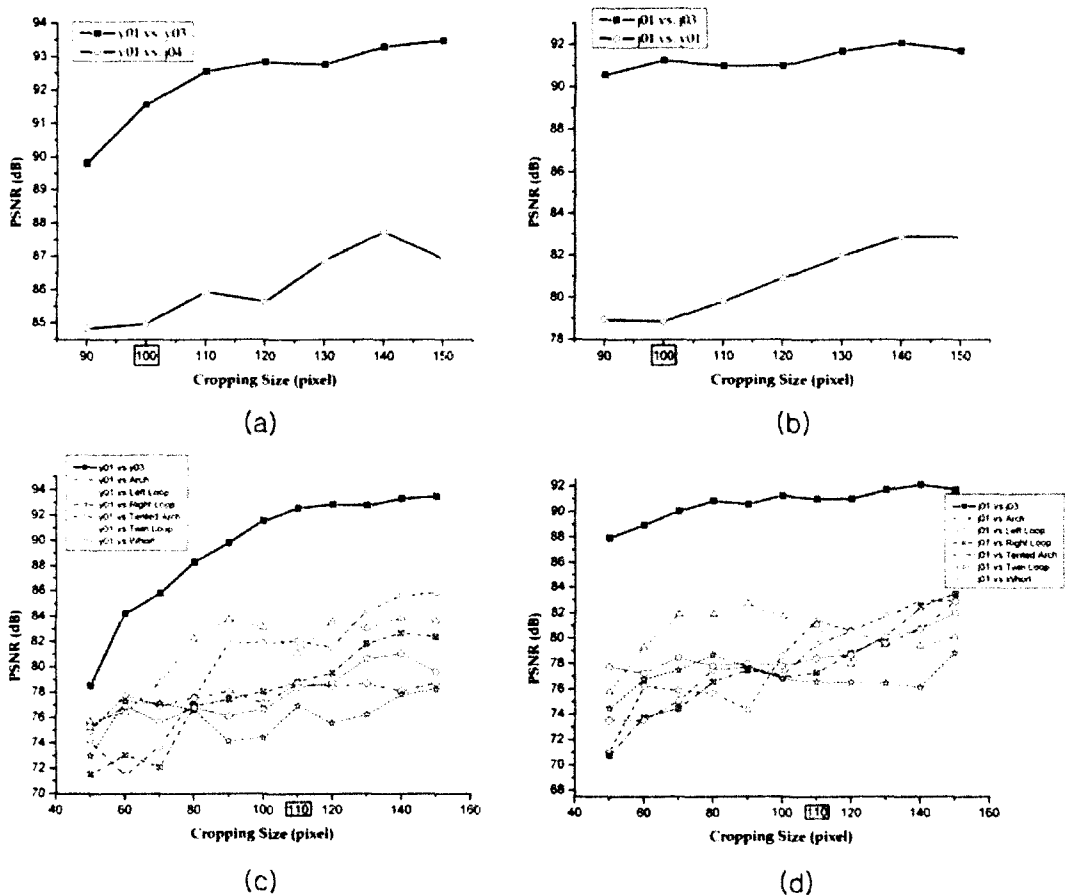


그림 8. cropping size에 따른 PSNR의 변화와 최적의 cropping size 결정.

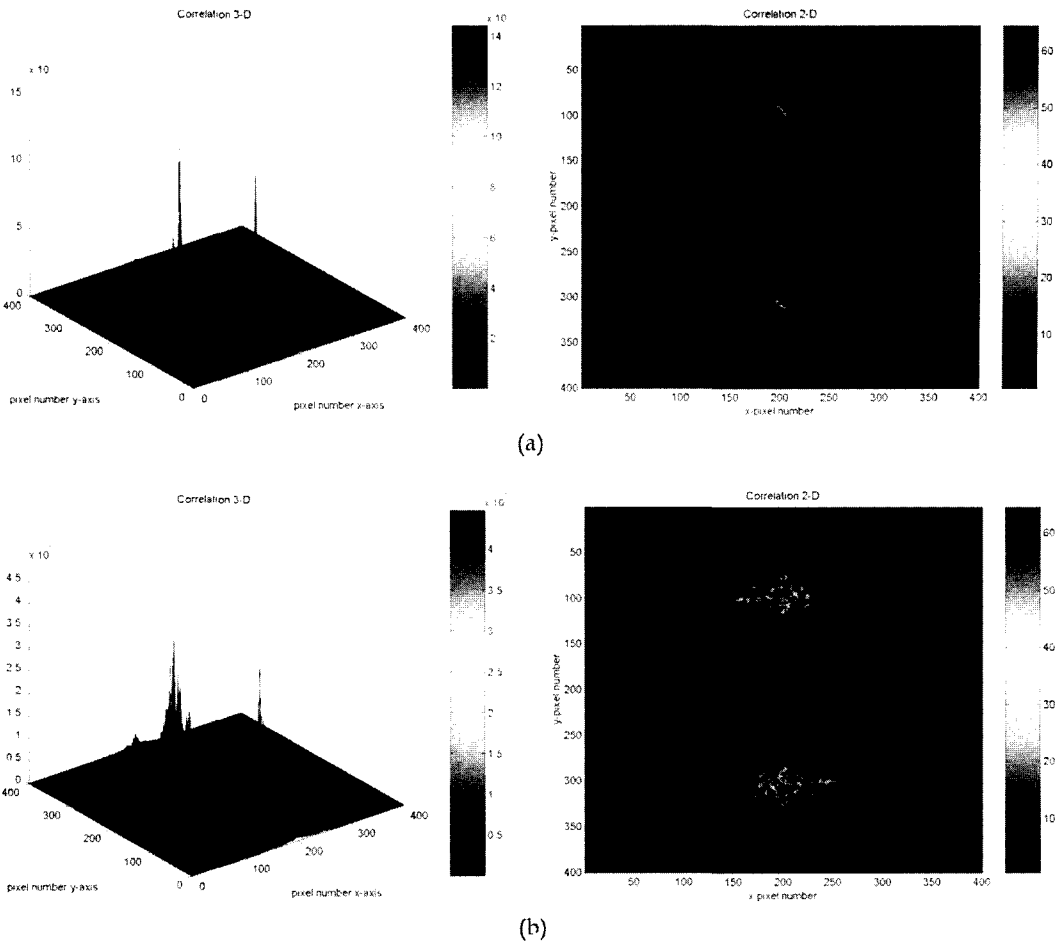


그림 9. 상관 신호 (a) 입력된 두 영상이 같은 지문으로 인식된 경우, (b) 입력된 두 영상이 서로 다른 지문으로 인식된 경우.

에서 소요되는 총 시간을 고려하여 100×100픽셀의 크기로 결정하였다.

그림 9는 앞에서 논의된 방법으로 구현한 지문 인식 알고리즘으로 임의의 두 입력 지문에 대하여 얻어진 상관 신호를 나타낸다. 그림 9(a)는 동일한 지문으로 인식되는 결과 중 가장 작은 상관 첨두치를 가지는 경우이며, 9(b)는 입력된 두 지문이 서로 다른 지문으로 인식되는 결과 중 가장 큰 값을 가지는 경우이다. 그림 9(a)의 경우, 상관 첨두치는 1.44e+006 이고 PSNR은 91.26dB였다. 그림 9(b)의 경우에 상관 첨두치는

4.464e+005이고 PSNR은 80.4dB였다.

실험에 사용된 지문의 형태에 따른 인식결과를 표 2에 나타내었다. 분별 능력은 지문의 형태에 따라서는 큰 변화를 보이지 않았다. 인식불능은 지문의 중심점을 찾지 못해 상관 결과를 출력하지 못한 경우에 해당되며, 대부분이 지문 입력 센서에 지문을 입력할 때 발생하는 영상 유실에 의해 나타나게 된다. 즉 지문 입력 창에 지문의 모든 정보가 들어오지 못하고 잘려나가는 경우에 해당된다. right loop형과 twin loop형에서 각각 한 번씩 오인식이 나타났으며, 오인식은 인식불능으로 인한 오류를 제외한 상관 오류를 나타낸다. 따라서 300개의 지문 영상 중에서 11개의 지문이 인식에 실패하였고, 사용자의 잘못된 지문 입력에 의한 인식불능 횟수를 제외한다면 약

표 1. 실험에 사용된 지문입력 센서의 제원

제조사	BioVision
제품명	BioEyE/SDK
입력 방식	광학 방식
모듈 크기	20 mm×30 mm×40 mm
입력창 크기	13 mm×18 mm
조명	LED(Red)
무게	15 g
소비 전력	최대 110 mA
전원	DC 3.3V (±10%)
동작 온도	0°C~40°C
기타	입력창은 손가락 모양의 덮개가 있음

표 2. 실험에 사용된 지문들에 대한 인식결과

	지문 개수	인식	오인식	인식 불능
Arch	18	17		1
Tented Arch	8	8		
Left Loop	106	104		2
Right Loop	32	29	1	2
Twin Loop	50	47	1	2
Whorl	86	84		2
계	300	289	2	9

99.31%의 인식률을 얻었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 광학적 상관관계를 기반으로 하는 지문 인식 시스템의 성능 저하를 보완하기 위한 방법으로 지문 영상을 비교하기 전에 중심점 찾기 알고리즘을 추가하여 입력 영상의 데이터 양을 축소시키면서 양질의 상관관계를 얻을 수 있는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 입력된 지문 영상으로부터 방향성 패턴을 추출한 후, 지문의 중심점을 찾아 그 주위에서 일정한 부분을 잘라내어 NJTC에 입력하고 출력되는 상관관계를 조사하는 것이다. 효율적으로 상관 신호를 얻기 위해서는 반드시 적절한 cropping size를 결정해 주어야 하며, 실험을 통하여 최적의 cropping size를 100×100픽셀 크기로 결정하였다.

제안한 방법을 바탕으로 300개의 지문 영상을 사용하여 상관관계를 조사하여 보았고, 그 결과 11개의 지문을 인식하는데 실패하였다. 그 중 9개는 인식 자체가 되지 않는 경우로 사용자가 지문을 입력할 때 발생하는 영상 정보 유실에 의한 것들이었다. 따라서, 전체적으로 99.31%의 인식률을 얻었다. 실질적인 지문인식 시스템에 적용할 경우, 사용자에 의한 지문 영상 정보 유실에 의한 인식 불능은 '접근 거부'의 형태로 결과 값을 반환하여 사용자가 지문을 다시 입력할 수 있도록 조치해야 할 것이다. 인식이 잘못된 2개의 지문 영상은 영상 자체의 레벨이 너무 낮거나 높은 경우였는데, 이는 디지털 영상 처리 기법을 통하여 레벨을 재조정하거나 일정한 압력 조건 하에서만 영상을 획득할 수 있는 지문 입력 센서의 개발을 통해서 해결될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 지문 인식 시스템의 분별력을 더 높이기 위해서는 입력 영상에 포함될 수 있는 영상 왜곡의 제거, NJTC의 비선형 계수 최적화 등과 같은 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Henry C. Lee and R. E. Gaensslen, *Advances in Fingerprint Technology*, Elsevier, New York, 1991.
- [2] 황성원, "지문인식시장 동향분석," 한국정보보호센터, 2001.
- [3] A. Jain, L. Hong, and R. Bolle, "On-line fingerprint verification," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell.*, vol. 19, no. 4, pp. 302-314, 1997.
- [4] 이정문, 박신재, 권용호 "고속 푸리에 변환을 이용한 지문의 검색," 강원대학교 산업기술 연구소 논문집, 제18집, pp.295-302, 1998.
- [5] Joseph W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics* (McGraw-Hill, New York, 1996), Chapter 8.
- [6] Asker M. Bazen and Sabih H. Gerez, "Directional Field Computation for Fingerprints Based on the Principal Component Analysis of Local Gradients," in *Proceedings of ProRISC2000, 11th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing*, Veldhoven, The Netherlands, November 2000.
- [7] Anthony Vanderlugt, *Optical Signal Processing* (John Wiley & Sons, New York, 1992), Chapter 5.
- [8] C. R. Chatwin and R. K. Wang, *Frequency Domain Filtering Strategies for Hybrid Optical Information Processing* (Research Studies Press, Taunton, 1996), Chapter 8.
- [9] Bahram Javidi, "Nonlinear joint power spectrum based optical correlation," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 12, pp. 2358-2367, 1989.
- [10] Qing Tang and Bahram Javidi, "Sensitivity of the nonlinear joint transform correlator: experimental investigations," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 20, pp. 4016-4024, 1992.
- [11] T. Kotzer, J. Rosen and J. Shamir, "Phase Extraction Pattern Recognition," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 8, pp. 1126-1137, 1992.
- [12] Leonid P. Yaroslavsky and Emanuel Marom, "Nonlinearity optimization in nonlinear joint transform correlators," *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 20, pp. 4816-4822, 1997.
- [13] K. Karu and A. K. Jain, "Fingerprint Classification," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 3, pp. 389-404, 1996.

#### A study on correlation-based fingerprint recognition method

Sang Beak Kim<sup>†</sup>, Sung Hyun Joo, and Man Ho Jeong

Dept. of Laser and Optical Information Engineering, Chongju University, Chongju 360-764, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: smtm12@lycos.co.kr

(Received July 10, 2002, Revised manuscript November 8, 2002)

Fingerprint recognition is concerned with fingerprint acquisition and matching. Our research was focused on a fingerprint matching method using an inkless fingerprint input sensor at the fingerprint acquisition step. Since an inkless fingerprint sensor produces a digital-image-processed fingerprint image, we did not consider noise that can happen while acquiring the fingerprint. And making the user attempt fingerprint input as random, we considered image distortion that translation and rotation are included as complex. NJTC algorithm is used for fingerprint identification and verification. The method to find the center of the fingerprint is added in the NJTC algorithm to supplement discrimination of fingerprint recognition. From this center point, we decided the optimum cropping size for effective matching with pixels and demonstrated that the proposed method has high discrimination and high efficiency.

Classification code : IP010.