

인터넷 기반 가상실험실의 구현

Implementation of Virtual Laboratory based on the Internet

김문환*, 이호재*, 주영훈**, 박진배*

*연세대학교 전기전자공학과, **군산대학교 전자정보공학부

Moon-Hwan Kim · Ho-Jae Lee · Young-Hoon Joo · Jin-Bae Park

* Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei Univ.

** School of Electronic and Information Eng., Kunsan National Univ.

E-mail : jmacs@control.yonsei.ac.kr

요 약

많은 공학 연구에서 실제 시스템을 활용한 검증은 매우 중요하다. 특히 제어공학의 경우 개발된 신 이론을 적용 및 검증할 수 있는 실험장비의 확보는 필수적이다. 그러나 현실적으로 적절한 실험장비를 확보하는 것은 비경제적이다. 인터넷을 활용하여 실험장비의 원격실험을 가능케 한 가상실험실은 제어공학 연구에 유용하다. 인터넷의 보급과 함께 가상실험실에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대부분의 경우가 특정 시스템에 한정된 가상 실험실의 구축에 한정되어 있다. 본 논문에서는 기존 연구와 달리 다양한 실험 장비에 적용 가능하며 다양한 제어 기법을 제공하는 가상실험실의 구현을 제안한다. 제안된 가상실험실은 서버-클라이언트 구조를 가지며 다중 제어 인터페이스로 구현된다.

1. 서론

제어 공학 분야의 연구를 원활히 수행하기 위해서는 고급 이론의 개발과 개발된 이론의 실제 시스템에 대한 적용을 모두 효율적으로 연구 및 검증할 수 있어야 한다. 그러나 한정된 재원을 갖는 연구기관이나 학교에서 적절한 실험 기자재를 적시에 공급하는 것은 매우 어려운 일이다. 현재 폭발적으로 보급되고 있는 인터넷은 그 광범위한 응용분야로 공학 교육 및 연구의 훌륭한 기반역할을 수행할 것으로 예상되고 있다. 본 논문에서는 이러한 요구 사항과 현재 보급되고 있는 인터넷의 효율성을 결합한 인터넷 기반 가상 실험실 구축을 논의한다.

인터넷 기반 가상 실험실은 현재 국내외적으로 연구가 진행되고 있으나 보다 다양한 환경에서의 활용을 위한 많은 연구가 필요하다. 또한 인터넷 기반 제어는 그 구현의 유연성과 다양함으로 인해 많은 종류의 구축 방법이 제안되고 있다. 1990년대 초의 인터넷의 보급 확산을 시발점으로 삼아 많은 이론적인 발전과 실제 구현 사례가 발표되었다[1-6]. Weaver[1]와 Piguet [3]는 자바(JAVA) 프로그래밍 언어를 사용하여 관측 시스템의 상황을 원격지로 전달하고 간단한 명령을 전송하는 시스템을 개발하였다. Leleve [2]는 인터넷을 통해 원격 조작되는 로봇 시스템의 전체적인 모델링을 연구, 이를 모의실험으로 검증하였고

Young[4]은 인터넷을 통해 실시간으로 원격지의 제어 대상 시스템의 상황을 모니터링 하는 방법을 제안하였다. 그러나 대부분의 연구결과는 특정한 응용분야를 대상으로 구축되어 일반적인 제어 이론의 평가 및 제어공학 교육에의 활용이 용이치 않다. 더욱이 기존 연구결과는 제어 시스템 전반의 상황이 바뀌는 경우 이에 유연하게 대체하는 것이 용이하지 않은 실정이다.

간단한 시스템의 인터넷 기반 가상실험실, 또는 교

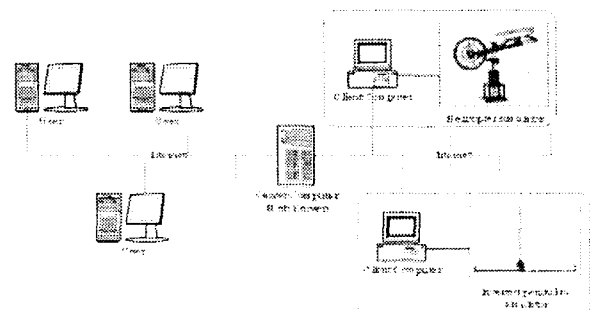


그림 1 가상 실험실의 구조도

용용 가상실험실의 구축에는 특정한 제어기법을 선택하여 시스템을 구축하는 것이 편리하나, 복잡한 시스템으로 구축된 연구용 가상실험실의 경우는 여러 제어 방법을 선택적으로 유연하게 적용할 수 있는 시스템 구성이 필요하다. 더욱이 제어 대상 플랫폼은 지금까

지 이러한 인터넷에 어울리는 개방형으로 설계되지 않았으므로 이를 인터넷에 개방성을 지니며 연결할 수 있도록 하는 기술의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 보다 제어 대상 플랜트에 유연하고 다양한 제어 형태를 제공하는 가상실험실의 구축을 제안한다. 이를 위하여 전체적인 가상실험실은 서버-클라이언트 구조로 구성된다. 서버 프로그램의 경우 다양한 방법으로 제어 방법과 제어 결과를 표현 할 수 있도록 자바를 이용하여 전체 응용 프로그램을 작성한다. 제어 대상 플랜트를 위한 응용프로그램의 경우 플랜트의 유연성을 확보하기 위하여 시스템 제어 부분, 통신 부분, 제어 신호 발생 부분으로 나누어서 구성되며, 하드웨어 인식률이 가장 좋은 C++을 이용하여 구현된다.

2. 시스템 구조

제안된 가상실험실의 시스템 구조는 그림 1과 같다. 서버(server) 컴퓨터는 인터넷 기반 가상실험실을 구축하기 위한 웹서버로 운영된다. 클라이언트(client) 컴퓨터는 제어 시스템과 연결되어 있으며, 인터넷을 통해 서버 컴퓨터와 연결된다. 제어 시스템은 제어 플랜트, 클라이언트 컴퓨터, 제어 플랜트를 중계하는 인터페이스 회로 보드(board) 그리고 전원 공급기로 구성되며, 제어 시스템의 종류 및 제어 방법에 따라서 조이스틱(joystick) 등의 장비가 추가될 수 있다.

1.1 서버와 클라이언트의 연결 구조

기 개발된 가상실험실은 많은 경우 플랜트 시스템을 제어하는 컴퓨터와 웹 서비스를 제공하는 컴퓨터를 분리하여 사용하지 않았다. 웹 서버와 제어 프로그램이 혼합된 형태를 갖는 가상실험실은 구현이 비교적 용이하다. 반면, 추가적인 플랜트 시스템이 컴퓨터와 직접 연결이 되어야 하기 때문에 가상 실험실을 통해서 제공 될 수 있는 제어 가능한 플랜트 시스템의 수가 플랜트와 서버 컴퓨터와의 거리와 서버 컴퓨터의 확장성에 제한을 받는다. 본 연구에서 제안된 가상 실험실은 서버 컴퓨터와 클라이언트 컴퓨터를 분리하여 구성하고 이를 인터넷으로 연결함으로써, 제어 시스템의 설치장소에 관계없이 제어 플랜트의 원격제어가 가능하며 사용자의 공간적 위치와 관계없이 가상실험실을 이용할 수 있다.

1.2 클라이언트의 내부 구조

클라이언트 컴퓨터와 제어 시스템은 제어 시스템 개발사에서 제공한 통신 인터페이스 카드로 연결되어 있다. 본 연구에서는 2자유도 헬리콥터 시스템과 도립진자 시스템을 가상실험실에서 제공하는 실험 장치로 사용하였다. 대부분의 실험장치들과 마찬가지로 2자유도 헬리콥터 시스템과 도립진자 시스템을 제작한 Quanser사는 PCI (peripheral component interconnect) 인터페이스 보드와 터미널(Terminal) 보드를 제공하여 컴퓨터를 이용한 제어 실험장치를 꾸미도록 한다. 그림2은 Quanser사의 플랜트를 이용한 가상실험실의 클라이언트 컴퓨터의 구성도이다. 터미널 보드는 제어 플랜트에 장착된 측정 센서의 연속시간 측정값을 이산화하거나, PCI 인터페이스 보드에서 출력된 디지털 제어 입력을 아날로그 신호로 변환시켜 전원 공급기에 전달하는 역할을 수행한다. PCI 보드는 변환된 디지털 신호를 컴퓨터 시스템이 처리 가능한 데이터 형태로 변형함으로써 가상실험실의 사용자들이 컴퓨터를 활용

하여 다양한 제어이론을 검증하기 용이하도록 한다.

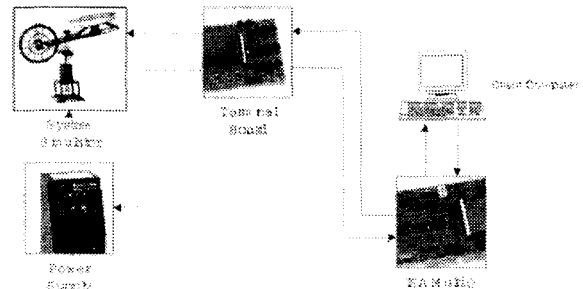


그림 2 클라이언트 구성도

3. 응용프로그램 구조

가상실험실 운영 프로그램은 크게 클라이언트 컴퓨터에서 실행되는 플랜트 제어 응용프로그램과 원격제어 응용프로그램, 두 개의 응용프로그램으로 구성된다. 플랜트 제어 프로그램은 클라이언트 컴퓨터와 연결된 제어 시스템을 가상실험실 사용자의 요청에 따라 제어 동작을 수행한다. 플랜트 제어 프로그램은 다중 사용자의 요청에 대응해야 하므로 서버-클라이언트 구조상 서버 프로그램의 성격을 가진다.

원격제어 프로그램은 오직 하나의 플랜트 제어 프로그램과 통신을 한다. 반면 플랜트 제어 프로그램은 여러 개의 원격제어 프로그램과 통신한다. 또한 여러 사용자가 웹을 통해 가상실험실에 접속 가능하므로, 원격제어 프로그램은 네트워크 프로그램 구조상 클라이언트 프로그램의 성격을 갖는다. 그림 3은 본 연구에서 개발된 가상실험실의 응용프로그램 구조이다. 원격제어 프로그램은 hyper text markup language (HTML)의 홈페이지 문서와 자바 애플릿 (applet)으로 작성되며 플랜트 제어 프로그램은 제어 시스템과 연결된다. 플랜트 제어 프로그램은 제어 시스템마다 하나씩 존재하며, 여러 개의 자바 애플릿과 통신한다. 반면 각각의 제어 방법을 제공하는 자바 애플릿은 단지 하나의 서버와 통신한다. 플랜트 제어 프로그램이 일대 다 통신을 수행함으로써 발생하는 통신 충돌 문제는 transmission control protocol (TCP)을 사용함으로써 방지한다.

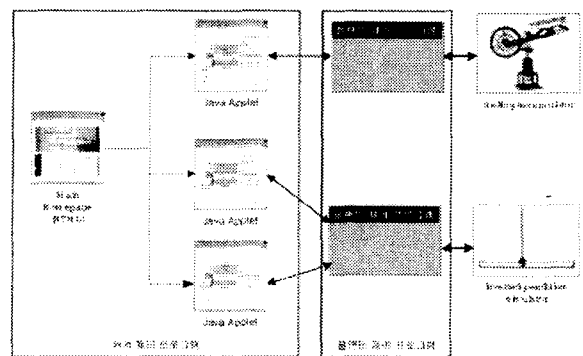


그림 3 가상실험실 응용프로그램 구성도

2.1 Transmission Control Protocol

플랜트 제어 프로그램과 원격제어 프로그램간의 통신

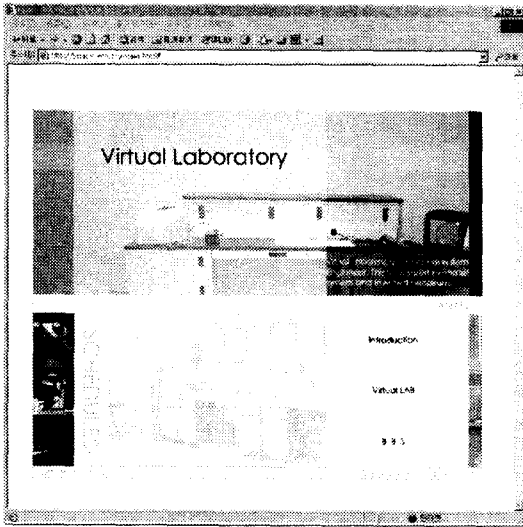


그림 4 가상실험실 시작화면

은 인터넷을 기반한 TCP를 이용한다. TCP는 OSI(Open Systems Interconnection) 7 층의 전송계층에 해당하는 프로토콜이다. TCP는 데이터의 신뢰성있는 전송을 보장하며, 에러 제어, 혼잡 제어 등의 고속 데이터 전송을 위한 여러 가지 기술을 제공한다. TCP 프로토콜은 서버와 클라이언트를 가지며, 클라이언트가 서버로 연결을 요청하고 서버가 그 요청을 받아들이면 통신 연결이 성립된다. 이 연결은 통신이 끝날 때까지 유지되며, 서버는 통신 중에 다른 클라이언트의 연결 요청을 수용하지 않는다. 많은 프로그래밍 언어에서 소켓 (Socket)의 형태로 TCP기반 통신기능을 제공한다. 가상실험실의 원격제어 프로그램과 플랜트 제어 프로그램이 서버-클라이언트 형태이므로 TCP를 이용한 통신 모듈을 가상실험실에 성공적으로 적용할 수 있다. 더구나 신뢰성있는 통신을 보장하기 때문에 제어 명령에 민감한 플랜트를 제어하는데 적합하다. 또한 서버와 클라이언트의 독립적인 연결을 유지 시켜주기 때문에 여러 클라이언트의 동시 접속을 방지할 수 있다.

2.2 보안

본 연구는 애플릿을 이용하여 통신 시스템을 구축할 경우 생기는 보안 문제를 인증 애플릿을 사용하여 해결하였다. 인증 애플릿은 정책 파일과 서명을 함께 애플릿과 제시함으로써 보안인증을 받는 방법이다. 정책 파일 (policy file)은 정책 파일과 함께 실행되는 모든 애플릿이나 애플리케이션에 서명이 필요하도록 정의되어질 수 있다. 서명은 애플릿이나 애플리케이션이 신뢰성있는 소스이고 정책 파일에서 허가된 권한을 가지고 실행되는 것을 신뢰할 수 있다고 확인하는 방법이다.

4. 실험 결과

4.1 가상실험실 구축

본 연구는 2자유도 헬리콥터 시스템과 독립진자 시스템을 가상실험실에서 활용 가능한 실험장치로 도입하였다. 아울러 두 가지 실험 장치에 대해 개루프 제어 기법, 상태궤환 제어 기법 그리고 퍼지 제어 기법을 한다. 가상실험실의 사용자는 새롭게 개발된 제어이

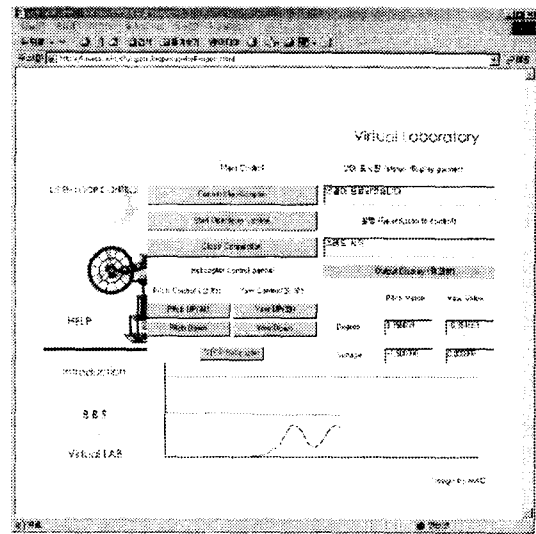


그림 5 2자유도 헬리콥터 시스템의 개루프 실험 페이지

를 입력함으로써 자신이 개발된 제어 이론을 실험을 통하여 평가할 수 있다. 그림 4는 가상실험실 홈페이지의 시작 화면이며 Introduction, Virtual LAB, BBS 세가지의 메뉴를 제공한다. 두 개의 실험 장치와 각각의 제어프로그램이 실행되는 컴퓨터는 실험장치 제작사인 Quanser사에서 제공하는 Multi-Q 보드로 연결된다.

2자유도 헬리콥터 시스템

헬리콥터 시스템은 직류모터에 의해 구동되는 두 개의 프로펠러와 두 개의 센서를 장착한다. 두개의 센서는 헬리콥터의 상하 좌우 위치를 측정한다. 가상실험실 사용자는 헬리콥터에 장착된 2개의 모터의 전압을 조절함으로써 헬리콥터의 자세를 제어하며, 그 결과를 그래프에 실시간으로 확인할 수 있다. 그림 5는 통해 제공된 헬리콥터 개루프 제어기의 인터페이스와 실험 결과를 보여주고 있다. 구현된 웹 인터페이스는 사용자로 하여금 제어 파라미터 값을 입력 할 수 있도록 구성되어 있다. 단, 상태궤환 제어 기법과 퍼지 분산 제어기의 경우, 초기 헬리콥터의 상하 각이 0 인 점을 감안하여, -15도의 오프셋을 고려하였다. 그림 6는 구현된 퍼지 제어기 시스템의 실험 장면이다. 결과 화면을 보면 제어 결과 또한 우수함을 알 수 있다.

도립진자 시스템

도립진자 시스템은 막대와 카트(cart)로 구성된다. 독립진자 시스템은 한 개의 모터와 카트의 위치와 막대의 기울기를 측정하는 두 개의 센서로 구성된다. 측정된 값을 multi-Q 보드를 통해 컴퓨터로 전송한다. 한 개의 모터는 카트의 위치를 제어한다. 구현된 독립진자의 상태궤환 제어 인터페이스는 제어 파라미터를 입력받도록 설계되어 있다. 입력된 제어 파라미터는 웹을 통해서 제어 플랜트 프로그램으로 전달되며, 사용자는 전달된 제어 파라미터를 이용하여 독립진자 시스템을 제어할 수 있다. 그림 7은 구현된 웹 인터페이스를 이용하여 독립진자 시스템을 제어하는 모습이다.

5. 결론

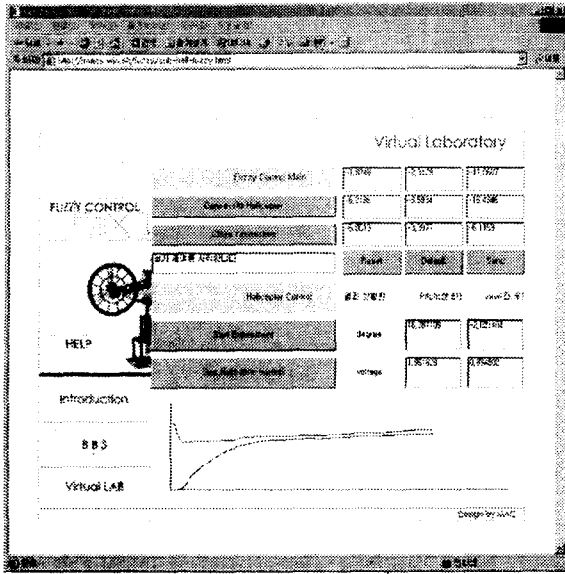


그림 6 2자유도 헬리콥터 시스템의 퍼지 제어 실험 페이지

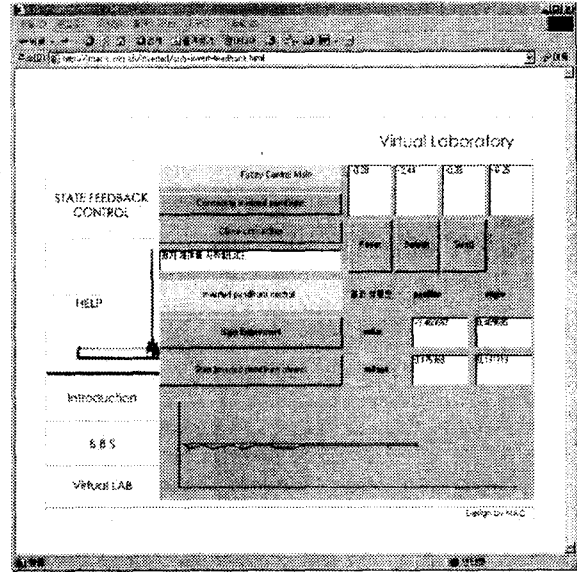


그림 7 도립 진자 시스템의 상태 귀환 제어 실험 페이지

본 논문은 가상실험실의 구현을 논의하였다. 실험장치의 확장성을 고려하여 전체적인 시스템은 서버-클라이언트의 형태로 구성되며 이들은 TCP를 이용하여 견실한 통신을 수행한다. 플랜트 제어 프로그램은 시스템의 이식성을 고려하여 C++을 사용하여 작성되었으며, 원격제어 프로그램은 사용자의 접근성을 극대화하기 위하여 컴퓨터의 플랫폼에 관계없이 실행되는 자바를 사용하였다. 제어 인터페이스와 규격화된 통신 모듈을 제공함으로써 쉽게 다양한 제어 방법을 구현할 수 있다. 이와 더불어 가상실험실의 확장성을 유지하기 위하여 응용프로그램을 모듈화 하였으며 손쉽게 다양한 실험 장비를 가상실험실에 추가할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 가상실험실을 활용하면 각 대학에서 보유하고 있는 각종 실험장비를 가상실험실로 통합으로써 연구비, 연구시간의 절약 등의 기대효과가 예상된다.

***감사의 글**

본 프로젝트는 한국과학재단 (과제번호: R02-2000-00252) 에 의해 지원 받았습니다.

6. 참고문헌

[1] A. C. Weaver, "Monitoring and Control Using the Internet and Java", Industrial Electronics Society, IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE, Volume: 3 , pp. 1152 -1158, 1999.

[2] A. Leleve, P. Fraisse, P. Dauchez, PF. Pierrot, "Modeling and simulation of robotic tasks teleoperated through the Internet," 1999. Proceedings. 1999 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 299 -304, 1999.

[3] Y. Piguet, D. Gillet, "Java-based remote experimentation for control algorithms prototyping," American Control Conference, Proceedings of the 1999 , pp. 1465 -1469 vol.2, 1999.

[4] Chung-Ping Young, Wei-Lun Juang, M. J. Devaney, "Real-time Intranet controlled virtual instrument multiple-circuit power monitoring," Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE, pp: 673 -677 vol.2, 1999.

[5] K. B. Lee, R. D. Schneeman, "Internet-based distributed measurement and control applications," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine Volume: 22, pp. 23 -27, June 1999.

[6] J. W. Overstreet, A. Tzes, "An Internet-based real-time control engineering laboratory," IEEE Control Systems Magazine Volume: 19 5 , pp. 19 -34, Oct. 1999