

Drowsiness-drive Perception System Using Vision

周永焄[†] · 金鎮奎^{*}
(Young-Hoon Joo · Jin-Kyu Kim)

Abstract - The purpose of this paper is to develop the drowsiness-drive perception system which judges drowsiness driving based on drivers' eye region using single vision system. To do this, first, we use the Haar-like feature and AdaBoost learning algorithm for detecting the features of the face region. And we measure the eye blinking frequency and eye closure duration from these feature data. And then, we propose the drowsiness-drive detection algorithm using the eye blinking frequency and eye closure duration. Finally, we have shown the effectiveness and feasibility of the proposed method through some experiments.

Key Words : Drowsiness warning, Haar-like feature, AdaBoost algorithm, Vision, Fuzzy logic

1. 서 론

최근, 국·내외적으로 지능형 자동차에 대한 관심이 자동차 개발업체를 중심으로 늘어나고 있다. 기존 자동차에 지능을 부여하기 위해 다양한 알고리즘이 연구, 개발되고 있으며 GPS(Global Positioning System), 차선 추적, 무인자동차, 졸음운전 경고 시스템 등이 좋은 예이다[1-3]. 이러한 기술 개발은 안전운전을 보조하며 예방할 수 있는 기능에 초점을 맞추고 있다. 최근 교통사고 통계자료를 보면 교통사고의 원인은 졸음운전이 상당부분 차지하고 있음을 알 수 있다 [2]. 졸음운전을 방지하기 위해 제시된 여러 기술중 비전을 이용한 운전자의 눈의 형태 변화를 통한 졸음 판단 방법은 운전자에게 비접촉 방법으로 측정하므로 거부감이 없고 상당히 신뢰도가 높아 많이 사용하고 있다 [1-5].

본 논문에서는 운전자의 생명과 물질적인 손실을 예방하기 위해 비전 시스템을 이용한 졸음운전을 감지하는 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법은 단일 카메라를 이용한 시스템으로 주위 환경에서 발생하는 다양한 조명변화를 극복하고, 퍼지 논리를 이용한 효율적인 졸음운전 감지 시스템이다. 본 논문에서는 Haar-like feature의 프로토타입을 이용하여 AdaBoost 학습 알고리즘으로 트레이닝 한 데이터베이스를 이용하여 얼굴 및 눈 영역을 보다 빠르게 검출하고, 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 닫힘 지속 기간을 측정하는 방법을 제안한다[3]. 그다음, 제안된 방법을 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 하는 퍼지논리를 사용하여 운전자의 졸음운전 여부를 결정하고 감지하는 방법을 제안한다. 마지막으로, 제

안된 방법은 여러 실험을 통해 그 우수성을 증명한다.

2. 졸음운전 감지 시스템

본 논문에서 제안하는 졸음운전 감지 시스템은 먼저 단일 CCD 칼라 카메라를 사용하여 입력된 운전자 영상으로부터 얼굴 영역 및 눈 영역을 검출하기 위해서 AdaBoost 학습 알고리즘과 Haar-like feature[3]를 사용한다. 여기서, Haar-like feature는 단순 합계 계산을 이용하여 학습된 특징 값과의 비교를 통해 얼굴을 검출하는 방법으로 계산량이 적고, 생성된 특징 값은 얼굴의 특징을 잘 표현하는 장점을 가진다. 또한, 눈 영역의 검출은 얼굴검출과 같은 방법으로 Haar-like feature의 프로토타입을 이용하여 AdaBoost 학습 알고리즘으로 트레이닝 한 데이터베이스를 사용하여 측정된 눈 영역 정보를 기반으로 검출한다. 추출된 눈의 영역은 히스토그램 기법을 이용하여 눈의 형태를 측정하고, 측정된 눈의 형태 정보를 이용하여 운전자의 눈 깜박임 빈도수와 눈의 닫힘 지속기간을 측정하여, 졸음운전 감지 판단 정보로 사용한다. 마지막으로 졸음운전 감지 판단 정보는 퍼지논리에 적용되어 운전자의 졸음운전을 감지하게 된다.

2.1 Haar-like feature를 이용한 얼굴 및 눈 영역검출

Haar-like feature는 단순 합의 이미지를 이용하여 특징 값을 표현하는 방법으로 이미지의 위치, 모양, 크기에 따라 여러 형태를 가진다. 그림 1은 본 논문에서 사용된 Haar-like feature의 프로토타입이다. Haar-like feature의 프로토타입을 이용하여 개별 영역 안에 있는 픽셀들의 값을 더하여 영역의 합을 구하고, 값들의 가중치(weight)를 곱하여 다시 합을 계산함으로써 하나의 특징 값을 구할 수 있다. Haar-like feature의 얼굴 검출을 위한 24×24 크기의 얼굴 영상에 가능한 약 분류기(weak classifier) 수는 약 14만

[†] 교신저자, 正會員 : 群山大 工大 電子情報工學部 正教授
E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr

^{*} 學生會員 : 群山大 工大 電子情報工學部 碩士課程
接受日字 : 2008年 8月 20日
最終完了 : 2008年 9月 30日

개가 존재한다. Viola는 효율적으로 얼굴 영역을 검출하기 위해 6061개의 약 분류기를 이용하여 38개의 강 분류기 (strong classifier)로 이루어진 직렬(cascade) 구조를 만들어 사용하였다[3].

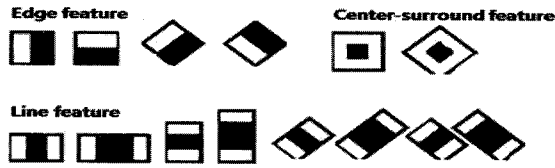


그림 1 Haar-like feature의 프로토타입
Fig. 1 Prototype of Haar-like feature

얼굴 영역을 검출하기 위한 각각의 약 분류기는 24×24 입력 영상 x , 특징 값 f_j , 임계값 θ_j , 부등호 방향을 결정하는 극성 p_j 로 정의하고 AdaBoost 알고리즘의 약 분류기 식 (1)을 적용하면, 최종적으로 얼굴 검출을 위한 각각의 약 분류기는 식 (2)와 같다.

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$H_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

약 학습기(weak learner)는 얼굴 영상과 비 얼굴 영상으로 이루어진 트레이닝 데이터로부터 최적의 임계값 p_j 와 θ_j 를 결정한다. 이렇게 구성된 약 분류기로부터 T단계의 약 분류기로 이루어진 하나의 강 분류기를 구성한다. Haar-like feature의 프로토타입으로 구성된 약 분류기들은 강 분류기를 생성하고 직렬구조를 생성하게 된다. 그림 2는 위에서 설명한 직렬 구조를 생성하는 과정을 나타낸다. 수많은 얼굴 데이터베이스에서 얼굴의 특징이 되는 부분에 대한 프로토타입을 첫 단계에서는 큰 영역 특징만을 표현하도록 하고 크기를 크게 하면서 단계가 올라갈수록 더욱 세밀하게 표현하기 위하여 프로토타입의 크기를 줄이고 개수를 늘려 약 분류기의 수를 증가시켜 강 분류기를 생성하여 직렬화 한다.



그림 2 얼굴 데이터베이스를 이용한 직렬 구조 생성
Fig. 2 Cascading creation using face databases

프로토타입을 이용한 얼굴의 특징 영역 결정 과정은 각기 다른 사람들의 얼굴의 공통적인 특징을 찾아가는 과정으로, 특징 값은 색이 있는 영역의 평균 그레이 값과 빈 공간 영

역의 평균 그레이 값의 차로 정의된다. 트레이닝 과정은 AdaBoost 학습 알고리즘에 의해 낮은 단계 영역에서 얼굴 영역을 제외한 영역은 다음 단계에서는 계산하지 않음으로서 단계가 증가 할수록 발생하는 계산량을 줄이는 방법을 사용한다. 눈 영역 검출은 얼굴 영역과 마찬가지로 Haar-like feature의 프로토타입을 이용하여 AdaBoost 학습 알고리즘으로 트레이닝 한 데이터베이스를 이용한다. 여러 사람의 얼굴에서 추출한 눈 영역의 이미지는 데이터베이스화되고 눈 영역만의 프로토타입을 생성하여 Eyes Classifier를 생성한다. 본 논문에서는 눈 영역을 검출하기 위하여 16번의 단계로 직렬화하는 방법을 사용한다. 눈 영역이 되는 후보를 추출한 후 비슷한 영역이 여러 번 검출될 경우 그 영역의 평균값을 검출하는 영역으로 결정한다. 검출된 눈 영역은 그레이 변환과 임계치를 이용하여 이미지를 이진화시킨다. 앞에서 검출된 눈 영역을 기반으로 눈꺼풀 상태를 측정하여 눈의 개폐 상태 여부를 측정한다. 눈의 개폐 상태를 측정하는 방법에는 히스토그램을 이용한 방법을 사용한다. 또한, 단합 지속 기간의 측정은 PERCLOS를 사용한다 [4]. PERCLOS는 가장 일반적이며, 여러 연구결과에서 비접촉식 졸음운전 분석방법으로 높은 성능과 신뢰성을 보여주는 방법이다. PERCLOS는 식 (3)과 같이 일정 측정기간 동안 눈을 감고 있는 시간의 누적을 퍼센트로 나타내는 것이다. PERCLOS를 이용하여 일정시간 마다 측정되는 데이터는 운전자의 졸음운전여부를 산출하는 정보로 사용된다.

$$PECLOSE(\%) = \frac{\text{눈감은 시간의 누적}}{\text{누적을 위한 일정측정기간}} \times 100 \quad (3)$$

2.2 퍼지 논리를 이용한 졸음운전 판단

본 연구에서는 운전자의 졸음운전을 감지하기 위해 퍼지 논리를 적용하는 방법을 제안한다. 졸음운전을 감지하기 위해 사용되는 입력 변수는 측정된 눈 깜박임의 빈도수(eye linking frequency)와 눈의 단합 지속 기간(eye closure duration)을 이용한다[5]. 출력 변수는 제안한 규칙과 비퍼지화를 근거로 계산된다. 각각의 소속 함수의 설정은 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 단합 지속 기간에 따라 여러 실험을 거쳐 수동으로 설정한다. 입력 변수인 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 단합 지속기간은 식 (4)와 같고, 운전자의 졸음운전을 나타내는 출력변수는 식 (5)와 같다.

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

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

기존 연구에 의하면 눈 깜박임의 지속 기간은 대체로 3-4초이며, 운전자의 눈 깜박임은 0.25-0.3초 정도 지속된다[5]. 운전자가 피곤한 상태에서는 눈을 보호하기 위해 무의식적으로 눈감은 상태가 길어진다. 일반적인 사람의 눈 깜박임의 지속 기간은 약 0.3초 정도로 알려져 있다(약 3-4장의 이미지가 눈 감김 상태)[5]. 운전자의 주의력이 강화되어 있을 경우 눈 깜박임 빈도수는 높아지며(눈감은 이미지가 적음), 눈의 닫힘 지속 기간은 낮아진다(눈이 떠져있는 이미지가 많음). 그러나 운전자가 피로할 경우 눈 깜박임 빈도수는 낮아지며(눈감은 이미지가 많음), 눈의 닫힘 지속 기간은 높아진다(눈이 떠져있는 이미지가 적음). 이러한 눈 깜박임 빈도수와 눈 닫힘 지속기간은 실험을 통하여 사람의 평균적인 눈 깜박임 빈도수와 눈 닫힘 지속기간을 측정하였다. 이를 근거로 다음과 같은 9개의 규칙이 정의된다. 규칙에 사용된 입력변수는 EBF(Eye Blinking Frequency)와 ECD(Eyelid Closure Duration)이다. EBF의 high~low는 0~0.6초 이상 사이에 존재하며, ECD의 short~long는 0~4초 이상 사이에 존재하며, 영상의 이미지 분석을 통하여 EBF 및 ECD를 계산하게 된다.

- Rule 1: IF EBF is high AND ECD is short THEN safe
- Rule 2: IF EBF is high AND ECD is medium THEN safe
- Rule 3: IF EBF is high AND ECD is long THEN caution
- Rule 4: IF EBF is high AND ECD is short THEN caution
- Rule 5: IF EBF is medium AND ECD is medium THEN caution
- Rule 6: IF EBF is medium AND ECD is long THEN danger
- Rule 7: IF EBF is medium AND ECD is short THEN danger
- Rule 8 : IF EBF is high AND ECD is medium THEN danger
- Rule 9 : IF EBF is low AND ECD is long THEN danger

제안된 시스템의 입력변수인 눈 깜박임의 빈도수와 눈 감김 지속기간은 입력된 이미지의 영상분석을 근거로 “high eye blinking frequency~low eye blinking frequency”, “short eyelid closure duration~long eyelid closure duration”으로 전환된다. 최종적으로 출력 값은 비퍼지화 방법인 무게 중심법을 사용한다. 최종적으로 출력 값은 방정식 (4)와 식 (3)을 통해 얻을 수 있다. 얻어진 출력 값은 운전자의 졸음운전 상태를 판단할 수 있다.

3. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 실험에 사용된 영상은 단일 비전으로부터 얻은 320×240 크기의 24비트 컬러 영상이며, 프레임 속도는 10 [frame/sec]이다. 안전상의 문제가 있기 때문에 실제 주행이 아닌 차안에서 운전을 가정하고 실험 영상을 획득하였다. 실험영상은 주간운전 상황으로 설정하였으며, 강한 햇빛으로부터 운전자의 눈을 보호하기 위해 사용하는 선글라스에 의한 눈의 가려짐 문제는 본 실험에서 고려하지 않았다. 카메라와 운전자의 거리범위(0.3~0.7m)안에서 운전자의 얼굴 및 눈 영역 검출을 실행하게 된다. 그림 3은 시스템의 실시간 영상 처리를 보여주는 연속된 영상이다(1frame/sec). 또한, 제안된 방법을 평가하기 위해 여러 실험 동영상을 추출한 뒤 각 운전자의 영상을 비교 분석 하였다. 그림 4는 6

명의 운전자의 얼굴 및 눈 영역을 검출한 영상이다. 본 실험에 통해 자동차 안에서 운전자의 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 실험 하였다. 각 단계는 원본영상을 기준으로 10%씩 명암 값을 높이거나 낮춤으로서 운전 중에 발생하는 여러 조명 변화를 인위적으로 연출하였다. 그림 5와 같이 단계는 1단계부터 5단계 까지 수행하였다. 결과는 표 1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 다양한 조명 변화에도 성공적으로 검출하는 것을 확인 할 수 있다.



그림 3 실시간 영상처리
Fig. 3 Real-time image processing

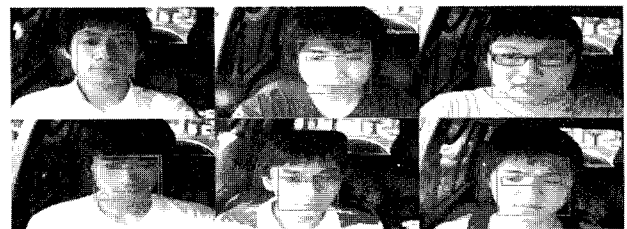


그림 4 얼굴 및 눈 영역 검출
Fig. 4 Face and eye region detection



그림 5 조명변화에 따른 얼굴 및 눈 영역 추출
Fig. 5 Extraction of face eye region for illumination changing



그림 6 눈 영역 검출 실패의 예
Fig. 6 Failure examples for detecting eye region

그림 6은 운전자의 과도한 움직임으로 눈 영역이 검출이 되지 않는 경우를 보여 준다. 이와 같은 영상은 주로 운전자가 좌우 방향 또는 아래 방향을 주시할 때 나타나는 현상이다. 이러한 경우 시스템은 얼굴과 눈 영역을 다시 검출 가능할 때 까지 대기하게 된다. 시스템의 졸음운전 판단 여부를 확인하기 위하여 10명의 실험 운전자를 대상으로 실험영상 데이터를 수집 하였다. 수집된 실험영상은 졸음여부가 없는 경우의 영상과 졸음이 발생하는 영상으로 구분된다. 표 2는 영상1과 영상2는 졸지 않는 영상들이고, 영상 3, 4, 5 는 졸음운전인 경우의 영상들이다. 표 2에서 확인할 수 있는 것처럼 운전자가 피로할 경우 눈 깜박임 빈도수는 낮아지며, 눈의 닫힘 지속 기간은 높아진다. 또한 눈 깜박임 빈도수와 눈의 닫힘 지속 기간의 여부에 따라 졸음여부에 대하여 판단을 할 수 있음을 보여준다.

표 1 조명변화에 따른 얼굴 및 눈 영역 추출률

Table 1 Extraction ratio of face eye region for illumination changing

구분/프레임 수	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 졸음판단

Table 2 Drowsiness judgment according to input images

	프레임 수	눈깜박임 빈도 수	눈의 닫힘 지속시간	PER CLOS	결과
영상1	400	140	42	10.5%	Safe
영상2	700	200	130	18%	Caution
영상3	400	20	120	30%	Danger
영상4	500	29	160	32%	Danger
영상5	700	40	280	40%	Danger

4. 결 론

본 논문에서는 비전 시스템을 통하여 졸음운전을 감지하는 실시간 시스템을 제안하였다. 이를 위해 먼저 Haar-like feature의 프로토타입을 이용하여 AdaBoost 학습 알고리즘으로 학습한 데이터베이스를 이용하여 얼굴과 눈 영역을 보다 빠르게 검출하고, 눈 깜박임의 빈도수와 눈의 닫힘 지속 기간을 측정하는 방법을 제안하고, 그다음, 제안된 방법을 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 하는 퍼지논리를 사용하여 운전자의 졸음운전 여부를 결정하고 감지하는 방법을

제안하였다. 마지막으로, 자체 수집한 데이터를 통해 제안한 시스템이 안정적으로 동작하고 성능 또한 우수함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Ueno, H., M. Kaneda, and M. Tsukino, "Development of drowsiness detection system," PVNI Systems, pp. 15-20, 1994.
- [2] Richardsom, J. H., "The development of a driver alertness monitoring system", Fatigue and Driving, Taylor & Francis, pp. 219-229, 1995.
- [3] Kuranov, A, R. Lienhart, and V. Pisarevsky, "An Empirical Analysis Boosting Algorithms for Rapid Objects With an Extend Set of Haar-like Features", Intel Technical Report MRL-TRjuly02-01, 2002.
- [4] Morimoto, H., D. Koons, A. Amir, and M. Flickner, "Pupil Detection and Tracking Using Multiple Light Sources", Image and Vision Computing, Vol 18, pp. 331-335, 2000.
- [5] Wu, J. D. and T. R. Chen, "Development of a Drowsiness Warning System Based on the Fuzzy Logic Images Aanalysis," Expert Systems with Applications, Vol. 34, Issue 2, pp. 1556-1561, 2008.

저 자 소 개



주 영 훈 (周永焄)

1958년 6월 25일생. 1982년, 1984년, 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사, 공학석사, 공학박사). 1986-1995년 삼성전자(주) 자동화연구소 팀장, 1995년~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수. 1998-1999년 미국 휴스턴대학 박사후박사, 2008년 현재, 대한전기학회 정보제어부문회 총무이사. 한국지능시스템학회 수석부회장, Int. Journal of Control, Automation, and Systems Editor.

Tel : 063-469-4706

E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr



김진규 (金鎭奎)

1981년 3월 24일생. 2007년 군산대 전기전자에어학과 졸업. 2007년-현재, 동 대학원 전기전자에어학과 석사과정.

Tel : 063-469-4706

E-mail : kjk3242@kunsan.ac.kr