

장애물에 의한 불연속적인 로봇 궤적에서의 로봇 비전제어기법 효율성에 대한 실험적 연구

An experimental study on the effectiveness of robot vision control scheme in discontinuous robot's trajectory caused by obstacle

*손재경¹, #장원식², 민관용¹

*J. K. Son¹, #W. S. Jang(wsjang@chosun.ac.kr)², K. U. Min¹

¹조선대학교 대학원 기계공학과, ²조선대학교 기계공학과

Key words : Robot's position control, vision system model, discontinuous robot's trajectory, Obstacle

1. 서론

매니퓰레이터에 비전시스템을 적용할 때에는 카메라의 위치, 방향 및 초점거리에 대한 보정이 가장 중요한 요소 중의 하나가 되며, 만약 이 보정이 정확하게 되어 있지 않으면 매니퓰레이터는 정상적인 위치 보정을 하지 못하고 오동작을 할 우려가 있다. 본 연구에서는 카메라와 로봇과의 상대적인 위치가 알려지지 않아도 제어가 가능하고, 위와 같은 보정 문제점을 해결하기 위해 6개의 시각매개변수를 갖는 비전시스템 모델을 개발하여 불확실한 작업환경의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 실용적인 로봇 비전제어기법을 제시하고, 비전데이터를 얻음에 있어서 장애물 출현으로 인하여 불연속적인 상황이 발생한 경우에 대해 로봇 비전제어기법의 적합성과 효율성을 확인하고자 한다.

2. 시스템 모델 개발

2.1 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 스카라형 삼성SM7 4축 로봇의 정기구학 모델식이다.

2.2 시각 매개변수 추정모델

비전 시스템 모델의 6개 매개변수는 3차원 공간의 로봇 말단부분의 위치벡터를 2차원카메라 좌표계로 변환하는데 있어서 매우 중요한 인자이다. 이때 3차원 로봇위치를 2차원 카메라 좌표계로 변환하는데 사용되는 6개의 시각 매개변수를 구하는 식은 다음과 같다.⁽³⁾

$$C_{k,n+1} = C_{k,n} + \Delta C \quad \dots\dots(2)$$

여기서, ΔC 는 일반적으로 정방향렬이 아니므로 최소 노움해를 적용하면 다음과 같다.⁽¹⁾

$$\Delta C = (A^T W A)^{-1} A^T W R \quad \dots\dots(3)$$

2.3 로봇 회전각 추정모델

시각 매개변수 추정절차에 따라서 각 카메라에 대한 매개변수 C_k 를 구한 후, 이를 이용하여 목표점에 대한 매니퓰레이터의 회전각($\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4$) 추정이 필요하며 로봇 회전각 추정모델식은 다음과 같다.⁽³⁾

$$\theta_{k,n+1} = \theta_{k,n} + \Delta \theta \quad \dots\dots(4)$$

$$\text{여기서, } \Delta \theta = (B^T W B)^{-1} B^T W R \quad \dots\dots(5)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험의 장치 구성은 Photo. 1에서 보여준 것과 같이 비전 시스템, 로봇 시스템 및 Host PC로 크게 3부분으로 구성된다. 비전보드는 MATROX사의 Meteor2-MC4를 사용하였고 로봇 시스템은 스카라형 삼성의 SM7 4축 로봇을 사용하였다.



Photo. 1 Experimental apparatus

3.2 실험방법

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 중앙, 좌측, 우측 3개의 작업영역별로 나누었으며, 선행된 연구⁽⁴⁾결과에 따라 좀 더 향상된 정밀도를 가질 수 있도록 로봇이 이동하는 방향에 각각 3대의 카메라를 2.5M거리에 집중배치 하여 실험을 수행하였다.

본 실험절차는 로봇의 말단부분의 1개 큐와 목표점이 3개의 카메라 2차원 평면상에서 벗어나지 않도록 설정하고 작업영역별로 처음 위치에서 목표점에 접근하는 3종류의 25step 로봇 이동궤적을 설정한다. 여기서, 로봇이 작업영역별 이동궤적을 따라 목표점을 향하여 이동할 때 Fig. 2의 임의의 로봇이동궤적에 나타낸 것과 같이 8 ~ 10step에는 ㉠장애물, 13 ~ 15step에는 ㉡장애물 18 ~ 20step과 23 ~ 25step에는 각각 ㉢장애물과 ㉣장애물을 차례대로 배치하여 불연속적인 로봇궤적을 각각의 작업영역에 4경우로 설정하였다.

로봇이 불연속적인 궤적을 이동하는 동안 각 step마다 각 축의 엔코더 값(회전각)과 3개의 카메라를 통해서 로봇 말단부분에 부착된 큐의 위치의 비전데이터를 얻고 2.2절에서 설명한 방법에 따라 시각 매개변수 $C_1 \sim C_6$ 를 추정한다. 추정한 6개의 시각매개변수를 사용하여 2.3절에서 설명한 방법에 따라 로봇 회전각을 추정하고, 추정된 로봇 회전각을 로봇이 목표점을 향해 구동하는데 사용한다.

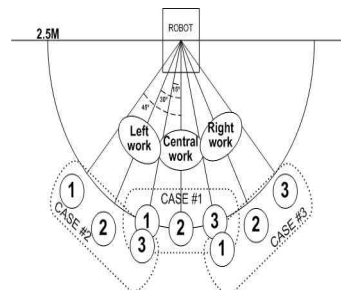


Fig. 1 Setting Position for camera

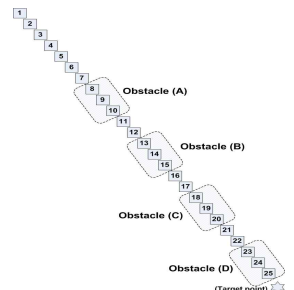


Fig. 2 Obstacle set in robot's trajectory

4. 실험결과

장애물 배치에 따른 비전 시스템 모델의 실험의 경우에 3대의 카메라를 사용하여 실험 하였으나 본 논문에서는 각 경우의 카메라②에 대해 실제 비전 데이터와 비전 모델값을 비교하여 결과를 Fig. 3 ~ Fig. 5에 제시하였다.

부호△은 실제 비전데이터이고, 부호×는 추정 모델 값이며, 부호□와 ☆은 각각 목표점의 실제 비전데이터와 비전 시스템 추정 모델 값이다. 모든 경우에 대하여 실제 값과 추정 모델 값은 ±0.1 ~ ±0.5픽셀의 정밀도를 가지고 일치함을 알 수 있었다.

Table 1은 각 경우에 대해서 ㉠ ~ ㉣구역의 장애물 출현 시 목표지점에 도착했을 때 로봇 실제 위치 값과 모델 추정 값을 비교하여 보여주며, 평균오차는 다음과 같이 정의하였다.

$$e_{avg} = \sqrt{\frac{e_x^2 + e_y^2 + e_z^2}{3}} \dots\dots(6)$$

여기서, e_x 는 x 성분 오차, e_y 는 y 성분 오차, e_z 는 z 성분 오차를 나타낸다.

식 (6)를 이용하여 각 단계에서 큐에 대한 계산된 평균오차 값은 Fig. 6에 그래프로 나타내었으며, 부호 + 는 중앙작업에서의 오차 값, 부호 ○ 는 좌측작업에서의 오차 값, 부호 ×는 우측작업에서의 오차 값이다.

종합하여 볼 때 로봇궤적의 중간영역인 ㉠과 ㉡장애물 출현 시에는 3개의 작업영역에서 장애물이 없을 때의 오차율과 거의 비슷한 약 ±0.3mm의 안정된 오차율을 가지지만 목표점에 가까워지는 ㉢장애물 출현 시 중앙 작업영역에서 ±0.48mm 좌측 작업영역에서 ±0.49mm 우측 작업영역에서 ±0.44mm이며 ㉣장애물 출현 시 중앙 작업영역에서 ±1.72mm, 좌측 작업영역에서 ±1.25mm, 우측 작업영역에서 ±1.25mm의 약간 불안정한 오차율을 가진다.

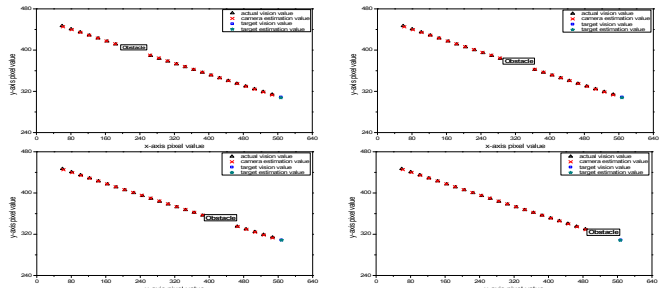


Fig. 3 In case of obstacle appearance, comparison between estimation value and actual value of camera 2 in case #1

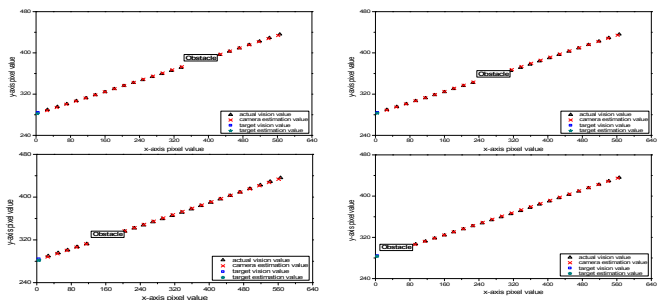


Fig. 4 In case of obstacle appearance, comparison between estimation value and actual value of camera 2 in case #2

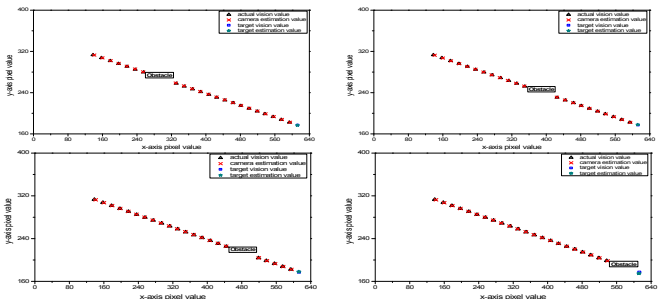


Fig. 5 In case of obstacle appearance, comparison between estimation value and actual value of camera 2 in case #3

Table 1 Error values between physical coordinate value and estimated coordinate value

Obstacle position set	Fx	Fy	Fz	average error
Standard	500.000	216.242	122.406	0.272733
A Obstacle	499.999	216.266	122.400	0.277552
B Obstacle	500.001	216.267	122.398	0.276310
C Obstacle	500.294	216.754	122.239	0.487194
D Obstacle	501.968	213.751	121.906	1.726308
actual value	500.000	216.000	122.000	
Standard	391.943	-182.128	122.454	0.274141
A Obstacle	392.116	-181.899	122.495	0.299204
B Obstacle	392.193	-181.817	122.522	0.338222
C Obstacle	392.018	-181.221	122.345	0.492130
D Obstacle	390.538	-180.910	123.179	1.253438
actual value	392.000	-182.000	122.000	
Standard	392.312	181.727	122.144	0.253160
A Obstacle	391.527	181.737	121.905	0.317305
B Obstacle	392.038	182.453	122.053	0.263976
C Obstacle	392.549	181.570	122.319	0.443040
D Obstacle	390.323	181.661	120.653	1.257067
actual value	392.000	182.000	122.000	

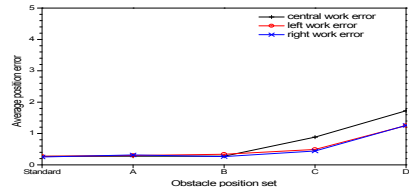


Fig. 6 Average position error

5. 결론

본 연구에서는 장애물 배치에 따른 비전 시스템 모델의 효율성 실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 로봇이 이동하는 도중 장애물 출현 등으로 인하여 비전데이터 획득이 불가능하게 되는 불확실한 환경에서도 로봇 위치제어를 수행할 수 있다.
- (2) 특히, 로봇이 이동하는 궤적에서 목표점 근처에서 발생한 장애물(㉣구역)보다 중간부분에서 장애물(㉠㉡㉢구역)에 의해 비전데이터 획득에 실패했을 경우가 더 좋은 정밀성을 갖는 것을 알 수 있었다.
- (3) 이리하여 본 논문에서 사용되는 로봇 비전제어기법은 목표점에 아주 가까운 위치에 장애물이 나타나는 것을 피하면 ±0.5mm 이내의 높은 정밀도를 가지고 로봇 위치제어를 수행 할 수 있다.

후기

이 논문은 2009년도 조선대학교 레이저 응용 신기술 개발 연구센터의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

1. Junkins, J. L. "An Introduction to Optima 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. 민관웅 "로봇 위치 제어를 위해 사용된 카메라의 배치에 따른 비전 시스템 모델의 효율성에 관한 연구", 조선대학교 석사학위 논문, 2009
4. 장완식, 민관웅, 손재경 "카메라 위치에 따른 비전 시스템 모델의 효율성에 관한 연구" 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp.21~22, 2008