
명암 가중치를 이용한 반복 수렴 공간 모멘트기반 눈동자의 시선 추적

최우성* · 이규원**

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

Woo-Sung Choi* · Kyu-Won Lee**

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 얼굴기반인 고유 눈을 이용하여 눈 영역을 검출한다. 또한 눈 영역에서 가장 어두운 부분으로부터 눈의 좌·우·상·하 끝점인 특징 점을 찾고, 명암 가중치를 적용한 반복 수렴 공간 모멘트를 이용하여 정확한 눈동자의 시선 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. Also, 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

시선추적, Haar-like 특징, 주성분분석, 공간모멘트

Key word

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

* 대전대학교 정보통신공학과
** 대전대학교 정보통신공학과 (교신저자, kwlee@dju.ac.kr)

접수일자 : 2010. 01. 26
심사완료일자 : 2010. 02. 16

I. 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 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. 눈의 움직임을 통해 응시자의 관심 위치와 이에 따른 감성까지 파악 할 수 있는 중요한 수단으로 인식되어, 미국, 유럽 및 일본 등지에서 활발한 연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 많은 연구가 이루어지고 있다.[2]

본 논문에서는 일반인뿐만 아니라 장애자들에게도 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. 제안한 시스템의 효율성을 검증하기 위해서 먼저 제안한 시스템을 이용하여 눈의 움직임기반의 인터페이스 시스템을 구현하였다. 그리고 30명의 사용자에 대해 제안한 시스템을 실험한 결과 복잡한 배경에서 높은 눈동자 추적률을 보여주었고, 제안한 시스템이 사람의 의사소통수단으로 편리하게 활용될 수 있음을 보여주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 설명하고, 3장에서는 명암 가중치를 적용한 공간 모멘트기반 눈동자의 시선 추적에 대해 설명한다. 제안한

시스템의 실험 및 결과 고찰은 4장에서 보여 지고 마지막으로 5장에서는 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

눈의 움직임을 이용한 시스템들은 크게 두 가지로 분류될 수 있는데 하나는 장치기반 기술(device-based technique)이고 다른 하나는 비전기반 기술(vision-based technique)이다. 장치기반 기술은 사용자가 착용하는 안경, 머리띠, 모자 등에 적외선 혹은 초음파를 방출하는 장치를 달고 착용한 사용자의 움직임에 따른 초음파와 적외선의 변화를 보고 움직임을 측정한다. 비전기반 기술은 장치기반 기술과는 달리 카메라로 얻어진 영상을 처리함으로써 사용자의 얼굴 및 얼굴 특징들을 검출하여 이들의 움직임을 이용해 장치를 제어한다.

이러한 비전기반기술은 장치기반 기술에 비해 비접촉적(non-intrusive)이기 때문에 사용하기 편리하고 또한 부가적인 장비를 필요로 하지 않기 때문에 가격 면에서 저렴하다는 장점을 가진다.[2] 이런 비전기반 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 등은 추적해야 될 얼굴 특징의 위치를 마우스 클릭을 이용하여 초기에 설정하고, Takami 등은 초기 몇 초 동안 사용자가 눈만을 깜빡이도록 한 후, 연속된 프레임의 차영상을 이용하여 눈 영역을 검출하도록 하였다.[3][4] 이외에도 대부분의 시스템들은 추적을 쉽게 하기 위해서 얼굴은 정면을 바라보아야 한다는(front facial view) 것, 얼굴 앞면에 수염 같은 얼굴을 가리는 체모가 있으면 안 된다는(no facial hair) 것이다.

지금까지 언급한 제약 조건 및 초기화 조건을 이용하지 않는 자동 실시간 시스템의 구현을 위해서 본 논문에서는 공간 모멘트(spatial moment)에 명암 가중치를 적용한 새로운 눈동자의 시선 추적 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 복잡한 배경에 상관없이 눈 영역을 정확하게 검출하고 눈동자를 추적할 수 있다. 이를 위해 제안한 눈동자의 시선 추적 시스템은 실시간 시스템 구현을 위해 처리 속도가 빠른 Haar-like Feature를 이용하여 얼굴

영역을 검출한다. 그리고 눈 영역을 검출하기 전에 얼굴 영역을 검출하여 관심 영역을 최소화하므로 얼굴 위치를 수동적으로 미리 정해주지 않고, 복잡한 배경에서 눈 영역을 정확히 검출한다. 그 다음 얼굴 영역 안의 다양한 각도의 눈 영역을 검출하기 위해 주성분 분석의 고유얼굴(eigenfaces)에 기반한 Eigeneye를 사용하였다. 마지막으로 눈동자의 동공(pupil)에 가장 근사한 위치를 추적하기 위해 명암 가중치를 적용한 반복 수렴 공간 모멘트를 이용하여 시선 추적을 행하였다.

III. 공간 모멘트기반 눈동자의 시선 추적

3-1. 전체 시스템 개요

본 논문에서 제안하는 전체 알고리즘 흐름도는 그림 1 과 같다. 일반 웹캠을 통해 영상이 입력되면 AdaBoost 학습 알고리즘의 Haar-like Feature를 사용하여 얼굴 영역을 검출하고,[5-8] 얼굴 영역 안의 눈 영역을 검출하기 위해 주성분 분석의 고유얼굴기반인 Eigen-eye를 사용하였다.[9][10] 눈동자를 추적하기 전에 관심 영역이 최소화된 눈 영역 영상을 공간 모멘트를 이용하여 눈동자를 1차적으로 추적한다.

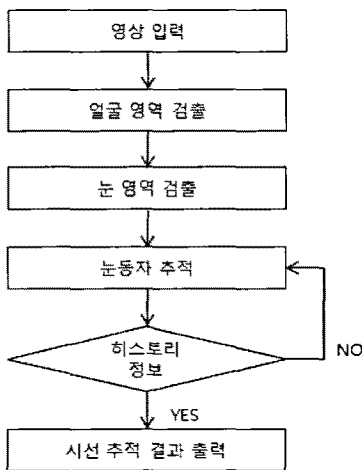


그림 1. 전체 시스템 흐름도
Fig. 1 Block diagram of overall system

그리고 정확한 눈동자의 시선을 추적하기 위해 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.

3-2. 얼굴 영역 검출 알고리즘

SVM(Support Vector Machines)[11]이나 신경망(Neural Network)[12]을 이용한 검출기는 구별 기능이 매우 뛰어난 것으로 알려져 있지만 처리 속도가 느린 단점을 가지고 있기 때문에 실시간 처리를 요구하는 제안 시스템에서는 입력 영상에서 얼굴 영역을 검출하기 위해 AdaBoost 학습 알고리즘의 Haar-like Feature를 사용하였다.

3-2-1. Haar-like Feature

Haar-like Feature는 Haar Wavelet Transform에 기본 원리를 두고 있다.[5] 이는 데이터를 분할하거나 압축하는 방법으로 적은 에러를 가지고 재구성을 할 수 있는 손실 기법중의 하나이다. 본 논문에서는 픽셀 자체를 이용하는 것보다 영상이 가지고 있는 특징을 더 잘 압축할 수 있는 Haar-like Feature를 얼굴 영역을 검출하는 인식자로 사용하였다. 이는 학습 알고리즘에서 학습 입력 정보는 줄여주는 반면에 학습 결과의 다양성을 증가시켜주어 더욱 쉬운 분류가 가능하게 한다. 그림 2는 Haar-like Feature의 프로토타입 예를 보여준다.

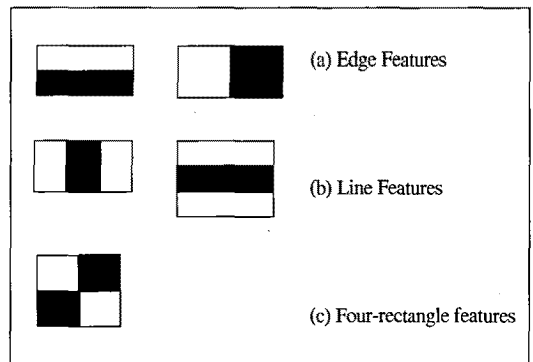


그림 2. Haar-like feature 프로토타입
Fig. 2 Prototype of Haar-like feature

3-2-2. Adaboost

학습 기반의 물체 추적을 하기 위해서는 대개 각 물체에 대하여 방대한 양의 표본이 있어야 한다. 추가적으로 이 방대한 양의 표본은 각각 레이블을 직접 붙여줘야만 한다. 이러한 레이블링 작업은 학습을 하기 위해 반드시 필요한 작업이다. 학습의 기본은 레이블링된 데이터를 학습시키고 이 학습이 끝나게 되면 분류기를 이용하여 레이블링이 안된 Test set을 평가하는 구조로 이루어져 있다. 이러한 학습을 통한 물체 추적의 대표적인 방법으로는 Adaptive boosting이 있다. 부스팅은 분류 기능이 약한 여러 개의 약 분류기(classifier)를 조합하여 강한 분류기를 만드는 학습(learning)방법이다. 분류 기능이 약한 약 분류기는 간단하지만 연산속도가 빠르다는 것이 장점이다. 이러한 분류 기능이 약한 약 분류기의 수를 늘리면 분류 기능이 강하고 빠른 연산속도를 얻을 수 있다. AdaBoost 학습 알고리즘을 이용한 Haar-like Feature로 얼굴 영역을 검출한 결과는 그림 3과 같다.

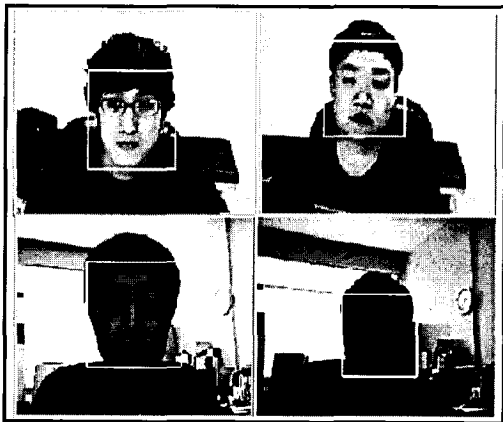


그림 3. 얼굴 영역 검출 결과
Fig. 3 Results of face region segmentation

3-3. 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.[9][10]

3-3-1. 주성분 분석

통계학에서 주성분 분석은 데이터 집합을 분석하는 기법 가운데 하나이며, 데이터의 차원 축소에 일반적으로 사용되는 통계학적인 분석 방법이다. 주성분 분석은 평균자승오차(mean-square error)측면에서 최적의 선형 변환이다. 즉, 보통 변환은 동일한 차원에서 이루어지나, 데이터가 가지고 있는 원래의 특징을 가지고 있으면서 효율적으로 차원을 줄이며 특징을 추출하는 것이다. 여기서 특징 추출이란 데이터공간에서 특징공간으로의 변환과정을 말한다.

얼굴 영역 안의 눈 영역을 검출하기 위해 주성분 분석에서 고유얼굴을 사용하였다. 고유얼굴이란 얼굴영상의 고유벡터로 얼굴영상을 얼굴공간으로 변환하기 위한 기저벡터를 말한다. 고유얼굴을 사용하여 눈 영역을 검출하는 방법은 Eigeneye라고도 한다. Eigeneye로 눈 영역을 검출하기 전에 전처리 과정으로 양쪽 두 눈 영역(original database)을 훈련시켜야 한다. 훈련에 사용되는 눈 영역 데이터베이스는 왼쪽과 오른쪽 각각 10프레임으로 눈동자의 시선은 각각 다르게 한다. 그림 4그리고 그림 5는 눈 영역 검출에 사용되는 눈 영역 데이터베이스이고, 그림 6은 눈 영역을 검출한 결과이다.

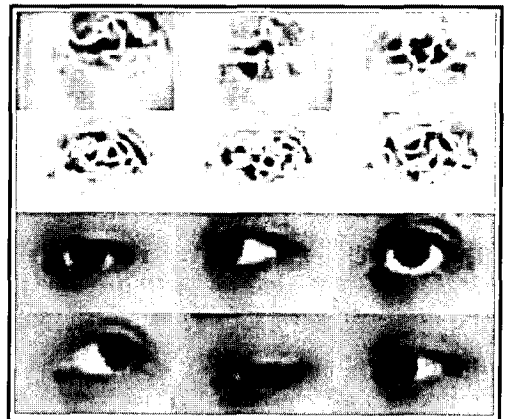


그림 4. 왼쪽 눈 영역 Eigeneye 데이터베이스
Fig. 4 Eigen-eye DB for Left-eye

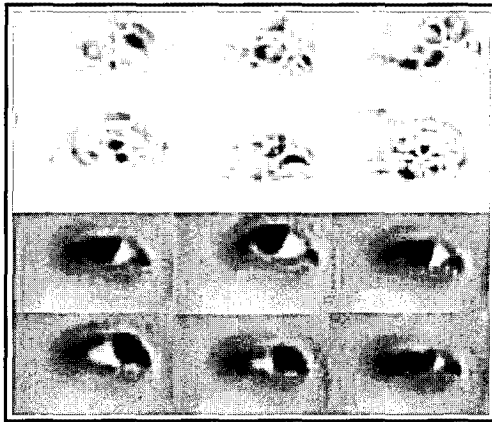


그림 5. 오른쪽 눈 영역 Eigeneye 데이터베이스
Fig. 5 Eigen-eye DB for Right-eye

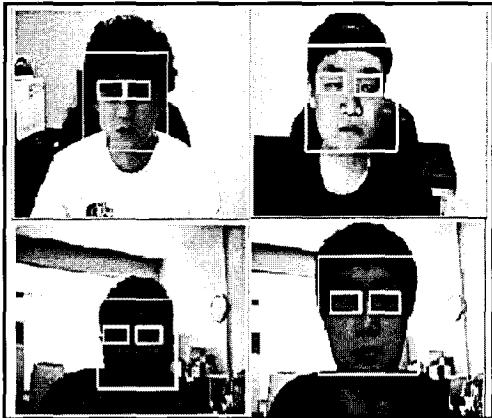


그림 6 눈 영역 검출 결과
Fig. 6 Results of eye region segmentation

3-4. 눈동자 추적 알고리즘

눈 영역 영상에서 눈동자를 추적하기 위해 공간 모멘트(spatial moment)의 무게 중심점을 사용하였다. 눈동자 추적 알고리즘의 흐름도는 그림 7과 같다.

입력 받은 눈 영역 영상의 컬러모델을 CIE 컬러모델인 Lab 컬러모델로 변환한다. Lab 컬러는 CIE (Commission Internationale d' Eclairage)라는 국제 표준 컬러 측정기구에 의하여 1976년 제정된 컬러 체계로 CIE Lab모형을 말한다. Lab 모델은 CIE XYZ 컬러 모델이 개선된 것으로 L(명도), a(녹색부터 빨강), b(파랑부터 노랑)가 수치로 표현된다.

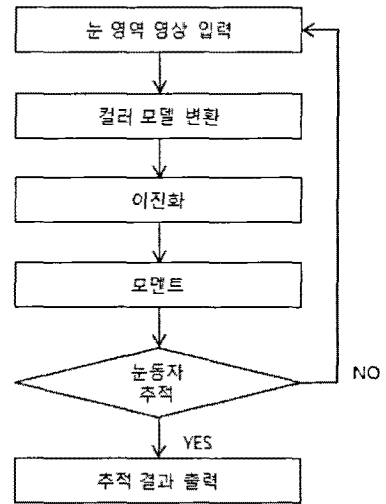


그림 7. 눈동자 추적 알고리즘
Fig. 7 Eye tracking algorithm

그리고 XYZ 모델과 비교해 볼 때, CIE Lab 컬러가 보다 인간의 눈이 감지할 수 있는 컬러에 가깝다. 그림 8은 다른 컬러모델로 변환 후 눈동자와 특징 점을 추출하는 것보다 Lab 컬러모델로 변환한 후 눈동자와 특징 점을 추출하는 것이 더 정확하게 특징 점을 추출하는 것을 보여준다.

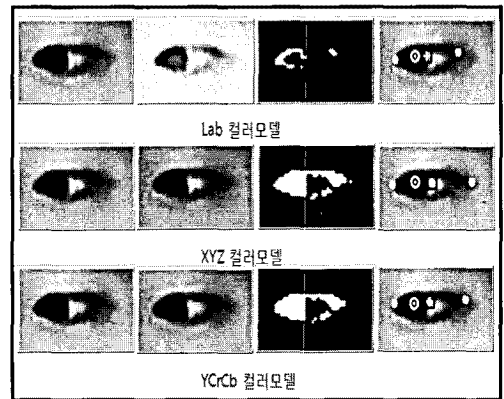


그림 8. 다양한 컬러모델에서 특징 점 추출 비교
Fig. 8 Comparison of feature points extraction in various color models

Lab 컬러모델로 변환한 눈 영역 영상을 이진화한 후 공간 모멘트를 이용하여 이진화가 된 눈 영역 영상

의 무게 중심점을 찾는다. 그리고 공간 모멘트를 이용하여 찾은 무게 중심점이 바로 눈동자의 위치를 가리킨다.

표 1. 공간 모멘트
Table. 1 spatial moment

<ul style="list-style-type: none"> □ 공간 모멘트(spatial moment) <ul style="list-style-type: none"> → 통계적 형상 측정자 □ 수학적 정의 $\rightarrow E[X^n] = \sum_x x^n * P(x)$ □ 0차 공간 모멘트: 물체 내의 화소 밝기 값의 합 <ul style="list-style-type: none"> · 이진 영상: 변적(1의 화소 개수) · 명암 영상: 에너지 □ 1차 공간 모멘트 <ul style="list-style-type: none"> · x, y 각각의 좌표 위치에 의해 곱해진 화소 밝기의 합 · 이진 영상: x, y 좌표 각각의 합 · 명암 영상: object's mass □ 무게 중심(Center of mass) \rightarrow Centroid 1차 공간 모멘트/0차 공간 모멘트(물체의 변적) <ul style="list-style-type: none"> · 무게중심 x · 물체의 x 화소 좌표값의 합/물체내 화소개수 · 무게중심 y · 물체의 y 화소 좌표값의 합/물체내 화소개수
--

표 1은 공간 모멘트를 설명하고 있다. 이 때, 무게 중심점이 제대로 눈동자를 추적하지 못하였을 경우 좀 더 눈동자 동공(pupil)의 위치에 접근하기 위해 명암 가중치를 적용한 공간 모멘트를 이용하여 눈동자를 추적한다. 현재 눈 영역 영상에서 찾은 무게 중심점의 밝기 값 T를 이용하여 T와 비슷한 밝기 값의 범주 안에 있는 픽셀들로만 구성된 눈 영역 영상에서 열림(opening) 연산을 한 후 공간 모멘트를 한 번 더 한다. 그리고 전 단계에서 추적한 눈동자의 위치와 명암 가중치를 적용한 공간 모멘트를 이용하여 추적한 눈동자의 위치를 비교하여 두 눈동자의 위치가 일치하거나 다차원 공간에서 두 점 간의 거리를 구하는 유클리디안 거리를 이용하여 두 눈동자 간의 거리가 두 픽셀이 될 때까지 반복한다. 표 2는 정확한 눈동자의 위치를 추적하기 위한 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트를 설명하고 있다.

명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트로 눈동자의 위치를 순차적으로 추적한 결과는 그림 9와 같고, 그림 10은 눈동자 추적 결과 영상이다.

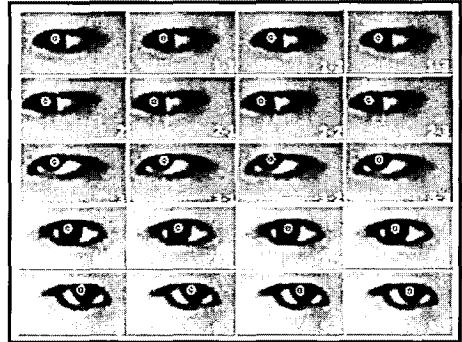


그림 9. 반복 공간 모멘트의 눈동자 순차적 추적 결과

Fig. 9 Sequential eye tracking results on iterated spatial moment

표 2. 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트
Table. 2 Iterated spatial moment using weighted gray level

<ul style="list-style-type: none"> □ 단계 1 <ul style="list-style-type: none"> · 눈 영역 영상을 Lab컬러모델로 변환한 후 이진화한다. · 이진화한 눈 영역 영상을 1차적으로 공간 모멘트를 이용하여 눈동자의 위치인 무게 중심점을 찾는다. □ 단계 2 <ul style="list-style-type: none"> · 단계 1에서 추적한 눈동자의 위치인 무게 중심점의 밝기 값 T를 이용하여 T와 비슷한 밝기 값의 범주에 있는 픽셀들로만 구성된 눈 영역 영상에서 열림 연산을 한 후 공간 모멘트를 하여 2차적으로 눈동자를 추적 한다. □ 단계 3 <ul style="list-style-type: none"> · 단계 1과 단계 2에서 추적한 눈동자의 위치를 비교하여 두 눈동자의 위치가 일치하거나 다차원 공간에서 두 점 간의 거리를 구하는 유클리디안 거리를 이용하여 두 눈동자 간의 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. $\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$
--

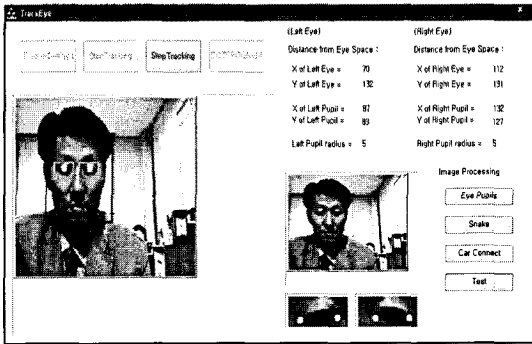


그림 10. 눈동자 추적 결과
Fig. 10 A result of eye tracking

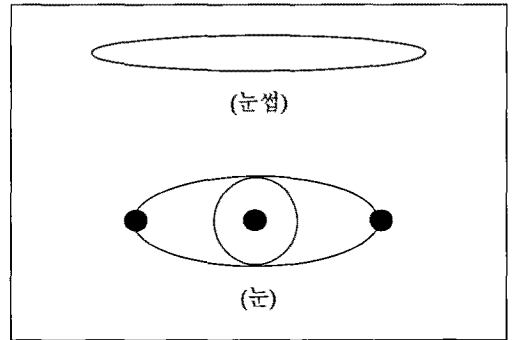


그림 12. 눈 영역의 특징 점
Fig. 12 Feature points of an eye region

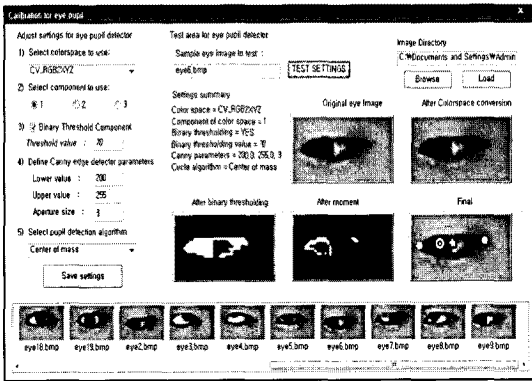


그림 11. 눈동자 추적 알고리즘 실험 결과 영상
Fig. 11 An example of the eye tracking algorithm

그리고 그림 11은 눈 영역 영상을 눈동자 추적 알고리즘에 적용한 각각의 결과 영상이다. 제안한 시스템의 효율성을 검증하기 위해서 제안한 시스템은 눈동자의 움직임을 이용한 인터페이스 시스템에 적용되었고, 눈동자의 위치로 시스템을 통제(control)하기 위해 필요한 눈의 특징 점을 추출하였다. 눈의 특징 점은 눈 영역에서 어두운 부분을 이용하여 추출하였다. 그림 12는 눈 영역의 어두운 부분을 나타낸다.

눈의 좌·우·상·하 특징 점을 이용하여 눈의 중심점을 찾고, 눈의 좌·우·상·하 범위와 중심점을 이용하여 응용 시스템을 통제 한다.

IV. 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 변화시키며 실험을 하였다. 실험에 사용한 영상 크기는 320*240 이며 초당 30 프레임의 시퀀스로 입력 받아서 제한한 시스템의 실험에 사용하였다. 그리고 웹 카메라로 얻어진 영상을 제한한 눈동자 추적 시스템으로 처리함으로써 실험자들의 눈동자 움직임을 추적하였으며 눈 영역에서 눈동자를 추적한 좌표 값이 그림 13의 음영 부분에 위치하면 눈동자 추적 성공으로 판단하도록 하였다.

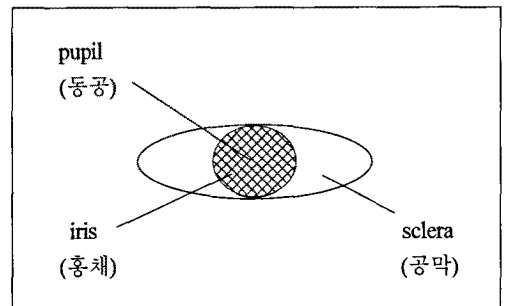


그림 13 눈동자 추적 True & False 기준
Fig. 13 True & False Criterion for the eye tracking

그림 14는 제안한 시스템을 장소 및 조도를 변화시키며 여러 실험자들에게 적용하여 눈동자 추적에 성공한 결과를 보여준다.



그림 14. 장소 및 조도 변화에서의 눈동자 추적결과
Fig. 14 Eye tracking results according to the change of places and illuminations

그림 15는 눈동자 시선 추적 결과이다. 눈의 양 끝점의 특징 점은 흰색 점으로 표시했고, 눈의 중심점은 검정색 사각형안의 흰색 십자가로 표시했다.

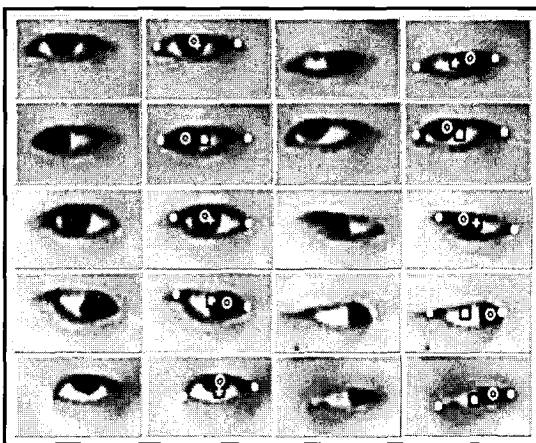


그림 15. 눈동자 시선 추적 결과
Fig. 15 Gaze tracking results of eye-balls

그리고 눈동자의 시선 추적 결과 좌표 점은 두 개의 겹친 흰색 원으로 나타냈다. 눈동자의 시선 위치 판단 기준은 그림 16과 같이 눈 영역에서 눈의 양 끝점의 특징 점을 이용하여 좌·좌, 좌·중, 중, 우·중, 우·우 다섯 부분으로 구분하였다.

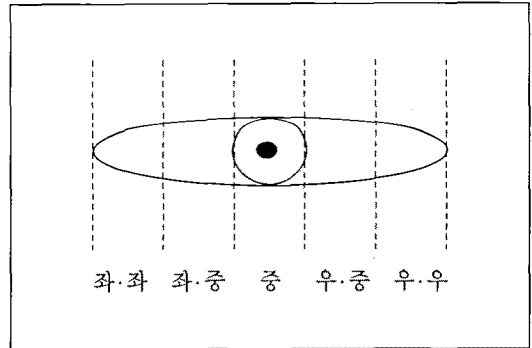


그림 16. 눈동자 시선 위치 판단 기준
Fig. 16 Decision criterion for the gaze position

그림 17은 안경을 쓰지 않고 정면을 응시할 경우의 눈동자 추적률을 보여준다. 실험 결과 제안한 시스템에서는 250~300럭스(LUX)에서 가장 안정적이면서 91%의 높은 추적률을 보였고, 100럭스 이하 및 400럭스 이상일 경우에는 눈동자 추적률이 급격히 줄어들었고 특징 점 추출도 할 수 없었다.

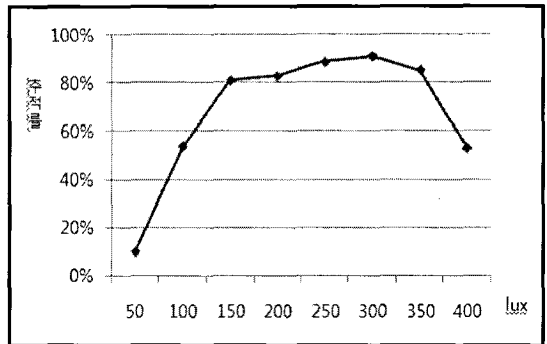


그림 17. 안경을 쓰지 않은 경우 눈동자 추적률
Fig. 17 Eye tracking rate without glasses

그림 18은 안경을 쓴 경우의 눈동자 추적률을 보여준다. 안경을 쓴 경우의 눈동자 추적률은 안경테로 인해 생

기는 그림자와 렌즈의 빛 반사 때문에 안경을 쓰지 않은 경우의 추적률보다 낮으며 특징점 추출도 할 수 없다. 그림 19는 안경을 쓰지 않고 좌·우 응시하는 경우의 눈동자 추적률이다. 좌·우 응시하는 경우의 눈동자 추적률은 미간(glabella)으로 생기는 그림자로 인해 한쪽 눈 영역이 잘 검출되지 않고 눈동자 추적률도 낮다.

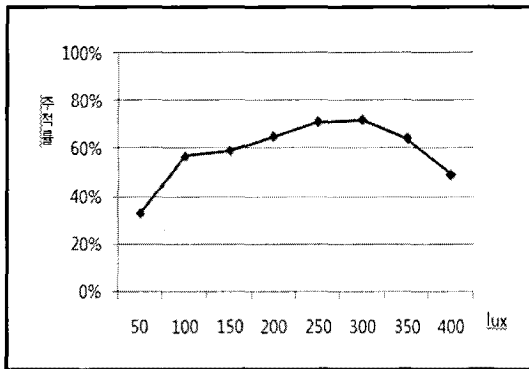


그림 18. 안경을 쓴 경우 눈동자 추적률
Fig. 18 Eye tracking rate with glasses

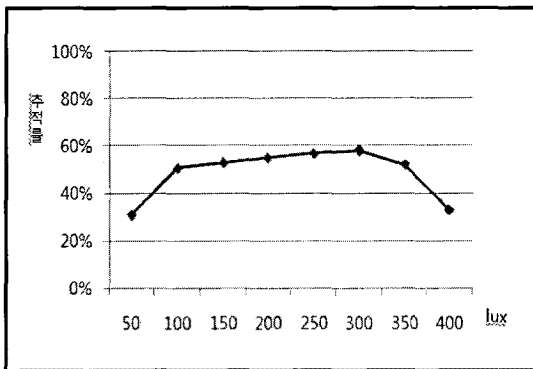


그림 19. 좌·우 응시하는 경우 눈동자 추적률
Fig. Eye tracking result with gaze of left or right side

그리고 미간으로 생기는 그림자 방향의 조도를 높여 주면 눈 영역은 잘 검출 되었으나 눈동자 추적률은 변화가 없었다. 그림 20은 다른 눈동자 추적 알고리즘과 본 논문에서 제안한 명암 가중치를 적용한 반복 공간 모멘트를 이용한 눈동자 추적 알고리즘과의 비교를 나타낸다. 그림 20에서 A는 제안한 시스템의 추적률이고, B는 명암 가중치를 적용하지 않고 공간 모멘트만을 이

용하여 눈동자를 추적한 추적률이며, C는 템플릿 매칭 (Template Matching)를 이용한 눈동자 추적률이다. 그리고 D는 허프변환을 이용한 눈동자 추적률인데, 안경을 쓰지 않고 정면을 응시할 경우에 200~300룩스 (LUX)에서는 다른 눈동자 추적 알고리즘 보다 추적률이 높았다.

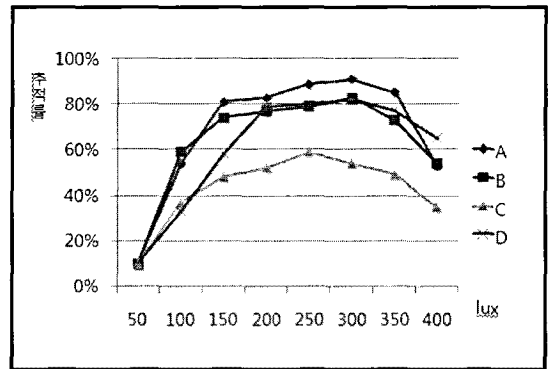


그림 20. 다른 눈동자 추적 알고리즘과 비교
Fig. 20 Comparison of other eye tracking algorithm

는 영역 영상에서 이진화한 영상이 조도와 빛의 반사로 생긴 그림자 때문에 픽셀 분포가 정확히 검출되지 못하고 양 끝 쪽 픽셀 분포가 일정하여 공간 모멘트의 무게 중심점이 항상 눈동자의 위치와는 다르게 추적된다. 그림 21은 이러한 눈 영역 오인식으로 제안한 시스템에서 눈동자를 추적할 수 없는 경우를 보여준다.

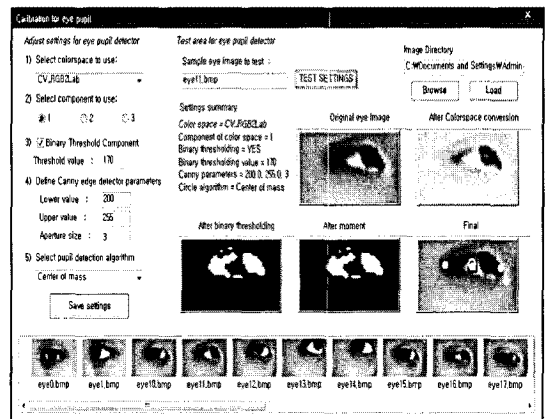


그림 21. 눈동자 추적 오작동 결과
Fig. 21 A false eye tracking result

V. 결론

본 논문에서는 눈동자의 정확한 위치를 효과적으로 추적하는 방법을 제안하였다. 실시간 시스템 구현을 위해 처리 속도가 빠른 Haar-like feature를 이용하여 얼굴 영역을 검출하고 주성분분석으로 눈 영역을 검출함으로써 눈동자의 시선을 추적하기 위한 관심 영역을 최소화 한다. 그리고 검출된 눈 영역의 컬러모델을 CIE Lab 모델로 변환한 후 이진화를 하고 명암가중치를 적용한 반복 공간 모멘트로 눈동자를 정확하게 추적한다. 이러한 시스템을 신체의 어떠한 접촉도 없이 단순히 웹 카메라를 이용하여 30명의 실험자들에게 5가지의 다른 환경에서 실험한 결과, 제안한 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 제안한 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] 신기한, 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] Takeshi. Kurata, Takashi. Okuma, Masakatsu. Kouroggi and Katsuhiko Sakaue, "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, pp. 119-124, 2001
- [4] O. Takami, N. Irie, C. Kang, T. Ishimatsu and T. Ochiai, "Computer interface to use head movement for handicapped people," TENCON '96. Proceedings. 1996 IEEE TENCON. Digital Signal Processing Applications, Vol. 1, pp. 468-472, 1996
- [5] 이원찬, "Haar-like Feature와 PCA를 이용한 실시간 얼굴 검출과 인식," 수원대 대학원 석사학위 논문, 2006
- [6] 정중교, 박상성, 장동식, "피부색과 Haar-like feature를 이용한 실시간 얼굴검출," 한국컴퓨터정보학회논문지, Vol. 10, No. 4, pp. 113-121, 2005
- [7] 민지홍, 이원찬, 홍기천, "Haar-like feature/HMM을 이용한 얼굴 검출 및 인증 시스템," 한국정보과학회 2004년도 추계 학술발표논문집, Vol. 31, No. 2, pp. 739-741, 2004
- [8] P. Viola and M.J. Jones, "Robust real-time object detection," Technical Report Series, Compaq Cambridge research Laboratory, CRL 2001/01, Feb. 2001
- [9] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition," Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pp. 71-86, 1991
- [10] R. Cendrillon and B. C. Lowell, "Real-Time Face Recognition using Eigenfaces," in Proceedings of the SPIE International Conference on Visual Communications and Image Processing, Vol. 4067, 2000, pp. 269-276
- [11] C. J. Burges, "A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition," Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 2, pp. 121-267, 1998
- [12] 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

저자소개



최우성(Woo-Sung Choi)

2008 대전대학교 정보통신공학과
학사
2010 대전대학교 정보통신공학과
석사

2010.2~현재 (주)에이스트로닉스 연구원

※관심분야: 영상처리, Motion Analysis, Visual
Surveillance



이규원(Kyu-Won Lee)

1986 연세대학교 전자공학과 학사
1988 연세대학교 전자공학과 석사
1998 연세대학교 전자공학과
공학박사

1988.2~1989.8 (주)LG산전 연구원

1989.9~2000.2 한국전자통신연구원 선임연구원

2003.7~2004.7미국 메사추세츠주립대 객원연구원

2000.3~현재 대전대학교 정보통신공학과 부교수

※관심분야: 영상처리, 패턴인식, Motion Analysis,
Visual Surveillance, ITS