

불확실한 환경에서 두 팔 로봇을 이용한 능동적 조립 방법

Active Assembly Method Using a Two-Arm Robot System in Highly Uncertain Environment

정성엽*, 강경대**, 이두용***

* 한국과학기술원 기계공학과 (Tel : 82-42-869-3269; Fax : 82-42-869-5229; E-mail : csy@discrete.kaist.ac.kr)

** 한국과학기술원 기계공학과 (Tel : 82-42-869-3269; Fax : 82-42-869-5229; E-mail : kdkang@discrete.kaist.ac.kr)

*** 한국과학기술원 기계공학과 (Tel : 82-42-869-3229; Fax : 82-42-869-3210; E-mail : leedy@kaist.ac.kr)

Abstract : Assembly is usually performed by one robot and fixtures. This type of assembly system has low flexibility in terms of variety of parts and part-presentation that the system can handle. This paper addresses assembly without fixtures using two-manipulator robot. An active method using force feedback is proposed for the peg-in-hole assembly in highly uncertain environment. Assembly states are described by extended contact relations. Qualitative templates for events are easily derived from the token vector of the Petri net model. The states are recognized through identification of the events using two 6-d.o.f. force/moment sensors. The proposed method is verified and evaluated through experiments with round peg-in-hole assembly.

Keywords : robotics, assembly, discrete event system, Petri net, cooperative control

1. 서론

대개의 경우 조립 작업은 부품을 고정구로 작업대 위에 고정시키고 한 대의 로봇으로 다른 부품을 이동시켜 조립하는 형태를 취하고 있다. 이러한 조립 시스템은 다룰 수 있는 부품의 종류나 공급 방법 등에서 유연성이 떨어진다. 두 팔 로봇을 이용한 조립 시스템은 이러한 단점을 극복할 수 있지만, 모델링 및 제어가 어렵고 부품 오차, 센서 오차, 그리퍼에 의한 오차 등 많은 불확실성을 가지고 있는 문제점을 내포하고 있다.

일반적으로 픽인홀 형태의 조립 작업은 홀에 chamfer 를 두어서 RCC (Remote Compliance Center)와 같은 부가적인 장치를 사용하는 수동적인 방법이 많이 사용 된다.^[1] 그러나, 이 방법은 조립 간극에 비해서 시스템 오차가 큰 두 팔 로봇 시스템의 경우에 사용할 수 없으며, jamming 이나 wedging 같은 오류를 피할 수 없다.^[2] 게다가, 수평으로 조립 작업을 해야 하는 경우에도 적용할 수 없어 유연성이 떨어진다.^[2] 이에 비해서 능동적 방법은 센서를 통해 받아들인 힘과 모멘트 정보를 적극적으로 이용하여 이러한 문제들을 극복할 수 있다.^[3,4]

일반적인 능동적 방법은 전체 조립 과정을 세부 상태로 모델링하고 각 상태에 따라 적절한 제어 명령을 통하여 점진적인 상태 변화를 통해 조립 상태를 목적 상태에 도달하도록 한다. 따라서 조립 작업을 수행하는 동안 현재 상태를 알아내는 것이 매우 중요한데, 두 팔 로봇 시스템과 같이 불확실성이 큰 경우에는 상태를 식별하는 것이 쉽지 않다. 조립 상태를 알아내는 방법은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 첫번째 방법은 준정적인 힘을 이용하여 조립 상태를 직접적으로 알아내는 것이며^[1,7], 두 번째 방법은 상태의 변화를 나타내는 이벤트를 판별함으로써 현재의 상태를 간접적으로 알아내는 것이다.^[3,4] 첫번째 방법은 준정적인 운동, 매우 작은 마찰력, 무시할 만한 센서 외란을 가정하기 때문에 조립 공차에 비하여 오차가 매우 큰 시스템에 대해서는 적용할 수 없다. 이에 비해서 두 번째 방법

은 상태 변화 동안 힘의 변화를 측정하여 이벤트를 판별하는 것으로 오차가 큰 경우에도 적용할 수 있다. 이 방법은 또, 정성적인 힘의 변화를 이용하는 방법^[4]과 상태가 변하는 동안 발생하는 힘의 프로파일을 학습하여 이벤트를 판별하는 방법^[3]으로 나눌 수 있다. 학습을 이용하는 방법은 홀이 고정되어 있는 경우에는 힘의 프로파일이 비슷하여 적용할 수 있으나 그렇지 않은 경우는 사용하기 힘들다. 로봇이 그리퍼를 사용하여 홀을 잡고 있는 경우는 그리퍼 오차로 인하여 홀의 위치 및 홀 평면의 각도가 일정하지 않아서 학습에 의한 방법을 적용하기가 쉽지 않다.

작업 수준에서 조립 계획과 제어를 수행하기 위해서는 전체 조립 과정을 모델링 할 수 있는 도구가 필요하다. 페트리넷은 조립 작업과 같은 이산이벤트시스템의 모델링 및 제어에 사용되며 시스템 에러나 불확실성으로 인하여 상태가 불규칙적으로 변하는 조립 과정을 표현하기에 적합하다.^[4]

본 논문에서는 이전 연구에서 제시한 두 대의 로봇 팔을 이용한 조립 방법^[9]에 대해 페트리넷을 적용하여 조립 상태를 체계적으로 모델링 할 수 있는 방법을 제안하였고, 도달 가능 그래프를 이용하여 조립 순서를 계획할 수 있게 했다. 또한, 두 팔 로봇 시스템의 조립 상태 인식을 위해서 힘의 정성적 변화에 기초한 이벤트 판별 방법 및 페트리넷의 토큰 변화를 이용하여 이벤트의 정성적 모델을 쉽게 구할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 두 팔 로봇 시스템

불확실한 환경에서 픽인홀 조립 작업을 수행하기 위해서 본 연구에서는 그림 1 과 같이 두 대의 클라이언트와 한 대의 호스트로 구성된 두 팔 로봇 시스템을 구축하였다. 각 클라이언트는 호스트에서 전달되어 오는 명령을 해석하여 5 자유도를 가지는 매니플레이터를 제어하고, 로봇에 전달되는 외부 힘을 손목