

졸음감지를 위한 깜박임 패턴 검출에 관한 연구

김법중, 박상수, 오승곤, 김남균*
전북대학교 대학원 의용생체공학과
*전북대학교 의과대학 의공학교실

A Study on the Blink Pattern Extraction of a Driver in Drowsy State

B. J. Kim, S. S. Park, S. G. Oh, N. G. Kim*

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

ABSTRACT

In this study, we propose a non-invasive method to detect the drowsiness of a driver. The computer vision technology was used to extract an eye, track eyelids and measure the parameters related to the blink. We examined the blink patterns of a driver in drowsy state. For the evaluation of our image processing algorithm, the blink patterns were compared with the measured EOG signals. The result showed that our algorithm might be available in detection of drowsiness.

서 론

졸음 운전은 현재 교통 사고의 주요 요인으로 인식되고 있다. 실제로 의국의 예를 살펴보면 1992년 프랑스와 호주에서 발생한 교통사고중 졸음과 피로로 인한 사고가 각각 25~27%, 43%에 이른다[3][4]. 졸음 운전의 원인으로서는 과로, 수면부족, 약물복용, 단조로운 운전등이 있다[4][5]. 특히, 고속도로 운전이나 교통체증으로 인한 장시간 단순반복 운전은 생리적 긴장완화를 초래하여 졸음을 유발한다[7]. 졸음 운전은 운전자가 느끼지 못하는 도중에 발생하는 경우가 많다. 또 운전자가 심리적으로 약간의 졸음을 느끼는 상태에서는 바로 휴식을 취하기보다는 계속 주행하는 경향이 많아 사고로 이어지기 쉽다[5]. 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[1]. 또한 자동차의 정보화로 인해 디스플레이, 오디오, 전화 등의 정보 기기가 증가함으로써 운전자의 주의력 저하가 예상된다[6]. 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. 첫 번째 방식은 뇌파 및 심전도 등의 생체신호를 분석하여 졸음을 판단하는 방식으로 정확성이 높으나 전극을 운전자에 부착하기 때

문에 실용성이 낮다[3]. 두 번째 방식은 위험 순간이나 졸음 등으로 인해 정상적인 운전이 불가능한 운전자에게서 나타나는, 운전대를 급격히 돌리는 경향을 이용한 방법이다[5]. 이 방식은 일반화가 어렵고 추출 시간이 사고 순간 전후이기 때문에 실제 졸음 감지적용에 문제가 있다. 세 번째 방식은 실시간 영상처리 방법으로 눈꺼풀의 움직임을 추적, 분석하여 졸음을 감지하는 비접촉식 방법으로 실용성이 가장 높다[7].

본 논문에서는 적외선 광원과 적외선 필터를 사용하여 야간에 운전자 영상을 안정하게 획득하고, 주간 강한 햇빛으로 인한 영상의 노이즈를 줄일 수 있도록 하였다[6]. 암실내 실험에서 정상상태와 졸음상태의 EEG, ECG, EOG를 측정하여 졸음으로 인한 생체신호의 변화를 관찰하였다. 또한 본 시스템을 통한 정상상태와 졸음상태 각각의 깜박임 추출 결과를 생체신호와 비교하여 평가하였다. 실차에 CCD 카메라, 비디오 레코더, 적외선 광원과 적외선 필터를 탑재하여 야간과 주간에 실제 운전자의 얼굴 영상을 획득하여 분석하였다.

실험 방법

1. 모의 실험

실차 운전시에 생기는 진동, 핸들의 조작 등으로 인해 실제 운전중의 생체신호를 측정하는데는 어려움이 많다. 또한 졸음 운전에 따르는 위험성으로 실차에서의 실험은 한계가 있다. 따라서, 본 실험에서는 암실내에 실제 주행 환경과 유사한 환경을 만들고 피검자의 생체신호와 영상신호를 함께 측정, 기록한 후에 두 신호를 비교 분석하였다. 실험 시간은 40분으로 설정하였다.

1.1 실험 장치 구성

그림 1은 모의 실험의 구성도이다. 투사기(Projector)를 이용해 피검자에게 실제 주행 영상과 주행 중에 생기는 소음을 재현시켜 주었다. 피검자에게 적외선 광원을 비추어 어두운 암실 조명 하에서 피검자 얼굴 영상을 획득할 수 있도록 하였다.

졸음감지를 위한 깜박임 패턴 검출에 관한 연구

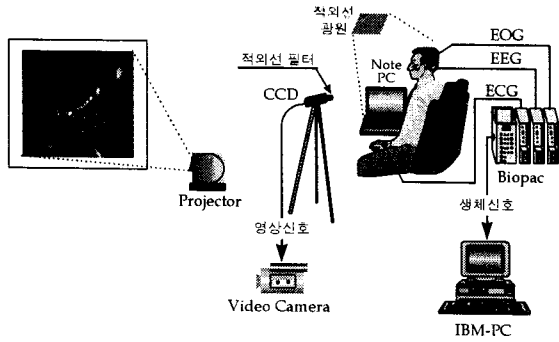


그림 1. 모의 실험 구성도

획득한 피검자 얼굴 영상은 8mm 비디오 테이프에 기록하였다. 피검자의 생체신호는 Biopac을 이용해 측정된 후 컴퓨터에 기록하였다. 한편으로 피검자의 주관적인 졸음 판단 시간을 측정하기 위해 스페이스바를 누르면 시간이 기록되는 프로그램을 Notebook에 저장시켜 Notebook의 스페이스바를 누름과 동시에 졸음 시간이 기록될 수 있도록 하였다.

1.2 생체신호

피검자의 생체신호로 EEG, ECG, Vertical EOG 신호를 측정하였다. Notebook에 기록된 졸음 판단 시간 전후의 뇌파와 실험 초기의 정상 상태 뇌파의 차이를 알아보기 위해, EEG신호에서 α 2파(11~13Hz)를 추출하여 파워 스펙트럼 분석을 하였다. 또한 정상 상태와 졸음 상태에서 심진도의 차이를 알아보기 위해 심박수를 조사하였다. 졸음상태에서의 EOG신호와 정상상태에서의 EOG신호를 비교하여 졸음상태에서 나타나는 깜박임수 및 깜박임 패턴을 분석하였고 졸음상태와 정상상태의 EOG신호를 각 상태의 영상 처리에서 구한 깜박임 패턴과 비교하였다.

1.3 영상처리

8mm 비디오 테이프에 기록된 피검자 얼굴 영상은 그림 2와 같은 영상처리 과정을 통해 분석된다. 그림 2 (a)는 암실에서 적외선 필터가 부착된 CCD 카메라와 적외선 광원을 이용하여 획득한 피검자 영상이다. 연속된 두 이미지의 얼굴영역이 다를을 이용하여 얼굴영역을 추출한 후(그림 2 (b)), sobel 연산과 thinning 처리를 사용하여 경계선을 검출한다(그림 2 (c)). thinning 처리는 sobel 연산과 이진화로 검출한 여러 개의 경계선 픽셀들을 하나의 경계선 픽셀로 줄여준다. 일반적인 눈의 화소수가 55~70개인 점을 이용하여 눈 후보를 검출한 후 모양 검증등을 통해 후보수를 줄여나간다(그림 2 (d)). 눈은 눈동자와 결막의 독특한 graylevel 분포를 보인다. 이러한 사실에 기초하여 눈 후보들의 수평 graylevel 분포를 조사한 후(그림 2 (e)), 눈의 graylevel 분포 특성에 가장 맞는 후보를 선택한다(그림 2 (f)). 눈의 가로크기, 화소분포, graylevel등의 추출한 데이터를 기초로 눈의 움직임 추적한

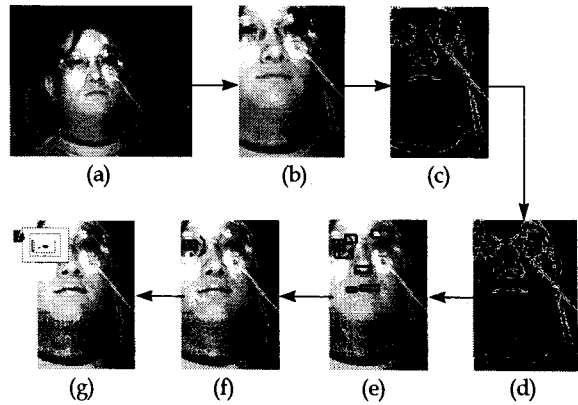


그림 2. 영상 처리 과정

(a) 원 이미지 (b) 얼굴영역 검출 (c) 경계선 검출 (d) 눈 후보 추출 (e) graylevel 조사 (f) 눈 검출 (g) 추적 장면

다(그림 2 (g))[2]. 추적 과정에서 눈의 세로축 크기를 조사하여 깜박임 여부를 결정한다.

2. 실차 실험

본 시스템의 실차 적용 가능성을 평가하기 위해 자동차 내부에 적외선 필터가 장착된 CCD camera와 적외선 광원을 설치하여 운전자의 얼굴 영상을 획득하여 분석하였다.

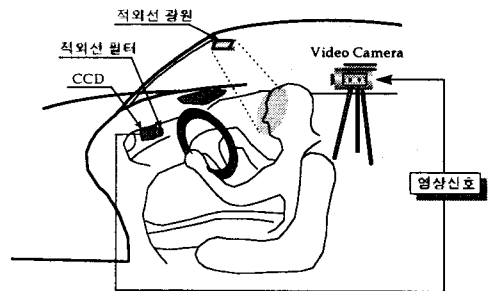


그림 3. 실차 실험 구성도

그림 3은 실차 실험 구성도이다. 적외선 광원을 운전자 얼굴 뒷부분에 설치하여 운전자 얼굴을 비추도록 하고, CCD camera를 계기판 부근에 부착시켜 운전자의 얼굴 영상을 획득하였다. 획득한 운전자 얼굴 영상을 비디오 테이프에 기록하여 오프라인으로 분석하였다. 운전자 영상은 야간과 주간에 고속도로를 주행하면서 각각 40분간 획득하였다.

실험 결과 및 분석

1. 실차 운전자 영상 분석

그림 4는 적외선 광원과 필터를 사용하여 주간과 야간에 획득한 운전자 얼굴 영상과 그 처리 결과이다. 그림 4 (a)의 왼쪽 영상은 주간 고속도로 주행 중의 운전자 얼굴 영상이고, 오른쪽은 눈을 추적하며 깜박임을 추출하는 장면이다. 적외선 필터를 사

용하여 그림에 보이는 것과 같이 주간에 옆창문으로 들어오는 햇빛으로 인해 생기는 영상의 노이즈를 차단할 수 있었다. 그림 4 (b)의 왼쪽 영상은 야간 고속도로 주행 중에 있는 운전자 얼굴 영상이고, 오른쪽은 눈을 추적하며 깜박임을 추출하는 장면이다. 적외선 광원을 사용하여 야간의 어두운 실내환경에서도 운전자의 얼굴 영상을 획득할 수 있었고, 그림 2와 같은 영상처리 과정을 거쳐 눈을 찾아 추적할 수 있었다.

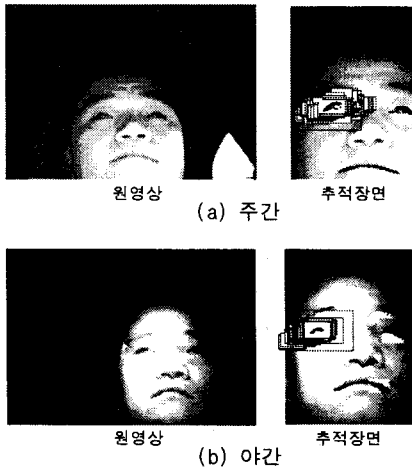


그림 4. 실차 운전자 영상 및 추적

2. 모의 실험결과 및 분석

졸음시간 체크 프로그램을 이용하여 피검자의 주관적인 졸음판단 시간을 Notebook에 기록하였다. 졸음 상태는 Notebook에 기록된 피검자의 주관적인 졸음 판단시간을 전후하여 생체신호와 피검자 영상을 조사한 후 졸음으로 인정되는 80초 구간을 졸음상태로 놓았고, 정상상태는 실험 시작 1분 후의 80초 구간으로 설정했다. 정상상태와 졸음상태의 $\alpha 2$ 파, 심전도의 심박수, $\alpha 2$ 파의 파워 스펙트럼을 비교, 분석하였다.

2.1 뇌파비교

그림 5는 정상상태의 $\alpha 2$ 파(11~13 Hz)와 졸음상태의 $\alpha 2$ 파를 보여준다. 그림 5 (a)는 정상상태의

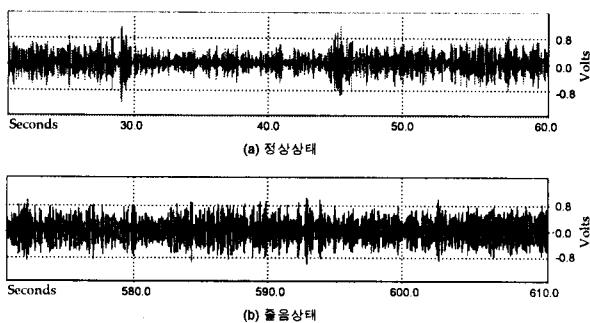


그림 5. 정상상태와 졸음상태의 $\alpha 2$ 파

$\alpha 2$ 파이고, 그림 5 (b)는 졸음상태의 $\alpha 2$ 파이다. 각

성도가 낮을수록 $\alpha 2$ 파가 많이 나타나게 되는데[3], 본 실험결과에서도 졸음상태에서 $\alpha 2$ 파가 정상상태보다 크게 나타났다.

그림 6은 정상상태와 졸음상태의 $\alpha 2$ 파의 파워 스펙트럼 분석을 나타낸다. $\alpha 2$ 파 대역(11~13 Hz)에서 졸음상태의 파워스펙트럼이 정상상태의 파워스펙트럼보다 높게 나타났다.

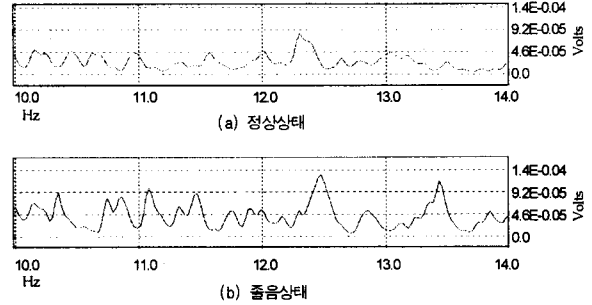


그림 6. $\alpha 2$ 파 파워스펙트럼

2.2 심전도 분석

그림 7은 정상상태와 졸음상태에서 측정된 심전도 심박수를 나타낸다. 그림 7 (a)는 정상상태의 심박수이고, 그림 7 (b)는 졸음상태의 심박수이다. 그림에서 졸음상태의 심박수가 정상상태의 심박수보다 낮게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 졸음으로 인한 신체활동의 저하와 연관이 있다고 생각된다.

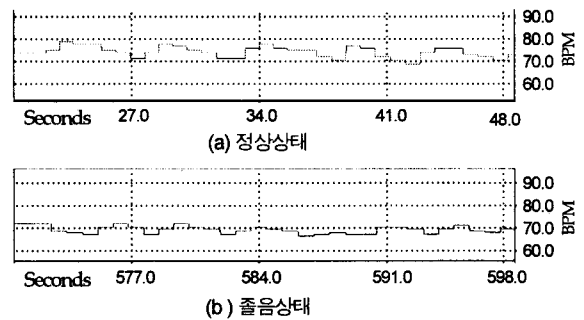


그림 7. 정상상태와 졸음상태의 BPM

2.3 영상처리 결과 및 EOG신호 분석

그림 8은 정상상태와 졸음상태의 영상처리 결과와 EOG신호이다. 영상처리의 깜박임 패턴과 EOG의 깜박임 패턴이 유사하게 나타남을 볼 수 있다. 본 시스템의 영상처리 속도는 초당 13~14 frame으로 깜박임의 약 85 ~ 93%를 추출할 수 있었다. 그림 8 (a)는 정상상태의 영상처리 결과와 EOG신호이고, 그림 8 (b)는 졸음상태의 영상처리 결과와 EOG신호이다. 그림 8 (a)(b)에서 볼 수 있듯이 정상상태에서 졸음상태로 갈수록 깜박임 시간이 길어지고 깜박임 속도가 느려진다. 졸음상태의 피검자 눈꺼플 움직임과 EOG신호를 비교해 보면 졸음에

관련된 흥미로운 사실을 발견할 수 있다. 졸음상태의 피검자 영상에서 눈꺼풀을 보면 반쯤 내려와 있음을 알 수 있다. 또 눈을 감는 움직임과 동시에 뜨려는 움직임이 같이 나타나게 되어 눈꺼풀의 떨림을 볼 수 있다. 졸음상태의 EOG신호에서 나타나는 고주파성분과 신호의 불규칙성이 위와 같은 눈꺼풀의 움직임에 연관되어 있다고 생각된다. 피검자가 졸음상태를 넘어 잠에 빠져들면 EOG신호에 깜박임으로 인한 신호가 없어지고 눈동자의 움직임에 의해 생기는 파형만이 보이게 된다.

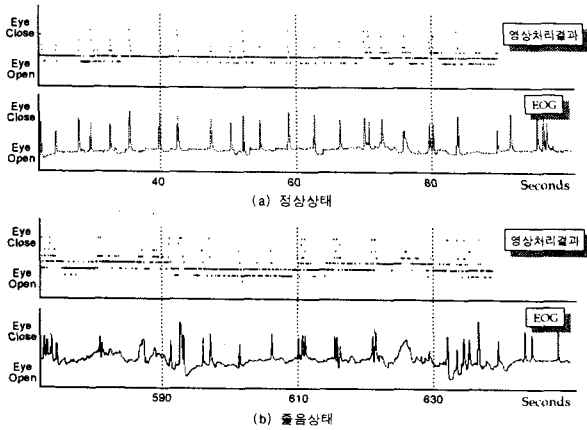


그림 8. 영상처리 결과와 EOG신호

고찰

본 연구에서는 졸음상태에서 나타나는 특유의 깜박임 패턴 및 여러 생체신호를 조사하였다. 또한 눈을 추출하고 추적할 수 있는 영상처리 알고리즘을 구현하여 최고 속도 14frame/sec로 눈을 추적하면서 깜박임을 검출할 수 있었다. 실제 깜박임의 85~95%를 본 영상처리 알고리즘을 이용하여 검출할 수 있었다. 깜박임 검출의 정확성은 광원의 밝기 및 위치에 크게 의존함을 알 수 있었다.

실제 자동차에 적용 가능한 졸음 감지 시스템 개발을 위해서는 졸음상태의 깜박임 특성을 정량화하고 일반화한 졸음판단 기초 데이터 작성이 최우선이라고 생각한다. 그 다음으로 깜박임을 정확하게 검출할 수 있는 시스템 개발이 이루어져야 하고 마지막으로 각성시스템 개발 및 평가가 수행되어야 한다. 한편으로 깜박임에 의한 졸음판단을 검증해 줄 수 있는 다양한 졸음 판단 파라미터를 개발할 필요가 있다.

결론

모의실험을 통해 졸음상태에서 α_2 파와 α_2 파의 파워 스펙트럼이 정상상태보다 높게 나타남을 볼 수 있었다. 졸음상태의 피검자 심박수는 정상상태에서의 심박수보다 상대적으로 낮았다. 피검자의 상태가 정상상태에서 졸음상태로 변함에 따라 깜박임 시간이 길어지고 깜박임 속도가 저하되었다. 또한 잦은 깜박임으로 인해 정상상태보다 불규칙한 깜박임 패턴이 나타났다. 이러한 깜박임 패턴 및

속도와 시간의 변화를 졸음 인식 파라미터로 사용하여 졸음상태와 정상상태를 구분할 수 있었다.

비침습적인 영상처리 방법으로 눈꺼풀의 움직임을 13~14 frame/sec의 속도로 추적하여 EOG와 비교한 결과, 깜박임 패턴이 서로 일치함을 볼 수 있었다. 이로부터 본 시스템의 실제 졸음 감지 가능성을 확인할 수 있었다.

실차에 적외선 필터와 적외선 광원을 탑재하여 고속도로 주행중의 운전자 영상을 주야 구분 없이 안정하게 얻을 수 있었고, 본 영상처리 알고리즘을 이용하여 주행 중에 있는 운전자의 눈을 추적하면서 깜박임을 추출할 수 있었다.

참고 문헌

1. John H. Richardson, "The development of a driver alertness monitoring system", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, pp.219-229, 1995
2. Xangdong Xie. et al., "Real-Time Eye Feature Tracking from a Video Image Sequence Using Kalman Filter", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 25, NO. 12, pp. 1568-1577, December 1995
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, pp. 54-62, 10/11 Nov. 1995, Korea
4. Dallas Fell, "The road to fatigue: circumstances leading to fatigue accidents", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, pp.97-105, 1995
5. Masayuki Kaneda. et al, "Development of a Drowsiness Warning System", *Nissan Technical Report*, Vol.34, pp. 85-91, No. 12, 1993
6. Yasuo Sakaguchi. et al., "Measurement of Visibility of Display during Vehicle Driving", *T. IEEE Japan*, Vol. 116-C, pp. 8-15, No. 1, 1996
7. 정경호, 김법중, 김동욱, 김남균, "운전자 졸음 방지 시스템의 개발에 관한 연구", *Proceedings of 11th, KACC*, Vol. (II), pp. 1340-1343, October, 1996
8. 이완규, 고한우, 김창호, "졸음 운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II)", -눈 깜박임 속도검출- 자동차공학회 추계학술대회, Vol. (I), pp. 481-486, 1995
9. 소정, 윤호섭, "다중모드 인터페이스에서 시선 활용을 위한 눈위치 추출", *HCI학술대회*, 1996, pp. 198-204.
10. Julie H. et al., "An Investigation of Low-Level Stimulus-Induced Measures of Driver Drowsiness", *Proceedings of the Conference on Vision in Vehicles Nottingham, U.K.*, pp. 139-148, September, 1985