

논문 2007-44CI-1-8

신경망과 Mean-shift를 이용한 눈 추적

(Eye Tracking Using Neural Network and Mean-shift)

강 신 국*, 김 경 태**, 신 윤 회**, 김 나 연**, 김 은 이***

(Sin Kuk Kang, Kyung-tai Kim, Yunhee Shin, Na Yeon Kim, and Eun Yi Kim)

요 약

본 논문은 신경망 (neural network: NN)과 mean-shift알고리즘을 이용하여 복잡한 배경에서 사용자의 눈을 정확히 추출하고 추적할 수 있는 눈 추적 시스템을 제안한다. 머리의 움직임에 강건한 시스템을 개발하기 위해서 먼저 피부색 모델과 연결 성분분석을 이용하여 얼굴영역을 추출한다. 그 다음 신경망기반의 텍스처 분류기를 이용하여 얼굴 영역(face region)을 눈 영역(eye region)과 비눈 영역(non-eye region)으로 구분함으로써 눈을 찾는다. 이러한 눈 검출 방법은 안경의 착용 유무에 상관없이 사용자의 눈 영역을 정확히 검출 할 수 있게 한다. 일단 눈 영역이 찾아지면 이후 프레임에서의 눈 영역은 mean-shift알고리즘에 의해 정확하게 추적된다. 제안된 시스템의 효율성을 검증하기 위해서 제안된 시스템은 눈의 움직임을 이용한 인터페이스 시스템에 적용되었고, 이 인터페이스를 이용한 'aliens game'이 구현되었다. 25명의 사용자에게 대해 실험한 결과는 제안된 시스템이 보다 편리하고 친숙한 인터페이스로 활용될 수 있다는 것을 보여주었으며, 또한 320×240 크기의 영상을 초당 30프레임의 빠른 속도로 처리함으로써 실시간 시스템에 적용될 수 있음을 보여주었다.

Abstract

In this paper, an eye tracking method is presented using a neural network (NN) and mean-shift algorithm that can accurately detect and track user's eyes under the cluttered background. In the proposed method, to deal with the rigid head motion, the facial region is first obtained using skin-color model and connected-component analysis. Thereafter the eye regions are localized using neural network (NN)-based texture classifier that discriminates the facial region into eye class and non-eye class, which enables our method to accurately detect users' eyes even if they put on glasses. Once the eye region is localized, they are continuously and correctly tracking by mean-shift algorithm. To assess the validity of the proposed method, it is applied to the interface system using eye movement and is tested with a group of 25 users through playing a 'aliens games.' The results show that the system process more than 30 frames/sec on PC for the 320×240 size input image and supply a user-friendly and convenient access to a computer in real-time operation.

Keywords: Eye Tracking system, neural network, mean-shift algorithm, human-computer interaction

I. 서 론

컴퓨터 및 PDA와 같은 장치와 게임과 같은 응용 프로그램에서 입력수단 또는 제어장치로 사용되는 제스처

(gesture) 기반 인터페이스는 지난 몇 년 동안 많은 연구자들에 의해 관심을 받고 있는 연구분야이다^[1-3].

제스처 기반인터페이스에서 제스처는 사용자의 손 및 몸의 움직임, 또는 눈의 깜빡임, 머리의 움직임 등과 같은 물리적인 동작들에 의해서 만들어진다. 그 중에서 높은 의사전달력이 있는 제스처는 눈의 응시점(gaze direction) 및 눈의 깜빡임(eye blinking)과 같은 눈의 움직임이다.

이런 이유로 눈의 움직임을 이용한 인터페이스는 많은 관심을 받고 있으며 이와 관련된 시스템들이 많이 개발되고 있다. 눈의 움직임을 이용한 시스템들은 크게 두 가지로 분류될 수 있는데 하나는 장치기반 기술

* 학생회원, 서울대학교 컴퓨터공학부
(School of Computer Science & Engineering, Seoul National University)

** 학생회원, 건국대학교 컴퓨터정보통신공학과
(Dept. of Computer Eng. Konkuk University)

*** 정회원, 건국대학교 인터넷미디어공학부
(Dept. of Internet and Multimedia Engineering, NITRI, Konkuk University)

접수일자: 2006년10월28일, 수정완료일: 2007년1월4일

(device-based technique)이고 다른 하나는 비전기 기반 기술(vision-based technique)이다^{14,7)}. 장치기반 기술은 사용자가 착용하는 안경, 머리띠, 모자 등에 적외선 혹은 초음파를 방출하는 장치를 달고 착용한 사용자의 움직임에 따른 초음파와 적외선의 변화를 보고 움직임을 측정한다. 비전기 기반 기술은 장치기반 기술과는 달리 카메라로 얻어진 영상을 처리함으로써 사용자의 얼굴 및 얼굴 특징들을 검출하여 이들의 움직임을 이용해 장치를 제어한다. 이러한 비전기 기반 기술은 장치기반 기술에 비해 비접촉적(non-intrusive)이기 때문에 사용하기 편리하고 또한 추가적인 장비를 필요로 하지 않기 때문에 가격 면에서 저렴하다는 장점을 가진다.

이런 비전기 기반 기술을 실제 응용하기 위해서는, 얼굴과 눈 영역의 자동적인 검출과 추적이 필수적이다. 하지만 대부분의 시스템들에서는 초기 눈의 위치나 얼굴 위치를 수동적으로 정해주거나 몇 가지 제약조건을 사용하고 있다. 예를 들어 Kurata et al.은 추적해야 될 얼굴 특징의 위치를 마우스 클릭을 이용하여 초기에 설정하고, Takami et al.은 초기 몇 초 동안 사용자가 눈만을 깜빡이도록 한 후, 연속된 프레임의 차영상을 이용하여 눈 영역을 검출하도록 하였다^{18, 9)}. 이 외에도 대부분의 시스템들은 추적을 쉽게 하기 위해서 몇 가지 제약조건을 세웠고 이중가장 널리 사용되는 조건은 다음의 3가지이다. 첫 번째로 얼굴은 정면을 바라보아야 한다는(front facial view) 것이다. 두 번째 조건은 얼굴 앞면에 수염 같은 얼굴을 가리는 체모가 있으면 안 된다는(no facial hair) 것이다. 세 번째 조건은 사용자는 안경을 착용하면 안된다는(no glasses) 것이다. 지금까지 언급한 제약 조건 및 초기화 조건을 이용하지 않는 자동 실시간 시스템의 구현을 위해서 본 논문에서는 신경망과 mean-shift 알고리즘을 이용한 새로운 눈 추적 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 복잡한 배경에 상관없이 눈 영역을 정확하게 검출하고 추적할 수 있다. 이를 위해 제안된 눈 추적 시스템은 얼굴 추출기, 눈 검출기, 눈 추적기로 구성된다. 먼저 얼굴 추출기는 피부색 모델과 연결 성분분석을 이용하여 얼굴영역을 추출한다. 그 다음 복잡한 배경과 안경 착용 유무에 상관없이 눈을 정확하게 찾기 위해서 텍스처 분류기를 이용하여 눈 영역을 검출한다. 텍스처 분류기로 신경망이 사용되고, 이를 이용해 각각의 화소를 눈 영역(eye region)과 비눈 영역(non-eye region)으로 분류함으로써 눈 영역을 검출한다. 마지막으로 눈 추적기에서는 찾아진 눈 영역을 정확히 추적하기 위해서, 연속된 프

레이스에서 mean-shift 알고리즘을 이용한다.

제안된 시스템의 효율성을 검증하기 위해서 먼저 제안된 시스템을 이용하여 눈의 움직임기반의 인터페이스 시스템을 개발하였고, 이 인터페이스를 이용한 'aliens game'을 구현하였다. 25명의 사용자에게 제안된 시스템을 테스트한 결과는 제안된 시스템이 시간에 따라 변화는 조명변화에 강건하고 안경에 의해 반사되는 빛(specular reflection)에 덜 민감하다는 것을 보여주었다. 실험결과는 또한 제안된 시스템이 사람의 의사소통수단으로 사용되는데 편리하고 친숙한 인터페이스로 활용될 수 있음을 보여주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 피부색 모델을 사용하여 얼굴 영역을 추출하는 방법을 기술하고 III장에서는 제안된 눈 영역 검출방법에 대해 자세히 설명한다. 검출된 눈 영역의 추적 방법이 IV장에서 설명된다. 제안된 시스템의 실험결과는 V장에서 보여지고 결론과 향후 연구방향은 VI장에서 설명한다.

II. 피부색 기반 얼굴 추출

얼굴 영역을 추출하기 위해 가장 일반적인 방법인 피부색 모델을 이용한다. 본 논문에서는 chromatic color를 사용하여 피부색 모델을 표현한다¹⁰⁻¹³⁾. Chromatic color space는 RGB값들을 밝기 값으로 표준화(normalizing)한 색 표현법으로 r, g, b 색의 3가지 요소를 밝기($\frac{r+g+b}{3}$) 값으로 나눔으로써 밝기 값을 제거한 색 표현법이다.

그림 1에서는 chromatic color space에서 60개의 영상에서 얻어진 사람 얼굴 영역의 분포를 보여준다. 그림에서 보여지듯이 피부 색 분포는 chromatic color space에서 작은 영역으로 분류될 수 있으며, 이는 2차원 정규분포로 근사화 됨을 알 수 있다. 따라서 제안된 시스템에서는 일반화된 피부색 모델을 2차원 정규분포 $G(m, \Sigma^2)$ 로 표현하며 이때 분포의 변수는 다음과 같다.

$$m = (\bar{r}, \bar{g}), \quad \bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i, \quad \bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i, \quad \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{rr} & \sigma_{rg} \\ \sigma_{gr} & \sigma_{gg} \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)에서 \bar{r} 와 \bar{g} 은 피부색 분포에서 색상 r 과 g 의 평균이고 Σ^2 은 피부색 분포의 공분산 행렬(covariance matrix)을 나타낸다.

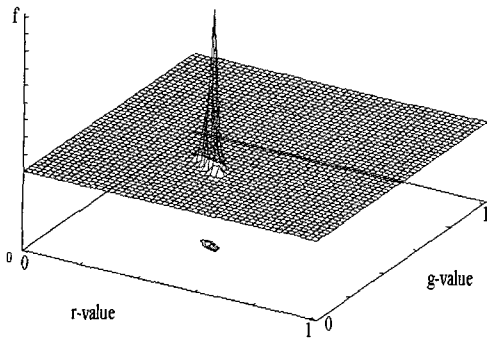


그림 1. Chromatic color space에서 사람 얼굴의 색 분포
 Fig. 1. The color distribution of human faces in chromatic color space.

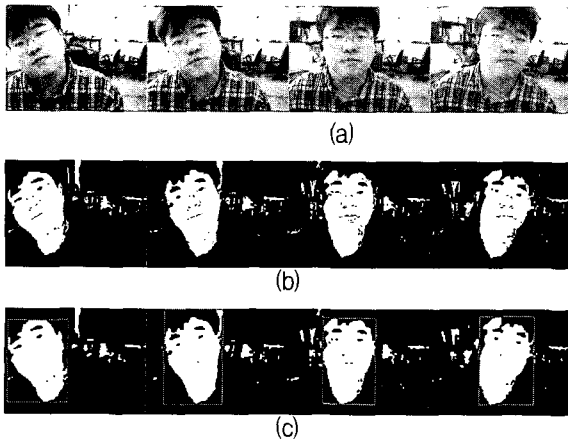


그림 2. 얼굴 검출 결과. (a) 원 영상, (b) 피부색 검출 결과, (c) 추출된 얼굴 영역
 Fig. 2. Face detection results (a) original images (b) a face color images, (c) face regions.

피부색 모델이 얻어지면 피부색 모델을 입력영상에 정합하여 얼굴 영역을 찾는다. 영상에서 각 화소의 색을 chromatic color space로 변환하고 피부색 모델의 분포와 그림 2(b) 같은 이진영상을 얻는다.

그림에서 보이듯이, 이진영상에는 노이즈와 불필요한 작은 영역들이 포함되어 있다. 이를 제거하기 위해서 연결 성분 분석을 수행한다. 연결 성분의 영역크기를 이용하여, 작은 영역들은 모두 제거 되고, 영역 중에서 가장 큰 영역이 얼굴영역으로 간주한다. 그림 4(c)영상에서 흰색은 얼굴 영역이고 검은색은 배경 영역이다. 그림 2(c)는 얼굴로 추출된 영역을 보여준다.

III. 피부색 기반 얼굴 추출

제안된 시스템의 목적은 얼굴영역에서 눈 영역을 찾고, 찾은 눈 영역을 연속된 프레임에서 정확하게 추적

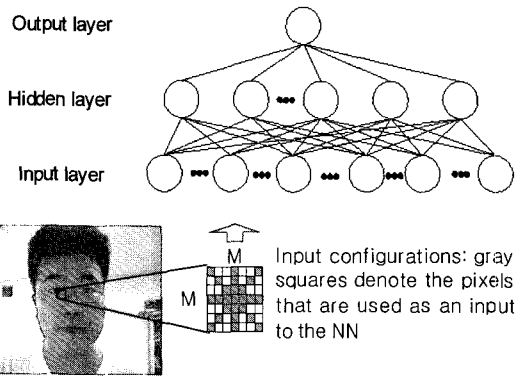


그림 3. 제안된 신경망 기반의 눈 검출 시스템의 개요
 Fig. 3. The overview of the proposed NN-based eye detection method.

하는 것이다. 일반적으로 눈 영역은 다음과 같은 특성을 가진다. 첫 번째는 눈은 흰 눈자위와 검은 눈동자 사이의 높은 밝기 차이를 가지고 있다는 것이다. 두 번째는 눈은 얼굴영역에서 윗부분에 위치한다는 것이다. 이런 눈의 특성들을 이용하면 문제의 복잡도를 감소시킬 뿐만 아니라 얼굴 전체 영역에서 눈 영역을 구별하는데 도움이 된다.

제안된 시스템은 다양한 환경에서 얼굴영역을 눈 영역과 비눈 영역으로 자동적으로 구별하기 위해서 신경망기반의 텍스처 분류기를 사용한다. 신경망은 얼굴의 위쪽 영역의 모든 화소들을 검사함으로써 얼굴영역을 눈과 비눈 영역으로 구별한다. 신경망은 화소를 분류하기 위해 분류할 화소와 그 이웃한 작은 윈도우에 있는 모든 화소들의 밝기값들을 입력으로 받는다. 신경망의 결과는 입력 윈도우의 중심 화소의 눈 영역여부를 결정한다. 그림 3은 제안된 신경망 기반의 눈 검출 시스템의 개요를 보여준다.

제안된 신경망은 입력층, 은닉층, 출력층 3개의 층으로 구성되며 이들 사이는 완전연결(fully connected)되어 있다. 신경망의 입력층은 57개의 노드를 가지며 은닉층은 33개의 노드 그리고 출력층은 1개의 노드를 가진다. 신경망은 역전파(Back-propagation) 알고리즘을 사용하여 학습한다. 모멘텀과 학습율은 각각 0.2와 0.5이다. 데이터로 주어진 수백장의 눈 이미지와 비눈 이미지는 제안된 신경망의 학습규칙에 따라서 가중치가 조정되며 시스템은 학습된 신경망을 바탕으로 입력으로 들어오는 영상을 분류한다.

1. 텍스처 분류

제안된 시스템의 기본 가정은 얼굴영역에서 눈은 구

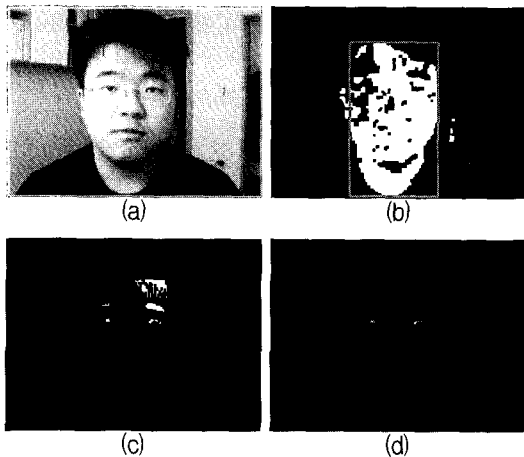


그림 4. 눈 검출 예제. (a) 원 영상, (b) 피부색모델로 추출된 얼굴 영역 (c) 신경망으로 분류된 영상, (d) 후처리로 검출된 눈 영역

Fig. 4. A example of eye detection. (a) a original image, (b) a face region, (c) a classified image, (d) eye regions.

별되는 특정 텍스처를 가지고 있기 때문에 쉽게 검출될 수 있다는 것이다. 텍스처를 나타내는 가장 간단한 방법은 gray-level값을 이용하는 것이다. 이 방법은 영상을 처리할 때 특징을 뽑아내는데 필요한 계산과정을 필요로 하지 않는다는 장점이 있다. 하지만 신경망의 입력으로 특정 윈도우 내에 있는 모든 화소들이 밝기를 이용하기 때문에, 입력 벡터의 크기가 크다는 단점이 존재한다. 따라서 입력윈도우에 있는 모든 화소를 입력으로 사용하는 것이 아니라 제안된 시스템에서는 그림 3에서 보듯이 전체 화소들 중에서 몇 개의 화소를 선택하여 신경망의 입력으로 사용하기로 한다^[14]. 이러한 방법을 통해 특징 벡터의 크기는 전체 창의 크기인 M2에서 (4M-3)로 줄여들고 이로 인해 결과적으로 신경망 분류기의 성능과 분류속도는 향상된다.

학습 후에 신경망의 출력은 0과 1사이의 실수 값으로 표현된다. 어떤 한 화소에 대한신경망 출력 노드 값을 보고서 그 화소의 클래스를 결정한다. 만약 신경망의 출력이 임계치 값보다 크면 눈 영역으로 분류하고 그렇지 않으면 비 눈 영역으로 분류한다. 이 과정을 검출된 얼굴의 윗부분 영역에 반복적으로 수행해서 이를 통해 최종적으로 텍스처 분류결과가 얻어진다.

그림 4는 신경망 분류기를 이용한 눈 검출 예를 보여 준다. 그림 4(a)는 원 영상이고 그림 4(b)는 추출된 얼굴영역을 나타낸다. 그림 4(c)는 추출된 얼굴영역에서 검출된 신경망으로 분류된 눈 영역에 대응되는 화소들이다. 그림 4(c)에서 두 눈 영역이 정확히 추출된 것을

볼 수 있지만 몇 가지 비 눈 영역이 눈 영역으로 잘못 분류된 것을 볼 수 있다.

2. 후처리

Bootstrap method를 사용하여 눈 영역을 검출함에도 불구하고, 그림 4(c)에서 보이듯이 신경망분류기로 검출된 결과는 많은 오 추출(false alarms)을 포함한다. 이는 눈 영역과 유사한 텍스처를 가진 영역, 즉, 고주파 성분을 가지고 주변과 높은대비를 가지는 영역들은 눈 영역으로 잘못 분류하기 때문이다. 이를 제거하기 위해서 연결 성분 분석을 사용한다. 생성된 각 연결 성분의 크기, 위치와 같은 특성들을 이용하여 잘못 분류된 영역들을 제거한다. 이러한 후처리를 위해 다음의 두 가지 단계를 적용한다.

(1) 연결 성분의 면적, 필팩터, 수평, 수직 등을 이용한 필터링

- 가로 길이 > 최소 가로 길이
- 미리 정한최대면적(max_area) > 연결 성분의 면적 > 미리 정한최소면적(min_area)
- 연결 성분의 필팩터크기 > 미리 정한 최소필팩터 크기(min_filter)

(2) 눈 영역간의 위치 정보를 이용한 필터링

- 서로 인접한 눈 후보들의 수평으로 기울어진 각도 < 미리 정한 회전각도(rotation angel)

이 두 가지 휴리스틱 정보를 이용하여 잘못 분류된 영역을 필터링한다. 그림 4(d)는 그림 4(c)를 후처리한 결과이다. 그림 4(d)에서 최종적으로 검출된 눈 영역은 흰색으로 표시되어 있다.

IV. Mean-Sift 기반의 눈 추적

Mean-shift 알고리즘은 object score distribution의 가장 가까운 모드(mode)를 찾는 비매개 변수적(non-parametric) 방법이다. 제안된 시스템에서는 이러한 mean-shift 알고리즘을 사용하여 눈 영역을 추적한다. 제안된 시스템에서는 검출된 눈동자의 색 분포 Pm이 object score distribution으로 사용된다. Pm은 $Pm(gs) = -\frac{1}{2\pi\sigma} \exp(-\frac{(gs-\mu)^2}{2\sigma^2})$ 으로 표시하며 여기서, μ 는 40, 는 σ 4이다.

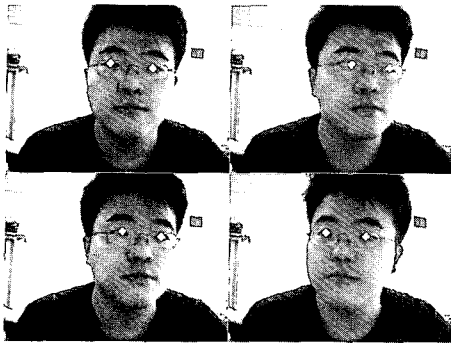


그림 5. 눈 추적 결과

Fig. 5. Eye tracking results.

$$m_{n+1} = \sum_{s \in W} P_m(g_s) \cdot s / \sum_{s \in W} P_m(g_s) \quad (2)$$

Mean-shift 알고리즘에서 탐색 윈도우의 크기는 일반적으로 물체의 크기에 따라서 결정된다. 하지만 이러한 고정된 크기의 탐색윈도우를 사용하는 방법은 영상 안에서 물체의 움직임이 작을 경우에만 좋은 결과를 나타낸다. 반면 검색 윈도우의 크기가 물체의 움직임보다 작을 때는 물체를 추적하는데 실패한다.

따라서 mean-shift 알고리즘에서 검색 윈도우의 가로크기($W_{width}^{(t)}$)와 세로크기($W_{height}^{(t)}$)는 다음과 같이 물체의 움직임의 정비례로 결정된다.

$$\begin{aligned} W_{height}^{(t)} &= \max(\alpha(|m_x^{(t-1)} - m_x^{(t-2)}| - B_{height}), 0) + \beta B_{height} \\ W_{width}^{(t)} &= \max(\alpha(|m_x^{(t-1)} - m_x^{(t-2)}| - B_{width}), 0) + \beta B_{width} \end{aligned} \quad (3)$$

$(t > 2)$

(3)에서 α 와 β 는 상수이고 t 는 프레임의 색인이다. 이러한 적응형 탐색 윈도우의 사용은 매우 빠르게 움직이는 물체의 정확한 추적을 가능하게 한다.

그림 5는 시스템을 이용한 최종적인 눈 추적 결과를 보여준다. 영상위에 표시된 흰 점들은 시스템을 이용하여 찾아진 눈 영역이다. 각 영상에서 2개의 눈동자를 동시에 추적한다. 그림에서 보듯이 제안된 시스템은 눈 영역을 정확하게 추적하고 있다.

V. 실험 결과

제안된 눈 추적시스템의 성능을 평가하기 위해서 제안된 시스템을 눈의 움직임을 이용하여 명령을 내리는 인터페이스에 적용하였다. 그림 6은 PC카메라와 노트

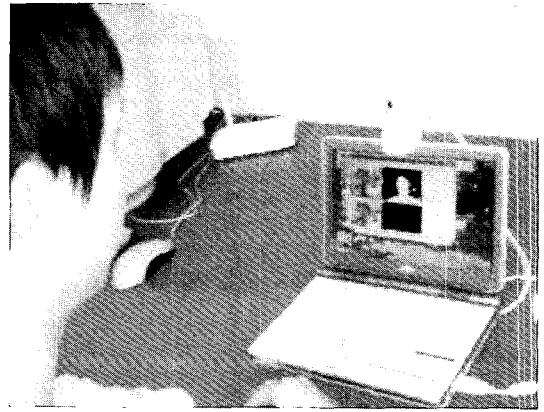


그림 6. 제안된 눈 추적 시스템을 응용한 인터페이스

Fig. 6. Eye mouse interface using proposed eye tracking system.



그림 7. 복잡한 환경에서 눈 추적 결과

Fig. 7. Eye tracking results in the complex scene.

북으로 구성된 인터페이스를 보여준다. PC카메라로 들어오는 영상을 제안된 시스템을 이용하여 마우스 대신 사용하게 된다.

실험은 윈도우 XP기반의 펜티엄4 1.7GHz의 성능을 가지는 컴퓨터에서 수행하였다. PC카메라는 USB포트로 컴퓨터와 연결되며 320×240 영상을 초당 30 프레임의 속도로 컴퓨터에 공급한다. 컴퓨터는 PC카메라로부터 얻어진 영상을 제안된 눈 추적 시스템으로 처리함으로써 사용자의 눈 움직임 추적한다. 이렇게 추적된 눈의 위치는 위치들의 변화를 계산하여 마우스 움직임으로 나타내었다..

그림 7은 시스템을 여러 사람들에게 적용한 결과를 보여준다. 실험을 위해서 25명의 사람이 다양한 환경에서 제안된 시스템을 테스트하였다. 제안된 시스템은 실험 결과에서 100프레임 동안 한 번의 실수 없이 눈 영역을 정확하게 추적하였다.

Betke등은 비전 기반 인터페이스의 수량적인 평가를 위해서 'aliens game'라 불리는 게임을 이용하였다^[15]. 각각의 사용자들은 테스트 하기 전에 시스템이 어떻게 동작하는지 설명을 듣고 10분 동안 제안된 시스템을 이용하여 마우스 커서를 움직이는 연습을 하였다. 사용자들에게 10분 동안의 연습시간을 시스템 조작법을 배우는 충분한 시간으로 받아들였다.

그림 8은 'aliens game'을 보여준다. 이 'aliens game'은 외계인이 스크린상의 임의의 위치에 나타날 때 마우스 커서를 외계인이 있는 곳으로 움직여서 잡는 게임이다. 각 사용자는 'aliens game'에서 일반 마우스와 제안된 시스템을 이용하 대해 실험한 결과 제안된 방법은 모든 스크래치의 자동 검출 문제에 강건하고 효율성을 가진다는 것이 입증되었다.

표 1은 'aliens game'에서의 일반 마우스와 눈 마우스의 시간비교를 보여준다. 표에서 보듯이 외계인을 잡는 평균속도에서 일반 마우스는 눈 마우스에 비해 약 3배 정도 빨랐고 편차가 눈 마우스에 비해 적어서 좀더 안정적으로 동작한다는 것을 볼 수 있다.

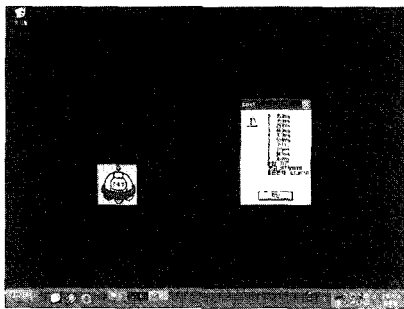


그림 8. Alines game
Fig. 8. Alines game.

표 1. 'aliens game'에서 눈 마우스와 일반 마우스의 시간비교

Table 1. Timing comparison between regular mouse and eye mouse.

방법	단위	시간/초
눈 마우스	평균	1.67s
	편차	0.21s
일반 마우스	평균	0.44s
	편차	0.07s

제안된 시스템은 PC카메라로부터 얻어진 320×240 크기의 영상에서 눈 영역을 초당 30프레임의 속도로 추적하였다. 이것은 눈 마우스가 실시간 시스템에 적용되기에 충분하다는 것을 보여주었다. 따라서 제안된 시스템은 사용자와 컴퓨터 시스템 사이에 상호정보를 교환하는 곳에서 효과적으로 사용될 수 있다. 또한 구현된 시스템은 부가적인 장비없이 일반적인 컴퓨터와 PC카메라로 구성되므로 다른 방법에 비해서 저렴한 비용으로 시스템을 구축할 수 있다. 결론적으로 실험결과가 이 시스템이 몸이 불편한 사람을 위한 인터페이스 및 여러 응용 프로그램에서 일반적인 사용자 인터페이스로 사용될 수 있음을 보여준다.

VI. 결 론

본 논문은 신경망과 mean-shift 알고리즘을 이용하여 눈 추적하는 방법을 제안하였고 이를 이용하여 마우스를 움직이는 시스템을 구현하였다. 제안된 눈 추적 시스템은 얼굴 추출기, 눈 검출기, 눈 추적기, 3가지로 구성된다. 얼굴 추출기는 피부색 모델과 구성 요소분석을 이용하여 사용자의 움직이는 얼굴영역을 추출하고 눈 검출기는 추출된 얼굴영역에서 신경망 기반 텍스처 분류기를 이용하여 눈 영역을 검출한다. 눈 추적기는 찾아진 눈 영역을 연속된 프레임에서 mean-shift 알고리즘을 이용하여 추적한다.

제안된 시스템은 25명의 사람들이 테스트하였고 실험 결과는 제안된 시스템의 다음과 같은 장점을 보여준다. 첫 번째로 시간에 따른 조명변화에 강건하다는 것이다. 두 번째로 거울에 의한 빛 반사에 덜 민감하다는 것이다. 세 번째로 낮은 해상도의 영상도 잘 처리한다는 것이다. 제안된 시스템은 사용자의 인터페이스와 다른 응용에 적용하기에 충분히 빠르지만 일반적인 마우스에 비해서 느리다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이후 연구는 제안된 시스템의 속도를 일반 마우스의 속도로 개선하는데 투자할 것이다.

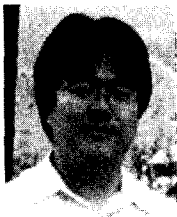
참 고 문 헌

[1] William T. Freeman and C. D. Weissman. : Television control by hand gestures. *IEEE international workshop on automatic face and gesture recognition*, 1995.

[2] Alois Ferscha, Stefan Resmerita, Clemens Holzmann and Martin Reicho, : *Orientation*

- sensing for gesture-based interaction with smart artifacts. *Computer Communications*, Volume 28, Issue 13, 2 August 2005, Pages 1552-1563
- [3] Hyun Kang, Chang Woo Lee and Keechul Jung, : Recognition-based gesture spotting in video games. *Pattern Recognition Letters*, Volume 25, Issue 15, November 2004, Pages 1701-1714
- [4] Jacob, Robert J. K.: Human-computer interaction: Input devices. *ACM Computing Surveys*, Vol. 28, No. 1 (1996).
- [5] Sharma, R., Pavlovic, V.I., Huang, T.S.: Toward multimodal human-computer interface. *Proceedings of the IEEE* , Volume: 86 , Issue: 5 (1998) 853-869
- [6] Kaufman, Arie E., Bandopadhyay, Amit., Shaviv, Bernard D.: An Eye Tracking Computer User Interface. *Virtual Reality*, 1993. *Proceedings., IEEE 1993 Symposium on Research Frontiers in , 25-26 (1993).*
- [7] Scassellati, Brian.: Eye finding via face detection for a foveated, active vision system. *American Association for Artificial Intelligence*. (1998).
- [8] Kurata, Takeshi., Okuma, Takashi., Kourogi, Masakatsu., Sakaue, Katsuhiko.: The Hand Mouse: GMM Hand-color Classification and Mean Shift Tracking. In Proc. *Second International Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real-time Systems (RATFG-RTS 2001)* 119-124
- [9] Takami, N., Irie, Kang C., Ishimatsu, T., Ochiai, T.: Computer interface to use head movement for handicapped people. *TENCON '96. Proceedings. 1996 IEEE TENCON. Digital Signal Processing Applications* , Volume: 1 , 26-29 Nov. vol. 1 (1996) 468-472
- [10] Sako, H., Whitehouse, M., Smith, A., Sutherland, A.: Real-time facial-feature tracking based on matching techniques and its applications. *Pattern Recognition*, 1994. Vol. 2-Conference B: *Computer Vision & Image Processing., Proceedings of the 12th IAPR International. Conference on* , Volume: 2 , 9-13 vol.2 (1994) 320-324
- [11] Kim, Sang-Hoon., Kim, Hyoung-Gon., Tchah, Kyun-Hyon.: Object oriented face detection using range and color information. *Electronics Letters* , Volume: 34 , Issue: 10, 14 (1998) 979 - 980
- [12] Schiele, Bernet., Waibel, Alex.: Gaze Tracking Based on Face-Color. *School of Computer Science, Carnegie Mello University* (1995).
- [13] Yang, Jie., A., Waibel.: A real-time face tracker. *Applications of Computer Vision*, 1996.
- WACV '96., *Proceedings 3rd IEEE Workshop on , 2-4 (1996)* 142-147
- [14] Chan A. D. C., Englehart K., Hudgins B., and Lovely D. F. : Hidden markov model classification of myoelectric signals in speech. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 21, no. 4, pp. 143 - 146, 2002.
- [15] Betke, M., Gips, J., Fleming, P.: The camera mouse: visual tracking of body features to provide computeraccess for people with severe disabilities. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on [see also IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering]*, Volume: 10 , Issue: 1. (2002) 1-10

저 자 소 개



강 신 국(학생회원)
2002년 경북대학교 컴퓨터공학과
학사 졸업.
2005년 경북대학교 컴퓨터공학과
석사 졸업.
2006년 서울대학교 컴퓨터공학부
박사 재학

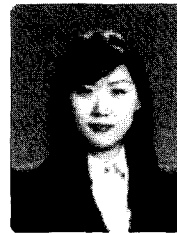
<주관심분야: 영상처리, 컴퓨터그래픽스>



김 경 태(학생회원)
2005년 배재대학교 IT공학부
학사 졸업.
2006년 건국대학교 컴퓨터정보
통신공학과 석사 재학.
<주관심분야: 영상처리, 패턴인식,
컴퓨터 비전>



신 윤 희(학생회원)
2006년 건국대학교 인터넷미디어
공학과 학사 졸업.
2006년 건국대학교 컴퓨터정보
통신공학과 석사 재학.
<주관심분야: 영상처리, 패턴인식,
컴퓨터 비전>



김 나 연(학생회원)
2006년 건국대학교 인터넷미디어
공학과 학사 졸업.
2006년 건국대학교 컴퓨터정보
통신공학과 석사 재학.
<주관심분야: 영상처리, 패턴인
식, 컴퓨터 비전>



김 은 이(정회원)
2001년 경북대학교 컴퓨터공학과
박사 졸업
2002년~현재 건국대학교 인터넷
미디어공학부 교수
<주관심분야: 컴퓨터 비전, 패턴
인식, 사용자 인터페이스, 디지털
콘텐츠, 생체인증시스템>