

PC 카메라를 이용한 실시간 동공 검출

준희원 조 상 규*, 정희원 황 치 규*, 황 재 정**

Real-Time Pupil Detection System Using PC Camera

Sang-gyu Cho[^] Associate Members, Chi-gyu Hwang[^], Jae-jcong Hwang^{**} Regular Members

요 약

개인용 컴퓨터에 연결하여 널리 사용되는 기시광선 카메라에 의해서 획득된 실시간 영상 데이터를 가지고 동공의 움직임을 검출하는 시스템을 제안하였다. 시스템은 3단계로 구성되는데, 첫 단계로 haar-like 기반의 특징 기법은 이용해서 얼굴 영역이 검출되고, 다음으로 얼굴 영역 내에서 템플릿 기반 기법을 이용하여 눈 영역이 검출된다. 끝으로 눈 영역 내에서 동공 부위가 검출되는데 눈 영상의 수평 및 수직 히스토그램 프로파일링에 가우시안 필터를 컨볼루션 한 기법을 제안하였다. 실험 결과 2375개의 영상에 대해서 90% 이상의 검출율을 얻었으며 데이터 처리 시간은 약 160ms로 초당 7회씩 검출할 수 있었다.

Key Words features prototypes, face detection, eye detection, pupil detection

ABSTRACT

A real-time pupil detection system that detects the pupil movement from the real-time video data achieved by the visual light camera for general purpose personal computer is proposed. It is implemented with three steps, at first, face region is detected using the Haar-like feature detection scheme, and then eye region is detected within the face region using the template-based scheme. Finally, pupil movement is detected within the eye region by convolution of the horizontal and vertical histogram profiling and Gaussian filter. As results, we obtained more than 90% of the detection rate from 2375 simulation images and the data processing time is about 160ms, that detects 7 times per second.

I 서 론

인간은 눈으로부터 대부분의 정보를 획득한다. 시각적 응시를 통해서 인간의 관심과 요구를 표출하게 된다. 이러한 응시를 탐지 및 추적하여 인간과 컴퓨터의 실험에 의한 정보를 얻을 수 있다. 현재 응시를 탐지 및 추적하기 위한 기술들은 매우 다양하다. 이러한 기술들은 주로 신체의 접촉이나 비접촉으로 CCD (Charge-Coupled Device) 카메라와 적외선 등을 이용하여 직접 눈 영상을 취득하여 눈의 응시 방향을 찾는다^[1]. 직접 눈 영상을 취득하지 않고, 복잡한 배경과 얼굴을 포함하는 영상에서 응

시 방향을 찾고자 한다면, 먼저 배경에서 얼굴을 검출하고 검출된 얼굴 내에서 눈 영역을 검출하는 것이 필수적이다^[2].

현재 얼굴 검출 기법은 Chellappa^[3]의 연구 이래로 지속적인 발전을 거듭하고 있으며, 지금까지 제안된 얼굴 검출 기법은 매우 다양하다^[4-11]. 이들 기법 중에서 몇몇은 상대적으로 큰 데이터베이스 상에서 테스트되었으며, 예제 기반의 학습^[4]과 신경망 기반의 학습 기법^[8], 특징 기반의 얼굴 검출 기법^[5, 6, 11] 등을 예로 들 수 있다.

눈 영역 검출 기법에는 거화학적인 관계^[9]나 PCA (Principal Component Analysis)^[10], 템플릿 상

[^] 군산대학교 전기정보공학부 영상통신 연구실(friend79@kunsan.ac.kr, cghwang@kunsan.ac.kr)

^{**} 군산대학교 전기정보공학부(hwang@kunsan.ac.kr)

논문번호: 040088-0225, 접수일자: 2004년 2월 25일

×이 논문은 2003년도 군산대학교 논리화산21사업에 의하여 일부 지원되었음

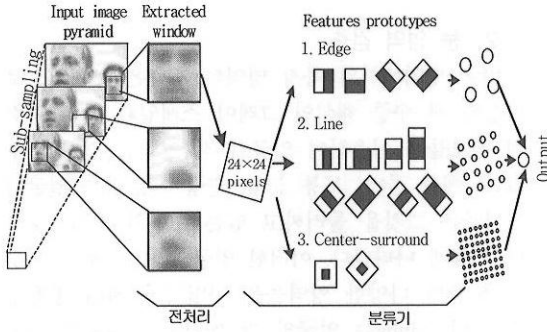


그림 1. 얼굴 영역을 찾기 위한 과정

합^[11, 12] 등을 이용하는 것이 있다. 기하학적인 관계를 이용한 기법은 얼굴의 반사 대칭 조건과 타원 모델링을 통해서 얼굴을 검출하고 그 영역내의 명암 특징을 이용하여 눈 영역을 검출한다. 이에 반해서 PCA를 이용한 기법은 서로 다른 얼굴 이미지들에서 고유 벡터(eigen-vector)로 표현되는 얼굴 고유 특징의 통계 분석을 이용한다. 템플릿 정합 기법은 전면 얼굴의 영역별 밝기 분포를 이용하여 눈 영역을 검출한다. 눈의 응시 방향을 탐지 및 추적하기 위해서 사용되는 기술들은 매우 다양하다. 하지만, 모든 상황에 완벽하게 적용할 수 있는 기술은 아직 없다. 대표적인 기술들로 특별히 제작된 장치를 대상자의 몸에 부착하여 CCD 카메라와 적외선 LED를 이용하는 것이 주를 이루고 있으며^[1], 직접 눈 영상을 취득하여 눈의 응시 방향을 찾기 위한 보조 작업을 수행한다.

본 논문에서는 고가의 장비 대신 일반 PC 카메라를 이용하여 눈의 응시 방향을 찾기 위한 초기 작업으로써 동공 검출 시스템에 대해서 다룬다.

II. 얼굴 및 눈 영역 검출

일반적인 PC 카메라로부터 영상 데이터를 획득하여 전체 영상 내에서 동공을 검출하고자 한다면, 데이터의 처리시간으로 인해 실시간 시스템이라는데 있어서 문제가 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 먼저, 얼굴 영역을 검출하고, 검출된 얼굴 영역 내에서 눈 영역만을 추출하여 이용하고자 한다.

1. 얼굴 영역 검출

영상에 포함된 얼굴 객체는 크기와 위치가 고정적이지 않으므로 그림 1과 같이 피라미드(pyramid)

방법^[8]으로 입력 영상의 크기를 일정하게 줄여가면서 24×24 크기의 부 영상(sub-image)을 추출한다. 각 서브 샘플링(sub-sampling) 단계마다 추출된 부 영상은 다양한 조명 조건에서 획득되기 때문에 조명 교정 및 히스토그램 평활화를 적용함으로써 전처리 된다^[4]. 전처리 되어진 부 영상은 AdaBoost 기법^[13]에 적용되어 그림 1의 에지, 선, 중심점 등의 특징 프로토타입(features prototypes)과 얼굴의 존재 유무를 판단하기 위해서 그림 2의 SAT(Summed Area Table)와 RSAT(Rotated Summed Area Table) 값에 의해 분류되며, 각각 일정 임계치보다 클 때 얼굴 영역으로 간주된다^[5, 6, 8, 14]. 이때, 프로토타입의 검은 부분과 흰 부분은 각각 부정(negative)과 긍정(positive)의 가중치(weight)를 나타낸다. 그림 2는 특징 프로토타입과 관심 영역(얼굴 영역)의 일치 여부를 계산하는 과정이다^[5, 6, 14].

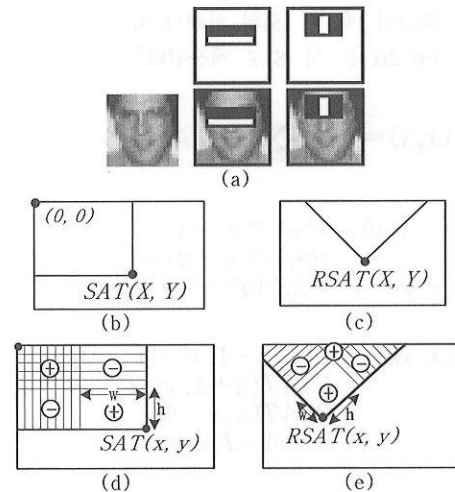


그림 2. 프로토타입과 관심영역의 계산 과정
(a) 관심 영역에 대한 특징 프로토타입 적용, (b) $SAT(x, y)$, (c) $RSAT(x, y)$, (d) $SAT(x, y)$ 계산, (e) $RSAT(x, y)$ 계산

SAT는 구형 영역의 합이며, RSAT는 45. 회전한 구형 영역의 합을 나타낸다^[5, 6]. 그림 2(a)에서 2개의 프로토타입이 관심 영역에 적용되는 모습을 볼 수 있다. 첫 번째 특징 프로토타입은 눈과 볼(check)의 밝기 차이를 측정하고, 두 번째 프로토타입은 눈과 콧마루(bridge of the nose)사이의 밝기를 비교한다.

그림 2(b)의 $SAT(x, y)$ 는 식 (2)의 조건일 때, 식 (1)의 의해서 식 (3)처럼 계산되며, 그림 2(d)는

x, y, h, w 의 값이 주어질 때, 식 (4)로 계산된다.

$$SAT(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} I(x', y') \quad (1)$$

$$SAT(-1, y) = SAT(x, -1) = SAT(-1, -1) = 0 \quad (2)$$

$$SAT(x, y) = SAT(x, y-1) + SAT(x-1, y) + I(x, y) - SAT(x-1, y-1) \quad (3)$$

$$SAT(x, y) = SAT(x-1, y-1) + SAT(x+w-1, y+h-1) - SAT(x-1, y+h-1) - SAT(x+w-1, y-1) \quad (4)$$

이와 마찬가지로, 그림 2(c)의 $RSAT(x, y)$ 는 식 (6)의 조건일 때, 식 (5)의 의해서 식 (7)처럼 계산되며, 그림 2(e)는 식 (8)로 계산된다^{5, 6, 14}.

$$RSAT(x, y) = \sum_{y' \leq y, y' \leq y - |x-x'|} I(x', y') \quad (5)$$

$$RSAT(-1, y) = RSAT(x, -1) = RSAT(x, -2) = 0, \quad (6)$$

$$RSAT(-1, -1) = RSAT(-1, -2) = 0$$

$$RSAT(x, y) = RSAT(x-1, y-1) + RSAT(x+1, y-1) - RSAT(x, y-2) + I(x, y) + I(x, y-1) \quad (7)$$

$$RSAT(x, y) = RSAT(x+w-h, y+w+h-1) + RSAT(x, y-1) - RSAT(x-h, y+h-1) - RSAT(x+w, y+w-1) \quad (8)$$

그림 3은 입력 영상 내에서 얼굴 영역을 검출한 결과이다.

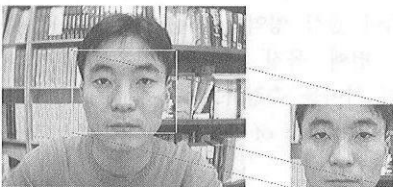


그림 3. 얼굴 영역을 검출한 결과

2. 눈 영역 검출

얼굴 영역에서의 특정 영역의 검출은 보편적으로 영상의 저 수준 해석인 그레이 스케일과 같은 최소의 정보들을 이용하여 얼굴의 각 영역을 결정할 수 있다. 예를 들면, 보통 눈썹, 눈동자와 같은 얼굴의 영역들은 그것을 둘러싸고 있는 주변의 영역들보다 더 어둡게 나타난다. 이러한 얼굴의 밝기 분포 특성은 얼굴의 다양한 영역들을 구별하기 위해 활용될 수 있다. Sinha는 얼굴의 각 영역별 특징들의 실제적, 물리적인 형상을 통계적으로 해석한 얼굴의 비율 템플릿(ratio-template)을 제안하였다^{11, 12}. 얼굴 영역을 16개의 세부 영역으로 나누고 눈, 코, 입 등에 해당하는 영역의 비율을 설정하였다. 눈 영역의 비율은 가로가 세로보다 긴 5:3의 비율로 이루어진다. 하지만, 이 비율을 그대로 적용할 경우, 추출하고자하는 눈 영상에 눈썹이나 배경이 포함되어 동공 검출에 있어서 에러가 커진다(그림 18 참조). 그림 4는 눈 영역을 추출하기 위해서 본 논문에서 제안한 얼굴 템플릿이다.

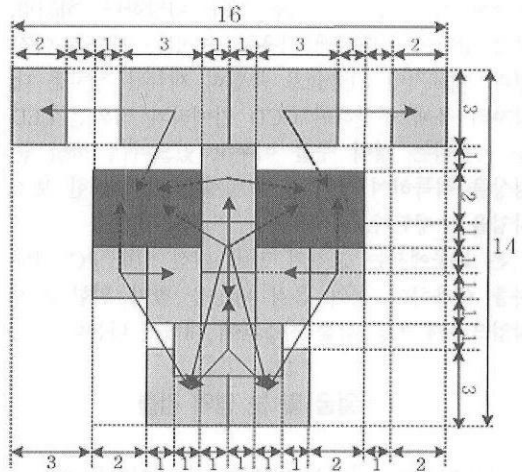


그림 4. 16×14 얼굴 비율 템플릿(ratio-template)

제안한 템플릿의 눈 영역 비율은 4:3의 비율로 이루어진다. 이 템플릿과 그림 3의 검출된 얼굴 영역을 정합(matching)하여 눈 영역을 추출한다. 그림 5는 눈 영역을 검출한 결과이다.

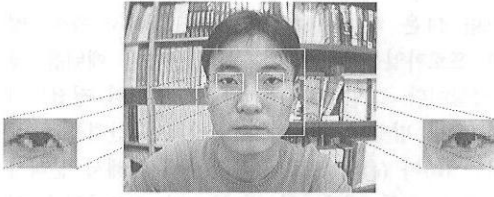


그림 5. 얼굴 영역 내에서 눈 영역을 검출한 결과

III. 동공 검출

그림 6은 동공 검출을 위한 시스템의 개요이다.

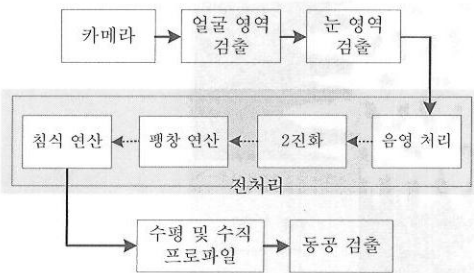


그림 6. 동공 검출을 위한 시스템 개요도

1. 전처리

동공을 검출하기 전에 시스템의 성능 향상을 위해서 본 과정을 삽입한다.

1.1. 그레이 스케일

그림 5의 눈 영상은 한 화소에 RGB의 색채 정보를 갖는 컬러 영상이다. 2진화 처리에서는 컬러 영상보다 명암 값만을 갖는 그레이 스케일 영상이 결과를 보다 쉽고, 빠르게 도출시킨다. 그림 5의 눈 영상에 식 (9)을 적용하여 그레이 스케일 영상으로 변환한다. 그 결과는 그림 7에서 볼 수 있다.

$$G(x, y) = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (9)$$

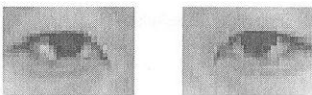


그림 7. 그레이 스케일 된 결과

1.2. 2진화

그림 7의 그레이 스케일 된 눈 영상은 동공 외에

도 잡음으로 여겨지는 속눈썹 등을 포함하게되어 시스템의 동작에 오류를 범할 수 있다. 이러한 오류를 막기 위한 목적으로 임계값을 두어 임계값 이하의 값은 255(흰색), 이상의 값은 0(검은색)의 값을 설정한다. 임계값은 그림 8과 같은 히스토그램 분포에서 두 정점 사이의 저점(low point)을 선택한다. 이 과정은 식(10)에 의해서 이루어지며, $G(x, y)$ 와 $B(x, y)$ 는 각각 처리 전후의 (x, y) 에 있는 화소 값이며, T 는 임계값을 나타낸다.

$$B(x, y) = \begin{cases} 0, & G(x, y) \geq T, \\ 255, & G(x, y) < T \end{cases} \quad (10)$$

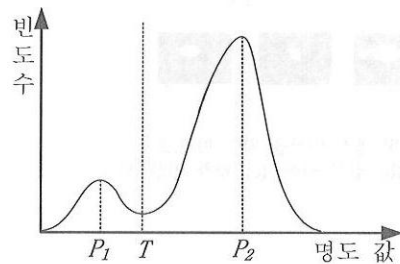


그림 8. 눈 영역의 히스토그램

실험에 사용된 눈 영상의 히스토그램 분포는 그림 8과 유사한 형태를 보이며, 동공 부분의 명암 값은 히스토그램의 P_1 주변에서 발생한다. 임계값 T 는 $P_1 < T < \frac{P_2 - P_1}{2}$ 의 범위 내에 존재하며 P_1 은 첫 번째 정점, P_2 는 두 번째 정점을 말한다. 그림 9는 2진화 결과를 나타낸다.

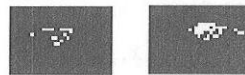


그림 9. 2진화 결과

1.3. 팽창 연산(Dilation)

팽창 연산은 최 외각 화소를 확장하는 역할을 한다. 따라서 객체의 크기는 확장되고 배경은 축소된다. 즉, 동공 안의 빈 공간을 메우는 역할을 하거나 끊어진 영역을 연결시켜준다. 프로그램 구현이 쉬운 마스크 연산 방법이 사용되며, 그림 10(a)는 2진화 영상에 사용된 팽창 연산 마스크를 나타낸다. 결과

영상은 그림 10(c)에서 확인할 수 있다.

1.4. 침식 연산(Erosion)

침식 연산은 전체 영상에서 아주 작은 객체를 제거하거나 또는 전체 영상에서 배경 확장에 따른 객체를 축소하는 역할을 한다. 그림 10(b)는 침식 연산에 사용된 침식 연산 마스크를 나타낸다. 결과 영상은 그림 10(d)에서 확인할 수 있다.

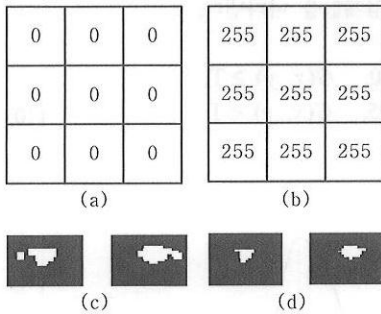


그림 10. 침식 및 팽창 연산을 위한 마스크 (a) 팽창 연산, (b) 침식 연산, (c) 팽창 연산 결과, (d) 침식 연산 결과

2. 수직 및 수평 프로파일

영상 내에 존재하는 객체의 분포를 탐지하기 위한 접근 방법 중에서 하나가 바로 영상 투영 프로파일(image projection profiles)을 결정하는 것이다. 영상에서의 프로파일은 전체 영상을 가로지르는 축을 따라서 취해지는 ON 화소들의 합계로 구할 수 있다. 여기서 ON 화소는 객체를 구성하고 있는 화소를 말한다. 가장 빈번하게 사용되는 영상의 프로파일은 수직 및 수평 프로파일이다. 수직 및 수평 방향의 프로파일은 각각 영상의 각 열에 있는 ON 화소들의 합과 각 행에 있는 ON 화소들의 합이며 식 (11)과 식 (12)로 나타낼 수 있다. 이때, 입력 영상을 $I(x, y)$ 라고 하면, $H_v(i)$ 는 $I(x, y)$ 의 수직 방향에 대한 i 열의 ON 화소들의 합이며, $H_h(j)$ 는 $I(x, y)$ 의 수평 방향에 대한 j 행의 ON 화소들의 합이다.

$$H_v(i) = \sum_{k=1}^V I(x, k) \tag{11}$$

$$H_h(j) = \sum_{k=1}^H I(k, y) \tag{12}$$

그림 11은 하나의 기준 영상에 대해서 수직 및 수평 프로파일을 이용하여 분리 가능한 패턴을 갖는 영상이다. 그림 11(a)는 각 열과 행의 정점들이 수직 수평 방향에 대응하는 규칙적인 간격들로 존재하는 (b)와 (c)의 프로파일 검사에 의해서 분리가 가능하고, 이들 객체간의 거리는 각 프로파일에 있는 정점사이의 거리로 측정한다. 수평 방향으로 가늘고 긴 영역이 수평 방향에 대한 프로파일에서 가늘고 날카로운 정점을 산출하고, 수직 방향의 프로파일에서는 더 넓고 더 낮은 정점을 산출하기 때문에 객체의 검출이 보다 용이하다.

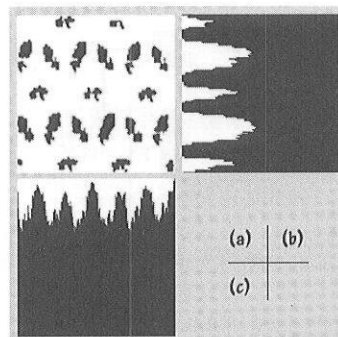


그림 11. 분리 가능한 패턴을 갖는 영상의 프로파일들 (a) 패턴을 포함한 영상, (b) 수평 방향에 대한 프로파일, (c) 수직 방향에 대한 프로파일

영상 내의 유일한 영역 즉, 그림 10(d)와 같은 눈 영상 내에서 하나의 패턴인 동공을 검출하기 위해서 각 프로파일들을 적용한다. 그 결과는 그림 12에서 확인할 수 있다.

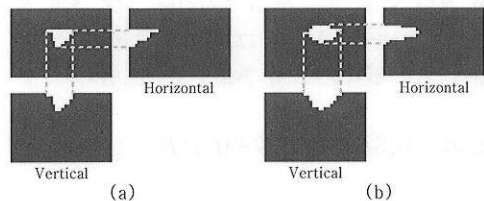


그림 12. 수직 및 수평 방향에 대한 프로파일 (a) 왼쪽 눈 영역, (b) 오른쪽 눈 영역

그림 12의 수직 및 수평 방향에 대한 프로파일은 반원 형태를 띄고 있어서 반원의 중심에서 동공의 중심을 찾는다. 하지만, 이와 같은 이상적인 동공 영역은 개개인에게서 얻어내기가 쉽지 않다. 다만, 반원 모양의 동공 부분을 얻는다. 그림 13(a)의 경

우에 그림 12의 방법으로 동공의 중심을 찾았다면 평탄한 부분에 동공의 중심부분이 위치하게 되어 에러가 발생한다. 이 같은 경우의 에러를 줄이기 위해서 그림 12의 각 프로파일과 식 (13)의 가우시안 필터를 컨벌루션 한다.

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}x^2} \quad (13)$$

그림 13은 그림 12의 각 프로파일과 가우시안 필터의 컨벌루션 과정을 나타낸 것이다.

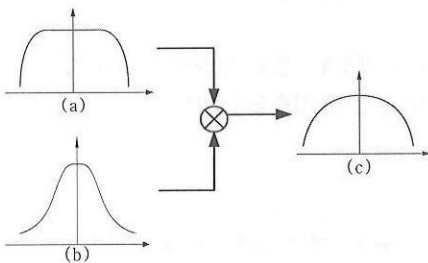


그림 13. 프로파일과 가우시안 필터의 컨벌루션
(a) 중심부분이 평탄한 프로파일,
(b) 가우시안 필터,
(c) (a), (b)의 컨벌루션 결과(단, $\sigma^2 = 1$)

$$E_v = \text{MAX}_{i \in V} (H_v(i) \otimes f_x(i)) \quad (14)$$

$$E_h = \text{MAX}_{j \in H} (H_h(j) \otimes f_x(j)) \quad (15)$$

동공의 중심은 식 (14), (15)에 의해서 나타나며, 식 (14)의 E_v 는 수직 방향에 대한 ON 화소들의 합 $H_v(i)$ 와 $f_x(i)$ 를 컨벌루션 한 결과 값이 가장 큰 i 번째 열이다. 식 (15)의 E_h 는 수평 성분의 ON 화소들의 합 $H_h(j)$ 와 $f_x(j)$ 를 컨벌루션 한 결과 값이 가장 큰 j 번째 행을 나타낸다. 컨벌루션에 사용된 가우시안 필터의 탭(tap) 수는 매 순간 검출된 눈 영상의 수직 및 수평 방향에 대한 프로파일의 가로, 세로 크기를 사용하였다. 즉, $f_x(i)$ 의 탭 수는 그림 12의 수직 방향에 대한 프로파일의 가로 크기이며, $f_x(j)$ 의 탭 수는 그림 12의 수평 방향에 대한 프로파일의 세로 크기이다.

그림 14는 검출된 동공의 위치 (i, j)를 카메라로부터의 입력 영상에 점으로 표시한 것이다.

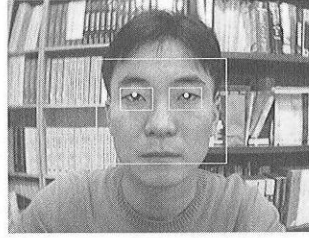


그림 14. 검출된 동공의 위치

IV. 실험 및 결과

시스템의 성능을 평가하고 검증하기 위해서 PC의 USB 카메라를 자동 설정으로 하고, 카메라와 실험 대상과의 거리는 70cm 정도 떨어진 상태에서 카메라나 PC의 모니터를 주시하는 영상을 사용하였다. 자세한 실험 환경은 표 1과 같다.

표 1. 실험 환경

OS	Window 2000 Pro.
PC 사양	P-III 1 GHz. 센서 : 1/4 CCD,
PC Camera	화소수 : 35 만 화소(최대 697×506 size), 전송 속도 : 30 frame/sec
구현 수단	Visual C++ 6.0, Intel libraris(<i>OpenCV, IPL</i>).
실험 영상	320×240 size, RGB 24bit, 10 frame/sec

입력된 영상 내에서 얼굴 영역을 검출하고, 다시 검출된 얼굴 영역 내에서 프로세서의 처리 시간을 줄이기 위해 그림 4의 얼굴 템플릿을 적용하여 눈 영역만을 추출한다. 추출된 눈 영상에 수직 및 수평 프로파일을 이용하여 동공을 검출하고 점으로 표시한다.

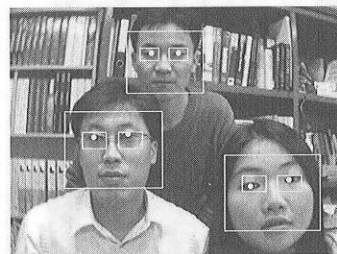


그림 15. 실험대상이 3인일 경우

그림 15는 실험 대상이 1인이 아닌 3인인 경우의 결과 영상이다. 즉, 1인이 아닌 다수의 실험 대상에

서의 동공 검출 결과이다.

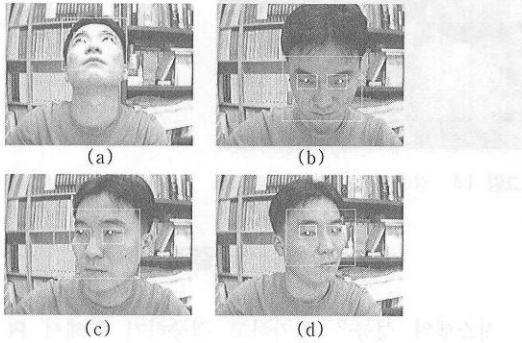


그림 16. 머리의 방향에 따른 실험 결과
(a) 상, (b) 하, (c) 좌, (d) 우

그림 16은 머리의 움직임에 따른 검출 결과이다. 이에 반해서 그림 17은 머리의 움직임이 거의 없이 눈의 응시 방향만을 달리한 실험 결과이다.

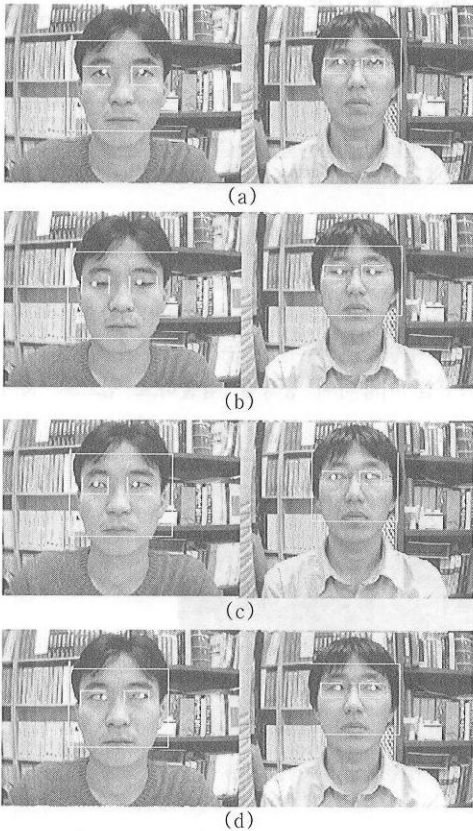


그림 17. 눈의 응시 방향에 따른 실험 결과
(a) 상, (b) 하, (c) 좌, (d) 우

그림 18은 Sinha의 얼굴 템플릿^[11]을 적용한 경우의 오검출 결과이며, 동공의 위치를 눈썹 내에서 찾은 것을 볼 수 있다.

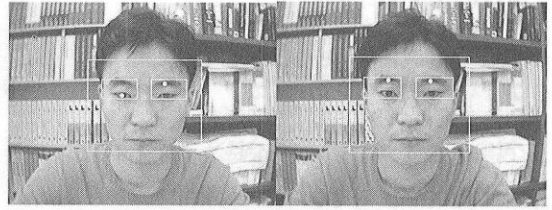


그림 18. Sinha의 얼굴 템플릿을 적용한 경우의 에러

그림 19는 제안된 얼굴 템플릿과 Sinha의 얼굴 템플릿에 따른 동공 검출율을 나타낸다.

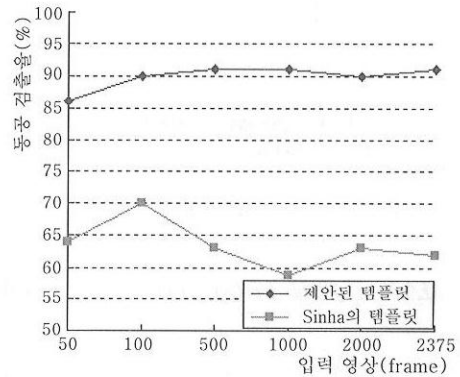


그림 19. 템플릿에 따른 동공 검출 정확도

카메라로부터 입력되는 영상 시퀀스로부터 2375개의 프레임에 대해서 제안된 얼굴 템플릿은 213개의 동공 검출 에러가 발생하여 91.0%의 동공 검출율을 얻을 수 있었다. 이에 반해서 Sinha의 얼굴 템플릿을 적용한 경우는 동일 환경에서 879개의 동공 검출 에러가 발생하여 63.0%의 동공 검출율을 얻었다. 이로써 제안한 알고리즘은 Sinha의 것보다 우수한 성능을 보인다.

표 2. 데이터 처리 시간

항목	눈 영역 및 동공 검출	얼굴 영역 검출	전체 소비 시간
처리 시간	10ms	약 150ms	약 160ms

표 2는 동공을 검출하기까지의 데이터의 처리 시

간을 측정된 것이며, 초당 10 프레임의 입력에 대해서 약 7 프레임 정도를 처리할 수 있었다. 지금까지의 실험에서 예러가 빈번히세된 요인들을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 검출된 눈 영역의 크기가 작은 경우
- ② 눈 영역이 머리카락과 같은 색체에 가려지는 경우
- ③ 눈 영역의 평압의 차가 심한 경우
- ④ 비리기 상 하·좌·우 45. 이상 움직인 경우

V. 결론

일반적으로 눈의 응시 방향을 탐지 및 추적하기 위한 기술들은 대부분 신체의 접촉이나 비접촉으로 CCD 카메라와 적외선 LED 등을 이용한다. 본 논문에서는 고가의 장비가 아닌 PC용 카메라를 이용하여 눈의 응시 방향을 찾기 위한 초기 작업으로써 실시간 동공 검출 시스템을 구현해 보았다. 동공 검출을 위해서 영상내부의 관심 대상이 갖는 프로파일 중에서 세기 히스토그램과 같은 의미의 신역적인 평압의 분포와 가우시안 필터를 이용하였다. 본 시스템의 성능은 검출된 얼굴 영역이 정확한 경우에 90% 정도의 동공 검출율을 얻을 수 있었고, 실시간 처리가 가능하였으나 지연, 조명에 의한 영향을 많이 받았으며, 미리의 움직임과 사용자와 카메라 사이의 거리에 대해서도 영향을 받았다. 차후에 이러한 예러 발생의 요인들을 최소로 한다면, 지기의 장비로 워진한 동공 영역을 검출하여 눈의 응시 방향의 탐지 및 추적이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 이방래, "적외선과 시각센서를 이용한 실시간 빙형 추적 시스템", *한국과학기술위*, 2002

[2] S Chien and I Choi, "Face and Facial Landmarks Location Based on Log-Polar Mapping", *First IEEE International Workshop, BMCV 2000*, 2000

[3] R Chellappa, Wilson, C L Srohey, S Srohey, "Human and Z machine Recognition of faces A Survey", *Proc of IEEE*, vol 83, pp 705-740, 1995

[4] K K Sung and T Poggio, "Example-based

learning for view-based human face detection", *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence* 20, pp 39-51, 1998

[5] P Viola and M Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", *IEEE CVPR*, 2001

[6] R Lienhart and J Maydt, "An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection", *IEEE ICIP 2002*, vol 1, pp 900-903, 2002

[7] Erik Hjelm and Boon Kee Low, "Face Detection A Survey", *Computer Vision and Image Understanding*, vol 83, pp 236-274, 2001

[8] H A Rowley, S Baluja, and T Kanade, "Neural network-based face detection", *IEEE Trans PAMI*, vol 20, pp 23-38, 1998

[9] R Rrunelli and T Poggio, "Face recognition Features Versus Templates", *IEEE Trans PAMI*, vol 20, pp 1042-1052, 1993

[10] S Z Li and J Lu, "Face Recognition Using the Nearest Feature Line Method", *IEEE Trans, on Neural Network*, vol 10, pp 439, 1999

[11] P Sinha, "Object Recognition via Image Invariant A Case Study", *Investigative Oph-thalmology and Visual Science*, vol 35, pp 1735-1740, 1994

[12] M H Yang, D Kriegman and N Abuja, "Detectong Faces in Images A Survey", *IEEE Trans PAMI*, vol 24, pp 34-58, 2002

[13] Y Freund and R E Schapne, "A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting", *Computational Learning Theory Eurocolt*, '95, pp 23-37, 1995

[14] R Lienhart, A Kuanov and V Ppsarevsky, "Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection", *DAGM'03*, 25th Pattern Recognition Symposium, 2003

