

논문 2008-6-1

## 홍채를 이용한 생체인식 코드 추출

# Extraction of Iris Codes for Personal Identification Using an Iris Image

양우석\*

Woo S. Yang

**요약** 본 논문은 스케일 스페이스 필터링 기법을 활용하여 홍채영상으로부터 사람마다 고유한 특징을 추출하는 방법을 제시한다. 추출되는 특징은 성능이 우수하고 신뢰도가 높아 고속의 자동 인식 시스템의 제작에 활용 될 수 있다. 제시하는 알고리즘은 우선 홍채영상으로부터 홍채 부분을 분리하고 홍채의 중심과 반경을 산출한 후, 노이즈가 심한 부분을 제거하고 2D 형태의 고유한 특징들을 추출한다. 노이즈에 대한 영향을 최소화 하기 위해 스케일 스페이스 필터링이 사용된다. 성능을 입증하기 위해 18명으로부터 얻은 272개의 홍채영상을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험결과는 제시하고 있는 알고리즘이 성능과 신뢰도 측면에서 매우 우수함을 보여준다.

**Abstract** In this paper, we introduce a new technology to extract the unique features from an iris image, which uses scale-space filtering. Resulting iris code can be used to develop a system for rapid and automatic human identification with high reliability and confidence levels. First, an iris part is separated from the whole image and the radius and center of the iris are evaluated. Next, the regions that have a high possibility of being noise are discriminated and the features presented in the highly detailed pattern are then extracted. In order to conserve the original signal while minimizing the effect of noise, scale-space filtering is applied. Experiments are performed using a set of 272 iris images taken from 18 persons. Test results show that the iris feature patterns of different persons are clearly discriminated from those of the same person.

**Key Words** : iris, human identification, biometrics, scale-space filtering

## 1. 서 론

인간의 홍채는 일관성 쌍둥이라 해도 서로 다른 무늬 패턴을 가지며, 한 가지 고정된 모습을 갖는 다른 생체적 특징과 달리 빛에 따라 크기가 항상 변하고 있어, 위조나 복사가 어려운 고유한 특징을 갖고 있다. 홍채는 빛에 따라 끊임없이 반응하는 매우 민감한 기관으로 죽은 사람과 산 사람의 눈은 바로 구별이 되며 아무리 정교하게 위조를 하였다 할지라도 이를 쉽게 감지할 수 있다. 미국을 중심으로 하는 선진국에서는 1990년대에 들어와 전자상거래가 활성화됨에 따라 홍채 영상을 이용한 신분확인

가능한 인식기술 개발에 많은 노력을 투자하고 있다.<sup>[1-8]</sup>

눈을 이용한 신분인식 기술 중 먼저 등장한 것이 망막(retina)에 있는 맥관구조 무늬를 이용한 망막 인식기술이다.<sup>[1]</sup> 맥관구조 무늬 인식은 무늬 데이터의 인식이 쉽고 인식의 정확도가 높으나 망막은 눈 속 깊은 곳에 위치하여 영상을 취득하기가 어렵다는 단점이 있다. 백내장이 있는 사람이나 눈동자가 작은 경우 망막 영상을 얻기란 쉬운 일이 아니다.

홍채를 이용한 인식기술은 망막을 이용한 인식기술에 비하여 비교적 늦게 개발이 시작되었다.<sup>[5,6,7,8]</sup> 망막과 달리 홍채는 눈의 외부에 위치하여 영상을 쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있으나 그 무늬가 너무도 복잡하여 인식하기가 어려워 1994년에서야 비로소 실질적인 인식 방안이

\*정희원, 홍익대학교 (Hongik University)  
접수일자 2008.9.18, 수정완료 2008.12.5

개발되어 미국에서 처음으로 특허가 출원<sup>[5]</sup>되었다. 현재 이 특허를 기반으로 하여 서로 밀접한 관계를 갖고 있는 Sensar사, IriScan사 등이 홍채인식과 관련된 대부분의 기반기술 특허를 소유하고 있다. 홍채영상에서 128개 이상의 독립 변수(특징)를 추출하여 256byte 이상의 홍채 코드를 작성함으로써 이론상 80억분의 1 이하의 인식이 가능하다.

이들 특허들은 조명 및 영상 취득<sup>[2,3,7,8]</sup> 홍채 위치 결정<sup>[3,4,7]</sup> 인식 알고리즘<sup>[5,6]</sup> 등 홍채 인식과 관련된 거의 대부분의 분야를 포함하고 있다. 국내에서도 홍채인식 연구가 활발히 진행되고 있다. Gabor 변환을 이용한 홍채 영상의 특징을 추출하고 LVQ 신경회로망을 응용하여 인식을 하기도 하며<sup>[9,11]</sup>, 3계층 웨이블릿 변환을 이용하여 대량의 데이터베이스 구축이 가능하도록 검색 시간을 단축하고자 하는 연구<sup>[10]</sup>도 병행되고 있다. 그러나 신경망<sup>[16]</sup>을 이용한 인식 시스템은 인식 대상자 수가 자주 변하고, 특히 많은 사람을 인식 대상으로 할 경우 신경망 학습이 어렵다는 문제가 있다. 최근들어 Sensar사와 IriScan사가 보유하고 있는 기술과 유사한 성능을 지닌 scale-space filtering을 활용한 알고리즘<sup>[17-19]</sup>이 발표되고 있다.

본 논문은 기존에 발표된 scale-space filtering을 활용한 알고리즘의 단점인 계산시간을 단축할 수 있도록 보완한 것이다. 개발된 알고리즘은 scale-space filtering 알고리즘에서의 누적연산 과정을 없앴으로써 계산시간을 단축시켰다. 제시되는 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 입증하여 향후 상용화에 활용이 가능한 홍채인식 모델을 제시한다.

## II. 홍채 특징 추출

생체 인식에 있어 인식속도와 인식률을 높이려면 우선 좋은 품질의 영상을 얻어야 한다. 홍채의 특징을 강조할 수 있는 영상을 얻기 위해서는 초점을 조절할 수 있는 카메라 렌즈 시스템의 설계와 더불어 홍채의 무늬를 enhance할 수 있는 광학적 필터의 선택이 이루어져야 한다. 또한, 조명 방향과 카메라와의 각도를 조절하여 광원이 눈에 반사되는 현상을 최소로 하여야 한다. 본 논문에서는 할로겐 램프를 광원으로 사용하고 이를 광섬유를 통하여 분산 조명을 사용하는 방법을 사용하였다.<sup>[20]</sup> 할로겐 램프는 50W 2개를 사용하였으며 1000가닥의 광섬유 다발

을 각 광원에 연결하여 카메라 주위에 부착하였다.<sup>[18,19,20]</sup> 10배의 zoom 렌즈가 부착된 CCD 카메라와 각 80mm, 200mm, 300mm의 초점거리를 가진 렌즈를 사용하고 광섬유로 조명을 하는 홍채영상 취득시스템을 구현하였다.

홍채의 무늬를 인식하려면 우선 영상에서 홍채부분을 분리 구분하여야 한다. 이를 위해서는 동공의 중심 및 반경을 계산해야 하며, 홍채 영상이 '인식'에 이용된다는 것을 고려하여 주변 환경과 광원으로 인해 노이즈가 심한 영역은 제거해야 한다. 인식이 사용하는 데이터는 불확실성이 높을 경우에는 유추하여 이용하는 것보다 처음부터 고려대상에서 제외하는 것이 오인식률을 낮출 수 있다. 홍채 영상이 구해지면 특이 성질들을 추출하게 된다.<sup>[18,19,20]</sup>

### 2.1 동공 중심 및 반경 설정

홍채의 동공은 겉으로 보기에 원 같으나 실제로는 매우 불규칙한 모습을 하고 있다. 현재까지 개발된 동공의 중심 및 반경 계산 방법들도 이를 고려하여 수 pixel의 오차범위를 갖고 있다. 동공의 중심과 반경은 동공과 홍채 사이에서 영상 값이 급격히 바뀌는 성질을 이용한다. 이를 위하여 Iriscan사의 특허<sup>[5]</sup>는 circular edge detector를 사용하고 있으며 대부분의 논문에서는 기하학적<sup>[9-10]</sup>으로 동공의 경계면을 산출한다. 눈의 모습이 비교적 단순하므로 이들 방법들은 얼마나 정확한가 보다는 얼마나 빠른가에 성능이 좌우된다. 본 논문에서도 기하학을 이용하여 동공의 중심과 반경을 계산한다.<sup>[18,19,20]</sup>

그림 1은 동공의 중심을 구한 후 이를 중심으로 홍채 영상을 극좌표로 표시한 것이다.



그림 1. 극좌표로 표시한 홍채 영상

Fig. 1. Iris Image with Respect to the Polar Coordinate System

### 2.2 불필요한 영역 삭제

인식에 있어 불확실성이 높은 정보는 처음부터 제외시키는 것이 오인식률을 낮출 수 있다. 아무리 좋은 영상이라도 주변과 광원의 영상이 맺히는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서는 통계적인 방법을 이용하여 불확실성이 높은 영상 영역, 즉 편차가 매우 낮은 영역은 인식을 위한 비교대상영역에서 제외시킨다.<sup>[18,19,20]</sup> 우선  $r$  방향으로 16X16 window  $W$ 를 8 pixel씩 이동해 가면서 평균편차가 가장 적은 영역을 찾아 조명 영역 및 기타 불필요한 부분(눈썹, 배경)을 삭제한다.<sup>[20]</sup>  $r$  방향으로 편차가 가장 작은 부분을 찾으면 다음  $\theta$  방향으로 8 pixel을 이동시켜 위 과정을 수행한다.

### 2.3 Scale-space filtering을 이용한 특징 추출

본 논문에서는 Scale-space filtering<sup>[18,19,20]</sup>을 토대로 공간 영역에서 홍채 명암 밝기의 변화율 증감의 방향, 즉 밝기의 변화가 위로 블록한지 아래로 블록한지를 이용하여 홍채 무늬의 특징을 추출한다. 변화율 증감의 방향을 이용하여 특징을 추출한다면 사람마다 편차가 큰 홍채 색깔로 인한 인식 오류를 최소화 할 수 있다.

곡면에 있어 변화율 증감의 방향은 2차 미분을 이용하여 쉽게 알 수 있다. 변화율 증감의 방향은 2차 미분의 영-교차를 경계로 변화한다. 기존의 연구<sup>[18,19]</sup>는 이를 경계점으로 하여 2차 미분 결과가 음수이면 -1, 양수이면 +1로 하여 홍채 무늬의 특징을 추출하고, 2차 미분값이 노이즈에 매우 민감함을 고려하여 노이즈에 대한 영향을 최소화하기 위한 방법으로 스케일 스페이스 필터링 방법을 개발하였다. 이 방법은 인식 효율은 매우 높으나, 홍채 영상의 scale을 변화시키며 홍채 특징을 추출한 후 이를 누적하여 홍채 코드를 도출하게 되어 계산시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 본 논문에서는 최적의 scale을 적용하여 누적 연산을 없앴으로써 계산시간을 단축시킨다.

전처리 과정을 통해 재구성된 홍채 영상은 스케일 스페이스 필터링을 이용하여 홍채 패턴을 추출한다. 사람의 동공은 정확한 원의 형태를 취하지 않기 때문에 같은 사람의 홍채 영상마다 동공의 중심이 약간씩 차이를 보일 수 있다. 이 때문에 발생하는 오차를 방지하기 위해  $r$  방향으로  $\sigma$  가 작은 가우시안 함수를 컨벌루션한 후  $\theta$  방향으로만 스케일 스페이스 필터링을 한다.

제안된 스케일 스페이스 필터링을 이용하여 홍채 영상에 대해  $r$  축으로 한줄을 뽑아 각 해상도별 검출되는 특이점과 추출된 패턴을 확인해 본다. 그림 2(a)는 홍채 영상의 단면, 즉 그레이값을 표시한 것이고, 그림 2(b)는 원래 영상에 대해 제안된 스케일 스페이스 필터링을 이

용하여 특이점들을 찾은 결과이다. 가우시안 함수의  $\sigma$  가 작을 경우 영상값의 세밀한 변화와 노이즈의 영향을 많이 받으며,  $\sigma$  가 커질수록 이들을 평균한 값들, 즉, 넓은 영역을 대상으로 패턴을 추출하는 것을 볼 수 있다.

그림 3는 임의의 홍채 영상에 대하여 제시한 스케일 스페이스 필터링을 이용하여 추출한 홍채 특징을 나타낸 영상이다. 결과 영상은 평균 45% 정도가 1, 나머지가 0으로 이루어진다.

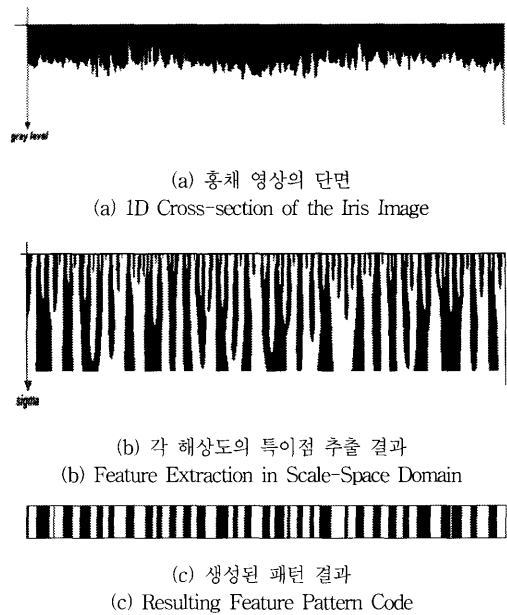


그림 2. 1차원 홍채 패턴 추출 예  
Fig. 2. Example of 1 Dimensional Feature Extraction

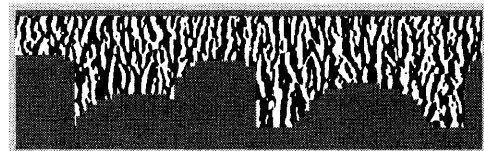


그림 3. 극좌표로 표시한 홍채 영상  
Fig. 3. Iris Image with Respect to the Polar Coordinate System

## III. 홍채 코드 추출

본 논문에서는 스케일 스페이스 필터링을 이용하여 특이점들을 찾고 있다. 가우시안 함수의  $\sigma$  의 값에 따라

영상값의 변화 정도와 노이즈의 영향을 받게 된다. 영상의 Fourier 변환을 분석하여 최적의  $\sigma$  값을 구한다. 가우시안 함수,  $g_{\sigma}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2})$ 의 Fourier 변환은 역시 가우시안 함수,  $G_{\sigma}(f) = \exp(-2\pi^2\sigma^2 f^2)$ 이다. 즉  $\sigma$  인 가우시안 함수를 사용한 스케일링은 대역이  $\sigma/2\pi$ 인 저주파 필터링과 같은 효과를 갖는다.

그림 4는 극좌표로 변환한 그림 5의 200×480의 홍채 영상에서 1라인씩 DFT를 한 것을 보여준다. 라인별 1D DFT를 보면 모두 3번째 값부터 크기가 급격히 감소하여 10번째 이후는 거의 0에 가까운 결과를 보이고 있다. Nyquist 이론을 고려하면 k=20 이상의 주파수 대역이라면 원 영상이 갖는 성질의 손실이 거의 없이 스케일링이 가능함을 알 수 있다. k=20인 주파수 대역의 경우  $\sigma$  값은 약 4.5가 된다.

$\sigma$  가 4.5인 해상도에 대해 특징점들을 추출하여 이를 이진화한 것이 위의 그림 3이며 하나의 라인을 대상으로 실제 사용할 홍채 패턴을 구성한 것이 그림 2(c)이다.

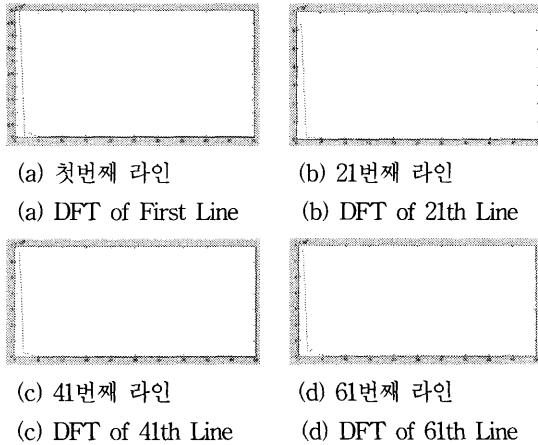


그림 4. 라인별 1D DFT 결과  
Fig 4. 1D DFT of Polar Iris Image



그림 5. 극좌표로 표시한 홍채 영상  
Fig. 5. Iris Image in Polar Coordinate System

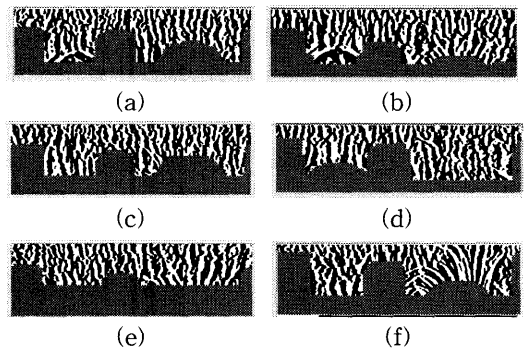
## IV. 성능 분석

### 4.1 실험

실험을 위하여 10명의 양쪽 눈, 즉, 20개의 홍채를 대상으로 각 10장씩 200개의 640×480 흑백 홍채 영상을 취득하였다. 홍채 코드 도출에 앞서 동공의 위치와 반지름을 구하고 불필요한 영역을 제거하였다. 실험 결과 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 iteration 당 0.08초로 최대 4회, 최소 2회, 평균 2.75회 0.22초안에 홍채의 위치와 동공의 지름을 2 화소 이내의 오차로 계산하는 것을 볼 수 있다. 홍채 영상이 구해지면 신뢰도가 낮은 불필요한 영역을 제거하고 스케일 스페이스 필터링을 한다. 불필요한 영역은 조명이 반사하는 영역과 눈썹등에 해당하는 영역으로 동공의 안쪽에서 바깥 방향으로 16X16 윈도우를 8 화소씩 움직여 편차를 구해 찾는다. 그림 10은 불확실성이 높은 영역을 제거한 인식에 사용하고자하는 영상의 모습을 보여준다. 실험결과 불필요한 영역 삭제에 평균 0.11초가 소요된다. 홍채영상이 구해지면  $\sigma = 4.5$ 로 스케일 스페이스 필터링을 한다. 윈도우의 크기는 1X19로 하였다.

홍채 패턴이 사람마다 다른 정도를 측정하기 위하여 추출된 홍채코드를 서로 XOR하였다. 동일한 지점은 0, 서로 다른 지점은 1로 나타나기 때문에 서로 상이한 정도를 손쉽게 알 수 있다. 제시하는 알고리즘의 효능을 입증하기 위하여 동일인에 대하여서는 764 회의 서로 다른 영상을 대상으로 실험을 하였으며, 특히 서로 다른 홍채를 대상으로는 6250 회의 영상을 대상으로 실험을 하였다.

그림 6은  $\sigma$ 가 4.5일 때 20명의 홍채 코드를 추출한 영상이다.



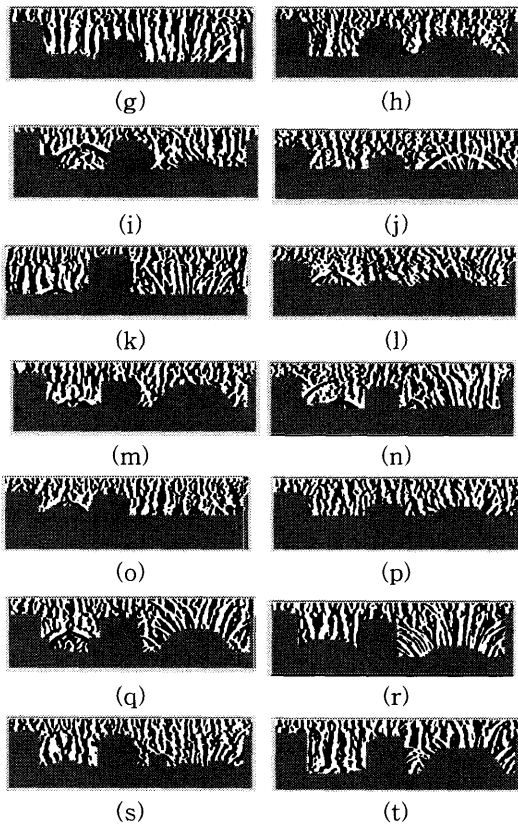


그림 6. 20명의 홍채코드 이미지  
Figure 6. Iris Code Image of 20 Persons

#### 4.2 성능 분석

성능을 분석하기 위해  $\sigma$ 가 45일 때 추출된 홍채 코드 별 다른 사람에 대해 일치하는 영역이 나타나는 비율의 횡수를 이용하여 모델링 하였다. 모델링은 다음 식과 같이 가우시안을 사용하였다.

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(X-M)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

그림 7은 20명의 각 10장씩의 홍채이미지를 이용하여 다른 사람에 대해 6400개의 데이터를 PDF로 표시하고 식 (1)을 사용하여 최적의 평균  $M$ 값과  $\sigma$ 값을 구하여 그런 것이다. 실험데이터는  $M=50.7$ ,  $\sigma=1.665603004$ 를 나타냈다.

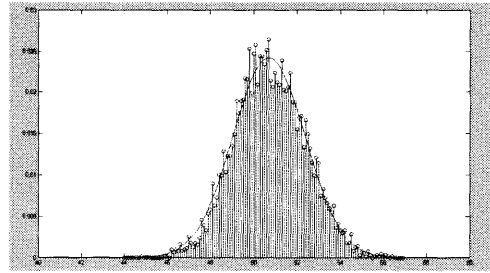


그림 7. 다른 사람의 True %분포  
Figure 7. Distribution of True % of Different Persons

그림 8은 추출된 홍채코드를 서로 XOR한 결과에 대한 Hamming distance distribution (HD)을 보여준다. 좌측의 분포도는 서로 다른 홍채 영상의 경우이며 우측은 동일한 홍채에서 얻은 영상들을 대상으로 실험한 결과의 분포도이다. Authentic과 imposter 집단사이에 겹치는 부분이 없음을 제시하는 알고리즘이 매우 효율적임을 보여준다. 만약 HD를 60으로 설정한다면 FRR는 45/764, 특히 FAR은 0/6250을 나타내 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. FAR의 경우 6,250번의 실험에서 단 한 것의 오류도 발생하지 않음을 보여준다.

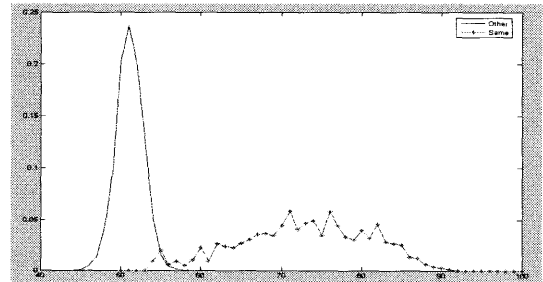


그림 8. hamming Distance 분포도  
Fig. 8. Distribution of the Hamming Distance

## V. 결 론

홍채 인식은 조명부 설계, 영상 처리, 패턴 인식 등 다양한 이론과 응용분야 기술을 필요로 한다. 눈을 이용한 인식기술은 지문인식에 비하여 아직 초기단계에 있다. 선진각국에서는 홍채인식과 관련된 국제규격을 준비중에 있는 바, 홍채인식과 관련된 요소기술의 확보는 시급하다고 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 특정 부위 조명 방법을 제시하고 스케

일 스페이스 필터링을 이용한 홍채 영상의 특징 추출방법을 제시하였다. 홍채 영상이 구해지면 중심과 반경을 구한 후 불필요한 부분을 제거한다. 이 영상은 극좌표 영상으로 변환되어 스케일 스페이스 필터링을 한다. 스페이스 필터링 영상에서 특징이 추출되면 홍채 코드가 만들어진다.

동일인 및 서로 다른 사람에 대한 홍채 코드를 XOR하여 일치하는 영역의 비율을 측정할 결과, 서로 다른 사람의 경우 완전한 불규칙 변수인 경우 두 신호가 일치할 확률인 50%를 약간 상회하였으며 동일인의 경우 일치하는 영역이 전체 비교 영역에서 매우 높게 나타났다. 이는 제시한 특징추출 방법이 매우 효과적임을 보여준다. 또한, 비록 실험에 사용된 샘플의 수가 충분치 못하지만, 동일인에 대한 코드 일치도 분포 그래프와 다른 사람에 대한 코드 일치 분포도가 전혀 겹치지 않아 인식에 대한 신뢰도도 높다고 할 수 있다. 본 논문에서 제시하는 방법은 기존 스케일 스페이스 필터링 기법의 단점인 계산 시간을 단축한다.

### 참고문헌

[1] Hill, Robert B., "Apparatus and method for identifying individuals through their retinal vasculature patterns", U.S. Patent No 4109237, 1978.

[2] Leonard, Safir, Aran, "Iris recognition system", U.S. Patent No 4641349, 1987.

[3] Anderson, Charles H, Carlson, Curtis R., "Image-data reduction technique", U.S. Patent No. 4692806, 1987.

[4] Tomono, Akira, et al., "Eye tracking image pickup apparatus for separating noise from feature portions", U.S. Patent No. 5016282, 1991.

[5] Daugman, John G., "Biometric personal identification system based on iris analysis", U.S. Patent No. 5291560, 1994.

[6] Wildes, Richard P., et al., "Automated, non-invasive iris recognition system and method", U.S. Patent No. 5572596, 1996.

[7] Salganicoff, Marcos, et al., "Method and

apparatus for illuminating and imaging eyes through eyeglasses using multiple sources of illumination", U.S. Patent No. 6055322, 2000.

[8] Rozmus, Michael, J., et al., "Method and apparatus for illuminating and imaging eyes through eyeglasses", U.S. Patent No. 6069967, 2000.

[9] 조성원, 성혁인, 이필주, 임철수, "Gabor 변환과 신경회로망을 이용한 홍채인식 Human Iris Recognition Using Gabor Transform and Neural Network", 한국퍼지 및 지능시스템학회 '97 추계 학술대회 학술발표논문집, pp.397-401, 1997.

[10] 이상기, 김상연, 윤정모, "홍채인식시스템의 검색 시간 단축에 관한 연구", 99 추계 학술발표논문집, 한국정보처리학회, pp.215-218, 1999.

[11] 조성원, "웨이브렛 변환과 LVQ를 이용한 홍채인식 시스템" 전자공학회 논문집, Vol. 49D, No. 7, pp.389-397, 2000년 7월.

[12] Johnson R.A. and Wichern D.W., Applied Multivariate Statistical Analysis 3rd edition, Prentice-Hall. 1992.

[13] Ripley B.D., Pattern Recognition and Neural Networks, CAMBRIDGE University Press. 1996.

[14] S-plus User's manual, MathSoft.

[15] Wayman J.L., A Scientific approach to evaluating Biometric Systems using a mathematical methodology, <http://www.engresearch.org/biometrics>.

[16] 양우석 외, "CPN을 이용한 홍채인식", 전기전자학회논문지, 6권 1호, pp10-20, 2002년 5월

[17] 양우석 외, "스케일 스페이스 필터링을 이용한 홍채 특징 추출", 전기전자학회논문지, 6권 2호, pp169-177, 2002년 10월

[18] Woo Suk Yang, et al., "A Feature Extraction Method for Binary Iris Code Construction", Int. Conf. on Information Technology for Application, 2003

[19] Woo Suk Yang, et al., "A New Feature Extraction for Iris Identification Using Scale-Space Filtering Techniques", IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics communications

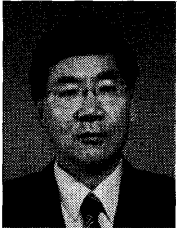
and computer sciences, Vol. 87. No. 12,  
pp.3404-3408, 2004년 12월

[20] 양우석, “홍채 영상을 이용한 생체 인식”, 한국인  
터넷방송통신TV학회 논문지, 7권 6호, pp73-82,  
2007. 12

※ 이 논문은 2007학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

## 저자 소개

### 梁雨錫(Woo Suk Yang) 정회원



- 1979년 서울대학교 전기공학과 졸업.
- 1990년 미국 North Carolina State Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)
- 1978년 - 1884년 (주) 대우.
- 1990년 - 1991년 LG전자 생산기술연구원 책임연구원(부장)

• 현재 홍익대학교 전자전기공학과 교수

<주관심분야 : 생체인식, 패턴인식, 컴퓨터비전, FA>