

논문 2011-48SC-2-7

컬러 정보를 이용한 신경 진동망 기반 얼굴추적 방법

(Face Tracking Method based on Neural Oscillatory Network Using Color Information)

황용원^{*,**}, 오상록^{*}, 유범재^{*}, 이지용^{*}, 박민용^{**}, 정문호^{***}

(Yong Won Hwang, Sang Rok Oh, Bum Jae You, Ji Yong Lee, Mignon Park, and Mun Ho Jeong)

요약

본 논문은 출입통제시스템이나 사용자인증이 필요한 통제시스템 등에 적용될 수 있는 신경 진동자(Neural Oscillators)를 이용한 실시간 얼굴검출 및 추적에 필요한 새로운 알고리즘을 제안한다. 신경 진동자(Neural Oscillators)는 생물학적 뉴런의 동작원리를 모방한 것으로서 뉴런의 활성화와 비활성의 주기적인 반복동작 특성을 모델링 한 인공신경모델이다. 본 논문에서 제안한 시스템은 크게 두 단계의 처리과정을 가진다. 첫 번째 단계는 얼굴검출 과정인데, 우선 비용이 저렴한 Webcam을 이용하여 실시간 전달되는 RGB24bit 컬러 영상을 획득, LEGION(Locally Excitatory Globally Inhibitory) 알고리즘을 이용하여 분할과정을 거쳐 얼굴영역을 검출한다. 두 번째 단계는 검출된 얼굴영역에서 이웃뉴런들로부터 연결강도가 가장 큰 리더뉴런(Max Leader Neuron)을 찾아 얼굴을 추적하는 방법으로 스케일 문제해결 과 안정된 새로운 얼굴 추적 방법을 제안한다.

Abstract

This paper proposes a real-time face detection and tracking system that uses neural oscillators which can be applied to access regulation system or control systems of user authentication as well as a new algorithm. We study a way to track faces using the neural oscillatory network which imitates the artificial neural net of information handing ability of human and animals, and biological movement characteristic of a singular neuron. The system that is suggested in this paper can broadly be broken into two stages of process. The first stage is the process of face extraction, which involves the acquisition of real-time RGB24bit color video delivering with the use of a cheap webcam. LEGION(Locally Excitatory Globally Inhibitory)algorithm is suggested as the face extraction method to be preceded for face tracking. The second stage is a method for face tracking by discovering the leader neuron that has the greatest connection strength amongst neighbor neuron of extracted face area. Along with the suggested method, the necessary element of face track such as stability as well as scale problem can be resolved.

Keywords : Face tracking, skin color detection, oscillatory correlation, LEGION

I . 서 론

최근 컴퓨터를 이용한 디지털 영상으로부터 효과적

인 얼굴 검출 및 추적은 Machine Vision, HCI (Human-Computer Interaction), Image-Based Control, Medical Imaging등 다양한 분야의 응용에서 오랜 시간 동안 연구되어 지고 있는 방법 중 하나이다.

동적환경 특성에서 유효한 얼굴 추적 방법들을 찾기 위해 많은 연구가 진행 되어왔다. 하지만, 복잡하고 동적인 환경에서 얼굴 추적은 여전히 연구과제로 남아있다. 실시간 얼굴 추적은 피부색, 움직임 정보 및 다양한 특징 변화와 같은 이미지 상에 따른 많은 제약들 때문에 영상에서 얼굴이 존재하는 여부와 그 위치를 정확하게 찾아내는 것은 간단한 문제가 아니다^[1].

* 정회원, 한국과학기술연구원 인지로봇연구단
(Cognitive Robotics Center, Korea Institute of Science Technology, Seoul, Republic of Korea)

** 정회원, 연세대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Yonsei University)

*** 정회원, 광운대학교 정보제어공학과
(Department of Information and Control Engineering, KwangWoon University)

접수일자: 2010년10월22일, 수정완료일: 2011년3월10일

얼굴을 추적하기 위해 선행되어야 하는 작업은 획득한 영상 내에 얼굴이 존재하는지 판단 여부와 그 위치를 파악하는 것이다. 얼굴 영역을 검출하는 기법으로 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 지역적 특성(Local Feature)에 기반으로 한 방법으로는 눈, 코, 입과 같은 얼굴만이 가지는 고유 특징들의 존재 여부와 구성 관계 등에 의해 얼굴 여부를 판단하는 방법과, 다른 하나는 얼굴의 전체 형상(Template Feature)에 기반을 둔 방법으로 지역적 특성과 달리 얼굴의 부분정보가 아닌 전체 특징을 이용한 방법이다. 얼굴의 지역적 특성을 이용하는 방법에는 사람들의 전형적인 얼굴의 위치나 얼굴 구성 정보와 얼굴 특징사이의 관계들을 이용한 지식기반(Knowledge based)방법^[2]과 얼굴의 위치나 방향 등의 변화에 민감하지 않은 구조적 특징을 이용하는 최근에 가장 많이 사용되고 있는 특징기반(Feature-based)방법^[3] 등으로 구분할 수 있다. 그러나 피부 색 정보는 얼굴 검출의 첫 번째 단계로 사용될 수 있는 강력한 단서로서 컬러 분할 시간이 빠르고, 컬러 공간의 밝기와 색상 공간을 분리하여 얼굴크기, 방향에 의한 변화 등에 상대적으로 강한 장점을 가지고 있지만 조명 변화에 민감하고 비효율적이다.

최근에 연구되어지는 분야는 신경망(Neural Network)을 기반으로 한 방법^[4]으로 다양한 영상들로부터 얼굴 영역과 비 얼굴영역을 획득하여 신경망을 통해 학습한 뒤 입력 영상으로부터 얼굴을 찾도록 하는 방법을 사용한다. 특히 처리할 데이터가 많은 얼굴 추적 분야에서 다층 신경 회로망의 경우 회로망 합성과 가중치 결정에 대한 적절한 방법을 찾지 못하여 그 사용 영역이 한정되어 있으며, 역전파 학습 알고리즘은 주어진 데이터를 처리하기 위한 우선순위를 알지 못하기 때문에 많은 반복 과정을 요구한다. 따라서 학습구조가 복잡해지고 긴 학습시간과 비효율적인 연산의 수행 등에 어려움이 따른다. 최근에는 이러한 단점을 보완하기 위해 사람이나 동물의 경우 뇌의 작은 부분을 사용함에도 불구하고 아주 빠른 처리를 통하여 위험에 대처하고 있는 생물학적 처리 방법 및 구조를 모방한 신경진동자(Neural Oscillator)가 영상분할 방법에 연구되고 있다^[5]. 1995년 D.Wang은 Neural Oscillator를 기본 유닛으로 하는 인공 신경망 모델인 Neural Oscillatory Network를 제안하였다. 또한 Neural Oscillatory Network의 동작특성을 유지하면서 보다 계산을 단순화 시킨 LEGION(Locally Excitatory Globally

Inhibitory)알고리즘을 제안 하였다.

본 논문에서는 사람이나 동물의 정보처리 능력을 모방한 인공신경망과 단일 뉴런의 생물학적 동작 특성에 기초한 Neural Oscillatory Network를 이용하여 얼굴 추적방법을 제안한다. Webcam으로 부터 획득한 연속하는 영상 스프레이를 이용하여 공간상에서 비슷한 밝기 정보를 가진 다수의 영역들을 변형된 LEGION 알고리즘을 통하여 얼굴영역을 검출한 후 시간상에서 얼굴영역에서 이웃뉴런들로부터 연결강도가 가장 큰 리더뉴런을 찾아 얼굴을 추적하는 방법이다.

II. 얼굴 검출을 위한 LEGION 알고리즘 및 신경진동자를 이용한 얼굴추적방법

1.LEGION 알고리즘을 이용한 얼굴 검출

가. LEGION 알고리즘

LEGION(Locally Excitatory Globally Inhibitory)알고리즘은 Neural Oscillatory Network의 동작특성을 유지하면서 보다 계산을 단순화하기 위하여 D.Wang에 의해 제안되었다. Neural Oscillator는 생물학적 뉴런의 활성화(Active)와 비활성(Silent)의 주기적인 반복 동작 특성을 모델링한 인공신경모델이다. 뉴런간의 지역적 연결강도와 전역적 연결강도를 조정함으로써 네트워크 동작특성을 결정 할 수 있다. 연결강도가 강한 뉴런들은 동작 주기가 활성화 또는 비활성 주기가 동기화 되며, 연결강도가 약한 뉴런들은 동작 주기가 비동기화 되도

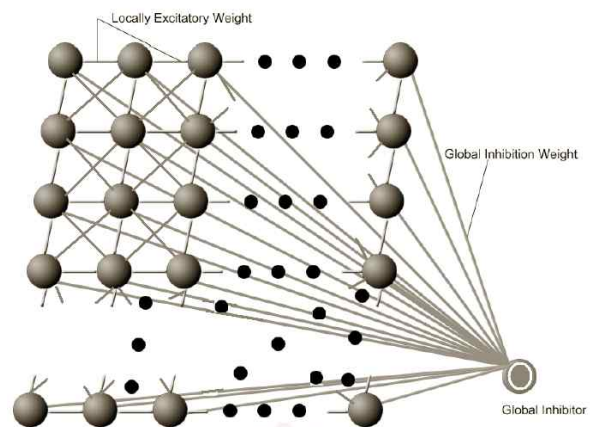


그림 1. LEGION 알고리즘을 이용한 2차원 네트워크 구조,

Fig. 1. 2-D LEGION network with eight-neighborhood connections.

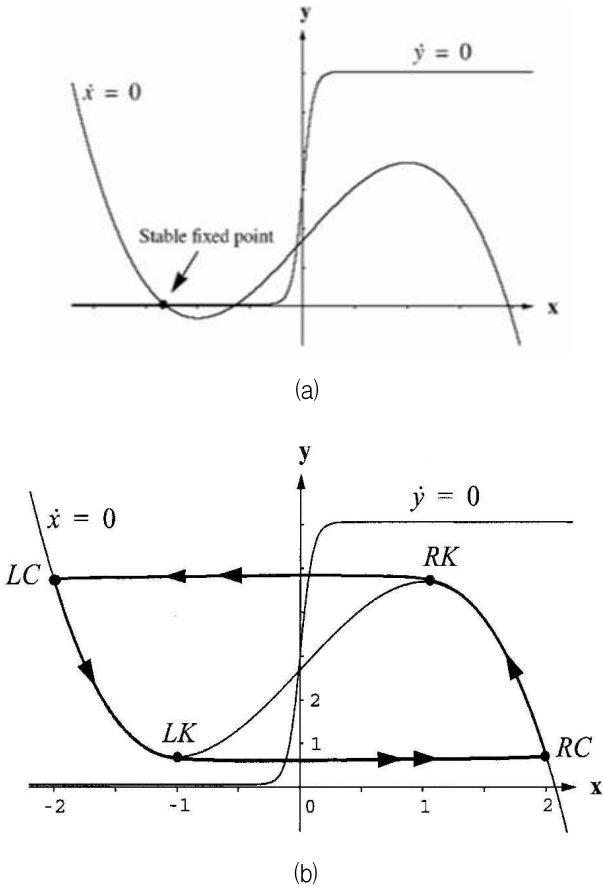


그림 2. LEGION 알고리즘을 이용한 네트워크에서 단일 뉴런의 상태변화
 (a) 비활성 상태의 뉴런 (b) 활성화 상태의 뉴런
 Fig. 2. Nullclines for a single oscillator.
 (a) excitable state (b) enabled state.

록 동작한다. 이런 특성을 이용, 서로 다른 입력 특성을 가지는 뉴런들의 동작을 비동기화 하여 피부색 영역을 검출 후 얼굴과 그렇지 않은 영역을 분할한다.

그림 1은 LEGION 알고리즘의 구조 및 뉴런의 상태변화를 보여준다. LEGION 알고리즘의 구조인 그림 1은 이웃한 뉴런끼리 8방향으로 연결된 2차원 구조를 보여주고 있다. 뉴런의 상태변화를 나타내는 것으로 그림 2(a)는 비활성 상태의 뉴런의 상태를 나타낸 것으로 흥분신호의 곡선과 억제성 신호의 곡선이 교차하는 점을 안정된 고정점이라 하고 이때 뉴런의 상태는 안정된 고정점에 머물며 비활성화 상태를 유지한다. 그림 2(b)는 활성 상태의 뉴런을 보여주고 있으며 비활성 상태 LC에서 LK로 이동 후 활성 상태의 RK로 점핑하고, 다시 LC로 점핑하는 행위를 주기적으로 반복한다. 이때 점핑하는 과정에서 연결강도가 강한 뉴런들은 동작 주기가 활성 또는 비활성 주기가 동기화 되며, 연결

강도가 약한 뉴런들은 동작 주기가 비동기화 되도록 동작한다^[6~9].

나. LEGION 알고리즘의 모델 표현.

$$\dot{x}_i = 3x_i - x_i^3 + 2 - y_i + I_i + S_i + \rho \tag{1}$$

$$\dot{y}_i = \epsilon(\alpha(1 + \tanh(x_i/\beta)) - y_i) \tag{2}$$

식 (1),(2)는 LEGION 알고리즘의 구성요소를 표현한 것이다.

식에서 i 는 단일 진동자, x_i 흥분성의 구성단위 와 y_i 억제성의 구성단위 사이에 feedback loop로 정의된다. 흥분성의 구성단위와 억제성의 구성단위를 식(1),(2)에서 시간에 따른 도함수로 정의하였다. 식(1)에서 I_i 는 외부 자극을 의미하고, 식(2)에서 ϵ 는 뉴런의 주기적인 반복시간을 결정하는 상수로 조건($0 < \epsilon < 1$)에 만족하고 α 는 뉴런이 활성상태를 유지하는 시간을 결정하는 상수이다. β 는 시그모이드 함수(sigmoid function)의 기울기 제어를 하고($\beta \gg 1$), ρ 는 가우시안 노이즈 크기를 결정한다. i 번째 뉴런이 활성화 상태가 되는데 있어 이웃 뉴런으로부터 받은 영향을 나타내는 Coupling term은

$$S_i = \sum_{k \in N(i)} W_{ik}H(x_k - \theta_x) - W_zH(z - \theta_z) \tag{3}$$

으로 정의되고, $N(i)$ (Neighborhood neuron)는 i 번째 뉴런과 지역적으로 연결된 뉴런들의 집합, W_{ik} 는 Neighborhood neuron 간의 연결강도, W_z 는 전역적 억제성 연결강도. θ_x 는 뉴런의 활성화 상태에 대한 임계치 표현, θ_z 는 전역적 억제에 대한 임계치를 표현한 것이다.

여기서 H (Heaviside step function)는 다음과 같이 표현되며

$$H(v) = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ 0 & v < 0 \end{cases} \tag{4}$$

H 값은 K 번째 흥분성 값과 뉴런의 활성화 상태에 대한 임계치의 차가 0보다 크거나 같으면 1이 되고, 작으면 0이 된다.

전역적 억제를 표현하는 수식으로 아래같이 표현되며

$$\dot{Z} = \phi(\sigma_\infty - Z) \tag{5}$$

여기서 ϕ 는 억제 신경이 신경진동자망에서 자극 까지 반응하는 비율을 나타내며

$$\sigma_{\infty}(x_i) = \begin{cases} 1 & x_i \geq \theta_z \\ 0 & x_i < \theta_z \end{cases} \quad (6)$$

위에 수식에서 보면 i 번째 뉴런이 활성화 상태가 되는 두 가지 조건이 있다. 첫 번째 조건은 외부로부터 충분한 입력이 들어오고 또한 다른 뉴런들을 같이 활성화 상태로 활성/비활성 주기를 동기화 시킬 가능성이 있는 리더뉴런의 경우와 두 번째 조건은 다른 뉴런들로부터 받은 커플링 텀 값이 충분한 경우이다.

다. LEGION 알고리즘을 이용한 얼굴 검출

본 연구에서 제안한 얼굴을 추적하기 위해 선행되어야 하는 작업으로는 획득한 영상내에 얼굴이 존재 하는지의 판별 여부와 그 위치의 파악이다. 먼저 실험을 통하여 경험적으로 정의한 피부 색상 정보를 이용한다. Webcam에서 얻어진 RGB 24bit 컬러 영상을 YCrCb 컬러 영상으로 변환한다. 범위는 0에서 255의 구간의 값으로 정의 하였을 때 실험을 통해 얻어진 결과는 표 1과 같다^[10].

표 1. 피부색 (YCrCb) 검출 결과
Table 1. Result in skin color (YCrCb) range.

Cr	Cb
$70 \leq Cr \leq 130$	$75 \leq Cb \leq 175$
$((70 \leq Cb \cap Cb \leq 130) \cap (75 \leq Cr \cap Cr \leq 175))$	

실험을 통해 얻어진 피부색영역을 이용 가중치를 조정하고, LEGION 알고리즘을 이용하여 얼굴분할 과정을 거쳐 얼굴 영역을 검출한다.

2. 신경진동자를 이용한 얼굴 추적

LEGION 알고리즘을 사용하여 얼굴검출 후 검출된 얼굴을 신경진동자의 특성을 이용 얼굴을 추적한다. 얼굴추적 과정은 표 2에서 보여준다.

표 2는 지역적 연결강도를 설정하는 것을 시작으로 가장 큰 리더뉴런을 찾고 얼굴과 다른 영역을 분리하기 위해 반복단계를 거친 후 분리된 얼굴을 추적하는 부분으로 얼굴 추적하는 단계를 보여준다.

그림 3에서 얼굴영역(적색영역)을 찾은 후 얼굴 영역에 1/3크기를 갖는 영역(황색영역)의 컬러 값(YCrCb)의 평균을 기준색으로 이웃 뉴런과 연결강도를 비교하여 가장

표 2. 얼굴추적단계
Table 2. Process for Face Tracking.

초기화 단계

Set $Z(0)=0$ 진동자들의 비활성 상태
지역적 흥분성 연결강도 설정.

$$W_{ik} = (I_M / ((1 + |I_{iY} - I_{kY}|) + (1 + |I_{iCr} - I_{kCr}|) + (1 + |I_{iCb} - I_{kCb}|) / 3)) \times Weight, k \in N(i)$$

얼굴 영역에서 가장 큰 리더뉴런 값의 위치를 찾는다.

Max leader 뉴런을 찾는 단계

$$P_i_face = \arg \text{Max}_i \left(\sum_{k \in N(i)} W_{ik} \right)$$

점프되어지지 않은 리더 j 를 찾고 활성화 위상에서 j 를 점프하게 만들고 모든 리더뉴런이 점프되었다면 종료.

$$X_j(t+1) = 1; Z(t+1) = 1 \quad \{\text{jump up}\}$$

종료될 때 까지 반복 단계

If $(X_j(t)=1 \text{ and } Z(t) > (t+1))$

$$X_j(t+1) = X_j(t) \quad \{\text{stay on the right branch}\}$$

else If $(X_j(t) = 1 \text{ and } Z(t) > (t-1))$

$$X_j(t) = 0 ; Z(t+1) \text{ and } Z(t) - 1 \quad \{\text{jump down}\}$$

if $(Z(t+1) = 0)$ {Find a leader}

else

$$S_i(t+1) = \text{Max}[W_{ik} X_k(t) - (1 / \text{Max}(I_i, I_k))]$$

if $(S_i(t+1) > 0)$

$$X_j(t+1) = 1; Z(t+1) = Z(t) + 1 \quad \{\text{jump up}\}$$

else

$$X_j(t+1) = X_j(t) \quad \{\text{stay on the left branch}\}$$

얼굴 추적 단계

$$P_i_face(t+1) = P_i_face(t)$$

큰 리더 뉴런을 찾는다. 하얀색 점은 가장 큰 리더뉴런의 위치를 표시한 것이다.

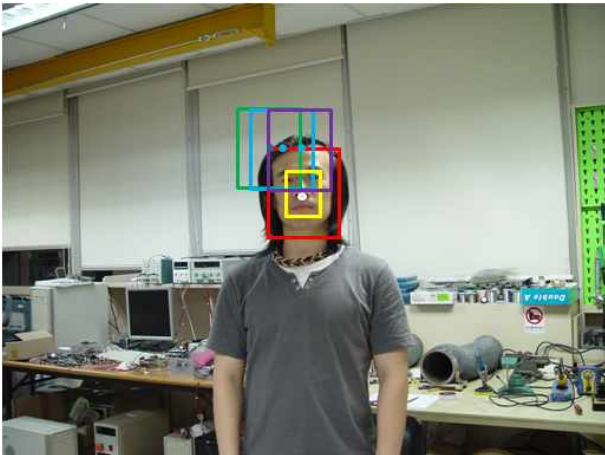


그림 3. 얼굴 영역에서 가장 큰 리더뉴런 찾기
Fig. 3. Finding max leader neuron in face.

III. 실험

제안한 알고리즘을 이용하여 Intel(R) Core(TM) i5 CPU 750 @ 2.67GHz laptop pc 와 Logitech webcam을 이용하여 구현하였다. 입력영상은 320×240, 초당 10프레임을 이용하였다.

실시간으로 webcam에서 추출한 RGB24bit 컬러영상(320×240)을 획득 한 후 주변환경 과 피부색 분리 및 얼굴 영역을 추출한다. 추출된 얼굴에서 이웃한 뉴런끼리 연결강도가 가장강한 리더뉴런을 찾아 얼굴에 중심 위치(t-1시간)를 파악한 후 다음 시간 t만큼에서 이동한 얼굴에 중심위치를 찾기 위해 다시 연결강도가 가장 강한 리더뉴런을 찾아 제안한 방법으로 얼굴을 추적한다.

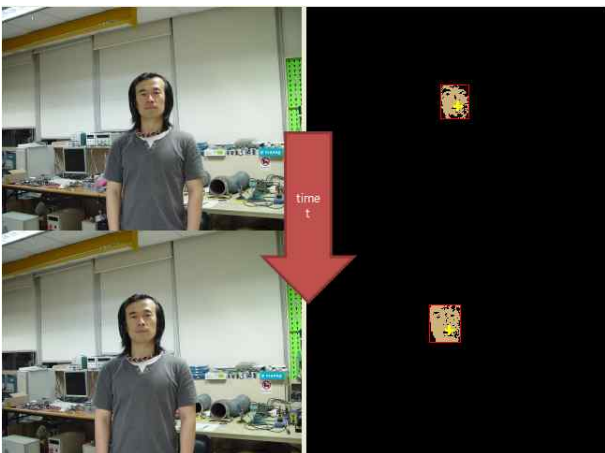


그림 4. 320×240 webcam에서 추출한 영상을 이용 얼굴 추적결과
Fig. 4. Result of trace face using 320×240 webcam image.

그림 4에서 위 왼쪽영상과 아래영상은 시간 t만큼 소요된 원 영상과 위 오른쪽 영상과 아래영상은 얼굴 추적 결과 영상이다. 적색은 얼굴 추적 영역이며, 이미지는 LEGION을 이용하여 얼굴과 다른 영상을 분리한 것이다. 여기서 노란색 십자모양은 가장 큰 리더뉴런의 위치를 표시한 것이다.

앞선 실험결과에서 보면 우리가 제안한 알고리즘을 이용하여 첫 번째 단계인 얼굴검출 방법으로 LEGION을 이용하여 복잡한 환경에서 성공적으로 얼굴을 추출하였으며, 두 번째 단계인 얼굴추적과정에서는 첫 번째 단계에서 성공적으로 검출된 얼굴영역에서 추출된 얼굴색을 기준으로 가장 연결강도가 큰 리더뉴런을 찾아 표시하고 t만큼에 소요시간에서 다음 리더뉴런을 찾아 성공적으로 얼굴을 추적하였다.

IV. 결론

본 논문은 사람이나 동물의 정보처리 능력을 모방한 인공지능망과 단일 뉴런의 생물학적 동작 특성을 모방한 Neural Oscillatory Network를 이용하여 얼굴 추적하는 방법을 제안하였다.

얼굴추적을 위해 선행되어야 할 얼굴검출방법으로 LEGION 알고리즘을 이용하여 얼굴과 다른 영역을 분할하였고, 특징기반 방법 중 피부 색상정보를 가중치로 이용하는 방법을 제안 하였다. 추출된 피부색정보를 이용하여 얼굴영역을 검출한 후 얼굴색과 같은 주변뉴런들에 연결강도를 계산, 가장 높은 값을 갖는 것을 리더 뉴런으로 선정하여 리더뉴런의 이동위치를 확인함으로써 얼굴을 추적 할 수 있었다.

제안한 방법을 통해 얼굴 추적에 중요한 안정성 및 스케일 문제를 해결할 수 있었다. 또한 생물학적 원리를 모방한 단일세포의 동작원리를 이용하였다. VLSI (Very Large-Scale Intergration Circuit)을 이용한 병렬 네트워크 구현이 가능하여 빠른 실시간처리 결과를 보여준다.

참고 문헌

[1] Ming-Hsuan Yang, David Kriegman, and Narendra Ahuja. "Detecting Face in Images: A Survey," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 1, pp.

- 34-58, Jan, 2002.
- [2] G. Yang and T. S. Huang, "Human face detection in complex background", *Pattern Recognition* 27(1):53-63, 1994.
 - [3] R. Anderson and F.A.P.Petitcolas, "On the Limits of Steganography," *IEEE JSAC*, Vol. 41, No.7, pp.474-481, 1998.
 - [4] H. A.Rowley, S. Baluja, and T.Kanade, "Neural network-based face detection." *IEEE Transaction on Pattern Analysis Machine Intelligence*, vol. 20,no.1,pp, 22-38,Jan. 1998.
 - [5] Jinsang Kim, Chen, T., "A VLSI architecture for video-object segmentation", *Circuits and System for Video Technology*, *IEEE Transactions*, Vol. 13, pp. 83-96, Jan 2003.
 - [6] Terman D. and Wang D.L. "Global competition and local cooperation in a network of neural oscillators." *Physica D*, vol. 81, 148-176. 1995
 - [7] DeLiang Wang, David Terman, "Image Segmentation Based on Oscillatory Correlation " *Neural Computation* vol.9, pp. 805-836, 1997.
 - [8] Liu X. and Wang D.L. "Image and texture segmentation using local spectral histograms." *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, pp. 3066-3077, 2006.
 - [9] Quiles M.G., Wang D.L., Zhao L., Romero R.A.F., and Huang D.-S. "Selecting salient objects in real scenes: An oscillatory correlation model." *Neural Networks*, vol. 24, pp. 54-64. 2011.
 - [10] POYNTON, C. A. 1995. Frequently asked questions about colour. In <ftp://www.inforamp.net/pub/users/poynton/doc/colour/ColorFAQ.ps.gz>.

저 자 소 개



황 용 원(학생회원)
 1997년 호서대학교 전기공학과
 학사 졸업.
 1999년 건국대학교 전기공학과
 석사 졸업.
 2002년~현재 연세대학교 전기
 전자공학과 박사 과정.
 1999년~2001년 Global Technologic 정보통신
 연구소 연구원
 2001년~2002년 한국과학기술연구원 지능제어
 센터 위촉연구원
 2002년~현재 한국과학기술연구원 인지robot센터
 학생연구원
 <주관심분야 : 인간로봇 상호작용, 컴퓨터비전,
 지능제어, 휴머노이드 로봇>



오 상 록(정회원)
 1980년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1982년 KAIST 전기 및
 전자공학과 석사 졸업.
 1987년 KAIST 전기 및
 전자공학과 박사 졸업.
 1991년~1992년 미국 IBM Watson Research
 Center Visiting Research Staff
 1995년~1995년 일본 통산성 기계기술연구소
 객원연구원
 2006년 정보통신부 IT정책자문단 지능형서비스
 로봇 PM
 1988년~현재 한국과학기술연구원 시스템 연구부
 책임연구원
 <주관심분야 : 지능제어, 서비스 로봇, 네트워크
 로봇>



유 범 재(정회원)
 1985년 서울대학교 제어계측
 공학과 학사 졸업.
 1987년 KAIST 전기 및
 제어공학 과 석사 졸업.
 1991년 KAIST 전기 및
 제어공학 과 박사 졸업.
 1994년~현재 한국과학기술연구원 인지robot센터
 센터장
 <주관심분야 : 휴머노이드 로봇, 시각 기반 로보
 틱스, 지능 로봇, 디지털신호처리 응용>



이 지 용(정회원)
 2007년 전남대학교 전자컴퓨터
 정보통신공학부
 학사 졸업.
 2009년 UST HCI 및 로봇응용
 석사 졸업.
 2009년~현재 한국과학기술연구원 인지robot연구
 센터 연구원
 <주관심분야 : 로봇비전>



박 민 용(평생회원)
 1973년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1977년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1982년 일본 동경대학교 전자공학
 과 박사 졸업.
 1977년~1982년 일본 동경대학교 의용전자연구소
 1982년 미국 MIT & BERKELEY연구소
 1982년~현재 연세대학교 전기전자공학과 정교수
 <주관심분야 : 퍼지제어, 로보틱스, 의용전자>



정 문 호(정회원)
 1994년 KAIST 자동화 및 설계
 공학과 학사 졸업.
 1996년 KAIST 자동화 및 설계
 공학과 석사 졸업.
 2002년 일본오사카대학교 전자
 제어 기계공학 박사 졸업.
 2010년~현재 광운대학교 전자정보공학대학
 로봇학부 조교수
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 시각 기반 로보틱
 스>