

능동적 적외선 조명하에서 실시간 눈 추적을 위한 Kalman 필터링과 평균 이동

박호식*, 정연숙*, 손동주**, 나상동***, 배철수*

*관동대학교 전자통신공학과, ** (주) KT, ***조선대학교 컴퓨터공학과

Kalman Filtering and Mean Shift for Real Time Eye Tracking Under Active IR Illumination

Ho-Sik Park*, Yeon-Suk Jung*, Dong-Joo Son**, Sang-Dong Ra***, Cheol-Soo Bae*

*Dept. of Electronic Communication Eng, Kwandong University,

Korea Telecom, *Dept of Computer Engineering, Chosun University

요 약

본 논문에서는 다양하고 실제적인 조명과 얼굴방향에 관계없이 원활하게 실시간으로 눈을 추적하는 방법을 제안하고자 한다. 기존의 능동적 적외선 조명을 이용한 대다수의 눈 추적장치들은 밝은 동공효과를 이용하고 있다. 그러나, 눈 깜박임, 외부 조명 간섭과 같은 여러 가지 요소로 인하여 동공들이 충분히 밝게 나타나지 않는 경우가 많이 있다. 그러므로, 본 논문에서는 능동적 적외선 조명을 기반으로 한 칼만 필터링을 이용한 객체 추적 방법과 전형적인 외관을 기반으로 객체 인식 방법을 결합함으로써, 외부 조명의 간섭으로 밝은 동공 효과가 나타나지 않는 경우에도 견실하게 눈을 검출하고 추적 할 수 있는 방법을 제안한다. 눈 검출과 추적을 위해 SVM과 평균 이동 추적 방법을 사용하였고, 적외선 조명과 카메라를 포함한 영상 획득 장치를 구성하여 기존의 방법과 비교 실험한 결과 제안된 방법은 일부 피검자의 경우 100% 완벽하게 눈 추적을 할 수 있음을 보여 주었다.

1. 서론

눈의 위치를 검출하고 추적하는 것은 인간과 컴퓨터 상호작용의 중요 분야 중 하나로 키보드나 마우스 대신 눈의 움직임으로 작동하는 컴퓨터 등 응용 범위가 넓어 최근 들어 활발한 연구가 진행되고 있는 분야이다. 그 중 능동적 적외선 조명을 기반으로 한 눈 추적 시스템은 간단한 구성에도 효과적인 결과를 얻을 수 있는 방법 중 하나로서, 적외선 조명하에서 밝은 동공 효과를 검출하고 눈을 추적하는 것이다. 그러나 기존의 능동적 적외선을 기반으로 한 눈 추적시스템[1~4]은 밝은 동공만을 이용하여 눈을 추적하기에 명확하게 구별되는 밝은 동공 효과를 필요로 하였다.

기존의 시스템은 눈의 깜박임에 의한 동공의 크기, 휘도나 얼굴 방향, 외부 조명 간섭, 카메라와 얼굴과의 거리등과 같은 요인으로 동공을 검출하지 못하면 눈추적을 할 수가 없었다. 그래서 Haro[3]는 밝은 동공 효과와 동작 특성을 결합한 동공 추적기를, Ji[4]는 실시간 감산과 외부 조명 간섭을 제거하기 위한 특수

필터를 이용한 방법을 제안하였다. 그러나 두 가지 방법 모두 눈이 감기거나 감쳐진 경우, 외부 조명 간섭 시 눈 추적이 어려움이 있었다.

본 논문에서는 전통적인 외관을 이용한 추적 방법과 능동적 적외선 조명을 이용한 밝은 동공 효과를 결합하여 새로운 실시간 눈 추적 방법을 제안하고자 한다. 제안한 방법은 크게 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 부분은 동공 검출을 위한 SVM (Support Vector Machine) 분류기[5,6]를 이용한 밝은 동공 추적을 기반으로 한 칼만 필터이다. 만약 첫 번째 부분에서 동공 검출에 실패하면 평균 이동 추적을 이용한 두 번째 부분이 활성화되어 눈 추적을 계속한다. 두 부분은 서로 보완하여 교대로 눈을 추적한다.

2. 눈 검출

원하는 밝은 동공 효과를 얻기 위하여, 사용자의 눈을 조명할 적외선 조명기를 만들고, 적외선에 민감한 카메라로 영상을 획득하였다. 조명기는 그림1의 (a)

와 같은 두 개의 중심이 같은 적외선 LED로 구성되어 있다. LED 교대로 켜다 키면서 그림 1의 (b)와 (c) 같은 밝고 어두운 동공 효과를 만들어 내었다.

안쪽과 바깥쪽의 LED고리를 교차 영상의 짝수 필드와 홀수 필드에 맞추어 키고 끄기 위한 동기화회로를 개발하였다. 짝수 필드를 읽어 들일 때, 안쪽 LED가 켜지고 바깥쪽 LED가 꺼지도록 하였으며, 반대로 홀수 필드를 읽어 들일 때는 바깥쪽 LED가 켜지고 안쪽 LED가 꺼지도록 하였다. 교차된 입력 영상은 비디오 디코더에 의하여 잔상을 제거하여 그림1의 (b), (c)와 같은 짝수 필드 영상과 홀수 필드 영상을 만들어 내었다. 두 개의 영상은 같은 배경과 외부 조명을 사용하지만 짝수 필드의 동공이 홀수 필드보다 밝게 보였고, 배경과 외부조명의 간섭을 제거하고자 짝수 필드 영상에서 홀수 필드 영상을 제거하여 차영상을 만들었다. 차영상에서는 대부분의 배경과 외부 조명의 간섭효과가 제거되었다. 그림1 (d)에 차영상을 보여주고 있다. 차영상은 동공 영역 외에도 많은 다른 영역을 나타낸다. 여기서 눈 영역을 찾아내기 위하여 우선적으로 동공이 있을 만한 모든 영역을 표시한다.

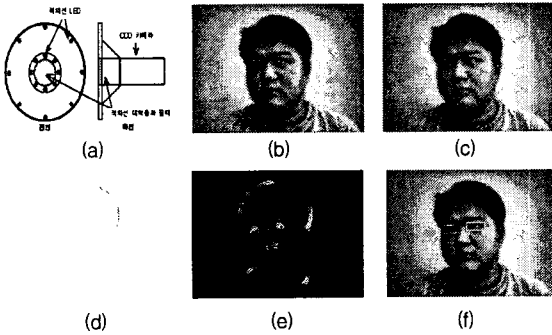


그림 1. (a) 하드웨어 구성: 능동적 적외선 조명 카메라 (b) 짝수 필드 영상 (c) 홀수 필드 영상 (d) 차영상 (e) 동공후보영역을 표시한 영상 (f) 검출된 눈 영상

일반적으로, 후보 영역들은 동공영역을 포함하고 있지만, 동공이 작고 다른 영역과 비교하여 충분히 밝지 않기 때문에 동공 영역을 정확하게 추출하기가 쉽지 않아, 동공을 정확하게 식별하기 위해서는 밝기 정보 외에 추가적인 정보를 이용하여야 한다. 그 중 하나의 방법은 기하학적 형태를 이용하여 동공 영역을 구별하는 방법이다. 일반적으로 동공은 타원 형태의 모양을 이루고 있으므로 타원 적합법을 이용하여 각각의 후보영역을 추출한 후 형태와 크기가 다른 것을 후보영역들 중에서 제거해 나간다. 즉, 영역의 크기가 크거나 좌우측 비율이 크다면 동공이 아니므로 후보 영역 중에서 제외하였다.

그림1 (e)에서, 형태와 크기가 유사하여 동공과 구별하지 못한 영역이 일부 남아 있는 것을 볼 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 SVM (Support Vector Machine) 분류기[5,6]를 이용하여 동공을 자동으로 구분하는 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 558개의 눈 영상 벡터와 560개의 눈이 아닌 벡터를 학습하고, SVM의 커널로서 시그마가 3인 가우시안 커널을 사용하였을 때 95.5037% 정확도를 얻을 수 있었다. 그림 1(e)의 영상에서 SVM 이용하여 실시간으로 눈을 검출한 것을 그림1(f)에 나타내었다.

3. 눈 추적 알고리즘

본 논문에서는 칼만 필터를 기반으로 한 밝은 동공을 이용한 눈 추적기와 평균 이동을 이용한 눈 추적기를 결합하여 새로운 눈 추적을 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 개요를 그림 2에 나타내었다.

초기 프레임에서 눈의 위치를 확인하고 칼만 필터에 의하여 밝은 동공을 추적하게 된다. 만약 칼만 필터로 인한 추적시 밝은 동공이 사라질 경우 평균 이동을 이용한 눈추적이 시작되고, 이후 밝은 동공이 다시 나타나면 보다 견실하고 신뢰성 있는 밝은 동공을 이용한 추적으로 즉시 돌아간다.

이러한 2단계의 눈 추적기는 서로 보완적으로 동작하여 눈추적기의 성능을 높였다.

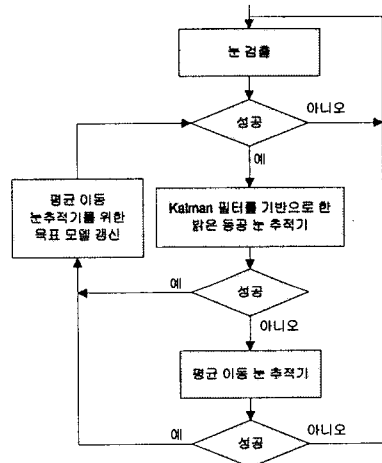


그림 2. 결합된 눈 추적 순서도

3.1 칼만 필터를 이용한 눈 추적

각각의 시간 단계(프레임)에서의 동공의 움직임은 동공의 위치와 변화속도로 특성화되어진다. 시점 t 에서 동공 중심의 화소의 위치를 (c_t, r_t) 라 하고, (u_t, v_t) 를 시점 t 에서 c 와 r 방향으로의 변화속도라 하면,

시점 t 에서 상태벡터를 $x_t = (c_t, r_t, u_t, v_t)^t$ 로 나타낼 수 있다. 그리고 시스템을 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$x_{t+1} = \phi x_t + w_t \quad (1)$$

여기서 w_t 시스템의 불안정성을 나타낸다.

시점 t 에서 동공의 위치를 $z_t = (\hat{c}_t, \hat{r}_t)$ 로 간주하면, 칼만 필터에 의한 측정 모델을 구할 수 있다.

$$z_t = H x_t + v_t \quad (2)$$

여기서 v_t 불확정된 측정치이다.

현재 프레임 t 의 위치는 시스템 모델을 기반으로 밝은 동공 효과가 존재 할 만한 예상 위치를 구하고 인접한 화소에서 문턱치 값을 이용하여 추정한다. 그리고 수식 1의 상태 모델과 수식2의 측정 모델을 통하여 상태 벡터 x_{t+1} 와 공분산행렬 Σ_{t+1} 의 초기치를 얻고 예측을 위한 시스템 모델과 측정 모델을 갱신하게 된다.

3.2 평균 이동 눈 추적

평균 이동 추적 알고리즘은 바타차리아 계수로 두 개의 명암 분포의 유사성을 측정하여, 유사성에 따라 평균 이동을 반복하여 모델과 가장 유사한 후보 영역을 찾는 것이다. 견본 데이터로부터 유도된 바타차리아 계수는 표적 명암 q 와 후보 명암 p 에 분포에 영향을 미친다. y 지점에서 표적 밀도 q 를 위한 바타차리아 계수를 추정하고, 표적 후보 밀도 $p(y)$ 를 다음에 의하여 구한다.

$$\hat{p}(y) = \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] - \sum_{i=1}^m \sqrt{\hat{p}_i \hat{q}_i} \quad (3)$$

여기서 m 은 분포도 p 와 q 를 위한 양자화 단계이다. 두 개의 분포에 대한 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho[\hat{p}(y), \hat{q}]} \quad (4)$$

눈과 눈이 아닌 영역에 대한 명암 분포에 대한 특성은 짝수와 홀수필드 두 영상에 의해 확실히 특성지어진다. 그림 3에 다른 조명에 의한 어두운 동공과 밝은 동공의 예를 나타내었다.



그림 3. 눈 영상

- (a)(b) 왼쪽눈과 오른쪽눈의 밝은 동공 영상;
- (c)(d) 왼쪽눈과 오른쪽눈의 어두운 동공 영상;

그러므로, 어두운 동공과 밝은 동공 영상에 대응하는 각기 다른 특징을 갖는 2개의 확률분포가 나타난다. 눈의 특징 확률 분포가 표현된 $m \times m$ 크기의

어두운 동공과 밝은 동공영역에서 2차원 결합 히스토그램을 유도할 수 있다. 히스토그램을 계산하기 전에는 표적의 중심에서 먼 위치일수록 가중을 작게 할당하는 볼록하고 단조 감소하는 커널 프로파일 k 를 선택하였다. $\{x_i\}_{i=1..n}$ 를 이전 프레임에서 y 의 중심인 눈 표적의 화소 위치라 하면, 눈 표적에 대한 명암의 분포 u 는 다음으로 구할 수 있다.

$$\hat{p}_u(y) = \frac{\sum_{i=1}^{n_x} k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i) - u]}{\sum_{i=1}^{n_x} k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (5)$$

여기서, $b(x_i)$ 는 히스토그램의 지표이고, h 는 커널 프로파일의 반지름, δ 는 크로네커 델타 함수이다. 표적 후보 분포 q 는 유사한 형태로 구축할 수 있었다.

추적하는 오류를 줄이고자 밝은 동공 추적기가 성공적으로 눈을 추적하는 동안 표적 눈 모델을 갱신한다.

그림 4 (b)에 그림 4 (a)의 큰 사각형 부분에 대한 바타차리아 계수를 나타내었다.

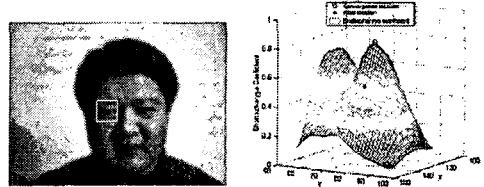


그림 4. (a) 13번째 프레임 영상;
(b) 13번째 프레임 영상의 왼쪽 눈 주변의 표시영역 (40 × 40 화소)에서의 바타차리아 계수 값.

4. 실험결과 및 고찰

제안된 방법의 눈 검출과 추적방법의 신빙성을 증명하기 위하여 각기 다른 다섯 명에 대하여 초당 30 프레임으로 20초 동안의 영상을 녹화하였다. 모두 머리의 움직임과 눈 깜박임 동작을 하게 하였다.

실험 영상에서 뜯눈과 감긴눈, 감쳐진눈에 대응하는 프레임수를 계산하였다. 그림5에 눈이 감기거나 얼굴 방향에 의하여 밝은 동공이 사라진 경우를 나타내었다. 이 경우 차영상에서 밝은 동공이 나타나지 않으므로 칼만 필터로는 추적을 할수 없었다. 그러므로, 평균 이동 추적기가 밝은 동공 추적기의 실패를 보완하여 밝은 동공 없이 눈 영역의 색상 상태분포에 따라 눈을 추적하게 된다. 그림5에 평균 이동 추적기에 의하여 추적된 눈 영역을 사각형으로 나타내었다.



(a) (b) (c)
 그림 5. 감기거나 감추어진 눈 추적을 위한
 평균이동 추적기를 이용한 추적 결과

첫 번째 피검자에 대한 추적 결과를 전통적인 칼만 필터와 비교하여 표 1에 나타내었다. 제안된 방법은 전통적인 칼만 필터만을 이용한 밝은 동공 추적기보다 보다 견실한 알고리즘임을 알 수 있었다. 특히 감긴 눈이나 얼굴 방향에 따라 감춰진 눈에서, 심지어는 강한 외부 조명의 뜬눈에 대해서도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 일부 피검자의 경우 추적율은 100%로 완벽하게 추적이 가능하였다.

표 1. 다른 눈 상황에 따른 눈 추적 결과 비교
 (뜬눈, 감긴눈, 감춰진눈)

600 프레임의 영상	기존의 추적기	제안된 합성 추적기
왼쪽눈(뜬눈) 452 프레임	400/452	452/452
왼쪽눈(감긴눈) 66 프레임	0/66	66/66
왼쪽눈(감춰진눈) 82 프레임	0/82	82/82
오른쪽눈(뜬눈) 425 프레임	389/425	425/425
오른쪽눈(감긴눈) 66 프레임	0/66	66/66
오른쪽눈(감춰진눈) 109 프레임	0/109	109/109

5. 결론

본 논문에서는 다양한 조명과 다른 얼굴 방향에서 실시간으로 눈을 추적하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 패턴 인식 방법인 SVM과 객체 추적 기술인 평균이동방법을 칼만 필터링을 기반으로 한 밝은 동공 눈 추적기에 적용하여 동공이 직접적으로 보이는 안보이든 간에 견실하고 정확하게 눈을 추적할 수 있도록 하였다.

제안된 방법은 외관을 이용한 방법과 능동적 적외선을 이용한 밝은 동공 효과를 혼합하여 다양한 조명 조건하에서 견실하고 정확하게 눈을 추적하였다. 제안된 시스템은 강한 비적외선 조명과 통상적인 적외선 조명하에서 기존의 밝은 동공 효과만을 이용한 방법보다 원활하고 정확하게 눈을 추적할 수 있었다.

실험을 통하여 제안된 방법인 눈 추적의 정확도와 견실성을 확연히 개선할 수 있음을 증명하였다.

[참고문헌]

- [1] Y. Ebisawa., "Unconstrained pupil detection technique using two light sources and the image difference method.", *Visualization and Intelligent Design in engineering and architecture*, pages 79-89, 1995.
- [2] C. H. Morimoto and M. Flickner., "Real-time multiple face detection using active illumination.", *Proc. of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition 2000*, Grenoble, France, March 2000.
- [3] A. Haro, M. Flickner, and I. Essa., "Detecting and Tracking Eyes By Using Their Physiological Properties, Dynamics, and Appearance.", *Proceedings IEEE CVPR 2000*, Hilton Head Island, South Carolina, June 2000.
- [4] Q. Ji and X. Yang., "Real time visual cues extraction for monitoring driver vigilance.", *In Proc. of International Workshop on Computer Vision Systems*, July 7-8, 2001, Vancouver, Canada.
- [5] C. Cortes and V. Vapnik., "Support-vector networks". *Machine Learning*, 20:273-297, 1995.
- [6] Huang. J, D. Li, X. Shao, and H. Wechsler., "Pose Discrimination and Eye Detection Using Support Vector Machines (SVMs)", *Proceeding of NATO-ASI on Face Recognition: From Theory to Applications*, pp.528-536, 1998.
- [7] D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer., "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift", *IEEE Conf. on Comp. Vis. and Pat. Rec.*, Hilton Head Island, South Carolina, 2000.
- [8] D. Comaniciu, V. Ramesh., "Mean Shift and Optimal Prediction for Efficient Object Tracking", *IEEE Int'l Conf. Image Processing*, Vancouver, Canada, Vol. 3, 70-73, 2000.
- [9] D. Comaniciu, V. Ramesh., "Robust Detection and Tracking of Human Faces with an Active Camera", *IEEE Int'l Workshop on Visual Surveillance*, Dublin, Ireland, 11-18, 2000.