

홍채 인식에서의 눈꺼풀 및 눈썹 추출 연구

강병준[†], 박강령^{**}

요 약

홍채 인식은 동공의 확대, 축소 역할을 하는 홍채 근육의 무늬 패턴을 이용하여 동일인 여부를 판별하는 연구 분야이다. 이러한 홍채 인식은 기존의 생체 인식(얼굴, 지문, 정맥; 및 음식 인식 등)방법들에 비해 정확도가 상대적으로 높은 것으로 알려져 있으므로, 최근 고 수준의 정보 보안이 요구되는 분야에서 널리 사용되고 있다. 그런데 홍채 영역 내에 눈꺼풀, 눈썹과 같은 다른 불필요한 정보가 포함되어 홍채 영역을 가리게 된다면, 홍채 인식에서 오류가 발생할 확률도 증가하게 된다. 즉, 홍채 영역을 덮고 있는 눈꺼풀 및 눈썹을 홍채 패턴으로 취급하여 인식에 그대로 사용할 경우, 눈꺼풀과 눈썹의 위치가 변경되게 되면 그에 따라 홍채 코드 역시 바뀌게 되어 인식 오류도 증가하게 될 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서는 피라미드 탐색 기반 포물선 가변 템플릿을 이용하여 눈꺼풀을 추출하였으며, 또한 눈썹 마스크를 이용하여 고속으로 눈썹 영역을 추출하였다. 실험 결과 본 논문에서 제안하는 눈꺼풀 및 눈썹 추출 알고리즘을 사용하지 않았을 때의 인식성능(EER)보다 제안하는 알고리즘을 사용했을 때의 인식 성능이 0.3% 향상되는 결과를 얻었다.

A Study on Eyelid and Eyelash Localization for Iris Recognition

Byung Joon Kang[†], Kang Ryoung Park^{**}

ABSTRACT

Iris recognition is that identifies a user based on the unique iris muscle patterns which has the functionalities of dilating or contracting pupil region. Because it is reported that iris recognition is more accurate than other biometrics such as face, fingerprint, vein and speaker recognition, iris recognition is widely used in the high security application domain. However, if unnecessary information such as eyelid and eyelash is included in iris region, the error for iris recognition is increased, consequently. In detail, if iris region is used to generate iris code including eyelash and eyelid, the iris codes are also changed and the error rate is increased. To overcome such problem, we propose the method of detecting eyelid by using pyramid searching parabolic deformable template. In addition, we detect the eyelash by using the eyelash mask. Experimental results show that EER(Equal Error Rate) for iris recognition using the proposed algorithm is lessened as much as 0.3% compared to that not using it.

Key words: Iris Recognition(홍채인식), Eyelid Detection(눈꺼풀검출), Eyelash Detection(눈썹검출)

※ 교신저자(Corresponding Author): 박강령, 주소: 서울 시 종로구 홍지동 7번지(110-743), 전화: 02)2287-5394, FAX: 02)396-5704, E-mail: parkgr@smu.ac.kr

접수일: 2004년 9월 8일, 완료일: 2005년 1월 7일

[†] 상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과 석사과정 (E-mail: 9737001@smu.ac.kr)

^{**} 정회원, 상명대학교 소프트웨어대학 미디어학부 조교수

※ 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-003-D00374)

1. 서 론

신분증, 패스워드, RF(Smart) 카드의 분실시 발생할 수 있는 개인 정보 유출의 문제점들을 해결하기 위하여, 사람이 항상 지니고 다니며 높은 정확도에 의해 그 사람의 신원을 밝혀줄 수 있는 생체 인식 기술(biometrics)이 최근 각광을 받고 있다[1].

생체인식 기술의 대표적인 것으로 얼굴인식, 지문인식, 홍채인식, DNA인식, 정맥인식 및 음성(화자)인식 등이 있다. 이 중, 홍채인식(Iris Recognition)은 사람의 눈에서 중앙의 검은 동공과 흰자위 사이에 존재하는 도넛 모양의 홍채의 패턴을 이용하여 사용자를 인증하는 기술이다[2,3,5,12]. 이러한 홍채를 이용한 생체 인식 기술은 1993년에 영국 캠브리지 대학의 John G. Daugman 교수에 의해 가버 웨이블릿 변환(Gabor Wavelet Transform)을 기반으로 하여 홍채패턴을 256바이트로 코드화하는 영상신호처리 알고리즘으로 제안되어졌다[2,4,5].

홍채 영상을 취득하는 과정에서 눈꺼풀이나 눈썹이 홍채를 가려서 홍채 영역안에 포함되는 경우가 흔히 발생된다. 홍채 영역 부분에 홍채패턴 이외에 눈꺼풀이나 눈썹과 같은 불필요한 정보가 들어가게 된다면 인식하는 사람이 동일인임에도 타인으로 잘못 인식하는 오류를 범하는 경우가 발생될 수 있다. 순수한 홍채 패턴에 포함된 불필요한 정보들은 홍채 인식 오류를 증가시키므로 눈꺼풀과 눈썹 영역을 홍채 영역에서 검출하여 제거하는 것은 홍채 인식 오류를 감소시켜 정확한 인식을 가능하게 만든다는 점에서 중요하다고 하겠다. 기존의 눈꺼풀 추출 연구에서 Deng은 영역 기반 가변 템플릿(Region-based Deformable Template) 및 마스킹(Masking) 방법이라고 불리는 연구 방법을 제안하였다[13]. 이 방법은 Yuille의 에너지 최소화 방법을 확장시킨 개념이며 [14], 눈꺼풀을 찾기 위하여 가변 눈 템플릿을 사용한다. 그러나 Deng의 방법은 전체 눈 영역을 추출하기 위한 방법이며, 처리 시간이 비교적 오래 걸리는 문제점이 있다. 또한 기존의 눈썹 추출 연구에서 Kong은 1차원 가버 필터와 원도우내에서의 밝기의 분산 값을 이용하여 떨어진 눈썹과 붙은 눈썹을 추출하는 방법을 제안하였다[11]. 그러나 이 방법에서는 눈썹의 수직방향 연결(Vertical Connection) 특성을 이용하지 못하므로, 눈썹 검출의 어려움이 높은 결과를 나타냈다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서는 포물선 기반 가변 템플릿과 마스크를 기반으로 눈꺼풀 및 눈썹 이미지 검출하여 제거하는 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 눈의 구조

홍채는 그림 1과 같이 흰자위와 동공사이에 존재

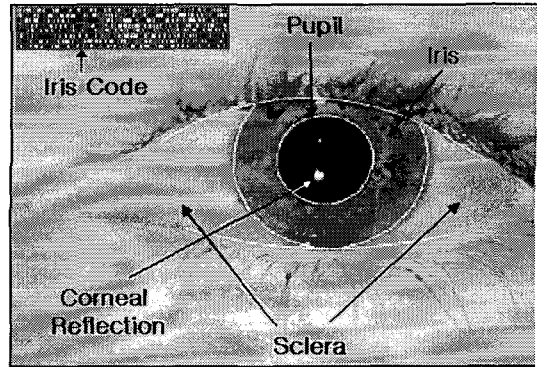


그림 1. 홍채의 구조

하는 근육 띠로 개인마다 세밀하면서도 고유한 패턴이 존재한다[1-3,5,12].

3. 전체 시스템 흐름도

본 논문에서 제안하는 눈꺼풀 및 눈썹 추출하는 과정을 포함한 전체 시스템 흐름도는 그림 2와 같다. 홍채 영상을 취득한 후, 식 (1)에서 나타나 있는 원형 경계 검출 방법을 이용하여 동공 경계(홍채의 내부 경계) 및 홍채의 외부 경계를 찾음으로써, 홍채 영역을 추출한다.

그리고 추출한 홍채 영역의 정보를 바탕으로 하여, 5장에서 설명할 피라미드 탐색 기반 포물선 형태(Parabolic Shape)의 2개 가변 템플릿을 사용하여 위 눈꺼풀과 아래 눈꺼풀을 검출하였다. 이를 위하여 식 (2)에서 설명할 눈꺼풀 탐색 영역은 3*3 Sobel 경계 검출기에 의해 경계 영상으로 변환하였으며, 이 영상에 대해 가변 템플릿을 적용하였다.

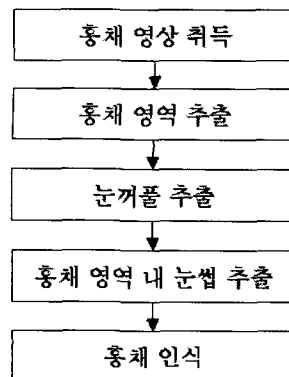


그림 2. 전체 흐름도

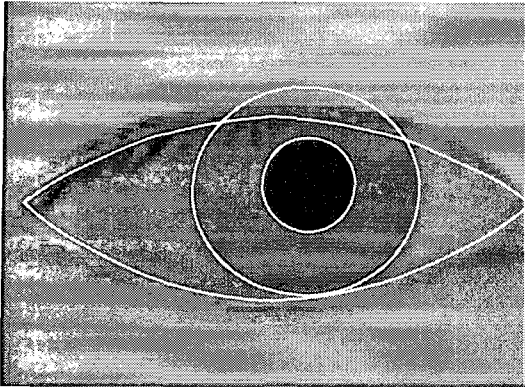


그림 3. 동공, 홍채 및 눈꺼풀 추출의 예

이후, 홍채 영역 안에 존재하는 눈썹을 추출한다. 눈썹 추출을 위하여 그림 4와 같은 눈썹추출 마스크를 사용하였으며, 식 (2)의 눈썹탐색영역의 평균 밝기를 기반으로 한 적응적 임계치 및 라벨링 기법을 추가로 사용함으로써 눈썹 추출 정확도를 향상하였다. 이처럼 추출된 눈꺼풀과 눈썹은 홍채 패턴과 상관 없는 불필요한 정보이므로, 최종적으로 홍채코드 추출 및 홍채 인식에 사용하지 않게 된다.

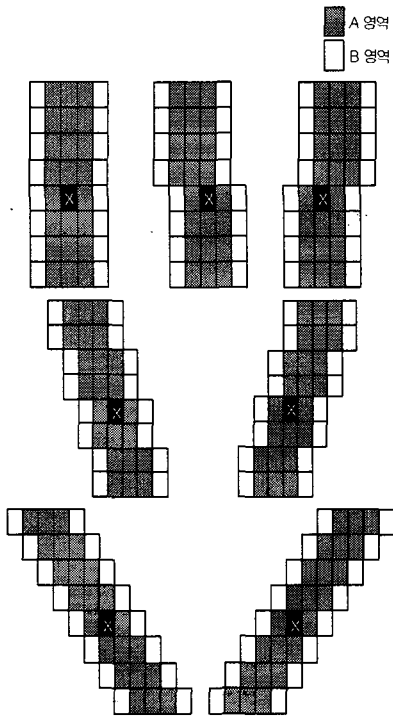


그림 4. 눈썹 추출 마스크

4. 홍채 영역 추출

홍채 인식을 수행하기 위해서는 홍채 카메라로부터 입력된 영상으로부터 동공, 홍채 영역을 정확하게 추출할 수 있어야 한다. 본 논문은 식 (1)과 같이 원형 경계 검출 방법(Circular Edge Detector)에 의해 입력 영상에서 동공 및 홍채 영역을 추출하였다[2,4,5].

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

식 (1)에서는 원형 검출기의 중심(x_0, y_0)과 반지름 r 을 변화시켜 가면서 원주에 위치해 있는 그레이 픽셀들의 값($I(x, y)$)의 평균값(integral)을 구한 후, 반지름 r 의 변화에 따라 값의 크기변화(derivative)가 가장 큰 곳을 동공 혹은 홍채의 경계 부분으로 검출해 낸다. 식 (1)에서 가우시안 컨볼루션($G_\sigma(r)*$)을 사용한 이유는 다른 원자위 영역등에 속눈썹이 길게 내려와 있는 경우 홍채 경계 추출의 오류가 발생할 수 있기 때문이다. 즉, 가우시안 컨볼루션에 의해 영상을 어느 정도 흐림(blurring)시킴으로써 홍채 경계보다 고주파 성분을 가지는 눈썹 영역의 영향을 최소화 시키는 것이다.

5. 눈꺼풀 및 눈썹 영역 추출

홍채 영역 안에 눈꺼풀 및 눈썹과 같은 불필요한 정보가 존재할 경우가 발생하므로 보다 정확한 홍채 인식을 위해서는 눈꺼풀 및 눈썹 영역을 추출해야 한다. 기존에 Deng은 눈꺼풀 영역을 검출하기 위해서 영역 기반 가변 템플릿(Region-based Deformable Template) 및 마스크링(Masking) 방법을 사용하였다 [13]. 이 방법은 Yuille의 에너지 최소화 방법을 확장시킨 개념이며[14], 눈꺼풀을 찾기 위하여 가변 템플릿을 사용한다. 그러나 Deng의 방법은 전체 눈영역을 추출하기 위한 방법으로 처리 시간이 비교적 오래 걸리는 문제점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 눈꺼풀을 찾기 위하여 가변 템플릿 대신에 포물선 형태(Parabolic Shape)의 2개의 가변 템플릿을 사용하여 위 눈꺼풀과 아래 눈꺼풀을 검출함으로써 이러한 문제점을 해결하였다. 이를 위하여 눈꺼풀 탐색 영역은 3*3 Sobel 경계 검출기에 의해 경계 영상으로 변환하였으며, 이 영상에 대해 가변 템플릿을 적용하였다.

식 (1)에 의해 추출된 동공 및 홍채 중심, 반지름 정보를 바탕으로 설정된 영역 내에서 피라미드 탐색 방법에 의해 눈꺼풀 탐색을 수행하였으며, 그 결과 처리 시간도 상당히 단축할 수 있었다. 그림 3은 동공, 홍채 및 눈꺼풀의 영역 추출한 결과의 예이다.

그림 3과 같이 홍채 영역의 위치 파악한 후, 홍채 영역 안에 존재하는 불필요한 정보인 눈썹을 추출해 내야 한다. 전술한 바와 같이 홍채 영역 부분에 눈썹과 같은 불필요한 정보가 포함되어 있으면 인식하는 사람이 동일인임에도 불구하고 타인으로 인식하는 오류를 범하는 경우가 발생될 수 있기 때문이다. 홍채 영역에서 불필요한 정보인 눈썹 이미지를 검출하여 제거하게 되면 순수한 홍채 패턴만을 검출할 수 있으므로 보다 정확한 인식을 가능하게 한다. 기존의 눈썹 추출 연구에서 Kong[11]은 눈썹을 추출하기 위하여 1차원 가버 필터와 윈도우내에서의 밝기의 분산값을 이용하였다. 그러나 이 방법에서는 눈썹의 수직방향 연결(vertical connection) 특성을 고려하지 않으므로, 눈썹 검출의 에러율이 높아지는 결과를 나타냈다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이 논문에서는 마스크를 기반으로 홍채 인식에서의 눈썹 이미지 검출하여 제거하는 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 그림 6와 같이 탐색 영역을 설정하여 이 영역 내에서 눈썹의 위치를 추출하였다. 탐색 영역의 중심(C_x, C_y) 및 탐색 영역의 가로, 세로 길이($W*H$)는 다음 식 (2)에 의해 정해진다.

$$\begin{aligned}
 W &= 2 * IrisRadius, \quad H = IrisRadius \\
 C_x &= (PupX + IrisX) / 2 \\
 C_y &= EyeLidY + (IrisY - EyeLidY) / 2 \quad (2)
 \end{aligned}$$

식 (2)에서 (PupX, PupY), (IrisX, IrisY) 및 (EyeLidX, EyeLidY)는 각각 추출된 동공, 홍채 및 눈꺼풀의 중심위치이고 IrisRadius는 추출된 홍채의 반경을 나타낸다.

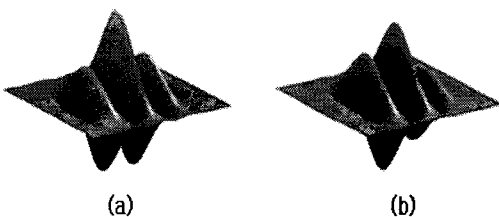


그림 5. 가버필터 형태 (a)실수부 (b)허수부

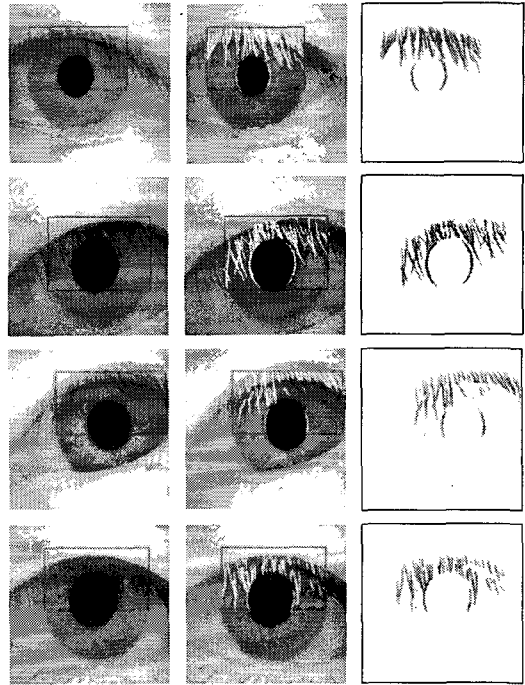


그림 6. 눈썹 추출 결과 영상

일반적으로 눈썹은 시작되는 위치부터 직선 또는 대각선 방향으로 존재하게 되므로, 본 논문에서는 그림 4와 같은 눈썹 추출 마스크를 이용하여 눈썹을 추출하였다.

눈썹들의 픽셀 값은 일반적으로 홍채 영역 보다 어두워서 픽셀의 그레이 값이 작다. 따라서 그림 4에서 음영이 칠하여진 영역을 A, 음영이 칠하여지지 않은 흰색 영역을 B라고 할 때, 눈썹의 위치가 A영역과 일치하고 홍채 영역이 B영역과 일치할 경우, B영역과 A영역의 차이는 더욱 커지게 된다. 본 논문에서는 식 (2)에 의해 설정된 눈썹 탐색 영역 내에서 그림 4의 마스크의 중심위치(X부분)를 움직여 가면서 눈썹의 위치를 검출하게 된다. 마스크 계산을 위해 A영역에서의 그레이 픽셀 값들의 합과 B영역에서의 픽셀들의 합을 구한 후에 A영역이 B영역보다 픽셀의 수가 1.5배 많으므로 B영역의 픽셀들의 합산 값에 1.5배 한 값과 A영역의 값의 차이를 구하였다. 눈썹 방향은 일반적으로는 홍채 중심을 기준으로 좌우 대칭이지만, 인위적으로 마스크카를 한 경우는 좌우 비대칭의 형태를 나타내는 경우도 종종 발생한다. 그러므로 이 논문에서는 눈썹의 존재 가능 영역 내에서

그림 4와 같은 7가지 형태의 마스크를 모두 적용하여 그 정합값 차이가 일정 임계치 이상이 되는 경우 마스크의 A영역을 눈썹이라고 판단을 하였으며, 이 A영역은 홍채 인식에 있어서 불필요한 정보이므로 식 (4)에 의한 홍채 코드 추출 시 사용하지 않았다. 즉, 식 (4)에서 가버 필터를 적용하려는 홍채 영역 $I(\rho, \phi)$ 에 그림 4의 마스크에 의한 눈썹 영역으로 표시된 영역이 하나라도 존재하는 경우 이 영역에서 생성된 홍채 코드는 유효하지 않은 것(Invalid)으로 간주하여 식 (5)와 같은 해밍 거리 계산에 사용하지 않는 것이다.

여기서 눈썹 추출 시 사용하는 임계치를 고려해야 한다. 사용하는 임계치 값이 너무 커질 경우 눈썹임에도 불구하고 검출하지 못하는 경우(False Rejection Error)가 발생되고, 임계치 값이 너무 작아질 경우 눈썹이 아닌 부분도 검출하게 될 가능성(False Acceptance Error)이 커져서 부정확한 결과를 얻게 된다. 일반적으로 홍채 인식용 카메라는 적외선 차단 필터와 적외선 조명을 사용하므로 외부 가시광선의 영향을 덜 받지만[15-17], 홍채 카메라와 사용자의 눈 사이의 거리에 따라 적외선 조명의 밝기를 적절하게 해 주어야 홍채 인식을 수행하기에 적합한 밝기의 영상을 얻을 수 있다. 그런데 일반적으로 홍채 카메라에서 사용자 눈까지의 정확한 Z거리를 구하기가 어렵고, 또한 Z거리를 구한다고 해서 적외선 조명의 밝기를 정확하게 조정하기가 어렵기 때문에 입력된 홍채 영상의 평균 밝기 역시 비교적 많은 편차를 갖게 된다. 본 논문이 제안하는 눈썹 추출 알고리즘은 홍채 영역과 눈썹 사이의 픽셀 그레이값의 차이를 이용하는 것인데, 홍채 영상의 평균 밝기의 편차에 따라 홍채 영역과 눈썹 사이에 픽셀 그레이값의 차이도 또한 편차를 가지게 되므로 이 논문에서는 다음과 같은 방법으로 눈썹 추출을 위한 임계치를 사용하였다.

즉, 임계치는 식 (2)에서 정한 탐색 영역의 평균 그레이값*10으로 정하였다. 이는 탐색 영역내에 눈썹이 많을수록 전체적으로 평균 그레이값이 낮아지게 되며, 이러한 경우 눈썹영역과 비 눈썹영역사이의 구분이 잘 되지 않아 정합값이 낮게 나오기 때문이다. 또한 탐색 영역내에 눈썹이 적으면 탐색 영역의 평균 그레이값이 높아지게 되며 이러한 경우 눈썹과 비 눈썹 사이의 구분이 뚜렷하여 정합값도 높아지기 때문에 임계치를 높게 사용해야 하기 때문이다.

그림 4의 마스크만 사용하는 경우 탐색 영역내의 홍채 패턴 역시 그림 4와 같은 형태를 지닐 수 있기 때문에 홍채 패턴 중 얇고 선명하게 나오는 부분들을 눈썹으로 잘못 추출하는 경우가 종종 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 4의 마스크를 이용한 눈썹 정합을 수행하기 전에 식 (2)에서 정해진 탐색 영역내에 가우시안 필터링(Gaussian Filtering)을 수행한 후, 이 영상에 대해 그림 4와 같은 마스크 정합을 수행하였다. 이처럼 가우시안 필터링을 통한 저주파 통과 연산(Low Pass Filtering Operation)을 수행하는 이유는 기본적으로 홍채 패턴의 경우 무늬의 두께가 눈썹보다는 두껍다는 이유 때문이다. 즉, 이러한 연산을 통해 홍채 패턴 부분의 경계는 더욱 blurring 됨으로써, 그림 4에 의한 마스크 정합에 포함되지 않게 되는 것이다. 반면 눈썹 부분은 홍채 패턴에 비해 얇고 선명하므로 이러한 저주파 통과 연산을 통해서도 마스크 정합에 검출되는 성질을 나타낸다.

6. 홍채 인식

이처럼 홍채의 중심과 내부경계, 외부경계, 눈꺼풀, 눈썹 영역을 찾아낸 후에 식(3)과 같이 추출된 홍채 영역을 극좌표계로 변환하였다[2,4,5]. 극좌표계로 변환하는 이유는 조명의 밝기 등과 같은 주변의 환경의 변화로 인한 동공의 변화, 카메라와 눈까지의 거리 변화들로 인한 홍채 영역의 변화에 대처하기 위함이다.

$$I(x, y) \rightarrow I(\rho, \phi) \quad (3)$$

극좌표계로 변환된 홍채 영역에 대해, 식 (4)와 같이 위치에 대한 정보와 주파수 정보를 모두 가지고 있는 가버 웨이블릿 변환(Gabor Wavelet Transform)을 사용하여 256바이트 크기의 홍채 코드를 생성하였다.[2,4,5].

식 (4)에 나타나 있는 것처럼 가버 변환 후 amplitude보다는 phase만을 고려하여, 부호가 0이상인 경우와 0보다 작은 경우로 분류함으로써 각각 홍채 코드 1과 0을 할당한다.

다음 그림 5는 본 논문에서 사용한 가버 필터의 실수부와 허수부 형태를 나타낸 것이다.

가버필터는 주파수 파라미터에 따라 그 형태가 바

$$\begin{aligned}
 h_{Re} &= 1 \text{ if } \operatorname{Re} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-i\omega(\theta_0-\theta)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\theta)^2/\beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi \geq 0 \\
 h_{Re} &= 0 \text{ if } \operatorname{Re} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-i\omega(\theta_0-\theta)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\theta)^2/\beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi < 0 \\
 h_{Im} &= 1 \text{ if } \operatorname{Im} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-i\omega(\theta_0-\theta)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\theta)^2/\beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi \geq 0 \\
 h_{Im} &= 0 \text{ if } \operatorname{Im} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-i\omega(\theta_0-\theta)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\theta)^2/\beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi < 0
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

뀌게 되며, 본 논문에서는 여러 주파수 파라미터를 바꿔가면서 실험하여 가장 인식 성능(EER)이 우수한 순간의 주파수 파라미터인 $\pi/16$ 과 $\pi/8$ 를 사용하였다.

이렇게 생성해 낸 홍채 코드는 식(5)와 같이 해밍 거리(Hamming Distance)를 사용하여 서로 비교하였다[2,4,5].

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j (XOR) B_j \tag{5}$$

식 (5)에서 A_j 는 기 등록되어 있던 홍채 코드를 그리고 B_j 는 입력된 홍채 영상으로부터 추출된 홍채 코드를 나타낸다. XOR의 특성상 A_j 와 B_j 가 같은 경우($A_j=0, B_j=0$ 혹은 $A_j=1, B_j=1$)인 경우에는 1을 그 외의 경우는 0을 산출하게 된다. N 은 추출된 홍채 코드 중에서 유효한(valid)한 홍채 코드의 수를 나타낸다.

최종적으로 계산된 해밍 거리가 일정한 임계치보다 작으면 등록된 동일인으로 판단하고, 임계치보다 높으면 타인으로 판단하게 된다. 본 논문에서는 임계치로 0.38을 사용하였다. 이때 전술한 바와 같이 눈꺼풀과 눈썹 추출 결과로 홍채 영역이 아닌 것으로 판정된 곳에서 추출된 홍채코드는 유효하지 않은 것으로 간주하여 해밍 거리 계산에서 사용하지 않았다.

7. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 CASIA Iris image Database (ver 1.0)을 이용하여 제한한 눈꺼풀 및 눈썹 검출 알고리즘의 성능 평가하였다[9]. CASIA 홍채 DB는 80명에 대한 108 종류의 홍채로부터 추출된 총 756장의 홍채 영상으로 구성되어 있다. 홍채 영상은 한 달 간격으로 취득되었으며, 영상의 형식은 320*280 픽셀크기에 8 비트 그레이 영상이다. CASIA DB 내의 홍채 직경은 200 픽셀이상이고, 전체 대상 중 약 5.2%가

컨택트 렌즈를 착용하고 취득된 홍채 영상이다. 대상 영상 중 안경을 착용한 영상은 포함되어 있지 않다.

눈꺼풀 추출의 정확도는 실제 눈꺼풀 영역과 추출된 눈꺼풀 영역사이의 픽셀 위치에 대한 RMS 에러로 계산하였다. 실험 결과 평균 7 픽셀의 RMS에러를 나타냈다.

그림 6은 입력 영상에 대해 눈썹 탐색 영역 내에서 그림 4와 같은 마스크 기반 눈썹 추출 알고리즘을 사용하여 눈썹 영역을 추출한 예를 나타낸 것이다. 눈썹 추출 알고리즘을 통해 눈썹이라고 판단하여 검출한 부분의 픽셀값을 255로 나타냈다.

그림 6에서 보면 동공의 외곽 경계 부분 및 홍채 내부에 눈썹이 아니지만 눈썹으로 검출된 부분이 있는데, 이것은 라벨링(Labeling)에 의한 연결 요소(Connected Component) 검출 기법으로 제거하였다[7]. 즉, 라벨링 기법을 이용하여 뭉쳐서 있는 픽셀들에 영역 번호(Label)를 붙이고, 눈썹이 시작되는 부분에 포함되지 않는 독립적으로 존재하는(Isolated) 크기가 작은 픽셀들을 제거하였다.

눈썹 추출의 정확도를 계산하기 위해 본 논문에서는 입력 영상에서 손으로 직접 표시한 눈썹 영역과 본 논문의 방법으로 찾은 눈썹 영역간의 차이값을 식 (6), (7)에 의해 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{눈썹추출에러율}(\%) &= \\
 &= 100 * (\text{잘못 검출한 눈썹의 픽셀수}) / (\text{눈썹탐색영역의 크기 (식(5)의 } W * H)) \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{잘못 검출한 눈썹의 픽셀수} &= \\
 &= (\text{눈썹인데 눈썹으로 추출하지 못한 영역의 픽셀수}) \\
 &+ (\text{눈썹이 아닌데 눈썹으로 검출한 영역의 픽셀수}) \tag{7}
 \end{aligned}$$

실험 결과 눈썹 추출의 정확도는 평균 1.2%로 조사되었으며, Kong의 방법 [11]보다 우수한 결과를 나타냈다 (Kong의 방법은 평균 3%의 에러를 나타냄)

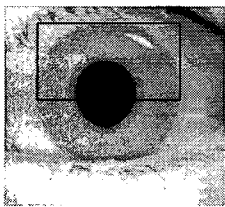
다음 표 1에서는 눈썹 탐색 영역 내에 눈썹이 포함된 정도에 따른 눈썹 추출 에러율을 측정된 것이다.

표 1에서 알 수 있듯이 탐색 영역내에 눈썹이 포함된 정도가 많을수록 눈썹 추출의 에러가 증가되는 경향을 나타냈다. 이는 눈썹들이 뭉쳐있는 경우가 많아서 그림 4의 마스크만으로는 정확한 눈썹 영역을 추출하지 못하는 경우가 종종 발생했기 때문이다.

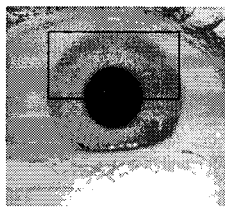
다음 그림 7에는 탐색 영역내의 눈썹 포함 정도에

표 1. 탐색 영역 내에 눈썹이 포함된 정도에 따른 눈썹 추출 에러율

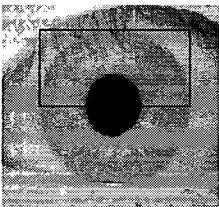
영상 인덱스	탐색 영역내의 눈썹 포함 정도	눈썹 추출 에러율
1	0%	0%
2	0%	0.25%
3	5%	0.5%
4	10%	0.7%
5	10%	1.1%
6	15%	1.2%
7	21%	1.2%



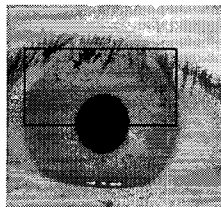
(1) 눈썹 포함 정도 (0%)



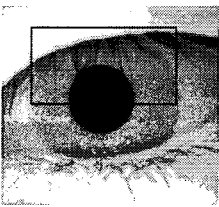
(2) 눈썹 포함 정도 (0%)



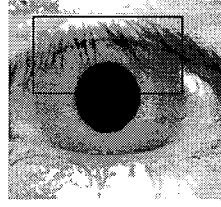
(3) 눈썹 포함 정도 (5%)



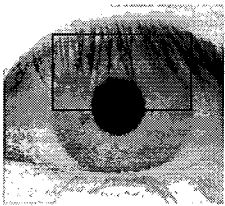
(4) 눈썹 포함 정도 (10%)



(5) 눈썹 포함 정도 (10%)



(6) 눈썹 포함 정도 (15%)



(7) 눈썹 포함 정도 (21%)

그림 7. 탐색 영역내의 눈썹 포함 정도에 따른 실험 영상

따른 실험 영상을 나타내고 있다.

다음 실험에서는 본 논문에서 제안한 눈꺼풀 및 눈썹 추출 알고리즘을 사용했을 때와 사용하지 않았

을 경우의 인식율을 비교하였다. 홍채 인식을 위해서는 전술한 CASIA DB를 이용하였으며, 이중 108개의 홍채 영상을 등록하여 총 648개의 Genuine Data와 69,336개의 Imposter Data를 생성하여 인식 실험을 하였다. 홍채 인식 시스템의 인식률은 오인식율(False Acceptance Rate)과 오거부율(False Rejection Rate)로 나눌 수 있는데, 둘 사이에는 trade-off 관계가 성립하게 된다[2,12]. 이때 오인식율은 등록하지 않은 사람을 인식하는 에러를 나타내며, 오거부율은 등록된 사람을 거부하는 에러를 나타낸다. 일반적으로는 오인식율과 오거부율이 같아지는 지점에서의 균등 에러율(Equal Error Rate)을 인식 시스템의 성능으로 평가하게 된다. 따라서 본 논문에서도 균등 에러율을 기준으로 성능 평가를 하였다. 실험한 결과는 표 2에 나타나 있다.

본 논문에서의 눈꺼풀 및 눈썹 추출 알고리즘은 제한된 영역에서 수행되므로 처리시간도 상당히 빠른 결과를 나타냈다. 실험 결과 Pentium-III 866Mhz에서 눈꺼풀 영역을 추출하는데 약 5ms, 그리고 눈썹 영역을 추출하는데 약 3ms가 소요됨을 알 수 있었다. 입력 영상에서 동공영역 추출에는 39ms, 그리고 홍채 영역 추출에는 42ms, 홍채 코드 추출에는 5ms, 1명과 해밍 거리 계산하는데 3ms가 소요되었다.

표 2. 눈꺼풀 및 눈썹 추출과정 유무에 따른 인식율

	눈꺼풀 및 눈썹 추출과정이 포함되지 않은 경우	눈꺼풀 및 눈썹 추출과정이 포함된 경우
균등 에러율 (EER) (%)	0.42	0.12

8. 결 론

본 논문에서는 순수한 홍채 패턴만을 홍채 인식에 사용하여 보다 나은 인식 성능을 얻기 위해 가변 템플릿 기반으로 눈꺼풀 영역을, 그리고 마스크 기반으로 눈썹을 추출함으로써 불필요한 정보들을 제거하는 방법을 제안하였다. 실험 결과 본 논문에서 제안하는 눈꺼풀 및 눈썹 추출 알고리즘을 사용하지 않았을 때의 인식성능(EER)보다 제안하는 알고리즘을 사용했을 때의 인식 성능이 0.3% 향상되는 결과를

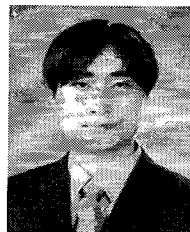
연었다. 반면, 본 논문에서 사용한 마스크 이외에 각도가 더 기울어져 있는 눈썹과 뭉쳐져 있는 눈썹에 대해서 검출 에러가 증가되는 문제점이 있었다. 향후 눈썹 추출 에러를 줄이기 위해 좀 더 다양한 형태의 마스크의 사용을 고려해야 할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 박강령, “홍채 인식 기술,” *멀티미디어학회지*, 제7권, 제2호, pp. 23-31, 2003.
 [2] John G. Daugman, “High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 11, pp. 1148-1161, 1993.
 [3] 장재영, 김희율, “홍채 인식 기술의 동향,” *전자공학회지*, 제26권, 제11호, 1999.
 [4] John G. Daugman, “Demodulation by Complex-valued Wavelets for Stochastic Pattern Recognition,” *International Journal of Wavelets, Multi-resolution and Information Processing*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-17, 2003.
 [5] John G. Daugman, “How Iris Recognition Works,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 21-29, 2004.
 [6] 송명섭, 홍채 인식을 위한 1차원 홍채 서명의 분석, 연세대학교 전기 컴퓨터 공학과 석사학위 논문, 2000.
 [7] Ramesh Jain, *Machine Vision*, McGraw-Hill International Edition, 1995.
 [8] P.Kronfeld, *Gross Anatomy and Embryology of the Eye, in the Eye*, H. Davson, Ed. London, U.K.: Academic, 1962.
 [9] <http://www.sinobiometrics.com/casiairis.htm>.
 [10] 박영규, 노승인, 윤훈주, 김재희, “일차원 홍채 신호를 이용한 개인 식별,” *전자공학회 논문지*, 제39SP-1-8호, pp. 80-76, 2002.
 [11] W.K. Kong and D. Zhang, “Accurate Iris

Segmentation Based on Novel Reflection and Eyelash Detection Model,” *Proceedings of 2001 International Symposium on Intellignt Multimedia, Video and Speech Processing*, May 2001.

[12] <http://www.iris-recognition.org>.
 [13] J. Deng and F. Lai, “Region-based Template Deformation and Masking for Eye Feature Rextraction and Description,” *Pattern Recognition*, Vol. 30, No. 3, pp. 403-419, 1997.
 [14] A. Yuille and P. Hallinan., *Deformable Templates: Active Vision*, A. Blake and A. Yuille, eds., pp. 21-38, MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
 [15] <http://www.lgiris.com>.
 [16] <http://www.iridiantech.com/products.php?page=4>.
 [17] <http://www.panasonic.com/cctv/products/biometrics.asp>.



강 병 준

2004년 2월 상명대학교 소프트웨어학과 졸업
 2004년 3월~현재 상명대학교 일반대학원 컴퓨터학과 석사과정

관심 분야: Biometric 영상처리, 컴퓨터 vision



박 강 령

1994년 2월 연세대학교 전자 공학과 졸업
 1996년 2월 연세대학교 전자 공학과 석사
 2000년 2월 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사
 2000년 3월~2003년 2월 LG 전자 기술원 Digital Vision Group 홍채 인식팀
 2003년 3월~현재 상명대학교 소프트웨어대학 미디어 학부 조교수
 관심 분야: Biometric 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 vision, 컴퓨터 그래픽스