

3차원 시선 추적에 의한 시각 제어 마우스 구현 연구

김 재 한

호남대학교 전자공학과

Implementation of eye-controlled mouse by real-time tracking of the three dimensional eye-gazing point

Jae-Han Kim

Department of Electronic Engineering, Honam University

e-mail : kjh@honam.ac.kr, mobile : 011-720-8079

요 약

This paper presents design and implementation methods of the eye-controlled mouse using the real-time tracking of the three dimensional gazing point. The proposed method is based on three dimensional data processing of eye images in the 3D world coordinates. The system hardware consists of two conventional CCD cameras for acquisition of stereoscopic image and computer for processing. And in this paper, the advantages of the proposed algorithm and test results are described.

Keyword

eye-controlled mouse, gazing point, three dimensional data, stereoscopic image, CCD camera

1. 서 론

시선 추적이란 두 눈이 주시하는 방향이나 응시 위치를 산출하는 기술을 말한다. 응시하고 있는 지점의 3차원 위치 정보를 알 수 있다면, 시선만으로 모니터상의 임의 지점을 지정할 수 있게 되며, 이를 이용하여 커서를 이동하거나, 지속적인 응시나 눈 깜박임 등을 통하여 선택 기능인 클릭(click)을 할 수 있게 된다. 이러한 시선 추적 기술에 의한 시각 제어 마우스는 기존의 손에 의한 입력 방식을 대체할 수 있으며, 동시에 지체가 부자유스러운 장애자들에게 컴퓨터 사용이나 각종 기기 조작의 수단을 제공 할 수 있으므로, 장애자 복지 차원에서 의미 있는 기술이 된다.

본 논문에서는 3차원 영상처리 기술을 이용하여 사용자의 시선을 추적하며 이를 기반으로 시각 제어 마우스 구현하는 연구 내용을 소개한다. 본 논문에서 제안된 기술은 기존의 방식과 달리 응

시 지점의 3차원 위치 좌표를 직접 산출하므로 오차가 적은 특징을 갖는다. 또한, 머리의 움직임이 자유로우며 눈에 해로운 조명을 하지 않아도 되는 등의 장점이 있다.

더구나, 이러한 시각 마우스에서 사용하는 응시 지점을 구하고 이 위치를 실시간으로 추적하는 기술은 시각 제어 마우스 뿐 아니라, 화상회의 시스템에서 상대의 얼굴을 추적하는 카메라 시스템에 대한 응용이나, 시선 분석을 이용한 운전자의 졸음 방지, 응시 방향으로 전조등을 제어하는 기능의 제공, 시각 추적에 의한 목표물 추적 장치에 활용, 광고나 심리학 분석에서 대상자의 시선 위치 변화를 추적하는 장치 개발 등 다양한 활용과 응용이 가능하다.

나아가, 차세대 가상현실 및 3차원 입체영상 디스플레이 장치에서, 시선 방향에 따른 해당 영상을 출력하는 디스플레이 장치 등에 활용될 수 있다.

II. 기존 방식의 문제점 분석

기존의 시각 입력 장치의 연구에서는, 카메라를 사용하여 2차원의 얼굴과 눈의 영상을 얻고 이 영상에서 눈동자의 모양을 분석하거나, 얼굴에서 눈과 눈동자 및 코, 입 등과의 상대적 위치 등을 분석하여 눈동자의 응시 방향을 찾았다[1][2][3]. 그러므로, 대상자의 눈동자의 특징 및 형태, 얼굴 내 특징 상관관계, 모양 또는 응시 상태, 영상 획득 카메라 장치와 눈의 위치 관계 등에 관한 사전 지식과 보정 등이 각기 상황에 따라 요구되었고, 이에 따라 응시방향 산출 알고리즘도 복잡하였다.

따라서, 여러 개별적 상황에서 산출 값이 다르게 나올 수 있으므로 정확도가 매우 낮으며, 실험 환경에 적합하도록 적용한 알고리즘이 많아, 서로 다른 대상자와 실험조건에 대하여 동작 및 성능이 일정하지 않으며, 각 상황에 따라 개별적인 보정이 요구되는 단점이 있었다.

기존 시스템에서 사용한 방법들을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째로는 특수 장치를 이용하는 응시 추정 시스템이 있는데, 머리에 3차원 위치 이동 감지 센서를 부착하여 머리나 얼굴의 방향을 추정하고 이 정보를 응시점 산출에 이용한다. 이 장비는 3차원 motion tracking 시스템으로서 전자기적인 장치를 사용한 head tracking을 통하여 머리의 3차원 위치와 방향을 측정하고 얼굴의 움직임 변위를 측정하는 방식이다. 이러한 방식은 정확도를 향상시킬 수는 있으나 시스템의 복잡성과 비용 증가 및 착용자의 불편함 등이 단점이라고 할 수 있다.

둘째로는 광원을 이용하는 방법으로써 눈에 점광원을 비추면 눈동자에 광원의 반사점인 glint가 생기며 이 glint와 동공의 상대 위치를 고려하여 응시점을 추정한다. 이 방법에서는 최초 glint와 동공의 상대 위치와 각도 등을 초기값으로 설정한 후 이 값을 기준으로 응시방향을 및 위치를 추정한다. 따라서 최초 초기값 설정하였을 때의 자세를 그대로 유지하여야만 비교적 정확한 응시점을 찾게 되므로 머리를 고정하고 있어야 하는 불편함이 있으며, 머리를 움직였을 때에는 다시 초기화를 하여야하는 불편함이 존재한다. 또한, 동공의 원형 영상을 선명하게 얻기 위하여 별도의 적외선 광원을 눈에 조사(illumination)하는데

이 경우에는 망막에 해를 줄 수 있는 등 의학적 인 안정성에 문제가 있다.

셋째로는 영상 분석에 의한 방법으로써 우선 고정된 기준점을 정하며, 이 기준 점으로부터 카메라로 대상자의 눈 영상을 획득한 후, 이 2차원 영상에서 시선 각도와 주시 방향을 산출하는 방식을 사용하였다. 이 방식은 기본적으로 얼굴의 지향 방향과 응시 방향이 일치한다는 것을 전제로 하고 있으나, 이 전제 조건은 항상 만족되는 조건이 될 수 없기 때문에 오류를 일으킨다.

이와 함께, 기준점의 설정과 기준점에서 일정 위치에 대상자가 고정되어 있어야 하는데, 이는 대상자에게 매우 불편함을 주고 있다. 따라서 대상자가 움직이는 경우에는 오차가 발생하며, 얼굴의 방향에 대하여 응시 방향이 항상 일치하지 않기 때문에, 안구나 홍채의 2차원 영상으로부터 정확한 주시 방향을 획득하기가 원천적으로 어렵고, 큰 오차가 발생하는 등 많은 문제점을 가지고 있다. 네째로 앞의 방법과는 다소 다른 접근 방법으로 눈 주위에 근 전위를 측정할 수 있는 전극을 접착시켜 눈의 움직임을 계측한다.

상기 분석 내용을 종합해 보면, 기 발표된 연구 결과들은 오차를 유발할 수 있는 지나친 전제 조건과 사용의 불편함 및 많은 제한 요소를 가지고 있음을 알 수 있다.

III. 삼차원 시선 추적 알고리즘의 제안

본 논문에서 제안하는 방법은 응시하는 두 눈의 3차원 영상 정보를 이용하는 방식이다. 눈에 대한 3차원 거리 정보를 정확하게 측정하며, 이를 통한 3차원 응시점의 3차원 좌표를 계산하여, 실시간으로 응시 위치를 정확하게 산출하는 방법이다.

구체적으로는, stereoscopic 카메라로 획득한 양쪽 눈의 영상으로부터 양안 특징 점들의 삼차원 거리 데이터(three dimensional range data)를 구한 후, 그 값을 이용하여 공간 기하학적으로 응시 위치의 삼차원 좌표 값을 찾는다.

3.1 알고리즘 개요

본 논문에서는 앞에서 분석한 바와 같은 기존 방식의 단점을 극복할 수 있는 방안이 되도록 하였다. 우선적으로 다음과 같은 네 개의 요구사항을 만족하도록 알고리즘을 고안하였다.

1) 머리나 얼굴에 장치나 전극 등의 장치들을 부착하지 않으며, 2) 망막에 해가 될 수도 있는 조

명이나 빛의 조사를 하지 않으며, 3) 응시 추적 중에 사용자의 행동에 제약이 있어서는 안 되도록 하였다. 즉, 사용자가 움직여도 본 알고리즘의 동작이나 응시점 산출에 이상이 없도록 자유도가 주어져야 하고, 4) 산출된 3차원 응시 좌표의 정확도가 높게 동작하는 알고리즘과 시스템이 되도록 하였다.

이러한 요구 조건을 만족하기 위해서, 2차원이 아닌 3차원 좌표계에서, 3차원 위치를 계측하여 응시 지점을 산출하고 추적하는 방식으로 동작하는 알고리즘을 고안하였다.

이 알고리즘에서는, 첫 단계로 대상자 두 눈의 홍채를 원판으로 모델링한 후, 두 번째 단계로는 대상자 두 눈의 3차원 영상을 획득하며, 세 번째 단계에서는 획득된 3차원 양안의 영상 정보를 이용하여 홍채 원판의 중심점에서의 법선의 식을 구하고, 마지막인 네 번째 단계에서는 양안의 두 법선의 교차점을 3차원 좌표계에서 구하여, 최종적으로 대상자의 응시점으로 정하는 방식으로 구성된다.

3.2 시선추적 알고리즘의 구성

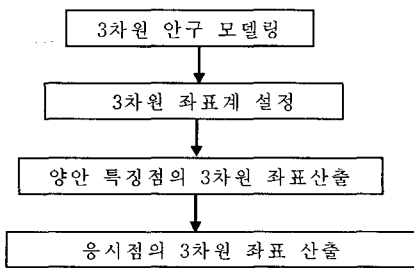


표 1. 시선추적 알고리즘의 구성

(1) 안구의 3차원 모델링

우리 눈의 형태를 살펴보면 흰자위와 검은 자위로 구분되어 있다. 흰자위는 공막(sclera)이라 부르며 검은 자위는 홍채부와 홍채의 가운데 검은 부분인 동공으로 구성된다.

본 논문에서는, 흰자위와 검은자위의 경계를 홍채 경계선이라 정의하고, 그림 1과 같이 홍채의 경계선에 의해 생성된 원에 대한 하나의 원판(disk)을 가정한 후, 이를 홍채 원판(iris disk)이라고 정의한다.

응시 직선을 구하는데 있어서 홍채 원판과 홍채 원판의 중심점을 정의하는 것으로 3차원 양안 안

구를 모델링 한다. 이 모델에서, 눈의 응시 방향은 홍채 원판의 수직 방향 (surface normal)이 되고, 응시 직선은 홍채 원판의 중심점을 시점으로 하는 직선이 된다. 특히, 이 모델에서 모든 좌표와 응시점의 계산은 3차원 공간 좌표계에서 이루어진다.

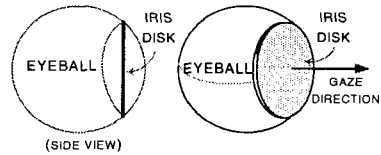


그림 1. 홍채 원판과 응시 방향의 안구 모델

(2) 3차원 좌표계 설정

눈의 공막과 홍채를 포함하는 좌우측 눈의 3차원 거리 영상을 획득하기 위하여, 양안식 카메라를 이용한다. 이러한 양안식 카메라로부터 획득한 좌우측 각각의 영상들로부터 양 눈의 공막과 홍채와의 경계선 상의 점들의 삼차원 좌표 값을 구한다. 이 삼차원 좌표 값의 기준 점은 그림 2과 같이 스테레오 카메라를 구성하고 있는 frame 내에 설정된 한 점 O로 정해도 되며, 또는 그 점으로부터 상대적인 위치를 알 수 있는 임의의 한 점을 기준 점으로 정할 수도 있다.

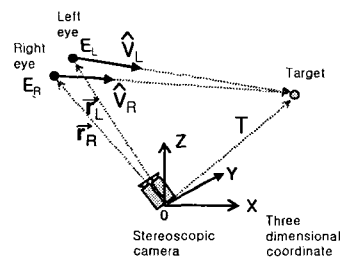


그림 2. 3차원 영상을 이용한 시선 산출 좌표계

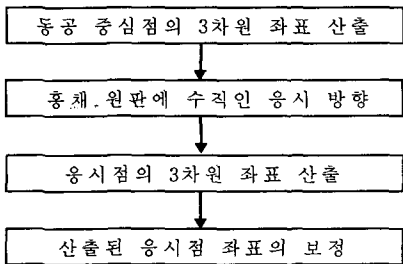
(3) 양안 특징점의 3차원 좌표값 산출

양안식 카메라로부터 획득된 좌우측 눈의 영상에서, 특징점인 좌우측 눈의 홍채 경계선 상의 점들을 찾는다. 이는 edge 추출기법으로 용이하게 처리할 수 있으며, 좌우측 눈의 영상들 사이에서 상기의 각 점들에 대한 대응점(matching point)은 stereo matching 기법으로 2차원 영상

좌표계 상의 좌표값으로 부터 찾아낼 수 있다. 즉, epipolar line을 정확히 정렬한 카메라 시스템에서는 대응점검색에 대한 correspondence problem이 해결될 수 있다.

(4) 응시점의 3차원 좌표 산출

양안의 홍채 경계선의 3차원 좌표를 구하게 되면 다음 단계로는 홍채 원판의 중심점을 구한 후, 홍채 원판의 중심점과 원판의 법선 방향으로 정해지는 응시 직선(gazing line)을 구하고, 최종적으로 응시점을 구한다. 구체적인 산출 방법과 절차는 다음과 같다.



[표 2] 응시점의 3차원 좌표 산출 절차도

IV. 실험 결과

홍채 경계선 상의 3점 이상의 점들의 3차원 좌표를 구하기 위하여 임의의 두 수평선을 정한 후, 그 선상의 홍채 경계점의 좌표를 구하였다. 그림 3과 4는 각각 영상에서 안구의 홍채 중심과 경계 산출 과정을 보였다.

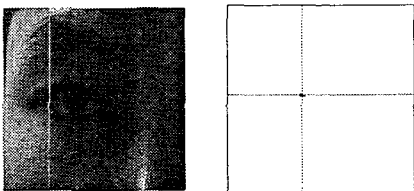


그림 3. 안구의 홍채 영역 중심 좌표 산출

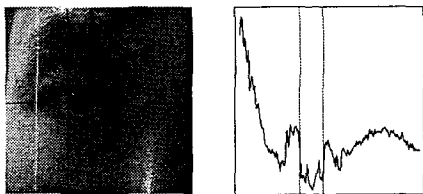
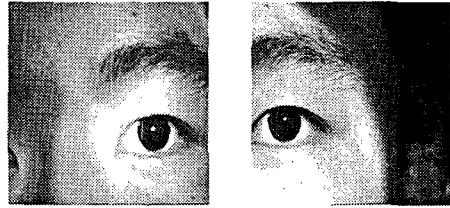


그림 4. 안구의 홍채 경계선의 좌표 산출



(a) 좌 카메라 영상의 홍채경계 (b) 우 카메라 영상의 홍채경계

그림 5. 안구의 홍채 영역 중심 좌표 산출

그림 5는 얻어진 좌우 카메라의 홍채 경계이며, 이 값으로부터 두 응시 평면을 구한다. 실험 과정을 통하여, 전술한 동작 알고리즘에 의한 시선의 응시 직선과 그의 교점을 계산하여, 최종 응시 지점의 삼차원 좌표 값을 산출하였다.

V. 결 론

본 논문에서 3차원 영상처리 기술을 이용하여 사용자의 시선을 추적하며 이를 기반으로 시각 제어 마우스 구현하는 연구 내용을 소개하였다. 본 논문에서 제안된 기술은 기존의 방식과 달리 응시 지점의 3차원 위치 좌표를 직접 산출하므로 오차가 적은 특징을 갖는다. 또한, 사용자의 머리의 움직임이 자유로우며 눈에 해로운 조명을 하지 않아도 되는 등의 장점이 있다. 제안되고 구현된 장치는, 모든 영상 데이터를 3차원 좌표계로 처리하므로, 기존 방식과 달리 영상 획득 장치와 사용자 간의 위치 관계 등에 관한 사전 지식을 전혀 필요로 하지 않으며, 사용자의 눈동자나 얼굴에 대한 사전 정보도 요구되지 않는다는 장점을 갖는다.

참고문헌

[1] Jaihie Kim et al, "Intelligent process control via gaze detection technology," Engineering Applications of AI, pp. 577-587, 2000.
 [2] D.H. Yoo, M.J. Chung et al, "Non-contact eye gaze tracking system by mapping of corneal reflections," 5th IEEE Int. Conference on Automatic face and gesture recognition, 2002
 [3] Q.Ji and X. Yang, "Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance", Real-time Imaging 8, pp. 357-377, 2002