

PHANToM Device 를 이용한 다관절 로봇의 원격제어 시스템 설계

김현상*(울산대학교 대학원), 김미경(NARC), 강희준, 서영수(울산대학교)

Design of Remote Manipulator Control System using PHANToM Device

Hyun-Sang Kim*, Mi-Kyung Kim, Hee-Jun Kang, Young-Soo Suh
(School of Electric, Electronic and Information Engineering, University of Ulsan)

ABSTRACT

This paper shows the development of remote control system for manipulators which consists of PHANToM Device as a master, Samsung FARA robot as a slave and TCP/IP based LAN for their Communication. This work includes the motion mapping between the master and the slave, Generation of virtual viscosity force preventing operator's unwilld action and 3D remote control simulators for the stable operation of the remote control system, etc. The remote control implementation has been performed and the results shows that the developed system can allow the operator to effectively control the manipulator.

Key Words : Teleoperation(원격조작), PHANToM, Master, Slave, 3D robot simulator

1. 서론

현재 공장 자동화 및 생산성을 증대시키는데 있어서 중요한 역할을 담당해온 산업용 다관절 로봇은 작업자로 하여금 항상 작업현장에서 감시 및 조작을 해야만 했으며 이러한 과정에서 인간은 위험한 작업환경에 노출 되어야만 하였다. 현재 이러한 문제점을 해결하기 위해 원격 제어 시스템에 대한 연구가 많이 이루어 지고 있고, 그에 따른 활용방안도 제시 되고 있다.

원격 제어 시스템은 일반적으로 작업을 수행하는 슬레이브 시스템(Slave System)과 인간의 판단이나 명령을 주체어기로 전달하는 마스터 시스템(Master System), 그리고 두 시스템을 연결하는 communication Link 로 크게 나누어 질 수 있다. 원격제어를 이용한 다관절 로봇의 제어는 원자로 폐기물처리, 우주 탐사 등 위험한 환경에서의 작업 또는 인터넷을 통한 쇼핑물 탐색, 박물관 탐색 등 다양한 분야에 적용될 수 있다. 이러한 다관절 로봇의 원격제어를 위하여, 조작자가 제어대상(다관절로봇)으로부터 직접 받을 수 있는

정보는 비전에 의한 영상정보, 초음파 센서나 레이저 센서를 통한 거리 정보 등 다양한 센서 정보가 작업의 종류에 따라 적용되고 있다. 최근에는 햅틱 인터페이스를 통한 촉각 정보 등을 포함하여 조작자의 현장감을 증대시킬 뿐 만 아니라, 작업의 편의성을 증대시켜 다관절 로봇의 오동작을 방지할 수 있다.

본 논문에서는 상기된 햅틱 인터페이스를 포함하는 다관절 원격제어시스템을 제시하고자 한다. 조작시스템(Master)으로서는 x, y, z 3-방향 힘을 생성할 수 있는 (미)SensAble 사의 PHANToM premium 1.5, 제어 대상 다관절 로봇(Slave)으로는 Samsung FARA AT-2, 양 시스템의 통신 방법으로는 TCP/IP 기반 LAN 을 사용하였다. 시스템 구축을 위한 주요 연구내용으로 마스터와 슬레이브 사이의 운동 변환, 작업의 편의성 증대를 위한 가상환경 구축, 햅틱 인터페이스를 통한 조작자의 손떨림 방지 알고리즘 등을 제시하고자 한다. 그리고 마스터와 슬레이브 사이의 상호 움직임을 제시하여 원격제어 시스템의 신뢰성을 확인하고, 가상환경 운동과 다관절 로봇의 운동을 비교함으

로써, 다관절 로봇 제어시스템의 성능을 확인하였다.

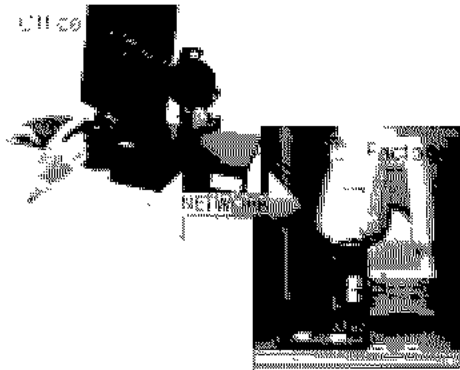


Fig. 1 Remote Control System of Robot

2. 원격 제어 시스템 구성

2.1 원격 제어 시스템 개요

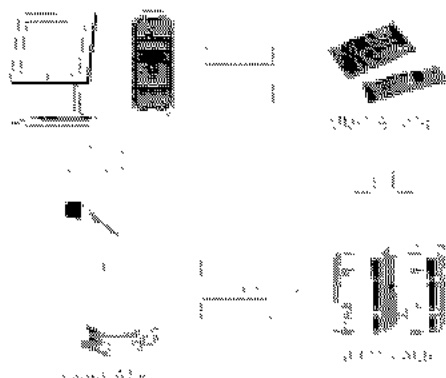
다관절 로봇 원격 제어 시스템은 Fig. 2 와 같이 Master System 과 Slave System 으로 구성 되어 있다.

Master System 에서는 조종자의 모션이 Phantom Device 에 의해 3 차원 정보인 x,y,z 위치 정보와 속도 정보로 나오게 되고, 이 정보는 Slave robot 의 기구학과 작업영역 사상을 통하여 작업 로봇이 움직여야할 관절 각도를 계산하고 계산된 관절각은 LAN 으로 보내는 역할을 담당한다.

Slave System 에서는, LAN 을 통해 받아진 관절각 정보를 로봇구동 장치로 보내는 역할을 하게 된다. 조종자가 원하는 로봇구동을 하기 위해 MMC(Multi Motion Controller)와 Pentium VI PC 를 병행하여 사용하였다.

Slave System 에서 구동되는 로봇 제어기의 부담을 줄이기 위해 역기구학 계산은 Master System 에서 담당하였으며 역기구학 계산과 LAN 을 통해 보내어지는 데이터들은 1msec 마다 갱신을 하였다.

본 논문의 원격 제어 시스템은 원활하고 안전한 작업을 위해 Master System 에 OpenGL 을 이용한 3 D Model Simulator 를 개발하여 실제 구동 하기 전에 작업 로봇의 시뮬레이션이 가능하게 하였으며, Slave System 에서도 작업시 실제 작업 로봇의 움직



임 및 상황을 Monitoring 이 가능하도록 설계하였다.

Fig. 2 Block diagram of Remote Control System of robot using PHANTOM Device

2.2 Master System

Master System 은 조작기로서 (미)SensAble 사의 PHANTOM premium 1.5 를 사용하였으며 CPU 는 Pentium VI 2.8Ghz 를 사용하였다. 그리고 Visual C++6.0 과 3D 모델링을 위해 OpenGL 을 이용하여 마스터 응용프로그램을 설계하였다.

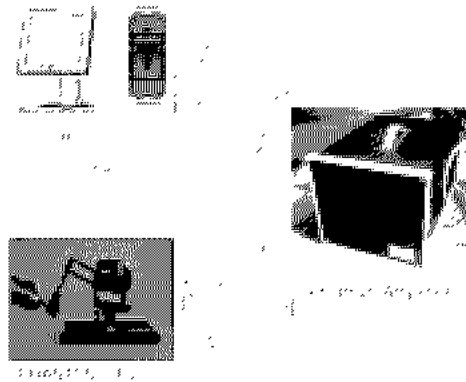


Fig. 3 Structure of the Master System

2.2.1 PHANTOM Premium 1.5

PHANTOM device 의 위치 단위는 mm 이며, 6 자유도를 가지고, 리셋 포지션이 이 PHANTOM device 의 원점이 된다.

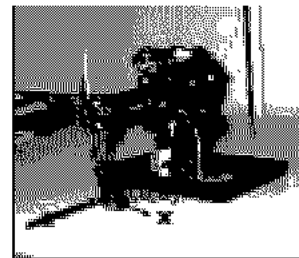


Fig. 4 PHANTOM Premium 1.5

2.3 Slave System

Slave System 은 Slave robot 으로 SAMSUNG FARA Robot 이 사용되었고, 로봇 제어기로는 MMC board 가 사용되었다. 로봇을 구동하기 위한 프로그램으로는 Visual C++ 6.0 이 사용되었고 실제 로봇의 움직임을 3D 로 시뮬레이션하기 위해 OpenGL 을 사용되었다.

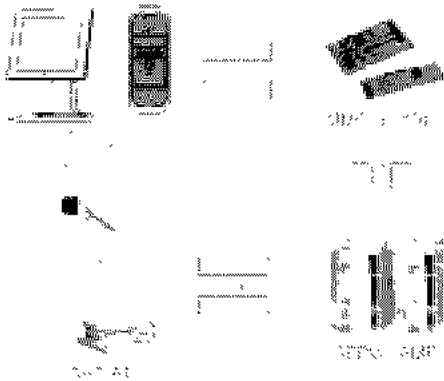


Fig. 5 Structure of the Slave System

2.4 작업 영역 사상 (Mapping Coordinate Frame for Workspace)

작업 영역 사상은 서로 다른 기하학적 구조를 갖고 있는 PHANTOM 과 FARA robot 이 하나의 시스템으로 연결되어 조종자가 작업로봇을 원활하게 조종할 수 있도록 하는데 필수적으로 수행되어야 하는 과정이다.

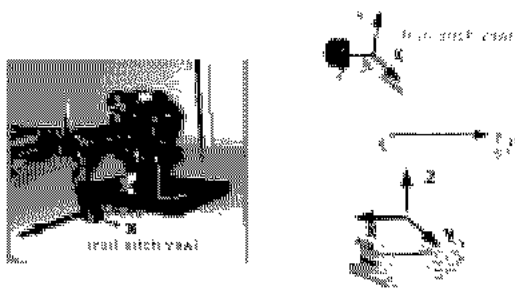


Fig. 6 Workspace mapping

PHANTOM device 의 원점을 FARA robot 의 끝단에 맵핑을 시켰으며 로봇끝단의 좌표를 계산하기 위한 식은

$$\begin{aligned}
 {}^B P_E &= (x_r, y_r, z_r) \\
 x_r &= z_h \cdot 10 + 450 \\
 y_r &= x_h \cdot 10 \\
 z_r &= y_h \cdot 10 + 351 \\
 {}^B P_T &= (x_t, y_t, z_t) \\
 x_t &= x_r + 110 \cdot \cos(-pitch) \\
 y_t &= y_r + (-\sin(roll)) \cdot (-110 \cdot \sin(-pitch)) \\
 z_t &= z_r + \cos(roll) \cdot (-110 \cdot \sin(-pitch))
 \end{aligned}$$

x_h, y_h, z_h : PHANTOM position vector

x_r, y_r, z_r : Vector between base and end effect

x_t, y_t, z_t : End Effect position vector

이며, 계산된 좌표로부터 FARA robot 의 역기구학을 수행하여 로봇 각 축의 관절각을 계산하여 LAN 을 통해 Slave system 으로 보낸다.

본 연구에서 제작한 원격 제어 시스템은 PHANTOM device 와 FARA robot 의 좌표 스케일을 일치 시키기 위하여 PHANTOM device 의 좌표값을 10 배 스케일을 하였다. 그리고 작업 로봇의 특이점을 고려하여 로봇이 특이점으로 움직이지 않도록 프로그램하였다.

2.5 점성힘(Viscosity force)

원격 제어 시스템에서 조종자의 부주의, 또는 손떨림과 같은 조종자가 원하지 않은 조종은 작업현장에서 큰 위험을 초래하게 된다. 본 연구에서는 조종자의 미세한 손떨림을 방지해, 보다 더 안정적이고 원활한 조종을 가능하게하는 가상의 힘, 점성 힘을 PHANTOM device 에 구현을 하였다.

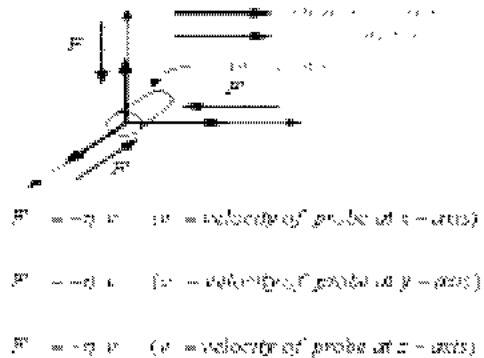


Fig.7 Algorithm of Viscosity Force

2.6 로봇 시뮬레이터

실제 작업현장에 원격 제어 시스템을 적용하기전 시스템의 안정성 및 작업 영역을 가능해볼 수 있는 로봇 시뮬레이션이 필요하다. 본 연구에서는 PHANTOM device 와 Slave robot 간의 원활한 조종을 위해 가상의 Slave robot 을 제작하여 시뮬레이션을 할수 있는 프로그램을 개발하였다. 이 로봇 시뮬레이터는 각 x, y, z 축으로 뷰포인트 변환이 가능하며 실제 로봇의 움직임과 가상 로봇의 움직임을 비교할 수 있도록 제작되었다.

Visual C++ 6.0 및 OpenGL 을 이용하여 제작하였으며 통신 환경도 같이 구현하였다.

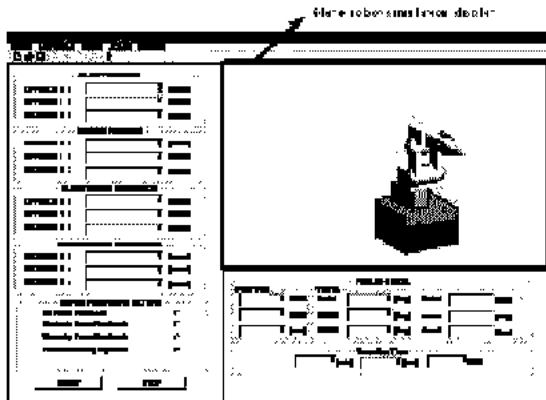


Fig.8 Slave robot Simulator

2.7 Control Method

본 연구의 제어 개요도는 Fig. 9 와 같다. 먼저 조종자가 PHANTOM device 를 통해 위치정보가 나오게 되면 작업 영역 사상 (workspace mapping)을 통해서 PHANTOM 과 robot 의 위치를 일치 시켜 구해진 로봇 끝단의 위치정보를 이용하여, 역기구학을 통해 제어될 6 개의 관절각이 구해진다. 그 다음 TCP/IP 통신 프로토콜을 이용하여 Slave System 에 보내져 위치제어를 통해 로봇을 구동시킨다.

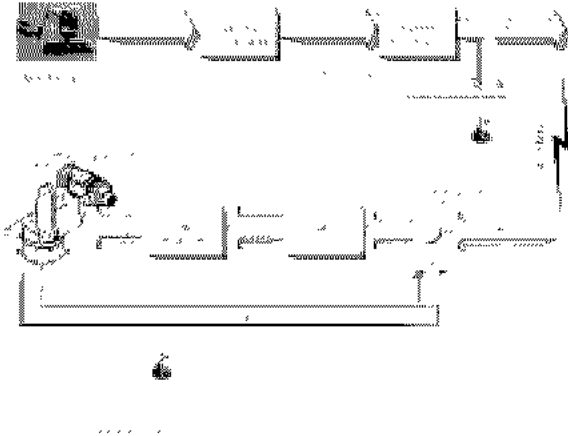


Fig. 9 Block diagram of control

3. 실험

Experiment apparatus:

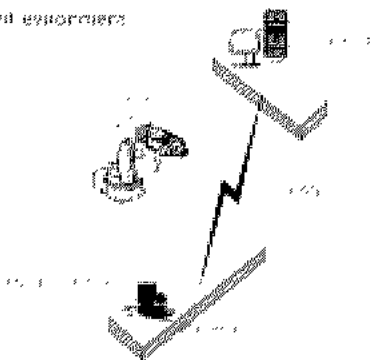


Fig.10 Experiment environment

본 연구는 Fig. 10 과 같은 환경에서 실험을 하였으며 Fig. 11 과 Fig. 12 는 조종자가 PHANTOM device 를 이용하여 로봇을 구동하는 모습을 보여주고 있다. Fig. 13 은 PHANTOM device 를 이용하여 로봇을 구동한 후 조종자의 움직임과 실제 로봇이 움직인 관절각을 비교하여 보여주는 그래프이다. 이 그래프에서 나온 결과를 보면 다소 시간지연을 동반을 하고 있지만 잘 추종하고 있음을 보여주고 있다. 이 그래프에서 PHANTOM device 의 동작속도가 빠르면 제적을 완만하게 추종을 하고 동작속도가 느리면 보다 더 정확한 추종을 하는 것을 알수가 있는데 이러한 현상들은 시간지연에 의한 영향으로 생각이 된다.

PHANTOM device 를 이용하여 다관절 로봇을 원격제어를 한 결과를 보면 약간의 시간지연을 동반하지만, 조종자가 작업을 수행하기 위해 필요한 제적을 잘 추종하는 것을 알수가 있었다. 이러한 시간 지연을 줄여 조종자의 반응에 빠르게 응답할 수 있게 한다면 보다 더 정밀하고 신속하게 로봇을 제어할수 있을 것이다.



Fig.11 Master System view of operating remote control



Fig. 12 Slave system view of operating remote control

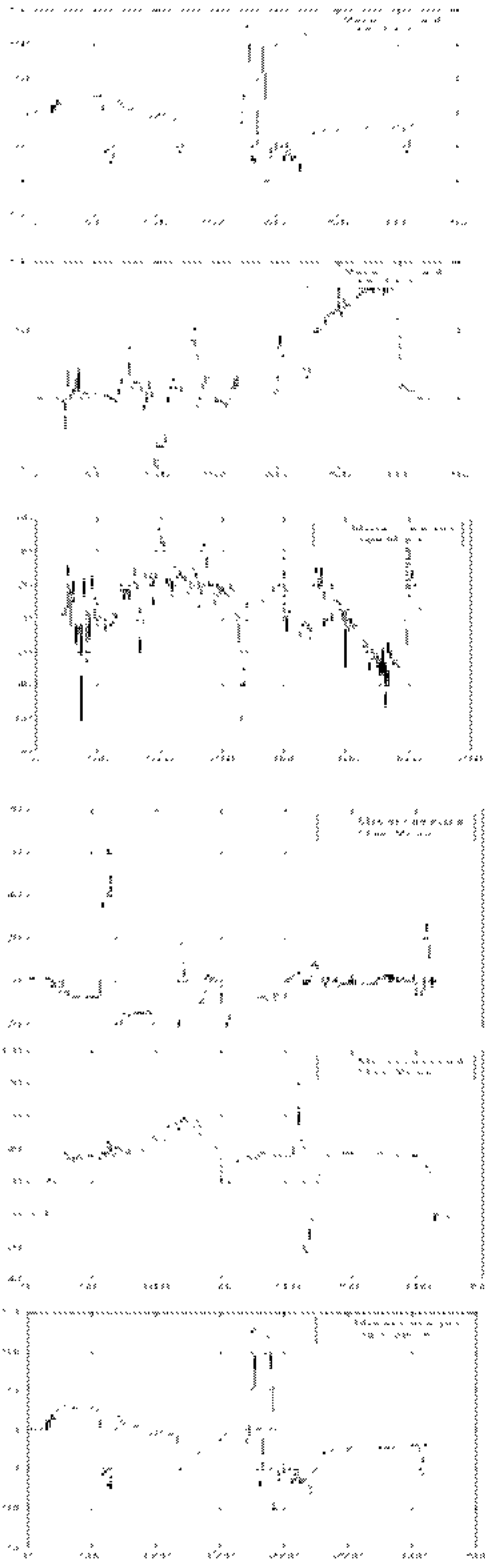


Fig 13 Motion Comparison of Master joint and Slave robot joint

4. 결론

본 논문에서는 PHANTOM device 를 이용하여 다관절 로봇을 원격 제어하는 시스템을 구현 하였다. 그리고 PHANTOM device 와 FARA robot 의 workspace mapping 에 대한 방법을 제시하였으며, 조종자의 손떨림 및 오동작을 방지하여 원활한 원격 제어를 위한 점성힘을 제시하였다.

LAN 을 이용하여 로봇을 원격제어를 할 때 일어나는 시간지연 현상은, 근본적으로 네트워크의 속도가 실시간에 가깝게 개선되지 않는한 시간 지연의 완전한 극복은 불가능하다.

앞으로의 본 연구가 나아가야할 방향은 조종자가 로봇을 원격제어의 안정성 및 신속성뿐만 아니라 조종자로 하여금 작업현장의 현장감을 느낄 수 있도록 작업 로봇에 FT 센서를 부착하여, 시각정보만이 아닌 촉각정보를 이용한 원격 다관절 로봇 제어 시스템을 구현하는 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원을 받아 수행하였고, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Fitzpatric, T., "Live Remote Control of a robot via the internet" *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, Volume:6, Issue : 3 , Sept, 1999 Pages : 7-8
2. Horie, T , Tanaka, K, Abe, N, Taki, H, "Generation of haptic model and remote control of robot using force sensor and PHANTOM" *Virtual System & Multimedia 2001. Proceedings, Seventh International Conference on, 25-27 Oct.2001* Pages : 746~756
3. Yoon,W-K;Goshozono, T.;Kawabe,H.; Kinami, M. ; Tsumaki, Y ; Uchiyama, M.;Oda,M.;Doi,T.; "Model-based Space Robot Teleoperation of ETS-VII Manipulator" *Robotics and Automation, IEEE Transactions on* Volume : 20 Issue:3 June 2004 Pages 602-612
4. Ando, N.; Joo-Ho Lee; Hashimoto, H.; "A study on influence of time delay in teleoperation" *Advanced Intelligent Mechatronics, 1999. Proceedings. 1999 IEEE/ASME International Conference on , 19-23 Sept. 1999* Pages:317 - 322