

능동적 원격감시를 위한 스테레오 카메라 시스템의 개발

박강*(명지대 기계공학과), 조대희**(명지대 대학원 기계공학과),

Development of the Stereo Camera System for Active Remote Monitoring

K. Park (Mech. Eng. Dept., MJU), D. H. Cho (Mech. Eng. Dept., MJU)

ABSTRACT

In the conventional remote monitoring system, a user in front of a computer monitor can acquire only 2 dimensional visual information in a passive way. Thus, even though the user finds an interesting object from the video image, he/she can hardly acquire additional information on the object such as name, 3D shape, etc.

In this paper, an active monitoring system that shows additional information on the selected object is proposed. The active remote monitoring system can calculate the 3D position of the object that is selected in the video images. Then, using the 3D position of the object, other information on the object can be retrieved from the database and shown on the screen. To calculate the 3D position of the object, 2 CCD cameras that can be tilted and panned using 3 stepping motors are used. The algorithm of 3D position calculation and the result of experiments are explained.

Key Words : 3D Position Measurement(삼차원 위치 측정), Calibration (보정), Active Remote Monitoring(능동적 원격지 감시).

1. 서론

최근에 통신속도의 향상과 멀티미디어에 관한 관심의 증가로 인하여 화상회의나 원격감시시스템이 발달하고 있다. 하지만 화면 앞에 앉은 사용자는 원격지에서 오는 비디오 화면을 수동적으로 받아들이기만 할 뿐, 화면상에 나타난 원격지 물체를 마우스로 선택하여 그 물체에 관한 다른 정보들을 얻어내는 것과 같은 적극적인 행동을 취할 수가 없다. 이는 비디오 화면의 화소 정보만으로는 공간상에 있는 물체와 일대일 대응시킬 수 없기 때문이다. 따라서 만약 화소 정보를 이용하여 임의의 위치에 놓여 있는 물체의 삼차원 위치를 알아낸다면, 이 위치 정보를 이용하여 삼차원 물체와 비디오 화상과의 일대일 대응이 가능해지고, 따라서 그 물체에 대한 정보를 데이터베이스로부터 불러낼 수 있을 것이다.

삼차원 위치 측정분야 중 거리(깊이)를 측정하는 방법에는 많은 연구가 있었는데, 레이저광을 이용하는 광촉침법, 레이저 슬릿을 이용하는 슬릿광 주사법, 영상식 모아레법[1] 그리고 스테레오 비전[2][3] 등 방법이 제안되었다.

본 논문에서는 별도의 조명 장치가 필요 없고 사용방법이 비교적 간단하며, 인간의 인식방법과 유사한 스테레오 비전 시스템을 제안한다. 지금까지의 스테레오 비전은 두 카메라를 평행하게 고정한 후, 두 카메라에 동시에 보이는 부분의 거리만을 측정하는 방식이 주로 사용되었다(Fig.1.a). 그러나 카메라 사이의 간격이 좁아서 거리측정 정밀도가 낮으며, 만일 측정정밀도 향상을 위하여 간격을 넓히면 가까운 거리를 측정하는 것이 어려워진다(Fig.1.b).

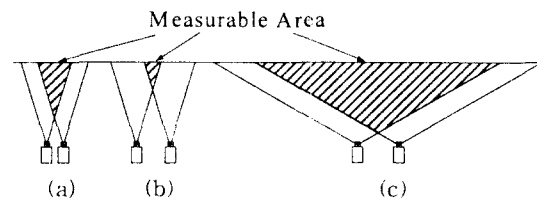


Fig. 1 Field of views of stereo vision systems

따라서 본 논문에서는 좌우 카메라를 각각 독립적으로 회전시킬 수 있도록 하여 더 다양한 위치에

있는 물체를 측정 할 수 있는 시스템(Fig. 1.c)을 제안한다.

2. 본론

2.1 좌표 측정 시스템의 구성

좌표측정 시스템은 Fig. 2에서와 같이 세 개의 스테핑 모터를 이용하여 두 대의 카메라 시선의 좌우방향 각도(θ_1, θ_2)와 상하방향 각도(θ_3)를 조종할 수 있다. 두 카메라 사이는 일정한 거리(B)만큼 떨어져 있다. 이 시스템의 조작자는 두 카메라를 좌우 및 상하로 회전시키다가 관심있는 물체를 두 화면에서 마우스로 선택하면 그 물체의 위치를 계산해 낸다. 물체의 위치계산은 카메라들 사이의 거리(B), 스테핑 모터들의 각도, 각 카메라에 잡힌 물체 영상의 화소위치(u_1, v_1, u_2, v_2), 각 카메라 렌즈의 초점거리(f_1, f_2) 등의 기구화적인 관계식과 좌표 변환을 위한 행렬식을 이용하여 유도된다.

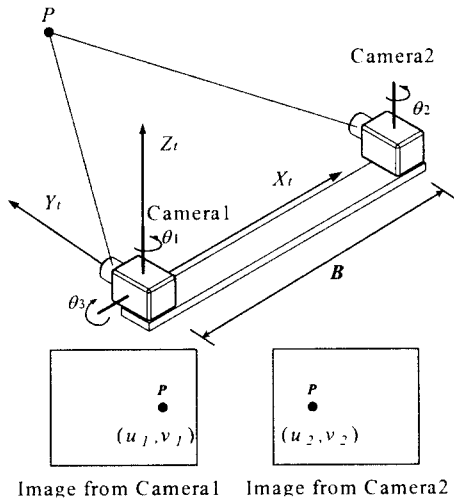


Fig. 2 Configuration of the 3D position measurement system

2.2 위치 계산식

2.2.1 카메라의 초점과 모터의 회전축의 위치가 일치한 경우

Fig. 3에서 L_1 과 L_2 는 두 카메라에서 한 점 P 를 바라봤을 때 각 카메라의 시선 벡터를 나타낸다. 두 카메라의 시선 벡터가 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)에 의해 정의된 경우에 다음의 식들에 의해 좌표값이 얻어진다.

θ_3 가 0인 경우 위치 측정시스템의 X-Y 평면에서 L_1 과 L_2 는 다음 식으로 주어진다.

$$L_1: y = \tan \theta_1 x \quad (1)$$

$$L_2: y = \tan \theta_2 (x - B) \quad (2)$$

L_1 과 L_2 가 만나는 점이 P 이므로 식(3)이 성립하고, 식(4), (5)를 이용하여 x, y 값을 얻는다.

$$\tan \theta_1 x = \tan \theta_2 (x - B) \quad (3)$$

$$x = \frac{B \tan \theta_2}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \quad (4)$$

$$y = \frac{B \tan \theta_2 \tan \theta_1}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \quad (5)$$

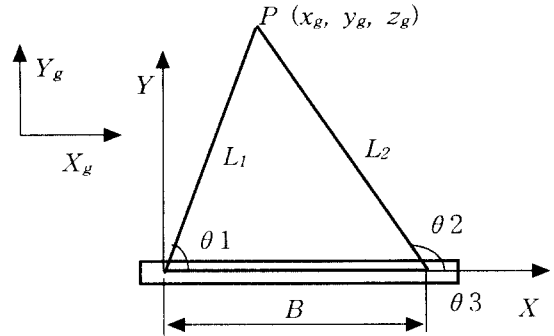


Fig. 3 Calculation of position of a point P using geometric parameters when the center of rotation is coincident with the focal point of a lens

θ_3 가 0이 아닌 일반적인 경우, 위치 측정시스템의 좌표계에 대한 좌표값은 다음과 같이 주어진다.

$$X_t = x = \frac{B \tan \theta_2}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \quad (6)$$

$$Y_t = y \cos \theta_3 = \frac{B \tan \theta_1 \tan \theta_2 \cos \theta_3}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \quad (7)$$

$$Z_t = y \sin \theta_3 = \frac{B \tan \theta_1 \tan \theta_2 \sin \theta_3}{\tan \theta_2 - \tan \theta_1} \quad (8)$$

시선벡터의 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)는 모터의 각도(θ_i^m)와 모터의 초기각도(θ_i^0), 화면 중심에서 벗어난 픽셀 값에 의한 각도(θ_i^p)의 합으로 나타난다.

$$\theta_1 = \theta_1^m + \theta_1^0 + \theta_1^p \quad (9)$$

$$\theta_2 = \theta_2^m + \theta_2^0 + \theta_2^p \quad (10)$$

$$\theta_3 = \theta_3^m + \theta_3^0 + \theta_3^p \quad (11)$$

여기서 θ_{i^m} 는 실제 모터가 초기위치에서부터 움직인 각도로서 모터의 스텝 수를 세어서 알 수 있고, θ_{i^o} 는 모터의 초기위치가 이상적인 정렬상태에서 벗어난 오차각도로서 다음에 설명되는 시스템 보정 과정을 통하여 알 수 있다. 또한 θ_{i^p} 는 각 화면에 나타난 화소 값들을 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다. (u_i, v_i) , (u_2, v_2) 가 두 카메라 이미지 상의 한 점의 좌표이고 (u_i^o, v_i^o) , (u_2^o, v_2^o) 는 각 카메라의 이미지 중심의 값이고 f 가 렌즈의 초점거리일 때,

$$\theta_1^p = \tan^{-1}\left(\frac{u_1 - u_1^o}{f}\right) \quad (12)$$

$$\theta_2^p = \tan^{-1}\left(\frac{u_2 - u_2^o}{f}\right) \quad (13)$$

$$\theta_3^p = \tan^{-1}\left(\frac{v_1 - v_1^o}{f}\right) \quad \text{or} \quad \tan^{-1}\left(\frac{v_2 - v_2^o}{f}\right) \quad (14)$$

앞에서 구한 X_i, Y_i, Z_i 좌표는 위치측정시스템의 좌표계에 대한 값들이므로 이를 기준좌표계 X_g, Y_g, Z_g 에 대한 좌표값들로 변환해주는 변환행렬을 곱하여 줌으로써 식(15)와 같이 기준좌표계에 대한 값을 얻을 수 있다. 이 변환 행렬은 보정과정을 통하여 구해진다.

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = T_i^g \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (15)$$

2.2.2 카메라의 초점과 모터의 회전축의 위치가 일치하지 않는 경우

Fig. 4는 카메라1의 경우에서 렌즈 초점과 모터의 회전축의 위치가 일치하지 않는 경우를 보여준다. 이 경우, 카메라가 회전함에 따라서 L_1 과 L_2 가 x 축과 만나는 절편(S_1, S_2)의 위치가 변한다. 즉, Fig. 5와 같은 측량 삼각형의 밑변의 길이(B')가 시선각도에 따라 변하게 된다.

$$B' = S_2 - S_1 \quad (16)$$

S_1 을 구하기 위해서는 L_1 의 직선 방정식을 구해야 하는데, 직선 L_1 은 기울기가 식(9)에서 구한 θ_1 이고 C 를 통과하는 직선이다. C_1 이 모터축의 중심에서 렌즈 초점까지의 거리 일 때 C 의 좌표는 식(17)과 같으며, 따라서 절편 S_1 은 식(18)로 주어진다.

$$(C_x, C_y) = (C_1 \cos(\theta_1^m + \theta_1^o), C_1 \sin(\theta_1^m + \theta_1^o)) \quad (17)$$

$$S_1 = \frac{-C_1 \sin(\theta_1^m + \theta_1^o)}{\tan \theta_1} + C_1 \cos(\theta_1^m + \theta_1^o) \quad (18)$$

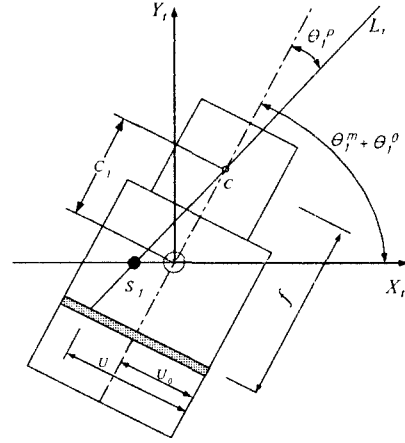


Fig. 4 Parameters of Camera 1 when the center of rotation is not coincident with the focal point of a lens

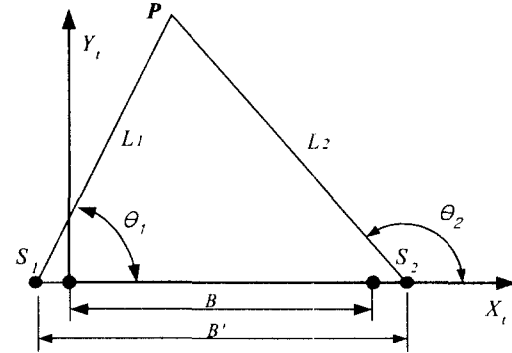


Fig. 5 Calculation of position of a point P using geometric parameters when the center of rotation is not coincident with the focal point of a lens

같은 방법을 카메라2에 적용을 하면 직선 L_2 와 그 직선의 x 절편(S_2)을 구할 수 있다. 식(1), (2)는 식(19), (20)과 같이 변경되며, Fig. 5과 같은 측량 삼각형을 이용하여 2.2.1절에서 설명된 것과 같은 방법으로 측정점의 좌표를 구할 수 있다.

$$L_1 : y = \tan \theta_1 (x + S_1) \quad (19)$$

$$L_2 : y = \tan \theta_2 (x - S_2) \quad (20)$$

2.3 위치 측정시스템의 보정

위치 측정시스템을 보정은 두 대의 카메라에 대한 보정과 전체 시스템에 대한 보정으로 구성된다.

2.3.1 카메라의 보정

카메라 보정에는 내부변수 6개(초점거리(f_u, f_v), 렌즈의 왜곡(k_u, k_v), 이미지의 중심(u_0, v_0))와 외부변수 6개($x, y, z, \theta, \phi, \psi$)의 12개의 보정변수가 사용되었다. 이들 중 내부변수 6개만을 취하여 전체 시스템 보정에 사용하였다.

카메라 보정을 위하여 카메라의 위치와 자세를 고정시킨 후, 3차원 공간상에서 기준좌표계{GLB}에 대한 좌표가 알려진 위치(X_R, Y_R, Z_R)에 있는 목표점들을 설정하고 목표점들의 화면상의 화소좌표들을 읽어서 측정을 한다. 카메라의 수학적 모델을 이용하여 삼차원 좌표값을 계산한다. 이렇게 계산된 좌표는 카메라의 수학적 모델이 실제 카메라의 기동과 오차가 있기에 실제 측정된 이미지의 좌표와 오차가 발생한다. 카메라 보정과정은 이들 오차가 최소화 되도록 보정변수들을 수정해 나가는 것이다. 목적함수를 이들 오차의 제곱 합으로 놓고 그 목적함수를 최소화하는 비선형 최적화 문제로 만든다. 여기에 보정변수들의 초기치를 실제값의 근사치로 대입하여 목적함수를 최소화시키는 보정변수 값들을 뉴턴-랩슨 방식으로 반복적으로 찾아간다.[4]

2.3.2 전체 시스템의 보정

전체 시스템의 보정은 보정변수들은 다르지만, 보정방법은 카메라의 보정과 동일하다. Fig. 6은 위치측정 시스템의 보정과정의 흐름도를 보여준다. 보정에 상용된 보정변수는 다음과 같은 11개이다.

- 1) 초기각도 오차: $\theta_1^0, \theta_2^0, \theta_3^0$
- 2) 모터속과 초점 사이거리: C_1, C_2
- 3) 위치 측정 시스템의 자세: $x, y, z, \theta, \phi, \psi$

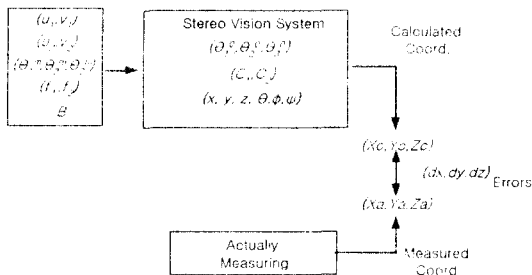


Fig. 6. Calibration of position measuring system

2.4 능동적 원격 감시 시스템

위치측정시스템을 이용하여 물체상의 한 점을 측정하여 3차원 좌표를 획득하면, 이 정보를 이용하여 미리 작성된 데이터베이스를 검색을 하여 선택한 객체의 이름과 사진, 그리고 현재 상태에 대한 다양한 정보 등을 화면에 출력할 수 있다. 따라서 조작자는 원격지에서 화면에 나타난 물체의 이차원적인 시각

정보뿐만이 아니라 다른 정보를 얻어낼 수 있다.

Fig. 7은 개발된 위치 측정장치를 보여준다. 시스템 자체의 무게를 줄이고 강성을 높이기 위해 알루미늄 프로파일을 이용한 프레임구조로 제작하였으며, 타이밍 벨트, 풀리를 이용하여 스테핑 모터의 각도 분해능과 토크를 증가 시켰으며 모터를 구동하기 위한 전용 컨트롤러를 제작 사용하였다.

Fig. 8은 능동적 원격감시장치의 사용자 인터페이스(GUI)를 보여준다. GUI는 Visual C++를 이용하여 개발하였으며 이미지는 Matrox™사의 Meteor II 보드를 사용하여 획득하였다. 화면에는 두 카메라에서 얻어진 이미지와 모터 구동을 위한 입력창으로 구성된다. 모터는 각도를 입력하거나 조이스틱을 이용하여 상하/좌우로 조작할 수 있다. 화면상에 관심 있는 물체가 발견되면 조작자는 마우스를 이용하여 그 물체를 선택하고, 다시 옆의 이미지에서 동일한 점을 선택한다. 이 때 계산된 물체의 위치가 표시되고 그 물체에 관한 정보가 화면에 표시된다. 오른쪽에 보이는 작은 창은 선택된 탁상시계의 정보가 데이터베이스에서 얻어져 사진과 함께 화면에 표시된 것이다. 이로서 조작자는 컴퓨터 모니터 상에서 아이콘을 선택하듯이 이미지상에 나타난 원격지 물체를 선택하고 그에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다.

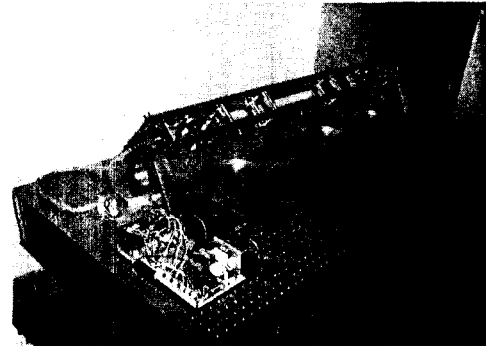


Fig. 7 Picture of the 3D position measuring system

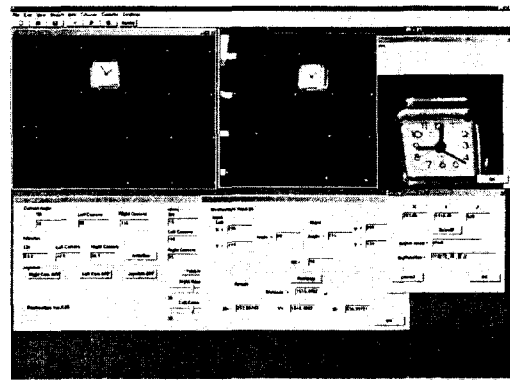


Fig. 8 Graphic user interface(GUI) of the system

3. 실험 및 결과

위치측정 시스템의 보정을 수행하고 측정정밀도를 구하여 보았다. 보정과정에서 목표점의 절대좌표를 정확하게 얻기 위하여 길이 1800 mm 인 브레드 보드의 한쪽에 측정시스템을 고정하고 다른 브레드 보드를 수직으로 설치하여 목표점의 좌표를 측정하였다.

목표점과 측정 시스템간의 거리, 카메라1, 2의 상하/좌우 회전각도 등을 변화시켜 가면서 측정된 총 측정점의 개수는 210개이다. Fig. 9는 거리 1500mm 근처에서 측정된 이들 측정점을 이용하여 시스템을 보정한 결과이다. Fig. 9.a 는 X와 Z 방향으로의 측정값과 실제값의 오차를 나타내는데 오차가 대부분이 ± 10mm이내에 오차가 존재한다. Fig. 9.b는 X와 Y 방향으로의 측정값과 실제값의 오차를 보여준다. Y방향, 즉 거리(깊이)방향으로 오차가 큰 분포를 나타내지만, 대부분의 오차가 ± 20mm 이내에 존재한다.

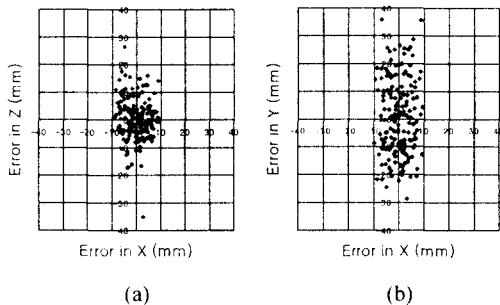


Fig. 9 Scatter diagram of measuring errors about (a) X-Z. (b) X-Y

Fig. 10은 모든 방향으로의 오차들을 식(21)을 이용하여 측정점과 목표점사이의 오차 반경(R)로 바꾸어 히스토그램으로 나타낸 것이다. 히스토그램의 가로축은 오차반경(mm)이고 세로축은 그에 해당하는 측정점의 개수이다. 평균오차 반경은 15mm 정도이며 대부분의 측정점의 오차반경이 30mm 이내에 들었다. 이는 물체를 특정짓기에 충분한 정밀도이다.

$$R = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)} \quad (21)$$

4. 결론

원격지에서 두 대의 카메라를 이용하여 다양한 위치에 있는 물체의 3차원 위치를 측정하고, 이를 이용하여 그 물체의 정보를 얻어내는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 기존의 삼차원 측정시스템들이 레이저나 모아레 이미지들을 주사하는 방식을 사용

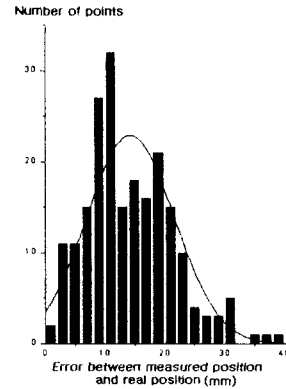


Fig. 10 Histogram of error radius (R)

하는 것과는 달리 자연광만을 사용하기 때문에 주변광의 영향을 덜 받으며 산업현장에서도 사용이 가능하다. 측정시스템의 정밀도는 1.5m 정도의 거리에서 절대오차평균이 15mm 정도였다. 이 정도 오차는 원격지에 있는 물체를 구별해내는 데는 충분한 정밀도이며 그 정보를 이용하여 데이터베이스에서 그 물체에 대한 정보를 얻어낼 수 있다.

후기

본 논문은 2000년도 한국과학재단의 목적기초 연구사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이상윤, 임쌍근, "Machine Vision을 이용한 3차원 치수 측정", 한국정밀공학회지, 제18권, 제3호, pp. 18 ~ 22
2. Fu, K.S., Gonzalez R.C., Lee C.S.G., "Robotics: control, sensing, vision, and intelligence", McGraw Hill, pp. 267~273, 1987.
3. Cannon D.J., Leifer L.J., "Point-and-Direct Robotics," International Conference on Intelligent Telerobotics, Greensboro NC, Nov., pp.95-106, 1991.
4. 박 강, "원격지 물체의 삼차원 위치 측정시스템의 개발", 한국정밀공학회지, 제17권 제8호, pp. 60-70, 2000
5. William K. Pratt, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, pp.491 ~ 556, 1991