

얼굴 특징점 기반의 졸음운전 감지 알고리즘

오미연^{*}, 정유수^{**}, 박길흠^{***}

Driver Drowsiness Detection Algorithm based on Facial Features

Meeyeon Oh^{*}, Yoosoo Jeong^{**}, Kil-Houm Park^{***}

ABSTRACT

Drowsy driving is a significant factor in traffic accidents, so driver drowsiness detection system based on computer vision for convenience and safety has been actively studied. However, it is difficult to accurately detect the driver drowsiness in complex background and environmental change. In this paper, it proposed the driver drowsiness detection algorithm to determine whether the driver is drowsy through the measurement standard of a yawn, eyes drowsy status, and nod based on facial features. The proposed algorithm detect the driver drowsiness in the complex background, and it is robust to changes in the environment. The algorithm can be applied in real time because of the processing speed faster. Throughout the experiment, we confirmed that the algorithm reliably detected driver drowsiness. The processing speed of the proposed algorithm is about 0.084ms. Also, the proposed algorithm can achieve an average detection rate of 98.48% and 97.37% for a yawn, drowsy eyes, and nod in the daytime and nighttime.

Key words: Drowsiness Detection, Face Detection, Face Alignment

1. 서 론

2015년 한국도로공사 집계에 따르면 고속도로에서 교통사고 발생 원인의 20% 이상이 졸음운전이다 [1]. 보통 고속도로에서 100km/h로 달리거나 그 이상의 속력으로 달리는데 운전자가 깜빡 조는 시간이 2~3초라고 한다면, 자동차는 100m 이상을 운전자가 없는 상태로 달리게 되며 어떠한 돌발 상황이 발생해도 대처할 수 없게 된다. 졸음운전으로 인한 사고는 도로이탈의 형태로 나타나고 그 특이성으로 인해 일반 교통사고의 두 배에 가까운 치사율을 보이고 있기 때문에 전 세계적으로 중요한 안전문제로 인식되고 있으며, 많은 사람이 안전 운행에 대한 관심이 증대되고 있다[2].

이러한 관점에서 운전자의 편의성과 안전성 향상을 위해 졸음운전 감지 알고리즘은 다양한 방법으로 연구되고 있으며, 크게 다음과 같이 3가지 형태로 분류할 수 있다. 첫째, 운전자의 생체적 특성을 분석하는 방법[3,4]으로 뇌파, 심장박동, 맥박 수 등을 측정하여 졸음 판단 여부의 정확도는 높다. 하지만 인체에 직접적으로 장치를 부착하는 접촉방식이기 때문에 운전의 방해 요인이 될 수 있다. 둘째, 자동차의 속도나 핸들, 바퀴의 회전각을 이용하여 자동차의 움직임을 분석하는 방법[5]으로, 차량의 종류, 운전 조건 등의 제약이 있고 운전자마다 다양한 운전 패턴을 가지므로 측정치가 불규칙적이기 때문에 실생활에 적용하기 어렵다. 셋째, 컴퓨터 비전 기술을 기반으로 운전자의 특징 변화를 측정함으로써 졸음 여부를

* Corresponding Author: Kil-Houm Park, Address: (700-842) 703, IT1, Kyungpook National University, DaeHak-ro 80, Buk-gu, Daegu, Korea, TEL: +82-53-940-8849, FAX: +82-53-950-0555, E-mail: khpark@ee.knu.ac.kr

Receipt date: Sep. 7, 2016, Revision date: Nov. 10, 2016
Approval date: Nov. 11, 2016

^{*} Dept. of Electronic Eng., Graduate School, Kyungpook National University (E-mail: myoh@ee.knu.ac.kr)

^{**} Dept. of Electronic Eng., Graduate School, Kyungpook National University (E-mail: ysjung@ee.knu.ac.kr)

^{***} Dept. of Electronic Eng., Graduate School, Kyungpook National University

판단하는 방법[6-12]이다. 운전자의 얼굴 특징 변화를 관찰하여 졸음 상태를 판단할 수 있는 비접촉식 방법이며, 차량의 종류와 운전 패턴 등의 조건과 무관하게 적용할 수 있어 가장 실용적이므로 현재까지 활발히 연구되고 있다.

졸음운전 감지 알고리즘에 있어 운전자 졸음 여부 판단의 정확성은 가장 중요한 요소이다. 운전자의 졸음 여부를 정확하게 판단하기 위한 기존의 비전 기반 졸음운전 감지 알고리즘 연구는 다음과 같다. 운전자 얼굴과 입의 모양 및 색상 정보를 이용하여 눈 개폐 상태와 하품 여부를 확인하는 알고리즘[6], 색상 정보를 이용하여 운전자의 눈을 검출하고 Circular Hough Transform을 통해 눈 개폐 상태를 추측하는 알고리즘[7]과 입의 위치 및 색상 정보를 이용하여 하품 여부를 확인하는 알고리즘[8]이 있으며, Haar-like Feature을 이용하여 운전자의 눈을 검출하고 히스토그램 정보로 눈 개폐 상태를 추측하는 알고리즘[9,10]과 운전자의 입을 검출하고 히스토그램 정보로 하품을 판단하는 알고리즘[11]이 연구되었다. 그리고 Haar-like Feature을 이용하여 운전자의 얼굴과 눈을 검출하고 눈꺼풀의 거리를 측정하여 졸음운전을 감지하는 연구[12]가 있다. 기존의 비전 기반 졸음운전 감지에 대한 연구들은 연산과정이 간단하여 알고리즘의 속도가 빠르고 실시간으로 적용 가능하지만, 특정 영역 간의 밝기 차를 이용하기 때문에 복잡한 배경 및 환경 변화에 민감하여 운전자의 졸음 여부를 정확하게 판단하는 데 어려움이 있다.

따라서 본 논문은 얼굴 특징점을 기반으로 하품, 눈 졸음 상태, 고개 숙임을 판별할 수 있는 측정 기준을 연구하여 졸음운전을 감지하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 복잡한 배경 및 환경 변화에 강인하여 운전자 졸음 여부의 정확도가 높으며, 알고리즘의 처리 속도가 빨라 실시간으로 적용이 가능하다. 얼굴 특징점은 회귀나무 앙상블[13]을 이용하고, 졸음의 첫 신호인 하품은 입의 움직임을 측정하여 운전자의 졸음을 예방한다. 또한, 눈의 졸음 상태는 타원 정합을 이용하여 검출된 눈동자의 높이를 측정하여 판단하며, 고개가 아래로 숙여지는 무의식 상태인 졸음은 고개 움직임을 측정하여 감지한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안하는 졸음운전 감지 알고리즘을 설명한다. 여기에서는 제안한 알고리즘의 전체적인 개요와 얼굴 특징점 추출,

하품 판단, 눈 졸음 상태 판단, 고개 숙임 판단의 순서로 서술한다. 그리고 3장에서는 실험결과와 고찰을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 얼굴 특징점 기반의 졸음운전 감지

2.1 제안한 알고리즘의 개요

운전자의 졸음 상태에서는 얼굴 특징들에 많은 변화가 일어난다. 피로하거나 주의력이 감소된 사람들은 눈을 감거나 아주 작게 뜨며 고개 숙임, 하품 등의 얼굴 특징으로 쉽게 구별할 수 있다. 본 논문에서는 얼굴 특징점을 기반한 졸음운전 감지 알고리즘을 제안한다. Fig. 1은 제안한 알고리즘의 전체적인 흐름도를 나타내었다.

2.2 회귀나무 앙상블(Regression Tree Ensemble)을 이용한 얼굴 특징점 추출

운전자의 졸음 상태를 감지하기 위해 카메라로부터 입력받은 영상에서 운전자의 얼굴을 먼저 검출한다. 본 논문에서는 밝기 및 모양 정보 기반의 회귀나무 앙상블 알고리즘을 이용하여 얼굴 특징점을 추출한다.

회귀나무(Regression Tree)는 여러 개의 나무 구조를 임의로 학습하여 최선의 분류 및 예측을 수행하는 방법으로, 이를 얼굴 형태의 학습에 적용하여 수많은 회귀나무로 구성된 얼굴 영상의 앙상블 모델을

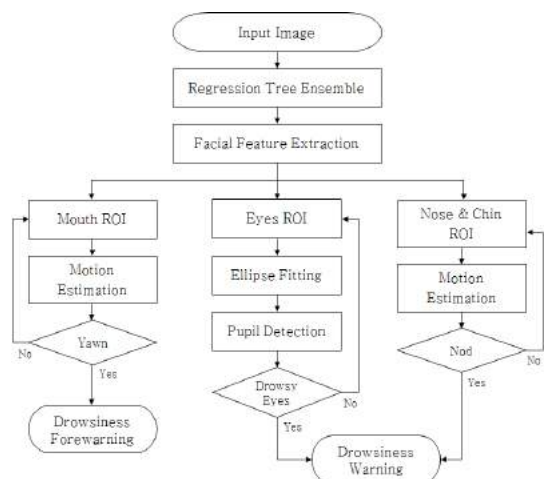


Fig. 1. Flowchart of proposed algorithm.

사용함으로써 학습오류(training error)를 감소시키고 밀리 초 단위의 빠른 처리 속도로 얼굴의 여러 변형에도 정밀한 랜드마크를 예측하는 것이 회귀나무 앙상블을 이용한 알고리즘이다.

Face Alignment는 N번의 회귀자 앙상블에 의한 캐스케이드 구조(cascaded framework)에서 수행된다. 영상 I 에서 i 번째 얼굴 랜드마크(facial landmark) 좌표를 $\chi_i \in R^2$ 라 하고, I 에서 모든 p 개 얼굴 랜드마크의 모양 벡터 $S = (\chi_1^T, \chi_2^T, \dots, \chi_p^T)^T \in R^{2p}$ 라 정의한다. cascade에서 단계 t 의 회귀자 r_t 는 영상으로부터 최신 벡터를 추측하며, 현재 모양 추정치 $\hat{S}^{(t)}$ 가 더해진 $\hat{S}^{(t+1)}$ 는 식 (1)과 같다.

$$\hat{S}^{(t+1)} = \hat{S}^{(t)} + r_t(I, \hat{S}^{(t)}) \quad (1)$$

cascade의 임계점은 현재 모양 추정치 $\hat{S}^{(t)}$ 와 관하여 색인된 픽셀 밝기 값과 같은 형상을 기반으로 회귀자 r_t 가 추측하는 것이다.

cascade에서 회귀자 r_t 학습 과정은 다음과 같다. 훈련 데이터 집합의 전체 수 $N = nR$ 이고, R 은 영상 I_i 당 사용된 초기화의 개수라 설정한다. 훈련 데이터는 $(I_{\pi_i}, \hat{S}_i^{(t)}, \Delta S_i^{(t)})_{i=1}^N$ 이고 over-fitting을 방지하기 위한 학습률(shrinkage factor)이 $0 < \nu < 1$ 이라면, 식 (2)과 같이 초깃값을 설정한다.

$$f_0(I, \hat{S}^{(t)}) = \underset{\gamma \in R^{2p}}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^N \|\Delta S_i^{(t)} - \gamma\|^2 \quad (2)$$

$k = 1, \dots, K$ 이고 $i = 1, \dots, N$ 이라면, 목표 회귀자 r_{ik} 은 식 (3)과 같으며, r_{ik} 에 적합할 때까지 임의의 회귀자 $g_k(I, \hat{S}_i^{(t)})$ 는 식 (4)와 같이 업데이트를 반복하고, 최종 출력되는 회귀자 $r_t(I, \hat{S}^{(t)})$ 는 식 (5)와 같이 나타난다.

$$r_{ik} = \Delta S_i^{(t)} - f_{k-1}(I_{\pi_i}, \hat{S}_i^{(t)}) \quad (3)$$

$$f_k(I, \hat{S}^{(t)}) = f_{k-1}(I, \hat{S}^{(t)}) + \nu g_k(I, \hat{S}^{(t)}) \quad (4)$$

$$r_t(I, \hat{S}^{(t)}) = f_K(I, \hat{S}^{(t)}) \quad (5)$$

각각의 회귀자 r_t 는 학습오류(training error)를 감소시키기 위해 제곱 오차 손실의 합(a sum of squared error loss)을 가진 Gradient Boosting Tree 알고리즘을 이용하여 학습된다.

Gradient Boosting Tree 알고리즘을 이용하여 학습되는 회귀자 r_t 의 핵심은 회귀자를 기반한 나무이

다. 회귀나무의 각각 분할노드는 두 픽셀의 밝기(intensity) 차이를 이용한 임계값으로 결정한다. 평균 모양 좌표 시스템에서 사용된 픽셀이 u, v 이며, u 와 가장 가까운 평균 모양에서의 얼굴 랜드마크의 색인을 k_u 라 하고 u 로부터 offset은 식 (6)과 같이 정의한다.

$$\delta\chi_u = u - \bar{\chi}_{k_u} \quad (6)$$

영상 I_i 에서 정의된 S_i 에 대해 평균 모양 영상에서 u 와 유사한 위치 u' 는 식 (7)에 의해 주어진다.

$$u' = x_{i, k_u} + \frac{1}{s_i} R_i^T \delta\chi_u \quad (7)$$

여기서 s_i 와 R_i 는 S_i 에서 평균모양 \bar{S} 으로 변환하는 유사성 변환의 크기와 회전 매트릭스이고 크기와 회전은 평균 모양의 얼굴 랜드마크 점과 모양 사이에서 제곱의 합을 최소화하여 수행하며, v' 또한 이와 같은 과정으로 정의된다.

각 분할은 3개의 변수 $\theta = (\tau, u, v)$ 를 포함하고 식 (8)과 같이 각 훈련에 적용된다.

$$h(I_{\pi_i}, \hat{S}_i^{(t)}, \theta) = \begin{cases} 1 & I_{\pi_i}(u') - I_{\pi_i}(v') > \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

각각의 회귀나무에 대해 상수벡터가 각 잎 노드(leaf node)에 적합한 함수를 근사화하기 위해 후보 분할 집합인 θ 들을 생성하고 제곱 오차의 합을 최소화한 후보로부터 θ^* 을 선택한다.

각 노드에서의 결정은 픽셀 한 쌍에서 밝기 차의 임계값을 이용하여 단일 픽셀의 경우보다 영상 데이터의 구조를 고려함으로써 밝기의 변화에 효율적이다. 근접한 픽셀들이 선택되도록 식 (9)과 같이 픽셀 사이의 거리에 대한 Exponential prior를 이용하여 많은 얼굴 데이터 집합에서 예측 오차를 줄일 수 있다.

$$P(u, v) \propto e^{-\lambda \|u - v\|} \quad (9)$$

Fig. 2는 회귀나무 앙상블을 이용하여 추출한 68개의 얼굴 특징점을 모델링한 영상이다.

2.3 하품 판단

졸음의 첫 신호는 자주 하품을 하는 것이다. 하품을 계속 하다보면 눈이 피로해지고 운전이 제대로 집중할 수 없게 되므로 운전자의 하품이 졸음운전의 첫 경고 신호라 할 수 있다.

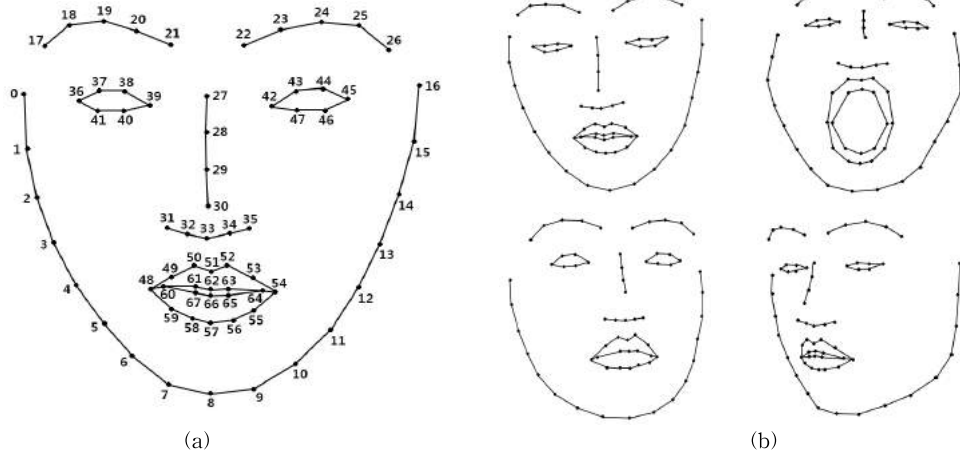


Fig. 2. The modeling of facial feature extraction using Regression Tree Ensemble. (a) Facial feature with numbers, (b) Facial feature from the various motion.

본 논문에서는 입력 영상에서 추출된 운전자 얼굴 특징점 중 입의 특징점인 48번, 51번, 54번, 57번을 통해 입의 움직임을 측정하여 하품의 여부를 판단한다. 특징점 48번과 54번의 거리는 입의 너비이고, 51번과 57번의 거리는 입의 높이라 한다. Fig. 3(a)는 평상시 입의 너비 및 높이를, Fig. 3(b)는 하품하는 입의 너비 및 높이를 표현한 영상이며, 식 (10)은 평상시와 하품하는 입의 너비에 대한 높이 비를 각각 나타낸다. 하품 판단의 조건은 식 (11)와 같이 평상시 입의 너비에 대한 높이 비를 기준으로 2배 이상의 비가 10프레임 이상 연속으로 측정되었을 때, 하품이라 인식한다.

$$\text{Normal Mouth Rate} = \frac{h_n}{w_n},$$

$$\text{Yawning Mouth Rate} = \frac{h_y}{w_y} \quad (10)$$

$$\text{Yawning Mouth Rate} > \text{Normal Mouth Rate} \times 2 \quad (11)$$

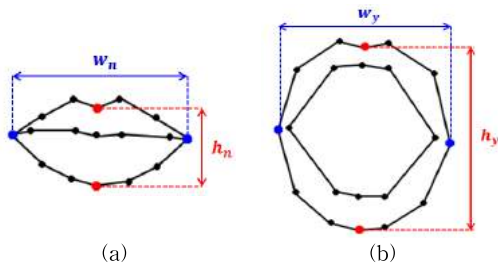


Fig. 3. Length of Mouth. (a) Length of Normal Mouth, (b) Length of Yawning Mouth

여기서 h_n 은 평상시 입의 높이, w_n 은 평상시 입의 너비이고 h_y 은 하품하는 입의 높이, w_y 은 하품하는 입의 너비이다.

2.4 눈 졸음 상태 판단

졸음운전을 판단하기 위해 운전자의 눈 졸음 상태는 신뢰할만한 시각 정보 중 하나이다.

본 논문에서는 입력 영상에서 추출된 운전자 얼굴 특징점 중 36번에서 47번까지 12개의 눈 특징점을 이용한다. 눈 특징점을 이용하여 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 ROI를 추출한다. Fig. 4는 추출된 왼쪽 눈의 ROI이고, Fig. 4(a)는 평상시, Fig. 4(b)는 졸린 상태, Fig. 4(c)는 잠이 든 상태를 나타낸다.

추출된 눈의 ROI에 임계화와 Morphology 기법을 적용한 후, 타원 정합(Ellipse Fitting)을 이용하여 눈 동자를 검출한다. 타원 정합은 최소자승법(least square solution)에 의한 타원 파라미터 계산으로 식 (12)과 같이 타원 모델을 구하고 랜덤 샘플링에 의해 유효하지 않은 데이터를 모델에 포함하지 않음으로써 최적 해를 구할 수 있는 RANSAC (Random Sample Consensus) 알고리즘을 적용하여 수행하였



Fig. 4. ROI for left eye status. (a) Normal eye, (b) Drowsy eye, (c) Deeply drowsy eye.

다[14].

$$\frac{(x-c_x)^2}{w^2} + \frac{(y-c_y)^2}{h^2} = 0 \quad (12)$$

θ : 타원이 회전한 각도

여기서 (c_x, c_y) 은 중심 좌표, w 는 가로축, h 는 세로 축, θ 는 타원이 회전한 각도이다.

Fig. 5는 Fig. 4의 영상에 임계화와 Morphology 기법을 적용한 후, 타원 정합을 이용하여 눈동자를 검출한 영상이다. 여기서 빨간색 타원이 검출된 눈동자를 의미한다. Fig. 5(a)는 Fig. 4(a)의 평상시 눈동자를 검출한 영상, Fig. 5(b)는 졸린 상태인 Fig. 4(b)의 눈동자를 검출한 영상이며, Fig. 5(c)는 잠이 든 상태인 Fig. 4(c)의 결과로 눈동자가 검출되지 않았다.

타원 정합을 수행하여 검출된 눈동자의 높이가 평상시 눈의 50% 미만이고 20% 이상일 경우, 졸린 상태로 인식하며, 평상시의 눈의 20% 미만일 경우, 눈이 감겨 잠이 든 상태로 인식한다. 졸음운전의 위험성을 고려하여 눈동자의 높이가 평상시 눈의 50% 미만인 상태로 0.4초 이상 유지할 때, 졸음운전으로 판단한다.

2.5 고개 숙임 판단

운전 중 졸음으로 인해 운전자의 고개가 아래로 숙여지는 것을 반복하는 고개 숙임은 눈이 감긴 채 무의식 상태에서 일어날 수 있으므로 매우 위험한 졸음 신호이다.

본 논문에서는 입력 영상에서 추출된 운전자 얼굴 특징점 중 코와 턱의 특징점인 27번, 30번, 8번을 이용하여 운전자의 고개가 아래로 숙여지는 것을 판단한다. 특징점 27번과 30번의 거리는 코 시작과 코끝 사이의 거리이고, 30번과 8번의 거리는 코끝과 턱 사이의 거리라 한다. Fig. 6(a)는 평상시 특징점 간의 측정 거리를, Fig. 6(b)는 고개를 숙였을 때, 특징점 간의 측정 거리를 표현한 영상이며, 식 (13)는 평상시

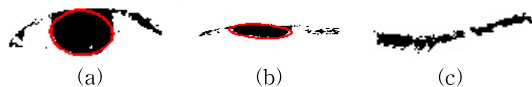


Fig. 5. Pupil detection image using Ellipse Fitting. (a) Normal eye, (b) Drowsy eye, (c) Deeply drowsy eye.

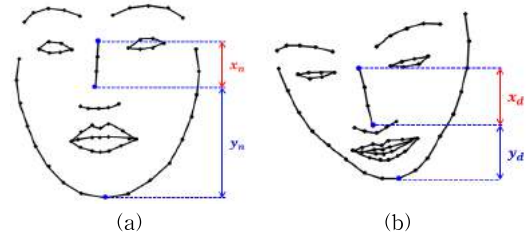


Fig. 6. Length of head. (a) Length of normal head, (b) Length of drowsy head.

와 고개를 숙였을 때, 코끝과 턱의 거리에 대한 코의 시작과 코끝의 거리 비를 각각 나타낸다. 고개 숙임의 조건은 식 (14)와 같이 평상시 코끝과 턱의 거리에 대한 코의 시작과 코끝의 거리의 비를 기준으로 1.8 배 이상의 비가 측정되었을 때, 고개 숙임으로 인식한다.

$$Normal\ Head\ Rate = \frac{x_n}{y_n}, Drowsy\ Head\ Rate = \frac{x_d}{y_d} \quad (13)$$

$$Drowsy\ Head\ Rate > Normal\ Head\ Rate \times 1.8 \quad (14)$$

여기서 x_n 은 평상시 코 시작과 코끝 사이의 거리, y_n 은 평상시 코끝과 턱 사이의 거리이고, x_d 는 고개를 숙였을 때의 코 시작과 코끝 사이의 거리, y_d 는 고개를 숙였을 때의 코끝과 턱 사이의 거리이다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 얼굴 특징점을 이용한 졸음운전 감지 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 사용된 PC는 Intel Core i7 CPU, 8G Byte Memory이며, 카메라(웹캠)는 로지텍 Carl Zeiss Tessar 2.0/3.7 2MP Autofocus으로 Visual Studio 2010 Compiler, Open CV (Open Source Computer Vision) 라이브러리를 이용하여 동영상으로 구현하였다.

Fig. 7은 실험을 위한 복잡한 배경에서의 주간과 야간 시 운전자 얼굴 원본 영상이며, Fig. 8은 Fig. 7의 얼굴 특징점이 추출된 영상이다.

Fig. 8을 통해 주간과 야간 시 같은 조건 하에 눈을 떴을 때, 감았을 때, 하품, 고개를 숙였을 때의 얼굴 특징점이 정확하게 검출되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 7(a)의 영상을 기준으로 동영상을 제안한 알고리즘에 적용한 실험 결과를 나타내었다. 제안한 알고리즘 속도는 약 0.084ms이며, 주간과 야

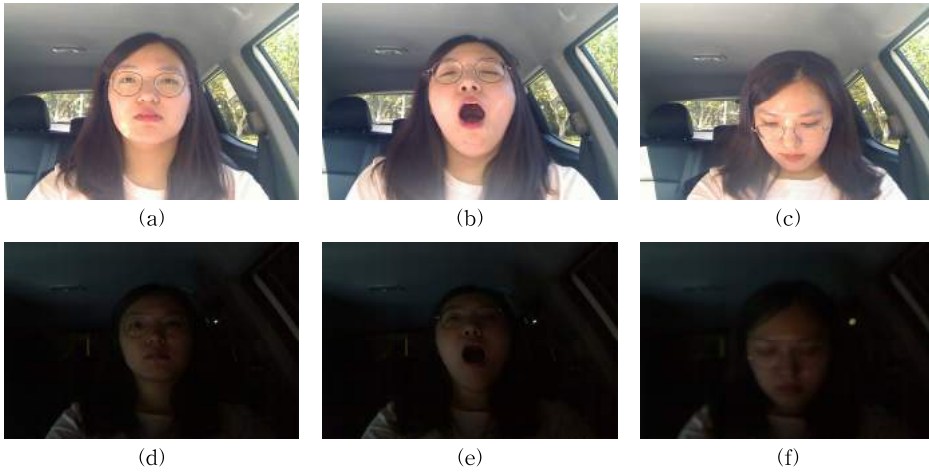


Fig. 7. Original image in the daytime and nighttime for experiment, (a) Normal image in the daytime, (b) Yawning image in the daytime, (c) Nodding image in the daytime, (d) Normal image in the nighttime, (e) Yawning image in the nighttime, (f) Nodding image in the nighttime.

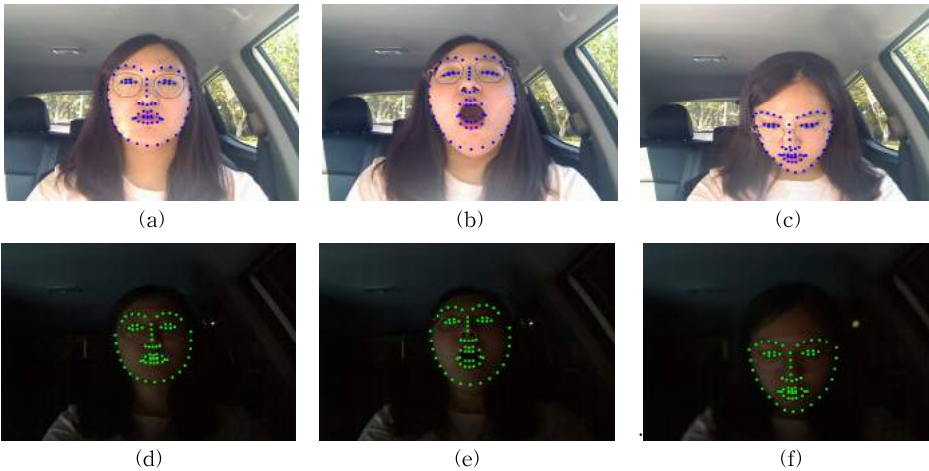


Fig. 8. Facial features extraction image of the daytime and nighttime for experiment, (a) Normal image in the daytime, (b) Yawning image in the daytime, (c) Nodding image in the daytime, (d) Normal image in the nighttime, (e) Yawning image in the nighttime, (f) Nodding image in the nighttime.

간 시에 대해 (a)는 하품, (b)는 눈 졸음 상태, (c)는 고개 숙임의 200프레임 측정 결과이다. 빨간 실선은 주간 시 결과이고 파란 점선은 야간 시 결과이며, 실점 선은 졸음이 검출된 구간이다.

실험자를 대상으로 Fig. 9(a)는 평상시 입의 비율이 0.38일 때, Fig. 9(b)는 평상시 눈동자 높이가 13.7 mm일 때, Fig. 9(c)는 평상시 고개 비율이 0.35일 때, 주간과 야간 시 하품, 졸음 상태, 고개 숙임의 각각 측정 결과를 나타내며, Fig. 9(b)에서 1프레임 동안 눈이 감기는 것은 눈 깜빡임으로 인식하고 초과된

프레임 동안 눈이 감기는 것은 위험으로 인식하여 졸음으로 판단한다.

제안한 알고리즘의 검출률을 평가하기 위해 식 (15)을 사용하였다.

$$Detection\ Rate = \frac{TP + TN}{Total\ Frames} \times 100 \quad (15)$$

여기서 TP(True Positive)와 TN(True Negative)는 실제 졸음 상태와 실험 결과가 일치하는 프레임의 수이다.

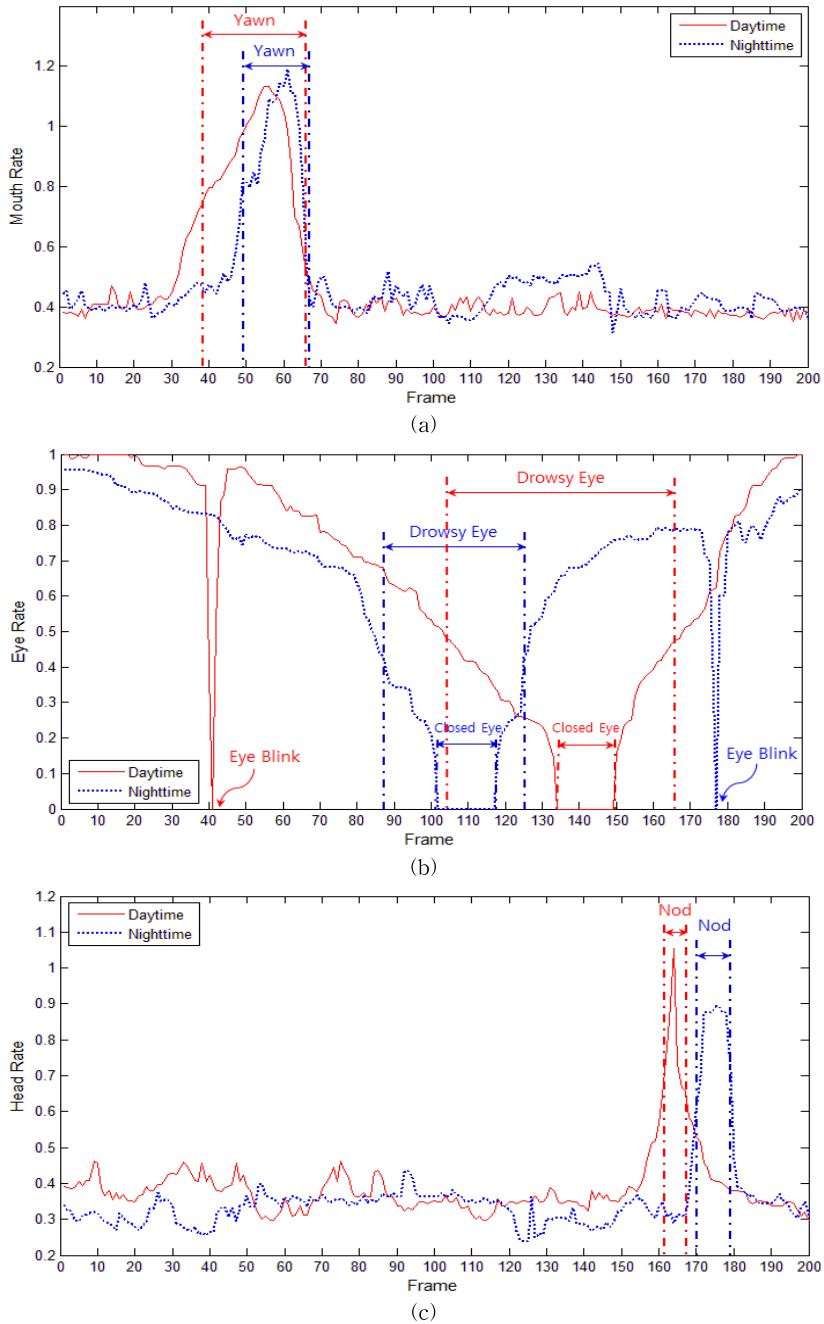


Fig. 9. Experiment results of proposed algorithm in the daytime and nighttime. (a) Yawn measurement, (b) Drowsy eye measurement, (c) Nod measurement.

Table 1은 식 (15)을 사용하여 전체 1,230프레임에 대한 제안한 알고리즘의 검출률을 나타낸 결과이다.

Table 1을 통해 제안한 알고리즘이 주간과 야간 시의 하품, 눈 상태, 고개 숙임에 대해 각각 우수한

검출률을 보이는 것을 확인할 수 있다. 운전자의 하품, 눈 상태, 고개 숙임에 대해 주간 시 검출률은 평균 98.48%이며, 야간 시 검출률은 평균 97.37%의 결과를 나타냈다. 야간 시 검출률은 야간 시 전체적인 밝

Table 1. Detection rate of proposed algorithm for yawn, drowsy eyes and nod

Motion	Daytime			Nighttime		
	TP	TN	Detection Rate[%]	TP	TN	Detection Rate[%]
Yawn	48	1179	99.76	43	1167	98.37
Drowsy Eyes	82	1112	97.07	76	1104	95.93
Nod	40	1173	98.61	38	1165	97.80
Total	170	3464	98.48	157	3436	97.37

Table 2. Detection rate comparison to the proposed algorithm between Rahman's algorithm for drowsy eyes

Time	Proposed Algorithm			Rahman's Algorithm		
	TP	TN	Detection Rate[%]	TP	TN	Detection Rate[%]
Daytime	82	1112	97.07	62	1046	90.08
Nighttime	76	1104	95.93	41	793	67.81

기가 어두워 운전자의 움직임 측정에 오검출이 나타나기 때문에 주간 시 검출률보다 낮은 검출률을 보였다.

Table 2는 제안한 알고리즘과 Rahman의 알고리즘[11]의 주간과 야간 시 졸음 눈에 대한 검출률을 나타낸 결과이다.

기존 알고리즘은 대부분 졸음 여부 판단의 가장 신뢰할 수 있는 정보인 운전자의 눈 졸음 상태만을 인지하여 졸음운전을 감지한다. 따라서 주간과 야간 시 졸음 눈에 대한 기존 알고리즘과 검출률 비교를 통해 졸음운전 감지에 있어 제안한 알고리즘의 정확성을 증명하였다. 기존 알고리즘인 Rahman의 알고리즘은 Haar-like Feature를 이용하여 운전자의 얼굴과 눈을 검출하고 눈꺼풀의 거리 측정으로 졸음운전을 감지하는 알고리즘으로, 특정 영역 간의 밝기 차를 이용하기 때문에 얼굴과 눈이 아닌 다른 배경 부분을 검출하는 경우가 발생하였으며, 알고리즘의 처리 속도는 약 0.147ms이다. 제안한 알고리즘은 밝기뿐만 아니라 모양 정보 또한 고려하기 때문에 Rahman의 알고리즘보다 주간과 야간 시 높은 검출률을 보였고, 제안한 알고리즘의 처리 속도는 약 0.084ms로 Rahman의 알고리즘에 비해 빠른 속도를 나타냈다. 하지만 갑작스러운 움직임이 있거나 손으로 눈이나 입을 만지는 등의 예외상황일 경우, 정확하게 운전자 얼굴 요소들의 특징점을 검출하기에 어려움이 있어 제안한 알고리즘의 결과에 오검출이 나타나며, 이는 추후 연구가 필요하다.

5. 결 론

본 논문에서는 얼굴 특징점을 기반으로 하품, 눈 졸음 상태, 고개 숙임을 판별할 수 있는 측정 기준을 연구하여 졸음운전을 감지하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 복잡한 배경 및 환경 변화에 강인하여 졸음 여부 판단의 정확도가 높고, 알고리즘의 처리 속도가 빨라 실시간으로 적용이 가능하다. 회귀나무 앙상블을 이용하여 운전자 얼굴 특징점을 추출하고, 이를 기반으로 졸음의 첫 신호인 하품은 입의 움직임을 측정하여 운전자의 졸음을 예방한다. 또한, 눈의 졸음 상태는 타원 정합을 이용하여 검출된 눈동자의 높이를 측정하여 판단하며, 고개가 아래로 숙여지는 무의식 상태인 졸음은 고개 움직임을 측정하여 졸음운전을 감지한다. 실험을 통해 하품, 눈 상태, 고개 숙임에 대해 제안한 알고리즘의 주간 시 검출률은 평균 98.48%이고, 야간 시 검출률은 평균 97.37%의 결과로 높은 검출률을 나타냈고, 기존 알고리즘과의 비교로 제안한 알고리즘의 신뢰성을 증명하였다. 하지만 손으로 눈이나 입을 만지는 등의 예외상황일 경우를 고려한 추후 연구가 필요하다.

REFERENCE

- [1] The Statistics on the Traffic Accident, <http://www.ex.co.kr/> (accessed May., 12, 2016).
- [2] The Analysis of Cause on Traffic Accident,

- <http://www.ts2020.kr/> (accessed Apr., 4, 2014).
- [3] J.W. Kim and S.H. Lee, "Neuro-Driving: Automatic Perception Technique for Upcoming Emergency Situations," *Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 36-40, 2015.
 - [4] G. Li, B.L. Lee, and W.Y. Chung, "Smart-watch-Based Wearable EEG System for Driver Drowsiness Detection," *Journal of IEEE Sensors*, Vol. 15, No. 12, pp. 7169-7180, 2015.
 - [5] Y.J. Kim, Y.M. Kim, and M.S. Hahn, "Detecting Driver Fatigue Based on the Driver's Response Pattern and the Front View Environment of an Automobile," *Universal Communication*, pp. 237-240, 2008.
 - [6] M. Omidyeganeh, A. Javadtalab, and S. Shirmohammadi, "Intelligent Driver Drowsiness Detection through Fusion of Yawning and Eye Closure," *Proceeding of IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems*, pp. 1-6, 2011.
 - [7] M.S. Devi, M.V. Choudhari, and P. Bajaj, "Driver Drowsiness Detection Using Skin Color Algorithm and Circular Hough Transform," *Proceeding of Fourth International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, pp. 129-134, 2011.
 - [8] S. Abtahi, B. Hariri, and S. Shirmohammadi, "Driver Drowsiness Monitoring Based on Yawning Detection," *Proceeding of IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 1-4, 2013.
 - [9] T. Hong, H. Qin, and Q. Sun, "An Improved Real Time Eye State Identification System in Driver Drowsiness Detection," *Proceeding of International Conference on Control and Automation*, pp. 1449-1453, 2007.
 - [10] W.W. Choi, S.B. Pan and J.H. Shin, "System for Detecting Driver's Drowsiness Robust Variations of External Illumination," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 6, pp. 1024-1033, 2016.
 - [11] S. Abtahi, S. Shirmohammadi, B. Hariri, D. Laroche, and L. Martel, "A Yawning Measurement Method Using Embedded Smart Cameras," *Proceeding of IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 1605-1608, 2013.
 - [12] A. Rahman, M. Sirshar, and A. Khan, "Real Time Drowsiness Detection using Eye Blink Monitoring," *Proceeding of IEEE National Software Engineering Conference*, pp. 1-7, 2015.
 - [13] V. Kazemi and J. Sullivan, "One Millisecond Face Alignment with an Ensemble of Regression Trees," *Proceeding of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1867-1874, 2014.
 - [14] M.A. Fischler and R.C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," *Communications of the ACM*, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395, 1981.



오 미 연

2014년 영남대학교 전자공학과 공
학사

2014년~현재 경북대학교 전자공
학부 석사과정

관심분야: 영상신호처리



박 길 흠

1982년 경북대학교 전자공학과 공
학사

1984년 한국과학기술원 전기전자
공학과 석사

1990년 한국과학기술원 전기전자
공학과 박사

1990년~현재 경북대학교 전자공학부 교수
관심분야: 영상신호처리, 패턴인식, 영상압축



정 유 수

2013년 경북대학교 수학과 학사

2015년 경북대학교 전자공학부
석사

2015년~현재 경북대학교 전자공
학부 박사과정

관심분야: 패턴인식, 영상신호처
리