

논문 2009-46CI-6-9

질감 필터를 이용한 눈 검출

(Eye Detection Using Texture Filters)

박 찬 우*, 김 용 민*, 박 기 태**, 문 영 식***

(Chan Woo Park, Yong Min Kim, Ki Tae Park, and Young Shik Moon)

요 약

본 논문에서는 눈 영역의 질감 및 구조적 특성을 고려한 두 가지 질감 필터들을 이용하여 눈 영역을 효과적으로 검출하는 방법을 제안한다. 인간의 눈 형태는 외형적으로 수평 방향으로 길고, 원형의 눈동자로 구성된 구조적 특성을 갖고 있다. 이 두 가지 특성을 효율적으로 기술하는 질감 필터(Texture Filters)들로서 가보 필터(Gabor Filter)와 ART 기술자(Descriptor)가 사용된다. 가보 필터는 방향성 정보를 포함하고 있기 때문에, 수평 방향의 눈 형태 특성을 효과적으로 검출할 수 있다. 그리고 ART 기술자는 원형 모양의 특성을 갖는 눈동자를 검출하기 위해 사용되어진다. 본 논문에서는 효과적인 눈 영역을 검출하기 위하여, 첫 번째 단계에서 AdaBoost 분류기를 이용하여 얼굴 영역을 검출한다. 두 번째 단계는 검출된 얼굴 영역에 대해서 지역적인 조명 정규화 과정을 수행한다. 세 번째 단계에서는 두 가지의 질감 필터들을 이용하여 수평 방향과 원형 형태의 구조적 특성을 갖는 눈 후보영역을 검출하고, 마지막 단계에서는 검출된 눈 후보영역들 중에서 얼굴의 구조적인 특성을 가장 잘 표현하는 영역을 최적화된 눈 영역으로 추출한다. 제안한 알고리즘의 성능을 실험적으로 확인한 결과, 제안된 눈 검출 방법은 기존의 방법에 비해 정확률에서 2.9 ~ 4.4%의 향상된 검출 결과를 보인다.

Abstract

In this paper, we propose a novel method for eye detection using two texture filters considering textural and structural characteristics of eye regions. The human eyes have two characteristics: 1) the eyes are horizontally long and 2) the pupils are of circular shapes. By considering these two characteristics of human eyes, two texture filters are utilized for the eye detection. One is Gabor filter for detecting eye shapes in horizontal direction. The other is ART descriptor for detecting pupils of circular shape. In order to effectively detect eye regions, the proposed method consists of four steps. The first step is to extract facial regions using AdaBoost method. The second step is to normalize the illumination by considering local information. The third step is to estimate candidate regions for eyes, by merging the results from two texture filters. The final step is to locate exact eye regions by using geometric information of the face. As experimental results, the performance of the proposed method has been improved by 2.9 ~ 4.4%, compared to the existing methods.

Keywords : Eye Detection, Gabor Filter, ART

I. 서 론

최근 영상 센서 기술과 같은 하드웨어의 급속한 발달

과 더불어 얼굴 영상을 이용한 연구들은 오래 전부터 활발하게 이루어졌고 다양한 응용분야에서 활용되고 있다. 그 예로, 생체 인식관련 연구들 중 사용자 입장에서 비접촉식으로 높은 평가를 받고 있는 자동 얼굴 인식 시스템, 눈동자 추적을 이용한 자동차 운전자 졸음방지 시스템, 얼굴의 표정 인식 시스템, 머리 자세 추정 시스템 등이 있다. 이러한 얼굴 영상을 이용한 연구들은 일반적으로 입력 영상에 대한 정규화 과정이 필수적으로 요구되며, 눈의 위치가 매우 중요한 정보로 이용되고 있다. 이에 따라 얼굴 영상에서 눈의 위치를 검출하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. Brunelli^[1] 그리고 Beymer^[2]는 눈 모양을 나타내는 템플릿 영상과 입력

* 학생회원, *** 평생회원, 한양대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Comp. Sci. and Eng.,
Hanyang University)

** 정회원, 한양대학교 BK21 엠비언트인텔리전스소프트
트웨어팀.

(Ambient Intelligence Software Team, Institute of
Hanyang BK21, Hanyang University)

※ 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호
2009-0077434)

접수일자: 2009년7월13일, 수정완료일: 2009년11월2일

영상의 유사성을 이용하여 눈 영역을 검출하는 템플릿 정합(Template Matching) 방법을 제안하였다. 이 방법은 입력 영상에서 눈 모양을 정의한 템플릿 영상에 대해서 상관관계(Correlation)가 가장 높은 영역을 눈의 위치로 결정하는 방법으로써 단순하고 구현이 쉽지만, 표정과 자세의 변화에 따라서 눈의 모양이 변형될 경우에는 눈 영역을 효과적으로 검출하지 못하는 단점이 있다. Zhou^[3]는 눈 영역 검출을 위해서 GPF(Generalized Projection Function)를 정의하고 GPF의 특별한 사례인 HPF(Hybrid Projection Function)를 이용하였다. Zhou의 방법은 얼굴 영상에서 대략적인 눈의 위치를 찾은 후에 HPF를 적용함으로써, 향상된 눈 영역 검출 성능을 보였다. 그러나 기존의 투영 함수(Projection Function) 방법과 마찬가지로 다양한 얼굴의 자세 변화에 대해서는 정확한 눈 영역 검출이 되지 않는 문제점들이 있다. Wang^[4]은 얼굴 영상을 3차원 지형으로 정의하고, 3차원 형태 스펙트럼 기술자를 이용하여 눈 영역을 검출하는 방법을 제안하였다. Wang의 방법은 얼굴 영역을 검출하는 전 처리 작업을 수행하지 않고, 입력 영상에 대해서 바로 눈 영역을 검출하는 장점이 있다. 그러나 눈 영역을 검출하기 위해서 많은 연산량이 요구되며, 또한 얼굴의 자세 변화에 민감하고, 특히 감은 눈을 포함하는 입력 영상에 대해서는 눈 영역을 검출할 수 없다. Hsu^[5]는 YCbCr 색상 정보를 이용하여 눈 지도(Eye Map) 영상을 생성한 후, 눈의 위치를 검출하는 방법을 제안하였다. 눈 지도는 Cb, Cr의 색도 성분(Chrominance Component)의 눈 지도들과 휘도 성분(Luminance Component)의 눈 지도로 구성된다. 색도 성분의 눈 지도는 Cb 값이 높고 Cr 값이 낮은 영역을 찾고, 휘도 성분의 눈 지도는 어둡고 밝은 영역을 모두 가지고 있는 영역을 검출함으로써 눈의 위치를 효과적으로 찾을 수 있다. 그러나 Hsu의 방법은 색상 정보를 사용하기 때문에, 휘도 성분만을 갖는 영상에서는 적용할 수 없으며, 눈의 크기가 상대적으로 작거나, 감은 눈을 포함하는 영상에서는 눈 지도들을 생성하기 어려운 문제점들이 있다. 이와 같이, 기존의 방법들은 자세, 표정, 조명 등의 변화와 작은 눈, 감은 눈에 대해서 효과적으로 눈 영역을 검출하지 못하는 단점들이 있다. 따라서 본 논문에서는 눈의 질감 정보를 이용한 눈 검출 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 얼굴 영역에서 얼굴의 자세, 표정, 조명 변화등과 같은 환경 변화들에 대해서, 각각의 눈의 질감 정보가 갖는 특성을 정의하고, 눈

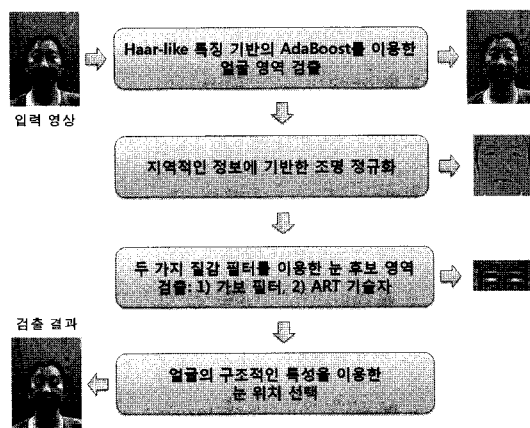


그림 1. 제안하는 눈 검출 시스템 구성도
Fig. 1. The overall diagram of the proposed method.

영역을 효과적으로 검출 할 수 있는 두 가지의 질감 필터를 이용한다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 전반적인 순서도를 보여주고 있으며, 4단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계는 입력된 영상에서 Haar-like 특징을 이용한 AdaBoost 기반의 분류기법을 이용하여 얼굴 영역을 검출한다. 두 번째 단계는 검출된 얼굴 영역에 대해서 눈 후보 영역 검출시 조명으로 인하여 잘못된 검출 결과를 줄이기 위하여 지역적인 조명 정규화 과정을 수행한다. 세 번째 단계는 얼굴 영역에서 효과적인 눈의 후보 영역을 검출하기 위하여 질감 필터들을 이용하여 눈 후보 영역을 검출한다. 마지막 단계는 눈 후보 영역들에 대해서 얼굴의 구조적인 특성을 이용하여 최종적인 눈 위치를 선택한다.

본 논문의 구성은 II장에서 얼굴 영역을 검출하는 방법, III장에서는 검출된 얼굴영역을 조명 정규화 하는 방법, IV장에서는 질감 필터를 이용한 눈 후보영역 검출 방법, V장에서는 얼굴의 구조적인 특성을 이용한 눈 위치 선택 방법을 설명한다. VI장에서는 제안한 방법에 대한 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 VII장에서는 결론과 향후 과제에 대하여 기술한다.

II. AdaBoost를 이용한 얼굴 영역 검출

본 논문에서는 입력된 영상에서 얼굴 영역을 검출하기 위하여 Haar-like 특징을 이용한 AdaBoost 학습 알고리즘을 이용한다^[6~8]. AdaBoost 기반 분류기법은 약한 분류기(Weak Classifier)를 캐스케이드 형태로 결합하여 최종적으로 강한분류기(Strong Classifier)를 구성

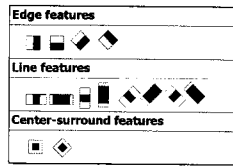


그림 2. Haar-like 특징 프로토타입

Fig. 2. Prototypes of the Haar-like features.

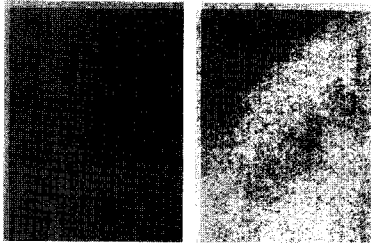


그림 3. 얼굴 영역 검출 결과

Fig. 3. The result of face detection.

하는 방법으로써, 간단한 통계적인 학습기의 조합을 이용하는 Boost 알고리즘으로 가장 널리 알려져 있으며 단순하지만 매우 효율적이다.

본 논문에서는 자세가 있는 얼굴 영역을 검출하기 위하여 그림 2의 Haar-like 특징을 이용하였으며, 입력 영상을 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 회전시키며 얼굴 영역 검출을 수행한다. 그림 3은 입력 얼굴 영상에서 얼굴 영역을 검출한 결과를 보인다.

III. 검출된 얼굴 영역의 조명 정규화

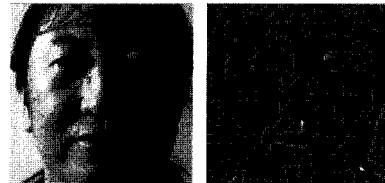
조명의 방향과 세기에 따라 영향 받는 객체의 겉모양은 다양하게 변화한다. 이러한 조명의 변화에 의한 영향이 얼굴 영상 전체에 고르게 나타나는 경우에는 히스토그램 평활화, 감마 보정 등의 전역적인 영상 처리 방법으로 간단하게 해결할 수 있다. 하지만 그림 4의 (a)와 같이 조명의 영향이 얼굴 영상에 지역적으로 다르게 나타나는 경우에는 전역적인 영상 처리 방법을 적용할 경우, 얼굴 영상에서 일관적인 특징 추출이 어렵다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해서 지역적인 조명 정규화를 수행하며, 식 (1)과 식(2)로 표현되어 진다^[9].

$$\mu(x, y) = \frac{1}{NM} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} I(i, j) \quad (1)$$

$$I'(x, y) = \frac{I(x, y)}{\mu(x, y)} \quad (2)$$



(a) (b)



(c) (d)

그림 4. 조명 정규화 결과 비교:

(a) 입력영상, (b) 히스토그램 평활화,
(c) 감마 보정, (d) 지역적인 조명 정규화

Fig. 4. Comparisons of illumination normalization: (a) input image, (b) histogram equalization, (c) gamma correction, (d) local illumination normalization.

식 (1)과 (2)에서, I 는 입력 얼굴 영상이며, I' 는 지역적인 조명 정규화를 수행한 영상을 의미한다. $\mu(x, y)$ 는 하나의 화소 (x, y) 를 중심으로 이웃 영역의 밝기 값들에 대한 지역적인 평균값이며, N 과 M 은 조명정규화를 적용하기 위한 마스크의 크기이다. 본 논문에서 사용하는 조명 정규화는 입력 화소를 지역적인 평균값으로 나누어 줌으로써 원 영상을 지역적인 저주파 성분의 비로 표현하는 고주파 통과 필터와 유사하다. 그림 4는 조명 정규화를 적용한 결과를 보여준다. 그림 4에서 지역적인 조명 정규화를 수행한 결과는 그림 4의 (d)와 같으며, 전역적인 조명 정규화 방법인 히스토그램 평활화와 감마 보정 방법으로 수행한 결과 영상에 비해 측면 조명에 의한 하이라이트 및 눈 아래 부분의 그림자 부분이 제거 되어 입력 영상의 다양한 조명 환경에도 적응적으로 눈 검출을 수행할 수 있다.

IV. 질감 필터를 이용한 눈 후보 영역 검출

눈은 다른 얼굴 구성요소에 비하여 그 특징이 명확하기는 하지만 그 형태에 있어서 다양한 변화 요소를 갖는다. 예로써, 눈의 깜박임으로 인한 눈의 크기 변화와 눈동자의 움직임으로 인한 변화의 요소가 있으며, 얼굴 자세의 변화에 의한 눈의 형태 변화도 나타날 수 있다.

그리고 감고 있는 눈의 경우는 눈동자가 나타나지 않기 때문에 대부분의 기존 눈 검출 알고리즘들에서는 전혀 고려하지 않는다. 하지만 눈의 개폐 상태 인식, 표정 인식 등과 같은 연구 분야에서 감은 눈의 위치는 중요한 정보를 제공해 줄 수 있기 때문에 본 논문에서는 여러 가지 변화 요소에 강건한 눈 검출을 위하여 질감 필터를 사용한다.

본 논문에서 사용된 질감 필터는 눈의 구조적 특성과 질감 특성에 잘 반응하도록 정의하며, 두 가지 눈의 특성은 다음과 같다.

- ① 그림 5와 같이 눈을 뜨거나 감는 형태의 변화는 있지만 기본적으로 모두 수평 방향의 긴 형태를 유지한다.
- ② 그림 6과 같이 감은 눈을 제외한 눈의 형태에서는 눈동자가 나타나는데, 일반적으로 원형 형태의 모양으로 나타나며, 주변 밝기정보 보다 어두운 특성을 갖는다.

첫 번째 눈의 특성을 추출하기 위해서 가보 필터(Gabor Filter)를 이용하며, 수평 방향의 긴 형태에서 반응할 수 있도록 정의한다. 두 번째 눈의 특성에 대해서는 원형 형태이면서, 주변보다 어두운 영역에서 반응할 수 있도록 ART(Angular Radial Transform) 기술자를 이용하여 정의한다.

그림 7은 얼굴 영역에서 눈 후보 영역을 검출하기 위

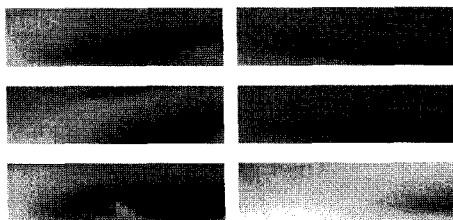


그림 5. 다양한 눈 형태의 변화
Fig. 5. Various eye shapes.

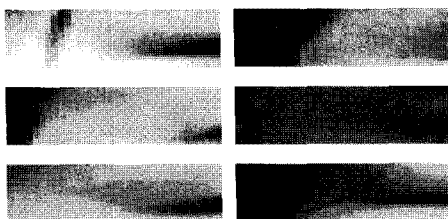


그림 6. 다양한 눈에서의 눈동자 형태
Fig. 6. Various pupil shapes.

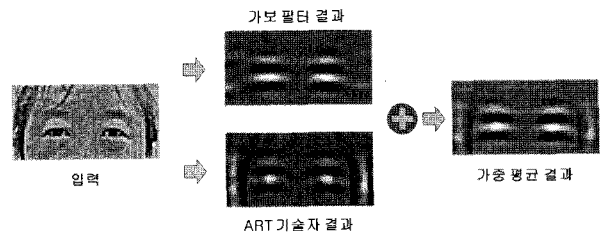


그림 7. 질감 필터를 이용한 눈 후보 영역 검출
Fig. 7. Detection of candidate regions for eyes using two texture filters.

하여 눈을 포함하는 상위 절반 영역에서 두 가지 질감 필터를 적용하고 결합(Merging)한 결과를 나타낸다. 반응 값들을 가중 평균을 이용하여 결합함으로써 불규칙 잡음을 감소시키고, 눈 후보 영역에서의 반응 값을 증가시키는 결과를 얻을 수 있다.

1. 가보 필터를 이용한 질감 필터

가보 필터는 시간 해상도의 정보를 제공하면서 주파수 성분을 추출하는 단시간 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform)으로 가우시안 윈도우를 사용하는 형태이다. 가보 필터는 영상을 공간적으로 국부화시키는 특성을 지니고 있으며 주파수 영역에서도 특정 주파수와 방향에 대해서 선택적으로 반응하는 대역 통과 필터(Band Pass Filter)의 특성을 가지며 입력 영상의 크기 변화와 회전 변화에 둔감한 특성을 가지고 있기 때문에 질감 분할, 물체 검출, 의료 영상 압축, 영상 해석 등과 같은 다양한 분야의 영상 처리 및 분석에 널리 사용되고 있다. 공간 영역에서의 가보 필터의 수식은 식 (3)과 같다^[10~12].

$$h[x, y; f, \theta] = g(x, y) \exp[j2\pi f x_1]$$

$$\left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\right) \exp\left[-\frac{x_1^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y_1^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp[j2\pi f x_1] \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

식 (3)에서, f 는 중심 주파수, θ 는 필터의 방향성, σ 는 가우시안 표준편차를 의미한다. 본 논문에서는 입력된 얼굴 영역에서 수평 방향의 긴 형태를 갖는 영역을 검출하기 위하여 수평 방향의 가보 필터를 이용한다. 입력 얼굴 영상의 크기에 비례적으로 선택된 f, σ 와 θ 가 0인 수평 방향의 가보 필터와 첫 번째 눈 후보 영역을 검출한 결과는 그림 8과 같다.

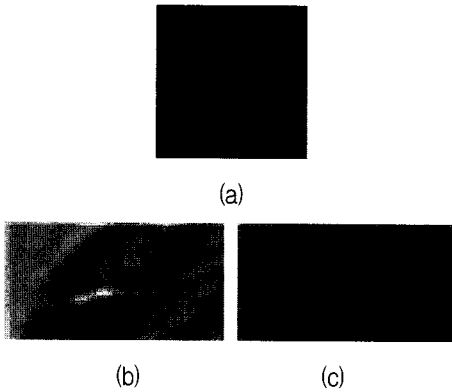


그림 8. 가보 필터를 이용한 눈 후보 영역 검출 결과: (a) 수평 방향의 가보 필터, (b) 입력 얼굴 영역, (c) 가보 필터를 이용한 반응 값

Fig. 8. Result of candidate regions for eyes detected by Gabor filter: (a) horizontal Gabor filter, (b) the input image with face region, (c) the result obtained by Gabor filter.

2. ART 기술자를 이용한 질감 필터

ART는 극 좌표계 상에서 정규 직교하는 정현파 기저함수로 구성된 단위 원 안에서 정의되는 직교 단위 변환이다^[13].

$$F_{nm} = \langle V_{nm}(\rho, \theta), f(\rho, \theta) \rangle$$

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^1 V_{nm}^*(\rho, \theta) f(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta \quad (4)$$

식 (4)에서, F_{nm} 은 차수가 n 과 m 인 ART 계수이며, $f(\rho, \theta)$ 는 극 좌표계 상에서의 영상 함수, 그리고 $V_{nm}(\rho, \theta)$ 은 원주(Angular) 및 방사(Radial)방향으로 분리가 가능한 ART 기저 함수이다.

$$V_{nm}(\rho, \theta) = A_m(\theta) R_n(\rho) \quad (5)$$

회전 불변성을 이루기 위하여 원주 방향의 기저함수로 복소 지수(Complex Exponential)함수를 이용한다.

$$A_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \exp[jm\theta] \quad (6)$$

방사 방향 기저 함수로는 코사인(Cosine)함수를 이용한다.

$$R_n(\rho) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 2 \cos(\pi n \rho) & n \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

본 논문에서는 입력된 얼굴 영역에서 앞서 정의한 두

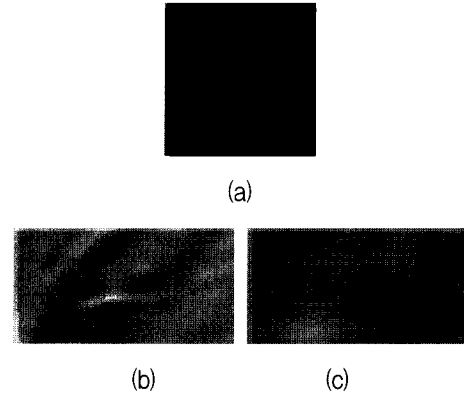


그림 9. ART 기술자를 이용한 눈 후보 영역 검출 결과: (a) ART 기술자, (b) 입력 얼굴 영역, (c) ART 기술자를 이용한 반응 값

Fig. 9. Result of candidate regions for eyes detected by ART descriptor: (a) ART descriptor, (b) the input image with face region, (c) the result obtained by ART descriptor.

번째 눈의 질감 특성인 원형 형태와 유사한 모양을 갖으며 주변 밝기 정보보다 어두운 영역을 검출하기 위하여, m 은 0, n 은 1인 파라미터를 사용하는 ART 기술자를 이용하였으며, 생성된 기술자는 그림 9와 같다.

V. 얼굴의 구조적인 특성을 이용한 눈 위치 선택

다른 두 가지 질감 필터에 의해 얻어진 각각의 반응 값들은 결합 과정을 수행한다. 반응 값들을 결합함으로써 불규칙 잡음을 감소시키고 눈 후보 영역에서의 반응 값은 증가시킬 수 있다. 결합은 평균값(Average Value), 중간값(Median Value), 가중평균(Weighted Average Value), 최근값(Most Recent Value) 등의 방법이 있으며, 본 논문에서는 가중평균을 이용하여 결합을 수행하며, 식 (8)과 같다.

$$B(i, j) = \alpha R_1(i, j) + (1 - \alpha) R_2(i, j) \quad (8)$$

식 (8)에서, R_1 과 R_2 는 질감 필터에 의해 얻어진 반응 값들이며, B 는 결합된 결과이다. α 는 결합 비율로서 결합 결과에 미치는 영향력의 정도를 말하며, 모든 점에 대해 상수 값을 갖는다. 결합 결과의 각 점은 서로 대응되는 반응 값들의 선형결합을 통해 얻어지며, 본 논문에서 R_1 은 가보 필터를 통해 얻어진 반응 값, R_2 는 ART 기술자를 통해 얻어진 반응 값, α 는 0.6으로 한다. 결합된 결과는 그림 12와 같다.

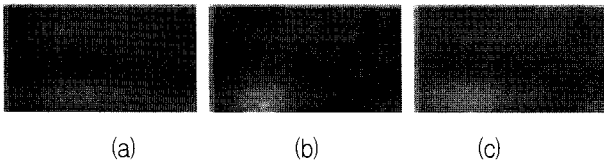


그림 12. 가보 필터와 ART 기술자에 의한 결과를 결합한 결과 영상: (a) 가보 필터를 통해 얻어진 반응 값, (b) ART 기술자를 통해 얻어진 반응 값, (c) 결합 결과

Fig. 12. Result image obtained by integrating the image by Gabor filter and the image by ART descriptor: (a) result image obtained by Gabor filter, (b) result image obtained by ART descriptor, (c) merged image by combining (a) and (b).

결합된 반응 값에서 최종적인 눈의 위치는 아래의 세 가지 조건을 만족하는 두 개의 지역 최대 점들로 선택되어 진다.

- ① 눈은 눈썹보다 아래에 있다.
- ② 눈은 좌, 우 모두 존재한다.
- ③ 눈 영역은 일정 크기 이상이어야 한다.

입력 얼굴 영상의 크기가 128*128 일 때, 평균적인 사람의 눈의 크기는 28*12 이다. 따라서 본 논문에서는 28*12 보다 너무 작거나 큰 영역은 제거한 후 지역 최대 점을 눈의 위치로 선택한다.

VI. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법에 대한 성능 평가를 위하여 JAFFE(Japanese Female Facial Expression) 데이터베이스, CAS-PEAL 얼굴 데이터베이스, Champion 얼굴 데이터베이스, 그리고 휴대폰에서 촬영한 얼굴 데이터베이스를 이용한다^[14~15, 19]. JAFFE 데이터베이스는 다양한 표정의 얼굴 영상 213장으로 이루어져 있으며, 표 1은 JAFFE 데이터베이스를 사용하여 눈 검출에 대한 비교 실험한 결과를 나타내고 있다. 이를 이용하여 비교 실험한 결과, 제안하는 방법이 기존의 눈 검출 방법에 비해 2.9~4.4% 향상된 검출결과를 보였다.

또한, 얼굴 자세 변화, 얼굴 표정 변화, 감은 눈 등의 다양한 변화 요소가 존재하는 환경에서의 눈 검출에 대한 실험 평가를 위하여, CAS-PEAL 얼굴 데이터베이스^[16], 휴대폰 얼굴 데이터베이스^[17], Champion 얼굴 데이터베이스를 이용하였다^[18]. CAS-PEAL 얼굴 데이터

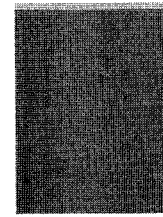


그림 13. 눈 검출 결과
Fig. 13. The result of eye detection.

표 1. 실험 결과의 비교
Table 1. Performance comparisons of the proposed method and existing methods.

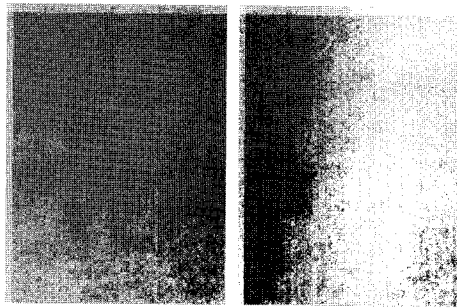
알고리즘	데이터베이스	JAFFE
HPF	Z. H. Zhou[3]	97.2%
Terrain Feature	J. Wang[4]	95.8%
질감 필터	제안한 방법	100%

표 2. 실험 결과
Table 2. Experiment results.

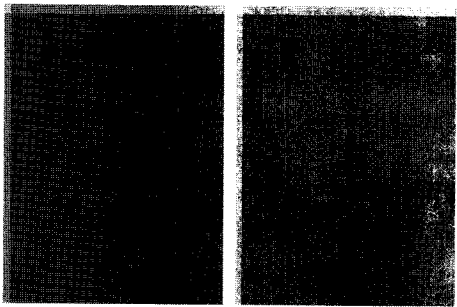
데이터베이스	검출 수 / 데이터 개수	검출율
CAS-PEAL(무표정)	1040 / 1040	100%
CAS-PEAL(감은 눈)	362 / 377	96%
CAS-PEAL(표정)	1497 / 1507	99.3%
JAFFE	213 / 213	100%
휴대폰	1674 / 1780	94%
Champion	2370 / 2512	94.3%
합계	7156 / 7429	96.3%

는 무표정의 정면 사진 1040장, 감은 눈 사진 377장, 웃음, 짜뿌림, 놀람, 입 벌림의 4가지 표정을 갖는 1507장의 영상을 이용하였다. 휴대폰 얼굴 데이터는 다양한 휴대폰 기종, 조명, 배경에서 촬영된 1780장의 영상을 이용하였다. Champion 얼굴 데이터는 2512장의 영상을 이용하였다. 전체 실험 영상 7426장에서 96.3%의 눈 검출 성공률을 보이며, 특히 감은 눈에서도 다른 데이터와 마찬가지로 높은 눈 검출 성공률을 보인다. 표 2는 제안한 방법을 다양한 환경을 가진 얼굴 데이터베이스의 영상들에 적용한 후 눈 검출에 대한 결과들을 나타내고 있다.

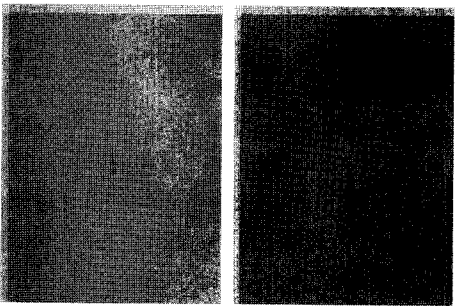
그림 14, 15, 16, 그리고 17은 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 정확한 눈을 검출한 결과 영상들을 보여주고 있다. 그림 14는 CAS-PEAL 얼굴 데이터베이스의 무표정, 표정, 감은 눈 영상에서의 눈 검출 결과



(a)



(b)



(c)

그림 14. CAS-PEAL 데이터에서의 눈 검출 결과: (a) 무 표정 영상, (b) 표정 영상, (c) 감은 눈 영상
 Fig. 14. Eye detection results of the proposed method on CAS-PEAL database: (a) neutral images, (b) expression images, (c) closed eye images.

보인다. 그림 15는 JAFFE 데이터베이스에서의 눈 검출 결과를 보인다. 그림 16은 다양한 기종의 휴대폰, 다양한 배경, 다양한 조명에서 촬영된 휴대폰 영상에서의 눈 검출 결과를 보인다. 그림 17은 Champion 얼굴 데이터베이스에서의 눈 검출 결과를 보인다.

그림 18은 눈 검출 실패의 예를 나타내고 있으며, 눈 찻과 눈이 붙어서 보이는 경우, 눈 밑 주름이 진하게 나타나는 경우, 두꺼운 안경테를 착용하고 있는 경우, 그리고 영상에서 얼굴 영역이 너무 작아 눈의 구별이 되지 않는 경우에는 눈 검출에 대한 오류가 발생하였다. 눈 찻과 눈이 붙어서 보이는 경우는 서양인에게서 자주 나타나며 눈의 후보영역에서 눈과 눈찻이 붙어 있는 형

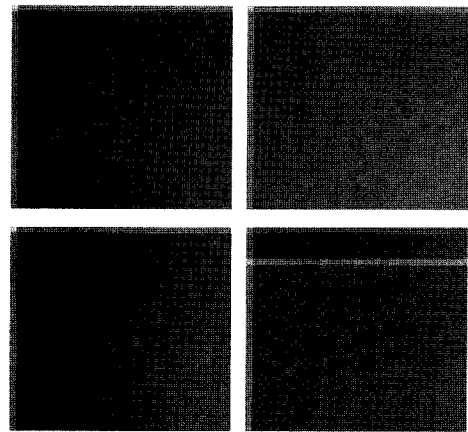


그림 15. JAFFE 데이터에서의 눈 검출 결과
 Fig. 15. Eye detection results of the proposed method on JAFFE database.

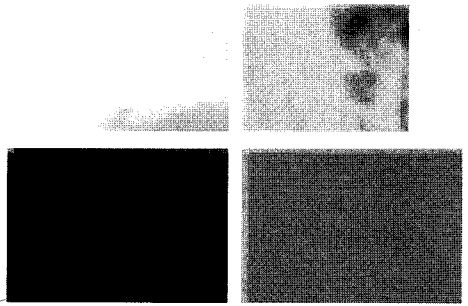


그림 16. 휴대폰 데이터에서의 눈 검출 결과
 Fig. 16. Eye detection results of the proposed method on Mobile phone database.

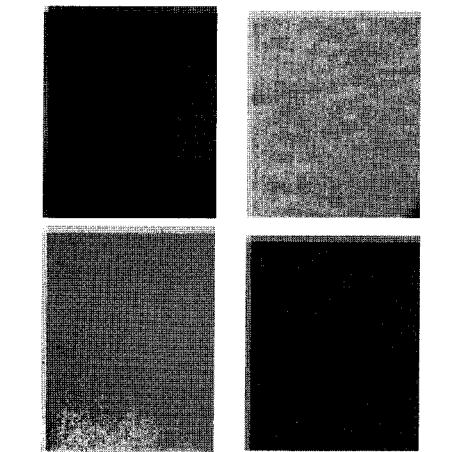


그림 17. Champion 데이터에서의 눈 검출 결과
 Fig. 17. Eye detection results of the proposed method on Champion database.

태로 나타난다. 눈 밑 주름이 진하게 나타나는 경우는 표정이 있는 영상에서 자주 나타나며 눈 밑 주름이 눈의 후보 영역에서 크게 나타난다. 두꺼운 안경테를 착용하고 있는 경우는 안경테에 의한 질감 필터의 반응 값이 너무 높게 나타나고, 얼굴 영역이 너무 작은 경우

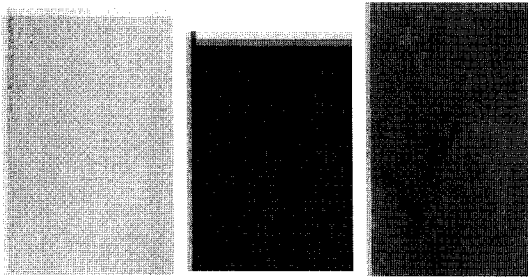


그림 18. 눈 검출 실패의 예
Fig. 18. Failed examples of eye detection.

는 눈의 질감 특성에 대한 반응 값이 낮게 나타남으로써 눈 검출에 대한 잘못된 결과를 보인다.

VII. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 질감 필터 기반의 눈 검출 방법을 제안하였다. 눈이 갖는 두 가지 질감 특성을 정의하고, 두 가지 질감 특성에 잘 반응할 수 있도록 질감 필터를 정의하였다. 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 검출율에서 2.9~4.4%의 향상된 검출 결과를 보이며, 다양한 얼굴 데이터 영상에서 96.3%의 눈 검출 성공률을 보였다. 하지만 눈 후보 영역에서 눈의 위치를 잘못 선택함으로써 눈 검출에 실패하는 경우가 발생하였으며, 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 보다 강건한 눈 선택 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

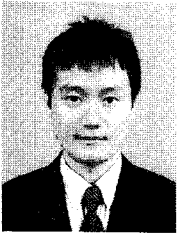
- [1] R. Brunelli and T. Poggio, "Face recognition: features versus templates," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, no. 10, pp. 1042-1052, Oct. 1993.
- [2] D. Beymer, "Face recognition under varying pose," in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 756-761, Seattle, Wash., 1994.
- [3] Z. H. Zhou and X. Geng, "Projection functions for eye detection," *Pattern Recognition*, Vol. 37, no. 5, pp. 1049-1056, 2004.
- [4] J. Wang and L. Yin, "Detecting and tracking eyes through dynamic terrain feature matching," in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 78, June 2005.
- [5] R. L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb, and A. K. Jain, "Face detection in color images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, no. 5, pp. 696-706, May 2002.
- [6] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 511-518, 2001.
- [7] R. E. Schapire, Y. Freund, P. Bartlett, and W. S. Lee, "Boosting the margin: a new explanation for the effectiveness of voting methods," *Ann. Stat.*, Vol. 26, No. 5, pp. 1651-1686, 1998.
- [8] R. E. Schapire, "The boosting approach to machine learning an overview," in *Proc. of the MSRI Workshop on Nonlinear Estimation and Classification*, 2002.
- [9] 윤성욱, "얼굴의 geometry 특성과 다중 해상도 특징 추출을 이용한 얼굴 영역 검출," *홍익대학교 전기. 정보. 제어공학과 석사학위논문*, 2004.
- [10] J. G. Daugman, "Complete discrete 2-d gabor transforms by neural networks for image analysis and compression," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal processing*, Vol. 36, no. 7, pp. 1169-1179, July 1988.
- [11] T. S. Lee, "Image representation using 2d gabor wavelets," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 18, no. 10, pp. 959-971, Oct. 1996.
- [12] G. Naghdy, J. Wang, and P. Ogunbona, "Texture analysis using gabor wavelets," in *Proc. of the IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging*, Vol. 2657-10, pp. 74-85, San Jose, USA, Jan. 1996.
- [13] B. S. Manjunath, P. Salembier, and T. Sikora, "Introduction to MPEGd : multimedia content description interface," *Wiley*, pp. 238, 2002.
- [14] C. W. Park, J. M. Kwak, H. Park, and Y. S. Moon, "An effective method for eye detection based on texture information," in *Proc. of the International Conf. on Convergence Information Technology*, pp. 586-589, 2007.
- [15] M. J. Lyons, J. Budynek and S. Akamatsu, "Automatic classification of single facial images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 21, No. 12, pp. 1357-1362, December 1999.
- [16] W. Gao, B. Cao, S. G. Shan, D. L. Zhou, X. H. Zhang and D. B. Zhao, "The CAS-PEAL large-scale chinese face database and evaluation protocols," *Technical Report No. JDL-TR_04_FR_001*, Beijing: Joint Research & Development Laboratory, the Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [17] 박찬우, 박현, 문영식, "텍스처 기반의 눈 검출 기

법,” 제27회 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집, 제14권, 제1호, pp. 315-318, 2007.

[18] The Champion Dataset, http://www.libfind.unl.edu/alumni/events/breakfast_for_champions.htm.

[19] 김상훈, 정선태, 정수환, 조성원, “다중 해상도 가버 특징 벡터를 이용한 강인한 눈 검출,” 전자공학회논문지, 제45권, CI편, 제1호, pp. 25-36, 2008.

저 자 소 개



박 찬 우(학생회원)
2003년 홍익대학교 조선해양 공학과 학사 졸업.
2007년 한양대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업.
2009년 현재 한양대학교 컴퓨터공학과 박사 과정.
<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식>



김 용 민(학생회원)
2008년 숭실대학교 물리학과 학사 졸업.
2009년 현재 한양대학교 컴퓨터 공학과 석사 과정.
<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전>



박 기 태(정회원)
2000년 한양대학교 전자계산학과 학사 졸업.
2002년 한양대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업.
2007년 한양대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업.

2007년~2009년 삼성전자 책임연구원.
2009년~현재 한양대학교 연구교수.
<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식>



문 영 식(평생회원)-교신저자
1980년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
1990년 Ph. D. in Department of Electrical and Computer Engineering University of California at Irvine.

1982년~1985년 한국전자통신연구소 연구원.
1989년~1990년 InnoVisionMedical 선임연구원.
1990년~1992년 생산기술연구소 선임연구원.
1992년~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 교수.
<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식>