

# 직접 명령 방식 인터넷 로봇 시스템의 거리 오차 보상

이강희<sup>†</sup> · 김수현\* · 곽윤근\*

## Distance Error Compensation of Direct Control Type Internet-based Robot System

Kang Hee Lee, Soo Hyun Kim and Yoon Keun Kwak

**Key Words :** Internet-based Robot(인터넷 로봇), Direct Control(직접 명령), PPS(위치 예측 시뮬레이터), Time Delay(시간 지연), VRML(가상 현실 모델링 언어)

### Abstract

This research is concerned with the development of an Internet-based robot system, which is insensitive to the unpredictable Internet time delay. For that purpose, a simple mobile robot system that moves in response to the user's direct control on the Internet has been built. The time delay in data transmission is a big problem for the construction of this kind of system. Therefore, the PPS (Position Prediction Simulator) is suggested and implemented to compensate for the time delay problem of the Internet. The simulation and experimental result show that the distance error can be reduced using the developed PPS.

### 1. 서 론

통신 기술의 발전과 통신망의 확장으로, 일반인들도 어디서나 쉽게 인터넷에 접속할 수 있는 환경이 구축되고 있다. 국내의 경우, 2002년 6월 기준으로 초고속 인터넷 가입자 수가 전체 가구의 64%에 해당하는 921만 가구에 이르며, 인터넷 이용자 수 또한 급격하게 증가하여 전체 인구의 58%인 2,565만 명이 집계되고 있다<sup>(1)</sup>. 인터넷의 급속한 발전과 함께 기존의 웹 사이트를 통한 정보 검색이나 이메일 교환, 파일 전송 외에도 인터넷 자원을 이용한 새로운 응용 방안들이 등장하고 있다. 이미 냉장고, 세탁기, 에어컨 같은 가전 기기들을 하나로 연결하는 홈 네트워킹이나 원격 방법 시스템 등과 같이 기존의 오프라인 장비들을 인터넷을 통하여 통합시키려는 노력들이 실용화되고 있으며, 이러한 응용 방안들 중의 한 분야로서 인터넷을 통하여 원격에 위치한 로봇을 조종하는 인터넷 로봇(Internet-based Robot) 분야에 대한

연구 또한 활발히 이루어지고 있다.

기존의 원격조종(Teleoperation) 시스템에서는 전문가들이 전용 통신회선과 전용 인터페이스를 이용하여 근거리에 위치한 장비를 제어해 왔던 것에 비해, 인터넷 로봇은 인터넷이라는 공용의 통신망을 이용하며 비전문가들도 단말기나 운영 체제의 종류와 상관없이 어디서나 쉽게 접속할 수 있는 환경의 제공을 목적으로 한다. 이러한 인터넷 로봇은 통신망의 경제성, 시스템의 유연성 및 개방성이라는 장점과 함께 데이터 전송의 불확실성, 시간 지연, 보안 문제 같은 단점을 동시에 가지고 있다. 따라서 기존의 원격조종 로봇이 우주, 해저, 원자력 발전소, 재난지역 등의 탐사와 같은 전문적인 분야에 사용되었던 것에 반해, 인터넷 로봇은 아직까지는 완구, 오락, 방법, 안내 등과 같이 대중을 상대로 한 분야에 제한되고 있으나 그 활용분야가 점차 넓어지고 있는 추세이다.

최초의 인터넷 로봇은 1994년에 머큐리 프로젝트를 통해 개발된 원격 발굴 시스템이었다<sup>(2)</sup>. 같은 해에 호주에서는 6층 로봇을 움직여 장난감 블록으로 구조물을 쌓는 시스템이 개발되었다<sup>(3)</sup>. 주행이 가능한 인터넷 로봇에 대한 연구도 이루어졌는데, Xavier 로봇은 원격에서 지정한 건물내의 특정 위치로 자동 주행하여 임무를 수행하도록 개발되

<sup>†</sup> 한국과학기술원 대학원  
E-mail : cbill@kaist.ac.kr  
TEL : (042)869-3252 FAX : (042)869-5201

\* 한국과학기술원 기계공학과

었으며<sup>(4)</sup>, Rhino 로봇은 원격의 사용자가 지정한 전시물로 이동하여 감상할 수 있도록 도와주는 박물관 안내 로봇으로 개발되었다<sup>(5)</sup>. 초기의 인터넷 로봇은 사용자가 원격에서 보내주는 실제 영상 정보를 바탕으로 과제를 입력하면 이에 따른 로봇의 이동 명령들이 결정된 후, 실행되는 간접 명령 방식이었으며, 주행 로봇의 경우엔 경로 계획, 충돌 회피 등을 로봇의 자율성만으로 해결 하였다.

로봇의 주행 경로를 원격에서 사용자가 직접 조종하는 직접 명령 방식으로는 소형 로봇의 속도와 방향을 조종하여 미로를 찾아 가는 시스템<sup>(6)</sup>과 영상 위의 목적 지점을 지정하여 로봇을 주행 시키는 방식의 미술관 안내 로봇<sup>(7)</sup> 시스템이 개발되었다. 이 시스템들은 사용자에게 로봇의 위치나 상태 정보를 제공하는 원격지의 실제 영상이 인터넷을 통하여 전달될 때 시간 지연이 발생한다는 문제 때문에 시간에 영향을 받지 않는 제한된 주행만이 가능하다는 단점을 가지고 있었다.

불확실성을 가진 인터넷을 통한 데이터 전송시의 시간 지연을 보상하기 위한 방안으로 먼저 로봇과 주변 환경에 대하여 특정 시간 후의 위치를 예측하고 이를 원격의 사용자에게 제공하는 연구가 이루어졌는데, 경사면을 굴러 내려오는 공을 받는 로봇 팔을 원격에서 조종하기 위해 이전 영상으로부터 공의 도착 위치를 미리 계산하여 예측하는 시스템<sup>(8)</sup>과, 로봇 팔로 트랙을 돌고 있는 물체를 잡기 위하여 움직이는 물체의 예측 위치를 보여주는 시스템<sup>(9)</sup>이 개발되었으며, 주행 로봇의 위치 정보 손실 및 지연에 대해서 보상하도록 위치를 예측하여 3 차원으로 보여주는 시스템<sup>(10)</sup>도 개발되었다. 이 시스템들은 로봇의 이동 경로 오차는 줄일 수 있었으나, 명령어가 로봇에 도착했을 시점의 로봇 위치에 대한 정보를 사용자가 알 수 없기 때문에 특정 지점에서의 정지와 같은 순간적인 직접 명령은 불가능 하였다.

본 연구의 목적은 로봇정보, 이동명령 같은 데이터의 전송 시 인터넷에서 발생하는 시간 지연 문제에 강인한 인터넷 로봇 시스템의 개발이다. 이미 선행연구를 통하여, 인터넷을 통하여 접속한 사용자가 주어진 OX 퀴즈의 정답 영역으로 원격에 위치한 로봇을 이동 시키는 Fig. 1의 구성을 갖는 인터넷 로봇 시스템을 개발한 바 있다<sup>(11)</sup>. 개발된 시스템은 웹 기반의 사용자 인터페이스를 가지며, 원격지의 실제 영상과 3 차원 가상 영상을 같이 제공하여 초보자도 조종이 편리한 특성을 갖는다. 본 연구에서는 앞서 개발된 인터넷 로봇 시스템에 시간 지연을 보상하기 위한 새로운 방안으

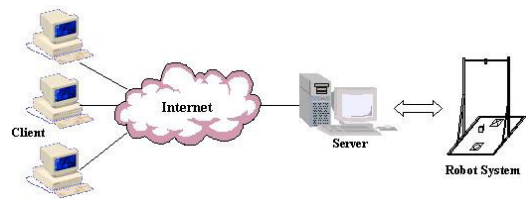
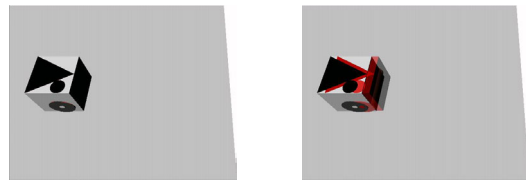


Fig. 1 Configuration of OX quiz robot system



(a) Time delayed image (b) With overlapping image

Fig. 2 Position prediction simulator

로 제안된 위치 예측 시뮬레이터(Position Prediction Simulator, PPS)를 장착하여 직접 명령 방식으로 인터넷 로봇을 조정 할 때 시간 지연 보상이 가능함을 시뮬레이션 및 로봇 주행실험을 통하여 검증하고자 한다.

## 2. 위치 예측 시뮬레이터

인터넷은 특정 회사나 개인이 소유한 네트워크가 아니며, 현재 쓰이고 있는 IP 주소를 이용한 통신 또한 서비스 품질을 보장하지 않는 방식이기 때문에 데이터 전송 시의 시간 지연이 가장 큰 문제점으로 알려져 있다.

본 연구에서는 로봇의 위치를 미리 추정하여 표시하는 위치 예측 시뮬레이터를 개발하여 이러한 문제점을 해결하고자 하였다. 클라이언트측에서 사용자에게 보여지는 위치 예측 시뮬레이터의 화면은 Fig.2와 같다. Fig.2(a)는 원격지의 정보를 그대로 표시하는 기존의 3 차원 가상 영상 화면이며, 위치 예측 시뮬레이터에서는 사용자의 명령이 로봇 측에 도달했을 때를 시점으로 로봇의 위치를 계산하여 3 차원 가상 영상 위에 반투명으로 첨가시킨 Fig.2(b)의 화면을 사용자에게 보여주게 된다. 이 때 로봇의 위치를 예측 계산하기 위하여 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$P_p = P_{g(i)} + (2T_{t(i)} + T_p)v_r \tag{1}$$

$$\text{이때, } T_{t(i)} = T_{t(i-1)} + \Delta T_{c(i-1)} - \Delta T_{s(i-1)}$$

$P_p$ 는 예측된 로봇의 위치이며,  $P_{g(i)}$ 는 서버에서 주어진  $i$  번째의 로봇 위치이다.  $P_p$ 는 서버와 클라이언트 간의 왕복 인터넷 전송 시간  $2T_{t(i)}$ 와 기측

정된 시스템 처리시간  $T_p$  및 주행 로봇의 고정 속도 값  $v_r$ 로부터 계산된다. 여기에서  $T_{i(i)}$ 는 이전 단계의 시간 지연  $T_{i(i-1)}$ 과 클라이언트 및 서버에서의  $i$  번째와  $(i-1)$  번째의 시스템 시간 차이 값인  $\Delta T_{C(i-1)}$ ,  $\Delta T_{S(i-1)}$ 로부터 계산 되어진다. 이 식에 의해 예측한 위치를 계산하기 위한 흐름도는 Fig. 3 과 같다.

본 시스템에서는 10 초에 한번씩 서버와 클라이언트간의 인터넷 전송 시간을 측정하여 사용하고, 그 사이에는 서버와 클라이언트의 시스템 시간 차이를 비교하여 인터넷 전송 시간을 변화시킨다. 이를 위하여, 서버에서 클라이언트 부로 로봇의 위치 정보와 함께 서버 시스템에서의 시간 차이 값을 같이 보내준다.

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 직접 명령과 간접 명령 방식

Hirukawa 등은 인터넷 로봇을 조종하기 위한 방식을 직접 명령(Direct Control)과 간접 명령(Indirect Control) 방식으로 구분하였다<sup>(12)</sup>. Fig.4 에서와 같이 직접 명령은 진행, 정지, 방향전환과 같은 하위 레벨의 작동을 지시하는 명령 방식이며, 간접 명령은 특정 위치로의 주행, 특정 임무의 수행 같은 상위 레벨의 과제를 지시하는 명령 방식이다. 간접 명령의 경우엔 사용자의 명령이 미리 정해진 이동 계획 등에 따라 단계별로 세분화 된 후, 순차적으로 로봇측에 전달되며, 장애물 회피 등은 로봇의 자율성에 전적으로 의존하게 된다.

#### 3.2 로봇 주행 테스트 조건

본 연구에서는 먼저 직접 명령, 간접 명령, 위치 예측 시뮬레이터를 이용한 직접 명령의 3 가지 방식에 대하여 시뮬레이션을 통한 로봇의 위치 조종성을 비교해 보고자 한다. 시뮬레이션을 위한 로봇의 주행 조건은 Fig. 5 와 같이 로봇이 출발한 후, 3 번 정지하는 방식을 사용하였다. 로봇의 속도는 고정된 60mm/sec 을 가정하였으며 감속 및 가속 구간은 고려하지 않았다. 로봇과 사용자간의 인터넷에서 발생하는 시간 지연은 1 초 이하의 임의(Random) 시간 발생으로 가정하였으며, 시스템의 처리 시간을 0.1 초의 고정 값으로 고려하였다.

#### 3.3 결과

먼저 사용자가 원격지의 정보만을 이용하여, 로봇을 조종하는 직접 명령의 결과는 Fig.6(a)와 같다. 이 경우, 로봇은 예정된 위치보다 63.4mm 더 진행하여 멈춘다. 로봇이 정지할 위치를 미리 정

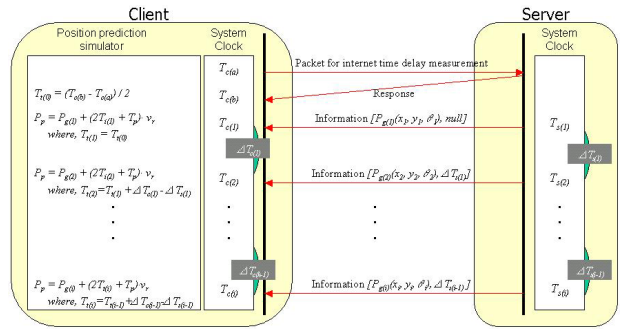


Fig. 3 Schematic diagram of position prediction

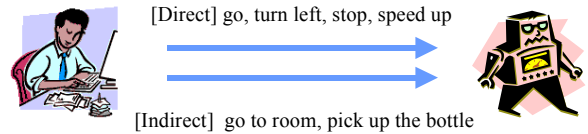


Fig. 4 Direct and indirect control type

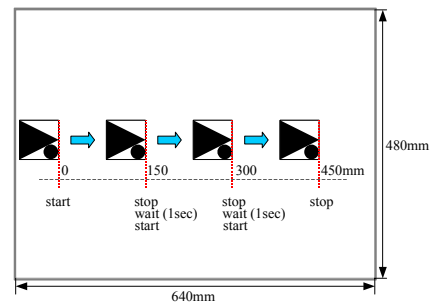


Fig. 5 Condition of robot moving simulation

해 놓은 상태에서, 주기적으로 명령을 보내게 한 간접 명령의 결과는 Fig.6(b)와 같으며, 이 경우 로봇의 정지 거리 오차는 3.6mm 로 매우 작다. 사용자가 클라이언트 측에서 보여지는 위치 예측 시뮬레이터의 화면을 보면서 로봇을 직접 명령으로 조종하는 결과는 Fig.6(c)와 같다. 이 경우 로봇의 정지 거리 오차는 7.7mm 이다.

각 방식에서 로봇의 위치만을 비교한 결과는 Fig.7 과 같다. 직접 명령을 이용한 로봇 조종의 경우 시간 지연에 따른 영향이 크지만, 간접 명령과 위치 예측 시뮬레이터를 사용한 직접 명령의 경우엔 적었다. 이와 같이 위치 예측 시뮬레이터를 이용할 경우, 시간 지연에 강인하면서도 간접 명령의 단점인 장애물 발생시의 대처 등을 직접 해결하는 시스템을 구현할 수 있다.

## 4. 시스템 구성

### 4.1 하드웨어

실험에 사용된 하드웨어는 OX 퀴즈 로봇 시스

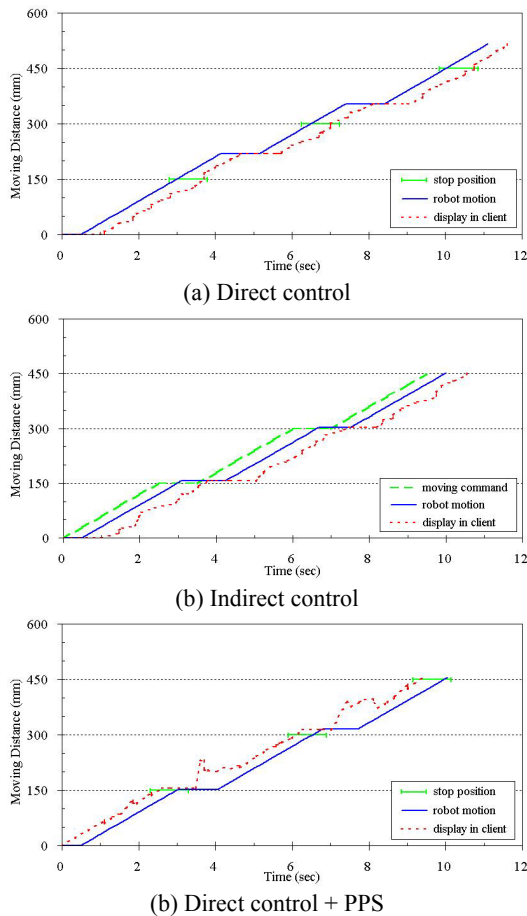


Fig. 6 Simulation results in random delay

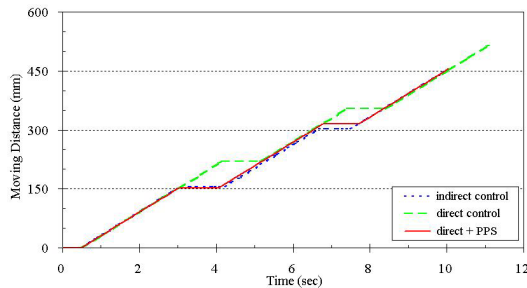


Fig. 7 Robot motion result in random delay

템에서 사용되었던 것과 동일한 구성을 갖는다. 주행 로봇은 Fig.8(a)와 같은 상용 축구 로봇을 사용 하였으며, CCD 카메라는 Fig.8(b)와 같이 Sony 사의 프로그래시브 방식 흑백 카메라인 XC-55 를 사용하였다. 카메라는 초점거리 8mm 렌즈를 장착 하였으며, 별도의 팬-틸트(Pan-Tilt) 조정 기능 없이 경기장 중앙 1,085mm 상부에 고정 설치하였다.

로봇의 주행실험을 위하여 1 픽셀당 1mm 의 해상도를 갖는 주행 경기장을 준비하였다. CCD 카메라에서 받은 640x480 픽셀 크기의 로봇 영상을 고려하여 Fig.5 와 같은 규격으로 제작하였으며, 원활한 거리 측정을 위하여 상면에 모눈종이를 부

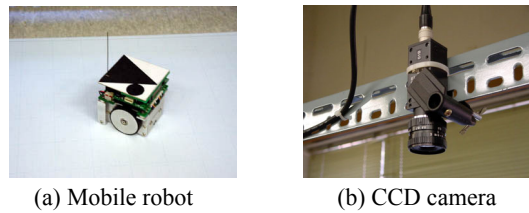


Fig. 8 System environment

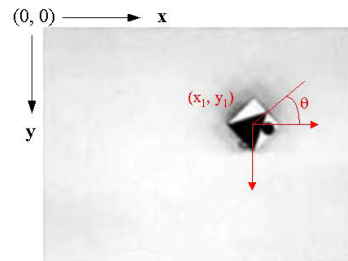


Fig. 9 The coordinate in the image processing

착하였다. 사용된 서버는 1.8GHz 중앙처리장치, 512Mbytes 메모리, Windows 2000 운영체제를 탑재한 개인용 컴퓨터이며 랜 카드를 이용하여 인터넷과 연결하였다. 장착된 프레임 그래픽 보드는 Matrox 사의 Meteor-II 다채널 컬러 포획 방식으로 CCD 카메라에서 받은 영상 신호를 처리 한다. 시리얼 포트에는 로봇과의 데이터 전송을 위한 무선 주파수(Radio Frequency, RF) 송·수신 장치를 연결하였다.

4.2 소프트웨어

서버에서 구동 되는 프로그램은 웹 서버, 로봇 제어, 영상 처리의 3 개 부분으로 구성된다. 웹 서버는 아파치(Apache)로 구축하였다. 자바 어플리케이션(Java Application)으로 구현한 로봇 제어 프로그램은 클라이언트 측에서 구동 되는 자바 애플릿(Applet)과의 통신을 통해 사용자가 입력한 로봇의 이동 및 정지 명령을 전송 받아 지정된 형식으로 변환시켜 로봇 부로 전달하는 동시에 영상 처리 부에서 계산된 로봇의 위치 정보를 클라이언트 측에 전송하는 작업을 수행한다. C++ 언어로 구현한 영상 처리 부는 미리 저장되어 있는 로봇 샘플과의 비교 작업을 통하여 현재 로봇의 위치를 찾는다. 위치 정보는 Fig.9 와 같이 x, y 축 좌표 및 회전 각도  $\theta$ 로 구성된다. 또한 포획한 영상은 JPEG(Joint Photographic Experts Group) 형식으로 압축 변환시켜 저장하며, 클라이언트 부에서 실제 영상을 보여줄 때 사용한다.

사용자 인터페이스 부는 Fig.10 과 같이 실제 영상부, 로봇 조종 부 및 3 차원 가상 화면부로 구성 된다. 실제 영상은 1 초에 한번씩 서버에 저장된

영상을 불러와 보여준다. 자바 애플릿으로 구현된 로봇 조종 부는 사용자의 입력에 따른 로봇 이동 및 정지 명령을 서버 측의 자바 어플리케이션 프로그램에 전달하는 동시에 서버 측으로부터 받은 로봇의 위치 정보를 전송 받아서 3 차원 가상 화면부에 넘겨주는 역할도 담당한다. 자바와 3 차원 가상 화면부 간의 통신을 위하여 EAI(External Authoring Interface) 방식을 사용하였다. 본 연구에서는 서버 측으로부터 별도의 프로그램을 받을 필요가 없이 웹 페이지에서 표현이 가능한 가상 현실 모델링 언어(Virtual Reality Modeling Language, VRML)를 사용하여 3 차원 가상화면을 구현하였다. 로봇과 주변환경의 모습은 미리 정의된 데이터에 의해 표현되며, 로봇의 위치 값을 전송 받으므로 데이터 전송시간이 감소하여 빠른 정보 갱신이 가능하다. 사용자는 이를 통하여 원격지의 시각 정보를 얻게 되며 축소, 확대, 이동, 회전 등 다양한 시점 조절이 가능하다.

5. 정지 거리 오차 실험

5.1 실험 방법

실험을 하기 위하여 Fig.11 과 같이 클라이언트, 서버, 임시 컴퓨터를 동일 랜(LAN)에 연결하였다. 사용자는 클라이언트를 통하여 서버에 접속하여 로봇을 조종하고, 인터넷 상의 트래픽 부하를 바꿔가면서 실험을 하기 위하여 서버 측에서 임시 컴퓨터로 트래픽을 인위적으로 발생시켰다. 이러한 트래픽 발생을 위하여 스니퍼(Sniffer Pro 4.6) 프로그램을 사용하였다. 먼저 임시 컴퓨터에서 서버 측으로 1,472 bytes 크기의 핑(Ping) 명령을 보낸 후 이 패킷(Packet)을 서버측에서 스니퍼를 이용하여 포획하고 이를 복사하여 지속적으로 보내는 방법으로 트래픽을 인위적으로 발생시켰다. 이때 발생하는 패킷의 간격을 조절하는 방법으로 임시 컴퓨터와 서버간의 회선점유율을 변화시켰다.

위치 예측 시뮬레이터의 효율성 여부를 알아보기 위하여, 트래픽을 변화시켜 가면서 주행하는 로봇을 지정된 선에 맞추어 정지 시키는 실험을 실시하였다. 그리고 각 경우에 대하여 로봇과 기준선과의 거리 오차를 측정하고, 로봇의 위치 예측에 사용된 인터넷 전송 시간을 기록하였다.

5.2 실험 결과

클라이언트에서 측정한 서버와의 시간 지연과 거리 오차와의 관계를 표시한 결과는 Fig.12 의 그래프와 같다. Fig.12(a)는 사용자가 정지 명령을 입

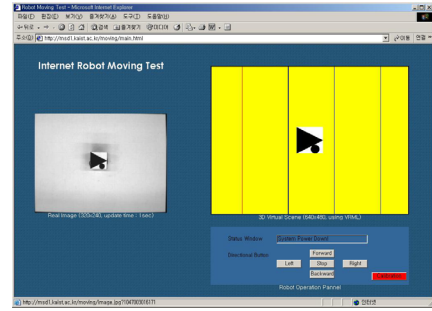


Fig. 10 User interface of the Internet robot

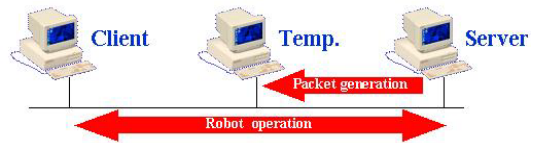
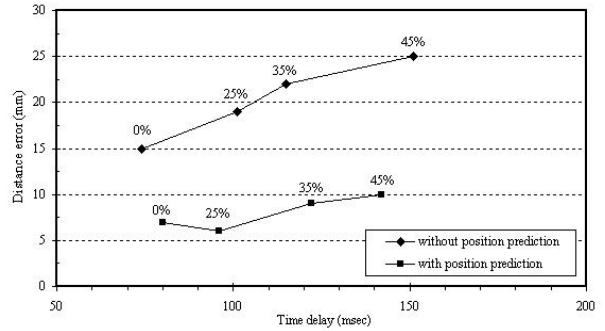
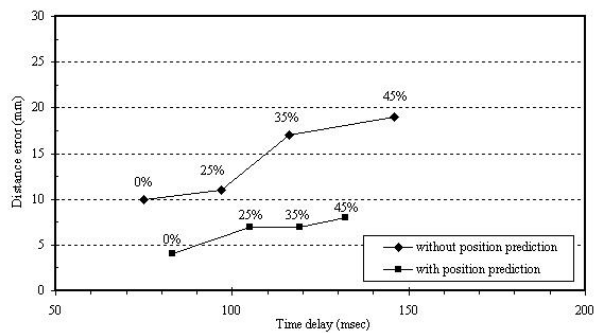


Fig. 11 Robot operation test condition



(a) Manual stop test by user



(b) Automatic stop test by program

Fig. 12 Distance error result

력하여 로봇을 정지시킨 경우이며, Fig.12(b)는 클라이언트 측의 프로그램에서 자동으로 로봇을 정지시킨 결과이다. 먼저 트래픽을 발생시켜 회선 점유율을 0, 25, 35, 45%로 변화시켜 가면서 위치 예측 시뮬레이터를 적용하기 전과 후에 로봇이 정지한 위치의 거리 오차와 이 때의 인터넷 시간 지연 값을 측정하였다. 각 점들은 20 회 측정된 평균 값을 나타내며, 거리 오차의 경우 절대값을 평균한 결과이다. 동일한 회선 점유율로 트래픽을 발

생시케도 측정된 시간 지연 값이 같지는 않았는데, 이는 실험을 위한 컴퓨터들이 연결된 랜 상의 트래픽의 영향으로 추정된다. 마름모로 표시된 점은 위치 예측 시뮬레이터를 적용하지 않은 경우이며, 회선 점유율을 0, 25, 35, 45%로 증가시킴에 따라 클라이언트와 서버간의 인터넷 시간 지연이 증가하고, 이에 따른 거리 오차도 증가함을 알 수 있다. 사각형으로 표시된 점은 위치 예측 시뮬레이터를 적용하여 시간 지연을 보상한 경우이며, 트래픽이 증가해도 거리 오차는 크게 증가하지 않았다. 이러한 결과는 수동 혹은 자동으로 로봇을 정지시키는 두 가지 경우에 대하여 동일하게 나타났다. 본 실험에서 트래픽의 회선 점유율을 50% 이상 증가시키는 경우에는 컴퓨터의 과부하로 인하여 정확한 측정값을 얻을 수 없었다. 실험 결과처럼 위치 예측 시뮬레이터를 적용할 경우 인터넷 트래픽이 증가하여도 로봇의 조정 오차를 줄이는 효과가 있음을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 주기적으로 인터넷 상황을 측정하고 로봇의 실제 위치를 예상하여 표시해 주는 위치 예측 시뮬레이터를 개발하여 인터넷에서의 데이터 전송 시에 발생하는 시간 지연 문제를 보상하였다. 시뮬레이션 결과, 위치 예측 시뮬레이터를 이용할 경우 직접 명령의 단점을 보완하여 간접 명령 수준의 정밀한 로봇 조종이 가능함을 알 수 있었다. 또한 실제 로봇 정지 실험을 통한 거리 오차 측정 결과, 개발된 위치 예측 시뮬레이터를 사용한 인터넷 로봇 시스템은 인터넷 트래픽의 변화에 강인한 특성을 보임을 증명하였다.

향후 연구과제로는 먼저 시뮬레이션 결과와 동일한 조건에서의 로봇 주행 실험을 실시해야 하며 스니퍼 프로그램으로 조절할 수 없는 임의의 시간 지연 효과는 서버 부에 시간 지연 함수를 추가함으로써 환경 구현이 가능할 것으로 예상된다. 또한 인터넷에서의 시간 지연이 특정 값 이상 증가하는 경우에는 로봇의 모션을 예측하는 시뮬레이터가 추가되어야 하며, 가변 속도를 가진 로봇의 주행에 대한 실험도 이루어져야 한다.

## 후 기

본 연구는 2003 년도 BK21 사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) Korea Network Information Center, July, 2002, "A survey on the number of Internet users and Internet behavior," <http://www.nic.or.kr/>.
- (2) Goldberg, K., Mascha, M., Gentner, S., Rothenberg, N., Sutter, C., and Wiegley, J., 1995, "Desktop Teleoperation via the World Wide Web," *In Proceedings of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.654~659.
- (3) Taylor, K., Dalton, B., and Trevelyan, J., 1999, "Web-based Telerobotics," *Robotica*, Vol.17, pp.49~58.
- (4) Simmons, R., 1998, "Xavier: An Autonomous Mobile Robot on the Web," *In Proceedings of IEEE/RSJ IROS Workshop on Robots on the Web*, pp.43~48.
- (5) Schulz, D., Burgard, W., Fox, D., Thrun, S., and Cremers, A. B., 2000, "Web Interfaces for Mobile Robots in Public Places," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol.7, No.1, pp.48~56.
- (6) Saucy P., and Mondada, F., 1998, "KhepOnTheWeb: One Year of Access to a Mobile Robot on the Internet," *In Proceedings of IEEE/RSJ IROS Workshop on Robots on the Web*, pp.23~30.
- (7) Maeyama, S., Yuta, S., and Harada, A., 2000, "Experiment on a Remote Appreciation Robot in an Art Museum," *In Proceedings of IEEE/RSJ Intl. Conf. IROS*, pp.1008~1013.
- (8) Tanaka, K., Nakagawa, E., Ito, M., Mizuno, N., Yamada, T., Shimizu, E., and Kagayama, K., 1999, "An Internet-based Tele-robot Environment for a Time Critical Task," *Systems, Man, and Cybernetics, IEEE SMC '99 Conference*, Vol.5, pp.1106~1110.
- (9) Kikuchi, J., Takeo, K., and Kosuge, K., 1998, "Teleoperation System via Computer Network for Dynamic Environment," *In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol.4, pp.3534~3539.
- (10) Schulz, D., Burgard, W., and Cremers, A. B., 1998, "Predictive Simulation of Autonomous Robots for Teleoperation Systems Using the World Wide Web," *In Proceedings of IEEE/RSJ IROS Workshop on Robots on the Web*, pp.31~36.
- (11) Lee, K. H., Kim, S. H., and Kwak, Y. K., 2002, "Development of Internet-based Robot System Using Position Prediction Simulator," *Proceedings of the KAMES 2002 Joint Symposium*, Vol. A, pp.982~987.
- (12) Hirukawa, H., Hara, I., and Hori, T., 2002, *Beyond Webcams: An Introduction to Online Robots*, The MIT Press, Cambridge, pp.61~78.