

운전자 졸음 인식 시스템 구현

최진모*, 송혁°, 박상현*, 이철동*

Implementation of Driver Fatigue Monitoring System

Jin-Mo Choi*, Hyok Song°, Sang Hyun Park*, Chul-Dong Lee*

요약

본 논문에서는 운전자 졸음 인식 시스템의 구현 방법과 그에 따른 결과를 소개한다. 영상 입력 장치로는 시중에 판매되는 웹캠 카메라를 사용하였다. 얼굴 검출 방법으로는 Haar 변환 기법을 이용하였으며, 다양한 조명 환경에 강건하게 적응하도록 조명정규화를 수행하였다. 조명정규화를 거친 얼굴 영상은 특징값 추출에 용이하다. 조명정규화를 통한 눈 후보영역은 인체측정학 정보를 이용하여 후보 영역을 줄인 이후에 PCA와 Circle Mask의 혼합 모델을 적용했다. 위 방법을 통해 차량 내부의 복잡한 조명 환경 속에서 강건히 눈 영역을 추출한다. 검출된 눈 영역은 고해상도의 조명 정규화 영상과 간단한 연산을 통하여 졸음 여부를 판별한다. 졸음 상태가 1단계로 판단 될 경우에는 통합 모니터링 인터페이스에서 운전자에게 경고음을 울리며 2단계일 경우에는 CAN(Controller Area Network)를 통하여 안전벨트를 진동하게 함으로써 운전자에게 경고를 준다. 본 논문에서 제안하는 졸음 인식 시스템은 낮은 계산 복잡도를 만족하는 동시에 높은 인식률을 보여준다. 실험 결과 차량 내에서 97%의 인식률이 나타났다.

Key Words : Driver fatigue monitoring system, Face detection, 졸음 인식, 안전운전 보조 시스템

ABSTRACT

In this paper, we introduce the implementation of driver fatigue monitoring system and its result. Input video device is selected commercially available web-cam camera. Haar transform is used to face detection and adopted illumination normalization is used for arbitrary illumination conditions. Facial image through illumination normalization is extracted using Haar face features easily. Eye candidate area through illumination normalization can be reduced by anthropometric measurement and eye detection is performed by PCA and Circle Mask mixture model. This methods achieve robust eye detection on arbitrary illumination changing conditions. Drowsiness state is determined by the level on illumination normalize eye images by a simple calculation. Our system alarms and operates seatbelt on vibration through controller area network(CAN) when the driver's doze level is detected. Our algorithm is implemented with low computation complexity and high recognition rate. We achieve 97% of correct detection rate through in-car environment experiments.

I. 서론

차량용 전자기술의 발전과 지능형자동차 개발 요구

사항 증가에 따라 지능형 자동차기술이 전기, 전자, 통신, 기계, IT등 각기 분야의 기술과 융합되어 개발되고 있다. 지능형자동차의 기술 분류는 크게 차량 안

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 정보통신기반구축산업의 일환으로 수행하였음. [b1120-0901-0002, IT특화연구소 설립]

◆ 주저자 : 최진모 전자부품연구원 소프트웨어디바이스연구센터, choijm@keti.re.kr, 정회원

° 교신저자 : 송혁 전자부품연구원 멀티미디어IP연구센터, hsong@keti.re.kr, 정회원

* 전자부품연구원 소프트웨어디바이스연구센터, shpark@keti.re.kr, 정회원, leecd@keti.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-04-223, 접수일자 : 2012년 4월 29일, 최종논문접수일자 : 2012년 8월 6일

전시스템과 운전자 편의시스템으로 구분할 수 있다. 차량 안전시스템 기술은 주행 안전성 향상 제어기술, 사고 예방 및 회피 기술, 상해치 경감기술, 자율주행 기술 등이 있으며 운전자 편의시스템은 운전자 정보 제공 기술(DIS, Driver Information System), HVI (Human Vehicle Interface) 기술 등이 있다¹⁾.

지능형자동차는 차량 간의 통신정보, 차량과 인프라 간의 통신정보, 레이더정보, 적외선정보, 지리정보, 카메라를 통한 영상정보 등 다양한 방법을 사용하여 자동차 내·외부 상황을 인지하고 첨단 지능형 안전/편의 시스템에 대응한다. 그 중 영상정보는 자동주차, 표지판 인식, 전방 차량감지, 차선감지, 차량 간 거리감지, 보행자 및 차량 충돌 방지, 사각인지 등에 사용되며 이를 위해 개발 및 연구가 진행되고 있다. 국내 자동차 관련회사는 내장된 카메라를 이용하여 차선검출 및 이탈 방지시스템이나 전 방위 시야감지 AVM (Around-View Monitoring) 시스템 등을 개발하였다.

자동차 사고의 원인 중에 가장 사망률이 높은 사고는 운전자 피로에 의한 졸음운전으로 조사되었다. 현재 지능형자동차 기술 중에 안전 시스템 분야에서 활발히 연구되고 있는 분야가 운전자의 졸음을 미리 감지하고 사고를 예방하는 사고예방 보조 시스템이다. 그러나 영상을 이용한 운전자 졸음 인식 시스템은 차량 내의 복잡한 조명환경으로 인하여 개발에 어려움을 겪고 있다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위하여 영상 전처리 과정과, 얼굴 조명 정규화 과정, 눈 조명 정규화 과정을 수행하였다. 또한 운전자 졸음 인식 시스템을 임베디드시스템에 적용하기 위하여 낮은 연산 처리를 요구하는 알고리즘을 개발하였다. 덧붙여 상용화를 목표로 일반 저가형 카메라를 영상 입력장치로 사용하였다. 영상을 통해 눈 깜박임 및 졸음이 판별되면 본 논문에서 제안하는 시스템은 세 단계로 위험수준을 구분하여 경고신호를 전달해 준다. 운전자의 졸음 정도가 낮다고 판별되면 알람을 울려 운전자에게 경보를 주고 운전자의 졸음 정도가 중간정도일 경우에는 차량 네트워크인 CAN 기반 진동 시스템트를 연동시켜 운전자에게 경보를 전달한다. 운전자의 졸음 정도가 최고 수준이고, 전방의 충돌 위험이라고 판별될 경우에는 차량 안전제어 시스템에서 제동을 할 수 있는 신호를 보내준다.

본 논문은 II 장에서 운전자 졸음 인식 기술에 대한 전체적인 흐름을 간략히 설명하고 영상 전처리, 얼굴 영역 검출, 조명 정규화, 눈동자 및 눈 검

출, 깜박임 검출에 대하여 소개한다. III 장에서는 안전운전 보조 시스템의 모듈별 구성을 소개한다. IV 장에서는 적외선 동영상과 차량 내의 동영상을 활용한 실험 결과를 기술한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결과에 대한 요약과 향후 계획에 대해 소개한다.

II. 운전자 졸음 인식 기법

본 논문의 운전자 졸음 인식 시스템은 그림 1과 같이 요약할 수 있다. 깜박임 및 졸음 판별을 위해서는 눈 정보를 검출하고 눈 정보는 얼굴에 속해 있으므로 얼굴 검출, 눈동자 및 눈 검출, 깜박임 및 졸음 판별 순으로 수행된다. 또한 각 단계의 성능향상을 위하여 영상 전처리, 조명 정규화 과정이 삽입된다. 영상 전처리는 색상계 변환, 노이즈 제거, 영상 평활화, 프레임 간의 좌표 값을 이용한 오류 추출 등을 말하며 조명 정규화는 차량 내부의 복잡한 조명 환경에 대응하기 위하여 조명 정보를 정규화 시키는 과정을 뜻한다. 위 과정을 거친 얼굴 영상은 얼굴 특징값 추출이 용이하다는 장점이 있다. 깜박임 및 졸음 판별은 정해진 시간 구간 동안 눈을 감은 시간을 계산하여 구분한다. 눈을 감은 시간에 따라 위험 수준을 달리 측정하며 위험 수준이 낮을 경우에는 알람으로 경고하고 위험 수준이 높을 경우에는 벨트 진동으로 경고한다. 마지막으로 안전벨트 진동에도 운전자가 깨어나지 않는 경우에는 차량 안전 시스템에 제동 신호를 보낸다.

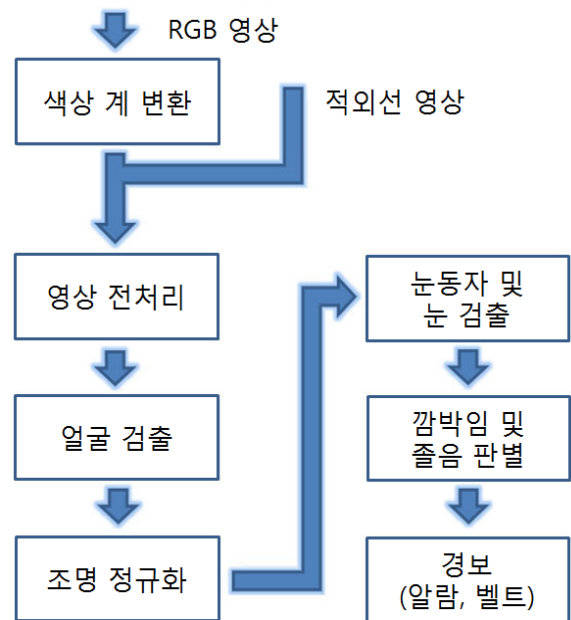


그림 1. 졸음 인식 흐름도
Fig. 1. Flow chart of fatigue monitoring system

2.1. 영상 전처리

차량은 날씨와 광원의 방향성, 빛의 종류 (직접광 반사광 확산광) 등에 의해 복잡한 조명 환경에 노출된다. 이와 같은 조명에 대응하기 위하여 본 논문은 영상 전체의 화질을 개선하는 영상 전처리 과정과 얼굴의 조명을 보정하는 조명 정규화 과정을 수행한다. 본 장에서는 영상 전처리 과정에 대하여 설명한다.

영상 전처리는 대표적으로 히스토그램 평활화 (Histogram Equalization) 기법과 EER(Entropy Error Rate)기법이 있다²¹. 본 논문에서는 대표적인 방법인 히스토그램 평활화 방법을 응용하였다. 히스토그램 평활화는 대조(Contrast)를 증가시켜 화질을 개선하는 기법이다. 누적분포함수(Cumulative Distribution Function)의 특징을 이용하여 화소 값(Intensity)을 선형적으로 재배치함으로써 화소 값이 몰려있는 현상을 해결한다.

이와 같은 전처리 방법은 얼굴과 같은 분석 객체의 특징 값을 부각시키는 이점이 있으나 분석 대상의 특징 값만이 아니라 잡음 역시 부각시키는 특징이 있다. 화소 값이 일부 영역에 몰려서 분포할 경우, 이를 정규화 시키면 이산적인 분포 형태를 가지게 되는데 이는 영상 내에서 계단 현상을 발생시킬 수 있는 요소가 된다. 이를 해결하기 위하여 본 논문은 히스토그램 평활화 과정 이후에 4-이웃화소 (4-Neighbour) 간에 Gaussian Blur 방법을 적용했다.

2.2. 얼굴 영역 검출

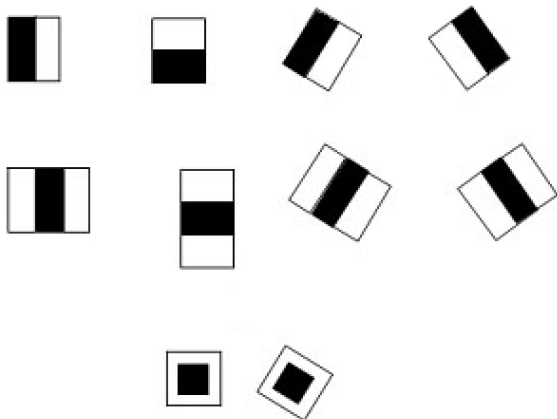


그림 2. Haar-like 특징 값
Fig. 2. Haar-like features

얼굴 검출 기법은 다양한 기법이 연구되어왔으며 그 중에는 얼굴 특징 값을 이용한 방법, 템플릿 매

칭을 이용한 방법, PCA를 이용한 방법, Fisher-Face 를 이용한 방법, 뉴럴 네트워크를 이용한 방법, SVM(Support Vector Machine)을 이용한 방법 등이 있다³¹. 본 논문에서는 Haar-like Feature를 기반으로 한 Cascade Classifier방법을 사용한다⁴¹. 이 방법은 여러 단계의 약분류기를 이용하여 강분류기를 구성한 Paul Viola의 Boosted Cascade 방법⁵¹을 변형한 것으로 기울어진 얼굴 정보를 추출하기 위하여 그림 2와 같이 회전된 Haar-like Feature를 추가로 적용했다.

2.3. 조명 정규화

전처리 후 검출된 얼굴 영상으로부터 눈 정보를 추출하는 것은 차량 내의 조명환경을 고려할 때 어려운 점이 많다. 이는 주행 방향에 따라 광원의 방향이 바뀔 뿐만 아니라 직접광, 반사광, 확산광 등, 빛의 종류도 다양하기 때문이다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위하여 얼굴의 조명 정보를 정규화하고 눈의 검출률을 높이기 위해 조명 정규화를 수행한다.

일반적으로 조명 정규화는 조명 정보가 저주파에 집중되어 있다는 점과 특징 값이 고주파에 집중되어 있다는 점을 이용하여 저주파의 특징을 감쇠시키고 고주파의 특징을 증폭시키는 방법을 사용한다. 본 논문에서는 주파수 분리를 위해 FFT를 사용하였고 저주파 감쇠와 고주파 증폭을 위해 Homomorphic Filter를 사용하였다. 또한 조명 정규화를 위하여 히스토그램 적합화(Histogram Fitting)를 사용하였다⁶¹.

주파수 감쇠와 증폭에 사용되는 Homomorphic Filter는 응용 분야에 따라 감쇠 정도와 증폭 정도가 구분된다. 본 논문에서는 인체 측정학을 기반으로 눈의 크기가 얼굴의 크기와 비례하고 눈의 정보가 얼굴 영상에서 고주파에 몰려있다는 점을 이용하여 눈의 정보를 최대한 살려주면서 조명 정보를 감쇠시켰다.

Homomorphic Filter는 저주파를 중심으로 한 원형형태의 필터이다. 식 (1)의 r_L 는 저주파 대역 필터 값이고 r_H 는 고주파 대역의 필터 값으로 r_L 은 1보다 작은 값이 할당되며 r_H 는 1보다 큰 값이 할당된다. 즉, 저주파 대역은 1보다 작은 값과 곱하여 연산되고 고주파 대역은 1보다 큰 값과 곱하여 연산되는 것이다. $D(u,v)$ 는 필터의 중심으로부터 거리이며 D_0 는 필터의 거리를 정규화하는 상수이다.

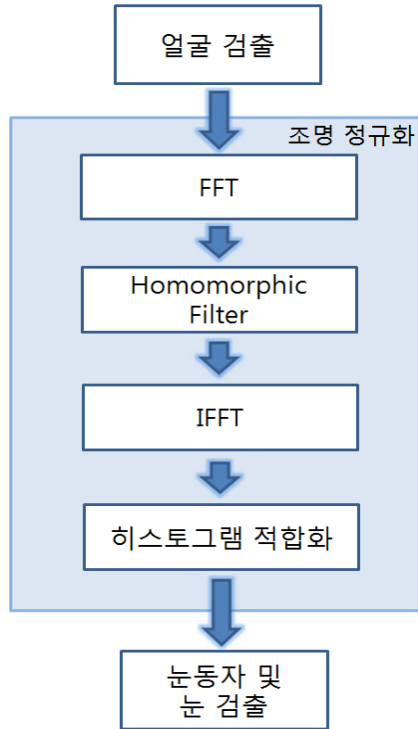
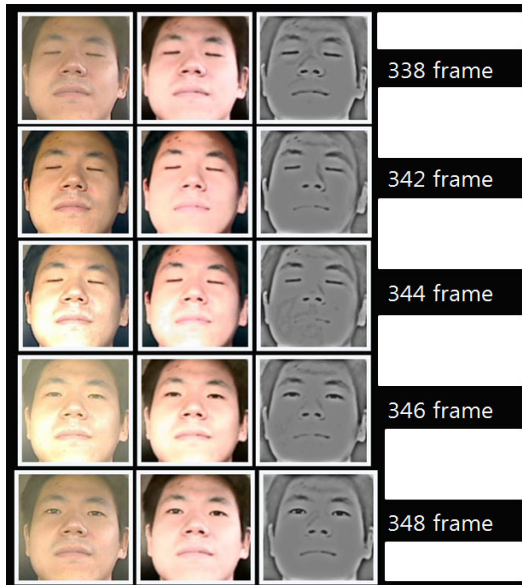


그림 3. 조명 정규화 흐름도
Fig. 3. Flowchart of illumination normalization

$$H(u,v) = (r_H - r_L) \left[1 - e^{-c \left(\frac{D^2(u,v)}{D_0^2} \right)} \right] + r_L \quad (1)$$



(a) 원본 얼굴 동영상, (b) 전처리 후, (c) 조명 정규화
(a) Input face image, (b)Preprocessing, (c) Illumination normalization

그림 4. 조명 정규화 (차량동영상2.avi)
Fig. 4. Illumination normalization

조명의 정보를 감쇠시킨 영상은 저주파 성분의 크기 값 차이 때문에 화소 값이 정규화가 이뤄지지 않은 상태이다. 이를 해결하기 위하여 히스토그램 적합화를 수행한다.

$$f_{HU}(i) = \frac{\sum_{j=0}^i H(i)}{\sum_{j=0}^{n-1} H(i)} \quad (2)$$

$$f_{GU}(i) = \frac{\sum_{j=0}^i G(i)}{\sum_{j=0}^{n-1} G(i)} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)의 f_{HU} 와 f_{GU} 는 각각 히스토그램 평활화를 나타낸 것이다. 원하는 조명 정규 영상을 $G(i)$ 라고 정의할 때 히스토그램 적합화는 다음과 같이 이뤄진다.

$$f_{HG}(i) = f_{UG}(f_{HU}(i)) \quad (4)$$

식 (4)의 $f_{UG}(i)$ 는 $f_{GU}(i)$ 의 역 히스토그램 평활화(Inverse Histogram Equalization)이다. $f_{HU}(i)$ 를 $f_{UG}(i)$ 로 변환하는 과정에서 맵핑되지 않는 히스토그램 테이블 값은 선형 보간법(Linear Interpolation)으로 해결한다^[6]. 조명 정규화를 통한 영상은 짧은 구간에서 다양한 조명 변화가 있을 경우에도 그림 4와 같이 조명 정규화가 이루어짐을 볼 수 있다.

2.4. 눈동자 및 눈 검출

얼굴에서 눈의 영역을 찾기 위해 인체측정학과 조명 정규화의 화소 값을 이용하여 눈 후보 영역을 줄였다. 인체측정학을 이용한 눈 후보 영역은 얼굴의 중심으로부터 상단 부위까지 비교적 넓은 영역을 할당했으며 화소 값에 의한 후보 영역은 눈을 못 찾는 일이 없도록 넓은 분포 값으로 설정하였다.

눈을 검출하는 기법은 템플릿 매칭 방법^[7], 컬러 정보를 이용하는 방법, 윤곽선을 이용하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 Eigen-eye^[8]와 Circle Mask를 융합한 방법을 사용한다. Eigen-eye는 추출된 얼굴 크기에 비례하여 눈의 크기를 예측하고 데이터 베이스의 눈 크기에 맞도록 변환하는 Adaptive PCA방법이다^[9]. Circle Mask는 눈동자 정보를 추출

하는 원형 템플릿으로 낮은 연산만으로 눈동자의 중심을 찾을 수 있다.



그림 5. 피부에 eigen-eye를 투사한 값
Fig. 5. Projection of eigen-eye to the skin

눈을 검출하는 단계에서 사용하는 PCA는 눈동자의 활동성 때문에 눈동자 영역의 고유 값(Eigen-value)이 작다. 즉 평균 영상(Average Image)에서 눈동자의 윤곽은 흰자와 잘 구별되지 않는다. 이러한 이유로 눈의 영상에 투사(Projection)한 결과 값에는 눈동자의 형상이 뚜렷이 맺히지만, 그렇지 않은 영상에서는 그림 5와 같이 눈동자의 형상이 맺히지 않는다. 그러나 눈동자의 유무는 눈을 판별하는데 중요한 특징 값 중에 하나이며 피부에 드리워진 음영에 따라 눈매와 비슷한 윤곽이 생성되어 오검출이 될 수 있다. 이러한 점을 해결하기 위해서 Eigen-eye와 Circle Mask를 융합하였다.

본 논문에서 사용되는 Circle Mask는 원의 중심보다 외곽 값을 더 높게 설정하는데 이는 눈동자라고 예측되는 부분이 다른 영역보다 좀 더 큰 값을 가지게 만들기 위해서다. Circle Mask는 얼굴의 크기에 비례하여 예상되는 눈동자 크기보다 조금 더 작게 설계한다. Circle Mask의 반지름은 식 (5)와 같다.

$$D(x_r, y_r) = \text{face size} / \alpha \quad (5)$$

$$C(x, y) = M(x, y) \left(W_1 + W_0 \left(\frac{|D(x, y)|^{2\alpha}}{|D(x_r, y_r)|^{2\alpha}} \right) \right) \quad (6)$$

$$M(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(x, y) \leq r/2 \\ 0 & \text{if } D(x, y) > r/2 \end{cases} \quad (7)$$

Circle Mask $C(x, y)$ 는 x, y 위치에 적용될 값이다. W_0, W_1 은 가중치로 그림 6의 (b)와 같이 W_1 은 기저 가중치이고, W_0 는 Circle Mask 내부의 최대치와 최저치를 결정하는 가중치이다. $D(x, y)$ 는 Circle Mask의 중심으로부터의 거리이다. α 는 Circle Mask 내부의 편차를 조절하는 변수이다.

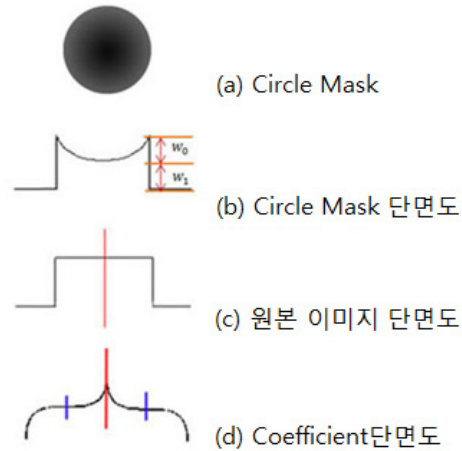


그림 6. Circle Mask와 Coefficient 값
Fig. 6. Circle Mask and Coefficients

이렇게 만들어진 Circle Mask는 눈동자 후보 영역 내에서 유사도를 검사하고 Eigen-eye값과 합쳐져 가중치 지도를 형성한다.

$$W_{cir}(x, y) = C(x, y) \circ \hat{I}(x, y) \quad (8)$$

$$W(x, y) = \alpha W_{PCA}(x, y) + \beta W_{cir}(x, y) \quad (9)$$

식 (8)은 눈동자 후보 영역의 반전 화소 값인 $\hat{I}(x, y)$ 와 Circle Mask $C(x, y)$ 를 상관관계(Correlation)해준 것이다. 식 (9)의 α, β 는 각각 PCA와 Circle Mask의 가중치이다. Circle Mask는 그림 7과 같이 저해상도 입력 영상에서도 눈동자의 중심을 찾아주는데, 이러한 특징은 운전자의 전방 주시, 비주시를 판별하는데도 도움을 준다.

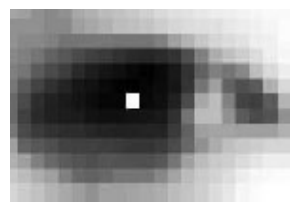


그림 7. Circle Mask에 의한 눈동자 중심
Fig. 7. Circle Mask estimates center of pupil

검색 영역 내에서 눈동자 후보 영역으로 판별되는 영역은 눈썹 영역과 눈 영역 등이 있다. 식 (9)에 의해 추출된 관심 영역은 그림 8과 같이 라벨링을 통하여 눈 영역을 추출한다.

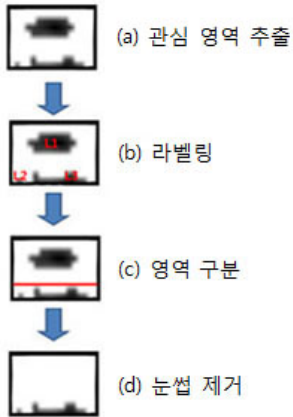


그림 8. 눈썹 제거 흐름도
Fig. 8. Flow chart of eyebrow erasure

2.5. 깜박임 판별

깜박임 검출에 사용되는 기법은 Multiple Gabor Wave Response를 이용한 방법^[10], 동공 검출을 이용한 방법^[7]등이 있다. MGWR을 이용한 방법은 개인별로 적절한 Response Wave를 선정해야 한다는 단점이 있으며, 동공을 이용한 방법은 주시 방향 변화에 취약하다는 단점이 있다. 본 논문은 각 기법의 단점을 보완하기 위하여 조명 정규화를 통해 조명 잡음에 대응한 후, 눈의 윤곽을 추출하여 깜박임 및 줄음 판별에 사용하였다.

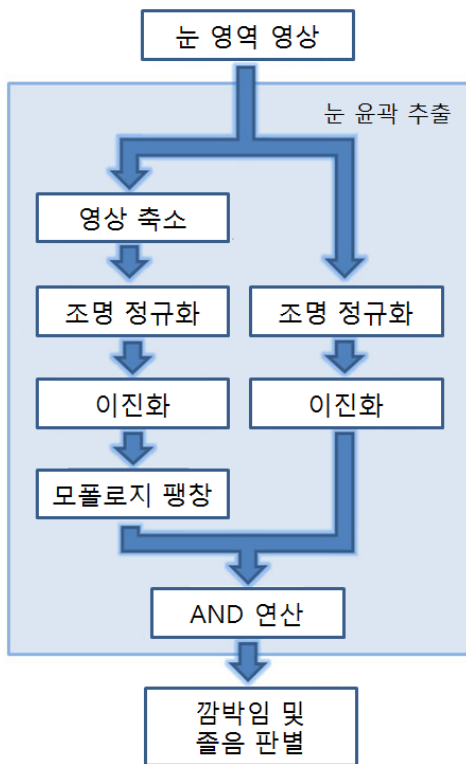


그림 9. 이진 눈 추출에 대한 흐름도
Fig. 9. Flow chart of binary eye extraction

조명으로 인한 피부 영역의 노이즈 혹은 반사광의 고주파 성분은 눈 영역을 추출할 때 오류를 발생시킬 수 있다. 이를 해결하기 위하여 후보 영역의 고주파 성분을 제거한 후 이진화하여 눈 윤곽 정보를 추출한다. 고주파 성분을 제거하는 방법은 양방향 보간법으로 영상을 축소시키는 것이다. 그러나 축소된 영상은 눈 정보의 윤곽을 손실시키는 효과가 있기 때문에 원본 영상의 눈 정보를 병렬적으로 추출하여 눈 정보를 보완한다. 축소된 영상은 원본 영상과 합 연산을 하기 전에 모폴로지 팽창을 이용하여 눈 후보 영역을 확대시킨다. 위 과정은 그림 9와 같다. 이진화 된 눈 정보는 장축에 대하여 정규화 시킨 후, 눈 영역의 너비와 높이를 계산하여 비율로 눈의 깜박임을 판별한다.

$$Eye_{ratio} = Eye_{height} / Eye_{width} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} Eye_{ratio} &\geq T_{open}, && Open\ Eye \\ Eye_{ratio} &< T_{open}, && Close\ Eye \end{aligned} \tag{11}$$

눈의 너비인 Eye_{width} 는 그림 10과 같이 붉은 두 점 사이의 거리이다. 눈의 높이인 Eye_{height} 는 눈의 영역을 a, b, c와 같이 구간으로 분할한 이후, 구간들 중에서 가장 큰 높이 값을 가지는 구간의 값을 선택한다.

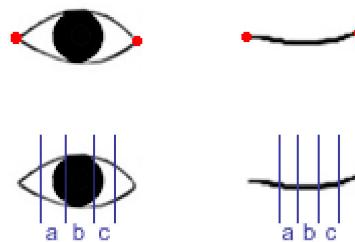


그림 10. 깜박임 판별
Fig. 10. Blink recognition

식 (11)은 동공 검출을 이용한 방법^[7]이나 PCA 기반의 MSE(mean square error) 방법^[8]보다 안정적인 깜박임 판별을 수행한다. 동공 검출을 이용한 방법은 눈동자의 영역 크기로 깜박임을 판별하는 방법으로, 눈동자를 위, 아래, 양 옆으로 돌릴 경우에 정상적인 깜박임 판별이 불가능하다. PCA를 이용한 깜박임 판별 방법은 감은 눈과 뜬 눈의 데이터베이스

스를 분류하여 판별 영상과 데이터베이스 영상 사이의 MSE를 구하는 방법으로 매칭 위치에 민감하여 낮은 판별 능력을 보여준다. 이는 얼굴을 옆으로 45°로 돌릴 경우와 같이 예측하기 힘든 눈의 정보가 들어올 경우에 더욱 두드러진 성능 하향을 나타낸다.

표 1. 깜박임 검출률 비교

Table 1. The Comparison of blink recognition rate

	총 프레임	비교 논문[7]	비교 논문[8]	제안 방법
실내동영상1	238	92.85%	68.06%	100%
실내동영상2	637	90.73%	81.78%	99.05%
실내동영상3	392	61.22%	75.25%	98.72%

실험 결과, PCA 기반의 MSE 방법은 전체적으로 성능이 낮았다. 동공 검출을 이용한 방법은 PCA 기반보다 높은 성능을 보였지만 실내동영상3과 같이 가늘게 눈을 뜬 경우나 눈동자를 정면 외에 다른 방향으로 돌린 경우, 성능 하락을 나타냈다. 표 1은 정확한 비교를 위하여 대상 논문의 조건에 맞춰 실내 환경으로 제한했다.

본 논문에서 제안하는 방법은 영상 축소, 이진화, 모폴로지 팽창, AND 연산 등, 낮은 연산을 요구하는 기술이 주를 이룬다. 조명 정규화의 경우는 FFT와 IFFT를 처리하는 과정에서 다소 높은 연산을 수행할 수 있으나 이는 하드웨어 처리로 해결할 수 있다. 제안 방법은 그림 11의 (a), (b), (c)와 같이 640×480의 해상도에서 왼쪽 눈의 윤곽을 매끄럽게 추출했다.

그림 11의 (d)와 같은 적외선 영상의 경우는 적외선 산란 때문에 피부에 고주파 성분이 분포되어 눈의 윤곽이 매끄럽게 추출되지 않았다. 그러나 깜박임을 판별하는 식 (10)의 임계값이 눈을 떴을 때와 감았을 때의 양쪽 값과 차이가 크기 때문에 매끄럽게 추출되지 않은 눈의 윤곽임에도 비교적 강건한 눈 깜박임 판별 능력을 보여주었다. 본 논문에서 나타낸 그림 11의 (a), (b), (c)의 눈의 윤곽 영상은 조명 정규화 상수를 동일하게 설정한 것이지만 (d)의 경우에는 적외선 영상에 맞추어 다르게 설정하였다. 본 논문은 맑은 날, 흐린 날과 같은 다양한 날씨와, 측면 직접광, 후면 직접광, 정면 직접광 등 다양한 빛의 방향에 대하여 실험하였다.

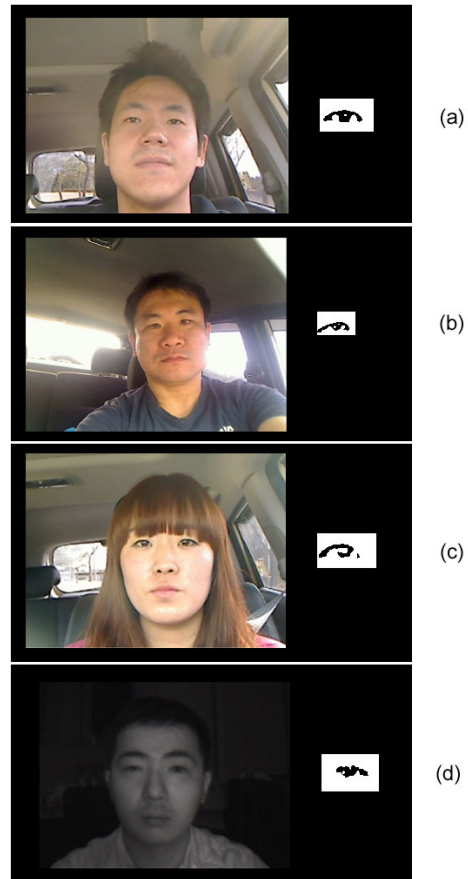


그림 11. 이진 눈 추출에 대한 결과
Fig. 11. Extraction of binary eye result

III. 안전 운전 보조시스템

운전자의 졸음 여부를 판별하기 위하여 심장 박동, 뇌파, 호흡, 핸들링 조작, 눈의 개폐여부 등 다양한 방법이 연구되고 있다. 본 연구에서는 영상처리를 통해 얻어진 눈의 정보를 이용하여 차량 네트워크인 CAN(Controller Area Network)으로 운전자에게 경보를 주는 안전운전 보조시스템을 구현하였다.

경보는 세 단계로 구성되는데 운전자가 짧은 시간동안 눈을 감고 있을 때는 알람으로 경보를 주고 지속적으로 눈을 감고 있을 때는 차량 네트워크를 통해 안전벨트가 진동되어 운전자에게 경보를 전달하도록 설계되었다. 마지막으로 안전벨트가 진동되는데도 운전자가 졸고 있다고 판단되면 차량 안전 제어 시스템에서 제동을 할 수 있는 신호를 보내준다. 각 단계를 결정하는 시간 기준 값은 사용자에 의해 조절될 수 있다.

본 시스템은 그림 12와 같이 카메라에 의해 영상을 획득하는 모듈, 알고리즘에 의해 졸음 상태를 판

별하는 모듈, 차량네트워크를 통해 안전벨트 진동의 정보를 주는 모듈로 구성되었다.

IV. 실험 결과

본 연구는 상용화를 목표로 개발되었기에 저가형 웹캠을 사용하였으며, 임베디드 시스템의 고속 처리를 위하여 각 알고리즘에 맞게 다양한 해상도를 사용하였다.

실험 환경은 실험실과 차량 내부이며 두 환경에서 좋은 성능을 보였다. 차량에서의 실험은 맑은 날,



Fig. 12. Driving safety assistance system
그림 12. 안전운전 보조시스템

흐린 날 등 다양한 날씨 환경에서 실험했으며 광원은 방향이나 성질 등을 고려해서 실험하였다. 적외선 실험은 실험실 내부에서만 이루어졌다. 안경을 쓴 영상의 눈 깜박임 판별 방법은 추후에 확장될 예정이다. 깜박임 검출률은 얼굴이 검출된 경우에만 계산했다. 그림 11의 (a), (b), (c), (d)는 각각 차량동영상 2, 차량동영상6, 차량동영상9, 적외선영상1이다.

표 2. 차량 내 얼굴 검출률 과 깜박임 검출률

Table 2. Face detection rate and Blink recognition rate in car

	총 프레임	얼굴 검출률	깜박임 검출률
차량동영상1	414	100%	100%
차량동영상2	840	100%	99.76%
차량동영상3	500	100%	100%
차량동영상4	600	100%	99.50%

차량동영상5	523	88%	100%
차량동영상6	463	95.24%	100%
차량동영상7	281	90.03%	100%
차량동영상8	311	98.07%	100%
차량동영상9	310	100%	95.48%
차량동영상10	528	100%	98.10%

제안하는 방법은 표2의 차량동영상 1~4에서 보듯이 높은 얼굴 검출률과 깜박임 검출률을 보인다. 차량동영상 5~8은 차량동영상 1~4에 비하여 낮은 얼굴 검출률을 보이는데 이는 열악한 조명 환경에서 얼굴 입력 영상 크기가 작게 들어온 경우이다. 본 연구는 운전자의 차량 내 자세를 고려하여 입력 영상내의 얼굴 크기가 작은 경우를 고려하여 다양한 크기의 얼굴영상을 사용하였다. 차량동영상 9~10의 경우는 깜박임 검출률이 차량동영상 1~4에 비하여 낮게 나왔는데 이는 깜박임 검출 알고리즘 보다는 눈 검출 알고리즘의 성능이 낮게 나와서 발생한 경우이다. 10개의 동영상 프레임을 이용하여 테스트하였을 때 전체 프레임은 총 4770 프레임이며 이중 4668프레임의 얼굴이 검출되어 97.86%의 얼굴 검출률이 나왔다. 전체 프레임에서 깜박임 검출률은 97.25%이며 얼굴 검출이 성공한 프레임에서의 깜박임 검출률은 99.37%이다.



그림 13. 적외선동영상1과 적외선동영상2
Fig. 13. Infra-red video 1 and Infra-red video 2

표 3. 적외선 카메라를 사용한 얼굴 검출률 과 깜박임 검출률

Table 3. Face detection rate and Blink recognition rate on infra-red camera

	총 프레임	얼굴 검출률	깜박임 검출률
적외선동영상1	295	100%	98.98%
적외선동영상2	518	100%	99.61%

적외선동영상1과 적외선동영상2는 그림 13에서 보는 바와 같이 적외선 램프의 빛의 양을 달리하여 적용한 영상으로 적외선동영상2 영상이 적외선동영상1 영상보다 밝은 영상이다 적외선에 적용한 조명

정규화 상수는 가시광선과 다르게 설정하였다. 실험 결과 적외선동영상2가 눈의 윤곽을 더 또렷하게 잡았으나 눈 영역의 오검출이 발견되었다. 적외선 동영상의 경우 조명이 일정하여 얼굴 검출률은 100%로 높게 나왔으며 총 프레임에서 깜박임 검출률은 99.38%이다.

V. 결 론

본 논문의 II장에서는 색상 계 변환부터 시작하여 영상 전처리, 얼굴 검출, 조명 정규화, 눈동자 및 눈 검출, 깜박임 및 졸음 판별 등의 영상처리 기술과 차량 네트워크 기술을 이용한 정보 시스템까지 전반적인 운전자 졸음 인식 시스템에 대하여 소개하고, 조명정규화 기술을 응용하여 안정된 이진 눈 윤곽 추출을 실현시켰다. 본 논문에서 제안한 Circle Mask의 경우, 안경정보를 감쇠시키는 효과가 있어 눈의 검출률을 높일 수 있었으나 두꺼운 테를 가진 안경에는 효과가 없음이 증명되어 다른 기술을 개발 중이다. 현재 Circle Mask 기술은 눈의 영역 및 눈동자를 검출하는데 사용된다. PCA기술은 만족스러운 검출률을 보이지 않아, 대체할 새로운 기술을 개발 중이다. 앞서 제시한 문제점 보완기술이 완료되면 추적 기술과 얼굴 특징 값 구조체 기술을 연동할 것이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 임베디드시스템에 적용하기 적합하며 향후 하드웨어 가속기술과 연동되면 더욱 좋은 속도 향상을 수행할 것으로 기대하고 있다.

운전자 졸음 인식 임베디드 시스템기술은 졸음 인식 알고리즘을 상용화 하드웨어에 맞게 연산 처리 최적화 과정을 수행하여 운전자 졸음에 대한 인식을 개선하는 기술이다. 향후 본 논문에서 개발된 운전자 졸음 인식 알고리즘을 임베디드화 하여 상용화에 적용할 예정이다.

References

[1] H. Chun, J. Moon, J. Park, C. Woo, "Analysis of the Fund Supported by Ministry of Knowledge Economy in the Field of Intelligent Vehicle Research" *KSAE Auto Journal*, Nov, 2010
전형호, 문종덕, 박종만, 우창화, "지능형 자동차 분야의 지식경제부 연구개발 지원현황," 한국

자동차공학회 *Auto Journal*, 2010년 11월.
[2] 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.
[3] M. H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja, "Detecting Faces in Images: A Survey," *IEEE PAMI*, vol.24, no.1, pp.34 - 8, Jan. 2002.
[4] 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.
[5] 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.
[6] M. D. Levine, M. R. Handhi, and J. Bhattacharyya, "Image Normalization for Illumination Compensation in Facial Images," *Internal Report, McGill University*, 2004.
[7] 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.
[8] Savas, Z, "Real-time Detection And Tracking of Human Eyes in Video Sequences", *Master Thesis, Middle East Technical University Ankara, Turkey*, 2005
[9] 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.
[10] 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.

최진모 (Jin-Mo Choi)



2003년 2월 한양대학교 전자
컴퓨터공학부 학사 졸업
2005년 6월 한양대학교 컴퓨
터공학과 석사 졸업
2011년 8월~현재 전자부품연
구원 연구원
<관심분야> 영상처리, 패턴인식

송혁 (Hyok Song)



1999년 2월 광운대학교 제어
계측공학과 학사 졸업
2001년 2월 광운대학교 전자
공학과 석사 졸업
2012년 2월 광운대학교 전자
공학과 박사 졸업
2000년 3월~현재 전자부품연
구원 멀티미디어 IP연구센터 책임연구원
<관심분야> 영상인식, 3D영상처리, 보안시스템

박상현 (Sang Hyun Park)



2000년 2월 한국외국어대학교
컴퓨터및정보통신 공학과 학
사 졸업
2002년 2월 한국외국어대학교
컴퓨터및정보통신공학과 석
사 졸업
2005년 3월 한국외국어대학교
컴퓨터및정보통신공학과 박사과정
2002년 1월~현재 전자부품연구원 소프트웨어 디
바이스연구센터 책임연구원
<관심분야> 차량용 임베디드 시스템, In-Vehicle
Network

이철동 (Chul-Dong Lee)



1977년 2월 경북대학교 전자
공학과 학사 졸업
1986년 2월 한양대학교 전자
공학과 석사 졸업
1997년 2월 충북대학교 컴
퓨터공학과 박사 졸업
1977년~1984년 한국전자통
신연구원, 연구위원
1984년~현재 전자부품연구원, 수석연구원
<관심분야> 반도체, 임베디드시스템