

권철*, 강형진, 박민용
연세대학교 전자공학과

Implementation of tracking and grasping the moving object using visual feedback

Chul Kwon, Hyung-Jin Kang, Mignon Park
Dept. of Electronic Engineering, Yonsei University.

Abstract : Recently, the vision system has the wide and growing application field on account of the vast information from that visual mechanism. Especially, in the control field, the vision system has been applied to the industrial robot. In this paper, the object tracking and grasping task is accomplished by the robot vision system with a camera in the robot hand. The camera setting method is proposed to implement that task in a simple way. In spite of the calibration error, the stable grasping task is achieved using the tracking control algorithm based on the vision feature.

1. 서론

제어 분야에 있어서 많은 센서들이 제어를 위한 궤환신호를 얻기 위해 사용되고 있다. 그 중에서 특히 비전디바이스에 대한 관심이 증대되고 있다. 영상 정보는 다른 센서들에 비해 풍부하고 다양한 정보를 제공하고 있지만 처리량이 많고 필요한 정보를 얻는다는 것이 쉽지 않다. 최근의 많은 연구들이 로봇틱스 분야에서 비전 이용에 대한 유용성을 보여주고 있다. 본 논문에서는 물체를 추적하여 잡는 작업에 영상궤환을 이용한다.

Christopher E. Smith[1]는 카메라축과 로봇트 핸드의 approach축이 일치하도록 구성된 시스템(그림 1)에서 물체의 추적과 잡기 작업을 수행하였다. 그의 실험에서 물체에 접근하는 경우 물체가 확대되어 영상 범위를 벗어나기 때문에 물체 위에 특별한 표시를 함으로써 그것을 세밀한 특징점으로 이용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 2와 같이 물체와 로봇트 핸드의 관계를 고려하여 물체가 핸드에 잡힌 상황에서 물체 윤곽의 일부가 보이도록 비스듬하게 카메라를 설치한다

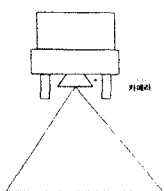


그림 1 이전 카메라 구성

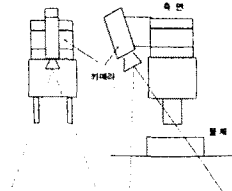


그림 2 본 논문에서의 카메라 구성

그리고, 로봇트의 제어를 위하여 영상좌표계에서 로봇트 좌표계로의 변환은 대략적인 2차원의 변환관계를 이용하며, 이때 발생하는 오차는 로봇트의 제어에 의하여 보상되도록 한다.

2. 영상 처리

영상에 의한 추적과 잡기작업을 위해서는 이동하고 있는 물체를 검출하고 궤환을 위해 이동 물체의 속도, 위치, 각도 등을 알아야 한다. 두 연속 영상간의 단순한 감산은 이동 물체의 검출을 가능하게 한다.[2] 이로부터 관심원도우를 검출하고 그 내부에서 물체에 관한 정보를 획득한다.

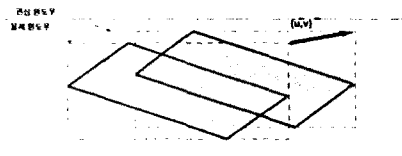


그림 3 감산에 의한 관심 윈도우와 물체 윈도우로부터의 이동 성분 추정

3. 좌표계 변환과 추적제어

정교한 캘리브레이션 작업은 그것 자체만으로도 상당한 연구과제이다. 따라서 본 논문에서는 로봇트의 높이에 따른 스케일 변화와 2차원의 변환관계만을 이용하여 영상좌표계와 로봇트좌표계를 관련시키고 나머지 오차 부분은 제어 부분에서 보상되도록 한다. 로봇트의 제어는 영상기준점과 획득된 영상으로부터 얻은 특징점과의 오차를 이용하여, 여기에 영상에서 얻어진 속도 및 가속도 보상을 보조적으로 취한다.

◆ 이차원으로 간략화된 좌표변환

스케일은 로봇트의 높이 Z에 따른 함수로 표현되며, 다음과 같은 선형식으로 모델링한다.

$$\text{scale}(z) = 0.000963 * z + 0.09505$$

시스템은 그림 4에서 처럼 기본적으로 영상 좌표계와 로봇트 좌표계가 항상 90도차가 유지되도록 틀각을 유지한다.

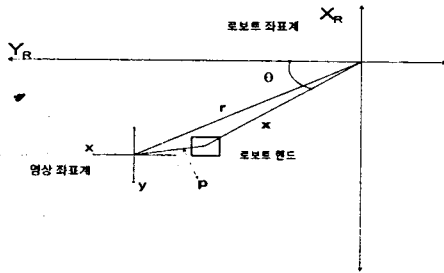


그림 4 영상 좌표계와 로봇 좌표계간의 변환 관계

그림 4에서 x 를 핸드의 위치이고, r 를 영상좌표계 원점의 로봇좌표계에 대한 위치, 그리고 p 를 핸드에서 영상좌표계 원점까지의 벡터, 물체의 회전을 고려한 정렬로 인해 발생하는 회전량을 dR 이라고 하면 영상좌표계에서의 위치 P_v 와 로봇좌표계에서의 위치 P_r 는 다음의 변환 수식에 의하여 표시할 수 있다.

$$P_r = T(r)R(90 + dR) P_v$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & r_x \\ 0 & 1 & r_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(90 + dR) & -\sin(90 + dR) & 0 \\ \sin(90 + dR) & \cos(90 + dR) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} P_v$$

여기서 T, R 는 이동변환과 회전변환행렬

$$r \text{ 은 } x + R(dR) p$$

x 는 핸드 끝의 위치벡터

◆ 물체의 변화시 변화량 보상

물체의 추적시 로봇트 핸드를 정렬하는 과정에서 물체의 중심점을 기준으로 각을 변화시킬 때 카메라와 핸드 중심과의 움직임 인해 핸드 끝의 위치도 변화시켜야 한다. 그림 5에서 영상 좌표계에서의 회전 중심 위치 벡터를 r , 그리고 현재 필요한 회전량을 θ , θ 를 포함하여 누적된 전체 회전량을 dR 이라고 하면 다음과 같은 관계식에 의하여 회전시 발생하는 위치 이동 보상 rdx, rdy 를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} rdx \\ rdy \end{bmatrix} = (R(dR) p + R(90 + dR) r) - R(\theta)(R(dR) p + R(90 + dR) r) = (I - R(\theta))(R(dR) p + R(90 + dR) r)$$

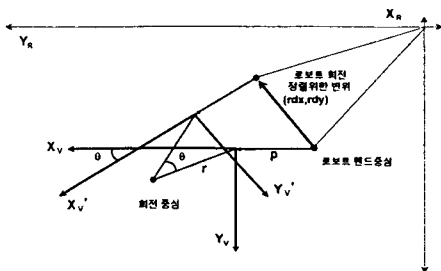


그림 5 특정 위치를 중심으로한 회전시 보상

◆ 접근시의 변화량 보상

카메라 추적축이 핸드 끝의 Z축과 일치하지 않는 경우 높이의 변화에 따라 영상 범위가 이동하는 문제가 발생한다. z에 대하여 영상 중심 벡터를 $p = az + b$ 로 기술하면, 로봇트의 Z축 값의 변화량 dz 에 대한 보상량은 다음과 같다.

$$dp = R(dR)(adz)$$

◆ 추적 단계

1) 초기 특징점의 선정

초기에는 물체의 중심점을 특징점으로 선정하고 제어 기준 위치를 영상 좌표계의 중심으로 선정한다. 물체의 최소 쪽으로 정렬하면서 접근을 시작한다. 추적과 접근을 동시에 수행하면서 물체의 크기가 영상 범위에 대해 일정 비율 이상이 되면 더 이상 물체 전체의 정보를 획득할 수 없기 때문에 추적의 특징점을 재 선정하는 단계로 접어든다.

2) 물체 특징점의 재선정

물체 추적을 위한 물체의 특징점은 최종적으로 잡기가 수행되는 위치(z_g)에서 윈도우의 우측 중심점이 영상 기준점에 도달하도록 선형적으로 이동된다. 즉 물체의 중심에서 물체윈도우의 우측 중심점 사이에서 로봇트의 Z위치에 따라 특징점이 결정된다. 특징점을 재선정하였을 때 로봇트 위치가 z_{ref} 이고 잡기를 수행하는 위치 z_g 로 접근해 갈 때, 물체의 특징점 (x_f, y_f)은 다음에 의해 계산된다.

$$x_f = x_c + (win_{x2} - x_c) \cdot \left(1 - \frac{z - z_g}{z_{ref} - z_g}\right)$$

$$y_f = \frac{win_{y1} - win_{y2}}{2}$$

여기서, $(win_{x1}, win_{y1}) - (win_{x2}, win_{y2})$ 는 물체 윈도우이다. 특징점이 재선정된 이후에는 물체가 영상 범위를 벗어나므로 이후에는 물체의 특징상 어느 정도 정렬이 이뤄진 후 추출 가능한 직선을 이용하여 정렬을 시도한다. 실험에서는 물체가 직육면체이므로 물체 상단의 직선과 하단의 직선의 기울기를 이용한다.

◆ 영상 기준점과의 오차에 기반한 제어기

영상기준점과의 오차와 그 누적치로 보상하고 회전과 접근시의 보상을 첨가하며 부분적으로 물체의 속도를 이용한다. 이 방식의 이점은 속도를 주로 하지 않기 때문에 영상 속도 추정 부분에서의 노이즈에 크게 영향을 받지 않는다. 속도보상은 물체의 속도가 갑자기 빨라지는 경우 속도보상치가 커지기 때문에 다음 위치에서 크게 발생할 오차를 감소시키는데 도움이 된다. 전체적인 제어 명령, 즉 새로 이동될 로봇트의 위치는 다음 보상치의 합으로 이뤄진다.

$$X_{new} = X_{current} + \text{deltax} + rdx + dx + vx + \text{accx}$$

deltax : 영상 위치 오차 및 그 누적치에 의한 보상량

rdx : 회전에 의한 보상량

dx : 접근시 보상량

vx : 영상에서 추정된 속도에 의한 보상항

$accx$: 실제 물체궤적에서 추정된 가속도 보상항

마지막에 부가된 항은 물체가 곡선의 궤적을 이루며 이동하고 있는 경우 가속도 추정으로 속도벡터의 변화 양상을 제어에 고려할 수 있어 곡선 궤적의 이동 물체 추적의 경우에는 매우 중요한 보상항이 된다.

4. 실험결과

미쓰비시의 5축 다관절로봇 RV-M2를 이용하며, 영상 처리보드는 TMS320C30을 이용하는 삼성 FARA MVB-02(흑백화상보드)를 사용한다. 먼저 정지된 물체에서 위의 회전정렬 및 근접시 보상을 검증하고 다음 직선과 곡선컨베이어상에서의 추적과 잡기작업을 수행한다. 추적을 수행한 때의 높이는 로봇트랜드의 위치가 $Z=165\text{mm}$ 이고 컨베이어의 높이는 $Z=-45\text{mm}$ 이다. 그리고 영상에서의 기준위치는 화면의 중심점(0,0)이다.

◆ 정지된 물체의 경우(그림 6,7)

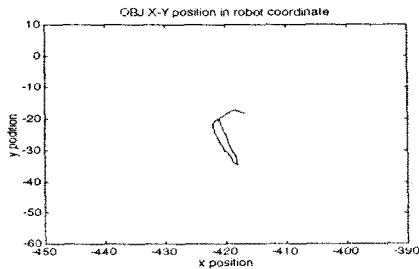


그림 6 영상에서 추정된 물체의 로봇좌표상의 위치

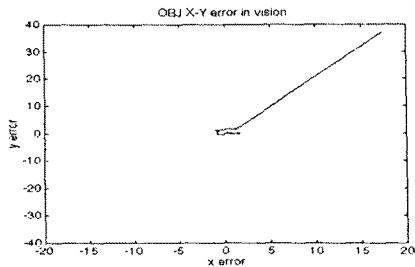


그림 7 영상좌표계에서 기준점과 특징점위치사이의 오차

물체의 위치가 로봇트가 움직임에 따라 계속 변화되어 나타나는 이유는 변환이 정확하게 이루어지지 않았음을 나타낸다. 그러나 그림에도 불구하고 영상에서는 기준위치와의 오차가 거의 없다는 것은 로봇트의 제어가 영상을 중심으로 이루어지고 있음을 나타내며 앞서 제안한 제어방식과 변환보상이 유효함을 보여주고 있다.

◆ 추적 및 잡기작업(그림 8,9,10,11)

다음의 그림들은 곡선 컨베이어에서 이동하는 물체를 추적하여 잡기를 시행한 결과이다. 영상에서는 물체중심이 기준점(0,0)에 근접하도록 제어되며, 그림 9에서는 접근시 물체가 확대되어 특징점이 변화되었음을 알 수 있다.

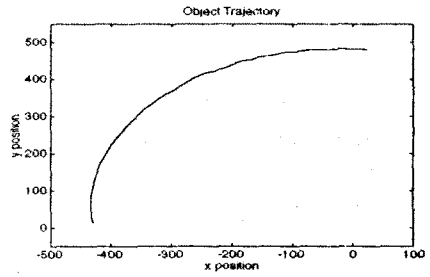


그림 8 추정된 물체의 로봇 좌표상의 위치

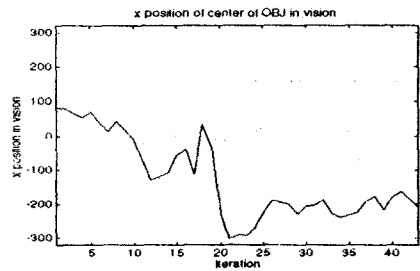


그림 9 물체중심의 영상좌표상의 X위치

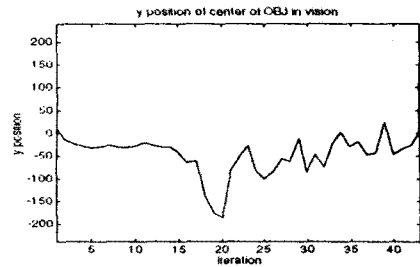


그림 10 물체중심의 영상좌표상의 Y위치

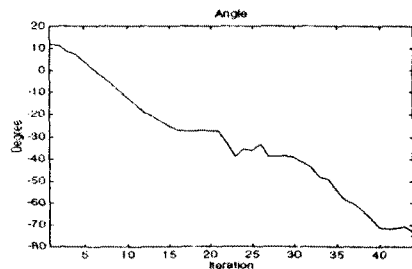


그림 11 검출되어 제어된 물체의 각도

원형 컨베이어에서의 물체는 계속 그 orientation이 변화하는데 그림 11에 그 검출된 각도에 의한 제어량이 나타나 있다.

5. 결론

본 논문에서는 카메라를 로봇트랜드에 비스듬하게 장치하고 영상면상에서의 오차를 기본으로 제어함으로써 몇가지의 이점을 얻을 수 있었다. 첫째 물체와 근접하는 경우에도 물체 윤곽의 일부를 계속 추적할 수 있었다. 둘째 대략적인 캘리브레이션에서 생기는 오차에도 불구하고 안정적인 잡기를 수행할 수 있었다. 그러나 사용된 시스템이 산업계에서 일반적으로 사용되는 위치제어기반의 로봇트이기 때문에 움직임이 부드럽지 못하고, 이동 중에는 로봇트에 관한 정보를 얻을 수 없기 때문에 로봇트 이동중의 정보는 해석하기 어려운 문제가 있다. 따라서 로봇트 제어기부분에서 영상궤환에 필요한 범용 명령루틴 작성에 관한 연구가 필요하며, 이것이 동적비전시스템을 산업적으로 응용될 수 있도록 하는 기본이 될 것으로 생각된다.

6. 참고문헌

- [1] Christopher E. Smith, Nikolaos P. Papanikolopoulos "Grasping of Static and Moving Objects Using a Vision-Based Control Approach", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on IROS, pp329 1995
- [2] Don Murray, Anup Basu "ACTIVE TRACTING", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on IROS, pp1021, 1993
- [3] John J. Craig "Introduction to ROBOTICS", 2nd ed. Addison Wesley, 1989
- [4] 지승환, 권철, 박민용 "FARA Robot 내장형 Vision System 개발", 최종보고서, 연세대학교 전자공학과, 1995