로봇 손을 이용한 2차원 조립 작업의 컴플라이언스 특성 설정 기준

A Guideline for Specifying Compliance Characteristics of Two Dimensional Assembly Tasks using Robot Hands

김 병 호°,*, 오 상 록*, 이 병 주°, 서 일 홍°

Byoung-Ho Kim °,*, Sang-Rok Oh*, Byung-Ju Yi°, and Il Hong Suh°

° : 한양대학교 전자컴퓨터공학부, * : 한국과학기술연구원 지능제어연구센터

° : School of Electrical Eng. and Computer Science, Hanyang University

* : Intelligent System Control Research Center, KIST

(E-mail: kbh@incorl.hanyang.ac.kr)

Abstract: This paper provides a guideline for specifying the operational compliance characteristics considering the location of compliance center and the grasp points in assembly tasks using robot hands. To be specific, some of coupling stiffness elements cannot be planned arbitrary. Through T-type assembly task, we analyze the conditions of the achievable operational stiffness matrix with respect to the location of compliance center and the grasp points. It is concluded that the location of compliance center on the grasped object and the grasp points play important roles for successful assembly tasks and also the operational stiffness matrix should be carefully specified by considering those conditions.

Keywords: robot hand, compliance characteristics, location of compliance center, grasp points

1. 서론

로봇 손을 이용하여 물체를 잡고 조작하는 경우에는 실제로 손가락 구조에 힘 센서를 장착하기에 어려움이 따르고, 또한 힘 센서로부터 측정된 힘 신호에는 실질적으로 외란이 많이 포함되어 있기 때문에 매우 불안정하며, 로봇 매니퓰레이터에 비해 로봇 손가락의 운동 범위가 매우 작기 때문에 힘 신호를 이용하여 로봇 손가락의 정밀제어를 수행하는 것이 쉽지 않음을 경험하여 왔다[1]-[3]. 로봇 손을 이용하여 물체를 조작하는 경우에 특히, 준 정적인 상태에서 동작하는 경우, 힘 센서를 사용하여 측정한 힘 신호를 사용하는 방법 대신에 컴플라이언스(compliance) 제어 방법이 효과적으로 사용될 수 있다. 이와 관련하여 많은 연구자들이 파지 강성 또는 컴플라이언스 분야에 대하여 연구해 왔다[4]-[7]. Nguyen[4]은 로봇 손에 의해 파지된 물체의 컴플라이언스 제어를 위하여 2 차원 및 3 차원에서 손가락 끝에서의 강성을 가상의 스프링으로 모델링 하였다. Yokoi[5]등은 직접 컴플라이언스 제어 방법을 제안하고, 병렬 팔 메커니즘에 적용하였다. Cutkosky[6]등은 로봇 손가락의 컴플라이언스와 각 손가락의 서어보(servo) 이득, 그리고 파지 형태의 기하학적인 변화등에 의해 결정되는 다지 로봇 손의 컴플라이언스 모델에 관하여 해석하였다. 또한 Lee[7]등은 로봇 손에 파지된 물체의 작업 공간에서 대각선 성분만을 갖는 강성 행렬을 정의하고, 이를 제어하기 위한 방법에 대하여 연구하였다. 최근에 Kim[8]등은 로봇 손이 물체를 잡고 조작할 때, 파지한 물체의 컴플라이언스를 성공적으로 제어하기 위해 요구되는 손가락의 개수를 조사하고, 보다 효과적으로 컴플라이언스 특성을 구현하기 위한 로봇 손가락의 구조에 대하여 고려하였으며, 독립적인 손가락의 제어를 기반으로 한 컴플라이언스 제어 방법을 제안하였다.

일반적으로 로봇 손을 이용한 물체의 조립 작업에서 작업 공간의 적절한 컴플라이언스 특성 설정은 펙인홀(peg-in-hole) 작업, 펙아웃홀(peg-out-hole) 작업 및 다양한 조립 작업에 있어서 매우 중요하다[9]-[12]. 또한 작업의 특성에 따른 컴플라이언스 기준점 및 파지점의 위치에 따라 컴플라이언스 특성 설정이 다르다. 최근에 작업의 특성을 고려한 컴플라이언스 특성 설정에 관한 연구[13][16]-[18]가 진행되었으나, 컴플라이언스 기준점 및 파지점의 위치에 따라 컴플라이언스 특성 설정이 달라지는 현상에 대해서는 고려하지 않았다.

본 논문에서는 독립적인 손가락의 제어를 기반으로 한 컴플라이언스 제어 방법을 조립 작업에 적용할 때 작업 특성에 따른 컴플라이언스 기준점이나 파지점의 위치에 따라 컴플라이언스 특성 설정이 다르게 됨을 보이고, 적절한 컴플라이언스 특성 설정 방법을 제시하고자 한다.

2. 로봇 손의 강성 관계

로봇 손을 이용한 물체의 파지 및 조작에 있어서 강성(또는 컴플라이언스) 특성은 유용하게 이용될 수 있다. 본 장에서는 그림 1 과 같이 로봇 손을 이용한 일반적인 물체의 조작에 대하여 작업 공간과 손가락 끝 공간간의 강성 관계와 각 손가락 끝 공간과 관절 공간간의 강성 관계를 기술하고자 한다.

그림 1 은 2 차원 공간에서 3 개의 손가락($n_f = 3$)을 갖는 로봇 손이 딱딱한 물체(rigid body)를 조작하는 경우를 나타낸다. 여기서 각 손가락은 ${}^i n_j$ 개의 관절을 갖는다. 물체의 작업 공간(operational space)에서의 힘/토오크 벡터와 손가락 끝 공간에서 힘/토오크 벡터 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_o = [G_o^f]^T T_f \ , \qquad (1)$$

여기서 T_o 는 작업 공간에서 물체의 관성력과 외부의 힘을 포함한 $n \times 1$ 힘/토오크 벡터(n : 작업 공간의 자유도)이고, T_f 는 손가락의 끝 공간에서의 $m \times 1$ ($m = \sum_{i=1}^{n_f} {}^i n_{fp}$, ${}^i n_{fp}$: i 번째 손가락 끝 공간의 자유도) 힘/토오크 벡터를 나타낸다. 그리고