

## 생체인식을 위한 적응적 방향 결정 방법

한영인\*, 송영기\*\*, 정좌령\*, 소재휘\*

\*현대정보기술 신규사업기획/Bioplex

\*\*현대정보기술 / 정보기술연구소

### *Adaptive Mechanism for the Recognition of Biometric System*

Young In Han\*, Young Gi Song\*\*, Jwa Ryeong Jung\* and Jae Hui Soh\*

\*Hyundai Information Technology, Co.

#### 요 약

지문 인식 시스템의 정확도를 향상시키기 위해서는 지문 영상 처리의 각 단계들이 다양한 환경에 있어서도 만족할 만한 성능을 유지해야 한다. 본 논문은 다양한 환경에도 강인하고 보다 향상된 지문 융선 방향 계산 방법을 제안한다. 이는 지문 영상의 정확한 표현을 위한 융선 흐름의 불연속성을 표현할 때 보다 안정한 계산 방법을 제공함으로써, 이 정보를 이용하여 지문 인식을 수행하는 데 보다 안정된 처리 방법을 제공할 것이다. 이를 위해 방향 계산 결과로부터 얻어진 사전 정보(복잡도)를 추출하고 이 정보에 기반하여 적응적 필터를 설계함으로써 보다 향상된 지문 인식 결과를 얻을 수 있음을 보인다. 이러한 방법은 모든 생체 정보의 인식을 위한 범용 계산 방법으로 활용 가능하다.

#### I. 서론

컴퓨터 네트워크가 점점 발전함에 따라 일상 업무 뿐만 아니라 보안을 유지해야 하는 정보들이 증가하고 있다. 이의 해결 방법으로 많은 정보 보호 기술이 개발되고 있으며, 그 중 하나의 방법으로 신체의 특성을 이용하는 생체측정학이 매우 중요한 기술 분야로 발전되고 있다. 그 중 지문은 그 유일성과 불변성으로 인하여 가장 효율적인 개인인증 수단으로 인식되고 있다[1,2].

지문 인식에 사용되는 특징 벡터는 일반적으로 국부적 특징과 전역적 특징으로 구분된다. 국부적 특징은 지문 융선에 의해 나타나는 끝점(ridge ending)과 분기점(bifurcation)을 말하며 지문의 특징을 기술하는 특징 점으로 이용된다. 전역적 특징은 Henry에 의해 제안된 지문 문형에 따라 5가지(arch, tented arch, left loop, right loop, and whorl)를 말하며 이 문형은 주로 지문 영상으로부터 추출된 특이 점(Singular points)의 상호 관계에 의해 구별된다. 지문의 특이 점 추출은 지문 융선의 방향을 벡터화 한 방향 영상(Direction Map)을 주로 이용한다[3,4,5,6,7,14,15,19].

지문 영상의 융선은 표피 손상 및 입력매체와 전달 매체에 의해 왜곡되거나 잡영(noise)등의 영향으로 그 방향 성분이 국부적으로 큰 변화를 가질 수 있다. 이러한 원치 않는 정보를 줄이기 위하여 전처리 과정이 필수적 수행되고 다양한 방향 추출 연구 방법이 이루어지고 있다[16,17,18]. 그러나 전처리는 외부의 영향에 따라 발생하는 다양한 변이를 정해진 특정 필터를 이용하기 때문에 효과적으로 처리 할 수 없는 한계를 가지고 있다.

본 논문에서는 지문 내부에 존재하는 다양한 변이를 줄이는 동시에, 지문 융선의 흐름을 정확하게 기술하기 위해 사용되는 방향 계산의 새로운 방법을 제안한다. 그러나 이를 구하기 위한 대부분의 방법이 지문 내부에 존재하는 연속성과 불연속성이 존재하는 특이 영역에 동시에 적용되므로써, 지문의 분류등에 이용할 경우 많은 정보를 소실하게 된다. 제안하는 방법은 지문 영상으로부터 추출된 방향패턴의 복잡 도를 계산하고 이 복잡 도에 기반한 새로운 방향 개선 방법을 통해 정확한 방향 영상을 계산하고자 한다. 특히, 특이 점의 영역은 잘 보존하고 왜곡된 영역은 그 정도에 따라 적응 필터를 사용하여 효과적으로

잡영 처리를 수행한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 지문의 복잡도 추정 모델을 기반으로 용선의 방향 영상 개선 방법에 대해서 기술하고 제시한 방법을 적용하여 실험을 통해 얻어진 결과를 통하여 본 제안 방법의 우수성을 검증한다. 마지막 3장에서는 제안 방법에 대한 결과 및 고찰을 제시한다.

## II. 지문 복잡도에 따른 적응 방향 개선

### 1. 방향 영상 생성의 어려움

지문 영상은 다음과 같은 복잡한 데이터의 모델링으로 생성되는 비 구조적 불확실성을 지니고 있다.

$$I = \int (i, j, t) \otimes A \otimes P \quad (1)$$

여기서, I는 입력 영상,  $f(i, j, t)$ 는 시간에 따른 순수 지문 이미지, A는 사용하는 센서의 왜곡 특성 그리고 P는 외부 섭동을 나타낸다. 이러한 지문 입력 데이터의 처리 과정을 수학적으로 정확히 모델링 하기는 어렵지만, 본 제안 방법에서는 A와P의 영향이 실제 I의 획득에 있어서 미비한 영향을 끼친다고 가정한다.  $f(i, j, t)$ 는 시간에 따른 지문 이미지 정보의 패턴을 표시한다. A의 영향을 줄이기 위해서는 지문 센서의 데이터 표현능력이 좋아야 하며 시료를 통해 MTF의 특성을 사전에 확인해야 한다. P는 외부 섭동 즉, 습도, 압력 및 먼지등에 의한 지문 정보의 변이에 영향을 미치는 값이다. 이러한 지문 영상의 인식은 매우 어려운 문제이며, 여전히 많은 연구자에 의해 끊임없이 연구되고 있다[5,8].

지문 인식에는 기본적으로 용선과 골, 이들의 흐름과 특징 점의 존재에 대한 물리적 량을 이용하여 인식에 이용된다. 용선의 흐름은 지문의 유일성을 보여주며, 일반성을 동시에 제공한다.

지문 영상의 용선은 표피 손상 및 입력매체와 전달 매체에 의해 왜곡(distort)되거나 잡영(noise)등의 영향으로 그 방향 성분이 국부적으로 큰 변화를 가질 수 있다. 따라서, 방향 패턴도 이의 영향을 받게 되어 후속 처리 과정에 방향성의 잡영으로 작용하여 오류발생의 원인이 된다. 지문 영상으로부터 용선의 방향 패턴을 추출하는 방법은 gradient method나 푸리에 변환 및 슬릿 연산자를 이용한 방법, 픽셀단위 방향영상 생성 방법 등 여러 방법이 있지만 다양한 하드웨어 상황에서 크기 및 밝기 변화, 여러 가지 잡영에 대해 효과적으로 대처하지 못하고, 이러한 원치 않는 잡영을 줄이기 위하여 전처리 과정과 방향 Relaxation과정이 요구된다. 그러나 전처리는 지문의 상태에 대해서 의존적이고, 영상에 속하여 있는 잡영에 대해서도 매우 의존적이다. 방향

Relaxation은 지문 문형의 전역 특성인 특이 점 영역의 변형을 초래하기도 한다[9,10,11,20].

### 2. 지문의 복잡도 추정

지문영상은 잡영과 상처 및 지문 스캔시 변형이나 회전으로 인해 뭉개지거나 흐릿한 영역의 왜곡된 영역과 코어-델타의 특이 점 영역이 존재한다. 이들 영역에서 방향 영상은 지문 패턴의 기본 특성인 부드러운 흐름형태와는 달리 복잡함을 나타낸다. 방향 영상에 나타나는 복잡성은 다음과 같이 4가지 영역으로 정리할 수 있다.

- (1) 지문 영상 배경 영역
- (2) 지문 내부의 용선 영역 및 손상 영역
- (3) 지문 문형에 기인한 특이 점 영역(코어, 델타)
- (4) 지문 과 배경의 경계영역

본 논문에서는 지금까지 지문 영상의 전 영역에서 이루어지던 방향 개선 방법을 위와 같이 4가지로 나누어서 적응 적으로 처리하는 방법을 제안한다. 이를 위해서는 지문 영상의 왜곡 영역 및 불연속 존재에 대한 복잡도(Complexity)를 도입한다. 지문의 복잡 도를 추정하기 위해서는 우선 지문 영상으로부터 용선의 방향 패턴을 추출한다. 본 논문에서는 지문영상의 블록의 국부 영역에 슬릿 연산자를 취하여 방향별 슬릿의 합을 구한 후 최소값을 이용해 식(2)에 제시된 방법으로 블록별 방향을 구한다[12].

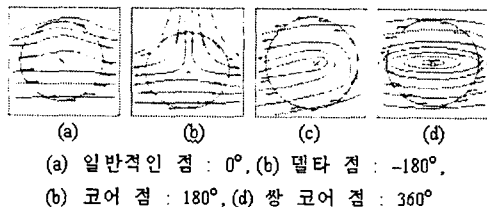


그림 1: 코어와 델타 영역에서의 Poincare index

$$S_d = \min(s_i) \\ S_i = \sum_{k=0}^{l-1} |f^d(i_k, j_k) - f^d(i_{k+1}, j_{k+1})| \quad (2)$$

여기서,  $f^d(i_k, j_k)$ 는 방향 d 로의 k번째 슬릿 값이다. d는 0에서 7 까지 8방향을 나타내고, l은 슬릿의 길이이다. 각 슬릿의 방향 d에 대해서 이웃 하는 픽셀 계조치들의 차들의 최소 합인  $S_d$ 의 방향을 그 블록의 후보 방향으로 한다. 이렇게 구한 방향 영상으로 부터 국부 영역의 방향의 변화를 살펴봄으로써 복잡도를 추정할 수 있다.

지문 용선의 방향을 벡터화 한 방향 영상, O에서 Poincare index는 일반영역에서는 0의 값을,

코어모양의 영역에서는 (1/2)의 값을 나타내고, 델타모양의 영역에서는 (-1/2)의 값을 나타내며, 그 외 왜곡 영역에 대해서는 0의 값이 아닌 (1/2)와 (-1/2) 근방의 값을 나타낸다[13]. 이러한 Pincare index특성을 이용하면 지문영역내의 특이점 영역, 왜곡 영역, 융선 영역을 추정하여 분리할 수 있다.

Pincare index는  $N_\psi$  픽셀로 이루어진 폐곡선(closed digital curve)의 x와 y의 좌표를  $\psi_x^{(i)}$ 와  $\psi_y^{(i)}$ 로 표현하면, 폐곡선에 의해서 에워싸인 픽셀 (i,j)에서의 Pincare index는 다음과 같이 계산된다.

$$Pincare(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^{N_\psi} \Delta(k) \quad (3)$$

여기서,

$$\Delta(k) = \begin{cases} d\delta(k), & \text{if } |d\delta(k)| < \frac{\pi}{2} \\ \pi + d\delta(k), & \text{if } d\delta(k) \\ \pi - d\delta(k), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} d\delta(k) &= O(\psi_x(i'), \psi_y(i')) \\ &\quad - O(\psi_x(i), \psi_y(i)) \\ i' &= (i+1) \bmod N_\psi \end{aligned} \quad (5)$$

폐곡선의 길이는 Pincare index를 이용한 지문의 복잡도 추정에 중요한 영향을 끼친다. 만약 너무 작게 하면 방향의 작은 잡음에도 영향을 쉽게 받아 의사 특이 점의 발생 가능성이 높아진다. 반대로, 너무 크게 하면 진 특이 점이 무시된다. 본 논문에서는 16 픽셀을 사용하였다. 이러한 복잡도 추정은 지문 전체 영상내의 영역 구분을 해주기 때문에 방향 개선을 적용 적으로 할 수 있는 입력 값을 제공해준다.

### 3. 제안 적응적 개선 방법

다양한 지문 입력 매체로부터 얻어지는 지문이나 하나의 지문이라고 하더라도 영역에 따른 지문 영상의 변이를 적절하게 처리하는 방법은 구현하기가 어렵다. 2.2절에서 언급한 왜곡된 방향 성분에 대해 처리를 하기 위해서는 각각의 데이터의 특성에 따라 적응적으로 처리를 할 수 있는 필터들이 필요하다.

본 논문에서는 왜곡의 정도를 3 level로 구분하고 각 level에 적합한 필터를 구성하였다. Level 1은 융선 영역 및 손상의 정도가 미약한 영역으로 복잡도가 0에 가까운 영역을 말한다. 이 영역에 대해서는 중간값 필터(Median filter)를 사용한다. 중간값 필터는 영상의 픽셀단위로 윈도우를 통과하여 윈도우에 속하는 픽셀들의 중간값을 추출하여 원 방향 값을 대체하게 된다. 비 선형 필터로서 순간 잡영을 제거하는데 효과적이다.

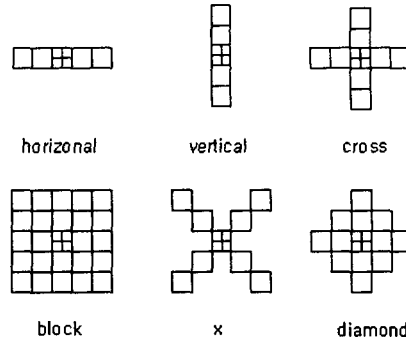


그림 2: 중간값 필터의 윈도우

중간값 필터는 잡영의 분포에 따라 윈도우의 형태가 달라지게 되고, 대체적으로 6 가지 정도를 사용한다. 그림 2는 중간값 필터의 윈도우의 종류에 따른 모양을 나열하였다.

Level 2는 국부적으로 지문의 손상 정도가 크고 뭉개진 영역을 말하며 복잡도가 (1/2)와 (-1/2) 근방을 나타낸다. Level 3는 특이점 영역을 말하며, 이 영역에서의 복잡도는 코어 모양의 영역에서는 (1/2)를 나타내고 델타 모양의 영역에서는 (-1/2)를 나타낸다. 이 두 영역에 대해서는 Unit Integral Lowpass 필터를 이용하는데 level 2는 5x5 마스크(mask)를 level 3는 3x3 마스크를 사용한다.

Unit Integral Lowpass 필터로 국부 영역 내 방향의 평균치를 구할 때 방향 모델로부터 나타나는 수학적 불연속을 피하면서 적절한 방향 개선 처리가 요구된다. 국부 영역내의 방향 성분에 대해 불연속적인 방향 영상을 식(6)와 (7)으로 연속적인 값으로 변환하고 저주파 필터를 이용하여 방향 성분을 이용하여 방향을 개선한다.

$$\Phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (6)$$

$$\Phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (7)$$

$$\Phi'x(i, j) = \sum_{u=-w/2}^{w/2} \sum_{v=-w/2}^{w/2} \frac{1}{W(u, v)} \Phi_x(i-uw, j-vw) \quad (8)$$

$$\Phi'y(i, j) = \sum_{u=-w/2}^{w/2} \sum_{v=-w/2}^{w/2} \frac{1}{W(u, v)} \Phi_y(i-uw, j-vw) \quad (9)$$

여기서 w는 필터의 사이즈이고 W는 Unit Integral Lowpass Filter이다.

x,y축에 대한 연속적인 방향 값을 통하여 점 (i,j) 에서 개선된 방향은 식(10)과 같이 구해진다.

$$O = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( -\frac{\partial' x(i,j)}{\partial' x(i,j)} \right) \quad (10)$$

위 과정과 같이 구해진 방향을 불연속적인 값으로 구역화 한다. 본 논문에서 제시된 적응 방향 개선 방법의 흐름도가 그림 3에 나타나있다.

주요 처리 과정은 다음과 같다.

단계 1: 입력 지문영상을 wxw 블록으로 구역화 하여 Slit 연산을 사용하여 각 블록의 주 방향을 구한다.

단계 2: 단계 1에서 생성된 방향 영상으로 Poincare index를 적용하여 각 블록의 이웃 방향의 복잡도를 추정한다.

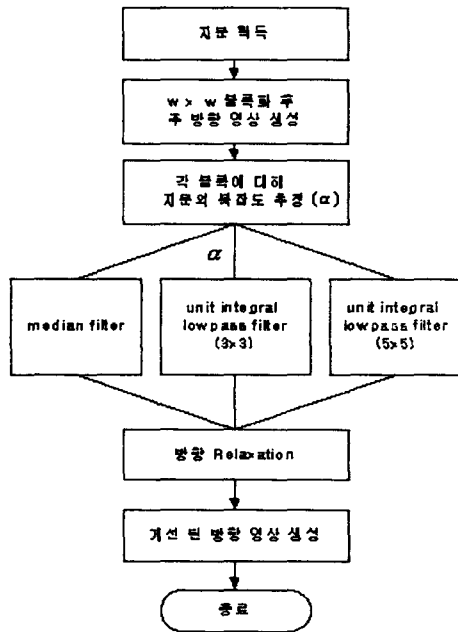


그림 3: 제시된 적응 방향 개선 흐름도

단계3: 추정된 복잡도에 따라 적합한 필터를 사용하여 방향을 개선한다.

단계 4: 모든 블록에 대해 완료 했다면 종료하고 그렇지 않으면 단계 2로 간다.

지문 영상을 wxw 블록으로 구역화 한 방향 영상에 대한 제안한 방향 개선 처리시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

처리시간 = (방향 영상의 크기)

x (복잡도에 따른 필터 크기)

x (복잡도 추정 폐곡선 길이)

여기서, 복잡도에 따른 필터의 크기는 기존의 전역 고정 필터 적용 방법과 비교해 그 차이가 미비하고 가절한다. 그러면 복잡도 추정을 위한

폐곡선의 길이가 주요 처리시간이 되는데, 가령 5x5고정 필터 적용 횟수를 2회로 했을 경우 폐곡선의 길이는 5x5블록의 둘레를 의미하므로 제안한 방법이 보다 빠른 처리 시간을 나타낸다. α는 복잡도로부터 얻어진 제어 변수로 필터를 적용적으로 활용하기 위한 입력 파라미터로 이용된다. 지문 이미지 내부에 존재하는 용선의 방향 결정을 슬릿을 통한 방법으로 이용한 것은 실제 지문 이미지로부터 방향을 얻는 경우 가장 민감하게 지문의 방향을 나타낼 수 있기 때문이다. 이것은 지문 용선 방향 결정의 어려움을 직접적으로 보이기 위함이다.

실험에 사용된 데이터는 잉크로 날인한 회전 지문(Rolling)을 고속 스캐너를 통해 입력된 지문과 회전 입력 장비를 통해 얻어진 생체 지문(500DPI, 512\*480) 및 평면 지문 입력 장비(광학식, 반도체식)를 통해 얻어진 생체 지문을 이용한다. 이때 얻어진 지문은 지문의 품질에 따라 구분된다. 즉, 지문의 품질은 ' 좋음', ' 중간', ' 나쁨'에 대한 코드(A,B,C)를 생성한다.

제안 방법은 이렇게 분류된 지문에 대하여 방향 개선을 수행하고, 이를 통해 그 결과를 확인한다. 먼저 방향 개선을 위해 입력 영상으로 32\*30의 방향 영상을 생성한다. 방향은 0-7까지로 나뉘어지며, 지문의 등계진 영역 및 잡음으로 인해 정확한 방향을 찾지 못한 영역은 다른 코드(10)를 할당한다.

그림 4에서는 본 실험을 위해 사용된 이미지의 예를 보여주고 있다. 그림4.에서 보이는 (a)의 지문 이미지는 잉크를 이용하여 종이에 날인된 지문을 500dpi의 스캐너를 통해 입력 받은 영상으로 많은 잡음을 포함하고 있다. (b)의 지문은 Live 회전 스캔 장비를 통하여 입력된 지문이고 (c)의 지문은 광학식 스캔 장비를 통하여 입력된 영상이며 지문의 건조로 인해 이미지가 흐릿하다. (d)의 지문은 반도체식 Live 스캔 장비를 통하여 입력된 영상으로 입력 매체의 잡음을 포함하고 있다.

구해진 방향 영상에 따라 방향의 복잡도를 추정하고 이에 따라 적합한 저주파 필터를 구성한다. 그림 5에서 보는 것처럼 (a)에서는 슬릿 연산으로 구한 원 블록 방향의 이미지를 보이고 있으며, (b)에서는 방향의 복잡도를 보인다. '1'은 용선영역 및 소실 정도가 미약한 영역이고, '2'는 국부적으로 지문의 손상 정도가 큰 영역을 나타내며, '3'은 특이 점 영역과 방향의 불연속성이 큰 영역을 나타낸다. 이 필터를 통하여 얻어진 영상에 대한 결과 영상을 그림6에 보여 주고 있다. (c), (e), (f)에서는 각 지문의 원 방향 영상을 나타내고, (d), (f), (g)에서는 제안한 알고리즘에 대한 처리 결과를 보여 주고 있다.

실제 제안 방법을 이용했을 경우, 원 영상 내에 존재하는 잡음의 영향을 제거하는 것과 동시

에 지문 영역과 배경영역 구분이 더욱 잘 이루어졌으며, 특히 점 영역을 잘 보존하면서 왜곡영역을 효과적으로 개선하였다.

### III. 결론 및 고찰

본 논문에서는 강인한 적응 방향 개선 알고리즘을 제안한다. 방향 영상은 여러 요인에 의해 지문 패턴의 기본 특성인 부드러운 흐름형태와는 달리 복잡함을 나타낸다. 이에 대해 지문 영상의 왜곡 영역 및 불연속 존재에 대한 복잡도를 도입하여 정량화 함으로서 각 상황에 적합한 적응 필터를 통하여 특히 점 영역을 잘 보존하면서 영상 내에 존재하는 잡영을 효율적으로 제거할 수 방법을 제안하였다. 이를 통해 지문 인식의 정확도를 높일 뿐만 아니라 처리 과정의 안정성을 확보할 수 있음을 보였다. 앞으로, 지문의 복잡도와 품질 상태에 따라 적응적으로 변하는 필터의 온라인 계산에 대한 지속적인 연구가 필요하다.



그림 4: 실험에 사용된 지문 영상의 예

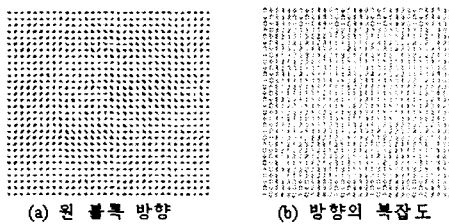


그림 5: 방향의 복잡도

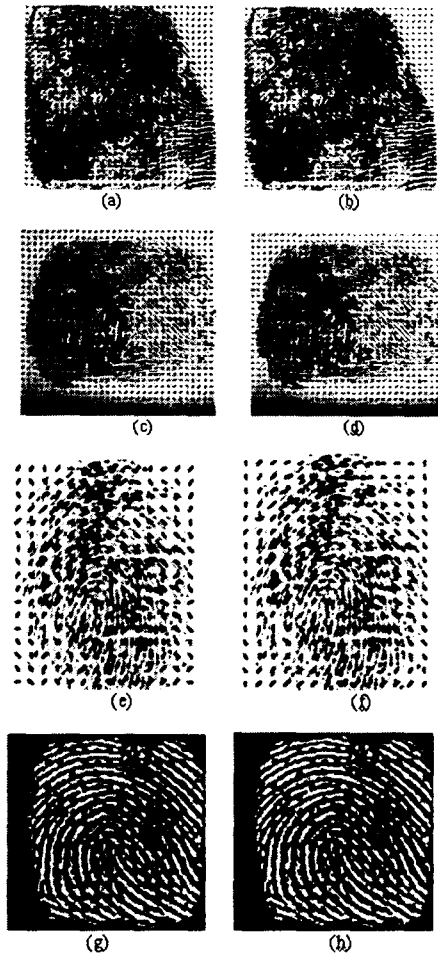


그림 6: 지문 영상의 방향 개선 결과

### 참고문헌

- [1] David D. Zhang, "Automated Biometrics Technologies and Systems", Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] Anil Jain, Ruud Bolle Sharath Pankanti, "Biometrics Personal Identification in Networked Society", Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [3] E.R Henry. Classification and Uses of Finger Prints. Routledge, London, 1900.
- [4] 박중조, 박귀태, 김민기, "지문영상의 자동 분류" 한국정보보호학회, 1994.
- [5] Masahiro Kawagoe and Akio Tojo, Fingerprint Pattern Classification, Pattern Recognition, Vol. 17, No. 3 pp. 295-303, 1984.
- [6] C.L.Wilson, G.T.Candela, C.I.Watson, "Neural Network Fingerprint classification." J.Artificial Neural Networks, Vol.1, No.2, pp.1-25,1993.

- [7] J.L. Blue, G.T. Candela, P.J. Grother, R. Chellapa, C.L. Wilson, "Evaluation of pattern classifiers for fingerprint and OCR applications," *Pattern Recognition*, Vol. 27, No. 4, pp.485-501, 1994.
- [8] N.D. Young, G. Harkin, R.M. Bunn, D. J. McCulloch and R. W. Wilks and A. G. Knapp, Novel Fingerprint Scanning Arrays Using Polysilicon 'FT' s on Glass and Polymer Substrates, *IEEE Electron Device Letters*, Vol. 18, No.1, pp. 19-20, Jan. 1997.
- [9] A.Jain, L.Hong, S. Pankanti, and R. Bolle, On-line identity-authentication system using fingerprints, *Proceedings of IEEE (Special Issue on Automated Biometrics)*, Vol. 85, pp. 1365-1388, September 1997.
- [10] D.Sherlock, D.Monro, K.Millard, "Fingerprint Enhancement by Directional Fourier Filtering," *IEE Proc. Vis. Image Signal Processing*, Vol. 141, No. 2, pp. 87-94, 1994.
- [11] A.K. Ratha, S. Chen, A.K. Jain, "Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images," *Pattern Recognition*, Vol. 28, No. 11, pp. 1657-1672, 1995.
- [12] Y.I. Han, Y.G. Song, Y.R. Kim, "Development of Fingerprint Classification System Using the Improved Singular Point Detection," *IPIU 2002 Workshop*, Korea, pp.141-145, Jan. 2002.
- [13] D. Monro and B. Sherlock. A model for interpreting fingerprint topology. *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 7, pp. 1047-1055, 1993.
- [14] S.Chen N. Ratha, K. Karu and A.K. Jain. A real-time matching system of large fingerprint database. *IEEE Trans. Pattern Anal. And Machine Intell.*, Vol. 18, No. 8, pp. 799-813, 1996.
- [15] R. Cappelli, A. Lumini, D. Maio and D. Maltoni, "Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning", *IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol.21, no.5, pp.402-421, May 1999
- [16] L. O' Gorman and J. V. Nickerson, An Approach to Fingerprint Filter Design, *Pattern Recognition*, Vol. 22, No. 1, pp. 29-38, 1989.
- [17] T. Kamei and M. Mizoguchi, Image filter design for fingerprint enhancement, In *Proc. ISCV' 95*, pp. 109-114, Coral Gables, FL, 1995.
- [18] L. Hong, A. K. Jain, S. Pankanti, and R. Bolle, Fingerprint Enhancement, *Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, FL, pp.202-207, 1996.
- [19] Y. G. Song, Y. I. Han, Y.R. Kim, and H. I. Kang, "Approach to design an efficient filter for the fingerprint image binarization", *IPIU 2002 Workshop*, Korea, pp. 185-188, Jan. 2002.
- [20] B.M. Mehre and B. Chatterjee. Segmentation of fingerprint images - a composite method. *Pattern Recognition*, Vol. 22, No. 4, pp. 381-385, 1989.