

눈 깜박임 패턴을 이용한 졸음 검출

Drowsiness Detection using Eye-blink Patterns

최 기 호*
(Ki-Ho Choi)

요 약

본 논문은 눈 깜박임 패턴을 이용한 새로운 졸음 검출 알고리즘을 제안하였다. 유한오토마타를 이용한 졸음 검출 모델을 제안하여 눈감은 상태를 나타내는 입력 심벌의 개수만을 체크함으로써 눈 깜박임, 졸음, 수면 검출을 용이하게 하였다. 또한 수평 투영 히스토그램의 특성을 이용하여 눈동자가 있는 영역만을 구해 수직 투영 히스토그램을 취함으로써 눈썹이나 안경테와 같은 외부 영향을 최소화 시켜 정확도를 높였다. JZU 눈 깜박임 데이터베이스를 이용한 눈 깜박임 검출 실험 결과 93% 이상의 정확도를 얻음으로써 제안된 방법의 우수함을 보였다.

Abstract

In this paper, a novel drowsiness detection algorithm using eye-blink pattern is proposed. The proposed drowsiness detection model using finite automata makes it easy to detect eye-blink, drowsiness and sleep by checking the number of input symbols standing for closed eye state only. Also it increases the accuracy by taking vertical projection histogram after locating the eye region using the feature of horizontal projection histogram, and minimizes the external effects such as eyebrows or black-framed glasses. Experimental results in eye-blinks detection using the JZU eye-blink database show that our approach achieves more than 93% precision and high performance.

Key words : Drowsiness detection, eye-blink, finite automata, projection, histogram, eye-blink database

1. 서 론

졸음운전은 교통사고의 제일 큰 원인 중 하나이다. 국내의 최근 3년간 (2006 ~ 2008년) 교통사고 통계에 의하면 졸음운전으로 인한 교통사고는 8,267건, 그 중 사망 512명, 치사율(사고 100건당 사망자수) 6.2명으로 전체 교통사고 치사율에 비해 2배 이

상 높은 것으로 보고되고 있으며, 교통사고 원인 분석결과 졸음운전으로 인한 교통사고(21.4%)가 1위로서 음주운전에 의한 교통사고보다 높은 것으로 분석되고 있다[1,2]. 또한, 미국도 고속도로안전관리국(NHTSA)에 따르면 졸음운전은 연간 56,000건의 충돌사고를 일으키는 요인으로서, 매년 1,550여명이 사망하고 4만여명이 부상하고 있다고 한다[3].

† 이 논문은 2009년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

* 주저자 및 교신저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

† 논문접수일 : 2011년 3월 18일

† 논문심사일 : 2011년 4월 8일

† 게재확정일 : 2011년 4월 10일

따라서 이와 같은 교통사고들을 예방하기위해 졸음운전을 자동적으로 검출하기 위한 많은 연구들이 수행되어 오고 있다. 졸음운전의 자동 검출에 관한 연구들은 주로 운전자의 생체적 특성의 분석, 자동차의 움직임 특성의 분석, 운전자의 얼굴 이미지 특징을 분석하는 등 크게 3가지 형태로 분류할 수 있다 [4]. 첫째, 생체적 특성 분석 방법으로는 뇌파, 심장박동, 맥박 수의 측정과 분석 등이 있다. 이러한 방법들은 가장 좋은 검출 정확도를 갖지만 특별한 장치가 부착되어 운전자와 물리적인 접촉이 강제되는 형태이므로 실용적이지 못하다. 둘째, 자동차의 움직임 특성의 분석 방법으로는 속도나 회전각 등의 측정과 분석이 있다. 이러한 방법은 비강제적 형태로 실현될 수 있지만 자동차 유형, 운전자 경험, 운전 조건 등과 같이 여러 가지 제한점을 갖는다. 셋째로, 운전자의 얼굴 이미지 특징의 분석 방법으로는 이미지에 기초한 눈꺼풀의 움직임, 머리의 움직임, 하품 등의 검출과 분석이 있다. 이와 같은 방법은 생체적 특성의 분석 방법 보다는 덜 정확할 수 있지만 비강제적인 형태이며 실현이 용이하고, 자동차의 움직임 특성을 이용하는 방법 보다는 더 정확하며 운전자의 경험과 자동차 유형에 무관하게 독립적으로 적용 가능하므로 가장 실용적인 방법이라고 할 수 있다.

얼굴 이미지의 특징 분석 중에서 눈 깜박임의 지속시간에 대한 분석이 졸음 여부를 검출하는데 있어 가장 신뢰할 수 있는 방법이므로 본 논문은 눈 깜박임 패턴을 이용한 새로운 졸음 검출 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어 II장에서는 기존의 졸음 검출 관련 연구들에 대해 분석하고 III장에서는 졸음 검출 흐름도, 얼굴영역과 눈 영역 검출, 눈영역 특징 추출, 눈의 깜박임 패턴에 따라 운전자의 졸음 여부를 판단 할 수 있는 유한오토마타 졸음 검출모델 등을 설명하고, IV장의 실험 결과 및 고찰, 마지막으로 V장에서는 결론을 제시한다.

II. 기존의 졸음 검출 관련 연구

눈의 상태는 매우 중요한 정보를 제공하므로 운

전자의 눈의 움직임을 측정할 수 있다면 운전자의 졸음 상태를 예측하는 것이 가능해진다. Tabrizi 등은 동공의 픽셀 수를 이용하여 눈의 뜬 상태와 감은 상태를 판단하는 방법을 제안하였다[4]. Suzuki 등은 졸음 검출을 위해 눈꺼풀의 열림과 닫힘의 정도와 눈 깜박이는 시간을 이용하였다[5]. Zhang 등은 수직 투영기법을 적용하여 눈의 위치를 찾고 그레이 이미지 특징을 기반으로 눈의 열림과 닫힘 상태를 판단하였다[6]. Sigari는 수평선분의 그레이 레벨을 이용한 윗 눈꺼풀과 아래 눈꺼풀과의 거리 계산에 의한 졸음 검출 방법을 제안하였다[7]. 그러나, 이러한 방법들은 눈꺼풀의 가장자리나 동공 부분의 크기를 쉽게 검출하기 위해서 선명하고 양질의 이미지를 사용하였다. 실제로는, 단순한 카메라에 의해 입력되는 이미지는 자동차의 진동과 조명의 변화로 인해 일반적으로 선명도가 낮고 저 품질의 이미지이다. 그러므로 실제 눈꺼풀의 가장자리나 동공 부분의 크기를 정확하게 계산하는 것은 매우 힘들고 많은 오차를 수반한다.

또한, 저 해상도의 일반적인 간단한 웹 카메라를 이용한 최근 연구들로서 Danisman 등은 뜬눈의 수평대칭 패턴을 이용하여 수평축 위와 아래의 이미지 차이 값으로 감은 눈과의 상태를 구분하였으며[8], Liu 등은 눈 주위 이미지의 현재 프레임과 이웃한 이전 프레임과의 픽셀수 차이의 변화를 커브로 나타내고 커브형태로써 졸음 여부를 판별하였고[9], Pan 등은 얼굴사진을 이용해 얼굴인식 시스템을 속이는 것을 방지하기위해 자연현상인 눈 깜박임 검출을 이용한 실시간의 생존 얼굴 인식 방법을 제안하였다[10]. 그러나 Danisman 등의 방법에서는 대칭되는 정확한 수평 라인 계산이 힘들고, Liu 등이 제시한 방법에서는 많은 종류의 커브 형태들이 발생할 수 있어 패턴에 따른 졸음 여부의 자동적인 판단 기준이 모호하며, Pan 등은 눈의 닫힘 정도를 정밀하게 수치화하여 눈 깜박임 여부만을 검출하였다.

따라서 이전 연구에서 고품질의 이미지 요구, 복잡한 계산과 시간, 환경변화에 따른 성능저하, 체계적인 졸음 검출 모델의 부재 등이 극복해야 할 문제점이었으므로, 본 연구에서는 일반적인 웹 카메라

라를 이용하고 그레이 레벨 이미지를 바이너리 이미지로 변환하여 픽셀의 수평 수직 투영 히스토그램을 이용함으로써 계산을 단순화하고 조명, 안경 착용 등의 환경변화에 덜 민감하게 하며 오토마타를 이용해 졸음 검출 규칙을 체계화함으로써 기존 연구의 문제점들을 극복하고자한다.

III. 눈 깜박임 패턴을 이용한 졸음 검출 알고리즘

1. 졸음 검출 흐름도

졸음 검출과정 동안 카메라는 실시간적으로 운전자의 얼굴을 연속적으로 레코딩해야 하고, 졸음 상태를 알아내기 위해서는 이 레코드의 이미지 시퀀스(프레임들)의 연속적인 검출을 수행하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 졸음 검출 알고리즘을 <그림 1>에 보였다. 본 알고리즘은 처음 몇 분 동안 눈을 제일 크게 뜬 상태와 감은 상태에 대한 눈 부위의 바이너리 이미지(2치 화상)의 수평 및 수직 투영 히스토그램 특징 값들을 템플릿 값으로 정한

다. 이후 입력되는 각 프레임에 대한 수평 투영 및 수직 히스토그램 특징 값을 템플릿 값과 비교하여 눈을 완전히 뜬 상태, 중간 상태, 감은 상태를 검출하고 검출된 일련의 눈 상태 시퀀스를 유한오 토마타 졸음 검출모델에 입력하여 눈 깜박임 패턴을 판단함으로써 졸음여부를 검출한다.

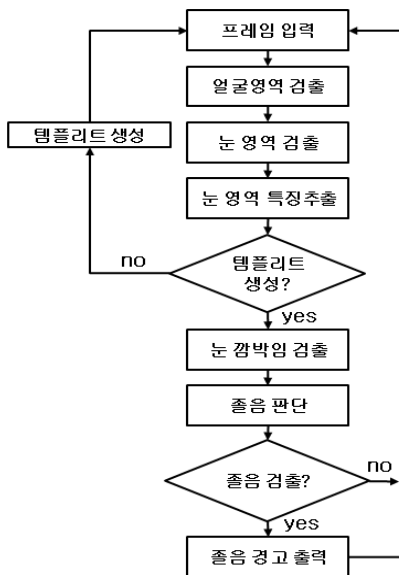
2. 얼굴 영역 및 눈 영역 검출

얼굴 영역 및 눈 영역 검출을 위해서는 웹 카메라로부터 영상을 획득하여 저장하는 영상획득 단계, 그레이 레벨 이미지 변환, 히스토그램 평탄화(histogram equalization)를 통한 정규화, 바이너리 이미지로의 변환, 잡음제거, 고립점 제거 등의 전처리 과정을 거쳐 얼굴영역과 눈영역 검출을 하게된다. 또한 이와 함께 취득된 영상에서 배경 및 조명에 무관하게 얼굴 부분만을 검출할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 많은 얼굴 검출 알고리즘 중 Viola와 Jones가 제안한 그레이 스케일 이미지에서 각 서브 윈도우 내의 이웃 사각형 간 픽셀 합의 차를 특징 값으로 정하고 이를 직렬분류기에 적용한 얼굴 검출방법이 주위 빛의 변화에 강인하며 빠르고 우수한 얼굴 검출 성능을 가지고 있다[11]. 이 얼굴 검출 알고리즘의 소프트웨어가 OpenCV [12]에서 제공되고 있으므로 이것을 얼굴 검출에 이용 하도록 한다.

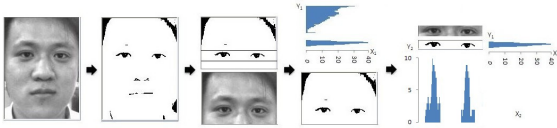
눈 영역 검출은 얼굴 이미지에 대해 다음과 같은 가정 하에 수평 투영 히스토그램을 이용하여 위치를 찾는다.

- 카메라를 정면으로 바라보는 얼굴이며 회전되지 않은 정규화된 얼굴 이미지
- 양쪽 눈을 갖는 정상적인 얼굴 이미지

눈은 얼굴 영역의 상반부에 위치하므로 전체 얼굴 영역 크기가 $W \times H$ 이면 세로의 반($H/2$)을 기준하여 상위 부분을 대상 영역으로 정한 후, 세로축(y 축) 상의 눈뜬 상태의 수평 투영 히스토그램 중 제일 큰 피크 값을 갖는 위치를 기준하여 그 히스토그램 곡선이 위와 아래 방향으로 각각 최소값을 갖는 위치를 구함으로써 눈 부위 영역을 검출 할 수



<그림 1> 졸음 검출 흐름도
<Fig. 1> Flow chart of drowsiness detection



<그림 2> 수평 투영 히스토그램과 눈 영역 검출 과정 예
(Fig. 2) An example of the horizontal projection histogram and eye region detection process

있다. <그림 2>는 수평 투영 히스토그램과 눈 영역 검출 과정을 예시하고 있다.

바이너리 이미지 I 에 대해 흑색 픽셀 값을 1, 백색 픽셀 값을 0으로 나타낼 때 $I(x, y)$ 는 (x, y) 지점에서의 픽셀 값을 나타낸다고 하면, 구간 $[x_1, x_2]$ 와 $[y_1, y_2]$ 에서의 수평방향과 수직방향의 적분 투영 함수 IPF (Integral Projection Function)는 다음과 같이 나타낼 수 있다[13].

$$IPF_h(y) = \sum_{x=x_1}^{x_2} I(x, y) \quad (1)$$

$$IPF_v(x) = \sum_{y=y_1}^{y_2} I(x, y) \quad (2)$$

따라서 수평 투영 히스토그램은 <그림 2>의 오른쪽 위 그림과 같이 수직축 Y_1 ($=y$)는 거리를 수평축 X_1 ($= IPF_h(y)$)는 픽셀의 누적된 값을 나타낸다. 그러므로 식 (3)과 같이 $IPF_h(y)$ 의 최대값을 구함으로써 눈뜬 상태의 수평 투영 히스토그램 피크 값을 갖는 위치를 구할 수 있다.

$$IPF_{hmax}(y_c) = \max\{IPF_h(y) \mid 0 < y < H/2\} \quad (3)$$

최대값을 갖는 Y_1 축 상의 위치를 y_c 라고 하면 y_c 를 중심으로 그 그래프의 아래 방향으로 $IPF_h(y)$ 의 최소값을 갖는 위치를 y_a 라고 할 때 y_a 를 식 (4)로부터 구할 수 있다. 또한 윗 방향으로의 $IPF_h(y)$ 의 최소값을 갖는 위치를 y_b 라고 할 때 y_b 를 식 (5)로부터 구할 수 있다.

$$IPF_{min}(y_a) = \min\{IPF_h(y) \mid 0 < y < y_c\} \quad (4)$$

$$IPF_{min}(y_b) = \min\{IPF_h(y) \mid y_c < y < 2y_c\} \quad (5)$$

따라서 임의의 이미지의 눈 영역은 수직 축으로는

아래 눈꺼풀 가장자리 y_a 로부터 윗 눈꺼풀 가장자리 y_b 까지로 수직 폭 $d = y_b - y_a$ 로 나타낼 수 있다.

N 개의 2차 화상 I 의 i 번째 이미지를 I_i 로 표시하면, N 개의 이미지 집합은

$\{I_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, N\}$ 로 나타낼 수 있다, 예를 들

면 30fps 영상의 1분 동안의 총 프레임 수는 1,800 이므로 $N=1,800$ 이 되고 15fps 영상에 대해서는 $N=900$ 이 된다.

식 (4)로부터 I_i 에 대한 y_a 를 y_{ai} 로 표시하고 N 개의 이미지 중에 눈뜬 상태에서의 y_{ai} 의 최소값을 y_{amin} 으로 표시하면

$$y_{amin} = \min\{y_{ai} \mid i = 1, 2, 3, \dots, N\} \quad (6)$$

가 된다.

또한, 식 (5)로부터 I_i 에 대한 y_b 를 y_{bi} 로 표시하고 N 개의 이미지 중에 눈뜬 상태에서의 y_{bi} 의 최대값을 y_{bmax} 로 표시하면

$$y_{bmax} = \max\{y_{bi} \mid i = 1, 2, 3, \dots, N\} \quad (7)$$

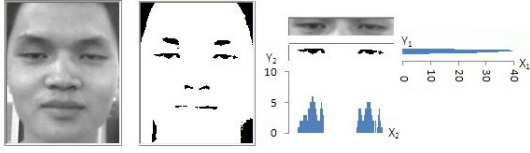
이 된다.

따라서 일정시간 동안 눈을 제일 크게 뜬 경우 눈의 크기 $d_{max} = y_{bmax} - y_{amin}$ 를 템플릿 값으로 정하고 추후 입력되는 이미지의 눈 영역의 세로 크기로 한다. 예를 들면 운전 시작 처음 2분 동안 눈을 제일 크게 뜬 경우를 기준 삼고자 한다면 15fps 영상일 경우 $N=1,800$ 개의 프레임 중 제일 큰 값 d_{max} 가 눈 영역의 세로 크기가 된다. 가로 크기는 주어진 얼굴 영역의 가로 크기 W 가 된다.

3. 눈 영역 특징 추출 및 눈 깜박임 검출

가로 크기 W 와 세로 크기 d_{max} 로 된 눈 영역 이미지에 대한 수직 투영 히스토그램은 <그림 3>의 각각 오른쪽 아래 그림과 같이 수평축 X_2 ($=x$)는 거리를 수직축 Y_2 ($=IPF_v(x)$)는 픽셀의 누적된 값을 나타낸다.

그러므로 $IPF_v(x)$ 의 최대값을 식 (8)과 같이 구할 수 있고 이 값은 눈뜬 상태에 따라 보이는 눈동자의 크기에 비례적임을 알 수 있다.



〈그림 3〉 눈 영역 이미지에 대한 수직 투영 히스토그램
(Fig. 3) Vertical projection histograms for eye region images

$$IPF_{vmax}(x) = \max\{IPF_v(x) \mid 0 < x < W\} \quad (8)$$

좌측 눈과 우측 눈의 최대 픽셀 수가 같지 않을 수 있으므로 좌우측 눈을 구별하여 좌측 눈의 x_L 에서의 $IPF_v(x)$ 의 최대값 $IPF_{vLmax}(x_L)$ 과 우측 눈의 x_R 에서의 $IPF_v(x)$ 의 최대값 $IPF_{vRmax}(x_R)$ 을 식 (9), (10)과 같이 구하고 그 평균값 IPF_{vmaxm} 을 식 (11)과 같이 정의한다.

$$IPF_{vLmax}(x_L) = \max\{IPF_v(x_i) \mid 0 < x_i < W/2\},$$

$$x_L = \{x_i \mid 1 \leq i\} \quad (9)$$

$$IPF_{vRmax}(x_R) = \max\{IPF_v(x_j) \mid W/2 < x_j < W\},$$

$$x_R = \{x_j \mid 1 \leq j\} \quad (10)$$

$$h \equiv IPF_{vmaxm} = (IPF_{vLmax}(x_L) + IPF_{vRmax}(x_R))/2 \quad (11)$$

N개의 2차 화상 I의 i 번째 이미지 I_i 에 대한 h를 h_i 라고 할 때 일정시간 동안의 N개의 이미지 중에서 뜬눈 h_i 의 최대값을 h_{max} , 최소값을 h_{min} , 최대값과 최소값의 차이를 h_{dif} 로 표시하면

$$h_{max} = \max\{h_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, N\} \quad (12)$$

$$h_{min} = \min\{h_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, N\} \quad (13)$$

$$h_{dif} = h_{max} - h_{min} \quad (14)$$

가 되고, y_{bmax} , y_{amin} 과 함께 템플릿 값이 된다.

이후 입력되는 이미지 I_i 의 h_i 값은 눈 영역의 특징 값으로서 템플릿 값과 비교되어 눈의 상태를 검출하기 위해 사용된다.

눈의 상태는 일반적으로 눈을 뜬 상태와 감은 상태가 있다. 추가적으로 눈을 뜬 상태에서 감은 상태로 또는 감은 상태에서 뜬 상태로 깜박일 때 애매모호한 중간 상태가 있다. 이러한 3가지 상태를 각각 a : 눈 뜬 상태, b : 중간 상태, c ; 감은 상태로 정의한다면, 일반적으로 눈 깜박이는 동작을 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 와 같은 패턴으로 나타낼 수 있다. 따라서 각 abcba 패턴은 각 한번의 눈 깜박임을 나타낸다.

눈의 감은 정도를 나타내는 파라미터인 PERCLOS (PERcentage of eye CLOSure)[14]는 눈이 최소 80% 닫힌 상태를 졸음 측정의 기준으로 정하고 있다. 따라서 눈을 제일 크게 뜬 템플릿 값에 비해 입력되는 이미지 I_i 의 눈이 50% 이상 뜬 상태를 a, 50% 미만 20% 이상을 b, 20% 미만을 c라고 하면 눈 뜬 정도를 식 (15)와 같이 h_i 의 함수 $f(h_i)$ 로 나타낼 수 있고, 이미지 I_i 의 상태 $g(I_i)$ 는 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(h_i) = 100(h_i - h_{min})/h_{dif} \quad (15)$$

$$g(I_i) = \begin{cases} a & \text{if } 50 \leq f(h_i) \\ b & \text{if } 20 \leq f(h_i) < 50 \\ c & \text{if } f(h_i) < 20 \end{cases} \quad (16)$$

따라서 일련의 이미지의 $g(I_i)$ 값들이 abcba와 같이 b에서 c로 또 c에서 b로의 시퀀스가 존재하면 눈 깜박임이 있음을 검출할 수 있다.

4. 졸음 검출 모델

눈의 상태 값들을 연속적으로 받아들이고 눈 깜박임을 인식 가능하며 졸음 검출이 가능한 유한오토마타를 다음과 같이 제안한다.

$$\text{유한 오토마타} : M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$$

$$\text{상태들의 유한 집합} : Q = \{S, A, B, C\}$$

$$\text{입력 심벌들의 집합} : \Sigma = \{a, b, c, e\}$$

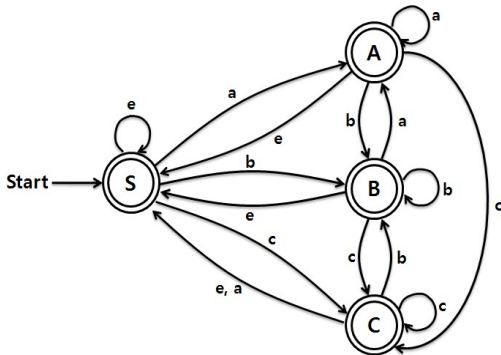
$$\text{전이함수(transition function)} \delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$$

$$\text{시작 상태} : q_0 = S \in Q$$

$$\text{최종 상태의 집합} : F = \{S, A, B, C\}$$

〈표 1〉 전이함수 δ 의 상태 전이표
 (Table 1) State transition table for the transition function δ

δ		입 력			
		a	b	c	e
상 태	S	A	B	C	S
	A	A	B	S	S
	B	A	B	C	S
	C	S	B	C	S



〈그림 4〉 졸음 검출 모델
 (Fig. 4) Drowsiness detection model

입력 심벌 a는 눈 뜬 경우를, b는 중간을, c는 눈 감은 경우를 나타내고 e는 a, b, c를 제외한 모든 입력을 나타낸다.

제안된 모델은 입력 심벌 e를 둠으로써 어떠한 잘못된 이미지가 입력될 경우라도 중단 없이 정상적으로 동작될 수 있도록 하였으며 모든 상태에서 종료 가능토록 하여 시스템의 오작동을 방지하였다.

입력 c인 프레임이 입력되는 순간, 상태 C로 가면서 c 프레임 수를 카운트하여 졸음 판단을 위한 임계시간 값에 해당하는 프레임 수와 비교하여 작으면 단순히 눈 깜박임으로 판단하고, 같거나 초과 시에는 졸음 상태로 간주하여 졸음 경고 신호를 출력시킨다. 이후 지속적인 졸음여부를 체크하고 계속 c 프레임이 임계시간 값의 2배에 해당하는 프레임 수가 입력될 경우에는 수면상태로 판단하여 상응하는 조치를 취한다.

상태 B와 상태 C 사이로만 계속 오가는 여러 가지 패턴에 따른 졸음의 전조 또는 졸음 상태 여부에 관한 것은 본 연구의 범위 밖으로 하고, 본 연구

에서는 상태 C로 오는 c 프레임 수로만 졸음 여부를 검출하도록 한다.

Caffier의 연구[15]에 의하면 전형적인 눈 깜박임 지속시간(blink duration)은 최소 75ms에서 평균 400ms 미만으로 보고되고 있다. 이것을 근거로 눈 감은 상태가 400ms 이상이면 졸음으로, 800ms 이상이면 수면(sleep)상태로 간주할 수 있다. 따라서, 30fps의 카메라 영상 입력은 한 프레임당 1/30초가 소요되므로 만일 12개 이상의 연속된 입력 심벌 c가 졸음 검출 모델에 입력될 경우 졸음상태로 검출되어진다.

그러므로 졸음 판단을 위한 임계시간 값을 $T_d = 400ms$, 수면 판단을 위한 임계시간 값을 $T_s = 800ms$, 눈 깜박임 지속시간을 T_b 로 표시하면 졸음에 대한 수준을 다음 표와 같이 3가지 수준으로 나타낼 수 있다.

자동차가 90Km/h로 주행시 T_d 동안 10m 거리를, T_s 동안 20m 거리를 달리므로 운전자에게 경고 신호를 보내기에는 충분한 시간임을 알 수 있다.

〈표 2〉 졸음 수준
 (Table 2) Drowsiness level

졸음 수준	지속시간
깨어 있는 상태	$T_b < T_d (=400ms)$
졸음 상태	$T_d < T_b < T_s (= 800ms)$
수면 상태	$T_s < T_b$

IV. 실험 결과 및 고찰

실험을 위해 눈 깜박임에 관한 연구를 위해 만든 ZJU Eyeblink Database[16]와 얼굴 검출을 위해 OpenCV[12]에서 제공되는 소프트웨어를 이용하였다.

이용된 ZJU DB는 Logitech Pro5000의 일반적인 웹 카메라를 이용하여 눈 깜박임 비디오 데이터베이스를 20명으로부터 각자 4클립 씩 모두 80개의 클립으로 구성된 것으로 그중 40개가 안경 쓴 경우이다. 각자의 4개의 클립은 안경 없이 정면을 본 경우, 열은 안경테를 끼고 정면을 본 경우, 검정테 안

경을 끼고 정면을 본 경우, 안경 없이 위를 향해 본 경우로 각 한 클립씩으로 구성되어 있다. 각 비디오 클립은 30fps, 320 x 240 크기로 약 5초간 찍은 것으로 총 11,750 프레임으로 구성되어 있다. 클립 당 눈 깜박임 회수는 1~6회 이고 총 255회 이다. 실험을 위하여 눈 감은 상태의 프레임을 복사하여 덧붙임으로써 눈 감은 상태의 연속 프레임 수를 확장하여 졸음 검출이 가능하도록 하여 실험하였다.

C 언어를 이용하여 프로그램하였고 제안된 졸음 검출 모델의 시뮬레이션을 위하여 JFLAP(Java Formal Language and Automata Package)[17]을 이용하여 유한오토마타를 구성하여 실험하였다. JFLAP에 의한 졸음 검출 오토마타는 심벌 c가 12개 이상의 연속적으로 입력된 모든 입력 시퀀스에 대해 100% 정확하게 졸음상태로 검출되었다.

눈 감은 상태인 c 상태의 정확한 검출이 전체 정확도를 결정하므로 눈 깜박임 검출을 평가 파라미터로 하여 ZJU DB의 안경 낀 경우 40개를 포함한 80개의 비디오 클립 모두를 실험하였고, 그 결과를 Danisman[8]의 눈동자의 상하 대칭 특성을 이용한 방법과 비교하여 <표 3>에 나타내었다.

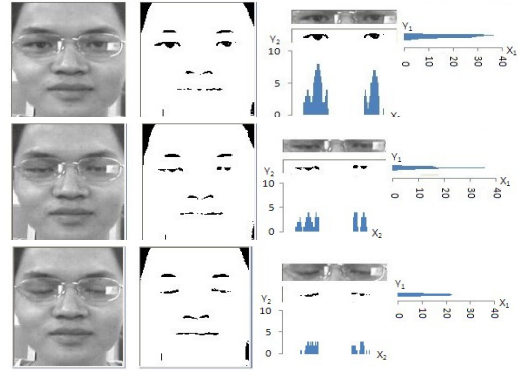
<표 3> 대칭특성을 이용한 Danisman의 방법과 제안된 방법의 실험 결과 비교

<Table 3> The experimental results comparison between the proposed method and the Danisman's method using the symmetry property

평가 항목	제안된 방법	대칭특성을 이용한 Danisman의 방법
정확도(precision)	93.5 %	90.7 %
호출도(recall)	73.1 %	71.4 %
FPR	1 %	1 %

<그림 5>는 열린 테 안경을 쓴 경우의 눈 뜬 상태(a 상태), 중간 상태(b 상태), 눈 감은 상태(c 상태)를 나타내고 있고 <그림 6>은 검은테 안경을 쓴 경우의 눈 a, b, c 상태를 나타내고 있다.

<그림 5>와 <그림 6>에서 보인바와 같이 수평 투영 히스토그램의 특성을 이용하여 눈동자가 있는 영역만을 구한 후 그 영역에 대해서만 수직 투영 히스토그램을 취하여 눈 감은 여부를 판별함으로써



<그림 5> 열린 테 안경을 쓴 경우 : 눈뜬 상태(a상태) 중간 상태(b상태), 눈감은 상태(c상태)
<Fig. 5> Faces wearing thin rim glasses : opening eye state (a state), intermediate state (bstate), closing eye state(c state)

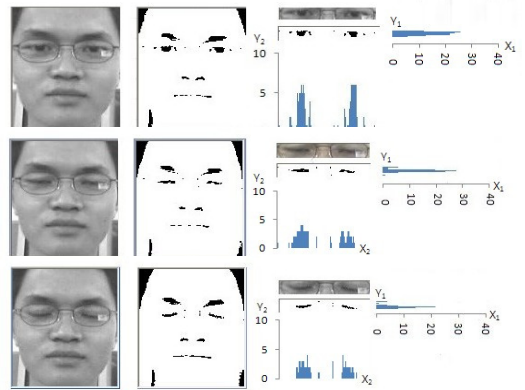


그림 6) 검은 테 안경을 쓴 경우 : a상태, b상태, c상태
<Fig. 6> Faces wearing black-framed glasses : a state, b state, c state

눈썹이나 안경테와 같은 외부 영향을 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 눈 깜박임 패턴을 이용한 새로운 졸음 검출 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해서 유한오토마타를 이용한 졸음 검출 모델을 제안하여 눈감은 상태를 나타내는 입력 심벌의 개수만을 체크함으로써 눈 깜박임, 졸음, 수면 검출 등을 용이하게 하였다. 또한 수평 투영 히스토그램의 특성을 이용

하여 눈동자가 있는 영역만을 구해 수직 투영 히스토그램을 취함으로써 눈썹이나 안경테와 같은 외부 영향을 최소화 시켜 정확도를 높였다. ZJU 눈 깜박임 데이터베이스를 이용한 실험 결과 93.5%의 정확도로 눈 깜박임을 검출함으로써 제안된 방법이 최근 눈동자의 대칭 특성을 이용한 방법보다 우수함을 보였다.

제안된 졸음 검출 방법은 환경 변화에 강인한 졸음운전 예방시스템에 적용 가능하며 2차 화상을 이용하므로 IR 카메라를 사용해야하는 야간의 졸음운전 검출에 더 적합하다고 할 수 있다. 앞으로 실제 환경에서의 머리 움직임, 졸음 형태, 야간 주행 등과 관련한 졸음 검출에 관한 많은 연구들이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국도로공사 블로그 길인세상, <http://blog.naver.com/openex?Redirect=Log&logNo=60105079742>, January 2011.
- [2] 교통안전공단 공식블로그 자동차 안전 지킴이, <http://blog.naver.com/autolog?Redirect=Log&logNo=10101815052>, January 2011.
- [3] C. C. Liu, S. G. Hosking and M. G. Lenne, "Predicting driver drowsiness using vehicle measures : Recent insights and future challenges," *Journal of Safety Research*, vol.40, no.4, pp.239~245, Aug. 2009.
- [4] P. R. Tabrizi and R. A. Zoroofi, "Drowsiness detection based on brightness and numerical features of eye images," *2009 Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, pp.1310~1313, 2009.
- [5] M. Suzuki, N. Yamamoto, O. Yamamoto, T. Nakano and S. Yamamoto, "Measurement of driver's consciousness by image processing - a method for presuming driver's drowsiness by eye-blinks coping with individual differences-," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol.10, pp.2891~2896, 2006.
- [6] Z. Zhang and J. Zhang, "Driver fatigue detection based intelligent vehicle control," *The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, vol.8, pp.1262~1265, 2006.
- [7] M. H. Sigari, "Driver hypo-vigilance detection based on eyelid behavior," *Seventh International Conference on Advances in Pattern Recognition*, pp.426~429, 2009.
- [8] T. Danisman, I. M. Bilasco, C. Djeraba and N. Ihaddadene, "Drowsy driver detection system using eye blink patterns," *IEEE 2010 International Conference on Machine and Web Intelligence (ICMWI)*, pp.230~233, 2010.
- [9] D. Liu, P. Sun, Y. Xiao and Y. Yin, "Drowsiness detection based on eyelid movement," *Second International Workshop on Education Technology and Computer Science*, pp.49~52, 2010.
- [10] G. Pan, L. Sun, Z. Wu and S. Lao, "Eyeblink-based anti-spoofing in face recognition from a generic webcam," *The 11th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'07)*, Rio de Janeiro, Brazil, pp.1~8, October 14-20, 2007.
- [11] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple feature," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.12, pp.I-511~I-518, 2001.
- [12] <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>, Jan. 2011.
- [13] F. Wang, M. Zhou and B. Zhu, "A novel feature based rapid Eye state detection method," *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Guilin, China, pp.1236~1240, Dec. 2009.
- [14] D. Dinges, "PERCOS: a valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance," *Federal Highway Administration, Office of Motor Carriers, Technical Report, MCRT-98-006*, 1998.
- [15] P. P. Caffier, U. Erdmann and P. Ullsperger, "The

spontaneous eye-blink as sleepiness indicator in patients with obstructive sleep apnoea syndrome-a pilot study," *Sleep Medicine*, vol.6, no.2, pp.155~162, 2005.

[16] ZJU Eyeblink Database, <http://www.stat.ucla.edu/~gpan>, December 2010.

[17] <http://www.jflap.org/>, December 2010.

..... <저자소개>



최 기 호 (Choi, Ki-Ho)

1979년 3월 ~ 현 재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

2006년 1월 ~ 2006년 12월 : 한국멀티미디어학회 회장

2005년 1월 ~ 2005년 12월 : 한국 ITS 학회 회장

1977년 3월 ~ 1979년 2월 : 한국과학기술연구원(KIST) 전자공학부 연구원

1987년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학박사

1977년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학석사

1973년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학사