
베이지안 네트워크를 이용한 인간의 피로도 추론

박호식* · 남기환* · 한준희* · 정연길* · 이영식* · 나상동** · 배철수*

*관동대학교 · **조선대학교

Human Fatigue Inferring using Bayesian Networks

Ho-Sik Park* · Kee-Hwan Nam* · Jun-Hee Han* · Yeon-Gil Jung*

Young-Sik Lee* · Sang-Dong Ra** · Cheol-Soo Bae*

*Kwandong University · **Chosun University

E-mail : mediana@netsgo.com

요 약

본 논문에서는 다양한 시각적 정보와 일정한 관련 정보를 통합하여 인간의 피로도를 추론하기 위하여 베이지안 네트워크를 기반으로 한 확률 모델을 제안하고자 한다. 먼저 눈꺼풀의 움직임, 시선, 머리의 움직임, 그리고 얼굴 표정 같은 개인의 상태를 특성 지을 수 있는 시각적 매개변수를 측정하였다. 그러나 각각의 시각적 정보와 일정한 관련 정보만으로 인간의 피로도를 결정하기에는 충분하지 않으므로, 본 논문에서는 인간의 피로도를 모니터링 하기 위하여 가능한 많은 관련 정보와 시각 정보를 융합하여 베이지안 네트워크 모델을 개발하였다. 실험 결과, 피로 예측과 모델링을 위해 제안된 베이지안 네트워크의 유용함을 확인 할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we introduce a probabilistic model based on Bayesian networks (BNs) for inferring human fatigue by integrating information from various visual cues and certain relevant contextual information. Visual parameters, typically characterizing the cognitive states of a person including parameters related to eyelid movement, gaze, head movement, and facial expression, serve as the sensory observations. But, an individual visual cue or contextual information does not provide enough information to determine human fatigue. Therefore in this paper, a Bayesian network model was developed to fuse as many as possible contextual and visual cue information for monitoring human fatigue. At the experiment results, display the utility of the proposed BNs for predicting and modeling fatigue.

키워드

Bayesian Network, Human Fatigue, Information Fusion, Human Computer Interaction

1. 서 론

현재 국내의 자동차 등록대수의 증가와 더불어 교통사고 수 역시 매년 증가하고 있다. 특히, 고속도로 상에서의 사고는 대형사고로 이어지고 있

다. 그런데, 다수의 고속도로 사고가 피로 누적에 의한 졸음 운전으로 인해 일어난다는 것이다. 이러한 관점에서 안전운전을 위한 운전자의 상태 모니터링 시스템의 개발은 매우 의미 있는 일이라 확신한다.

운전자의 상태를 파악하고자 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 눈꺼풀의 움직임을 파악하는 방법 [1], 운전자가 눈을 뜨고 감는 것을 인식함으로써 피로 상태 및 각성상태를 파악하는 방법 [2]들이 연구되었다.

본 논문에서는 운전 중 발생하는 다양한 조명 환경으로부터 적외선 광원을 이용하여 동공의 위치를 추적, 획득하고, 이를 기반으로 눈꺼풀의 움직임, 얼굴의 방향, 시선의 위치, 얼굴 표정을 분석한 후 베이지안 네트워크를 이용하여 운전자의 상태를 분석하고 모니터링 하도록 하는 운전자 상태 감시 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 영상 획득

본 논문에서 영상획득의 목적은 실시간으로 얼굴의 시각 정보를 추출하고자 함이다. 적외선 조명은 시각 정보를 검출 및 추적하는데 중요한 밝은 동공 효과와 어두운 동공 효과를 제공한다. Hutchinson [3]의 원천특허에 따르면 특정 파장에서 카메라의 광축을 따라 적외선 광선을 발산시켜 눈을 빛나게 함으로써 발광된 눈을 얻을 수 있다. 근적외선 파장에서 동공은 카메라 광축선상의 광원으로부터 적외선 광을 받은 경로로 되돌아감으로써 거의 모든 적외선 광을 정반사시킨다.

제안된 영상 획득 장치는 두개의 LED 셋으로 분리 구성되는데 광축에 최대한 근접하게 렌즈를 둘러싼 여러 개의 적외선 LEDs는 밝은 동공 효과를 만드는데 사용되며 바깥쪽의 LEDs 셋은 어두운 동공 효과를 위해서 카메라와 거리를 두고 설치된다. 카메라는 다른 주변광의 영향을 최소화하며 적외선 광원을 받아들이기 위한 근적외선 통과 필터가 장착된 것을 사용하였다. 카메라와 운전자 사이의 작동 거리는 대략 0.8~1.5m사이의 거리를 둔다. 사용된 LEDs는 850nm이상의 IR LEDs 8개씩 각각 구성하였다. 두 LEDs 셋을 프레임별로 번갈아가며 조명시키기 위한 컨트롤러를 컴퓨터 병렬포트를 통하여 구성하였다.

그림 1에 밝은 동공 영상과 어두운 동공 영상을 프레임별로 번갈아가며 얻기 위해 제작된 영상 획득 장치의 블록 다이어그램을 나타내었다.

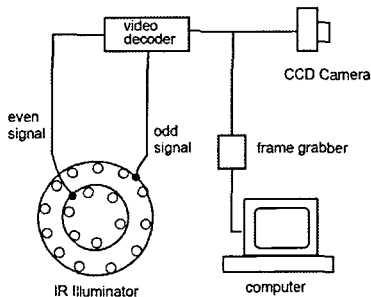


그림 1. 영상 획득 장치의 블록 다이어그램

III. 시각 정보 획득

3.1 눈꺼풀의 움직임

눈꺼풀의 움직임은 졸음 상태를 반영하는 신뢰할만한 시각 정보 중 하나이다. 눈꺼풀에 의해서 눈꺼풀의 움직임을 하나의 특징으로써 사용하기 위한 방법으로 PERCLOS (Percentage of Eye Closure Over Time), AECS(Average Eye Closure Speed)등이 있다. PERCLOS는 졸음 상태를 파악하는데 가장 신뢰도가 높은 방법으로 이미 검증되어 있다 [4].

눈을 뜨고 있는 상태의 정도는 동공의 모양에 의해서 구별되어진다. 예를 들어 눈을 감고 있는 상태. 즉, 눈꺼풀에 의해서 가려진 동공 상태를 시작점으로 동공의 모양은 점차 타원모양을 변화된다. 따라서 눈을 뜨고 있는 상태의 정도는 타원의 각 축의 비율을 사용할 수 있다.

3.2 얼굴 방향 추정

얼굴 방향은 사람의 주의, 시선 그리고 졸음 정도에 관한 정보를 포함하고 있다. 얼굴 방향의 결정은 상하, 좌우, 회전과 같은 머리의 움직임을 검출하기 위하여 3차원 얼굴의 방향 및 위치를 계산하는 것과 관련되어 있다. 머리의 상하 움직임의 빈도수는 졸음상태를 나타내는 특징이 될 수 있으며 게다가 운전 중 얼굴의 방향은 일반적으로 정면을 취하고 있다. 만약 운전자가 긴 시간 동안 다른 방향을 바라보고 있다면 이것은 졸음 상태이거나 부주의하기 때문이다. 예를 들어, 아래를 향하거나 또는 측면으로 기울어진 상태를 일정시간 유지하고 있을 경우이다. 따라서 얼굴의 방향은 운전자의 피로와 부주의를 측정할 수 있는 특징이며 운전자의 피로와 부주의를 측정하기 위해서 일반적으로 머리의 상하 움직임의 빈도를 측정한다. Qiang, J [5]는 2차원 얼굴 추적과 3차원 얼굴 포즈추정을 동시에 수행하는 알고리즘을 소개했으며 3차원 얼굴 방향은 추적알고리즘인 칼만필터에 의해 추정하였다.

3.3 시선 식별 및 추적

시선 방향은 얼굴 방향과 마찬가지로 사람의 주의력 및 지각 상태를 측정할 수 있는 잠재적인 수단이다. 피로하거나 졸린 사람은 좁은 시선 범위를 가지는 경향이 있다.

본 논문에서는 시선 식별을 위하여 동공-글린트 벡터를 이용하여 시선을 식별하고자 하였다. 동공-글린트에 대한 다량의 매개변수 중 시선에 따라 유일한 기능을 갖는 동공-글린트 매개변수를 찾을 수 있었고, GRNN을 이용하여 입력되는 동공-글린트 벡터에 대한 교정을 일반화하고, 시선을 일부 영역으로 양자화 하여 시선을 식별할 수가 있었다. 단위 시간에 대한 시선 분포를 피로도 측정의 매개 변수로 측정하였다.

3.4. 얼굴 표정 분석

눈과 머리의 움직임 이외도 운전자의 졸음 또는 피로 상태를 측정할 수 있는 잠재적인 시각정보는 사람의 얼굴 표정을 분석하여 이용하는 방법이다[5,6]. 일반적으로 사람은 주의력 정도에 따라 서로 다른 얼굴 표정을 나타내는 경향이 있다. 졸음 상태에 있는 사람의 얼굴 표정은 축 늘어진 얼굴 근육, 무표정 또는 하품 등에 의해서 특성화될 수 있다. 특히 눈과 입주위의 얼굴 특징들은 얼굴 표정을 만드는데 아주 중요한 공간적 패턴들을 제공한다.

검출된 얼굴 특징점은 각 요소의 움직임을 파악하게 되고 얼굴표정을 분석하는데 사용되었다. 특히 가장 잘 구별되는 하품의 경우 입의 움직임을 관측함으로써 획득할 수 있으며 입을 다물고 있는 상태에 비하여 확연히 수직 방향으로 입술의 형태가 변한다. 윗입술과 아랫입술사이의 거리와 좌우 입술 모서리 영역으로부터 얻은 길이를 이용하여 입을 벌리고 있는지 닫고 있는지 알 수 있다.

IV. 베이지안 네트워크를 이용한 피로도 추론

인간의 피로가 발생하는 원인은 매우 다양하고, 다음과 같은 이유로 명확하게 규명을 할 수가 없다. 첫째, 피로는 관찰이 불가능하며 단지 몇 가지 정보로부터 추정만 할 수 있을 뿐이다. 사실상 피로는 근무환경, 건강, 수면력과 같은 상호연관 관계가 있는 변수들의 결과라고 할 수 있다. 둘째로 인간의 가시적인 특성은 연령, 신장, 건강 상태, 얼굴 형태에 따라 매우 상이하다. 피로를 효과적으로 모니터링하기 위해서는 다양한 근원에서 추출한 증거들을 하나의 대표적인 형태로 통합하는 시스템이 필요하다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해 베이지안 네트워크 모델(Bayesian Network Model)을 선택하였다.

베이지안 네트워크는 불확실한 지식에 대한 그래픽 표현과 관찰된 데이터로부터의 고효율적으로 활동을 추정할 수 있는 구조를 제공한다. 특히 베이지안 네트워크는 직접적 순환 그래프를 표현할 수 있는 상호 연결된 노드와 가지로 구성[7]되어 있다.

본 논문에서는 몇 가지 시각적 피로 매개변수를 측정할 수 있었다. 눈꺼풀 움직임을 위한 PERCLOS와 ACSE와 머리움직임을 위한 NodFreq, 시선 방향을 위한 GAZEDIS와 PERSAC, 안면표현을 위한 YawnFreq를 이용하였다. 이 모든 요소들을 조합하면 피로를 위한 베이지안 네트워크 모델이 그림 2와 같이 구성하였다. 대상 노드는 피로이다. 대상 노드 위에 분포한 노드는 피로의 원인이 되는 주된 다양한 요소를 대표한다. 이런 요소들은 총체적으로 상호 연관적인 요소라고 불린다. 대상 노드 밑에 위치한 노드는 컴퓨터 비전시스템의 출력으로부터의 시각적 관

찰을 대표한다.

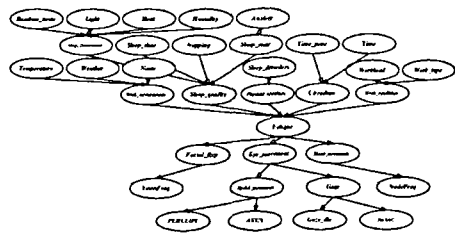


그림 2. 피로도 추정을 위한 베이지안 네트워크 모델.

4.1 조건 확률 표 구성

피로 추정을 위해 베이지안 네트워크 모델을 사용하기 전에 네트워크의 매개변수화가 필요하다. 각 노드의 연결을 위해 기본 노드의 사전 확률성과 연결 조건적 확률성을 구분하여야 하였고, 일반적으로 확률성은 다량의 학습된 데이터로부터의 수적통계를 통해 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 사용한 학습된 자료는 세 가지 다른 근원으로부터 획득하였는데, 첫째, 실험을 통하여 일부 학습된 자료를 획득하였다. 이 자료들은 베이지안 네트워크 피로 모델의 하단부를 학습하기 위해 사용하였다. 둘째, 일부의 대규모 대상 표본 조사를 통해 부가적인 자료를 얻을 수 있었다. 이러한 자료들은 주관성에도 불구하고 피로모델의 매개변수화를 위한 자료로 사용하였으며, 이 자료들은 주로 피로모델의 상단부를 학습하기 위해 사용하였다.

셋째, 베이지안 네트워크 모델의 부족한 사전, 조건적 확률성은 주관적 평가 수단을 통해 획득하였다.

5.2 피로 추정

주어진 매개변수 모델에 의하면 피로추정은 전파를 통한 시각적 증거의 도착과 동시에 시작된다. 상부에서 하부로, 하부에서 상부로의 전파되었다. 여기서 우린 전형적인 증거의 조합을 사용하였으며 그 결과는 표 1에 요약되어 있다.

PERCLOS가 높다하더라도 피로 확률성은 0.8639에 불과하며 이는 문턱치 값인 0.95에 미치지 못한다. 이는 하나의 시각적 단서는 사람이 피로한가를 결정하기엔 불충분하다는 것을 보여준다. 다른 상호 연관성 있는 현상들과 연결되었을 때 시각적 매개변수는 높은 피로 확률성을 의미한다고 볼 수 있다. 이것은 상호 연관적 현상의 중요성을 말해준다. NodeFreq 와 Persac와 같은 두 가지 시각적 매개변수의 비정상인 값의 연속적인 관찰은 0.95보다 높은 피로 확률성을 의미한다. 몇 가지 상호 연관적 현상의 연속으로 나타난다면 시각적 현상이 없더라도 피로 확률성의 높은 수가 있다.

표 1. 피로 베이지안 네트워크 모델의 추정 결과.

Ref. No.	Evidences Instantiated	Fatigue Probability
1	No any evidence	0.5755
2	YawnFreq (high)	0.8204
3	PERCLOS (high)	0.8639
4	AECS (slow), Sleep time (insufficient), Time (drowsy time)	0.9545
5	YawnFreq (high), AECS (slow)	0.9552
6	Sleep time (insufficient), Time (drowsy time), Temperature (high)	0.8363

V. 실험결과

제안된 피로 매개변수와 합성피로지수의 유효성을 증명하기 위해 일련의 실험을 실시하였다. 8명의 피 실험자를 대상으로, 각 대상 당 두 차례의 실험을 실시되었다. 첫 번째 실험은 피실험자가 오후 9시에 의식이 분명하였을 때, 두 번째 실험은 25시간 동안 수면을 취하지 못한 상태에서 12시간 후인 다음날 아침 7시경에 실행되었다.

실험 과정에서 피실험자들에게 TOVA(Test of Variables of Attention)실험을 실시하였다. TOVA 실험은 20분의 정신운동실험으로 대상자들은 집중력을 유지하며 컴퓨터 스크린상에 무작위적으로 나타나는 빛에 단추를 눌러 반응하는 실험을 실시하였다. 그림 3은 평균 PERCLOS 측정 시간에 비교한 평균 반응시간을 나타낸다. 수치는 PERCLOS 반응시간과 TOVA 반응시간의 차이의 직선에 가까운 상관관계를 보여준다. 이 실험은 PERCLOS의 유효성을 보여준다.

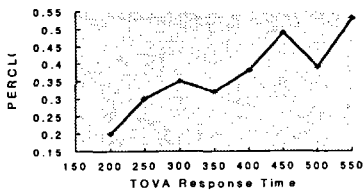


그림 3. PERCLOS와 TOVA 반응시간의 비교.

또한 합성피로지수에 대하여 실험하였다. 그림 4는 TOVA 실험의 결과와 합성피로지수의 비교를 나타낸다. 이는 여러 다른 피로 매개변수의 조합에 근거를 둔 합성피로지수는 피실험자의 반응시간과 깊은 상호관계가 있음을 분명히 보여준다.

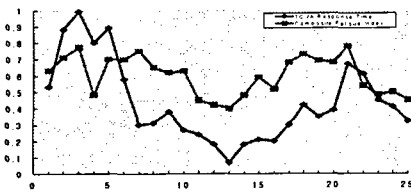


그림 4 산정된 합성피로지수(청색)과 표준화한 TOVA 반응시간의 비교.

VI. 결론

본 논문에서 운전자의 상태를 실시간으로 감시할 수 있는 비접촉식의 컴퓨터 비전 시스템을 제안하고자 하였다. 우선적으로 시각 정보를 추출하고 피로의 정도를 보편적으로 규명화 하기 위한 하드웨어와 알고리즘을 제안하고 있다.

체계적으로 각기 다른 시각 정보와 관련된 상호 연관적인 자료를 통합하여 확고하고 일관성 있는 피로 지수를 생산하기 위한 확률적인 기초 작업이 완료되었으며 이는 피로에 대한 표본화 작업에 사용하였다. 시각적 단서로는 눈꺼풀 움직임, 시선 방향, 얼굴의 방향, 얼굴 표정 등이 사용되었다. 효과적으로 피로 상태를 감시하기 위해, 관련된 상호연관성 있는 정보를 하나의 대표성 있는 형태로 통합해 주기 위해 베이지안 네트워크 모델을 제작하였다.

실험결과는 제안된 운전자 상태 감시 시스템은 피로 감지에 있어서 확고하고 신뢰할 수 있으며 정확하게 동작하는 것을 증명하였다.

참고문헌

- [1] Boverie. S, Lequellec. J, and Hirl. A, "Intelligent systems for video" monitoring of vehicle cockpit.", International Congress and Exposition ITS: Advanced Controls and Vehicle Navigation Systems, pp. 1-5, 1998.
- [2] Ueno. H, Kaneda. M, and Tsukino. M, "Development of drowsiness detection system.", Proceedings of Vehicle Navigation and Information Systems conference, Yokohama, Japan, pp. 15-20, August 1994.
- [3] T. E. Hutchinson, "Eye movement detection with improved calibration and speed.", United States Patent, (4,950,069), 1988.
- [4] Takchito. H, Katsuya. M, Kazunori. S and Yuji. M, "Detecting Drowsiness while Driving by Measuring Eye Movement - A Polot Study.", International Conference on Intelligent Transportation Systems, IEEE, 3-6 September 2002.
- [5] Qiang. J, and Xiaojie. Y, "Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance.", Real-Time Imaging, Volume 8, Issue 5 pp.357-377, 2002.
- [6] Ishii. T, Hirose. M, and Iwata. H, "Automatic recognition of driver's facial expression by image analysis.", Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan, 41, pp.1398-1403. 1987.
- [7] M. I. Jordan, "Learning in graphical models.", MIT press, 1999.