

삼차원 응시 위치의 실시간 추적 시스템 구현

김 제 한
호남대학교 공과대학 전자공학과
062-940-5485

Design and Implementation of Real-time three dimensional Tracking system of gazing point

Jae-han Kim
Dept. of Electronic Engineering, Honam University
E-mail : kjh@honam.ac.kr

Abstract

This paper presents design and implementation methods of the real-time three dimensional tracking system of the 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.

I. 서론

시각 응시점(gazing point)을 구하고, 이 위치를 실시간으로 추적하는 수단이 있다면 여러 분야에서 매우 유용할 것이다. 그 응용의 예로서 첫째, 신체 장애자의 복지 향상을 위한 시각 제어 mouse나 이동 보조 장치에 대한 응용이 있다. 시각 제어 mouse란 단지 두 눈의 응시에 의하여 cursor 이동이나 click 등의 기능을 할 수 있는 장치이고, 이동 보조 장치 응용은 이동 wheelchair와 같은 기기에 대하여, handle의 조작 없이 두 눈의 응시로 응시 지점으로 이 기기를 움직이게 할 수 있도록 하는 지시 장치로 응용하는 것이다. 둘째로, 심리학이나 생리학 분야의 응용이 가능한데, 주변 환경의 변화나 내부 및 외부 반응에 대하여 시각

움직임이 어떻게 변하는가를 연구하기 위해 응시점을 추적 및 분석할 수 있다.

이 경우에는 인간과 달리, 상황 제어를 하기 어려운 동물에 대한 응시 추적도 역시 가능하므로, 동물 심리학과 행태학 등에 활용이 가능하다.

셋째로는 삼차원 영상 display 장치에서 핵심적인 응시 추적 sensor로서 응용된다. 즉, 실시간으로 응시 방향을 알아내어 그 방향에 해당되는 입체 영상을 적절히 display 할 수 있다. 넷째로는, 인간의 물체 응시 및 추적 능력을 이용한 이동체 추적 시스템의 구현이다. 인간의 눈으로 이동 물체를 응시 추적하면 이 추적 장치로 그 물체의 삼차원 좌표를 실시간으로 획득이 가능하다.

그 외에도 상업적 응용이 기대되는데, 광고나 의상 분야 등에서 과학적이고 계량적인 시각 효과 분석이 가능하여, 많은 상업적 활용이 기대되고 있다.

기존의 연구에서는 응시 위치의 실시간 추적 방법은 단일 카메라로 획득한 얼굴 영상을 분석하여 얼굴의 방향으로부터 응시점을 찾거나, 이차원 얼굴 영상에서 눈동자의 위치에 따라 응시 위치를 추정하는 방식이었다.[1]-[6]

이 경우에는 얼굴의 방향과 응시점의 방향이 항상 일치하지 않으므로 산출 결과가 부정확하며, 얼굴 영상 획득용 카메라와 대상자와의 거리가 바뀌면 모든 설정 paramter가 바뀌는 문제가 발생되어 부정확하고 불편한 단점이 있었다. 이 경우에 보조적 방법으로 가시광선이나 적외선을 이용하여 반사점(glint)을 만들기도

하는데 눈에 대한 안전이 보장되지 않아 사용에 거부감이 있다.[1][5][6] 또한, 삼차원 motion 추적 장치를 이용하기도 하는데 구성 비용이 크게 증가한다. 이 외의 방법으로는 눈 주위의 근 전위 (EOG)를 검출하여 눈동자의 변화를 감지하는 방법도 있으나 전극의 부착이 불편하고 정확도가 높지 않다.

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해, 기존 방식과 전혀 다른 방식과 구현 방법을 제시한다. 즉, 눈에 대한 삼차원 거리 정보를 정확하게 측정하며, 이를 통한 3차원 응시점을 계산하여, 실시간으로 응시 위치를 정확하게 산출하는 방법과, 이 장치의 구현 내용을 소개한다.

II. 응시 위치 추적 시스템

본 논문에서 제안하는 방법은 두 눈의 3차원 영상 정보를 이용하는 방식이다. 즉, stereoscopic 카메라로 획득한 양안 영상으로부터 양안 특징 점들의 삼차원 거리 데이터 (3D range data)를 구한 후, 그 값을 이용하여 공간 기하학적으로 응시 위치의 삼차원 좌표 값을 찾는다.

2.1 시스템의 특징 및 장점

삼차원 좌표 값으로 응시 위치를 찾기 때문에, 이차원 영상 좌표 값 만 이용하는 기존 방식과 달리, 운용자 또는 대상자의 눈동자와 얼굴의 특징 및 형태 또는 응시 습관 등을 알 필요가 없다. 그리고, 영상 획득 장치와 눈의 위치 관계 등에 관한 사전 지식이 전혀 필요하지 않고, 응시방향 산출 알고리즘이 간단하다. 또한, 산출 값이 여러 개별 조건에 영향을 받지 않으므로, 상황에 따른 보정이 필요 없게 된다.

카메라로 획득된 영상에서 삼차원 좌표 값을 산출하고 이 값으로 눈의 응시점 거리와 방향을 계산하여 3차원 좌표계에서 정확한 응시점 좌표를 획득하므로, 정밀하고 유연한 인간과 컴퓨터 간의 인터페이스를 구현 할 수 있다.

이 방법은 제한된 영역과 위치에서만 동작하는 기존의 방식과는 달리, 눈에 해를 줄 수 있는 조명이나 빛의 조사를 하지 않으며, 머리카락이나 얼굴에 전극이나 장치를 부착하지도 않는다.

사용자 또는 대상자가 움직여도 본 장치의 동작에 이상이 없으므로 사용자 자유도가 주어진다. 그럼에도 불구하고, 응시방향 산출 알고리즘 처리 과정이 복잡하지 않아, 연산 시간이 많이 소요되지 않으며, 산출 값이 여러 가지 개별 상황에 영향을 받지 않고, 삼차

원 응시 좌표의 정확도를 높일 수 있는 장점이 있다. 이를 설명하기 위하여, 제안 알고리즘과 시스템 구성 및 동작 내용을 기술하며 실험 결과를 분석한다.

2.2 제안된 응시 위치 추적 알고리즘

응시 평면 두 개를 구하는 방법은, 그림 1에서 보는 바와 같이 공막과 홍채와의 경계선 상에 최소한 세 점을 임의로 택한다. 즉, 홍채와 공막의 경계선을 이루는 홍채 원주 상에서 임의의 세 점 P_1, P_2, P_3 을 택하거나 또는 동공의 경계선을 이루는 동공 원주 상에서 임의의 세 점 P_1, P_2, P_3 을 택하도록 한다.

세 점 P_1, P_2, P_3 의 3차원 위치 벡터를 각각 $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3$ 라고 하면, 홍채 원판 또는 동공 원판에 수직인 단위 벡터는 다음과 같은 식(1)로 주어진다.

$$\hat{v} = \frac{(\vec{P}_1 - \vec{P}_3) \times (\vec{P}_2 - \vec{P}_3)}{|\vec{P}_1 - \vec{P}_3| \times |\vec{P}_2 - \vec{P}_3|} = \hat{p}_{13} \times \hat{p}_{23} \quad (1)$$

여기서, \hat{p}_{13} 는 점 P_3 으로 부터 점 P_1 으로 향하는 단위 벡터이고 \hat{p}_{23} 는 점 P_3 로 부터 점 P_2 로 향하는 단위 벡터이다.

그 점 중에서 임의의 두 점을 이어 생기는 서로 평행하지 않은 선분을 두 개 만들고, 각 선분에 대하여 수직 이등분 면을 만들면 이것이 응시 평면들이다.

점 P_1 과 P_3 을 잇는 선분을 수직 이등분하는 평면 S_1 과, P_2 와 P_3 을 잇는 선분을 수직 이등분하는 평면 S_2 으로 표현되는 두 개의 응시 평면에서, 점 P_1 과 P_3 을 잇는 선분을 수직 이등분하는 평면 S_1 상의 임의의 점을 나타내는 위치벡터 \vec{S}_1 은 다음 식 (2)로 주어진다.

$$\vec{S}_1 = \frac{1}{2} \hat{p}_{13} + \alpha_1 (\hat{v} \times \hat{p}_{13}) + \beta_1 \hat{v} \quad (2)$$

여기서, α_1 과 β_1 은 임의의 값을 갖는 실수이다.

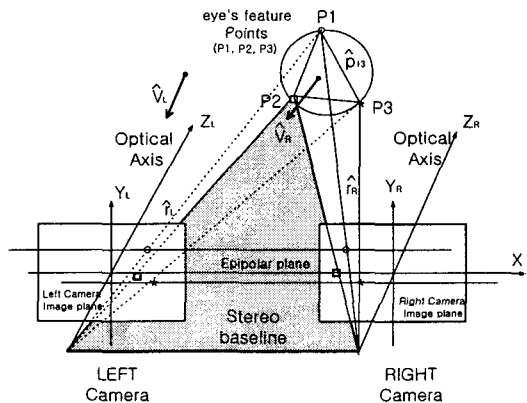


그림 1. 응시 위치 추적 알고리즘의 좌표계

점 P_2 과 P_3 을 잇는 선분을 수직 이동분하는 평면 S_2 상의 임의의 점을 나타내는 위치 벡터 \vec{S}_2 는 다음 식 (3)으로 주어진다.

$$\vec{S}_2 = \frac{1}{2} \hat{P}_{23} + a_2(\hat{v} \times \hat{P}_{23}) + \beta_2 \hat{v} \quad (3)$$

여기서 a_2 와 β_2 는 임의의 값을 갖는 실수이다. 이와 같은 설정에서 응시 직선을 구하는 방법은 위에서 구한 두 응시 평면의 교선을 구하면 된다. 두 평면 S_1 과 S_2 의 교선 직을 구하기 위해서는 위의 두 벡터 방정식 (2)와 (3)을 같게 놓고 이를 만족시키는 $a_1, a_2, \beta_1, \beta_2$ 값들을 구하면 된다.

2.3 데이터 처리 및 동작 절차

(1) 삼차원 거리 데이터 획득

양 눈의 공막(sclera)과 홍채(iris) 그리고 동공(pupil)을 포함하는 좌우측 눈의 거리 데이터를 획득하기 위한 첫 단계로, 스테레오 카메라로부터 좌우측 각각의 영상을 획득한다. 양안식 카메라로부터 획득된 좌우측 눈의 영상에서, 특징적인 좌우측 눈의 공막과 홍채의 경계선 상의 점 들이나 동공의 경계선 상의 점들을 edge 추출 기법으로 찾는다.

좌우측 눈의 영상들 사이에서 상기 각 점들에 대한 동일점은 stereo matching 기법으로 이차원 영상 좌표계 상의 좌표값으로 찾아낸다. 이러한 동일점에 대하여 삼각 측량(triangulation) 원리를 적용하여 장치 내에 설정된 기준점으로부터 특징점의 삼차원 좌표값을 구할 수 있다. 이 삼차원 좌표 값의 기준 점은 스테레오 카메라를 구성하고 있는 frame 내에 설정된 한 점으로 정해도 되며 또는 그 점으로부터 상대적인 위치를 알 수 있는 한 점을 기준 점으로 정한다.

이에 따라, 응시 추적 대상자는 카메라의 위치와 관계 없이 움직이더라도, 좌우측 눈이 응시하는 물체와 기준점과의 공간 위치 관계를 알고 있으므로, 운용자 또는 대상자의 움직임과 관계없이 응시점을 산출할 수 있다. 따라서, 편리한 움직임 자유도가 주어진다.

(2) 응시 평면 산출

상기 단계에서 구한 양안의 거리 데이터로부터 홍채 또는 동공의 중심점 좌표와 응시 방향을 정의하여 응시점을 지나는 응시 평면(gazing plane)을 구한다.

(3) 응시 위치 데이터 산출

두 응시 평면의 cross section으로부터, 응시 직선(gazing line)과 응시 지점을 그림 2의 그림과 같이 산출하게 된다. 이 시스템을 구현하기 위하여 하드웨어

로 스테레오 카메라와 영상 획득 장치를 사용하였고, 제안 알고리즘을 삼차원 응시지점 실시간 추적 기능의 소프트웨어로 구현하였다.

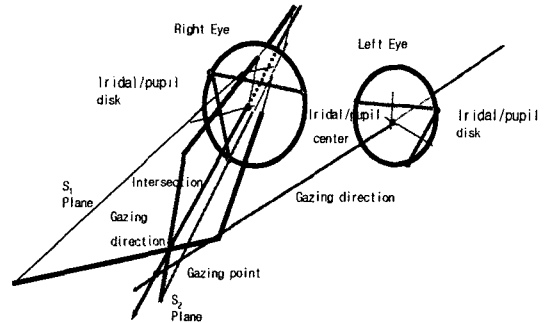
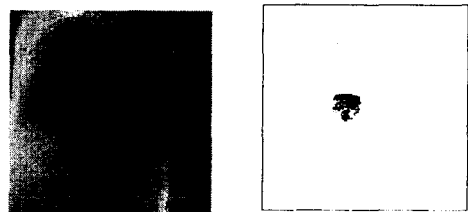


그림 2. 응시점 산출의 3차원 공간 개념도

III. 시스템 구현 및 실험

3.1 홍채 중심점 산출

시스템 동작의 첫 처리 과정은 응시점 산출을 위한 2차원 획득 영상의 홍채 중심점 산출로부터 시작한다. 이 위치 좌표의 산출은 홍채 경계선을 찾는 과정을 용이하게 한다. 이를 위하여 우선 영상의 histogram을 구한 후 적절한 threshold 값을 찾아, 그림 3의 좌측에 있는 원 영상에서, 영상 이진화를 수행하여 그림 3



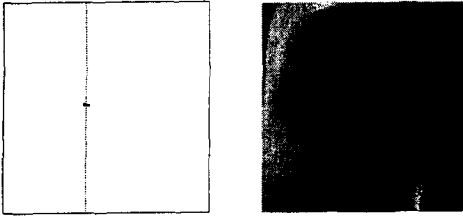
의 우측과 같이 검은 눈동자 부분을 분리한다.

그림 3. 이진화를 통한 홍채 영역 추출
(좌측: 획득된 원영상, 우측: 이진화 영상)

그 후, 영상의 팽창과 침식 연산을 통하여 그림 4의 좌측 그림과 같이 홍채 중심 부위를 찾으며, 이 좌표를 그림 4의 우측 영상과 같이 홍채 영역의 중심 좌표로 정한다.

3.2 홍채 경계선 산출을 위한 밝기 분석

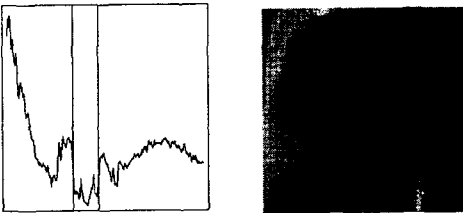
홍채 경계선 상의 3점 이상의 점들의 3차원 좌표를 구



하기 위하여 임의의 두 수평선을 정한 후, 그 선상의 홍채 경계점의 좌표를 구한다.

그림 4. 안구의 홍채 영역 중심 좌표 산출
(좌측: 홍채 중심부 산출, 우측: 원 영상에 홍채 중심 좌표를 표시)

이를 위하여 본 실험에서는 한 예로, 홍채 중심부의 좌표와 10 pixels 아래 좌표를 택한 후 두 수평선을 정하고, 이 수평선과 홍채의 외부 경계선의 교점을 구하였다. 그림 5의 좌측 영상은 홍채 중심점에서 10



pixels 아래의 수평선에 대한 밝기 그래프이며, 공막과 홍채 경계에서 기울기가 큰 것을 볼 수 있다.

그림 5. 홍채 경계선의 밝기 정도 분석
(좌측: 홍채 중심부에서 10 pixels 아래 지점의 밝기 그래프, 우측: 원 영상에서 경계점 추출)

3.3 홍채 경계선 좌표 산출

그림 5 좌측 그래프의 밝기 정도(intensity gradient)를 분석하여, 공막과 홍채의 경계 위치를 구한다. 국지적 최대 정도를 갖는 위치가 경계점이 되며, 실험을 통하여 검출된 경계점 추출 결과가 그림 5 좌측의 수직선과 같고, 이 홍채 경계선 상의 점들이 그림 5의 우측 영상과 같이 추출되며, 계속적인 반복 연산으로 다른 위치의 경계선 좌표를 구한다.

3.4 3차원 좌표 산출

양안 영상으로부터 상기 경계선 좌표의 양안 시차를 구하면 각 경계점 좌표의 3차원 좌표 값이 획득되며, 이 값으로부터 두 응시 평면을 구한다. 그림 1, 2에서 보인 바와 같이, 전술한 동작 알고리즘에 의하여 응시

직선과 그의 교점을 계산하면, 최종 응시 지점의 삼차원 좌표 값이 산출된다.

V. 결론

본 논문에서 삼차원 응시 위치의 실시간 추적 방법과 추적 장치의 구성과 구현 기법에 대해 기술하였다. 여기서 제안되고 구현된 방법은 모든 영상 데이터를 3차원 좌표계로 처리하므로, 기존 방식과 달리 영상 획득 장치와 눈의 위치 관계 등에 관한 사전 지식을 전혀 필요로 하지 않으며, 대상자 눈동자나 얼굴에 대한 사전 정보도 요구되지 않는다는 장점을 갖는다. 따라서, 응시 추적 대상자가 움직여도 본 장치의 동작에는 영향이 없는 사용자 자유도가 주어진다. 본 방법을 구현하고 실험을 통하여 성능을 검증해 본 결과, 응시방향 산출 알고리즘 처리 과정이 복잡하지 않아서 연산 시간이 많이 소요되지 않으며, 산출 값이 대상자의 자세와 같은 여러 개별 상황에 영향을 받지 않았고. 카메라의 해상도에 비례하여 삼차원 응시 좌표의 정확도를 높일 수 있는 등의 장점을 보였다.

참고문헌

- [1] T. Hutchinson, K. White et. al., "Human computer Interaction using eye-gaze input", IEEE trans. on systems, man, and cybernetics, vol.19, no. 6, pp. 1527-1533, Nov. 1989.
- [2] A. Sugioka, Y. Ebisawa and M. Ohtani, "Non contact video-based eye-gaze detection method allowing large head displacement", Int'l Conference of the IEEE Engineering in medicine and biology society, pp.526-528, 1996.
- [3] Lars peter Bala, Kay Talmi and Jin Liu, "Automatic detection and tracking of faces and facial features in video", 1997 PCS, pp. 251-256, Oct.1997.
- [4] Jaihie Kim et al, "Intelligent process control via gaze detection technology," Engineering Applications of Artificial Intelligence, pp. 577-587, 2000.
- [5] Dong Hyun Yoo, Myoung Jin Chung et al., "Non-contact eye gaze tracking system by mapping of corneal reflections," 5th IEEE International Conference on Automatic face and gesture recognition, 2002
- [6] Qiang Ji and Xiaojie Yang, "Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance", Real-time Imaging 8, pp. 357-377, 2002