

논문 2007-44SP-1-12

홍채 인식을 위한 포물 허프 변환 기반 눈꺼풀 영역 검출 알고리즘

(Eyelid Detection Algorithm Based on Parabolic Hough Transform for Iris Recognition)

장영균*, 강병준**, 박강령***

(Young Kyoon Jang, Byung Jun Kang, and Kang Ryoung Park)

요약

홍채 인식은 홍채 패턴 정보를 이용하여 사람의 신원을 확인하는 생체 인식 기술이다. 일반적인 홍채 인식 시스템에서 취득된 홍채 영상에는 홍채 패턴 정보를 가리는 눈꺼풀이 포함된다. 이러한 눈꺼풀은 홍채 인식의 성능을 저하시키는 요소이다. 따라서 본 논문에서는 홍채 인식의 정확성을 향상시키기 위해 눈꺼풀 검출 알고리즘을 제안한다. 본 연구는 기존의 방법에 비해 다음과 같은 세 가지 차별성과 장점을 가지고 있다. 첫 번째, 눈꺼풀 검출에 문제가 되는 속눈썹과 조명 반사광(specular reflection)을 기존의 방법에 의해 검출한 후에, 선형 보간법(interpolation)을 이용하여 제거하는 방법을 제안함으로써 눈꺼풀 추출의 정확도를 향상하였다. 두 번째, 기존의 알고리즘은 눈꺼풀 후보점을 추출하기 위해 홍채의 넓은 부분을 탐색하므로 영상잡음이나 홍채 패턴 등에 의해 눈꺼풀을 잘못 추출하는 경우가 많았다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 검출된 홍채의 외곽경계 정보에 의해 초기 눈꺼풀 탐색 영역을 결정하고, 마스크 기법을 이용하여 눈꺼풀 후보점들을 추출함으로써 눈꺼풀 추출 에러를 감소시켰다. 세 번째, 기존의 알고리즘들은 포물선 방정식에 의해 눈꺼풀 영역을 검출하지만, 사용자의 눈의 회전을 고려하지 않았기 때문에 많은 에러가 발생되었다. 따라서 제안하는 알고리즘은 눈의 회전을 고려한 회전된 포물선 방정식을 이용한 허프 변환(Hough transform)을 통해 눈꺼풀을 검출함으로써 이러한 에러 발생을 감소시켰다.

CASIA 데이터베이스의 홍채 영상을 사용하여 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘을 실험한 결과, 위 눈꺼풀의 검출 정확도는 90.82%, 아래 눈꺼풀의 검출 정확도는 96.47%였다.

Abstract

Iris recognition is biometric technology which uses a unique iris pattern of user in order to identify person. In the captured iris image by conventional iris recognition camera, it is often the case with eyelid occlusion, which covers iris information. The eyelids are unnecessary information that causes bad recognition performance, so this paper proposes robust algorithm in order to detect eyelid. This research has following three advantages compared to previous works. First, we remove the detected eyelash and specular reflection by linear interpolation method because they act as noise factors when locating eyelid. Second, we detect the candidate points of eyelid by using mask in limited eyelid searching area, which is determined by searching the cross position of eyelid and the outer boundary of iris. And our proposed algorithm detects eyelid by using parabolic hough transform based on the detected candidate points. Third, there have been many researches to detect eyelid, but they did not consider the rotation of eyelid in an iris image. Whereas, we consider the rotation factor in parabolic hough transform to overcome such problem.

We tested our algorithm with CASIA Database. As the experimental results, the detection accuracy were 90.82% and 96.47% in case of detecting upper and lower eyelid, respectively.

Keywords: 홍채 인식(Iris Recognition), 눈꺼풀 검출(Eyelid Detection), 포물 허프 변환(Parabolic Hough Transform)

* 학생회원, 상명대학교 소프트웨어학부

(Division of Computer Software, Sangmyung University)

** 학생회원, 상명대학교 일반대학원 컴퓨터학과

(Dept. of Computer Science, Sangmyung University)

*** 정회원, 상명대학교 디지털 미디어학부

(Division of Digital Media Technology, Sangmyung University)

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

접수일자: 2006년7월3일, 수정완료일: 2006년12월28일

I. 서 론

홍채 인식은 홍채 패턴을 이용하여 사람의 신원을 확인(identification)하는 생체인식 기술이다. 홍채인식 과정은 크게 입력 영상으로부터의 홍채 영역 검출, 홍채 특징 코드의 추출, 그리고 홍채 코드의 비교 및 판단의 순으로 이루어진다^[2-6]. 홍채 특징 코드는 검출된 홍채 영역으로부터 추출되는데 원형으로 검출된 홍채 영역 안에 눈꺼풀에 의해 홍채 패턴이 가려지는 경우, 그 눈꺼풀은 홍채 특징 코드가 아닌 다른 정보이기 때문에 홍채인식의 정확도를 떨어뜨리는 문제점을 낳게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 Miyazawa 등은 정확한 눈꺼풀 영역을 검출하지 않고 눈꺼풀에 의해 가려질 가능성이 큰 홍채 윗부분을 홍채 인식에 사용하지 않았다^[7]. 하지만 이러한 방법은 홍채 윗부분의 많은 양의 홍채 패턴 정보도 같이 사용하지 못하게 됨으로 홍채 인식의 정확도를 떨어뜨리는 문제점을 낳게 된다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위해서 눈꺼풀 영역의 정확한 검출이 요구된다. 홍채인식 과정에서 눈꺼풀의 정확한 검출은 불필요한 정보를 제거함과 동시에 인식과정에서 필요한 홍채 정보만을 보유할 수 있게 하므로 홍채 인식의 전반적인 성능을 높이는데 기여한다.

홍채 인식의 성능을 저하시키는 눈꺼풀 정보를 제거하기 위해 기존에 많은 연구들이 진행되어 왔다. Daugman은 그의 논문에서 타원 기반 곡선 정합에 의해 눈꺼풀을 검출한다고 나타내고 있으나, 구체적인 알고리즘이나 실험결과는 제시하지 않았다^[3-6]. Masek은 눈꺼풀과 홍채 사이의 경계를 수평의 직선으로 구분하는 알고리즘을 제안하였고^[8], Liu는 홍채 영역을 네 부분으로 나누고 각각의 영역을 동공이 일정부분 겹치도록 나누는 다음, 네 부분으로 나누어진 각 영역에서 직선의 눈꺼풀 경계를 따로 검출한 이후 각 영역을 다시 합쳐서 보다 완전한 눈꺼풀을 검출하는 알고리즘을 제시하였다^[9]. 이와 같은 알고리즘들은 처리 속도는 빠르지만, 사람의 눈꺼풀은 포물선의 형태로 이루어져 있기 때문에 많은 양의 홍채 패턴 정보를 잃어버리거나, 많은 양의 눈꺼풀 정보가 홍채 특징 코드에 포함되는 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최근의 연구에서 Maenpaa는 홍채 반경 내부의 그레이 값(gray value)을 시계 반대 방향으로 탐색하면서 급격한 그레이 값의 변화로 눈꺼풀의 경계를 탐색하여 포물선 형태로 눈꺼풀을 검출하는 알고리즘을 제안하였고^[10], Yi Chen은 수평 방향의 캐니 경계 검출기(Canny Edge

Detector)를 이용한 경계 검출 이후 가장 길게 연결되어있는 경계점들을 서로 연결하고, Maenpaa와 마찬가지로 포물선 형태로 눈꺼풀을 검출 방법을 제안하였다^[11]. 또한 Jiali Cui는 눈꺼풀에서 시작되는 속눈썹(eyelash)을 검출하고, 검출된 속눈썹 정보를 이용하여 포물선 형태의 호를 검출한 다음, y축 방향으로의 탐색을 통하여 눈꺼풀과 홍채 사이의 경계를 검출함으로써 눈꺼풀 영역을 검출하는 방법을 제안하였다^[12]. 하지만 이와 같이 제안된 눈꺼풀 검출 알고리즘들은 홍채 카메라로부터 입력 받은 홍채 영상에서 눈이 사용자의 움직임에 의해 회전(rotation)되었을 경우를 고려하지 않았기 때문에 눈이 회전된 홍채 영상의 경우에 에러 발생이 증가되는 문제점이 있다. 또한 속눈썹이나 조명 반사광(specular reflection)과 같이 눈꺼풀 경계 검출을 방해하는 요소들에 의해 영향을 받는다는 문제점도 가지고 있다. 따라서 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 눈꺼풀 경계 검출을 방해하는 속눈썹이나 조명 반사광을 검출하여 선형 보간(linear interpolation)함으로써 제거하고, 눈의 회전을 고려하여 눈꺼풀 영역을 검출하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 알고리즘을 상세히 설명하고, III장에서는 CASIA 데이터베이스를 가지고 실험한 결과를 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하고, IV장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대하여 언급하도록 하겠다.

II. 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘

1. 눈꺼풀 검출 알고리즘의 개요

홍채인식의 성능을 감소시키는 불필요한 정보인 눈꺼풀 영역을 검출하여 제거하기 위해 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘의 처리 과정은 그림 1과 같다. 먼저 원형 경계 검출기(Circular Edge Detector)를 이용하여 동공과 홍채 영역을 검출하고, 눈꺼풀 경계 검출을 방해하는 요소인 속눈썹과 조명 반사광을 검출하여 제거한다. 그리고 검출된 홍채 영역 내에서 눈꺼풀 후보점들을 추출하는 과정에서 발생하는 홍채 패턴에 대한 영향을 감소시키기 위해 눈꺼풀 탐색 영역을 검출한 후, 검출된 눈꺼풀 탐색 영역 내에서 그림 3과 같은 마스크를 사용하여 눈꺼풀 후보점들을 추출한다. 마지막으로 추출된 후보점들을 가지고 포물 허프 변환(Hough Transform)을 통해 회전을 고려한 포물선을 검출하여냄으로써 눈꺼풀 영역을 검출한다.

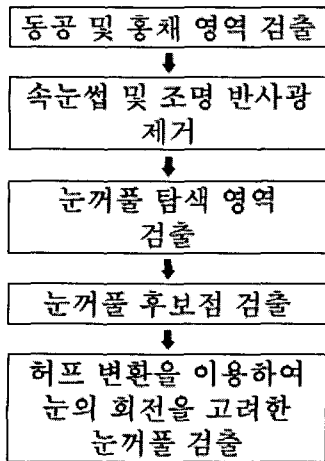


그림 1. 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘의 흐름도
Fig. 1. Proposed eyelid detection algorithm.

2. 동공 및 홍채 영역 검출

동공과 홍채 영역에 대한 검출은 동공과 홍채 정보를 모두 이용한 원형 경계검출 방법(Circular Edge Detection)을 사용하였다^[13]. 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. 원형 경계 검출 시 홍채 영역은 위아래 부분이 눈꺼풀에 의해 덮여있는 경우가 빈번하므로, $-45^{\circ} \sim +30^{\circ}$ 및 $+150^{\circ} \sim +225^{\circ}$ 에서만 원형 경계 검출을 수행하였으며, 동공에 대한 원형 경계 검출은 $0 \sim 360^{\circ}$ 전범위에 대해 수행하였다^[13].

3. 속눈썹 및 조명 반사광 제거

영상에서의 속눈썹과 안구에 맺히는 조명반사광은 눈꺼풀 경계 검출을 방해하는 요소들이다. 따라서 기존에 연구된 알고리즘들은 저주파 통과 필터(low-pass filter)를 사용하여 영상을 흐려지게 만들어서 이러한 요소들에 대한 영향을 감소시켰다^{[14][7]}. 하지만 이러한 방법은 영상 안에 포함된 속눈썹과 조명반사광을 완전히 제거할 수 없고, 눈꺼풀과 홍채 사이의 경계면도 흐려지는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 속눈썹과 조명반사광을 검출하고, 수평 방향(x축 방향)으로 선형 보간 함으로써 눈꺼풀 검출을 방해하는 요소들을 제거하였다. 속눈썹은 속눈썹 형태의 7개 마스크에 의한 정합 값과 속눈썹이 가지는 연속적인 특징을 이용하여 검출하였고^[15], 조명 반사광은 각막에 반사된 조명

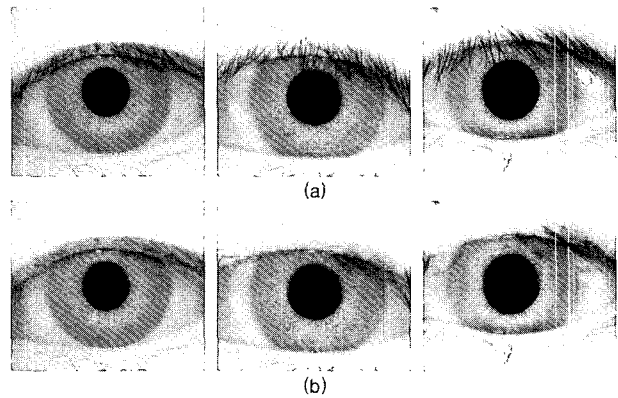


그림 2. 속눈썹과 조명 반사광 제거 영상 : (a) 원 영상 (b) 속눈썹과 조명 반사광을 제거한 영상

Fig. 2. Removal of eyelash and specular reflection in Image : (a) Original image (b) Iris image in which eyelash and specular reflection are removed.

반사광의 밝기가 크다는 특징을 이용하여^[16] 230이상의 그레이 값을 갖는 영역을 라벨링(labeling)에 의한 연결요소(Connected Component) 검출 기법^[17]으로 검출하였다. 그림 2는 속눈썹과 조명 반사광을 검출한 후 수평 방향으로 선형 보간 시켜 제거한 결과 영상이다.

4. 눈꺼풀 탐색 영역 검출

제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘은 그림 3과 같은 마스크를 사용하여 눈꺼풀 후보점을 추출한다. 하지만 마스크 정합 방법의 특성상 눈꺼풀이 아니더라도 마스크

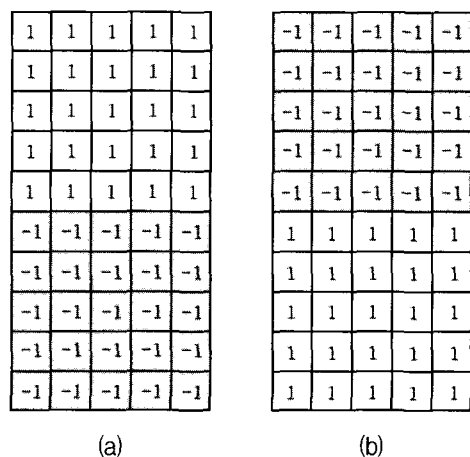


그림 3. 눈꺼풀 후보점 추출 마스크 : (a) 위 눈꺼풀 후보점 추출 마스크 (b) 아래 눈꺼풀 후보점 추출 마스크

Fig. 3. Masks for eyelid candidate detection : (a) Mask for upper eyelid candidate detection (b) Mask for lower eyelid candidate detection.

의 정합 값을 높게 만드는 홍채 패턴이 존재하기 때문에 전체 홍채 영역에 대한 눈꺼풀 후보점 추출은 잘못된 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 홍채 패턴에 의한 눈꺼풀 검출의 에러를 감소시키기 위해 그림 5와 같은 눈꺼풀 탐색 영역을 검출한 후에 눈꺼풀 후보점을 추출하였다.

눈꺼풀은 피부로써 적외선에 높은 반사율을 갖는 특징을 갖는다^[18]. 따라서 홍채 인식을 위해 적외선 조명에서 취득한 눈 영상은 눈꺼풀이 홍채와 흔히 흰자위라 불리는 공막(sclera)보다 높은 그레이 값을 갖는 특징이 있다. 따라서 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘은 이러한 특징을 이용하여 그림 4(e)와 같이 검출한 홍채 영역의 외부 경계 지점에서의 4개의 홍채 영역 안에 존재하는 눈꺼풀 탐색 영역의 끝점을 검출한 후, 그림 4(f)와 같

이 눈꺼풀 탐색 영역을 결정하였다.

보다 자세한 눈꺼풀 탐색 영역 검출 절차는 다음과 같다. 그림 4(e)와 같이 홍채영역내의 눈꺼풀 끝 점을 검출하기 위해서 기준이 되는 그레이 평균값을 구한다. 먼저 홍채 영역의 중심을 기준으로 눈꺼풀에 의해 가려질 가능성이 적은 Q~R각도의 범위에서 홍채 외부 경계로부터 내부로 I픽셀 떨어진 M개의 점들과 내부로 J 픽셀 떨어진 M개의 점들 사이의 그레이 레벨 차이 값의 평균을 식 (1)과 같이 계산한다. 본 논문에서는 평균적으로 눈꺼풀에 의해 가려질 가능성이 적은 영역을 측정하는 실험을 통해, 그림 4(a)와 같이 Q는 -20도, R은 10도로 결정하였다. 이 Q, R값은 CASIA DB의 전체영상을 보고 눈꺼풀로 덮이지 않은 부분의 교집합 부분을 실험적으로 판단함으로써 얻어낸 값이다. 그리고 원형

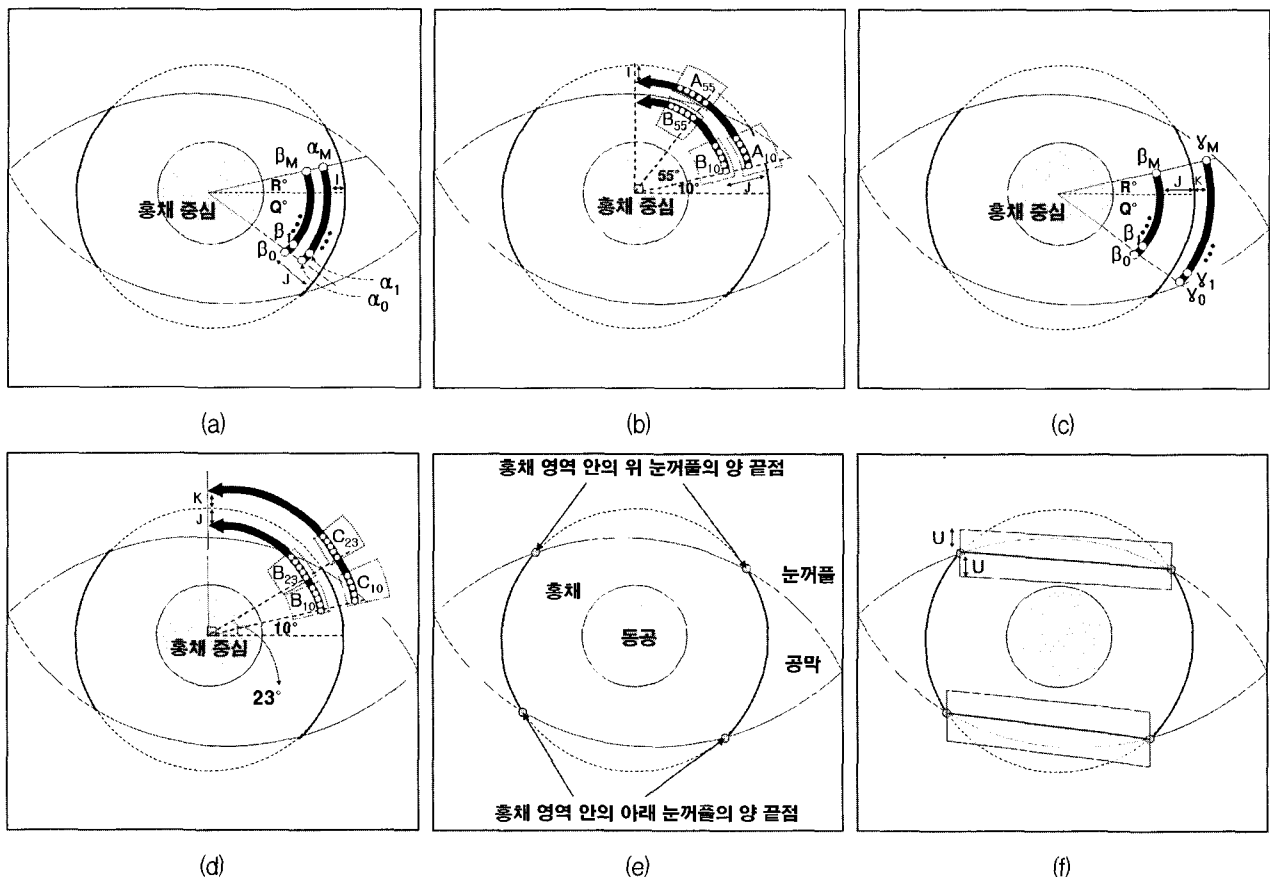


그림 4. 눈꺼풀 탐색 영역 검출 과정 : (a) 홍채 영역 내부의 두 영역 사이의 그레이 차이 값의 평균 계산 (b) 홍채 영역 내부에서의 그레이 차이 값을 이용한 눈꺼풀 탐색영역 끝점 검출 (c) 홍채 영역 외부와 홍채 사이의 차이 값의 평균 계산 (d) 홍채 영역 외부와 내부의 그레이 차이 값을 이용한 눈꺼풀 탐색 영역의 끝점 검출 (e) 홍채 영역 안의 검출된 눈꺼풀 탐색영역 끝점 (f) 눈꺼풀 탐색 영역

Fig. 4. Detection process for eyelid searching area : (a) Calculating mean value of gray level difference between two inner iris regions (b) Detecting end point of eyelid searching area by (a) (c) Calculating mean value of gray level difference between inner and outer iris region (d) Detecting end point of eyelid searching area by (c) (e) Detected end point of eyelid searching area within iris region (f) Detected eyelid searching area.

경계 검출 방법에 의한 홍채 영역 검출에 대한 오차 범위와 홍채 내부의 패턴에 의한 영향 등을 고려하여 I는 10 픽셀, J는 20 픽셀로 결정하였다. 그리고 M은 각 1°마다 한 개씩, (R - Q + 1)개로 결정하였다.

$$\sigma = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (\alpha_k - \beta_k) \quad (1)$$

α_k, β_k 는 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 각 점들의 위치에서 그레이 값이다. 그리고 눈꺼풀 끝 점을 검출하기 위해 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 홍채 중심을 기준으로 P~Q각도의 범위에서(P와 Q는 실험적으로 각각 10° 및 90°로 결정함) 각도를 1°씩 증가시키면서 식 (2)과 같이 홍채 외부 경계를 기준으로 내부로 I (10)픽셀 떨어진 지점과 J(20)픽셀 떨어진 지점의 그레이 차이 값을 계산하여 임계치(Threshold) 이상 되는지를 판단함으로써 눈꺼풀 끝점을 검출한다. 이 과정에서 탐색 범위 P~Q는 홍채 영상 전체 범위 중에서 1개의 눈꺼풀 끝점을 검출하기 위한 범위이다. 즉, 총 4개의 눈꺼풀 끝점을 검출하기 위해 제안하는 방법은 4개의 사분면에 대해 위 탐색범위에서 눈꺼풀 끝점을 추출하게 된다. 이 과정 중에 탐색하지 않는 중심으로부터의 좌, 우측 각 R(20°)내에 눈꺼풀 끝점이 있는 경우는 눈꺼풀에 의해 홍채가 너무 많이 덮여서 홍채인식이 되지 않는 영상으로 간주하게 된다.

$$A_\theta - B_\theta - \sigma \geq T_1 \quad \theta = 10, 11, 12, \dots, 90 \quad (2)$$

그림 4(b)에서 보는 바와 같이 A_θ 는 θ 각도의 위치에서 홍채 외부 경계로부터 내부로 I(10)픽셀 떨어진 5개의 점들의 그레이 값의 평균이고, B_θ 는 θ 각도의 위치에서 홍채 외부 경계로부터 내부로 J(20)픽셀 떨어진 5개의 점들의 그레이 값의 평균이다. 그레이 값을 계산하기 위한 '5개'의 점들은 그레이 값 판단에 노이즈의 영향을 줄이기 위해 실험적으로 결정하였다. T_1 은 임계치로써 본 논문의 실험적으로 결정된 25를 사용하였다. 같은 홍채 영역 내에서는 A_θ 와 B_θ 간의 차이 값이 작기 때문에 식 (2)을 만족하지 못하지만, 전술한 바와 같이 눈꺼풀이 홍채보다 높은 그레이 값을 갖기 때문에 그림 4(b)의 θ 가 M(55°)인 지점에서는 A_{55} 와 B_{55} 간의 그레이 값 차이가 커지게 된다. 따라서 식 (2)을 만족하게 되어 홍채 영역 안의 눈꺼풀 탐색 영역의 끝 점으로 검출하게 된다. 하지만 이러한 방법은 홍채 외부경계로부터 내부로 떨어진 점들을 이용하기 때문에 눈꺼풀이 사용하는 점들보다 외부에 존재한다면 검출하지 못하는

에러가 발생된다. 본 논문의 경우에는 전술한 바와 같이 10픽셀 및 20픽셀 떨어진 점들을 이용하므로, 눈꺼풀이 10픽셀 미만으로 홍채 영역을 덮을 경우에는 끝점을 검출하지 못하는 에러가 발생한다. 따라서 이러한 검출 에러가 발생할 경우에는 그림 4(d)와 같이 홍채 외부 경계의 안과 밖의 정보를 사용하여 끝 점을 검출한다.

즉, 검출한 홍채 영역의 중심을 기준으로 눈꺼풀에 의해 가려질 가능성이 적은 Q~R 각도의 범위에서 홍채 외부 경계로부터 내부로 J픽셀 떨어진 M개의 점들과 외부로 K픽셀 떨어진 M개의 점들 사이의 차이 값의 평균을 식 (3)과 같이 계산한다. 전술한바와 같이 눈꺼풀에 의해 가려질 가능성이 적은 Q와 R은 실험을 통해 -20°와 10°로 결정하였고, 원형 경계 검출 방법에 의한 홍채 영역 검출에 대한 오차 범위와 홍채 내부의 패턴에 의한 영향 등을 고려하여 실험적으로 J는 전술한 방법과 동일하게 20픽셀로 결정하였고, K는 15픽셀로 결정하였다. 또한, M'는 전술한 방법과 동일하게 (R-Q)개로 결정하였다.

$$\rho = \frac{1}{M'} \sum_{k=1}^{M'} (\gamma_k - \beta_k) \quad (3)$$

γ_k, β_k 는 그림 4(c)에서 보는 바와 같은 각 점들의 위치에서의 그레이 값이다. 그리고 그림 4(d)에서 보는 바와 같이 P~Q각도의 범위에서(P와 Q는 실험적으로 각각 10도 및 90도로 결정함)각도를 1°씩 증가시키면서 식 (4)와 같이 홍채 외부 경계의 안과 밖의 차이 값을 계산하여 임계치 이상 되는지를 판단함으로써 눈꺼풀 끝점을 검출한다. 전술한바와 같이 10°~90°의 범위는 1개의 눈꺼풀 끝점이 검출 될 수 있는, 즉, 눈꺼풀에 의해 가려질 가능성이 있는 모든 범위이다.

$$C_\theta - B_\theta - \rho \geq T_2 \quad \theta = 10, 11, 12, \dots, 90 \quad (4)$$

그림 4(d)에서 보는 바와 같이 B_θ 는 θ 각도의 위치에서 홍채 외부 경계로부터 내부로 S(20픽셀) 떨어진 5개의 점들의 그레이 값의 평균이고, C_θ 는 θ 각도의 위치에서 홍채 외부 경계로부터 외부로 T(15픽셀) 떨어진 5개의 점들의 그레이 값의 평균이다. T_2 는 임계치로써 본 논문에서는 60으로 사용하였다. 공막과 홍채 사이의 그레이 값의 차이보다 눈꺼풀과 홍채 사이의 그레이 값의 차이가 크기 때문에 그림 4(d)에서 보는 바와 같이 A_{23} 과 B_{23} 간의 차이 값에서 식 (4)를 만족하게 된다.

이와 같은 방법으로 위 눈꺼풀의 왼쪽 영역의 끝 점

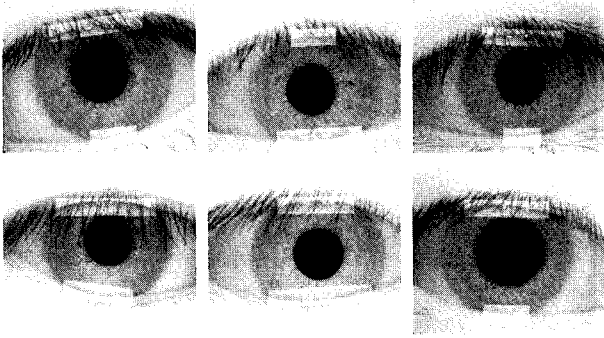


그림 5. 눈꺼풀 탐색 영역 검출 결과
Fig. 5. Detection results of eyelid searching area.

은 그림 4에서와 같은 위 눈꺼풀의 오른쪽 영역의 끝 점을 탐색하는 것과 반대로 시계 방향으로 탐색하면서 검출하였고, 아래 눈꺼풀은 위 눈꺼풀과 반대 방향으로 그레이 평균값을 구하고 탐색하여 홍채 영역 안의 눈꺼풀 끝 점을 검출하였다.

이렇게 얻어진 양 끝점을 이용하여 그림 4(f)와 같이 양 끝점 간을 연결한 직선을 구하고, 구해진 직선으로부터 y축으로 ±U만큼의 픽셀 영역을 눈꺼풀 탐색을 위한 신뢰성 높은 영역으로 판단하였다. 본 논문에서는 눈꺼풀 끝점 검출에 오류를 보완 할 수 있는 범위를 고려하여 U를 15로 결정하였다. 눈꺼풀 탐색 영역을 검출한 결과는 그림 5와 같다.

5. 눈꺼풀 후보 점 검출

전술한 바와 같이 눈꺼풀은 피부로써 적외선에서 높은 반사율을 나타내고 영상에서 밝은 그레이 값을 갖는 반면에 홍채 부분은 영상에서 어두운 부분으로 낮은 그레이 값을 갖는다. 특히 눈꺼풀에 의해 홍채가 덮여지므로, 눈꺼풀과의 경계 부분에 그림자가 생기게 되는데 이는 홍채 부분에 어두운 특징을 더해 준다. 본 논문에서는 이와 같은 특징을 이용한 그림 3과 같은 마스크에 의해 눈꺼풀 후보점을 추출한다.

그림 5와 같이 검출한 눈꺼풀 탐색 영역 내에서, 매 x위치 당 y축 방향으로 탐색해 가면서 그림 3의 마스크에 의해 가장 높은 마스크 정합 값을 보이는 한 점을

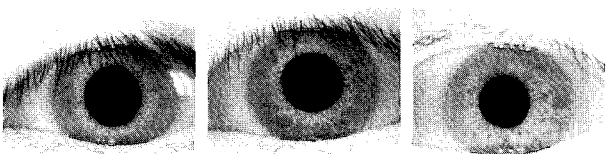


그림 6. 눈꺼풀 후보 점 검출 결과
Fig. 6. Detection results of eyelid candidate points.

후보 군이 되는 y축 좌표로 지정하였다. 따라서 매 x위치 당 한개 씩 눈꺼풀 후보점들을 추출하게 된다. 그림 6은 마스크에 의한 후보 점 추출 결과 영상이다.

6. 눈의 회전을 고려한 눈꺼풀 검출

추출된 눈꺼풀 후보점들은 위치 추출 오차를 포함하고 있기 때문에 이를 보정하기 위하여 식 (9)와 같은 회전을 고려한 포물선 방정식을 이용한 허프 변환을 통해 포물선 형태의 눈꺼풀 영역을 검출한다. 하지만 허프 변환은 처리 시간이 오래 걸리는 단점이 있기 때문에 포물선의 곡률을 나타내는 식 (9)의 a, h, k, θ 의 탐색 범위에 제한을 두고, 사전 곡률 판단을 통해 곡률이 작을 경우에는 포물 허프 변환 없이 후보점들의 양 끝점을 연결하는 직선으로 눈꺼풀을 검출함으로써 이러한 단점을 해결하였다.

그림 7에서 보는 바와 같이 곡률 판단을 위해 먼저 검출된 눈꺼풀 후보점들 중 양 끝에서 각각 5개의 후보점들로부터 평균 위치들을 구하고 계산된 양끝 두 평균점을 이용하여, 직선 L을 구한다. 그리고 식 (5)와 같이 5절에서 검출된 각 후보 점들이 y축 방향으로 직선 L로부터 떨어진 거리의 평균을 이용하여 곡률을 판단하였다.

$$V = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |P(x_k) - L(x_k)| \tag{5}$$

$P(x_k)$ 는 x_k 에서의 추출한 눈꺼풀 후보점의 y값이고, $L(x_k)$ 은 x_k 에서 그림 7의 직선 L선 상에서의 y값이다. 식에서 V는 곡률을 나타내며, V가 1보다 작은 경우는 곡률이 크지 않다고 판단하여 직선 L로 눈꺼풀의 영역을 결정하였다.

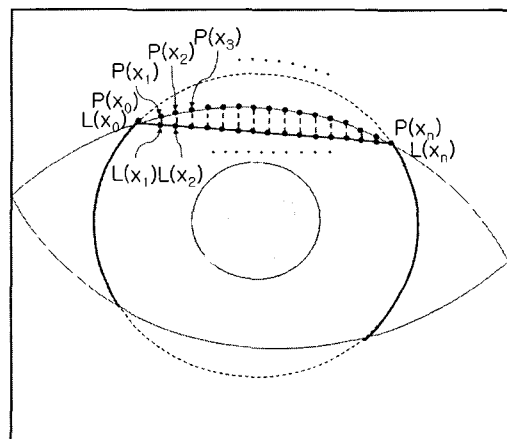


그림 7. 곡률 값 판단
Fig. 7. The measurement of curvature value.

기존의 곡률만을 고려한 2차원 포물선 형태의 눈꺼풀 검출 알고리즘이 갖는 취약점은 눈이 회전되어 입력 영상으로 들어오는 경우 정확히 눈꺼풀과 포물선 형태가 맞지 않는다는 점이다. 본 논문에서는 더 정확한 검출을 위해 눈의 회전을 고려한 방법으로 곡률과 각도를 모두 고려한 포물선 형태의 눈꺼풀 검출 방법을 사용하였다. 기본적인 2차 포물선 방정식은 식 (6)과 같다.

$$y^2 = ax \quad (6)$$

a 는 포물선의 곡률을 의미한다. 눈의 회전을 고려하기 위해 회전각에 의해 변화된 (x, y) 좌표를 식 (7)과 계산하였다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta x - \sin\theta y \\ \sin\theta x + \cos\theta y \end{pmatrix} \quad (7)$$

식 (7)의 x', y' 를 식 (6)의 x, y 에 대입시키면, 각도와 곡률이 고려된 식 (8)을 구할 수 있다.

$$(\sin\theta x + \cos\theta y)^2 = a(\cos\theta x - \sin\theta y) \quad (8)$$

그리고 마지막으로 x 축으로 h 만큼, y 축으로 k 만큼 이동시킨 포물선의 방정식을 식 (9)와 같이 구하게 된다.

$$E = (\sin\theta(x-h) + \cos\theta(y-k))^2 - a(\cos\theta(x-h) - \sin\theta(y-k)) = 0 \quad (9)$$

식 (9)에서의 곡률 (a), 포물선의 정점 좌표(h, k), 회전각(θ)의 값을 허프 변환을 이용하여 구한다. 즉, 식 (9)의 E 가 최소화 될 수 있도록 4개의 변수를 구하였다. 이때 허프 변환의 처리속도를 개선하기 위하여, 포물선의 정점 좌표(h, k)는 눈꺼풀 후보점들로 검출된 점들 중 하나라고 가정하고 눈꺼풀 후보점들의 좌표만을 탐색하였고, 곡률 (a)은 위 눈꺼풀일 경우 250 ~ 550을 아래 눈꺼풀일 경우 -250~-550을 탐색하였으며, 회전각 (θ)은 $60^\circ \sim 120^\circ$ 의 범위에서 탐색하여 검출하였다.

III. 실험

본 논문에서는 CASIA Iris image Database(ver 1.0)을 이용하여 제안한 눈꺼풀 검출 알고리즘의 성능을 평가하였다^[1]. 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 8비트 그레이 영

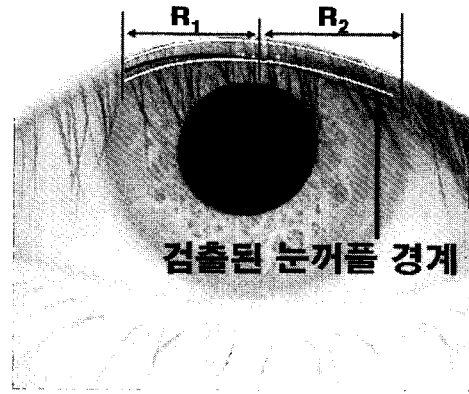


그림 8. 눈꺼풀 검출 정확도

Fig. 8. Eyelid detection accuracy.

상이다. CASIA DB 내의 홍채 직경은 200 픽셀 이상이고, 전체 대상 중 약 5.2%가 콘택트 렌즈를 착용하고 취득된 홍채 영상이다. 대상 영상 중 안경을 착용한 영상은 포함되어 있지 않다.

제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘의 정확도를 측정하기 위해 Jiali Cui의 방식대로^[12] 그림 8과 같이 실제 눈꺼풀의 위치로부터 일정 영역(Jiali Cui의 논문에서는 정확한 수치 없이 5~7 픽셀정도의 범위라고 명시되어 있으므로, 본 논문에서는 실제 눈꺼풀 위아래 7픽셀의 영역으로 결정함) 안에 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘에 의해 검출된 포물선의 포함 정도를 이용하였다.

그림 8에서는 제안하는 알고리즘에 의해 검출된 눈꺼풀에 대한 포물선을 검정색 라인으로 표시하였고 정확도를 판단하기 위한 실제 눈꺼풀 위아래로 7 pixel의 범위를 흰색으로 표시하였다.

본 논문에서는 눈꺼풀 추출의 정확도를 홍채 영역 안에서 제안하는 알고리즘에 의해 검출된 포물선이 입력 영상에서 손으로 직접 표시한 눈꺼풀 라인으로부터 위, 아래로 7 pixel의 영역 안에 포함되었는지의 여부를 이용하여 판단하였다. 즉, 그림 8의 R_1 과 같이 검출된 포물선이 홍채 영역 안에서 실제 눈꺼풀 라인으로부터 위, 아래로 7 pixel의 영역 안에 포함된 경우에는 정확히 검출한 눈꺼풀로, 그림 8의 R_2 와 같이 영역에서 벗어난 경우에는 잘못 검출한 눈꺼풀로 판단하여 식 (10)과 같이 검출정확도를 측정하였다. 식 (10)에서 NCE (Number of Correct Eyelid point)는 그림 8의 R_1 과 같이 정확히 검출한 눈꺼풀 픽셀수이고, NIE (Number of Incorrect Eyelid point)는 그림 8의 R_2 와 같이 잘못 검출한 눈꺼풀 픽셀수이다.

$$\text{검출정확도}(\%) = \frac{NCE}{NCE + NIE} \times 100 \quad (10)$$

제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘을 실험한 결과, 표 1 과 같이 위 눈꺼풀의 검출 정확도는 90.82%, 아래 눈꺼풀의 검출 정확도는 96.47%였다. 제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해 Jiali Cui가 제안한 알고리즘과 비교하였다. Jiali Cui의 논문에서의 실험 결과는 위 눈꺼풀의 경우 97.35%, 아래 눈꺼풀의 경우 93.39%의 정확도를 나타내었다^[12]. 하지만 Jiali Cui가 제안한 알고리즘은 전술한 바와 같이 위 눈꺼풀의 경우에 속눈썹을 이용하여 눈꺼풀을 추출하기 때문에, 속눈썹이 많아서 눈꺼풀을 상당부분 덮는 경우 에러율이 증가되는 문제점이 있다. 이를 확인하기 위하여 CASIA 데이터베이스의 108 종류의 홍채 영상 중에 속눈썹이 많은 총 108장의 홍채 영상을 선택하여 실험한 후 본 논문에서 제안하는 알고리즘과 성능을 비교하였다 (표 2).

Jiali Cui의 알고리즘은 속눈썹을 이용하여 눈꺼풀을 검출하기 때문에 실제 속눈썹을 손으로 직접 표시하여 눈꺼풀을 검출하였고 식 (10)과 같이 검출정확도를 측정하였다. 펜티엄-IV 3.0GHz 프로세서와 512M DRAM

표 1. CASIA 데이터베이스 전체 756장의 홍채 영상에 대한 제안하는 알고리즘의 실험 결과

Table 1. The experimental results of proposed algorithm with 756 images of CASIA database.

검출 눈꺼풀	검출 정확도 (%)	평균 처리시간 (ms)	최소 처리시간 (ms)	최대 처리시간 (ms)
위 눈꺼풀	90.82	239	16	542
아래 눈꺼풀	96.47	141	12	506

표 2. CASIA 데이터베이스 중 속눈썹이 많은 108장의 홍채 영상에 대한 눈꺼풀 검출 알고리즘의 성능 비교

Table 2. The experimental results of proposed and Jiali Cui's algorithm with 108 images of CASIA database having much eyelash region.

검출 눈꺼풀	방법	검출 정확도 (%)	평균 처리시간 (ms)	최소 처리시간 (ms)	최대 처리시간 (ms)
위 눈꺼풀	Jiali Cui	82.17	146.1	82.7	224.8
	Proposed	89.99	223	16	530
아래 눈꺼풀	Jiali Cui	93.39	616	136.8	1,362.4
	Proposed	96.34	159	16	392

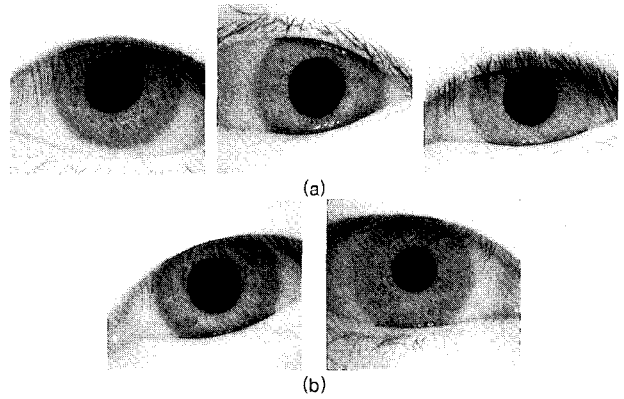


그림 9. 눈꺼풀 검출 결과 : (a) 잘 검출된 경우 (b) 잘못 검출된 경우

Fig. 9. Detection result of eyelid line : (a) In case of correct detection (b) In case of incorrect detection.

의 PC환경에서 속눈썹이 많은 108장의 홍채 영상을 가지고 제안하는 알고리즘과 Jiali Cui의 알고리즘을 실험한 결과는 표 2와 같다.

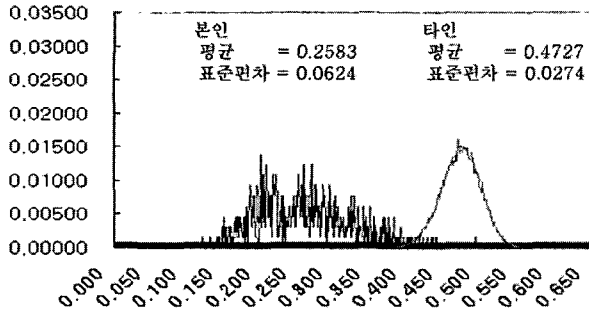
실험 결과, 표 2와 같이 속눈썹이 눈꺼풀을 많이 덮는 경우, 제안하는 알고리즘의 검출 정확도가 Jiali Cui의 알고리즘보다 높은 것을 알 수 있었다. 아래 눈꺼풀의 경우는 제안하는 알고리즘의 평균 처리 시간이 작았으며, 위 눈꺼풀의 경우는 Jiali Cui가 제안한 알고리즘의 평균 처리 시간이 작았다. 하지만 Jiali Cui의 알고리즘의 경우는 속눈썹을 직접 손으로 표시하였기 때문에 속눈썹 검출 과정이 포함되지 않은 처리 시간이다. 눈꺼풀 검출은 위·아래 눈꺼풀을 모두 검출해야 하므로 전체 평균 처리시간을 계산하였다. 그 결과, Jiali Cui의 경우 평균 762.1ms의 처리 시간이 걸렸으며, 제안하는 알고리즘의 경우는 평균 382ms의 처리 시간이 걸렸다. 따라서 제안하는 알고리즘이 Jiali Cui의 알고리즘보다 평균 380.1ms 빠른 처리 시간을 갖는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 홍채 인식 실험을 통해 제안하는 눈꺼풀 검출 알고리즘의 성능을 측정하였다. 홍채 인식 실험을 위해 25의 커널 크기와 1/20의 주파수를 가지는 가버 웨이블릿(Gabor wavelet) 기반의 홍채 인식 알고리즘^[6]을 사용하였다. 실험 결과, 그림 10과 같은 본인과 타인에 대한 해밍 거리(Hamming distance) 확률 분포를 얻을 수 있었다. 이러한 본인과 타인에 대한 확률 분포는 서로 겹치지 않고 구분될수록 에러의 발생 확률이 감소되는데, 본인과 타인의 확률분포의 구분력은 Daugman^[6]이 제안한 d' 에 의해 측정될 수 있다.

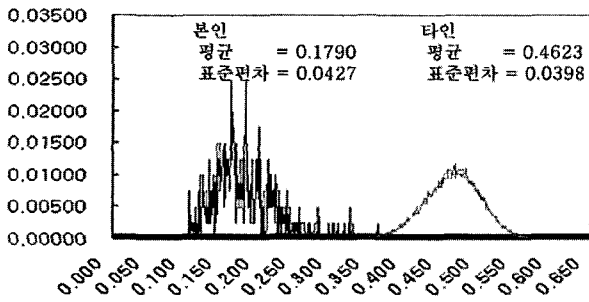
표 3. 눈꺼풀 검출과정을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우의 홍채인식 정확도(CASIA DB)

Table 3. Iris recognition accuracy with and without eyelid detection (CASIA DB).

눈꺼풀 검출 안한 경우		눈꺼풀 검출 한 경우	
d'	EER (%)	d'	EER (%)
4.449	1.331	6.864	0.239



(a)



(b)

그림 10. CASIA DB의 본인과 타인 분포도 : (a) 눈꺼풀 검출을 하지 않는 경우 (b) 눈꺼풀 검출을 하는 경우(검출된 눈꺼풀은 홍채 코드 생성에서 제외됨)

Fig. 10. Authentic and imposter distribution with CASIA : (a) Without eyelid detection (b) With eyelid detection (detected eyelids were excluded for iris code generation).

$$d' = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2}}} \quad (11)$$

식 (11)에서 μ_1 와 μ_2 는 본인과 타인 분포의 평균을 나타내고, σ_1 와 σ_2 는 본인과 타인 분포의 표준 편차들을 나타낸다. d' 이 클수록 본인과 타인의 분포가 겹치지 않고 잘 구분된다. 표 3은 본 논문에서 제안한 눈꺼풀 검출 과정을 포함한 것과 그렇지 않은 것의 홍채 인식에 대한 d' 값과 EER(Equal Error Rate)값의 비교를 나타내고 있다. 표 3과 그림 10 (a)와 (b)의 비

교로 알 수 있듯이 제안한 눈꺼풀을 검출 방법을 이용한 경우 홍채인식 성능이 더 향상되는 것을 확인할 수 있다. EER이란 FAR과 FRR이 최소로 같아지는 지점에서의 평균 오류율로서 FAR은 타인을 본인으로 잘못 받아들이는 오류율이고 FRR은 본인을 타인으로 잘못 인식하는 오류율이다.

IV. 결 론

기존에 연구되었던 눈꺼풀 검출 연구들에서는 눈꺼풀 검출의 장애요소가 되는 속눈썹을 없애기 위한 방법으로 저주파 통과 필터를 이용하였다. 하지만 이는 비단 속눈썹뿐만 아니라 뚜렷한 눈꺼풀의 경계 역시 흐리게 만들기 때문에 눈꺼풀 검출에 악영향을 끼친다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 눈꺼풀 검출에 문제가 되는 속눈썹(eyelash)과 조명 반사광(specular reflection)을 기존의 방법에 의해 검출한 후에, 선형 보간법(interpolation)을 이용하여 제거하는 새로운 방법을 제안함으로써 눈꺼풀 추출의 정확도를 향상하였다. 이는 눈꺼풀 경계는 뚜렷하게 유지하면서 눈꺼풀 검출을 방해하는 요소를 없애는 효과를 갖는다. 또한, 기존의 연구들은 홍채 영상 전체 영역에서 눈꺼풀을 탐색하였기 때문에 처리속도가 느리고 검출의 정확도가 저해되는 문제가 있었다. 따라서 본 논문에서는 홍채 외곽 경계의 정보를 바탕으로 초기 눈꺼풀 탐색 영역을 검출하고, 눈꺼풀 후보점 추출 마스크를 이용하여 눈꺼풀 후보점을 추출하였다. 그리고 추출된 눈꺼풀 후보점을 가지고 포물 허프 변환 방법을 이용하여 눈의 회전이 고려된 눈꺼풀을 검출하였다. 제안하는 알고리즘의 실험 결과 위 눈꺼풀의 경우 90.82%, 아래 눈꺼풀의 경우 96.47%의 검출정확도를 나타냈다. 그리고 눈꺼풀 검출이 홍채인식의 성능을 높이는 것에 기여한다는 것을 d' 의 증가와 EER의 감소를 통하여 확인할 수 있었다.

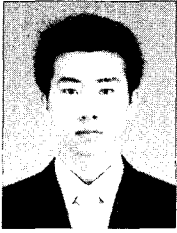
하지만 홍채 영상에서 공막과 눈꺼풀 영역의 그레이 값이 차이가 작은 경우에 대해서는 본 논문의 방법으로 눈꺼풀 탐색 영역을 잘못 찾는 문제점이 발생했다.

또한, 눈의 회전을 고려한 경우에 포물선 방정식을 이용한 허프 변환에서는 4개의 변수에 대한 자유도가 있기 때문에 많은 시간이 소요되는 문제점을 알 수 있었다. 향후 이러한 문제점들을 해결하여 좀 더 빠르고 정확하게 눈꺼풀을 검출 할 수 있는 추가 연구가 요구 되어 진다.

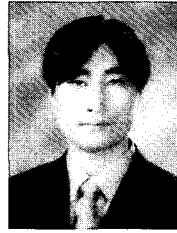
참 고 문 헌

- [1] <http://www.sinobiometrics.com/> (accessed on 2006. 06. 21)
- [2] 박강령 “홍채 인식 기술,” 멀티미디어학회지 제7권, 제2호, pp. 23-31, 2003.
- [3] 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, November 1993.
- [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, “The importance of being random: statistical principles of iris recognition,” *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp. 279-291, February 2003.
- [6] John G. Daugman, “How Iris Recognition Works,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, no. 1, pp. 21-29, January 2004.
- [7] Kazuyuki Miyazawa, Koichi Ito, Takafumi Aoki, Koji Kobayashi and Hiroshi Nakajima, “A Phase-Based Iris Recognition Algorithm,” *Advances in Biometrics: International Conference, ICB 2006*, pp. 356-365, Hong Kong, China, January 2006.
- [8] Libor Masek, “Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification,” *Bachelors Thesis, University of Western Australia*, 2003.
- [9] Xiaomei Liu, Kevin W. Bowyer and Patrick J. Flynn, “Experiments with An Improved Iris Segmentation Algorithm,” *Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies (AutoID'05)*, pp. 118-123, New York, USA, October 2005.
- [10] Topi Maenpaa, “An Iterative Algorithm for Fast Iris Detection,” *Advances in Biometric Person Authentication, International Workshop on Biometric Recognition Systems, IWBRIS 2005*, pp. 127-134, Beijing, China, October 2005.
- [11] Yi Chen, Sarat C. Dass and Anil K. Jain, “Localized Iris Image Quality Using 2-D Wavelets,” *Advances in Biometrics: International Conference, ICB 2006*, pp. 373-381, Hong Kong, China, January 2006.
- [12] Jiali Cui, Yunhong Wang, Tieniu Tan, Li Ma and Zhenan Sun, “A Fast and Robust Iris Localization Method Based on Texture Segmentation,” *SPIE Defense and Security Symposium*, Vol. 5404, pp. 401-408, August 2004.
- [13] 조달호, 박강령, 이대웅, “모바일 환경에서의 홍채 인식에 적합한 홍채 및 동공 영역 추출방법,” *the 4th BERC Biometrics Workshop*, pp. 99-102, 2006년 2월
- [14] Vladimir Vezhnevets and Anna Degtiareva, “Robust and Accurate Eye Contour Extraction,” *Proc. Graphicon-2003*, pp. 81-84, Moscow, Russia, September 2003.
- [15] 강병준, 박강령, “홍채 인식에서의 눈꺼풀 및 눈썹 추출 연구,” *한국멀티미디어학회 논문지*, 제 8 권, 제 7 호, pp. 898~905, 2005년 7월
- [16] 박현애, 박강령 “각막의 조명반사광을 이용한 휴대폰에서의 고속 홍채검출에 관한 연구,” *the 4th BERC Biometrics Workshop*, pp. 95~98, 2006년 2월
- [17] Ramesh Jain, ‘Machine Vision’, McGraw-Hill International Edition, pp.44-47, 1995.
- [18] 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, pp.219-230, 2005.

 저 자 소 개



장 영 균(학생회원)
 2007년 2월 상명대학교 소프트웨어학부 학사 졸업예정
 <주관심분야 : 패턴인식, 생체인식, 영상처리>



강 병 준(학생회원)
 2004년 2월 상명대학교 소프트웨어학과 학사 졸업
 2006년 2월 상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과 석사졸업
 2006년 3월~현재 상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과 박사과정

<주관심분야 : Biometric 영상 처리, 패턴인식, 컴퓨터 vision>



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

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

2003년 3월~현재 상명대학교 소프트웨어대학 디지털 미디어학부 조교수

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