

## 인터넷을 이용한 로봇의 원격제어

유래성, 장문제, 최성섭, 홍석교  
아주대학교 전자공학부

### Teleoperation of Robots through the Internet

Lae-Sung Yu, Mun-Che Chang, Hyun-Suk Cho, Suk-Kyo Hong  
School of Electronics Engineering, Ajou University

**Abstract** - This paper describes on a teleoperation system with a simulator on operator's computer. When we control robots over the internet, communication propagation delays exist. These delays are potentially destabilizing the entire system, and degrade the operator's intuition and performance. so we designed teleoperation system with simulator. Instead of feedback image data of work space, remote operator can command by seeing simulator in the his computer. Consequently total working time can be decreased. In this paper, we show a propriety of the teleoperation system with a simulator by comparing with one without a simulator.

원격지에서 인터넷을 통해 조작자의 명령에 따라 작업을 하는 원격제어 시스템은 서버, 로봇, 조작자로 이루어져 있는데 조작자는 인터넷을 통해 서버에 명령을 내린다. 서버를 통해 전달된 명령에 의해 로봇은 작업을 하고 그 작업결과는 카메라를 통해 다시 인터넷을 통해 조작자에게 전해진다. 조작자는 인터넷으로 받은 영상정보를 이용하여 다음 명령을 내리게 되는데 인터넷으로 인한 지연시간의 발생으로 전체 작업시간이 길어질 수 있다. 이러한 단점을 막기 위해 본 논문에서는 simulator를 조작자의 컴퓨터에 설치하는 방법을 제안한다.

본론에서 원격제어시스템의 구조와 작동원리에 대해 알아보고 지연 시간발생으로 인한 문제점을 알아본다. 그리고 시뮬레이터가 없는 원격제어 시스템의 작업시간과 시뮬레이터가 있는 원격제어 시스템의 작업시간을 비교한다.

## 1. 서 론

1990년대에 인터넷이 폭발적으로 보급되면서 각 가정이나 기업체에서는 인터넷의 사용이 당연한 것으로 받아들여지게 되었다. 인터넷 인구가 증가하면서 여러 분야에서 인터넷을 이용하는 사례가 늘고 있다. 특히 홈오트메이션과 공장자동화등의 분야에서 다양한 기기들과의 접목이 빈번히 이루어지고 있다. 21세기에는 대부분의 가전제품이나 공장기들이 인터넷을 통하여 네트워크에 접속하는 일이 당연한 것으로 받아들여질 것이다.

한편 로봇시스템은 공장 자동화나 우주탐사 등에 주로 사용되고 있다. 가정의료, 가정자동화, 원격진료, 빌딩자동화 시스템 등에 사용하려는 시도가 이루어지고 있다. 현재의 개발 추세라면 이런 시스템들이 곧 생활 속에 편화 될 전망이다.

이러한 인터넷기술과 로봇기술을 이용한 원격 제어 시스템은 시간과 장소의 제약에서 해방되어 인터넷을 통하여 각종 시스템의 작동 상태를 그래픽 인터페이스를 통해 쉽게 확인하고 필요시 원격 조작하며 현장에 설치된 매체를 이용해 직접 눈과 귀로 확인할 수 있게 해주는 시스템이다.

전 세계적으로 인터넷을 이용한 원격제어시스템이 개발되고 있다. 그들 모두 인터넷을 이용하고 있지만, 각각의 시스템의 기술적인 부분은 다양하다.

Brady는 로봇상태 추정치를 이용하여 다이내믹 시뮬레이션 모델을 이용하였다[1]. Li는 PUMA560로봇에 Tgrid라는 시뮬레이터를 사용하였다[2]. 그리고 Alves는 RF modem을 이용하여 Mobile Robot을 키패드로 원격 제어하였다[3].

로봇의 원격제어시스템을 모델링 하고 로봇의 작업을 시뮬레이션하는 기술은 MontpellierII대학의 Leleve가 연구하였다[4].

원격진료나 원격외과수술등의 분야에서 사용될 수 있는 원격 제어시스템에서 중요한 것은 조작자의 명령에 따라 안정적이고 신속하게 정확한 작업을 수행하는 것이라 할 수 있다.

## 2. 원격제어시스템

원격제어시스템은 다음과 같이 구성된다.

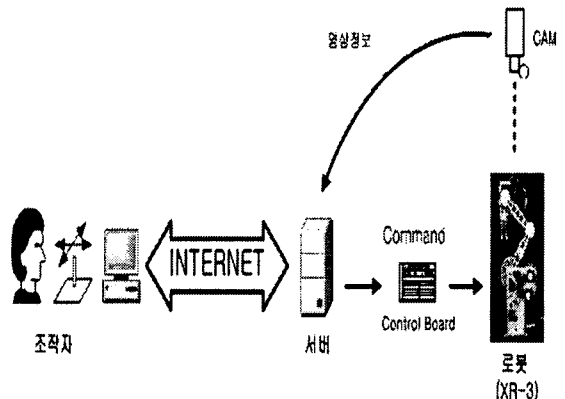


그림 1. 원격제어시스템의 구성도

원격제어시스템은 그림 1과 같이 크게 서버, control board, 조작자, 로봇으로 이루어져 있다.

### 2.1 서버

서버는 오퍼레이터의 명령을 인터넷을 통해 전달 받아 control board에 전해주는 역할을 한다. 오퍼레이터가 인터넷을 통해 접속을 요구하여 접속이 완료되면 서버는 조작자가 명령을 내릴 수 있도록 입력폼을 조작자에게 제공한다. 보통 입력폼은 CGI(Common gateway interface)를 동반한 HTML(hypertext markup language)이 쓰인다. 이 입력폼을 통해 조작자로부터 얻은 동작명

령을 control board에게 전해준다. 이 동작명령에는 작업 정보를 담고 있다. 또 로봇 작업 환경에 부착된 camera를 통해 얻은 로봇의 작업 모습의 영상정보를 인터넷을 통해 다시 조작자에게 전해주는 역할도 한다.

### 2.1 Control board

control board는 서버로부터 얻은 좌표정보를 역기구학(inverse kinematics)을 통해 로봇의 각 축에 연결된 DC servo 모터에 적당한 입력값을 전달한다.

### 2.2 로봇

로봇은 control board를 통해 각 축의 모터가 구동됨으로서 operator가 명령내린 작업을 실제로 수행한다. 이 작업 결과는 작업환경에 부착된 camera를 통해 영상정보 형태로 서버를 거쳐 조작자에게 전해진다.

### 2.3 조작자

조작자는 서버로부터 얻은 로봇영상을 보고 조이스틱을 이용해 로봇에 작업명령을 내린다. 이 작업 명령은 인터넷을 통해 서버에 전해진다.

### 2.4 원격제어시스템의 동작

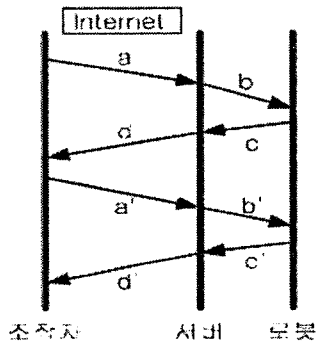


그림 2. 원격제어시스템의 데이터 흐름도

원격제어시스템의 시간에 따른 데이터 흐름을 그림 2에 표현하였다. 그림에서 a는 조작자가 조이스틱을 통해 내린 명령이 인터넷을 통해 전달되는 데이터이다. b는 서버에서 control board를 거쳐 로봇에게 역기구학을 거쳐 좌표정보가 변한 각 축의 모터로 전해지는 입력값이다. c와 d는 로봇의 작업에 대한 영상 데이터이다. 조작자는 d의 영상정보를 보고 조이스틱을 이용해 다음 명령 a'를 입력하게 된다. b',c',d'도 같은 원리로 데이터가 전달된다.

### 2.5 지연시간

위 원격제어시스템의 통신매체는 이더넷(Ethernet)이기 때문에 특성상 지연시간이 발생한다. 이더넷은 제록스(Xerox)사의 Metcalfe와 Boggs에 의해 제안돼 제록스사와 DEC사, 인텔(Intel)사가 공동으로 개발한 LAN의 option(사양)으로 그 규격과 방식은 IEEE 802.3 규격을 준거한 것이다. Ethernet의 network형태는 loop형이 아닌 bus형으로 access방식으로는 CSMA/CD(carrier sense multiple access/collision detection)방식을 채용하고 있으며, 전송 매체는 coaxial cable을 사용하고, transmission speed는 10MB혹은 100MB의 속도를 가진다.

그림 3은 지연시간을 측정 한 분포도이다. 단일 네트워크상의 평균 지연시간은 1.04ms, 건물과 건물사이(공학관과 도서관사이)의 평균 지연시간은 8.93ms, 도시와 도시사이(수원 아주대와 서울의 한국 야후본사)의 평균 지연시간은 13.8ms였다. 이 지연시간은 요일과 시간에 따라 다소 차이가 나지만 대체로 위와 같은 크기를 지니고 있다.

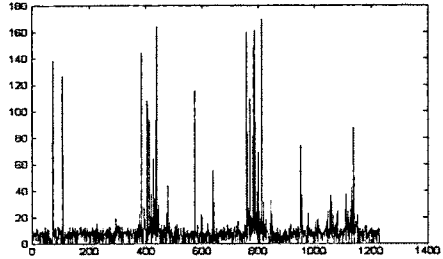


그림 3. 지연시간 측정 그래프 (본교 도서관과 공학관사이)

이러한 지연시간은 그림 2의 a와 d, a', d'에 영향을 미쳐서 로봇의 전체 작업시간을 지체시키는 원인이 된다. 지연시간을 줄이는 방법은 빠른 네트워크 기기의 설치가 중요하겠지만 그런 하드웨어적 방법은 시간과 공간의 제약이 있다. 시뮬레이터를 이용하는 것은 소프트웨어적 방법이다.

### 3. 시뮬레이터가 있는 원격제어시스템

지연시간이 영향을 덜 받고 좀더 빠른 로봇의 작업시간을 확보하기 위해서 조작자의 컴퓨터에 시뮬레이터를 설치한다.

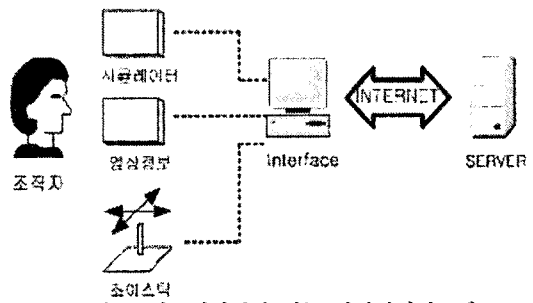
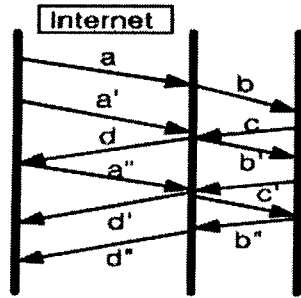


그림 4. 시뮬레이터가 있는 원격제어시스템

시뮬레이터는 원격지에 있는 로봇의 작업환경을 반영하고 있고 그 환경 내에서 조작자가 내린 명령에 의한 로봇의 작업결과를 계산해서 모니터를 통해 보여준다. 그러므로 조작자는 현재 로봇이 어떠한 동작을 하고 있는지 알 수 있게 된다.

조작자는 조이스틱으로 내린 명령에 대한 결과를 인터넷을 통해 영상정보를 도착하기까지 기다리지 않고 시뮬레이터를 통해 로봇의 작업 내용을 바로 인식함으로써 다음 명령을 내릴 수 있게 된다. 이로써 제한된 시간 안에 더욱 많은 작업을 할 수 있다.



조작자 서버 로봇

그림 5. 시뮬레이터가 있는 원격제어시스템의 데이터 흐름도

시뮬레이터를 통해 조작자는 다음 명령을 바로 내릴 수 있으므로 그림 5에서 보는 것처럼 처음 명령 a에 대한 영상정보 d가 도착하기 전에 다음 명령 a'를 내릴 수 있다. 같은 시간 안에 a'에 대한 명령과 그 작업결과까지 확인 할 수 있다. 이로서 전체 작업시간은 현저히 줄어들게 된다.

### 3.1 전체작업시간

전체작업시간은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$T_{total} = \sum_{k=1}^n (T_D + T_O) \quad (1)$$

$T_D$  : 인터넷의 지연시간,  $T_O$  : 로봇의 작동시간,  
 $k$  : 패킷수

식(1)에서 컴퓨터연산으로 인한 지연시간은 무시했다. 이 식을 이용한 시뮬레이터가 있는 원격제어시스템과 시뮬레이터가 없는 원격제어시스템의 전체작업시간의 비교를 해보았다.

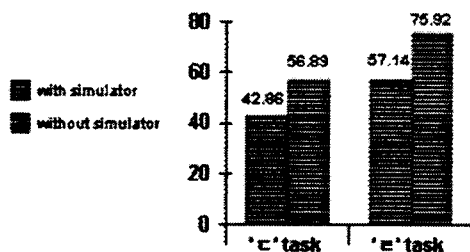


그림 6. 작업시간

시뮬레이터를 사용했을 경우 작업시간이 현저히 줄어들었음을 알 수 있다. 작업의 양과 복잡성이 커질수록 두 시스템의 차이는 커진다. 시뮬레이터가 있는 시스템은 같은 시간 안에 좀더 많은 작업을 처리할 수 있다.

### 4. 결 론

인터넷을 이용한 원격제어시스템은 조작자에게 시간과 공간의 제약을 극복할 수 있는 방안이다. 이 원격제어시스템이 통신 선로를 이용할 때 불가피하게 지연시간이 발생해서 작업의 속도와 전체 시스템의 안정성을 떨어뜨리고 있다. 작업속도와 안정성을 높여려는 연구가 계속 되어 왔고, 각 통신 선로에 적합한 특정한 방법들이 대

두되고 있다. 본 논문에서는 인터넷을 이용한 원격제어시스템에서의 작업속도를 향상시키는 방법에 대해 고찰해 보았다. 이를 위하여 원격지에서 조작자의 컴퓨터에 시뮬레이터를 설치함으로써 그 타당성을 보였다. 통신선로의 발달과 시뮬레이터의 모델링이 정확하다면 이 시뮬레이터를 이용한 방법은 원격제어시스템을 구성하려는 사람들에게 좋은 솔루션이 될 것이다. 또 앞으로 좀더 정확한 시뮬레이션을 위해 로봇의 정확한 모델링과 컴퓨터의 연산시간으로 인한 지연시간을 염두하는 것이 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Kevin Brady, Tzyh-Jong Tarn, "Internet-Based Teleoperation", Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2001
- [2] Sicong Li\*, T.J.Tarn\* and Ning Xi\*\*, "Intelligent Teleoperation of Robotic Assembly Systems", IEEE, 1999
- [3] Rafael L. Alves, Raquel F. Vassallo, Eduardo O. Freire and Teodiano F. Bastos-Filho, "Teleoperation of a Mobile Robot through the Internet", Proc. 43 IEEE Midwest Symp. on Circuits and Systems, 2000
- [4] A.Leleve, P. Fraise, P.Dauchez, F.Pierrot, "Modeling and Simulation of Robotic Tasks Teleoperated through the Internet", Proceedings of the 1999 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, September 19'23, 1999
- [5] Yan Liu, Cheng Chen, Max Meng\*, "A Study on the Teleoperation of Robot Systems via WWW", IEEE, 2000