

네트워크 시간지연 모델링에 관한 연구

백순필*, 이기성
 홍익대학교 전기제어공학과

A Study on the Modeling of Network Time Delay

Soonpill Baek*, Keeseong Lee
 Dept. of Electrical & Control Eng. Hongik Univ.

Abstract - Recently the control using internet is investigated to realize the remote control independent of place and platform. But this approach also has several problems caused by the irregular network time delay between the server and client. The experiment results using least square estimation are presented to show the effectiveness of the proposed algorithm.

1. 서론

최근 원격제어에 관한 연구는 마이크로 프로세서, 통신 시스템, 소프트웨어 공학 등의 급속한 발전으로 인하여 활발한 연구가 되어지고 있는 분야이다. 현재 네트워크 망을 이용한 원격제어가 활발하게 연구되고 있는데, 그중 인터넷과 JAVA를 이용한 원격제어는 가장 큰 문제점으로 제기되었던 원격 제어하는 장소와 로봇간의 전용라인의 문제를 극복했으며, 인터넷이 설치되어 있는 어느 곳에서도 제어 가능하도록 하였다. 또한 기존의 문제점으로 되어 왔던 IBM호환기종 중심의 원격제어에서 벗어나, 서로 다른 기종의 컴퓨터에서도 원격제어가 가능하도록 하고, 분산제어의 도입으로 원격지 컴퓨터의 부담을 줄여, 특히 NC(Network Computer)에서도 그 역할을 충분히 발휘할 수 있도록 JAVA를 이용한 원격제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3,4,5].

이러한 원격제어에서 피할 수 없는 문제점은 바로 네트워크 시간 지연에 의한 문제들이다. 시간 지연이 커진다면 클라이언트에서 받은 정보는 사용자가 명령을 내리기에는 신용도가 떨어지게 된다.

본 논문에서는 로봇의 원격제어에서 피할 수 없는 네트워크 시간 지연을 고려하여 사용자가 정확한 로봇의 제어를 할 수 있는 환경을 제공한다. 이것은 네트워크 시간 지연의 특성을 파악, 분석함으로써 가능케 된다.

2. 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 시스템은 크게 클라이언트와 서버, 이동로봇의 3부분으로 나눌 수 있다. 이에 대한 전체적인 개념은 그림 1에 나타나 있다.

제어할 이동로봇은 무선통신을 이용하여 서버와 연결되어 있고 CCD 카메라가 장착되어 화상정보를 얻을 수 있다. 서버에는 로봇과 무선통신을 하며, 인터넷에 연결된 웹서버가 있으며 사용자에게 보낼 로봇 제어용 프로그램을 가지고 있다. 클라이언트에는 웹 브라우저(Web Browser)가 설치되어 있고, 클라이언트와 서버간에는 웹상에서 연결되며 클라이언트에서 보내는 데이터는 사용자의 명령이며, 서버에서 클라이언트로 보내는 데이터는 로봇의 위치와 로봇이 획득한 영상을 압축한 데이터이다.

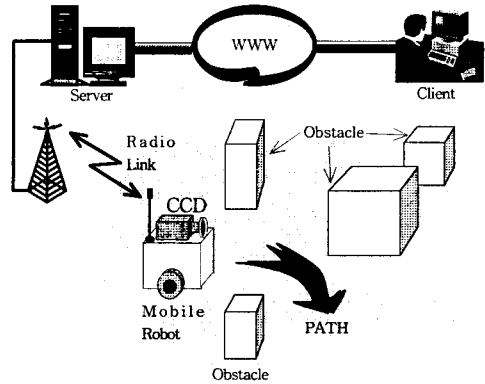


그림 1. 전체적인 시스템 개념도

3. User Interface

작업자가 제어를 목적으로 서버에 접속할 경우 클라이언트로 제어 프로그램이 다운로드 된다. 이 때 전송되는 파일은 VRML 파일과 JAVA 애플릿 파일이 된다.

VRML은 상호 대화적인 3D Object와 세계를 표현하기 위한 파일포맷이며, VRML과 JAVA의 연계적인 활용에는 EAI(External Authoring Interface)의 사용이 필수적인데 이 EAI는 VRML세계와 HTML 문서에 있는 JAVA 애플릿과의 인터페이스를 제공하는 것이다.

이러한 VRML세계와 JAVA간의 인터페이스를 통해서 보다 동적인 표현이 가능하며, 클라이언트 프로그램에서는 로봇의 모델링과 제어의 구현을 위해 이를 사용한다.

만약 네트워크 시간 지연이 매우 크며 지속된다면 서버에서 보내온 정보들은 클라이언트 쪽에 도착할 즈음 이미 쓸모 없게 될 것이다. 이 사실은 두 가지 문제를 관리자에게 가져온다. 하나는 관리자가 쓸모 없는 정보로서 제어의 결정을 한다는 것이며, 다른 하나는 관리자의 명령이 또한 지연되어 계속 귀환된다면 이는 정확한 제어를 불가능하게 할 것이며, 장기적으로는 관리자에게 스트레스를 유발시킬 것이다. 이러한 문제를 극복하기 위해 클라이언트에서는 또 다른 예측된 정보를 제공한다. 이것은 세 가지 정보에 의해서 현재의 Robot의 상황을 예측한다.

- a. 최근에 받은 데이터 : 서버에서 제공된 마지막 정보
- b. 네트워크 시간 지연의 내역 : RTP에 의해 주어진 것
- c. 마지막 명령 : 서버에서 제공된 마지막 정보에 대해 관리자가 내린 명령

이러한 예측되어진 로봇의 상태 정보 즉각적으로 사용자에게 제공되고 사용자는 예측되는 로봇의 현재 상태에 따라서 더욱 정확한 로봇의 제어를 할 수 있다.

4. Server

서버는 클라이언트의 접속을 위한 웹서버와 클라이언트에서 전송된 데이터를 처리하는 인터페이스 서버로 구성된다. 클라이언트의 웹서버로의 접속이 이루어지면 웹서버는 클라이언트로 제어 프로그램을 전송하게 되고, 이후의 통신의 제어는 인터페이스 서버가 관장한다. 인터페이스 서버는 JAVA Application으로써, 전달된 명령을 받고 분석하여 Robot에게 보내는 것과 현재 로봇의 상태정보와 로봇의 카메라로 입력된 화상 이미지를 압축하여 클라이언트에게 보내는 것이다.

5. 네트워크 시간 지연을 고려한 모니터링

5.1 전송 시간 지연

그림 2는 클라이언트에서 서버로 로봇의 동작에 필요한 데이터 전송시 발생 가능한 시간 지연 구간이다. 시간지연 계산은 우선 클라이언트의 애플릿에서 이벤트가 발생하면 이것이 통신 디바이스와 네트워크 구간 B를 거쳐 Server의 Java Application인 인터페이스 서버로 전송되고, 인터페이스 서버에서 무선통신 장치를 통해 로봇에게 전달된다. 여기서 Echo를 받아 왔던 구간을 다시 되돌아가게 된다.

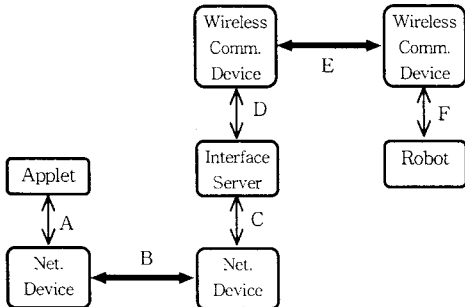


그림 2. 시간 지연 구간

5.2 로봇의 위치 예측

그림 2에서 B를 제외한 모든 구간은 측정 가능한 값으로 일정한 상수로 놓을 수 있으나 네트워크 시간 지연 값인 B는 매우 임의적인 값을 갖는다. 이런 값을 예측하여 알 수 있다면 전체 전송 시간 지연 값을 계산하여 사용자에게 예측되는 로봇의 정보를 제공할 수 있다.

예를 들어 클라이언트에서 로봇에게 표 1과 같이 시간에 따라 순차적으로 명령을 내린다면,

표 1. 사용자의 시간에 따른 명령 회전R=오른쪽 회전

시간(t=초)	0	1	2	3	4	5
명령	전진	회전R	전진	전진	회전R	전진

가정 : 클라이언트에서 로봇사이의 시간지연 : 0.5초
 로봇의 격자당 이동시간(직선 대각선 동일) : 1초
 로봇의 회전시간(45도) : 1초
 각 명령은 지속적
 모든 전송상의 손실은 없음

서버에서 로봇의 시간에 따른 움직임은 그림 3과 같고, 이때 클라이언트에서 실제로 보여지는 로봇의 위치정보는 그림 4처럼 나타날 것이다.

그림 4에서와 같이 클라이언트에서는 전송 시간 지연을 고려하여 현재까지 로봇에 내린 명령에 따른 로봇의 예상 위치(그림에서 점선으로 표현)에 관한 정보도 함께 제공되어진다.

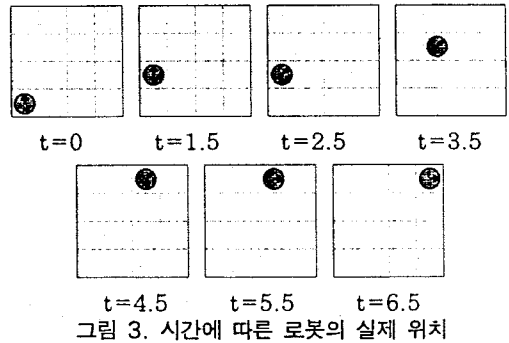


그림 3. 시간에 따른 로봇의 실제 위치

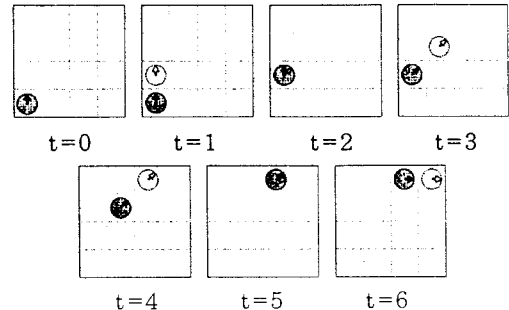


그림 4. 클라이언트에서의 로봇의 위치 정보

위의 예의 경우 네트워크의 지연 시간이 일정하다는 가정이지만 실제로는 변화하는 값이므로, 이를 예측하여 보다 근접한 로봇의 정보를 사용자에게 제공한다면 정확하고 빠른 로봇의 제어가 가능할 것이다.

이를 위하여 본 논문에서는 현재의 네트워크의 지연 시간의 예측된 값과 현재까지 로봇에게 내린 사용자의 명령을 함께 분석하여 예측된 로봇의 위치를 제공한다.



그림 5. 클라이언트 프로그램

5.3 네트워크 시간 지연 예측

본 논문에서는 네트워크 시간 지연 값을 예측하기 위한 방법으로 최소제곱법을 사용하였다. 최소제곱법은 주어진 데이터의 점들로부터 가장 근사한 곡선(혹은 직선)을 찾는 방법으로 알려져 있다.[1, 6]

시간(x)에 따른 네트워크 지연 값(y)을 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 이라 하자. 이때, 가장 근사한 곡선을 찾는 것은 가능한 주어진 데이터의 값과 오차가 가장 작은 함수 $y=f(x)$ 를 찾는 것이다. 이러한 함수의 차수가 k차라면 x값과 y값 사이의 관계는 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = d_1x^k + d_2x^{k-1} + \dots + d_kx + d_{k+1} \quad (1)$$

식(1)에서 n 개의 주어진 데이터의 점들을 대입하면 미지수가 d_1, d_2, \dots, d_{k+1} 인 연립방정식 (2)를 얻는다.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= d_1 x_1^k + d_2 x_1^{k-1} + \dots + d_k x_1 + d_{k+1} \\
 y_2 &= d_1 x_2^k + d_2 x_2^{k-1} + \dots + d_k x_2 + d_{k+1} \\
 &\vdots \\
 y_n &= d_1 x_n^k + d_2 x_n^{k-1} + \dots + d_k x_n + d_{k+1}
 \end{aligned} \quad (2)$$

(2)식을 Matrix 형태로 정리하면.

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} x_1^k & x_1^{k-1} & \dots & x_1 & 1 \\ x_2^k & x_2^{k-1} & \dots & x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_n^k & x_n^{k-1} & \dots & x_n & 1 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{k+1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$Y = VP, V^T Y = V^T VP, (V^T V)^{-1} V^T Y = P$ (4)을 얻는다. 만일 x_1, x_2, \dots, x_n 의 값 중 서로 다른 것이 $k+1$ 개 있다면, $|V^T V| \neq 0$ 이므로 정규시스템 $V^T VP$ 는 유일한 해 $P = (d_1, d_2, \dots, d_{k+1})$ 를 갖는다. 이때 이 계수를 갖는 k 차 다항식이 바로 가장 근사한 곡선의 방정식이다.

6. 실험 및 검토

본 논문에서는 네트워크 지연 시간 예측에 관하여 실험을 하였다. 예측에는 최소제곱법을 사용하였다.

서버는 203.249.83.*(홍익대학교 제어실험실)에 클라이언트는 152.63.50.*(San Jose, CA, USA)에 있고 수신된 Packet을 받는 즉시 송신을 하도록 하였다.

전송시간은 32bytes의 Packet을 송신하여 다시 수신할 때까지 걸리는 시간이며, 서버(GMT+9)기준 오전 3시, 오전 11시, 오전 7시로 3가지의 시간대로 나누어 200번씩 송수신한 결과를 측정하였다. 실험을 위해서 처음 100개의 데이터를 이용하여 101번째부터 200번째까지의 데이터를 1차, 2차, 3차의 최소 제곱법을 사용하여 지연 시간을 예측하여 실제 지연 시간과의 오차를 구하였고, 비교를 위해서 선행 값을 그대로 예상 값으로 사용한 방법을 사용하였다.

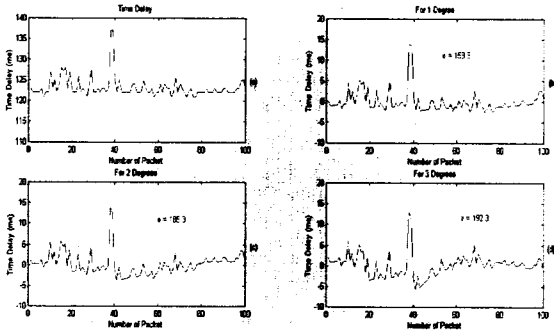


그림 6. 오전 3시인 경우, 각 차수에 따른 오차

표 2. 오전 3시인 경우, 오차 비교

방법	1차	2차	3차	선행값 사용법
오차(%)	1.29	1.50	1.56	1.29

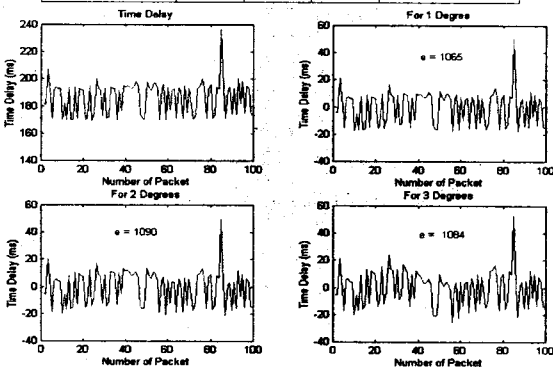


그림 7. 오전 11시인 경우, 각 차수에 따른 오차

표 3. 오전 11시인 경우, 오차 비교

방법	1차	2차	3차	선행값 사용법
오차(%)	5.71	5.85	5.82	7.21

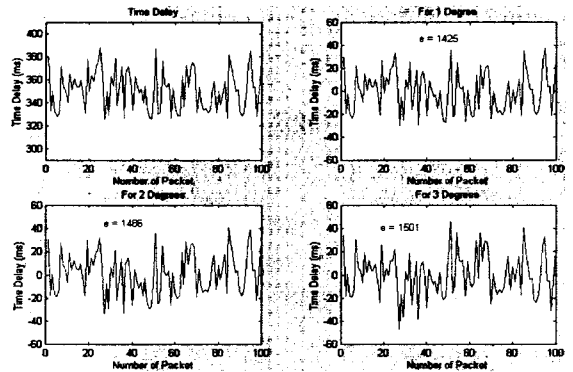


그림 8. 오후 7시인 경우, 각 차수에 따른 오차

표 4. 오후 7시인 경우, 오차 비교

방법	1차	2차	3차	선행값 사용법
오차(%)	4.05	4.23	4.27	5.12

오전 3시의 경우에는 제한한 예측법이 선행값 사용법보다 1차를 제외하곤 나쁘게 나오지만, 오전 11시의 경우나 오후 7시의 경우는 모두 제한한 예측법이 선행값 사용법보다 우수하게 나오고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 인터넷의 웹 브라우저를 이용, 원격지 이동 로봇 제어를 위한 제반 시스템에서 항상 대두되는 네트워크 시간 지연을 예측하여 예측된 로봇의 정보를 사용자에게 제공함으로써 비교적 정확한 모니터링 및 제어를 할 수 있도록 구현하였다. 이러한 네트워크 시간지연 예측에는 선형회귀의 방법의 하나인 최소제곱법을 제시하였고, 실험을 한 결과 제안하는 방법의 효율성을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. Porat, "Digital Processing of Random Signals," Prentice Hall, 1994.
- [2] F. Monterio, P. Rocha, P. Menezes, A. Silva, J. Dias, "Teleoperating a Mobile Robot," Proc. of the IEEE ISIE, Vol. 1, 1997.
- [3] Malinowski A., Konetski T., Davis B., Schertz D., "Web-Controlled Robotic Manipulator using Java and Client-Server Architecture," Proc. of the IEEE IES(IECON'99), Vol. 2, pp. 827-830, 1999.
- [4] 윤병준, "플랫폼에 독립적인 로봇 매니퓰레이터의 네트워크 시간 지연을 고려한 모니터링 및 원격제어에 관한 연구", 홍익대학교 석사학위논문, 12, 1999.
- [5] 김상문, "거리변환과 VHF를 이용한 로봇의 장애물 회피", 홍익대학교 석사학위논문, 12, 1997.
- [6] G. Strang, "Linear Algebra And Its Applications," 3rd Edition, Harcourt Brace & Company I.E. 1988.