

논문 2012-49SP-3-4

졸음 인식과 안전운전 보조시스템 구현

(Implementation of A Safe Driving Assistance System and Doze Detection)

송 혁*, 최 진 모*, 이 철 동*, 최 병 호*, 유 지 상**

(Hyok Song, Jinmo Choi, Chuldong Lee, Byeongho Choi, and Jisang Yoo)

요 약

본 논문에서는 검출된 운전자의 얼굴영역에서 눈의 형태를 인식하여 졸음 상태를 감지하는 기법을 개발하고 감지 결과에 따라 위험 상태를 알려주는 경보 시스템을 구현하고자 한다. 먼저 얼굴 검출에는 Haar 변환 기법을 이용하고 실험실환경, 차량환경 및 적외선 영상을 획득하여 다양한 조명 환경에서도 강인하도록 전처리 및 후처리 과정을 적용한다. 눈 검출에는 보통 한국인이라는 가정하에 눈의 위치 및 크기의 비례 구조 특성 등을 이용하여 후보 영역을 제한하고 트리구조에 대한 실험 결과로 고속 알고리즘을 구현하였다. 또한 졸음 상태를 인식하기 위해서는 눈의 개폐 형태를 검출할 수 있는 Hough 변환을 이용한 기법과 눈의 개폐에 따른 눈의 형태 비율을 이용한 기법을 새로이 제안하며, 눈이 감겨있는 시간을 측정하여 졸음 여부를 판단한다. 1단계 졸음 상태로 판단될 경우 통합 모니터링 인터페이스에서 운전자에게 경고음을 울리며 2단계 졸음 상태로 판단될 경우에는 CAN(Controller Area Network)을 통하여 안전벨트를 진동하게 함으로써 운전자에게 경고를 하는 시스템을 구현한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 기존의 기법들과 비교하여 실험실 환경에서 평균 83.64% 이상의 검출률을 달성 하였으며, 실제 차량환경에서도 실험 결과를 통하여 평균적으로 우수한 결과를 보였다.

Abstract

In this paper, a safe driving assistance system is proposed by detecting the status of driver's doze based on face and eye detection. By the level of the fatigue, safe driving system alarms or set the seatbelt on vibration. To reduce the effect of backward light and too strong solar light which cause a decrease of face and eye detection rate and false fatigue detection, post processing techniques like image equalization are used. Haar transform and PCA are used for face detection. By using the statistic of the face and eye structural ratio of normal Koreans, we can reduce the eye candidate area in the face, which results in reduction of the computational load. We also propose a new eye status detection algorithm based on Hough transform and eye width-height ratio, which are used to detect eye's blinking status which decides doze level by measuring the blinking period. The system alarms and operates seatbelt on vibration through controller area network(CAN) when the driver's doze level is detected. In this paper, four algorithms are implemented and proposed algorithm is made based on the probability model and we achieves 84.88% of correct detection rate through indoor and in-car environment experiments. And also we achieves 69.81% of detection rate which is better result than that of other algorithms using IR camera.

Keywords : 졸음검출, 얼굴검출, 안전운전시스템, 눈상태검출

I. 서 론

* 정회원, 전자부품연구원

(Korean Electronics Technology Institute)

** 정회원, 광운대학교 전자공학과

(Kwangwoon University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 정보통신기반구축사업의 일환으로 수행하였음.

[B1120-0901-0002, IT특화연구소설립]

접수일자: 2011년8월13일, 수정완료일: 2012년4월2일

차량용 임베디드 시스템 기술의 발전과 차량의 고기능 사양에 대한 요구 증가로 차량 제조 가격 중 전자 장치의 비율이 급속도로 늘고 있다. 최근 고가의 차량은 이미 전자 장치의 가격 비율이 차 가격의 40%를 넘어섰으며 이후 몇 년 사이에 60%를 넘어설 것으로 예

상하고 있다. 차량 내 지능형 전자 장치는 운전자가 수행하는데 도움을 주는 안전운전 시스템과 차량 내에서 즐길 수 있는 엔터테인먼트 시스템으로 구분할 수 있는데 최근 안전 운전을 위한 시스템의 개발이 가속화되고 있다. 차량의 위치를 파악하는 GIS 시스템, 외부의 온도, 습도 및 조도를 인식하는 환경 센서, 차량의 속도, 운동 및 각속도를 인식하는 차량 정보 센서, 전방의 장애물을 인식하는 장애물 감지센서, 운전자의 상태를 감지하는 운전자상태 감지센서 등을 통하여 입력되는 정보를 분석하여 운전자의 안전 운전을 유도하는 시스템이 하나의 예라 할 수 있다.

차량 내 안전운전 보조시스템 및 편의장치에서 영상 정보를 활용하는 시스템의 숫자가 늘고 있다. 차량 충돌방지 시스템, 사각 인지 시스템, 차량 흐름 인식 시스템 및 차선이탈 경보시스템 등이 그 예이며 그 활용도도 점점 커지고 있고 상용화 제품의 출시도 늘고 있다^{[1][2]}. 국내 자동차 제조사들은 내장된 카메라로 전방을 촬영하여 분석한 후 차선을 검출하는 차선이탈 방지시스템 등을 적용한 예가 있으며 후진 시 차의 예상 진행 경로를 위에서 내려다보는 것처럼 표시되는 후방 Top-view 기능이 있는 후진 주차 가이드시스템도 적용되었다. 볼보는 룸미러에 장착된 카메라가 주행 방향을 확인하여 정상 궤도를 벗어나면 소리나 진동으로 운전자에게 경고하며, 65Km/h 이상에서 지그재그(zigzag) 운전을 하거나 차선을 이탈하면 경보음을 내는 기능도 구현하였다^[3]. 또한 전자부품연구원에서는 보행자 및 차량을 검출하여 운전자에게 정보를 전달하는 SoC 플랫폼을 개발하였다^[4].

자동차 사고의 주요 원인 중 가장 큰 비중을 차지하는 요소는 운전자의 피로로 인한 졸음운전으로 조사되었다. 이는 피로가 졸음으로 이어지기 때문이다. 또한 질병이 있거나 단조로운 운전환경 역시 졸음을 유발할 수 있다. 이때 중요한 것은 심각한 졸음 상태가 될 때까지 운전자는 전혀 인지하지 못하고 주행하게 되는데 졸음운전은 매우 사고로 이어질 수 있기 때문에 조기에 졸음 상태를 검출하고 운전자에게 경고하는 시스템이 필요하다.

졸음검출 기법으로는 적외선 영상 획득시 Even 및 Odd Frame에서의 조명 변화를 이용한 눈검출 및 Facial Feature의 Localization을 이용하여 머리 움직임을 통한 피로도 검출방법^[5], Gabor Response Wave를 이용한 깜박임검출방법^[6], 눈썹과 눈 영역의 밝기값에

따른 거리변화를 깜박임 검출방법^[7], 눈 템플릿을 이용한 방법^[8] 등의 방법이 있다. 위의 실험은 대부분 실험실 환경 내에서 이루어져 일정한 조명, 일정한 밝기값을 가진 얼굴 영상이므로 실제 차량 환경에서의 졸음검출률을 보장하기 어렵다. 또한 오랜기간 연구가 진행되어온 졸음검출 기법의 상용화가 이루어지지 못한 가장 큰 원인으로 조명 변화에 대응하지 못했기 때문이다.

본 논문에서는 획득된 영상의 조명 변화에 대응하기 위하여 개선된 히스토그램 평활화 기법을 통한 노이즈 제거 및 블러제거방법의 제안 그리고 검출된 눈 영역에서 강인한 깜박임 검출을 위하여 깜박임 상태에 따른 눈 형태를 이용한 깜박임 방법 및 감은 눈에서 나타나는 직선화 정보를 이용하여 깜박임을 검출하는 방법 기반한 졸음검출 기법을 제안한다. 졸음 상태를 검출하기 위하여 실험실 환경, 차량내 환경 및 적외선 카메라를 이용한 실험을 통하여 제안하는 알고리즘의 우수성을 보인다. 졸음 상태 인식 결과를 시스템으로 구현한 안전운전 보조시스템을 소개한다. 제안한 시스템은 운전자 상태 인식을 위한 졸음 검출 장치와 검출된 결과를 기반으로 운전자에게 경고를 하기 위한 시스템으로 구성되어 있다. 졸음 검출 시스템에서는 먼저 운전자의 얼굴 영역을 추출하고 추출된 얼굴 영역내의 눈의 형태에 따라 눈의 깜박임 정도를 검출한다. 눈의 개폐 시간에 따라 졸음 여부를 판단하며, 졸음 상태라고 판단되면 바로 안전운전 보조시스템에서 경고음을 보내거나 안전벨트를 진동하게 함으로써 운전자가 위험 상황으로부터 벗어날 수 있도록 도와준다.

본 논문의 II장에서는 얼굴 추출 기법, 눈 상태 검출 기법 등을 소개하고 깜박임 검출을 통하여 운전자의 상태를 검출한다. III장에서는 인식 결과를 이용하여 구현된 안전운전 보조시스템을 소개한다. IV장에서는 실내 환경, 차량환경 및 적외선 영상의 실험을 통하여 제안한 시스템의 성능을 검증하고 V장에서 결론을 보인다.

II. 운전자의 졸음 검출 기법

눈 깜박임 정도를 활용한 운전자의 졸음 상태 인식을 위해서는 얼굴 검출, 눈 검출 및 깜박임 검출 등 여러 단계의 과정을 거친다. 눈은 얼굴의 일부 영역이며 눈 깜박임은 눈의 움직임이다. 따라서 운전자의 얼굴 영역의 추출이 우선되고, 추출된 얼굴 영역 내에서 눈 영역을 검출한다. 또한 검출된 눈 영역에서 눈의 움직임 분

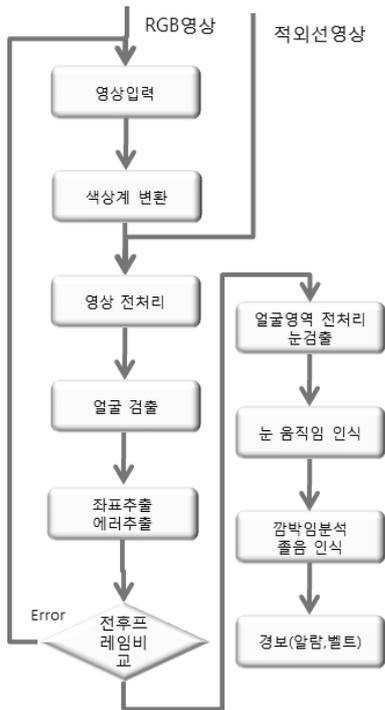


그림 1. 졸음 검출 흐름도
Fig. 1. The flow chart of doze detection.

석 과정이 필요하다. 각 과정에서 특징점 검출 및 상태 검출의 성능을 높이기 위해서는 획득된 영상의 화질이 매우 중요하다. 최적의 영상 화질을 위해서 각 과정에서는 전처리 기법을 적용한다. 본 논문에서 제안하는 졸음 검출 기법의 흐름도는 그림 1과 같다.

입력된 영상은 전처리 과정을 통하여 노이즈제거 및 영상의 평활화 과정을 거치며 연속 프레임간 좌표를 활용하여 각 프레임에서의 순간 오류를 추출하여 보정한다. 입력 영상의 전체 영상 보정과정 후 얼굴 영역을 추출한다. 눈 영역을 추출 단계에서는 원 영상에서 얼굴 영역을 추출한 후 얼굴 영역 내부에서 전처리 과정을 거친다. 추출된 눈 영역 역시 얼굴 영역 내의 보정 결과이므로 다시 원 영상에서 눈 영역을 추출하여 눈 영역 내에서 전처리를 거치고 깜박임 검출을 하여 졸음 상태를 분석한다. 적외선 영상은 RGB 영상의 색상계를 변환하여 밝기 영상을 추출한 후 동일한 기법에 의하여 처리한다.

2.1 영상 전처리

차량 내 환경에서 조명의 변화는 매우 크다. 태양광이나 기타 외부에서 발생하는 강한 광원으로 인하여 운전자의 얼굴 부분의 밝기값이 매우 높거나 상대적으로

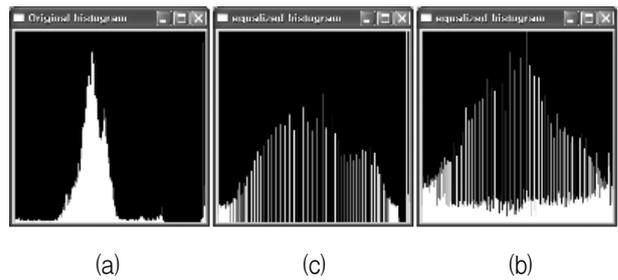


그림 2. 히스토그램 평활화 (a) 평활화 전, (b) 평활화 후, (c) Normalization 후
Fig. 2. Modified histogram equalization. (a) Original histogram, (b) Equalized histogram (c) Modified histogram equalization.

낮아져 검출률이 떨어질 수도 있으며 조명에 따라서 얼굴의 밝기값이 급격히 변할 경우에도 시간에 따라 검출률이 변할 수 있다. 따라서 밝기값 조정에 의한 영상의 화질 개선은 검출률 저하를 해결할 수 있는 매우 유용한 전처리 방법이며 히스토그램 평활화(Histogram Equalization) 기법이 대표적이다. 이 외에도 보다 효과적으로 영상의 분포를 분석하기 위해 EER(Entropy Error Rate)을 활용하는 방법도 있다^[9]. 본 논문에서는 대표적인 방법인 히스토그램 평활화 방법을 응용하여 계단현상을 줄일 수 있으며 고속으로 처리할 수 있는 전처리 방법을 구현하고자 한다.

히스토그램 평활화는 영상 내에서 대조(Contrast)를 증가시키며 일반적으로 화소 값들이 일부 영역에 몰려 있을 경우(Contrast가 작은 경우) 영상개선 효과가 크게 나타난다. 누적분포함수(Cumulative Distribution Function)를 선형적으로 변형시켜 화소 값의 분포를 평활화한다. 이 과정에서 일부 영역에 집중되어 있는 밝기값의 분포가 그림 2(a)와 같이 원 영상에서는 어느 정도 일정한 포락선을 형성하고 있으나 변형 후에는 그림 2(b)와 같이 이산적인 분포로 변형될 수 있으며 이러한 이산적인 분포의 특성으로 영상 내에 블록 잡음 또는 계단 현상이 발생할 수도 있다. 히스토그램 평활화 과정은 영상 내에 존재하는 객체 또는 주변 화소와의 관계를 고려하지 않고 각각 화소 값의 분포와 존재할 확률 값만을 이용하여 변환하기 때문에 잡음이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 Gaussian Blur 방법을 이용한 4-이웃화소 정규화 과정(4-Neighbour Normalization)을 제안하였으며 히스토그램 평활화 후에 발생하는 계단 현상을 줄였다. 그림 2(c)에서 보는 바와 같이 히스토그램 분포가 그림 2(b)의 결과와 다르

게 비어있던 히스토그램 중간의 값에도 화소가 분포하는 것을 알 수 있다.

2.2 얼굴 영역 검출

얼굴 검출 기법은 최근 매우 광범위하게 연구되어왔으며 그 중에는 얼굴의 외형을 검출하는 방법, Eigen-Face를 이용하는 방법, Fisher-Face를 이용하는 방법, 뉴럴 네트워크를 이용하는 방법 및 SVM (Support Vector Machine)을 이용하는 방법 등이 있다^[10-12]. 본 논문에서는 Cascade Classifier 트레이닝을 통한 얼굴 검출 방법을 이용한다^[13].

이 방법은 Paul Viola의 Boosted Cascade 방법^[14]을 변형한 것으로 본 논문에서는 그림 3과 같이 회전된 Haar-like Feature를 추가하여 적용한다. Boosted Cascade 방법은 각 단계를 통과하지 못한 영상은 다음 단계에서 사용되지 않으며 여러 단계의 약 분류기를 통하여 강분류기로 추출된다.

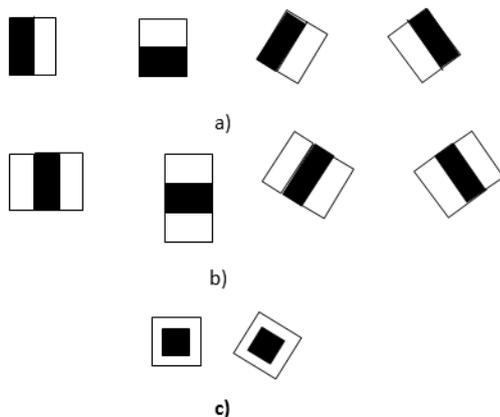


그림 3. Haar-like features
Fig. 3. Haar-like features.

2.3 눈 영역 검출

주어진 영상의 화질 개선 작업 후 얼굴 영역을 검출 하더라도 역광 영상의 경우 얼굴 영역의 밝기 값은 전체 영상의 밝기 값과 비교하여 현저히 낮은 값을 갖는다. 따라서 눈 영역 검출을 위해서는 영상 개선 작업 후 추출된 얼굴 영역의 영상을 그대로 사용하지 않고 추출된 얼굴 영역의 좌표 값을 이용하여 원 영상에서 얼굴 영역을 찾아 얼굴영역내에서 히스토그램 평활화 과정을 적용하여 영상의 화질을 개선하고자 한다. 이미 앞에서 언급한 바와 같이 전체 영상의 화질개선 과정에서

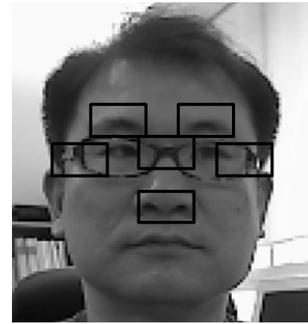


그림 4. 얼굴 영역에서의 눈으로 오검출 가능한 영역
Fig. 4. Mis-detection area in face.

Gaussian Blur 방법을 활용한 이웃화소 정규화 작업 (Neighbour Normalization) 과정을 거쳤기 때문에 Blur 현상이 존재할 수 있으므로 연속적인 전처리 과정을 거치기보다는 원 영상에서 얼굴 부분만을 추출하여 적용하는 것이 검출률 향상에 도움이 된다.

얼굴 영역에서 눈 영역이 차지하는 영역의 비율은 매우 작다. 따라서 눈 검출을 위하여 추출된 얼굴 영역 전체를 이용할 경우 얼굴 내 제한된 영역 내에서만 눈을 검색할 경우와 비교하여 연산량이 크게 증가할 뿐 아니라 그림 4와 같이 눈이 존재하기 어려운 영역에서 눈 형태와 비슷한 객체를 눈으로 오검출하는 경우가 발생할 수 있다.

얼굴에서 눈 영역의 위치를 분석하여 선행 정보로 활용하고 검색 영역을 제한하기 위하여 보통 한국인의 얼굴 정보를 분석한다. 획득된 얼굴 영역의 크기는 영상 획득 위치와 장치에 따라 각각 다르므로 얼굴 영역과 눈 영역의 크기 및 위치를 비율로 추출한다. 일반적으로 사각형 구조의 눈 후보 영역에서 눈 검색 시 Raster Scan 방식을 사용하여 전 영역을 검색하나 전체 과정에서 연산 시간이 가장 많이 요구되는 모듈의 최적화를 위하여 검색 영역을 줄여야 하며 눈이 존재할 가능성이 가장 높은 후보 영역의 중앙에서부터 검색함으로써 검색 시간을 줄일 수 있다.

눈 검출 기법은 얼굴 검출 기법과 유사하게 눈의 형태를 이용한 방법, 컬러정보를 이용한 방법 등이 있다^[8]. 본 논문에서는 Eigen-eye를 구하여 눈 영역을 검출하고자 한다. 추출된 얼굴 영상으로부터 얼굴 영역의 크기를 구하고 얼굴 영역의 크기로부터 눈 영역의 크기를 예측하여 데이터베이스의 눈 크기에 맞도록 변환하는 Adaptive PCA 방법을 사용한다^[15]. PCA 방법은 데이터베이스의 크기가 작아도 검출이 가능하나 연산량이

상대적으로 많으므로 얼굴영역에서 눈 후보영역으로 제한하여 연산량을 줄이고 Tree 구조를 이용하여 다시 연산량을 줄였다.

2.4 깜박임 검출

눈의 깜박임 검출을 위해 사용되는 기법은 Multiple Gabor Wave Response의 분석을 이용한 방법^[6], 동공검출 및 동공의 크기를 이용한 방법^[16] 및 PCA를 이용한 방법^[15] 등이 있다. MGWR을 이용한 방법은 Gabor Wave를 분석 후 각 개인별로 적절한 Key Gabor Response Wave를 선정하여 사용하므로 모든 환경에 사용하기 어려우며, 동공 검출을 이용한 방법 및 PCA를 이용한 방법은 조명의 변화에 민감하여 변화하는 조명환경에서 적용하기 어렵기 때문에, 본 논문에서는 눈의 깜박임을 검출하기 위하여 세 가지 방법을 제안하는데, 첫째는 색상계를 이용한 깜박임 검출방법이고 두 번째는 눈의 형태를 활용한 방법이며 마지막으로 Hough 변환의 결과로 검출된 직선 성분을 이용한 깜박임 검출 기법이다. 최종적으로 다양한 환경에서의 검출률을 높이기 위하여 PCA 모델 및 두 가지 제안하는 방법을 융합하여 깜박임 검출을 하는 기법도 제안한다.

가. 색상 정보를 이용한 방법

얼굴 영역은 인종에 따라 다양한 색상을 포함하고 있으나 어느 정도 유사한 색상 분포를 보이고 있다. 색상

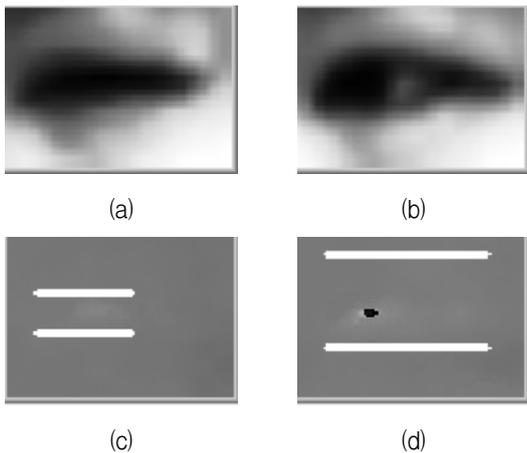


그림 5. Hue 값을 이용한 뜯눈과 감은 눈의 비교 (a) 감은 눈의 Level값, (b) 뜯눈의 Level 값, (c) Hue 값에서의 감은 눈 영역, (d) 뜯눈에서의 영역

Fig. 5. Open and close eye using hue (a) Closed eye, (b) Open eye, (c) Closed eye area in hue, (d) Open eye area in hue.

을 이용한 얼굴 검출 기법에서는 주로 HSV 색상계를 사용한다. 먼저 입력된 RGB 영상을 식 (1)을 이용하여 HSV 색상계로 변환한 후 Hue 영상에서 얼굴 영역의 색상 분포를 제거하면 눈, 코 및 머리 영역이 추출된다.

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad (1)$$

$$Hue < T_L, Hue > T_H \quad (2)$$

얼굴 영역에서 눈 후보 영역을 제한하였고 눈 영역은 얼굴영역과 다른 Hue 값 분포를 가지므로 다양한 환경에서 얼굴 영역이 갖는 Hue 값을 2개의 문턱값 T_L 및 T_H 을 이용하여 식 (2)와 같이 눈 영역과 얼굴영역을 분리하여 눈 영역을 추출할 수 있다^[17]. 추출된 눈 영역의 크기 값을 이용하여 감거나 뜯눈의 형태를 보았을 때 그림 5와 같이 눈을 감았을 경우가 눈을 떴을 경우보다 눈의 간격이 작다는 것을 알 수 있다.

나. 눈의 형태를 활용한 방법

눈의 형태를 이용하여 깜박임을 검출하는 방법 중의 하나로 눈 영역의 형태를 활용한 방법이 있다. 일

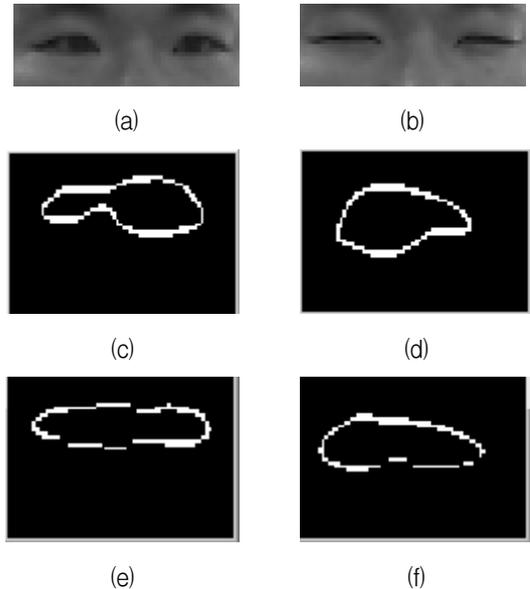


그림 6. 영역을 활용한 깜박임 검출 (a). 뜯눈의 예, (b) 감은 눈의 예 (c)(d) 뜯눈의 영역, (e)(f) 감은 눈의 영역

Fig. 6. Blink detection using eye area (a). An example of open eye, (b) An example of close eye (c)(d) Open eye area, (e)(f) Close eye area.

반적으로 눈 영역은 주변 영역에 비하여 어두운 값을 갖는다.

후보 눈 영역에서 어두운 영역을 추출하면 그림 6과 같이 눈 영역의 외곽선을 얻을 수 있고, 따라서 눈을 감았을 때와 떴을 때의 영역의 변화를 감지할 수 있다. 그림 6(c)와 (d)의 뜬 눈의 영상과 그림 6(e)와 (f)의 감은 눈의 영상에서 추출 가능한 특징은 식 (3)을 통한 눈 영역의 상하 간격과 좌우 길이의 비율이다.

$$Ratio = Eye_{height} / Eye_{width} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{if } Ratio \geq T_{open}, & \text{Open eye} \\ Ratio < T_{open}, & \text{Close eye} \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 눈 영역의 상하, 좌우 비율을 이용하여 식 (4)와 같이 눈의 깜박임을 추출할 수 있다.

다. Hough 변환을 이용한 방법

눈의 형태는 눈을 감았을 경우는 눈꺼풀 때문에 직선 성분을 보이고 떴을 때에는 눈의 형태 및 눈 안에 존재하는 동공에서 눈의 원 형태를 찾을 수 있다. 조명이 밝고 일정할 경우 동공을 찾을 수 있으나 실제 조명 환경에서는 동공을 찾기 쉽지 않다. 따라서 눈 영역을 검출한 이후에 눈 영역의 평활화를 통하여 영상의 화질 개선을 한다.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (5)$$

이 후 임계 값에 의하여 추출된 눈 영역을 이진화하고, 이진화된 영역에서 직선 성분을 추출한다. Hough 변환은 직선 성분을 추출하기 위해 가장 많이 사용되는 방법으로 직선 외에 원, 타원도 추출 가능하다. Hough 변환은 영상 내에 존재하는 X-Y 좌표계의 한 점을 지나는 직선을 식 (5)와 같이 정의한다. 그림 7에 보인 θ

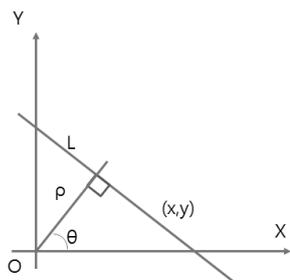


그림 7. Hough 변환을 이용한 (x,y) 좌표계의 변환
Fig. 7. Coordinate transform using Hough transform.

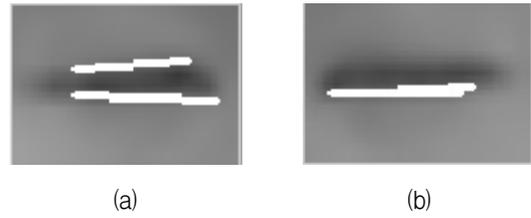


그림 8. 좌우 눈 영역에서의 직선성분 추출
Fig. 8. Line detection in left/right eye area.

및 ρ 를 이용하여 직선 성분을 추출하며 직선 성분의 길이 및 직선 성분의 강도 값을 이용하여 직선으로 판단한다.

그림 8과 같이 감은 눈의 경우 눈 영역에서 직선 성분이 추출되며 이를 통하여 눈의 개폐를 감지할 수 있다.

라. 융합형깜박임 검출 기법

운전자의 졸음 상태 인식을 위한 눈의 깜박임 검출을 위하여 기존의 기법들을 융합한 새로운 기법을 제안한다. PCA를 이용한 방법은 안정된 조명하에서는 만족할 만한 검출률을 보여주나 조명상태가 변화하는 상황에서 히스토그램 평활화 및 영상의 정규화(normalization) 등의 전처리 단계를 거치면 히스토그램 평활화 과정에서의 블록현상 및 노이즈 발생, 그리고 정규화 과정에서 영상의 화질저하로 인하여 검출률이 낮아지는 결과를 보인다.

색상계를 이용한 눈 영역 검출과 깜박임 검출 기법은 밝기값 Y와 색상 값 Cb 및 Cr을 분리하고 색상 값을 이용하여 깜박임을 검출하나 색상 값이 밝기 값에 독립적이지 않기 때문에 밝기 값에 따라서 색상 값이 모두 변화함으로 일관된 검출률을 확보하기가 어렵다. 밝기 값의 변화 등에 강인한 방법으로 눈의 형태 및 직선 성분을 이용한 방법을 제안하고, 더 좋은 검출률을 확보하기 위하여 실험적 결과를 분석하여 기존 PCA 방법과 형태를 이용한 검출 방법의 장단점을 이용하여 식 (6)과 같이 새로운 기법을 제안한다.

$$BS(n) = \{BS(n)_{Hough} \cap BS(n)_{Area}\} \cup BS(n)_{PCA} \quad (6)$$

제안된 기법에서는 각 n번의 프레임에서, 최종 감은 눈 상태 $BS(n)$ 는 직선성분을 이용한 감은 눈 상태 결과 $BS(n)_{Hough}$ 와 눈의 형태를 이용한 감은 눈 상태 결과 $BS(n)_{Area}$ 의 교집합과 PCA를 이용한 감은 눈

상태 결과 $BS(n)_{PCA}$ 의 합집합을 최종 감은 눈 상태로 정의하여 구현하였다.

III. 안전운전 보조시스템 구현

차량 내에 활용되는 네트워크는 CAN(Controller Area Network), Flexray, MOST(Multimedia Oriented Systems Transport) 등으로 다양하나 센서 및 경보 장치에는 주로 CAN 이 활용된다. 본 연구에서는 다양한 영상처리를 통하여 획득된 운전자의 졸음 여부 상태를 CAN을 통하여 경보장치에 보내어 상태를 제어하는 안전운전 보조시스템을 구현한다.



그림 9. CAN을 이용한 안전운전 보조시스템
Fig. 9. Safe driving assistant system using CAN.

그림 9와 같이 본 논문에서 구현된 안전운전 보조시스템은 먼저 운전자의 영상을 획득하는 모듈, 운전자의 졸음 상태를 검출하는 모듈, 안전벨트를 제어하는 모듈로 구성되어 있다. 구현된 시스템은 가상 운전 상태에서 두 단계의 경보를 전달하도록 구성되어 있으며 1 초간 연속으로 눈을 감고 있을 경우를 1 단계 졸음 초기 상태로 인지하여 경고음을 이용하여 경보를 전달한다.

또한 지속적으로 눈을 감고 있을 경우를 2 단계 졸음 상태로 판단하여 안전벨트(Seatbelt)가 진동하도록 차량 네트워크를 통하여 명령을 전달하며 안전벨트에서는 모터의 진동으로 운전자에게 경보를 전달한다. 각 단계를 결정하는 시간 파라미터는 사용자에게 의하여 조절 가능하도록 구현하였다.

IV. 실험 결과

가. 실험실 환경에서의 실험

본 연구는 상용화를 목표로 개발된 영상 획득 시스템인 저가형 웹캠을 사용하였다. 또한 임베디드 시스템에서 고속 처리를 위하여 영상의 해상도를 CIF 급으로 낮추어 처리하였다. 본 연구에서는 그림 10과 같이 다양한 기능을 포함한 UI를 구성하였다. UI에는 입력된 영상, Downsampling된 영상, 추출된 얼굴 영역 및 Gray 영상, 추출된 눈 영상, 이진화된 눈 영상, 눈 외곽선 영상, Hue 값을 이용한 영상 및 Hough 변환을 이용한 직선성분 추출 결과 등을 볼 수 있으며 이를 제어하기 위한 다양한 선택사항과 각 단계에서 추출된 변수들도 볼 수 있다.

눈의 깜박임 검출을 실험을 위하여 배경부에 조명이 존재하는 역광 환경, 야간 실내 환경 등 다양한 환경에서 영상을 획득하여 실험하였다. 카메라와 운전자의 거리는 약 70cm에서 1M의 거리를 유지하여 운전 상황과 가장 유사하게 하고 고정된 카메라로 어느 정도 일정한 크기의 얼굴 영상을 획득할 수 있도록 구성하였다. 그



그림 10. 운전자 상태 인식 소프트웨어 UI
Fig. 10. The UI of driver's status detection software.

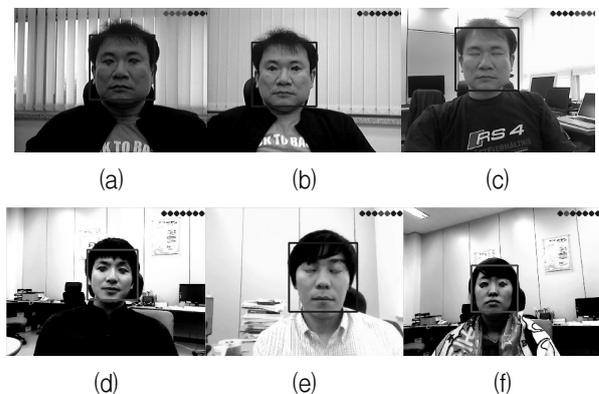


그림 11. 실험에 사용된 테스트 영상(실험실환경)
Fig. 11. Test images (Laboratory environment).

림 10의 UI를 통하여 획득된 얼굴 영상의 크기는 100 화소 전후의 폭을 가진 영상이며 눈 영역을 추출하기 위한 DB의 크기와 유사한 눈 영역을 추출할 수 있으므로 검출률을 높일 수 있었다.

그림 11은 실험에 사용된 테스트 영상을 보인다. 4명의 실험자를 이용하여 총 6개의 동영상을 구성하고 모두 1403개의 프레임이 포함되어 있다. 동영상 1은 그림 11(a)의 영상으로 주간 역광에서의 영상을 보이고, 동영상 2는 그림 11(b)의 영상으로 야간 조명하에서의 영상이고, 동영상 3은 그림 11(c)의 영상으로 밝은 실내조명 환경이다. 동영상 4는 그림 11(d)의 영상으로 밝은 배경의 인물이며, 동영상 5는 그림 11(e)의 영상으로 다른 동영상과 달리 색차값이 다른 영상이며, 동영상 6은 그림 11(f)의 영상으로 여성 운전자를 가정하였다.

각각의 동영상은 다양한 조명 환경과 각기 다른 장소에서 촬영되었다. 이는 환경에 따라 검출률의 차이를 검증하고 분석하기 위해서이다. 본 논문에서 융합 기법 등 제안하는 4개의 눈 깜박임 검출 기법과의 성능비교를 위해 Eigen-eye를 활용한 PCA 방법을 구현하여 성능을 평가하였다. 각각 동영상의 감은 눈의 검출률 및 뜬 눈의 검출률의 결과를 표 1에 나타내었다. 비교된 기법은 Eigen-eye 기법, Hough를 이용한 기법, 눈의 형태 및 영역을 이용한 Area 기법 및 제안한 기법이다. 동영상 1은 배경영역의 조명이 강하여 검출률이 떨어지는 환경이며 동영상 2는 실내 조명 환경에서 획득된 영상으로 검출률이 높다. 동영상 3은 강한 실내조명으로 난이도는 중간정도이며 동영상 4는 조명에 의하여 눈 영역의 구분이 잘 되지 않는다. 동영상 5는 모발 영역이 얼굴영역을 많이 덮고 있으며 눈이 작아 눈 영역 검출이 용이하지 않은 어려운 영상이며 동영상 6은 여성 데이터이다.

나. 차량 환경에서의 실험

실험실 환경에서는 일정한 조명으로 인하여 실제 환경과 많은 차이를 가진다. 특히 차량 내 환경에서는 차량 윈도우의 위치 및 태양광의 위치에 따라 실험 결과에 영향을 크게 미친다. 정확한 실험 결과를 얻기 위하여 그림 12와 같이 실제 차량환경에서 영상을 획득하였다.

차량환경에서는 그림 12(b)에서 보는 바와 같이 머리 영역과 차량 내부의 상단부분이 구분이 어려운 경우가 있어 검출률이 떨어질 수 있다. 그림 12(a)는 동영상a를



그림 12. 실험에 사용된 테스트 영상(차량환경)
Fig. 12. Test images(In-car environment).

보이고 있으며 그림 12(b)는 동영상b를 보이고 있다.

다. 적외선 카메라를 이용한 실험

본 연구에 사용된 적외선 카메라는 적외선 및 가시광선을 모두 통과시킬 수 있는 필터를 사용하였고 적외선 조명을 사용하였다. 그림 13과 같은 영상을 획득하였다.



그림 13. 실험에 사용된 적외선 영상
Fig. 13. Test images (IR images).

라. 실험 결과

RGB 카메라를 이용한 총 검출률을 표 1에 나타내었다. 표 1의 Eigen 검출률은 실제 뜬 눈과 감은 눈을 Eigeneye 방식으로 정확히 일치한 검출률을 나타내며 Hough 검출률 및 Area 검출률 역시 일치한 검출률을 나타낸다. 제안한 기법에 의한 감은 눈의 검출률과 뜬 눈의 검출률은 기존 Eigeneye 방법, Hough 방법 및 Area 방법보다 높게 나타났다. 일반적으로 뜬 눈의 검출률이 높게 나왔다. RGB 카메라를 이용한 실내 환경 및 차량환경에서의 테스트 결과 총 검출률은 평균 83.64%였다.

적외선 영상을 이용한 검출률은 표 2와 같다. 제안하는 기법을 이용한 검출률이 모든 방법에 비하여 우수하게 나타났다.

제안하는 융합 기법은 기존 각각의 기법과 비교하여 뜬 눈을 검출하는 비율 및 감은 눈을 검출하는 비율에

표 1. RGB 카메라 영상의 실험 결과
Table 1. The result of the test using RGB camera.

	총 프레임	Eigen 검출률	Hough 검출률	Area 검출률	제안방법 검출률
동영상1	95	73.68%	70.53%	83.16%	90.53%
동영상2	309	86.41%	89.97%	95.15%	98.06%
동영상3	193	82.90%	80.31%	86.53%	93.78%
동영상4	380	58.95%	68.42%	43.68%	81.05%
동영상5	227	47.58%	49.78%	57.71%	56.39%
동영상6	199	49.25%	74.87%	88.94%	89.45%
동영상a	230	87.39%	86.52%	25.22%	83.91%
동영상b	270	73.70%	69.63%	38.89%	75.93%
합	1903	69.98%	73.75%	64.91%	83.64%

표 2. 적외선 영상의 검출률
Table 2. Detection ratio using IR images.

	총 프레임	Eigen 검출률	Hue 검출률	Hough 검출률	Area 검출률	제안방법 검출률
동영상1-1	270	73.70%	29.63%	29.63%	30.37%	75.19%
동영상1-2	270	63.70%	52.96%	52.96%	31.85%	64.44%
합	540	68.70%	41.30%	41.30%	31.11%	69.81%

서 모두 개선된 결과를 보였으며 총 검출률에서도 제안하는 융합 기법이 가장 우수한 검출률을 보였다. 각 실험 결과를 볼 때 실내 및 차량 실험환경에 따라 검출률의 차이 심하다는 것도 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 눈 영역의 직선 성분을 추출하는 Hough 변환을 이용한 방법, 눈의 형태를 이용한 방법과 이들 방법과 Eigen-eye를 이용한 PCA 방법 등의 장단점만을 이용한 융합 기법 등을 제안하여 운전자의 졸음 상태를 인식하고자 하였다.

또한 안전운전 보조시스템을 구현함으로써 인식결과를 이용하여 운전자에게 경고를 할 수 있도록 하였다. 운전자 졸음 상태 인식시스템은 운전자로부터 1미터 전후의 위치의 카메라로 획득되며 운전자에게 어떠한 부가적인 장치도 부착되지 않는 비접촉식 방법일 경우 기존 Eigen-eye 방법에 비하여 제안하는 기법의 검출률이 더 높음을 실내 및 차량환경에서의 실험결과를 통하여 알 수 있었다. 따라서 동공이 확인되지 않는 영상에서는 눈의 형태를 활용한 검출 방법이 효율적임을 알

수 있었으며 본 실험은 실시간으로 구현되어 운전자의 상태인식을 위해 사용자가 정한 시간내에 졸음으로 판단되면 동작까지 모두 실시간으로 동작한다.

조도변화와 같은 조명 환경의 변화나 조명의 위치 등은 실험 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 이를 극복하기 위한 전처리 기법이나 일정한 조명 환경을 조성하기 위한 근적외(Near IR) 융합 기법연구도 병행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 안경착용자의 졸음검출을 위하여 Circle Mask 기법을 적용하여 안경에 의한 눈 간섭 시 더 강인한 결과를 보이도록 연구를 진행하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 오세근, “미래 지능형 자동차산업 동향과 전망”, EIC, 2011.
- [2] 알앤디비즈, “지능형 자동차 시장동향”, EIC, 2010.
- [3] <http://www.volvocountry.com/Volvo-S80/LANE-DEPARTURE-WARNING.html>, 2011.07년 발췌
- [4] H. S. Son, S. Y. Lee, J. C. Choi and K. W. Min, “Efficient Pedestrian Detection by Bin-interleaved Histogram of Oriented Gradients”, TENCON, pp.2322-2325, Nov. 2010.
- [5] H. Gu, Q. Ji, Z. Zhu, “Active Facial Tracking for Fatigue Detection” Proc. of the Sixth IEEE WACV’02, 2002
- [6] J. W. Li, “Eye blink detection based on multiple Gabor response waves”, Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference, Vol. 5, pp. 2852-2856, Dec. 2008.
- [7] N. Parmar, “Drowsy Driver Detection System” Ryerson University, 2002.
- [8] T. Miyakawa, H. Takano, and K. Nakamura, “Development of Non-contact Real-time Blink Detection System for Doze Alarm,” SICE Annual Conference in Sapporo, vol.2, pp.1626-1631, Aug. 2004.
- [9] L. Jin, S. Satoh and M. Sakauchi, “A Novel Adaptive Image Enhancement Algorithm for Face Detection,” in Proc. of ICPR04, pp.843-848, Cambridge, UK, Aug. 2004.
- [10] M. H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja, “Detecting Faces in Images: A Survey,” IEEE TPAMI, vol.24, no.1, pp.34 - 8, Jan. 2002.
- [11] E. Hjelmås, and B. K. Low, “Face Detection: A Survey,” CVIU, vol.83, pp.236 - 74, Sep. 2001.
- [12] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Philips, and A. Rosenfeld, “Face Recognition: A Literature

Survey,” ACM Computing Surveys, vol.35, no.4, pp.399 - 58, Dec. 2003.

[13] R. Lienhart and J. Maydt, “An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection,” IEEE ICIP 2002, vol.1, pp.900-903, Sept. 2002.

[14] P. Viola and M. J. Jones, “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features,” IEEE CVPR, vol.1, pp.I-511-I-518, Dec. 2001.

[15] M. H. Yang, N. Ahuja, D. Kriegman, “Face recognition using kernel eigenfaces”, International Conference on Image Processing Proceedings, Vol. 1, pp. 37-40, Sep, 2000.

[16] T. Miyakawa, H. Takano, K. Nakamura, “Development of non-contact real-time blink detection system for doze alarm”, SICE 2004 Annual Conference, Vol. 2, pp. 1626-1631, Aug. 2004.

[17] S. Guerfi, J. P. Gambotto, S. Lelandais, “Implementation of the Watershed Method in the HSI Color Space for the Face Extraction”, Advanced Video and Signal Based Surveillance, pp. 282-286, 2005.

— 저 자 소 개 —



송 혁(정회원)
 1999년 광운대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.
 2001년 광운대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2012년 광운대학교 전자공학과 박사 졸업.
 2000년~현재 전자부품연구원 멀티미디어IP연구센터 선임연구원
 <주관심분야 : 영상인식, 3D영상처리, 보안시스템>



최 진 모(정회원)
 2003년 한양대학교 전자컴퓨터 공학과 학사 졸업.
 2001년 한양대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업.
 2011년~현재 전자부품연구원 연구원.
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴인식>



최 병 호(정회원)
 1991년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1993년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2010년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사 졸업.
 1997년~현재 전자부품연구원 멀티미디어IP연구센터 센터장
 <주관심분야 : 3D, Vision, 반도체>



이 철 동(정회원)
 1977년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1986년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
 1997년 충북대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업.
 1977년~1984년 한국전자통신연구원, 연구위원
 1984년~현재 전자부품연구원, 수석연구원
 <주관심분야 : 반도체, 임베디드시스템>



유 지 상(정회원)
 1991년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1993년 서울대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2010년 Purdue Univ. EE, Ph.D.
 1997년~현재 광운대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 3D 입체영상처리/압축, 웨이블릿 기반 영상처리, 비선형 디지털 신호처리>