

자바를 이용한 웹 기반 원격 공압 서보 제어 시스템에 관한 연구

A Study of Web-based Remote Pneumatic Servo Control System Using Java Language

박철오, 안경관, 송인성
(Chul-Oh Park, Kyoung-Kwan Ahn and In-Seong Song)

Abstract : Recent increase in accessibility to the internet makes it easy to use the internet-connected devices. The internet could allow any user can reach and command any device that is connected to the network. But these teleoperation systems using the internet connected device have several problems such as the network time delay, data loss and development cost of an application for the communication with each other. One feasible solution is to use local and external network line for the network time delay, transmission control protocol for data loss and Java language to reduce the development period and cost. In this study, web-based remote control system using Java language is newly proposed and implemented to a pneumatic servo control system to solve the time delay, data loss and development cost. We have conducted several experiments using pneumatic rodless cylinder through the internet and verified that the proposed remote control system was very effective.

Keywords : remote control, teleoperation, Java language, internet, TCP, pneumatic, network time-delay, MPWM

I. 서론

전세계 5억 명의 인구[1]가 사용하는 인터넷은 오디오(audio)와 비디오(video), 문서자료(textual data)등 멀티미디어(multimedia)를 지원하는 통신 형태로 변화되고 있기 때문에 멀티플레이어 게임(multiplayer games), 원격회의(teleconferencing), 원격제어로봇(telerobot)등에 적합한 통신 수단으로 각광 받게 되었다[2]. 이런 이유로 전 세계적으로 인터넷을 이용한 원격제어시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재는 통신 기술의 발달로 인한 무선 인터넷이나 전송선 등을 사용함으로써 통신속도가 향상 되었고 이는 실시간 제어를 할 수 있을 정도의 속도를 갖고 있다. 그러나 인터넷을 이용한 원격제어 시스템은 네트워크 시간 지연이나 데이터 손실, 고비용, 오랜 개발기간 등의 문제점이 남아 있다 [2][3][6].

네트워크 시간지연에 관한 몇 가지 해법 중 시간에 기초하지 않는 동적 제어(non-time based dynamic control)[6]와 사용자 데이터그램 프로토콜(UDP: User Datagram Protocol) [2][18]을 사용하는 방법이 있다. 시간에 기초하지 않는 동적 제어는 특정한 시간 간격으로 제어 신호를 입력하고 처리하는 것이 아닌 능동적인 입력 및 처리를 하는 것을 의미하고 사용자 데이터그램 프로토콜 사용은 인터넷에서 사용하는 여러 가지 프로토콜 중에서 가장 데이터 전달이 빠른 것으로 알려진 데이터 전송 방식을 의미한다. 사용자 데이터그램 프로토콜은 저 용량의 데이터나 신뢰성이 필요

없는 데이터 전송에는 적합하지만, 신뢰성을 요구하는 데이터 전송에는 적합하지 않다[2]. 본 논문에서는 시간에 기초하지 않는 동적 제어와 전송 제어 프로토콜(TCP: Transmission Control Protocol)을 병합함으로써 네트워크 시간 지연 현상의 문제점과 데이터 손실에 대한 문제점을 해결 하고자 한다. 전송 제어 프로토콜은 인터넷에서 사용하는 여러 가지 프로토콜 중의 하나이며 데이터 확인 프로토콜이라고도 할 수 있다. 그 이유는 어느 한쪽에서 데이터를 보내면 받는 쪽에서 데이터를 제대로 받았는지 안 받았는지 항상 확인을 하는 작업을 하기 때문이다. 이런 이유로 데이터 손실은 발생하지 않지만 사용자 정의 프로토콜에 비해 느리다는 단점이 있다[4][7][9][19].

본 논문에서는 개발비용 및 개발기간에 대한 해결책으로서 자바 프로그래밍 언어의 사용을 제안한다. 원격제어 시스템 개발의 프로그래밍에 있어서 Labview나 Simulink와 같은 특정 소프트웨어를 사용하면 개발 기간을 단축 시킬 수 있고 많은 부분에 있어서 편리한 사용을 할 수 있다는 장점이 있지만 소프트웨어의 가격이 매우 비싸다는 단점을 가지고 있다. 그리고 C 언어(C programming language)를 사용할 경우 프로그래밍에 있어서 어렵다는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 C와 유사한 언어이면서 프로그래밍이 쉽고 간단하며 한번 만든 프로그램은 필요할 경우 다른 프로그램에서 재사용을 할 수 있다는 장점을 가지고 있는 자바 프로그래밍 언어(Java programming language)를 사용한다.

II. 네트워크 통신 프로토콜

인터넷에는 여러 가지 통신 프로토콜(protocol)이 사용된다. 프로토콜이라 함은 통신 규약을 말하는 것으로 각각의 프로토콜마다 특징이 다르다. 원격제어 시스템에 주로 많이 사용되는 프로토콜에는 사용자 데이터그램 프로토콜(UDP: User Datagram Protocol)이 있다. 이 프로토콜은

논문접수 : 2002. 9. 28., 채택확정 : 2003. 1. 30.

박철오, 안경관 : 울산대학교 기계자동차공학부
(pcoy2k@orgio.net/kkahn@mail.ulsan.ac.kr)

송인성 : 울산대학교 기계자동차공학부 대학원(bighsis@hanmail.net)

* 본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 기계 부품 및 소재 특성평가 연구센터의 지원에 의해 연구되었습니다.



그림 1. 사용자측 응용프로그램.
Fig. 1. Graphic User Interface (GUI) for client.

데이터 전송이 올바르게 이루어졌는지에 대한 확인절차가 없기 때문에 전송 속도는 매우 빠르다[2][18]. 하지만 데이터가 정확하게 전달되었는지 알 수 없기 때문에 신뢰성을 요구하는 데이터 전송에는 적합하지 않다. 또 이 프로토콜은 데이터 전송 시 매순간마다 다른 경로를 택하여 목적지에 전달되기 때문에 순서가 있는 데이터를 전송할 경우 더 많은 네트워크 시간 지연 현상(network time delay)이 발생할 수 있고, 그리고 데이터가 영원히 전달되지 않을 가능성도 매우 높다[2][10][12].

전송 제어 프로토콜(TCP: Transmission Control Protocol)은 인터넷에서 사용하는 프로토콜 중 자동적인 데이터 에러 처리(Automatic data error handling)와 재전송(retransmission)을 하는 프로토콜로 잘 알려져 있고 이런 에러 처리와 재전송은 정확한 데이터 전송을 가능하게 해 준다. 그러나 이 프로토콜은 항상 에러에 대한 처리나 재전송으로 인해 사용자 정의 프로토콜에 비해 전송 속도가 느리다는 단점이 있다[11][12][19]. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 최근 통신 속도나 기술에 있어서 많은 발전을 해 왔기 때문에 신뢰성 있는 전송을 하면서도 실시간에 가까운 제어를 가능하게 할 수 있다. 본 논문에서는 초고속 인터넷 망과 전송 제어 프로토콜을 사용하여 웹 기반의 원격 제어 시스템의 실시간 제어를 구현하고자 한다.

III. 자바 프로그래밍 언어

자바 프로그래밍 언어(Java Programming language)는 썬 마이크로 시스템즈(Sun Micro Systems)사에서 전화, 텔레비전 셋톱 박스(TV set-top boxes) 및 전자 결제 카드(smart cards) 등에 사용하기 위해 개발된 언어로 네트워크 프로그래밍에 많은 강점을 가진 언어[5][8]이며 무상으로 제공되기 때문에 소프트웨어의 비용이 들지 않는 장점이 있다.

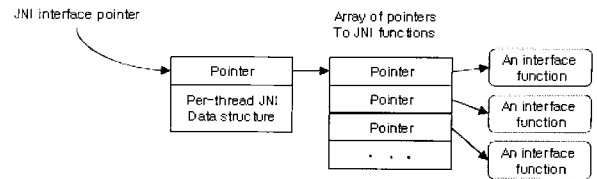


그림 2. 인터페이스 포인터.
Fig. 2. Interface pointer.

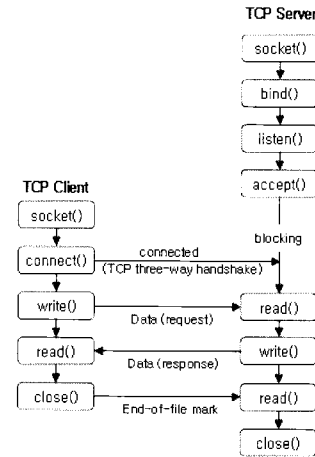


그림 3. C 언어의 알고리즘.
Fig. 3. Algorithm of C language.

자바는 다른 고급 언어(higher-level language)와 마찬가지로 하드웨어를 간단히 제어할 수 있는 기능을 가지고 있다 [15]. 이는 자바를 이용해 물리적인 메모리 접근(physical memory access)과 인터럽트(interrupts)에 의한 이벤트(event) 처리가 가능하다는 것을 의미한다. 그러나 이와 같은 방법은 자바가 지향하고자 하는 시스템에 독립적인 프로그래밍(independence of the Operating system) 즉, 시스템에 관계없이 어디에서나 재 코딩이 필요 없이 사용할 수 있는 프로그래밍에는 벗어난다. 자바는 자바 가상 머신(JVM: Java Virtual Machine)에 의해 프로그램 소스를 컴파일(compile) 하면서 실행을 하는 언어이기 때문에 자바 가상 머신이 설치된 시스템에서는 어디에서든 동일한 명령 수행을 한다 [5][8][16][17]. 이런 장점 때문에 차세대 프로그래밍 언어로 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 자바에서 제공하는 자바 네이티브 인터페이스(JNI:Java Native Interface) [5][8][13][14]를 이용해 자바로 구현한 응용프로그램(application)과 이미 C 언어로 구현된 장치 드라이버를 연결해 공압 액츄에이터를 구동시킴으로써 자바 언어 유용성을 보인다. 그림 1에 개발한 사용자측 응용프로그램을 나타내고 있다. 하지만 현재까지의 통신 속도는 영상신호까지 실시간으로 전송하는 데는 한계가 있다[23][24]. 그래서 실시간 제어 시에는 가상 시뮬레이터로 동작상태를 확인하도록 함으로서 실시간 제어가 가능하도록 하였다.

1. 자바 네이티브 인터페이스(JNI: Java Native Interface)

자바 네이티브 인터페이스는 자바 언어만으로는 모든 함수의 구현이 어렵기 때문에 타(他)언어로 구현된 함수를

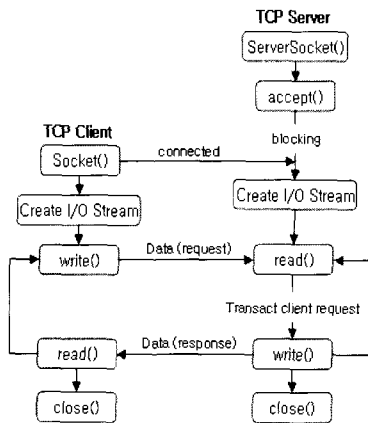


그림 4. 자바 언어의 알고리즘.
Fig. 4. Algorithm of Java language.

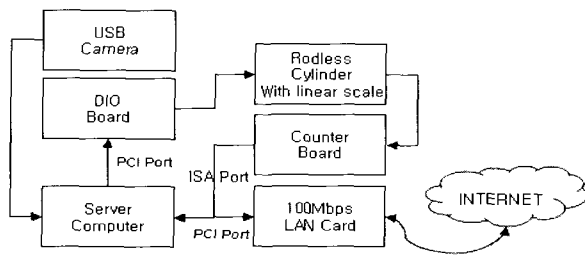


그림 5. 서버 시스템 개략도.
Fig. 5. Diagram of server system.

자바에서 사용할 수 있도록 제공되는 하나의 구현 방법이라 할 수 있다. 실제 이런 자바 네이티브 인터페이스를 사용하면 자바가 가진 단점 즉, 처리속도가 느린 문제를 C 언어와 같이 빠르게 동작하는 언어로 구현할 수 있어 제어 쪽 프로그램에서도 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

자바 네이티브 인터페이스는 윈도우(Windows 9x, Windows 2000) 시스템이나 리눅스(Linux) 시스템, 유닉스(Unix) 시스템 등에 적용될 수 있고 윈도우 계열에서는 시스템 공유파일(확장명:dll)을 사용하고 유닉스 계열에서는 시스템 공유 파일(확장명:so)을 사용하여 타(他) 언어와 연결을 할 수 있다[5][8][13].

자바 네이티브 인터페이스의 원리는 그림 2에 나타낸 바와 같이 자바 언어에서 타(他)언어로 구현된 함수로의 접근은 자바 가상 머신(Java Virtual Machine)의 자바 네이티브 인터페이스 함수(Java Native Interface Function)에 의해 호출됨으로써 가능하게 된다. 즉, 메모리상 배열 형식의 공유점을 통해서 자바 네이티브 인터페이스 함수(JNI function)가 타(他) 언어의 함수를 호출 할 수 있고 서로간의 통신을 할 수 있다[5][8].

2. 통신 알고리즘

그림 3과 4는 C언어 및 자바 언어의 통신알고리즘을 각각 나타내고 있다. C 언어의 알고리즘은 서버(server)의 구동 시 항상 socket(), bind(), listen() 함수를 호출해야 하며 클라이언트(client)가 서버(server)에 접속하려면, 항상 socket()과 connect () 함수를 호출해야 하는 번거로움이 있다.

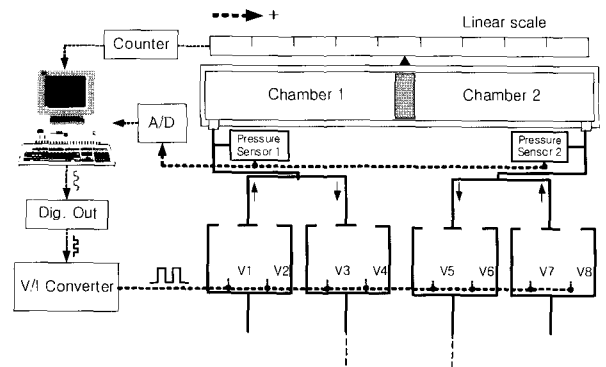


그림 6. (a) 공압 제어 시스템의 회로도.
Fig. 6. (a) Schematic diagram of pneumatic control system.

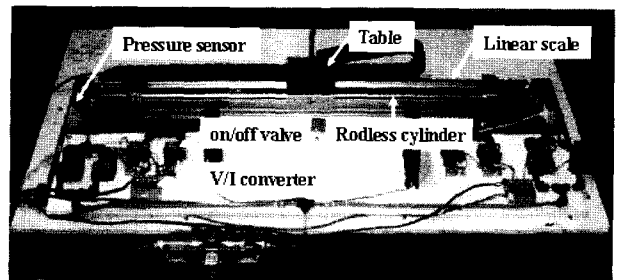


그림 6. (b) 공압서보시스템의 실물 사진.
Fig. 6. (b) Photograph of the pneumatic servo system.

또 이들 함수를 호출해서 구현해야 하는 과정도 복잡하다. 이에 반해 자바 언어의 알고리즘은 C 언어에 비해 간단하다. 즉 자바는 단지서버소켓 클래스(ServerSocket.class)의 ServerSocket() 함수만 호출함으로써 서버를 구동할 수 있고, 소켓 클래스(Socket.class)의 Socket() 함수를 호출함으로써 클라이언트를 구동할 수 있기 때문에 간단하게 프로그램을 구현할 수 있다. 또한 자바는 통신 프로그램의 경우 쓰레드(thread)로 동작을 하기 때문에 이론상 서버(server)의 안정성이 극대화 된다[5][8]. 그래서 네트워크 프로그래밍에 매우 적합한 언어로 인식된다.

본 논문에서는 이런 자바의 장점인 웹 기반의 원격제어 시스템의 프로그래밍에 자바 언어를 사용하여 공압 실린더를 서보제어하고자 한다

IV. 원격 제어 시스템 구성

원격제어 시스템은 서버(server)와 클라이언트(client)로 구성된다. 그리고 서버와 클라이언트는 인터넷과 연결되어 있고 사용하는 회선은 데이터 전송 속도가 10Mbps를 넘는 초고속 인터넷 망을 사용한다. 그림 6(a)는 8개의 개폐식 밸브로 구성된 공압 제어 시스템에 대한 회로도를 나타낸다.

1. 서버 시스템(server system)

그림 5는 서버 시스템의 개략도를 나타내며, 자바 플랫폼(Java Platform)을 탑재한 컴퓨터(Celeron 1GHz)와 USB 카메라, DI/O보드(Advantech, PCI 1731), 카운터 보드(Advantech, PCL 833), 로드리스 실린더(SMC, MY1M32-1000L), Ethernet card(RealTech 호환 100/10Mbps), 8개의 고속 개폐 밸브

(MAC, 111B-872JD), 리니어 스케일(US Digital, resolution 0.05mm)등으로 구성되어 있고, 클라이언트로부터 정보를 받아서 고속 개폐 밸브를 MPWM제어하여 테이블의 위치를 서보제어 한다. 그림 6(b)에는 공압서보시스템의 실물 사진을 나타낸다.

2. 클라이언트 시스템(client system)

클라이언트 시스템은 그림 7과 8에 나타난 바와 같이 자바 플랫폼(Java Platform)을 탑재한 컴퓨터(Pentium IV 1.6GHz)와 힘 반향 조이스틱(Logitech, WingMan Force Feedback Joystick), A/D 보드(Advantech, PCI 1731), Ethernet card (RealTech 호환 100/10Mbps)등으로 구성되어 있고, 조이스틱의 아날로그 정보를 A/D board로 받아서 서버로 정보를 전송한다.

3. 서버 시스템의 수정된 펄스폭변조 제어 알고리즘

공압 시스템은 압축성 등 비선형성이 큰 시스템으로 서보 제어하기가 곤란한 시스템이다. 본 논문에서는 공압 시스템에 적용되어 그 제어능력이 검증된 상태제어제어를 적용한다[20][21][22]. 적용하는 상태제어 제어기에서는 공압 실린더의 위치, 속도, 가속도의 3가지 상태변수를 피드백하며, (1)과 같이 표현된다.

$$u = kp(yd - y) - kvv - kaa \tag{1}$$

- u : control input
- y_d : target position
- y : table position
- kp : position gain
- v : table velocity
- a : table acceleration
- ka : acceleration gain

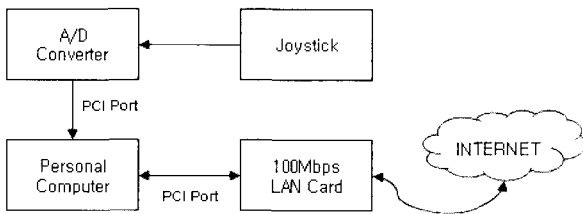


그림 7. 클라이언트 시스템 개략도.
Fig. 7. Diagram of client system.

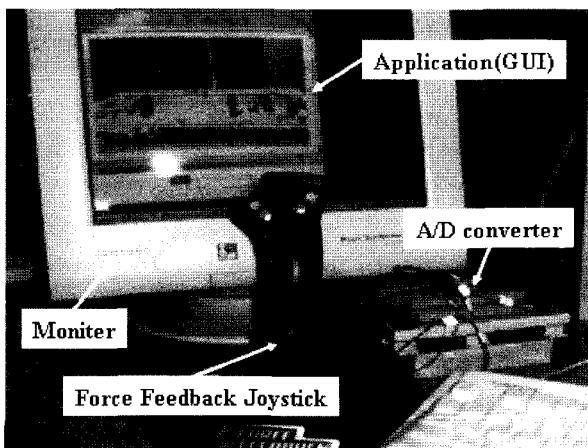


그림 8. 클라이언트 시스템 실물 사진.
Fig. 8. Photograph of the client system.

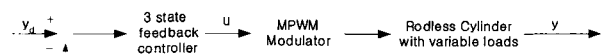


그림 9. 제어 알고리즘 구조.
Fig. 9. Structure of the control algorithm.

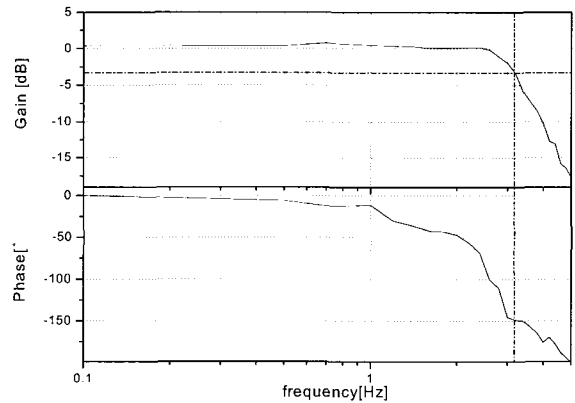


그림 10. 공압 제어 시스템의 보테 선도.
Fig. 10. Bode plot of pneumatic control system.

그림 9는 제어알고리즘의 전체적인 구조를 나타낸다. 제어 입력 값 u는 테이블의 위치, 속도 및 가속도의 상태변수로부터 계산되고, 개폐식 밸브를 동작시키기 위한 수정된 펄스폭변조 (Modified Pulse Width Modulation, 이하 MPWM)신호로 변환된다.

본 논문에서는 (2)에 나타난 MPWM방식을 사용하여 밸브를 제어한다.

$$U_{MPWM}(t) = \begin{cases} \text{sign}(U_0)|U_0| & (k-1)T \leq t \leq (k-1)T + t_p(kT) \\ 0 & (k-1)T + t_p(kT) \leq t < kT \end{cases}$$

$$t_p(kT) = \begin{cases} t_s(kT) & 0 < t_s(kT) < T \\ T & t_s(kT) \geq T \end{cases} \tag{2}$$

$$t_s(kT) = \begin{cases} \frac{|U(kT)|}{U_{max}} T + t_{DZ} & 0 < |U(kT)| \leq U_{max} \\ T & |U(kT)| > U_{max} \end{cases}$$

- U_{MPWM} : MPWM output
- U₀ : valve open order
- t_p : valve ON duty for one MPWM cycle
- t_s : shifted valve ON duty for one MPWM cycle
- t_{DZ} : valve dead time
- T : MPWM cycle
- t : time
- U_{max} : saturated control input for MPWM modulator
- k : Discrete sequence

또한 초기이송속도를 크게 하기 위하여 각각의 입/출구 측에 동일한 2개의 밸브를 사용한다.

그림 10은 상태제어제어기와 MPWM 방식을 채택한 로

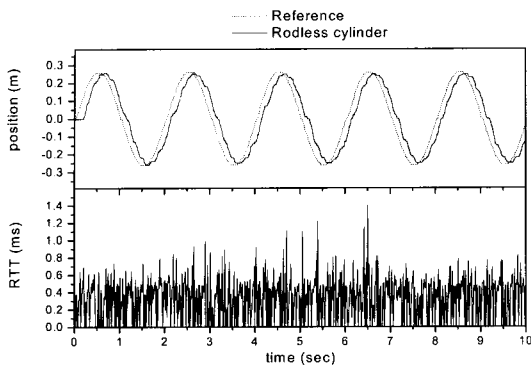


Fig. 11. Transmitted and received sine wave(0.5Hz) and RTT(10m).

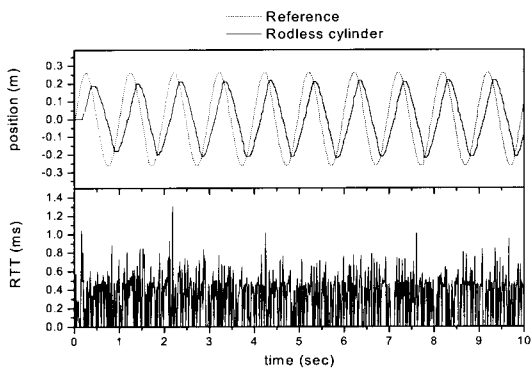


Fig. 12. Transmitted and received sine wave(1Hz) and RTT(10m).

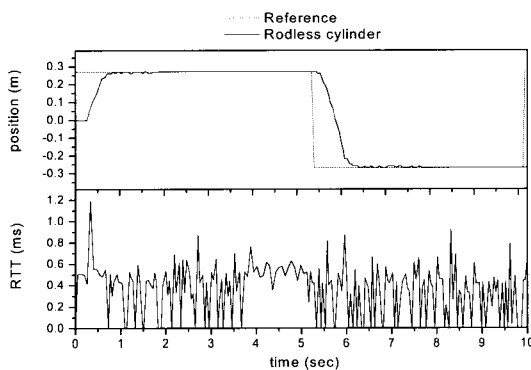


Fig. 13. Transmitted and received square wave(1Hz) and RTT(10m).

드리스 실린더의 보데 선도 (Bode plot)를 나타내고 있으며, 이 시스템의 대역폭은 약 3[Hz] 임을 알 수 있다.

V. 실험 결과

본 실험에서는 이런 임의의 신호에 대하여 라운드 트립 타임(RTT)을 측정함으로써 원격제어 시스템에서 전송 제어 프로토콜(TCP)의 사용이 실시간 제어에 있어서 유용함을 증명하고자 한다.

실험은 지역 네트워크(local network)와 외부 네트워크

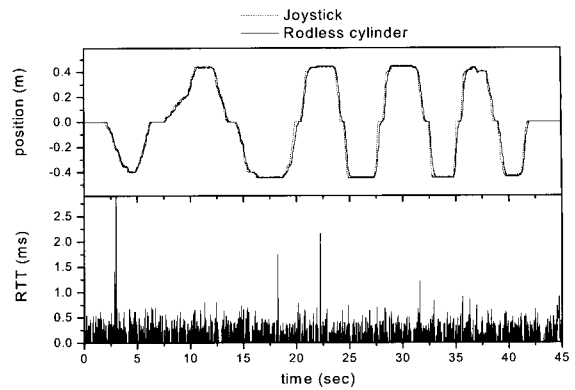


Fig. 14. Joystick command and response of rodless cylinder and RTT.

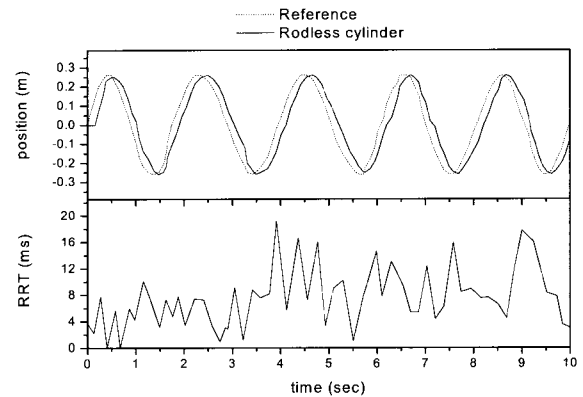


Fig. 15. Transmitted and received sine wave(0.5Hz) and RTT(50km).

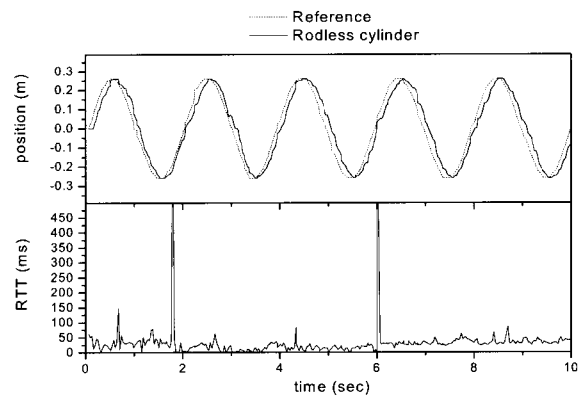


Fig. 16. Transmitted and received sine wave(0.5Hz) and RTT (450km).

(external network)에서 수행한다. 그리고 입력 신호는 임의로 0.5Hz, 0.1Hz의 정현파(sine wave)와 구형파(step wave)를 발생하고 서버(server)와 클라이언트(client)간의 거리는 각각 10m, 50km, 450km로 한다. 그리고 네트워크 속도를 측정함에 있어서는 라운드 트립 타임(RTT : Round Trip Time)을 사용한다[2]. 라운드 트립 타임은 클라이언트(client)에서 특정 데이터를 서버(server)로 전송하면 이를 서버에서 받아 다시 클라이언트로 전송하게 되고 결국 전송된 데이터는 다시 클라이언트로 되돌아 오게 된다. 이때 데이터가 클라

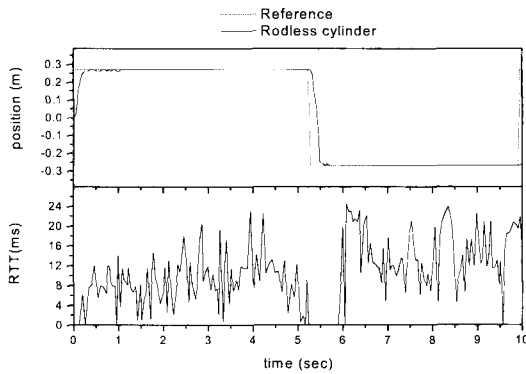


Fig. 17. Transmitted and received square wave(1Hz) and RTT (50km).

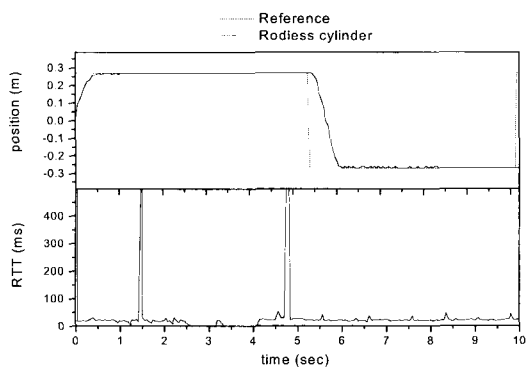


Fig. 18. Transmitted and received square wave(1Hz) and RTT (450km).

이언트에서 서버로 갔다 돌아 오는데 걸리는 시간을 의미한다.

그림 11-14는 지역 네트워크(local network)에서 실험한 결과이고, 외부 네트워크(external network)에서 실험한 결과는 그림 15-18에 나타내고 있다. 여기서 지역 네트워크나 외부 네트워크의 결과는 차이가 없음을 알 수 있다. 특히 그림 14는 실제 조이스틱을 사용하여 실험한 결과이다.

라운드 트립 타임(RTT)의 실험 결과를 정리하여 표 1에 나타내고 있다. 이 표에서 서버(server)와 클라이언트(client) 간의 거리가 멀어짐에 따라 라운드 트립 타임(RTT)이 증가하지만 실시간 제어를 하는데 있어서 충분하다. 다만 서로 간의 데이터를 주고받는 속도에 차이가 나기 때문에 주고 받는 데이터의 양이 다르다. 즉, 거리가 멀어질수록 네트워크 시간 지연(network time delay)이 커지므로 한정된 시간 동안 서버(server)와 클라이언트(client)간 주고 받는 데이터 양은 줄어 든다. 정현파(sine wave) 및 구형파(step wave) 입력에서 라운드 트립 타임(RTT)의 양이 다른 것은 기본적으로 이 실험에 사용한 프로그램이 시간에 기초하지 않고 시간 지연(network time delay)이 발생해도 장치에는 아무런 지장을 주지 않는 것을 알 수 있다. 그 이유는 순간적인 시간 지연이 있어 데이터가 늦게 도착하더라도 서버와 통신하는데 있어서 즉각적인 입력과 출력에 기초하고 있기 때문

표 1. 라운드 트립 타임(RTT).

Table 1. Round Trip Time.

Host	Location	Distance (km)	Average RTT (ms)
1	Local	0.01	0.328
2	Different City	50	8.933
3	Different City	450	23.698

에 가상의 입력신호를 발생시키는 컴퓨터의 연산에 기인하여 라운드 트립 타임(RTT)의 양이 다를 수 있다.

실험결과에서 볼 수 있는 또 하나의 특징은 서버 시스템은 클라이언트로부터 하나의 위치 목표 데이터를 받고 10ms 단위로 위치제어를 수행한다. 그리고 이 명령이 완료되기 전 클라이언트로부터 그 다음 데이터를 받게 되면 받은 데이터는 무시되고 가장 마지막에 받은 위치 목표 데이터를 다음 위치 목표로 선정하여 서보제어를 하므로, 원격 서보제어를 충분히 구현할 수 있었다.

VI. 결론 및 고찰

본 논문에서는 실시간 제어의 제한 요소인 네트워크 시간 지연 현상(network time delay)과 프로그램 개발의 어려움, 데이터 손실에 대한 해결 방안으로 초고속 인터넷 망의 사용과 사바 언어의 사용, 그리고 인터넷 통신 방법에 있어서 전송 제어 프로토콜(TCP)을 사용함으로써 웹 기반의 원격 공압 서보제어 시스템을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 공압 로드리스 실린더에 적용하여 실험한 결과 450km의 거리에서 0.023초 정도의 RTT 실험 결과를 얻었고, 이는 실시간 제어에 충분한 성능이라고 볼 수 있다. 또한 본 논문에서 사용한 사바 언어는 프로그래머(programmer)가 타(他) 언어에 비해 쉽게 응용프로그램을 구현할 수 있고 네트워크를 위해 개발된 언어이기 때문에 인터넷 제어 시스템에 매우 적합한 언어임을 통신 알고리즘과 실험 결과를 통해서 입증되었다.

본 논문에서 제안한 인터넷 제어 시스템은 원격 제어 시스템뿐만 아니라 네트워크 게임이나 실시간 중계 서비스 같은 응용프로그램이나 시스템 설계 시에도 많은 참고가 될 수 있다. 뿐만 아니라 앞으로 임베디드 시스템을 이용한 건설 중장비의 원격제어에도 응용할 계획이다.

참고문헌

- [1] korea.internet.com, [Online], Available: "http://korea.inte-rnet.com/".
- [2] R. Oboe, "Web-Interfaced, Force-Reflecting Teleoperation Systems", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 48, no. 6, pp. 1257-1265, December 2001.
- [3] P. Fiorini and R. Oboe, "Internet-based telerobotics: Problems and approaches", *Int. Conf. Advanced Robotics(ICAR'97)*, Monterey, CA, 1997.
- [4] O'Reilly [Online]. Available: http://www.oreilly.com/, Keyword: TCP.
- [5] Sun Microsystems, [Online], Available: http://java.sun.com.
- [6] N. Xi and T.J. Tarn, "Stability analysis of non-time refer-

- enced Internet-based telerobotic systems”, *Robotics and Autonomous Systems* 32, pp. 173-178, 2000.
- [7] S. You, T. Wang, R. Eagleson, C. Meng and Q. Zhang, “A low-cost internet-based telerobotic system for access to remote laboratories”, *Artificial Intelligence in Engineering* 15, pp. 265-279, 2001.
- [8] J. Y. Choi, J. M. Choi and J. W. You [Book]. “For programmers Java 2™”.
- [9] S. Stojanovski, M. Gagnaire and R. Hoebeke, “Providing GFR guarantees for TCP/IP Traffic over APON Access system”, *NETWORKING 2000*, LNCS 1815, pp. 49-60, 2000.
- [10] S. K. Chin and R. Braun, “A Survey of UDP Packet Loss Characteristics” *Singles, Systems and Computers, 2001*, vol. 1, pp. 200-204, 2001.
- [11] S. Yilmaz and I. Matta, “On Class-based Isolation of UDP, Short-lived and Long-lived TCP Flows”, *Proceedings. Ninth International Symposium on Modeling, Analysis and simulation of Computer and Telecommunication Systems*, pp. 415-422, 2001.
- [12] S. K. Jung, G. Y. Hwang, Dongwook Lee and Changhwan Oh, “A New Traffic Conditioner for Guaranteeing Throughput Fairness of Assured Services in a Differentiated Service Network”, *International Conference on ATM(ICATM 2001) and High Speed Intelligent Internet Symposium*, pp. 97-101, 2001.
- [13] J. Sanchez, F. Morilla, S. Dormido, J. Aranda and P. Ruiperez, “Virtual and remote control labs using Java: a qualitative approach”, *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 22, no. 2, pp. 8-20, April 2002.
- [14] R. Vivanco and N. Pizzi, “Computational performance of java and c++ in processing large biomedical datasets”, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, pp. 691 -696, 2002.
- [15] D. Hardin, M. Frerking, P. Wiley and G. Bollella, “Getting down and dirty: device-level programming using the real-time specification for java”, *Proc. of fifth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC 2002)*, pp. 457-464, 2002.
- [16] J. Gosling, B. Joy, G. Steele and G. Bracha, “The Java Language Specification”, second edition, Addison Wesley, 2000.
- [17] T. Lindholm and F. Yellin, “The Java Virtual Machine Specification”, second edition, Addison-Wesley, 1999.
- [18] S. Munir and W. J. Book, “Internet-Based Teleoperation Using Wave Variables With Prediction”, *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, vol. 7, no. 2, pp. 124-136, 2002.
- [19] N. Seelam, P. Sethi and W.-C. Feng, “A Hysteresis Based Approach for Quality, Frame Rate and Buffer Management for Video Streaming Using TCP”, *MMNS 2001*, pp. 1-15, 2001.
- [20] R. H. Weston, P. R. Moore, T. W. Thatcher “Computer controlled Pneumatic Servo Drives”, *Proc. Inst. Mech. Engrs.* vol. 198B, no 14, pp. 225-231, 1984.
- [21] A. Klein. “Einsatz der Fuzzy-Logik zur Adaption der Positionsregelung fluidtechnischer Zylinderantriebe,” dissertation. RWTH Aachen, 1993.
- [22] 황웅태, 최서호, 이정오, “개폐식밸브를 사용한 공기압 서보시스템의 효율적 밸브 개폐방법에 관한 연구”, *한국정밀공학회지*, vol. 15, no. 1, pp. 109-116, 1998.
- [23] 박태현, 강근택, 이원창, “인터넷을 이용한 이동로봇의 원격 운용 시스템”, *제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지*, vol. 8, no. 3, pp. 270-274, 2002.
- [24] 홍순혁, 이상현, 전재욱, 윤지섭, “웹 기반 로봇 시뮬레이터”, *제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지*, vol. 7, no. 3, pp. 256-262, 2001.



박철오

1976년 12월 3일생. 2003년 울산대학교 기계자동차공학부 졸업. 2002년 10월~현재 2002년~현재 (주)이엠씨소프트 재직중. 관심분야는 임베디드 시스템, 원격제어, 무선통신.



안경관

1966년 12월 16일생. 1990년 서울대 기계공학과 졸업. 1992년 한국과학기술원(석사). 1999년 일본동경공업대학 정밀기계시스템(박사). 1992년~1995년 삼성중공업연구원. 1999년~2000년 2월 일본 동경공업대학 정밀공학연구소 객원연구원. 2000년 3월~현재 울산대학교 기계자동차공학부 조교수. 관심분야는 유공압시스템, 원격/강인제어, 기능성 유체를 이용한 지능제어.



송 인 성

1974년 4월 3일생. 울산대 기계자동차
공학부 졸업(2000). 2002년 울산대학교
기계자동차공학부(공학석사). 2003년~
현재 (주)시블레이션테크 재직중. 관심
분야는 관심분야는 유공압제어, 원격
제어, 임베디드 시스템.