

능동적 조명을 이용한 실시간 복합 얼굴 검출

한준희^{*} · 심재창^{**} · 설증보^{**} · 나상동^{***} · 배철수^{*}

*관동대학교 · **Korea Telecom · ***조선대학교

Real-Time Multiple Face Detection Using Active Illumination

Jun-Hee Han^{*} · Jae-Chang Shim^{**} · Jeung-Bo Seol^{**} · Sang-Dong Na^{***} · Cheol-Soo Bae^{*}

*Kwandong University, **Korea Telecom, ***Chosun University

E-mail : hanjh896@dreamwiz.com

요 약

본 논문에서는 동공 검출을 이용한 얼굴 검출 방법을 제안하고자 한다. 동공검출기는 눈의 역반사 특성을 이용한 능동적 조명을 사용하여 검출을 용이하도록 하였고, 제안된 방법의 검출 범위는 소형 컴퓨터나 무인정보 단말기 등의 활용에 적합하도록 하였다. 동공 후보 영역을 계산하여 검출한 후, 학습 규칙을 사용하여 얼굴에 대응하는 두 개의 지점을 선택하도록 하였다. 얼굴 검출 성능을 증명하기 위하여, 얼굴의 최대 돌출 부위를 지정 할 수 있는 이중 모드의 얼굴 추적 장치를 개발하였다. 추적기와 복합 얼굴 검출기의 추정치를 결합하여 특정 관계를 추적함으로써 처리의 안정성을 높였으며 또한, 실시간으로 서버의 제어 장치를 원격 조정하여 항상 카메라가 이미지의 중앙을 추적하도록 함으로써 얼굴의 위치를 추정할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

This paper presents a multiple face detector based on a robust pupil detection technique. The pupil detector uses active illumination that exploits the retro-reflectivity property of eyes to facilitate detection. The detection range of this method is appropriate for interactive desktop and kiosk applications. Once the location of the pupil candidates are computed, the candidates are filtered and grouped into pairs that correspond to faces using heuristic rules. To demonstrate the robustness of the face detection technique, a dual mode face tracker was developed, which is initialized with the most salient detected face. Recursive estimators are used to guarantee the stability of the process and combine the measurements from the multi-face detector and a feature correlation tracker. The estimated position of the face is used to control a pan-tilt servo mechanism in real-time, that moves the camera to keep the tracked face always centered in the image.

키워드

Face Detection, Pupil Detection, Face Tracking

1. 서 론

이미지 센서 기술이 CCD에서 CMOS로 변환되므로, 카메라는 로그인 검증, 영상회의, vision assisted user interfaces와 같은 분야에 새로운 애플리케이션이 가능토록 하였으며 좀 더 향상된 얼굴 추적 및 검지기법을 개발하여야 한다.

이미지 내에서 얼굴을 찾아내는 과거의 연구들은 거의 대부분이 정지 이미지(still image)를 사용하였으나, 미래의 상호작용에서는 저 대기시간(low latency)으로 라이브 비디오 스트림(live video streams) 내에서 실시간 얼굴 검출 및 추적이 요구된다. 얼굴 검출 및 추적을 위한 현존하는 실

시간 시스템들은 칼라이며 모델 베이스이다.

Yang과 Waibel[1]은 얼굴 영역(face regions)을 추적하기 위하여 색 정보를 사용하였으며, 인간의 얼굴을 검출를 위한 선택된 색 공간을 입증(valid ate)하기 위하여 치열하게 연구하였다. Oliver 외 [2] 공동 연구자들은 face candidates를 검출하고 추적하기 위하여 색 정보를 사용하는 2D(차원) 실시간 단일 인물 입술 및 얼굴 추적장치를 제시한다. Bradski[3]는 3D에서 생생한 tone region을 추적하기 위하여 생동감 있는 non parametric 통계 기법을 사용한다. 그리고 Toyama[4]는 단일 인물의 얼굴의 완전한 3D pose를 추정하기 위하

여 얼굴 위에서, 색, templates의 강도 및 어두운 형상을 통합하여, 이 정보를 컴퓨터 인터페이스에서 커서를 제어하기 위하여 사용한다. Birchfield [5]는 카메라가 실내에서 움직일 때 단일 대상을 추적하도록 이를 제어하기 위하여 interior color 및 타원형 부분(elliptical region)의 경계 변화(boundary gradient)을 사용하며, La Cascia 와 Sclaroff [6]는 조명의 조건을 변화시키는 데 있어 강점을 갖은 3D 얼굴 검출 기법을 개발하였다.

본 논문에서 눈동자 candidates를 찾기 위한 능동적인 조명기술을 사용하는 실시간 복합 인물 검출 시스템이며 2장에서는 눈동자 검출기법과 눈동자영역이 얼굴에 생성되어져 과정을 설명한다. 3장에서는 가장 생성한 얼굴을 추적에 사용되는 이중 모드얼굴검출과, 4장에서 얼굴 추적을 설명하며, 5장은 실험의 결과가 소개되며, 제6장에서는 본 논문의 결론을 내리고 앞으로의 과제를 제시한다.

II. 본 론

1. 눈동자 검출

복합 얼굴 검출 시스템은 그림 1에 나타나 있다. 이 시스템은 pan-tilt servo mechanism에 장착된 한 개의 흑백 카메라와 두개의 광원을 사용한다. 편리를 위하여, 파장 875mm의 근 적외선(near infra-red, IR)이 사용된다. 적외선 조명은 인간의 눈으로는 식별할 수 없으며 또한 실내 분위기 조명내의 변화에 대하여 시스템을 무감각하게 만든다. 이를테면, 실내 조명은 시스템 동작과 관계없이 켜고 끌 수 있다.

카메라는 가시광선차단 필터를 갖은 1/3 CCD board camera이다. 이 카메라는 대략, 40x40x15mm 규격이며, 렌즈의 직경이 12mm이고, 초점 길이가 5.6mm이다.



그림 1. 카메라와 적외선 조명 장치

그림 1에서, 광원인 LIGHT1

과 LIGHT2는 각기 7개의 적외선 LED를 갖고 있는 세트에 구성되었다. LIGHT 2는 두 세(set)로 나누어 졌으며, 카메라 광선 축의 각 측면에 대하여 대칭으로 놓여졌다. 광원 축 주위의 대칭이 요구되는 데 왜냐하면, 좀 더 균일한 조명을 내면서 그림자 형상을 없애주기 때문이다. 그러나 비대칭 구성 또한 적절한 기능수행을 한다.

적외선 LED로 구성된 LIGHT 1 세트는 카메라

광선 축 가까이에 위치하며 또한 밝은 눈동자 영상을 생성하며, 그림 2의 윗쪽 화면에 나타나 있다. 이 현상은 플래쉬(flash) 사진촬영에서 red-eye 효과라고 하여 잘 알려져 있다. 눈은 반사 휘도를 갖는 개체로서 역할을 하며, 적외선(IR)을 이의 입사경로를 따라 정확히 반사시킨다. 그러므로 카메라 광선 축에 아주 근접하게 광원을 위치시킬 필요가 있는 것이다. 적외선 LED로 구성된 2번째 세트인, LIGHT 2는 어두운 눈동자 이미지(그림 2의 중간 사진)를 생성시키기 위하여 광선 축으로부터 멀리 떨어진다. 그러나, 나머지 장면에는 비슷한 휘도를 갖는다.

눈의 반사 휘도 특성은 인공으로 만들었거나 자연적인 물체에서는 보기 드문 속성이며, 이로 인하여 눈동자 내에 두 개의 조명조건 사이에서 높은 contrast를 갖고 나타나는 유일한 물체가 만들어지는 결과가 일반적으로 초래된다. 눈동자 검출은 강화된 신호 대 잡음 비율에 의하여 크게 촉진된다. 또한 밝고 어두운 눈동자 이미지 사이의 차이의 경계를 짓는 단순한 과정은 그림 2의 맨 아래 왼쪽 사진에서 보는 바와 같이 일반적으로 만족한 수준이다. 우리의 경험으로 보면 시험한 대부분의 반사 휘도는, 능동화에 예로서 사용되었다, 합리적으로 넓은 각도에서 빛을 반사하므로, 양쪽의 이미지에서 밝게 나타나며, 눈동자에 허상을 초래하는 원인이 되지 않는다. 탁상 전등이나, 천정등과 같은 등들은 반사광이 있어서 카메라를 향하게 될 때는 그와 같은 허상을 만들 수 있다.

안경과 콘택트 렌즈는 눈의 반사휘도를 변경시키지 않으며 안경과 콘택트 렌즈가 적외선 차단 코팅으로 색조를 갖지 않는 이상, 이 기구들은 검출을 억제하지 않는다. 그림 2의 맨 아래 오른쪽 사진에서 보이는 형체가 유사한 허위 눈동자 candidate는 안경으로부터의 정반사에 의해 생성될 수 있으며, 이러한 반사는 매우 특별한 머리의 위치 및 방향 하에서 어두운 눈동자 반응을 또한 차단시킬 수 있다. 실제적으로, 이러한 조건들은 아주 짧은 순간밖에는 지속되지 못하며, 시스템의 얼굴추적을 허술하도록 만들기에는 충분치 않다.

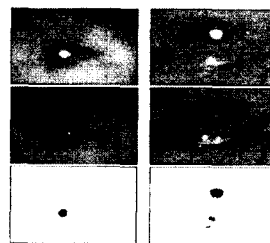


그림 2. (a) 비착용 (b) 안경 착용

용시 방향을 추정(gaze estimation) 하는 대부분의 눈 추적방식에 의해 수행되는 것처럼, 어두움만 사용한 눈동자 검출이거나, 혹은 밝은 눈동

자 이미지만으로 서는, 해결하기가 어렵다. 왜냐하면, 이미지의 다른 영역은 유사한 형태를 갖고 있을 수 있으며 또한 어둡게 나타나거나, 혹은 눈동자처럼 밝게 나타날 수도 있다. 임계치(thresholding)를 하여 차별화 된 조명을 사용하는 눈 검출을 위한 유사한 기법이 [7]에 제시되었으며 또한 눈 응시방향추적(eye gage tracking)에 사용되었다. 본 논문에서 기술된 방식은 눈동자 검출 문제를 위한 좀 더 단순하고 저렴한 기법이다. 이 시스템은 복잡한 특수하게 고안된 하드웨어를 사용하지 않으며, 또한 프레임 속도(frame rate)에서 시점영상(view image)의 넓은 영역을 처리할 수 있어서, 몇 미터의 탐색영역이 요구되는 실시간 데스크 탑 및 무인정보 단말기(kiosk) [8] 애플리케이션에서 사용된다.

2. 시스템 구성

그림 3은 복합 얼굴검출시스템의 구성도를 보여준다. NTSC 카메라로 부터의 비디오 신호는 프레임이 홀수 짝수 영역을 교대로 취해가며 구성되어 있는 비월주사방식의 프레임(interlaced frame)으로 구성되었으며 장면이 영상화 될 때, 프레임의 짝수라인에 해당하는 짝수 영역이 먼저 스캔되며, 그 다음 프레임의 홀수 라인을 구성하는 홀수 영역이 스캔된다.

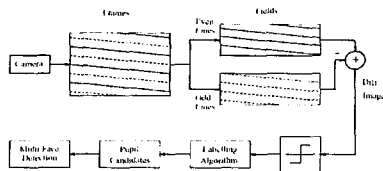


그림 3. 복합 얼굴 검출 시스템 구성도

각기 짝수 및 홀수 영역을 갖고 있는 LIGHT 1 및 LIGHT 2를 동기화 시키기 위해서 아주 단순한 회로가 개발되었다, 이를테면, 짝수 영역이 스캔 될 때는 LIGHT1이 켜지고 LIGHT2가 꺼진다, 또한 홀수 영역이 스캔 될 때는 LIGHT 2가 켜지고 LIGHT1이 꺼진다. 그러므로 시간 t (F_t)에서 취한 프레임을 위해서, 짝수 프레임 (E_t)는 밝은 눈동자 이미지를 포함하며, 또한 홀수 영역(O_t)는 어두운 눈동자 이미지를 포함하게 된다.

눈동자 candidate의 세트의 계산을 위해서 영역이 한번 분리되면, 어두운 눈동자 이미지는 항상 밝은 눈동자 이미지로부터 제외여 진다. 그러므로 눈동자 영역에서 차이 이미지는(D_t = E_t - O_t) 항상 양이다. 경계화 연산은 (thresholding operation)은 D_t 에서 수행되며 또한 결과되는 2진 이미지는 연결된 구성요소 labeling algorithm에 의하여 처리된다. 프레임 사이에서 눈동자를 검출하는 것이 또한 가능하다는 점을 주목한다. 말하자면, D_t' = E_t - O_{t-1} 을 사용하여 두 배의 프레임

속도(영역속도) 검출 속도를 구한다.

각 연결된 구성요소의 형태 및 규격상의 기하학적인 제약요소는 허위 양수를 제거하는 데 응용되고 또한 단위 3에 기술된 복합 얼굴 검출 알고리즘을 위한 입력인 눈동자 candidates를 구 한다.

또한, LIGHT 1이 짝수 프레임동안 켜지며, 그리고 LIGHT 2는 홀수 프레임에서만 켜진다. 만약 t가 짝수이면, 그 차이 이미지는 D_t = F_t - F_{t-1} 와 같이 계산될 수 있다. 홀수 t에 대해서는 D_t = F_{t-1} - F_t로 구한다. 이러한 교차는 완전한 프레임 해상도가 사용되어짐을 허용하며, 또한 프레임 rate speed를 제공할 수 있다고 하여도, 이는 더 앞으로 추진되지 않는데 왜냐하면, 동기화를 유지하기가 힘들기 때문이다. 특히 다른 시스템 제약으로 인해서 그 시스템이 탈락될 때 그러하다. 좀더 빠른 영역속도 기술의 또 다른 이점은 motion artifact들이 눈에 띄게 줄어든다는 것이다.

III. 얼굴 검출

얼굴검출을 위한 과거의 제안된 솔루션은 서식(template) 및 기타 기하학적 제약조건과 또한, 인공 신경 네트워크 색 히스토그램, 몇 가지의 모드 혹은 신호의 결합을 기초로 한다. 이러한 기법들의 수행은 팔복할 만한 조사공간을 줄임에 의하여 생동감 있는 눈동자 탐색 시스템으로부터 혜택을 볼 수 있다.

얼굴 안으로 눈동자 candidates그룹은 간단한 발견적 방법(heuristic rule)으로 실행될 수 있다. 이러한 방식들은 공간적 및 시간적 단서(temporal cues)를 기초로 할 수 있다. 시간적 단서라 함은 눈의 시간적 행동을 말한다. 같은 얼굴의 눈은 또한 같은 시간에 같은 주파수로 깜박이게 된다. 이것들은 머리와 함께 고정되어 움직인다.

공간단서는(spatial cues), 눈의 정적인 특성, 이를테면, 위치, 규격, 그리고 aspect ratio, 또한, 눈동자의 색깔, 눈 주변의 피부의 색조, 등을 포함한다. 동일한 얼굴의 눈은 수평라인에 나타날 가능성이 높고 또한 대략 같은 크기이다. 다른 제약 조건은 카메라(센서 및 렌즈의 규격) 및 조명의 특성으로부터 예상되는 얼굴의 예상되는 크기에 기준 하여 부과된다.

눈동자 candidates의 리스트가 일반적으로 매우 적으므로, 모든 가능한 짝이 고려된다. 첫 단계는 짝들 사이의 거리를 계산하는 것이다. 그리고 얼굴의 예상되는 크기를 벗어난 짝을 제거한다. 남아 있는 짝이 face candidates이며 그것들의 inter-ocular 거리에 따라 분류된다. 최대로 작은 candidate로 부터 시작하여 최고로 큰 candidate 까지, 새로운 얼굴은 만약 이것이 다른 공간적 제약조건(얼굴 방향 및 비슷한 눈동자 크기)을 통과 하면 허용된다. 일단 새로운 얼굴이 받아들여 지면, 이러한 눈동자를 포함하고 있는 candidates는 제거된다. 새로운 얼굴의 눈을 연결하는 상상적인

라인 분리(imaginary line segment)는 다른 탐색 얼굴로부터 inter-eye line을 가로지를 수 없다는 사실로 인하여, 간단한 지속성 체크(simple consistency check)가 실시될 수 있다.

IV. 얼굴 추적

복합 얼굴 탐색기의 신뢰성을 검증하기 위하여, 추적을 위한 가장 생생한(가장 카메라에 가깝거나 혹은 가장 큰 것) 얼굴을 선택하는 상관관계 기반의 단일 얼굴 추적기를 개발해 왔다. 이 얼굴은 잃어버릴 때까지 추적된다. 추적할 동안, 이 시스템은 다른 얼굴을 계속 검출한다. 그러나 추적된 얼굴보다 그 얼굴들이 더욱 생생하게 된다 하여도 이것은 그 얼굴들에 대하여 반응하지 않는다. 이는 데스크 탑이나 무인정보 단말기(kiosk) 환경에 바람직한 특성이다. 예를 들면, 시스템에 대한 주의 초점이 상호 작용하는 동안 하나의 단일 사용자 함께 남아 있어야만 하는 곳에 바람직한 특성이다. 그 추적장치는 추적된 얼굴이 영상의 가운데 위치하도록 하는 pan-tilt servo mechanism을 또한 구동한다.

얼굴 추적기가 일단 초기화되면, 추적을 계속하기 위하여 두 동작모드에 의존한다. 한 모드는 복합 얼굴 검출기로부터의 정보를 사용하고, 다음 하나는 최소화되는 object function으로서 절대차의 총합(sum of absolute differences, SAD)를 사용하는 특정 상관관계 추적기(feature correlation tracker)이다. 이 과정의 안정성을 보장하기 위하여, 두개의 영 순위 반복 추정기(zero order recursive estimators)는 [9]와 유사한 양쪽의 모드로부터의 정보를 조합하는 데 사용된다. 추적되는 얼굴의 상태는 두개의 반복 추정기(하나는 위치를 위한 것이고, 다른 하나는 얼굴 상자의 용적을 위한 것이다)에 의하여 독립적으로 취급되는 이의 크기와 위치에 의하여 대표적으로 나타난다. 각 반복 추정기의 상태는 두 변수 벡터 [얼굴의 중심의 위치(x, y), 및 얼굴 상자의 넓이, 높이 (w, h)]에 의하여 규정된다. 각 벡터는 공분산(covariance)를 수반한다.

대상이 되는 얼굴의 움직임은 예측할 수 없다. 그러나, 프레임 속도가 경직된 머리의 움직임보다 더욱 빠르다고 가정하면, 예정된 상태 벡터는 최종적으로 최신회된 추정치라고 고려할 수 있다.

$$X = X \quad (1)$$

그리고 예측된 공 분산(covariance) 식은

$$C = C + (\Delta t)^2 W \quad (2)$$

위치와 크기의 불확정성이 관찰과 최종 예측사이에서 시간 간격인 t와 함께 이차 제곱적으로 증가하는 곳에, 또한 W는 각 구성요소의 정밀도

손실을 포착하고, 또한 증대한 과정의 특성에 따라, 새로운 얼굴의 관찰(Y,C)이 다음과 같은 예측 상황을 업데이트 하는 데 사용된다:

$$C = [C^{-1} + C^{-1}]^{-1} \quad (3)$$

$$X = C[C^{-1}X + C^{-1}Y] \quad (4)$$

공 분산 수식 C는 예측된 상태 벡터 X의 오차의 예측이다. 예측된 위치에 가장 가까운 검출된 얼굴 및 어떤 오차 구역 내에 있는 얼굴이 상태를 최신회 하는 데 사용된다.

모든 프레임에 대한 복합 얼굴 검출기로부터 관찰을 얻어내는 것은 가능하지 않다. 왜냐하면 깜박거림이 있고 무리를 짓는 과정에서의 실패가 있기 때문이다. 아무 얼굴도 검출되지 않았을 때, 혹은 예측된 얼굴에 대해서 크기나 위치면으로 어떤 임계치(threshold) 보다 근접된 얼굴이 없다면, SAD(절대차의총합, sum of absolute difference) 상관관계 추적기가 측정으로 최종사용된 얼굴의 2차원 해석을 결정하도록 요청된다. 해석된 얼굴은 위치 추정기(position estimator)를 최신회하기 위하여 새로운 측정으로서 사용된다.

SAD 상관관계 추적기는 추적되는 특징 점 주변 지원의 영역에 의해서 규정되는 탐색 이웃의 범위 내에서 SAD(i,j) 함수를 최소화 함으로서 현재의 프레임 Ft 에서 특징 점 Ft-1(x,y)를 이에 대응하는 추적 점 Ft(x + i,y + j)에 대한 해석(i,j)를 결정한다.

SAD 상관관계 추적기는 왼쪽 눈동자 주변의 탐색 창 및 작은 지원 영역을 사용한다. 그래서 추적을 아주 쉽게 놓칠 수 있다. 얼굴이 없는 대상을 추적을 회피하기 위하여, 만약 SAD 상관관계 추적기가, 복합 얼굴 검출기에 의해서 예측된 범위 내에서 얼굴이 검출됨이 없이, 일정한 수의 프레임 보다 많이 계속적으로 호출되면, 그 과정은 두 번째로 가장 생생한 얼굴로 재 초기화 된다. 놀랍게 생동적인 추적기는 반복 추측기를 사용하여 복합 얼굴 검출기를 갖고 있는 SAD 상관관계 추적기의 조합으로부터 얻어지며, 어떠한 모드도 자신 스스로 생동감 있게 동작할 수 없으며 또한 한 모드는 상호간의 약점을 보상하기 위하여 다른 것에 의존하여야 한다는 조건이 주어진다.

V. 실험 결과

그림 4는 복합 얼굴 검출 알고리즘의 예제적인 결과를 보여준다. 이 시스템은 안경을 낀 사람들에게 조차 신뢰성 있게 작동하고 있음을 관찰한다. 대부분의 실험된 대상을 위한 카메라로부터 3미터까지 거리에서 검출이 잘 이루어지고 있다.

여기서 우리는 연령과 낮은 강도 밝기의 눈동자 사이에 높은 상관관계가 있음을 주목하였다. 즉, 시스템은 젊은 층은 쉽게 검출하는 반면, 노

년층에는 때때로 질이 낮은 수준으로 동작하며 이점에 대한 한 논리는 눈동자의 크기가 연령에 따라 줄어 들므로 나이든 사람들로 부터의 검출에서는 광선이 적다는 것이다. 이 이론은 관찰에 의해서 일관성이 있는데, 시스템은 큰 눈동자로서는 좀 더 잘 동작이 되는데 왜냐하면 좀 더 많은 밝은 화소가 있기 때문이라는 것이다.

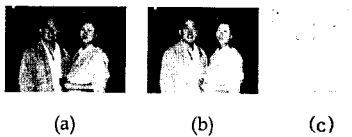


그림 4. (a) 밝은 이미지 (b) 어두운 눈동자 이미지 (c) 검출된 얼굴영역

다른 또 하나의 이론은 나이가 들어감에 따라 수정체 혼탁현상(cataract cloudiness)이 증가하므로 좀 더 적은 적외선(IR)의 반사를 분다는 것이다. 두 이론 모두, 인종의 영향이 연령이 끼치는 영향만큼 크다는 것을 설명하고 있지는 않다.

그림 5는 추적 시스템을 갖은 복합 인물의 추적 동작에서의 실패를 보여준다. 카메라에 가장 가까운 사람은 두개의 상자를 갖고 있음에 주의한다. 하나는 얼굴 주변에 있고 또 하나는 왼쪽 눈 근처에 있다. 이는 SAD 상관관계 추적기에 의해 사용되는 탐색 창을 나타내는 것이다. 추적된 얼굴은 중앙으로 초점이 되어 있지 않은데, 그 까닭은 서보(servo)를 대상의 편리를 위해서 켜고, 그들 스스로가 사진에서 자신을 관찰하도록 허용하는 것이다. 그림 5a는 밝은 눈동자 이미지, 그림 5b는 겹쳐진(superimposed) 검출된 얼굴의 어두운 눈동자 이미지를 보여준다. 그리고 그림 5c는 겹쳐진 검출된 얼굴 상자와 함께 차이 이미지를 나타낸다.

VI. 결 론

얼굴 검출은 모델 혹은 서식(template) 기반의 탐색 보다 컴퓨터 이용상으로 대단히 효율적이며, 눈의 생리학적이며 기계적인 특성 및 특성을 활용하여 능동 적인 조명 방식을 사용하여 얼굴 검출을 성취하였으며 본 논문에서는 몇 미터의 작동 범위가 요구되는 데스크 탑 혹은 무인 정보 단말기(kiosk) 애플리 케이션에 가장 알맞다.

눈의 candidate의 위치가 일단 계산되면 이것들은 기하학적인 제약조건을 사용하여 필터링되며 발견적 방법(heuristic rules)을 사용하여 얼굴에 상응하는 짝으로 무리를 진다. 복합 얼굴이 검출되면 그 중 가장 생생한 것이 dual mode 얼굴 추적기의 초기화에 사용된다. 모드 중 하나에서, 추적기는 복합 얼굴 검출기로부터 한 얼굴을 사용한다. 그리고 만약 그것을 실패하면 그 추적기는 얼굴 해석을 예측하는 SAD 상관관계 기법에 의존하게 된다. 반복 예측기는 양쪽의 추적모드로

부터 측정을 조합하는데 사용되며, 또한. 항상 얼굴이 중앙에서 추적되도록 카메라를 움직이는 pan-tilt servo mechanism을 제어하는 데 사용한다.



그림 5. (a) 밝은 이미지 (b) 검출된 얼굴의 눈동자 (c) 검출된 얼굴영역

참고문헌

- [1] J. Yang and A. Waibel. A real-time face tracker. In Proceedings of the Third IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pages 142-147, Sarasota, FL, 1996.
- [2] N. Oliver, A. Pentland, and F. Berard. Laffer: Lips and face real time tracker. In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 123-129, Puerto Rico, PR, June 1997.
- [3] G. Bradski. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface. Technical Report Q2, Intel Corporation, Microcomputer Research Lab, Santa Clara, CA, 1998.
- [4] K. Toyama. look, ma no hands! hands-free cursor control with real-time 3d face tracking. In Proceedings of 1998 Workshop on Perceptual User Interfaces, pages 49-74, San Francisco, CA, November 1998.
- [5] S. Birchfield. Elliptical head tracking using intensity gradients and color histograms. In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 232-237, Santa Barbara, CA, June 1998.
- [6] M. L. Cascia and S. Sclaroff. Fast, reliable head tracking under varying illumination. In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, CO, June 1999.
- [7] Y. Ebisawa and S. Satoh. Effectiveness of pupil area detection technique using two light sources and image difference method. In A. Szeto and R. Rangayan, editors, Proceedings of the 15th Annual Int. Conf. of the IEEE Eng. in Medicine and Biology Society, pages 1268-1269, San Diego, CA, 1993.
- [8] A. Christian and B. Avery. Digital smart kiosk project. In Proc. ACM SIGCHI - Human Factors in Computing Systems Conference, pages 155-162, Los Angeles, CA,

- April 1998.
- [9] J. Crowley and F. Berard. Multi-modal tracking of faces for video communications. In Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 640?45, Puerto Rico, PR, June 1997.
 - [10] T. Darrell, G. Gordon, J. Woodfil, and M. Harville. A virtual mirror interface using real-time robust face tracking. In Proc. of the 3rd Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, pages 616?21, Nara, Japan, April 1998.
 - [11] T. Darrell, B. Moghaddam, and A. Pentland. Active face tracking and pose estimation in an interactive room. Technical Report 356, M.I.T. Media Laboratory Perceptual Computing Section, Cambridge, MA, 1996.