

컴퓨터 비전 방법을 이용한 3차원 물체 위치 결정에 관한 연구

장완식*, 김경석*, 이성민**, 주철**, 김재확**, 김대현**

A Study on the Determination of 3-D Object's Position Based on Computer Vision Method

Wan-Shik Jang*, Koung-Suk Kim*, Cheol Joo**, Sung-Min Lee**, Chai-Hwak Kim**, Dae-Hyun Kim**

Abstract

This study shows an alternative method for the determination of object's position, based on a computer vision method. This approach develops the vision system model to define the reciprocal relationship between the 3-D real space and 2-D image plane. The developed model involves the bilinear six-view parameters, which is estimated using the relationship between the camera space location and real coordinates of known position.

Based on the estimated parameters in independent cameras, the position of unknown object is accomplished using a sequential estimation scheme that permits data of unknown points in each of the 2-D image plane of cameras. This vision control method is the robust and reliable, which overcomes the difficulties of the conventional research such as precise calibration of the vision sensor, exact kinematic modeling of the robot, and correct knowledge of the relative positions and orientation of the robot and CCD camera.

Finally, the developed vision control method is tested experimentally by performing determination of object position in the space using computer vision system. These results show the presented method is precise and compatible.

Key Words : Computer Vision(컴퓨터 비전), Image Plane(이미지 평면), View Parameter(시각매개변수), Calibration(보정), Vision Sensor(시각 센서), 3-D Object Position (3차원 물체위치)

1. 서론

인간의 시각과 가장 유사한 시각센서를 이용한 비전 시스템은 1960년대 후반에 Stanford대학의 McCarthy에 의

해 개발되기 시작하였고, 1973년에 Stanford 연구진에 의해 PDP-10 컴퓨터를 이용한 물 펌프 조립에 시각정보를 이용함으로써 본격화되었다.

컴퓨터 비전 시스템은 하나 또는 그 이상의 이

* 조선대학교 기계공학부
** 조선대학교 대학원 기계공학과

미지로부터 필요한 정보를 생성해내어 대상물의 위치가 불규칙하거나 기구학적으로 위치결정을 하기 어려운 작업의 자동화에 적용될 수 있다. 현재 산업용 로봇과 연계하여 용접, 운반, 단순 조립, 측정, 검사 등의 작업을 수행하고 있다.^(1~4)

이와 같이 컴퓨터 비전 시스템의 응용은 매우 다양하고 유용하지만 시스템을 개발하고 사용하는 데에는 처리해야 하는 많은 데이터의 양과 3차원 실제 좌표계와 2차원 카메라 좌표계 사이에 존재하는 관계의 모호성 등의 문제를 해결해야 한다.^(3,5) 현재 사용되고 있는 문제 해결 방법은 이진화상, 큐 등을 사용하여 작업 수행을 위해 필요한 데이터만을 이용하여 처리해야 하는 데이터의 양을 최소화하고 여러 가지의 알고리즘을 통해서 좌표계간의 모호성을 해결하기 위해 노력하고 있다.^(3,5)

따라서 본 연구는 높은 정밀도를 유지하는 6개의 시각 매개변수를 이용한 새로운 비전 시스템 모델을 제시하여 좌표계간 관계의 모호성을 해결함과 동시에 비전 시스템 개발을 제약하는 요소를 최대한 줄이고자 한다. 또한 3차원 물체 위치 결정 실험을 통하여 제시한 모델의 적합성을 확인하고자 한다. 이를 위해 세 개의 카메라가 사용되며, 시각 매개변수는 각각의 이미지 평면에 대해서 독립적으로 추정된다. 이 때 물체의 위치는 물체에 부착된 큐(cue)를 각 카메라의 이미지 평면에서 인식하고 이를 바탕으로 각 카메라의 이미지 평면에 대해서 시각 매개변수들을 추정한다. 추정된 시각 매개변수들을 이용하여 추정된 목표점의 위치는 카메라 이미지 평면상의 최종 목표점과의 거리오차가 최소 자승법에 근거한 사용자 오차 한계 이내가 될 때의 값으로 결정된다.

2. 시스템 모델 개발

2.1 비전 시스템의 추정 모델 개발

비전 시스템 모델은 6개의 불확실한 시각 매개변수를 이용하여 3차원 실제 공간의 물체의 위치와 자세를 2차원의 카메라 공간으로 변환하여 나타낼 수 있다.

2.1.1 카메라 모델

카메라가 원하는 영상을 얻기 위하여 임의의 기준계에 대하여 회전하게 될 때, 제한조건 $C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 + C_4^2 = 1$ 을 만족하는 오일러 매개변수(euler parameter)를 사용하여 표현되는 방향 코사인 행렬(direction cosine matrix) D 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽⁶⁾

$$D = \begin{bmatrix} c_1^2 + c_2^2 - c_3^2 - c_4^2 & 2(c_2c_3 + c_1c_4) & 2(c_2c_4 + c_1c_3) \\ 2(c_2c_3 - c_1c_4) & c_1^2 - c_2^2 + c_3^2 - c_4^2 & 2(c_3c_4 + c_1c_2) \\ 2(c_2c_4 + c_1c_3) & 2(c_3c_4 - c_1c_2) & c_1^2 - c_2^2 - c_3^2 + c_4^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)과 같이 카메라 회전모델의 방향 코사인 행렬은 원래 3×3의 크기를 갖고 있으나 본 제어기법에서는 3차원 좌표계를 2차원 좌표계로 변환하기 위해서 z성분에 해당하는 마지막 행을 제외한 2×3의 크기를 갖는 다음과 같은 새로운 형태의 행렬을 식 (2)와 같이 정의하여 사용한다.

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11}(C_i) & K_{12}(C_i) & K_{13}(C_i) \\ K_{21}(C_i) & K_{22}(C_i) & K_{23}(C_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, K_{ij} 요소들은 식 (1)의 행렬에서 보여준 것 같이 오일러 매개변수 (C_1, C_2, C_3, C_4)를 사용하여 정의된 방향 코사인 행렬의 각 요소와 등치되며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} K_{11} &= C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 - C_4^2, \\ K_{12} &= 2(C_2C_3 + C_1C_4), \\ K_{13} &= 2(C_2C_4 - C_1C_3), \\ K_{21} &= 2(C_2C_3 - C_1C_4), \\ K_{22} &= C_1^2 - C_2^2 + C_3^2 - C_4^2, \\ K_{23} &= 2(C_3C_4 + C_1C_2) \end{aligned} \quad (3)$$

2.1.2 비전 시스템 모델

카메라 회전모델에 카메라 평면에 대한 시험 모형 위치의 정확성을 보완하기 위해 시각 매개변수 C_5 와 C_6 를 첨가시키면 비전 시스템 모델은 다음과 같다.

$$X_m = (C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 - C_4^2)f_x + 2(C_2C_3 + C_1C_4)f_y + 2(C_2C_4 - C_1C_3)f_z + C_5 \quad (4)$$

$$Y_m = 2(C_2C_3 - C_1C_4)f_x + (C_1^2 - C_2^2 + C_3^2 - C_4^2)f_y + 2(C_3C_4 + C_1C_2)f_z + C_6 \quad (5)$$

여기서, X_m 과 Y_m 은 6개의 시각 매개변수 ($C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$)가 알려졌다고 가정할 때, 3차원 실제 공간에서 정의된 물체의 위치벡터를 매개변수에 의해서 카메라 좌표계로 변환한 값을 나타낸다. 매개변수 ($C_1 \sim C_4$)는 카메라의 자세 및 초점거리의 변화성을 나타내고, 매개변수

($C_5 \sim C_6$)는 카메라에 대한 시험 모형 위치의 불확실성을 나타낸다.

2.1.3 매개변수 추정 모델

시험 모형의 큐의 위치벡터를 2차원 카메라 좌표계로 변환하는데 사용되는 6개의 시각 매개변수는 각 카메라에 대하여 아래 주어진 성능지수 $J(C)$ 를 최소화시킴으로써 구해진다.

$$J(C) = \sum_{i=1}^n \left\{ [X_m(t_i) - X_c(t_i)]^2 + [Y_m(t_i) - Y_c(t_i)]^2 \right\} \quad (6)$$

여기서, $i(i=1, 2, L, n)$ 는 측정된 데이터의 개수 또는 물체가 이동하는 단계의 수, $X_c(t_i)$ 와 $Y_c(t_i)$ 는 시간 t_i 에서 측정된 카메라 좌표계의 x, y 값을 나타내며, X_m 과 Y_m 은 시간 t_i 에서의 물체의 공간상 위치 및 매개변수 C_k 에 기초한 비전 시스템 모델의 x, y 좌표값을 나타낸다. 주어진 성능지수 $J(C)$ 를 최소화시키면 다음과 같다

$$\underline{g} = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_m(t_i) - X_c(t_i) \\ Y_m(t_i) - Y_c(t_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

위 식에 매개변수 C_k 를 계산하기 위해 Newton-Raphson 공식을 적용하면

$$\begin{aligned} C_{k, n+1} &= C_{k, n} - \left[\frac{\partial g(C_{k, n})}{\partial C_k} \right]^{-1} \underline{g}(C_{k, n}) \\ &= C_{k, n} + \Delta C \end{aligned} \quad (8)$$

이 때, 식 (8)로부터 $\left[\frac{\partial g(C_{k, n})}{\partial C_k} \right]^{-1}$ 부분을 계산하는 대부분의 경우, 정방행렬이 아니므로 Gauss 소거법과 같은 일반적인 방법으로는 역행렬을 계산할 수 없다. 따라서 역행렬을 구하기 위하여 최소 노름해(minimum norm solution), 또는 최소 이산해(least square solution)를 이용한다. 즉, $m \times n$ 인 행렬 A 가 정방 행렬이 아닌 경우 $y = A \cdot x$ 에서 x 값을 계산하기 위해 다음과 같은 식을 이용하여 해를 구한다.¹⁷⁾

$$\begin{aligned} x &= A^T(AA^T)^{-1}y \quad (m < n), \\ x &= (A^T A)^{-1} A^T y \quad (m > n) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (8)에서 ΔC 는 식 (9)를 이용하면 다음과 같다.

$$\Delta C = (A^T W A)^{-1} A^T W R \quad (10)$$

여기서, W 는 가중행렬(weighting matrix)이고, $2n \times 1$ 요소를 갖는 유수벡터(residual vector) R 은 다음과 같이 주어진다.

$$R = \begin{bmatrix} X_m(t_i) - X_c(t_i) \\ Y_m(t_i) - Y_c(t_i) \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서, $X_c(t_i)$ 와 $Y_c(t_i)$ 는 시간 t_i 에서 측정된 카메라 좌표계의 x, y 값을 나타낸다.

또한, $2n \times 6$ 요소를 갖는 행렬 A 는 다음 식에 의해서 주어진다.

$$\begin{aligned} A_{2i-1, j} &= \frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_j}, \\ A_{2i, j} &= \frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_j} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, $i=1, 2, L, n$ 이고 시각 매개변수의 수 $j=1, 2, L, 6$ 이다.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_m(t_1)}{\partial C_1} & \frac{\partial X_m(t_1)}{\partial C_2} & \frac{\partial X_m(t_1)}{\partial C_3} & \frac{\partial X_m(t_1)}{\partial C_4} & \frac{\partial X_m(t_1)}{\partial C_5} & \frac{\partial X_m(t_1)}{\partial C_6} \\ \frac{\partial Y_m(t_1)}{\partial C_1} & \frac{\partial Y_m(t_1)}{\partial C_2} & \frac{\partial Y_m(t_1)}{\partial C_3} & \frac{\partial Y_m(t_1)}{\partial C_4} & \frac{\partial Y_m(t_1)}{\partial C_5} & \frac{\partial Y_m(t_1)}{\partial C_6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial X_m(t_n)}{\partial C_1} & \frac{\partial X_m(t_n)}{\partial C_2} & \frac{\partial X_m(t_n)}{\partial C_3} & \frac{\partial X_m(t_n)}{\partial C_4} & \frac{\partial X_m(t_n)}{\partial C_5} & \frac{\partial X_m(t_n)}{\partial C_6} \\ \frac{\partial Y_m(t_n)}{\partial C_1} & \frac{\partial Y_m(t_n)}{\partial C_2} & \frac{\partial Y_m(t_n)}{\partial C_3} & \frac{\partial Y_m(t_n)}{\partial C_4} & \frac{\partial Y_m(t_n)}{\partial C_5} & \frac{\partial Y_m(t_n)}{\partial C_6} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\text{여기서, } \frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_1} = 2[C_1 f_x(t_i) + C_4 f_y(t_i) - C_3 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_2} = 2[C_2 f_x(t_i) + C_3 f_y(t_i) + C_4 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_3} = 2[-C_3 f_x(t_i) + C_2 f_y(t_i) - C_1 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_4} = 2[-C_4 f_x(t_i) + C_1 f_y(t_i) + C_2 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_5} = 1,$$

$$\frac{\partial X_m(t_i)}{\partial C_6} = 0,$$

$$\frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_1} = 2[-C_4 f_x(t_i) + C_1 f_y(t_i) + C_2 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_2} = 2[C_3 f_x(t_i) - C_2 f_y(t_i) + C_1 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_3} = 2[C_2 f_x(t_i) + C_3 f_y(t_i) + C_4 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_4} = 2[-C_1 f_x(t_i) - C_4 f_y(t_i) + C_3 f_z(t_i)],$$

$$\frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_5} = 0,$$

$$\frac{\partial Y_m(t_i)}{\partial C_6} = 1$$

(14)

이다. 매개변수 추정은 Newton-Raphson 공식을 이용한 수치 해석적인 반복법이 사용되므로 최초의 매개변수 수정벡터는 합리적으로 잘 가질된 초기값을 가지고 다음과 같은 관계식을 사용하여 계산된다.

$$C_{k+1} = C_k + \Delta C \quad (15)$$

여기서, C_{k+1} 과 C_k 는 매개변수 수정벡터 ΔC 에 의해서 계속해서 변화된다. 이러한 반복적인 계산은 매개변수 수정벡터 ΔC 가 영에 근접할 때까지 계속되고 6개 매개변수의 최종적인 값은 사용자가 원하는 허용오차에 의해서 결정된다.

2.1.4 가중행렬 기법

가중행렬은 시각 매개변수 C_k 를 추정하는데 있어 목표점에 가장 가까운 지점의 위치 데이터, 즉 가장 최근에 얻어진 측정치에 가장 큰 비중을 두기 위해서 사용된다. 이때 사용되어지는 크기가 $2n \times 2n$ 인 가중행렬 W 는 다음과 같은 대각행렬로서 정의된다.

$$W = V^{-1} = \begin{bmatrix} V_{1,1} & & & & & & & & & & \\ & V_{2,2} & & & & & & & & & \\ & & V_{3,3} & & & & & & & & \\ & & & V_{4,4} & & & & & & & \\ & & & & \circ & & & & & & \\ & & & & & \circ & & & & & \\ & & & & & & V_{2n-1, 2n-1} & & & & \\ & & & & & & & V_{2n, 2n} & & & \end{bmatrix}^{-1} \quad (16)$$

여기서, V 의 대각 요소는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} V_{2i-1, 2i-1} &= [a_x | X_c(t_n) - X_c(t_i) + a_{x_0}]^2, \\ V_{2i, 2i} &= [a_y | X_c(t_n) - X_c(t_i) + a_{y_0}]^2 \end{aligned} \quad (17)$$

여기서, $a_x, a_y, a_{x_0}, a_{y_0}$ 는 가중계수이고 $i=1, 2, 3L, n$ 은 위치가 알려진 물체의 수이다. 본 실험에서 가중계수의 값 a_{x_0}, a_{y_0} 는 1.0으로 사용하였다.

2.1.5 물체 위치 결정 모델

매개변수 추정 절차에 의해서 사용된 각 카메라의 매개변수 C_k 를 구한 후, 이를 이용하여 물체의 위치를 추정해야 한다. 이것은 매개변수 추정 방법과 마찬가지로 다음의 성능지수 $J(f)$ 를 최소화시키는 방법에 의해서 얻어진다.

$$J(f) = \sum_{i=1}^3 \left\{ \left[X_m^i(f_x, f_y, f_z; C_{i,k}) - X_i^i \right]^2 + \left[Y_m^i(f_x, f_y, f_z; C_{i,k}) - Y_i^i \right]^2 \right\} \quad (18)$$

여기서, 아래첨자 $i=1, 2, 3$ 은 사용된 카메라의 수, $k=1, 2, 3L, 6$ 은 시각 매개변수를 나타낸다. X_i^i 와 Y_i^i 는 목표 지점에 대한 i 번째 카메라의 카메라 좌표값 x, y 를 나타내고 X_m^i 와 Y_m^i 는 각 카메라에 대해서 추정된 매개변수 C_k 에 근거한 i 번째 카메라에 대한 비전시스템 모델값 x, y 를 나타내며, f_x, f_y, f_z 는 알려지지 않은 물체의 위치값을 나타낸다.

매개변수 추정 방법을 물체의 위치 결정 모델에 적용하면 위치 수정벡터 Δf 는

$$\Delta f = (B^T W B)^{-1} B^T W S \quad (19)$$

이다. $2i \times 3$ 의 요소를 갖는 행렬 B 는

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_m^i}{\partial f_x} & \frac{\partial X_m^i}{\partial f_y} & \frac{\partial X_m^i}{\partial f_z} \\ \frac{\partial Y_m^i}{\partial f_x} & \frac{\partial Y_m^i}{\partial f_y} & \frac{\partial Y_m^i}{\partial f_z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_m^{+1}}{\partial f_x} & \frac{\partial X_m^{+1}}{\partial f_y} & \frac{\partial X_m^{+1}}{\partial f_z} \\ \frac{\partial Y_m^{+1}}{\partial f_x} & \frac{\partial Y_m^{+1}}{\partial f_y} & \frac{\partial Y_m^{+1}}{\partial f_z} \\ \frac{\partial X_m^2}{\partial f_x} & \frac{\partial X_m^2}{\partial f_y} & \frac{\partial X_m^2}{\partial f_z} \\ \frac{\partial Y_m^2}{\partial f_x} & \frac{\partial Y_m^2}{\partial f_y} & \frac{\partial Y_m^2}{\partial f_z} \\ \frac{\partial X_m^3}{\partial f_x} & \frac{\partial X_m^3}{\partial f_y} & \frac{\partial X_m^3}{\partial f_z} \\ \frac{\partial Y_m^3}{\partial f_x} & \frac{\partial Y_m^3}{\partial f_y} & \frac{\partial Y_m^3}{\partial f_z} \end{bmatrix} \quad (20)$$

이다.

$$\text{여기서, } \frac{\partial X_m^i}{\partial f_x} = (C_{i1}^2 + C_{i2}^2 - C_{i3}^2 - C_{i4}^2),$$

$$\frac{\partial X_m^i}{\partial f_y} = 2(C_{i2}C_{i3} + C_{i1}C_{i4}), \quad (21)$$

$$\frac{\partial X_m^i}{\partial f_z} = 2(C_{i2}C_{i4} - C_{i1}C_{i3})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y_m^i}{\partial f_x} &= 2(C_{i2}C_{i3} - C_{i1}C_{i4}), \\ \frac{\partial Y_m^i}{\partial f_y} &= (C_{i1}^2 - C_{i2}^2 + C_{i3}^2 - C_{i4}^2), \\ \frac{\partial Y_m^i}{\partial f_z} &= 2(C_{i3}C_{i4} + C_{i1}C_{i2}) \end{aligned} \quad (22)$$

이다.

그리고 $2i \times 1$ 의 요소를 갖는 유수벡터 S 는

$$S = \begin{bmatrix} X_m^i - X_i^i \\ Y_m^i - Y_i^i \end{bmatrix} \quad (23)$$

이다.

시각 매개변수를 추정할 때와 마찬가지로 Newton-Raphson 반복법을 사용하여 사용자 허용오차 조건을 만족할 때까지 다음과 같이 계산된다.

$$f_{k+1} = f_k + \Delta f \quad (24)$$

3. 실험

본 실험은 비전 시스템을 이용한 공간상의 물체 위치 결정에 대한 실험으로서 실험에 대한 전체적인 실험 장치의 구성 및 시험 모형은 다음과 같다.

3.1 실험 장치

비전 시스템을 이용한 공간상의 위치 결정을 하기 위한 실험 장치의 전체적인 구성은 Fig. 1에 나타난 것처럼 3대의 CCD 카메라, 화상처리 비전 보드, 모니터로 구성된 비전 시스템과 PC 및 시험 모형 등 크게 아래와 같이 3가지로 구분된다.

(1) 비전 시스템

본 실험에서 사용된 비전 시스템은 3가지 구성요소로 이루어져 있다.

(a) CCD 카메라 : AVENIR TV 줌 렌즈를 부착한, 유효 화소수 768(H)×494(V), 해상도 570×485(TV)를 갖는 동경전자 공업주식회사의 CS8320 모델의 Mono CCD 카메라 3대

(b) 화상처리 비전 보드 : CPU TMS320C31 - 33MHz, 해상도 640×480, 256계조인 삼성전자의 FARA MVB-03 흑백 화상처리 비전 보드

(c) 모니터 : 동양 정밀 공업 주식회사(OPC)의 12" 흑백

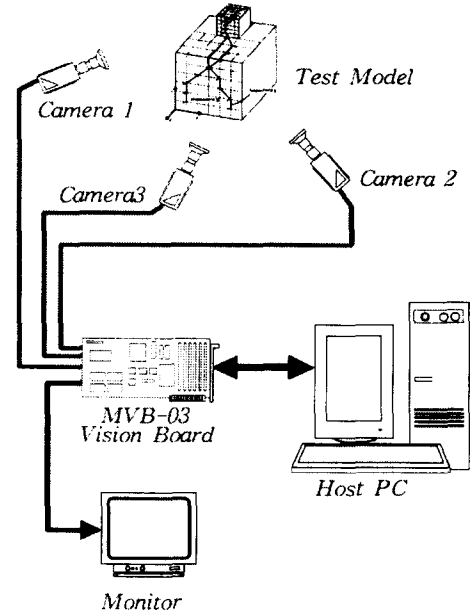


Fig. 1 Overall experimental set-up

비디오 모니터

(2) Host PC : IBM 586 PC(100MHz)와 모니터

(3) 시험 모형 : Fig. 2에 시험모형의 형상을 나타내었다.

3.2 시험 모형

3차원 공간상에 위치하는 물체의 위치를 결정하기 위해 본 실험에서는 Fig. 2에서 보여준 것 같이 시험모형을 제작하였다. 시험모형은 목표점 위치의 변화를 주기 위하여 300×296×300과 100×100×100의 크기를 갖는 두개의 육면체 블록을 제작·결합하여 사용하였다. 그리고 작은 시험모형을 큰 시험모형 위에서 임의적으로 이동하여 목표점의 좌표값을 여러 개 설정하여 실험하였다. 본 논문은 여러 개의 목표점 좌표값들중 Fig. 2의 좌표축을 기준으로 할 때 (150, 396, -220)의 값을 갖는 목표점에 대한 결과를 제시하고자 한다

또한 시험모형 및 목표점(혹은 큐)의 위치에 대한 정밀도를 확보하기 위하여 방전가공기 및 3차원 위치 측정기를 사용하였다.

비전 제어기법을 이용하여 물체의 위치를 결정하기 위해서는 위치를 결정하고자 하는 물체의 주위에 위치를 알 수 있는 물체들이 존재해야 하고, 비전 시스템을 이용하여 비전 데이터를 얻을 수 있어야 한다는 조건에 따라서, 본

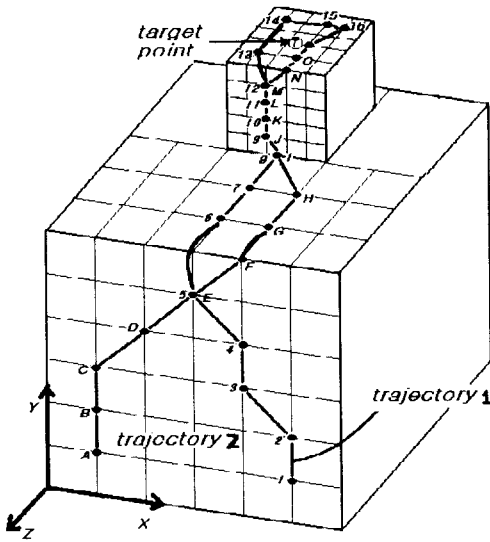


Fig. 2 Experimental test model

실험에서는 목표점의 위치를 결정하기 위하여 목표점 주위에 Fig. 2와같이 위치를 알 수 있는 여러개의 점들로 구성된 2가지의 경로를 설치하였다.

그리고 비전 데이터의 정보량을 최소화하기 위하여 목표점 주위의 점들과 목표점에 큐를 부착하였다.

3.3 실험 방법

본 연구에서 수행한 비전 시스템을 이용한 물체 위치 결정에 대한 실험 과정은 Fig. 3과 같다.

(1) 단계 1

실험모형과 카메라의 위치를 결정하고 최종적으로 위치를 결정하고자 하는 물체의 비전 데이터 X, Y 를 각각의 카메라로부터 얻는다.

(2) 단계 2

미리 정해진 궤적을 따라 위치가 알려진 각 큐들의 비전 데이터 X, Y 를 각 단계마다 프로그램에 의하여 각 카메라별로 얻는다.

(3) 단계 3

실제 알려진 큐의 위치와 단계 2를 통해서 획득한 물체의 2차원 카메라 좌표계 값을 가지고 2.1.3절에서 설명되어진 매개변수 추정 모델을 이용 시각 매개변수 $C_1 \sim C_6$ 를 추정한다.

(4) 단계 4

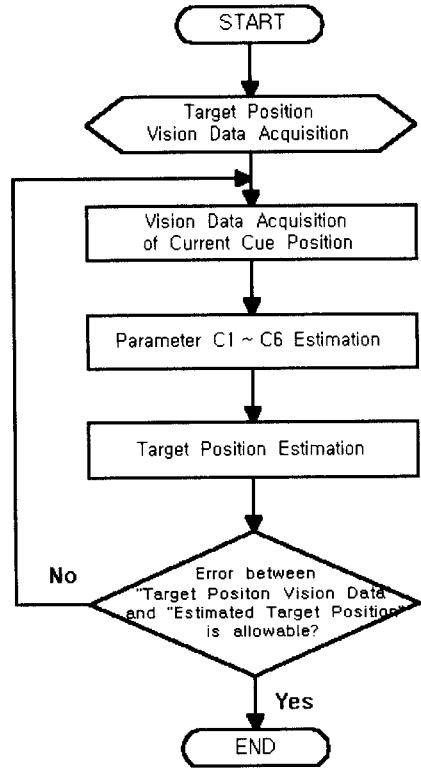


Fig. 3 Experimental procedure based on vision system

6개의 시각 매개변수 $C_1 \sim C_6$ 가 결정되면 2.1.5절에서 개발된 물체위치결정 모델을 이용하여 카메라 평면상에서 각 단계별로 추정된 목표점의 위치와 목표점의 비전 데이터 사이의 오차가 최소화하는 방법으로 목표점의 위치를 추정한다.

(5) 단계 5

이미 각 카메라로부터 얻어진 목표 지점의 비전 데이터 X, Y 와 현재 단계까지 추정된 목표점의 위치에 대한 카메라 평면의 비전 데이터 X, Y 사이의 오차가 허용오차 이내인가를 검사하여 실험을 종료하거나 단계 2부터 반복한다.

4. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제시한 비전 시스템 모델의 적합성을 검증하기 위하여 Fig. 2와 같은 실험모형을 제작하고 3.3절에 나타난 실험 방법에 따라 실험을 행하였다. 본 제어기법의 유용성 및 정확성과 안정성을 확실히 제시하기 위하여 두

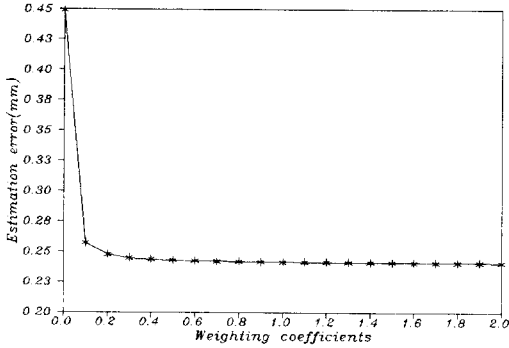


Fig. 4 Estimation errors according to the change of weighting coefficients

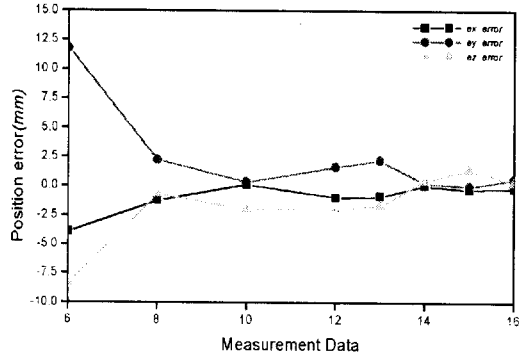


Fig. 5 Position errors of target point in x,y,z coordinate according to the change of the number of measurement data for the known points in trajectory #1

개의 궤적을 구성하였으며 각 궤적상 큐들의 위치는 모두 임의의 기준 좌표계에 대하여 알 수 있고, 각 큐들은 3차원 공간상에 위치한 물체들로 가정한다.

작업 공간에 놓여져 있는 시험 모형상 큐의 비전 데이터는 Fig. 1에 나타난 것처럼 고정된 3대의 카메라에 의해서 얻어진다.

Fig. 4는 본 실험에서 가중계수가 변화함에 따라 물체 위치의 추정값과 실제값의 오차를 나타내는 그래프이다. Fig. 4에서 가중계수의 값이 증가함에 따라 추정 오차가 줄어들고 있음을 알 수 있다. 본 실험에서는 가중계수 $a_x = a_y = 1.5$ 를 사용하였고, x, y, z 각축에 대한 오차 e_x, e_y, e_z 를 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} e_x &= T_x - f_x \\ e_y &= T_y - f_y \\ e_z &= T_z - f_z \end{aligned} \quad (25)$$

여기서, T_x, T_y, T_z 는 목표점의 x, y, z 축에 대한 실제값을 각각 나타내며, 또한 f_x, f_y, f_z 는 목표점에 대한 x, y, z 축의 추정된 값을 각각 나타낸다.

목표점을 추정하기 위하여 미리 생성한 궤적을 따라 측정 데이터수를 목표점을 향하여 증가시키면서 실제 목표점위치와 추정된 목표점위치의 오차를 비교하여, 목표점의 정확한 위치 추정과 위치가 알려진 큐의 개수 즉, 측정된 데이터의 개수간의 상관 관계를 알아본다.

경로 1에 해당하는 결과는 Fig. 5 및 Table 1에 나타내었고, 경로 2에 해당하는 결과는 Fig. 6과 Table 2에 나타내었다. 설정된 궤적에 대한 실험 결과로서 목표점 ①를 추정하기 위하여 얻은 비전 데이터의 수가 증가함에 따라

Table 1 For trajectory #1 & case 1, the estimated position errors of the target cue ①(150, 396, -220) according to the change of the known point measurement data

Number of measurement data	Fx error	Fy error	Fz error
6	-3.921206	11.801453	-8.298595
8	-1.224305	2.239264	-0.688947
10	0.126732	0.344649	-2.039420
12	-0.983952	1.637435	-1.962097
13	-0.888588	2.186619	-1.696916
14	0.062088	0.274278	0.460152
15	-0.313896	-0.002589	1.404659
16	-0.171562	0.562804	0.317252

나타나는 추정 오차의 변화를 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6에는 정의된 식(25)를 적용하여 x, y, z 각 축에 관한 각각의 오차를 도시하였다.

먼저 경로 1에 관하여 살펴보면, 단계수가 증가할 수록 목표점에 근접한 비전 데이터를 얻게 되므로 점차 물체에 대한 각 오차값들이 감소 추세를 보임을 Fig. 5와 Table 1을 통하여 알 수 있다. 즉, 알려진 비전 데이터 개수가 많을 수록, 알려진 비전 데이터가 목표점에 근접하게 얻어질 수록 추정된 물체 위치와 실제 위치의 오차는 줄어들게 된다는 것을 알 수 있다.

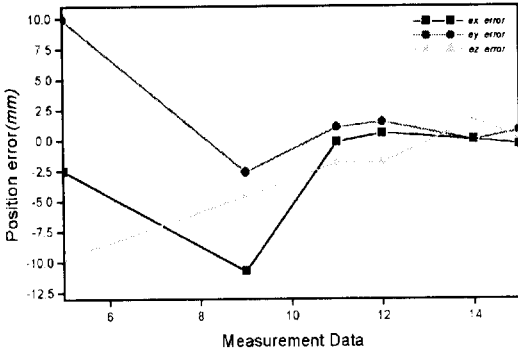


Fig. 6 Position errors of target point in x,y,z coordinate according to the change of the number of measurement data for the known points in trajectory #2

Table 2 For trajectory #2 & case 1, the estimated position errors of the target cue $\textcircled{1}$ (150, 396, -220) according to the change of the known point measurement data

Number of measurement data	Fx error	Fy error	Fz error
5	-2.523628	9.940190	-9.666098
9	-10.738621	-2.603376	-4.584002
11	-0.141407	1.057853	-1.861105
12	0.562841	1.503217	-1.866342
14	0.053629	0.031155	1.654823
15	-0.358402	0.757409	0.266795

제시된 비전 제어기법의 설정된 경로에 대한 다양성을 보이기 위하여 사용된 경로 2에 대하여 경로 1과 동일하게 실험하여 얻어진 결과는 Fig. 6과 Table 2에서 보여주는 것과 같이 경로 1의 실험 결과와 거의 같은 결과치를 얻을 수 있었다.

또한 각 궤적에 대한 실험결과에서 보여준 것 같이 측정되어진 비전 데이터양이 전체경로의 70%정도만 되어도 대략 $\pm 1\text{mm}$ 내외의 오차를 가지고 정확히 목표점의 위치를 추정할 수 있음을 알 수 있다

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- (1) 컴퓨터 비전 방법을 이용한 평면 및 공간상의 물체 위치 결정에서 제시된 제어기법을 사용하여 충분한 정밀도를 확보하였다.
- (2) 알려지지 않은 물체의 위치를 추정하는 방식이 모두 이미지 평면상에서 이루어지기 때문에 3차원 실제 공간상의 위치를 2차원의 이미지 평면으로 변환하는 관계를 나타내는 시각 매개변수가 목표점의 추정오차에 중요한 요인이 되어짐을 확인하였다.
- (3) 위치가 알려진 비전 데이터의 개수가 많을수록, 목표점과의 거리가 가까울수록 실제 공간과 이미지 평면과의 변환 관계를 나타내는 시각 매개변수를 더욱 정확히 찾아낼 수 있고, 목표점의 위치 결정에 신뢰성을 기할 수 있지만, 일정 단계 이상의 비전 데이터로도 충분한 정밀도를 유지할 수 있음을 보여 주었다.

본 실험에서 개발된 컴퓨터 비전 방법이 로봇을 이용한 실시간 작업에 적용될 경우, 각 단계마다 시각 매개변수와 목표점의 추정을 하게 되고 동시에 각 값들이 계속 새로운 값으로 갱신되므로 불확실한 작업 환경 하에서 비전 센서를 이용한 로봇의 작업과 정확한 위치 제어 등에도 이용할 수 있게 될 것이다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 지정 지역협력 연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 1999학년도 연구비의 지원에 의해 연구 되었음.

참 고 문 헌

- (1) Chen, W. Z., Korde, U. A. and Skaar, S. B.: "Position Control Experiments Using Vision", The International Journal of Robotics Research, Vol. 13, No. 3, pp.199~208, June, 1994.
- (2) Wang, L. and Lin, G., "An Application of On-line Calibration of Machine Vision for the Object Position Determination", The Fourth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision(ICARCV '96), Singapore, pp.105~109, December, 1996.

- (3) Toda, Y., Konishi, Y., and Ishigaki, H., "Positioning-Control of Robot Manipulator Using Visual Sensor", Int. Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp.894~898, December, 1996.
- (4) Emilio, J., Gonzalez, G. and Skaar, S. B., "Efficient Camera-Space Manipulation using Moments", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3407~3412, April, 1996.
- (5) 박경택, "로봇트 비전을 이용한 대상물체의 위치 결정에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제13권, 제9호, pp.104~113, 1996.9.
- (6) Morton, H., Junkins, J. and Blanton, J., "Analytical Solutions for Euler Parameters. Celestial Mechanics", 10, Dordrecht-Holland, D. Reidal Publicating Company, pp.287~301, 1974.
- (7) Youdan, K. and John, L. J., "Dynamics and Control of Flexible Structures", Texas A & M University, American Institute of Aeronautics, pp.11~67, 1992.
- (8) 장완식 · 유창규, "비전시스템을 이용한 로봇시스템의 점배치 실험에 관한 연구", 한국 정밀공학회지, 제13권, 제8호, pp.175~183, 1996.