Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.16, No.3, 1997

영상처리를 이용한 머리의 움직임 추적 시스템

Head Tracking System Using Image Processing

박경수* · 임창주* · 반영환* · 장필식*

ABSTRACT

This paper is concerned with the development and evaluation of the camera calibration method for a real-time head tracking system. Tracking of head movements is important in the design of an eye-controlled human/computer interface and the area of virtual environment.

We proposed a video-based head tracking system. A camera was mounted on the subject's head and it took the front view containing eight 3-dimensional reference points(passive retro-reflecting markers) fixed at the known position(computer monitor). The reference points were captured by image processing board. These points were used to calculate the position (3-dimensional) and orientation of the camera.

A suitable camera calibration method for providing accurate extrinsic camera parameters was proposed. The method has three steps. In the first step, the image center was calibrated using the method of varying focal length. In the second step, the focal length and the scale factor were calibrated from the Direct Linear Transformation (DLT) matrix obtained from the known position and orientation of the camera. In the third step, the position and orientation of the camera was calculated from the DLT matrix, using the calibrated intrinsic camera parameters.

Experimental results showed that the average error of camera positions (3-dimensional) is about 0.53°, the angular errors of camera orientations are less than 0.55° and the data aquisition rate is about 10Hz.

* 한국과학기술원 산업공학과

The results of this study can be applied to the tracking of head movements related to the eye-controlled human/computer interface and the virtual environment.

Keywords : Camera Calibration, Head Tracking, Computer Vision, Image Processing

1. 서 론

인간의 머리의 위치와 방향을 추적하는 것은 인간공학의 여러 연구 분야에서 필요하다. 즉 자동차 운전자의 운전 습관을 평가할 때 머리의 움직임을 추적하거나, 가상 환경(Virtual Environment) 연구에서 머리의 움직임을 고려한 입체화면(stereoscopic display)을 개발하거나, 주시선을 이용한 인간/컴퓨터 인터페이스를 설계할 때 머리의 위치와 방향을 알아낼 필요가 있다.

1989년 Hutchinson 등은 장애자를 위한 입력장치로 주시선을 이용한 보철기구를 개발하였다[9]. 이 기구는 신체와 음성에 장애가 있는 장애자에게 의사소통 및 제어수단을 제공하기 위해 개발되었으나 그 유용성에도 불구하고 머리를 고정시켜야 하는 단점으로 실용화가 어렵다는 제한점이 있다[16].

주시방향의 절대좌표는 눈의 움직임과 머리 및 몸의 움직임과 결합되어 결정되므로 머리 움직임의 제한을 받지 않고 주시 이동을 측정하기 위해서는 머리 움직임을 실시간으로 추적할 필요가 있다. 움직이는 물체의 위치나 방향을 추적하는 방법은 기계적(mechanical), 관성적(inertial), 전자기적(electromagnetic), 광학적(optical) 방법이 있는데, 전자기적 방법과 광학적 방법의 사용이 일반적이다[1][17].

1996년 Park과 Lee는 주시선을 이용한 인간/컴퓨터 인터페이스를 설계할 때 인간의 머리의 위치와 방향을 고려하기 위해서 전자기적 성질을 이용한 Polhemus' FASTRAK을 사용하였다[9]. Polhemus' FASTRAK은 정확도가 높은 반면 전자기적 성질을 이용하므로 자기장이 노출된 환경에서는 왜곡된 정보가 나타날 수 있으며, 시스템이 복잡하고 고가의 장비이다. 반면에 광학적 방법은 제한된 영역(카메라의 시각역)에서만 정보를 얻을 수 있다는 단점이 있지만 자기장의 영향이 없고 시스템이 비교적 간단하며 저가이므로 실용화가 가능하다.

최근에는 해상도가 높고 크기가 작은 CCD Charge Coupled Device) 카메라의 개발로 인해서 머리밴드에 카메라를 부착하는 것이 용이해 졌고, 컴퓨터 비젼 기술의 발달로 실시간 영상처리가 가능해 졌다. 1991년 Nakamura와 Kobayashi는 광학적 방법으로 머리 움직임을 고려하는 시스템을 제안한 바가 있다[15].

광학적 방법으로 머리의 위치와 방향을 정확하고 빠르게 알아내기 위해서는 카메라의 보정이 필수적이다. 카메라 보정은 컴퓨터 비젼에서 가장 기초적인 과정으로 3차원 공간과 2차원 컴퓨터 영상 좌표와의 대응 관계로부터 카메라 내부의 기하학적, 광학적 특성(내부적 변수)과 실세계 좌표계에 대한 카메라 좌표계의 위치와 방향(외부적 변수)을 결정하는 과정을 말한다[14][20][21].

본 논문에서는 3차원 공간상에서 머리의 위치와 방향을 알아내기 위하여, 소형 카메라 한 대를 머리밴드에 고정시키고 모니터에 부착시킨 기준점을 영상처리하여 모니터에 대한 카메라의 위치와 방향을 알아내고자 한다. 모니터에 대한 카메라의 상

대적인 위치와 방향을 알아내기 위해서는 카메라 보정이 필수적이므로 본 목적에 적합한 보정 방법을 개발하고, 개발한 보정 방법을 적용하여 그 타당성을 평가하는 것을 목적으로 한다.

2. 카메라 보정

컴퓨터 비젼에서 카메라 보정(camera calibration)이란, 실세계 좌표계(WCS ; World Coordinate System)에 대해서 카메라의 3차원적인 위치와 방향(외부적 변수)을 구하고 카메라의 기하학적 광학적 특성(내부적 변수)을 결정하는 일련의 과정을 말한다[4][7][14].

이것은 2차원 영상으로부터 3차원적인 위치정보를 얻거나 3차원 정보를 알고있는 물체의 2차원 영상에서의 위치를 알아내기 위하여 필수적인 과정이며, 움직임을 측정하는 시스템에 적용할 경우 시스템의 성능에 크게 영향을 미치는 중요한 과정이라 할 수 있다[6][13].

2.1 구현한 카메라 보정 방법

본 절에서는 실제로 구현한 카메라 보정 방법에 대해 설명하기로 한다. 구현한 보정 방법은 카메라의 위치 변화에도 재보정이 필요 없는 내부적 변수를 먼저 구해 두고 카메라의 위치가 바뀔 때마다 변환 행렬로부터 외부적 변수를 계산하는 방법이다. 내부적 변수 중 영상 중심은 독립적으로 보정하고, 초점 거리와 scale factor는 외부적 변수를 정확히 알고있는 지점에 카메라를 고정시킨 후 기준점의 영상으로부터 얻은 변환 행렬을 분해하여 구한다. 그림 1은 구현한 방법의 개요를 나타낸다. 다음은 이 방법에 적용된 카메라 모델, 용어, 영상 중심의 독립적인 보정, 변환 행렬(Direct Linear Transformation 행렬[22])의 유도, 변환 행렬의 추정 방법, 변환 행렬의 분해 방법에 관한 설명이다[3][5][19].

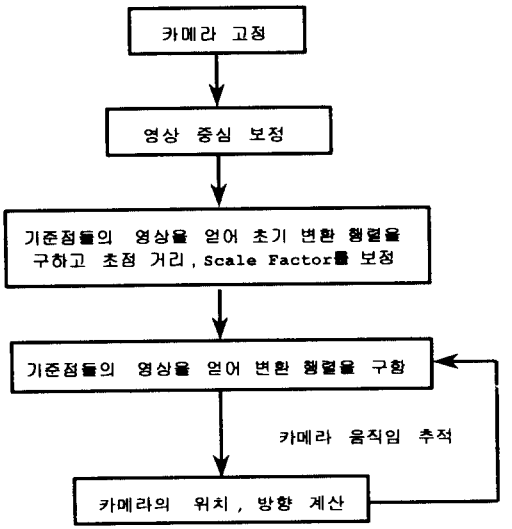

그림 1. 구현한 보정 방법의 개요

2.1.1 용어 설명

$r_W=(x_W, y_W, z_W)$: 실세계 좌표계에서의 기준점 P의 좌표

$r_C=(x_C, y_C, z_C)$: 카메라 좌표계에서의 기준점 P의 좌표

$s_F=(u_F, v_F)$: $r_W=(x_W, y_W, z_W)$의 영상 평면 좌표(밀리미터 단위)

$s_I=(u_I, v_I)$: 영상 중심을 고려한 컴퓨터 영상 좌표(픽셀 단위)

$(u_I s, v_I s, s)$: (u_I, v_I)의 homogeneous 좌표

f : 초점 거리(Charge Coupled Device array와 광학 중심과의 거리)

(u_0, v_0) : 영상 중심에 대한 컴퓨터 영상 좌표(픽셀 단위)

δ_u : pixel의 수평방향 크기 (밀리미터/픽셀)

δ_v : pixel의 수직방향 크기 (밀리미터/픽셀)

$$t_C^W = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} : \text{평행이동 벡터}$$

$$R_C^W = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} : \text{3x3 회전이동 행렬}$$

2.1.2 카메라 모델

렌즈의 왜곡을 무시하면 카메라는 완전한 원근 투시변환을 수행하는 pin hole로 모델링할 수 있다[7][8][10].

본 연구에서 사용된 카메라 모델은 pin hole 카메라 모델이고 모든 좌표계는 직교좌표계이고 좌표축의 방향은 오른손 법칙을 따른다[7].

그림 2는 카메라 모델의 기하를 보여준다. 본 모델에서는 실제 카메라 시스템과 같이 영상 평면이 광학 중심 뒤에 놓여지고 영상은 뒤바뀌게 된다. 실세계 좌표계의 원점은 임의의 기준점으로 정하고, 카메라 좌표계의 원점은 광학 중심, 영상 평면 좌표계의 원점은 640x480 영상에서 좌측 상단이다.

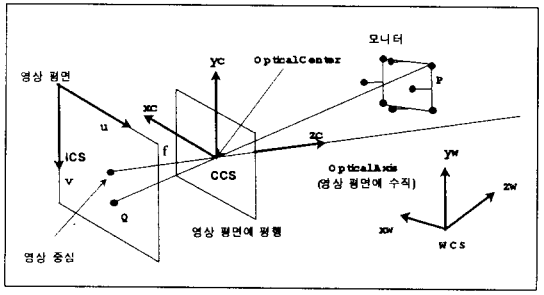

그림 2. Pin hole 카메라 모델

(P : 기준점(3D), Q : 영상 평면에 맺힌 점(2D), WCS : 실세계 좌표계(3D), CCS : 카메라 좌표계(3D), ICS : 영상 평면 좌표계(2D))[18]

2.1.3 영상 중심의 독립적인 보정

Shih 등은 카메라의 위치와 방향이 영상 중심과 상관관계가 있으므로 외부적 변수의 정확한 계산을 위해서는 영상 중심을 다른 파라메타들과는 독립적으로 보정해야 함을 밝혔다[18].

영상 중심을 독립적으로 얻어내는 방법으로는 레이저를 사용하는 direct optical method, 카메라의 초점 거리를 변화시켜 기준점들의 optical flow를 이용하여 구하는 방법, radial alignment method와 model fit technique 등이 있다[12]. 본 논문에서는 사용절차가 간단한 optical flow를 이용하여 구하는 방법을 사용하였다.

영상 중심은 광축이 영상 평면과 만나는 점이고 카메라의 zooming은 영상 평면에 맺힌 기준점들을 영상 중심 쪽으로 끌어당기는 역할을 하게 된다. 그러므로 기준점이 여러 개 있는 평면을 초점 거리를 다르게 하여 두 장의 영상을 얻었을 때, 각 점의 이동 상황은 그림 3과 같이 나타나게 된다. 영상 중심은 그림 3과 같은 직선들의 교점을 최소자승법을 이용하여 구한다. 각 직선들은 다음과 같은 직선의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y = a_0x + b_0 &\text{ 이므로 } a_0x - y = -b_0 \\ y = a_1x + b_1 &\text{ 이므로 } a_1x - y = -b_1 \\ y = a_2x + b_2 &\text{ 이므로 } a_2x - y = -b_2 \\ &\vdots \\ y = a_nx + b_n &\text{ 이므로 } a_nx - y = -b_n \end{aligned}$$

이것을 행렬로 나타내면 $AX = b$ 와 같다. 여기서

$$A = \begin{bmatrix} a_0 & -1 \\ a_1 & -1 \\ a_2 & -1 \\ \vdots & \vdots \\ a_n & -1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} -b_0 \\ -b_1 \\ -b_2 \\ \vdots \\ -b_n \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

결국 영상 중심은 $X = (A^tA)^{-1}A^tb$로 추정된다.

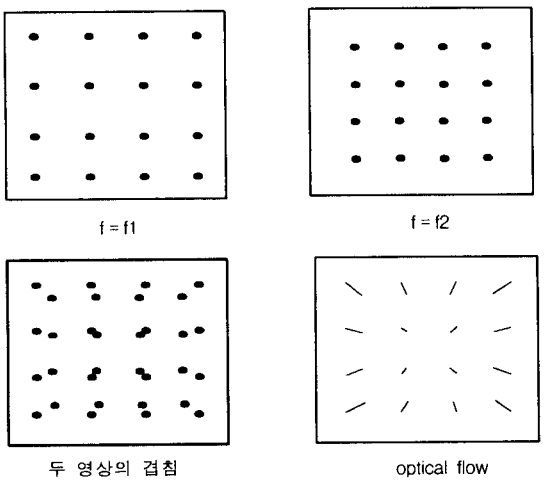

그림 3. Optical Flow

2.1.4 변환 행렬의 유도

구하고자 하는 실세계 좌표(3D)로부터 컴퓨터 영상 좌표로의 변환은 다음과 같은 변환 행렬 H로 간단히 표현된다[18].

$$\begin{bmatrix} u_i s \\ v_i s \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ h_5 & h_6 & h_7 & h_8 \\ h_9 & h_{10} & h_{11} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.1.5 변환 행렬의 결정 방법

기준점들의 실세계 좌표와 그에 대응하는 컴퓨터 영상 좌표를 얻었다면 문제는 변환 행렬 H를 먼저 결정하여 CP(Camera Parameters) $=[t_1, t_2, t_3, \phi_x, \phi_y, \phi_z, f, \delta_u]^t$로 분해하는 것이다. CCD 카메라는 δ_v가 알려져 있으므로 본 논문에서는 상수로 취급한다.

편의상 행렬 P, h와 q를 다음과 같이 정의하면 식(1)은 변환 행렬의 원소를 미지수로 하는 다루기 쉬운 선형방정식 시스템이 된다. 즉

$$P=\begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i & y_i & z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_i x_i & -u_i y_i & -u_i z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_i & y_i & z_i & 1 & -v_i x_i & -v_i y_i & -v_i z_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}_{2N_{ref} \times 11}$$

$$h=[h_1\ h_2\ h_3\ h_4\ h_5\ h_6\ h_7\ h_8\ h_9\ h_{10}\ h_{11}]^t_{11\times 1}$$

$$q=[\cdots\ u_i\ v_i\ \cdots]^t_{16\times 1}$$

라 하면 식(1)은 선형방정식 시스템 $Ph=q$와 같다. 따라서 한 평면 위에 있지 않은 6개 이상의 기준점이 있다면 미지수보다 등식의 개수가 더 많게 되므로 h를 쉽게 구할 수 있고, 이 h를 이용하여 카메라 파라메타들로 분해할 수 있다.

본 논문에서는 8개의 기준점을 사용하므로 미지수가 11개이고 등식이 16개인 선형방정식 시스템이 된다. 시스템을 정의하는 변환 행렬을 주어진 데이터를 가지고 추정할 때 시스템의 오차에 의해 $Ph=q$의 해인 h가 정확히 구해지지 않으므로 잔차 $r=\|Ph-q\|$를 최소화하는 h를 구한다. 이 h를 구하기 위해 최소자승법을 사용한다[18].

2.2 적용 절차

카메라 보정 방법을 이용하여 카메라의 위치와 방향을 구하는 절차는 다음 표 1과 같다

표 1. 적용 절차

단계 1 : 영상 중심을 독립적으로 먼저 보정한다.
단계 2 : 실세계 좌표계의 원점으로부터 z_W를 정확히 알고 있는 곳에 방향이 $\phi_x=\phi_y=\phi_z=0$이 되도록 카메라를 고정시킨다.
단계 3 : 기준점들의 영상을 얻어 변환 행렬을 구한다.
단계 4 : f, δ_u를 보정한다.
단계 5 : 카메라가 움직일 때마다 단계 3만 반복하여 카메라의 위치와 방향을 구한다.

3. 실 험

실험은 크게 3가지이다. 실험 1은 영상 중심의 컴퓨터 영상 좌표를 구하는 것이고 실험 2는 나머지 내부적 파라메타를 구하는 것, 실험 3은 실제로 카메라의 위치와 방향을 얼마나 정확히 계산해 내는가 하는 본 논문에서 개발한 보정 방법의 타당성 평가 실험이다. 이 실험들은 개인차를 무시할 수 있으므로 피실험자를 1명으로 하였다.

3.1 실험 장치 및 구성

실험 장치의 구성도가 그림 4에 도시되어 있고, 구성 요소의 사양에 대해서는 표 2에 요약되어 있다. 모니터에 부착시킬 보안경에 그림 4와 같이 마커를 부착시키고 이 마커를 소형 카메라로 찍어서 카메라의 위치와 방을 계산하도록 하였다. 소형 카메라로부터 나온 아날로그 신호는 영상처리보드를 통해 640X480 해상도의 영상으로 이산화(Digitized) 되며, 영상 프로세싱은 586 PC에서 수행하였다.

표 2. 구성 요소의 사양

No	Component	Spec.
1	CCD 카메라 (SONY XC-75)	768(H)x494(V) resolution, f = 8mm, δ_v = 0.00980(mm/pixel), 적외선 패스 필터를 장착
2	영상처리보드 (삼성 MVB-02)	640(H)x480(V) resolution
3	Processing Unit	586 PC
4	Marker	적외선 빛을 반사, 반구형, 직경=10mm
5	조명	적외선 전구

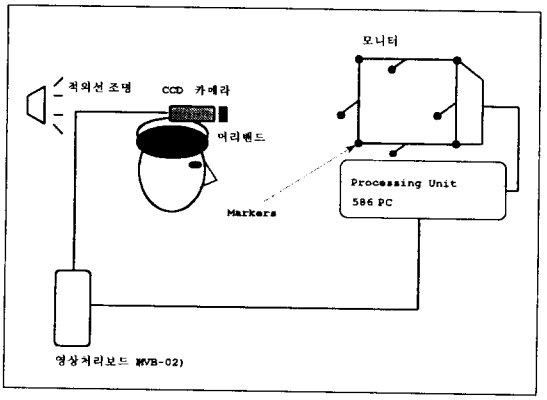

그림 4. 실험 장치의 구성도

3.2 실험 방법

3.2.1 실험 1(영상 중심의 보정)

영상 중심을 독립적으로 보정하는 실험이다. 먼저 마커 16개를 한 평면에 일정한 간격으로 붙였다. 그림 5와 같이 아래의 실험 조건에 입각하여 카메라를 고정시켰다. 초점 거리를 변화시켜 두 장의 영상을 얻어 마커들의 무게 중심을 구하였다. 각 마커의 무게 중심의 이동을 optical flow로 보고 이 optical flow들의 교점을 최소자승법으로 추정하여 영상 중심으로 하였다.

○ 실험 조건[23]

- 기준점 평면과 영상 평면은 정확히 평행해야 한다.
- 광학 중심은 기준점 그룹의 중심으로부터 그은 법선 상에 있어야 하고 기준점 평면과

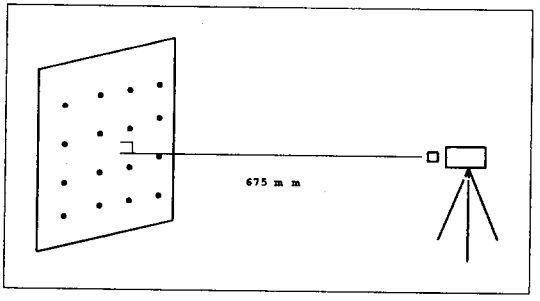

그림 5. 영상 중심 보정시 카메라의 위치

알려진 거리에 있어야 한다.

- 기준점들의 평면 영상 좌표 측정은 오차가 거의 없어야 한다.

3.2.2 실험 2(f, δ_u 의 보정)

영상 중심을 독립적으로 보정한 후 f, δ_u 를 구하는 실험이다. 즉 카메라를 $\phi_x = \phi_y = \phi_z = 0$인 방향으로 그림 6과 같이 z_W=675mm인 지점에 정확히 고정시키고 영상을 얻어 변환 행렬을 구했다. 이 변환 행렬로부터 f, δ_u를 얻었다.

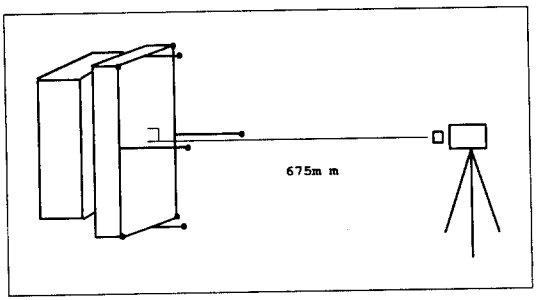

그림 6. f, δ_u 보정시 카메라의 위치

3.2.3 실험 3(정확도 측정)

일반적으로 오차는 이미 알고있는 참값과 측정값을 비교하여 측정값에서 참값을 뺀 값으로 정의하였다. 본 실험에서는 자와 각도기로 실측한 실측값을 참값으로 하고 광학적 방법으로 계산한 값을 측정값으로 하였다. 본 논문에서 개발한 방법의 타당성을 평가하기 위해서 그림 7과 같이 Video Display Terminal 작업시 머리가 위치할 수 있는 영역에 25군데를 랜덤하게 정하였다. 측정 위치가 많을수록 반복정밀도를 향상시킬 수 있으나 실험의 경제성을 고려해서 25번 측정하였다. 기준점과 카메라의 거리에 따라 오차가 커지는 경향이 있으므로 새로운 오차의 척도를 정의하였다. 각 위치에 카메라를 고정시키고, 기준점들이 카메라의 시각역의 중심 부근에 들어올 수 있도록 카메라의 방향을 조정하였다. 본 논문에서 개발한 방법으로 카메라의 위치와 방향을 계산한다. 이 값을 실측값과 비교한다. 이 절차를 25군데에서 반복하였다.

계산값을 구할 때 보안경의 맨 오른쪽 아래에 붙인 기준점을 실세계 좌표계의 원점으로 잡고 카메라 렌즈의 중심을 카메라의 위치로 하여 카메라의 위치와 방향을 계산하였다. 실측할 때는 렌즈의 중심이 카메라의 내부에 있으므로 정확한 위치를 파악하기 힘들다. 따라서 렌즈의 앞에 붙인 필터의 중심과 렌즈와의 상대위치를 이용하여 필터의 위치와 방향을 측정하고 나중에 렌즈의 위치와 방향으로 환산하였다.

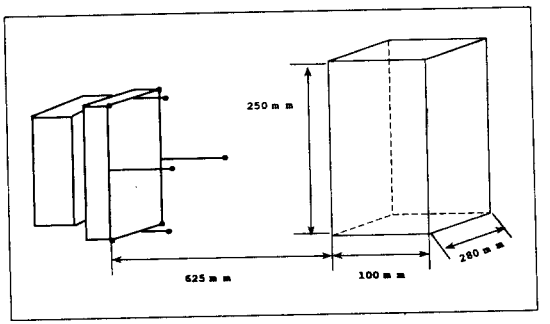

그림 7. 정확도 측정시 고려한 카메라의 위치

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 1의 결과 및 분석

영상 중심의 보정 결과는 표 3과 같다.

본 실험에 의하면 영상 중심과 프레임 메모리의 중심이 수 pixel 내에서 일치하였다.

표 3. 영상 중심의 보정 결과
(단위 : pixel)

u_0	320.98
v_0	242.87

4.2 실험 2의 결과 및 분석

f, δ_u의 보정 결과는 표 4와 같다.

표 4. f, δ_u의 보정 결과.

f	7.9587 (mm)
δ_u	0.00963 (mm/pixel)
δ_v	0.00980 (mm/pixel) : 카메라 매뉴얼

본 실험에 사용된 카메라의 초점거리는 7.9587 mm, pixel의 수직방향 크기는 0.00963mm로 측정되었다.

4.3 실험 3의 결과 및 분석

카메라의 3차원 위치와 방향의 정확도를 평가하기 위해서는 오차의 척도에 대한 정의가 필요하다. 카메라 위치에 대한 오차는 기준점 구성과 카메라와의 거리에 의존하므로 그 거리로 나눈 값을 오차로 정의하였다. 이 오차는 시각(visual angle)의 의미를 가진다. 57.3은 radian 단위를 도로 환산하기 위한 상수이다[2][11]. 카메라의 방향에 대한 오차는 계산값과 실측값의 차이로 정의해서 분석하였다. 다음은 정의된 오차이다.

- error $(x_W) = \left| \frac{x_{est.} - x_r}{z_r} \right| \times 57.3$
- error $(y_W) = \left| \frac{y_{est.} - y_r}{z_r} \right| \times 57.3$
- error $(z_W) = \left| \frac{z_{est.} - z_r}{z_r} \right| \times 57.3$
- error $(3D\ position) =$
$\left| \frac{\sqrt{(x_{est.} - x_r)^2 + (y_{est.} - y_r)^2 + (z_{est.} - z_r)^2}}{z_r} \right| \times 57.3$
- error $(\phi_x) = | \phi_{x(est.)} - \phi_{x(real)} |$
- error $(\phi_y) = | \phi_{y(est.)} - \phi_{y(real)} |$
- error $(\phi_z) = | \phi_{z(est.)} - \phi_{z(real)} |$

여기서 $x_r, y_r, z_r, \phi_{x(real)}, \phi_{y(real)}, \phi_{z(real)}$는 실측값, $x_{est.}, y_{est.}, z_{est.}, \phi_{x(est.)}, \phi_{y(est.)}, \phi_{z(est.)}$는 계산값을 나타낸다.

오차 측정의 결과를 요약하면 표 5와 같다.

표 5. 오차 측정의 결과 요약

parameters	mean (error)	s.d. (error)	Max.(error)
x_W	0.235(degree)	0.12906	0.433(degree)
y_W	0.290(degree)	0.16134	0.579(degree)
z_W	0.344(degree)	0.15683	0.561(degree)
3D Position	0.525(degree)	0.14146	0.738(degree)
ϕ_x	0.175(degree)	0.13096	0.513(degree)
ϕ_y	0.229(degree)	0.13577	0.534(degree)
ϕ_z	0.258(degree)	0.18027	0.521(degree)

카메라의 위치에 대한 평균 시각 오차는 x방향으로 0.235°, y방향으로 0.290°, z방향으로 0.344° 정도이다. 카메라의 3차원 위치에 대한 평균 시각 오차는 0.525° 정도인데 $\tan(0.525°) \approx 0.009$이므로 모니터로부터 1m 거리에서 평균 9mm 정도의 3차원 위치 오차를 갖는다는 의미이다.

카메라의 방향에 대한 평균 오차는 x축 회전이 0.175°, y축 회전이 0.229°, z축 회전이 0.258° 정도이다.

오차에 영향을 주는 요인으로는 카메라 모델, 변환 행렬을 결정하는 방법, 기준점 영상의 측정 오차, 기준점들의 구성 방법 등이 있다고 할 수 있다.

8개의 기준점을 인식하는 데 0.05초, 카메라의 위치와 방향을 계산하는 데 0.05초로 프레임당 총 처리시간이 0.10초 걸렸다.

5. 결 론

5.1 결론 및 토의

본 논문에서는 눈으로 조종하는 인간/컴퓨터 인터페이스를 설계할 때 머리의 위치와 방향을 고려하기 위하여, 소형 카메라를 머리밴드에 고정시키고 모니터에 부착시킨 기준점을 영상처리하여 머리의 위치와 방향을 실시간으로 추적하기 위한 카메라 보정 방법을 개발하였다. 또 개발한 보정 방법의 타당성을 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

본 논문에서 제안한 방법은 VDT 작업시 머리의 위치 영역 내에서 카메라의 3차원 위치는 0.525° 정도의 평균 시각 오차를 갖고, 방향은 x축 회전이 0.175°, y축 회전이 0.229°, z축 회전이 0.258° 정도의 평균 오차를 가지며, 약 10Hz의 샘플링 비율을 나타내었다. 따라서 눈으로 조종하는 인간/컴퓨터 인터페이스를 설계할 때 머리의 움직임을 실시간으로 추적할 수 있다.

일반적으로 신체 운동학에서는 머리의 움직임 범위를 다음과 같이 목의 움직임으로 기술한다. 평상시 목의 움직임은 앞/뒤 굽힘이 ±60°, 좌/우 회전이 ±70°, 좌/우 측면 굽힘이 ±50° 정도이다 [15]. 본 논문의 용어에 따르면 x축 회전인 α가 앞/뒤 굽힘, y축 회전인 β가 좌/우 회전, z축 회전인 γ가 좌/우 측면 굽힘에 해당된다. 본 논문에서 제안한 방법은 카메라의 시각역과 마커인식 알고리즘 등의 제약으로 완전히 자유로운 머리의 움직임을 고려할 수는 없지만 작은 범위의 머리 움직임을 고려하는 응용범위에 적용한다면 다른 장비에 비해 저렴하고 사용하기 쉬워서 효과적이라고 할 수 있다.

5.2 추후 연구 과제

본 논문에서 제시한 보정 방법을 적용할 때, 어떤 요소가 카메라의 위치와 방향의 계산에 큰 영향을 미치는지 수학적으로 분석해서 정확도를 더 높일 수 있는 보정 방법에 대한 연구가 필요하다. 특히 기준점들의 상대적인 위치가 정확도에 미치는 영향을 분석해서 정확도를 높게 하는 기준점 구성을 제시할 필요가 있다.

또 필요한 기준점의 개수를 줄이기 위해 점대응 관계가 아닌 선대응관계를 이용하는 시도도 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 박경수, 반영환, 이안재, 임창주, "영상을 이용한 3차원 위치 추적 시스템 개발", 추계 인간공학회 학술논문집, (pp.160~165), 1996.

[2] 박경수, 인간공학 : 작업경제학, 영지문화사, 1992.

[3] 임창주, "머리의 움직임을 추적하기 위한 카메라 보정 방법에 관한 연구" 석사학위논문, 한국과학기술원, 1997.

[4] Basu, A., "Active calibration of cameras : theory and implementation", IEEE Transactions on S.M.C., 25(2), 256-265, 1995.

[5] Ganapathy, S., "Decomposition of transformation matrices for robot vision", Proceedings of IEEE Int. Conf. on Robotics, (pp.130~139), 1984.

[6] Ghosh, S. K., Analytical photogrammetry: Camera Calibration, Pergamon Press : U.S.A., 1979.

[7] Hallert, B., Photogrammetry : Camera Calibration, McGRAW-HILL : New York, 1960.

[8] Hong, Z. Q. and Yang, J. Y., "An algorithm for camera calibration using a three-dimensional reference point", Pattern

Recognition, 26(11), 1655-1660, 1993.

[9] Hutchinson, T. E., White., K. P., Martin, W. N., Reichert. K. C. and Frey, L. A., "Human-computer interaction using eye-gaze input", IEEE Transactions on S.M.C., 19(1), 1527-1534, 1989

[10] Ito, M., "Robot vision medelling-camera modelling and camera calibration", Advanced Robotics, 5(3), 321-335, 1991.

[11] Kak, A. C., Handbook of Industrial Robotics : Depth Perception for Robotics, Willey, New York, 1985.

[12] Lenz, R. K. and Tsai, R. Y., "Techniques for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3D machine vision metrology", Proceedings of the 1th IEEE International Conference on Robotics and Automation, (pp.68~76), 1987.

[13] Mansbach, P., "Calibration of a camera and light source by fitting to a physical model", CVGIP, 35(1), 200-219, 1986.

[14] Martins, H. A., Birk, J. A. and Kelly, R. B., "Camera models based on data from calibration planes", CVGIP, 17(1), 173-180, 1981.

[15] Nakamura, H. and Kobayashi, H., "A design of eye movement monitoring system for practical environment", SPIE, 1456(1), 226-238, 1991.

[16] Park, K. S and Lee, K. T., "Eye-controled human/computer interface using the line-of-sight and the intentional blink", Computers and ind. Engng, 30(3), 463-473, 1996.

[17] Ronald Azuma, "Tracking Requirements for augmented reality", Communications of the ACM, 36(7), 50-51, 1993.

[18] Shih, S. W., Hung, Y. P. and Lin, W. S., "When should we consider lens distortion in camera calibration", Pattern Recognition, 28(3), 447-461, 1995.

[19] Strat, T. M., "Recovering the camera parameters from a transformation matrix", DARPA Image Understanding Workshop, 264-271, 1984.

[20] Tsai, R. Y., "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses", IEEE J. of Robotics and Automation, RA-3(4), 1987.

[21] Tsai, R. Y., "An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision", Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 1986.

[22] Wood, G. A. and Marshall, R. A., "The accuracy of DLT extrapolation in three-dimensional film analysis", J. of Biomechanics, 19(9), 781-785, 1986.

[23] Zhang, D., Yoshihiko, Nomura and Fujii, S., "Error analysis and optimal setup on camera calibration", Proceedings of the 2th Asian Conference on Computer Vision, (pp.210-214), Singapore, 1995.