

실시간 영상에서의 Hough Circle Transform 기반 눈동자 검출 시 연산량 축소 방법†

김성훈*, 허 환*, 채일문**, 한기태*

*가천대학교 전자계산학과

** (주)엔지온 기업부설연구소

e-mail: limiteddaily@gmail.com

Operation Reduction Method for Iris Detection based on Hough Circle Transform in Real-Time Image

Seong-Hoon Kim*, Hwan Heo*, Il-Moon Chae**, Ki-Tae Han*

*Dept of Computer Science, Gachon Univ

**Research & Development Engion Co., Ltd

요 약

눈동자 검출은 운전 부주의 검출, 졸음 검출, 시선 검출 등 다양한 상황 인지에 이용되고 있다. 이러한 상황 인지를 위해 본 논문에서는 원 허프 변환(Hough Circle Transform)을 이용한 눈동자 검출방법을 제안한다. 이것은 영상 내 원을 검출하는 방법으로 연산량이 많아 실시간 처리에 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 눈 검출 후 눈 영역의 크기를 일정한 눈 크기로 정규화 하고 눈의 양쪽 끝점간 거리에 따른 대략적인 눈동자의 반지름 값 범위를 추정한다. 그 추정된 반지름 값 범위 내에서 Hough Circle Transform을 수행하면 연산량의 축소가 가능하며 그 결과 초당 21frames 정도의 눈동자 검출이 가능하였다.

1. 서론

생체인식 기술이 발전함에 따라 최근 이 기술을 사용자 편의 제공과 보안 등에 널리 활용되고 있으며, 특히 눈 및 눈동자를 인식하여 운전자의 졸음 및 운전부주의 등 주행 상태를 파악하여 경고를 알리는 서비스의 개발과 사용자의 시선검출을 통한 간접 인터페이스 제어 시스템 개발 등 생체인식을 이용하여 응용 및 융합시키는 연구가 다양한 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 이와 같이 생체 인식에서 눈동자를 검출하기 위해 원 허프 변환(Hough Circle Transform)기반 눈동자 검출 방법에서의 연산량을 축소하는 방법을 제안한다.

기존의 얼굴 등의 객체 검출 방법에는 Haar-Like Feature를 이용한 검출 방법과 MCT(Modified Census Transform)영상을 이용한 검출 방법으로 두 방법 모두 Adaboost를 기반으로 하여 분류기(Classifier)를 생성 하고 생성된 분류기를 이용하는 방법으로 객체를 검출한다. 두 방법은 분류기를 생성하기 위한 영상의 학습 방법에서 차이를 나타낸다[1, 2].

Haar-Like Feature에 의한 검출 방법은 Haar-Like Feature를 이용하여 영상의 특징점 위치에 대해 단순 계산으로 특징 값을 추출하고 이를 학습시켜 객체를 검출하는 방법이다. MCT영상을 이용한 분류기 생성방법은 영상을 MCT변환을 통해 얻어진 영상에서 특징점을 찾아내고 이를 이용하여 학습시켜 객체를 검출하는 방법이다. MCT

영상을 이용한 학습 방법은 Haar-Like Feature를 이용한 방법보다 검출 속도는 빠를 수 있으나 그 차이가 크지 않고 학습 데이터의 개수가 제한적일 때, Haar-Like Feature방법보다 검출률이 다소 떨어지는 성능을 나타낸다[3].

기존의 눈동자를 검출하는 방법은 대표적으로 눈 영역에서의 영역 분할(Segmentation) 또는 Hough Circle Transform을 이용한 검출 방법이 있다[4, 5]. 영역 분할을 이용한 눈동자 검출은 시선 방향 검출 시 눈동자의 중심점을 찾기 위한 별도의 위치 계산이 필요하지만 Hough Circle Transform은 눈동자가 원형을 나타낸다는 점을 이용하여 검출하므로 눈동자의 중심점과 반지름 정보 등을 구해낼 수 있다. 하지만 Hough Circle Transform은 검출할 원의 반지름 값의 범위에 비례하여 연산량이 크게 증가한다는 단점이 존재한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 눈 영상의 크기를 정규화하고, 눈의 양쪽 끝점에 비례한 눈동자의 대략적인 반지름 값 범위를 추정하여 Hough Circle Transform 연산 시 연산량을 축소시킴으로써 실시간 영상에 적용 가능한 눈동자 검출 방법을 제안한다.

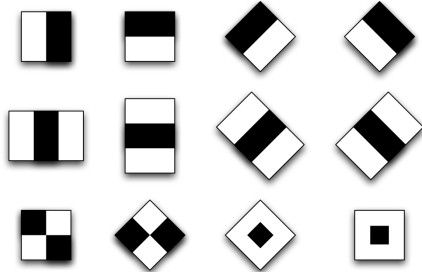
2. 관련 연구

2.1 Haar-Like Feature

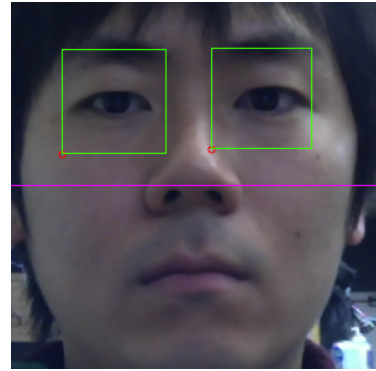
Haar-Like Feature를 이용한 객체 검출 방법은 Viola와 Jones가 제안한 방법으로 기존의 Adaboost알고리즘에서 아래 그림 1과 같은 Haar-Like Feature에 의해 검출할 객

† 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No.(C0037819))의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

체의 특징들을 학습시켜 약 분류기(Weak Classifier)를 만들며, 생성된 약 분류기들 중에서 분류 성능이 뛰어난 약 분류기들을 이용하여 강 분류기(Strong Classifier)를 생성한다. 이와 같이 반복을 통하여 생성된 몇 개의 강 분류기는 선형구조(Cascade)로 연결하여 입력된 영상에서 객체를 검출하는 방법이다[1].



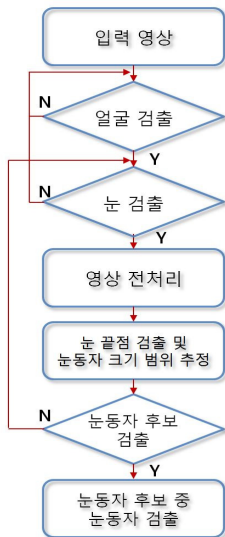
(그림 1) Haar-Like Feature 프로토타입



(그림 3) 오른쪽 눈과 왼쪽 눈 검출

3. 제안하는 방법

본 논문에서 제안하는 방법은 먼저 Haar-Like Feature를 이용한 얼굴 및 눈 검출이 이루어지고 다음으로 윈 허프 변환을 이용한 눈동자 검출 시 연산량을 축소하기 위해 전처리 과정 및 양쪽 눈의 끝점 검출이 이루어진다. 검출된 눈의 끝점간의 거리에 따라 제안한 비율 값으로 눈동자의 대략적 크기를 추정하고 이를 윈 허프 변환에 이용하여 빠른 눈동자 검출이 가능하게 하였다. 다음 그림 2는 눈동자 검출의 전체적인 흐름을 나타내고 있다.



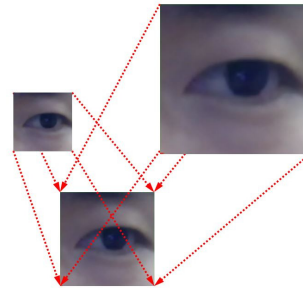
(그림 2) Flow Chart

3.1 눈 검출

얼굴 영역 및 눈 검출은 Haar-Like Feature를 이용하여 생성된 학습기를 이용하여 검출하며, 얼굴 영역에서 검출된 눈의 위치 정보를 이용하여 오른쪽 눈, 왼쪽 눈을 아래 그림 3과 같이 판단한다.

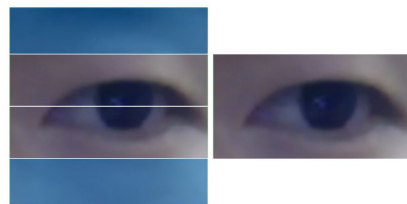
3.2 연산량 축소를 위한 전처리 과정

눈 영역은 얼굴의 전, 후 이동에 따라 크기가 변화하는데 이에 따라 눈동자의 크기도 변하므로 윈 허프 변환 시 반지름 크기의 범위를 넓게 설정해야만 눈동자의 후보 위치들이 검출 되고 이 경우에는 연산량이 많아져 처리속도가 저하된다. 따라서 검출된 눈 영역의 크기를 일정한 크기로 정규화하여 항상 일정한 눈동자 크기가 나타나도록 한다. 본 논문에서는 그림 4와 같이 가로 200픽셀, 세로 200픽셀의 크기로 정규화 하였다.



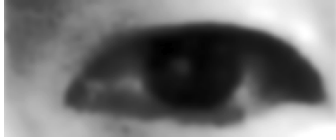
(그림 4) 눈 영역 크기 정규화

또한 Haar-Like Feature로 눈의 영역을 검출했을 때, 눈동자의 위치를 중심으로 정사각형의 영역이 검출된다는 점을 이용하여 정규화 된 눈 영상에서 다음 그림 5와 같이 눈 영역을 수평으로 4등분하고 상단 1/4 영역과 하단 1/4 영역이 제거된 관심영역을 설정하여 눈동자 검출 시 눈썹에 의한 오검출을 줄인다.



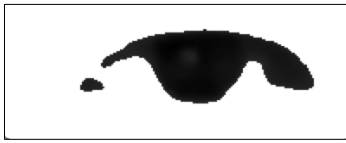
(그림 5) 오검출을 줄이기 위한 관심영역 설정

또한 눈 영역의 대비보정 및 잡음 제거를 위해 그림 6과 같이 히스토그램 평활화와 블러링을 실시하였다.



(그림 6) 대비보정 및 잡음 제거된 눈 영역 영상

눈동자의 후보 위치를 검출하기 위한 원 허프 변환 시 내부적으로 영상의 외곽선(Edge)를 구하기 위한 연산이 이루어지며, 생성된 외곽선의 각 픽셀에 대하여 원 허프 변환을 실시한다. 이 때 불필요한 픽셀 값에 의하여 생성되는 외곽선이 많을수록 연산량이 늘어나기 때문에 그림 7과 같이 눈 영역의 영상을 이진화하여 생성되는 외곽선을 줄여 연산량을 축소시킨다.

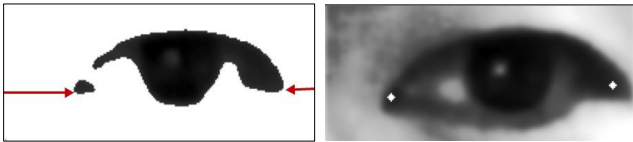


(그림 7) 눈 영역 이진화 영상

3.3 눈동자 검출 범위 지정 방법

1) 눈 꼬리 검출

눈동자의 후보 위치를 구하기 위한 원 허프 변환 시 눈동자 검출 범위를 지정하기 위해서 먼저 이진화 영상에서 그림 8과 같이 눈 외곽선의 최우측점과 최좌측점을 눈의 끝점으로 검출한다.



(그림 8) 눈의 양쪽 끝점 검출

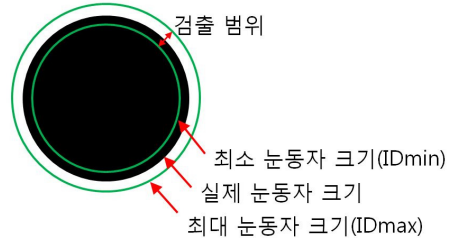
2) 눈동자 검출 범위 계산

일반적으로 성인 안구의 직경(ED : Eyeball Diameter)은 평균 25mm이며, 눈동자의 지름(ID : Iris Diameter)은 약 10mm로 되어있다. 따라서 안구의 직경에 대한 눈동자의 직경은 2.5 : 1의 비율을 갖고 있다[6, 7]. 또한 검출된 양쪽 눈 꼬리의 거리 d 는 피부가 안구를 덮고 있으므로 안구의 직경보다 작다. 이를 이용하여 d 에 의한 눈동자의 최소 직경을 다음 식 1에 의해 설정하고 실험을 통해 식 2와 같이 최소 직경에 α 값을 더하면서 검출률과 성능이 가장 우수하게 나타나는 최대 직경을 추정한다. 그러므로 실제 눈동자의 반지름(IR : Iris Radius)을 검출하기 위한 눈동자 검출 범위는 식 3과 같다.

$$\frac{d}{2.5} = ID_{min} \quad (1)$$

$$ID_{min} + \alpha = ID_{max} \quad (2)$$

$$\frac{ID_{min}}{2} < IR < \frac{ID_{max}}{2} \quad (3)$$



(그림 9) 눈동자 검출 범위

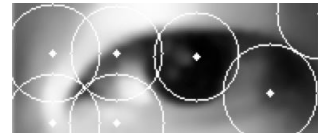
다음 표 1은 100frames의 눈 영상에 대하여 α 값을 5~10까지 증가시켰을 때의 눈동자 검출률을 나타내고 있다.

<표 1> α 값에 따른 평균 눈동자 검출률

α 값	5	6	7	8	9	10
평균 검출률	84%	85%	87%	91%	90%	90%

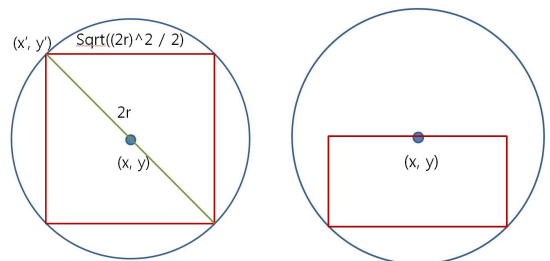
3.4 눈동자 검출

눈동자의 검출을 위해서 먼저 눈 영역에서 추정된 눈동자의 대략적인 반지름 범위에서의 원 허프 변환을 통해, 그림 10과 같이 눈동자에 대한 후보 위치를 검출한다.

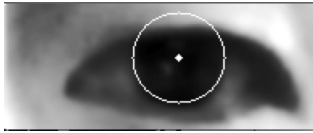


(그림 10) 검출된 눈동자 후보 영역

눈동자의 위치는 항상 가장 어두운 영역으로 나타나므로 검출된 눈동자의 후보 영역에서의 평균 픽셀값을 계산하여 눈동자의 위치를 검출할 수 있다. 눈꺼풀 영역에 의해 나타나는 평균값 오차를 줄이기 위해 그림 11과 같이 각각의 눈동자 후보 원에 내접하는 정사각형의 절반에 해당되는 영역에 대해서만 평균 픽셀값을 계산하고, 가장 낮은 평균값을 보이는 후보 위치가 임계값 보다 작을 때 그림 12와 같이 눈동자의 위치로 결정한다.



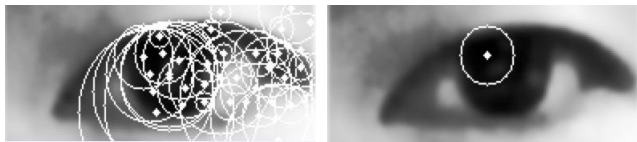
(그림 11) 눈동자를 검출하기 위한 직사각형 영역



(그림 12) 후보영역에서 검출된 눈동자 위치

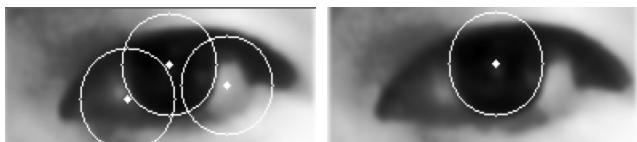
4. 실험결과

본 논문의 실험은 편의를 위해 OpenCV로 구현하였으며, 실내조명에서 1024x768 크기의 초당 30frames 컬러 영상에 대하여 눈동자 검출을 실시하였다. 기존방법은 크기를 정규화하지 않고 원 허프 변환에서 검출할 눈동자의 반지름 크기의 범위를 최소, 최대값의 차이가 50이 나도록 하여 눈동자를 검출하므로 그림 13과 같이 많은 수의 눈동자 후보들이 검출 되는 것을 알 수 있다[5]. 또한 너무 많은 수의 눈동자 후보는 오검출이 발생할 확률이 높아져 그림 13과 같이 검출의 효율성이 떨어진다.



(그림 13) 기존 방법으로 검출된 눈동자 후보 위치 및 눈동자 위치

하지만 제안한 방법을 사용하였을 경우 항상 일정한 크기의 눈동자 크기를 나타내고, 안구 직경과 눈동자의 직경에 대한 비율을 이용하여 눈동자 크기 범위를 축소함으로써 그림 14와 같이 크거나 작은 크기의 눈동자 후보는 검출되지 않아 높은 검출률로 눈동자 검출이 가능하였다.



(그림 14) 제안한 방법으로 검출한 눈동자 후보 위치 및 눈동자 위치

다음 표 2는 기존 방법과 제안한 방법의 성능을 비교한 표이다. 실험환경은 i5 2.2GHz, 4GB RAM 컴퓨터에서 1000frames 길이의 영상에 대하여 실험하였으며, 검출률은 양쪽 눈의 눈동자 검출 결과가 서로 비슷한 위치에서 비슷한 크기의 눈동자가 검출되었을 때 눈동자 검출이 된 것으로 하였다. 실험결과 제안한 방법은 기존 방법보다 검출률에 있어서는 20%정도, 검출 속도에 있어서는 40%정도 향상되었다.

<표 2> 기존 방법과 제안하는 방법에서의 검출률 및 평균 검출속도 비교

구분	기존 방법	제안하는 방법	비고
평균 검출률	73%	92%	20% 향상
평균 검출 속도	15 fps	21 fps	40% 향상

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 눈 영역에서 Hough Circle Transform기반 눈동자 검출 시 연산량을 축소하는 방법을 제안하였다. 기존의 방법은 원 허프 변환 시 고정된 눈동자의 크기 범위를 이용하여 검출하므로 눈 영역의 크기에 따라 눈동자가 검출이 되지 않거나 잘못된 크기의 눈동자가 검출되었으나 제안한 방법은 눈 영역의 크기를 정규화 하여 눈동자의 크기를 일정한 크기로 나타나게 함으로써 원의 반지름 범위를 축소시킬 수 있었으며, 눈의 양쪽 끝점을 통해 검출할 눈동자의 범위를 결정함으로써 검출률 및 검출속도가 향상되었음을 알 수 있었다. 향후 연구에서는 눈동자 검출을 이용한 줄임 검출 및 시선 검출 방법에 대하여 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", in Computer Vision and Pattern Recognition, 2001, pp. 511-518.
- [2] Bernhard Froba and Andreas Ernst, "Face Detection with the Modified Census Transform", IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2004.
- [3] 세종대학교 컴퓨터공학과, "Mobile환경에 적합한 얼굴 검출 알고리즘의 성능 평가를 통한 최적화 연구", 대한전자공학회 학술대회. 2009.
- [4] Deepak Sharma, Dr. Ashok Kumar, "Iris Recognition - An Effective Human Identification", International Journal of Computing and Business Research, 2011.
- [5] Retno Supriyanti, Budi Setiawan, "Detecting Pupil and Iris under Uncontrolled Illumination using Fixed-Hough Circle Transform", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, Vol. 5. No. 4. 2012.
- [6] Zinn, Walter and Solomon, Herbert. "Eye Care, Eye Glasses and Contact Lenses" City: Lifetime Books, 1965: 10.
- [7] J. Daugman, "How iris recognition works" Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing, Vol. 1, 2002.