

# 햅틱 기반 원격제어 구현 방법

최유락\*, 이재철\*, 김재희\*

\*한국원자력연구원

e-mail:yrchoi@kaeri.re.kr

## Method for Development of a Haptic based Tele-Operating System

You-Rak Choi\*, Jae-Cheol Lee\*, Jae-Hee Kim\*

\*Korea Atomic Energy Research Institute

### 요 약

햅틱 기반 로봇 원격제어를 위해서는 힘 반응을 인지할 수 있어야 한다. 원격조종에서는 데이터 통신과 처리에 소요되는 시간에 따른 지연이 발생하는데, 이 시간 지연은 로봇의 충돌과 제어기-로봇간의 힘 반영 부조화를 초래할 수 있다. 다수의 로봇이 협업을 하는 구조로 원격제어 시스템을 개발하기 위해서는 다수의 오퍼레이터와 다수의 로봇이 원활한 기능 분담을 수행할 수 있어야 하는데, 본 논문에서는 원격지 로봇들의 협업을 수행할 수 있는 햅틱 기반 원격제어 시스템 구축 방법에 대하여 기술한다.

### 1. 서론

현재의 원격조종 로봇은 주로 1대1 형태의 이동 위주이며, 인간의 개입 없이 원격에서 복잡한 작업을 수행하기에는 아직은 기술수준이 낮다. 로봇의 자유도가 부족으로 인해 복잡하고 정교한 작업 수행이 매우 어려우며 다양한 작업에 대한 유연한 대응이 불가능하다. 또한 로봇으로부터 전달받을 수 있는 정보가 제한되어 있어 원격지 로봇의 현재 작업 상태에 대한 오퍼레이터의 인지감이 떨어지기 때문에 숙련된 오퍼레이터만이 원격 작업을 원활히 수행할 수 있으며, 제어에 필요한 데이터들의 전송에 따른 시간지연에 의한 불안정성 및 혼동을 일으키는 요소가 존재하여 원격작업의 신뢰도가 높지 못한 상황이다.

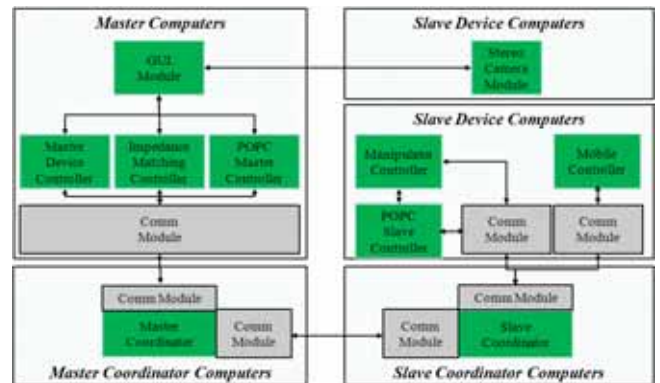
본 논문에서는 Drill-Ship 재난구조용 원격조종 로봇을 개발하면서 이러한 한계를 극복하기 위해 다수 조종자가 원격지에 있는 다수 로봇을 조종할 뿐만 아니라 협조·협업하면서 작업을 수행할 수 있는 햅틱 기반 N대N 원격제어 시스템 구현 방법에 대하여 기술한다.

### 2. N대N 원격조종 구조

본 논문에서 제안하고 있는 N-to-N 제어 방식은 다수의 마스터 제어기, 다수의 슬레이브 로봇, 그리고 마스터 제어기와 슬레이브 로봇 중간에 다중 로봇의 협업 제어를 원활하게 수행할 수 있도록 도와주기 위한 MC(Master Coordinator)와 SC(Slave Coordinator)가 제공된다.

마스터 컴퓨터는 슬레이브 로봇을 제어하기 위한 힘반영 햅틱 기반 조종 장치 운영을 담당한다. 마스터 코디네이터 컴퓨터는 마스터 제어기의 정보를 다자간 협업과 분업이 가능하도록 해주는 스위칭 역할과 슬레이브 로봇의

기계적 구조에 따라 달라지는 로봇의 움직임에 대한 적절한 모션 제어를 위한 마스터 모션 제어 명령 스케일링 작업, 그리고 시나리오 기반 작업 수행을 위한 알고리즘들을 제공한다. SC는 마스터 제어 방식(1-to-N, N-to-N)에 따른 분업과 협업에 대한 로봇의 자율 작업 알고리즘 제공 임무를 주로 수행하며, 슬레이브 로봇은 실제적인 원격 작업을 수행한다.



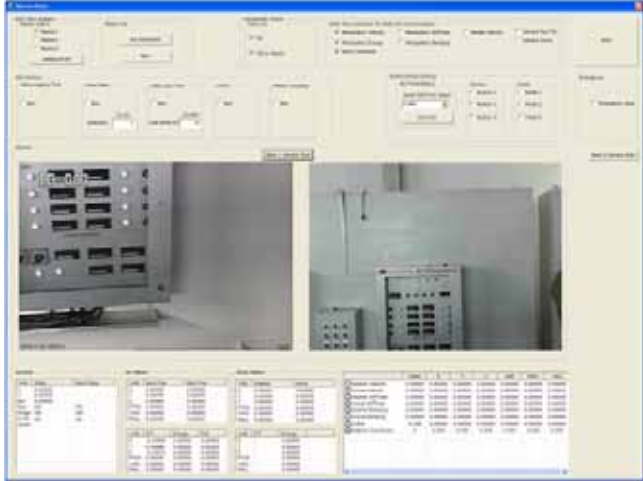
(그림 1) N대N 원격조종 시스템 다이어그램

본 모델에서 제어를 위한 데이터 전송은 OPRoS (Open Platform for Robot Services)에서 제공하는 RVAP(Remote Variable Access Protocol)를 사용하고 있다.

### 3. 세부 모듈 구현

마스터 제어기는 힘반영제어 기능을 갖추고 있는데, 슬레이브 로봇 매니플레이터의 힘반영 모듈과의 관계에서 시간지연에 따른 바이브레이션과 같은 불안정성을 완화하기 위하여 TDPA(Time Domain Passivity Control Approach)

알고리즘을 POPC Master Controller에 탑재하고 있으며, 이에 상응하는 슬레이브 로봇의 제어기에도 동일한 알고리즘을 적용해야 한다. 이 알고리즘은 마스터 제어기의 이동 위치 정보를 이용하여 데이터 전송 시간지연에 따른 힘 에너지의 증가량을 일정하게 가감해주는 방식으로 제어 시간지연에 따른 힘반영 발산현상을 낮추어준다[1,2].



(그림 2) 마스터 제어기 GUI

MC는 N대N을 포함한 1대1, N대1, 1대N 제어를 모두 수행할 수 있는 방안을 제공하는데, 이를 위해서는 마스터 장치가 제어하는 슬레이브 로봇 또는 슬레이브 로봇에 장착된 장치 선택을 자유롭게 스위칭 할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 마스터 장치에서는 항상 정해진 단위의 운동량을 슬레이브 로봇으로 전달하는데 슬레이브 로봇의 구조에 따라 로봇의 구동 스케일이 다를 수 있으므로 이에 대한 스케일링 기능도 제공해야만 한다.

SC는 멀티 로봇 자율동작과 원격조작 간 전환 알고리즘과 햅틱 및 사용자 변경에 따른 매개변수 Automatic Tuning 알고리즘, 그리고 협업을 위한 로봇간 협업 알고리즘을 제공한다[3].

슬레이브 로봇에는 매니플레이터, 카메라, 그리고 모바일 장비 등을 탑재한다. 힘반영제어 기반의 매니플레이터를 장착한 슬레이브 로봇에도 매니플레이터의 안정적인 동작을 위하여 시간지연에 따른 매니플레이터의 바이브레이션을 막아줄 수 있는 TDPA가 탑재되어 있다. 카메라의 경우 상황에 따라 여러 대의 카메라를 사용할 수 있도록 구성하는데, 이는 원격조종 시 여러 대의 카메라로 작업환경을 감속하면서 제어를 수행하는 것이 제어 효율성을 높여주기 때문이다.

#### 4. 구현 시스템의 고찰

오퍼레이터가 마스터 제어기를 이용하여 일정 구간 로봇 구동을 명령하였음에도 로봇은 제어 데이터 전송 시간지연에 따라 시간차를 두고 구동하기 때문에 오퍼레이터는 추가 구동 명령을 수행할 수 있어 자칫 로봇은 작업 대상에 충돌하거나 과도한 힘을 주는 경우가 발생하게 된

다. 이러한 문제는 TDPA 알고리즘을 적용하여 힘반영 발산을 적절하게 방지할 수 있었다. 네트워크를 통한 데이터 전송 시 발생하는 데이터 손실에 대해서는 50%의 이동 제어 명령 데이터 손실이 있어도 문제가 되지 않는 것을 확인하였다.

매니플레이터와 카메라가 탑재된 로봇 A와 B 두 대가 협업함에 있어 각각의 카메라 운용 방식을 적절히 조합하여 로봇 두 대의 이동과 매니플레이터의 움직임을 오퍼레이터가 쉽게 제어할 수 있었으며, 한 로봇의 축(x,y,z)을 각각의 오퍼레이터가 분리하여 제어하게 함으로써 카메라 영상을 보면서도 쉽게 미세 작업을 수행할 수 있었다.

햅틱 기능을 사용하지 않을 경우 모바일 장치의 이동 시 충돌 가능성과 매니플레이터의 대상물 터치감을 전혀 예측할 수 없어 로봇과 작업 대상물의 파손 상황이 수시로 발생하여 작업 수행에 지속적인 문제가 발생하였다. 영상정보 없이는 원격조종이 원천적으로 불가능 하였으며, 음향정보 전송이 없을 경우 오퍼레이터 간 의사소통이 불가능하여 협업 시 소요되는 시간이 평균 25% 이상 증가하는 현상을 보였다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 멀티 오퍼레이터와 멀티 로봇이 서로 협업하는 햅틱 기반의 원격 조종 시스템 구현 방법과 실험 결과를 기술하였다.

현재까지 연구개발 상황에서는 문 열고 통과하기와 스파이크 형태의 버튼 누르기 동작 같은 간단한 실험만을 수행한 상태이나, 향후 수행될 밸브 돌리기 협업과 같은 다소 난이도 있는 작업들에서는 실험 결과에 나타난 것과는 다르게 작업 시간 지연에 따른 문제 외의 문제점들이 발생할 수도 있을 것으로 예상된다.

멀티 오퍼레이터와 멀티 로봇이 서로 협업하는 햅틱 기반의 원격 조종 시스템 구현은 세계적으로도 연구개발이 진행되고 있는 상황인데, 시스템 구조와 적용되는 알고리즘에 따라 원격 작업의 효율성에 있어 상이한 결과를 초래할 가능성이 높다. 본 논문에서 제안한 구조와 알고리즘들은 현재까지는 만족할 만한 수준의 작업 효율성을 보여주고 있으며, 향후 복잡한 원격 작업들을 수행하기 위한 알고리즘들을 지속적으로 탑재하면서 극한환경 현장 적용이 가능한 시스템으로 지속 발전시킬 계획이다.

#### 참고문헌

- [1] 김혁, 유지환, “비 동기화된 촉각과 영상 시간지연이 원격조종로봇에 미치는 영향과 성능 향상을 위한 조언,” 제어로봇시스템학회지, 제18권, 제2호(2012), pp.156 - 160.
- [2] Kee-Hoon Kim, W.K. Chung, and Y. Youm, “On the Design Method of a Haptic Interface Controller with Virtual Coupling,” *Proc. the International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 71-74, 2001.

[3] Heon Park, Sang-Chul Lee, Su-Sung Lee, and Jang-Myung Lee, "A Robust Adaptive Impedance Control Algorithm for Haptic Interface," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 8, No. 5, pp. 393-400, 2002.