

웹기반 로봇 원격 교육시스템

홍 순 혁* · 전 재 욱**

요 약

로봇 관련 강의에서 여러 가지 개념을 용이하게 이해하기 위한 다양한 자료가 아직 부족하고, 한정된 기자재로 인하여 로봇을 이용한 실험을 충분히 수행하지 못하고 있는 실정이다. 이를 해소하기 위하여 본 논문에서는 멀티미디어 콘텐츠와 3차원 로봇 시뮬레이터로 구성된 웹기반 로봇 원격 교육시스템을 개발하고자 한다. 학생은 웹상에 구성된 멀티미디어 콘텐츠를 이용하여 로봇과 관련된 개념을 용이하게 이해할 수 있으며, 3차원 로봇 시뮬레이터를 이용하여 가상 로봇 실험 및 실제 로봇과의 연동 실험을 수행할 수 있을 것이다.

A Web-based Distance Learning System for Robotics

Soon-Hyuk Hong* · Jae Wook Jeon**

ABSTRACT

In robotics classes, various types of materials about robotics are still needed for helping students to understand concepts easily, and it is difficult for all students to perform actual experiments because of the lack of the real robots. In order to solve these problems, this paper develops a web-based distance learning system for robotics, which consists of multimedia contents and a 3-dimensional robot simulator. Students can easily get multimedia contents and understand concepts about robots. Also, they can use a 3-dimensional robot simulator to perform virtual robot experiments and connection experiments with real robots.

키워드 : 웹기반 원격 교육 (Web-Based Distance Learning), 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터 (Web-Based 3D Robot Simulator), 인터넷 기반 원격조작 (Internet-Based Teleoperation)

1. 서 론

기존의 로봇 관련 과목에서는 로봇과 관련된 이론을 많이 다루게 되는 데 이러한 이론을 심도 있게 이해하기 위해서는 다양한 자료가 있어야 하며 관련된 실험을 많이 수행하여야 한다. 그런데 아직 자료가 부족하고 한정된 예산으로 인하여 실제 로봇 장비가 부족하기 때문에 모든 학생이 충분한 실험을 수행하기 매우 어렵다. 따라서 로봇과 관련된 개념을 용이하게 이해할 수 있도록 하는 다양한 형태의 자료와 실제 로봇으로 실험하는 것과 유사한 효과를 낼 수 있는 가상 로봇 실험 환경이 필요하다. 이러한 자료와 가상 실험 환경을 학생이 시간과 장소에 제한받지 않고 편리하게 사용할 수 있도록 하기 위해서는 인터넷을 통하여 원격 교육이 가능한 시스템을 구축할 필요가 있다.

기존의 원격 교육은 주로 NRT(Non-Realtime Teleteaching), BBS(Bulletin Board System), 그리고 VOD(Video On Demand)와 같은 방식을 통해서 멀티미디어 형식의 학습

자료만을 제공하고 있다[1]. 따라서 사용자는 전송받은 자료만을 이용하여 필요로 하는 내용을 학습할 수 있게 되며 실제 시스템을 이용한 실습은 불가능하게 된다. 그런데 원격 교육에 있어서 실제 시스템을 이용한 실습을 수행하거나 그와 유사한 효과를 얻을 수 있다면 학습하고자 하는 내용을 보다 용이하게 이해할 수 있게 될 것이다. 이를 위해서는 로봇 원격 교육시스템에서 가상 로봇 실험을 수행하거나 실제 로봇과 연동하여 실험할 수 있도록 하는 3차원 로봇 시뮬레이터가 필요하다.

그래픽 기술을 이용한 기존 로봇 시뮬레이터는 로봇을 프로그래밍하거나 생산 시스템 소프트웨어를 미리 점검하거나 원격 제어시스템에서 효율적인 제어를 위하여 개발되어 사용되었다. Strommer와 Flaig 등은 로봇 프로그래밍을 위해서 가상현실 기술을 이용한 가상 로봇을 개발하였다[2, 3]. Jo 등은 가상 시뮬레이터를 개발하여 생산시스템에 사용되는 소프트웨어를 실제 시스템에 적용되기 전에 발생 가능한 오류를 점검하였다[4]. 원격제어 분야에서는 실제 로봇 명령을 원격로봇에 전송하기 이전에 해당 명령에 대한 결과를 예측하기 위한 목적으로 가상 현실을 이용하였

* 정 회 원 : 삼성전자 통신연구소 선임연구원

** 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

논문접수 : 2004년 6월 3일, 심사완료 : 2004년 10월 16일

다. Blackmon 등은 로봇 작업의 중간 목표를 적어놓은 작업순서 기술서(task sequence script)를 이용하여 원격작업을 수행하였다[5]. Arai와 Oboe 등은 원격 로봇 및 환경을 가상현실로 구성하여 필요한 정보를 실제 원격 로봇으로부터 받지 않고 가상 로봇으로부터 받아 시간 지연 효과를 감소시켰다[6, 7].

인터넷을 이용한 원격 로봇시스템은 Goldberg의 Mercury project와 Taylor의 Australia's Telerobot project에서 등장하였다[8, 9]. 이전 원격 로봇제어가 전용선을 통하여 이루어졌기 때문에 정해진 위치에서만 로봇 제어가 가능했지만 이 두 연구에서는 인터넷상에서 위치의 제약 없이 다수의 사용자가 로봇을 제어할 수 있도록 하였다. 이후에 이와 같이 인터넷을 이용한 원격 제어시스템에서 사용된 로봇은 인터넷 로봇 또는 인터넷 기반 로봇 이라고 불리었으며, 작업자 인터페이스(operator interface)로 웹 브라우저를 이용한 경우에는 웹 로봇 또는 웹기반 로봇으로 불리게 되었다.

이후, 인터넷기반 원격조작을 이용한 많은 연구들이 있었는데, 대학 혹은 연구소 실험실 수준에서 교육 및 연구를 위한 목적으로 네트워크에 연결 가능한 로봇기기를 공유하고자 하는 연구들도 수행되었다[10, 11].

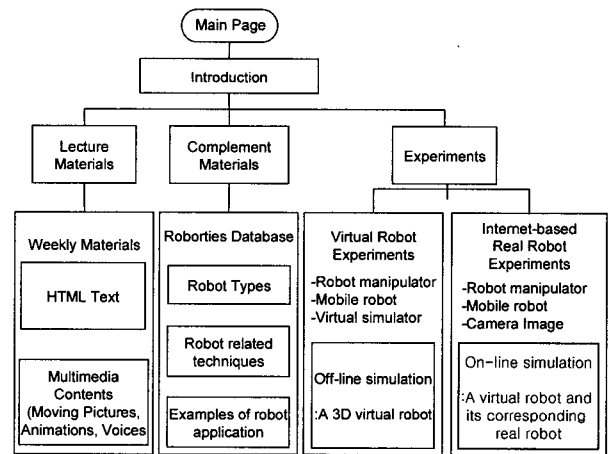
본 논문에서는 로봇과 관련된 다양한 자료를 멀티미디어 콘텐츠로 구성하고 3차원 로봇 시뮬레이터를 개발하여 웹기반의 원격 로봇 교육시스템을 구축하고자 한다. 로봇교육 관련 자료들을 웹기반 콘텐츠로 개발하도록 하며, 개발된 시뮬레이터 역시 동일한 시스템을 기반으로 활용하기 위하여 웹기반의 응용 프로그램으로 개발하고자 하였다. 이를 위하여 시뮬레이터는 3차원 그래픽 기반의 인터페이스로써 구현이 되며, 인터넷 기반 원격조작 방식을 통하여 실제 로봇과의 연결 또한 가능하다. 개발된 시스템을 이용하면 다양한 자료와 실제 로봇 실험과 유사한 효과를 갖는 가상 로봇 실험을 시간과 장소에 제한받지 않고 편리하게 수행할 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서 개발한 3차원 로봇 시뮬레이터는 실제 로봇과 연동하여 실험할 수 있기 때문에 가상 로봇 실험과 실제 로봇 실험을 비교 관찰할 수 있을 것이다.

본 논문의 2장에서는 개발된 원격 교육시스템 구조에 대해서 설명하고 3장에서는 원격 교육시스템 세부 내용에 관해서 설명하며, 4장에서는 실제 로봇과의 연동 실험을 수행한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론이 다루어진다.

2. 웹기반 로봇 원격 교육시스템 구조

본 논문에서 로봇과목의 원격교육을 위해 개발된 웹기반 시스템 구조는 (그림 1)과 같이 로봇 관련 내용을 학습하기 위한 학습자료(lecture materials), 학습보조자료(complement materials), 실습 도구인 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터로

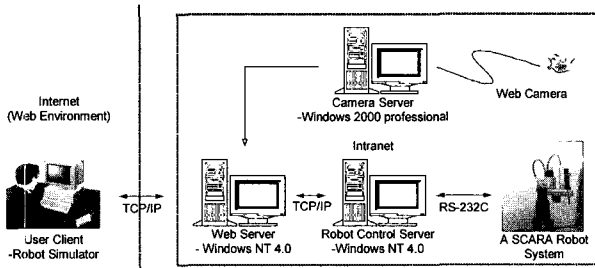
구성되어 있다. 학습 자료와 학습 보조 자료는 멀티미디어 콘텐츠로 구성되어 웹페이지 내에 삽입되었으며, 멀티미디어 콘텐츠 구성을 위해서 전용의 멀티미디어 저작도구인 Macromedia의 Authorware를 이용하였다. 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터는 웹브라우저에 삽입이 가능하도록 자바 애플릿으로 작성되었으며, 3차원 가시화를 위해서 Java3D API를 이용하였다. 모든 자료와 시뮬레이터가 웹페이지에 삽입되어 제공되기 때문에 사용자는 웹 브라우저를 이용해 편리하게 사이트에 접속하여 콘텐츠를 열람하고 시뮬레이터를 사용할 수 있다.



(그림 1) 웹기반 교육시스템

실습도구로 개발된 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터는 인터넷상의 다수의 사용자가 접속할 수 있도록 설계되었으며, 전체적인 구성은 클라이언트/서버 구조로 이루어져 있다. 사용자는 클라이언트 형태로 웹서버에 접속하여 웹브라우저에서 실행 가능한 작업자 인터페이스를 다운로드 받는다. 작업자 인터페이스는 자바 애플릿 형태의 프로그램으로서 로봇 시뮬레이션 기능을 이용하여 대상 로봇의 움직임을 3차원적으로 가시화할 수 있고, 시뮬레이션의 결과를 이용하여 실제 로봇 제어도 할 수 있다. 실제 로봇 제어는 (그림 2)에 나타난 바와 같이 로봇 제어용 서버(robot control server)에 접속하여 로봇 명령을 전송하여 이루어진다. 즉 로봇 서버는 사용자의 작업 명령을 받아서 로봇을 구동시키는 것이다. (그림 2)는 개발된 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터를 이용하여 인터넷 기반 원격제어를 수행하기 위한 시스템 구성을 나타낸다. 사용자와 떨어진 곳에 있는 원격 시스템은 웹서버, 카메라 서버, 로봇 제어용 서버, 로봇 등으로 구성된다. 사용자는 PC 상의 마우스와 키보드를 이용해서 가상 로봇 실험 및 실제 로봇에 대한 원격 제어를 수행할 수 있다. 사용자는 원격 로봇에 명령을 내리기 전에 시뮬레이터를 이용한 가상 로봇 실험을 통해서 실제 로봇의 동작을 확인 할 수 있다. 한 명의 사용자 명령에 대해 로봇이 동작하면 카메라 서버에 설치된 카메라를 이용하여

이에 대한 영상을 얻은 후, 이 영상 내용을 웹서버를 통해서 각 클라이언트에게 전송할 수 있다. 본 논문에서 시뮬레이터 내의 가상로봇은 3차원 그래픽 API인 Java3D를 이용하여 그래픽 모델로 구성하였고, 실제 로봇은 삼성전자 FARA SM3 스카라 로봇을 사용하였다.



(그림 2) 인터넷 기반 원격제어를 위한 시스템 구조

3. 웹기반 로봇 원격 교육시스템 내용

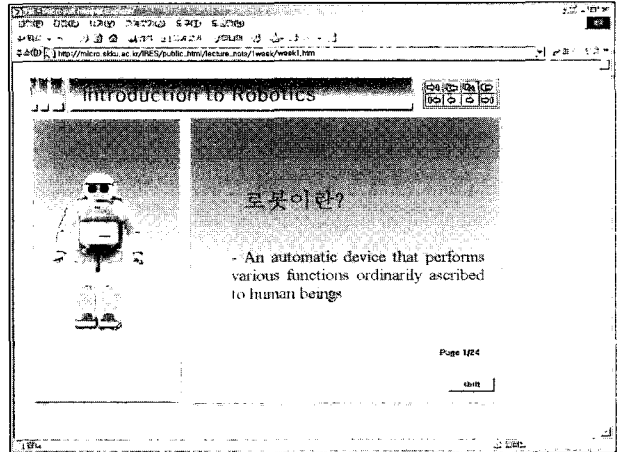
3.1 로봇 학습 자료(lecture material)

로봇 원격 교육을 위하여 개발된 로봇 학습 자료는 동영상, 애니메이션 및 합성음성 등의 멀티미디어 콘텐츠로 구성되었으며, 구성된 멀티미디어 콘텐츠는 웹페이지에 삽입되어 사용자가 웹브라우저만으로 학습 자료를 열람할 수 있도록 하였다. 학습 자료는 모두 16주에 걸쳐 다루어질 수 있는 분량으로 되어 있으며, 각 주차 자료는 별도의 웹페이지로 구성되어 로봇공학에서 다루는 기초 벡터이론에서부터 로봇 기구학(kinematics), 로봇 동역학(dynamics) 등의 내용을 포함하고 있다[12].

(그림 3)은 구성된 로봇 학습 자료의 첫 번째 주 내용인 'Introduction to Robotics' 중의 한 화면을 나타낸다. 학습 자료의 각 페이지는 텍스트, 그림, 동영상 혹은 애니메이션과 함께 각 페이지를 설명하는 합성음성 등의 멀티미디어 요소들을 담고 있다. 따라서 웹서버로부터 학습 자료 실행을 위한 데이터를 다운받기 위해서 웹페이지는 필요한 요소의 정보(metadata)를 표시하는 방식으로 구성되고, 웹서버로부터 스트리밍 서비스(streaming service)를 통하여 학습 자료 실행을 위한 데이터를 다운받는 동시에 학습 자료 실행이 가능하도록 구성된다.

수식적 표현이나 일반 텍스트로 구성된 자료만을 이용하면 로봇과 관련된 개념을 효율적으로 표현하기 어렵기 때문에 본 논문에서는 IGRIP(Interactive Graphical Robot Instruction Program) 소프트웨어 패키지를 이용하여 3차원 애니메이션 자료를 학습 자료에 부가함으로써 사용자가 로봇과 관련된 개념을 용이하게 이해하도록 하였다. IGRIP은 로봇기구학, 동역학 및 여러 가지 로봇 매개변수를 이용하여 로봇의 동작을 3차원 그래픽 애니메이션으로 나타낼 수 있는데, 예를 들어, 직교로봇(Cartesian Arm)의 구조와 동

작방식을 설명하기 위해 IGRIP을 이용하여 직교로봇의 각축의 동작과 로봇의 작업가능공간 등을 3차원 애니메이션으로 설명하였다.



(그림 3) 웹페이지 상의 로봇 학습 자료

로봇 동작 애니메이션이 포함된 학습 자료는 부가적으로 음성 설명이 실행될 수 있도록 하였다. 애니메이션에 음성을 더빙하여 삽입해서 애니메이션과 음성 설명을 동기화하지 않고, 별도의 음성 설명 파일을 제작하고 이 음성 설명과 애니메이션 동작이 동기화되도록 하였다. 이것은 애니메이션에 음성을 더빙하게 되면 멀티미디어 데이터로서 정보량이 커지게 되기 때문이다. 즉 애니메이션 제작 시 IGRIP의 GSL(Graphical Simulation Language)을 이용한 로봇 프로그래밍을 통하여 별도의 음성 설명과 애니메이션 동작간의 동기를 맞추도록 하였다.

이러한 방식으로 제작된 학습 자료는 웹서버에 저장되어 스트리밍 방식으로 학습자에게 제공되는데, 실제적으로 하나의 커다란 파일로써 제공되지 않고 전체 학습 자료가 여러 개의 작은 용량의 파일(.aas)로 구성되어 제공된다. 따라서 통신 선로의 전송 속도를 고려하여 사용자가 파일의 크기를 조절하여 좀 더 원활하게 학습 자료를 이용할 수 있다.

3.2 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터

본 연구에서 개발된 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터는 웹기반 로봇 학습자료를 통하여 배운 내용을 학생들이 직접 가상의 로봇을 이용하여 가상적으로 실습할 수 있도록 하기 위하여 개발되었다. 또한, 시뮬레이터를 이용하여 실제 원격의 로봇을 가지고 작업을 수행할 수 있도록 하고 있는데, 이를 위해서는 시뮬레이터 자체로서 원격로봇을 제어하기 위한 작업자 인터페이스로 활용될 수 있어야 한다.

이러한 작업자 인터페이스를 구성함에 있어서 고려하여야 할 중요한 사항으로는 대상 로봇 시스템의 자동화 정도

(LOA : Level Of system Autonomy)를 들 수 있다. 대상 로봇 시스템의 자동화 정도가 높을수록 작업자 인터페이스에서 활용 가능한 원격조작 방식을 다양화 할 수가 있기 때문이다[13, 14].

일반적으로 원격조작의 작업방식을 다양화하기 위해서는 대상시스템의 자동화 정도, 즉 다수의 센서정보에 의한 로봇의 지능화 정도(Local Intelligence)를 향상시켜야 한다. 또 다른 방법은 작업자 인터페이스에 그래픽 시뮬레이션을 적용하는 것으로써 대상로봇의 지능화 정도가 다소 한정되어 있다 할지라도 원격조작에서의 작업방식을 다양화할 수가 있다. 이는 주어진 작업을 수행함에 있어서 작업자의 간섭(operator intervention)을 최소화 하고 네트워크 상의 빈번한 정보교환을 피할 수 있는 방안이 될 수 있기 때문이다[15].

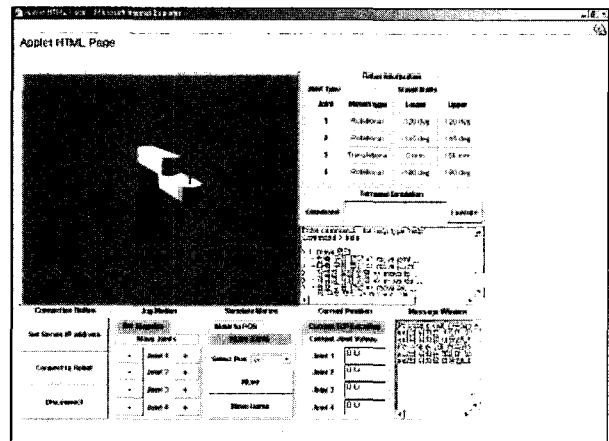
웹브라우저 내에서 실행되는 3차원 그래픽 어플리케이션을 작성하기 위하여 일반적으로 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 혹은 Java3D 등을 사용하고 있다. Java3D와 VRML은 모두 플랫폼에 독립적이라는 장점이 있으나, VRML의 경우 일반 프로그래밍 언어처럼 풍부한 기능을 제공하지 못하므로 복잡한 연산을 하기 위해서는 C++ 혹은 자바와 같은 다른 언어를 사용해야 하는 단점이 있다[16-19]. 또 다른 방식으로, Microsoft ActiveX/COM과 OpenGL을 이용하여 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터를 구성할 수도 있다[20].

작업자 인터페이스에 3차원 그래픽 혹은 증강현실(AR : Augmented Reality) 등을 적용한 사례에서는 작업의 편리성 증대, 정밀자세제어 및 예측, 그리고 기존의 마스터/슬레이브 방식의 원격조작에 있어서 실시간 정보 획득을 위한 것이 대부분이었다. 김기섭, 김연호, Rohrmeier 등은 VRML을 이용하여 웹 상에서 실행 가능한 3차원 로봇 시뮬레이터를 개발하였는데, 웹상에서 가상의 로봇만을 조작할 수 있는 인터페이스를 구성하고 있다[16, 17, 21]. 류승엽과 이재훈 등은 실제 로봇과의 네트워크 연결을 통한 원격제어를 위하여 OpenGL을 이용한 가상로봇을 개발하였으나 작업자 인터페이스가 독립 어플리케이션으로 구성되어 있어 사용자의 위치에 종속적이다[22, 23]. 박 강 등은 원격로봇의 정밀한 파지를 위해 가상 그림퍼를 이용한 교시를 수행하였으며[24], 이지홍은 예측표시기법(predictive display method)를 이용한 원격조작 시스템을 구축하였다[25, 26]. 작업자 인터페이스에 증강현실을 이용한 사례로는 Friz 등이 웹상에서 여러 대의 카메라를 통한 비전영상을 이용하여 원격조작을 하였으며[27], Marin 등은 증강현실과 가상현실을 조합한 작업자 인터페이스를 구성하였다[28]. 원격작업에 필요한 실시간 정보를 표시하기 위해서 Tsumaki 등은 가상 레이더를 이용하여 로봇 충돌을 방지할 수 있도록 하였으며[29], Guan 등은 복잡한 로봇 손목 기구부의 정밀한 자

세제어를 위해서 3차원 그래픽 시뮬레이터를 개발하여 작업자 인터페이스로 구성하였다[30].

살펴본 사례들은 대상시스템의 특수한 상황에 맞추어져 있어 작업자 인터페이스의 기능 및 작업자 시스템의 구성이 모두 다르다. 또한, 일부 원격조작의 실험 및 훈련을 위한 시스템에서는 고가의 하드웨어 및 시뮬레이션 툴을 이용하고 있으므로 실제적으로 일반적인 목적으로 확대 응용되는 것이 쉽지 않다.

본 논문에서는 로봇 교육을 위한 실제적인 실험실습이 가능하도록 3차원 그래픽 시뮬레이터를 활용하여 교육적 목적의 시스템을 구성하도록 하였다. 개발된 시스템은 웹기반 시스템으로서 사용자의 위치에 의존적이지 않다. 시뮬레이터로 편리한 인터페이스를 구현하였고, 로봇 프로그래밍을 위한 인터페이스를 이용하여 보다 실제적인 실습을 할 수 있도록 하였다. 3차원 그래픽 API인 Java3D를 이용하여 시뮬레이터를 개발하였으며, (그림 4)는 개발된 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터의 외형을 보여준다.



(그림 4) 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터

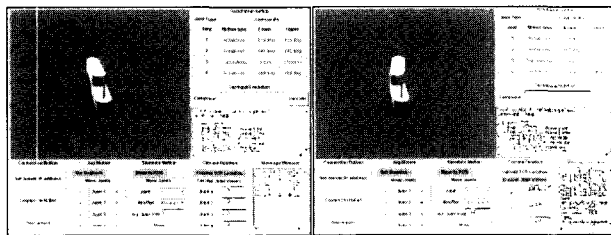
시뮬레이터 화면에서 원격 카메라 영상 정보를 직접 볼 수 있는 기능을 부가하여 원격 로봇 동작을 직접 관찰하여 확인할 수 있도록 하였다. 또한, 시뮬레이터 화면에서는 간단한 마우스 조작만으로 가상 로봇 및 환경에 대한 화면의 회전, 이동, 확대, 축소 등이 가능하여 가상 환경을 더 용이하게 관찰할 수 있도록 하였다. 실제 원격 로봇을 관찰하기 위한 카메라는 고정되어 있기 때문에 시야가 한정되어 있는데 비해, 가상 화면은 손쉽게 관찰 위치 변경이 가능하여 실제 카메라로는 관찰할 수 없는 부분까지도 관찰할 수 있는 장점이 있다. 시뮬레이터 화면의 하단 및 우측 부분은 로봇 시뮬레이션 및 로봇 정보 출력 그리고 실제 로봇과의 연결을 위한 패널로 작업자 인터페이스를 구성하고 있다. 각 기능을 통해 한 축 및 여러 축에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 사용자는 마우스를 이용하여 모든 기능을 사용할 수 있으며, 우측 패널의 명령 행(command line) 입력 창을

이용하여 로봇 구동과 관련된 가상로봇 명령어를 사용할 수도 있다.

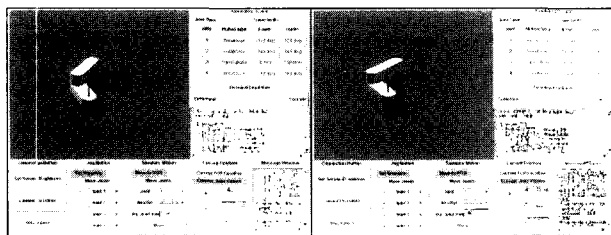
4. 실험

학생들은 본 연구에서 개발된 시스템을 이용하여 로봇공학 관련 강의자료를 열람하여 학습하고 실제 실험실습을 할 수가 있다. 본 논문에서는 개발된 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터를 활용한 실습에서 오프라인 시뮬레이션을 수행한 후에 실제 시스템과 연결하여 원격로봇 조작에 대하여 실험하였다.

학생들은 실제 원격로봇의 조작 이전에 가상의 로봇을 이용한 오프라인 시뮬레이션을 수행하여 로봇의 동작 특성 및 경로 등 다양한 로봇 관련 정보를 얻을 수 있다. 웹 브라우저 내에서 오프라인 시뮬레이션이 진행되어지는 과정은 (그림 5)와 같이 나타난다. (그림 5)는 로봇을 이용하여 물체를 이동하는 작업으로서 로봇 끝단의 도구를 직선으로 이동시키는 동작을 시뮬레이션 한 것이다.



(a) (b)

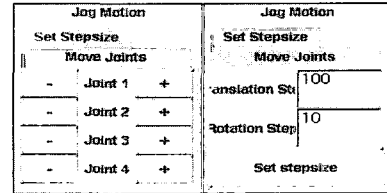


(c) (d)

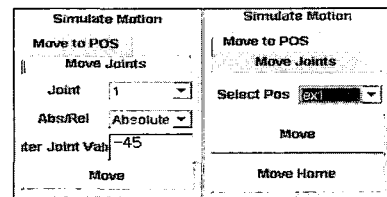
(그림 5) 오프라인 시뮬레이션

학생들은 오프라인 시뮬레이션에서 가상 로봇의 각 동작을 실행시키고 미리 보기위해 시뮬레이터에서 제공하는 다양한 방식을 이용할 수가 있다. 이를 위해 조그 모드(jog mode), 시뮬레이션 모드(simulation mode), 가상 터미널 모드(virtual terminal mode) 등을 사용할 수가 있다. (그림 6)은 각 모드에서 로봇 조작을 위한 조작판넬을 보여주고 있다. 조그 모드에서는 기존의 로봇 교시장치(teaching pendant)와 같이 로봇을 한 축씩 따로 구동시킬 수 있도록 하며, (그림 6)(a)에서와 같이 해당 축의 이동 간격(stepsize)을 설정하여 더 정교한 작업을 계획할 수 있도록 하고 있다. 시뮬레이션 모드에서는 (그림 6)(b)에서와 같이 한 축의 값을

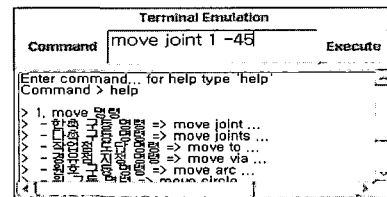
지정하거나 공간상의 위치 값을 지정하여 로봇을 구동시킬 수 있다. 가상 터미널 모드에서는 (그림 6)(c)에서와 같이 실제 로봇 터미널에서 로봇 명령어를 사용하여 로봇을 움직이는 것과 같이 로봇 명령을 입력하여 가상로봇을 움직일 수 있다.



(a) 조그 모드(jog mode)



(b) 시뮬레이션 모드(simulation mode)



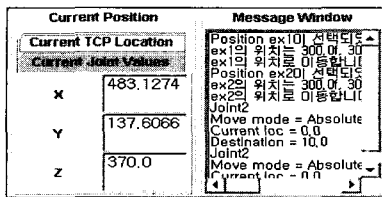
(c) 가상 터미널 모드(virtual terminal mode)

(그림 6) 로봇 조작 판넬

시뮬레이터를 이용하여 수행하는 모든 조작 결과는 (그림 7)에서와 같이 로봇의 현재 위치와 사용자 조작에 대한 시뮬레이터 메시지 등을 통해 확인할 수가 있다. 또한, 시뮬레이터를 조작하는 동안 수치 입력 오류 등의 실수를 범하지 않도록 (그림 8)에서와 같이 로봇의 조작범위 등을 나타내고 있으며, 오류 발생시 시뮬레이터 메시지를 통해 알려주도록 하였다.

학생들은 시뮬레이터의 그래픽 기능을 이용하여 가상로봇을 구동시키고 결과 모습을 확인하여 실제 로봇을 구동하는데 필요한 사항, 즉 해당 로봇 명령 및 파라미터를 미리 알아볼 수 있다. 오프라인 시뮬레이션 후, 실제 로봇과 시뮬레이터를 연결하여 원격조작을 하기 위해서는 로봇 제어기에서 실행 가능한 로봇 명령을 네트워크를 통하여 전송하여야 한다. (그림 5)의 로봇 동작들은 각각 'Move joints -10 10 0 0', 'Move joints -30 45 0 0', 'Move joints -45 70 0 0' 등의 로봇 명령을 실행한 시뮬레이션 결과화면이다. 이들 명령을 네트워크로 전송하기 위해서는 해당 명령 방식의 명령코드(OPcode : Operation code)와 필요한 파라미터를 네트워크 메시지화하여 전송하게 되며, (그림 2)의

로봇 제어용 서버에서 해당 메시지를 로봇 제어기에 대한 명령으로 변환하여 로봇을 구동시키게 된다.

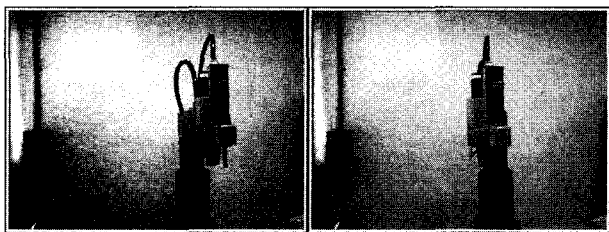


(그림 7) 로봇 위치 정보 및 시뮬레이터 메시지

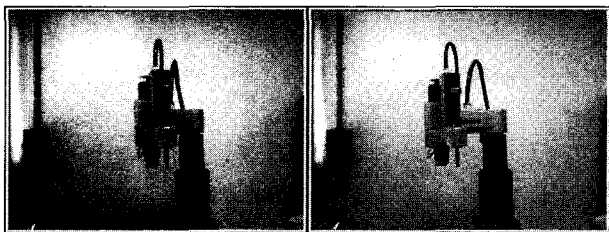
Robot Information			
Joint Type	Motion type	Travel limits	
		Lower	Upper
1	Rotational	-120 deg	120 deg
2	Rotational	-145 deg	145 deg
3	Translationa	0 mm	150 mm
4	Rotational	-180 deg	180 deg

(그림 8) 로봇 정보 표시

오프라인 시뮬레이션에서 가상 로봇 동작을 관찰한 후에 실제 로봇의 해당되는 동작을 확인하기 위하여 온라인 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 온라인 시뮬레이션에서 가상 로봇이 오프라인 시뮬레이션에서와 같이 동일하게 동작하게 되지만, 가상 로봇이 실제 로봇과 데이터 통신을 하는 것이 다른 점이다.



(a) (b)



(c) (d)

(그림 9) 온라인 시뮬레이션

온라인 시뮬레이션을 수행하는 동안 학생이 조작하는 가상의 로봇과 실제의 로봇은 서로 동기화를 이루어 구동되는데, 시뮬레이터와의 동기화는 특정 로봇 명령의 전송 및 명령 실행의 결과만을 이용하므로 로봇 구동 시 지속적인 정보교환을 필요로 하지 않는다. 시뮬레이션 실행 시 가상의 로봇과 실제의 로봇 동기화는 실제 로봇의 구동이 끝나

는 시점에서 이루어지게 된다. 따라서, 학생들은 실제 로봇의 원격조작에 있어서 보다 안전한 방식으로 로봇을 조작하고 결과를 확인하여 볼 수가 있는 것이다.

온라인 시뮬레이션이 진행되어지는 과정은 (그림 9)와 같다. 온라인 시뮬레이션 수행 시 (그림 9)에 나타난 실제 로봇 동작은 (그림 5)에 나타난 오프라인 시뮬레이션상의 가상 로봇에 대응하는 동일한 동작을 수행하는 것을 나타낸다. 실제 로봇의 동작을 보다 상세하게 나타내기 위해서 (그림 9)는 카메라를 통하여 전달되는 로봇 동작만을 나타내고 있다. (그림 9)와 같은 로봇 구동에 따른 결과 이미지는 웹상에서 모니터링 가능하도록 되어 있어, 별도의 비전 서버와의 연결 없이 웹 브라우저를 이용하여 동시에 다수의 학생들이 로봇 구동의 모습을 확인할 수가 있다.

5. 결 론

본 논문에서 로봇에 대한 원격교육을 위하여 로봇 학습 자료 및 3차원 로봇 시뮬레이터로 구성된 웹기반 시스템을 개발하였다. 학생들은 인터넷을 통하여 로봇 학습 자료를 편리하게 열람할 수 있으며 시뮬레이터를 이용하여 학습한 내용과 관련된 실습을 위하여 가상 로봇 실험을 수행할 수 있다. 또한 웹기반 3차원 로봇 시뮬레이터는 인터넷을 통하여 실제 로봇과 연결이 가능하기 때문에 가상 로봇 실험 후 해당 프로그램을 실제 로봇에 전송하여 로봇을 구동시킴으로써 가상 로봇과 실제 로봇 구동 결과를 비교할 수 있다.

기존의 로봇 시뮬레이터와 달리 본 논문에서 개발된 로봇 시뮬레이터는 웹브라우저 상에서 실행이 가능하도록 자바애플릿 형태의 소프트웨어 모듈로 구성되어 있기 때문에 원격제어를 위한 웹기반의 작업자 인터페이스로 사용할 수 있다. 개발된 작업자 인터페이스는 시뮬레이션을 통하여 실제 원격로봇을 조작하기 위해 필요한 정보들을 제공할 수 있으며 3차원 그래픽 환경을 활용하여 학생들에게 편리하고 직관적인 작업자 인터페이스를 제공함으로써 좀 더 안전한 방식으로 실험실습이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] 최용준, 구자효, 임인택, 최병도, 김종근, "QoS보장형 스트리밍 서비스를 위한 분산 원격강의 콘텐츠에 대한 연구", 정보처리학회논문지A, 제9-A권 제4호, pp.603-614, Dec., 2002.
 [2] W. Stommer, J. Neugebauer and T. Flaig, "Transputer-based virtual reality workstation as implemented for the example of industrial robot control," *Proceedings of Interface Real Virtual World Conference*, pp.137-146, Montpellier, France, March, 1993.

- [3] T. Flaig, K. Grefen and D. Neuber, "Interactive graphical planning and design of spacious logistic environments," *Proceedings of Conference in FIVE Working Group*, pp.10-17, Scuola Superiore S. Anna, Italy, 1996.
- [4] Ju-Yeon Jo, Yoohwan Kim, Andy Podgurski and Wyatt S. Newman, "Virtual Testing of Agile Manufacturing Software Using 3D Graphical Simulation," *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.1223-1228, April, 1997.
- [5] T. T. Blackmon and L. W Stark, "Model-based supervisory control in telerobotics," *Presence: Journal of Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.5, No.2, pp.205-223, 1996.
- [6] F. Arai, M. Tanimoto, T. Fukuda, K. Shimojima, H. Matsura and M. Negoro, "Multimedia Tele-surgery Using High Speed Optical Fiber Network and Its Application to Intravascular Neurosurgery - System Configuration and Computer Networked Robotic Implementation," *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.878-883, 1996.
- [7] R. Oboe, P. Fiorini, "A Design and Control Environment for Internet-based Telerobotics," *Journal of Robotics Research*, Vol.17, No.4, pp.433-449, 1998.
- [8] Ken Goldberg, Michael Marscha, Steve Gentner, Nick Rothenberg, Carl Sutter and Jeff Wiegley, "Desktop Teleoperation via the World Wide Web," *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.654-659, 1995.
- [9] K. Taylor and J. Trevelyan, "Australia's telerobot on the web," *26th International Symposium on Industrial Robotics*, pp.39-44, Singapore, 1987.
- [10] Song You, Tianmiao Wang, Roy Eagleson, Cai Meng, Qixian Zhang, "A low-cost internet-based telerobotic system for access to remote laboratories," *Artificial Intelligence in Engineering*, pp.265-279, 2001.
- [11] A. Bicchi, A. Coppelli, F. Quarto, L. Rizzo, F. Turchi, A. Balestrino, "Breaking the Lab's Walls Tele-Laboratories at the University of Pisa," *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp.1903-1908, Seoul Korea, May, 2001.
- [12] K. S. Fu, R. C. Gonzalez and C. S. G. Lee, *ROBOTICS: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1987.
- [13] R. Simmons, Joaquin L. Fernandez, Richard Goodwin, Sven Koenig and Joseph O'sullivan, "Lessons Learned from Xavier," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp.33-39, June, 2000.
- [14] Daisuke Chikura, Makoto Takahashi, Sachiko Watanabe, and Masaharu Kitamura, "Adaptation of User Behavior to the Different Level of Tele-Operation Support," *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.3, pp.739-744, 1999.
- [15] Matthew R. Stein, "Interactive Internet Artistry," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol.7, pp.28-32, June 2000.
- [16] 김기섭, 김형중, 최명환, "VRML을 이용한 로봇시물레이션", *대한전자공학회 강원지부 추계학술대회논문집*, 제3권 1호, pp.10-13, 1997.
- [17] 김연호, 이기석, 박종구, "네트워크 상에서 동작하는 3차원 로봇 시물레이터의 구현", *한국자동제어학술회의논문집*, C권, pp.207-210, 1999.
- [18] Josue Jr. G. Ramos, Silvio M. Maeta, Marcel Bergerman, Smuel S. Bueno, Luiz G. B. Mirisola and Augusto Bruciapaglia, "Development of a VRML/JAVA Unmanned Airship Simulating Environment," *Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, pp.1354-1359, 1999.
- [19] Werner Geyer and Martin Mauve, "Integrating Support for Collaboration-Unaware VRML Models into Cooperative Applications," *Proceedings of the IEEE Multimedia System'99*, pp.655-660, 1999.
- [20] 홍순혁, 이상현, 전재욱, 윤지섭, "웹기반 로봇 시물레이션, 제어·자동화·시스템공학회논문지, 제7권 제3호, pp.255-262, Mar., 2001.
- [21] Martin Rohrmeier, "WEB BASED ROBOT SIMULATION USING VRML," *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference (WSC'00)*, pp.1525-1528, 2000.
- [22] 류승엽, 이종수, "네트워크를 이용한 매니플레이터의 원격동작 제어", *한국자동제어학술회의논문집*, 제2권, pp.1811-1813, 1998.
- [23] 이재훈, 차인혁, 이병주, 한창수, "그래픽 모니터링 시스템을 활용한 원격제어 시스템 개발", *한국자동제어학술회의 논문집*, 제2권, pp.1822-1825, 1998.
- [24] 박 강, D. J. Cannon, "원격로봇의 정밀한 파지를 위한 가상 그립퍼를 이용한 교시", *대한기계학회 1998년도 춘계학술대회논문집*, A권, pp.690-695, 1998.
- [25] 이지홍, 이미경, 한상남, 오재규, 유 준, "Graphic 전용 Workstation을 이용한 텔레 로봇 시물레이터", *대한전기학회·대한전자공학회 1995년도 제어계측연구회합동학술발표회 논문집*, pp.208-211, 1995.
- [26] 이지홍, 이미경, 김태연, 이래득, 정용우, "예측표시기법을 이용한 원격조작로봇 시스템 구성", *대한전자공학회학술발표회논문집(제어계측/로보틱스/자동화연구회)*, pp.148-151, 1997.

- [27] Harald Friz, Peter Elzer, Barney Dalton, Ken Talyor, "Augmented Reality In Internet Telerobotics Using Multiple Monoscopic Views," *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp.354-359, 1998.
- [28] R. Marin, P. J. Sanz and J. S. Sanchez, "A Very High Level Interface to Teleoperate a Robot via Web including Augmented Reality," *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp.2725-2729, Washington DC, May, 2002.
- [29] Y. Tsumaki, M. Takahashi, W. K. Yoon and M. Uchiyama, "Virtual Radar : An Obstacle Information Display System for Teleoperation," *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp.1185-1190, Washington DC, May, 2002.
- [30] Yisheng Guan, Teresa Ho and Hong Zhang, "UA Telehand : An Integrated Robotic Hand/Simulator System for Tele-Manipulation via the Internet," *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp.1909-1914, Seoul Korea, May, 2001.



홍 순혁

e-mail : hsh@ece.skku.ac.kr,

soonhyuk04.hong@samsung.com

1998년 성균관대학교 제어계측공학과 학사

2000년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 석사

2004년 성균관대학교 정보통신공학부 박사

2004년~현재 삼성전자 통신연구소 선임연구원

관심분야 : 인터넷 기반 로봇, 가상현실 시뮬레이션, 원격조작, 실시간 내장형 시스템



전 재욱

e-mail : jwjeon@yurim.skku.ac.kr

1984년 서울대 공대 전자공학과 학사

1986년 동 대학원 전자공학과 석사

1990년 Purdue University Ph.D

1990년~1994년 삼성전자 생산기술센터 선임 연구원

1994년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 로봇공학, 내장형 시스템, 공장자동화