

레티넥스 이론과 에지를 이용한 졸음 감지 시스템 개발

Development of a Drowsiness Detection System using Retinex Theory and Edge Information

강수민, 허경무*, 이승하

(Su Min Kang¹, Kyung Moo Huh^{1,*}, and Seung-ha Lee²)

¹Department of Electricity and Electronic Engineering, Dankook University

²Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Dankook University

Abstract: In this paper, we propose a development method for a drowsiness detection system using retinex theory and edge information for vehicle safety. Detection of a drowsy state of a driver is very important because the drowsiness of driver is often the main cause of many car accidents. After acquiring an image of the entire face, we executed the pre-process step using the retinex theory. We then applied a technique for the detection of the white pixels using edge information. Experimental results showed that the proposed method improved the accuracy of detecting drowsiness to nearly 98%, and can be used to prevent a car accident caused by the driver's drowsiness.

Keywords: drowsiness detection, edge detection, machine vision

I. 서론

현대 시대에서 자동차는 이동만을 위한 교통수단이 아니라 삶의 필수품에 이르게 되었다. 이처럼 자동차의 수요가 늘고 있는 만큼 이에 관련된 안전성도 함께 관심이 늘고 있다. 특히 졸음운전의 통계를 보면 2006-2008년 동안 졸음운전 교통사고의 치사율은 6.2명으로 같은 기간 전체 교통사고 치사율 2.9명에 비해 2배 이상 높게 나타났으며 음주운전과 달리 물리적인 제재를 가할 수 없기 때문에 더욱 위험한 것으로 나타났다. 그러므로 교통안전에 큰 위협이 되는 졸음 운전을 방지하도록 하는 운전자 감시 시스템이 필요하다. 최근 영상 처리 기술의 발전에 따라 지능형 자동차에 응용하는 연구가 활발하게 진행되고 있으며 특히 운전자 상태 감시 기능에 대해 다양하게 제안하고 있다. 이러한 운전자의 상태 감시 기능들은 높은 신뢰성을 보여야 하기 때문에 운전자의 피로와 가장 상관관계가 큰 특징들을 이용하여 개발되고 있다. 이러한 상관관계가 가장 큰 특징들은 보통 얼굴에 집중되어 있으며, 눈의 깜빡임이나 하품을 하는 입 등과 같은 변화가 이러한 상관관계가 큰 특징들이다. 그 중에 대표적인 것이 바로 눈이다. 일반적으로 성인은 1분에 20번 정도 깜박거리지만, 어떤 것에 집중하게 되거나 정신적인 요소에 의해 깜박임이 감소하며 의식 수준이 낮

아지면 눈을 감고 있는 시간도 길어지게 된다[1-4]. 따라서 본 논문에서는 Haar-like 특징을 이용한 AdaBoost를 이용하여 얼굴을 인식하고 레티넥스 이론을 이용하여 전처리한 후, 화이트 픽셀의 개수를 검출하여 운전자의 졸음 상태를 파악하는 시스템을 구현하였다.

II. 기존의 졸음 감지 방법

1. 기존의 졸음 감지 방법

졸음 운전 방지 시스템에서 운전자의 졸음을 감지하는 방법은 다음과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다[1-3]. 첫째로 운전자의 생리신호 변화를 측정하여 운전자의 현재 상태를 파악하는 방법이다. 이 방법은 주로 뇌파전위(EEG), 얼굴 근육의 긴장도(EMG), 심장 박동의 변화(ECG), 눈의 움직임(EOG) 등을 이용하는 방법으로 졸음 판단 여부에 매우 높은 정확성을 가지는 것이 특징이다. 두번째로 운전자의 핸드조작 패턴과 핸들에 가해지는 손의 악력 변화, 그리고 운전 지속 시간 등을 측정하여 판단하는 방법이 있다. 이 방법은 개개인에 따른 특수한 운전 패턴이나 습관들을 이용하는 방법으로 개개인의 특징에 맞는 졸음 판단이 가능하다는 것이 특징이다. 세번째로 영상처리를 이용하여 운전자의 얼굴을 분석하여 졸음 상태를 판단하는 방법이다. 이 방법은 비접촉적인 방법으로서 졸음시 나타나는 얼굴의 변화(눈 깜박임, 하품, 표정변화 등)를 측정하여 판단하는 방식으로 첫번째 방법보다는 졸음 판단의 정확성면에서는 떨어지지만 실제 운전자에게 적용함에 있어 매우 유용한 방법이다.

2. 기존 방법의 문제점

운전자의 졸음을 판단하기 위한 세가지 방법들은 다음과 같은 문제점들을 가지고 있다. 첫째로 운전자의 생리신호 변화를 측정하여 졸음을 판단하는 방법은 운전자로부터 여

* Corresponding Author

Manuscript received April 18, 2016 / revised May 23, 2016 / accepted July 19, 2016

강수민, 허경무: 단국대학교 전자전기공학부

(wybuns@naver.com/huhkm@dankook.ac.kr)

이승하: 단국대학교 의과대학 의공학교실 교수

(shalee@dankook.ac.kr)

※ 이 논문은 2016 제 31회 제어로봇시스템학회 학술대회에 초안이 발표되었음.

러가지 생체신호를 측정하기 위하여 몸에 전극 패치 등을 부착하는 접촉식 방식이다. 이 방식은 운전자에게 여러 가지 불편함을 초래할 수 있다는 것이 큰 단점으로 나타나고 있다[1,4]. 두번째로 운전자의 핸들 조작 패턴과 핸들에 가해지는 손의 악력 변화, 그리고 운전 지속 시간들을 측정하여 판단하는 방법은 개개인의 특징에 따른 비교적 정확한 줄음 감지가 가능하나, 이를 위한 패턴들의 갯수가 무한대에 가깝다는 단점을 가지고 있어 정규화가 힘들어 범용적인 시스템을 만들기에는 부적합한 방법이다. 셋째로 영상처리를 이용하여 운전자의 얼굴을 분석하여 줄음을 판단하는 방법은 영상처리 과정에서 특징점을 추출하여, 이를 이용하여 운전자의 줄음상태를 판단하게 되는데 이를 정확하게 추적하는 일은 쉽지 않은 문제이다[3,5,6].

III. 에지를 이용한 줄음 감지

우선 입력되는 영상에서 얼굴 부분 중 눈 영역을 추출하기 위하여 Haar-like 특징과 Adaboost 알고리즘을 이용하여 얼굴 및 눈 영역을 인식하고, 인식된 영역만을 추출하여 레티넥스 필터를 이용한 전처리를 수행하고, 처리된 이미지를 vertical edge를 이용한 이진화를 수행하고, 그에 따른 화이트 픽셀의 수를 측정하여 눈 개폐 여부를 판단하고, 최종적인 줄음판단을 하게 된다.

1. 얼굴과 눈 검출 방법

1.1 Haar-like 특징

Haar-like 특징은 가장 간단하면서도 효율적인 인식자로 사용되고 있다. 그 이유는 얼굴 검출에 사용할 경우, 얼굴을 배경으로 판단할 확률이 1%보다 낮으며 특징값을 구하는데 요구되는 계산량은 단순히 합 연산밖에 없기 때문에 얼굴 검출을 빠른 시간안에 수행해야하는 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다.

본 논문에서는 픽셀 자체를 이용하는 것보다 영상이 가지고 있는 특징을 더 잘 나타낼 수 있는 Haar-like 특징을 얼굴 인식을 위한 인식자로 사용 하였다. 또한 픽셀 자체를 가지고 연산을 수행하는 것보다 특징값을 가지고 수행하는 것이 연산속도가 더 빠르다. 그 이유는 Haar-like 특징은 적분영상을 사용하면 그 크기와 상관없이 일정한 연산량으로 계산할 수 있기 때문이다. 적분영상은 각 픽셀이 영상의 원점으로부터 해당 픽셀위치까지의 사각형 영역의 모든 픽셀들의 합을 갖는 영상이다. 그림 1에서 사각형 D영역의 픽셀들의 합은 적분영상에서 4개의 픽셀만을 참조하여 계산할 수 있다. 적분영상에서의 픽셀 1은 A영역의 픽셀들의 합이며 픽셀 2는 A와 B영역의 합, 픽셀 3은 A,C영역의 합, 그리고 픽셀 4는 A, B, C, D영역의 합이므로 D영역 픽셀들의 합은 적분영상의 4개 픽셀을 참조하여 4+1-(2+3)으로 구할 수 있다.

또한, 특징값들은 x 와 y 방향으로 최대 24 x 24 까지 크기가 확장되며, 윈도우에서 위치할 수 있는 여러 경우로 자유롭게 변하기 때문에 많은 특정 정보 값을 얻을 수 있다. 예를 들어, 그림 2에서와 같이 Haar-like 특징의 프로토타입은 서로 다른 위치와 비율을 유지한 크기확장을 통하여 24*24 윈도우에서 43,200 개의 경우가 생길 수 있다.

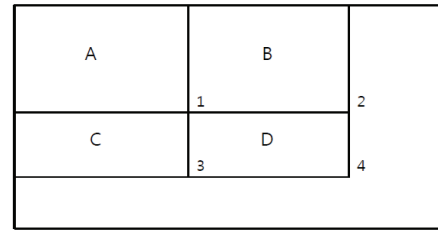


그림 1. 적분영상의 계산.
Fig. 1. Calculation of integral image.

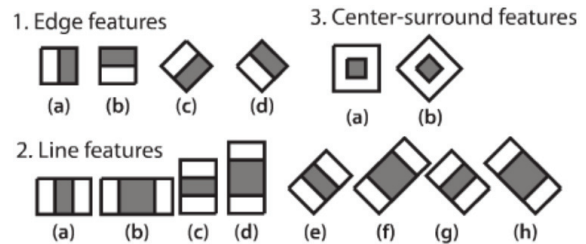


그림 2. Haar-like 특징의 프로토타입.
Fig. 2. Prototype of Haar-like feature.

특징값은 아래 식 (1)과 같이 구할 수 있다[1,2].

$$feature_I = \sum_{i \in I=1, \dots, N} w_i RecSum(r_i) \tag{1}$$

식 (1)에서 w_i 는 가중치를 나타내며, $RecSum(r_i)$ 는 사각형 r_i 의 넓이를 나타낸다.

1.2 AdaBoost 를 이용한 인식을 향상

객체검출기에서는 객체와 배경을 분류하기 위하여 분류기를 사용한다. 분류기는 객체 샘플들과 배경의 샘플들을 사용하여 학습시킨다. Viola와 Jones는 분류기를 학습시키기 위해 유사 AdaBoost 알고리즘을 사용하였다[7]. AdaBoost는 성능이 낮은 약분류기들을 조합하여 강분류기를 구성하는 알고리즘으로 약분류기에 의해 옳게 판정된 샘플들의 가중치는 낮추고 잘못 판정된 샘플들의 가중치는 높이는 과정을 반복하여 강분류기를 구성한다[8,10]. 이 과정은 강분류

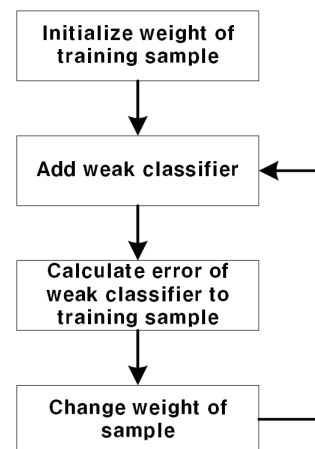


그림 3. AdaBoost 학습 과정.
Fig. 3. Flow of AdaBoost training.

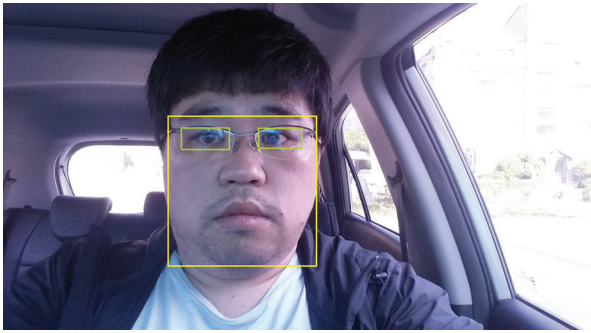


그림 4. 얼굴과 눈 영역 검출 결과.

Fig. 4. Results of face and eye area detection.

기의 성능이 목표에 도달할 때까지 반복된다. 그림 3은 AdaBoost 알고리즘을 이용한 분류기 학습과정을 보여준다.

본 논문에서는 우선 입력된 영상에서 24*24 크기의 윈도우를 30단계를 거쳐 얼굴 검출을 수행한 후, 다시 16*16 크기의 윈도우를 20단계를 수행하여 눈 영역을 검출하도록 구성하였다. 그림 4는 얼굴과 눈 영역 검출 결과를 나타낸 것이다.

2. 레티넥스 알고리즘

레티넥스 알고리즘은 인간이 인지하는 빛의 밝기는 조명 성분과 반사 성분의 곱으로 이루어진다는 E. Land의 레티넥스 이론을 근간으로 한다[3-5]. 레티넥스 알고리즘의 목적은 피사체의 인식에 영향을 주는 조명 성분과 영상의 특징을 반영하는 반사성분을 분리해내어 조명 성분의 영향을 제거하고 반사성분을 강조하여 입력 영상의 Dynamic Range를 압축하고 대비를 향상시키고자 하는 것이다.

$$I(x,y) = R(x,y) \cdot L(x,y) \quad (2)$$

식 (2)는 레티넥스 이론을 정의한 것으로 I 는 입력 영상을 의미하고, (x,y) 는 영상의 화소 좌표를 의미하며, R 은 반사 성분을 의미하고, L 은 조명 성분을 의미한다. 입력 영상의 실제 밝기와 인간의 시각이 인지한 영상의 밝기는 로그 관계가 성립한다는 Weber의 법칙(Weber-Fechner's Law)에 따라 식 (2)를 로그 스케일로 변환하면 아래의 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\log I(x,y) = \log R(x,y) + \log L(x,y) \quad (3)$$

입력 영상의 각 컬러 성분에 SSR 처리를 거쳐 반사성분의 영상을 획득하게 되는데 이를 조명 성분의 추정에 사용되는 Gaussian Filter의 크기별로 반복 수행한다. 하지만, 이러한 Gaussian Filter를 하나만 사용하는 SSR방법은 안경의 반사 성분이 단일 성분이 아니므로 안경을 쓴 운전자를 대상으로는 오차가 상당히 발생한다. 따라서 획득된 반사 성분 영상들에 가중치를 주어 합성하는 MSR 처리를 수행하여 이미지를 얻게 된다.

2.1 SSR(Single Scale Retinex) 알고리즘

Jobson등은 조명 성분을 추정하기 위해 입력 영상에 Gaussian filter를 적용하고, 추정된 조명 성분을 입력영상에서 제거하여 반사 성분을 획득하는 SSR (Single Scale Retinex) 알고리즘을 제안하였다[3,7,11].

$$R_i(x,y) = \log I_i(x,y) - \log (G(x,y) * I_i(x,y)) \quad (4)$$

i 는 입력 영상의 각 컬러 성분 R, G, B를 의미하며, $R_i(x,y)$ 는 i 번째 컬러 성분의 반사 성분을 나타내는 SSR 출력 영상이다. $I_i(x,y)$ 는 i 번째 컬러 성분의 입력 영상을 나타내며 $*$ 는 Convolution 연산자이다. $G(x,y)$ 는 조명 성분 추정을 위한 정규화된 Gaussian Center/Surround Function 이고 다음과 같이 정의된다.

$$G(x,y) = Ke^{-x^2+y^2/\sigma^2} \quad (5)$$

K 는 정규화 계수이며 $\iint G(x,y) dx dy = 1$ 의 식으로 구해진다. σ 는 Gaussian 분포의 표준 편차를 의미하는 Gaussian Center/Surround 상수이며 Gaussian Filter의 크기(scale)를 결정한다. SSR은 값의 설정에 따라서 결과 영상의 품질이 매우 달라진다. 값이 작은 경우 영상의 에지가 보존되어 국부적인 Contrast가 향상되고, 저휘도 부분의 감도가 개선되지만 저휘도 부분과 고휘도 부분의 밝기 차이가 줄어들어 전역적인 Contrast가 감소되는 문제가 있다. 값이 크게 설정되면 저휘도 부분과 고휘도 부분의 밝기차가 적절히 개선되어 전역적인 Contrast는 향상되지만 고휘도 부분의 밝기차가 줄어들고, 영상 전반적인 에지 성분이 감소하여 국부적인 Contrast 손실이 발생한다. Jobson등은 적절한 값으로 80을 제안하였지만 입력 영상의 특성에 따라 하나의 조명 성분을 추정하는 것은 원하는 결과를 얻을 수 없음을 인정하고 이 부분을 개선한 MSR 알고리즘을 제안하였다.

2.2 MSR (Multi Scale Retinex) 알고리즘

MSR (Multi Scale Retinex)은 여러 가지 Gaussian Center/Surround 상수 e 값 즉, 크기가 서로 다른 Gaussian Filter를 적용한 SSR 출력 영상들에 가중치를 부여하고 그 결과를 합하여 출력 영상을 얻는 방법이다[5-7].

$$R_{MSR_i}(x,y) = \sum_{k=1}^N W_k R_{k_i}(x,y), \sum_{k=1}^N W_k = 1 \quad (6)$$

i 는 입력 영상의 컬러 성분 R, G, B를 의미하고 $R_{MSR_i}(x,y)$ 는 i 번째 컬러 성분의 MSR 출력 영상을 의미하며 N 은 서로 다른 크기의 Gaussian Filter의 개수를 나타낸다. $R_{k_i}(x,y)$ 는 k 번째의 Gaussian Filter를 통해 생성된 i 번째 컬러 성분의 SSR 영상을 의미하고 W_k 는 k 번째 SSR 영상에 적용할 가중치를 의미하며 모든 가중치의 합은 1이

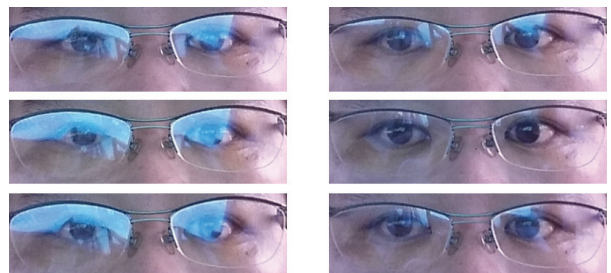


그림 5. MSR 적용 결과.

Fig. 5. Applied result of MSR.

다. 따라서 본 논문에서 하고자하는 안경을 쓴 사용자의 경우에는 안경에 비치는 조명성분이 단일 성분이 아니기 때문에 이를 효과적으로 제거하기 위한 방법으로 MSR방법을 사용하였다. 그림 5는 운전자가 안경을 사용할 경우 렌즈에서 발생하는 빛의 반사부분을 제거하여 눈 영역의 에지를 추출하기 위한 MSR을 결과를 나타낸 것이며, 가중치는 $W_1=0.15, W_2=0.05, W_3=0.2, W_4=0.3, W_5=0.2, W_6=0.1$ 을 사용하였다.

3. 에지를 이용한 졸음 판단

앞에서 얼굴 추적과 눈 영역을 얼굴에서 따로 추출한 후 전처리 과정을 거쳐 입력 영상을 얻었다. 이제 처리된 이미지를 이용하여 졸음 여부를 판단하기 위해 vertical edge를

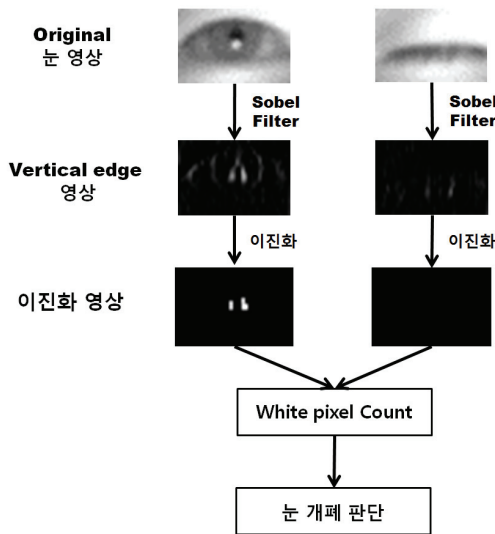


그림 6. 에지를 이용한 졸음 판단 방법.
Fig. 6. Drowsiness Detection using edge.

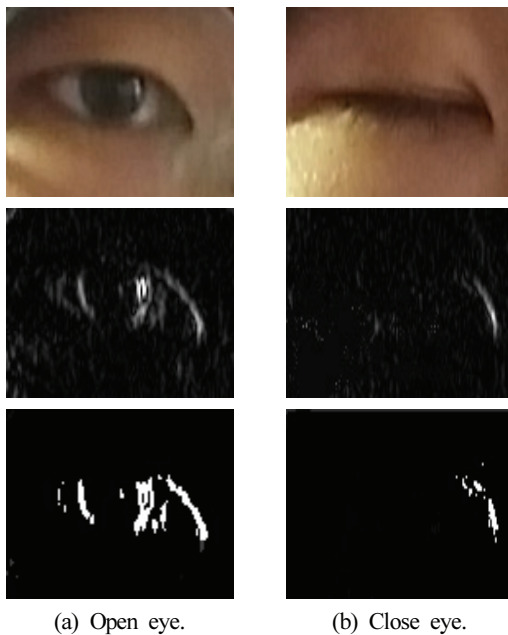


그림 7. 에지 검출 결과.
Fig. 7. Edge detection results.

이용한 눈 개폐 여부 판단 방법을 적용하였다. 그림 6은 에지를 이용한 졸음 판단 방법을 그림으로 나타낸 것이다. 이 방법은 original 눈 영상을 Sobel vertical 필터를 이용하여 vertical edge 영상을 획득하고 이를 이진화 하여 검출되는 white pixel의 수를 이용하여 졸린 상태를 판단하게 된다. 획득된 open eye의 vertical edge 영상을 살펴보면, 가장 큰 edge값을 가지는 영역은 홍채와 동공 그리고 glint가 존재하는 영역이다. 그 이유는 open eye 영상에서 동공은 전체 눈 영상에서 가장 어두운 부분이며 glint는 가장 밝은 부분이므로 edge가 강하게 나타나기 때문이다. closed eye에서는 동공과 홍채 그리고 glint가 나타나지 않기 때문에 closed eye 영상 전체에서는 vertical 방향의 edge는 매우 작게 나타나게 된다. 따라서 화이트 픽셀의 검출 개수가 100개 이상이라면 정상으로 판단하였다[8,9,12].

그림 7은 실제로 전처리 후 입력되어지는 영상의 처리결과를 나타낸 것이다.

IV. 실험 결과 및 고찰

시스템을 검증하기 위한 실험은 모닝 차량에서 실행하였으며, 카메라는 운전자와 거리 70cm 정도를 유지하여 촬영하고 카메라의 위치는 운전자의 시야를 최대한 가리지 않는 곳에 설치하였다. 본 연구에서 개발한 시스템의 졸음 판정율을 알아보기 위하여 실험 대상 운전자 50명이 10시부터 15시 사이에 실행되었으며, 본 연구에서 개발한 시스템의 졸음 판정율을 알아보기 위하여 각 실험들은 10회의 반

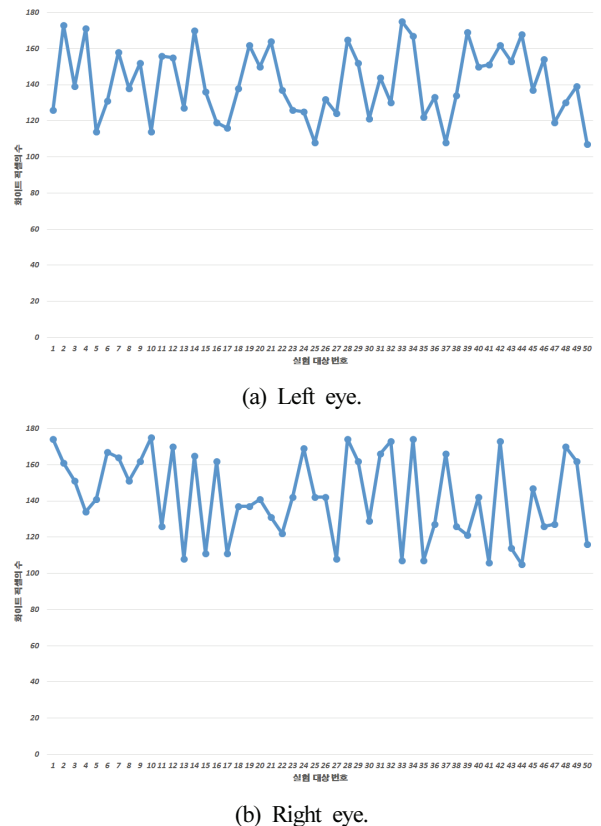
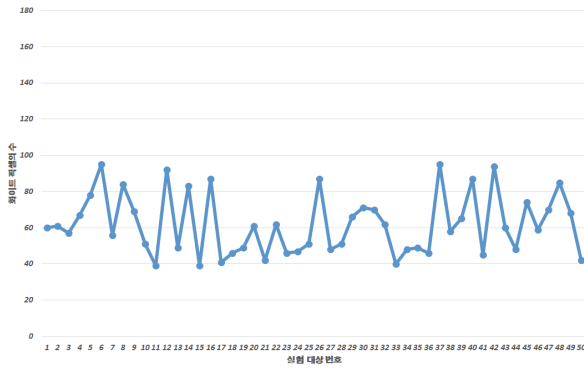
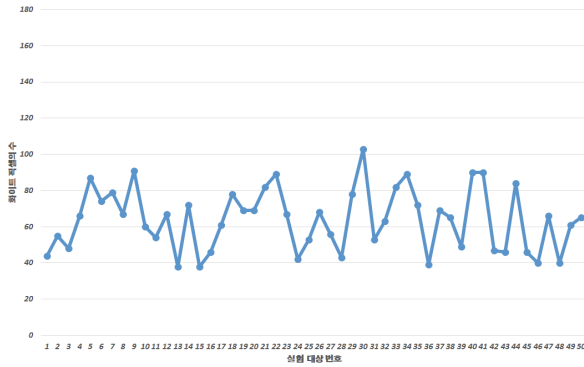


그림 8. 정상 상태인 운전자의 화이트 픽셀 개수.
Fig. 8. number of white pixels when Steady state.



(a) Left eye.



(b) Right eye.

그림 9. 졸린 상태인 운전자의 화이트 픽셀 개수.
Fig. 9. number of white pixels when Sleep state.

복실험 결과 얻어지는 화이트 픽셀 값들의 평균을 대상의 최종적인 화이트 픽셀값으로 인식하여 졸음 상태를 판정하였다. 그림 8과 9은 실험대상 운전자들의 각 상태일때의 화이트 픽셀값의 결과를 나타낸 것이다.

그림 8은 정상적인 상태의 판단 기준으로 잡은 화이트 픽셀 100개를 전부 초과하는 결과를 얻었다. 하지만 그림 9에서는 대부분의 경우 화이트 픽셀이 100개 이하로 결과를 나타내고 있지만 실험대상 30번의 경우 오른쪽 눈의 화이트 픽셀 측정치가 정상으로 판단할 수 있는 개수가 검출되었다. 이러한 결과가 발생한 이유는 실험을 진행하는 동안 빛의 방향 변화에 따른 안경에서 발생하는 반사광이 완전히 제거되지 못하고 최종적인 결과에 영향을 미치기 때문에 나오는 결과로 판단하였다. 따라서 대부분의 경우에 발생하는 안경에 의한 반사광은 레티넥스 알고리즘을 이용하여 제거가 가능하였으나, 특정하게 발생하는 돌발적인 경우를 처리하기 위한 연구를 보다 진행하여야 한다는 판단을 하였다. 따라서 제안하는 시스템의 최종적인 졸음 판정률은 98%를 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서 우리는 눈 영상의 에지를 이용한 졸음 감지 시스템을 제안하고, 실험을 통해 타당성을 보였다. 종래의 졸음 방지 시스템들의 졸음 감지방법은 눈썹, 입 등의 특정 영역 검출을 통해 감지함으로써 인해 검출 방법 설계의 어려움이 있었다. 또한 대상이 안경을 착용한 경우, 더욱 어려

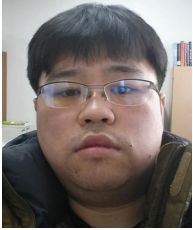
워진다. 그러나 우리가 제안한 졸음 감지 시스템은 입력되어지는 이미지를 MSR 방법을 사용하여 보정하고, 그 중 눈 이미지의 에지만을 이용하여, 화이트 픽셀을 검출하여 졸음을 감지하기 때문에 이러한 어려움을 상당히 극복할 수 있는 방법으로 판단된다. 하지만 실험 결과에서도 나타난 것과 같이 안경에서 발생하는 반사광의 처리가 완벽하지 않기 때문에 이를 보완하기 위한 추가적인 연구를 진행할 것이다.

REFERENCES

- [1] Z. M. Hafeed and M. D. Levine, "Face recognition using the discrete cosine trans form," *International Journal of Computer Vision*, vol. 43, no. 3, pp. 167-188, Jul. 2001.
- [2] P. Viola and M. J. Jones, "Robust real-time object detection," *Technical Report Series, Compaq Cambridge Research Laboratory*, N0. 1, 2001.
- [3] M. H. Yang, D. J. Kriegman, and N. Ahuja, "Detecting faces in images: A survey," *IEEE PAMI*, vol. 24, no. 1, pp. 34-58, Jan. 2002.
- [4] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "Properties and performance of a center/surround retinex," *IEEE Trans. Image Processing*, 6, pp. 451-462, Mar. 1997.
- [5] J.-I. Kim, H.-S. Ahn, G.-M. Jeong, and Chan-Woon, "Estimation of a Driver's physical condition using real-time vision system," *The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, vol 9, no. 5, pp. 213-224, Oct. 2009.
- [6] J.-M. Choi, H. Song, S. H. Park, and C.-D. Lee, "Implementation of driver fatigue monitoring system," *The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, vol. 37, no. 8, pp. 711-720, Aug. 2012.
- [7] P. Viola and M. Jones, "Robust real-time face detection," *International Journal of Computer Vision*, vol. 57, no. 2, pp. 137-154, May 2004.
- [8] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A multi-scale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes," *IEEE Trans. Image Processing: Special Issue on Color Processing*, 6, pp. 965-976, Jul. 1997.
- [9] H.-S. Cha and S.-H. Hong, "Advanced retinex algorithm for image enhancement," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 16, no. 1, pp. 29-41, Jan. 2013.
- [10] N. Sharma and V. K. Banga, "Drowsiness warning system using artificial intelligence," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 4, no. 7, pp. 1771-1773, 2010.
- [11] S.-M. Kang and K.-M. Huh, "Development of drowsiness detection system for vehicle safety," *Proc. of 2016 31th ICROS Annual Conference (in Korean)*, Seoul,

pp. 124-125, Mar. 2016.

- [12] S.-M. Kang and K.-M. Huh, "Car driver drowsiness detection technology," *Journal of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 37-43, May 2015.
- [13] S. M. Kang, K. M. Huh, and Y.-B. Joo, "Development of a drowsiness detection system using a histogram for vehicle safety," *Journal of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 102-107, Feb. 2015.

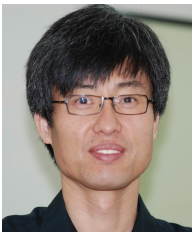


강수민

2004년 단국대학교 전자공학과 학사.
2006년 단국대학교 전자공학과 석사.
현재 단국대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 로봇 제어, 검사 자동화, Machine Vision, 시스템 제어.

허경무

제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지, 제21권 제4호 참조.



이승하

1995년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사. 1996년~2005년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수. 2005년~현재 단국대학교 의과대학 의공학교실 교수. 관심분야는 지능제어시스템 및 의공학시스템.