

비전을 이용한 졸음 운전 감지 시스템

김진규*, 정현석*, 신상근*, 전철환*, 주영훈*, 박진배**
 군산대학교 전자정보공학부*, 연세대학교 전기전자공학과**

Drowsiness Drive Perception System Using Vision

Jin Kyu Kim*, Hyun Seok Jeong*, Sang Geun Shin*, Chil Hwan Jeon*, Young Hoon Joo*, Jin Bae Park**
 School of Electronic & Information Engineering, Kunsan National University*
 Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University**

Abstract - 본 논문에서는 비전을 이용한 영상처리 기술을 기반으로 운전자의 피로도를 측정하여 졸음운전을 감지하여 경고하는 실시간 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 얼굴 영상 분석과 퍼지 이론을 이용하여 운전자의 졸음 또는 부주의함을 감지하여 경고함으로써 교통사고를 미연에 방지하는 시스템이다. 본 논문에서는 실시간 얼굴 탐색 알고리즘 개발을 위해 퍼지 색상 필터와 가상 얼굴 모형을 이용하여 얼굴 위치 및 눈 영역을 보다 빠르게 검출하고, 눈 깜박임의 빈도수(Eye blinking frequency)와 눈의 닫힘 지속 기간(Eye closure duration)을 측정하는 방법을 제안한다. 그 다음, 측정된 데이터를 기반으로 퍼지논리를 사용하여 운전자의 피로도를 결정하고 졸음운전 여부를 감지 및 판단하는 방법을 제안한다. 마지막으로, 제안된 방법은 여러 실험을 통해 운전자의 졸음운전 감지 능력의 우수성을 증명한다.

굴 영역을 검출하기 위해 퍼지 모델 기반 색상 필터를 사용하였다. 퍼지 색상 필터는 식(1)과 같은 규칙으로 구성된다.

$$R_i : \text{IF } x_1 \text{ is } M_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } M_{i2} \text{ and } x_3 \text{ is } M_{i3} \text{ THEN } y_i(x) = d_i \quad (1)$$

최종 퍼지 규칙의 최종 출력 $Y(x)$ 은 다음과 같다.

$$Y(x) = \frac{\sum_{i=1}^l h_i(x) d_i}{\sum_{i=1}^l h_i(x)} \quad (2)$$

$$h_i(x) = \prod_{j=1}^3 \mu_{M_{ij}}(x_j) \quad (3)$$

여기서, l 은 퍼지 규칙의 수이다. 색상 필터링에 소모되는 시간을 단축시키기 위해 퍼지 규칙 수는 적을수록 좋다. 최종적으로 색상 필터를 적용시킨 이미지는 식(4)와 같이 계산된다.

$$\hat{Y}(x) = \alpha u(Y(x) - Y_{\min}) \quad (4)$$

1. 서 론

최근 지능형 자동차에 대한 연구는 자동차 개발업체를 중심으로 늘어나고 있다. 기존 자동차에 지능을 부여하기 위해 다양한 응용 및 제어 알고리즘이 개발되고 있다. 예로, 야간 투시기능, 레이저 센서를 이용한 안전거리주행, 차세대 GPS(Global Positioning System), 차선추적, 탈선경보시스템, 외장 에어백, 졸음운전 경고 시스템 등이 있다[1-3]. 최근 교통사고 통계자료를 보면 교통사고의 원인은 졸음운전이 상당부분 차지하고 있음을 알 수 있다[4]. 이러한 졸음운전을 미연에 방지하기 위해 카메라를 이용한 운전자의 눈의 형태 변화를 통한 졸음판단은 상당히 신뢰도가 높고 운전자에게 비 강압적인 방법으로 일반적으로 비전 기반 시스템에서 사용되고 있는 방법이다[1-2]. 그러나, 이러한 비전 기반 시스템은 조명변화에 매우 취약하며 특히 주간환경에서 차량이 움직일 경우 다양한 조명환경에 노출되고, 미세한 눈의 움직임을 정확하게 파악하기 위해선 급변하는 조명환경을 극복해야만 하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 교통사고로부터 운전자의 생명과 물질적인 손실을 예방하기 위해 다양한 조명상태를 극복하는 방법으로 퍼지 색상 필터와 가상 얼굴 모형을 이용하여 얼굴 위치 및 눈 영역을 보다 빠르게 검출하는 실시간 얼굴 탐색 알고리즘을 제안한다. 또한 졸음운전 감지를 위해 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 닫힘 지속 기간을 측정하는 방법을 사용한다. 그 다음, 측정된 데이터를 기반으로 퍼지논리를 사용하여 운전자의 피로도를 결정하고 졸음운전 여부를 감지하는 방법을 제안한다. 마지막으로, 제안된 방법은 여러 실험을 통해 그 우수성을 증명한다.

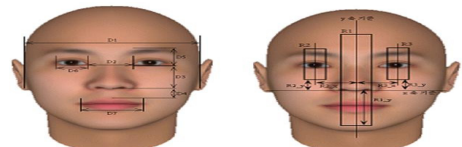
2.1.2 가상 얼굴 모형을 이용한 눈 영역 추출기법

가상 얼굴 모형은 얼굴 영역 분석의 정확도를 높이고 수행 시간을 줄이기 위해 제안된 얼굴 구성 요소간의 정보를 기반으로 한 얼굴 모형이다. 그림 1(a)는 가상 얼굴 모형이 가지고 있는 얼굴 구성 요소간의 정보 종류를 나타낸다. 얼굴 구성 요소 영역을 검출하기 위하여 눈썹, 눈, 코 세 구성 요소의 특징을 중점으로 가상 얼굴 모형은 구성된다. 그림 1(b)의 R1, R2, R3는 히스토그램 기법을 사용하여 각 영역을 추출하기 위한 3가지의 탐색 공간을 나타낸다. 3가지의 탐색 공간을 나타낸다. 탐색 공간 R1은 코와 입의 위치를 찾기 위해 사용되는 탐색 공간이며, R2와 R3는 눈과 눈썹의 위치를 찾기 위해 탐색 공간이다. 탐색 공간의 폭과 길이는 추출된 얼굴 가로 길이와 가상 얼굴 모형의 정보를 바탕으로 결정된다.

2. 본 론

2.1 졸음운전 감지 시스템의 영상 처리 기법

졸음운전 감지 시스템은 CCD 칼라 카메라를 이용하여 입력된 영상으로부터 얼굴 영역 및 눈 영역을 검출하기 위해서 얼굴 영역 추출 알고리즘과 얼굴 구성 요소 추출 알고리즘을 이용한다. 얼굴 영역 추출 알고리즘은 다양한 주변 환경의 조건에서도 강인하게 얼굴 영역을 추출할 수 있는 퍼지 색상 필터를 사용한다. 또한, 얼굴 구성 요소 추출 알고리즘은 가상 얼굴 모형을 이용하여 정확하고 빠르게 눈 영역을 추출한다 [5]. 추출된 눈의 영역은 측정된 눈의 양 끝점에서 눈의 최상단 점이 이루는 각을 측정하는 방법을 이용하여 눈의 형태를 측정하고, 측정된 눈의 형태 정보를 이용하여 운전자의 눈 깜박임 빈도수와 PERCLOS (Percent eye close)를 이용하여 눈의 닫힘 지속 시간을 측정하여, 졸음운전 감지를 위한 운전자의 피로도 판단의 정보로 이용된다.



(a) 가상 얼굴 모델 (b) 얼굴 탐색 공간
 <그림 1> 가상 얼굴 모델

얼굴 영상이 분석 된 후 눈과 코의 특징 벡터를 추출하는 과정이 필요하다. 정확한 특징 벡터 추출을 위해 기하학적 정보 및 형태적 정보를 모두 사용하는 방법을 사용한다. 추출된 특징 벡터는 그 영상의 크기와 개개의 얼굴 크기가 다른 관계로 정규화가 필요하다. 본 연구에서는 추출된 얼굴 영역 중 가장 확실한 추출이 가능한 눈가로 길이 l_n 을 이용하여 모든 특징 벡터 값을 정규화 한다.

2.1.3 측정된 눈 영역의 형태 판단

앞에서 검출된 눈 영역을 기반으로 눈꺼풀 상태를 측정하여 눈의 개폐 상태 여부를 측정한다. 본 논문에서는 보다 개폐 상태의 정확한 측정을 위하여 측정된 눈의 양 끝점에서 눈의 최상단 점이 이루는 각을 측정하는 방법을 사용하였다[6]. 측정된 2개의 각은 절대 값의 합으로 표

2.1.1 퍼지 색상 필터를 이용한 얼굴영역 검출

사람의 피부색을 이용한 얼굴 영역 검출은 얼굴색의 다양함과 주변 환경의 조도 변화에 따른 피부색 변화로 인해 매우 힘든 일이다. 따라서, 조도 환경의 변화 및 얼굴의 변화에 강인하게 대처 하고, 빠르게 얼굴

현하였다. 눈 끝에 생성된 각각의 절대 값의 합이 임계 값 이상이면 뜬 눈으로 반대로 임계 값 이하인 경우에는 감은 눈으로 판별한다. 측정된 눈의 각 모서리 값을 이용하여 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 닫힘 지속시간을 측정하여 운전자의 피로도를 산출하는 정보로 사용된다.

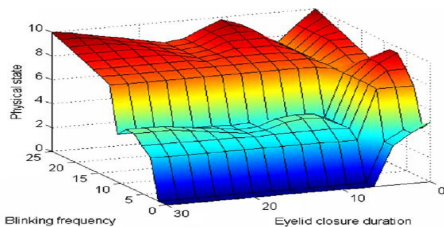
2.2 퍼지 논리를 이용한 졸음운전 감지

본 연구에서 운전자의 졸음운전을 감지하기 위한 피로감을 인지하기 위해 퍼지 논리를 적용 하였다. 피로감 인지에 사용되는 입력 변수는 측정된 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 닫힘 지속 시간을 이용한다.[7] 출력 변수인 피로도는 제한된 규칙과 비퍼지화를 근거로 계산된다. 각각의 소속 함수의 설정은 눈 깜박임의 빈도수(Eye blinking frequency)와 눈의 닫힘 지속 시간(Eye closure duration)에 따라 임의로 설정하였다. 입력 변수인 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 닫힘 지속 시간은 다음 식(5) 같다. 운전자의 피로도를 나타내는 출력변수는 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Shot eye blinking frequency} &= \text{Triangle}(0, 0, 4) \\ \text{Medium eye blinking frequency} &= \text{Triangle}(3, 8, 13) \\ \text{Long eye blinking frequency} &= \text{Triangle}(8, 25, 25) \\ \text{Shot eyelid closure duration} &= \text{Triangle}(0, 0, 5) \\ \text{Medium eyelid closure duration} &= \text{Triangle}(4, 10, 20) \\ \text{Long eyelid closure duration} &= \text{Triangle}(8, 30, 30) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Safe} &= \text{Triangle}(0, 0, 4) \\ \text{Caution} &= \text{Triangle}(3, 5, 9) \\ \text{Danger} &= \text{Triangle}(8, 10, 10) \end{aligned} \quad (6)$$

대체로 눈 깜박임의 지속시간은 3-4초 사이이며, 운전자의 눈 깜박임은 0.25-0.3초 정도 지속된다.[7] 일반적인 사람의 눈 깜박임의 지속 기간은 약 0.3초 정도이다. 운전자의 주의력이 강화되어 있을 경우 눈 깜박임 빈도수는 높아지며, 눈의 닫힘 지속시간은 낮아진다. 그러나 운전자가 피로할 경우 눈 깜박임 빈도수는 낮아지며, 눈의 닫힘 지속시간은 높아진다. 이러한 눈 깜박임 빈도수와 눈 닫힘 지속시간을 근거로 규칙을 정의 하였다. 제한된 시스템의 입력변수인 눈 깜박임의 빈도수와 눈 감김 지속시간은 입력된 이미지의 영상분석을 근거로 "Shot eye blinking frequency", "Medium eye blinking frequency", "Long eye blinking frequency", "Shot eyelid closure duration", "Medium eyelid closure duration", "Long eyelid closure duration"으로 전환된다. 최종적으로 출력 값은 비퍼지화 방법인 무게 중심법을 사용하여 최종 출력 값은 운전자의 피로여부를 결정하여 졸음운전을 감지할 수 있다. <그림 2> 는 본 시스템의 운전자의 졸음운전 감지 및 졸음운전 상태를 결정하는 퍼지 제어 영역을 나타낸다.

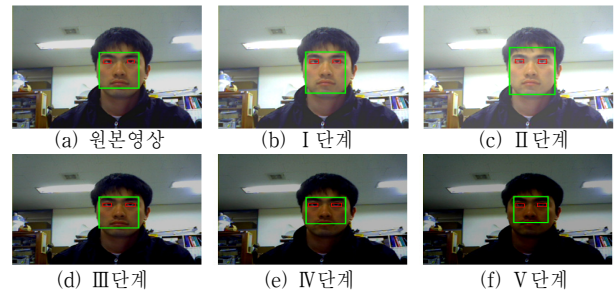


<그림 2> 졸음운전 경보시스템의 퍼지제어 영역

2.3 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 실험에 사용된 영상은 CCD카메라로부터 얻은 320×240크기의 24bit 컬러 영상이며, 프레임 속도는 10frame/sec이다. 안전상의 문제가 있기 때문에 실제 운전중이 아닌 실내에서 운전을 가정하고 실험 영상을 획득 하였다. 카메라와 운전자의 거리범위(0.3~0.8m)안에서 운전자의 얼굴 및 눈 영역 검출을 실행하게 된다. 복잡한 배경 하에서 운전자는 안경 착용상태 와 안경 미착용상태에서 얼굴 및 눈 영역 검출 실험결과 모두 검출을 성공하는 결과를 얻었다. 운전 중에 발생하는 다양한 조명의 변화에 따른 얼굴 및 눈 영역 검출을 실험하기 위하여 원본 영상에 각 단계별로 인위적으로 명암 값을 조절하여 실험하였다. 실험영상은 10명의 운전자를 대상으로 실시하였다. 각 단계는 원본영상을 기준으로 10%씩 명암 값을 높이거나 낮춤으로서 운전 중에 발생하는 여러 조명 변화를 인위적으로 연출하였다. <그림 3>과 같이 단계는 1단계부터 5단계 까지 수행하였다. 결과는 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 다양한 조명변화에도 성공적으로 검출하는 것을 확인할 수 있다. 시스템의 졸음운전 판단 여부를 확인하기 위하여 10명의 실험 운전자를 대상으로 실험영상 데이터를 수집하였다. 수집된 실험영상은 졸음여부가 없을 경우의 영상과 졸음이 발생하는 영상으로 구분된다. 입력된 영상으로부터 시스템이 제대로 동작하고 신뢰성이 있는지 평가 하였다. 표 2의 영상 1, 2는 졸음여부가 없는 영상이고, 영상 3, 4, 5는 졸음이 발

생하는 영상 이다. 표 2에서 확인할 수 있는 것처럼 운전자가 피로할 경우 눈 깜박임 빈도수는 낮아지며, 눈의 닫힘 지속시간은 높아진다. 또한 눈 깜박임 빈도수와 눈의 닫힘 지속시간에 여부에 따라 졸음여부에 대하여 감지하고 졸음운전 상태를 판단 할 수 있음을 보여준다.



<그림 3> 조명변화에 따른 얼굴 및 눈 영역 추출

<표 1> 조명 변화에 따른 얼굴 및 눈 영역 추출률

구분/프레임수	I	II	III	IV	V	평균 추출률
프레임 수	500	620	620	620	670	
얼굴 영역	490	610	600	595	640	
눈 영역	485	600	590	585	620	
추출성공률	96.5%	97%	95.6%	95%	94%	96%

<표 2> 입력 영상에 따른 졸음 운전 상태 감지

	프레임수	눈 깜박임 빈도수	눈의닫힘 지속시간	PERCLOS	졸음운전 상태
영상 1	400	140	42	10.5%	Safe
영상 2	700	200	130	18%	Caution
영상 3	400	20	120	30%	Danger
영상 4	500	29	160	32%	Danger
영상 5	700	40	280	40%	Danger

3. 결 론

본 논문에서는 다양한 조명변화 속에서도 단일 카메라를 통하여 졸음운전을 감지하는 실시간 시스템을 제안하였다. 자체 수집한 데이터를 통해 제한된 시스템이 여러 조명환경에서도 안정적으로 동작함을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 퍼지 색상 필터와 가상 얼굴 모형을 이용하여 얼굴 위치 및 눈 영역을 보다 빠르게 검출하고, 퍼지논리를 이용하여 운전 자 졸음 감지 프로그램의 가능성을 여러 실험 결과를 통하여 확인하였다. 향후, 운전자의 응시방향, 입 모양, 머리 움직임 등의 보다 복합적인 운전자의 졸음정보생성 및 측정을 통하여 감지율과 시스템의 신뢰성을 보다 높일 수 있는 연구가 추가적으로 필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] T.Hayami, K. Matsunaga, K. Shidoji, and Y. Matsuki, "Detecting drowsiness while driving by measuring eye movement—a pilot study", Proceedings of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 156-161, 2002

[2] H. Ueno, M. Kaneda, and M. Tsukino, "Development of drowsiness detection system", Proceedings of Vehicle Navigation and information Systems, pp. 15-20, 1994

[3] M. V. Winsum, D.E. Waard, and K. A. Brookhuis, "Lane change manoeuvres and safety margins", Transportation Research Park F, Vol. 2, pp. 139-149, 1999

[4] J. H. Richardsom, "The development of a driver alertness monitoring system", Fatigue and Driving, Taylor & Francis, pp. 219-229, 1995

[5] 주영훈, 정근호, 김문환, 박진배, 이재연, 조용조, "감정 인식을 위한 얼굴 영상 분석 알고리즘", 퍼지 및 지능시스템 학회 Vol 14, No. 7, pp. 801-806, 2004

[6] J. Qiang and Y. Xiaojie, "Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance", Real-time Imaging, Vol. 8, Issue 5, pp. 357-377, 2002

[7] J. D. Wu and T. R. Chen, "Development of a drowsiness warning system based on the fuzzy logic images analysis," Expert Systems with Applications, Vol. 34, Issue 2, pp. 1556-1561, 2007