

컴퓨터 비전시스템을 이용한 로봇시스템의 강체 배치 실험에 대한 연구

A study on the rigid body placement task of
robot system based on the computer vision system

장완식(조선대 공대), 유창규*, 신광수, 김호운(조선대 대학원)

Wan-Shik Jang · Chang-Gyou You · Kyang-Su Sin · Ho-Yun Kim

ABSTRACT

This paper presents the development of estimation model and control method based on the new computer vision. This proposed control method is accomplished using a sequential estimation scheme that permits placement of the rigid body in each of the two-dimensional image planes of monitoring cameras.

Estimation model with six parameters is developed based on a model that generalizes known 4-axis scara robot kinematics to accommodate unknown relative camera position and orientation, etc. Based on the estimated parameters, depending on each camera the joint angle of robot is estimated by the iteration method.

The method is tested experimentally in two ways, the estimation model test and a three-dimensional rigid body placement task. Three results show that control scheme used is precise and robust. This feature can open the door to a range of application of multi-axis robot such as assembly and welding.

Key Words : Vision system (비전시스템), Estimation model (추정모델), Gripper(그리퍼), Cue(큐)
Weighting matrix(가중행렬), rigid body placement (강체배치), Orientation(방위)

1. 서 론

1980년대 중반 이후로 시각적인 정보에 의한 로봇 매니플레이션에 대한 관심이 증가되었다.⁽¹⁾⁽²⁾ 시각정보의 중요성과 유연성 때문에 비전시스템의 로봇에 대한 적용은 꾸준히 연구되어왔으며 어느정도 제한된 범위내에서 산업용로봇은 불확실한 물리적인 공간의 위치와 방위를 갖는 소재에 대한 작업을 수행하고있다.

대부분 시각적 정보를 궤환(feedback)으로 이용하는 로봇은 로봇이 목표지점을 이동 할때 마다각각 보정을 필요로 한다.⁽³⁾⁽⁴⁾ 다시말해서, 시각적인 정보를 이용한 로봇 매니플레이션에는 몇가지 고유의 어려움이 있을 수 있다. 첫째로, 기구학 모델의 정확도에 의해 직접 제한되고, 따라서 기구학적 보정을 위한 정교한 노력이 필요하게 될 것이다. 둘째, 로봇 베이스에 부착된 기준계와 카메라에 부착된 카메라

좌표계 사이의 좌표 변환이 정확하게 알려져야만 한다. 세 번째, 만일 카메라 위치, 방향 또는 내부 매개변수들이 카메라 보정 단계와 로봇 매니플레이션 단계 중에 변한다면, 초기 보정은 더 이상 유효하지 않는 것이다. 마지막으로, 시각적인 정보의 궤환이 매니플레이션에 대한 어려움들을 어느 정도까지는 극복할 수 있지만, 반면에 만일 물체가 이동 중의 어느 부분 동안 다른 물체에 의해 가려졌을 때 시각적인 궤환정보를 이용하기가 어렵게 된다.

본 연구는 이와같은 문제점을 해결하기 위해서 지금까지 발표된 기존의 방법들과는 달리 실용적인 비전제어 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 개발한 비전시스템의 추정 모델은 로봇의 말단공구계에 물린 강체의 위치벡터(혹은 목표지점)에 대한 카메라 좌표값과 로봇 기구학적 모델사이의 상호관계식을 6개의 매개 변수를 사용하여 설명하고 있으며 로

봇을 구동하기 위한 회전각들은 카메라 좌표값과 로봇 기구학적 모델사이의 상호관계식으로 부터 추정 한 6개의 매개변수를 이용하여 카메라 공간 (Camera-space)내의 제어하고자 하는 로봇의 말단 공구계에 물린 강체의 위치 벡터와 목표지점 사이의 오차를 최소화시키는 방법에 의해서 구해진다.

이리하여 본 연구에서는 제시된 제어기법의 중요한 근간이 되는 6개의 매개변수를 사용한 추정모형을 이용하여 강체 배치작업 실험을 통하여 사용된 제어방법의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 추정 모델

2.1 4축 매니플레이터 기구학 모델

본 연구에서 사용되는 4축 Scara 로봇은 Fig.1에서 보여주며, 그것에 대한 링크 인자는 Table 1에서 보여준다. Table 1을 사용하여 베이스좌표계에서 마지막 링크까지의 변환 행렬은 식(1)과 같다.

$${}^0_4T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T$$

$$= \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x & q_x \\ l_y & m_y & n_y & q_y \\ l_z & m_z & n_z & q_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} l_x &= C_{124}, & m_x &= -S_{124}, & n_x &= 0, & q_x &= a_2C_{12} + a_1C_1 \\ l_y &= S_{124}, & m_y &= C_{124}, & n_y &= 0, & q_y &= a_2S_{12} + a_1S_1 \\ l_z &= 0, & m_z &= 0, & n_z &= 1, & q_z &= d_1 - d_3 + d_4 \end{aligned}$$

이며, $C = \text{Cos}$, $S = \text{Sin}$ 이다.

마지막 관절 좌표계의 원점 O_4 에서 말단 공구계의 끝점 P 까지의 위치벡터는 식(2)에 주어진다.

$${}^4P = (P_x^i, P_y^i, P_z^i, 1)^T \quad \cdot \cdot (2)$$

i : 링크의 수 ($i=1,2,3,4$)

로봇 베이스 좌표계에 대한 말단공구계의 끝점 P^i 의 위치벡터는 다음과 같이 계산된다.

$$\bar{F} = {}^4_0A {}^4P = \begin{bmatrix} f_x^i \\ f_y^i \\ f_z^i \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C_{124}P_x^i - S_{124}P_y^i + a_2C_{12} + a_1C_1 \\ S_{124}P_x^i - C_{124}P_y^i + a_2S_{12} + a_1S_1 \\ P_x^i + d_1 - d_3 + d_4 \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot (3)$$

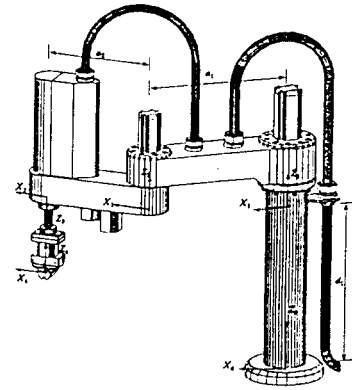


Fig.1 4-Axis SCARA robot

Table 1. Link parameters of four-axis robot

	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	449	θ_1
2	0	350	0	θ_2
3	180	260	d3	0
4	-180	0	-246	θ_4

2.2 카메라 모델

카메라 모델은 6개 불확실한 시각매개 변수의 향으로써 나타낸다. 이러한 매개변수들은 로봇에 대한 카메라 위치, 방위 및 초점거리의 불확실성을 설명할 뿐만 아니라, 3차원 공간에서 움직이는 매니플레이터 끝점 위치를 2차원 카메라 좌표계로의 변환 관계를 나타낸다. 오일러 매개변수(Euler parameter) 향으로 나타내진 방향 코사인 행렬(direction cosine matrix)을 사용하여 카메라 회전 모델은 다음과 같이 나타낸다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11}(C_i) & E_{12}(C_i) & E_{13}(C_i) \\ E_{21}(C_i) & E_{22}(C_i) & E_{23}(C_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}$$

여기서, $\cdot \cdot (4)$

$$E_{11} = C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 - C_4^2 \quad E_{12} = 2(C_2C_3 + C_1C_4)$$

$$E_{13} = 2(C_2C_4 - C_1C_3) \quad E_{21} = 2(C_2C_3 - C_1C_4)$$

$$E_{22} = C_1^2 - C_2^2 + C_3^2 - C_4^2 \quad E_{23} = 2(C_3C_4 + C_1C_2)$$

카메라 평면에 대한 매니플레이터 위치의 불확실성을 보완하기 위해 $X_{co}(=C_5)$ 와 $Y_{co}(=C_6)$ 을 식(4)에 첨가시키면 비전시스템의 카메라 모델은 다음과 같다

$$X_m = (C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 - C_4^2)f_x + 2(C_2C_3 + C_1C_4)f_y + 2(C_2C_4 - C_1C_3)f_z + C_5 \quad \cdot \cdot (5)$$

$$Y_m = 2(C_2C_3 - C_1C_4)f_x + (C_1^2 - C_2^2 + C_3^2 - C_4^2)f_y + 2(C_3C_4 + C_1C_2)f_z + C_6 \quad \cdot \cdot (6)$$

여기서 X_m 와 Y_m 는 6개의 매개변수가 알려졌다고 가정할 때 3차원 공간에서 움직이는 로봇 말단 공구계의 위치벡터가 카메라 좌표계로 변환된 값을 나타낸다.

2.3 매개변수 추정

Fig.1 에서 보여준 로봇 말단 공구계의 위치 벡터 P 에 대해서 순간시간 $t_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 에서 비전시스템 데이터와 로봇의 각 관절의 회전각($\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$)이 동시에 연속적으로 얻어진다면 3차원 공간의 로봇 말단 공구계의 위치벡터를 2차원 카메라 좌표계로 변환하는데 사용되는 6개 매개변수는 각 카메라에 대하여 아래 주어진 성능지수 $J(C)$ 를 최소화시키는 방법에 의해서 구해진다.

$$J(C) = \sum_{i=1}^n \{ [X_m^{i,j} - X_c^{i,j}]^2 + [Y_m^{i,j} - Y_c^{i,j}]^2 \} \quad \cdot \cdot (7)$$

여기서, n 은 측정된 데이터 개수, $j(j=1\sim 4)$ 는 로봇의 말단공구계에 물린 강체의 위치벡터, $X_c^{i,j}$ 와 $Y_c^{i,j}$ 는 측정된 카메라 좌표계 X, Y 값을 나타내며, $X_m^{i,j}$ 와 $Y_m^{i,j}$ 는 로봇의 공간상 위치 및 매개변수 C_k 에 기초한 카메라 모델 X, Y 값을 나타낸다. 주어진 성능지수 $J(C)$ 를 최소화 시킴으로써 매개변수 수정벡터 ΔC 는 식(8)와 같이 계산된다.

$$\Delta C = (A^T W A)^{-1} A^T W R \quad \cdot \cdot (8)$$

여기서 W 는 가중행렬(Weighting matrix)이며, 유수벡터(Residual vector) R 은 다음과 같이 주어진다.

$$R_{2i-1} = X_m^{i,j} - X_c^{i,j} \quad \cdot \cdot (9)$$

$$R_{2i} = Y_m^{i,j} - Y_c^{i,j} \quad \cdot \cdot (10)$$

매개변수 C 추정을 위한 목표 지점과의 거리인 R 의 영향력을 목표 지점에 가까이 접근 할 수록 큰 비중을 주기위해 $W=[V_v]^{-1}$ 로 하였다. 이때 V_v 식(11)와 같이 정의 하였다.

$$V_v = \begin{bmatrix} V_{1,1} & & & & & \\ & V_{2,2} & & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & \dots & & \\ & & & & V_{2n-1,2n-1} & \\ & & & & & V_{2n,2n} \end{bmatrix} \quad \cdot \cdot (11)$$

여기서,

$$V_{2n-1,2n-1} = [A_x | X_c^j(t_n) - X_c^j(t_m) | + A_{x_0}]^2$$

$$V_{2n,2n} = [A_y | Y_c^j(t_n) - Y_c^j(t_m) | + A_{y_0}]^2,$$

$j =$ 큐의 수(1~4), $A_x, A_y =$ 가중상수,

$$A_0 = A_0 = 1, \quad m = j \times n.$$

또한 $2n \times 6$ 요소를 갖는 행렬 A 는 성능지수 $J(C)$ 를 최소화하는 자코비안 행렬이며 식(12)과 (13)에 의해서 주어진다.

$$A_{2i-1,k} = \partial X_m^{i,j} / \partial C_k \quad \cdot \cdot (12)$$

$$A_{2i,k} = \partial Y_m^{i,j} / \partial C_k \quad \cdot \cdot (13)$$

여기서 i 는 측정된 데이터 개수($i = 1, 2, \dots, n$)이고 k 는 매개변수의 개수($k = 1, 2, \dots, 6$)이다. 매개변수 추정은 근본적으로 반복법이 사용되므로 최초의 매개변수 수정벡터는 가정된 초기값을 가지고 다음과 같은 관계식을 사용하여 계산된다.

$$C_{in} = C_{i0} + \Delta C \quad \cdot \cdot (14)$$

2.4 매니플레이터 회전각 추정

매개변수 추정절차에 따라서 매개변수 C 가 얻어지면 목표지점에 대한 로봇의 회전각 추정값($\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$)는 아래 주어진 성능지수 P 를 최소화시키는 방법에 의해서 얻어진다.

$$P_{(\theta)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \{ [F_x^{i,j}(f_x(\theta), f_y(\theta), f_z(\theta); C_k^i) - X_c^{i,j}]^2 + [F_y^{i,j}(f_x(\theta), f_y(\theta), f_z(\theta); C_k^i) - Y_c^{i,j}]^2 \} \quad \cdot \cdot (15)$$

여기서 i 는 카메라의 수(1~3), j 는 큐의 수(1~4), k 는 매개변수의 수(1~6)을 나타낸다. 또한 $X_c^{i,j}$ 와 $Y_c^{i,j}$ 는 목표지점에 대한 i 번째 카메라에 대한 카메라 좌표값을 나타내며, 또한 $F_x^{i,j}$ 와 $F_y^{i,j}$ 는 각 카메라에 대해 독립적으로 추정된 매개변수 C_k 에 근거한 카메라 모델값을 나타낸다. 앞절에 설명되어진 매개변수 추정 방법을 이용하면 회전각 수정벡터 $\Delta \theta$ 는 식(16)과 같다.

$$\Delta \theta = (B^T W B)^{-1} B^T W R \quad \cdot \cdot (16)$$

여기서, W 는 단위행렬을 사용하였으며, 24×4 의 요소를 갖는 B 행렬은 다음에 오는 식(17)과 같다.

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_x^{i,j}}{\partial \theta_l} \\ \frac{\partial F_y^{i,j}}{\partial \theta_l} \end{bmatrix} \quad \dots (17)$$

여기서, i 는 카메라의 수(1~3), j 는 큐의 수(1~4), l 은 로봇 회전각($\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$)을 나타낸다. 24×1 의 요소를 갖는 유수벡터의 행렬 R 은 다음 식 (18)과 같이 주어진다.

$$R = \begin{bmatrix} F_x^{i,j} - X_t^{i,j} \\ F_y^{i,j} - Y_t^{i,j} \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

3. 실험 장치

3.1 실험 장치 구성

본 연구에서 행해진 실험 장치에 대한 전체적인 개략도는 Fig.2과 같다.

(1) 비전시스템

3대의 Mono CCD(Charge-Coupled Device)카메라, 모니터, 및 FARA MVB-02 흑백 화상처리 보드.

(2) 삼성전자의 4축 SCARA형 FARA SM5 로봇 시스템 및 실험 모형.

(3) IBM 586 PC 및 모니터.

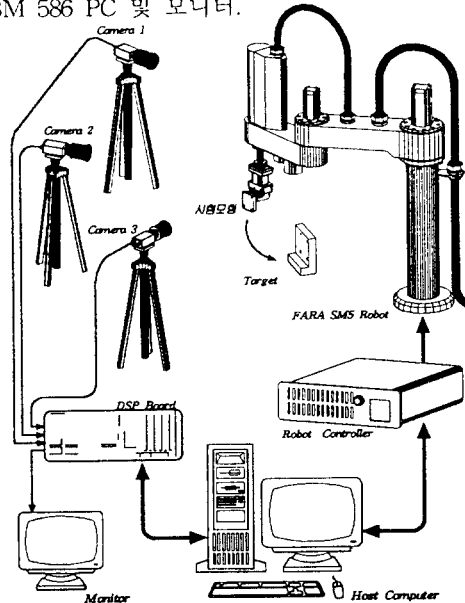


Fig.2 Overall experimental set-up

3.2 실험 모형

본 연구에 사용한 실험 모형은 Fig.3에서 보여 준 것 같이 로봇의 그리퍼에 물려 있으며 규격은 $5 \times$

5cm이며 각 Cue에 대한 구별은 LED 또는 여러 장치를 사용할 수 있으나 본 연구에서는 4개의 서로 다른 크기의 원형을 큐로 사용하였다.

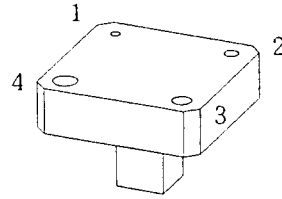


Fig.3 Experimental Test Model

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 강체를 사용한 비전시스템 추정모델 실험 결과

본 실험에서 비전데이터는 각기 다른 위치에 있는 3개의 카메라로부터 얻어지는데, 로봇이 생성된 궤적에 의해서 움직일 때 각 단계에서 로봇 회전각과 비전시스템을 사용하여 회전각에 의해서 좌우되는 로봇의 그리퍼에 물린 강체의 위치에 대한 2차원 카메라 좌표계 데이터가 동시에 얻어진다. 앞에서 언급된 것과 같이 제시된 제어방법은 카메라와 로봇이 놓여 있는 상대적 위치에 대한 관계식이 필요로 하지 않으므로, 여기서 얻어진 비전데이터는 임의적으로 스케일링하여 무차원으로 사용하며 이렇게 얻어진 데이터는 제어법의 유용성을 알아보기 위하여 사용한다.

로봇에 대한 카메라 모델식과 실험을 통하여 얻어진 비전데이터를 식(7)~식(14)에 적용하면, 3개의 카메라에 대한 각각의 6개 매개변수($C_1 \sim C_6$)가 계산된다. 이 계산 과정에서 사용된 가중행렬 W 는 매개변수 C 추정을 위해 목표 지점과의 거리에 대한 영향력을 로봇이 목표 지점에 접근할수록 큰 비중을 주기 위해 사용되는데 가중 계수(Weighting factor)는 0.1을 사용하였다. 계산된 매개변수를 사용하여 식(5)과 식(6)에 주어진 추정모델의 결과치를 구할 수 있다.

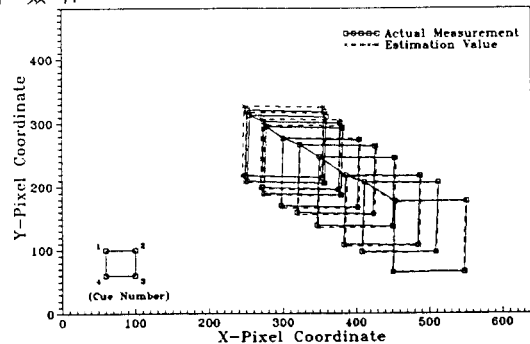


Fig. 4 Comparison of actual measurement and estimation model's fit in camera 1

Fig.4는 카메라 좌표계에서 10단계를 갖는 로봇 위치 시퀀스를 보여주며 카메라 1에서 비전시스템을 이용하여 얻어진 값과 6개 매개변수에 근거를 둔 추정모델의 결과 값에 대한 비교를 나타낸다. 각 그림에서 부호 □는 10단계를 걸쳐서 로봇이 이동하는 추정 경로를 비전시스템을 이용한 측정 데이터이고 부호 X는 추정된 6개 매개변수를 가지고 계산된 추정모델의 결과 값이다. Fig.4에서 보여준 것과 같이 로봇의 그리퍼가 쥐고 있는 강체의 위치에 대해 실제로 측정된 비전데이터와 카메라 추정모델의 결과 값은 거의 일치한다.

카메라 2와 카메라 3에서 추정모델의 값은 카메라 1과 같은 결과치를 보여주었다. 실험에서 사용한 3대의 카메라는 로봇 베이스로부터 약 1~1.5m 가량 떨어진 위치에 설치하여 실험하였다.

4.2 강체 배치 제어에 관한 실험

앞에서 언급한 제어 알고리즘을 사용하여 4축 Sacra Type 로봇을 이용한 강체 배치 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 타당성을 보이고자 한다. 2개의 카메라만 있어도 제어 알고리즘을 행할 수 있으나 본 연구에서는 3개의 카메라를 사용하여 실험하였다. 로봇이 그리퍼에 강체를 쥐고 목표 지점을 향하여 움직이는 동안 동시에 얻어지는 카메라 좌표계 데이터와 함께 식(7)~(14)식을 사용하여 매개변수 C 를 계산하며 이것을 바탕으로 식(15)에 보여준 성능지수 J 를 최소화시키는 방법을 사용하여 목표 지점에 대한 로봇의 회전각이 각 단계에서 추정되는데, 이때 매개변수 C 를 계산하는 과정에서 목표 지점과의 거리에 대한 영향력을 로봇이 목표 지점에 접근할수록 큰 비중을 주기 위해 사용되는 가중행렬 W 를 사용하였으며 가중행렬 W 의 Weighting factor는 0.1을 사용하였다.

Fig.5 ~Fig.7는 각각 카메라 1 및 카메라 2 영역에서 로봇 그리퍼가 쥐고 있는 강체의 이동 상황을 연속적으로 보여준다. 그림에서 부호 ■ 과 □는 실제로 카메라로부터 얻어지는 로봇 그리퍼가 쥐고 있는 강체의 위치에 대한 측정 데이터를 나타내는데, Fig.5 ~Fig.7에서 부호 ■는 그 시각 이전에 측정된 데이터를 말하며, 부호 □는 향후 측정되어지는 데이터를 나타낸다. 부호 ●는 카메라 영역에서 목표 지점을 나타내며, 즉 로봇이 그리퍼에 쥐고 있는 강체를 이동시키고자 하는 지점을 나타낸다. 또한 Fig.5~

Fig.7에서는 로봇이 목표 지점에 가깝게 다가감에 따라 각각 단계에서 계산된 C 값을 사용하여 로봇의 그리퍼가 쥐고 있는 강체의 위치에 대한 추정모델의 값들을 각 그림에 + 부호로 나타내어, 향후 실제로 측정값과 시각적으로 비교하기 위하여 함께 표시하였다.

이와 같이 측정된 데이터의 개수가 증가하면서 변화하는 매개변수 C 를 이용하여 로봇이 목표 지점에 도달할 수 있도록 로봇 회전각 추정 값이 Table 2에서 볼 수 있듯이 변화하게 되는데 선형적으로 궤적을 형성해 나가며 목표 지점에 도달할 수 있도록 궤적이 수정되어 감을 알 수 있다. 이리하여 최종적으로 로봇의 그리퍼가 쥐고 있는 강체를 목표 지점에 배치할 수 있는 것이다. 카메라 2와 3에서도 카메라 1과 같은 결과를 얻었다. Table 3에서는 측정된 비전데이터 개수가 증가하면서 추정된 로봇 회전각을 이용한 로봇의 그리퍼가 쥐고 있는 강체 위치에 대한 3차원 물리적 공간상의 좌표를 각 단계별로 보여주고 있는데, 비전데이터 개수가 증가할수록 실제 목표지점의 위치에 접근함을 알 수 있으며 최종 단계에서 추정된 값은 오차 한도가 최대 1mm내에서 발생한다.

Table 2. Estimated joint angles according to increase of Measurement date.

Joint Angle	Real Angle	Estimation Angle			
		Step 4	Step 6	Step 7	Step 9
θ_1	49.00	51.058	50.410	49.910	49.415
θ_2	-51.00	-54.257	-53.415	-52.685	-51.918
d_3	66.00	70.091	68.491	67.277	66.124
θ_4	-4.00	-5.038	-4.434	-4.280	-4.309

Table 3. Estimated cue position values according to increase of measurement data.

Cue #	Coord.	Real Value	Estimation Value			
			Step 4	Step 6	Step 7	Step 9
1	Fx	518.716	510.341	512.923	515.062	518.260
	Fy	294.231	295.699	294.494	293.783	293.186
	Fz	162.000	157.909	159.509	160.723	161.876
2	Fx	468.990	460.857	463.344	465.441	468.613
	Fy	299.458	302.863	300.968	299.925	299.117
	Fz	162.000	157.909	159.509	160.723	161.876
3	Fx	468.990	460.857	463.344	465.441	468.613
	Fy	299.458	302.863	300.968	299.925	299.117
	Fz	112.000	107.909	109.509	110.723	111.876
4	Fx	518.716	510.341	512.923	515.062	518.260
	Fy	294.231	295.699	294.494	293.783	293.186
	Fz	112.000	107.909	109.509	110.723	111.876

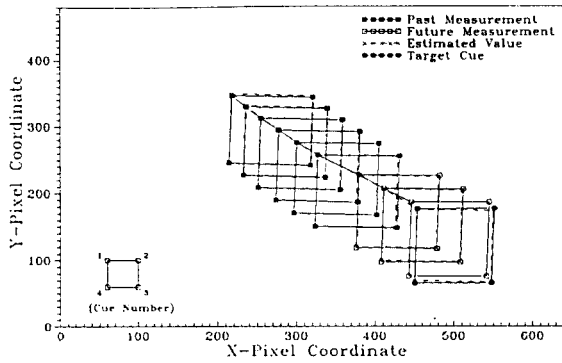


Fig 5 Predictive sequence for rigid body placement from 6 measurement data in camera 1

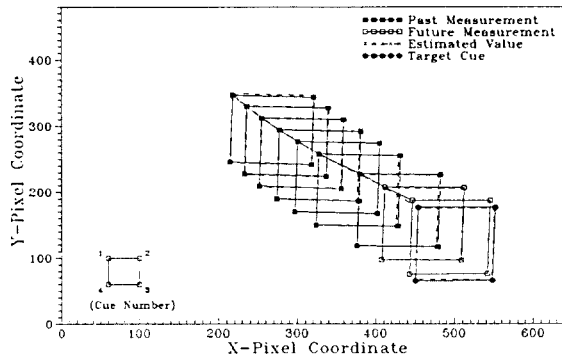


Fig 6 Predictive sequence for rigid body placement from 7 measurement data in camera 1.

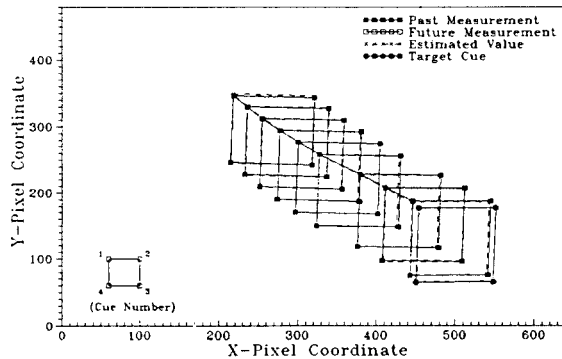


Fig 7 Predictive sequence for rigid body placement from 9 measurement data in camera 1.

5. 결론

본 논문에서 제시된 제어 방법이 로봇의 강체 배치 작업을 행하는데 있어서 다음과 같은 결론을 얻

었다.

- (1) 본 논문에서는 3차원 공간의 로봇 말단 공구 계에 물린 강체에 대한 위치를 2차원 카메라 좌표계로 변환시키는데 사용된 추정모델의 적합성을 보였다.
- (2) 3개의 카메라를 사용한 강체 배치 실험을 통하여 로봇이 원하는 지점에 1mm 내외의 오차를 가지고 강체를 성공적으로 배치하였다.
- (3) SCARA Type이외의 로봇에 대해서도 그것의 기구학 모델만 변형시키면 위의 제어법은 손쉽게 사용될 수 있으며, 또한 화상 데이터의 처리속도, 해상도 및 각 시스템간의 통신 등의 문제점이 해결된다면 실시간 제어 또는 보다 높은 정밀도를 요구하는 조립 작업등의 실용성을 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Corke, P.I., 1993, Video-Rate Robot Visual Servoing, In K. Hashimoto, Editor, Visual Servoing, pp257~283. World Scientific.
- (2) Yoshihiro TODA, Yasuo KONISHI, Hiroyuki ISHIGAKI, 1996, Positioning-Control of Robot Manipulator Using Visual Sensor. Int. Conference on Control, Automation, Robotics and Vision., pp894~898, December.
- (3) Emilio J. Gonzalez-Galvan, Steven B. Skaar, 1996, Efficient Camera-Space Manipulation using Moments, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3407~3412, April
- (4) Tani, K., Abe, M. and Ohno, T., 1977, "High Precision Manipulator with Visual Sense," Proceedings 7th International Symposium on Industrial Robots, Tokyo, Japan, October 19-21, Tokyo: Japan Industrial Robot Association.
- (5) Morton, H., Junkins, J. and Blanton, J., 1974, Analytical Solutions for Euler Parameters, Celestial Mechanics, 10, D. Reidal Publishing Company, Dordrecht-Holland, pp. 287-301.
- (6) 장완식, 유창규 1996, 비전시스템을 이용한 로봇 시스템의 점배치 실험에 관한 연구, 한국 정밀공학회지 제 13권 제8호 pp.175~183, 8월