

# 카메라 위치에 따른 비전 시스템 모델의 효율성에 관한 연구

## A study on Effectiveness of Vision System Varying with Location of Camera

#장완식<sup>1</sup>, \*민관웅<sup>2</sup>, 손재경<sup>3</sup>

#W. S. Jang(wsjang@chosun.ac.kr)<sup>1</sup>, \*K. U. Min<sup>2</sup>, J. K. Son<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> 조선대학교 기계공학과

Key words : Robot's position control, vision system model, location of camera

### 1. 서론

본 논문은 기존 비전 제어기법의 단점을 보완하기 위해 매개변수 추정모델과 회전각 추정모델로 대표되는 새로운 형태의 비전 시스템 모델을 개발하고, 개발된 비전 제어기법에 사용되는 카메라 위치변화가 로봇 위치제어에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 연구 하고자한다.

이를 확인하기 위해서 동일한 조건(동일한 로봇의 경로를 사용)에서 카메라의 위치만을 변경 시키면서 매개변수 추정모델에 의해 추정되는 각 카메라에 대한 매개변수를 확인하고, 로봇 위치제어를 위해 로봇을 목표지점에 접근시킬 때 로봇의 이동지점과 목표지점간의 오차를 조사한다.

결과적으로 위 실험을 통하여 카메라 위치의 변화가 로봇위치제어를 위해 사용되는 비전 시스템 모델에 어떠한 영향을 미치는가를 연구한다.

### 2. 비전 시스템 모델

본 연구에서 사용된 비전 시스템 모델은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} X_m &= (C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 - C_4^2)f_x + 2(C_2C_3 + C_1C_4)f_y \\ &\quad + 2(C_2C_4 - C_1C_3)f_z + C_5 \\ Y_m &= 2(C_2C_3 - C_1C_4)f_x + (C_1^2 - C_2^2 + C_3^2 - C_4^2)f_y \\ &\quad + 2(C_3C_4 + C_1C_2)f_z + C_6 \end{aligned} \quad \dots\dots(1)$$

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 나타내며,  $f_x, f_y$  및  $f_z$  는 삼성 스카라형 4축 로봇의 정기구학 모델식이다. 또한, 매개변수( $C_1 \sim C_4$ ) 는 카메라의 자세의 변화성을 나타내고, 매개변수( $C_5 \sim C_6$ ) 는 카메라에 대한 시험 모형의 거리 또는 로봇 및 주변 환경의 불확실성을 나타낸다.

### 3. 추정 모델

#### 3.1 비전 시스템 모델의 매개변수 추정

비전 시스템 모델에서 오일러 매개변수를 포함하는 6개의 시각 매개변수는 3차원의 실제 좌표계를 2차원의 카메라 좌표계로 변환하는데 매우 중요한 인자이다.

시험 모형 또는 로봇 말단의 큐의 위치벡터를 2차원 카메라 좌표계로 변환하는데 사용되는 6개의 시각 매개변수는 아래 주어진 성능지수  $J(C)$  를 최소화시킴으로써 구해진다.

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

여기서,  $X_c^i$  와  $Y_c^i$  는 실제 측정된 카메라 좌표값이다. 식(2)에 매개변수  $C_k$  를 계산하기 위해 Newton-Raphson 공식을 적용하면

$$\begin{aligned} C_{k,n+1} &= C_{k,n} - \left[ \frac{\partial g(C_{k,n})}{\partial C_k} \right]^{-1} g(C_{k,n}) \\ &= C_{k,n} + \Delta C \end{aligned} \quad \dots\dots(3)$$

이 때, 식 (3)에서  $\left[ \frac{\partial g(C_{k,n})}{\partial C_k} \right]^{-1}$  부분을 계산하는 경우 대부분 정방행렬이 아니므로 최소 노움해 또는 최소 이산해

를 이용하여 역행렬을 구하면  $\Delta C$ 는<sup>(4)</sup> 다음과 같다

$$\Delta C = (A^T W A)^{-1} A^T W R \quad \dots\dots(4)$$

여기서,  $W$ 는 단위행렬이다.

#### 3.2 로봇 회전각 추정

매개변수 추정절차에 따라서 각 카메라에 대한 매개변수  $C_k$ 가 얻어지면, 이를 사용하여 목표점에 대한 매니플레이터의 회전각 ( $\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$ ) 추정이 필요하게 된다. 회전각 추정은 아래 주어진 성능지수  $J_a(\theta)$  를 최소화시키는 방법에 의해서 얻어진다.

$$\begin{aligned} J_a(\theta) &= \sum_{i=1}^N \{ [X_m^i(f_x(\theta), f_y(\theta), f_z(\theta); C_k^i) - X_i^i]^2 + \\ &\quad [Y_m^i(f_x(\theta), f_y(\theta), f_z(\theta); C_k^i) - Y_i^i]^2 \} \end{aligned} \quad \dots\dots(5)$$

여기서,  $N(=1,2,3,4,5,6)$ 은 카메라의 수,  $k(=1,2,\dots,6)$ 는 매개변수의 수를 나타낸다. 또한  $X_i^i$  와  $Y_i^i$  는 목표점(target point)의  $i$ 번째 카메라에 대한 카메라 좌표값을 나타내며,  $X_m^i$  와  $Y_m^i$  는 추정된 매개변수  $C_k$ 에 근거한  $i$ 번째 카메라에 대해 비전 시스템 모델 값을 나타낸다.

식(5)에 주어진 성능지수  $J_a(\theta)$  를 최소화하기 위하여 매개변수 추정 방법을 회전각 추정 방법에 적용하면 다음과 같다.

$$\theta_{k,n+1} = \theta_{k,n} + \Delta\theta \quad \dots\dots(6)$$

식(6)의 회전각 수정벡터  $\Delta\theta$  는 다음과 같다.

$$\Delta\theta = (B^T W B)^{-1} B^T W R \quad \dots\dots(7)$$

여기서,  $W$ 는 단위 행렬이다.

### 4. 실험장치 및 결과

#### 4.1 실험장치

본 실험의 장치 구성은 Fig. 1에 보여준 것 같이 삼성 스카라형 4축 로봇, 개발된 통합형제어기, 비전 시스템, 호스트 컴퓨터 등 크게 4개로 구성되며 Fig. 2와 같이 카메라 위치를 결정 하였다. 이리하여, 모든 상황을 나타낼 수 있는 6경우의 카메라 배치를 설정하여 Table 1에 나타내었으며, 각 경우에 모두 3대의 카메라를 사용하였다.

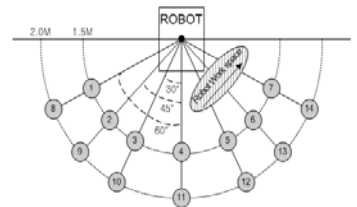


Fig. 1 Experiment device Fig. 2 Setting Position for camera

Table 1 Camera setting number for experiment

Camera Placement #	Setting position number	Characteristic
case #1	1, 2, 3	1.5M 좌측 편중 배치
case #2	3, 4, 5	1.5M 중앙 배치
case #3	5, 6, 7	1.5M 우측 편중 배치
case #4	8, 9, 10	2.0M 좌측 편중 배치
case #5	10, 11, 12	2.0M 중앙 배치
case #6	12, 13, 14	2.0M 우측 편중 배치

### 4.2 비전 시스템 모델의 실험결과

카메라의 배치에 따른 비전 시스템 모델의 영향을 조사하기 위해 Table 1에 따라 카메라를 선택하였다. 각 6개 경우에 대하여 3.1절의 매개변수 추정방법을 따라서 계산된 비전 시스템 모델값과 실제 데이터값을 비교하여 비전 시스템 모델의 적합성을 조사하였다. 각 경우에 3대의 카메라를 사용하여 실험 하였으나 본 논문에서는 각 경우의 1대의 카메라에 대하여 결과를 Fig. 3~Fig. 8에 제시하였다. 부호  $\Delta$ 은 실제 비전 데이터이고, 부호  $\times$ 는 추정 모델 값이며, 부호  $\square$ 와  $\star$ 은 각각 목적지의 실제 비전 데이터와 비전 시스템 추정 모델이다.

Fig. 3~Fig. 8에서 보여준 것같이 카메라 배치에 따른 6개의 모든 경우에 대하여 실제 값과 추정 모델 값은  $\pm 0.1$ 픽셀의 정밀도를 가지고 거의 일치함을 알 수 있었다. 각 경우에서 1대의 카메라에 대해서 본 논문에 나타내었지만 다른 2대의 카메라에서도 거의 같은 결과를 보여 주었다.

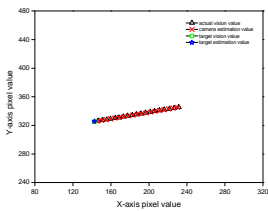


Fig. 3 comparison between estimation value and actual value of camera 1 in case #1

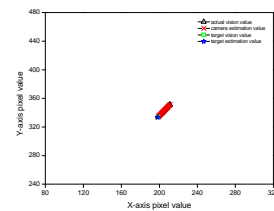


Fig. 4 comparison between estimation value and actual value of camera 3 in case #2

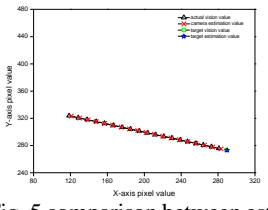


Fig. 5 comparison between estimation value and actual value of camera 5 in case #3

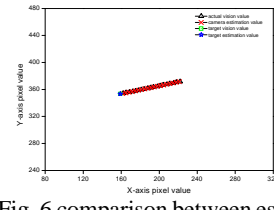


Fig. 6 comparison between estimation value and actual value of camera 8 in case #4

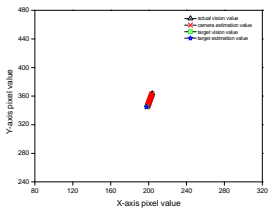


Fig. 7 comparison between estimation value and actual value of camera 10 in case #5

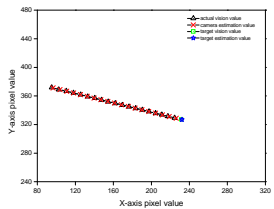


Fig. 8 comparison between estimation value and actual value of camera 12 in case #6

### 4.3 카메라 배치에 따른 실험결과

4.2절의 비전 시스템 모델 결과 값을 근거로 3.2절의 로봇 회전각 추정 모델 방법을 이용하여 로봇 위치제어를 수행하였다. 카메라의 배치에 따른 영향을 조사하기 위해 Table 1에 따라 6개 경우 각각에 대하여 비전 시스템 추정모델을 적용하여 로봇 위치제어를 수행하였다. 로봇 위치제어를 위해 로봇을 목표지점으로 이동하였을 때 목표지점과의 차이를 비교함으로써 비전 시스템에 사용되는 카메라 배치가 어떠한 영향을 가지는지 확인하였다.

Table 2는 각 경우에서 목표지점에 대해 추정된 로봇 회전각을 실제값과 비교하여 나타내었으며, 실험결과 각 경우에 있어서 로봇 회전각이 거의 일치함을 알 수 있었다.

Table 3은 6개의 각 경우에 대해 Table 2의 결과를 로봇 정기구학 모델에 대입하여 목표지점의 모델 추정값과 실제값을 비교하여 보여주며 Fig. 9는 평균오차 값을 보여준다.

그림과 Table을 종합하여 볼 때 비전 시스템 모델은 카메라의 배치에 커다란 영향을 받지 않고 전체적으로 약 1mm의 안정된 오차율을 가진다. 다만 같은 환경에서 카메라를 배치할 때 로봇이

움직이는 영역내(Fig.2)에 집중 배치하면 좀 더 향상된 결과를 얻을 수 있다는 것을 본 실험을 통해 알 수 있었다.

Table 2 Estimation value of each joint angle

Camera Placement	$\theta_1$	$\theta_2$	$d_3$	$\theta_4$
case #1	-27.322	121.475	94.203	0.000
case #2	-27.272	121.420	94.765	0.000
case #3	-27.268	121.585	94.549	0.000
case #4	-27.249	121.568	94.404	0.000
case #5	-27.245	121.565	94.416	0.000
case #6	-26.907	121.961	95.330	0.000
actual value	-27.0352	121.8348	95.0000	0.0000

Table 3 Error value between physical coordinate value and estimated coordinate value

Camera Placement set	Fx	Fy	Fz	average error
#1 estimation value	292.127	98.671	40.797	1.519435
#2 estimation value	292.288	98.946	40.235	1.460717
#3 estimation value	291.533	98.911	40.451	1.116454
#4 estimation value	291.579	99.009	40.596	1.130142
#5 estimation value	291.586	99.032	40.584	1.124567
#6 estimation value	289.206	100.598	39.670	0.604829
actual value	290.000	100.000	40.000	

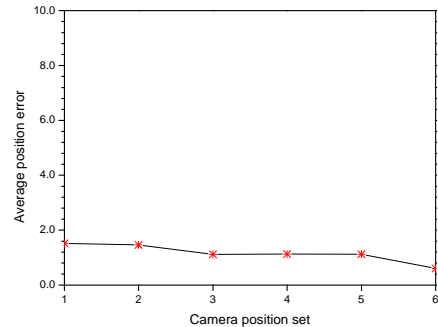


Fig. 9 Average Position error

## 5. 결론

카메라 배치에 따른 비전 시스템 모델 효율성 실험에서는 동일한 환경에서 카메라 배치만을 변화시켜 로봇을 목적지로 이동시키는 로봇 위치제어 실험을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 카메라 배치는 로봇 위치제어를 위해 큰 영향을 미치지 못한다.
- (2) 다만, 실험을 통하여 로봇이 이동하는 방향에 카메라를 배치하였을 때 좀 더 향상된 정밀도를 갖는 것을 알 수 있었다.

## 후기

이 논문은 2008년도 조선대학교 레이저 응용 신기술 개발 연구센터의 지원을 받아 수행되었음.

## 참고문헌

1. J. L. Junkins, "An Introduction to Optimal Estimation of Dynamical system, Sijthoff and Noordhoff International Publishers", Alphen Aan Den Rijn, , pp.29 ~ 33, 1978
2. Bales J. and Barker L., "Marking Parts to Aid Robot Vision. NASA Technical Paper 1819", April, 1981
3. 장완식, 김경석, 이성민 "한 이미지 평면에서 다물체 위치의 실시간 화상처리 알고리즘 개발" 한국비파괴검사학회지, Vol. 22, 523-531, 2002.