

논문 2007-44SP-3-7

## 극 좌표계 원형 홍채영상에서의 특징 검출에 의한 홍채인식 연구

( A Study on Iris Recognition by Iris Feature Extraction from Polar Coordinate Circular Iris Region )

정대식\*, 박강령\*\*

( Dae Sik Jeong and Kang Ryoung Park )

## 요약

기존의 연구에서는 홍채 특징 추출을 위해 검출된 원형 홍채 영역을 직교 사각형 홍채 영상으로 스트레칭 및 보간 하는 작업을 수행하였다. 이러한 경우 실제 홍채 특징이 왜곡되는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 홍채 영상의 왜곡 없이 정확하게 홍채 특징을 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 본 연구는 다음과 같은 세 가지 장점을 가지고 있다. 첫 번째, 극좌표 원형 영상 방식을 이용하여 기존의 직교 사각형 영상 방식보다 인식 성능 면에서 우수하다는 점을 해밍거리, 코사인거리, 유클리디안 거리의 3가지 metric을 이용하여 실제로 비교해본 점이며, 두 번째, 최근 홍채인식 연구의 주된 흐름인 품질이 좋지 못한 Non-Ideal 홍채 영상 중 하나의 형태인 홍채 카메라의 중심을 쳐다보지 않은 상태에서 취득된 홍채 영상의 동공과 홍채 중심 위치가 많이 차이나는 경우에 동공과 홍채 경계를 각각 원형 경계 검출로 경계를 찾은 후, 영상에 대한 보간(interpolation)없이 극좌표 원형 홍채 영상에서 직접 특징을 추출함으로써 홍채인식의 성능을 향상한 점이다. 마지막 세 번째는 극좌표 원형 방식을 사용할 경우 발생하는 중복 포인트 문제를 해결한 것이다. 이러한 중복 포인트들은 같은 위치에서 여러 홍채 특징을 추출하는 현상을 야기함으로써 저주파 홍채 특징을 생성하는 결과를 낳게 된다. 즉, 홍채 특징의 신호 변화가 실제로 존재함에도 불구하고 같은 위치에서의 여러 홍채 특징들을 추출함으로써 파형변화가 적은 비슷한 홍채 신호를 만들게 된다. 중복 포인트가 주기적으로 많이 발생하는 동공부근의 첫 번째 트랙에 가버필터 적용 시 필터의 주파수를 작게 하여 중복 포인트에 의해 발생된 저주파 홍채 신호를 정확하게 추출하게 함으로써 홍채 인식 성능을 향상 시킨 점이다. 실험 결과, 기존의 직교 사각형 영상 기반 방식이 EER 0.29% 와  $d'$  값 5.8 이었으며, 제안하는 극좌표 원형 방식이 EER 0.16% 와  $d'$  값 6.4로 인식 성공률이 보다 높음을 알 수 있었다.

## Abstract

In previous researches for iris feature extraction, they transform a original iris image into rectangular one by stretching and interpolation, which causes the distortion of iris patterns. Consequently, it reduce iris recognition accuracy. So we are propose the method that extracts iris feature by using polar coordinates without distortion of iris patterns. Our proposed method has three strengths compared with previous researches. First, we extract iris feature directly from polar coordinate circular iris image. Though it requires a little more processing time, there is no degradation of accuracy for iris recognition and we compares the recognition performance of polar coordinate to rectangular type using by Hamming Distance, Cosine Distance and Euclidean Distance. Second, in general, the center position of pupil is different from that of iris due to camera angle, head position and gaze direction of user. So, we propose the method of iris feature detection based on polar coordinate circular iris region, which uses pupil and iris position and radius at the same time. Third, we overcome overlapped point from iris patterns by using polar coordinates circular method. each overlapped point would be extracted from the same position of iris region. To overcome such problem, we modify Gabor filter's size and frequency on first track in order to consider low frequency iris patterns caused by overlapped points. Experimental results showed that EER is 0.29%,  $d'$  is 5.9 and EER is 0.16%,  $d'$  is 6.4 in case of using conventional rectangular image and proposed method, respectively.

**Keywords:** 홍채인식(Iris Recognition), 극좌표 원형 홍채 영상(Polar Coordinate Circular Region)

\* 학생회원, 상명대학교 일반대학원 컴퓨터학과  
(Dept. of Computer Science, Sangmyung University)

\*\* 정회원, 상명대학교 디지털미디어학부  
(Division of Digital Media Technology, Sangmyung University)

※ 이 논문은 2005학년도 상명대학교 소프트웨어미디어연구소 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

접수일자: 2006년7월3일, 수정완료일: 2007년3월29일

I. 서 론

생체 인식 기술(Biometrics)은 개인의 신체부위나 습관 및 행동학적 특성을 개인 식별을 위하여 이용하는 것으로, 홍채를 이용하는 방법을 비롯하여 지문, 얼굴, 정맥, 음성, DNA등을 이용하는 방법들이 있다. 이 중에서 홍채인식은 동공과 원자위 사이에 존재하는 고유한 홍채 패턴을 사용하여 인식하는 방법으로 개개인의 독립성이 얼굴이나 지문보다도 높아 신원확인과 같은 인증 시스템에 적용시키는데 높은 신뢰성을 가지고 있다. 또한 지문이나 손 혈관 인식과는 달리 인식기기와 직접적인 접촉 없이 인식이 가능하다. 이로 인해 홍채 인식은 다른 생체 인식 기술보다 신뢰성, 편의성 및 인식이 높은 것으로 알려져 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 홍채를 이용한 생체 인식 기술은 1993년에 영국 캠브리지 대학의 J. Daugman에 의해 가버 웨이블릿 변환(Gabor Wavelet Transform)을 기반으로 하여 홍채패턴을 256비트로 코드화하는 영상신호처리 알고리즘으로 제안되었으며 현재 상용화된 제품들은 이 알고리즘에 기반을 두고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>[2][4][16]</sup> 홍채 인식 시스템은 일반적으로 두 가지 관점에서 개발 되어야 한다. 첫 번째는 사용자의 불편함을 최소화 하면서도 선명한 홍채 영상을 빠르고 손쉽게 획득하는 부분과 두 번째는 획득한 영상이 누구의 홍채인지 판단하는 홍채 인식 알고리즘을 개발하는 부분으로 이는 홍채 특징 영역 분리(Iris region localization), 홍채 특징 추출(Iris feature extraction) 및 매칭(matching)단계로 구성된다.<sup>[3]</sup> 기존 홍채 특징 추출 방식<sup>[2][4][5][8][9]</sup>에서는 원형 홍채 영상을 직교 사각형 홍채 영상으로 변환하여 사용한다. 그림 1(a)과 같은 원형 홍채 영상을 그림 1(b)과 같은 직교 사각형 영상으로 퍼는 과정에서 동공 부근에서 스트레

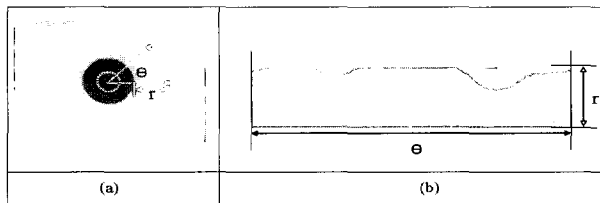


그림 1. 극좌표 원형 홍채 영상과 직교 사각형 홍채 영상  
 (a) 극좌표 원형 홍채 영상  
 (b) 직교 사각형 홍채 영상  
 Fig. 1. Polar Coordinate Circular and Rectangular iris Image.  
 (a) Polar Coordinate Circular iris Image.  
 (b) Rectangular iris Image.

칭(stretching) 및 보간(interpolation)이 발생한다. 본 논문에서는 극좌표 원형 홍채 방식을 사용하여 인식 성능을 떨어뜨리는 문제점을 해결하고 홍채 특징 위치를 보다 정확하게 추출하기 위하여 동공 중심 과 홍채 중심이 다를 경우를 고려하는 극좌표 원형 방식을 사용하여 홍채 특징 영역을 추출하기 때문에 홍채 인식율의 저하를 줄일 수 있는 장점을 가지는 동공 및 홍채의 중심, 반경 정보를 모두 이용하는 홍채 특징 위치 검출 방법을 새롭게 제안한다.

II. 극좌표 원형 홍채영상과 직교 사각형 홍채 영상

일반적으로 추출된 홍채 영역으로부터 홍채 특징을 추출하기 위해서는 1D 혹은 2D 형태의 가버 필터와 같은 웨이블릿 필터 등을 적용해야 한다.<sup>[2][4][5][8][9]</sup>

그런데 이처럼 사각형태의 웨이블릿 필터를 그림 1(a)와 같이 원형의 홍채 영역에 직접 적용하는 경우 연산 량이 많아지고 알고리즘이 복잡해지는 문제점이 발생하게 된다. 그러므로 기존의 연구에서는 그림 1(a)

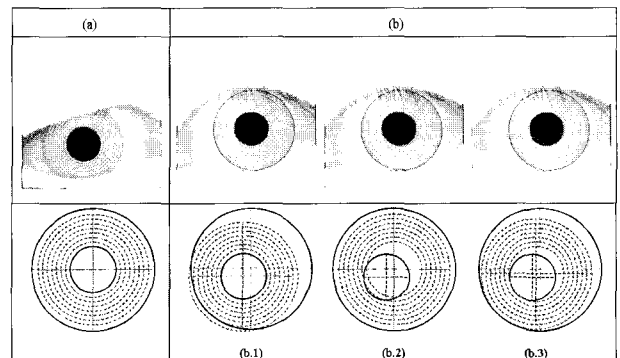


그림 2. 홍채 특징 추출의 예  
 (a) 홍채와 동공의 중심이 일치되는 경우 (동공 중심을 기준으로 홍채 특징 추출)  
 (b) 홍채와 동공의 중심이 일치되지 않는 경우  
 (b.1) 동공 중심을 기준으로 홍채 특징 추출  
 (b.2) 홍채 중심을 기준으로 홍채 특징 추출  
 (b.3) 동공과 홍채의 평균위치 중심으로 홍채 특징추출

Fig. 2. Example of iris feature extraction.  
 (a) In case that the center position of iris is equivalent to that of pupil  
 (b) In case that the center position of iris is not equivalent to that of pupil  
 (b.1) Iris feature extraction based on pupil center  
 (b.2) Iris feature extraction based on iris center  
 (b.3) Iris feature extraction based on geometric mean position of pupil and iris center

과 같은 원형 홍채 영상을 그림 1(b)과 같이 사각형 홍채 영상으로 스트레칭 및 보간 하여 이 영상에 웨이블릿 필터를 적용하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 주위 조도 변화, 카메라와 얼굴 사이의 거리 변화, 카메라 광축과 눈의 불일치 및 사용자 시선위치 등으로 인해 대부분의 눈에서 동공은 홍채의 정확한 중심에 위치하고 있지 않다. 일반적으로 동공은 홍채의 중심에서 최대 15% 정도 벗어나는 것으로 조사되고 있다.<sup>[4][6]</sup> 그림 2에서는 동공과 홍채중심의 차이가 작은 홍채 영상(그림 2(a))과 동공과 홍채 중심의 차이가 존재하는 홍채 영상에서 각각 동공중심(b.1), 홍채 중심(b.2), 및 동공과 홍채의 평균위치중심(b.3)을 기준으로 홍채 특징 추출 영역을 선정했을 때의 현상을 나타낸 것이다. 결과적으로 그림 2(b.1~b.3)의 방식으로 홍채 특징을 추출하는 경우 인식율의 저하를 낳게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 홍채 특징 위치를 보다 정확하게 추출하기 위하여, 동공 및 홍채의 중심, 반경 정보를 모두 이용하는 홍채 특징 위치 검출방법을 사용하였다.

### III. 극좌표 기반 홍채 특징 위치 추출 알고리즘

#### 1. 전체 흐름도

그림 3은 본 논문에서 제안하는 홍채 특징 추출을 위한 전체 흐름 도를 나타낸 것이다. 처음 영상 취득 단계를 거쳐 동공 및 홍채 경계 추출 단계, 눈꺼풀 경계 추출 단계, 속눈썹 추출단계를 통해 얻어진 홍채 특징 영역(Region Of Interest)에서 그림 4(b)와 같이 눈꺼풀에

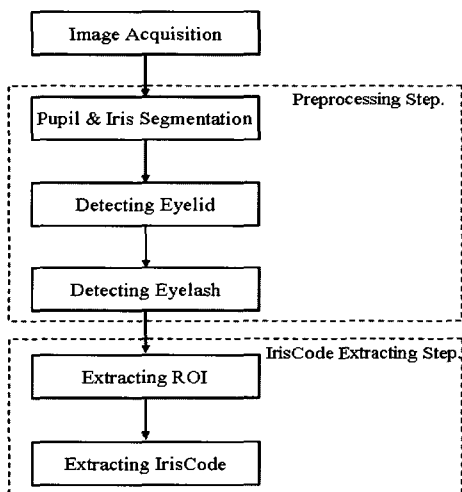


그림 3. 홍채 특징 코드 추출 과정의 전체 흐름도  
Fig. 3. Flowchart of iris feature extraction.

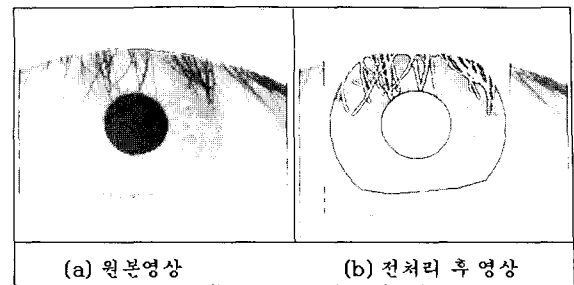


그림 4. 홍채 영역 검출 전처리 결과:  
(a) 원본영상 (b) 검출된 홍채 영역  
Fig. 4. Preprocessing Result of Iris Region Extraction.  
(a) Original Iris Image. (b) Extracted Iris Region.

의해 가려진 홍채 특징 영역과 속눈썹 영역을 제거해 줌으로써 정확한 홍채 영역만을 추출할 수 있게 된다.

#### 2. 동공 및 홍채 경계 추출

일반적으로 정확한 동공 및 홍채 경계를 찾는 것은 홍채 인식 성능에 상당한 영향을 미친다.<sup>[7][8]</sup> 본 연구에서는 그림 5와 식 (1)과 같이 원형 경계 검출을 이용하여 동공 및 홍채의 경계를 추출하였다<sup>[7]</sup>.

홍채 내부에는 항상 동공 영역이 존재하므로, 본 논문에서는 홍채 원형 경계 검출 시 홍채 존재 가능 위치마다 동공 원형 경계 검출을 같이 수행함으로써 홍채 영역 추출의 정확도를 향상하였다<sup>[7]</sup>.

$$\max(r, x_0, y_0) \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

원형 경계 검출 시 홍채 영역은 위아래 부분이 눈꺼

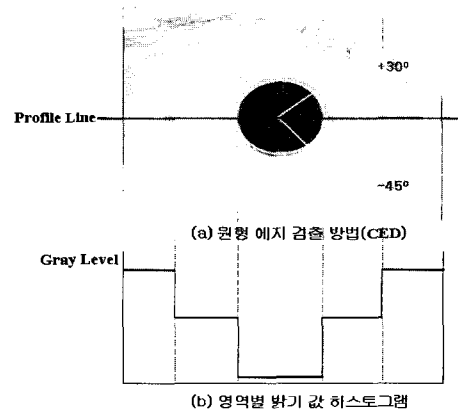
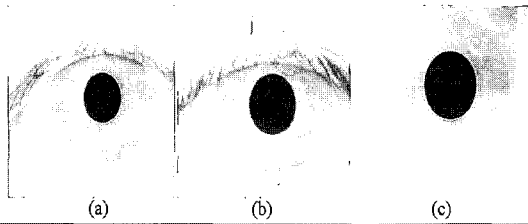


그림 5. 동공 및 홍채 영역 검출 방법  
(a) 원형 경계 검출 방법(CED)  
(b) 영역별 밝기 값 프로파일  
Fig. 5. Pupil and Iris Localization.  
(a) Circular Edge Detection  
(b) Gray level Profile



동공 반지름	34	40	50
홍채 반지름	98	106	105
동공 중심 (X,Y)	(178,133)	(176,146)	(175,117)
홍채 중심 (X,Y)	(177,142)	(177,141)	(176,119)

그림 6. 동공 및 홍채 경계 검출 결과의 예<sup>[30]</sup>  
 Fig. 6. Examples of Pupil and Iris Detection Result<sup>[30]</sup>.

표 1. 제안하는 방법으로 찾은 동공, 홍채 중심 및 반경과 사람이 손으로 찍은 중심, 반경 간의 차이<sup>[30]</sup>

Table 1. Error between proposed method and manual method.

홍채 (Center of Iris)	값 (pixel)	동공 (Center of Pupil)	값 (pixel)
X 축	1.51	X 축	0.56
Y 축	4.16	Y 축	1.66
중심 RMS	4.79	중심 RMS	1.88
반지름 차이	2.78	반지름 차이	2.48

풀에 의해 덮여있는 경우가 빈번하므로, -45도~+30도 및 +150도~+225도 에서만 원형 경계 검출을 수행하였으며, 동공에 대한 원형 경계 검출은 0도~360도 전체 범위에 대해 수행하였다. 그림 6은 CASIA 홍채영상을 대상으로 한 동공 및 홍채 경계 추출 결과의 예이다.

표 1에서는 CASIA 영상DB를 가지고 제안하는 방법을 사용하여 홍채, 동공 영역을 추출한 결과와 사람이 손으로 찍은 결과와의 차이를 나타낸 것이다<sup>[30]</sup>.

### 3. 눈꺼풀 추출

눈꺼풀 추출은 원형으로 추출된 홍채 특징 영역 중에 눈꺼풀에 의해 가려진 부분을 제거하고자 하는 전처리 과정이다. 눈꺼풀 영역은 홍채 고유의 패턴을 가리기 때문에 눈꺼풀의 정확한 검출은 홍채 인식 성능을 개선하는데 큰 영향을 끼치게 된다.

본 논문의 연구에서 사용한 눈꺼풀 추출 방법은 동공 및 홍채 경계 검출 과정에서 얻은 동공, 홍채 반지름과 동공 및 홍채 중심 좌표를 이용하여 대략적인 눈꺼풀의 존재 가능 위치를 설정하고, 이 영역 내에서 눈꺼풀 경계 추출의 장애요소가 되는 그레이 레벨이 일정 값 이

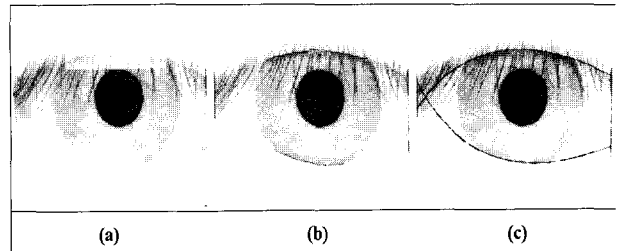


그림 7. 눈꺼풀 영역 추출 결과 : (a) 눈꺼풀 추출 탐색 영역 (b) 추출 후보점 (c) 추출된 눈꺼풀 경계<sup>[28]</sup>  
 Fig. 7. Detection Result of Eyelid Region : (a) Eyelid Searching Region (b) Candidate Points of Eyelid Region (c) Extracted Eyelid Region<sup>[28]</sup>

표 2. 눈꺼풀 검출 정확도 결과<sup>[28]</sup>  
 Table 2. Result of Eyelid extraction Rate.

검출 눈꺼풀	검출정확도 (%)	평균처리시간 (ms)
위 눈꺼풀	90.82	239
아래 눈꺼풀	96.47	141

하 되는 속눈썹과 그레이 레벨이 일정 값 이상 되는 조명 반사광(specular reflection)을 없애는 노이즈를 제거 단계를 거치게 된다<sup>[28]</sup>. 노이즈가 제거된 영상에서 눈꺼풀 추출을 위한 탐색 영역을 그림 7(a)과 같이 설정한다. 일반적으로 눈꺼풀, 홍채 및 흰자위 부분은 그레이 레벨의 차이로 인해 불연속점이 발생하므로, 본 논문에서는 이러한 특성을 이용한다. 즉, 이전단계에서 추출된 홍채 경계점들을 검사하여 중에서 그레이 레벨의 불연속점이 발생하는 위치를 기준으로 눈꺼풀 존재가능 범위로 설정하게 된다. 설정된 눈꺼풀 탐색 영역 내에서 5×10 픽셀 크기의 눈꺼풀 탐색 마스크를 이용하여 그림 7(b)과 같이 눈꺼풀 후보 점들을 추출하며 이 후보 점들을 이용하여 포물선 허프변환을 바탕으로 그림 7(c)과 같은 눈꺼풀 영역을 검출하게 된다<sup>[28]</sup>.

표 2에서는 CASIA 영상DB를 가지고 눈꺼풀 검출 정확도 결과를 나타낸 것으로 식 (2)과 같이 검출 정확도를 측정하였다. 식 (2)에서 NCE(Number of Correct Eyelid point)는 정확히 검출된 눈꺼풀 픽셀수이며 NIE(Number of Incorrect Eyelid point)는 정확히 검출하지 못한 눈꺼풀 픽셀수이다<sup>[28]</sup>.

$$\text{검출정확도(5)} = \frac{NCE}{NCE + \ni E} \times 100 \quad (2)$$

평균 처리 시간은 펜티엄-VI 3.0Hz 프로세서와 512DRAM의 PC환경에서 실험하였다<sup>[28]</sup>.

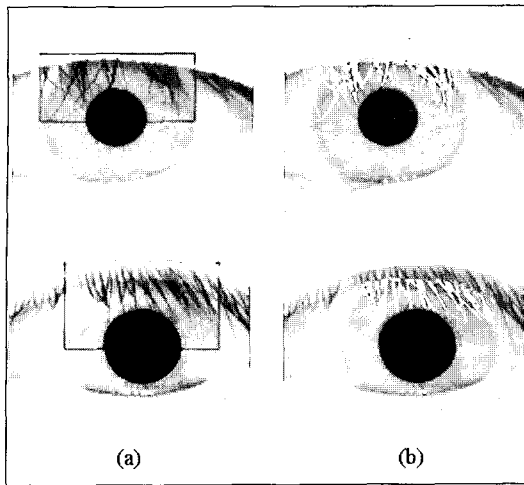


그림 8. 속눈썹 검출 : (a) 속눈썹 검출 영역  
(b) 속눈썹 추출 결과<sup>[15][34]</sup>  
Fig. 8. Eyelash Extraction : (a) Eyelash Searching Region (b) Result of Eyelash Detection<sup>[15][34]</sup>.

4. 속눈썹 추출

전 처리 과정 중에서 속눈썹 추출 과정은 매우 중요하며 홍채 패턴에 가장 많은 영향을 줄 수 있는 부분이다. 특히, 서양인에 비해 동양인은 속눈썹이 홍채 영역을 침범하는 경우가 많아 전체 시스템의 인식 성능의 저하를 가져오는 경우가 많다. 일반적으로 속눈썹들은 홍채 영역의 일정한 부분에만 존재하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이전단계에서 검출된 홍채 중심 및 반경 정보를 이용하여 속눈썹 검출 영역을 그림 8(a)과 같이 미리 설정하게 된다<sup>[15][34]</sup>.

설정된 검출 영역 내에서 속눈썹 추출을 위한 마스크를 이용하여 속눈썹을 검출한다<sup>[15][34]</sup>. 속눈썹 추출 마스크를 통해 추출된 홍채 부분은 그림 8(b)과 같다. 이렇게 추출된 속눈썹 영역은 홍채코드를 생성하기 위해 실제 보간 되어 지지 않는 대신에 흰색(픽셀 값:255)으로 마킹되어 홍채코드추출 과정에서 Non-valid영역으로 분리되어 실제 홍채코드를 생성하는 단계에서 속눈썹 부분은 홍채 코드 추출에 사용되지 않는다.

속눈썹 추출 실험 결과는 그림 8(a), 8(b)에서처럼 속눈썹을 속눈썹으로 못 찾는 경우의 에러인 FNER(False Non-eyelash Rate)과 속눈썹이 아닌 홍채 패턴을 속눈썹으로 찾는 에러인 FER(False Eyelash Rate)을 표현하여 추출 정확도를 측정하였다. 표 3의 FNER과 FER은 식 (3)과 식 (4)에 의해서 구해진다.

$$FNER = 1 - \frac{\text{Total Correctly Detected Eyelash}}{\text{Total Ebelashes}} \quad (3)$$

표 3. 속눈썹 검출 정확도 결과.[15][31][34]  
Table 2. Result of Eyelash extraction Rate<sup>[15][31][34]</sup>.

홍채영역 중 속눈썹 차지 비율(%)	검출율 (%)	
	FNER (%)	FER (%)
0~5	2.5	0.7
5~10	4.1	0.9
10~	3.7	1.1

$$FER = \frac{\text{Total Incorrectly Detected Eyelash}}{\text{Total Detected Region} - \text{Total Eyelashes}} \quad (4)$$

5. 홍채 특징 영역 추출

전술한 바와 같이 원형 홍채 영상을 직교 사각형 홍채 영상으로 변환하는 경우, 홍채 패턴의 변형 및 홍채와 동공 중심이 일치되지 않는 경우에 인식을 저하할 야기하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 극좌표 원형 홍채 영상에서 홍채 특징 추출 위치를 직접 검출하는 방식을 사용하였다. 극좌표 원형 홍채 영상에서 홍채 코드를 생성하기 위해 홍채 특징 영역을 추출하는 과정은 다음과 같다. 전술한 전처리 과정을 통해 얻어진 홍채 영역에서 식 (5), (6) 을 사용하여 동공 경계 및 홍채 경계 위치를 결정하게 된다. 그림 9(a) 과 같이 동공 중심을 지나는 직선 (식 (7))을 지정하고, 이 직선위에 존재하면서 동공 경계(식 (5))와 홍채 경계(식 (6)) 사이에 존재하는 점들을 홍채 특징 영역으로 검출하게 된다.

$$(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 = r_p^2 \quad (5)$$

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2 \quad (6)$$

$$y = \tan\theta(x - x_p) + y_p \quad (7)$$

식(5)에서  $(x_p, y_p, r_p)$  는 각각 동공 중심 위치 좌표 값과 반지름 값이다. 식(6)에서  $(x_i, y_i, r_i)$  는 홍채 중심 위치 좌표 값과 반지름 값이다. 이와 같은 방식으로 극 좌표계 원형 홍채 영상에서 홍채 특징 영역을 직접 검출하는 경우, 홍채 중심 위치와 동공 중심위치의 차이가 발생 한다. 중심 위치가 서로 다를 경우를 고려한 홍채 특징 영역 추출을 위해서는 첫 번째 단계로 그림 9(a)에서와 같이 동공 경계의 좌표 점들을 동공 중심  $(x_p, y_p)$ 을 기준으로 하여 식(8)을 이용하여 0~360도 간격으로 구한다.

$$\begin{aligned} x_s &= x_p + r_p \cos \theta \\ y_s &= y_p - r_p \sin \theta \end{aligned} \quad (8)$$

직교 사각형 홍채 영상 방식이나 기존 극좌표 원형 홍채 영상 방식에서는 홍채 특징 영역을 추출할 때 동공중심 점과 홍채중심 점이 다를 경우 대부분 그 평균 위치를 계산 및 추정하여 추출하는 방식을 사용하여 특징 영역을 추출한다. 하지만 본 논문의 방식은 그림 9(a)에서 보는 것과 같이 동공중심 점과 홍채중심 점을 모두 이용한 홍채 특징 위치 추적 방법을 사용한다. 따라서 두 번째 단계로는 동공의 중심을 지나는 직선이 홍채 경계와 만나는 접점인  $(x_e, y_e)$ 을 0~360도 간격으로 구하여 동공중심 점과 홍채중심 점이 다를 때를 고려해야 한다. 홍채 경계를 나타내는 식(6)의  $y$ 값에 식(7)을 대입하여 동공 경계로부터 실제 홍채 영역의 끝 위치인  $x_e$ 를 먼저 구하고 다시 식(7)에 대입하여  $y_e$ 를 계산하여 경계점들을 추출하여 동공의 중심을 지나 는 직선이 홍채 경계와 만나는 접점인  $(x_e, y_e)$ 을 구할 수 있다.

그림 9(b)는 0~360도 사이의 “홍채 반경 - 동공 반

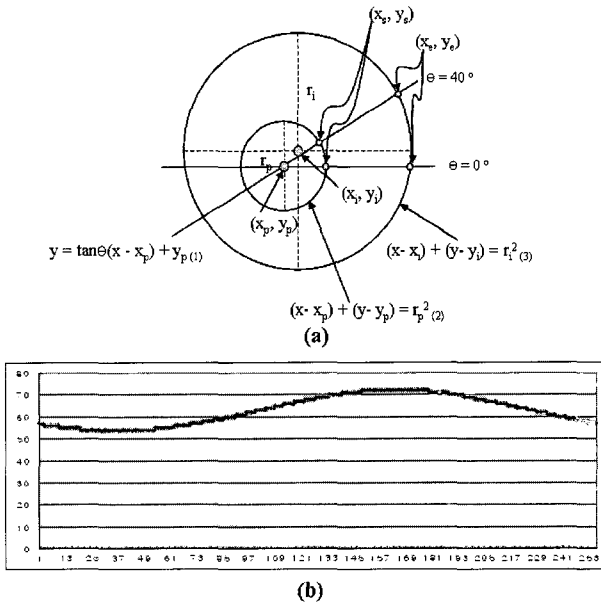


그림 9. 극좌표 원형 홍채 영상에서의 특징 추출 :

- (a) 극좌표 원형 홍채 영상
- (b) 각도에 따른 “홍채 반경 - 동공 반경 값”

Fig. 9. Iris Feature Extraction in Polar Coordinate Circular Iris Image.

- (a) Polar Coordinate Circular Iris Image
- (b) “Iris Radius - Pupil Radius” according to angle

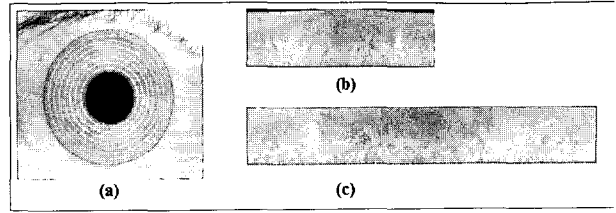


그림 10. 극좌표 원형 홍채 영상 및 직교 사각형 홍채 영상에서의 홍채 특징 영역 :

- (a) 원본 홍채 영상
- (b) 극좌표 원형 홍채 영상
- (c) 직교 사각형 홍채 영상

Fig. 10. Iris Feature Region based on Polar Coordinate Circular Iris Image and Rectangular Iris Image.

- (a) Original Iris Image
- (b) Polar Coordinate Circular iris Image
- (c) Rectangular iris Image

경 값”을 도기한 것이다. 이를 통해 동공과 홍채 중심 위치가 다를 경우도 고려된 결과를 확인할 수 있다.

기존의 직교 사각형 홍채 영역 특징 추출방식으로 변환하여 사용한다면, 동공 경계 길이를 홍채 경계 길이로 맞추는 스트레칭 및 보간, 그리고 그림 9(b)와 같이 “홍채 반경 - 동공 반경 값” 차이를 스트레치 및 보간해야 하므로 홍채 영상의 왜곡 및 결과적으로 인식율의 저하를 받게 된다. 그림 10은 동일한 홍채 영상에 대해 기존의 직교 사각형으로 변형한 홍채 영상 및 제안한 극좌표 원형 홍채에서 특징 위치를 직접 검출하여 표시한 홍채 영상을 각각 나타낸 것이다.

그림 10의 (c)와 같이 직교 사각형 홍채 영상의 경우 원본 홍채 영상의 동공 경계 부분 영역을 홍채 외부 경계의 길이에 맞추어 스트레칭 및 보간 했기 때문에 그림 11의 (b)와 같은 극좌표 원형 홍채 영상보다 너비가 커지게 된다. 또한 그림 10과 같이 회전각도에 따른 “홍채 반경 - 동공 반경 값” 차이 역시 스트레칭 및 보간하기 때문에 그림 10의 (b)와는 틀리게 높이 역시 커지게 된다. 이처럼 본래 존재하지 않는 홍채 픽셀 정보를 보간 하기 때문에 홍채 패턴의 왜곡 및 인식 율 저하를 받게 된다. 그림 10(b)에서 검은 영역은 동공 부분으로 극좌표 원형 홍채 영상 방식에서는 동공 부분의 위치를 알기 때문에 이 부분은 홍채 특징 코드 추출 시 사용하지 않는다.

## 6. 홍채 특징 위치 탐색 시 위치 중복에 대한 해결

### 6.1. 반지름의 증가분에 따른 위치 중복 분석

극 좌표계 방식을 이용하여 홍채 특징 위치를 탐색하

는 경우 각도 및 반지름을 식(8)에 적용하여 홍채 특징 위치를 탐색하는데 탐색 위치 결과 값은  $\cos$  및  $\sin$  값에 의해 소수점 형태의 연속적 위치 값이 나온다. 하지만 원본 홍채 영상은 픽셀로 이루어진 정수형태의 이산적 위치 점을 가진다. 그러므로 수학식에 의해 계산되어진 연속적 형태의 위치 결과 값을  $ROUND$  함수 처리하여 이산적 위치 형태로 변환하는 과정이 필요하게 되며 이 과정에서 각도 및 반지름에 의해 중복 픽셀이 발생할 수 있게 되는 것이다.

$$\begin{aligned} Round(x_p + (r_p + i)\cos\theta) &= Round(x_p + (r_p + i + 1)\cos\theta) \\ &\text{and} \\ Round(y_p + (r_p + i)\sin\theta) &= Round(y_p + (r_p + i + 1)\sin\theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_p - (r_p + i) &\leq Result Value \leq x_p + (r_p + i) \\ x_p - (r_p + i + 1) &\leq Result Value \leq x_p + (r_p + i + 1) \end{aligned}$$

(9)

식(9)은 반지름별 중복 픽셀이 발생할 수 있는 경우를 수식적으로 표현한 것이다. 본 논문의 방식에서는 홍채 위치 영역을 추출할 경우 동공 반지름인  $r_p$  에 1 픽셀씩 반지름을 증가하여 추출한다. 여기서  $i$  는 그림 10(b)의 실제 홍채 특징 영역의 각도별 높이 값(반지름)이다. 즉, 수식(9)을 만족하는 경우가 중복 픽셀이 발생

하는 경우이다.

분석결과, 반지름의 증가분( $r_p + i$ )에 따라서는 결과 값(Result Value)사이에 그림 11과 같이 중복점이 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 식 (9)에 의해 표시된 결과 값들 사이의 중복점이 발생하기 위해서는  $(r_p + i)\cos\theta$ 와  $(r_p + i + 1)\cos\theta$  및  $(r_p + i)\sin\theta$ 와  $(r_p + i + 1)\sin\theta$ 가 각각 같아야 하는데, 그림 12와 같이 두 그래프들 사이에는 교점이 존재하지 않기 때문이다.

$\cos$ 결과 값도 동일하다. 반면, 각도 별 위치 탐색 결과, 중복 픽셀이 발생 할 수 있다. 식 (10)은 각도별에 따른 중복 픽셀이 발생하는 경우를 수식적으로 표현한 것이다.

$$\begin{aligned} ROUND(x_p + (r_p + i)\cos\theta) &= ROUND(x_p + (r_p + i)\cos(\theta + \Delta\theta)) \\ &\text{and} \\ ROUND(y_p + (r_p + i)\sin\theta) &= ROUND(y_p + (r_p + i)\sin(\theta + \Delta\theta)) \end{aligned}$$

(10)

본 논문에서는 전체 360도를 256개 섹터로 표현하므로 각도의 증가분( $\Delta\theta$ )은 1.4도가 된다. 그러므로 식 (10)의 동공의 반지름에 홍채 특징 영역 길이를 나타내는  $(r_p + i)$ 이 작을수록  $\cos\theta$ 와  $\cos(\theta + \Delta\theta)$  및  $\sin\theta$ 와  $\sin(\theta + \Delta\theta)$ 가 각각 같아질 확률이 증가되어, 중복되는 픽셀이 발생할 확률 역시 높아지게 된다.

일반적으로 인간의 홍채는 직경이 10.7~13mm 이며, 동공의 직경은 2~8mm이다<sup>[32]</sup>. 본 연구에 사용한 CASIA 홍채 영상 취득 시 카메라 줌 배율은 180pixel/10mm~200pixel/10mm이므로, CASIA 영상에서 홍채의 평균 직경은 193pixel~200pixel이고 동공의 경우는 36 pixel~100 pixel 이다.

그림 12에서는 각도의 증가분에 따른 위치 중복의 경우를 나타낸다. 식(10)의  $\sin$ 항과  $\cos$ 항은 각각 그림 13의 (a)와 (c)처럼 표현되어 지며 1.4도 증가하여 그려질 경우,  $\sin\theta$ 와  $\sin(\theta + \Delta\theta)$  및  $\cos\theta$ 와  $\cos(\theta + \Delta\theta)$  각각의 차이 값은 (b)과 (d)처럼 표현되어진다. 즉, 그림 12(b)는  $|\sin\theta - \sin(\theta + \Delta\theta)|$ 를 그리고 그림 12(d)는  $|\cos\theta - \cos(\theta + \Delta\theta)|$ 를 나타낸 것이다.

이로부터 그림 13(e)를 얻을 수 있는데 이는  $||\sin\theta - \sin(\theta + \Delta\theta)| - |\cos\theta - \cos(\theta + \Delta\theta)||$ 를 나타낸다. 이와 식 (10)으로부터, 각도의 증가분에 따라 중복 픽셀이 발생하는 경우가 그림 12(e)에서 Y값이 0에 가까운 때에 주로 발생하므로 알 수 있다. 즉, 이 경우에  $(|\sin\theta - \sin(\theta + \Delta\theta)| \approx |\cos\theta - \cos(\theta + \Delta\theta)|)$  조

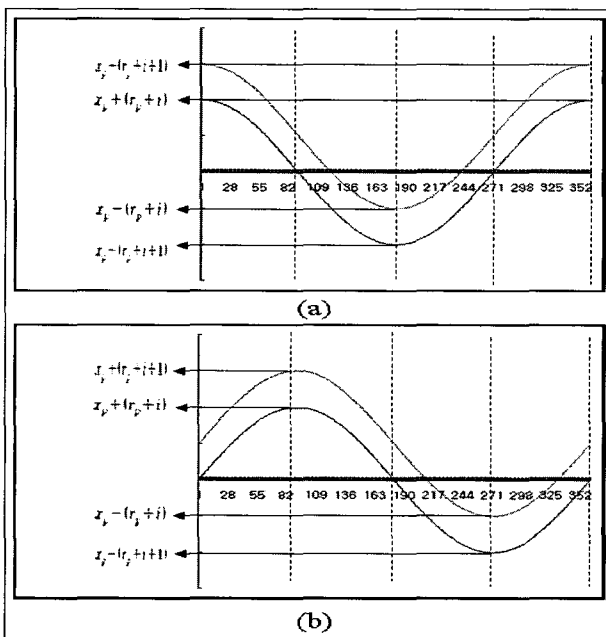


그림 11. 반지름 증가분에 따른 위치 중복 분석  
(a) X축 중복 분석(sin 결과)  
(b) Y축 중복 분석(cos 결과)

Fig. 11. Result of override point by increasing of radius.  
(a) X axis(sin curve). (b) Y axis(cos curve).

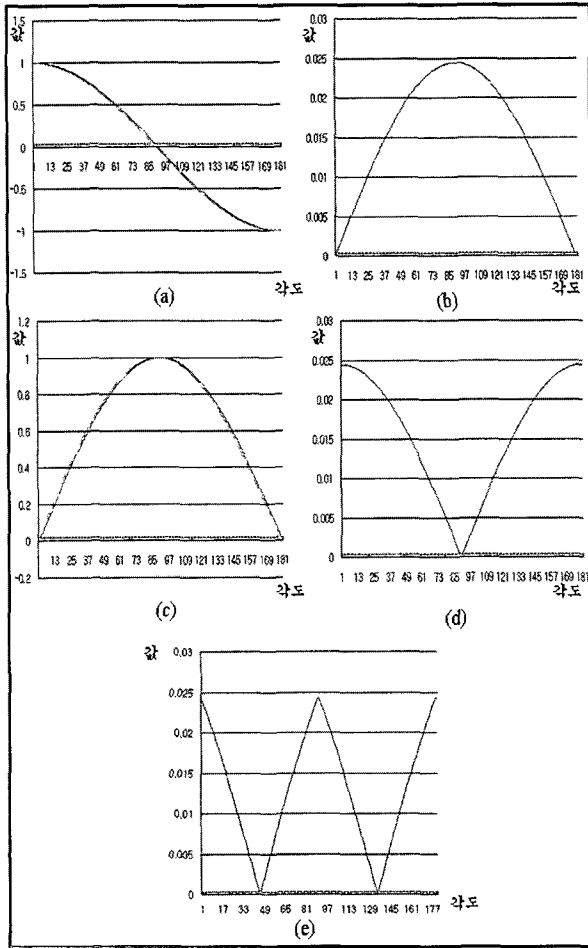


그림 12. sin 과 cos 곡선의 각도 증가 시 차이 값 표현 그래프.

Fig. 12. Graph of difference value between sin and cos curve added by angle.

건이 만족되어 각도의 증가분에 따른 X축 및 Y축 위치의 증가분이 각각 최소가 됨으로써 중복 픽셀이 발생할 확률이 높아지게 되는 것이다.

그림 12(e)에서 Y값이 0에서 가장 떨어진 경우는 0도, 90도, 180도, 270도 이며 그림 13에서 알 수 있듯이 이 경우에는 중복픽셀이 주기적으로 발생하지 않게 된다. (그림 13에서 중복 포인트들은 검정색으로 표시하였음) 또한 동공 반지름이 작을수록  $(r_p + i)\cos\theta$ 와  $(r_p + i)\cos(\theta + \Delta\theta)$  및  $(r_p + i)\sin\theta$ 와  $(r_p + i)\sin(\theta + \Delta\theta)$ 이 각각 같아질 확률이 증가되어 그림 13에서 보듯이 동공 부근에 가까운 트랙일 수록 중복 픽셀의 수가 증가되게 된다.

표 1은 동공 반지름 및  $(r_p + i)$ 값에 따른 홍채 특징 영역의 중복 픽셀이 발생하는 포인트의 개수를 식(10)에 의해 이론적으로 계산한 결과이다. 실험 결과에서 알 수 있는 것처럼 동공 반지름 값이 작을수록 중복 픽

표 1. 동공반지름별 중복 위치 개수

Table 1. Override Point calculated by Pupil radius.

동공반지름 (Pixel)	중복 위치 개수 (Override Point)	실제홍채 길이 (Pixel)
31	368	79
32	304	78
33	248	78
34	224	68
35	184	65
36	160	68
37	128	65
38	96	61
39	80	65
40	56	62
41	40	59
42	24	58
43	16	60
44	16	57
45	8	59
46	8	62
47	0	58
48	0	59

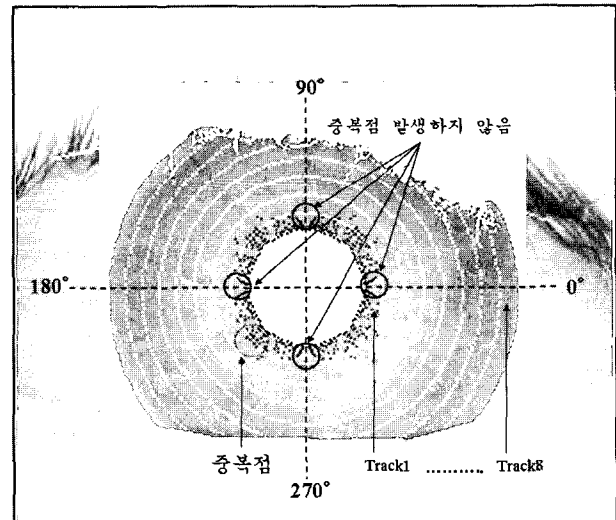


그림 13. 중복 픽셀 발생 결과 영상.

Fig. 13. Result Image of override point on iris.

셀은 증가한다. 또한 한 가지 더 주목할 점은 각도의 증가분이 본 논문에서와 같이 1.4도 간격이고, 동공 반지름의 크기가 47픽셀 이상일 경우에는 각도의 증가분에 의한 중복 픽셀이 발생하지 않음을 확인 할 수 있었다.

그림 13는 실제 CASIA 홍채 영상에서 발생하는 중복 픽셀들에 대한 분포를 보여주고 있다. 전술한 바와 같이 중복 포인트들은 검정색으로 표시하였다. 동공반지름이 작을수록 동공 경계 부분의 첫 번째 트랙에 집중적으로 중복 포인트들이 발생하는 현상을 볼 수 있다.

이러한 중복 포인트들은 같은 위치에서 여러 홍채 특



징을 추출하는 현상을 야기함으로써 저주파 홍채 특징을 생성하는 결과를 낳게 된다. 즉, 홍채 특징의 신호 변화가 실제로 존재함에도 불구하고 같은 위치에서의 여러 홍채 특징들을 추출함으로써 과형변화가 적은 비슷한 홍채 신호를 만들게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 동공에 가까운 트랙에는 식(11)에서 나타난 가버 필터 적용 시 커널의 주파수를 작게 하여 저주파 홍채 신호를 정확하게 추출하도록 하고, 동공 영역에서 먼 트랙에는 커널의 주파수를 크게 하여 고주파 홍채 신호를 추출하게 하였다. 본 논문에서는 이를 통해 홍채 인식의 성능을 향상 할 수 있었다.

7. 홍채 코드 추출 및 정합 방법

일반적으로 기존의 홍채 코드 추출 방식에서는 위상 정보 기반 홍채 코드를 생성하기 위해 *Daugman*이 제안한 2차원 직각 위상 가버 웨이블릿 필터(*quadrature 2-D Gabor Wavelets Filter*)를 일반적으로 많이 사용하였다.<sup>[21][22][23]</sup> 본 논문에서는 홍채 코드 생성 속도를 향상하기 위해 기존 *Daugman* 방식의 2차원 필터를 변형한 1차원 가버 웨이블릿 필터(*1-D Gabor Wavelets Filter*)<sup>[24]</sup>를 사용하였다.

$$G(x) = A \cdot e^{-\pi \left[ \frac{(x-x_0)^2}{\sigma^2} \right]} (\cos(2\pi [u_0(x-x_0)])) \quad (11)$$

$$\sum_{x_0=-N}^N G(x) = 0 (\because DC=0) \quad (12)$$

식(11)과 같이 기존의 *Daugman* 방식의 가버 필터 부분에서 실수부분만을 사용하였으며, 홍채 패턴의 영상 밝기변화가 추출 코드 값에 영향을 주는 점을 막기 위해 식(12)에서처럼 필터 값들의 직류(DC) 성분을 0으로 조정해 주었다. 식(9)에서 *A*는 필터의 진폭(*Amplitude*)이며,  $\sigma$ 와  $u_0$ 는 커널 사이즈와 커널의 주파수(*frequency*)이다. 본 논문에서는 *CASIA DB*를 대상으로 최소 *EER*을 나타내는 값들을 결정했으며, 실험 결과  $A=300$ ,  $\sigma=27.93683$ ,  $u_0=1/20$ 로 나타났다. 그림 14는 수식(11)에 의해 계산되어진 변형된 1차원 가버 웨이블릿 필터(*1-D Gabor wavelet Filter*)이다.

검출된 홍채 특징 영역을 그림 16과 같이 8개의 트랙과 256개의 섹터로 나누고 각각의 위치에 식(11)과 같은 가버 필터를 적용하여 계산된 값을 부호에 따라 0과 1의 비트로 표현하였다.

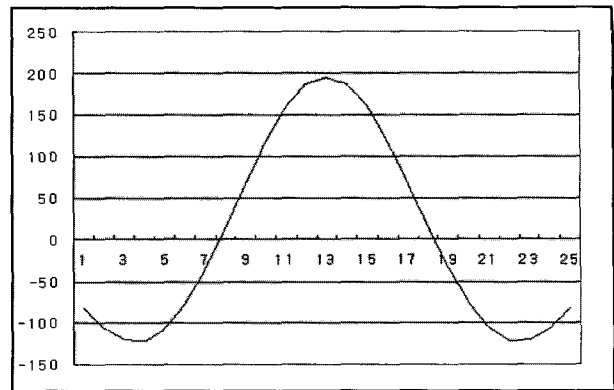


그림 14. 1차원 가버 웨이블릿 필터.  
Fig. 14. 1-D Gabor Wavelets Filter.

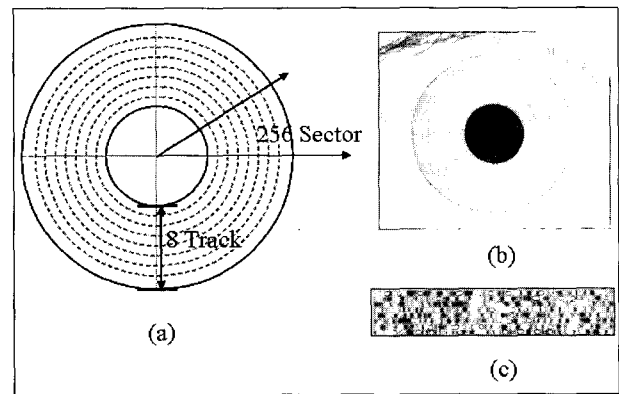


그림 15. 홍채 코드 추출 과정  
(a) 8트랙, 256섹터 (b) 적용영상. (c) 추출된 홍채코드

Fig. 15. Process of Iriscode Extraction.  
(a) 8 Track & 256 Sector (b) Result Image  
(c) Extracted Iriscode.

결과적으로 총 2,048 비트(=8\*256)의 홍채 코드를 검출하였다. 또한 검출된 홍채 코드 중 유효하지 않은(예) 눈썹, 눈꺼풀, 조명 반사등에 의해 가려진 부분에서 검출된 코드들을 따로 표시하여 인식에 사용하지 않기 위하여, 홍채 코드와 같은 크기의 유효코드 정보 2,048비트를 같이 저장하였다. 결과적으로 총 4,096비트의 홍채코드 및 유효코드를 이용하여 홍채 인식을 하게 된다.

8. 홍채 인식 시스템 평가 방법

가. *EER* (*The Equal Error Rate*)

*EER*은 생체 인식 시스템의 성능 및 품질을 평가하는 분명하고 간단한 대표적인 판단 척도 중에 하나로서 그림 16은 모든 생체 시스템이 가질 수밖에 없는 오인식율(*False Match Rate*:등록하지 않은 타인을 받아들일 오류율)과 오거부율(*False Non-match Rate*:등록한 본

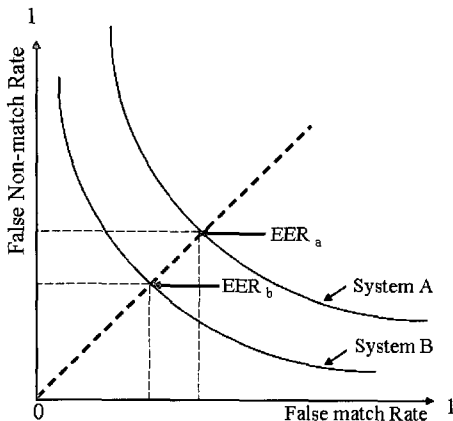


그림 16. EER 지점 및 FMR과 FNMR의 ROC 곡선<sup>[29]</sup>  
 Fig. 16. EER point and ROC curve between FMR and FNMR<sup>[29]</sup>.

인을 거부할 오류율)의 발생 확률을 ROC(Receiver Operating Characteristic)곡선<sup>[29]</sup>으로 표현한 것이다. FMR과 FNMR이 같은 지점  $EER_a$ ,  $EER_b$ 는. 각 각 시스템 A와 B의 EER을 나타내며 시스템 A의 EER이 시스템 B의 EER보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 시스템 B의 FMR과 FNMR이 더 낮음을 나타내는 것이며 이를 통해 우리는 시스템 B가 더욱 높은 보안을 유지할 수 있는 시스템이라고 평가할 수 있는 것이다. 이러한 EER 수치는 생체 인식 시스템의 정확도 및 인식 성능을 측정하는데 사용되어진다.

나. Index D' (D-prime)

EER과 더불어 생체 인식 시스템의 성능 및 정확도를 측정 및 평가하는 대표적인 방법 중에 하나로서 Daugman 교수에 의해 제안되어진 수치로서 식 (13)과 같이 표현된다.<sup>[26]</sup>

$$d' = \frac{|u_A - u_I|}{\sqrt{(\sigma_A^2 + \sigma_I^2)/2}} \quad (13)$$

식(13)에서  $u_A$ 와  $u_I$ 는 본인 및 타인 HD 분포의 평균값이며,  $\sigma_A$ 와  $\sigma_I$ 는 각각의 표준편차 값이다. 일반적으로 본인과 타인 분포의 평균값 사이가 멀어질수록, 각각의 표준 편차 값이 작을수록  $d'$  값이 커지게 되며, 결과적으로 EER도 작아지게 된다. 추출된 홍채 코드를 기반으로 HD(Hamming Distance)를 이용하여 본인과 타인여부를 결정하였다. 본인과 타인을 결정하는 임계치(Threshold)는 EER(Equal Error Rate)이 최소가 되는 지점을 기준으로 설정하였다. 여기서 EER이란

FAR(False Acceptance Rate : 등록하지 않은 타인을 받아들일 오류율)과 FRR(False Rejection Rate : 등록된 본인을 거부할 오류율)이 같아지는 지점에서의 오류율을 나타낸다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 직교 사각형 홍채 영상 방식과 극 좌표계 원형 홍채 영상 방식의 인식 성능을 실험하기 위해 CASIA 데이터베이스<sup>[18]</sup>를 사용하였다. CASIA 홍채 데이터베이스는 80명에 대한 108 종류의 홍채로부터 추출된 총 756장의 홍채 영상으로 구성되어 있다. 홍채 영상은 한 달 간격으로 취득되었으며, 영상의 형식은 (320×280) 픽셀 크기에 8비트 그레이 영상이다. CASIA DB 내의 홍채 직경은 193픽셀이상이고, 전체 대상 중 약 5.2%가 콘택트렌즈를 착용하고 취득된 홍채 영상이다. 대상 영상 중 안경을 착용한 영상은 포함되어 있지 않다. 1차원 가버 웨이블릿 필터의  $A=300$ ,  $\sigma=27.93683$ ,  $u_0=1/20$ 으로 설정하였으며 영상의 회전을 고려하여 홍채 코드를 쉬프트 ±3 픽셀(약 ±4.2°)의 오차 범위를 주고 실험하였으며, 표1 은 실험한 결과이다.

실험결과를 통해 일반적으로 직교 사각 영상 방식보다 제안한 원형 영상 방식을 적용할 경우 인식 성능이 우수함을 알 수 있었다. 다음 실험에서는 가벼 필터링 된 결과를 0과 1로 양자화 한 위상 코드(Phase Code)를 사용하지 않고 필터링 된 결과의 amplitude를 이용하여 인식성능을 조사하였다. 매칭 방법으로는 유클리디안 거리(Euclidean Distance)와 코사인 거리(Cosine Distance)[25]를 사용하였다. 표2와 표3은 각각 코사인 거리 와 유클리디안 거리를 사용하여 실험한 결과이다. 코사인 거리는 수식 (14)과 같은 방식으로 구하며 두

표 1. 직교 사각형 홍채 영상 방식과 극 좌표계 원형 홍채 영상 방식의 성능비교 (해밍 거리 사용)

Table 1. Comparison Result 1 by using Hamming Distance.

	본인		타인		성능평가	
	HD (mean)	표준 편차	HD (mean)	표준 편차	Index D'	EER (%)
직교 사각형 홍채 방식	0.141	0.068	0.463	0.044	5.809	0.297
극좌표 원형 홍채 방식	0.113	0.065	0.462	0.038	6.42	0.169

(임계치 : 사각 영상 방식 (0.3202), 원형 영상 방식(0.309))

표 2. 직교 사각형 홍채 영상 방식과 극 좌표계 원형 홍채 영상 방식의 성능비교 2 (코사인 거리 사용)

Table 2. Comparison Result 2 by using Cosine Distance.

	본인		타인		성능평가	
	CD (mean)	표준 편차	HD (mean)	표준 편차	Index D'	EER (%)
직교 사각형 홍채 방식	0.231	0.172	0.637	0.318	6.982	0.213
극좌표 원형 홍채 방식	0.228	0.1718	0.698	0.284	7.162	0.151

표 3 직교 사각형 홍채 영상 방식과 극 좌표계 원형 홍채 영상 방식의 성능비교 3 (유클리디안 거리 사용)

Table 3. Comparison Result 3 by using Euclidean Distance.

	본인		타인		성능평가	
	ED (mean)	표준 편차	ED (mean)	표준 편차	Index D'	EER (%)
직교 사각형 홍채 방식	142538.3	436527.6	326572.7	278263.2	0.826	2.51
극좌표 원형 홍채 방식	135753.9	44777.3	313375.8	263498.4	0.939	2.23

벡터사이의 각도를 코사인 값으로 표시한 것으로써 두 벡터가 일치되는 경우 1로, 두 벡터가 완전히 불일치되는 경우 -1로 값을 나타내게 된다. 각 경우에 제안한 원형 홍채 영상 방식이 실험 결과 표 2를 보면 보다 우수한 인식률을 나타낸 것을 확인할 수 있다.

$$CS_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^L x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^L x_i^2 \sum_{j=1}^L y_j^2}} \quad (14)$$

$$X(x_1, \dots, x_n) \quad Y(y_1, \dots, y_n)$$

결과를 통해 코사인 거리를 사용했을 때 성능이 가장 우수함을 알 수 있었다. 마지막으로 본 연구에서 제안한 동공 및 홍채 중심 위치가 다를 경우를 고려한 극 좌표계 방식 홍채 특징 영역 위치 검출 알고리즘이 기존의 직교 좌표계 방식보다 인식 성능이 개선되어지는 것을 비교하여 보았다. 우선 동공 및 홍채 중심 위치가 다를 경우 거리를 측정하기 위해 그림 17의 D-거리 (Euclidean Distance)를 사용하였다.

표 4은 그림 18 (a)을 등록영상으로 하고 나머지 (b), (c), (d) 영상들을 본인 인식 테스트 한 결과이다. 결과에서 확인할 수 있는 것처럼 D-거리가 커질수록 HD가 이 값이 커짐을 알 수 있으며 이는 인식 성능을 저하시키는 요인이다. 하지만 동공 및 홍채 중심 위치를 고

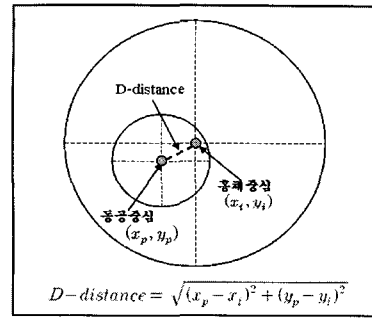


그림 17. 동공 및 홍채 중심 위치 간 거리 구하기. Fig. 17. D-distance from pupil and iris center point.

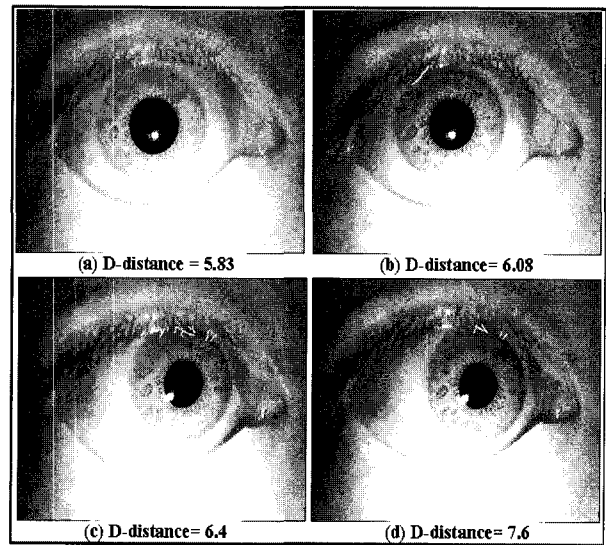


그림 18. D-거리에 따른 홍채 영상의 예. Fig. 18. Iris image related to D-distance.

표 4. 직교 사각형 홍채 영상 방식과 극 좌표계 원형 홍채 영상 방식의 성능비교 4 (D거리 사용)

Table 4. Comparison Result 4 by Using by D-distance.

등록영상	인식영상	인식 성능 비교 방식							
		직교 사각형 영상 방식				극좌표 원형 홍채 영상			
영상 이름	D-거리	영상 이름	D-거리	HD	CD	ED	HD	CD	ED
(a)	5.83	(b)	6.08~6.3	0.142	0.134	128975.6	0.131	0.123	128975.6
		(c)	6.4~7.4	0.301	0.312	132658.9	0.278	0.232	130658.8
		(d)	7.6~8.5	0.307	0.32	136853.4	0.286	0.273	132658.3

려한 극 좌표계 방식은 표 3에서의 결과에서 보는 것과 같이 기존의 직교 좌표계 방식에 비해 인식 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문은 홍채 특징 영역을 검출하기 위해 극좌표 원형 홍채 영상에서 직접 홍채 특징 영역을 검출함으로

써 인식 성능을 향상할 수 있었다. 매칭 방법으로는 코사인 거리를 사용했을 때 가장 우수한 성능을 나타냈다. 향후 보다 많은 홍채 영상 DB에 대해 실험을 수행할 예정이며, 가버 필터 외에 다른 다양한 웨이블릿 필터들을 적용했을 때에도 인식 성능을 비교해야 할 것으로 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 박강령, "홍채 인식 기술", 멀티미디어학회지, 제7권, 제2호, 23-31쪽, 2003.
- [2] Jonh G. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 11, pp 1148 - 1160, Nov. 1993.
- [3] Tony Mansfield, etc, "Biometric Product Testing Final Report", Draft 0.6, National Physical Laboratory, March 2001.
- [4] John G. Daugman, "How Iris Recognition Works," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, No. 1, pp. 21-29, 2004.
- [5] Li Ma, Tieniu Tan, Yunhong Wang and Dexin Zhang, "Personal Identification Based on Iris Texture Analysis", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, No. 12, 2003.
- [6] 김재희, "홍채인식 기술의 현황과 응용 - 고도의 신뢰성 검증, 사용자 편리성 관건", 시큐리티 월드 article, pp.76, 2001.3
- [7] Dal-ho Cho, Kang Ryoung Park, Dae Woong Rhee, Yanggon Kim, Jonghoon Yang, "Pupil and Iris Localization for Iris Recognition in Mobile Phones", SNPD 2006, Las Vegas Nevada, USA, June 19-20, 2006.
- [8] John G. Daugman, "Demodulation by Complex-valued Wavelets for Stochastic Pattern Recognition", International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing, Vol. 1, No. 1, pp 1-17, 2003.
- [9] John G. Daugman, "The importance of being random: statistical principles of iris recognition", Pattern Recognition, vol. 36, no. 2, pp 279-291.
- [10] Topi Maenpaa, "An Iterative Algorithm for Fast Iris Detection", Lecture Notes in Computer Science(IWBRS), Vol. 3781, pp. 127-134, 2005.
- [11] Vladimir Vezhnevets and Anna Degtiareva, "Robust and Accurate Eye Contour Extraction", Proc. Graphicon-2003, pp. 81-84, Moscow, Russia, September 2003.
- [12] Jun Yamada, Ayumu Kawamura, Yoshimasa Miura, Sadaki Takata, Katsuki Ogawa, "Study on radiation transfer in human skin for cosmetics", Journal of Quantitative Spectroscopy and radiative transfer, Vol. 93, no. 3, pp. 219 2005.
- [13] Yuwen WU, Hong LIU and Hongbin ZHA, "A New Method of Detecting Human Eyelids by Deformable Templates", Proc. of Sino-Korea Symp. On Intelligent Systems, pp.49-54, Guangzhou, China, Nov. 18, 2003.
- [14] W.K. Kong and D. Zhang, "Accurate Iris Segmentation Based on Novel Reflection and Eyelash Detection Model," Proceedings of International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, May 2~4 2001, Hong Kong, 2001.
- [15] 강병준, 박강령, "홍채 인식 카메라의 DOF(Depth Of Field) 확장을 위한 초점 값 기반의 홍채 영상 복원 연구", 제 4 회 BERC Biometrics Workshop, 2006. 2. 16-17
- [16] J. Daugman, "Statistical Richness of Visual Phase Information: Update on Recognizing Persons by Iris Patterns," International Journal of Computer Vision, Vol. 45, No. 1, pp. 25-38, 2001.
- [17] Chul-Hyun Park, Joon-Jae Lee, Sang-Keun Oh, Young-Chul Song, Doo-Hyun Choi, and Kil-Houm Park, "Iris Feature Extraction and Matching Based on Multi-scale and Directional Image Representation", Lecture Notes in Computer Science(Scale-Space), Vol. 2695, pp 576-583, 2003.
- [18] <http://www.sinobiometrics.com> (accessed on 2007.03.28)
- [19] Wildes, R.P, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 9, pp.1348-1363. September 1997.
- [20] N. S. Jayant and P. Noll, "Digital Coding of Waveform". Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.
- [21] J. Daugman, "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters", J. Opt. Soc. Amer.A, Vol. 2, No. 7, pp. 1160-1169, 1985.
- [22] J. Daugman, "Complete discrete 2D gabor transforms by neural networks for image analysis and compression" IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. 36, pp. 1169-1179, July 1988.

- [23] J. Daugman and C. Downing, "Demodulation, predictive coding, and spatial vision," J. Opt. Soc. Amer. A, Vol. No.4, pp. 641-660, 1995.
- [24] Dae Sik Jeong, Hyun-Ae Park, Kang Ryoung Park, Jaihie Kim, "Iris Recognition in Mobile Phone Based on Adaptive Gabor Filter", Lecture Notes in Computer Science (ICB), Vol. 3832, pp.457~463, January 5-7, 2006.
- [25] Ruud M. Bolle, Jonathan H. Connell, Sharath Pankanti, Nalini K. Ratha, Andrew W. Senior, "GUIDE TO BIOMETRICS", Springer.
- [26] J. Daugman and G.O. Williams, "A proposed standard for biometric decidability.", In Card TechSecureTech, pp. 223-224, Atlanta, GA, 1996.
- [27] Christel-loic Tisse, Lionel Martin, Lionel Torres, and Michel Robert, "Person Identification Technique Using Human Iris Recognition", The 15th International Conference on Vision Interface, pp.294-299, May 27-29, 2002, Calgary, Canada.
- [28] 장영균, 강병준, 박강령, "포물 허프 기반 홍채 눈꺼풀 검출 연구", 대한전자공학회 논문지, 제 44권 SP편 제01호, pp. 94 - 104, 2007년 1월
- [29] W.W. Peterson, T.G. Birdsall, and W.C. Fox. "The theory of signal delectability", Transactions of the IRE, PGIT-4:171-212, April 1954.
- [30] Dal-ho Cho, Kang Ryoung Park, Dae Woong Rhee, Jaihie Kim, Jonghoon Yang, "Pupil and Iris Localization for Iris Recognition in Mobile Phones", SNPD 2006, Las Vegas Nevada, USA, June 19-20, 2006.
- [31] Byung Joon Park, Jaihie Kim, "A Study on Iris Image Restoration", Lecture Notes In Computer Science(AVBPA2005), Vol.3546, pp.31-40, July 2005.
- [32] www.iris-recognition.org (accessed on 2007.03.28)
- [33] Hyun-Ae Park, Kang Ryoung Park, "Iris Recognition Based on Score Level Fusion by Using SVM", Pattern Recognition Letters, Submitted
- [34] 강병준, 박강령, "속눈썹 추출 방법을 이용한 홍채 인식 성능 향상 연구", 한국정보처리학회 논문지 B, 제12-B권, 제3호, pp. 233-238, 2005년 6월

---

 저 자 소 개
 

---



정 대 식(학생회원)  
 2005년 2월 상명대학교 소프트웨어학과 학사 졸업  
 2007년 2월 상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과 석사 졸업  
 2007년 3월~현재 상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과 박사 과정

<주관심분야 : Biometric 영상처리, 패턴인식, Digital Watermarking>



박 강 령(정회원)-주저자/교신저자  
 1994년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1996년 2월 연세대학교 전자공학과 석사  
 2000년 2월 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사

2000년 3월~2003년 2월 LG전자 기술원 Digital Vision Group 홍채 인식팀

2003년 3월~현재 상명대학교 소프트웨어대학 디지털미디어학부 조교수

<주관심분야 : Biometric 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 vision, 컴퓨터 그래픽스>