

영상처리를 이용한 졸음운전 감지 시스템

김남균*, 김법중**, 박상수**, 유충기**

*전북대학교 의과대학 의공학교실, ** 전북대학교 대학원 의용생체공학과
(1998년 5월 18일 접수, 1998년 11월 10일 채택)

A Detection System of Drowsy Driving using Computer Vision Method

N.G. Kim*, B.J. Kim**, S.S. Park**, C.K. You**

*Dept. of Biomedical Engineering, Medical College, Chonbuk National University
**Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University*

(Received May 18, 1998, Accepted November 11, 1998)

요 약 : 본 논문에서는 컴퓨터 비전 방식을 이용하여 운전자의 졸음 감지 시스템 개발에 관해 연구하였다. 적외선 LED와 CCD 카메라를 통해 얻은 실제 운전중의 운전자 영상에서 영상처리 기법을 이용하여 약 85%의 성공률로 눈을 추출하고, 추출한 눈의 특징과 위치에 기초하여 실시간으로 눈을 추적하였다. 영상처리 속도는 14 frames/sec로서 눈 추출이 성공한 경우에는 모든 눈 깜박임을 검출할 수 있었다. 피검자의 영상처리 결과를 통해 졸음 상태의 깜박임 시간이 각성 상태에서의 깜박임 시간보다 길고, 일정시간 동안의 깜박임 횟수가 졸음상태에서 더 많음을 확인할 수 있었다.

Abstract : The purpose of this paper is to detect the drowsiness of a driver using the computer vision technology. We could extract an eye of a driver from dynamic image got through an infrared LED and a CCD camera. Also we could have tracking the extracted eye at real time and measuring all eye blinks. The subjects in drowsy state showed longer blink duration than those in normal state. And blink frames per constant time was found more in the drowsy subjects' image processing results than in the normal subjects'

Key words : drowsiness, eye blinks, computer vision technology

서 론

졸음 운전은 현재 교통 사고의 주요 원인으로 인식되고 있다. 실제로 외국의 예를 살펴보면 1992년 프랑스와 호주에서 발생한 교통사고 중 졸음과 피로로 인한 사고가 각각 25~27%, 43%에 이른다고 한다[1-3]. 졸음 운전의 원인으로는 과로, 수면 부족, 약물복용, 단조로운 운전 등이 있다. 특히, 고속도로 운전이나 교통체증으로 인한 장시간 단순반복 운전은 생리적 긴장완화를 초래하여 졸음을 촉발한다. 졸음 운전은 운전자가 느끼지 못하는 도중에 발생하는 경우가 많다. 또 운전자가 심리적으로 약간의 졸음을 느끼는 상태에서는 바로 휴식을 취하기보다는 계

속 주행하는 경향이 많아 사고로 이어지기 쉽다. 기술의 발전으로 도로 환경이 정비되고 차량 성능이 향상됨에 따라 운전자는 보다 쾌적한 주행 상태를 얻을 수 있는 반면 단조로운 주행 환경 하에서 운전할 기회가 증가하고 있다[4]. 또한 자동차의 정보화로 인해 디스플레이, 오디오, 전화 등의 정보 기기가 증가함으로써 운전자의 주의력 저하가 예상된다[5]. 따라서, 운전자의 주의력 및 각성 수준을 감지하고 향상시킬 수 있는 시스템 개발이 요구된다.

운전자 졸음 감지를 위한 방법으로는 생체신호의 변화를 측정하여 판단하는 방식, 핸들 조작패턴 분석 방식, 소형 카메라를 이용한 눈꺼풀 움직임 추적 방식이 있다[6-9]. 첫 번째 방식은 뇌파 및 심전도 등의 생체신호를 분석하여 졸음을 판단하는 방식으로 정확성이 높으나 전극을 운전자에 부착하기 때문에 실용성이 낮다. 두 번째 방식은 위험 순간이나 졸음 등으로 인해 정

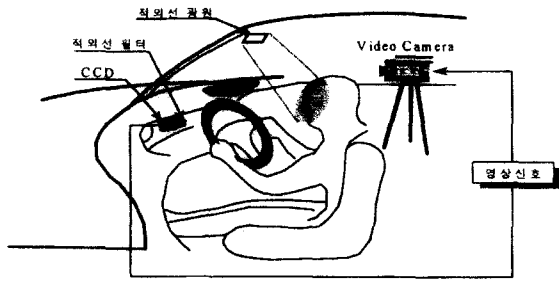


그림 1. 실차 운전자 영상 획득
Fig. 1. Image acquisition of a driver

상적인 운전이 불가능한 운전자에게서 나타나는, 운전대를 급격히 돌리는 경향을 이용한 방법이다. 이 방식은 일반화가 어렵고 추출 시간이 사고 순간 전후이기 때문에 실제 졸음 감지적용에 문제가 있다. 세 번째 방식은 실시간 영상처리 방법으로 운전자가 각성상태에서 졸음상태로 진행하게 되면서 나타나는 행동적 변화, 즉 눈꺼풀의 움직임을 추적, 분석하여 졸음을 감지하는 비접촉방식으로 실용성이 가장 높다. 각성저하가 나타나고 졸음에 이르게 되면 눈꺼풀의 속도가 저하되고 정상상태보다 눈꺼풀이 내려오게 된다. 또한, 졸음초기 상태에서는 일정 시간당 깜박임 횟수가 증가하다가 졸음이 더욱 진행하게 되면 깜박임 횟수가 줄면서 눈을 감고 있는 시간, 폐안 시간(blinking duration)이 증가하게 된다.

본 논문에서는 적외선 LED와 CCD 카메라(제조회사 : WATEC, 제품명 : WAT-502A, 크기 : 30mm(W)×30mm(H)×46mm(L), 성능 : black and white 1/3 inch CCD pick-up element with 280K pixels, Minimum illumination : 0.05 lux at f 1.2)를 통

해 얻은 실제 운전중의 운전자 영상에서 눈을 추출하고, 추출한 눈의 특징과 위치에 기초하여 실시간으로 눈을 추적하면서 눈 깜박임을 검출할 수 있는 알고리즘을 구현하였다.

실험방법

1. 영상 획득 방법

그림 1과 같이 실차 운전중의 운전자 영상을 CCD 카메라를 통해 획득한 후 8mm 비디오 테이프에 저장하였다. 보다 정확하고 안정된 영상처리를 위해 850nm의 장대역 통과 필터(long-pass filter)와 약 950nm의 적외선 LED를 사용하여 야간의 어두운 조명상태를 극복하고, 주간의 강한 햇빛으로 인해 발생하는 영상의 잡음을 제거할 수 있도록 하였다. 파장대가 370~740nm 인 가시광선보다 파장이 긴 적외선은 수정체(lens)에서 흡수되어 망막(retina)에 이르지 못하여 보지 못하기 때문에 운전자가 광원을 의식하지 않고 운전에 임할 수 있게 한다[10]. 또한 레이저 다이오드(laser diode)가 아닌 일반 적외선 LED를 사용할 경우 그 세기가 비교적 약하기 때문에 인체에 특별한 피해가 없다.

2. 영상 처리 알고리즘

그림 2에 전체적인 영상 처리 알고리즘의 과정을 보인다. 그림 (a)는 적외선 필터가 부착된 CCD 카메라를 통해 획득한 피검자의 영상이다. 처리 속도와 추출의 정확도를 높이기 위해 피검자 이미지로부터 얼굴영역만을 잘라내고(그림 (b)), 여기서 경계선 추출 알고리즘을 적용한 후, 이진화와 세선화 처리를 통해 경계선을 추출한다(그림 (c)). 그림 (d)는 눈 영역에 분포한

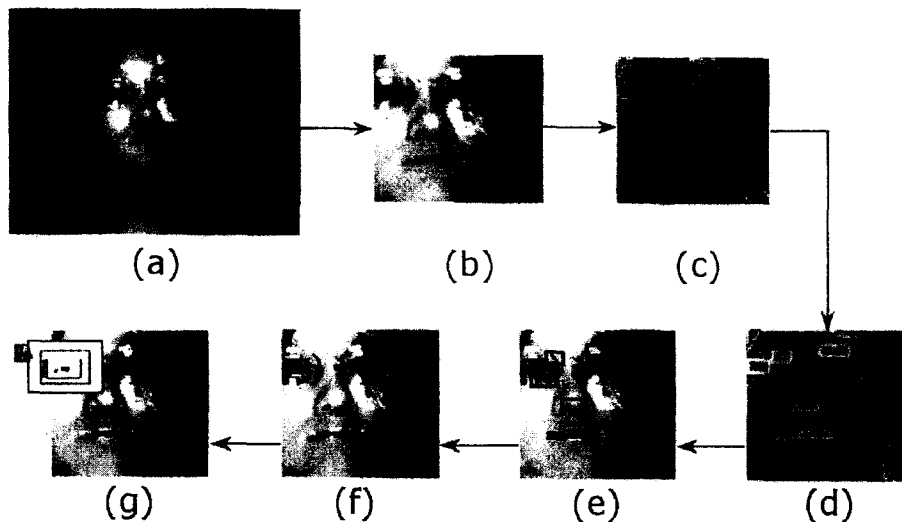


그림 2. 영상 처리 과정
(a) 원 이미지 (b) 얼굴영역 검출 (c) 경계선 검출 (d) 눈 후보 추출 (e) 눈 검색 (f) 눈 검출 (g) 추적 장면

Fig. 2. Procedure of Image Processing

(a) Original image (b) Face region (c) Boundary line (d) Eye candidates (e) Eye search (f) Eye detection (g) Eye tracking



그림 3. 이미지 명암차의 이진화
Fig. 3. Getting binary image from the difference between two image

화소수에 근거하여 눈 후보를 추출한 결과이다. 눈 후보의 모양 특성과 명암 특성에 근거한(그림 (e)) 눈 추출 결과를 그림 (f)에 보인다. 눈의 깜박임 정보를 이용한 졸음 감지를 위해 추출한 눈의 위치정보 등을 이용하여 14 frames/sec의 속도로 눈을 추적한다(그림 (g)).

1) 얼굴 영역 추출

소형 CCD 카메라를 차체에 부착하여 운전자 영상을 획득할 경우, 도로에 따라 다소 차이가 있지만 운전자의 배경변화는 매우 적은 반면 운전자 자신의 위치 변화는 상대적으로 크게 나타난다. 식 (1)은 동적 영상에서 시간 t_2 에서 (x_1, x_2) 위치의 화소와 t_1 에서 같은 위치의 화소사이 명암차 f_d 를 구하는 수식이다.

$$f_d(x_1, x_2; t_1, t_2) = f(x_1, x_2; t_2) - f(x_1, x_2; t_1) \quad (1)$$

위에서 구한 두 이미지 사이의 명암차에 경계치 T_d 를 적용하여 상대적으로 움직임이 많은 영역을 백색으로 움직임이 적은 부분을 흑색으로 하는 영상결과를 구하였다. 식 (2)는 이를 수식화한 것인데, 255는 백색이고, 0은 흑색이다.

$$f_d(x_1, x_2; t_1, t_2) = \begin{cases} 255 & \text{if } f_d(x_1, x_2; t_1, t_2) \geq T_d \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

그림 3은 위와 같은 과정을 거쳐 두 영상사이의 명암차를 구하고 이를 이진화한 결과를 보여준다. 그림에서 보이는 것처럼 일정 간격으로 획득한 두 영상의 차는 배경보다는 운전자의 움직임을 지목하게 된다.

위의 결과로부터 얼굴영역을 추출하기 위해서는 그림 4와 같이 160x170 크기의 윈도우를 좌상에서 우하 방향으로 이동시키면서 윈도우내 화소수가 가장 많은 위치의 영역을 얼굴 영역으로 설정하였다. 그림 4에서 (a)는 본 처리의 개략도 이고, (b)는 실제 탐색과정을 보여준다. (c)는 이러한 과정을 거쳐 최종적으로 추출한 얼굴영역의 그레이 영상이다.

추출된 얼굴영역의 임의 픽셀에 대한 소벨(sobel) 연산 결과를 구하고 이에 경계치를 적용하여 경계치보다 작으면 배경으로 처리하고, 경계치보다 크면 추출된 얼굴영상의 화소값을 소벨 결과로 대체하였다. 이를 다시 이진화한 후 세선화(thinning)처리를 사용하여 폭이 1인 경계선을 검출하였다. 그림 5는 이러한

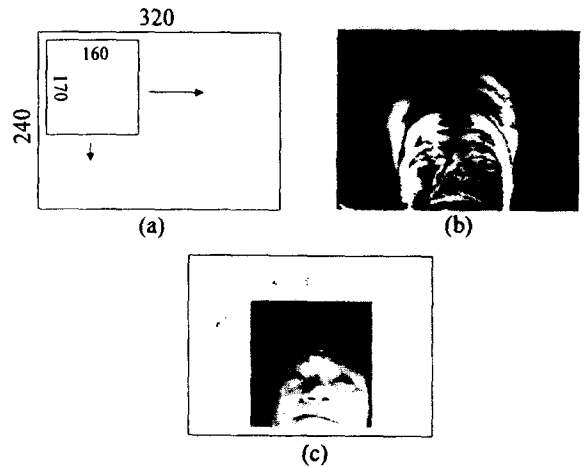


그림 4. 얼굴 영역 추출
Fig. 4. Extraction of the face region

과정을 나타내었다. (a)는 추출된 얼굴영역을 소벨 처리한 결과이고 (b)는 소벨 결과에 경계치, 100을 적용하여 영상을 이진화한 결과이며 (c)는 이를 다시 세선화한 결과이다. 세선화는 조명등의 외부 환경에 민감한 윤곽선 굵기를 동일한 굵기의 선(1 화소의 폭)으로 정리하는 방법으로 소벨 처리 등으로 획득한 영상을 보다 일정한 경계선 영상으로 바꿔준다. 본 영상처리에서는 Zhang-Suen 세선화 방법을 사용하였다[11].

2) 눈 추출

소벨 연산, 이진화 그리고 세선화를 통한 전처리 과정을 거친 후, 본격적인 안구 추출을 위한 후처리 과정은 다음과 같다. 그림 6 (a)는 전처리가 완료된 영상이다. 이 영상에 대략적인 눈의 가로세로 크기인, 25x16의 눈 후보 추출 윈도우를 좌상에서 우하 방향으로 움직이며 후보 윈도우내 화소수가 70개 이상인 지점을 눈 후보 위치로 선정하였다[12]. 이러한 방식으로 선정된 눈 후보는 보통 400~900개 정도가 되는데 검색 방향이 좌상에서 우하 방향이기 때문에 후보수를 700개로 제한하였다. 그림 6 (b)는 이와 같은 방법을 이용하여 추출한 눈 후보들을 보여준다.

400~700개 사이의 후보 윈도우에서 눈의 특성에 가장 근접한 1개의 눈 후보를 찾기 위한 첫 단계로써 눈 후보내의 화소

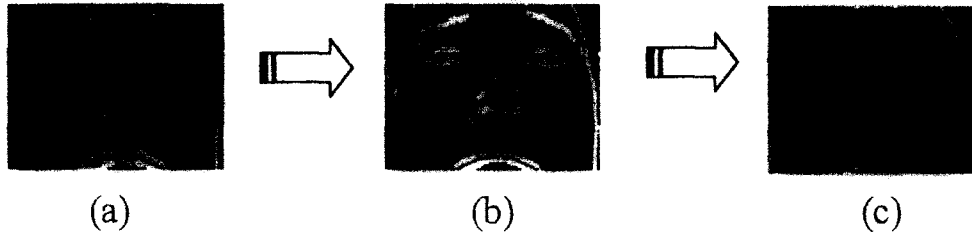


그림 5. 세선화
Fig. 5. Thinning



그림 6. 눈 후보 검색
Fig. 6. Search for eye candidates

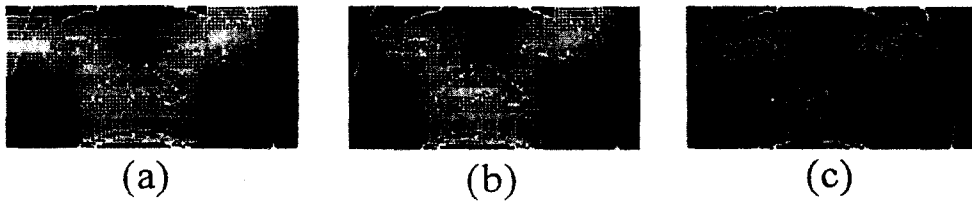


그림 7. 화소 분포를 이용한 눈 후보 제거
Fig. 7. Removal of eye candidates using the distribution of pixels

분포를 조사하여 화소 분포가 눈 후보 중심 보단 외곽에 치우칠 경우 후보 윈도우를 제거하는 알고리즘을 구현하였다. 이는 후보 윈도우내의 화소 분포가 한쪽으로 치우쳐 있거나 얼굴 윤곽선이 나 머리카락 경계선에 걸쳐 있는 후보 윈도우를 제거하기에 용이한 방법이다. 그림 7에 이러한 방법을 이용하여 후보 윈도우를 제거하는 과정을 나타내었다. 그림 7 (a)는 화소수에 근거하여 추출한 전체 눈 후보이고, (b)는 윈도우를 좌우방향으로 각각 2 픽셀씩 줄이고, 이때의 화소수와 원래 윈도우내의 화소수의 비가 85% 미만인 윈도우, 즉 후보 윈도우내의 화소가 좌우 한쪽에 치우쳐 있는 경우를 제외한 결과이다. 상하방향으로는 후보 윈도우를 각각 1픽셀씩 줄이고, 이때의 화소수와 원래 윈도우내의 화소수의 비가 95% 미만인 윈도우는 제거하였다 (그림 (c)).

경계선의 모양, 크기, 길이 등의 특성을 얻어 경계선이 취하고 있는 형태를 알기 위해 각 후보 윈도우내의 화소를 라벨링(la-beling) 하였다[13]. 후보 윈도우내의 경계선은 대부분 2개 이상의 화소 세그먼트로 구성되어 있는데, 화소의 크기(세그먼트

의 화소수)가 가장 큰 세그먼트를 그 후보 윈도우를 대표하는 세그먼트로 간주하여 윈도우를 대표 세그먼트 크기에 맞게 줄였다(그림 8 (a)). 눈을 나타내는 경계선은 조명등의 영향으로 인한 불규칙성과 사람마다 다른 모양 등으로 완전한 타원 형태는 아니지만 타원과 유사한 형태를 가지고 있다. 이에 근거하여 세그먼트 중앙의 높이(그림 8 (b)의 (2))와 세그먼트 좌우에서 픽셀 3만큼 이동한 위치에서의 높이(그림 8 (b)의 (1), (3))를 비교하여 눈에 적절치 않은 후보 윈도우를 제거하였다(그림 8 (c)). 그림 8 (c)에 볼 수 있듯이 눈 후보들은 보통 양 눈과 입, 코, 눈썹에 물려 있다. 따라서 비슷한 위치의 눈 후보들을 통합하게 되면 얼굴의 각 구성요소(눈, 코, 입 등)를 포함하는 윈도우를 얻을 수 있다(그림 8 (d)).

지금까지는 눈의 형태학적인 특성을 이용하여 눈 후보를 제거 하였지만, 아래의 과정은 눈의 동공과 결막(흰자위)의 독특한 명암 분포 특성을 이용하여 최종적으로 눈을 찾는 단계이다. 그림 9 (a)는 눈의 형태학적 특성을 이용하여 400~700개의 눈 후보들을 걸러내고 남은 눈 후보이다. 이 단계까지 남아 있는

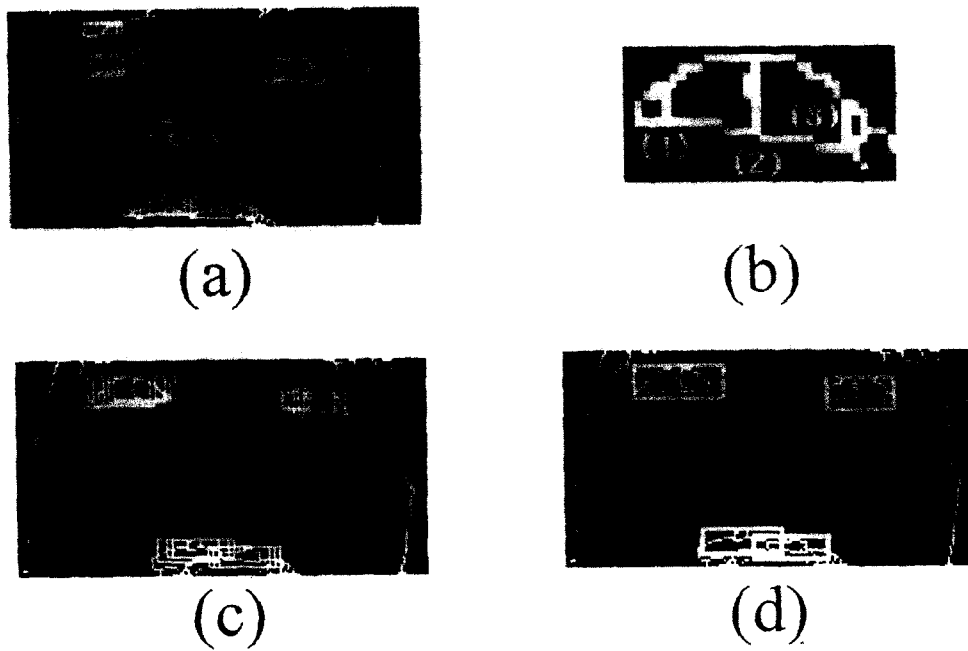


그림 8. 모양 검증을 통한 눈 후보 제거
 Fig. 8. Removal of eye candidates through the verification of the shape

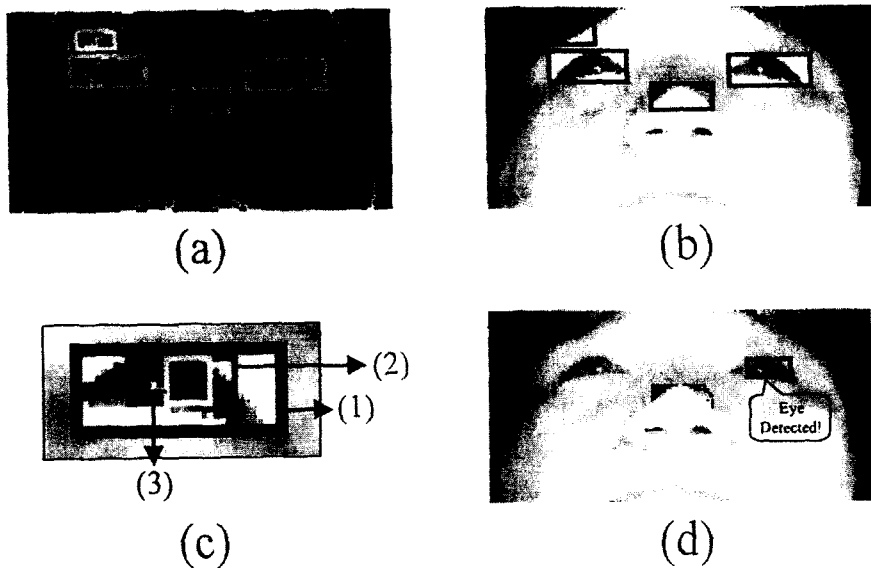


그림 9. 명암 특성에 의한 눈 검출
 Fig. 9. Detection of an eye by the light and darkness property

후보들은 대개 눈, 눈썹, 코, 입 주위에 위치하고 있는 경우가 많다. (b)는 이진 영상을 256 수준의 영상으로 교체한 영상이다. 본 영상처리에서는 256 해상도의 320×240 크기 이미지를 저장할 수 있는 메모리 공간을 두 개 할당하여, (a)와 같은 이진 영상과 (b)와 같은 256 수준의 영상을 각각 처리할 수 있도록 하였다. 동공영역에 해당하는 흑색 영역과 결막영역에 해당하는 백색 영역을 구분하기 위해 흑, 백 경계치를 설정하였다.

흑 경계치는 동공이 눈 후보 윈도우에서 차지하는 비율이 대략 20% 정도임을 감안하여 전체 화소수에서 20%의 화소를 포함하는 흑색 경계치로 하였다. 또한 결막이 눈 후보 윈도우에서 차지하는 영역이 약 60%임을 가정하여 전체 화소수에서 60%의 화소를 포함하는 백색 경계치로 하였다. 그러나, 위와 같은 처리 결과 실제로 눈에서 나타나는 흑·백 영역의 분포는 조명과 눈의 형태에 영향을 받아 동공과 결막의 구분보다는 조명을 받아 밝



그림 10. 눈 추적 영역
Fig. 10. Tracking region of an eye

게 나타나는 피부와 동공을 포함하는 눈 내부의 그림자 영역으로 구분되었다(그림 9 (c)). 후보 윈도우 내에 흑색 영역을 라벨링하여 크기(화소수 개수)가 가장 큰 세그먼트 크기에 맞게 윈도우를 줄였다(그림 9 (c) (2)). 동공이 원 모양임을 가정하여 축소된 윈도우의 높이와 같은 폭을 가진 윈도우를 구성하여 흑 세그먼트의 좌우 방향으로 이동시키며 가장 많은 흑색 화소를 포함하는 위치에 고정시켰다(그림 9 (c) (3)). 여기서 눈을 특징 지을 수 있는 파라미터를 그림 9 (c)의 윈도우 (2)가 포함하는 흑색 화소수대 윈도우 (3)이 포함하는 흑색 화소수의 비율 R 과 윈도우 (3)의 면적 대 윈도우 (3)이 포함하는 흑색 화소수, 즉 윈도우 (3)내의 흑색 화소수의 밀도 ρ 를 사용하였다. 각 후보 윈도우에 대해 위의 처리 후, R 이 0.6, 그리고 ρ 가 0.7 이상인 윈도우를 걸러내었다. 마지막으로 일정한 명암분포를 보이는 눈썹과 입에 걸쳐 있는 눈 후보를 걸러내기 위해 각 후보 윈도우의 흑색 경계치와 백색 경계치의 차가 가장 큰 윈도우만을 남겨 이를 눈으로 간주하였다. 그러나, 눈의 형태학적 특성을 이용해서 콧구멍을 걸러내지 못한 경우 이와 같은 명암 특성을 이용한 눈 추출에서 콧구멍을 눈으로 찾는 경우가 종종 있었다. 그림 9 (d)는 위와 같은 과정을 거쳐 눈을 추출한 결과이다.

3) 눈 추적

추출한 눈의 위치, 흑 세그먼트(segment)의 크기 및 가로·세로 특징에 기초하여 눈을 추적할 수 있는 알고리즘을 작성하였다. 추적 영상은 이전 영상인데, 영상의 이진화를 위한 경계치는 마지막 눈 추출 과정에서 얻은 흑색 경계치를 사용하였다.

눈은 계속 깜박이기 때문에 모양이 일정치 않고, 운전중의 진동과 움직임으로 인해 위치가 수시로 변한다. 그러나, 고속도로 등과 같이 단조로운 운전 패턴을 보이는 환경에서는 영상처리 속도가 높을 경우 프레임간 눈의 움직임은 범위와 속도가 그리 크지 않다. 따라서 다음 프레임의 눈 위치를 현재의 눈 위치 근처와 같다고 추정하여 추정 위치를 중심으로 눈의 탐색 윈도우를 식 (3)과 같이 설정하고, 추정위치로부터 탐색 범위를 점차적으로 넓혀가며 흑 세그먼트를 검출하였다(그림 10).

$$\begin{cases} S_w = 2 \times I_w \\ S_H = 1.5 \times I_H \end{cases} \quad (3)$$

(S_w : 탐색 윈도우의 폭, S_H : 탐색 윈도우의 높이, I_w : 초기 눈의 폭, I_H : 초기 눈의 높이)

흑 세그먼트를 찾았을 경우 첫 프레임에서 얻은 눈 영역의 흑 세그먼트 면적과 가로세로 크기에 적합한지를 조사하였다. 먼저 추출한 흑 세그먼트의 크기가 첫 프레임에서 구한 흑 세그먼트의 크기보다 2배 이상일 때 눈이 아니라고 판단하고 탐색윈도우를 확장하여 다른 세그먼트를 찾았다. 같은 방법으로 추출한 흑 세그먼트의 가로 크기가 세로크기보다 클 때 - 일반적으로 눈의 가로가 세로보다 큼을 고려함 - 눈이 아니라고 판정하고 다른 흑 세그먼트를 찾도록 하였다. 눈을 감은 경우 눈 부위에 흑 세그먼트가 전혀 없거나, 있더라도 높이가 매우 작은 흑 세그먼트

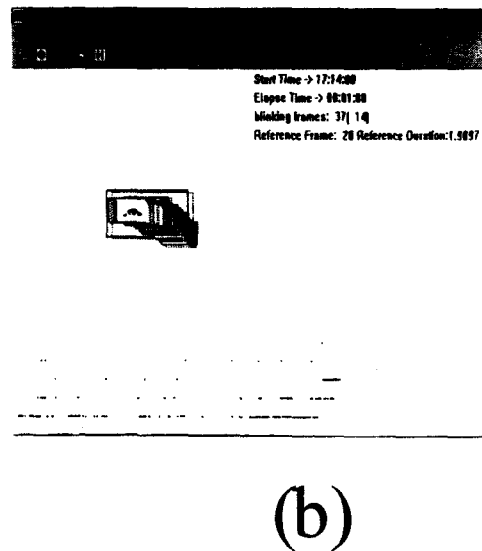
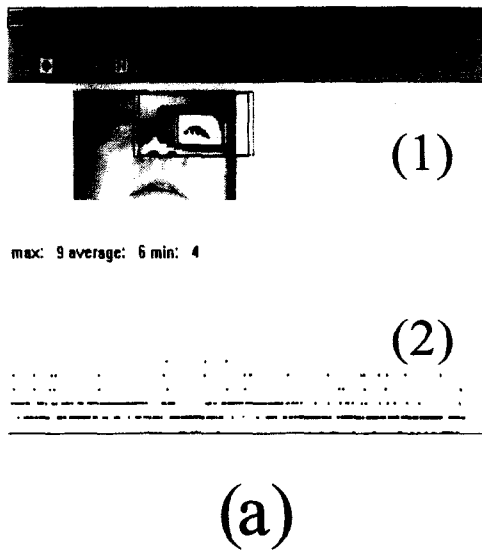


그림 11. 눈 깜박임 파라미터 측정
Fig. 11. Measurement of the parameter of the eye blink

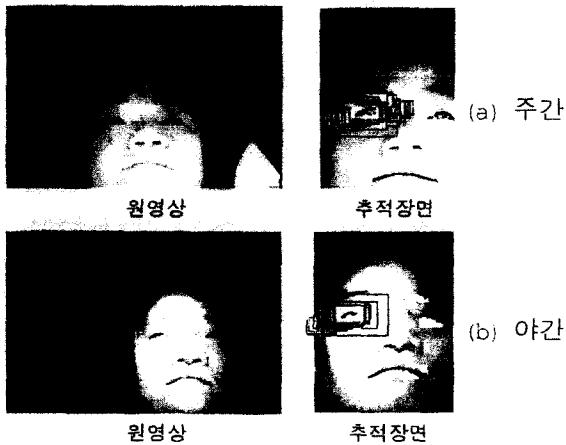


그림 12. 주행중의 운전자 영상처리 결과
 Fig. 12. Result of image processing of a driver

가 남는다. 이 중 눈을 나타내는 세그먼트가 없을 때 다음 위치의 추정을 할 수 없어 문제가 발생하는데 이때는 현재의 추정 위치를 그대로 다음 추정위치로 놓고 탐색 윈도우의 크기를 식 (4)와 같이 확장하였다.

$$\begin{cases} S_w = 2.5 \times I_w \\ S_H = 2 \times I_H \end{cases} \quad (4)$$

(S_w : 탐색 윈도우의 폭, S_H : 탐색 윈도우의 높이, I_w : 초기 눈의 폭, I_H : 초기 눈의 높이)

결 과

눈 추적 프로그램은 윈도우 환경의 VC++언어를 사용하여 작성하였다. 눈 추출 알고리즘을 실제 적용한 결과 안경을 착용하지 않은 경우 약 90%의 높은 성공률을 보였지만, 안경을 착용한 경우 성공률이 약 70%로 떨어졌다.

그림 11은 본 연구에서 개발한 영상처리 기법을 이용하여 실제 운전중의 운전자 영상에서 눈을 추출하고, 추출한 눈의 특징과 위치에 기초하여 실시간으로 눈을 추적하는 장면을 보인다. (a)의 (1)은 눈의 크기를 초기화하기 위해 30초간 운전자의 왼쪽 눈을 추적하는 장면이고, (2)는 눈의 최대, 최소 그리고 평균 높이의 측정치이다. (b)는 30초후 왼쪽 눈만을 추적하는 모습을 나타낸다. 그림 12는 주간과 야간에 주행중인 운전자의 눈 추적 장면이다.

그림 13은 암실 내에서 수직 안구운동(Vertical EOG, Electro-Oculogram)과 영상처리를 이용하여 추출한 깜박임 패턴을 보여준다. (a)의 정상상태 깜박임은 짧고, 상대적인 규칙성을 보이고 있다. 반면, (b)에 보이는 졸음상태의 깜박임은 불규칙하고, 폐안 시간이 긴 깜박임이 다수 보인다. 또한, 한번의 깜박임보다는 여러 번 반복 깜박임은 특성을 볼 수 있다. 일반적으로 최소 폐안 시간(눈을 감고 있는 시간)은 약 0.2초(5Hz)인데, 이를 제대로 검출하기 위해서는 최소 10 frames/sec의 영상처리 속도여야 가능하다. 본 영상처리 속도는 약 14 frames/sec로서 최소 추적 속도이상이므로 눈 추출이 성공한 경우에는 그림에 보이는 것처럼 모든 깜박임을 추출할 수 있었다.

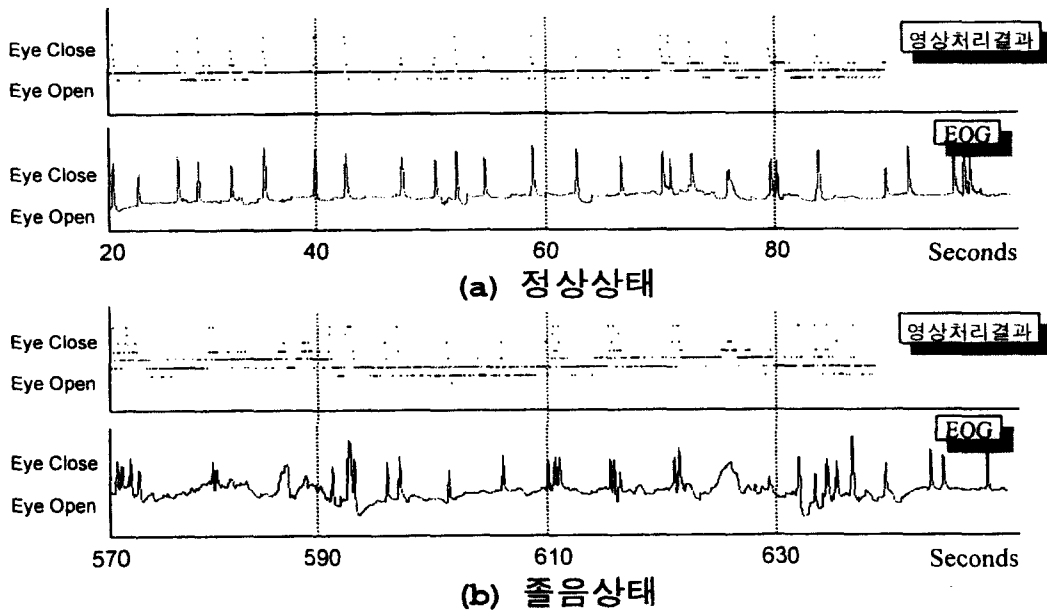


그림 13. EOG와 영상처리 결과
 Fig. 13. EOG and the result of image processing

고 찰

본 논문에서 구현된 눈꺼풀의 움직임 추적, 분석하여 졸음을 감지하는 실시간 영상처리 방법은 실차 적용을 위해 몇 가지 보완이 필요하다. 먼저 눈 추출 성공률에 대하여 생각해 보면, 실험에 사용한 CCD 카메라의 주요 과장 대역이 가시광선 영역이기 때문에 적외선 필터를 사용하여 가시광선과 자외선 영역을 제거하고, 적외선 영역만의 영상을 얻었을 때 해상도가 떨어지는 제약을 받았다. 해상도의 저하는 눈 영역의 경계선을 흐리게 하여 눈 추출률을 저하시켰다. 이의 보완을 위해서 적외선 영역의 해상도가 개선된 카메라의 사용이 요구된다고 생각한다. 또 다른 눈 추출 실패의 주요 요인은, 실제 실험에서는 1개의 광원만을 사용하였는데, 적외선 LED와 운전자의 얼굴 그리고 CCD 카메라가 이루는 각도에 따라 CCD 카메라에 잡히는 영상의 광량 변화 폭이 몹시 크다는 것이다. 안경 착용시 그 변화는 훨씬 명확하며 이는 영상처리를 더욱 어렵게 만든다. 이에 대한 해결책으로서 복수의 광원을 설치하게 되면, 얼굴 표면에서 난 반사가 일어나서 CCD 카메라에서 검출되는 광량은 얼굴 각도에 따른 변화가 적게 되어 눈 추출 성공률을 크게 향상시킬 수 있을 것이다. 운전자의 행동을 정량적으로 분석한 데이터를 볼 때, 졸음 사고 빈도가 높은 고속도로나 한적한 도로에서 머리의 움직임 반경이 적어 카메라 시야에서 벗어나지 않음을 알 수 있다 [9]. 실제 고속도로 주행중인 운전자의 영상을 기록하여 오프라인 방식으로, 본 영상처리 방법을 적용하였을 때, 머리의 움직임에 큰 영향을 받지 않고 운전자의 눈을 추적하며 깜박임 관련 파라미터를 구할 수 있었다. 그러나, 움직임이 많은 국도나 혼잡한 도로에서의 안정적인 영상처리를 위해선 카메라의 각도나 초점이 운전자 머리 위치에 따라 능동적으로 신속히 바뀌는 조정 장치가 필요하다.

결 론

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 적외선 LED와 CCD 카메라를 통해 얻은 실제 운전중의 운전자 영상에서 영상처리 기법을 이용하여 약 85%의 성공률로 눈을 추출하고, 추출한 눈의 특징과 위치에 기초하여 실시간으로 눈을 추적하였다.
2. 영상처리 속도는 14 frames/sec로서 최대 폐안 속도(5Hz)

이상하므로 눈 추출이 성공한 경우에는 모든 눈 깜박임을 검출할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Dallas Fell, "The road to fatigue: circumstances leading to fatigue accidents", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp.97-105
2. Peter Ingwersen, "Tracing the problem of driver fatigue", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp. 73-86
3. 이 상국, B. Decoux, R. Debrie, M. Hubin, "Traffic security and detection of the driver's low vigilance state", 제 6회 센서기술학술 대회 논문집, 10/11 Nov. 1995, pp. 54-62
4. John H. Richardson, "The development of a driver alertness monitoring system", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp. 219-229
5. Yasuo Sakaguchi. et al., "Measurement of Visibility of Display during Vehicle Driving", T. IEEE Japan, Vol. 116-C, No. 1, 1996, pp. 8-15
6. Masayuki Kaneda et al., "Development of a Drowsiness Warning System", Nissan Technical Report, Vol.34, No. 12, 1993, pp. 85-91
7. Karel Brookhuis, "Driver impairment monitoring by physiological measures", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp. 181-188
8. Niels Galley, "Traffic Relevant Behavior Monitored by the Electro-Oculogram(EOG) as a Psychophysical Measuring Instrument", *Vision in Vehicles-IV*, 1993, pp. 189-196
9. 김남균, 정경호, 김법중, "졸음운전의 자동검출 및 각성 시스템 개발에 관한 연구", *의공학회지*, Vol. 18, No. 3, 1997, pp. 315-324
10. John R. Cameron, James G. Skofronick, "Medical Physics", John Wiley & Sons, 1976, pp. 312-336
11. Robert J.Schalkoff, "Digital Image Processing and Computer Vision", John Wiley & Sons, 1989, pp. 213-218
12. 소정, 윤호섭 등, "다중 모드 인터페이스에서 시선 활용을 위한 눈 위치 추출", *Proceedings of HCI*, 1996, pp. 198-204
13. 이문호, 엄재훈, "영상 신호 처리", 大英社, 1994, pp. 88-100