

로봇 원격제어 통신 방안

최유락[○], 이재철^{*}, 김재희^{*}

[○]한국원자력연구원

^{*}한국원자력연구원

e-mail:yrchoi@kaeri.re.kr[○], {jclee2, yschoi1, jaehkim}@kaeri.re.kr^{*}

A Strategy for Robot Tele-operating Communication

You-Rak Choi[○], Jae-Cheol Lee^{*}, Jae-Hee Kim^{*}

[○]Korea Atomic Energy Research Institute

^{*}Korea Atomic Energy Research Institute

● Abstract ●

본 논문에서는 원자력발전소와 같은 극한환경에서 사용할 수 있는 로봇 원격제어를 위한 데이터 송수신용 통신 모듈 구현의 제약 조건을 기술하고 이를 해결할 수 있는 방안을 제시한다. 원격제어는 오퍼레이터가 원격지 로봇의 다양한 환경 정보를 인식하면서 로봇 제어 명령을 전송하는 특성을 갖는다. 오퍼레이터와 원격지 로봇 사이에 지속적인 데이터 통신에 의해 제어를 수행하므로, 통신 속도와 통신 프로토콜에 따른 현재의 통신 상태 보장 방안도 필요하다. 네트워크 기반 통신에서는 물리적 환경에 의한 영향을 포함하여 TCP/IP 프로토콜의 경우 핸드셰이크와 혼잡회피 알고리즘 등에 의한 논리적 통신 속도의 저하가 발생하므로, 로봇 원격제어 시 이 문제를 충분히 검토해야한다. 로봇 원격제어를 위해서는 TCP/IP는 물론 UDP와 같은 통신 프로토콜과 시리얼 통신 기반의 다양한 프로토콜을 적용할 수 있는데, 송수신 데이터의 종류에 따라 적절한 프로토콜을 적용해야하며 통신 라인의 연결 상태도 확인할 수 있어야 한다.

키워드: 원격제어(tele-operating), 통신(communication), 주기(cycle)

1. 서론

로봇 원격제어에 있어 가장 어려운 난관은 오퍼레이터가 원격지 로봇을 자유롭게 제어하는 것이 매우 어렵다는 것이다. 현재 로봇 기술 수준에서는 로봇을 오퍼레이터 바로 옆에 두고 직접 제어하는 작업조차도 수월하지 못한 상태이며, 원격지 제어의 경우 제어를 위한 데이터 송수신의 시간지연으로 제어작업이 더욱 어려워진다.

원격 제어의 경우 오퍼레이터는 원격지 로봇의 작업 환경과 상태에 대한 정보를 주로 시각정보에 의존하여 전달 받게 되는데, 네트워크 지연에 따른 이 정보들의 송수신 지연 현상은 즉각적인 작업조치를 취하지 못하게 하는 직접적인 원인이 된다. 이 문제는 사실상 오퍼레이터의 숙련도에 따라 그 경감 정도가 확연하게 차이가 발생할 뿐이다. 이 문제의 근본적인 해결 방법은 원격이라는 개념을 통신 속도 저하가 발생하지 않는 네트워크 환경 즉, 최소한의 라우팅이 요구되거나 인공위성을 이용한 통신을 회피하는 등의 물리적으로 최단거리 내의 네트워크로 한정하면서 로봇의 자율 오퍼레이션 기능을 함께 제공하는 것이다. 이와 함께 로봇 동작 제어를 위한 명령이 매우 짧은 구동

단위로 제공하는 것도 로봇제어의 위험성을 감소시킬 수 있다. 이는 로봇을 구성하는 모바일 장치와 매니플레이터의 구동거리를 한 번의 명령으로 정의하지 않고 이를 수많은 구간으로 나누어 처리함으로써 구현할 수 있다. 로봇을 10Cm/s로 이동하기 위해서 초당 10Cm를 이동하라는 하나의 명령을 로봇에 전달 할 수도 있지만, 이를 10ms 마다 1mm씩 이동하라는 명령을 1초에 100번 전달할 수도 있다. 결과는 동일할 것이나, 로봇 이동 중 오퍼레이터에 의한 정지 명령을 수행하는 데에는 후자의 방법이 유용하다. 이는 Phantom과 같은 마스터제어장치를 통하여 구현할 수 있는데, 이 제어장치는 일정한 구동 속도를 제공하지는 못하나 로봇의 구동 거리를 짧게 나누어 분할 제어할 수 있어 비교적 자유로운 로봇 제어가 가능하다.

이러한 구조를 갖추기 위해서는 원격제어를 위한 통신 방법 선택과 구현 전략이 중요하다.

II. 원격제어 환경

1. 원격 제어 환경

원격제어시스템은 기본적으로 원격지 슬레이브 로봇과 오퍼레이터용 마스터 제어스테이션으로 구성된다. 다양한 n대 로봇들을 이용한 협업의 경우 협업 분배를 담당하는 스케줄러와 같은 중간 단계의 제어기도 위치할 수 있으며, 이때에는 m대의 마스터 제어스테이션을 구성해야한다.

마스터 제어스테이션은 Phantom과 같은 마스터제어장치와 이를 위한 컴퓨터 장비로 구성된다. 여기에는 제어를 위한 조이스틱 등과 같은 부가 장치들을 장착할 수 있다.

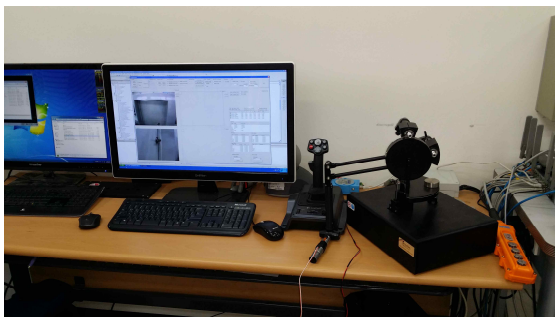


Fig. 1. Master Control Station

그림 1의 마스터 제어 장치의 경우 슬레이브 로봇의 매니플레이터와 모바일 장치 구동제어를 위해 각각 Phantom과 조이스틱을 장착하였다.

2. 원격 통신 환경

원격 통신의 경우 가장 대표적인 TCP/IP와 UDP만 적용하는데, 통신 데이터는 크게 주명령 데이터와 보조 데이터로 구분된다. 주명령 데이터는 로봇의 기능 제어를 위한 데이터로 반드시 로봇이 이 데이터를 수신 받았음을 확인해야만 한다. 보조 데이터는 로봇의 구동 거리와 로봇에서 제공되는 영상데이터 등을 의미하며 이 데이터는 송수신 확인을 할 필요는 없다. 따라서 주명령 데이터는 TCP/IP와 UDP를 동시에 적용하고, 보조 데이터에는 UDP를 적용한다. 보조 데이터의 경우 그 순서가 약간씩 바뀌거나 데이터 손실이 발생해도 원격제어에 영향을 주지 않는다. 로봇 이동 데이터의 경우 초당 수십~수백개의 데이터를 송수신하며 처리함에 있어 그 짧은 시간에 로봇이 심각하게 위험한 동작을 할 수 있는 여유가 없기 때문이며, 영상 데이터의 경우 일부 프레임이 손실되거나 뒤바뀌어도 시각적 판단에는 심각한 영향을 주지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 시스템의 안정성 제고를 위해 정상적인 데이터 송수신이 수행됨을 입증해야만 한다.

III. 원격제어 통신 방안

1. 통신 환경 설정

원격제어 환경 구축 시 네트워크 구성은 원격제어 주기를 이용하여 전송되는 데이터를 충분히 수용할 수 있으면서도 오퍼레이터가 감내할 수 있는 수준의 시간지연이 발생하는 수준이어야만 한다. 데이터 전송 지연이 심하여 현재 오퍼레이터의 작업 명령과 원격지 로봇의 작업 상황에 많은 차이가 발생하면 제어 자체가 불가능하기 때문이다. 특히 인공위성을 통한 통신 방법은 현재의 기술 상황에서는 적용이 불가능하다.

데이터 전송지연이 발생하여도 손실이 발생하지 않는 이상 데이터는 모두 목적지에 도착하게 된다. 따라서 원격제어 통신 구현 시 통신 주기는 최대한 짧게 구현하는 것이 바람직하나, 이 주기는 원격제어 응용 어플리케이션들의 세부 모듈별 수행 속도 이상으로 정의되어야 한다. 또한 슬레이브 로봇의 기민성을 참작하여 결정되어야한다. 구동이 느리고 정밀함이 요구되지 않는 로봇에 통신 부하만 걸리는 상황을 구현하는 것은 바람직하지 않다.

2. 통신 방법

마스터스테이션과 슬레이브 로봇 간의 통신은 모든 데이터에 대해 시간 내에 순차적으로 송수신됨을 입증해야한다. 네트워크의 물리적 환경에 의해 데이터가 손실되는 것을 막을 수는 없지만, 수신된 데이터를 확인하지 못하는 것은 시스템의 안정성에 치명적인 영향을 줄 수 있으며, 시스템 오류 확인도 불가능해지기 때문이다.

주명령 데이터는 TCP/IP와 UDP를 동시에 적용하는 데, 이는 반드시 확인되어야하는 데이터에 대한 이중 인증 방법을 제공하는 관점에서 바람직하다. 그러나 이 방법을 사용함에 있어 주명령 데이터는 주기별로 항상 송수신되어야한다. 이 데이터에는 인텍스를 제공하여 새로운 데이터를 차기 주기에서 정확히 수신하였는지를 확인해야하며, 무동작 명령에 대한 데이터도 보낼 수 있어야만 한다. 주명령어에 포함된 인텍스가 일정 주기 동안 증가하지 않을 경우 이는 논리적 또는 물리적으로 통신이 중단되었음을 확인할 수 있는 가장 안전한 방법이다. 통신이 정상적으로 종료되지 않고 케이블 분리과 같이 물리적으로 연결이 끊겼을 때 TCP/IP와 UDP에서는 이를 감지할 방법이 없기 때문이다. TCP/IP의 핸드셰이크 방식에 의한 통신 지연 현상 시간이 로봇에 전달된 이전 명령을 계속 수행하게 될 경우 사고를 초래할 수 있으며, 이를 방지하기 위해 TCP/IP와 UDP의 동시 적용과 인텍스를 포함하는 무동작 주명령어를 주기에 따라 지속적으로 전달하는 것이다.

로봇의 전진과 후진 또는 매니플레이터나 엔드이펙트의 구동과 같은 명령을 버튼 방식의 일회성 명령으로 구현할 경우 이를 중간에 중지하는 명령을 전송하는 것은 문제가 있다. GUI에 버튼을 구현할 경우 오퍼레이터는 원격지 영상 정보 취득과 GUI 제어를 동시에 수행하기 매우 곤란하며, 이를 HW 버튼으로 구현할 경우에도 중지 명령이 수신측에 정확히 전달되었는지를 보증할 수 없다. 따라서 Phantom이나 조이스틱과 같은 제어용 HW를 이용하여 주기에 따라 데이터를 전송하고, 수신측도 주기에 따라 데이터를 확인함으로써 제어를 용이하게 할 수 있다[1].

3. 통신 주기

통신주기는 HW 타이머나 SW 타이머를 사용하여 구현할 수 있다. HW 타이머와는 달리 SW 타이머의 경우 지터가 발생하는데, 이를 최소화 할 수 있는 방법으로는 멀티미디어 타이머를 사용하는 것도 하나의 방법이다.

SW 타이머의 경우 타이머의 지터를 커버할 수 있는 수준 이상으로 주기를 설정해야하는데, 멀티미디어 타이머의 경우 구현에 따라 2ms 까지 정확한 주기를 제공할 수 있다.

원전 극한 환경 로봇에서 실험적으로 볼 때 2ms 주기로 제어할 때 초당 500개의 명령어 송수신이 가능한데, 이러한 구조에 있어 보조명령어의 경우 70% 이상의 데이터가 손실되어도 제어에는 별다른 영향을 주지 않는다[1].

통신주기는 대부분 슬레이브 로봇의 민감도에 따라 결정되므로 로봇의 구동 성격에 따라 결정하는 것이 바람직하며, 햅틱과 같은 기능을 사용하기 위해서는 힘반영 알고리즘에서 요구하는 수준의 주기를 제공해야 그 성능을 발휘할 수 있다.

원전 극한 환경 로봇에서 실험적으로 볼 때 영상데이터의 경우 초당 10프레임 수준과 영상전송 지연 2초 정도까지는 오퍼레이터의 원격 제어 효율을 보장할 수 있었는데, 이는 로봇의 작업 종류와 환경에 따라 실험적으로 결정될 수 있는 변수로 판단된다[1].

IV. 결론

원격제어시스템의 통신은 데이터의 무결성, 데이터 손실 감내성, 데이터 전송시간지연 감내성 등을 요구한다.

송수신측은 정확한 통신 주기로 데이터를 송수신함을 보증함과 동시에 데이터 손실이 발생하거나 통신 연결 상태 불량에 따른 오류 처리를 수행할 수 있어야한다. 오퍼레이터의 경우 데이터 전송시간 지연에 따른 원격조작의 어려움을 극복할 수 있는 훈련이 필요하며, 로봇의 경우 충돌과 같은 사고에 대한 자체적인 보호 기능을 갖추는 것이 바람직하다. 이는 원격제어시스템을 구현함에 있어 통신의 안정성과 시간지연의 최소화, 그리고 통신 단절 시 이를 극복할 수 있는 기능들을 탑재해야함을 의미한다.

원격지 로봇의 작업 제어를 원활하게 수행하기 위해서는 영상뿐만 아니라 다양한 정보를 오퍼레이터에게 효율적으로 전달해줄 수 있는 기술들이 필요하며, 이러한 로드는 통신 문제에 반영되므로 효율적인 데이터 송수신 방법도 필요할 것이다.

References

- [1] Y.R. Choi, J.C. Lee, J.H. Kim, S. H. Kim, O. S. Kwon, "WDevelopemnt of Multi Haptic Control Environments for Tele-operating Robot System," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 16, No. 6, pp. 101-111, June. 2013.