

Visual Servoing을 이용한 움직이는 부품의 조립기법

노상수*, 박상범*, 이부형**, 한영준*, 한헌수*
 숭실대학교 비전시스템 연구실*, 공주대학교 영상처리 연구실**

A Scheme for Assembling Parts Using Visual Servoing

Sangsoo Noh*, Sangbum Park*, Boohyung Lee**, Youngjoon Hahn*, Hernsoo Hahn*
 Information and Communication Engineering Department Soongsil University*
 Computer Science and Engineering Department Gongju National University**
 E-mail : *{nss0325,forcepsb,young,hahn}@ssu.ac.kr, **bhl1998@kongju.ac.kr

Abstract

This paper proposes a method of assembling parts using visual servoing in dynamic environment. We use SSD(Sum of Square Difference) based on adaptive template in order to detect a moving object in the case where the robot and the object both move. And the control input of the robot is obtained from the feed-back signal of the feature movement and the feed-forward signal of the camera movement in image plane.

I. 서론

최근에 물체가 고정된 작업환경보다 정확성과 유연성이 요구되는 동적 작업환경에서 로봇의 작업이 수행됨에 따라 비주얼 서보잉(Visual Sevoing) 기술의 필요성이 날로 증가하고 있다. 예를 들어 이동로봇을 사용한 보안 시스템으로 침입자의 얼굴을 판단하여 추적하는 시스템, 영상기반으로 자동차를 자동 주차할 수 있는 시스템, 우주 공간에서 인공위성과 우주 정거장과의 도킹 시스템 등등 많은 분야에 적용된다[1][2].

따라서, 본 논문은 동적 작업환경의 영상에서 강인한 물체검출을 위해 스네이크의 면적 변화율을 고려한 적응 템플릿(Adaptive Template)을 갖는 SSD(Sum of Square Difference) 알고리즘을 제안한다.

비주얼 서보잉을 이용한 로봇의 제어방식은 Image Based Visual Servoing (IBVS)와 Position Based Visual Servoing(PBVS)로 구분된다[3]. 본 연구에서는 Image Based Visual Servoing 방식을 사용하며 로봇의 제어 변수 입력은 영상 좌표상의 특징 위치를 원하는 위치로 이동하도록 하는 Feed-back 성분과 물체의 움직임을 보상하는 Feed-forward 성분을 보상함으로써 구해진다.

II. 본론

비주얼 서보잉을 이용한 움직이는 부품의 조립을 위해 단일 카메라를 장착한 6 자유도 Hand-eye robot 을 사용하며 전체적인 시스템의 구조는 그림 1 에 보여준다.

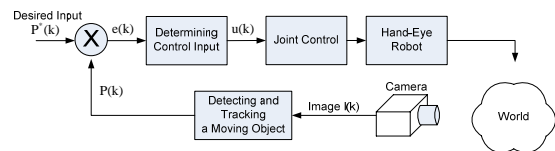


그림 1. 시스템 개략도

2.1 적응 템플릿 기반 SSD 알고리즘을 이용한 부품의 검출 및 속도 예측

카메라와 부품이 함께 움직일 때 목표물을

추적하기 위해서 적응 템플릿을 갖는 SSD 알고리즘을 사용한다. 적응 템플릿은 확장 스네이크 알고리즘에 의해 물체가 회전할 때 윤곽선 변화에 적응적으로 결정된다. 적용된 영상에 SSD 로 (k-1)번째 영상의 한 점 $p_i(k-1)$ 이 주어졌을 때 k 번째 영상에서 이와 동일한 점 $p_i(k)$ 을 찾는 방법이다. [4]

$$Z(p_i(k-1), \Delta x) = \sum_{m \in M, n \in N} \left[I_{k-1}(x_i(k-1)+m, y_i(k-1)+n) - I_k(x_i(k-1)+m+u, y_i(k-1)+n+v) \right]^2 \quad (1)$$

SSD 알고리즘에 의해 영상에서 물체의 이동변위가 결정되고 영상의 획득 주기(T)가 주어지면 영상에서 물체의 이동 속도 벡터는 식(2)로부터 구해진다.

$$v_i^p \cong \lim_{T \rightarrow 0} \left[\frac{u}{T}, \frac{v}{T} \right]^T \quad (2)$$

2.2 비주얼 서보잉을 위한 로봇제어 변수 결정

카메라가 이동할 때 물체의 특징 변화는 카메라 이동에 따른 성분과 물체의 이동에 따른 성분의 합으로 표현된다.(식 3)

$$\dot{X}_i = \dot{X}_i^c + \dot{X}_i^f \quad (3)$$

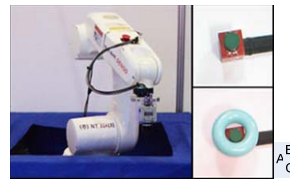
영상으로부터 로봇의 입력은 영상 자코비안 (Image Jacobian)을 이용하여 얻어지며, 영상 좌표상의 특징 위치를 원하는 위치로 이동하도록 하는 피드백 성분과 물체의 움직임을 피드포워드 성분으로부터 구해진다.

$$u = J_m^+ \{A(\dot{X}_i^d - \dot{X}_i)\} - J_m^+ \dot{X}_i^f \quad (4)$$

그림 1에서와 같이, 부품의 목표 자세 (P*(k))에서 영상정보로부터 측정된 부품의 자세(P(k))를 뺀 차의 값(e(k))로부터 영상 자코비안을 계산하여 Hand-Eye 로봇의 입력 (u(k))을 결정한다. 로봇이 움직이는 부품에 수렴하여 부품의 목표 자세와 부품의 측정자세 사이의 차이인 에러(e(k))가 일정한 상수값 이하로 줄어들면 움직이는 부품의 조립이 수행된다.

III. 구현 및 실험

이동상황에서의 부품 조립을 위한 비주얼 시스템을 실험하기 위해 Hand-Eye Robot 은 Manipulator 의 End-Effector 에 카메라와 Gripper 를 장착하였다. 획득한 영상을 통해 Gripper 가 원형 링을 잡고 Pole 을 추적하여 집어 넣는 과정을 수행한다.



A - Denso Robot VS-6577E
B - 원형 링 집기 전 움직이는 pole 의 상태
C - pole에 집어 넣은 상태

그림 2. 움직이는 pole에 Hand-eye 로봇이 원형 링을 집어 넣는 작업

표 1. 이동물체 Visual Servoing 에 따른 실험결과

이동물체 평균속도 (m/sec)	Hand-Eye Robot (이동속도 0.8 m/sec)		
	평균수행시간 (sec)	에러율(e(k)) (%)	성공률 (%)
0.05	4.6	0.15	99.2
0.10	4.9	0.64	98.6
0.15	5.7	1.37	95.7
0.20	6.3	1.48	92.3
(초기 물체와 로봇 카메라 사이의 거리 = 1.5m)			

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 비주얼 서보잉 기법을 적용하여 이동하는 물체를 안정적이고 신속하게 추적하였고, 로봇 제어 안정적인 수행하는 성능을 보였다. 하지만 동적인 상태에서의 비전센서로서 조명의 영향은 시스템 성능에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 향후 조명환경에 강인한 영상처리와 실시간 시스템에 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] M . Takayama, Y. Tanaka, T. Kakinami & Y. Iwata, "Driving Assistance System Using Rearview Camera", 8th World Congress on Intelligent Transport Systems, Sydney Australia, October 2001.
- [2] Kimmet, J. Valasek, J. Junkins, J.L. "Vision based controller for autonomous aerial refueling" Control Applications, 2002. Proceedings of the 2002 International Conference on Volume 2
- [3] Peter I. Corke "Visual Servoing of Robots high performance visual servoing"
- [4] 한영준, 한현수 "로봇의 이동물체 추적을 위한 새로운 확장 스네이크 모델", 퍼지 및 지능시스템학회 논문지 2004, Vol 14