

# 지역적 이진화를 이용한 실시간 눈동자 검출

김민하\* · 여재윤\* · 차의영\*

\*부산대학교

## Real-time Pupil Detection Using Local Binarization

Min-ha Kim\* · Jae-Yun Yeo\* · Eui-young Cha\*

\*Pusan National University

E-mail : minhakim@pusan.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 영상에서 양쪽 눈 영역을 각각 검출하여 각 영역에 대한 지역적 이진화를 통해 눈동자를 검출하는 방법을 제안한다. 단일 저해상도 웹 카메라 영상에서 haar-like feature를 이용해 사람의 얼굴을 검출한 뒤, 얼굴 영역의 너비와 높이의 비율에 따라 양쪽 눈 영역을 각각 검출한다. 각 눈 영역에서 지역적으로 전처리 및 이진화를 수행하여 눈동자를 검출한다. 눈동자 검출은 HCI(Human-Computer Interface) 시스템에 사용될 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, We proposed that real-time pupil detection using local binarization at each region of eyes in image. In image obtained a single low-resolution web-camera, we detect a region of face using haar-like feature and then detect each region of eyes depending upon the rate of width and height of region of face respectively. In each region of eyes, we detect the pupil after local preprocessing and binarizing. This pupil detection can be variously used for HCI(Human-Computer Interface) systems.

### 키워드

눈동자 검출, 지역적 이진화, haar-like feature, HCI

## I. 서 론

최근 HCI에 관한 연구가 활발해지면서 눈과 관련된 HCI 연구들이 많이 진행되고 있다.

눈 검출, 눈동자 검출에 관한 연구를 시작으로 눈의 움직임 및 눈의 응시 추적에 관한 연구까지 다양하게 연구가 진행되고 있으며 HCI가 적용된 시스템의 수요가 높아지면서 활용 범위도 지속적으로 증가하고 있다.

눈을 검출하는 방법으로는 템플릿 매칭을[1] 이용한 방법, haar-like feature를[2] 이용한 방법 등이 있으며 검출된 눈 영역 내에서 눈동자를 검출하는 방법으로는 circle hough transform을[3] 이용한 방법, 히스토그램 CDF(Cumulative Density Function) 분석을 이용한 방법[4], 눈동자 모델을 이용한 방법[5] 등이 있다.

본 논문에서는 얼굴 및 눈동자 영역에 상대적

인 눈 영역을 지정하고 갱신하면서 양 눈 영역에서 지역적 이진화를 함으로써 좀 더 정밀한 눈동자 검출 방법을 제안한다.

## II. 본 론

### 2.1 얼굴 검출 및 눈 영역 지정

본 논문에서는 사람의 눈은 얼굴에서 일정한 영역 안에 위치한다고 본다. 따라서 눈 영역을 찾기 위하여 먼저 haar-like feature를 이용하여 얼굴을 검출한다. 검출된 얼굴 영역에서 실험적으로 고정적인 눈 영역을 찾는데 이 때 눈 영역은 얼굴 영역에서 그림 1과 같은 비율로 존재하고 그림 1에서의 너비와 높이는 얼굴 영역의 너비와 높이를 나타낸다.

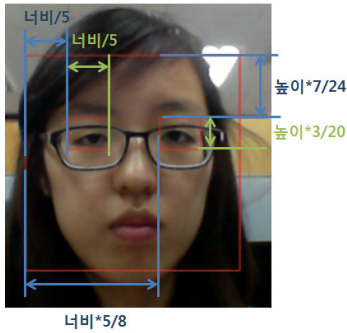


그림 1. 얼굴 영역에 대한 눈 영역 지정

양 눈 영역을 합쳐 하나의 관심 영역으로 지정할 수도 있으나 안경을 착용했을 경우 혹은 앞머리가 눈 가까이 내려오는 경우 등 관심 영역 내에서 눈동자를 검출할 때 다른 잡음의 영향을 받을 수 있는 경우를 고려하여 양 눈 영역을 각각 관심 영역으로 지정한다.

2.2 눈동자 검출

눈동자 검출을 위한 전처리 과정은 그림 2와 같다.



그림 2. 전처리 순서도

다음에서 각 과정에 대해 상세히 살펴본다. 먼저, 영상의 색 공간을 RGB에서 YCbCr로 변환하여 Y값을 추출하여 흑백 영상으로 만들고 3x3 크기의 가우시안 필터를 이용하여 블러링한다. 블러링을 통해 약간의 잡음제거 효과를 볼 수 있으며 좀 더 부드러운 느낌의 영상을 얻을 수 있다.

그 후, 조명의 영향으로 인해 많이 어두운 영상 혹은 많이 밝은 영상을 향상시키기 위하여 히

스토그램 평활화를 수행한다. 이 때, 양 눈 영역 내에서 지역적으로 히스토그램 평활화를 수행한다. 이는 영상에서 부분적으로 밝기차가 있을 수 있기 때문에 전체 영상의 밝기 분포를 이용할 때보다 효과적으로 영상을 향상시킬 수 있다. 지역적으로 밝기 분포를 편평하게 퍼줌으로써 그림 3과 같이 향상된 영상을 얻을 수 있고 눈 영역에서 흰자와 눈동자의 구분이 쉬워진다

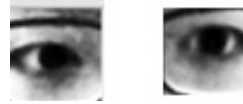


그림 3. 지역적 히스토그램 평활화 결과

그리고 눈동자와 흰자의 밝기차를 뚜렷하게 하고 눈동자와 눈썹 및 눈 끝부분의 밝기차를 강조하기 위하여 스칼라(scalar) 곱 연산을 수행한다. 흑백 영상에서 밝기 값에 곱셈을 하면 밝기 값이 작은 픽셀은 밝기 값이 조금 증가하고 밝기 값이 큰 픽셀은 밝기 값이 많이 증가하여 그림 4와 같이 밝기 차가 뚜렷하게 나타난다.



그림 4. 스칼라 곱 연산 결과

이제 양 눈 영역에서 눈동자만을 남기기 위하여 이진화를 수행한다. 위의 전처리 과정을 거침으로써 영상의 전체적인 밝기가 달라지더라도 눈동자 영역이 명확히 검출된다.

이진화 후 검출된 객체들 중에는 눈동자 외에 눈 끝부분 혹은 안경 테두리 등 몇몇 잡음이 섞여 있을 수 있다. 이러한 잡음은 소금 & 후추 잡음처럼 크기가 매우 작은 경우가 많다. 따라서 모폴로지 연산을 통해 이런 잡음들을 제거한다. 그림 5와 같이 잡음이 섞인 영상에서 잡음이 제거되면 그림 6과 같은 결과가 나온다.



그림 5. 이진화 후 안경 및 눈 끝부분이 잡음으로 검출된 결과



그림 6. 모폴로지 연산으로 잡음을 제거한 결과

이후 연결된 성분 레이블링(connected component labeling)을 통해 객체 영역을 검출한다. 이

때, 레이블링된 영역의 크기가 현재 눈 영역에 대한 눈동자의 크기보다 작은 경우 잡음으로 간주하고 제거한다. 눈동자의 너비와 높이는 눈 영역의 너비와 높이 각각에 대하여  $\frac{1}{6}$  이상  $\frac{1}{2}$  이하로 결정하였다.

### 2.3 눈 영역 갱신

본 논문에서 얼굴 검출에 이용된 haar-like feature를 정면 얼굴에 대해 학습하였기 때문에 기울어진 얼굴에서는 얼굴을 검출하기 어렵다. 이 점을 보완하기 위하여 초기 검출된 얼굴에서 눈 영역을 찾고 눈동자를 검출한 뒤부터는 눈 영역을 얼굴 영역이 아닌 이전에 검출된 눈동자의 영역에 따라 지정한다. 따라서 한번 눈동자가 검출이 되면 이후 눈동자 검출에 실패하기 전까지는 얼굴 검출을 반복하지 않고 검출된 눈동자 영역에서 다시 눈 영역을 지정하여 눈동자를 검출한다.

양 눈동자를 모두 검출하지 못하였을 경우에는 다시 얼굴 검출을 수행하여 눈 영역을 지정한다.

눈 영역을 얼굴 영역이 아닌 눈동자 영역에 대해 갱신함으로써 기울어진 얼굴에서도 눈동자를 검출할 수 있으며 반복적인 얼굴 검출을 수행하지 않기 때문에 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

### III. 실험 결과

본 논문에서 제시한 방법으로 눈동자를 검출하였을 때 그림 7과 같은 결과가 나온다.



그림 7. 다양한 조명환경에서 얼굴 기울임을 달리하여 눈동자를 검출한 결과

그림 7에서 조명환경을 달리하거나 얼굴 기울임을 달리한 경우에도 검출이 잘되며 안경을 착용하거나 앞머리가 내려온 경우에도 검출이 잘됨을 알 수 있다.

그러나 어두운 주위환경에서 정면으로 빛이 비치고 안경을 끼고 있는 경우에는 안경에 빛이 반사되어 영상에서 눈동자 부분의 색이 녹색으로 인식될 때가 있다. 이러한 경우에는 이진화가 잘 되지 않아 검출에 실패하게 된다.

### IV. 결론

본 논문에서는 haar-like feature를 이용해 검출된 얼굴 영역을 기준으로 눈 영역을 지정하고 양 눈 영역에서 지역적 이진화를 통하여 눈동자를 검출한다. 눈동자 검출에 성공한 이후로는 얼굴 검출을 반복하지 않고 눈동자 영역을 기준으로 눈 영역을 갱신하면서 눈동자 검출을 계속한다. 지역적 이진화를 통해 다양한 조명 환경에서도 눈동자가 바르게 검출됨을 확인하였고 눈 영역 갱신을 통해 얼굴이 기울어진 경우에도 눈동자 검출이 잘 됨을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] Roberto Brunelli and Tomaso Poggio, "Template Matching: Matched Spatial Filters and beyond", Pattern Recognition, 30 pp.751-768, 1997
- [2] Paul Viola and Michael Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1.511 - 1.518, 2001
- [3] Simon Just Kjeldgaard Pedersen, "Circular Hough Transform", Aalborg University, November 2007
- [4] Mansour Asadifard and Jamshid Shanbezadeh, "Automatic Adaptive Center of Pupil Detection Using Face Detection and CDF Analysis, Proceedings of the IMECS, Vol.1, pages 13-133, 2010
- [5] Takeshi Takegami, Toshiyuki Gotoh and Ghen Ohyama, "An Algorithm for Model-Based Stable Pupil Detection for Eye Tracking System", Systems and Computers in Japan, Vol.35, No. 13, 2004