

홍채 모델을 이용한 눈 특징점 실시간 추적

김도형*, 정명진

한국과학기술원 전자전산학과 전기및전자공학전공

Real-time eye feature tracking using iris model

Do Hyoung Kim, Myung Jin Chung

Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST

Abstract - 사용자의 의도를 파악하는 여러 가지 행동 양식 중에서 우리가 관심을 두고 있는 시스템은 사람의 눈 움직임 검출을 이용한 시스템이다. 사람의 눈 움직임에 대한 검출과 추적이 가능하다면 그 적용 분야는 매우 광범위하다. 예를 들면, 일반인들의 컴퓨터 조작을 더 편리하게 할 수도 있고 손을 사용할 수 없는 장애인들의 의사소통이나 정보교환의 한 방법으로 사용될 수 있다. 또한 사람들이 대부분의 정보를 시각적인 면으로 획득한다는 것을 감안할 때 원격 작업의 모니터링과 같은 여러 산업부분이나 군사부분과 같은 분야에 적용될 수 있다. 본 논문에서는 눈의 특징점들을 검출하고 추적하기 위해서 홍채 모델을 설정하고 그 모델이 카메라를 통해 받아들여지는 입력 영상과 일치시키는 과정으로, 카메라의 입력 영상에서 3가지의 기본 영상을 추출하고 모델의 매칭 정도를 판단할 수 있는 매칭 함수를 규정하고 그 함수들을 통하여 홍채 모델을 일치시키는 알고리즘을 제안하고 그 타당성을 보이고자 한다.

1. 서 론

사람의 눈은 주위를 관측하기 위한 입력 기관이면서 출력 기관이라고 할 수 있는데, 이때 출력 기관이라는 의미는 우리가 무엇에 초점을 맞추고 있는지를 지시한다는 것이다. 이는 생리학적인 측면에서 살펴볼 수 있다. 인간은 살펴보고자 하는 세밀한 부분을 망막의 한 가운데에 놓고 의도하는 부분과 그 주위를 바라보게 되므로, 물리적인 기관이 표현하는 이러한 방향은 사람들이 의도하는 방향과 같다고 볼 수 있다.

지금까지의 눈동자 움직임을 실시간으로 추적하는 방법들은 EOG(Electro-ocular graphy)를 사용하는 방법이나 적외선과 같은 외부 조명을 사용하여 눈동자에서 그 빛이 반사되는 정도를 이용하여 움직임을 찾아내거나 콘택트 렌즈에 다른 물질을 첨가하여 그 렌즈를 착용함으로써 눈동자의 움직임을 검출하는 방법들을 사용해 왔다. 하지만 그러한 방법들은 그 시스템들의 가격이 매우 비싸고 항상 사용하기에는 불편하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 눈의 움직임을 추적하기 위해서 하나의 카메라를 사용하여 그 움직임을 검출하고자 한다. 제 2장에서는 눈의 움직임을 추적하는 알고리즘에 대해 설명하고 3장에서는 그 알고리즘에 대한 실험 결과를 보고 그 결과에 대한 분석 후 4장에서는 결론에 대해 언급하고자 한다.

2. 눈의 움직임 추적

본 논문에서는 눈의 움직임을 추적하기 위해서 CCD 카메라를 이용하여 눈의 움직임에 대한 영상을 연속적으로 받아들이고 그 영상을 처리한다. 눈의 움직임을 추적한다는 의미는 눈동자를 나타내는 홍채의 경계를 추적하는 것과 동일시되므로 이 연구에서는 홍채의 경계를 추적하는 방법을 제안하였다.

2.1 눈의 특징점 추적 방법

본 논문에서 제안한 홍채의 경계 추적 방법의 알고리즘은 다음과 같은 순서로 이루어진다.

- (1) 홍채의 경계를 원으로 가정하고 그것을 홍채의 경계 모델이라 설정한다.
- (2) 카메라를 통해 얻어지는 연속적인 영상으로부터 3개의 기본 영상을 연속적으로 추출한다. 여기에서 추출하는 3가지의 기본 영상은 원으로 설정된 홍채의 경계의 모델과 눈의 영상과의 비교를 하기 위한 과정이다.
- (3) 설정된 모델과 얻어지는 영상과의 일치되는 정도를 나타내는 기준들을 매칭 함수라 설정하고, 그 함수를 최대화하는 방향으로 홍채의 경계 모델의 위치를 검색해 나간다.
- (4) 3번 과정을 반복하면서 홍채의 경계 모델의 최적인 위치를 찾아낸다.
- (5) 찾아낸 홍채의 경계 모델의 위치로부터 눈동자의 움직인 각도를 측정한다.

2.2 홍채의 경계 모델 설정

눈의 움직임을 가장 잘 표현할 수 있는 것은 눈동자의 움직임이다. 그러므로 본 논문에서는 눈의 외곽은 4개의 꼭지점을 갖는 4각형으로 표현하여 간략화 하였고, 눈동자의 움직임을 표현하는 홍채의 경계는 그림 1과 같이 원으로 모델링하여 그 경계를 찾고자 한다. 그러므로, 홍채의 경계를 원으로 설정한 홍채 모델과 잘 매칭시킨다는 의미는 홍채 모델을 나타내는 X_c, Y_c, r 의 변수들의 값을 찾아내는 것과 같은 의미가 된다.

2.3 기본 영상 추출 과정

본 논문에서는 카메라를 통해 얻어지는 영상에서 3개의 기본 영상을 추출한다. 이는 눈의 특징을 잘 표현하는 영상으로 다음과 같이 선택하였다. 여기에서 구분하고자 하는 홍채의 경계는 눈동자에서 밝은 부분과 어두운 부분을 나누는 경계이다. 그러므로 카메라를 통해 얻어지는 눈의 영상의 밝은 부분과 어두운 부분을 표현할 기본 영상이 필요하게 된다. 광량에 의해 영상의 밝고 어둡게 표현되는 부분을 구분하기 위한 영상으로 2가지의 기본 영상을 선택하였다. 어두운 부분일수록 높은 값을 가지는 기본 영상을 valley 영상, 밝은 부분일수록

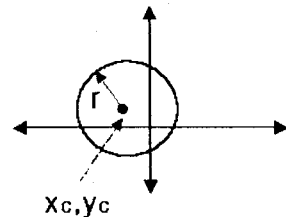


그림 1. 홍채 모델

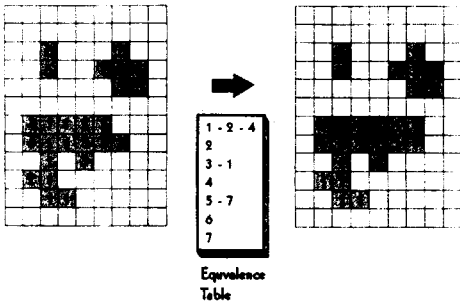


그림 2. Blob coloring 알고리즘

높은 값을 가지는 영상을 peak 영상으로 고려하여 눈의 특징을 표현하였다. 이러한 valley 영상과 peak 영상을 우리가 관심 있는 부분의 구분을 위해서 threshold 값을 정하여 이진화된 영상으로 표현하였다. 이러한 threshold 값을 자동적으로 주위의 조명에 강인하도록 설정하기 위해서 p-tile 방법을 고려하여 threshold 값을 설정하였다. 여기에서 사용된 p-tile 방법은 2.2.1에서 자세히 설명하기로 하자.

그리고, 관심 있는 부분인 홍채의 가장자리 부분에서 영상의 밝기에 의해 발생되는 영상의 가장자리 부분을 edge 영상이라 설정하여 그 부분에 대한 효과를 나타내었다. 여기에서의 홍채의 edge 영상은 valley 영상과 비슷한 방법으로 홍채 부분의 영역을 획득한 후 모폴로지 연산을 이용하여 가장자리에 대한 정보를 획득한 영상이다. 기본 영상을 얻는 과정에서 peak 영상 획득 시 피부색에 의한 흰 영역에 대한 정보는 관심 대상이 아니므로 필요한 영역만을 얻기 위해서 영역을 구분해야 할 필요가 있는데 이때 사용한 알고리즘은 4-connectivity를 이용한 sequential connected components 알고리즘이다. 이 알고리즘은 blob coloring 알고리즘이라고도 하며 이 알고리즘에 대한 설명은 2.2.2에서 좀더 자세히 다루기로 하자.

또한, 본 논문에서는 홍채의 edge 영상을 얻기 위하여 눈 영상에서 어두운 부분을 나타내고 있는 기본 영상인 이진화된 valley 영상을 가지고 모폴로지 연산을 하였다고 앞에서 언급하였는데 이때 사용되었던 모폴로지 연산에 대해서는 2.2.3에서 자세히 살펴보기로 한다. 이러한 과정을 통하여 눈의 움직임 추적하는데 사용되는 기본적인 3가지 영상을 획득할 수 있다.

2.3.1 P-tile 방법

영역의 구분을 좀더 강인하게 하기 위해서는 시스템에 의해 threshold 값이 자동적으로 선택되어야만 한다. 화면에서 물체와 환경들에 대한 지식은 사용되어야 한다. 그러므로 본 논문에서는 물체의 밝기 특성과 물체의 크기를 고려한 p-tile 방법을 사용한다.

P-tile 방법은 영상을 threshold 하기 위해서 관심 있는 물체의 영역이나 크기에 대한 정보를 사용하는 방법으로 입력 영상의 흑백 값들의 히스토그램을 살펴보고 관심 있는 물체의 픽셀들을 전체 영역의 p 퍼센트로 할당하여 자동으로 할당하게 하는 방법이다.

2.3.2 Blob coloring

Blob coloring 알고리즘은 4-connectivity를 이용한 sequential connected components 알고리즘이다. 그림 2는 이 알고리즘에 대해 간단하게 설명해 놓은 것이다. 그리고 이 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

- (1) 전체 영상의 픽셀을 왼쪽에서 오른쪽으로, 그리고 위에서 아래로 검색한다.
- (2) 현재 검색 대상인 픽셀이 255이면 다음 중 하나의

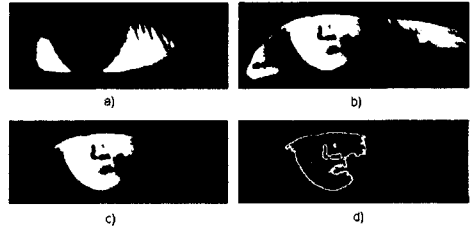


그림 3. 3가지의 기본 영상

과정을 거치게 된다.

- ① 위나 왼쪽에 있는 픽셀 중에 하나에만 레이블이 되어 있으면 그 레이블을 사용한다.
- ② 위나 왼쪽에 있는 픽셀의 레이블이 같으면 그 레이블을 사용한다.
- ③ 위와 왼쪽에 있는 픽셀의 레이블이 다르면 위에 있는 픽셀의 레이블을 쓰고 왼쪽의 레이블과 위의 레이블이 같음을 equivalence 테이블에 표기한다.
- ④ 위의 3가지 경우가 아니면 새로운 레이블을 쓰고 이것을 equivalence 테이블에 넣는다.
- (3) 레이블을 써야 할 픽셀이 더 있으면 (2)로 간다.
- (4) Equivalence 테이블에서 같은 레이블인 것으로 표기된 레이블들(equivalent set)은 그 중에서 가장 작은 레이블을 찾는다.
- (5) 다시 한번 전체 이미지의 픽셀들을 조사하여 각각의 equivalent set에서 가장 작은 레이블로 픽셀의 레이블을 바꾼다.

2.3.3 모폴로지 연산

모폴로지 연산은 이진화된 영상을 처리하는 대표적인 방법으로 많은 전처리 과정에서 사용되어 왔다. 모폴로지 연산은 크게 두 가지인 dilation과 erosion으로 구분되어 있는데 이러한 두 가지의 연산의 조합으로 모폴로지의 여러 가지 연산들을 수행할 수 있다. 영상의 가장자리를 얻는 연산도 이 두 가지 연산의 조합에 의한 것이다. 여기에서 사용된 가장자리에 대한 정보 획득 방법은 영상의 dilation한 결과에서 영상을 erosion한 결과를 뺀 영상을 edge 영상으로 보고 그 것을 사용하였다.

앞에서 언급한 방법에 의해 3가지의 기본 영상을 얻는다. 그림 3은 앞에서 언급한 과정들을 통하여 얻어진 3개의 기본 영상들을 나타낸 것이다. 그림 3의 a)는 눈동자의 밝은 부분을 나타내는 peak 영상이고 b)는 어두운 부분을 나타내는 valley 영상이고 c)는 눈동자의 부분만을 구분한 영상이고 d)는 눈동자의 가장자리 부분만을 나타내는 edge 영상이다. 여기에서 기본 영상은 a), b), d)가 그 영상에 해당한다.

2.4 모델 매칭

본 논문에서는 위에서 언급한 현재의 입력 영상을 가장 잘 표현한다고 생각되는 기본 영상 3개와 홍채 가장자리를 원으로 근사화하여 모델링 한 홍채 가장자리 모델과의 일치 여부를 위해서 3가지의 매칭 기준을 사용하였다. 이러한 매칭 기준을 매칭 함수라고 설정하였다. 여기에서 설정된 매칭 함수는 다음과 같다.

2.4.1 매칭 함수

매칭 함수는 홍채의 가장자리 모델과 입력 영상과의 매칭 관계를 잘 표현하는 것이어야 한다. 따라서 본 논문에서는 기본 영상으로 표현된 3가지와의 관계를 가장 잘 나타낼 수 있는 3개의 매칭 함수를 정의하여 그 매칭 함수는 다음과 같다.

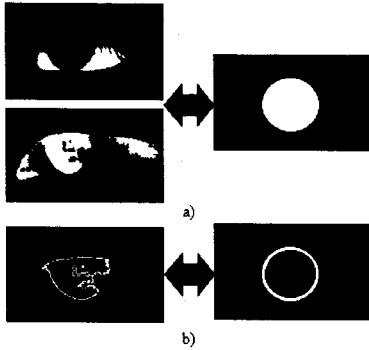


그림 4. Matching function의 역할

- (1) Valley 영상에 대한 매칭 함수는 M_v 라고 표시하고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_v = \sum_{i \in \text{circle}} \text{valley_image}_i$$

여기에서 valley_image는 앞에서 언급한 valley 영상의 이진화된 영상이다.

- (2) Peak 영상에 대한 매칭 함수는 M_p 라고 표시하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_p = - \sum_{i \in \text{circle}} \text{peak_image}_i$$

여기에서 peak_image는 peak 영상의 이진화된 영상이다.

- (3) Edge 영상에 대한 매칭 함수는 M_e 라고 표시하고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M_e = \sum_{i \in \text{boundary}} \text{edge_image}_i$$

여기에서 edge_image는 눈의 홍채부분에 대한 edge의 이진화된 영상이다.

여기에서 좀 더 각각의 매칭 함수들의 역할에 대해 살펴보면, 비교의 대상이 되는 기본 영상들과 비교되는 홍채의 모델이 모두 이진화된 영상이기 때문에 위에서 선정한 매칭 함수들은 valley_image, peak_image, edge_image 각각에 대해 홍채의 모델과의 상관 관계를 구하는 것과 같은 역할을 하게 된다. 따라서 각각의 상관관계가 높은 것을 중심으로 홍채의 모델이 움직이게 된다. 그림 4는 이러한 관계를 나타낸 것이다. 그림 4의 a)에서 나타내는 것은 매칭 함수의 M_v 와 M_p 는 peak 영상, valley 영상과 원으로 설정한 홍채 경계 모델을 그림 4의 a)와 같이 고려하여 두 영상들의 상관관계를 구하여 valley 영상에서 나타나는 관계는 상관관계가 큰 쪽으로 peak 영상에서 나타나는 관계는 상관관계가 작은 쪽으로 홍채 경계 모델을 움직이게 되는 역할을 하게 되고, 그림 4의 b)에서 표현하는 것은 매칭 함수 M_e 는 edge 영상과 그림 4의 b)에서 보여지는 경계의 가장자리 영상과의 상관관계를 구하여 그 관계가 큰 쪽으로 홍채 경계 모델을 움직이게 하는 역할을 하게 된다.

3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안된 알고리즘은 Intel Pentium III 600MHz 프로세서를 탑재한 PC와 Matrox사에서 만든 Meteor image grabber를 사용하여 연속적인 영상을 획득하였다. Image grabber는 눈의 실제 영상을 계속해서 얻어내어 그 영상을 가지고 컴퓨터를 이용하여 제안된 알고리즘을 수행하게 된다.

3.1 눈의 움직임 측정

Image grabber에서 눈의 영상을 640×480의 크기로 초당 15~20 프레임을 연속적으로 받아들이게 된다. 이러한 영상들을 제안한 알고리즘으로 처리하게 되면 처리시



그림 5. 눈의 특징점 추출

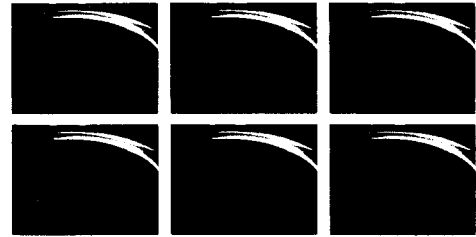


그림 6. 홍채 경계 모델 매칭 결과

간이 50~110ms가 되고 최종적으로 처리된 영상을 초당 6~9 프레임의 속도로 얻게 된다. 그림 5에서 눈의 경계를 4각형으로 매칭하는 결과와 홍채 모델을 영상에 매핑시키는 결과를 보여주고 있다. 그리고 그림 6에서는 홍채 모델 매칭 결과 순서를 보여주고 있다.

4. 결 론

본 논문에서 실시간으로 눈의 움직임을 추출하고 추적하는 방법에 대해 제안하였고, 실험 결과로서 그 방법에 대한 타당성을 보였다. 즉, 이 연구에서는 눈의 특징점들을 찾아내기 위해서 우리가 찾고자 하는 모델과의 매칭을 하는 알고리즘으로 눈의 특징을 가장 잘 나타내는 3가지의 기본 영상을 만들어서 그 3가지 영상과 홍채의 경계를 나타내는 홍채 모델과의 상관 관계를 각 영상에 대해 구하여 그 관계를 총괄하여 홍채의 모델이 가장 잘 매칭되도록 함으로써 눈의 특징점 찾는 문제를 해결하였다. 이러한 모델 매칭은 실험 결과에서 볼 수 있듯이 홍채의 경계에 잘 수렴하고 연속적으로 눈의 위치가 변하는 환경에서도 잘 적용되는 것을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. J. Glenstrup and T. Engell-Nielsen, "Eye control media: present and future state", Thesis for a Bachelor's Degree, A University of Copenhagen, 1995.
- [2] K. F. Arrington, "ViewPoint eye tracker", Arrington Research Report USA, 1997.
- [3] X. Xie, R. Sudhakar and H. Zhuang, On Improving Eye Feature Extraction using Deformable Templates, Pattern Recognition, vol. 27, no. 6, pp. 791-799, 1994
- [4] A. L. Yuille, P. W. Hallinan, and D. S. Cohen, Feature Extraction from Faces using Deformable Templates, Int. J. Comput. Vision, 8:2, pp. 99-111, 1992
- [5] R. S. Allison, M. Eizenman, and B. S. K. Cheung, Combined Head and Eye Tracking System for Dynamic Testing of the Vestibular System, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 43, no. 11, November 1996
- [6] Flock of Birds: Installation and Operations Guide, Burlington, VT: Ascension Technology, 1991.
- [7] J. merchant, R. Morrissette, and J. I. Porterfield, Remote measurement of eye direction allowing subject motion offer one cubic foot of space, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-21, no. 4, pp. 115-120, 1981