

피로 검출을 위한 능동적 얼굴 추적

김태우*, 강용석**

Active Facial Tracking for Fatigue Detection

Tae-Woo Kim*, Yong-Seok Kang**

요 약

본 논문에서는 얼굴 특징을 추출하는 새로운 능동적 방식을 제안하고자 한다. 운전자의 피로 상태를 검출하기 위한 얼굴 표정 인식을 위해 얼굴 특징을 추적하고자 하였다. 그러나 대다수의 얼굴 특징 추적 방법은 다양한 조명 조건과 얼굴 움직임, 회전등으로 얼굴의 특징점이 검출하지 못하는 경우가 발생한다. 본 논문에서는 얼굴 특징을 추출하는 새로운 능동적 방식을 제안하고자 한다. 제안된 방법은 우선, 능동적 적외선 감지기를 사용하여 다양한 조명 조건 하에서 동공을 검출하고, 검출된 동공은 얼굴 움직임을 예측하는데 사용되어진다. 얼굴 움직임에 따라 특징이 국부적으로 부드럽게 변화한다고 할 때, 칼만 필터로 얼굴 특징을 추적할 수 있다. 제한된 동공 위치와 칼만 필터를 동시에 사용함으로써 각각의 특징 지점을 정확하게 예상할 수 있었고, Gabor 공간에서 예측 지점에 인접한 지점을 특징으로 추적할 수 있다. 패턴은 검출된 특징에서 공간적 연관성에서 추출한 특징들로 구성된다. 실험을 통하여 다양한 조명과 얼굴 방향, 표정 하에서 제안된 능동적 방법의 얼굴 추적의 실효성을 입증하였다.

ABSTRACT

The vision-based driver fatigue detection is one of the most prospective commercial applications of facial expression recognition technology. The facial feature tracking is the primary technique issue in it. Current facial tracking technology faces three challenges: (1) detection failure of some or all of features due to a variety of lighting conditions and head motions; (2) multiple and non-rigid object tracking; and (3) features occlusion when the head is in oblique angles. In this paper, we propose a new active approach. First, the active IR sensor is used to robustly detect pupils under variable lighting conditions. The detected pupils are then used to predict the head motion. Furthermore, face movement is assumed to be locally smooth so that a facial feature can be tracked with a Kalman filter. The simultaneous use of the pupil constraint and the Kalman filtering greatly increases the prediction accuracy for each feature position. Feature detection is accomplished in the Gabor space with respect to the vicinity of predicted location. Local graphs consisting of identified features are extracted and used to capture the spatial relationship among detected features. Finally, a graph-based reliability propagation is proposed to tackle the occlusion problem and verify the tracking results. The experimental results show validity of our active approach to real-life facial tracking under variable lighting conditions, head orientations, and facial expressions.

Key Word

Eye Detection, Eye Tracking, Support Vector Machine,
Human Computer Interaction, Gabor space

* 한국폴리텍III대학 자동차학과(kimtw@kopo.ac.kr)

** 한국폴리텍III대학 자동차학과(kang-car@hanmail.net)

#논문번호 : KIIECT2009-03-12

#접수일자 : 2009.07.02

#최종논문접수일자 : 2009.07.24

I. 서 론

각종 통계 자료에 의하면 교통 사고 중 상당수가 졸음 운전으로 인한 것이라고 한다. 그러므로 만약 운전자의 피로 상태를 검출하여 운전자의 주위를 환기시킨다면 교통사고 방지에 많은 효과가 있을 것이라고 생각되어진다.

본 논문에서는 얼굴 표정을 인식하여 운전자의 피로 상태를 검출[1]하고자 하였다. 얼굴 표정을 인식, 분석하기 위해서는 입력 영상으로부터 각기 다른 조명과 얼굴 각도, 표정에 따라 얼굴 표정을 인식하기 위한 특징 정보를 검출, 식별하고, 추적하여야 한다.

동공은 표정 정보 추출을 위한 주요 특징점으로 사용되어지고, 적외선을 기반으로 한 눈 추적방법[2, 3]은 안정되게 동공과 얼굴 위치를 검출할 수가 있다.

본 논문에서는 적외선을 기반으로 한 감지 시스템을 이용하여 다양한 조명 조건하에서 동공의 위치를 안정되게 검출하도록 하였고, 검출된 동공의 움직임과 Kalman 필터를 합성하여 다른 얼굴 특징점의 현재 위치를 예측하였다. 그러나 Kalman 필터만으로는 급격한 얼굴 움직임이 있는 경우에는 각 특징점을 추적하기가 쉽지 않으므로, 특징점의 예상 위치를 가지고, Gabor 웨이블릿 방법으로 예상 지점의 근접한 곳에서 각 얼굴 특징을 보다 정확하고 빠르게 추적해 나갈 수 있었다.

얼굴 표정 검출은 얼굴 전체의 패턴 변화를 관찰하는 것이므로, 각각의 특징점

을 추적하는 것뿐만 아니라 각 특징점을 식별하고 특징점간의 공간적 관계를 검출하는 것이 중요하다. Gabor 웨이블릿은 추적 초기에 각각의 특징을 식별하는데 사용되어진다. 또한, 얼굴이 자유로이 움직임에 따라 특징점이 보이지 않는 경우가 발생하고, 특징점이 보이지 않을 경우, 임의로 특징점을 예측함으로써 특징점 추적에 실패하는 경우가 발생한다. 본 논문에서는 신뢰 할 수 있는 특징점을 이용하여 불안정한 특징점을 재정의함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

II. 적외선 능동적 얼굴 감지

능동적 얼굴 감지 시스템은 그림1에서와 같이 적외선 카메라와 두 개의 적외선 LED로 구성하였다. LED 교대로 켜다 키면서 그림 1의 (b)와 (c)같은 밝고 어두운 동공 효과를 만들어 내었다.

안쪽과 바깥쪽의 LED고리를 영상의 짝수 필드와 홀수 필드에 맞추어 키고 끄기 위한 동기화회로를 개발하였다. 짝수 필드를 읽어 들일 때, 안쪽 LED가 켜지고 바깥쪽 LED가 꺼지도록 하였으며, 반대로 홀수 필드를 읽어 들일 때는 바깥쪽 LED가 켜지고 안쪽 LED가 꺼지도록 하였다. 교차된 입력 영상은 비디오 디코더에 의하여 잔상을 제거하여 그림1의 (b), (c)와 같은 짝수 필드 영상과 홀수 필드 영상을 만들어 내었다. 그러므로 두 개의 영상에서 간단하게 동공을 검출할 수 있었다.[3, 4]. 그리

고 어두운 동공(홀수 필드)영상에서 다른 얼굴 특징점을 추출하고 추적하였다.

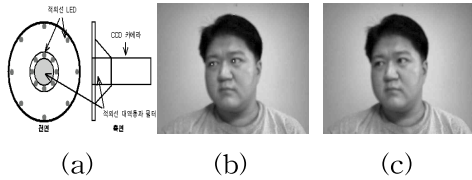


그림 1. (a) 하드웨어 구성: 능동적 적외선 조명 카메라 (b) 짝수 필드에서의 밝은 동공 (c) 홀수 필드에서의 어두운 동공
Fig 1. Hardware configuration: active infrared illuminator camera (b) Even bright pupils in the field (c) dark pupil in the odd field

III. 얼굴 특징점 추적

3.1. 특징점 기반 얼굴 표현

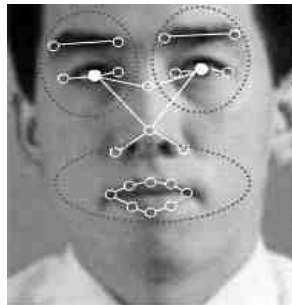


그림 2. 얼굴 특징점과 패턴
Fig 2. Facs Feature Points and Pattern

눈과 입 주위의 얼굴 특징들로 얼굴 표정을 대다수 묘사할 수 있었다. 피로 상태를 검출하기 위해 얼굴 표정 정보를 얻어내고자 입과 눈 주위의 얼굴 특징점

을 검출하여 사용하였다. 본 논문에서는 눈과 입 주위의 22개의 특징과 세 가지 패턴으로 분류하였다.

본 논문에서는 다양한 크기와 방향의 Gabor 웨이블릿으로 각각의 특징을 표현하였다. 사용한 2차원 Gabor 커널은 다음과 같다.

$$\Psi(k, \vec{x}) = \frac{k^2}{\sigma^2} e^{-\frac{k^2 \vec{x}^2}{2\sigma^2}} (e^{ik \cdot \vec{x}} - e^{-\frac{\sigma^2}{2}})$$

(1)

여기서 $\sigma = \pi$ 는 128×128 영상 조합이고, Gabor 커널은 3 가지 공간 주파수($k: \pi/2, \pi/4, \pi/8$)와, 30° 간격의 0°에서 180° 사이의 6개의 방위로 구성된다. 각 화소 (\vec{x}), 18개의 복소형 Gabor 계수의 조합 ($\Omega(\vec{x})$)은 Gabor 커널을 이용한 컨볼루션으로 얻어진다.

$$\Omega(\vec{x}) = (m_1 e^{i\phi_1}, m_2 e^{i\phi_2}, \dots, m_{18} e^{i\phi_{18}})^T$$

$$= \int I(\vec{x}') \Psi[k, (\vec{x} - \vec{x}')] d^2 \vec{x}'$$

이러한 계수는 화소와 근접 지역을 표현하는데 사용되어진다[5]. 또한 계수는 검출과 초기 프레임에서 각각의 특징점을 식별할 때 외에 각 특징의 적응 템플릿 추적 과정에서도 사용되어진다.

3.2. 동공 제한과 Kalman 필터

성공적인 표정 분류를 위해 정확한 얼굴 특징 추적은 매우 중요하다. 특징과 각 특징간의 연관성은 얼굴 표정에 따라 독립적으로 변화한다

능동적 감지 시스템으로부터 얻은 동공

의 위치는 급격한 얼굴 움직임에도 얼굴 특징점을 검출 할 수 있다. Kalman 필터는 각 특징의 움직임을 제한한다. 각 특징점의 프레임에서의 움직임 상태는 각 특징의 위치와 속도로 특징지어진다.

(x_t, y_t) 는 화소 위치를 나타내고 (u_t, v_t) 는 시점 t 에서 x 와 y 방향으로의 속도라고 하자. 시점 t 에서의 상태벡터를 $S_t = (x_t, y_t, u_t, v_t)^T$ 로 표현한다.

시스템은 다음과 모델링 할 수 있다.

$$S_{t+1} = \Phi S_t + W_t \quad (2)$$

여기서 Φ 는 변환 행렬이고 W_t 시스템의 불안정성을 나타낸다.

시점 t 에서 특징의 위치를 $(O_t = (\hat{x}_t, \hat{y}_t)^T)$ 로 간주하면, 칼만 필터에 의한 측정 모델을 구할 수 있다.

$$O_t = H S_t + V_t \quad (3)$$

여기서 H 는 측정 행렬이고 V_t 불확실한 측정치를 나타낸다. 수식(2)에 의해 상태 모델이 수식(3)에 의해 측정 모델이 주어지고, 상태 벡터 S_{t+1} 와 공분산 행렬 Σ_{t+1} 의 초기치를 얻고 예측을 위한 시스템 모델과 측정 모델을 갱신하게 된다.

수식(2)의 상태 모델을 근거로 하여 각각의 특징점($p^k = (x^k, y^k)^T$)의 위치를 예측하여 얻는다. 오류 공분산 행렬 Σ_{t+1} 을 얻는 동안 Kalman 필터는 확실하지 않은 현재 위치를 예측하여 표현한다. 얼굴 움직임과 Kalman 필터를 결합하

여 얼굴이 급격하게 움직인다고 하더라도 정확하고 견실한 특징 지점을 예측할 수 있다.

각 얼굴 특징점을 위한 최종 예측 지점은 다음에 의하여 구해진다.

$$\hat{P}_{t+1} = P_{t+1}^f + e^{-\Sigma(\alpha, \beta)} (P_{t+1}^k - P_{t+1}^f) \quad (4)$$

여기서 전체 얼굴 움직임 $p^f = (x^f, y^f)^T$ 은 두 개의 연속적인 프레임사이의 동공 움직임의 평균값이다.

IV. 신뢰성 전파

각각의 프레임에서 예측지점을 갱신함으로써 고정되지 않은 객체 추적의 문제를 해결할 수 있었다. 그러나 특정 특징점이 비스듬한 얼굴 위치로 일부 감추어진다면 현재 프레임에서 갱신을 위한 시각 정보를 검출할 수 없게 되므로 예측지점은 신뢰 할 수 가 없게된다. 그러기에 본 논문에서는 신뢰성 전파에 의거하여 감추어진 특징점을 찾아내고자 하였다.

얼굴 특징의 특성과 얼굴 모델에서의 위치에 의하여 모든 특징점을 동공과 같은 신뢰성이 높은 특징점과 신뢰성이 있는 특징점, 검출 가능한 특징점의 세 가지 형태로 구분하였다. 검출 가능한 특징점을 신뢰성이 높은 특징점 혹은 신뢰성이 있는 특징점과 연결하고, 검출된 지점은 연결방향에 의하여 검증한다.

검증방법은 두 단계로 구성되어진다. 첫 단계에서 신뢰성이 높은 지점과 신뢰성이 있는 지점을 이용하여 검출 가능한

지점을 나타내기 위하여 사용한다. 두 번째 단계로 변형된 검출 가능한 특징점을 검증을 위하여 사용한다.

신뢰성 전과는, 질적이고 양적인 평가를 수행한다. 질적인 평가는 눈의 두 모서리 지점이 동공의 다른 측면들에 있을지 아닐지와 같은 공간 관계의 정확도를 확인하고, 양적인 부분에서는 얼굴 모델에 대응하는 데이터와 추출된 관계 데이터를 비교한다. 만약 잘못된 특징이 평가에 의하여 발견되면, 예측은 추적 초기화에서 얻어진 알려진 관계 데이터를 가지고 검증을 한다.

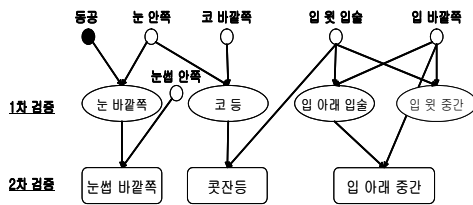


그림 3. 검증 방법
Fig 3. Verification methods

V. 실험 결과 및 고찰

실험을 위하여 피검자에게 줄리고 피곤한 표정을 짓고 얼굴을 좌우로 움직이고 고개를 끄덕이도록 하여 449 프레임의 순차 영상을 얻었다.

적외선 감지기는 짝수와 홀수 필드에 대응하는 밝고 어두운 동공 영상을 각각 제공한다. 홀수 필드에서 검출된 동공의 위치를 이용하여 얼굴을 추적하였다.



그림 4. 실험에 사용한 영상
Fig 4. Experiment with the visual

표1 에 선형 모델 기반 추적방법에 의한 결과와 동공과 Kalman 필터를 이용한 방법, 전과를 사용한 동공과 Kalman 필터를 이용한 방법의 결과를 비교하여 나타내었다.

표 1. 세 가지 방식 비교
Table 1. Compare three ways

접근방법	총 특징점	추적 실패	정확도
모델 기반 추적	9856	854	91.3 %
동공과 Kalman 필터	8960	214	97.6 %
전과를 사용한 동공과 Kalman 필터	8960	77	99.1 %

각 프레임에 22개의 특징점이 있었고, 모델 기반 추적에서도 역시 동공이 검출되고 추적되었다. 그래서 총 9856(=22 × 448)개의 특징점 중에서 854 개의 특징이 잘못 검출되었다. 왼쪽 동공과 눈썹은 잘못된 명암 정보에 의해, 입과 오른쪽 눈의 바깥쪽, 오른쪽 코끝은 급격한 얼굴 움직임으로 왼쪽 눈의 바깥쪽과 왼쪽 코끝은 감추어짐에 따라 검출에 실패하였다. 그 자세한 결과를 표2에 나타내었다.

표 2. 모델 기반 추적에서의 추적 실패 구간
Table 2. Model-based tracking in a tracking failure zone

특징점	실패가 추적 실패 구간 [시작 프레임, 종료 프레임]	추적 실패
왼쪽 동공	[54,234], [270,343]	253
왼쪽 눈썹(2)	[75,121]	92
입 특징점(8)	[400,433]	264
오른쪽눈 바깥쪽	[188,218]	30
오른쪽 코끝	[400,433]	33
왼쪽눈 바깥쪽	[75,198],[378,433]	178
왼쪽 코끝	[399,403]	4

동공위치를 제한하고 Kalman 필터를 사용한 경우, 추적 실패가 감소하였다. 동공 위치가 제공되어짐으로 동공을 특징점에서 제외하여 총 특징점의 수는 8960개였다. 그 중 급격한 얼굴 움직임으로 인한 입과 오른쪽 눈의 바깥쪽, 오른쪽 코끝의 추적이 개선되었다.

표 3. 동공과 Kalman 필터에서의 실패구간
Table 3. Between the pupil and the Kalman filter fails in

특징점	실패가 추적 실패 구간 [시작 프레임, 종료 프레임]	추적 실패
왼쪽 눈썹(2)	[75,95]	40
왼쪽눈 바깥쪽	[75,110], [373,488]	150
왼쪽 코끝	[398,422]	24

신뢰성 전과를 이용한 경우 감추어짐에 검출 실패하였던 왼쪽 눈의 바깥쪽과 왼쪽 코끝의 특징점이 추적이 개선되어 99.1%의 추적율을 나타내었다.

표 4. 전과를 이용한 동공과 Kalman 필터에서의 실패구간
Table 4. Pupils using the Kalman filter propagation and failure in the interval

특징점	실패가 추적 실패 구간 [시작 프레임, 종료 프레임]	추적 실패
왼쪽 눈썹(2)	[75,95]	40
왼쪽눈 바깥쪽	[398,411]	13
왼쪽 코끝	[398,422]	24

VI. 결 론

본 논문에서는 능동적 얼굴 표현 추적 방법을 제안하였다. 머리를 움직여도 동공을 견실하게 검출하고자 능동적 적외선 감지를 사용하였고 정확하게 특징 지점을 예언하기 위하여 머리 움직임과 Kalman 필터의 결합하였다. 또한 신속한 특징검출을 위한 Gabor 웨이블릿 사용하였다. 신뢰성 전과는 추적한 결과를 검증하여 특징점이 감추어진 경우에도 공간 관계에 의거하여 추적이 가능하도록 하였다.

향후 연구 과제는 추출된 패턴 그래프와 공간과 시간상 관계를 이용하여 얼굴

표현을 분류하여 피로 상태를 수치화 하는 것이다.

참고문헌

- [1] H. Veeraraghavan and N. P. Papanikolopoulos. Detecting driver fatigue through the use of advanced face monitoring techniques. Technique Report of ITS Institute, (CTS 01-05), September 2002.
- [2] Haro, Antonio, M. Flickner, and I. Essa. Detecting and tracking eyes by using their physiological properties, dynamics, and appearance. IEEE CVPR, pages 163.168,2000.
- [3] Z. Zhu, Q. Ji, K. Fujimura, and K. Lee. Combining kalman filtering and mean shift for real time eye tracking under active ir illumination. proc. of ICPR, pages 373.378,August 2002.
- [4] Q. Ji and X. Yang. Real time visual cues extraction for monitoring driver vigilance. Proc. of International Workshop on Computer Vision Systems, July 2001.
- [5] T. Lee. Image representation using 2d gabor wavelets. IEEE Trans. PAMI, 18(10):959.971,1996.
- [6] B. Manjunath, R. Chellappa, and C. von der Malsburg. A feature based approach to face recognition. IEEE CVPR, pages 373.378,1992.
- [7] C. Tomasi and T. Kanade. Detection and tracking of point features. Carnegie Mellon University Technical Report, (CMU-CS-91-132), April 1991.
- [8] M. Black and Y. Yacoob. Tracking and recognizing rigid and non-rigid facial motions using local parametric models of image motion. ICCV, 1995.
- [9] F. Bourel, C. C. Chibelushi, and A. A. Low. Robust facial feature tracking. MBVC, 2000.
- [10] J. Daugman. Complete discrete 2-d gabor transforms by neural networks for image analysis and compression. IEEE Trans. ASSP, 36:1169.1179,1988.
- [11] P. Ekman. Facial Expressions. Handbook of Cognition and Emotion. John Wiley Sons Ltd, New York, 1999.

저자약력

김태우(Tae-Woo Kim)



1997년 한국해양대학교 선박
운항시스템공학 학사
2006년 관동대학교 공업교육
석사
2008년 관동대학교 대학원 전
자 통신과 박사과정

강용석(Yong-Seok Kang)

2004년 학점은행제 공학사
2008년 강원대학교 대학원
석사



2009년 관동대학교 대학원
박사과정
1997년~2001년 대우자동차
군산공장 품질보증부 및 품질
관리부
2001년~2007년 한국산업인력
공단
2007년~현재 한국폴리텍III대
학 조교수