

임피던스 파라미터의 자기 조절 기능을 갖는 위치 기반 임피던스 제어기의 설계 및 적용

A Design and Implementation of Position Based Impedance Controller with Self-Adjusted Impedance Parameters

°황인호*, 박영철**

*서울산업대학교 제어계측공학과 대학원(Tel:02-970-6541; Fax:02-949-2654;E-mail; roboid@itouch017.com)

**서울산업대학교 제어계측공학과(Tel:02-970-6541; Fax:02-949-2654;E-mail; ycpark@plaza1.snut.ac.kr)

Abstract : Impedance control is recognised as one of the most proper control scheme to carry out the assembly tasks, since it can control the dynamic relationship between the manipulator and environment directly. However, it is well known that the contact force cannot be controlled directly using the impedance control. Also impedance parameters should be properly defined depending on the task to be performed. We propose a new position based impedance control, which has self-adjusted impedance parameters and can control the contact force explicitly. Impedance parameters, as time-varying parameters, are adjusted automatically based on the measured contact force and the position error during the task. A proposed algorithm was implemented on the peg-in-hole task with the industrial manipulator. We shows the effectiveness of proposed control method experimentally.

Keywords : position based impedance control, self-adjusted impedance parameter, peg-in-hole task

1. 서 론

복잡, 다양화된 로봇용 생산시스템에서의 로봇의 역할은 스스로가 접촉력의 감지를 통하여 주변과의 접촉을 인식하고 이를 적절하게 조절함으로써 보다 성공적인 작업이 수행될 수 있도록 하는 형태가 되어야 한다. 즉 로봇이 작업대상을 포함하는 주변환경과 접촉을 하거나 힘을 가한 상태를 유지하면서 움직일 경우에는, 공간적으로 구속되기 때문에 종래의 위치 제어방식만으로는 로봇을 제어하기가 곤란하다는 의미이다. 이러한 경우에 로봇 말단부(end effector)의 위치뿐만 아니라 말단부에 발생하는 힘을 동시에 제어해야 할 필요가 있는데 이러한 방식을 힘제어라 한다.

로봇의 힘제어는 그 특성상 힘을 직접 제어하는 방식의 하이브리드 힘제어와 주변환경과 로봇의 운동관계를 제어하는 임피던스 제어로 대별된다[1]. 하이브리드 힘제어는 위치와 힘의 제어방향을 선택행렬로 나누어 따로 제어하는 방식으로 힘 방향으로 원하는 힘을 제어할 수가 있지만 주변환경 및 작업대상과의 동적인 관계를 인식하지 못하는 단점이 있다. 반면에 임피던스 힘제어는 로봇의 말단부의 힘과 위치 그리고 속도 사이의 동적인 관계를 조절함으로써 로봇의 힘과 운동관계를 간접적으로 제어하는 방식이다.

조립작업과 같은 복잡한 작업의 경우에는 임피던스 알고리즘이 가장 적절하다고 인식되어 왔는데, 최근 들어 직접적인 힘제어가 곤란하였던 단점을 보완하여 원하는 힘을 직접 제어할 수 있는 새로운 알고리즘들이나[2][3], 성공적인 작업을 위해 임피던스 파라미터를 시변수(time invariant parameters)로 정하여 수행해왔던 방식과는 달리 작업 단계별로 불연속적인 값으로 변화를 주는 방식들이 연구되고 있다. 하지만 이러한 불연속적인 임피던스 파라미터의 변화는 시스템의 안정도와 작업성능을 저하시키는 결과를 초래하며 주변환경의 유연한 변화에 대처하지 못하는 단점이 있다.

본 연구에서는 임피던스 파라미터를 시변수(time varying parameters)로 하여, 매 작업 상황마다 최적의 파라미터가 자동 설정되며, 또한 접촉력이 직접 제어될 수 있도록 하는 새로운 임피던스 제어 알고리즘을 제안한다. 임피던스 파라미터는 작업 수행 도중 측정되는 외부 접촉 힘을 정보로 하여 비선형적 함수에 의하여 자동 조절된다. 제안되는 새로운 임피던스

알고리즘을 산업용 로봇을 이용한 peg-in-hole 형의 정밀 소형 부품 조립 작업에 적용하였으며, 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 효율성을 보였다.

2. 임피던스 힘 제어

2.1 위치기반 임피던스 힘제어

로봇이 외부요소와 접촉이 요구되는 작업을 진행할 때, 직교 좌표계에서 표현되는 로봇의 말단부와 작업대상간의 통합된 운동관계(combined dynamics)를 표현 한 것은 임피던스(impedance)라고 하며, 목표 임피던스(target impedance)는 요구되는 로봇과 제어기 그리고 작업대상을 포함하는 전체의 위치와 힘 그리고 운동관계를 표현하는 것으로, 식 (1)과 같은 형태로 표현될 수 있다.

$$M(\ddot{X}_d - \ddot{X}) + B(\dot{X}_d - \dot{X}) + K(X_d - X) = F \quad (1)$$

식 (1)에서 M, B, K는 각각 관성(inertia), 댐핑(damping), 스프링(spring) 효과를 가지는 양으로 정의되는 행렬이며, X는 현재 로봇의 위치, X_d 는 계획계획에 의해서 생성된 원하는 로봇의 위치를, 그리고 F는 로봇이 주변에 가하는 힘을 나타낸다. 만약 로봇이 직교좌표계에서 입력에 대하여 각 방향에서 서로 영향을 미치지 않는 분리된 응답(decoupled response)을 보인다고 가정하면 M, B, K는 대각행렬(diagonal matrix)로 표시되며 따라서 식 (1)은 각 방향에 대하여 스칼라(scalar) 방정식으로 표시 될 수 있다.

목표 임피던스를 결정짓는 부분은 로봇의 말단부에서 발생한 힘을 힘센서를 통해 계한 받았을 때, 제어기로 입력되어지는 위치 조절량(position adjustment) X_d 를 생성시키는 부분으로, 계획계획에 의해 결정된 원하는 위치를 적절하게 조절하는 부분으로 임피던스 필터(impedance filter)라고도 하며 다음과 같이 표현된다.