

졸음운전의 자동 검출 및 각성 시스템 개발에 관한 연구

김남균*, 정경호**, 김법중**

= Abstract =

A Study on the Development of Automatic Detection and Warning system while Drowsy Driving

N.G. Kim*, K.H. Chong**, B.J. Kim**

Driving is a complex vigilance task that includes improper lookout, excessive speed and inattention. The primary objective of this research is to detect driver drowsiness so that the driver can be alerted to an impending traffic accident in performance. We developed the automatic detection and warning system during drowsy driving. A drowsiness detection system must be able to monitor driver status and detect the detrimental changes of a driver performance. Eyeblink has been found to be a reliable factor of drowsiness detection in earlier studies. As an additional parameter, we also considered the yawning which often occurs in a low vigilance state and predicts the drowsy state. We used a computer vision method to extract the eyeblink and yawning in the face image sequences. When the drowsy state was detected, the driver was refreshed by alarming device and menthol scent generator after deciding the warning level by fuzzy logic. For the evaluation of our system, we measured the physiological parameters such as EOG and EEG. The results indicated that it is possible to detect and alert the driver drowsiness temporarily or continuously by using our system.

Key words : Driver drowsiness, Automatic detection and warning system, Computer vision, Fuzzy logic

서 론

최근, 자동차의 증가에 비해 도로환경 정비가 미비하여 자동차사고가 빈번하게 일어나고 있다. 특히, 운전자의 주의력 감소 및 졸음운전은 교통사고 요인에 있어서 큰 비중을 차지하고 있으며, 고속도로 운행이나 장거리 운행 시 자동차 대형사고의 대부분은 졸음 운전으로 인하여 일어나고 있는 것으로 되어 있다. 이에 따라, 자동차 운전자들의 안전과 주의력에 대한 관심이 고조되고 있다[20].

졸음 운전시에는 운전자의 주의력이 크게 감소하게 되어 운전자의 운전 조작 및 방어 조작 능력이 현저하게 저하된다. 운전자의 주의력이 감소하게 되면 졸음 상태나 수면상태에 직면하게 되며, 눈이 감기거나 머리를 바로

세우는 것이 어렵고, 하품이 발생하기도 한다. 이러한 졸음 운전의 주 요인으로는 육체적인 피로와 과도한 시각의 사용이며, 그밖에 고속도로 상에서 흔히 발생하는 단조로운 운전행위, 긴 운전 시간, 불충분한 수면 시간 및 휴식 등이 졸음 운전의 원인에 해당한다. 유럽, 미국, 일본 등의 자동차 발전 국가등에서도 운전자의 졸음이나 피로에 의한 대비책으로 여러 안전 장치의 개발에 많은 인력과 투자가 이루어지고 있다. 구체적으로 유럽의 DRIVE, 미국의 IVHS, 일본의 ASV 등의 국가적 계획을 세우고 수년 전부터 상업화가 가능한 졸음 방지 장치의 개발에 박차를 가하고 있다. 그러나 국내에서는 이 분야에 대한 연구 개발이 매우 미흡한 실정이다[1-4].

졸음 운전으로 인한 사고를 막고, 미연에 예방할 수 있

* 전북대학교 의과대학 의공학교실

* Dept. of Biomedical Engineering, Medical College, Chonbuk National University

** 전북대학교 대학원 의용생체공학과

** Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University

통신저자 : 김남균, (561-180) 전북 전주시 덕진구 금암동 산 2-20, 전북대학교 의과대학 의공학교실, Tel. (0652)70-2246, Fax. (0652)70-2247

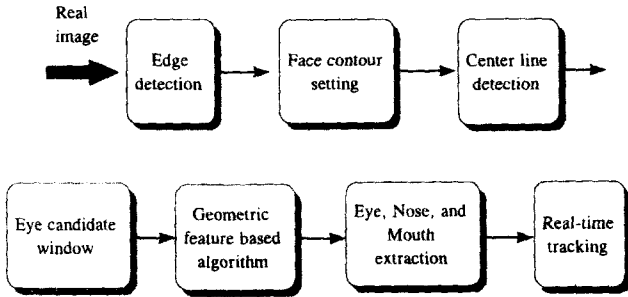


그림 1. 영상 처리 과정
Fig. 1. Image processing

는 시스템을 개발하기 위해서는 졸음을 감지할 수 있는 장치와 졸음 운전시 운전자를 각성시킬 수 있는 장치의 구현이 필요하다. 지금까지 연구된 졸음 운전의 감지 방법은 운전자의 생리 신호 변화 측정방법, 행동 변화 측정방법, 영상처리에 의한 측정방법으로 크게 분류할 수 있다. 본 논문에서는 위 방법들 중에서 측정방법이 용이하고, 실용성이 높은 영상 처리 방법을 이용하였다. 그 동안 영상 처리 방법을 이용하여 졸음을 감지한 연구는 대부분이 눈 깜박임을 측정파라미터로 이용하여 눈꺼풀의 위치나 눈 깜박임의 위치를 수동적으로 찾아 그 크기를 측정하는 연구가 대부분이었다[1,6,8]. 그러나 본 연구에서는 얼굴 정면 이미지로부터 일정 시간 동안 눈 깜박임 시간뿐만 아니라 졸음의 전 단계에서 흔히 발생하는 하품 시간도 측정 파라미터로 추가로 설정하여 보다 정량적으로 졸음을 감지할 수 있도록 하였으며, 자동으로 눈과 입의 위치를 추적하면서 실시간으로 졸음을 감지할 수 있는 시스템을 개발하였다. 일단 졸음상태로 판단되면 운전자를 각성할 수 있도록, 경보음과 페퍼민트 향을 이용하여 졸음 각성 시스템을 개발하였다. 본 개발 시스템인 졸음 감지 및 각성 시스템에 대해 그 유용성을 평가하기 위해 실험 기간동안 피험자의 생체신호를 측정하여 이를 분석하였다.

영상처리에 의한 졸음 감지

본 연구에서는 소형 CCD카메라로부터 입력된 256그레이 레벨의 얼굴 이미지를 이진 이미지로 변환한 후, 얼굴의 특징을 추출하여 눈 깜박임과 하품을 측정하였다. 얼굴 특징을 추출하는 방법은 얼굴 인식(Face Recognition)분야에서 활발히 연구되고 있으며, 템플릿 매칭방법, 기하학적 위치 특성방법, 얼굴의 대칭성 투영방법등 여러가지가 있다[12-15]. 본 연구에서는 기하학적 위치 특성을 이용하여 눈, 코, 입 등의 특징점들을 추출하였으며, 눈과 입을 세밀하게 분석하였다. 먼저 이진 이미지의 변환을 위해 비교적 잡음에 강하고 윤곽이 뚜렷하게 나타나

는 Sobel 마스크(3×3행렬)를 이용하였다. 이진화된 이미지로부터 얼굴의 위치를 찾아 대략적인 얼굴 윤곽을 설정한 후, 얼굴 영역내에 중심선을 찾았다. 다음으로 눈 후보윈도우를 설정하여, 기하학적 위치 특성 알고리즘을 이용하여 눈, 코, 입을 추출하였다. 따라서 추출된 눈과 입의 위치를 실시간으로 추적하면서 눈 깜박임과 하품을 측정하였다. 그림 1은 전체적인 영상 처리 과정을 나타낸 것이다.

1. 얼굴 윤곽 및 중심선 설정

얼굴 영상 전체의 농담으로부터 얼굴의 위치를 찾기 위해 머리색이 검다는 정보를 이용하였다. 본 연구에서는 한국인을 대상으로 실험하였기 때문에 머리색은 검정색을 기준으로 하였다. 따라서 임계치를 설정하여 머리의 위치를 구한 뒤, 머리의 위치를 기준으로 얼굴의 가로와 세로의 비율을 약 2대 3정도로 설정하여 대략적인 얼굴의 윤곽을 선정하였다. 얼굴은 좌우가 서로 대칭적인 특성을 지니고 있기 때문에 얼굴 윤곽 안에서 각 후보점들을 중심으로 x축에 대해 서로 대칭되는 좌우 픽셀값을 비교하였다. x축의 일정 범위 픽셀값들에 대해 양끝의 픽셀값을 빼어 가장 최소가 되는 점을 해당 y축에서의 중심점으로 설정하였다. 이 점들은 얼굴 윤곽의 세로축에 대해 모두 구하여 그 합을 세로축 길이로 나누어 중심선을 설정하였다[15]. x, y좌표에서의 이진 이미지 값을 f(x, y), 얼굴 윤곽의 가로, 세로의 크기를 m, n이라고 하며, 해당위치에서의 중심값을 g(0), g(1), ..., g(n) 이라고 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 g(0) &= \min\{f(x_0+k, y_0+0) - f(x_0+m-k, y_0+0)\} \\
 g(1) &= \min\{f(x_0+k, y_0+1) - f(x_0+m-k, y_0+1)\} \\
 &\vdots \\
 g(n) &= \min\{f(x_0+k, y_0+n) - f(x_0+m-k, y_0+n)\}, \\
 &0 \leq k \leq m/2
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, 좌표값(x₀, y₀)은 머리영역의 좌측상단 좌표이다. 따라서 중심선의 x좌표는 다음과 같다.

$$x_{center} = \sum_{i=0}^n g(i)/n \tag{2}$$

그림 2(a)는 256그레이 이미지를 나타내며, 그림 2(b)는 입력 얼굴 영상의 농담을 나타낸 것이다. 그림 2(c)는 얼굴 윤곽 안에서의 중심선 설정과 그 결과를 나타내고 있다.

2. 얼굴 특징 추출

눈의 위치를 찾는 방법으로서 얼굴 영역 내에 약 34*

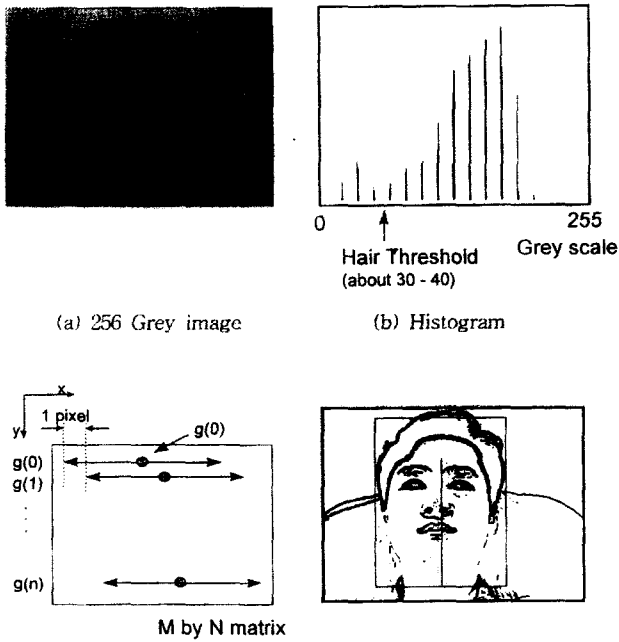


그림 2. 얼굴 입력 이미지와 전처리
Fig. 2. Face image and preprocessing

12 픽셀의 눈 후보 윈도우를 설정하여 일정한 화소수를 갖는 눈 후보윈도우를 300~500개 정도 발생시켰다. 만약 빛의 영향등으로 인하여 후보 윈도우의 개수가 300개 미만이거나 500개를 초과하게 되면 윈도우의 기준 화소수를 자동으로 조절하여 눈 후보 윈도우가 항상 300~500개 사이가 되도록 하였다. 눈의 추출은 이 후보 윈도우들을 대상으로 눈 아닌 후보들을 제거하는 방법으로 행하였다.

눈의 이미지는 타원형이며 복잡한 모양을 하고 있기 때문에 눈 후보 윈도우 안의 픽셀수 분포에 따라 일정비율 이상이 되면 후보로 선정하였다. 눈 후보 설정후, 윈도우 안에서 크기를 줄이면 한쪽으로 치우친 모양의 윈도우는 그 크기가 매우 줄어들기 때문에 제거되어, 대부분의 후보 윈도우들은 머리카락, 눈썹, 눈, 코 등에 몰려 있게 된다. 따라서 후보 윈도우들이 동일 지역에 상하좌우로 각각 수픽셀의 차이를 두고 몰려있게 되며, 이러한 문제를 해결하기 위해 후보들을 labeling하여 각 후보들을 10개 이하로 줄일 수 있다. 또한 눈의 gray값을 이용하고 눈의 가로, 세로축 길이의 비를 이용하여 후보를 줄였다. 최종적인 눈의 위치는 관계 검증을 실시하여 찾아내었다. 관계 검증은 먼저 중심선에 기준하여 후보 윈도우들을 좌우로 분리한 다음, 눈은 서로 대칭인 특성을 가지고 있기 때문에 좌우 대칭 윈도우들을 걸러낸다. 이렇게 하면 대부분의 경우는 눈썹이나 눈에 걸리게 되며 눈의 위치 특성을 이용하여 최종적인 후보를 찾을 수 있다. 그림 3은

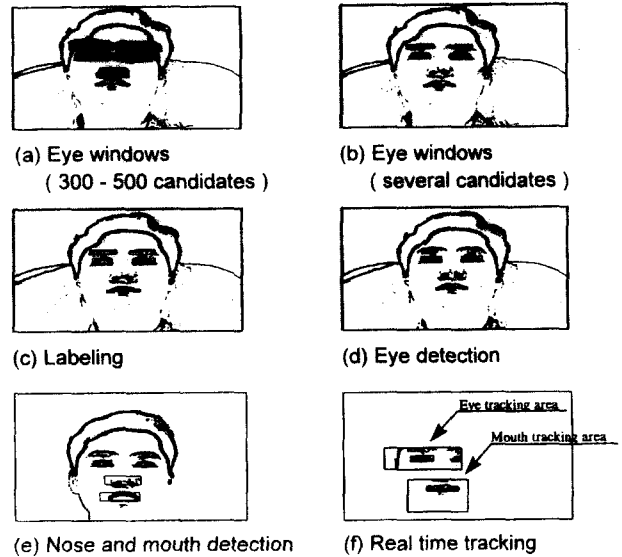


그림 3. 얼굴 특징 추출 및 실시간 위치 추적
Fig. 3. Extraction of face features and realtime tracking

단계별로 눈 후보 윈도우들을 제거하여 눈의 위치를 추출하는 과정을 나타내고 있다.

눈의 위치를 찾은 다음 입의 위치를 찾기 위해 코의 위치를 먼저 찾았다. 코는 입의 위치를 추적하고 그 크기를 측정하는 과정에서 코와 입의 혼동을 막을 수 있는 정보가 될 수 있기 때문에 코의 위치를 찾는 일은 중요하다. 코는 콧구멍 부분의 에지가 뚜렷하게 나타나므로 눈의 위치로부터 영역을 설정하여 화소수의 합이 가장 많은 부분을 윈도우로 설정하여 찾을 수 있었다. 입의 위치는 코의 위치로부터 얼굴의 아래 윤곽까지 윈도우를 설정하여 화소수의 합을 이용하여 찾은 뒤, 상하로 윈도우 크기를 줄여 기준 입모양을 설정하였다. 그림 3은 얼굴 특징을 추출하고 실시간으로 눈과 입을 추적하는 과정을 나타낸 것이다.

3. 눈 깜박임 및 하품 측정

눈 깜박임을 측정하기 위해 추출된 눈의 세로축 길이를 산출하였으며, 만약 눈의 세로축 길이만을 고려하게 되면 얼굴을 약간만 기울더라도 눈이 대각선 모양을 하게 되어 눈의 세로축 길이가 줄어들지 않게 된다. 따라서 눈의 뜬 상태와 감은 상태를 정량적으로 측정하기 위해 기준 눈의 세로축 길이보다 작으면서 동시에 윈도우 안의 화소수가 기준 화소수의 일정 비율보다 작게 되면 눈의 감은 상태로 판단하였다.

하품을 측정하기 위해 첫 이미지에서 피험자에게 ‘아’라는 발성을 지시하여, 그때의 입크기를 하품 측정 기준

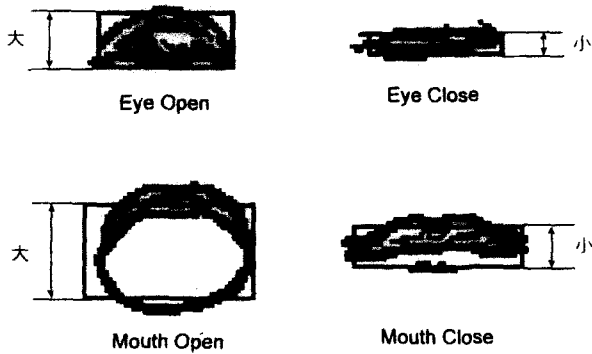


그림 4. 눈 깜박임과 하품 측정
Fig. 4. Measurement of blinking and yawning

값으로 설정하였다. 따라서 하품은 입모양이 최대가 되면서 일정시간 동안 지속되는 상태를 말하므로 연속 이미지에서 입의 크기를 구하여 이를 측정하였다. 그림 4는 눈과 입의 개폐에 의해 눈 깜박임과 하품을 측정할 과정을 나타낸다.

4. 실시간 위치 추적

눈과 입의 위치를 실시간으로 추적하면서 각각의 크기 변화량을 측정하는 기술은 많은 처리 시간을 요구하게 된다. 본 연구에서는 3~4 frame/sec를 유지하면서 움직이는 영상 데이터에서 눈과 입의 위치를 추적하고 깜박임과 하품을 측정하기 위해 추적 영역을 제한하였다. 눈의 위치 추적은 초기 이미지에서 얻어진 눈의 이진 이미지를 추적 영역에 대해 template matching 방법을 수행하여 눈의 위치를 추적하였다[16]. template matching 방법은 이미지에서 임의의 특정 물체를 검증하는 방법이며, 검증하고자 하는 이미지의 물체를 template 이미지로 설정하여 전체 이미지에서 찾고자 하는 물체를 matching하는 것을 말한다. 본 연구에서는 첫 이미지에서 추출된 eye template 이미지를 위 수식에 근거하여 추적 영역에 대해 cross-correlation하여 그 값이 최대가 되는 곳을 눈의 위치로 결정하였다. 이를 다시 표현하면 다음과 같다.

$$e(x, y) = \max_{p, q} \sum_{m, n} t(m, n) f(p+m, q+n) \quad (3)$$

여기에서 p와 q는 눈 위치의 추적 영역이며, m, n은 eye template 이미지의 가로축과 세로축의 길이에 각각 해당한다. t(m, n)는 eye template 이미지의 이진값이며, f(p+m, q+n)는 추적 영역 p, q 안에서 m, n의 위치에 해당하는 이진값이고, e(x, y)는 추적된 눈의 위치를 나타낸다.

일단 눈의 위치가 결정되면, 초기 이미지에서 얻어진

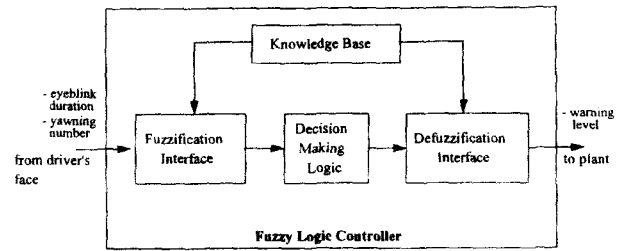


그림 5. 퍼지 제어기의 구조
Fig. 5. Configuration of fuzzy controller

눈과 코 사이의 길이만큼 더한 영역에서부터 입의 위치를 탐색한다. 이렇게 하는 이유는 개개인마다 눈과 코, 입의 길이가 다르기 때문이며, 입의 세로축 길이를 정량적으로 측정할 때 코 이미지를 제거하여 효율적으로 수행할 수 있다. 또한 입의 위치는 눈의 위치 변화에 따라 동일한 방향성을 가지면서 추적된다. 눈과 입의 위치가 결정되면 각각의 윈도우 안에서 세로축 길이를 줄임으로써 잡음이 발생할시에도 각각의 길이를 찾을 수 있도록 하였다.

퍼지논리에 의한 졸음의 분석 및 졸음 각성시스템

퍼지 논리는 인간의 모호하고 부정확한 개념들을 가지고 의사결정을 수행하는데에 주로 이용되어 왔으며, 인간의 생리적인 측정치들을 정량화하고, 애매모호함으로 인하여 발생할 수 있는 오류를 줄이는 데에 적용되어 왔다 [18]. 퍼지 논리를 이용하기 위해서는 입력 변수에 대해 멤버십 함수를 구하여 퍼지화를 수행한 뒤에, 퍼지 추론과 퍼지규칙에 의해 퍼지값을 산출한다. 산출된 퍼지값들은 비퍼지화 과정을 통하여 원하는 출력값을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 졸음을 판단하기 위해 입력변수로서 눈 깜박임 시간(B)과 하품(Y)을 퍼지 입력 변수로 설정하고 각성단계(W)를 퍼지 출력 변수로 설정하였다. 본 연구의 퍼지 제어기 구조는 그림 5에 나타나 있다.

1. 입출력 변수의 설정

(가) 눈 깜박임 시간(B)

피험자마다 눈 깜박임이 다양하고 불규칙적이기 때문에, 정상상태에서의 눈 깜박임 시간을 설정하기 위해 30초 동안 3번씩 측정하여 이를 평균한 값으로 설정하였다. 눈 깜박임 시간의 단계는 아래와 같이 5단계로 나누었으며, 각 단계의 영역은 金田[7]등의 연구와 본 실험실에서 실시한 설문조사를 고려하여 설정하였다. 각 영역은 정상상태에서의 눈 깜박임 시간에 대한 배수로 표현하였다.

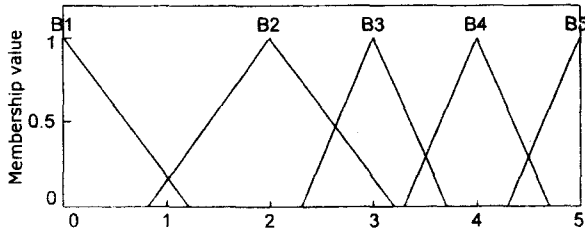


그림 6. 입력 퍼지집합의 멤버십 함수(눈 깜박임 시간)
Fig. 6. Membership function of fuzzy input(blinking time)

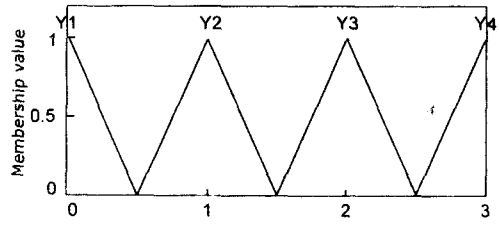


그림 7. 입력 퍼지집합의 멤버십 함수(하품수)
Fig. 7. Membership function of fuzzy input(yawning number)

표 1. 눈 깜박임 시간이 2.3sec인 경우의 멤버십 함수
Table 1. Membership function at 2.3sec blinking time

입력단계	단계별 영역(배수)	실제 입력값(sec)
B_1	1.3 이하	2.99 이하
B_2	0.3 ~ 3.2	0.69 ~ 7.36
B_3	2.3 ~ 3.7	5.29 ~ 8.51
B_4	3.3 ~ 4.7	7.59 ~ 10.81
B_5	4.3 이상	9.89 이상

$$B = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5), B_i = \{b, \mu_{B_i}(b) \mid b \in X\} \quad (4)$$

여기에서 B 는 정상상태에서의 눈 깜박임 시간에 대한 증가분을 나타내며, X 는 눈 깜박임 시간의 전체집합에 해당한다. $\mu_{B_i}(b)$ 는 집합 B 에서 b 에 대한 소속함수를 나타낸다.

예를 들어, 피험자가 정상상태에서의 눈 깜박임 시간이 2.3sec라면 표 1과 같이 영역을 나눌 수 있다.

(나) 하품 수(Y)

하품은 졸음의 전단계에서 발생하는 현상으로서 졸음을 미리 예측하는 중요한 변수가 될 수 있다. 졸음이 오는 경우에는 흔히 하품에 의하여 허파의 환기가 이루어지고, 뇌의 활동을 회복시켜 정신이 맑아지게 되므로, 하품을 측정하는 것은 졸음 감지에 매우 유용하다[10]. 하품은 졸음시에 횟수가 반복적으로 발생하기 때문에 하품수를 측정변수로 설정하였다. 각 단계는 설문조사를 토대로하여 다음과 같이 4단계로 나누었으며, 각 단계에 따른 값은 0~3으로 설정하였다.

$$Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4), Y_i = \{y, \mu_{Y_i}(y) \mid y \in X\} \quad (5)$$

(다) 각성 단계(W)

피험자에 따라 눈 깜박임 시간과 하품수가 입력되면 제어 규칙에 의해 비퍼지화하여 출력값을 산출한 후 졸음을 각성한다. 출력 퍼지 집합은 정상상태와 각성 1단계로부터 각성 4단계로서, 모두 5단계를 설정하였다. 각성 레벨에 대한 퍼지 집합 W 는 다음과 같다.

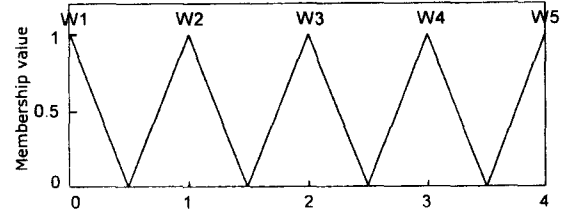


그림 8. 출력 퍼지집합의 멤버십 함수(각성단계)
Fig. 8. Membership function of fuzzy output

$$W = (W_1, W_2, W_3, W_4), W_i = \{w, \mu_{W_i}(w) \mid w \in X\} \quad (6)$$

총 5단계의 각성레벨에 대해 다음과 같이 경보음을 내거나 향을 발산하였다.

- W_1 : 없음 (정상 상태)
- W_2 : 경보음 1회 (각성 1단계)
- W_3 : 경보음 1회, 향 1회 발산 (각성 2단계)
- W_4 : 경보음 1회, 향 2회 발산 (각성 3단계)
- W_5 : 경보음 1회, 향 4회 발산 (각성 4단계)

2. 퍼지 규칙 및 비퍼지화

본 연구에서 졸음을 판단하기 위해 작성된 퍼지 규칙은 16개이며, 다음과 같이 If ~ then 형태로 이루어 졌다.

If Blink is B_i and (Yawn is Y_j) then (Warning is W_k), ...

추론 방법으로 간략화된 Mamdani 추론법을 이용하였다. 최소 연산 규칙 (min-operation rule)을 이용하여 적합도를 구하고, 추론 결과값을 산출하였다. 일단 퍼지 추론값이 결정되면, 각 규칙에 대해 비퍼지화를 수행한다. 비퍼지화는 최대값 선택법(MAX), 최대값 평균법(MOM), 무게중심법(COG), 간략화된 COG(SCOG)등이 있다. 이 중에서 SCOG의 비퍼지화 방법을 이용하여 출력 값을 산출하였다. 그 절차는 다음과 같다[19].

- 입력 x_1^0, x_2^0 가 주어질 때,
(1) i-번째 제어 규칙의 적합도

$w_i = \mu_{Ai1}(x_1^0) \wedge \mu_{Ai2}(x_2^0)$ 를 계산한다.

(2) i-번째 제어규칙에 의한 추론 결과

$C'_i = \int_U w_i \wedge \mu_{Ci}(u) / w_i$ 를 계산한다.

(3) C'_i 을 COG방법으로 비퍼지화한 결과

$u_i^* = COG(C'_i)$ 를 구한다.

(4) 전체의 제어규칙에 의한 추론결과 u^* 를 u_i^* 의 weighted combination으로 다음과 같이 구한다.

$$u^* = \frac{\sum_{i=0}^n w_i u_i^*}{\sum_{i=0}^n w_i} \quad (7)$$

COG는 각 규칙에서 추론된 결과치를 모두 합하여 그 면적내에서의 무게 중심을 구하는 방법이며, SCOG는 각 규칙에서의 추론 결과치에 대해 각각의 weighting값을 구하여 그 값들을 위식으로부터 출력값을 산출하는 방법이다. SCOG방법은 COG방법과 유사한 값을 얻으면서, $u_i^* = COG(C'_i)$ 값을 미리 계산하여 이용하므로써 알고리즘의 계산 속도를 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3. 졸음 각성 시스템의 개발

졸음 각성 장치는 운전자가 졸음을 느낄 때, 졸음을 바로 해소시킬 수 있는 순간 각성 장치와 졸음의 해소 상태를 지속적으로 유지시킬 수 있는 지속 각성 장치로 구분되며, 일반적으로 부저나 경보음은 순간 각성 장치에 해당하며, 향의 발산은 지속 각성 장치에 해당한다[4]. 뇌파의 측정에 의해 향은 일반적으로 진정 작용과 흥분 작용을 나타내는 2가지 종류로 나누어진다[9].

- 진정 작용 : 라벤더, 레몬, SandalWood, ...
- 흥분 작용 : 자스민, 페퍼민트, Rose, Clove, ...

이중에서 페퍼민트향은 각성 효과가 가장 좋으며, 두뇌 활동을 촉진시키고 사무능률을 향상시키며, 실수 및 졸음을 방지하는 효과를 가지고 있다. 향은 1회에 40~50mg의 양이 분사되도록 하였으며, 주의력 저하 상태에 따라 분사횟수를 각각 1회, 2회, 4회로 조절하였다. 경보음은 약 85dB로 발생하며, 1회 동작시 1~2초 정도 계속 되도록 하였다.

각성 시스템의 동작은 PC에 장착된 8255 I/O에 연결되어 영상 처리에 의해 졸음의 각성 수준이 측정되면 향 또는 부저가 동작하도록 하였다.

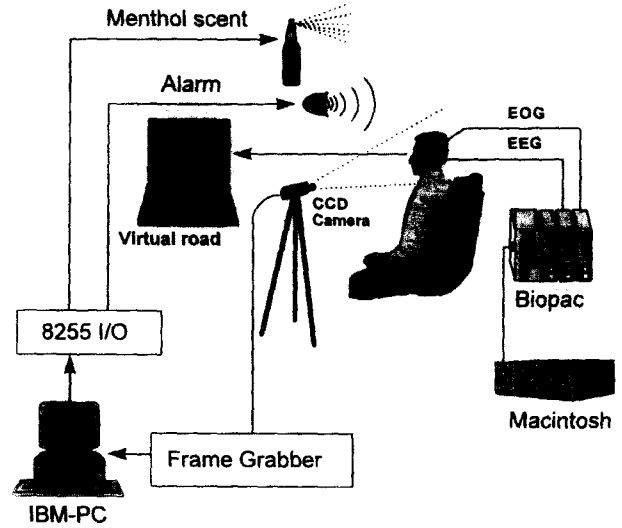


그림 9. 모의 실험 시스템 구성도
Fig. 9. System configuration

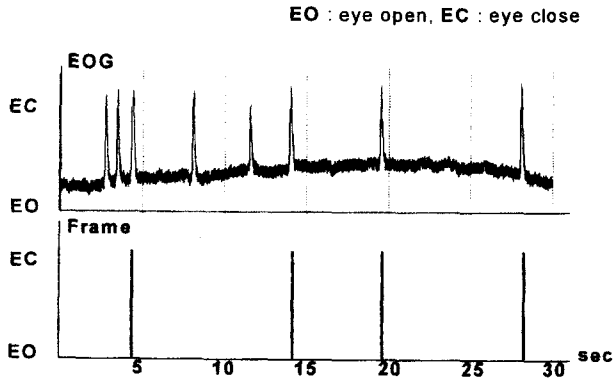
실험 장치 및 결과

1. 실험장치 및 방법

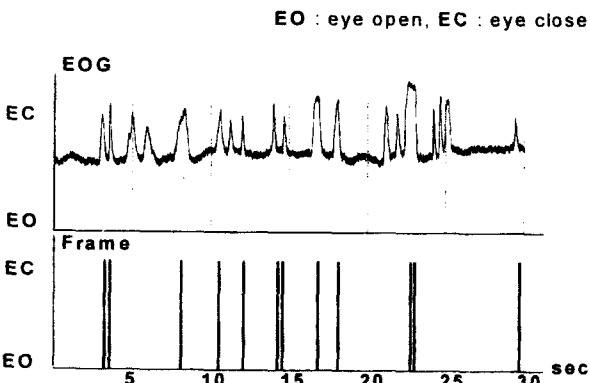
본 실험은 실제 차량과 유사한 환경을 구현하기 위해 밀폐된 방음실에서 모의 실험 장치를 구축하였으며, 그림 9에서와 같이 크게 졸음 감지 장치, 졸음 각성 장치, 생체 신호 측정 장치로 나누어 진다.

졸음 감지 장치는 피험자 전방에 CCD카메라(WAT-502A)를 설치하고, 이를 frame grabber(DT 3155)가 장착된 PC(Pentium-120)에 연결하여 눈 깜박임과 하품을 측정한다. 피험자는 의자에 앉아 note PC에 설치된 가상도로 주행 시뮬레이션 화면을 보면서 시선이 전방을 주시하도록 하여 실제로 운전하는 느낌을 갖도록 하였다. 졸음 감지를 위한 프로그램은 Microsoft Visual C++과 Inline Assembly를 이용하였다. 졸음 각성 장치는 영상 처리에 의해 졸음이 판단되면, PC에 장착된 8255 I/O에 신호가 전달되어 자동으로 경보음을 울리거나 향을 발산하도록 하였다. 생체 신호 측정은 생체 신호 측정 장치(Biopac)와 신호 분석 프로그램(AcqKnowledge)을 이용하였으며, EEG, EOG신호를 각각 100Hz로 샘플링하여 Macintosh에서 분석하였다.

본 실험은 24~26세의 성인남자를 대상으로 각각 20분씩 실시하였다. 각 피험자에 대해 불충분한 휴식과 수면이 부족한 상태에서 졸음이 쉽게 올 수 있도록 유도하여 실험을 실시하였다. 대부분의 피험자는 단조로운 거동상



(a) 정상상태



(b) 졸음상태

그림 10. 영상 프레임과 EOG 신호의 비교
Fig. 10. Comparison between image frame and EOG

태를 계속 유지하면서 수분 이내에 졸음상태로 전이하였으며, 측정 시간동안 졸음상태와 각성상태를 반복하였다.

2. 결 과

그림 10은 경보음과 향을 발산하여 피험자를 각성시키는 과정의 전후에서 정상상태와 졸음상태에 대한 EOG 신호와 영상 프레임 수를 비교하여, 본 졸음 감지 시스템의 유용성을 평가하고 있다.

그림 10(a)는 정상 상태에서의 결과를 나타낸다. 정상 상태에서는 눈 깜박임의 폭이 짧으며, 매우 불규칙적임을 알 수 있다. 또한 그림 10(b)의 졸음상태에서는 눈꺼풀이 무거워지면서 진폭이 긴 눈의 깜박임을 나타내고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 3~4 frame/sec의 속도로 영상을 처리하였기 때문에 피험자의 눈 깜박임을 모두 인식하지 못한 결과를 나타내고 있다. 그러나, 졸음 감지의 측정 파라미터를 깜박임 수가 아닌 일정시간(30초)동안의 깜박임 시간으로 설정하였기 때문에 졸음상태와 정상상태에서의 상대적인 차이값을 얻음으로써 졸음을 감지할 수 있었다.

그림 11은 퍼지 방식에 의해 졸음을 감지하고 피험자를 각성시킨 결과를 나타내고 있다. 피험자는 실험을 개시하여 약 10분 정도까지 정상상태를 유지하다가 졸음을 느끼게 되어 각성 수준에 따라 졸음과 각성을 반복하고 있다. 따라서 본 졸음 감지 및 각성 시스템이 졸음을 일시적, 또는 지속적으로 각성시키고 있음을 알 수 있다.

다음은 실험 개시후 약 760sec경 피험자가 졸음 상태에서 직면하여 각성 5단계에 의해 각성 상태로 전이되는 과정에서의 뇌파 측정 결과를 나타낸다. 졸음과 각성에 관계된 뇌파의 측정 부위는 주로 frontal이나 occipital부위에 해당하며, 특히 occipital부위에서 우세하게 나타난

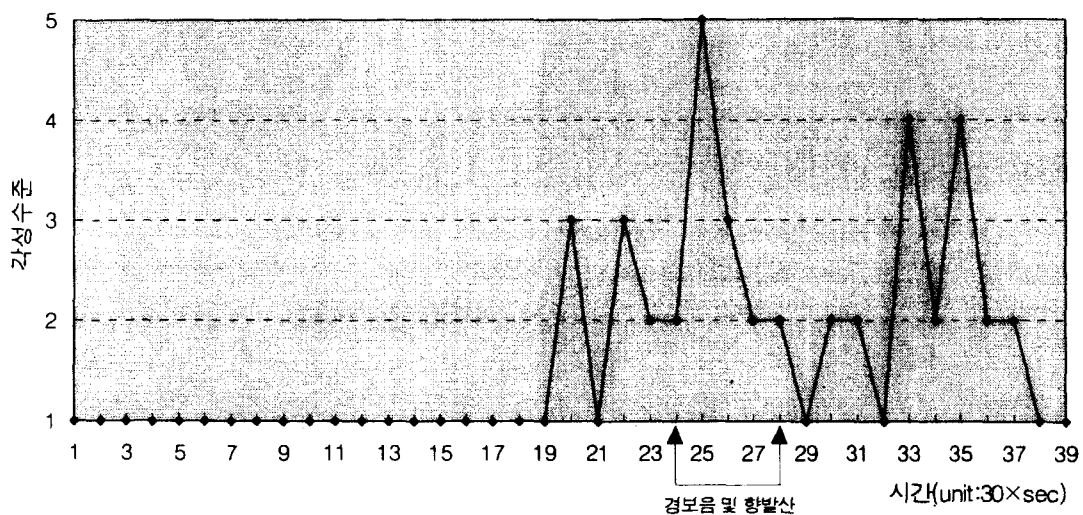


그림 11. 퍼지 방식에 의한 졸음 각성 수준
Fig. 11. Awareness level in fuzzy method

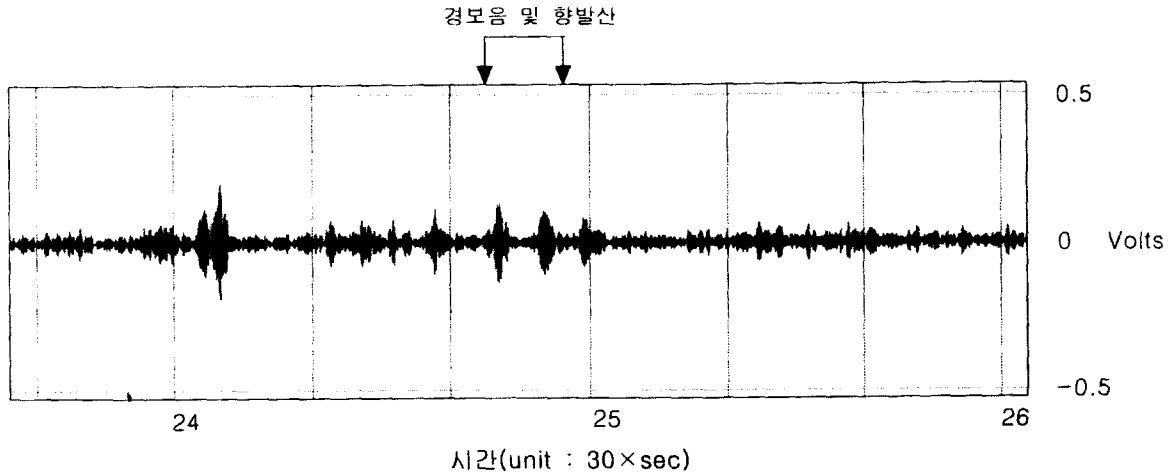


그림 12. 각성 전후의 a_2 파
Fig. 12. a_2 wave before and after warning

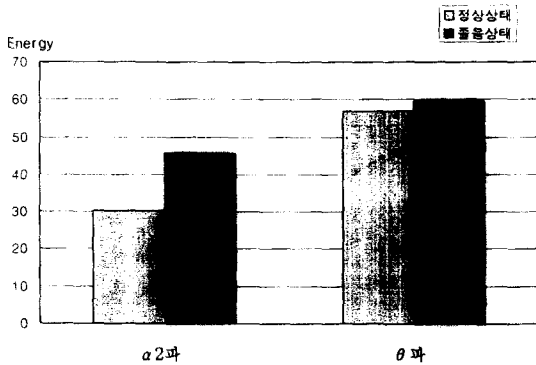


그림 13. 각성 전후에서 a_2 파와 θ 파의 Energy 비교
Fig. 13. Comparison between a_2 and θ wave

다[17]. 졸음 상태에서는 α 파(8~13Hz)가 나타나며, α 파 중에서도 비교적 고주파 영역에 해당하는 a_2 (11~13Hz) 파에서 진폭이 큰 파형이 나타나게 된다[1][6]. 따라서 그림 12에서 a_2 파를 살펴보면 졸음상태에서 진폭이 큰 파형이 다수 출현하고 있으며, 곧이어 경보음과 항에 의해 각성한 후에는 a_2 파의 진폭이 줄어들면서 점차적으로 정상상태에 접어들고 있음을 알 수 있었다.

그림 13은 이 기간 동안에 a_2 파와 θ 파를 측정하여 졸음상태와 정상상태에 대해 FFT를 수행한 결과를 나타내고 있다. 졸음상태에서는 a_2 파의 에너지값이 정상상태에 비해 크게 나타났으며, 비교적 수면파에 가까운 θ 파의 에너지 값은 졸음상태에서 약간 크게 나타났음을 알 수 있었다.

고 찰

본 연구에서는 운전자의 졸음을 감지하고 이를 각성할 수 있는 시스템을 개발하였다. 졸음을 감지하기 위해 영

상처리를 이용하였으며, 3~4 frame/sec로 실시간 처리하였다. 영상처리기법을 사용한 졸음감지에 관한 연구 동향으로서는 눈 깜박임 속도를 이용하는 연구가 그 동안 수행되어 왔다[7]. 눈의 깜박임 속도를 정확히 검출하기 위해서는 15 frame/sec이상의 영상처리능력이 필요하며, 이 경우 시스템이 복잡해지고 고성능화와 많은 비용이 소요되어 실용화에 있어서는 어려움이 따르게 된다. 그러나 본 연구에서는 눈 깜박임 속도가 아닌 일정시간(30초)동안의 눈 깜박임의 시간을 측정 파라미터로 설정하므로써 실용화에 있어서 여러 가지 장점을 가질 수 있었다. 눈 깜박임과 호흡은 개개인마다 큰 차이를 가지고 있으며, 졸음상태를 정확한 배수로 정량화하기 어렵다. 본 연구에서는 퍼지논리를 이용하므로써 눈 깜박임 시간의 영역을 어느 정도 세분화 할 수 있었으며, 개개인에 따라 규칙을 적절히 조절하므로써 임상 실험시 보다 정량적으로 졸음을 판단할 수 있었다. 졸음 각성 시스템으로서 경보음과 페퍼민트 향을 동시에 이용하였으며, 실험을 통하여 운전자의 각성상태를 확인할 수 있었다. 또한 각성 전후에 생체신호를 측정하므로써 본 개발 시스템의 유용성을 평가할 수 있었다. 본 실험에서는 안경을 쓴 운전자의 경우 안경의 색깔과 안경테에 따라 추출률이 차이가 많이 났다. 따라서 색이 없고 안경테가 눈을 가리지 않는 경우에는 추출이 가능하였으나, 그렇지 않은 경우에는 추출이 불가능하였다. 향후에는 대부분의 운전자가 주행중에 졸음을 느끼면서도 이렇다할 조치를 취하지 못하고 있기 때문에 각성 시스템을 자동으로 수행될 뿐만 아니라 수동으로도 동작시킬 수 있어야 할 것이다. 또한 실제 차량에서는 빛의 변화가 매우 심하기 때문에 적외선 카메라를 이용하여 주간뿐만 아니라 야간에도 졸음을 감지할 수 있어야 할 것이다.

결 론

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 3-4 frame/sec로 영상 처리하여 눈과 입을 추출하고 이를 실시간으로 처리하였으며, 졸음 유무를 판단하기 위해 일정시간 동안 눈의 깜박임 시간과 하품을 이용하여 졸음을 정량적으로 측정, 평가가 가능하였다.

2. 졸음 각성 시스템으로서 경보음과 페파민트향을 동시에 이용하였으며, 생체신호 측정을 통하여 졸음상태와 각성상태를 검토한 결과, 각성시스템의 유효성을 입증할 수 있었다.

3. 3-4 frame/sec의 영상처리 속도의 한계로 인해 정상상태에서 완전한 눈깜박임 추출을 할 수 없었다.

참 고 문 헌

1. John H. Richardson, "The development of a driver alertness monitoring system", *Fatigue and Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp. 219-229.
2. K. A. Brookhuis, "The use of physiological measures to validate driver monitoring", *Advanced Technology for Road Transport:IVHS and ATT*, ARTECH HOUSE, 1994, pp. 365-376.
3. S. Fairclough, "Psychophysiological measures of workload and stress", *Advanced Technology for Road Transport:IVHS and ATT*, ARTECH HOUSE, 1994, pp. 377-392.
4. 이 상국, B. Decoux, R. Debrie, M. Hubin, "Traffic security and detection of the driver's low vigilance state", 제 6회 센서기술학술 대회 논문집, 10/11 Nov. 1995, Korea, pp. 54-62.
5. David J. Mascord, Jeannie Walls and Graham A. Starmer, "Fatigue and alcohol:interactive effects on human performance in driving-related tasks", *Fatigue and Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp. 189-205.
6. Julie H. Skipper and Walter W. Wierwille, "An Investigation of Low-Level Stimulus-Induced Measures of Driver Drowsiness", *Proceedings of the Conference on Vision in Vehicles*, September, 1985,

pp. 139-148.

7. 金田雅之, 上野裕史, 平松眞知子, 田口満, 月野正隆, "居り眠運轉警報システム開発", *日産技報*, Vol. 34, No. 12, 1993, pp. 85-91.
8. 坂口清雄, 中野倫明, 山本新, "自動車運轉中のディスプレイの視認性計測", *電學論C*, Vol. 116-C, No. 1, 1996, pp. 8-15.
9. 平松眞知子, 笠井純一, 田口満, "香りが覺醒に及ぼす効果の研究", *日産技報*, Vol. 33, No. 6, 1993, pp. 57-63.
10. 정경호, 김법중, 김동욱, 김남균, "운전자 졸음 방지 시스템의 개발에 관한 연구", *Proceedings of 11th, KACC*, Vol. (II), October 1996, pp. 1340-1343
11. 이완규, 고한우, 김창호, "졸음 운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II)", -눈 깜박임 속도검출- 자동차공학회 추계학술대회, Vol. (I), 1995, pp. 481-486.
12. R. Brunelli and T. Poggio, "Face recognition:Feature versus Templates", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Maching Intelligence*, Vol. 15, No. 10, 1993, pp. 1042-1052.
13. A. L. Yuille, P. W. Hallinan, and D. S. Cohen, "Feature extraction from faces using deformable templates", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 8, No. 2, 1992, pp. 99-111.
14. 소정, 윤호섭, "다중모드 인터페이스에서 시선 활용을 위한 눈위치 추출", *HCI학술대회*, 1996, pp. 198-204.
15. 유태웅, 오일석, "컬러 정면 얼굴 영상으로부터 얼굴 영역 및 특징 추출", *HCI학술대회*, 1996, pp. 181-186.
16. Dana H. Ballard and Christopher M. Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, 1982, pp. 65-68
17. 한선호, 臨床腦波, 일조각, 1987, pp. 55-76
18. 정원석, 이응혁, 김병수, 강병익, 홍승홍, "퍼지 프로세서를 이용한 심전도 판별 시스템 개발", *의공학회지*, Vol. 16, No. 4, 1995, pp. 403-413.
19. 채석, 오영석, 퍼지이론과 제어, 청문각, pp. 269-280
20. Peter Ingwersen, "Tracing the problem of driver fatigue", *Fatigue and Driving*, Taylor & Francis, 1995, pp. 73-86.