

# 운전자 피로 감지를 위한 얼굴 동작 인식

종신회원 박 호 식\*, 배 철 수\*\*

## Facial Behavior Recognition for Driver's Fatigue Detection

Ho-sik Park\*, Cheol-soo Bae\*\* *Lifelong Members*

### 요 약

본 논문에서는 운전자 피로 감지를 위한 얼굴 동작을 효과적으로 인식하는 방법을 제안하고자 한다. 얼굴 동작은 얼굴 표정, 얼굴 자세, 시선, 주름 같은 얼굴 특징으로 나타난다. 그러나 얼굴 특징으로 하나의 동작 상태를 뚜렷이 구분한다는 것은 대단히 어려운 문제이다. 왜냐하면 사람의 동작은 복잡적이며 그 동작을 표현하는 얼굴은 충분한 정보를 제공하기에는 모호성을 갖기 때문이다. 제안된 얼굴 동작 인식 시스템은 먼저 적외선 카메라로 눈 검출, 머리 방향 추정, 머리 움직임 추정, 얼굴 추적과 주름 검출과 같은 얼굴 특징 등을 감지하고 획득한 특징을 FACS의 AU로 나타낸다. 획득한 AU를 근간으로 동적 베이지안 네트워크를 통하여 각 상태가 일어날 확률을 추론한다.

**Key Words** : Facial Behavior, Driver's Fatigue, Facial Feature, Bayesian Network, FACS

### ABSTRACT

This paper is proposed to an novel facial behavior recognition system for driver's fatigue detection. Facial behavior is shown in various facial feature such as head expression, head pose, gaze, wrinkles. But it is very difficult to clearly discriminate a certain behavior by the obtained facial feature. Because, the behavior of a person is complicated and the face representing behavior is vague in providing enough information. The proposed system for facial behavior recognition first performs detection facial feature such as eye tracking, facial feature tracking, furrow detection, head orientation estimation, head motion detection and indicates the obtained feature by AU of FACS. On the basis of the obtained AU, it infers probability each state occur through Bayesian network.

### 1. 서 론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다.

얼굴 동작 인식 방법은 인간의 감성을 자동으로 전달하고자 하는 필요성으로 많은 연구[1,2]가 수행되고 있다. 하지만 현실 세계에서 이를 적용하기에는 2가지 문제점을 가지고 있다. 하나는 얼굴 동작이 다양하고

복잡하다는 것이고, 다른 하나는 얼굴 동작의 표출 방식이 매우 다양하다는 것이다. 즉, 얼굴 동작은 동공의 움직임, 주름의 발생 등 기하학적 변형으로 나타난다. 그러나 하나의 시각 정보 만으로 이러한 변화를 효율적으로 획득할 수 없다.

그러나 특정 응용분야에서는 관심 얼굴 동작을 몇 개의 동작으로 한정 지을 수 있다. 특정 분야로 한정할 경우 얼굴 표정에서 다양함으로 기인되는 애매함을 배제할 수 있다. 게다가 얼굴 특징과 같은 시각 정보들은 대다수 효율적으로 검출할 수 있다. 또한, 효

\* 오산대학 디지털전자과 (hspark@osan.ac.kr), \*\* 관동대학교 전자통신공학과 (baecs@kd.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-07-303, 접수일자 : 2010년 7월 13일, 최종논문접수일자 : 2010년 8월 2일

움직인 얼굴 특징들을 선택적으로 분석 융합하면 보다 정확한 인식을 할 수 있을 것이다.

## II. 얼굴 특징 추적

### 2.1 적외선 기반 눈 검출 및 추적 시스템

눈의 동공은 얼굴에서 주요한 특징을 나타낸다. 동공은 눈의 움직임 뿐만 아니라 얼굴과 시선의 위치 정보 까지 제공한다. 그러나, 다양한 조명 조건과 여러 얼굴 방향에 대해 견실하게 동공을 검출 및 추적하는 것이 쉽지 않다. 본 논문에서는 IBM[3]에 의해 개발된 것과 유사한 적외선 기반의 눈 검출기를 개발하여 실용적인 검출 및 추적 시스템을 구축하였다.

제안된 시스템은 그림 1(a)와 같이 2개의 동심원을 이루고 있는 적외선 LED와 적외선 감지 카메라로 구성되어 있다. LED 그림자의 영향을 최소화 하고, 서로 다른 적외선 방식의 영향을 줄이기 위하여 LED를 카메라 광축에 좌우 대칭을 이루도록 하였다. 적외선 감지 카메라를 둘러싼 안쪽 LED는 밝은동공효과를, 바깥쪽의 LED는 어두운동공효과를 얻기 위하여 비일 주사시 짝수 필드와 홀수 필드에서 교차 조사하여 얻은 차영상을 통하여 눈을 검출하였다. 또한 시스템으로 동공을 추적하기 위하여 칼만필터를 사용하였다. 그러나 밝은동공이 검출되지 않을 경우 칼만필터에 의한 추적이 불가능하므로 평균이동알고리즘을 사용하여 추적 성능을 보완하였다.

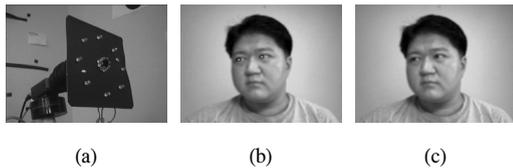


그림 1. (a) 적외선 기반 눈 검출기, (b) 짝수 필드 영상의 밝은 동공, (c) 홀수 필드 영상의 어두운 동공  
Fig. 1. (a) IR based eye detector (b) bright pupils with even field image (c) dark pupils with odd field image

### 2.2 얼굴 특징 추적

대다수의 얼굴 특징들은 얼굴 특징점의 이동 윤곽으로 표현 할 수있다. 그러므로 얼굴 특징점을 견실하게 검출 및 추적해야 한다. 그림 2에 표시한 지점과 같이 22개의 특징점과 이동 윤곽으로 얼굴 동작 특징을 나타내었다. 그러나 얼굴 특징 추적에 현실 적용함에 있어 조명의 변화, 급격한 얼굴 움직임, 얼굴 표정의 변화, 중첩 등의 문제로 얼굴 특징 추적의 어려움이 있다. Wiskott가 제안한 방법[4]과 유사한 능동

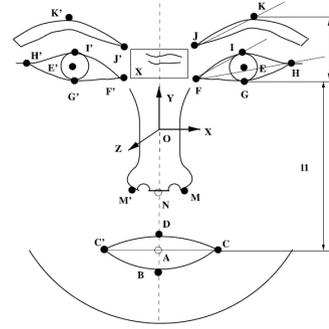


그림 2. 얼굴 특징점과 주름의 기하학적 관계  
Fig. 2. The geometric relations of facial feature points and furrows

적 추적 시스템을 구축하였다.

각 특징점을 Gabor 웨이블 커널을 이용하여 식 (1)과 같이 특징지었다.

$$\Psi(k, \vec{x}) = \frac{k^2}{\sigma^2} e^{-\frac{k^2 \vec{x}^2}{2\sigma^2}} (e^{ik \cdot \vec{x}} - e^{-\frac{\sigma^2}{2}}) \quad (1)$$

여기서  $\sigma$ 는  $128 \times 128$  영상에서  $\pi$  로 설정하였다. Gabor 커널의 조합은 3개의 공간 주파수( $\pi/2, \pi/4, \pi/8$ )와  $0^\circ$  도에서  $150^\circ$ 사이에서  $30^\circ$  간격으로 6개의 방향으로 구성하였다. 각 화소 pixel(x)에 대한 18개의 복소 형태의 Gabor 계수의 조합  $\Omega(x)$ 를 Gabor 커널의 컨볼루션으로 얻을 수 있었다.

## III. 얼굴 동작 인식

일반적으로 얼굴 동작은 전체 얼굴을 의미한다. 하나의 AU는 지역적 특징의 움직임을 나타낸다. 본 논문에서는 FACS(Facial Action Coding System)[5]에 따른 얼굴 동작 AU(Action Unit)와 연관하여 베이지안 네트워크 기반의 전체적인 얼굴 동작 모델을 제안한다.

비록 아주 많은 얼굴 동작이 일상에서 일어나지만 FACS의 독립적인 하나의 AU나 AU 조합으로 묘사할 수 있다. 그리고 특정 분야 적용에 초점을 맞추고 있다면 관심 동작을 몇 개의 동작으로 한정 지을 수 있다. 예를 들어, 운전자의 경계 상태를 감지하고자 한다면 차안에서 졸음과 관련된 얼굴 동작인 “부주의”, “하품”, “잠듦” 과 관련된 동작만을 분류하면된다. 이에 따라 표 1에 이러한 피로와 관련된 AU에 대한 묘사와 측정방법을 정의하였다.

표 1. 피로와 관련된 AU의 정의 및 측정 방법  
Table 1. Definitions and measurement method of AUs related Fatigue

AU#	Descriptions	Method
AU7	Lid tightener	$\angle IFH$ non-increased and $\angle HGF$ increased
AU9	Nose wrinkle	Wrinkle increased in $\square JFF'J'$
AU25	Lips part	$\overline{DB} < T_1$ and $\overline{NA}$ non-increased
AU26	Jaw drop	$T_1 < \overline{DB} < T_2$
AU27	Mouth stretch	$\overline{DB} > T_2$ and $l_1$ increased
AU43	Eye closure	Pupils lost for a while
AU51	Head turn left	$\overline{OZ}$ turn left
AU52	Head turn right	$\overline{OZ}$ turn right
AU55	Head tilt left	Head moves left-down
AU56	Head tilt right	Head moves right-down
AU58	Head back	Head moves back
AU61	Eyes turn left	$E$ and $E'$ move left
AU62	Eyes turn right	$E$ and $E'$ move right

\*  $T_1$  와  $T_2$  미리 정의된 문턱치 값.

그림 3에서 나타난 것과 같이 베이지안 네트워크 모델에서는 시각 정보 감지를 포함한다. 시각 채널은 베이지 네트워크의 한 부분은 아니지만 얼굴 특징 노드에 상응하는 정보를 획득하는데 사용되어진다. 시각 채널에서 양방향 연결은 정보를 제어한다. 그 중 하나인 상향식 연결은 감지기에서 제공된 관측된 현상을 제공하고, 다른 하향식 연결은 베이지안 네트워크로 추론으로 인하여 감지기를 동작시킨다. 상,하향식 2가지 중 하나를 선택하기 위하여 베이지안 네트워크를 수동으로 데이터 학습을 하지만, 많은 학습 데이터를 요구하고, 학습된 경우라도 빠르게 동작하지 않는 경우도 발생한다. 그러므로 타협적으로 베이지안 네트워크를 별도로 초기 지정 할 수 있도록 하였다.

베이지안 네트워크 모델의 상층에서 간단한 Naive 베이지 분류기를 볼 수 있다. Naive 베이지 분류기는 가설 변수  $C$  와 상호 관계가 있는 배타적 상태 즉, 부주의, 하품, 잠듦 같은  $c_1, c_2, c_3$ , 등으로 구성된다.

부주의, 하품, 잠듦에 대응하는 속성 집합  $A_1, A_2$ ,

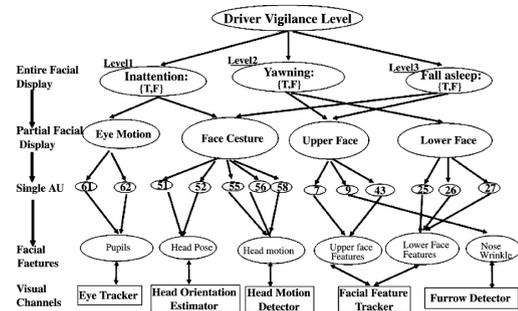


그림 3. 운전자 경계 상태 추정을 위한 BN 모델.  
Fig. 3. BN model for driver vigilance estimation.

$A_3$  와 가설 변수는 주 노드이고 각각의 속성은 하나의 종 노드에 대응한다. 식 (2)와 같이  $A_j = a_j$  가 되는  $c_i$  상태의 확률을 찾는다.

$$\Pr(C = c_i | A_1 = a_1, A_2 = a_2, A_3 = a_3) \quad (2)$$

즉, 이 확률은 속성 변수가  $A_j = a_j$  에서 가지는 값이  $c_i$  상태일 가능성을 나타낸다. 특별한 상태  $c_i$  의 확률이 최고가 될 때, 얼굴 동작은  $c_i$  를 포함한다고 할 수 있다.

표 2에 가설 변수 상태와 대응하는 속성 사이의 초기 조건 확률을 나타내었다. 이 수치는 이후 학습 절차에 의해 지속적으로 정제된다.

하부 층은 각각의 AU와 얼굴 특징과 특정한 이동 윤곽을 나타낸다. 예를 들면 AU7 는 현재의 특징점 I, F, H, 와 G 를 추적하여 각  $\angle IFH$  와  $\angle HGF$  의 변화 를 측정 한 얼굴 상부 특징이다.

초기화에서 중립 상태에서 모든 특징점은 추출되어 지고, 관련 초기 매개 변수를 얻게된다. 이 초기 매개 변수는 인식 과정에서 문턱치 값으로 사용되어진다.

표 2. 초기 확률.  
Table 2 Initial probabilities

Entire display	Ia		Yw		Fa	
	T	F	T	F	T	F
Inattention	0.99	0.01	0.05	0.95	0.05	0.95
Yawning	0.05	0.95	0.99	0.00	0.05	0.95
Falling asleep	0.05	0.95	0.05	0.95	0.99	0.01

#### IV. 실험 결과 및 고찰

제안된 방법을 운전자의 경계 상태 감시와 같은 특정한 분야에 응용하기 위한 일련의 실험을 진행하였다. 총 5명의 피검자를 대상으로 각각 실내에서 낮은 상태로 각성 혹은 부주의 같은 낮은 피로 상태와 하품 잠듦 같은 높은 피로 상태를 나타내도록 요구하였고, 적외선 카메라 시스템을 이용하여 초당 20프레임 320×240 해상도로 얼굴 영상을 약 1분씩 총 5회 기록 하여 실험하였다.

같은 동작으로 모든 단계(부주의, 하품, 잠듦)에 대하여 상향식 분류에 사전 확률을 설정하였다.

표 3에 각 감지기에서 관측된 현상과 분류 결과를 나타내었다. 표 3에서의 ED, OE, HD, FT와 FD는 각각 눈 검출(Eye Detector), 머리 방향 추정(Head

표 3. 관측 현상에 의한 얼굴 동작 분류.  
Table 3. Facial behavior classification by observation evidence.

No.	Observation evidences					Classification results		
	ED	OE	HD	FT	FD	(Ia)	(Yw)	(Fa)
(a)	x	x	x	x	x	0.33	0.33	0.33
(b)	x	AU51	x	x	x	<b>0.82</b>	0.09	0.09
(c)	x	x	x	AU7 AU27	AU9	0.15	<b>0.83</b>	0.02
(d)	x	AU52	x	x	x	<b>0.82</b>	0.09	0.09
(e)	x	x	x	AU7 AU27	x	0.17	<b>0.81</b>	0.02
(f)	x	AU51	AU55	x	x	<b>0.47</b>	0.05	<b>0.47</b>

orientation estimator), 머리 움직임 추정(Head motion detector), 얼굴 추적(Facial tracker)과 주름(Furrow detector)이다. 또한 각각 (Ia), (Yw)와 (Fa)는 부주의(Inattention), 하품(Yawning)과 잠듦(Falling asleep)이다. “x”는 현상이 없는 것을 의미한다. 표 3의 (a)행은 피로와 관련하여 아무런 현상이 없을 때로, 각 피로 상태의 사전 확률은 베이지안 추론에 의해 동일하게 0.33이었다. 이것은 각성 상태이거나 얼굴에서 아무런 피로 상태가 감지 되지 않았다는 것을 의미한다. (b)행은 시각 채널 OE에서 AU51이 검출되었을 때이다. 부주의 상태에 대한 높은 사전 확률을 나타내었다. 얼굴 동작은 부주의 한 상태로 분류되었다. (c)행은 시각 채널 FT와 FD에서 각각 AU7, AU27 과 AU0이 검출되었을 때이다. 분류 결과는 하품이다. (d)와 (e)행은 분류 결과는 각각 부주의와 하품이다. (f)행은 OE 와 HD 채널에서 각각 AU51과 AU55과 검출되었다. 부주의와 잠듦이 사전 확률이 동일하게 0.47로 나타났다. 이 경우와 같이 얼굴 정보가 불분명할 때는 피로 상태를 분류하기에는 어려움이 있었다.

실험결과 베이지안 네트워크를 특정한 응용분야에 적용시 일반적인 얼굴 정보로도 좋은 동작 분류 결과를 나타내었다. 그러나 얼굴정보가 불분명할 때와 상태가 변화하는 과정에서는 정확한 분류가 되지 않아 향후 시간 정보를 이용하여 문제를 해결할 계획이다.

### V. 결 론

얼굴 동작 인식 방법은 인간의 감성을 자동으로 전달하고자 하는 필요성으로 많은 연구가 수행되어지고

있지만 얼굴 동작이 다양하고 복잡하고, 얼굴 동작의 표출 방식이 다양하여 연구에 어려움이 있다. 그러나 특정한 목적에 초점을 맞추게 된다면 관심 동작을 몇 개의 동작으로 한정 지을 수 있었다. 그러므로, 본 논문에서는 FACS를 기반으로 하여 시각적 관찰에 의해 주요한 얼굴 동작을 표현하였고, 이 시각 정보를 베이지안 네트워크를 통하여 분석 융합하여 얼굴 행동을 추론 할 수 있도록 하였다. 베이지안 네트워크의 하향식 추론으로 시각 정보를 선택 할 수 있고, 관측된 현상을 토대로 상황식 추론 하여 얼굴 동작을 신뢰 전파를 통해 얼굴 동작을 분류할 수 있도록 하였다. 실험 결과 좋은 동작 분류 결과를 나타내었다. 그러나 얼굴 정보가 불분명할 때와 상태가 변화하는 과정에서는 정확한 분류가 되지 않아 향후 시간 정보를 이용하여 문제를 해결할 계획이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Yeencheng Lee, Demetri Terzopoulos and Keith Waters, “Constructing Physics-Based Facial Models of Individuals”, Graphics Interface '93, pp.1-8, 1993.
- [2] Demetri Terzopoulos and Keith Waters, “Analysis and Anatomical Models”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.15, No.6, pp.569-579, 1993.
- [3] C. Morimoto, M. Flickner, Real-time multiple face detection using active illumination, in: Proc. Fourth IEEE Internat. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, pp.8-13, 2000.
- [4] L. Wiskott, J. Fellous, N. Kr ger, C.V. der Malsburg, Face recognition by elastic bunch graph matching, in: IEEE Trans. on Pattern Analysis Machine Intelligence, pp.775-779. 1997.
- [5] P. Ekman, W.V. Friesen, J.C. Hager, Facial Action Coding System (FACS): Manual, CD Rom, San Francisco, CA, 2002.
- [6] Vazquez. R.A, Sossa. H, Behavior of morphological associative memories with true-color image patterns, Neurocomputing, Vol.73, No.1, pp.225-244. 2009.
- [7] Wang. T. H, James Lien. J. J, Facial expression recognition system based on rigid and non-rigid motion separation and 3D pose estimation,

Pattern recognition, Vol.42 No.5, pp.962-977, 2009.

- [8] Whitehill. J, Omlin. C.W, Local versus Global Segmentation for Facial Expression Recognition Automatic Face and Gesture Recognition, FGR 2006. 7th International Conference on 2006, pp.357-362. 2006.
- [9] Ksantini. R, Boufama. B, Ziou. D, Colin. B, A novel Bayesian logistic discriminant model: An application to face recognition, Pattern recognition, v.43, no.4, pp.1421-1430, 2010.
- [10] Heusch. G, Marcel. S, A novel statistical generative model dedicated to face recognition, Image and vision computing, Vol.28, No.1, pp.101-110, 2010.
- [11] I. Cohen, N. Sebe, F. Cozman, M. Cirelo, T. Huang. Learning bayesian network classifiers for facial expression recognition using both labeled and unlabeled data. IEEE Conf. Computer Vision Pattern Recognition, 2003.
- [12] I. Cohen, N. Sebe, A. Garg, L.S. Chen, T.S. Huang, Facial expression recognition from video sequences: temporal and static modeling, Comput. Vis. Image Und. 911, pp.60-187, 2003.
- [13] R. Kaliouby, P. Robinson. Real-time inference of complex mental states from facial expressions and head gestures, in: Proc. in CVPR Workshop on Real-Time Computer Vision for Human Computer Interaction, p.154, 2004.
- [14] N. Oliver, E. Horvitz, A. Garg. Layered representations for human activity recognition, in: Proc. IEEE Internat. Conf. on Multimodal Interfaces, pp.3-8, 2002.

**박 호 식 (Ho-Sik Park)**

중신회원



1994년 2월 연세대학교 의용전자공학과(공학사)  
 2001년 2월 관동대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)  
 2005년 2월 관동대학교 대학원 전자통신공학과 (공학박사)  
 2008년 3월~현재 오산대학 디지털전자과 교수

<관심분야> 영상처리, 신호처리시스템, 영상압축

**배 철 수 (Cheol-Soo Bae)**

중신회원



1979년 2월 명지대학교 전자공학과(공학사)  
 1981년 2월 명지대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1988년 8월 명지대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1999년 3월~2001년 5월 관동대학교공과대학 학장

2001년 6월~2003년 8월 관동대학교 평생교육원장  
 1981년~현재 관동대학교 전자정보통신공학부 교수  
 <관심분야> 영상처리, 신호처리시스템, 영상압축