

조명에 강인한 눈꺼풀 움직임 측정기반 운전자 감시 시스템

(An Illumination-Robust Driver Monitoring System Based on
Eyelid Movement Measurement)

박 일 권 [†] 김 광 수 ^{††} 박 상 철 ^{†††} 변 혜 란 ^{††††}
(Ilkwon Park) (Kwangsoo Kim) (Sangcheol Park) (Hyeran Byun)

요 약 본 논문은 지능형 자동차 개발을 위한 주간 및 야간 환경에서 차량 운전 시 발생할 수 있는 다양한 조명을 극복하고 운전자 졸음 상태를 단일 CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 통해 감시하는 시스템을 제안한다. 운전 중 운전자 눈을 감시하여 졸음 상태를 판단하는 시스템에서 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정은 선행되어야 할 중요한 과정이다. 따라서 비전기반 시스템의 가장 큰 단점인 조명변화를 극복하며 눈 검출 성능을 높이고 실시간 처리가 가능한 간단한 조명 보정 알고리즘을 제안하였으며 또한 신뢰성 있는 졸음 판단을 위해 효율적인 눈꺼풀 움직임 측정 방법을 제안한다. 이러한 시스템은 실시간으로 처리되어야 하며 이를 위해 제안한 방법과 더불어 효율적인 눈 검증 방법으로 단계적 SVM(Cascaded Support Vector Machine)을 적용하였다. 한편, 제안한 알고리즘의 성능 측정을 위해 주간 및 야간의 다양한 조명 변화 속에서 주행 중 수집된 운전자 동영상에 사용하였으며 자체 수집된 동영상에 대해 98%이상의 눈 검출 성능 및 신뢰성 있는 눈꺼풀 움직임을 측정하였다. 최종 졸음판단 결과는 수집된 각각의 동영상에 대한 PERCLOS(The percentage of eye-closed time during a period)를 비교함으로써 제안한 시스템의 성능 및 우수성을 보였다.

키워드 : 운전자 감시시스템, 졸음 검출, 눈 검출, 조명보정, 눈꺼풀 추출

Abstract In this paper, we propose a new illumination-robust drowsy driver monitoring system with single CCD(Charge Coupled Device) camera for intelligent vehicle in the day and night. For this system that is monitoring driver's eyes during a driving, the eye detection and the measure of eyelid movement are the important preprocesses. Therefore, we propose efficient illumination compensation algorithm to improve the performance of eye detection and also eyelid movement measuring method for efficient drowsy detection in various illumination. For real-time application, Cascaded SVM(Cascaded Support Vector Machine) is applied as an efficient eye verification method in this system. Furthermore, in order to estimate the performance of the proposed algorithm, we collect video data about drivers under various illuminations in the day and night. Finally, we acquired average eye detection rate of over 98% about these own data, and PERCLOS(The percentage of eye-closed time during a period) are represented as drowsy detection results of the proposed system for the collected video data.

Key words : Driver Monitoring System, Drowsy Detection, Eye Detection, Illumination Compensation, Eyelid extraction, SVM

· 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-000-10898-0)지원으로 수행되었음

로 수행되었음

† 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과
ikheart@cs.yonsei.ac.kr

†† 정 회 원 : 삼성전자 정보통신총괄통신연구소 책임연구원
kwangsoo72@samsung.com

††† 정 회 원 : 특허청컴퓨터시스템 통신사무원
parksc@kipo.go.kr

†††† 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
hrbyun@yonsei.ac.kr

논문접수 : 2005년 12월 1일

심사완료 : 2007년 1월 23일

1. 서 론

최근 지능형 자동차에 대한 관심이 자동차 개발 업체를 중심으로 늘어나고 있다[1-3]. 기존의 자동차에 지능을 부여하기 위해 다양한 응용 및 알고리즘이 개발되고 있으며 GPS(Global Positioning System), 차선 추적, 졸음운전 경고 시스템 등이 좋은 예이다[4-8]. 이러한 첨단화된 기능 중에서도 안전운전을 보조하며 예방할

수 있는 기능에 많은 관심 및 연구가 이루어지고 있으며 교통사고 관련 통계자료를 통해 교통사고의 상당부분이 졸음운전에 기인하고 있음을 알 수 있다[9,10]. 따라서 본 논문은 운전자 감시시스템 개발을 목적으로 제안하였으며 본 시스템의 개발은 많은 교통사고로부터 운전자의 생명 및 물질적인 손실을 예방 할 수 있도록 운전자를 보조할 수 있을 것이다.

졸음운전과 관련하여 최근까지 운전자를 감시하여 졸음 상태를 검출하고 경고하는 다양한 방법이 소개되었다 [5,11,12]. 대표적인 방법들로 EEG(Electroencephalogram), 운전자의 운전 패턴, 카메라를 통한 운전자 상태 감시에 관한 연구가 있었으며 구체적으로 EEG와 같은 뇌파를 이용한 방법은 정확성은 뛰어나지만 운전자에게 강압적이기 때문에 실제로 적용하기에 어렵고 운전자의 운전 패턴을 이용한 방법 역시 손의 압력 또는 핸들 조작 패턴 등과 같은 다양한 운전자들의 운전 패턴을 수용하여 모델링하기 어렵기 때문에 실생활에 적용하기 어렵다 [1]. 하지만 카메라를 이용하여 운전자를 관찰하고 눈꺼풀 움직임 및 눈 깜박임 측정을 통한 졸음판단은 상당히 신뢰도가 높고 운전자에게 비 강압적인 방법으로 본 논문을 비롯한 실제 많은 비전 기반 시스템에서 사용된 방법이다[4,12,13]. 특히 이러한 눈꺼풀 움직임을 기반으로 일정 시간 동안 눈감은 시간의 누적된 비율을 이용하여 판단하는 PERCLOS는 졸음과 상당히 연관되어 있음이 이미 증명 되었으며 실제 응용에 많이 사용된 측정방법이다[14].

한편, 이러한 카메라를 이용하는 비전기반 시스템은 조명변화에 매우 취약하며 특히 주간환경에서 차량이 움직일 경우 다양한 조명환경에 노출된다. 미세하게 움직이는 눈꺼풀 움직임 및 눈동자 상태를 정확히 파악하기 위해서는 급변하는 조명 상태를 극복해야만 한다. 이를 극복하기 위해서 몇몇 시스템은 별도의 적외선 광원을 사용하여 적외선 광원에 대한 동공의 반응을 이용하였다[4,13-15]. 하지만 그들의 연구는 주간환경에서 발생하는 태양빛에 의한 적외선 광원의 노출을 배제하고 야간 환경이나 실내 환경에서 주로 이루어졌다. 또한 대부분 주간 환경에 대해서는 제약된 조명 환경에서 주로 이루어졌으며 높은 눈 검출 성능을 보인 몇몇 시스템 역시 주간 환경에서 눈 검출을 수행하였으나 태양빛에 의한 조명 변화가 단조롭고 졸음운전을 판단하기 위한 눈꺼풀 움직임 추출 및 졸음 판단에 대한 실험은 이루어 지지 않았다[1,14]. 본 논문에서는 기존의 시스템과 달리 단일 카메라를 이용한 시스템으로 주간 환경에서 발생하는 다양한 조명변화를 수용하며 또한 야간 환경의 조명 변화를 극복할 수 있도록 하였다. 이를 위해 눈 검출에 적합한 조명 보정 알고리즘을 제안하였으며 눈

꺼풀 움직임 측정을 위한 효율적인 방법을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 적외선 영상의 특징과 눈 모서리 필터를 이용한 눈 후보영역 추출 및 조명 보정 알고리즘에 대해 기술하였으며, 제3장에서는 개선된 단계적 SVM을 이용한 눈 검출 과정을 설명하였다. 제4장에서는 졸음 판단을 위해 제안한 눈꺼풀 측정 방법을 소개하였으며, 제5장에서는 다양한 조명상태를 포함한 데이터 수집 및 구성을 기술하였다. 제안한 시스템에 대한 실험 및 평가는 제6장에서 기술하였으며 마지막으로 7장에서는 본 논문의 결론을 기술하였다.

2. 눈 후보영역 추출

2.1 적외선 영상

본 논문에서는 주간 및 야간 환경에서 안정된 영상을 처리하기 위해 적외선 영상을 사용하였다. 그림 1과 같이 적외선 통과 필터를 카메라 렌즈에 장착함으로써 적외선만 통과하도록 하였다.

적외선 영상을 사용함으로써 다음과 같이 몇 가지 장점을 얻을 수 있다. 첫째, 적외선 광원은 인간의 눈에 보이지 않기 때문에 운전자의 눈에 영향을 최소화 한다. 둘째, 적외선 량이 극소량인 일반 조명에 의한 조명변화의 영향을 최소화 한다. 셋째, 적외선 광원에 대한 동공의 반응을 이용하여 조명 상태에 상관없이 동공을 검출 유지 할 수 있다. 적외선 광원의 생성은 낮에는 주로 태양광으로부터 획득하며 적외선 광원이 없는 야간이나 적외선 광원이 적은 흐린 날에는 적외선 LED(Infrared Light Emitting Diode)를 통해 적외선 영상을 만든다.

한편, 그림 1은 주간과 야간 환경에서 검은 동공(Dark pupil)이 생성되는 원리를 나타낸다. 특히 적외선 광원의 위치와 카메라의 위치에 따라 동공의 반응이 다르게 나타난다[1]. 주간의 햇빛은 적외선이 매우 강하며 햇빛은 특성상 주변광의 특성을 가지고 있다. 따라서 동공에 반사된 대부분의 햇빛은 극소량만 카메라로 들어가며 나머지는 주변으로 반사되기 때문에 적외선 통과 필터가 장착된 카메라에는 자연스럽게 검은 동공이 형성된다. 이와 반대로 하얀 동공 현상은 햇빛에 의한 주변광이 강한 낮에는 카메라와 적외선 조명이 일직선상에 있더라도 잘 만들어 지지 않으며 야간의 경우 안경과 같은 착용물의 반짝이는 부분과 하얀 동공이 유사하여 눈 위치를 찾기 어렵기 때문에 기존 시스템과 달리 본 시스템에서는 검은 동공만을 사용하였으며 야간환경에서 동공을 까맣게 만들기 위해 햇빛과 같이 주변 광역활을 하도록 적외선 광원의 위치를 카메라와 일직선상에 놓지 않고 일정거리를 두고 설치하였다.

영상획득을 위한 CCD카메라와 적외선 조명의 구성은

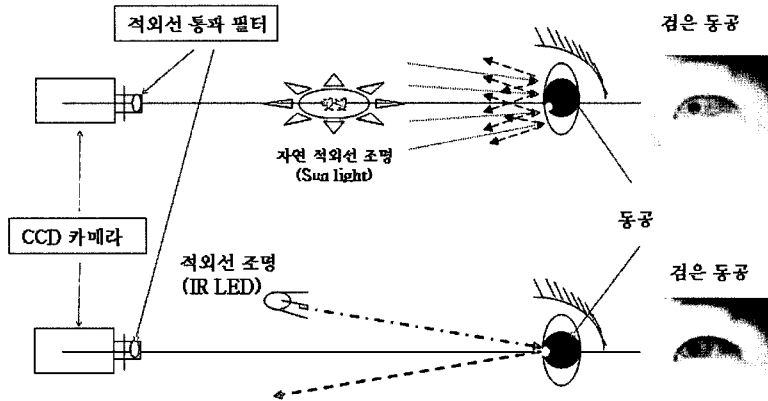


그림 1 주간 및 야간의 검은 동공(Dark pupil) 생성 원리

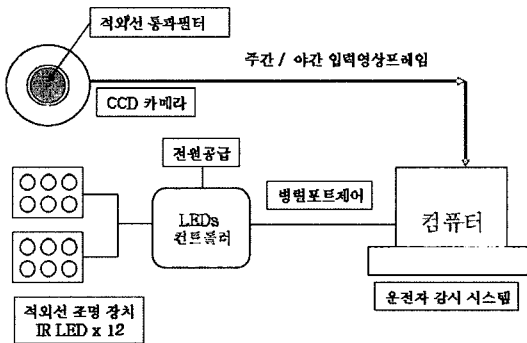


그림 2 영상획득을 위한 카메라와 적외선 조명장치 구성

그림 2와 같으며 카메라를 통해 들어온 영상의 평균 밝기를 측정하여 적외선 조명의 점멸을 자동으로 조정하였다. 따라서 야간 환경이 아니더라도 입력 영상이 줄음 판단을 수행하기에 너무 어두울 경우 자동으로 조명을

켜도록 하였다.

적외선 LED는 6개씩 2개의 셋으로 구성되었으며 카메라와 적외선 광원은 검은 동공 형성을 위해 위치적으로 분리하여 설치하였다. 적외선 광원의 파장은 850nm, CCD 카메라 앞에는 적외선 통과필터를 장착하였다. 그림 3은 실제 차량의 운전석 앞에 설치된 카메라와 천장의 앞부분에 설치된 적외선 조명을 나타낸다.

2.2 눈 모서리 필터(Eye Corner Filter)

입력영상은 운전자의 얼굴을 포함할 뿐만 아니라 차량내의 배경 및 창밖의 배경을 포함하고 있다. 이와 같은 영상 내에서 졸음판단의 특징인 눈의 위치를 찾기 위해서 눈 검출과정이 선행되어야 한다. 눈 모서리 필터는 눈 검출 과정에서 빠르고 신뢰할 만한 전처리 과정을 보장하며 실제로 많은 응용에서 사용하고 있다[16,17]. 따라서 본 논문은 Jie Zhu and Jie Yang[17]이 제안한 눈모서리 필터를 응용하였다. 눈모서리 필터의 사용은



그림 3 차량 내 시스템 설치 모습

정확한 눈의 위치를 나타내는 눈을 검출 하는 것 보다는 후보영역을 검출하는데 목적이 있다. 본 논문에서 사용된 임계값 설정은 회선을 통한 전체 반응 값의 상위 10%값을 취하도록 하였다. 기존 방법과 다르게 양쪽 필터를 통해 반응하는 영역에 모폴로지 연산을 통해서 인접한 영역은 합병하는 방법으로 개선하였다.

본 시스템에서는 운전자의 얼굴 크기가 일정 범위 안에 존재하기 때문에 필터사이즈는 고정시켰으며 필터 사이즈에 적절한 입력 영상을 만들기 위해 입력영상을 4분의 1사이즈로 축소한 후에 필터를 적용시켰다. 그림 4는 눈 모서리 필터에 의해 추출된 눈 후보 영역들이며 왼쪽 필터와 오른쪽필터를 통해 반응된 반응 점들은 눈의 양끝 점을 나타내며 양끝 점을 최적으로 포함하도록 양끝 점으로부터 2화소의 여유를 가지고 눈 영역을 잘라내어 눈 검증과정에 사용될 41×21 사이즈로 보간(interpolation)한 후 눈 검증 단계로 넘어간다.



(a) 원 영상 (b) 필터링 된 영상
그림 4 눈 모서리 필터에 의한 눈 후보 추출

2.3 조명 보정 알고리즘

적외선 통과 필터를 거쳐 획득된 운전자 영상은 햇빛의 적외선 량에 따라 다양한 밝기 값을 가진다. 본 논문의 적외선 영상은 일반 그레이 영상과 다르게 적외선광원에 대한 검은 동공 반응을 항상 포함하고 있는 특징을 가진다. 따라서 조명 변화와 상관없이 항상 동공은 어둡게 유지된다. 이러한 특징을 기반으로 눈의 특징이 되는 어두운 영역은 그대로 유지하며 밝기 값이 일정 값 이상으로 높은 영역에 대해서만 조명을 보정하게 된다.

조명 보정과정에서 먼저 눈 영역에 대한 이상적인 밝기 값을 구하기 위해 조명변화가 거의 없는 실내에서 촬영한 눈 영상을 10명의 서로 다른 사람들로부터 수집하여 하나의 평균 밝기 값(EAI)을 추출한다. 한편, 현재 각각의 눈 후보영역을 입력영상으로 하여 각 후보 영역에 대한 평균 밝기(AI)를 구한다. 조명 보정을 위한 가중 값(W)을 구하기 위해 사전에 미리 계산된 이상적인 평균 밝기 값(EAI)을 입력 눈 후보영상의 평균밝기 값(AI)로 나눔으로써 구할 수 있다. 이렇게 구해진 가중 값(W)을 현재의 눈 후보 영역의 각 화소에 곱해 줌으로써 전체적인 밝기 값을 보정한다. 특별히 EAI을 넘는 화소 값은 EAI 값으로 고정시킨다.

그림 5는 제안한 조명보정 알고리즘에 의해 보정된 결과영상이며 왼쪽영상은 조명보정 전의 영상이며 오른쪽 영상은 조명 보정 후의 영상을 나타낸다. 3차원 그래프에서 X축은 영상의 가로길이, Y축은 영상의 세로길

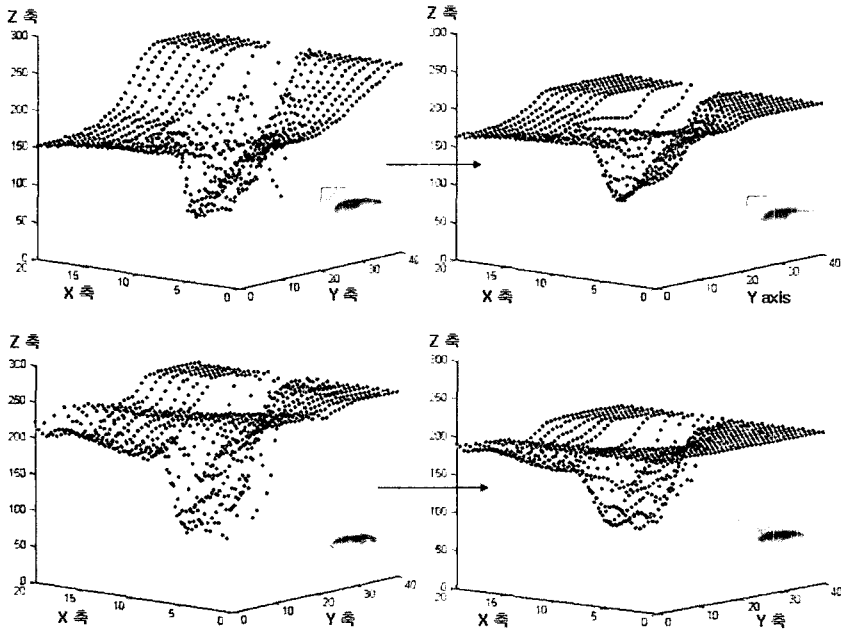


그림 5 눈 영상에 대한 조명 보정 결과 그래프, 왼쪽영상은 조명보정 전, 오른쪽 영상은 조명 보정후의 결과

이, Z축은 밝기 값을 나타낸다. 왼쪽영상은 조명에 의해 눈꺼풀과 눈동자의 밝기 분포를 제외하고 밝기 값이 상당히 넓게 분포되어 있지만 오른쪽 영상은 조명보정 알고리즘에 의해 눈꺼풀과 눈동자의 밝기 분포는 유지하며 주변의 밝기 값의 분포를 상당히 균일하도록 보정하였다.

2.4 타원 마스크

검출된 눈 후보영역들은 카메라와 운전자간의 거리를 고려하여 눈 영역이 충분히 들어갈 수 있도록 검출된 눈 끝점보다 2화소 여유 있게 잘라냈다. 이렇게 잘라진 눈 영역은 눈의 형태가 타원임에도 불구하고 직사각형 형태로 잘라냄으로써 많은 노이즈를 포함하게 된다. 따라서 눈의 형태와 유사한 타원 형태로 클립 하는 것이 바람직하다. 직사각형 모양으로 클립 된 영상은 타원형태의 마스크를 통해서 눈 영역을 제외하고 앞에서 설정한 EAI 값으로 채운다. 타원 마스크의 생성은 소벨 에지 검출기를 이용 에지영상으로 변환 후 모폴로지 연산을 통해 얻은 눈 영역에 대한 중점을 계산하고 검출된 눈꼬리 점을 타원의 장축으로 하여 생성하게 된다. 그림 6은 눈 영역에 대한 조명보정 및 타원 마스크 된 결과 영상을 보여준다.

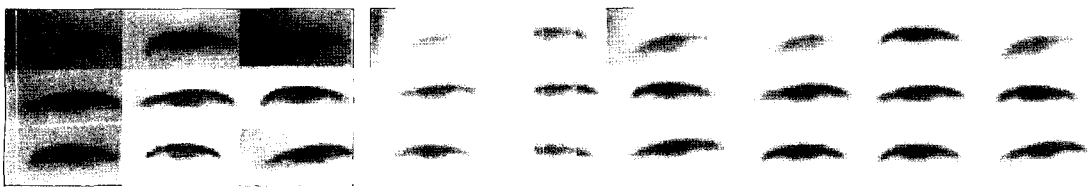
3. 단계적 SVM (Cascaded Support Vector Machine)

본 논문에서는 추출된 눈 후보영역에 대하여 눈 영역(Eye)과 눈이 아닌 영역(Non-eye)을 구별하는 검증 과정을 단계적 SVM 분류기로 수행하였다. 일반적으로 SVM은 인식 성능이 높고 학습이 빠르기 때문에 패턴 분류 및 인식에 많이 사용되는 이진 분류기이다[15,20]. 하지만 테스트 측면에서 인식 성능에 비해 다른 분류기보다 느리다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 SVM의 장점인 높은 인식 성능은 유지하며 처리속도를 빠르게 하는 방법들이 소개되었다. 본 논문에서는 실시간 시스템 개발에 목적을 두고 있기 때문에 S. Romdhani et al[18]의 방법과 유사한 방법으로 처리 속도 향상을 위해 Reduced Set을 구하고 Reduced Set을 이용하여 단계적 형태로 분류기를 구성하였다.

한편, 분류기를 구성하기 위한 학습과정은 눈 모서리 필터에 의해서 걸러진 눈 후보영역을 학습 셋으로 구성하였다. 필터에 의해 걸러진 눈 후보영역들을 수작업으로 눈(Eye)과 눈이 아닌 영상으로 분류하였으며 눈의 형태에 따라 주관적인 기준으로 다시 뜬눈(Open eye)과 감은 눈(Closed eye) 형태의 집합으로 구분하였다. 뜬 눈 형태검출을 통해 눈의 위치를 지속적으로 추적할 수 있으며 뜬 눈 형태를 찾지 못했을 경우 감은 눈 형태를 검출함으로써 눈을 뜨고 있던 감고 있던 일관성 있게 눈의 위치를 찾게 된다.

일반적으로 눈의 형태는 상당히 가변적이다. 예를 들어, 눈은 조명 변화, 얼굴의 포즈, 눈의 형태, 눈꺼풀 움직임에 의한 눈을 뜨고 감은 움직임에 따라 매우 다르게 나타난다. 조명의 문제는 본 논문에서 제한한 조명보정 알고리즘을 이용하여 상당부분 해결할 수 있으며 눈꺼풀 움직임에 의해 변형되는 뜬눈 형태와 감은 눈 형태를 일정한 분포로 묶는 것 역시 가능하지만 뜬눈 형태와 감은 눈 형태를 같은 특징공간에 묶기에는 많은 오인식을 감수해야 한다. 예를 들어 감은 눈 형태는 눈썹과 배경에서 나오는 수평 에지 성분과 매우 유사하기 때문에 눈 형태로 판단되는 결과를 가져온다. 뜬 눈 형태와 감은 눈 형태는 사람마다 다르며 나누는 경계를 정하기 어렵다. 하지만 제한된 분류기는 눈의 뜨고 감은 상태를 정확히 분류하는 것이 목적이 아니라 눈이 얼마만큼 감기었던 눈의 위치를 검출하는데 목적이 있다. 단지, 뜬눈처럼 모양이 타원인 경우가 더 잘 검출되기 때문에 먼저 검출하고 오인식률이 높은 감은 형태를 나중에 찾는 방식으로 하여 검출율을 높였으며 뜬눈과 감은 눈을 하나로 묶게 됨으로써 특징들이 너무 넓게 분포되어 오인식률이 높아지는 것을 방지하기 위해 분류하여 검출하였다.

따라서 본 논문에서는 앞에서 기술했던 단계적 SVM을 뜬눈 형태와 감은 눈 형태에 대하여 각각 구성하여 뜬눈 형태에 대하여 먼저 눈을 검증하여 지속적인 눈 위치를 검출하며 뜬눈 형태를 검출하지 못했을 경우 눈을 감은 것으로 판단하여 감은 눈 형태를 검증하게 된다. 따라서 최종 검증과정에서 적어도 뜬눈형태 또는 감



(a) 원 영상 (b) 조명 보정 영상 (c) 보정 후 타원 마스크 된 영상
그림 6 조명 보정 및 타원 마스크

은 눈 형태를 검출하게 되며 모두 실패인 경우는 다시 다음 프레임에 대하여 수행한다. 그림 7은 눈 검증과정에 사용된 단계적 SVM을 나타내며 뜬눈형태와 감은 눈 형태를 각각 판별하기 위해 각각 독립적으로 구성하였으며 첫 번째 분류기 에서는 뜬눈 형태를 검출하고 두 번째 분류기 에서는 감은 눈 형태를 검출하게 된다.

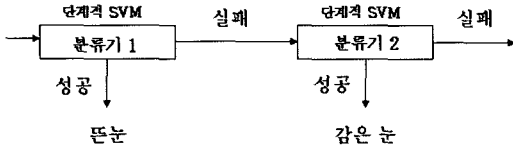


그림 7 단계적 SVM에 의한 2단계 눈 검증 루틴

4. 줄음 판단

4.1 눈꺼풀 움직임 측정

앞에서 검출된 눈 위치를 바탕으로 눈꺼풀 상태를 측정하여 눈의 개폐를 측정하게 된다. 눈꺼풀을 이용한 측정방법에는 눈의 타원 형태를 이용하여 타원의 비율을 이용한 방법을 주로 사용하였다[1]. 그러나 본 논문에서는 보다 정교한 측정 및 오 인식을 줄이기 위해서 그림 8과 같이 눈의 양 끝점에서 눈꺼풀 최상단 점이 이루는 각을 측정하였다. 이렇게 측정된 2개의 각을 식 (1)과 같이 각각의 절대 값의 합으로 표현하였다.

$$\text{Degree (Eye)} = |\text{Degree (A)}| + |\text{Degree (B)}| \quad (1)$$

눈꺼풀의 움직임을 통한 뜬눈과 감은 눈의 판별 방법은 눈 끝에 생성된 각각의 모서리각에 대한 절대 값의 합이 특정 임계 값 이상이면 뜬눈이며 반대로 임계 값 이하인 경우에는 감은 눈으로 판별하고 줄음판단을 위해서 눈 감은 시간을 누적하게 된다. 본 논문에서는 사람에 따라 또는 얼굴 포즈에 따라 관측된 눈의 크기가 다르다. 따라서 사람에 따라 그리고 최근의 운전자의 눈 상태에 따라 적용적으로 임계값을 설정하도록 하였다. 최근 5초 동안의 눈꺼풀의 변화를 측정하여 평균값을 구하고 평균값의 3분의 2가 되는 값을 뜬눈과 감은 눈을 구분하는 임계값으로 설정하였다. 한편, 계속적으로 눈을 감고 있는 경우를 측정하기 위한 임계값은 평균값의 5분의 1로 정하고 임계값 이하의 경우에 대해서는 감은 눈으로 판별한다.

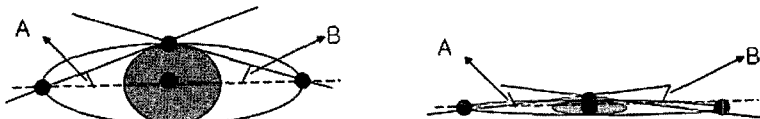


그림 8 눈꺼풀의 움직임 측정 (a) 뜬 눈 상태의 측정 (b) 감은 눈 상태의 측정

$[-1, -1, -1, -1, -1, -1]$	$[-1, -1, -1, -1, -1, -1]$
$[-1, -1, 1, 1, -1, -1]$	$[-1, -1, -1, -1, -1, -1]$
$[1, 1, 1, 1, 1, 1]$	$[1, 1, 1, 1, 1, 1]$
$[1, 1, -1, -1, 1, 1]$	$[1, 1, 1, 1, 1, 1]$

(a) 오픈 필터

(b) 클로즈 필터

그림 9 오픈 필터와 클로즈 필터의 합으로 구성된 눈꺼풀 필터의 설계

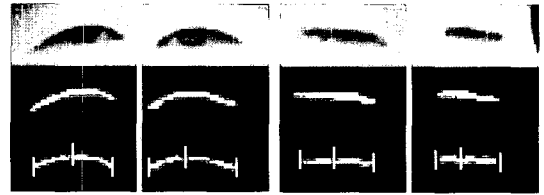


그림 10 눈꺼풀 추출 및 눈꺼풀 측정 (a) 뜬눈영상의 눈꺼풀 측정 (b) 감은 눈 영상의 눈꺼풀 측정, 상-눈 이미지, 중-눈꺼풀 추출, 하-눈 끝점 및 최상단점 추출

한편, 클립 된 눈 영상에서 눈꺼풀의 형태를 추출하기 위해서 그림 9와 같은 눈꺼풀 필터(Eyelid filter)를 제안 하였다. 눈꺼풀 필터는 열린(Open) 눈꺼풀의 형태인 오픈 필터(Open filter)와 닫힌(Close)된 눈꺼풀의 형태인 클로즈 필터(Close filter)로 구성하였다. 눈꺼풀필터는 눈을 감았을 때를 비롯해서 눈을 뜬 상태에서도 눈꺼풀의 형태를 추출해야 하기 때문에 두 필터의 반응 값의 합으로 눈꺼풀 형태를 추출한다. 본 논문에서는 실험을 통해 눈꺼풀 필터에 적용된 임계값을 오픈필터와 클로즈 필터 각각에 대해 전체 반응 값의 상위 10%로 설정하였다. 두 필터 값의 합에 대해서는 모든 양의 값을 취하였다.

그림 10은 검출된 눈 영역에서 눈꺼풀 필터에 의해 상위눈꺼풀 영역만을 추출하여 눈꺼풀이 이루는 각도를 측정한 것이다. 상단 이미지는 검출된 눈 영역에 대한 이미지이며 중간 이미지는 상위 이미지에 눈꺼풀 필터를 적용하여 추출된 상위 눈꺼풀 이미지이다. 마지막으로 하단의 이미지는 중간 이미지를 수평축으로 평행하도록 회전 시킨 후 눈 끝점과 눈꺼풀 최상단 위치를 표시한 것이다.

4.2 졸음 판단 방법

운전자의 눈 상태를 감시하여 졸음을 판단하는 방법은 눈의 깜박임 속도, 일정 시간 동안 누적된 눈을 감은 시간(PERCLOS), 눈동자의 수직 움직임 측정 등 다양한 방법이 연구되었다[1,4,12,14]. 본 논문에서는 장기적인 졸음 상태를 판단하는 방법과 단기적이며 즉각적인 졸음 상태를 판단하는 방법으로 나누어서 졸음 판단을 하였으며 장기적인 졸음 상태 판단 방법은 졸음 판단에 이미 신뢰성이 입증된 PERCLOS를 졸음 판단의 특징으로 하였다[14]. 식 (2)와 같이 PERCLOS는 일정 추적 시간 동안 눈을 감고 있는 시간의 누적을 퍼센트로 나타낸 것이다. PERCLOS는 일정시간 동안 누적된 결과가 특정 임계값을 넘었을 경우 졸음으로 판단되기 때문에 즉각적으로 눈을 감는다고 졸음 상태에 대한 경고를 주는 건 아니다. 예를 들어, 눈 감음이 거의 없이 쾌적한 상태의 운전자가 갑자기 1초 정도 눈을 감었다고 가정하자. 이때 PERCLOS의 변화는 약간 증가할 수는 있지만 졸음 상태나 안전운전에 대한 경보를 주기에 는 수치가 매우 낮다.

한편, 즉각적인 판단 방법은 직관적으로 지속적으로 눈을 감고 있는 시간을 측정하여 판단하였다. 이러한 즉각적인 판단은 실제로 졸음 판단뿐만 아니라 안전운행을 하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다. 따라서 장기적인 측정방법과 단기적인 측정방법이 상호 보완적으로 판단하여 운전자의 상태를 정확히 판단하였다.

$$PERCLOS(\%) = \frac{\text{눈감은 시간의누적}}{\text{누적을 위한 일정측정 시간}} \times 100 \quad (2)$$

5. 데이터 수집

졸음운전검출 시스템 개발을 위해 다음과 같이 두 가지 목적으로 데이터를 수집하였다. 첫째는 다양한 조명 환경 및 다양한 운전자에 대해서 안정적으로 눈을 검출하고 추적할 수 있는지 테스트하기 위한 데이터이다. 두 번째로 검출된 눈 위치를 기반으로 눈을 감고 뜨는 눈꺼풀의 움직임을 통해서 졸음 판단이 수행될 수 있도록 실제 졸음 상태에 있는 운전자의 동영상이 필요하다. 하지만 현실적으로 실제 운전 중 졸음 상태에 있는 운전자의 동영상을 획득하는 건 안전상의 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 졸음 상태의 동영상은 실제 운전 중이 아닌 실내에서 운전을 가장하고 획득하였다. 실제 운전 중인 운전 데이터는 그림 11과 같이 조명 및 안경착용 여부에 대한 설정을 하고 수집하였다.

실제 주간환경과 야간 환경 하에서 주행 중에 발생하는 조명변화 중 운전자의 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정을 어렵게 만드는 환경을 여섯 가지로 정의하고 안경착용 상태와 미착용 상태에서 획득하였다. 예를 들어 주

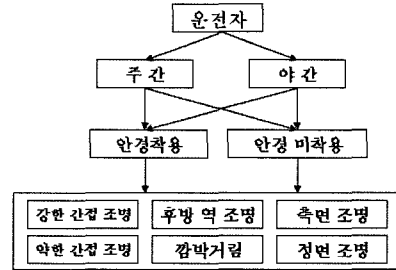


그림 11 다양한 조명에 의한 데이터 구성 트리

간환경에서 강한 정면 광, 역광, 측면 광은 해 뜰 무렵 또는 해질 무렵 자동차의 주행방향에 따라 발생하며 야간환경에서는 다른 차량에서 발생하는 전조등 및 가로등에 의해 발생한다. 깜박임 현상은 가로수지역이나 가로등 밑을 주행할 때 발생하며 약한 빛은 터널 또는 새벽이나 비 오는 날씨에 발생한다. 총 수집된 동영상의 개수는 60개(운전자수 10, 안경 착용 여부 2, 운전시간에 따른 상황 수 3)가 되며 운전 시간에 따른 상황은 각각의 서로 다른 조명 상태를 포함한다. 각각의 동영상은 3분 길이로 편집되었으며 야간환경에서는 적외선 조명을 사용하여 운전자의 얼굴을 일정한 밝기이상으로 유지하였다. 사용된 카메라는 적외선 통과 필터가 장착된 CCD 단일 카메라를 운전석 앞 대쉬 보드에 설치하였다. 한편, 실내에서 운전을 가장한 졸음 상태의 동영상은 동일한 카메라를 이용하여 조명의 변화 없이 적외선 조명을 사용하여 획득하였다. 인위적인 졸음을 유발시키도록 모니터를 주시하도록 하였으며 총 5분 길이로 편집하였다.

6. 실험 및 평가

본 논문에서는 통합된 졸음 운전자 검출 시스템을 구축하기 위해 먼저 다양한 조명환경에서 획득된 데이터를 이용하여 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정에 대한 실험을 수행하였으며 다음으로 PERCLOS 값을 통한 졸음 판단 실험을 분리하여 수행하였다.

그림 12는 졸음 운전자 검출 시스템의 전체 알고리즘을 도식화 한 것이다. 입력된 영상에 대해 조명 보정 및 눈검출을 통해 획득된 눈 영역은 눈 검증과정을 거쳐 정확한 눈 위치를 찾아낸다. 눈꺼풀 움직임 측정을 바탕으로 누적된 시간을 특징으로 PERCLOS와 지속적으로 눈을 감고 있는 시간을 측정하여 졸음 판단을 수행하게 된다. 본 논문에서 PERCLOS의 누적시간은 실험적으로 최근 30초로 설정하였으며 졸음 상태를 나타내는 PERCLOS는 30%이상으로 지정하였다. 만약 PERCLOS와 별개로 즉각적인 판단을 위해 지속적으로 0.8초 이상 눈을 감고 있으면 이 또한 경고메시지를 보내게 된다.

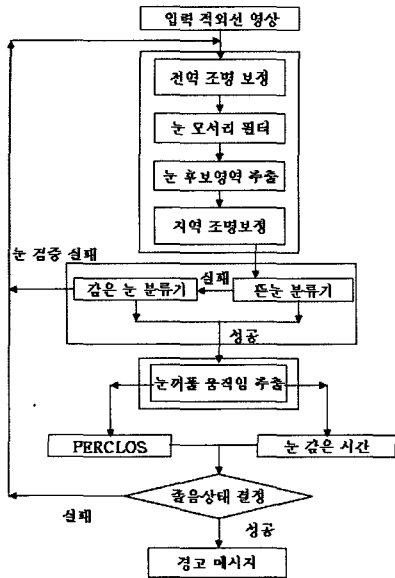


그림 12 졸음 운전자 검출 시스템의 전체 알고리즘

한편, 카메라와 운전자의 거리는 0.8m~1.2m이며 초점 거리 8mm렌즈를 장착한 CCD 카메라를 사용하였다. 카메라 자체적인 영상처리 모듈로는 자동이득조절(Auto Gain Control), 역광보정(Back Light Compensation)기능이 포함되어있다. 전체 알고리즘의 수행속도는 Pentium 4 2.4GHz에서 약 30Frame/Sec 처리속도를 보였다.

한편, 눈 검출 성능을 보면 확보된 10명의 데이터에서 그림 13과 그림 14와 같이 주간 및 야간의 안경 착용 및 미착용 상태에서 전반적으로 검출 결과가 좋았다. 주간 환경에서 안경을 착용하지 않았을 경우는 조명변화에 의한 변화는 제안한 조명보정 알고리즘에 의해 안정적으로 눈을 검출할 수 있었으나 주간 환경에서 안경 착용은 안경이 거울과 같은 역할을 하여 주변 사물 및 빛을 반사시켜 안경렌즈 뒤에 있는 눈꺼풀 움직임을 가리기 때문에 눈꺼풀 움직임을 측정할 수 없는 경우가 발생 하였다. 특히 햇빛이 강한 맑은 날에 주로 안경의 반사가 심하게 발생하였다. 이렇게 안경에 의한 가려짐이 발생할 경우 눈 검출에 의해 눈 위치를 정확히 찾았



그림 13 주간 환경에서 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정

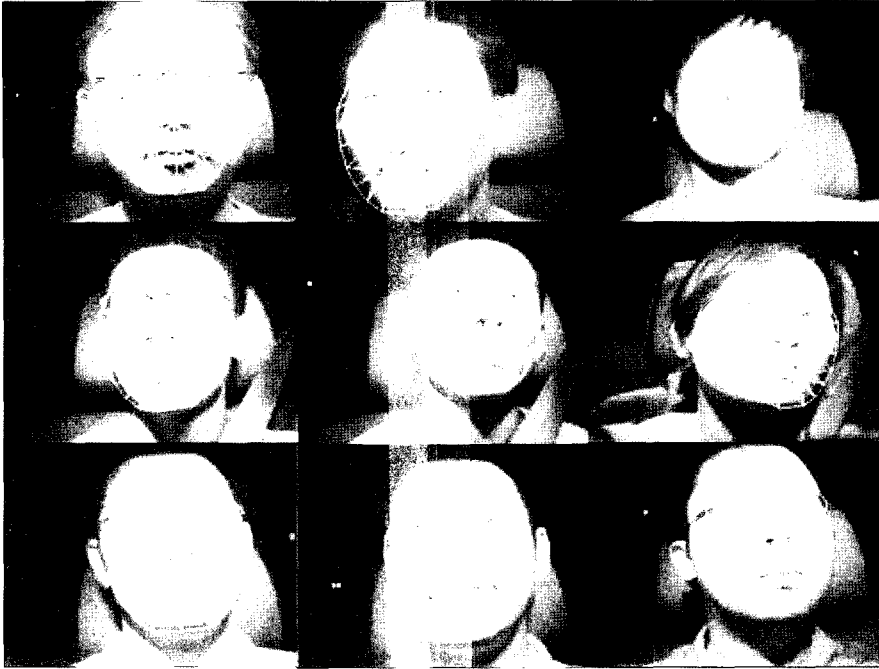


그림 14 야간 환경에서 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정

다고 해도 눈꺼풀의 움직임을 정확히 측정하는 건 어려운 문제이다. 한편, 주간 강한 햇빛으로부터 운전자의 눈을 보호하기 위해 사용하는 선글라스에 의한 눈의 가려짐 문제는 본 논문에서는 고려하지 않았다.

결과 영상에서 메쉬 모델은 얼굴의 특징 점 70개를 사용하여 만든 얼굴의 평균 포인트 모델이며 검출된 눈과 입의 위치를 기반으로 얼굴위로 메쉬 모델을 씌운 것이다. 그림 13에서 좌측 영상 3개는 안경을 착용한 상태에서 검출한 결과이며 가운데 영상들은 흐린 날씨 또는 역광에 의해서 얼굴영역이 상대적으로 어두워진 영상들이며 우측 4개는 얼굴 및 눈 영역에 강한 측광 및 정면광이 비춰진 상태이다. 또한 그림 14에서와 같이 야간환경에서는 적외선 통과 필터를 장착함으로써 자체조명시스템에 의해 발생하는 적외선 조명을 제외하고는 주변 조명의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 주간환경과 달리 안경을 착용한 상태뿐만 아니라 착용하지 않은 상태 모두 안정적인 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정 성능을 보였으며 적외선 조명에 대한 동공의 반응을 이용하여 검은 동공상태를 항상 유지할 수 있으므로 뚜렷한 눈 정보를 얻을 수 있다.

한편, 그림 14는 야간 환경에서 운전 중인 운전자의 눈 검출 및 눈꺼풀 움직임 측정을 수행한 결과이다. 본 시스템의 조명장치를 통해서 적외선 조명을 운전자의 얼굴에 비추고 안경 착용 상태에서도 조명에 의한 반사

를 최소로 하기 위해조명의 위치 및 반사각을 계산하여 눈꺼풀에 대한 가려짐이 최소가 되도록 구성하였다. 주변에서 들어오는 조명은 적외선양이 상대적으로 적기 때문에 운전자의 얼굴 영상에 거의 영향이 없다. 표 1은 제안한 시스템의 눈 검출률 뿐만 아니라 제안한 조명보정 알고리즘의 성능을 보여주고 있다. 한편, 주간환경이 야간환경보다 조명변화가 심하기 때문에 주간 환경에서 획득된 데이터에 대해서만 눈 검출률을 비교하였다. 표 1의 결과를 보면 조명보정 알고리즘이 사용되지 않았을 경우 평균 눈 검출률은 94.58%를 나타냈으며 반면에 조명보정 알고리즘이 사용되었을 경우 평균 눈 검출률은 98.39%를 나타냈다. 한편, 눈의 오 인식으로 인한 평균 눈 검출 실패율은 각각 5.42%, 1.61%이다. 따라서 제안한 조명보정 알고리즘과 눈 검출 알고리즘은 표 1과 같이 상당히 정확하며 신뢰할만한 결과를 보였다.

그림 15는 10명의 동영상 중 6명의 PERCLOS값 측정 결과를 보인 것이다. 총 250초 동안 PERCLOS값을 측정하였으며 PERCLOS계산을 위해 최근 30초 동안 눈감은 시간을 지속적으로 누적하였다. 수평 축은 시간의 경과를 나타내며 수직 축은 측정된 PERCLOS 값을 나타낸다. 각각의 그래프는 동일한 사람에 대해 각각 독립적으로 측정된 상위, 하위 두 개의 라인을 가지고 있다. 상위 라인은 졸음 상태를 나타내고 하위 라인은 지각상태를 나타낸다. 6개의 그래프에서 지각상태와 졸음 상태는

표 1 10명의 주간운전자에 대한 눈 검출성능 비교

운전자	총 프레임 수	조명보정제거		조명보정삽입	
		눈검출률 (%)	오인식률 (%)	눈검출률 (%)	오인식률 (%)
1	1723	91.41	8.59	97.79	2.21
2	1783	94.95	5.05	97.86	2.14
3	1780	97.97	2.03	98.93	1.07
4	1790	94.30	5.70	98.04	1.96
5	1787	92.05	7.95	98.54	1.46
6	1784	93.32	6.68	97.98	2.02
7	1790	91.11	8.89	97.76	2.24
8	1790	98.44	1.56	99.83	0.17
9	1781	95.49	4.51	98.14	1.86
10	1773	96.76	3.24	99.04	0.96
Average		94.58	5.42	98.39	1.61

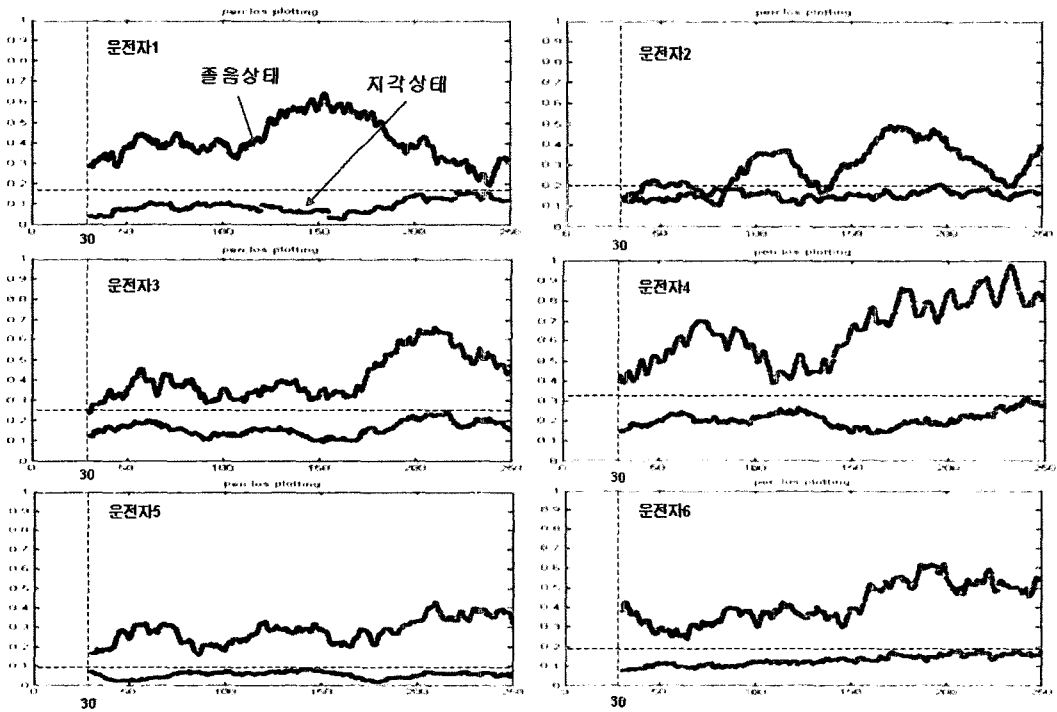


그림 15 6명의 운전자로부터 획득한 PERCLOS 측정 그래프

확연히 구분되며 지각상태의 그래프는 상당히 안정적으로 그래프의 변동의 폭이 좁다. 반면에 졸음 상태의 그래프는 PERCLOS값의 변화가 상당히 심하며 전체적인 수치가 지각상태보다 높게 나타났다. 이러한 그래프를 바탕으로 졸음 경보를 주기 위한 결정경계는 0.3(30%)로 정하였다. 만약 측정된 PERCLOS값이 30%를 넘었을 경우 제한한 시스템에 의해서 경고메시지를 받는다.

7. 결론

본 논문에서는 주간 및 야간에 발생할 수 있는 다양한

조명변화 속에서도 단일 카메라를 통해 운전자의 눈을 검출하고 눈꺼풀 움직임을 측정하여 졸음 운전자를 검출하는 알고리즘 및 시스템을 제안하였다. 특히 제한한 조명보정 알고리즘은 눈 검출 성능을 상당부분 향상시켰으며 이와 더불어 새롭게 제안한 눈꺼풀 움직임 측정방법은 전체 시스템의 신뢰성 및 정확성을 높여 주었다. 전체 시스템은 실시간을 목적으로 개발되었으며 자체 수집한 데이터를 통해 제안한 시스템이 실제 운전 중 발생하는 조명환경에서도 안정적으로 동작함을 보였다. 한편, 주간 환경에서 안경착용 및 선글라스 착용으로 인한 가

러짐 문제는 여전히 어려운 문제로 남아 있으며 이 문제를 해결하기 위한 연구가 추가적으로 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Qiang Ji and Xiaojie Yang, "Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance," Real-Time Imaging, Vol. 8, Issue 5, Pages: 357-377, 2002.

[2] Mimuro, T, Miichi, Y, Maemura, T and Hayafune, K, "Mitsubishi Advanced Safety Vehicle(ASV)," Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems. 1997.

[3] Toshiaki Matsumoto and Yoshihito Hori, "Toyota Advanced Safety Vehicle(Toyota ASV)," Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, 1997.

[4] Hayami, T, Matsunaga, K, Shidoji, K and Matsuki, Y, "Detecting drowsiness while driving by measuring eye movement - a pilot study," Proceedings of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Page(s):156- 161, 2002.

[5] Ueno, H., Kaneda, M. and Tsukino, M., "Development of drowsiness detection system," Proceedings of Vehicle Navigation and Information Systems, Page(s):15-20, 1994.

[6] Van Winsum, W and DE waard, D and Brookhuis, KA, "Lane Change Manoeuvres and Safety Margins," Transportation Research Part F, Vol. 2, Page(s):139-149, 1999.

[7] Renner, G and Mehring, S, "Lane Departure and Drowsiness-Two Major Accident Causes-One Safety System," Transport Research Laboratory, TRL Report 220., 1997.

[8] Hamada, T., Ito, T., Adachi, K., Nakano, T. and Yamamoto, S., "Detecting method for drivers' drowsiness applicable to individual features," Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems, Vol. 2, Page(s):1405-1410, 2003.

[9] FHWA, "Crash problem Size Assessment: Large truck crashes related primarily to driver fatigue," Federal Highway Administration, Office of Motor Carriers, September 1998.

[10] Horne, J. and Reyner, L, "Vehicle accidents related to sleep-a review," Occupational and Environmental Medicine, Vol. 56, Pages(s):289-294, 1999.

[11] Vuckovic, A., Popovic, D. and Radivojevic, V., "Artificial neural network for detecting drowsiness from EEG recordings," 6th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering, Page(s):155-158, 2002.

[12] Ito, T., Mita, S., Kozuka, K., Nakano, T. and Yamamoto, S., "Driver blink measurement by the motion picture processing and its application to drowsiness detection," Proceedings of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Page(s):168-173, 2002.

[13] Ji, Q. and Yang, X., "Real time visual cues extraction for monitoring driver vigilance," In Proceeding of International Workshop on Computer Vision Systems, Vancouver, Canada, 2001.

[14] Dinges, D. and Grace, R, "PERCLOS: A Valid Psycho-physiological Measure of Alertness as Assessed by Psychomotor Vigilance," TechBrief FHWA-MCRT-98-006, 1998.

[15] Xia Liu, Fengliang Xu and Fujimura, K., "Real-time eye detection and tracking for driver observation under various light conditions," IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Vol. 2, Page(s): 344-351, 2002.

[16] D'Orazio, T., Leo, M., Cicirelli, G. and Distante, A., "An algorithm for real time eye detection in face images," Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 3, Page(s): 278-281, 2004.

[17] Jie Zhu and Jie Yang, "Subpixel eye gaze tracking," Automatic Face and Gesture Recognition, 2002, Proceedings, Fifth IEEE International Conference, Page(s): 124-129, 2002.

[18] Romdhani, S., Torr, P., Schölkopf, B. and Blake, A. "Computationally efficient face detection," ICCV 2001.



박 일 관
2002년 군산대학교 컴퓨터학과 졸업 (이학사). 2005년 연세대학교 컴퓨터학과 졸업(공학석사). 2005년~현재 연세대학교 컴퓨터학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 컴퓨터 비전, 패턴인식, 인공지능



김 광 수
1996년 서울대학교 전기공학부 학사. 1998년 서울대학교 전기공학부 석사. 2004년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사. 2004년~현재 삼성전자 TN총괄 통신연구소 책임연구원. 관심분야는 텔레매틱스, LBS, ITS 등



박 상 철
2004년 고려대학교 박사 영상처리/패턴인식 전공. 2005년 삼성전자 통신연구소 책임 연구원. 2006년~현재 특허청 디지털방송심사팀 심사관

변 혜 란
정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용 제 34 권 제 1 호 참조