

프로파일 기반 원격제어 힘반영 설계

최유락*, 이재철*

*한국원자력연구원 융합기술개발부

e-mail:gensym@naver.com

Design of a Force-feedback based on Profile in Tele-operation

You-Rak Choi*, Jae-Cheol Lee*

*Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

힘반영 원격제어시스템의 시간지연 문제로 발생하는 마스터제어기와 슬레이브 로봇 매니플레이터의 발산 운동에 대한 완화를 위하여, 원격작업에 필요한 시나리오를 통해 작업환경들을 프로파일로 제공하여 힘반영에 도움을 받는 방법에 대하여 기술한다. 이 방법은 원전과 같이 제한된 시간 내에 작업을 종료해야하는 환경에서 유용하게 사용될 수 있다.

1. 서론

통신채널의 데이터 지연 발생은 힘반영 원격제어시스템에서 원격조종을 매우 어렵게 만드는 주된 요인이다. 원격지 슬레이브 로봇의 매니플레이터로 작업 대상 물체를 10cm 만큼 밀기 위해 원격조종자가 햅틱 장비를 이용하여 명령을 전달할 경우, 조종자는 햅틱장비로 한번에 10츠 이동을 명령하는 것이 아니라 수ms~ 수십ms 주기로 매니플레이터의 이동방향과 거리, 그리고 힘정보를 전달한다. 이때 통신지연이 발생하면 조종자는 매니플레이터가 운동한 거리를 확인하기 어려워 10cm이상 또는 그 이하에서 작업을 멈출 수 있다. 힘반영 데이터의 경우 매니플레이터가 느끼는 반작용 힘을 조종자가 느끼게 되고, 조종자는 그 반작용의 힘과 반대 방향으로 제어를 하려고 시도하는 현상이 발생하며, 이는 힘반영 데이터의 발산 현상으로 이어져 매니플레이터의 발산 운동을 초래한다[1].

시간지연에 따른 문제점을 해결하기 위하여 Impedance Representation, Hybrid Representation, Scattering Theory, Wave Variables 와 같은 수동성 이론을 사용하여 안정성을 보장할 수 있는 Impedance Representation, Hybrid Representation, Scattering Theory, Wave Variables과 원격 조작 제어 이론들이 등장하였다. 최근에는 TDPA(Time Domain Passivity Approach) 알고리즘이 많이 사용되고 있다[2][3]. 그러나 이 이론들을 실제 구현해보면 시간지연에 따른 문제가 여전히 해결되지 않음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 시간지연이 있는 힘반영 원격제어에서 발생하는 문제를 완화하기 위한 방법으로 힘반영이 미리 작성된 프로파일에 맞춰 조정되는 프로파일 기반 제어 방식에 대하여 기술한다.

2. 프로파일 기반 제어 방법

프로파일 기반 제어는 다음과 같은 시나리오로 힘반영 원격제어에 이용할 수 있다.

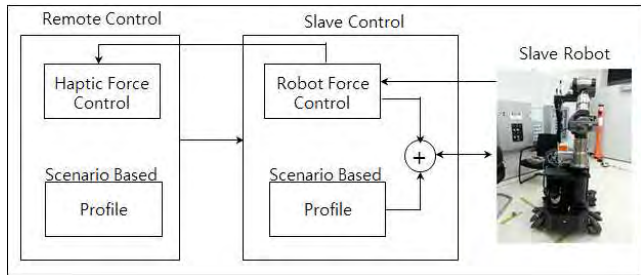
- 원격조종자는 미리 정해진 시나리오의 프로파일에 의해 매니플레이터에 가해지는 힘의 크기를 인지하고 있다.
- 햅틱 제어기에 전달되는 힘은 프로파일 정보에 의해 원격조종자가 감내하며 안정적으로 제어할 수 있는 수준의 몇 단계 레벨로만 변환되어 제공된다.
- 로봇은 매니플레이터에 전해지는 힘을 데이터화하고 이를 조종자에게 제공되는 레벨의 데이터로 변환하여 전송한다.
- 로봇은 각 작업 시 인지하는 힘의 최대값을 프로파일을 통해 인지하고 있다.

이 같은 시나리오를 반영하면 로봇이 각 작업마다 필요한 최대 접촉힘을 알고 있으며, 힘의 크기가 각 작업마다 상대적으로 크게 다르다하여도 이를 햅틱 제어기에 조종자가 감내할 수 있는 수준으로 변환하여 전송해주므로 조종자의 발발 제어 행동을 막을 수 있다. 따라서 원격조종자의 햅틱 제어기에는 항상 일정한 범위 내의 힘이 전달되며, 조종자가 무리한 제어를 시도해도 로봇의 최대힘 제한 방식 제어에 따라 오류가 발생하지 않는다.

이 방법을 적용하기 위해서는 시나리오 기반 작업 명세서를 작성하고, 각 작업마다 필요한 최대힘과 작업거리 등에 대한 정보를 기록한 프로파일을 생성해야한다. 이 방법은 사전에 작업을 시험적으로 수행하고 데이터화해야하는 번거로움이 있지만, 사전 모의 실험이 실제 작업에 반영되는 효과를 통해 최단시간 작업 가능성을 높여주고, 최적의 작업 환경을 만들어 주는 장점이 있다.

이 방법은 원전과 같이 방사능에 따른 작업 제한 시간

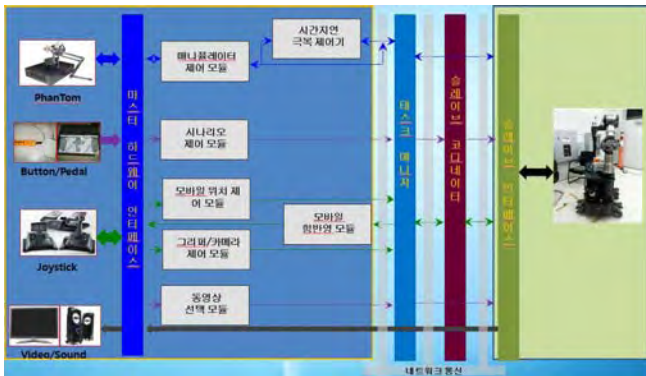
을 요구하는 구조물 내에서 해체와 같은 작업을 수행하는데 매우 적합하다.



(그림 1) 프로파일 기반 힘반영 제어 구조

3. 프로파일 기반 힘반영 제어 시스템 설계

프로파일 기반 원격제어 시스템은 마스터제어기, 태스크 매니저, 슬레이브 코디네이터, 그리고 슬레이브 로봇으로 구성된다.



(그림 2) 프로파일 기반 원격제어시스템 설계

마스터는 마스터스테이션, 매니플레이터 햅틱제어기, 시나리오 단계 진행을 위한 페달, 그리고 모바일 장치·그리퍼·카메라 구동을 위한 햅틱조이스틱으로 구성된다. 마스터스테이션에서는 원격작업에 대한 시나리오와 하부 프로파일을 문서로 작성하고 슬레이브측에 전송한다. 매니플레이터 Force-Feedback은 프로파일 정보 작성이 필요하지 않은 간단한 작업 수행 시 시간지연 극복제어기와 연동되고, 큰 힘이 요구되거나 협업과 같이 복잡한 작업을 수행할 때에는 시나리오와 프로파일을 이용한 프로세스에 연동된다.

파이프를 절단하는 시나리오는 다음과 같다.

- 원격조종자는 로봇을 절단 대상 파이프에 접근시킨다.
- 프로파일을 이용하여 절단 시 가해지는 최고힘과 파이프의 직경을 추출한다.
- 원격조종자는 시간지연 극복 알고리즘을 적용하여 로봇 매니플레이터가 절단기를 잡도록 하고, 그것을 절단 위치에 놓는다.
- 절단작업을 수행하면서 매니플레이터에 가해지는 힘을 프로파일에 작성된 원격조종자 힘반영 레벨에 맞춰 변경하고 마스터에 전달한다.
- 원격 조종자는 매니플레이터 제어기에서 감내할 수 있

는 힘의 범위 안에서 제어를 수행하여, 반발작용으로 인한 발산 운동을 회피한다.

일반적으로 원격조종자가 큰 힘을 반영 받지 않는 숙련된 작업을 수행할 때에는 시간지연에 크게 제한받지 않는다[4][5]. 그러나 작업이 복잡하고 큰 힘이 반영되는 경우 시나리오와 세부 프로파일을 참조하여 작업을 수행하는 원격제어 방법을 통해 시간지연 극복 알고리즘의 현실화에서 나타나는 문제점들을 완화할 수 있다.

프로파일 기반 원격제어 작업은 원격과 같이 방사능에 의해 로봇이 오래 머물지 못하는 환경에서의 작업에 있어 매우 적합한 모델로 볼 수 있다. 이러한 작업은 사전 모의 작업을 수행하며, 작업에 필요한 절차와 정보들이 모두 도출되기 때문이다.

4. 결론

원격제어 시스템에서 발생하는 시간지연 문제는 원활한 원격제어 수행을 방해하는 가장 큰 원인 중 하나이다. 이를 해결하기 위하여 시간지연 극복 알고리즘들이 개발되어 적용되고 있으나, 이러한 알고리즘들을 실제 구현을 하여 적용해보면 문제점을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 완화하기 위하여 힘, 위치, 작업 대상 정보와 같은 원격작업에 필요한 정보를 작업 시나리오의 세부 파일인 프로파일로 미리 작성하고, 이를 이용하여 원격작업을 수행하는 방안을 제시하였다.

참고문헌

- [1] K. Hashtrudi-Zaad and S.E. Salcudean, "Analysis of Control Architectures for Teleoperation Systems with Impedance/Admittance Master and Slave Manipulators," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 20, No. 6, pp. 419-445, 2001.
- [2] H. Kim and J.H. Ryu, "The Effect of Asynchronous Haptic and Video Feedback on teleoperation and a Comment for Improving the Performance," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 18, No. 2, pp. 156-160, 2012.
- [3] N. Diolaiti and C. Melchiorri, "Teleoperation of a Mobile Robot Through Haptic Feedback," *IEEE International Workshop HAVE Haptic Virtual Environments and Their Applications*, pp. 67-72, 2002.
- [4] L.E. Parker, "Multiple Mobile Robot Systems," *Springer Handbook of Robotics*, pp. 921-941, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [5] 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.