

# 명암 가중치를 이용한 공간 모멘트기반 눈동자 추적

최우성\* · 이규원\* · 김관섭\*\*

\*대전대학교, \*\*(주)아이코리아

Tracking of eyes based on the spatial moment using weighted gray level

Woo-Sung Choi\* · Kyu-Won Lee\* · Kwan-Seop Kim\*\*

\*Dept. of Information & Communications Engineering, Daejeon University

\*\*IKOREA Co., Ltd

E-mail : woosung@dju.kr kwlee@dju.kr

## 요 약

본 논문에서는 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트를 이용하여 복잡한 배경에서 사용자의 눈을 정확히 추출하고 추적할 수 있는 눈 추적 시스템을 제안한다. CCD 카메라를 활용하여 촬영한 입력영상으로부터 눈 영역을 찾기 전에 관심영역을 최소화하기 위하여 Haar-like feature를 이용하여 얼굴영역을 검출한다. 그리고 주성분 분석의 고유 얼굴 기반인 고유 눈을 이용하여 눈 영역을 검출한다. 또한 눈 영역에서 가장 어두운 부분으로부터 눈의 특징 점을 찾고, 명암 가중치를 적용한 반복 수렴 공간 모멘트를 이용하여 정확한 눈동자 추적을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, an eye tracking method is presented by using on iterated spatial moment adapting weighted gray level that can accurately detect and track user's eyes under the complicated background. The region of face is detected by using Haar-like feature before extracting region of eyes to minimize an region of interest from the input picture of CCD camera. And the region of eyes is detected by using eigeneye based on the eigenface of Principal component analysis. And then feature points of eyes are detected from darkest part in the region of eyes. The tracking of eyes is achieved correctly by using iterated spatial moment adapting weighted gray level.

## 키워드

Eye Tracking system, Haar-like feature, principal component analysis, spatial moment

## 1. 서 론

컴퓨터 기술이 발전함에 따라서 사용자의 편의성을 증대시키기 위한 연구가 계속되고 있다. HCI(Human Computer Interface) 기술은 키보드, 마우스 등의 일반적인 입력 인터페이스 장비를 이용한 상호작용을 넘어서 좀 더 사용자 친화적인 인터페이스를 위하여 사람의 제스처 인식, 음성 인식, 필기체 인식 등의 다양한 신체 정보들을 이용하여 사람과 컴퓨터와의 상호작용 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.[1] 특히 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 연구 분야이다. 제스처 기반 인터페이스에서 제스처는 사용

자의 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.[2]

본 논문에서는 일반인 뿐만 아니라 장애인들에게도 가장 높은 의사 전달력이 있는 제스처를 눈의 움직임이라고 판단하여 눈동자의 시선 추적 시스템을 제안한다. 이 시스템은 사용자의 시선 위치에 따른 화면 제어 및 기업분야에서의 소비자 관심 정보 테스트 그리고 의료분야에서도 많은 활용이 가능하다. 제안된 시스템의 효율성을 검증하기 위해서 먼저 제안된 시스템을 이용하여 눈의 움직임기반의 인터페이스 시스템을 구현하였다. 그리고 30명의 사용자에게 대해 제안된 시스템을 실험한 결과 복잡한 배경에서 높은 눈동자

추적률을 보여주었고, 제안된 시스템이 사람의 의사소통수단으로 편리하게 활용될 수 있음을 보여주었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 명암 가중치를 적용한 공간 모멘트기반 눈동자의 시선 추적에 대해 설명하고, 제안된 시스템의 실험 및 결과 고찰은 3장에서 보여 지고 마지막으로 4장에서는 결론을 제시한다.

## 2. 공간 모멘트기반 눈동자의 시선 추적

### 2-1. 전체 시스템 개요

본 논문에서 제안하는 전체 알고리즘 흐름도는 그림 1 과 같다. 일반 웹캠을 통해 영상이 입력되면 Adaptive Boosting(AdaBoost) 학습 알고리즘의 Haar-like Feature를 사용하여 얼굴 영역을 검출하고,[3] 얼굴 영역 안의 눈 영역을 검출하기 위해 주성분 분석의 고유얼굴(eigenfaces)기반인 Eigeneye를 사용하였다.[4] 눈동자를 추적하기 전에 관심 영역이 최소화된 눈 영역 영상을 공간 모멘트를 이용하여 눈동자를 1차적으로 추적한다. 그리고 정확한 눈동자의 시선을 추적하기 위해 전 단계에서 추적한 눈동자의 위치인 무게 중심점의 밝기 값 T를 이용하여 T와 비슷한 밝기 값의 범주 안에 있는 픽셀들로만 구성된 눈 영역 영상에서 형태학적 열림(morphology opening) 연산을 한 후 공간 모멘트를 하여 눈동자를 추적한다. 전 단계에서 추적한 눈동자의 히스토리 정보와 명암 가중치를 적용한 공간 모멘트로 추적한 눈동자의 픽셀 좌표 값이 일치하거나 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 이용한 특정 범위 안에 들어 올 때까지 반복하여 정확한 시선을 추적한다.

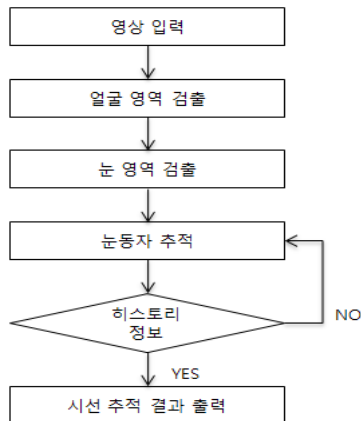


그림 1. 전체 시스템 흐름도

### 2-2. 얼굴 영역 검출 알고리즘

SVM(Support Vector Machines)[5]이나 신경망(Neural Network)[6]을 이용한 검출기는 구별 능력이 매우 뛰어난 것으로 알려져 있지만 처리 속도가 느린 단점을 가지고 있기 때문에 실시간 처

리를 요구하는 제안 시스템에서는 입력 영상에서 얼굴 영역을 검출하기 위해 Haar-like Feature를 사용하였다.[3] Haar-like Feature는 Haar Wavelet Transform에 기본 원리를 두고 있다. 이는 데이터를 분할하거나 압축하는 방법으로 적은 에러를 가지고 재구성을 할 수 있는 손실 기법중의 하나이다. 본 문에서는 픽셀 자체를 이용하는 것보다 영상이 가지고 있는 특징을 더 잘 압축할 수 있는 Haar-like Feature를 얼굴 영역을 검출하는 인식자로 사용하였다. Haar-like Feature로 얼굴 영역을 검출한 결과는 그림 2와 같다.



그림 2. 얼굴 영역 검출 결과

### 2-3. 눈 영역 검출 알고리즘

템플릿 매칭을 이용한 눈 영역 검출기는 처리 속도가 뛰어난 것으로 알려져 있지만 눈동자의 위치 변화로 인한 구별 능력이 떨어지는 단점을 가지고 있기 때문에 얼굴 영역 영상에서 눈 영역을 검출하기 위해 정보의 손실이 거의 없이 차원의 감소, 특징 추출 기능이란 장점을 가지고 있는 주성분 분석(principal component analysis)을 사용하였다.[4] 통계학에서 주성분 분석은 데이터 집합을 분석하는 기법 가운데 하나이며, 데이터의 차원 축소에 일반적으로 사용되는 통계학적인 분석 방법이다. 얼굴 영역 안의 눈 영역을 검출하기 위해 주성분 분석에서 고유얼굴을 사용하였다. 고유얼굴이란 얼굴영상의 고유벡터를 말한다. 고유얼굴을 사용하여 눈 영역을 검출하는 방법은 Eigeneye라고도 한다. Eigeneye로 눈 영역을 검출하기 전에 전처리과정으로 양쪽 두 눈 영역(original database)을 훈련시켜야 한다. 훈련에 사용되는 눈 영역 데이터베이스는 왼쪽과 오른쪽 각각 10프레임으로 눈동자의 시선은 각각 다르게 한다. 그림 3은 눈 영역을 검출한 결과이다.

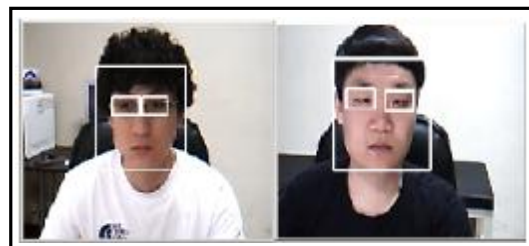


그림 3. 눈 영역 검출 결과

### 2-4. 눈동자 추적 알고리즘

눈 영역 영상에서 눈동자를 추적하기 위해 공간 모멘트(spatial moment)의 무게 중심점을 사용하였다. 눈동자 추적 알고리즘의 흐름도는 그림 4와 같다.

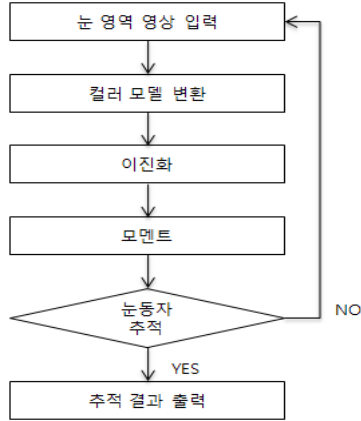


그림 4. 눈동자 추적 알고리즘

표 1은 정확한 눈동자의 위치를 추적하기 위한 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트를 설명하고 있다. 그림 5는 눈동자 추적 결과 영상이고, 그림 6은 눈 영역 영상을 눈동자 추적 알고리즘에 적용한 각각의 결과 영상이다. 그리고 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트로 눈동자의 위치를 순차적으로 추적한 결과는 그림 7과 같다.

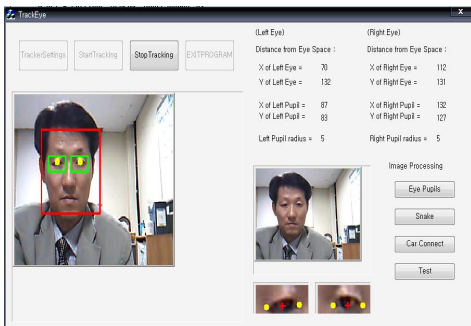


그림 5. 눈동자 추적 결과

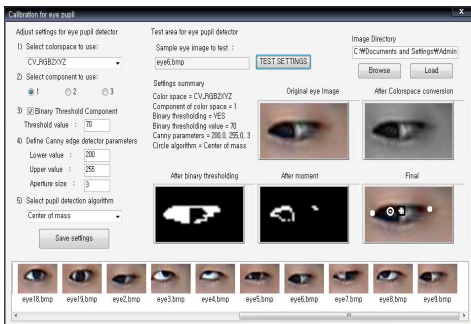


그림 6. 눈동자 추적 알고리즘 실험 결과 영상

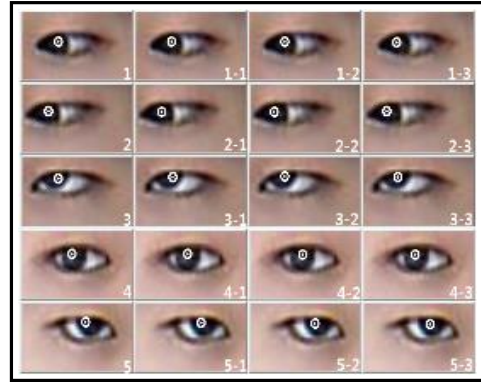


그림 7. 반복 공간 모멘트의 눈동자 추적 결과

표 1. 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트

- 단계 1
  - 눈 영역 영상을 Lab컬러모델로 변환한 후 이진화 한다.
  - 이진화한 눈 영역 영상을 1차적으로 공간 모멘트를 이용하여 눈동자의 위치인 무게 중심점을 찾는다.
- 단계 2
  - 단계 1에서 추적한 눈동자의 위치인 무게 중심점의 밝기 값 T를 이용하여 T와 비슷한 밝기 값의 범주에 있는 픽셀들로부터 구성된 눈 영역 영상에서 열림 연산을 한 후 공간 모멘트를 하여 2차적으로 눈동자를 추적 한다.
- 단계 3
  - 단계 1과 단계 2에서 추적한 눈동자의 위치를 비교하여 두 눈동자의 위치가 일치하거나 다차원 공간에서 두 점 간의 거리를 구하는 유클리디안 거리를 이용하여 두 눈동자간의 거리가 두 픽셀이 될 때까지 단계 1과 단계 3을 반복한다.
  - 두 점을  $(p_1, p_2, p_3, \dots)$ 와  $(q_1, q_2, q_3, \dots)$ 로 표기한 경우 유클리디안 거리 공식은 식(1)과 같다.

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

### 3. 실험 및 결과 고찰

실험에 사용된 영상은 다양하고 복잡한 배경을 갖는 여러 실내 환경에서 30명의 실험자를 웹 카메라 앞에 위치시킨 후 안경을 쓰지 않은 경우, 은테 안경과 검은 테 안경을 쓴 경우, 정면을 응시하는 경우, 좌.우를 응시하는 경우, 얼굴 크기가 다른 경우 등 각각의 여러 상태에서 조도를 변화 시키며 실험을 하였고, 그림8부터 그림10까지는 실험 결과 추적틀이다. 실험에 사용한 영상 크기는 320\*240 이며 초당 30 프레임의 시퀀스로 입력 받아서 제안된 시스템의 실험에 사용하였다.

그림 11은 제안된 시스템을 장소 및 조도를 변화시키며 여러 실험자들에게 적용하여 눈동자 추적에 성공한 결과를 보여준다.

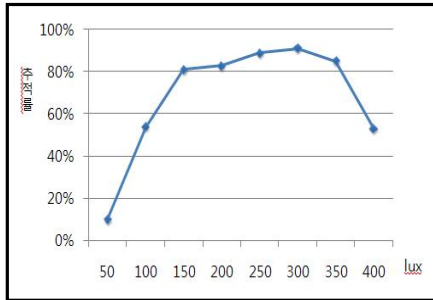


그림 8. 안경을 쓰지 않은 경우 눈동자 추적률

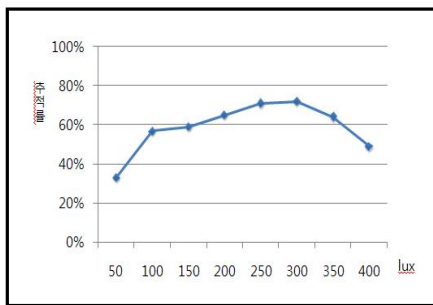


그림 9. 안경을 쓴 경우 눈동자 추적률

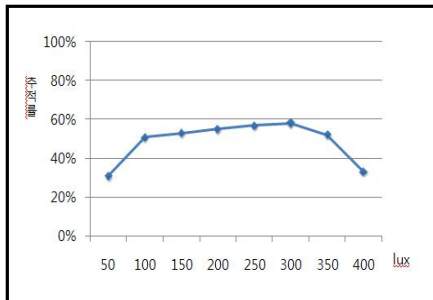


그림 10. 좌·우 응시하는 경우 눈동자 추적률



그림 11. 장소 및 조도 변화에 따른 눈동자 추적 결과

#### 4. 결론

본 논문에서는 눈동자의 정확한 위치를 효과적으로 추적하는 방법을 제안하였다. 실시간 시스템 구현을 위해 처리 속도가 빠른 Haar-like feature를 이용하여 얼굴 영역을 검출하고 주성분 분석으로 눈 영역을 검출함으로써 눈동자의 시선을 추적하기 위한 관심 영역을 최소화 한다. 그리고 검출된 눈 영역의 컬러모델을 CIE Lab 모델로 변환한 후 이진화를 하고 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트로 눈동자를 정확하게 추적한다. 이러한 시스템을 신체의 어떠한 접촉도 없이 단순히 웹 카메라를 이용하여 30명의 실험자들에게 5가지의 다른 환경에서 실험한 결과, 제안된 시스템이 안경을 쓰지 않고 정면을 응시할 경우에 200~300럭스(LUX)에서는 공간 모멘트를 이용한 눈동자 추적 알고리즘, 템플릿 매칭을 이용한 눈동자 추적 알고리즘, 허프변환을 이용한 눈동자 추적 알고리즘보다 제안된 시스템의 눈동자 추적률이 상대적으로 높았다. 그러나 실내 환경에서 조명의 위치에 따른 조도 차이와 변화에서 생기는 그림자로 인하여 눈 영역 검출 과정에 있어서 오류가 발생하는 경우도 있었다. 향후 조도에 대한 민감성과 얼굴 각도에 대한 강건한 시선 추적에 대하여 추가 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] 신기환, 전준철, "실시간 눈 추적 기반의 인터페이스 시스템," 한국인터넷정보학회 춘계학술발표대회, Vol. 8, No. 1, pp. 247-251, 2007. 6
- [2] 강신국, 김경태, 신윤희, 김나연, 김은이, "신경망과 Mean-shift를 이용한 눈 추적," 전자공학회논문지, Vol. 44, No. 1, pp. 56-63, 2007. 1
- [3] 이원찬, "Haar-like Feature와 PCA를 이용한 실시간 얼굴 검출과 인식," 수원대 대학원 석사학위 논문, 2006
- [4] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition," Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pp. 71-86, 1991
- [5] C. J. Burges, "A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition," Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 2, pp. 121-267, 1998
- [6] S. Lawrence, C. L. Giles, A. C. Tsoi, and A. D. Back, "Face Recognition: A Convolutional Neural Network Approach," IEEE Transactions on Neural Networks, Special Issue on Neural Networks and Pattern Recognition, pp. 1-24, 1997