

# 연속된 영상 프레임에서 눈의 깜빡임 해석

°차태환, 김주영, 고흥식  
경북대학교 전자전기공학부

## Analysis of the Eye Blink in Video Sequences

°Tae-Hwan Cha, Joo-Young Kim, Kwang-Sik Koh  
School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook Nat'l Univ.  
E-mail : hwantajia@hanmail.net

### Abstract

This paper presents the method for the decision of eye states using the eye blink in video sequences. The entire procedure consists of two steps: in the first step, the accurate eye position is found in the input image by using symmetry information of faces and projection, and in the second step, the eye open/close state is decided by the horizontal and vertical projection. The method in this paper is also used for detecting drivers' fatigue in the drowsiness detection system.

### I. 서론

얼굴 인식 기술은 패턴 인식과 컴퓨터 비전 등을 기반으로 수많은 응용 분야를 가지고 있다. 이러한 응용 분야에는 보안 시스템, 감시 시스템, 졸음 방지 시스템 등이 있다. 특히 최근 단조로운 운전 상황과 주위 환경 요소로 인한 졸음 운전이 운전자의 생명과 직접적인 관계가 있는 이유로 차량용 사고 예방 시스템에서 졸음 방지 기술은 주요 관심 분야가 되어 왔다[1].

운전 중의 졸음 방지를 위해서는 운전자의 주의 감소를 정확히 감지하고 운전자에게 경보를 하는 것이 필수적이다. 운전자의 피로를 검출하는 방법에는 피실험자의 몸에서 발생하는 생체 신호를 해석하는 방법과 차량 제어 시스템 및 차량 움직임에 관한 정보를 이용하

는 방법, 동영상에서 얼굴 요소 검출을 이용한 피로 해석 방법 등이 있다.

얼굴 내의 특징 추출이나 얼굴 인식 기술은 궁극적으로 인간의 시각 시스템의 구현을 목표로 하고 있다. 얼굴 인식 기술은 얼굴을 하나의 단위로 인식하는 템플릿 기반 정합과 얼굴을 각각의 특징점들의 집합으로 보는 특징점 기반 정합 등이 있다. 템플릿 기반 정합에는 Deformable templates, active contour, 영상 정합 등과 같은 방법들이 사용되고, 특징점 기반 정합에는 얼굴 피부색을 이용하는 방법과 얼굴 요소들의 대칭적인 위치 정보를 이용하는 방법 등이 사용된다. 정지 영상이 외에 동영상에서도 얼굴 인식을 위해서 차영상을 이용한 방법과 유동장(flow field)의 불연속성에 기반한 방법 등이 사용된다[3].

본 논문에서는 연속된 영상 내에서 얼굴의 대칭 정보를 이용한 눈 검출과 피실험자의 눈 깜빡임을 관찰해서 피로 상태 추정에 용이한 눈 상태를 결정하는 방법을 제시한다. II절에서 입력된 영상 내의 정확한 눈의 위치를 찾는 방법과 눈 추적을 설명하고, III절에서는 추적된 눈의 열림 정도를 모델링해서 눈 상태를 결정하는 방법을 기술하고, IV절에서는 다양한 환경에서 얻은 영상을 대상으로 실험한 결과를 보여준다.

### II. 눈 검출과 추적

본 절에서는 입력된 영상에서 피실험자 눈의 정확한 위치를 찾는 방법과 눈을 추적하는 방법을 소개한다.

제안한 방법의 전체적인 흐름은 그림 1과 같이 눈을 찾고 추적하는 부분과 눈 열림 상태를 결정하는 부분으로 나눌 수 있다.

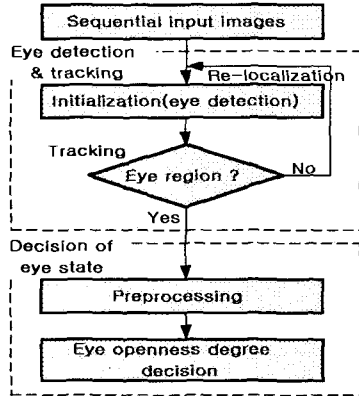


그림 1. 전체 흐름도.  
Fig. 1. The entire flow chart.

## 2.1 초기화(눈 검출)

연속된 영상 프레임에서 눈의 열림 정도를 가지고 피로의 유무를 결정하기 위해서는 정확한 눈의 위치를 찾는 것이 우선 되어야 한다. 제안한 눈 검출 방법은

1. 전체 영상에서 전경(foreground)에 해당하는 픽셀 합자를 찾고[4],
2. 찾아진 전경에서 얼굴의 대칭 정보를 이용해서 얼굴의 위치를 찾은 후[5][7],
3. 눈 영역의 그레이 레벨 변화를 이용해서 정확한 눈의 위치를 찾는 방법[6]

으로 나눌 수 있다.

먼저 전경이 포함되지 않은 배경 영상을 이용하여 입력되는 영상에서 휘도의 차이가 나는 전경을 추출한다. 이 때 연속된 영상에서 갑자기 변하는 배경에 대한 잘못된 인식을 막기 위해서 식 (1)과 같이 주위 변화에 적응하는 배경 영상을 사용한다.

$$R_i(x, y) = \begin{cases} I_i(x, y), & \text{if } |T_i(x, y) - I_i(x, y)| < \epsilon \\ R_{i-1}(x, y), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$T_i(x, y) = T_{i-1}(x, y) + \lambda[I_i(x, y) - T_{i-1}(x, y)]$$

여기서  $R_i(x, y)$ 와  $I_i(x, y)$ 는 각각 변화 적응 배경 영상과 입력되는 영상을 나타내고,  $i$ 은 프레임 순서이며,  $x$ 와  $y$ 는 해당 픽셀의 위치를 나타낸다.  $T_i(x, y)$ 는 입시 배경 영상으로서  $\lambda$ 가 작을수록 급한 배경 변화에 영향을 적게 받는다.

다음으로 찾아진 전경의 최소 경계 사각형(MBR: minimum boundary rectangle) 내에서 사람 얼굴의 대

칭 정보를 이용해서

$$x_{center} = x \text{ of } \min[S(x)], \quad k \leq x \leq (x_{max} - x_{min}) \quad (2)$$

$$S(x) = \sum_{n=0}^k \sum_{y=Y_{min}}^{Y_{max}} (|I(x, y-n) - I(x, y+n)|)$$

와 같이 얼굴의 위치를 찾는다. 여기서  $S(x)$ 는 얼굴의 대칭 정도를 나타내며,  $k$ 는 전경 내에서 대칭 정보를 찾을 수 있는 값이다.

식 (2)에서 찾은 얼굴의 위치 정보와 눈 영역의 그레이 레벨 분포를 이용한 프로젝션 방법인

$$V_{eye} = y \text{ of } \max(P)$$

$$H_{eye} = x \text{ of } \min[I(x, V_{eye})] \quad (3)$$

$$P(y) = \sum_{x=MBR} I(x, y) - I(x-1, y)$$

으로 정확한 눈의 위치를 찾는다. 여기서  $V_{eye}$ 와  $H_{eye}$ 는 각각 눈의 수직, 수평 위치를 나타내고,  $P(y)$ 는  $I(x, y)$ 의 gradient map에서 수평 프로젝션을 의미한다. 아래 그림 2에서는 눈을 검출하는 초기화 과정을 순차적으로 나타내고 있다.

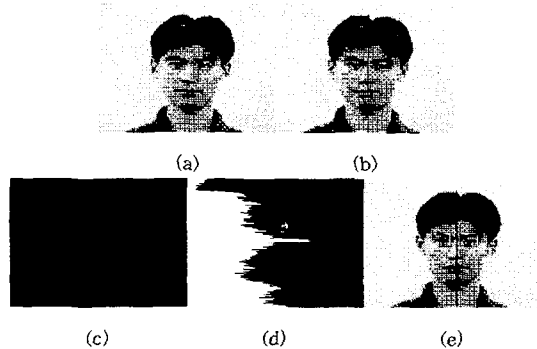


그림 2. 초기화 (a) 원 얼굴 영상, (b) 찾은 얼굴 중심, (c) 에지 영상, (d) 히스토그램 프로젝션, (e) 찾은 눈.  
Fig. 2. Initialization (a) face image, (b) found face center, (c) gradient map, (d) the histogram of projected edges, (e) detected eye.

## 2.2 눈 추적

초기화에서 찾은 눈 영역을 기준 영상으로 사용하여 이미지 정합 방법인 정규 상관 함수

$$N(x, y) = \frac{E(q_1 q_2) - E(q_1)E(q_2)}{\sigma(q_1)\sigma(q_2)} \quad (4)$$

을 이용하여 눈을 추적한다. 여기서  $q_1$ 과  $q_2$ 는 각각 정합에 사용한 기준 영상과 전체 영상에서 같은 크기의 영역을 나타내며,  $E$ 는 영역의 밝기 평균이고,  $\sigma$ 는 영역의 밝기 표준 편차를 의미한다. 현재 프레임의 추적 영역은 이전에 추적된 눈 영역을 사용한다.  $N(x, y)$ 의

최대값이 임계치를 넘을 경우 눈 열림에 관계없이 눈 영역으로 간주하고, 그렇지 않을 경우는 다시 초기화 과정을 수행한다. 식 (4)에서 사용한 이미지 정합은 주 위 조명 변화에 무관한 특징을 가지고 있다.

### III. 눈 열림 정도 모델링

본 절에서는 연속된 영상 프레임에서 피실험자의 피로 상태를 추정하기 위해 눈의 열림 정도를 판단하는 방법을 설명하고 있다.

#### 3.1 전처리 과정

실제 입력 영상에서는 관심 영역인 눈동자 부위에 주위 조명에 의한 빛 반사가 일어날 수 있다. 안경을 착용하는 경우에는 그 영향이 더 크게 작용할 수 있다. 이와 같이 조명이 변하는 환경에 적응하는 방법을 위해, 특히 피실험자의 눈동자 부위에 빛이 반사되어 미치는 영향을 줄이기 위해 gray-scale morphological opening filter를 사용한다.

#### 3.2 눈 열림 정도 모델링

초기화와 눈 추적 과정에서 찾은 피실험자의 눈 영역에서 그림 3과 같이 눈 열림 정도를 판단하기 위해 눈썹 부분 제거, 눈 영역의 이진화 및 수직 프로젝션을 수행한다.

전처리 과정을 취한 눈 영역에서 눈썹 부분을 제거함으로써 피실험자가 안경을 착용했을 경우에 안경테가 히스토그램 분포에 미치는 영향을 줄이고, 더욱 정확한 프로젝션의 수치를 얻는다. 이후 연속된 프레임에서 눈썹 영역을 그림 3. (b), (c), (d)에서 a, b의 크기와 같이 매 프레임에서 얻는 미간사이 거리와 초기 미간사이 거리의 비로써 조정한다. 이진화에 사용한 임계치는 눈 영역의 밝기 평균과 표준편차의 차이로 결정된다.

눈 영역 이진 영상의 수직 프로젝션으로 얻어진 값을 사용하여 피실험자의 눈 열림 정도는

$$Eye\_state_i = \begin{cases} open, & \text{if } \frac{Max_i - Min_i}{K_{i-1}} > T_k \\ close, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$K_{i-1} = \frac{1}{n(A)} \sum_{j \in A} Max_j - Min_j$$

$$A = \{j \mid Eye\_state_j = open, 0 \leq j \leq i-1\}$$

를 이용하여 매 프레임에서 피실험자의 눈 열림 상태를 결정한다. 여기서  $Max_i$ 와  $Min_i$ 는 각각  $i$ 번째 프레임의 수직 프로젝션 최대값과 최소값을 나타낸다. 이 때 피실험자의 머리가 기울어진 경우에는 수직 프로젝션의

수치가 정확하지 않다. 따라서 정확한 프로젝션을 위해서 양쪽 눈의 수직 위치 차이가 어느 정도 날 때, 초기 위치에서 변한 각도만큼 회전된 프로젝션을 수행해서 문제점을 해결한다.

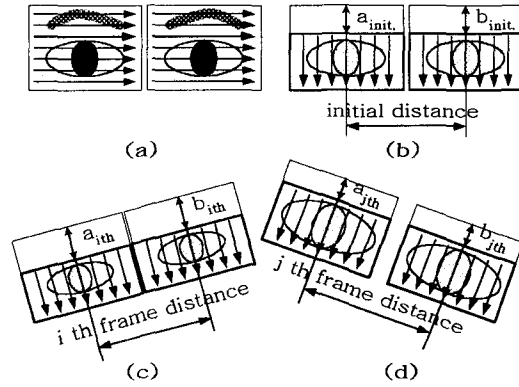


그림 3. 프로젝션 영역 (a) 수평 프로젝션, (b) 첫 프레임 프로젝션 영역, (c) 먼 경우, (d) 가까운 경우.

Fig. 3. Projection range (a) initial projection, (b) initial frame position, (c)  $i$ th frame position: far, (d)  $j$ th frame position: close.

### IV. 실험 및 고찰

실험에 사용한 영상들은 실제의 다양한 상황을 고려해서 얻은 영상(320×240)으로서, 배경이 복잡한 경우, 배경이 움직이는 경우, 안경을 쓴 경우 등에서 일었다. 제안한 방법의 처리 시간은 Intel Celeron PC 330MHz 환경에서 초기화에 평균 1.76초가 걸렸으며, 눈 추적과 눈 열림 판별에 프레임 당 0.11초가 걸렸다. 초기화의 피실험자 얼굴의 위치를 찾는 과정에서  $k$ 는 전경 내에서 대칭 정보를 찾을 수 있는 값을 사용했다( $k=75$ ).

그림 4는 제안한 방법이 적용된 결과를 보여 주며, 표 1에서는 open, close 각각의 상태에 대해서 판단한 결과를 나타낸다. 안경을 착용하지 않은 실험자에 대해서는 잘못 판단한 프레임이 없었다.

피실험자가 안경을 착용한 경우, 표 1에서와 같은 에러(✓)의 원인이 프로젝션을 위해서 사용한 이진화 임계치의 정확도에 안경테가 영향을 미친다는 것임을 알 수 있었다.

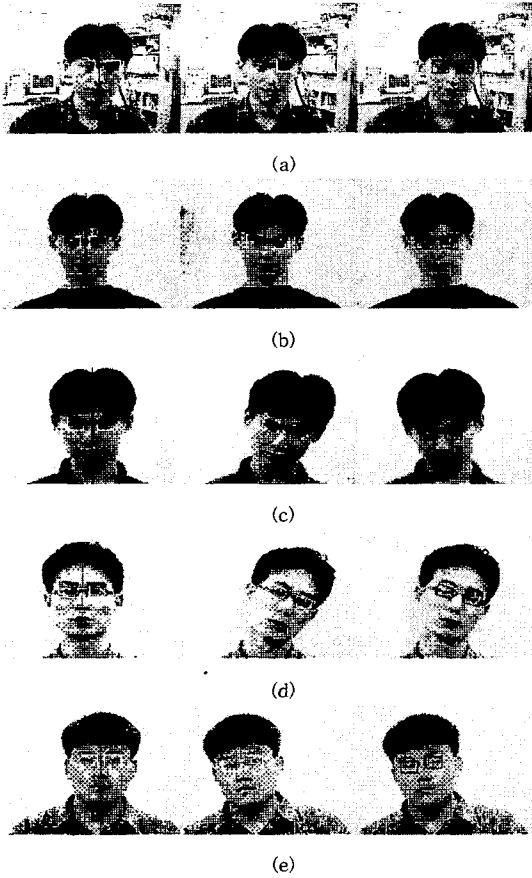


그림 4. 눈 상태 결정 (a) 복잡한 배경, (b) 움직이는 배경, (c) 고개를 숙이는 경우, (d), (e) 안경 쓴 경우.

Fig. 4. Eye state decision (a) complex background, (b) moving background, (c) nodding head, (d),(e) wearing glass.

표 1. 눈 열림 정도 결정 실험 결과.

Table 1. The result of the decision of the eye state.

	total frame	open (D/A)	close (D/A)
complex background	50	44/44	6/6
moving background	90	75/75	15/15
nodding head	149	93/93	56/56
wearing glass (1)	100	90/91(✓)	9/9
wearing glass (2)	100	44/44	54/56(✓)

(D: detected, A: actual)

## V. 결론

본 논문에서는 연속된 영상에서 히스토그램 프로젝션 방법을 사용하여 피실험자의 눈 열림 정도를 판별하는 방법을 제안하였다. 피실험자의 눈을 식별할 수 있는 거리 내에서 얻어진 영상으로 먼저 정확한 눈의 위치를 찾고, 이미지 정합을 이용해서 눈 추적을 한다. 연속으로 추적된 영역 내에서 수평, 수직 프로젝션을 취해서 피실험자의 눈 열림 정도를 결정했다.

실제 차량용 졸음 검출 시스템에서 센서나 제어 시스템을 이용하는 방법에 부가적으로 본 논문의 방법을 병용할 수 있을 것이다. 차후 프로젝션 영역에서 안경 착용에 관계없이 정확한 임계치 결정으로 에러를 줄이는 방법, 입의의 물체에 피실험자가 가려진 경우의 검출 방법, 얼굴 내의 눈 이외 요소를 부가적으로 이용하는 방법 등이 더 고려되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] H. Ueno, M. Kaneda, and M. Tsukino, "Development of drowsiness detection system," *Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, pp. 15-20, 1994.
- [2] S. Singh and Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Monitoring driver fatigue using facial analysis techniques," *Intelligent Transportation Systems, IEEE/IEEJ/JSAI International Conference*, pp. 314-318, 1999.
- [3] R. Chellappa, C. L. Wilson, and S. Sirohey, "Human and machine recognition," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 5, pp. 705-741, May 1995.
- [4] Lars-Peter Bala, Kay Talmi, and Jin Liu, "Automatic detection and tracking of faces and facial features in video sequences," *Picture Coding Symposium 1997*, Sep. 1997.
- [5] M. Eriksson and Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Eye-tracking for detection of driver fatigue," *Intelligent Transportation System 1997, IEEE Conference*, pp. 314-319, 1997.
- [6] L. Stringa, "Eyes detection for face recognition," *Applied Artificial Intelligence*, no. 7, pp. 365-382, 1993.
- [7] T. Yoo and I. Oh, "Extraction of face region and features based on chromatic properties of human faces," *Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, pp. 637-645, 1996.