

572  
25.

# A Study on the Automatic Command Generation for Tele-Robot Systems with Communication Delay

조 영 조  
KIST

## 요 약

우주 작업 또는 심해 작업 로봇을 지상에서 조작할 때와 같이 마스터와 슬레이브 간에 통신시간 지연이 수초 정도 되는 경우의 원격조작 로봇 시스템은 직접 feedback 에 의한 방식으로는 조치가 불가능하다. 본 논문에서는 이러한 경우에 대한 한 해결책으로 마스터 부에서 원격 시뮬레이션 환경을 통해 자동으로 슬레이브 로봇 조작 명령을 생성해내는 기존의 텔레프로그래밍 개념을 이용하되 Controlled Petri Net (CPN) 모델을 기초로 하여 명령어를 구성하는 이산 사건식 접근 방법을 제안한다. 또한, 이러한 이산 사건식 텔레프로그래밍 시스템의 개념을 더욱 일반화시키기 위하여, 복잡한 구속 환경하에서의 원격 작업을 간단한 작업 환경에서의 세부 작업의 집합으로 분류하고 이들을 통한 관리함으로써 전체적인 작업 목표를 달성하게 하는 작업 관리 구조를 제안한다. 아울러, 세부 작업 환경 하에서 간단한 기하학적 구조를 갖는 물체들 간에 조항될 수 있는 모든 접촉 상태를 자동적으로 추출하여 CPN 모델화 하는 자동 모델 생성의 기초적인 알고리즘과, 2차원 작업 공간에서 슬레이브 로봇이 세부 작업을 수행하기 위해 필요로 하는 기본적인 동작 명령어들의 형태를 제시한다.

## 1. 서 론

원격조작 로봇 시스템은 원자력 발전소나 우주에서의 극한 작업과 같이 인간이 활동하기 어려운 환경 하에서 로봇으로 하여금 인간의 능숙한 조작 작업을 모방하도록 한 시스템으로, 운전자에게 시각, 촉각 등을 통해 로봇의 작업 환경을 디스플레이하고 조작 입력을 받아들이는 마스터 부와 실제 작업 환경에서 로봇을 통해 원격조작 작업을 수행하는 슬레이브부로 크게 구분된다. 그런데, 지상에서 조작하고 우주에서 원격으로 작업하는 로봇 시스템에서와 같이 마스터부와 슬레이브부 사이에 불과야 수초 이상의 통신 시간 지연이 존재하는 경우, 동상적인 직접 feedback 에 의한 원격조작 방식으로는 원격 작업에서 심각한 성능 저하가 생기게 된다. 이에 대한 대응책으로 펜 실베니아 대학의 R.P. Paul 교수 연구 그룹에서는 최근 "텔레프로그래밍"이라고 하는 원격조작 로봇의 새로운 개념을 제창하였고[1], 그에 대한 후속 연구가 현재에도 활발히 진행되고 있다[2][3].

텔레프로그래밍 시스템에서는 마스터부에 원격 로봇의 작업 환경을 컴퓨터로 모사해놓고 조작자로 하여금 시각 및 촉각 디스플레이를 통해 모사된 가상 환경과 상호작용하며 모의 조작 작업을 수행할 수 있도록 한다. 가상 환경 하에서의 조작자의 작업은 원격조작 로봇의 순차적 명령으로 자동적으로 변환되어 슬레이브부로 전달되며, 이 일련의 명령들은 슬레이브부에서 통신 시간만큼 지연되어 수행된다. 여기서 만일 한 명령의 수행 시 오류가 발생하면 슬레이브부는 즉각 마스터부로 오류 상황의 feedback 을 걸게 되고, 마스터부의 모든 디스플레이는 오류를 유발한 명령의 수행 환경으로 되돌아가 조작자가 오류의 발생 원인을 분석, 수정하여 해당 명령으로부터의 작업을 재수행할 수 있게 한다.

텔레프로그래밍 방법은 시간 지연 문제에 대하여 좋은 해결책을 제시해 주지만, 근본적으로 환경 모델을 기초로 하기 때문에 실제 환경의 불확실성에 기인한 모델링 오차에 대해 강인한 특성을 갖고 있어야 실용화될 수 있다. 이 점에 주목하여 이전의 연구 보고에서는 이산사건식 특징을 갖는 원격 작업 환경을 우선 Controlled Petri Net (CPN)을 이용하여 모델링하고, 이 CPN 모델을 슬레이브 로봇에서 기하학적 모델링 오차의 극복을 위한 사전 지식 (a priori knowledge)으로 삼는 이른바 이산사건에 기초한 텔레프로그래밍 방법을 제안하여 그 타당성을 검증한 바 있다[4][5] (그림 1의 기능 블록도 참조). 이 방법에서 예시한 작업 환경은 2차원적인 평면 상에서 간단한 기하학적 구조를 갖는 두개의 물체 간의 접촉 상태로 나타내었으므로, 그 CPN 모델은 매우 간단한 파일 형태로 묘사될 수 있었다. 그러나, 일반적인 원격 로봇에 있어서 물체의 기하학적 형태는 아주 다양하므로, 물체간의 가능한 모든 접촉 상태를 CPN 으로 표시하는 것은 거의 불가능하다 할 수 있다.

이러한 이산사건식 모델링의 어려움을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 우선 주어진 복잡한 구속 환경하의 원격