

# 웨이블렛 변환 영역에서의 방향 정보를 이용한 지문인식 알고리즘

正會員 이 우 규\*, 정 재 호\*\*

## Automatic Fingerprint Recognition Using Directional Information in Wavelet Transform Domain

Woo Kyu Lee\*, Jae Ho Chung\*\* *Regular Members*

※본 연구는 1996년도 산학협동재단 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

### 요 약

본 논문은 융선의 방향정보를 사용하여 지문을 실시간 자동 인식하는 알고리즘을 제안한다. 융선의 방향정보는 웨이블렛 변환(WT) 그리고 경사 가우시안(gradient of Gaussian)과 코히리언스(coherence)로부터 얻어진 주된 국부 방향(dominant local orientation)을 사용하여 추출한다.

웨이블렛 변환의 적용은 기존에 제안된 알고리즘들에 포함되어 있는 평활화(smoothing), 이진화(binanzation), 세선화(thinning) 및 보정(restoration) 등 여러 전처리 과정의 생략을 의미하며, 따라서 제안하는 알고리즘의 실시간 처리를 가능하게 한다. 지문 인식은 웨이블렛 변환상에서 3개의 영역-크기가 1/4로 작아진 영역(LL), 수직 성분이 강조된 영역(LH), 그리고 수평 영역이 강조된 영역(HL)-에 나타나는 주된 국부 방향을 사용하여 빠르고 효율적으로 수행된다. 제안한 알고리즘은 SunSparc-2 워크 스테이션 환경의 X-window에서 구현되었으며, 256 × 256 화소 크기의 지문 영상에 적용하여 성능을 평가하였다. 그 결과, 상이한 지문을 동일 지문으로 오인식하는 Type II 에러율을 0%로 했을때, 동일 지문을 상이한 지문으로 오인식 하는 Type I 에러율은 2.5%로서 매우 좋은 성능을 보였다.

### ABSTRACT

The objective of this paper is to develop an algorithm for a real-time automatic fingerprint recognition system.

\*LG 반도체 연구원  
\*\*인하대학교 전자공학과  
論文番號: 96404-1223  
接受日字: 1996年 12月 23日

The algorithm employs the wavelet transform(WT) and the dominant local orientation that derived from the gradient of Gaussian(GoG) and coherence in determining the directions of ridges in fingerprint images.

By using the WT, the algorithm does not require conventional preprocessing procedures such as smoothing, binarization, thinning and restoration. For recognition, two fingerprint images are compared in three different WT domains; one that represents the original image compressed to quarter(LL), another that shows vertical directional characteristic(LH), and third as the block that contains horizontal direction(HL) in WT domain. Each block has dominant local orientation that derived from the GoG and coherence. The proposed algorithm is implemented on a SunSparc-2 workstation under X-window environment. Our simulation results, in real-time have shown that while the rate of Type II error-Incorrect recognition of two different fingerprints as the identical fingerprints-is held at 0%, the rate of Type I error-Incorrect recognition of two identical fingerprints as the different ones-is 2.5%

## I. 서 론

사회구조가 나날이 복잡해짐에 따라 높은 가치의 정보를 다루는 시스템이 증가하고 있다. 이러한 시스템의 운용에 있어서 정보의 기밀 유지 또한 중요하게 대두되고 있다. 이로 인하여 정확한 개인의 인증에 대한 필요성은 날로 부각되고 있다. 개인의 인증 수단으로는 각각의 개인이 기억하고 있는 내용(암호, password 등), 소유물(도장 열쇠 등), 또는 신체의 물리적 특성(얼굴, 지문 등) 등을 이용할 수 있다. 개인 자동 인증 시스템은 이러한 수단을 이용하여 각 개인의 진위를 컴퓨터로 자동 판단함으로써 정보의 기밀을 유지하는 시스템이다. 각 인증 수단에 있어서 개인이 기억하고 있는 내용과 소유물의 경우는 정보의 누출이 가능하지만, 신체의 물리적 특성의 경우는 당사자 외에는 위조가 불가능하다. 신체의 물리적 특성을 이용한 방법 중, 지문을 이용한 개인의 식별은 지문의 불변성(immutability)과 유일성(individuality)을 기초로 하고 있다. 불변성은 태어나서 죽을 때까지 그 패턴이 변화하지 않고 영원하다는 것이고, 유일성은 사람들간의 용선의 모양이 각각 다르다는 것이다. 심지어는 쌍둥이들까지도 형태가 비슷한 지인정 놓일한 지문을 갖고 있지 않다. 이러한 특징을 바탕으로 하여 지문을 이용한 개인의 식별이 가능함을 알 수 있다.

본 논문은 용선의 방향정보를 사용하여 지문을 실시간 자동인식하는 알고리즘을 제안한다. 용선의 방향정보는 웨이블렛 변환 그리고 경사 가우시안(GoG)과 코히어런스로부터 얻어진 주된 국부 방향을 사용하여 추출한다.

웨이블렛 변환의 적용은 기존에 제안된 알고리즘들에 포함되어 있는 평활화(smoothing), 이진화(binarization), 세선화(thinning) 및 보정(restoration) 등 여러 전처리 과정의 생략을 의미하며, 따라서 제안하는 알고리즘의 실시간 처리를 가능하게 한다. 지문 인식은 웨이블렛 변환상에서 3개의 영역-크기가 1/4로 작아진 영역(LL), 수직 성분이 강조된 영역(LH), 그리고 수평 영역이 강조된 영역(HL)-에 나타나는 주된 국부 방향을 사용하여 빠르고 효율적으로 수행된다. 제안한 알고리즘은 SunSparc-2 워크 스테이션 환경의 X-window에서 구현되었으며, 256×256 화소 크기의 지문 영상에 적용하여 성능을 평가하였다.

## II. 본 논문에서 제안하는 지문 인식을 위한 각 단계

본 논문에서 제안하는 지문 인식방법은 다음과 같은 4단계로 이루어진다.

- (1) 주어진 지문의 웨이블렛 변환 단계
- (2) 용선의 방향정보를 나타내는 주된 국부 방향(DLO) 특징벡터 추출 단계
- (3) 인식을 위한 기준점 설정 단계
- (4) 입력지문의 인식 단계

### 2.1 제1단계 : 주어진 지문의 웨이블렛 변환 단계

제1단계의 목적은 기존의 알고리즘들에 포함되어 있는 평활화, 이진화, 세선화 및 보정 등의 전처리과정의 생략과, 연산 처리 속도의 증가이다. 이를 위하여 본 논문에서는 웨이블렛변환을 사용하였다.

웨이블렛[]은 special signal을 이용하여 신호, 시스

템 혹은 이러한 일련의 과정들을 위한 모델을 만드는 수학적인 이론으로부터 시작 되었다. Special signal을 흔히 little waves 혹은 웨이블렛이라고 칭한다. 웨이블렛 변환(WT)은 웨이블렛과 처리하고자 하는 신호와의 correlation에 의해서 구현된다. 웨이블렛 변환의 정의는 아래 식 (1)과 같다.

$$WT \langle f(t), a, b \rangle = \langle f(t), \frac{1}{\sqrt{2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \rangle \quad (1)$$

식 (1)에서  $\Psi(t)$ 는 모 웨이블렛(mother wavelet)을 나타낸다.

웨이블렛 변환는 시간-주파수 영역의 정보를 동시에 표현한다. 또한 웨이블렛 변환은 대역통과 필터의 성질을 갖고 있어서 신호의 특징을 추출하고, 저주파 통과 필터링의 영향으로 잡음을 억제하는데 효과적이다.

### 2.1.1 대칭적인 웨이블렛의 제안

기존의 웨이블렛은, 각각의 영역에서 같은 방향을 나타내는 값들이 동일한 값으로 나타나지 않는다. 따라서 각 영역의 임의의 위치에서 같은 방향에 대해서 동일한 값을 갖는 대칭적인 웨이블렛의 사용이 필요하다. 대칭이란 예를들어, 위치(100, 0)의 값과 (0, 100)의 값이 같은 경우를 나타낸다. 이런 이유로, 본 논문에서는 대칭성을 갖는 웨이블렛을 제안하였으며, 제안된 웨이블렛의 설계원리는 다음과 같다.

기본적인 개념은 Daubechies' 웨이블렛[2]의 수정이다. Daubechies'의 경우 Bernstein filter[3]의 3가지 경우중 첫번째이고, 대칭적인 웨이블렛의 경우는 두번째 경우에 속한다. 제안한 웨이블렛은 Daubechies의 비대칭적인 웨이블렛을 대칭적으로 만들기 위해 생각해 낸 것이다. 가장 기본이 되는 원리는 다음과 같다.

우선, scaling 함수  $\phi(t)$ 는 식(2)

$$\int \phi(t) dt = 1 \quad (2)$$

인 경우를 제외하고는 어떠한 moment 조건도 만족하지 않는다. Daubechies의 경우에는 scaling function 값이 만족하는 경우는  $\sqrt{2}$  뿐이다. 수치해석 응용에서 보면, 아래식과 같이 scaling 함수에서 zero moment

를 얻기 위해서, 웨이블렛의 zero moment를 바꿔줄 필요가 있다. 즉,

$$\begin{aligned} \int \phi(t) dt &= 1 \\ \int t^v \phi(t) dt &= 0 \text{ for } v=1, 2, \dots, L-1 \\ \int t^v \psi(t) dt &= 0 \text{ for } v=0, 1, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (3)$$

위 경우에는 웨이블렛과 scaling 함수가 같은 vanishing moment[3]를 가지고 있다. Scaling 함수의 vanishing moment가 증가하면, 그만큼 대칭적으로 된다. 위의 원리가 바로 Daubechies의 비대칭적인 웨이블렛과 본 논문에서 제안한 대칭적인 웨이블렛의 중요한 차이점이 된다.

식 (3)을 주파수 영역에서 설명하면, 위의 조건은 바로 scaling 함수와 웨이블렛의 변환 형태에 대한 flatness[3]를 부과하게 된다. 즉,

$$\begin{aligned} \Phi(t) &= 1 \\ \frac{d^v}{d\Omega^v} \Phi(0) &= 0 \text{ for } v=1, 2, \dots, L-1 \\ \frac{d^v}{d\Omega^v} \Psi(0) &= 0 \text{ for } v=0, 1, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (4)$$

위의 결과를 필터의 개념으로 해석하면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d^v}{d\omega^v} H_0(e^{j\omega})|_{\omega=0} &= 0 \text{ for } v=1, 2, \dots, L-1 \\ \frac{d^v}{d\omega^v} H_0(e^{j\omega})|_{\omega=\pi} &= 0 \text{ for } v=0, 1, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (5)$$

이때, 구현된 필터  $H_0(e^{j\omega})$ 이 식 (6)의 조건을 만족하려면, 즉

$$\frac{d^v H_0(e^{j\omega})}{d\omega^v} = (-j)^v \sum n^v h(n) e^{-j\omega n}, v=0, 1, \dots, N \quad (6)$$

다음과 같은 형태를 가져야 한다.

$$H_0(e^{j\omega}) = 1 + (1 - e^{-j\omega})^L V(e^{j\omega}) \quad (7)$$

식 (6)에서  $h(n)$ 은 임펄스 응답이고,  $V(e^{j\omega})$ 는 polynomial를 나타낸다. 식 (7)로부터  $H_0(e^{j\omega})$ 는  $\omega = \pi$ 에

서  $L$ 차의 0이 되어야 한다. 따라서  $H_0(e^{jw})$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$H_0(e^{jw}) = \left[ \frac{1}{2} (1 + e^{-jw}) \right]^L P(e^{jw}) \quad (8)$$

식 (8)에서  $P(e^{jw})$ 는

$$|P(e^{jw})|^2 = \sum_{k=0}^{L-1} \binom{L-1+k}{k} \sin^{2k} \frac{w}{2} + \sin^{2(L-k)} \frac{w}{2} R(\cos w) \quad (9)$$

를 만족하며,  $R(x)$ 는 홀수 polynomial이다.

(8)번 식을  $z$ -영역에서 구현하려고 하면, linear phase가 되는 쌍들을 만들고, 이 쌍들을 가지고  $H(z)$ 를 구한다. 그리고, 얻어진  $H(z)$ 에 역변환을 취하면, 쉽게  $h(n)$ 를 구할 수 있다. 본 논문에서 사용한  $h(n)$ 은 6개의 계수를 사용한 경우로 linear phase이며, 영점의 위치는 scaling 함수의 경우에는 위안에 2개, 원반에 1개이고, 웨이블렛의 경우에는 그 반대가 된다. 반드시 주위해야 할 점은 scaling 함수의 합이 반드시 1이 되어야 한다는 것이다. 구현된  $h(n)$ 을 가지고 successive approximation[3] 방법에 의해서 scaling function을 구하면 그림 1과 같다. 그림 1은 6개의 계수를 사용한 경우이며, 제안된 웨이블렛이 좌·우 대칭임을 보여준다. 그림 2는 scaling function과 모 웨이블렛의 주파수 특성을 나타낸다. 이상에서 살펴본 바와같이 대칭적 wavelet은 Bernstein filter의 응용을 이용한 것이다. 구현 방법은 Coiflet[4]의 wavelet과 유사한 형태를 가지고 있다.

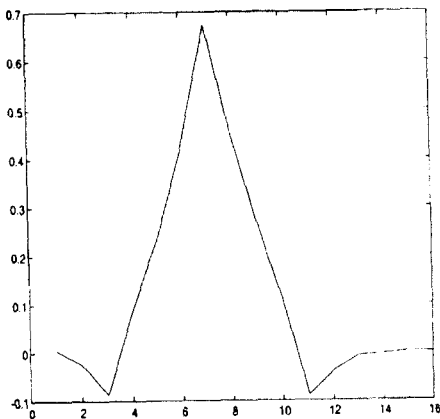


그림 1. 제안한 웨이블렛의 scaling function

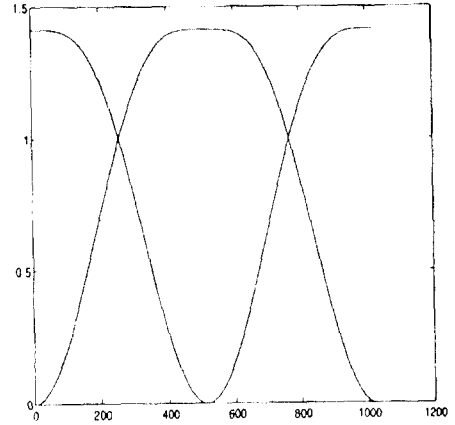


그림 2. 제안한 scaling function과 모 웨이블렛의 주파수 특성

### 2.1.2 대칭적 웨이블렛의 특징

대칭적인 웨이블렛은 zero-crossing 성질이 잘 나타나기 때문에, edge 검출이나 변화가 많은 데이터를 처리하는데 좋은 효과를 나타낼 수 있다. 이 효과는 본 연구에서 원하는 지문융선을 분석하는데 매우 적합하며, 공간영역의 경사(LH, HL, HH 영역)와 같은 성질을 나타낸다. 웨이블렛 변환의 LL 영역에서 얻어지는 영상은 잡음이 제거된 축소된 원래 영상을 나타낸다. 또한 LH와 HL의 경우에는 융선의 세로 방향과 가로 방향의 정보가 각각 강조됨에 따라, 다음 단계에서 시도하는 지문의 형태 검출을 용이하게 한다.

그림 3은 지문영상에 제안된 웨이블렛 변환과 역 웨이블렛 변환(inverse wavelet transform)을 적용한 결과를 보여준다. 그림 3에서, 웨이블렛 변환된 영상의 계수 값들은 각 영역에 대칭적인 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 절대값이 같은 양수와 음수를 갖게 된다. 그러므로 본 연구에서는 모든 계수를 사용하지 않고, 양의 계수만을 사용한다. 이는 다해상도에 의한 연산 속도 증가와 더불어서 처리시간 단축이라는 장점을 갖는다.

### 2.2 제2단계 : 융선의 방향정보를 나타내는 주된 국부 방향 특징 벡터 추출 단계

제2단계는 지문의 융선 방향 정보를 나타내는 특징(feature)벡터의 추출 단계이다.

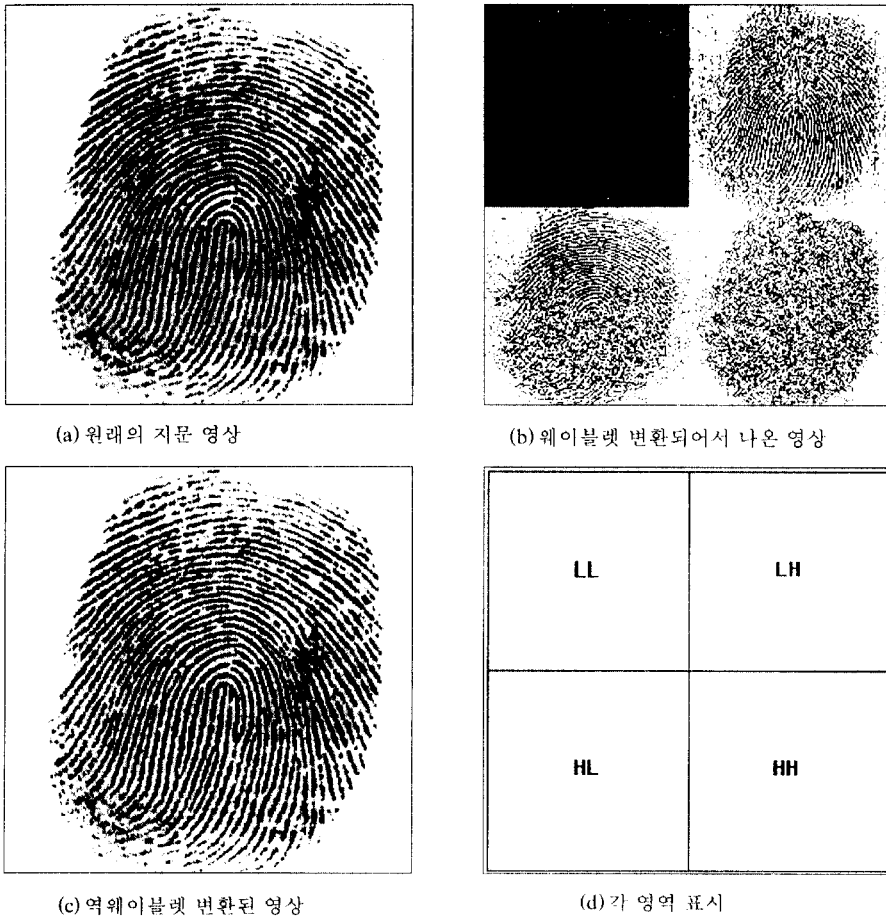


그림 3. 제안된 웨이블릿 변환과 역웨이블릿 변환을 지문 영상에 적용시킨 경우

웨이블릿 변환의 주목할 만한 특성중의 하나는 대역별로 고유의 방향성을 나타낸다는 것이다. 구체적으로, 그림 4에서 보는 바와 같이 LH 영역에서는 수직 성분이, HL 영역에서는 수평성분이, 그리고 HH 영역에서는 대각성분이 나타난다. 또한 LL 영역은 원래 영상의 평균을 나타낸다.

따라서, 지문 윤선의 성분을 3차의 방향 벡터로 나타낼 수 있다. 하지만 모든 방향에 대해서 표시할 수 없다는 문제점이 있다. 이는 유사한 지문을 인식하는데는 특징벡터로 사용하기에는 적절하지 않다. 이와 같은 문제점들을 보완하기 위하여, 보다 많은 방향을 정확하게 나타낼 수 있는 새로운 measure[5][6], 즉 새

로운 특징벡터가 필요하다. 이를 위하여, Kass[7]와 Witkin[7]에 의해서 제안된 주된 국부 방향을 특징벡터로 사용 한다. 특징벡터로 사용하는 주된 국부 방향은 본 논문에서는 웨이블릿 변환의 계수들로부터 다음과 같은 과정을 통하여 얻어진다.

- 첫 번째 과정: 웨이블릿 변환의 계수값으로부터 경사와 orientation angle을 구한다.
- 두 번째 과정: 경사와 orientation angle 코히리언스로부터 코히리언스를 찾는다.
- 세 번째 과정: Orientation angle과 코히리언스로부터 특징벡터 즉, 주된 국부 방향을 구한다.

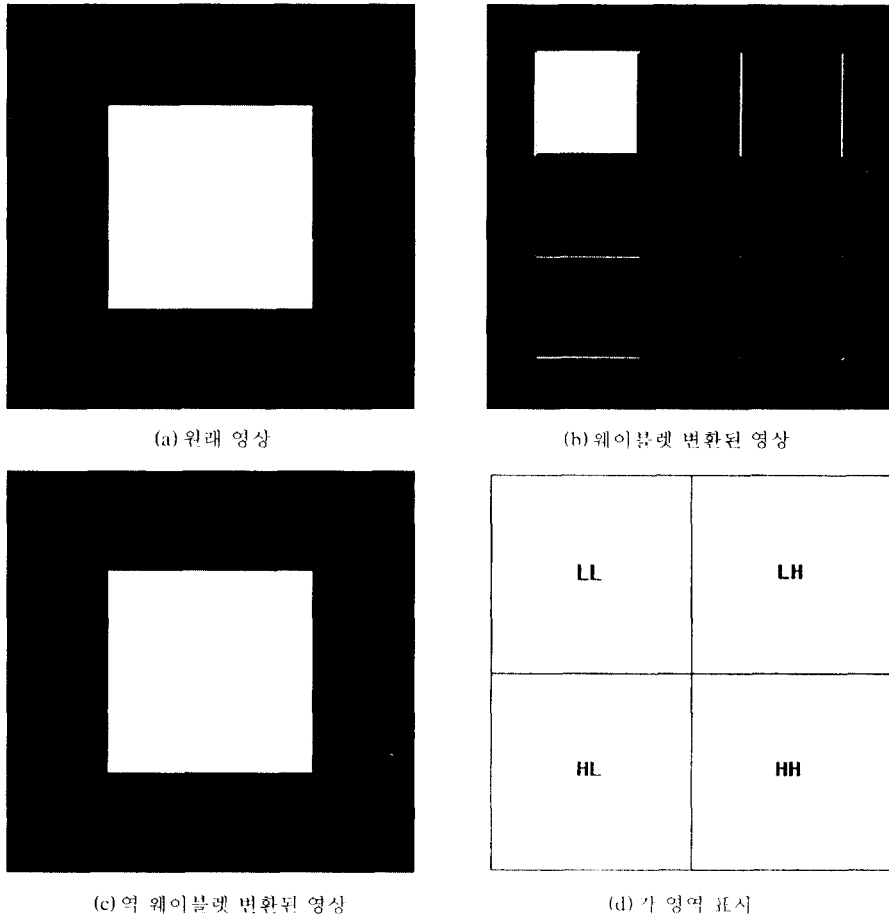


그림 4. 웨이블릿 변환이 갖는 대역별 고유의 방향 정보

첫 번째 과정은 새로운 특징벡터를 얻기 위한 첫 단계이다. Kass와 Witkin의 경우에는 Laplacian of Gaussian operator[7]를 사용하여 경사와 각을 구했으며, Rao[5]와 Schunck[5]의 경우에는 윤곽선 검출에 많이 사용하는 Canny operation[8]을 사용하였다. 본 논문에서는 Zuniga와 Haralick이 개발한 intergrated directional derivative(IDD)[9]를 사용한다. 물론 앞에서 언급했듯이 LH, HL 영역의 경우에는 경사에 대한 정보(수직, 수평성분)가 나타나기 때문에 경사를 구하는 단계는 LL 영역에만 국한된다. 좌표 위치  $(m, n)$ 에서의 경사  $G_{mn}$ 와 각(angle)  $\theta_{mn}$ 의 정의는 식(10), (11)과 같다.

$$G_{mn} = M \times (|G_{mn}^x| + |G_{mn}^y|) \tag{10}$$

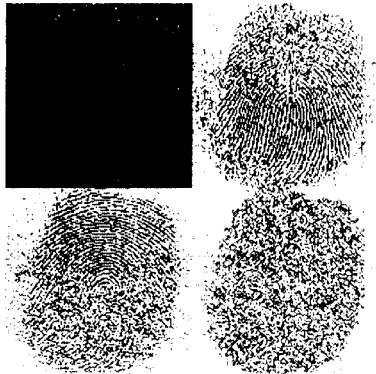
$$\theta_{mn} = \tan^{-1} \frac{G_{mn}^x}{G_{mn}^y} \tag{11}$$

$G_{mn}^x$ 와  $G_{mn}^y$ 는  $x, y$ 축으로의 경사의 크기를 나타내며, 양수  $M$ 은 contrast를 보다 잘 표현하기 위해서 곱해 주는 값이다. 본 논문에서 사용한  $M$ 의 값은 3이다.

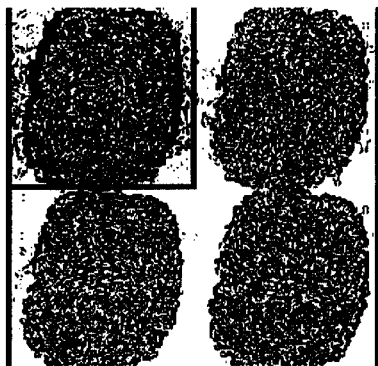
다음 과정은 코히리언스를 구하는 과정이다. 코히리언스는 경사의 단일 방향(uni-directional)특성을 가지고 있으며, 식 (12)와 같이 정의된다.

$$\rho_{mn} = k \frac{\sum_{(i,j) \in w} |G_{mn} \cos(\theta_{mn} - \theta_{ij})|}{\sum_{(i,j) \in w} |G_{mn}|} \quad (12)$$

식(12)에서  $W$ 는 연산에 사용하는 윈도우를 나타내며, 본 논문의 경우에는  $5 \times 5$ 의 크기를 사용한다. 따라서 좌표  $(m, n)$ 에서의 코히리언스  $\rho_{mn}$ 은 좌표  $(m, n)$ 을 중심으로 주위  $5 \times 5$ 에 위치한 좌표들의 경사와 각의 값들에 의하여 계산된다. 코히리언스의 계수  $k$ 는 1을 사용했다. 추출된 코히리언스는 앞서 언급한 경사의 단일 방향 특성뿐 아니라 경사보다 방향을 정확히 나타낼 수 있다. 그림 5는 웨이블릿 변환한 지문 영상으로부터 추출된 경사와 코히리언스를 나타낸다.



웨이블릿 변환으로부터 얻은 경사 (LL영역에만 적용)



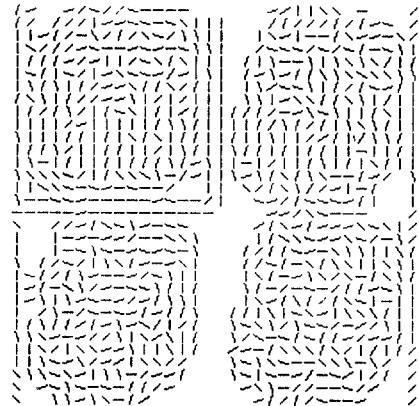
웨이블릿 변환으로부터 코히리언스 (LL영역의 경우, 경사로부터 추출)

그림 5. 지문 영상의 웨이블릿 변환로부터 경사와 코히리언스

마지막 3번째 과정은 지문 인식에 사용할 주된 국부 방향 특징벡터를 구하는 과정이다.  $N \times N$ 의 pixel에서 주된 국부 방향는 식 (13)과 같이 정의된다.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{\sum_{m=1}^{m=N} \sum_{n=1}^{n=N} \rho_{mn}^2 \sin(2\theta_{mn})}{\sum_{m=1}^{m=N} \sum_{n=1}^{n=N} \rho_{mn}^2 \cos(2\theta_{mn})} \right\} + \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

$N$ 의 값은 8이며,  $\rho_{mn}$ 는 두 번째 과정에서 구한 코히리언스 값이고,  $\theta$ 는 첫 번째 과정에서 구한 각의 값이다. Rao의 경우에는  $\rho_{mn}$ 의 값 대신에  $G_{mn}$ 의 값을 사용했다. 하지만 지문용선을 나타내는 경우에는 값  $G_{mn}$ 보다  $\rho_{mn}$ 의 값이 더 효과적임을 많은 실험을 통해 알 수 있었다. 그림 6은 그림 5와 동일한 지문 영상에 대한 주된 국부 방향 적용을 보여주고 있다.



주된 국부 방향가 적용된 영상 (주된 국부 방향 지도)

그림 6. 지문 영상에 주된 국부 방향를 적용한 경우

그림 6은 인식에 필요한 특징(feature)을 나타낸다. 특징에 쓰이는 값은  $8 \times 8$  pixels에 대해서 하나의 라디안 값으로 나타난다. 특징 값의 범위는 0부터  $\pi$ 까지이다. 이 값들이 지문 용선의 방향 정보를 나타낸다.

덧붙여서, 본 논문에서는 2개의 임계치를 사용한다. 각 임계치는 다음과 같이 정의된다.

T\_gra: 경사 크기에 대한 임계치

T\_coh: 코히리언스 크기에 대한 임계치

본 논문에서는 T<sub>gra</sub>의 경우에는 3, T<sub>coh</sub>의 경우에는 90을 사용했다. 위의 임계치 결정은 많은 지문 영상에 대한 실험에서 얻은 값이다.

2.3 제3단계 : 인식을 위한 기준점 설정 단계

제3단계는 등록영상과 입력영상을 동일한 위치에 서 인식하기 위해 필요한 단계이다.

지문 영상의 비교에서 기준이 되는 위치의 지성은 매우 중요하다. 따라서, 기준점을 결정하는 방법은 지문 인식의 성능에 직접적인 영향을 미치는 중요한 사항이다. 본 논문에서는 기준점 설정을 위하여 평균과 분산을 사용하였다. 기준점은 2단계에 걸쳐 결정되며, 웨이블렛의 LL영역에서 적용 방법은 다음과 같다. 먼저, 제 1 단계에서는 전체크기가 16×16블럭인 LL영역의 가운데 점  $P_{center}$ 을 중심으로, 9×9블럭의 유효영역안에서의 초기 기준점을 찾는다.

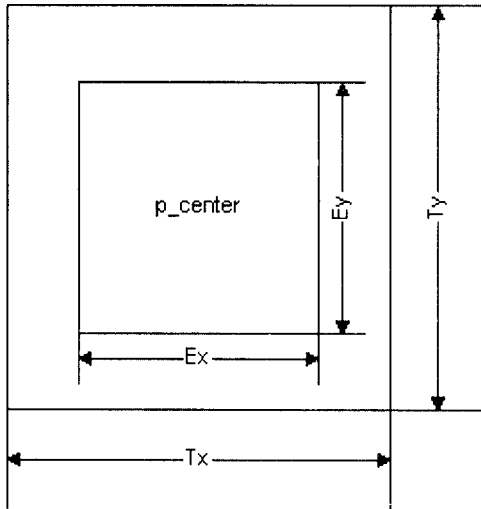


그림 7. 지문의 기준점을 찾기 위한 유효 영역

지문의 중심부로 갈수록 변곡이 심하게 일어나는 현상을 이용하여, 열과 행이 최대 분산값들이 만나는 지점을 초기 기준점으로 정한다. 식(14)에서 (17)까지 정의된 관계식을 사용하여 구한다.

$$i\text{번째 열의 평균, } d_i; \quad d_i = \frac{1}{E_x} \sum_{j=(T_x-E_x)/2}^{(T_x+E_x)/2} d_{ij} \quad (14)$$

$$i\text{번째 열의 분산, } S_i^2; S_i^2 = \frac{1}{E_x-1} \sum_{j=(T_x-E_x)/2}^{(T_x+E_x)/2} (d_{ij}-d_i)^2 \quad (15)$$

$$j\text{번째 열의 평균, } d_j; \quad d_j = \frac{1}{E_y} \sum_{i=(T_y-E_y)/2}^{(T_y+E_y)/2} d_{ij} \quad (16)$$

$$j\text{번째 열의 분산, } S_j^2; S_j^2 = \frac{1}{E_y-1} \sum_{i=(T_y-E_y)/2}^{(T_y+E_y)/2} (d_{ij}-d_j)^2 \quad (17)$$

위의 관계식들을 사용하여 얻은 점은, 즉 초기 기준점은 대략적으로 지문의 중심과 일치한다. 하지만 등록지문과 입력지문과의 관계에서는 물리적인 여러 가지 요인으로 인하여 약간의 오차가 발생한다. 따라서 보다 세밀한 기준점, 즉 최종 기준점의 설정이 요구된다. 이를 위하여 본 논문에서는 상호 상관을 이용하여 최종 기준점을 정한다. 구체적으로, 앞에서 결정된 초기 기준점을 중심으로 하여 4×4 블럭안에 존재하는 등록지문과 입력지문사이의 모든 점들에 대한 상호상관(smilarity)을 사용하여 최종 기준점을 결정한다. 상호상관의 정도  $V(m, n)$ 을 가늠하는 척도가 식 (18)에 설명되어져 있으며, 최종 기준점은 식 (19)를 만족하는 지점이다.

$$V(m, n) = \left( \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |S(m+i, n+j) - R(i, j)| \right) \quad \forall (m, n) \in N \quad (18)$$

$$V_{min} = \min \{ V(m, n) \} \quad \forall (m, n) \quad (19)$$

식 (18)에서,  $S(i, j)$ 는 입력 지문 영상의 주된 국부 방향 값이고,  $R(i, j)$ 는 등록된 지문 영상의 주된 국부 방향 값이다.

2.4 제4단계 : 입력지문의 인식 단계

제4단계는 등록지문과 입력지문을 구별하는 단계이다.

지문 인식의 최종 단계로서, 다음과 같은 순서로 진행된다. 먼저, 입력지문 영상으로부터 LL, LH, HL 영역의 중심점들을 제 3 단계에서 구한 최종 기준점으로 움직인다. 등록된 지문의 LL 영역과 입력지문의 LL영역을 사상시킨후, 상관계수 값들을 구한다. 구한 상관계수 값들이 미리정한 임계치보다 작으면 1 점을 부여한다. 부여된 점수가 영역별 임계치보다 크



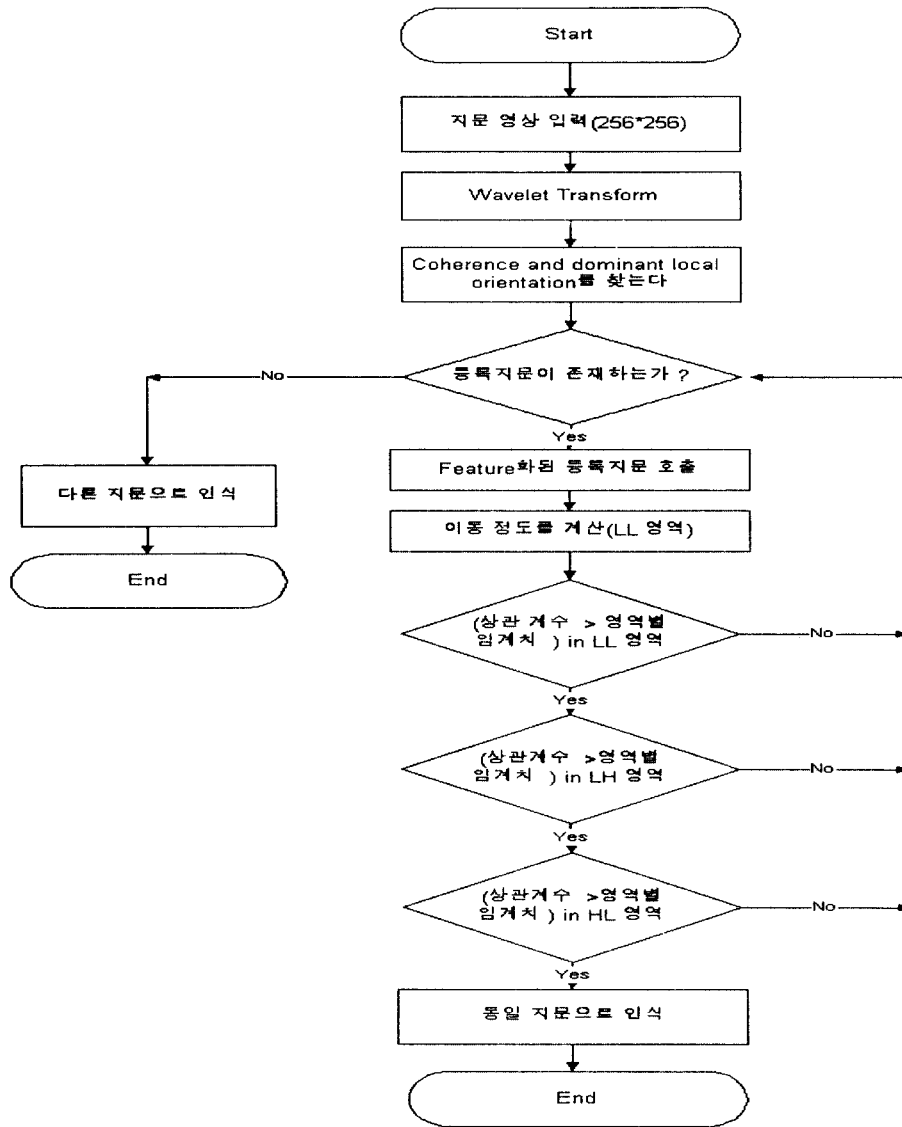


그림 8. 제안한 지문인식 알고리즘 순서도

면 다음단계인 LH영역의 사상이 시작되며, 그렇지 않으면 타인의 지문으로 인식한다. LH 영역과 HL영역도 마찬가지로 진행된다. 따라서 최종인식 방법은 모든 영역에서 영역별 임계치보다 크면 동일 지문으로 인식한다.

본 논문에서 제안하는 지문인식의 순서도가 그림 8에 설명되어져 있다.

### Ⅲ. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 환경 및 실험 방법

본 논문에서는 100명으로부터 각각 9장씩 총 900장의 오른손 검지 손가락 지문을 얻어 실험을 하였다. 지문 영상은 실리콘으로 코딩된 프리즘을 사용하여 제작된 입력장치와 프레임 그래버를 사용하여 구축

하였다. 실험은 등록지문을 10개로 하고 진행 하였다.

실험에 사용된 지문 입력부는 실리콘 코딩된 프리즘을 이용하여 간접 조명법을 사용하였다. 그러나 영상획득에 관한 장치와 방법은 본 연구의 범위를 벗어나므로 본 논문에서는 다루지 않는다. 최종 실험을 위한 지문 영상은 연령별로는 20대 47명, 30대 18명, 40대가 15명, 50대가 20명이며, 성별로는 남성이 65명 여성이 35명이다. 실험 영상은 천이는 일정량을 가지고 있으나 회전은 가능하면 발생하지 않도록 손가락 가이드를 사용하였다. 각각의 실험은 등록 지문을 제외한 나머지 모든 데이터를 가지고 실험을 했으며, 입력방법은 10개의 영상 입력이 가능하게 프로그래밍 했다. 따라서, 한 번 등록의 경우에는 89번을 수행했다. 왜냐하면, 등록되지 않은 지문 890개를 10개를 한 단위로 묶어서, 89개의 단위로 만들었고, 각 단위에서 1개씩을 뽑아서 실험을 하였다.

실험 방법은 다음과 같이 진행되는데 우선, 등록지문을 10개 선택한다. 선택 방법은 100명의 지문 영상에서 임의로 10개의 영상을 선택한다. 선택된 지문은 위에서 설명한 각 단계에 따라 특정화되어서 각각의 메모리 영역에 저장되며, 이로써 등록 단계를 마감하게 된다.

등록단계가 끝난후, 나머지 890개(89단위)에서 임의의 지문을 1단위당 1개 선택하여, 위에서 설명한 각 단계를 거친후, LL 영역에서부터 LH, HL 영역으로 진행하면서, 사상을 한다. 적절한 임계치를 찾기 위해서 사상횟수(10개의 등록지문을 선택한 후 89번의 수행시도를 사상횟수라고 한다)는 100번이었으며, 인식률을 구하기 위해서 150회의 사상횟수를 시도 했다.

제안된 알고리즘은 C-언어만을 사용하여 작성하였고 X11라이브러리를 사용한 인터페이스를 사용하였다. 하드웨어로는 16MB의 기본 메모리, 64KB의 캐쉬 메모리와 GX 그래픽보드를 가지고 있으며 SunOS 4.1.3과 한글 XWindows version 2.0.2를 사용하는 SunSparc-2 워크스테이션에서 구현되었다.

### 3.2에러의 정의

보통 인증 시스템의 경우 일반적인 인식률 보다는 다음과 같은 두 종류의 오류를 정의하여 사용한다.

Type I error: 등록된 지문을 등록되지 않은 지문으로 오인식 하는 경우(본인을 거부하는 오류)

Type II error: 등록 되지 않은 지문을 등록된 지문으로 오인식 하는 경우(타인을 인정하는 오류)

일반적으로 인증 시스템에서는 Type II 오류의 경우, 허가를 받지 않은 자에 의한 침입이 되므로 치명적인 결과를 초래하게 되므로 전체적인 오인식률을 줄이는 것 보다는 Type II 오류를 0%로 고정했을 때, Type I 오류가 얼마나 작은가로 시스템의 성능을 평가하게 된다.

### 3.3 실험 결과

실험에서 총 인식률(total error rate)이 최소일 때, 결과는 표 1과 같다. 실시간 작동을 위해 인식에 사용되지 않는 영역을 구별하였으며, 계산의 중복을 최소화하여, SunSparc-2상에서 일대일 비교하는 과정에 소요된 시간은 0.7초의 실행시간을 기록하였다.

본문의 객관성과 차별성을 나타내기 위해서는 기존의 지문인식 방법들과의 정확한 수치상의 비교가 바람직하다. 하지만 객관적인 수치비교 또한 문제를 갖고 있다. 왜냐하면 실험환경의 차이와 사용한 데이터의 종류 그리고 수량들의 차이가 존재하기 때문이다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘의 비교는 일반적인 사항을 가지고 기존 방법들과의 차이와 인식률을 비교하기로 한다. 현재까지 많이 사용되는 지문 자동 인식 시스템의 형태는 다음과 같다. 첫 번째 방법은 특징점의 위치를 벡터로 사용해서 인식하는 것이다 (Minutiae-coordinate)[10]. 두 번째 방법은 용

표 1. 실험 결과

실험	오차	Type I error (False rejection rate)	Type II error (False rejection rate)	Type II error를 0% 고정 했을때 Type I error의 값
등록지문이 10개인 경우		1.2%	0.8%	2.5%

선의 이진화·세선화를 이용해서 정교한 용선벡터를 만드는 방법 (Refined feature-based data model)[11]이고, 마지막으로 세 번째 방법은 구조적 접근방법 (Structural representation model)[12]이라 할 수 있다. 우선 첫 번째 방법과의 차이는 특징점에만 의존하지 않고 용선과 특징점 모두를 이용했다는 점이다. 특징점만을 사용하게 되면 인식 속도면에서는 향상이 되지만 약간의 손상된 지문의 경우에는 사용벡터의 신뢰성에 많은 문제가 생기게 되며, 또 다른 처리과정, 이를테면 잡음제거 과정을 추가해야한다. 제안한 본 방법은 신뢰성의 문제에서는 첫 번째의 방법보다 장점을 가지고 있을 뿐 아니라 잡음 제거 과정이 생략될 수 있다. 두 번째 방법은 이진화와 세선화라는 전처리 과정이 필요하다. 전처리과정을 줄이는 것이 실시간 구현을 하기 위해서 선행되어야 한다. 또한 더불어서 이진·세선화 과정의 지문영상의 왜곡에 대해서도 보상을 위한 처리과정이 선행되어야 한다. 본 방법의 경우, 앞서서도 언급했듯이 전처리 과정의 생략에 커다란 비중을 두고 있으며, 실시간 구현에 초점을 맞추고 있다. 세 번째 방법의 경우 불완전한 데이터의 경우에 대해서 잘 적용한다는 점과 위치에 따라 변화량이 없다는 장점을 가지고 있다. 하지만 본 논문의 경우에도 각각의 영역 분할(LL LH HL)에 의해서 손상된 데이터에 대해서도 보상이 가능할 뿐만 아니라, 유효영역의 추출에 의해서 수평·수직침입에 적용도를 상당히 가지고 있다. 또한 구조적 방법의 경우, 디지털화 된 지문영상을 매트릭스 형태로 저장해야 하는 과정과 저장시 최적화 시켜야 하는 과정이 생략되므로써, 실시간 구현에 적합한 형태로 갈 수 있다는 장점을 가지고 있다. 더불어서, 구조적인 방법의 경우 97.7%라는 인식률이 도출된 경우가 있다. 단 순히 숫자적 비교에는 문제가 있지만, 본 논문에서 사용한 결과와 거의 유사함을 볼 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 논문에서 제안된 방법은 자동 지문인식 시스템을 구현하는데 있어서 현실적으로 가장 효율적인 방법이라 할 수 있다. 현재 지문인식 시스템들이 가지고 있는 지문의 질이 떨어지면 인식률 저하, 대조시 많은 시간 소요의 문제를 가장 현실적인 방법으로 구현했다고 볼 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 등록된 다수의 지문과 하나의 입력 지문 사이의 동일성 여부를 판별하는 지문영상의 자동인식 방법으로서, 웨이블릿 변환과 경사 가우시안, 통계학적 패턴인식(statistical pattern recognition)기술을 사용하여 실시간 처리를 목표로 하고 있다.

본 논문은 지문영상의 방향패턴을 결정함에 있어  $8 \times 8$  화소크기의 단위블록에 대하여 웨이블릿 변환영역내의 주된 극부 방향를 이용함으로써, 기존의 복합적 지문인식 방법과 근본적인 차이를 가지고 있다. 지문인식에 있어서 웨이블릿을 이용함으로써, 기존의 지문인식 방법들이 채택하고 있는 평활화, 이진화, 세선화 등의 복잡한 전처리 과정을 생략할 수 있다. 또한 지문 영역과 배경의 구별, 용선의 방향결정 등이 하나의 과정으로 이루어 질 수 있었으며, 잡음 및 화상의 명암대조, 밝기 변화와 적은 평행 천이에도 쉽게 적용할 수 있다는 것이다. 그리고 다수의 등록지문 가운데 입력지문과 동일한 것을 찾는 과정에서 기준블록의 상관 계수와 방향패턴의 발생빈도수와 같은 대략적인 판별 기준을 이용하여 상이한 지문을 인식 초기에 배제할 수 있어 전체적인 처리시간을 단축시킬 수 있다.

향후 연구과제로서, 아동의 지문과 같이 영상 분해능의 차이에 따르는 앨리아싱(aliasing)의 정량적 해석이 필요하며, 회전량을 측정하는 방법이 고안되어 회전에 적용할 수 있도록 해야 하겠다. 또한, 특징추출과 인식과정에서는 여러 임계치가 이용되고 있는데, 이러한 임계치들은 현재 수많은 실험을 반복하여 결정된 값들을 사용하고 있다. 향후에는 임계치의 타당성을 정량적으로 해석할 것이다. 그리고, 최종판별과정에서 지문의 구조적인 특징점을 포함 시킨다면 인식률은 더욱 향상될 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. Randy K. Young, *Wavelet theory and its application*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
2. Daubechies, I., "Orthonormal bases of compactly supported wavelet", *Comm. Pure Appl. Math.*, Vol.41, pp.909-996, 1988.
3. N. J. Fliege, *Multirate Digital Signal Processing*,

John Wiley & Sons, 1994.

4. P. P. Validyanathan, *Multirate Systems and Filter Banks*, Prentice\_Hall, 1993.
5. A. Ravishankar RAO and Brian G. Schunck, "Computing Oriented Texture Fields," *CVGIP* Vol. 53 No. 2, March, pp 157-185, 1991.
6. K. S. Om, D. H. Lee, J. W. Kim, H. C. Kim, B. G. Min, "Flow Visualization Using Texture Fields", 춘계학술대회 논문집 18권 pp.69-72, 1996.
7. M. Kass and A. Witkin, "Analyzing oriented patterns", *Comput. Vision Graphics Image Process.* Vol.37, pp.362-385.
8. J. F. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.PAMI-8, pp.679-698, 1986.
9. O. Zuniga and R. M. Haradick, "Intergrated Directional Derivative Gradient Operators", *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-17, pp 508-517, 1987.
10. V. S. Srinivasan, "Identification of Core and Delta points in Fingerprint images", *IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp. 263-266, Tokyo, Japan, Nov 1990.
11. Louis Coetzee and Elizabeth C. Botha, "Fingerprint Recognition in Low Quality Images", *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 10, pp. 1441-1460, 1993.
12. A. K. Hrechak and J. A. McHugh "Automated Fingerprint Recognition using Structural matching", *Pattern Recognition*, Vol. 23, No. 8, pp. 893-904, 1990.



이 우 규(Woo Kyu Lee) 정회원  
 1995년 2월:인하대학교 전자공학과 학사 졸업  
 1997년 2월:인하대학교 전자공학과 석사 졸업  
 1997년 2월~현재:LG 반도체 MP-VBD팀 설계 Gr. 연구원

※주관심분야:디지털 신호 처리/패턴인식/3차원 영상인식



정 재 호(Jae Ho Chung) 정회원  
 1982년:美 University of Maryland, College Park Campus (BSEE)  
 1984년:美 University of Maryland, Collocege Park Campus (MSEE)  
 1990년:美 Georgia Institute of

Technology(Ph.D.)

1984년~1985년:美 국방성 산하 해군연구소, 신호처리실, 연구원  
 1991년~1992년:美 AT&T Bell Laboratories, 음성신호처리 연구실, 연구원(MTS)  
 1992년~현재:인하대학교 전자공학과, (현)부교수  
 1995년~현재:한국전자통신연구원 음성언어처리 연구실, 조빙 연구원