

## 지능형 홍채 인식 시스템

# An Intelligent Iris Recognition System

김재민 · 조성원 · 김수린

Jaemin Kim · Seongwon Cho · Soolin Kim

홍익대학교 전자전기공학부

### 요 약

본 논문은 품질 검사, 홍채 위치 측정, 특징 추출, 검증으로 구성된 지능형 홍채 인식 시스템을 소개한다. 품질 검사를 위하여 동공 경계에 관한 국부적 통계를 사용한다. 홍채 영역을 분리하고 찾기 위하여 잘 알려진 가우시안 혼합 모형(Gaussian mixture model)을 사용한다. 특징 추출 방법은 최적화된 파형단순화를 기초로 한다. 검증을 위해서 지능형 가변 임계값을 사용한다.

### Abstract

This paper presents an intelligent iris recognition system which consists of quality check, iris localization, feature extraction, and verification. For the quality check, the local statistics on the pupil boundary is used. Gaussian mixture model is used to segment and localized the iris region. The feature extraction method is based on an optimal waveform simplification. For the verification, we use an intelligent variable threshold.

**Key words** : Iris Recognition, Variable Threshold. Waveform Simplification. Feature Extraction.

## 1. 서 론

이전의 홍채 인식 시스템들은 매우 양질의 입력 영상을 필요로 하는 동시에 눈의 회전 이동에 결과가 민감하게 반응한다는 단점을 가지고 있다. 홍채 인식의 기초는 Daugman과 Wildes 등에 의해 세워졌는데[1, 2], 이 두 시스템 역시 성공적인 인식을 위해서는 균일한 화질의 좋은 영상을 얻어야 한다. 이를 위해서 정교한 고가의 영상획득 시스템을 필요로 한다. 하지만, 이런 조건은 시스템의 실제적인 응용을 위해선 극복되어야 할 과제가 된다. Boles는 웨이블릿 변환에 의해 생성되는 제로크로싱 점(zero-crossing points)들을 이용하는 인식 방법을 제시했다[3]. 이 경우, 동일한 사람의 홍채일지라도 각 샘플 이미지에 따라 제로크로싱 점들의 개수가 다를 수 있으므로, 새로운 유사도 측정 함수인 이진 햄밍 거리(binary hamming distance)를 사용한다[4].

일반적으로, 홍채 인식 시스템은 다음의 네 가지 단계 영상획득, 전처리, 특징 추출, 검증(Verification)을 가지고 있다. 본 논문에서는 홍채 영상 품질 검사, 웨이블릿 변환과 파형 단순화를 통한 노이즈에 강인한 특징추출과 검증에 사용되는 임계값을 홍채 패턴에 연동시키는 가변 임계값을 이용한 검증 방법에 대하여 중점적으로 기술한다.

## 2. 제안하는 홍채 인식 알고리즘

### 2.1 입력 영상의 품질 검사 및 홍채 특징 추출

제안하는 홍채 인식 알고리즘은 우선 입력되는 눈 영상에 대한 품질 검사 과정으로부터 시작된다. 이는 품질 검사를 통해 선명한 이미지만을 골라 등록 및 검증을 위한 과정으로 넘겨주어 그 효율성과 신뢰성을 높이기 위함이다. 품질 검사는 동공 경계를 기준으로 한 주변 영역의 구배율(gradient) 값과 분산(contrast) 값을 계산함으로써 이루어진다[5]. 이때, 동공 경계에서의 구배율을  $\nabla g$ , 분산을  $\sigma_g$ 라고 할 때, 영상의 선명도 계수  $q_g$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q_g = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{\sigma_g}{\nabla g}} \quad (1)$$

위의 품질 검사를 통과한 선명한 입력 영상은 실제 등록 및 검증 과정을 위해 홍채 영역 추출 과정을 거치게 된다. 홍채 영역 추출은 홍채를 구분시켜주는 동공과 림버스(limbus)의 두 원형 경계를 찾아 이를 기준으로 하여 그 가운데 부분인 홍채 영역만을 분리해내는 과정이다. 입력된 눈 영상에서 동공과 림버스의 경계를 검출하는 예를 다음의 그림 1에 나타내었다.

그림 1과 같이 홍채 이미지가 분리되고 나면 두 경계사이의 홍채 영역으로부터 실제 홍채 특징 추출을 위한 신호  $f(i, j)$ 가 생성된다. 그림 1을 참고할 때 신호  $f(i, j)$ 는 다음과 같다.

$$f(i, j) = f[r_j \cos(\theta_j), r_j \sin(\theta_j)] \quad (2)$$

where,  $i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2$   
 $\theta_i = i \cdot (\theta_2 - \theta_1) / N_1, r_j = j \cdot \Delta R(\theta_j)$   
 $\Delta R(\theta_j) = |k(\theta_j) - p(\theta_j)| / N_2$

접수일자 : 2004년 5월 27일

완료일자 : 2004년 6월 30일

감사의 글 : 본 연구는 2003년 홍익대학교 연구 기금의 지원 받았습니다.

여기서,  $f(i, j)$ 는 2차원 화소 밝기 신호이고  $\theta_i$ 의 범위는  $[\theta_1, \theta_2]$ 이며,  $l(\theta_i)$ 와  $p(\theta_i)$ 는 각각 림버스와 동공 경계상의 한 점이다. 생성된 영상은 그림 2에 나타내었다.

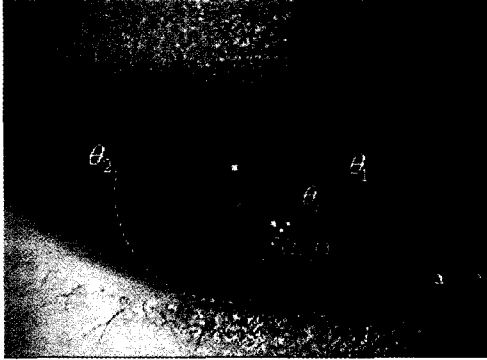


그림 1. 홍채의 내·외부 경계 검출.

Fig. 1. Detection of inner and outer boundary of iris.

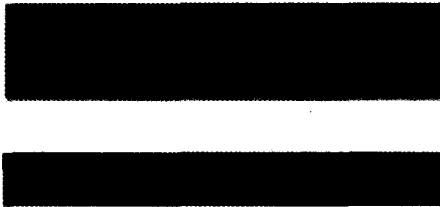


그림 2. 분리된 홍채 이미지.

Fig. 2. Localized iris images.

이렇게 생성된 신호는 각 주파수 대역의 성분으로 분해되는 과정을 거치게 된다. 신호 분해(Signal decomposition)는 신호  $f(i, j)$ 에 일련의 다른 스케일을 가지는 가우시안 함수  $\varphi(2^{L-i}x)$ 를 적용하여 필요한 주파수 대역의 성분  $f_i$ 을 얻어내는 과정이다. 신호  $f(i, j)$ 가 분해 과정을 거쳐 실제 검출에 사용될 특징 코드로 생성되기까지의 과정을 다음의 그림 3에 나타내었다.

이 때, 다른 스케일의 가우시안 함수에 의해 분해된 각 주파수 성분 신호  $f_i$ 는 파형 생성(waveform generation) 단계를 거쳐 신호의 주요한 특징인 극소점과 극대점을 노드(node)로 하여 이루어진 구분 선형 곡선(piecewise linear curve)로 생성된다. 다음의 그림 4에 파형 생성을 거쳐 생성된 구분 선형 곡선이 파형 단순화(curve simplification) 과정을 거쳐 특정 웨이블릿 특징(wavelet feature)  $W_i$ 로 생성되는 예를 나타내었다.

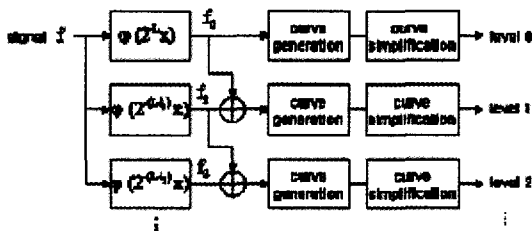


그림 3. 특징 코드 생성 과정.

Fig. 3. Process of feature code generation.

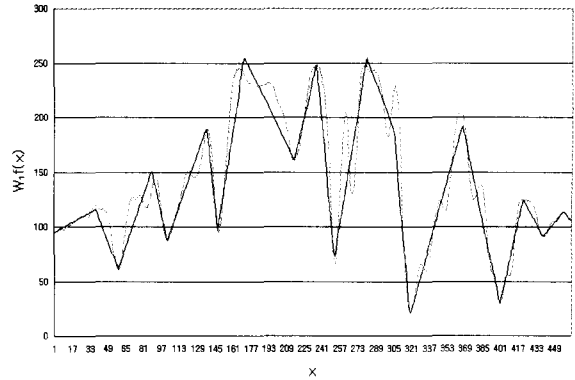


그림 4. Curve simplification에 의한 웨이블릿 특징의 생성.  
Fig. 4. Wavelet feature generation using curve simplification algorithm.

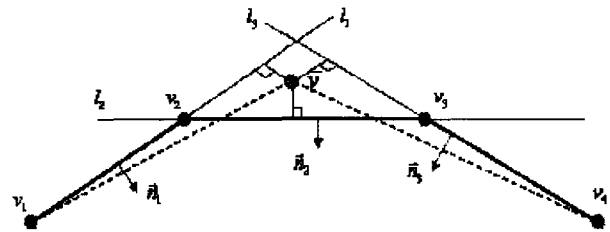


그림 5. Edge collapse 기준.

Fig. 5. Criterion of edge collapse.

여기서 파형 단순화는 입력되는 구분 선형 곡선을 전체적인 형태에 영향을 덜 주는 순으로 단순화 시켜 가는 알고리즘이다. 파형을 단순화시키는 과정은 그림 5와 같이 두 노드  $v_1$ 과  $v_2$ 를 새로운 노드  $\bar{v}$ 로 통합하는 것이다. 두 노드의 통합으로 인하여 변형되는 파형은 세 삼각형  $v_1v_2\bar{v}$ ,  $v_2v_3\bar{v}$ ,  $v_3v_4\bar{v}$ 로 나타내며, 파형의 왜곡을 최소로 줄이기 세 삼각형의 에너지의 합을 최소로 하는 것이다. 이는 아래의 수식 (3)으로 나타낸다.

$$\min_{\bar{v}} [\sum_i w_i (n_i \cdot \bar{v} + c_i)^2] \quad (3)$$

where ,

$\bar{v}$  : 최적의 통합 노드

pair ( $v_i, v_{i+1}$ ),

$n_i$  : ( $v_i, v_{i+1}$ )의 수직인 법선,

( $n_i \cdot \bar{v} + c_i$ ) :  $\bar{v}$ 와  $l_i$ 사이의 거리 ,

$w_i$  : ( $v_i, v_{i+1}$ )의 거리.

## 2.2 생성된 홍채 특징 코드를 이용한 검증 방법

실제 검증을 위한 유사도 비교에 앞서 이루어져야 할 문제는 비교 대상이 되는 두 단순화된 파형 사이의 위치이동(shift)보정이다. 위치이동 정보는 그림 3에서 최저 주파수 대역(lowest frequency band) 정보인 level0 출력으로부터 얻어진 두 비교 대상 curve사이의 projection을 통해 구한다. 다음으로 실제적인 홍채 패턴 검증은 노드들로 이루어진 두 단순화된 파형 사이의 정규화된 상관계수(normalized

correlation coefficient)를 계산함으로써 이루어진다. 정규화된 상관계수는 다음과 같다.

$$\frac{\langle f, g \rangle}{\sigma(f)\sigma(g)}$$

where,

- < > : 평균 연산자,
- < f • g > : elementwise product ,
- σ : 표준분산.

이 때, 각 신호는 중간 주파수 대역(mid frequency band)의 성분을 사용하므로 직류(DC)성분을 가지고 있지 않다.

### 2.3 Zero crossing 방법과의 비교

[3], [4]에서 사용된 웨이블릿의 제로 크로싱 점은 본 논문의 구분 선형 곡선의 노드에 대응된다. 제로 크로싱 방법의 주요 문제점은 비교 대상들의 제로 크로싱 점과 동일해야 한다는 점이다. 이런 요구 사항은 잘못된 제로 크로싱 제거 방법[4]를 사용하더라도 실제적인 응용에 있어 치명적인 약점으로 작용할 수밖에 없다.

이런 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 파형을 유지하면서 쉽게 덜 중요한 노드 점을 제거해 나가는 방법으로 구분 선형 곡선을 사용한다. 이렇게 함으로써 동일 개수의 최적 노드를 갖는 두 단순화된 파형을 생성할 수 있고, 이를 통해 정규화된 상관계수의 계산이 가능한 것이다.

특징 추출의 경우 제로 크로싱 방법은 다중해상도 레벨상의 신호  $f_{i+1}$ 을 사용하는 반면, 본 논문에서는 일련의 다중 해상도 신호의 차이  $(f_{i+1} - f_i)$ 를 사용한다. 두 신호  $f$  와  $g$  사이의 유사도 측정의 경우  $\langle (f_{i+1} - f_i), (g_{i+1} - g_i) \rangle$  가  $\langle f_{i+1}, g_{i+1} \rangle$  보다 향상된 결과를 보이는데 이것은 다음과 같은 이유에서이다.

1. 두 신호 사이의 상관관계  $\langle f_{i+1}, g_{i+1} \rangle$ 은  $\langle f_i, g_i \rangle + \langle (f_{i+1} - f_i), (g_{i+1} - g_i) \rangle$ 로 근사화 할 수 있는데 이것은 다른 주파수 대역에 있는 두 성분 사이의 상관관계의 영향을 무시할 수 있기 때문이다.
2. 저해상도 레벨 상의 유사도 비교에 이미  $\langle f_i, g_i \rangle \approx \langle f_{i-1}, g_{i-1} \rangle + \langle (f_i - f_{i-1}), (g_i - g_{i-1}) \rangle$ 을 사용했기 때문이다.

### 2.4 가변 임계값을 이용한 지능형 홍채 검증 시스템

제안하는 방법은 각 홍채 패턴을 검증함에 있어 홍채 패턴의 특징에 따라 다른 임계값(threshold value)을 적용하여 오인식율(false accept rate)과 오거부율(false reject rate)을 낮추는 기술 기반을 제공하는 것이다. 가변 임계값을 적용할 수 있게 생체패턴의 등록 단계에서 등록하는 패턴의 잡영에 따른 유사도 분포와 등록하는 패턴과 기존 저장된 패턴간의 유사도 분포를 계산하여 함수로 표시하고 이를 바탕으로 최적의 임계값을 계산하는 것이다. 실시간 구현을 위하여 새로운 패턴이 등록될 때마다 패턴 상호간의 유사도 분포를 갱신하고 이를 바탕으로 각 패턴에 따라 설정된 임계값을 갱신하는 것이다.

등록과정에서는 N개의 획득한 홍채 영상으로부터 특징을 추출과 양자화 과정을 거쳐 형성된 N개의 특징코드로부터  $N^2$  개의 유사도를 계산하고 유사도 분포를 일반화된 가우시안 함수(generalized Gaussian distribution)함수로 모델링한다. 기존 데이터 베이스에 저장된 M개의 홍채 특징 코드

와

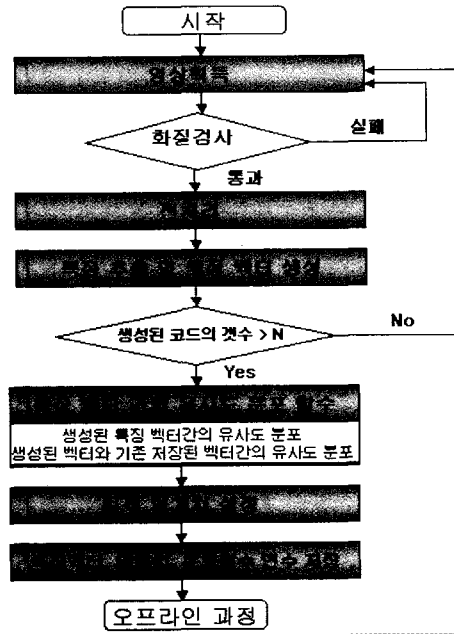


그림 6. 가변 임계값을 이용한 지능형 홍채 검증 시스템의 등록 과정.

Fig. 6. Registration procedure of intelligent iris recognition system using variable threshold values.

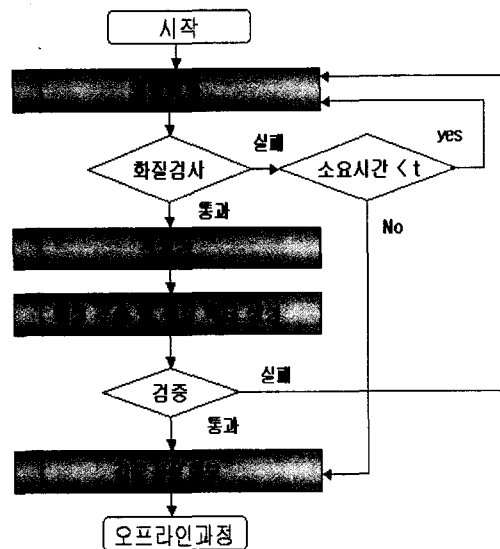


그림 7. 가변 임계값을 이용한 홍채 검증 시스템의 검증 과정.

Fig. 7. Verification procedure of intelligent iris recognition system using variable threshold values.

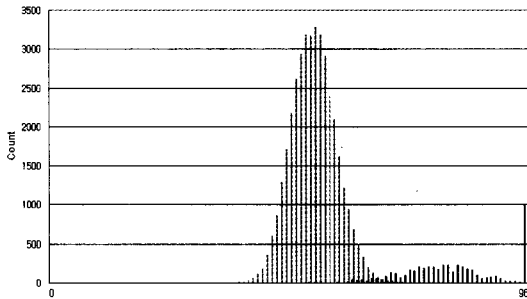
$N \times M$  개의 유사도를 계산하고 유사도 분포를 일반화된 가우시안 함수(generalized Gaussian distribution)함수로 모델링 한다. 두 유사도 분포함수를 이용하여 오인식율(false accept rate)을 만족하면서 오차를 최소로 하는 임계값을 설정한다. 현재 등록하는 홍채의 동일패턴간의  $N^2$  개의 유사도를 나타내는 함수의 변수 값을 양자화 하여 등록코드에 포함시킨다.

검증과정에서는 추출된 특징값을 양자화 하여 특징벡터를 생성하고, 기존의 데이터베이스에 저장된 특징 벡터와 유사도를 계산한다. 계산된 유사도가 특징 코드에 저장된 임계값보다 크면 동일 홍채로 검증되고, 유사도가 임계값보다 작으면 거부된다.

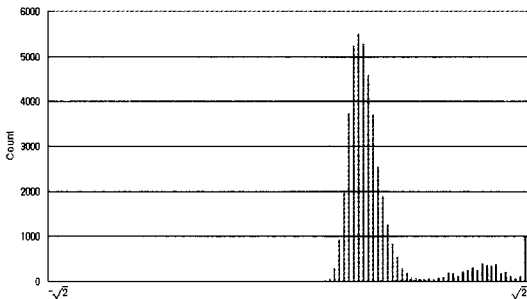
그림 6과 7은 각각 가변 임계값을 이용한 홍채검증시스템의 등록과정과 검증과정의 흐름도를 보여주고 있다.

#### 4. 실험 결과

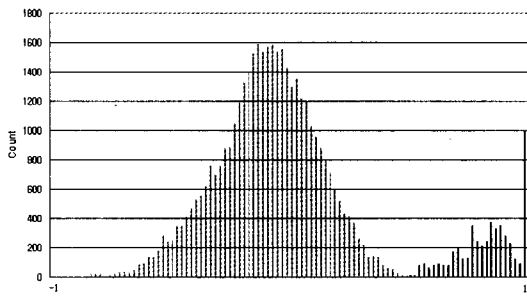
실험을 위해 사용된 홍채 데이터베이스는 서로 다른 외부 조건에서 40명의 눈에 대해 1인당 5장씩 찍힌 총 200장의 눈 영상들로 이루어져 있다. 데이터베이스는 반사광, 눈썹과 그 그림자, 움직임에 의한 흐려짐(motion blur), 초점의 불일치에 의한 흐려짐(slight focus blur) 등의 다양한 노이즈에 의해 훼손된 눈 영상을 포함하고 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. Similarity 분포: (a) Zero crossing 방법, (b) Wavelet 방법, (c) 제안한 알고리즘 방법.

Fig. 8. Similarity distribution: (a) zero crossing method, (b) the pyramid wavelet decomposition method, (c) the proposed method.

특징 추출의 경우 눈 영상으로부터 분리된 홍채 영역에서 얻어진 2-D 영상밝기신호  $f(i, j)$ 을 다시 두 성분으로 분해한다. 이 때, 가장 낮은 해상도 레벨  $f_0$  와 다음번으로 낮은 주파수 밴드인  $f_1-f_0$ 이 바로 그것이다.

실제로 실험에 사용된 많은 눈 영상들이 다양한 노이즈에 적잖이 훼손되어 있어서 그 이상의 고주파 성분을 사용하는 경우 성능을 향상시키지 못했다. 아래 그림 6에 제로크로싱 방법과 웨이블릿 방법 및 본 논문에서 제시한 방법에 의한 결과가 나타나 있다.

그림 8의 (a), (b), (c)는 각각 제로크로싱, 웨이블릿 및 본 논문에서 구현한 방법으로 동일인의 홍채와 타인의 홍채 사이의 정규화된 상관계수를 계산한 결과를 보여주고 있다.

그림 8에서 회색 막대는 다른 홍채 영상간의 비교 결과를 검은색 막대는 동일홍채 영상간의 비교 결과를 나타낸다. 그림 8 (a)의 경우 [3, 4]를 기준으로, (b)경우 [2]를 기준으로 하여 구현된 결과이다. 위 그림 8을 참고할 때 동일 database에 대하여 (a) zero crossing의 경우 3.0%, (b) wavelet method의 경우 1.16%, (c) 제안한 알고리즘의 경우 0.017%의 overlap된 결과를 얻을 수 있었다. 제안한 방법인 8. (c)가 decision boundary를 찾는데 8. (a)나 (b)보다 더 큰 margin을 제공하고 있는 것이다.

고정 임계값을 사용하는 경우 제안한 방법의 경우 0.017%의 검증 오차를 가지나, 가변 임계값을 사용하는 경우에는 0%의 검증 오차를 가진다.

본 실험의 결과는 제안한 지능형 홍채인식 시스템은 기존의 방법에 비하여 오인식율(false accept rate) 및 오거부율(false reject rate)을 낮추어 홍채검증의 정확성을 높임을 보여주고 있다.

#### 5. 결 론

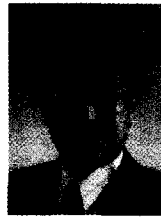
본 논문은 새로운 지능형 홍채 인식 시스템을 소개하였다. 품질 검사를 위하여 동공 경계의 흐려진 정도를 국부적 통계를 사용하여 적은 계산량으로 효과적으로 판단하였다. 특징 추출을 위하여 웨이블릿 변환을 적용하여 추출한 1차원 파형에 최적화된 파형단순화 기법을 적용하였다. 검증을 위해서 지능형 가변 임계값을 사용하였다. 제안한 방법은 비교한 두 방법들에 비해 크게 향상된 결과를 보였다. 본 논문은 앞으로 홍채 인식 시스템을 설계하는데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. Daugman : 'High Confidence Visual Recognition of Person by a Test of Statistical Independence', IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, Nov., vol. 15, pp. 1148-1161.
- [2] R. P. Wildes : 'Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology', Proceedings of the IEEE, 1997, Sept. vol. 85, pp.1348-1363.
- [3] W. W. Boles, and B. Boashah : 'A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet Transform', IEEE Trans. on Signal Processing, 1998, Apr., vol. 46, pp. 1185-1188.
- [4] D. de Martin-Roche, C. Sanchez-Avila, and R.

Sanchez-Reillo : 'Iris Recognition for Biometric Identification using Dyadic Wavelet Transform Zero-Crossing', Security Technology, 2001 IEEE 35th International Carnahan Conference on, Oct. pp. 272-277.

- [5] Marc Luxen and Wolfgang Forstner : 'Characterizing Image Quality : Blind Estimation of the Point Spread Function from a Single Image', ISPRS Commission III, Symposium 2002, Sept., pp. 202-205.



**조성원(Seongwon Cho)**  
1982년 : 서울대 전기공학과 졸업.  
1992년 : Purdue University  
전기공학과 졸업(공학박).  
현재 홍익대 전자전기공학부 부교수.

연구 분야 : 인공지능, 생체인식, 지능형 시스템, 패턴인식

Phone : 02-320-1493  
Fax : 02-320-1110  
E-mail : swcho@hongik.ac.kr

## 저 자 소개



**김재민(Jaemin Kim)**  
1984년 : 서울대 전기공학과 졸업.  
1994년 : Rensselaer Polytechnic Institute  
전기공학과 졸업 (공학박)  
현재 홍익대 전자전기공학부 부교수.

연구 분야 : 영상처리, 생체인식, 패턴인식,  
Phone : 02-320-1634

Fax : 02-320-1110  
E-mail : jaemin@hongik.ac.kr



**김수린(Soolin Kim)**  
2004년 : 홍익대 전자전기 공학부 졸업  
현재 동대학원 전기정보제어공학과  
석사과정

연구 분야 : 홍채인식, 패턴인식  
Phone : 02-320-1493  
Fax : 02-320-1110

E-mail : babtoll@hanmail.net