

논문 2008-45CI-4-1

Adaboost를 이용한 모바일 환경에서의 홍채인식을 위한 눈 검출에 관한 연구

(A Study on Eye Detection by Using Adaboost for Iris Recognition
in Mobile Environments)

박 성 효*, 조 달 호**, 박 강 령***

(SungHyo Park, Dalho Cho, and Kang Ryoung Park)

요약

본 논문에서는 adaboost(adaptive boosting)를 이용한 눈 검출 알고리즘을 제안한다. 또한 기존의 adaboost를 이용한 눈 검출 알고리즘의 문제점으로 지적된, 실제 눈이 아님에도 불구하고, 눈으로 찾는 오검출율(false alarm rate)를 감소시키기 위해 각막 면에 생성되는 조명의 반사광을 모델링을 통해 추정하고 adaboost의 학습과 눈 검출에 사용되는 박스의 최적의 크기를 실험을 통해 결정하였다. 위의 결과로 검출된 눈 영역을 중심으로 일정 영역에 대하여 동공과 홍채 영역을 원형검출기(circular edge detector)를 이용하여 검출하였다. 실험결과 휴대폰으로 취득한 얼굴영상에서 약 99%의 눈 검출 정확도를 나타내었으며, 휴대폰 환경에 적용했을 때 처리시간은 1초 내외 소요됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose the new eye detection method by using adaboost (adaptive boosting) method. Also, to reduce the false alarm rate which identifies the non-eye region as genuine eye that is the problems of previous method using conventional adaboost, we proposed the post processing methods which used the cornea specular reflection and determined the optimized ratio of eye detecting box. Based on detected eye region by using adaboost, we performed the double circular edge detector for localizing a pupil and an iris region at the same time. Experimental results showed that the accuracy of eye detection was about 98% and the processing time was less than 1 second in mobile device.

Keywords : Iris recognition, Eye detection, Adaboost, Iris localization, Mobile device

I. 서 론

생체인식기술(biometrics)이란 생리적(physiological) 또는 행동상의(behavioral) 특징을 기반으로 신원을 자동 인식하는 기술이다. 물리적 생리적 생체인식

(physical /physiological biometrics)에는 얼굴, 지문, 홍채, 귀 형상, 손가락 모양, 손 모양, 손바닥, 망막, 정맥 인식 등이 있다. 행동적 생체인식(behavioral biometrics)에는 키 두드리기 행동(keystroke dynamics), 서명 검증(signature verification), 화자 인증(speaker verification)과 같은 시간에 따른 행동특성 인식 방법 등이 있다.

이들 인식 방법 중 지문, 홍채, 정맥, 얼굴 인식 방법은 그 특징의 수가 매우 다양하여, 매우 많은 숫자를 포함하고 있는 데이터베이스 상에서 해당 사람을 인증하는 인식과정(1 : n 비교)에 사용가능하다^[1]. 하지만, 화자, 서명, 키 두드리기, 걸음걸이 등과 같이 사람의 행동을 기반으로 인증하는 방법은 그 특징의 수가 적고, 사

* 정희원, ** 학생회원, 상명대학교 컴퓨터과학과
(Dept. of Computer Science, Sangmyung University)

*** 정희원, 동국대학교 전자공학과-주저자 및 교신저자
(Dept. of Electronics Engineering, Dongguk University)

※ 본 연구는 산학협동재단의 2007년도 학술연구비 지원에 의해 수행된 과제입니다.

접수일자: 2008년8월29일, 수정완료일: 2008년7월9일

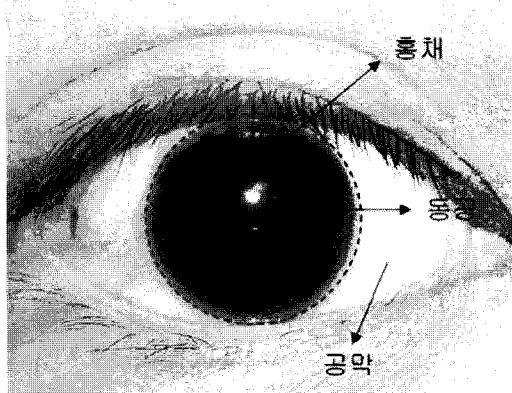


그림 1. 공막, 동공 및 홍채 영역

Fig. 1. Sclera, pupil and iris region.

람들 간의 비슷한 특징들이 많이 나타나기 때문에 인식에는 적합하지 않고, 본인임을 확인하는 검증과정(1:1 비교)에 사용되거나, 다른 생체 특징과 결합하여 사용하기도 한다^[1].

생체인식기술 중에서 홍채인식은 그림 1과 같이 사람의 동공과 공막(흰자위) 사이에 존재하는 도넛모양의 홍채 무늬 패턴을 이용하여 사용자를 인증하는 기술이다.

홍채인식의 장점은 인식을 위한 카메라와 사용자 간의 직접적인 접촉이 없기 때문에 위생적이며, 다른 생체인식기술 보다 높은 정확성과 신뢰성을 갖는다는 점이다. Daugman 교수는 홍채 인식을 위해 홍채 영역을 8개의 트랙으로 나누고, 각 트랙을 256개의 섹터로 구분하여, 총 2,048개의 비트 정보를 홍채 패턴을 표현하기 위하여 사용하였다^[2]. 이는 이론적으로 2^{2048} 명만큼의 서로 다른 사람의 특징을 표현할 수 있다고 분석할 수 있으며, 특징들 간의 상관도를 고려하여 2^{226} 의 서로 다른 사람들에 대한 구분력을 가진다고 밝혔다. 이와 같이 홍채는 다른 생체 인식 기술과 비교할 때, 매우 많은 특징을 가지고 있고, 인식 정확도 측면에서 보았을 때에도, 다른 생체 인식 기술에 비해 매우 높은 정확도를 나타내고 있다^[2].

최근 휴대폰 사용이 급증함에 따라 휴대폰에서의 개인 정보 보안의 중요성이 시급한 문제로 떠오르고 있다. 현재 기존의 패스워드 방식이 널리 사용되고 있지만, 이러한 방식은 편의성과 안정성이 떨어지므로, 생체 인식 기능이 내장된 휴대폰의 관심이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 휴대폰 내에 홍채인식 기술을 적용하기 위한 눈 영역 검출 방법을 제안한다.

기존에 생체인식 기능을 가진 PT-K1200 (팬텍& 큐리텔^[3]) 모델과 LP3800(LG전자^[4]) 모델등과 같은 지문인

식 폰은 이미 시판되었으나, 이 제품들은 별도의 지문 인식 센서 등을 추가해야 하는 문제로 가격 및 크기가 커지는 문제가 있다. 특히 이러한 문제를 해결하기 위하여 작은 사이즈나 롤타입(Roll-type)의 지문센서를 장착하는 제품들이 있으나 이러한 경우 입력되는 지문 영역정보가 적음으로써 인식성능의 신뢰도를 저하시키는 문제가 있다. 이러한 이유로 현재까지 지문인식 폰은 대중적으로 사용되지 못하고 있다^[5].

일반적으로 홍채인식의 성능은 주로 홍채영상의 크기에 의해 결정되므로, 좋은 인식 성능을 높이기 위해서는 홍채영역의 지름이 약 200픽셀 이상인 홍채영상을 사용해야한다^[6~7]. 이런 많은 픽셀의 홍채 영상을 얻기 위해서는 고 배율의 줌렌즈와 초점렌즈의 사용이 필요하다. 하지만 이러한 고가의 렌즈를 휴대폰에서 사용하려면 가격의 상승과, 부피가 늘어나기 때문에 실질적이지 않았다. 그러나 최근 휴대폰의 빠른 발전과 메가픽셀급의 고해상도 카메라의 등장으로, 고 배율의 줌 렌즈와 초점렌즈의 사용 없이도 확대된 홍채영상의 획득이 가능하게 되었다. 고해상도 카메라 폰을 사용하여 사용자 눈으로부터 비교적 원거리(25~40cm)에서 취득한 얼굴영상(일반적으로 인식을 위한 영상 획득 시 카메라에서 눈까지 거리가 멀수록 사용자는 더 편안함을 느낀)에서의 홍채 영역은 홍채인식을 위하여 필요한 충분한 픽셀 정보를 가지고 있다. 뿐만 아니라, 얼굴영역을 촬영하는 카메라 폰의 화각(viewing angle)은 일반적으로 눈만 촬영하는 홍채 카메라에 비해 비교적 광각을 가지므로 DOF(Depth of field)가 커지기 때문에 결과적으로 보다 쉽게 초점이 맞는 홍채 영상을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 카메라 폰으로 취득된 얼굴 영상으로부터 사용자의 눈 영역을 빠르고 정확하게 검출하고 이 정보를 바탕으로 사용자의 홍채 영역을 검출하는 방법을 제안한다.

기존에 연구된 얼굴 영상에서의 눈 검출 방법은 크게 두 가지 범주로 분류할 수 있다. 첫 번째는 가시광선 하에서 취득된 영상에서 눈의 모양과 그레이 챠널의 분포를 기반으로 눈을 검출하는 방법이고^[8~15], 두 번째 범주는 근적외선 하에서 취득된 영상으로부터 동공의 분광적(spectral) 특성을 활용하는 방법이다^[16~18]. Yuile는 취득한 얼굴영상에 여러 가지 가변 템플릿을 적용하여 눈 위치를 검출하는 방법을 제안했다^[8]. 이러한 가변 템플릿 매칭 방법은 이후 다른 많은 방법에 사용되었으며^[10~11, 19], 이는 눈 모델을 디자인하여, 다양한 템플릿에

대한 순환적 처리에 의해 눈 위치를 얻어내는 방법이었다. 하지만 이 방법은 다양한 형태의 가변 템플릿을 사용함으로써 처리시간이 많이 소요되어, 일반적으로 낮은 처리능력을 가지는 휴대폰 환경에서 사용하기에는 적절하지 못한 방법이다. 이외에도 Feng은 취득한 얼굴 영상에서의 눈 영역이 상대적으로 어둡다는 특징을 근거로 이진화 프로세스를 수행하여, 눈의 중심을 검출하는 방법을 제안하였다^[12]. 하지만 이 방법은 조명의 위치에 따라 얼굴 영역에 다른 그림자가 생기거나, 눈이 아닌 다른 영역(눈썹, 콧구멍 등)이 눈보다 어두울 경우 잘못된 검출 결과가 얻어질 수 있다. Rowley은 신경망(neural network)을 기반으로 눈 영역을 포함한 정면 얼굴의 특징을 검출하는 방법을 개발하였다^[13]. 하지만 이 방법 역시 신경망의 실수형 고연산을 요구하므로, 본 연구에서 사용하기에는 적당하지 않다. Zhiwei Zhu의 눈 검출 방법은 주변광으로부터 눈의 외곽패턴을 취득하고, 적외선 조명을 사용하여 어둡고 밝게 변하는 동공의 특징(dark/bright pupil)을 기반으로 두 영상의 차를 이용하여 SVM(Support Vector Machine)을 통해 동공의 위치를 검출하는 방법을 제안하였다^[14]. 하지만 이 방법은 밝은 동공(bright pupil)을 촬영하기 위해서는 카메라 광축과 적외선 조명 축을 5도 이내로 일치시켜야 하는 제약적 환경을 가지며, 안경사용자의 경우 안경 면에서 생기는 조명 반사광(Specular Reflection)을 파하기 어렵다는 문제점이 있다.

Ebisawa는 기존의 눈 검출 알고리즘과 달리 눈, 카메라, 조명의 위치를 다르게 모델링한 두 개의 적외선 조명을 각각 사용하여 밝고/어두운 동공(bright/dark pupil) 영상의 차이를 이용하여 눈 위치를 검출한다^[15]. 하지만, 이 방법 또한 카메라와 조명 각도를 5도 이내로 해야 한다는 제약조건이 있으며, 휴대폰에 추가적인 두 개의 조명을 부착하여야 하는 어려움이 있다. Qiong은 FFT(Fast Fourier Transform)을 기반으로 눈을 검출하는 알고리즘을 제안하였다^[20]. 하지만 이 방법은 공간영역의 영상을 주파수 영역으로 변환하는데 많은 연산을 필요로 하기 때문에, 휴대폰 환경을 고려한 본 연구에는 적용하기가 불가능하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 AdaBoost 방법을 이용하여 눈 영역을 검출하고, 실제 눈이 아님에도 불구하고 잘못 검출된 후보 영역을 제거하기 위하여 각막에 생기는 조명 반사광(Corneal Specular Reflection)과 검출된 눈 박스의 가로 대 세로비 정보 등을 이용한 사후 눈 검증 알고리즘을 제안한

다. 또한 검출된 눈 위치를 기반으로 고속 흥채 영역 검출 방법을 적용하여, 흥채 인식의 사전 처리단계를 수행하였다. 이때 일반 휴대폰에 사용하는 ARM CPU에서의 처리시간을 고려하여 최적의 영상의 크기를 실험을 통해 결정하였다.

II. 본 론

1. 제안하는 방법의 대략적인 구조

본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 2와 같은 순서로 동작하게 된다.

처음으로는 그림 3과 같이 700만 화소의 영상을 취득할 수 있는 메가픽셀 카메라가 내장된 휴대폰을 이용하여 사용자의 얼굴 영상을 취득한다. 단, 본 논문에서 제안하는 방법은 적외선 영상 기반이므로, 일반적인 카메라 내부에 장착된 적외선 차단 필터를 제거하고, 렌즈의 전면에 적외선 파장 대를 가지는 빛만 투과할 수 있

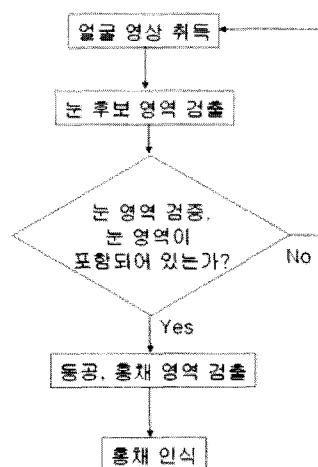


그림 2. 제안하는 방법의 전체 흐름도

Fig. 2. Overall procedure of proposed method.

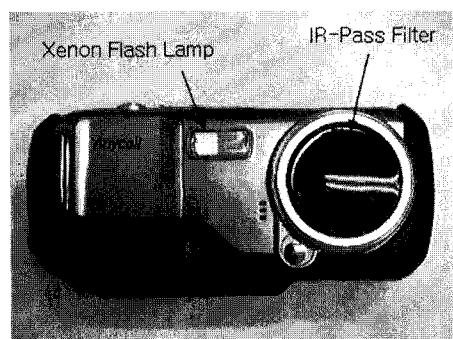


그림 3. 흥채 영상 취득을 위해 사용한 카메라가 내장된 휴대폰

Fig. 3. Mobile phone which includes camera for capturing iris image.

는 적외선 투과 필터를 부착하였다.

다음은 Adaboost 알고리즘을 이용하여 사전에 학습된 분류기(classifier)를 이용하여 취득된 얼굴 영상에서 눈의 후보 영역을 검출한다. 후보 영역이라 명하는 이유는 눈이 아니지만 영역이 눈과 유사하여 눈으로 검출된 영역이 존재할 수 있기 때문이다. 이런 이유 때문에 본 논문에서는 검출된 눈의 후보 영역들 중 실제 눈 영역을 찾아내기 위해 사후 눈 검증 단계를 진행한다.

일반적으로 사람의 눈 표면은 일정한 곡률을 가지는 각막 면(Corneal Surface)을 가지고 있다^[21]. 이 각막 면은 볼록거울의 형태를 가지는 면이기 때문에 전방에서, 그림 3의 카메라에 내장된 Xenon flash lamp가 조사했을 때, 매우 밝은 각막 반사광이 나타나게 된다. 각막면의 반사계수는 다른 피부나 머리카락 등보다 훨씬 크기 때문에^[5], 각막의 조명 반사광은 영상의 다른 영역에 비해 훨씬 밝은 그레이 값으로 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 이 점을 이용하여, 찾아진 후보 영역 중 매우 밝은 영역이 존재하는지의 여부를 검사하여 보아서, 실제 눈 영역을 검출하게 된다. 만약 특별히 밝은 영역이 검출된 눈 후보 영역들 중 어느 한 곳에도 존재하지 않을 경우는 입력 영상을 다시 취득하게 된다. 이는 홍채 인식에 적합한 눈 영역이 없음으로 판단되기 때문이다.

위에서 설명한 바와 같이 취득된 얼굴 영상에서 바로 홍채 영역을 검출하지 않고, 눈 영역을 먼저 검출하는 이유는, 홍채 영역을 검출하기 위한 원형 검출 알고리즘이 템플릿 매칭을 기반으로 하여 많은 연산을 필요로 하기 때문에, 해당 탐색영역을 크게 줄여주기 위함이다. 또한, 동공과 홍채를 검출하기 위해서는 원형 검출 알고리즘을 사용하는데, 만약 얼굴 전체 영상에서 이 알고리즘을 사용할 경우, 동공과 홍채가 아님에도 불구하고, 동공과 홍채로 검출될 수 있는 후보들이 많아지기 때문에, 눈 영역을 먼저 검출하는 것은 중요하다.

눈 영역의 검출이 완료되면, 검출된 영역을 중심으로 가로 640픽셀, 세로 480픽셀 크기로 탐색 영역을 결정하고, 해당 영역에서 정확한 동공과 홍채 영역을 검출하게 된다. 동공과 홍채의 검출은 동시에 동작하는 두 개의 원형검출기(circular edge detector)를 사용하게 된다.^[22]

위와 같은 과정을 통해 검출된 홍채 영역은 홍채인식을 위해 사용되게 된다.

2. Adaboost 알고리즘

전술한 바와 같이 본 논문에서 입력 영상에서 먼처

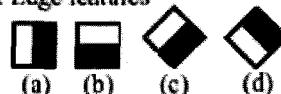
음 눈의 후보영역을 찾는 것은 Adaboost 알고리즘을 이용하게 된다. Adaboost는 Freund가 제안한 부스팅(Boosting)의 한 방법이다. 부스팅이란 대략적이고 정확하지 않은 규칙들을 통해서 정확한 결과를 도출하는 것을 의미한다.

영상에서 부스팅을 이용하여 특정 물체를 찾는 과정은 통계적인 모형을 근거로 하여 우리가 찾고자 하는 물체를 포함하고 있는 영상 샘플(positive image sample)과 포함하고 있지 않은 영상 샘플(negative image sample)을 입력으로 받는다. 이러한 두 영상 샘플들을 학습 샘플 집합이라고 말한다. 학습 과정동안 샘플들로부터 서로 다른 특징점들이 추출이 되고 물체를 분류할 수 있는 고유의 특징이 선택이 된다. 이러한 정보들은 통계적 모델의 입력으로 저장이 되게 된다. 만약에 잘못된 물체를 분류하거나 분류를 하지 못하는 경우가 발생을 하면 이전 과정과 유사하게 새로운 영상 샘플들을 학습 샘플 집합에 추가하여 정확도를 높일 수 있다.

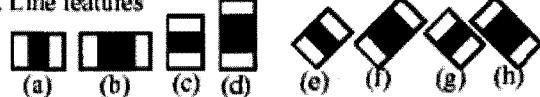
본 논문에서는 눈 후보 영역의 검출을 위해 Viola와 Jones^[24]에 의해 처음 개발되고 Lienhart^[25~26]에 의해 분석되고 확장된 adaboost를 사용하였다. 이 방법은 간단한 Haar-like feature를 사용하고 통계모델로써 분류기(classifier)의 부스팅 트리를 사용한다. 이 때 분류기(classifier)는 고정된 크기의 영상을 이용하여 결정되고, 탐색 윈도우를 통해서 전체 영상의 각 영역에서 찾고자 하는 물체가 있는지를 판단하게 된다. 이미지나 분류기(classifier)의 배율을 조정하여 다양한 크기의 물체를 찾을 수 있다.

탐색 방법의 기본요소는 Haar-like feature와 원하는 물체인지 아닌지를 구별하는 하나의 특징을 사용하

1. Edge features



2. Line features



3. Center-surround features

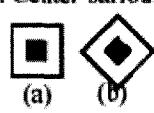


그림 4. 얼굴 검출을 위한 특징 템플릿들^[24~26]

Fig. 4. Feature template for extracting face.

는 간단한 약 분류기(weak classifier)이다. 각각 특징은 템플릿(특징의 모양)으로 표현되는데 그것의 좌표는 탐색원도우의 좌표와 특징의 배율에 연관되어 있다. Viola 와 Jones^[24]의 연구에서는 8개의 특징이 사용되었고, Lienhart^[25~26]의 연구에서는 그림4와 같은 14개의 특징이 사용되었다.

그림 4에서처럼, 각각의 특징들은 2개나 3개의 검은색과 흰색의 사각형으로 구성되어 있고 수평, 수직 혹은 대각방향으로 기울어져 있다. Haar 특징의 값은 두 요소의 가중치 합으로 결정된다. 검은색 사각형의 픽셀의 합과 전체 사각형(검은색과 흰색)의 픽셀의 합이 사용이 된다. 이 요소의 가중치는 서로 반대 부호이고 정규화를 위해 영역에 반비례하는 절대 값을 가지게 된다.

실제의 분류기(classifier)들은 수백 개의 특징들이 사용되기 때문에 직접적인 픽셀의 합은 연산하는 것의 검출 속도를 매우 느리게 만든다. 하지만 Viola^[24]의 Integral 영상 방법을 사용하면 아주 빠르게 연산을 할 수 있다. 계산된 특징 값은 보통 참과 거짓의 두 가지 값이나 세 가지 값을 나타낼 수 있는 아주 간단한 결정 트리 분류기 (decision tree classifier)의 입력으로 사용된다. 이때 모든 각각의 분류기(classifier)는 원하는 물체를 찾을 수 없기 때문에 약 분류기(weak classifier)로 불린다.

다음 단계에서는 복잡하면서도 강력한 분류기(classifier)가 만들어지게 되는데, 이것은 Freund와 Shapire에 의해 소개된 것으로 procedure called boosting을 사용한 여러 개의 약 분류기 (weak classifier)에서의 결과 값들을 합한 부호값을 사용한다 [7].

$$F = \text{sign}(c_{f1} + c_{f2} + \dots + c_{fn}) \quad (1)$$

각각의 반복 단계에서, 새로운 약 분류기 (weak classifier)인 f_i 는 학습 되고 누적되어 더해지게 된다. 학습 집합에서 여러 값을 나타내는 f_i 가 작아질수록 계수 c_i 는 점점 커지게 된다. 그 후, 모든 학습 샘플들의 가중치는 갱신됨으로써, 다음 반복 단계에서는 이미 만들어진 F 에 의해 잘못 분류된 샘플들의 역할이 강조되게 된다. 그것은 [7]의 연구에서 증명되었는데, 만약 f_i 가 임의로 추정된 것보다 조금이라도 크다면, F 는 임의의 큰 값을 취하게 된다. 만약 약 분류기 (weak classifier)들의 개수가 충분히 크다면, (< 1)은 적중률이 되고, (> 0)은 해당 항목이 아니라도 해당 항목으로 분류될 확률에 포함되게

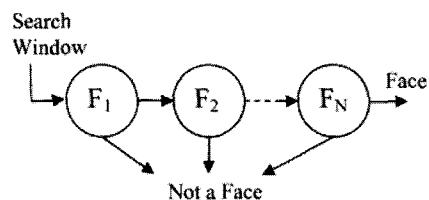


그림 5. 직렬 분류기 (cascade classifier)들의 얼굴 검출 과정

Fig. 5. Face detection procedure by cascade classifier.

된다. 하지만, 실제로는 빠른 처리 시간을 위해서는 매우 많은 개수의 약 분류기 (weak classifier)들 만큼이나 매우 많은 큰 학습 집합들이 요구된다.

반면, Viola^[24]는 그림 5와 같이 계속적으로 복잡성을 증가시키는 부스트 분류기 F_k 를 만들고 간단한 분류기가 앞쪽에 있도록 캐스케이드(Cascade) 형태로 추가를 했다. 검출 단계에서, 그림 5에서 보이는 바와 같이 현재의 검색 원도우는 검출하고자하는 물체인지 아닌지를 판단하는 각각의 F_k 분류기에 의해 세부단계로 나누어 진다.

본 논문에서는 그림 5의 구조를 초기 눈 후보 검출방법으로 사용하였다. 일반적으로 실험에서 후보군의 70%-80% 정도는 전체 총 10개의 단계 중 가장 간단한 처음의 두 단계를 거치는 동안 후보군에서 탈락한다. 이렇게 간단한 분류기를 앞에 둠으로써 검출에 필요한 연산시간을 줄일 수 있다. 따라서 실험에서 검출의 대부분의 시간을 실제 눈을 검출하는 데에 쓰인다. 또 다른 장점은 각각의 단계들이 완벽할 필요가 없다는 점이다. 사실상, 각각의 단계들은 낮은 false-alarm rate보다는 높은 hit-rate를 지향한다. 각 단계에서 이루고자 하는 hit-rate와 false-alarm rate를 설정하고 각 단계에서의 정확도를 선택하는 것은 좋은 검출 성능을 이룰 수 있게 해준다.

- 직렬 분류기의 학습 (Training Cascade Classifier)

1. 눈을 포함한 영상을 이용하여 샘플 데이터베이스를 만든다. 데이터베이스는 영상에서의 눈의 크기와 위치를 저장 한다. 이 데이터베이스로부터 만들어진 특성은 입력 영상의 질에 좌우된다.
2. 눈을 포함한 샘플 데이터베이스로부터 영상에서 눈을 추출하여 고정된 크기로 정규화 하여 눈의 특징 데이터베이스를 만든다.
3. 눈을 포함하지 않은 영상 데이터베이스를 만든다.
4. 특징데이터베이스와 눈을 포함하지 않은 데이터베

이스를 이용하여 직렬 분류기(cascade classifier)를 학습한다.

3. 초기 눈 후보 영역 검출

본 연구에서는, II장에서 설명한 학습된 데이터를 이용하여, 눈 영역의 후보 영역을 검출하게 된다. 검출된 초기 눈 후보 영역은 그림 6과 같다.

그림 6의 예를 보면, 눈 영역이 아님에도 불구하고 눈의 후보 영역으로 잘못 찾는 경우를 볼 수 있다. 일반적으로 눈의 외곽은 상대적으로 밝은 값을 가지고, 중심부에는 동공의 뚫린 구조 때문에^[23] 어두운 값을 가지는 특성을 가지고 있다. 다시 말하면, Adaboost를 이용하여 학습 된 눈의 특성은 위와 같은 성질을 반영하고 있다는 것이다.

그런데 사람의 얼굴 영역에서는 눈 영역 말고도, 이와 같은 특성을 가지는 영역이 존재 할 수 있다. 예를 들어 그림 6에서 사람의 입술의 중심 부분은 가운데가 어두운 특성을 가지고 있어 눈으로 잘못 판단되는 것이다.

이러한 문제점을 해결하여 눈으로 잘못 찾는 오검출율(false alarm rate)을 낮추기 위해, 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 방법을 제안한다. 첫 번째는 눈을 찾을 때 사용하는 박스의 비율과 크기에 제한을 두는 것이다. 취득된 얼굴 영상에서 사람의 눈은 일반적으로 일정한 크기와 가로대 세로 비율을 가지기 때문이다.

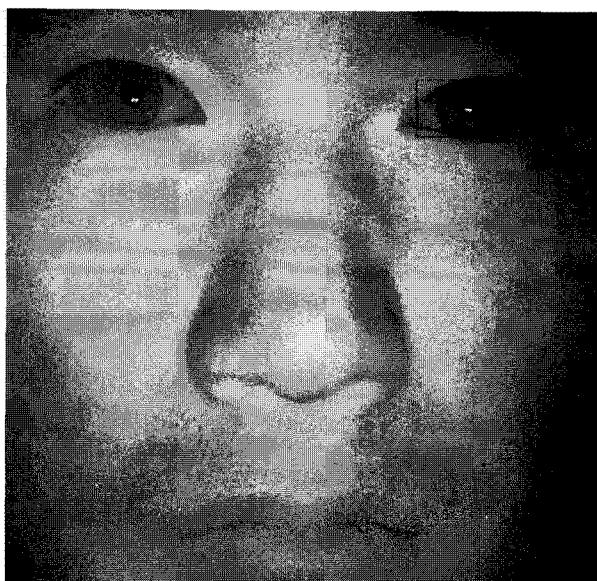


그림 6. 얼굴 영상에서 Adaboost 알고리즘을 이용하여 눈 후보 영역을 검출한 결과

Fig. 6. Result for detecting eye candidate region by Adaboost algorithm in face image.

두 번째는 각막에 생기는 조명 반사광을 이용하여 실제 눈 영역을 검출하는 것이다. 제시한 두 방법에 대해서는 4장에서 자세히 설명하고자 한다.

4. 후보군 가운데 실제 눈 영역 검출

III장에서 언급한 바와 같이, 실제 눈 영역이 아님에도 불구하고 눈으로 찾는 경우가 나타났을 때, 실제 눈이 아닌 후보 영역은 제거해주는 절차가 필요하다. 따라서 본 논문에서는, 오검출율(false alarm rate)을 감소시키기 위해 하기와 같은 두 가지 방법을 제안한다.

첫 번째는 눈 영역의 크기와 비율의 상한과 하한선을 제한하는 것이다. 취득된 얼굴 영상에서 눈이 차지하는 비율은 카메라에서 휴대폰 사용자 얼굴까지의 거리 정보 등을 고려할 때 어느 정도 예측이 가능하다. 그림 7에서 보는 바와 같이 실제 눈이 아님에도 불구하고 눈으로 찾아진 영역들은 실제 눈 영역에 비해 매우 작은 크기를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이를 이용하여 실제 눈이 아닌 영역을 1차적으로 제거 할 수 있다.

또한 눈 영역은 일정한 가로대 세로 비율을 가지고 있다. 이를 이용하여 실제 눈이 아님에도 검출된 후보 영역을 제거 할 수 있다. 실제 눈 영역에 가장 가까운 박스의 크기와 비율은 III장의 실험결과에서 자세하게 언급하도록 한다.

두 번째 방법은 각막에서 발생하는 조명반사광이 검



그림 7. 반사광이 존재하는 실제 눈 영역과 존재하지 않는 후보 영역

Fig. 7. Genuine eye region with corneal specular reflection and imposter one without corneal specular reflection.

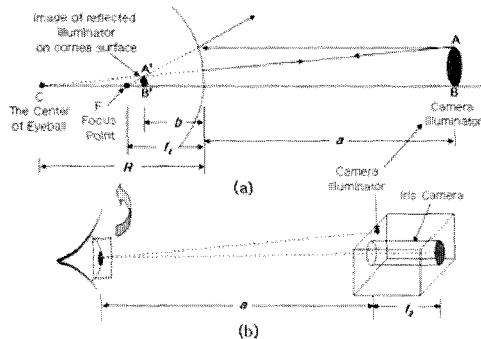


그림 8. 각막 면에 생기는 조명 반사광 모델^[5]
Fig. 8. Model of specular reflection on corneal surface^[5]

출된 눈 후보영역에 존재하는지 검사하는 것이다. 일반적으로 각막의 조명반사광은 눈이 아닌 피부 영역의 밝은 부분보다도 현저히 높은 그레이 값을 가지게 된다. 이는 각막 면이 7.8mm의 곡률을 가지는 볼록 거울로 모델링 될 수 있기 때문에, 거울에서의 조명 반사광으로 나타나는 것이다^[21]. 조명 반사광이 생기는 원리는 그림 8에서 보는 바와 같이 볼록거울에 생기는 상의 원리로 모델링 될 수 있다.

그림 8에서 R 은 각막의 곡률 반경인 7.8mm^[21], 그리고 a 는 조명에서 각막 면까지의 거리, f 는 곡률 반경의 절반인 3.9mm이다. 이 때 상은 아래의 볼록 거울에 생기는 상의 위치 수식에 따라 식 (2)와 같이 모델링 될 수 있다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

또한, 각막 면에 생기는 조명 반사광의 크기는 그림 8 (a)의 $\triangle CA'B'$ 과 $\triangle CAB$ 의 닮음을 이용하여 아래와 같은 비례식이 성립함을 알 수 있다.

$$R - b : \overline{A'B'} = R + a : \overline{AB} \quad (3)$$

따라서 반사광의 지름은 다음과 같은 수식으로 구할 수 있다.

$$\overline{A'B'} = (R - b) \cdot \overline{AB} / (R + a) \quad (4)$$

구해진 지름을 가지는 조명의 반사광이 카메라의 CCD (Charge Coupled Device) 센서 면에 perspective 변환에 의하여 생성되었을 때, 조명 반사광의 크기는 아래의 수식과 같다.

$$x_{px} = \frac{f \cdot \overline{A'B'}}{(a + b)} \quad (5)$$

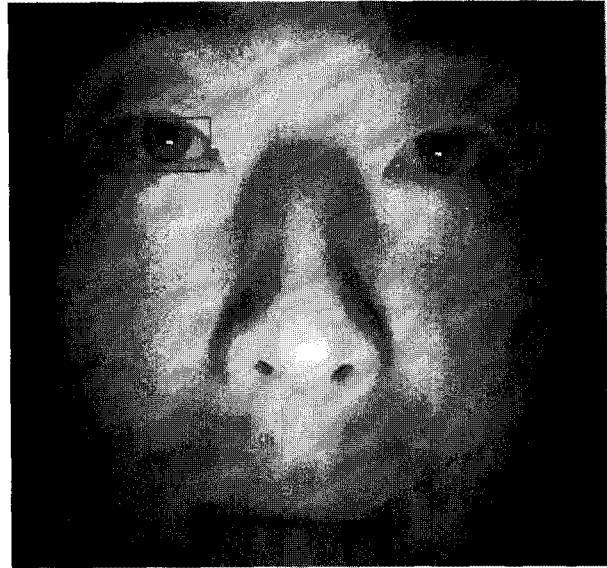


그림 9. 반사광의 유무를 이용하여 실제 눈 영역만을 남기고 나머지 후보들을 제거한 결과
Fig. 9. Consequent eye detection image by removing all imposter ones by checking the existence of corneal specular reflection.

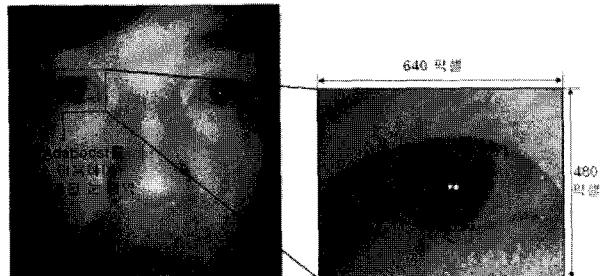


그림 10. 검출된 눈 영역을 중심으로 한 640×480 크기의 영상
Fig. 10. 640×480 pixels eye image based on the detected eye position.

식 (5)에서 f 는 카메라의 초점 거리를 나타내며, 이 값은 미리 수행한 카메라 계수 추출과정 (camera calibration)을 통해 구할 수 있다^[23].

위와 같이 추정된 각막의 반사광의 크기를 기반으로 하여, 그림 9와 같이 적절한 크기의 반사광만이 존재하는 눈 영역을 구할 수 있다. 그림 9는 오른쪽 눈 검출에 대한 최종 결과를 나타낸 것이다. 위의 두 가지 방법을 통해 실제 눈 영역만을 정확하게 검출 할 수 있었다.

위와 같이 검출된 눈 영역에서 그림 10과 같이 눈 검출 박스의 중심을 기준으로 가로 640픽셀, 세로 480픽셀 크기로 영상을 자르고, 해당 영상을 동공과 홍채 검출을 위해 사용한다.

5. 동공, 홍채 영역 검출

본 장에서는 취득된 눈 영상을 홍채 인식에 사용하기 위해 최종적으로 동공과 홍채의 경계를 추출하는 과정을 진행하게 된다.

동공과 홍채는 그림 11과 같이 두 개의 동공과 홍채를 검출하기 위한 원형검출기 (circular edge detector)를 동작하여 검출하게 된다.^[22] 단, 이 방법은 동공과 홍채가 정확한 원이라는 가정 하에 진행하기 된다. 실제로 동공과 홍채는 원에 가깝기는 하지만 타원이나 왜곡된 형태의 모양으로 나타나기도 한다. 하지만 이를 고려하여 검출 알고리즘을 동작한다면, 많은 변수들을 고려해야 하므로, 실 시간성이 중요한 휴대폰 환경에서의 홍채인식에는 치명적일 수 있다. 기존의 홍채인식에 관련된 연구들은 이러한 점을 고려하여 동공과 홍채의 경계를 원으로 가정하고 홍채인식을 수행하며, 이러한 경우에도 성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있다^[2].

원형검출기를 동작한 결과 그림 11과 같이 동공과 홍채의 경계가 정확하게 검출되는 결과를 얻을 수 있었다.

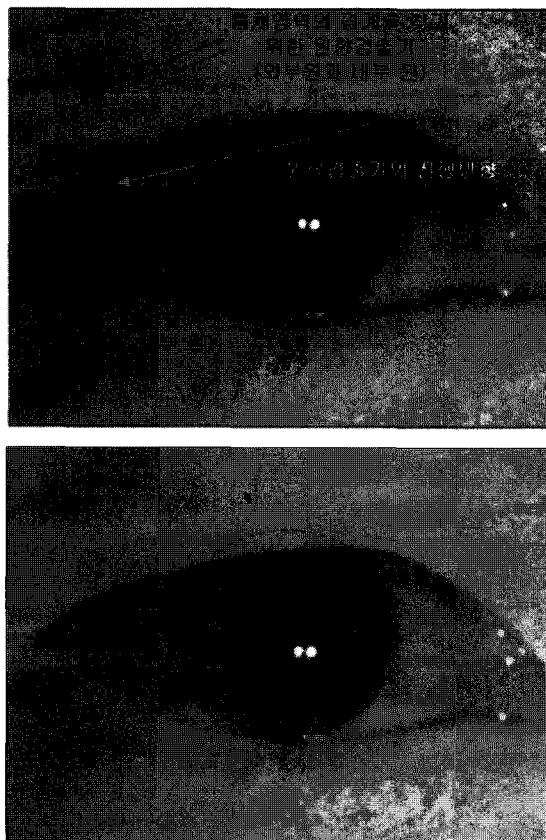


그림 11. 원형 경계 검출기에 의한 동공과 홍채 경계의 검출 결과

Fig. 11. Boundary detection of pupil and iris by circular edge detectors.

III. 실험결과

실험을 위하여, 본 연구에서는 펜티엄4 3.0 GHz CPU에 1 GB RAM의 하드웨어 환경과, Microsoft Windows XP Professional 운영체제 상에서, Microsoft visual C++ 6.0과 OpenCV 라이브러리를 이용하여 Adaboost와 동공, 홍채 검출 알고리즘을 구현하였다.

1. DB 구축 환경

본 연구에서는 그림 3과 같이 700만 화소 카메라가 내장된 삼성 SCH-V770 휴대폰을 이용하여 실험을 위한 얼굴 영상을 취득하였다. 홍채 인식에 적합한 적외선 영상을 취득하기 위하여, 가시광선이 투과하지 못하는 적외선 투과 필터를 카메라 렌즈의 전면에 부착하였다. 또한, 인식에 적합한 밝기를 가진 영상을 취득하기 위하여 휴대폰에 내장된 Xenon Flash Lamp 대신 할로겐 조명을 이용하였다.

전체 70명의 피 실험자들로부터 각각 7 ~ 8장의 영상을 취득하여 총 530장의 영상을 얻을 수 있었다. 각 영상은 가로 3072픽셀, 세로 2304픽셀을 가지는 700만 화소의 영상이다.

2. 눈 영역 검출 정확도

본 연구에서는 눈 검출 정확도를 측정하기에 앞서, 영상의 크기를 다양하게 변화시키며 Adaboost의 학습에 소요되는 시간과, 영상의 크기에 따른 눈 검출 정확도를 측정하였다. 영상의 축소시켜서 실험하는 이유는, 본 연구가 휴대폰과 같은 처리속도가 일반 PC에 비해

표 1. 영상 축소에 따른 학습 소요시간과 눈 검출 정확도

Table 1. Training time according to image reduction and eye detection accuracy.

	전체영상 (3072× 2304)	1/16 (768×576)	1/64 (384×288)	1/256 (192×144)
학습 소요시간	약 15분	약 5분	약 4분	약 3분 30초
눈 검출 소요시간	1,015ms	105ms	53ms	22ms
휴대폰 환경에서의 소요시간	약 20초	약 2.1초	약 1초	약 0.4초
적어도 한 개의 눈을 찾을 확률	100%	100%	99.5%	90%

현저히 떨어지는 환경을 고려하여 진행되기 때문이다. 휴대폰 환경에서 3072*2304 픽셀의 영상을 처리하기에는 한계가 있기 때문이다.

실험에서 눈 검출 정확도는 '적어도 한 개의 눈을 찾을 확률'을 사용하였다. 이는 사전에 양쪽 눈에 대한 홍채 정보가 저장되어 있을 때, 한 쪽 눈만을 검출하여도 인식에 지장이 없음을 감안한 것이다.

표 1에서 보는 바와 같이 전체 영상에 대해 제안하는 방법을 이용하여 눈 검출 정확도를 측정한 결과 100%의 눈 검출 정확도를 나타냈다. 하지만 학습에 소요되는 시간은 15분을 초과하며, 실험을 진행한 데스크탑 PC 환경에서는 1,015ms가 소요되었다. 이는 약 150 MHz의 CPU 속도를 가지는 휴대폰 환경에서는 20초 정도의 시간이 소요된다고 예상할 수 있으므로, 휴대폰 환경에서는 사용이 불가능하다고 할 수 있다.

또한 1/16로 축소한 영상의 경우는 정확도 역시 100% 이지만 실행시간이 크게 단축되는 것을 알 수 있다. 그리고 1/64로 줄인 경우에는 정확도가 99.4%이지만 처리시간이 약 1초정도로 줄어들어 실시간 홍채인식이 가능함을 알 수 있다. 또한 휴대폰 환경에서는 부동소수점 연산을 위한 프로세서가 없음을 감안하여, 제안하는 방법의 프로그램을 bit-shift 연산을 이용하여, 부동소수점 연산을 하지 않도록 수정한다면 실행 소요시간을 크게 단축할 수 있을 것으로 예상된다.

영상을 1/256로 축소했을 때에는 실행시간을 더욱 크게 단축할 수 있지만, 눈 검출 정확도가 현저하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 영상을 큰 비율로 축소할 시, 눈 영역의 조명 반사광이 사라지기 때문으로 원인이 분석되었다.

따라서 휴대폰 환경을 고려할 때, 원래 영상의 1/16 ~ 1/64크기 영상이 가장 최적의 크기라는 결론을 내릴 수 있었다.

다음 실험으로 눈 검출 박스의 가로대 세로비를 1 : 1 ~ 4 : 1 까지 다양하게 바꾸어서 검출 정확도를 측정한 결과, 2.25:1일 때 가장 높은 정확도를 나타냈다.

비교 실험을 위해 SVM (Support Vector Machine) 분류기를 사용한 결과와 비교하였다. 실험 결과 SVM을 사용하였을 때 검출 성능은 100%(전체영상사용), 100%(1/16영상사용), 100%(1/64영상사용), 95%(1/256영상사용)로 본 논문에서 제안한 adaboost 방법보다 성능이 좋음을 알 수 있었다. 하지만 처리시간은 본 연구의 방법보다 1.5배 ~2배정도 더 소요되어 저연산 휴대폰에 적용하기 어려움을 알 수 있었다.

3. 동공, 홍채 검출 정확도

다음은 위에서 검출된 눈 영역을 기반으로 하여, 640×480 픽셀 크기로 영상을 자르고, 자른 영상에 대하여 동공과 홍채의 검출 정확도를 측정하였다. 측정 결과는 표 2와 같다. 실험 결과 제안하는 방법을 사용하여 검출된 눈 영역을 기반으로 동공과 홍채를 찾았을 때, 매우 정확한 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

또한, 그림 12에서 보는 바와 같이 눈을 반쯤 감아서 홍채 영역이 잘 보이지 않거나, 동공이 매우 작은 경우, 영상에 광학적 또는 움직임으로 인한 흐림(blur) 현상에도 정확한 검출 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

표 2. 원형검출 알고리즘으로 찾은 동공, 홍채 중심 및 반경과 사람이 손으로 찍은 중심, 반경간의 차이

Table 2. Center and radius difference between those by circular edge detector and those by human inspector.

홍채	값 (pixel)	동공	값 (pixel)
X 축	1.51	X 축	0.56
Y 축	4.16	Y 축	1.66
중심 RMS 에러	4.42	중심 RMS 에러	1.75
반지름 차이	2.78	반지름 차이	2.45

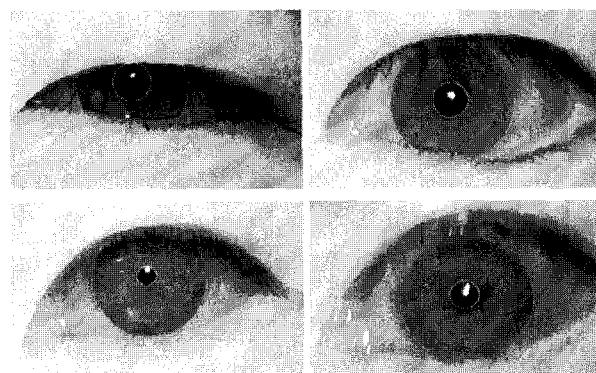


그림 12. 홍채 영역 검출 예
Fig. 12. Iris detection results.

IV. 결 론

본 논문에서는 Adaboost (Adaptive boosting) 알고리즘 및 각막의 조명 반사광을 이용하여 고해상도 카메라를 내장한 휴대폰으로 촬영한 얼굴 영상에서 눈 영역을 검출하는 방법을 제안하였다. 또한 검출된 눈 영역을

기반으로 하여 동공과 홍채 영역의 검출을 수행하여, 홍채인식을 하기 위한 사전 단계를 수행하였다.

Adaboost 알고리즘을 사용했을 때, 실제 눈이 아님에도 불구하고 눈으로 찾는 오검출율(false alarm rate)을 감소시키기 위해, 눈의 각막 면에 생기는 조명 반사광을 이용하고, 최적의 눈 검출용 박스의 가로 대 세로 비를 실험을 통해 찾아내서, 실제 눈이 아닌 후보 영역들을 제거하여 정확도를 높였다.

실험결과, 휴대폰 환경의 CPU 연산량의 한계성을 고려하여, 1/64크기로 영상을 축소한 결과 53ms의 실행시간과 약 99.5%의 눈 검출 정확도를 나타내었다. 또한, 검출된 눈 영역으로부터 동공과 홍채 영역을 검출하는 알고리즘을 수행한 결과 매우 정확한 동공 및 홍채 경계 추출 정확도를 얻을 수 있었다.

향후 연구로는, 휴대폰 환경에서 부동소수점 연산 프로세서가 없음을 고려하여, bit-shift 연산을 이용한 정수 기반의 프로그램을 구현하여, 더욱 빠른 수행시간을 나타낼 수 있도록 할 계획이다. 또한, 눈만이 가지는 또 다른 특성을 이용하여, 오검출율(false alarm rate)을 더욱 감소시킬 수 있는 방안을 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Ruud M. Bolle et. al, "Guide to biometrics", Springer-Verlag, 2003.
- [2] John Daugman, "How Iris Recognition Works", IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, Vol. 14, No. 1, January 2004
- [3] <http://www.pantech.co.kr> (accessed on July 6, 2008)
- [4] <http://www.lge.co.kr> (accessed on July 6, 2008)
- [5] 박현애, 박강령, "휴대폰에서의 홍채인식을 위한 고속 홍채검출에 관한 연구", 대한전자공학회 논문지, 제 43권 SP편 제 2 호, pp. 19~29, 2006년 3월
- [6] <http://www.iris-recognition.org> (accessed on July 6, 2008)
- [7] Byung Jun Kang, Kang Ryoung Park, "A Robust Eyelash Detection Based on Iris Focus Assessment", Pattern Recognition Letters, Vol. 28, Issue 13, 1 October 2007, pp. 1630-1639
- [8] Yuille, A.L., Cohen, D.S. and Hallinan, P.W., "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates," Proc. CVPR, pp.104-109, 1989.
- [9] K. Lam, H. Yan, "Locating and Extracting the Eye in Human Face Images," Pattern Recognition, Vol. 29, No.5, pp.771-779, 1996.
- [10] Fei Zuo, Peter H.N. de With. "Real-time Face Detection and Feature Localization for Consumer Applications," Proceedings of the PROGRESS/STW, pp.257-262, 2003.
- [11] Jürgen Rurainsky, Peter Eisert, "Template-Based Eye and Mouth Detection for 3D Video Conferencing," LNCS, Vol. 2849, pp.23-31, 2003.
- [12] Feng, G.C, Yuen, P.C., "Multi-cues Eye Detection on Gray Intensity Image," Pattern Recognition, No.5, pp.1033-1046, 2001.
- [13] Rowley, H.A., Baluja, S., Kanade, T., "Neural Network-based Face Detection," IEEE Trans. on PAMI, Vol. 20(1), pp.23-38, 1998
- [14] Zhiwei Zhu, Qiang Ji., "Robust Real-Time Eye Detection and Tracking Under Variable Lighting Conditions and Various Face Orientations," Journal of Computer Vision and Image Understanding, pp.124-154, 2005.
- [15] Paul Viola and Michael Jones., "Robust Real-time Face Detection," International Journal of Computer Vision, Vol.57 no.2, pp. 137-154, 2004.
- [16] Y. Ebisawa, S. Satoh., "Effectiveness of Pupil Area Detection Technique Using Two Light Sources and Image Difference Method," Proc. of 15th Ann. Int. Conf. of IEEE Eng. in Med. And Biol. Soc, pp.1268-1269, 1993.
- [17] Masahiko Suzaki, etc, "Racehorse Identification System Using Iris Recognition," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. J84-D2, No. 6, pp.1061-1072, 2001.
- [18] Masahiko Suzaki, etc, "Eye Image Recognition Method Eye Image Selection Method and System Therefore," US Patent, US 6, 215, 891B1, 2001.
- [19] Freund, Y. and Schapire, R. E., "Experiments with A New Boosting Algorithm," in Machine Learning: Proceedings of the Thirteenth International Conference, Morgan Kauman, San Francisco, pp. 148-156, 1996.
- [20] Qiong Wang, "Eye Detection in Facial Images with Unconstrained Background" Journal of Pattern Recognition Research, Vol. 1 pp. 55-62, 2006.
- [21] A. Gullstrand, "Helmholz's Physiological Optics", Optical Society of America, App. pp 350 - 358, 1924
- [22] Dal-ho Cho, Kang Ryoung Park, Dae Woong Rhee, Yanggon Kim, Jonghoon Yang, "Pupil and Iris Localization for Iris Recognition in Mobile Phones", SNPД 2006, Las Vegas Nevada, USA, June 19-20, 2006.
- [23] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image

- Processing Second Edition”, Prentice Hall, 2002
- [24] Paul Viola and Michael J. Jones, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features,” IEEE CVPR, 2001.
- [25] Rainer Lienhart and Jochen Maydt, “An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection,” ICIP, 2002.
- [26] Alexander Kurakov, Rainer Lienhart, and Vadim Pisarevsky, “An Empirical Analysis of Boosting Algorithms for Rapid Objects With an Extended Set of Haar-like Features,” Intel Technical Report MRL-TR-July02-01, 2002.
- [27] Stewart Taylor, “Intel® Integrated Performance Primitives,” in How to Optimize Software Applications Using Intel® IPP
http://www.intel.com/intelpress/sum_ipp.htm
 (accessed on July 6, 2008)

저 자 소 개

박 성 효(정회원)

2005년 중부대학교 졸업

2007년 8월 상명대학교 일반대학원
컴퓨터과학과 석사졸업

<주관심분야 : Biometric 영상 처리, 패턴인식>



박 강 령(정회원)-주저자/교신저자

1994년 2월 연세대학교

전자공학과 졸업

1996년 2월 연세대학교

전자공학과 석사

2000년 2월 연세대학교 전기 ·

컴퓨터공학과 박사

2000년 2월 ~ 2003년 2월 LG전자 기술원 Digital Vision Group 선임연구원

2003년 3월 ~ 2008년 2월 상명대학교 소프트웨어 대학 디지털미디어학부 조교수

2008년 3월 ~ 현재 동국대학교 전자공학과 조교수

2003년 8월 ~ 현재 생체인식연구센터
총괄과제 책임자

<주관심분야 : Biometric 영상 처리, 패턴인식, 컴퓨터비전>



조 달 호(학생회원)

2003년 2월 상명대학교 소프트
웨어학과 학사 졸업2005년 2월 상명대학교
일반대학원 컴퓨터과학과
석사졸업2005년 3월 ~ 현재 상명대학교
일반대학원 컴퓨터과학과
박사과정

<주관심분야 : Biometric 영상 처리, 패턴인식, 컴퓨터비전>