



웹상에서의 Telerobotics 기술을

이용한 원격 전시 시스템

Distance Exhibition System
using the Telerobotics Technique
on World Wide Web

Distance Exhibition System using the Telerobotics Technique on World Wide Web

KAIST

Advisor : Professor Hyun-Seung Yang

by

Lee Ha-sup

Department of Computer Science

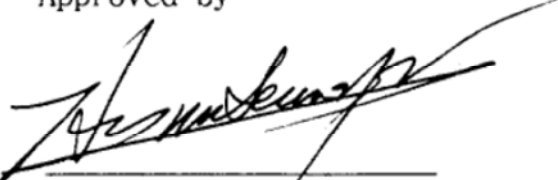
Korea Advanced Institute of Science and Technology

A thesis submitted to the faculty of the Korea Advanced Institute of Science and Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Computer Science.

Taejon, Korea

1996. 11. 30

Approved by



Professor Hyun-Seung Yang
Major Advisor

웹상에서의 Telerobotics 기술을 이용한 원격 전시 시스템

KAIST

이 하 섭

위 논문은 한국과학기술원 석사학위논문으로 학위논문심사 위원회에서
심사 통과하였음.

1996 년 12 월 17 일

심사위원장

양현승



심사위원

김명호



심사위원

이준원



MCS *이하섭. Lee Ha-sup. Distance Exhibition System using the Telerobotics Technique on*
953492 *World Wide Web. 웹상에서의 Telerobotics 기술을 이용한 원격 전시 시스템.*
Department of Computer Science., 1997., 43 pages, Advisor: Prof. Hyun-Seung Yang.

KAIST
ABSTRACT

The World Wide Web (WWW) provides a low-cost and widely-available interface that can make teleoperated resources accessible to anyone with WWW browser. In this study, we have developed a distance exhibition system on WWW using telerobotics technique. Distance exhibition system on WWW is a exhibition system that people can access via computer network using WWW browser and view the articles on exhibition of remote site.

We have designed and implemented architecture of distance exhibition system with intelligent mobile robot. Client program is separated from WWW browser for system extension. Server and client program divided into video image module and control module. Also, we have designed and implemented the data transmission protocols among system components.

Viewers are difficult to control remote devices effectively because transferred robot information is limited and network time delay occurs. To solve these problems, we have designed and implemented effective user interface and "approach command". Displaying sonar-based map of robot and camera viewing degree make users able to imagine exhibition environment. Robot can move to user's intended position by "approach command". This system helps users to control remote devices effectively.

This distance exhibition system is available at:

<http://mind.kaist.ac.kr/tele-gallery/>

목차

I. 서론	1
KAIST	
II. 연구 배경.....	4
1. 연구 동향	4
2. WWW을 이용한 원격 전시 시스템.....	6
III. 원격 전시 시스템.....	10
1. 고려 사항 및 설계 원칙.....	10
2. 시스템 구조	11
▪ 로봇 서버의 구성.....	13
▪ 로봇 클라이언트의 구성.....	14
3. 전송 프로토콜	15
▪ 이미지 전송.....	16
▪ 로봇 정보.....	16
▪ 로봇 제어.....	18
▪ 사용자 조정.....	19
4. 동작 모델	20
5. 사용자 인터페이스	24
▪ 카메라 이미지.....	25
▪ 초음파 지도.....	26
▪ 카메라 각도.....	27
6. 접근 명령	28
IV. 시스템 구현	33

1. 구현 환경	33
2. 구현 결과	35
V. 결론	38
VI. 참고문헌	40

KAIST

1. 서론

인구가 많아지고 자원이 고갈됨에 따라, 인간은 더 이상 쉽게 접근할 수 있는 환경의 자원만으로 생활할 수 없게 되었다. 우주, 심해, 탄광, 용광로, 원자로 등 직접 접근하기 힘든 환경에서도 자원을 획득해야만 하게 되었고, 의학, 교육 등 한정된 자원을 거리가 멀리 떨어진 곳에서도 활용할 수 있게 하기 위해서 원격 시스템에 대한 필요는 늘어나게 되었다. 통신과 로봇 기술이 발전하면서 원격 시스템에 대한 연구는 계속 되어 왔다.

초기 원격 시스템으로는 1954년에 Goetz에 의해 개발된 전기적으로 제어되는 원격 제어 시스템을 들 수 있다[32]. 그 이 후에 연속적으로 개발된 시스템들은 전쟁터, 원자력 발전소[1], 깊은 바다 속[31], 탄광[3], 우주 탐사[4] 등 제어하는 사용자에게 이롭지 못한 환경을 극복하는 것을 목적으로 하였다. 그리고 다른 응용으로 원격 수술[29]이나 원격 제조[23] 같은 시스템이 연구되기도 했다. 하지만 이 시스템들은 아주 복잡하고, 원격지에 있는 시스템을 제어하고, 그것들과 상호작용을 하기 위해서 특별한 목적의 하드웨어가 필요했다. 한정된 자원을 활용하기 위한 시스템에서는 여러 사용자의 공유가 필요하므로 이것이 문제점이 되었다.

1992년 CERN에 의해 개발된 WWW(World Wide Web)은 HTML언어와 HTTP규약으로 인터넷에 표준 그래픽 사용자 인터페이스를 제공하게 되었다[36]. “Point-and-Click”이라는 방법으로 사용자들은 자신이 사용하는 기계에 상관없이 하이퍼텍스트를 읽을 수 있게 되었고, 이것으로 인해 인터넷의 사용은 급격히 증가하게 되었다.

인터넷의 사용이 증가하면서 이것을 이용해 원격지의 한정된 자원을 공유하려는 방법이 많이 시도되고 있다. 인터넷과 WWW 인터페이스를 이용하면 누구나 적은

비용으로 자원을 공유할 수 있기 때문이다. 자원 중에는 진귀하거나 환경의 영향을 많이 받는 동식물, 보관에 주의가 필요한 박물관의 전시물, 예술 작품, 고정된 실험 장치 등 이동이 힘든 자원들이 있다. 이러한 자원들을 인터넷으로 공유하려는 시도가 있는 것이다. 그 중에서도 원격지에서 사용자가 제어하면서 다루어야 되는 자원에 대한 시스템은 아직 많은 연구가 이루어지지 않고 있다.

천문대, 원자로, 원자 가속기 같이 자원이 지리적 제약을 가지고 있는 경우, 이것을 극복하기 위한 시스템이 있고, 박물관 전시품, 천연 기념물 동물 등 자원 자체가 제약을 가지고 있는 경우가 있다. 전자가 자원에 직접 인터넷이 연결된 형태라면, 후자는 자원 자체를 연결시키기는 힘들거나 불가능하며, 이것을 카메라나 작업기를 통해서 간접적으로 제어하는 형태이다. 이러한 연구들은 아직 초기 단계이며, WWW 인터페이스를 사용해서 기존의 원격 시스템의 단점을 극복하고 있지만, 아직 사용자 인터페이스가 불편하고, 상호 작용이 부족하다는 문제점이 있다. 그리고 기본적인 문제인 시간 지연에 따른 문제를 고려하고 있지 않다.

본 논문에서는 Telerobotics 기술을 이용하여 원격 전시 시스템을 설계하고 구현한다. 여러 사람들이 쓴 비용으로 자원을 공유할 수 있게 하기 위해서 WWW을 이용하고, 실제 사용자가 전시 공간을 돌아다니며 전시물을 구경하는 느낌을 가질 수 있도록 하기 위해서 이동 로봇을 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WWW상에서 연구되고 있는 원격 시스템들에 대해 살펴보고 구조와 동작 원리를 살펴본다. 그리고 3장에서는 원격 전시 시스템 설계 시 고려 사항과 설계 원칙에 따라 시스템의 구조를 설계하고 그 구성 요소들을 설명한다. 또한 데이터 교환에 필요한 전송 프로토콜을 정의하고, 어떻게 동작하는 지를 모델화하고 사용자 인터페이스에 대한 설명도 한다. 4장에서는 네트워크 시간 지연에 대한

고려로 로봇에 자율성을 높이는 방법에 대해 기술한다. 먼저 시스템에 쓰인 로봇의 제원에 대해 살펴보고, 자율성을 높이기 위한 두 가지 접근 방법, 충돌 방지 행위와 접근 명령에 대해 기술한다. 5장에서는 3장에서 논의한 시스템의 구현에 대해서 설명하고, 구현된 시스템에서 4장의 접근 방법의 결과를 기술한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

KAIST

II. 연구 배경

이 장에서는 WWW을 이용한 기존의 원격 전시 시스템을 살펴보고, 그 공통적인 구조와 문제점을 알아본다.



1. 연구 동향

최근 활발히 이루어지고 있는 여러 가지 Teleoperation분야 관련 연구 중의 하나로 인터넷을 통한 원격 제어와 그 인터페이스로 WWW을 사용하는 연구를 들 수 있다. 이 중 사용자와의 상호작용이 있는 시스템은 다음과 같은 것들이 있다.

- 원격 천문대 시스템

천문대에 있는 망원경을 인터넷에 연결하여 이용하는 것은 인터넷을 통한 원격 제어 공유의 적합한 응용 시스템이다[19; 17]. 대부분의 천문대가 관측에 유리한 지형에 자리하고 있으며, 미리 정해진 관측 스케줄에 따라 사진을 찍는 작업을 한다. 이미 몇 개의 천문대가 이런 시스템을 갖추고 있고, 시스템에서는 사용자와의 상호작용이 많이 필요하지는 않다. 단지 스케줄을 잡아주는 역할만 한다.

- 원격 비디오 카메라 시스템

비디오 카메라를 인터넷에 연결하여 주변 환경을 감시, 관찰하는 연구도 있다[8; 7; 10; 14]. 사용자의 입력에 대해서 비디오 카메라 화면을 저장한 다음 그것을 WWW 브라우저에서 볼 수 있게 만든 장치이다. 이 시스템의 목적은 원격지에서 적은

비용으로 비디오 카메라가 설치된 곳을 관찰하는 것이다. 이 연구에서는 상호 작용을 고려해서 사용자가 원하는 위치에서 비디오 카메라의 화면을 볼 수 있지만, 카메라가 고정된 위치에서 시야의 범위가 좁고, 설치 비용도 많이 든다는 단점이 있다.

KAIST

- 원격 로봇 제어 시스템

연구 목적으로 로봇을 인터넷에 연결하는 연구는 대부분 이 분류에 속한다. 인터넷에 연결된 작업기를 조정만 하게 하거나[12], 그것을 조정해서 모래에 묻혀 있는 간단한 물건을 알아내는 시스템이 있다[21; 27]. 이동 로봇을 인터넷에 연결한 연구도 있지만, 위치 지정을 해주면 그 곳으로 이동하는 수준의 상호작용만이 이루어지고 있다[16]. 동물의 반응을 살펴보기 위한 연구에서 반응기를 인터넷에 연결해 원격의 사용자가 반응기를 실행하게 하는 연구도 있다.[9] 작업기의 말단에 카메라를 연결해서 간단한 물건을 전시하는 연구도 있다[13; 6].

- 기타 시스템

원격지에서 씨앗을 심고 가꾸는 일을 할 수 있는 원격 정원 시스템도 연구 중이다[20]. 그림을 그리는 장치를 연결해서 바닥에 그림을 그리게 하는 장치도 있고[18], 보통 지폐와 위조지폐 상에서 카메라를 움직여 위조지폐를 알아내는 장치도 있다[15]. 또한 모형 기차를 연결해서 그것의 선로를 조정하는 장치도 있다[11]. 모두 사용자의 상호작용이 필요한 시스템이고 제한된 사용자의 제어가 가능하다는 특징이 있다.

이러한 연구들은 아직 초기 단계이며, WWW 인터페이스를 사용해서 기존의 원격 시스템의 단점을 극복하고 있지만, 아직 사용자 인터페이스가 불편하고, 상호 작용이 부족하다. 그리고 기본적인 문제인 시간 지연에 따른 문제를 고려하고 있지 않다. 위에서 살펴본 시스템들의 공통적인 구조에 대해서 2.절에서 살펴본다.

KAIST

네트워크 시간 지연에 대한 연구는 Telerobotics에서 주된 연구 방향이다. 이미 인터넷을 통한 이동 로봇의 제어가 교육과 자원의 공유에 사용될 수 있다는 것은 실험이 되었다[37]. 하지만 네트워크 시간 지연이 없을 수는 없고, 인터넷을 통한 시스템이라면 이 점을 고려해야 한다. 시간 지연에 의한 제어 효율의 감소를 줄이는 방법으로는 크게 세 가지가 있다. 원격지의 환경을 모의 실험(Simulation)하거나 예상해서 보여주는 방법[30], 원격지와 로봇 시스템 사이에 통신의 상징화 정도(Symbolic Level)를 올리는 방법[5], 로봇에 자율성을 주는 방법이 있다[35].

본 시스템에서는 로봇에게 자율성을 주는 방법을 쓴다. 환경을 모의 실험하는 방법은 환경이 고정될 때, 그것을 모델링 하여 보여주기엔 적합하고, 통신의 상징화 정도를 올리는 방법은 로봇이 하는 작업이 정해져 있을 때 적당하다. 본 시스템의 환경은 임의의 전시공간에 대해 시스템을 설치할 수 있도록 하기 위해 세 번째 방법을 쓴다.

2. WWW을 이용한 원격 전시 시스템

WWW을 이용한 시스템의 구성을 위해서는 기본적으로 HTTP(Hyper Text Transfer Protocol) 서버와 WWW 브라우저(클라이언트)가 있어야 한다. WWW 브라우저는 HTML(Hyper Text Mark-up Language) 문서를 번역해서 사용자에게 보여주게 된다. 그 외에 CGI(Common Gateway Interface)로 외부 프로그램들과 통신하게 되고 여러 Plug-in [28], Java Applet [24]으로 데이터에 대한 처리를 할 수가 있다.

사용자의 입력에 대한 결과를 보여주려면 동적인 문서(dynamic document)를 만들어야 한다. 동적인 문서는 문서작성기에 의해 미리 작성, 저장되어 있는 문서(정적인 문서)가 아니라, CGI 프로그램의 결과를 HTML규격에 맞게 출력한 것을 말한다. 이를 위해 외부 프로그램과 인터페이스를 맞춰주는 프로그램인 동적 문서 스크립트(dynamic document script)가 필요하다. 이것으로 로봇 서버와 통신을 하게 된다. 이 프로그램의 결과는 HTML 문서의 형태로 나타난다. 이것을 HTTP 서버에서 WWW 브라우저로 보내주면 번역을 해서 사용자에게 보여주게 된다.

로봇 서버에는 두 가지 기능이 있어야 한다. 카메라에서 들어온 영상을 저장하여 보여줄 수 있는 기능과 로봇을 조정하여 사용자가 원하는 시점으로 카메라를 옮겨주는 기능이다. 시스템의 목적에 따라 로봇이 작업기, 비디오 카메라 동작기, 이동 로봇일 수 있다. 서버에서 로봇의 조정이 가능하다면 어떤 장치도 접속할 수 있다. 카메라는 이미지 저장 보드와 함께 사용을 한다. 이미지 저장 보드는 전체 시스템에서 병목(bottle-neck) 현상을 보이지 않을 정도의 효율을 가지면 된다. 일반적으로 네트워크 시간 지연이 전체 시스템의 병목 부분이 된다.

위에서 살펴본 것을 토대로 WWW을 이용한 원격 전시 시스템의 구조를 나타내 보면 다음과 같다. 1.절에서 대부분의 WWW을 이용한 원격 시스템은 이런 구조를 갖는다[7; 8; 10; 14; 21; 18; 15; 13].

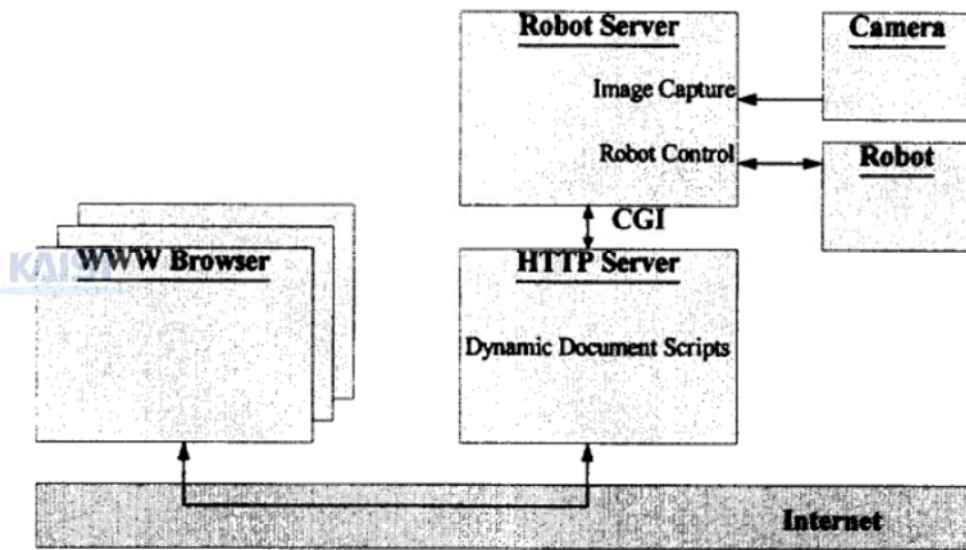


그림 II.-1 WWW을 이용한 원격 전시 시스템의 구조

사용자가 WWW 브라우저로 접속을 요구하면, HTTP 서버는 로봇 서버에게 사용자의 입력을 넘겨 주게 된다. 로봇 서버는 그 입력을 로봇 언어로 번역하여 로봇을 조정하고, 카메라에서 입력된 이미지를 저장하고 그것을 HTTP 서버에게 알려준다. HTTP 서버에서는 그 결과를 동적 문서 스크립트로 HTML 언어로 만들어서 WWW 브라우저로 넘겨 주게 된다. 사용자는 WWW 브라우저에 의해 번역된 결과를 보게 되고 또 다른 입력을 한다.

WWW을 이용해서 전시 시스템을 구현할 때의 문제점은 HTTP 규약이 과정(history)을 저장하지 않는 규약이라는 것이다[33]. 새로운 문서를 요구할 때마다, 접속을 새롭게 한다. 따라서 로봇 서버는 사용자 입력이 있을 때마다 다시 실행되고, 로봇의 상태나 사용자의 상태는 인수로 저장하거나 기록 파일에 저장을 했다가 다음 실행 때 그것을 참조하여야만 한다.

기존의 시스템 구조에서는 카메라 이미지 전달과 로봇 제어가 HTTP서버를 거치기 때문에 제한이 따르게 된다. 본 연구에서는 WWW과 Telerobotics를 이용하여 새로운 구조로 원격 전시 시스템을 만들고자 한다.

KAIST

III. 원격 전시 시스템

이 장에서는 WWW을 이용한 원격 전시 시스템을 디자인할 때 고려 사항을 분석한다. 그것을 토대로 시스템이 갖추어야 할 구조를 살펴보고, 구조 사이의 전송 프로토콜을 설계한다. 또한 전체적으로 동작하는 모습을 살펴본다.

1. 고려 사항 및 설계 원칙

2.절에서 WWW을 이용한 원격 전시 시스템들의 공통된 구조를 알아보았다. 이러한 시스템을 구현하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 효율적인 사용자 인터페이스

효율적인 사용자 인터페이스를 제공해 주어야 한다. 사용자가 직접 로봇을 보면서 조정하는 것보다 주어지는 정보가 적기 때문에 제어가 힘들게 된다. 사용자가 로봇 조작을 통해 자신이 원하는 시점에 카메라를 위치하게 하는 작업을 용이하게 하기 위해서 인터페이스를 설계해야 한다. 사용자가 로봇을 조작하기 위해 도움이 되는 모든 정보를 효과적인 방법으로 보여주는 방법이 필요하다. 사용자 입력도 명령어 방식이나 버튼 방식 보다는 사용자가 입력을 한 후 결과를 예측할 수 있는 방법을 사용하는 것이 좋다. 예를 들면 카메라 이미지에서 원하는 위치를 지정하면 그 위치로 카메라의 방향이 바뀌게 하는 방법이다.

- 네트워크 시간 지연 문제

네트워크 기술의 발전으로 점점 네트워크 속도가 빨라지고 있지만 시간 지연을 전혀 없앨 수는 없다. 네트워크 시간 지연은 현재 사용자가 이미 과거의 상태를 보고 조작하게 되기 때문에 문제가 생긴다. 아직 이 문제를 고려한 WWW에서 구현된 원격 시스템은 없다.

KAIST

본 논문에서는 효율적인 사용자 인터페이스로써 여러 가지 로봇의 정보를 그래픽 형태로 보여 주고, 네트워크 시간 지연 문제를 해결하기 위하여 접근 명령을 설계하였다.

2. 시스템 구조

2.절에서 알아본 WWW을 이용한 원격 시스템의 구조는 카메라 이미지 전달과 로봇 제어가 HTTP서버를 거치기 때문에 제한이 따르게 된다. 그러나 최근 프로그램 자체가 네트워크를 통해 이동하는 네트워크 프로그래밍 언어 [24]가 발전하면서 이것을 해결할 수 있게 되었다. HTTP서버에 저장된 프로그램을 WWW 브라우저가 실행되는 호스트로 전송받아 실행이 된다. 네트워크 프로그래밍 언어를 이용하면 새로운 소프트웨어가 없어도 로봇 서버와 직접 연결을 해서 시스템을 구성할 수가 있다. 네트워크 프로그래밍 언어를 이용해서 원격 전시 시스템을 구성해 보면 그림 III.-1과 같다.

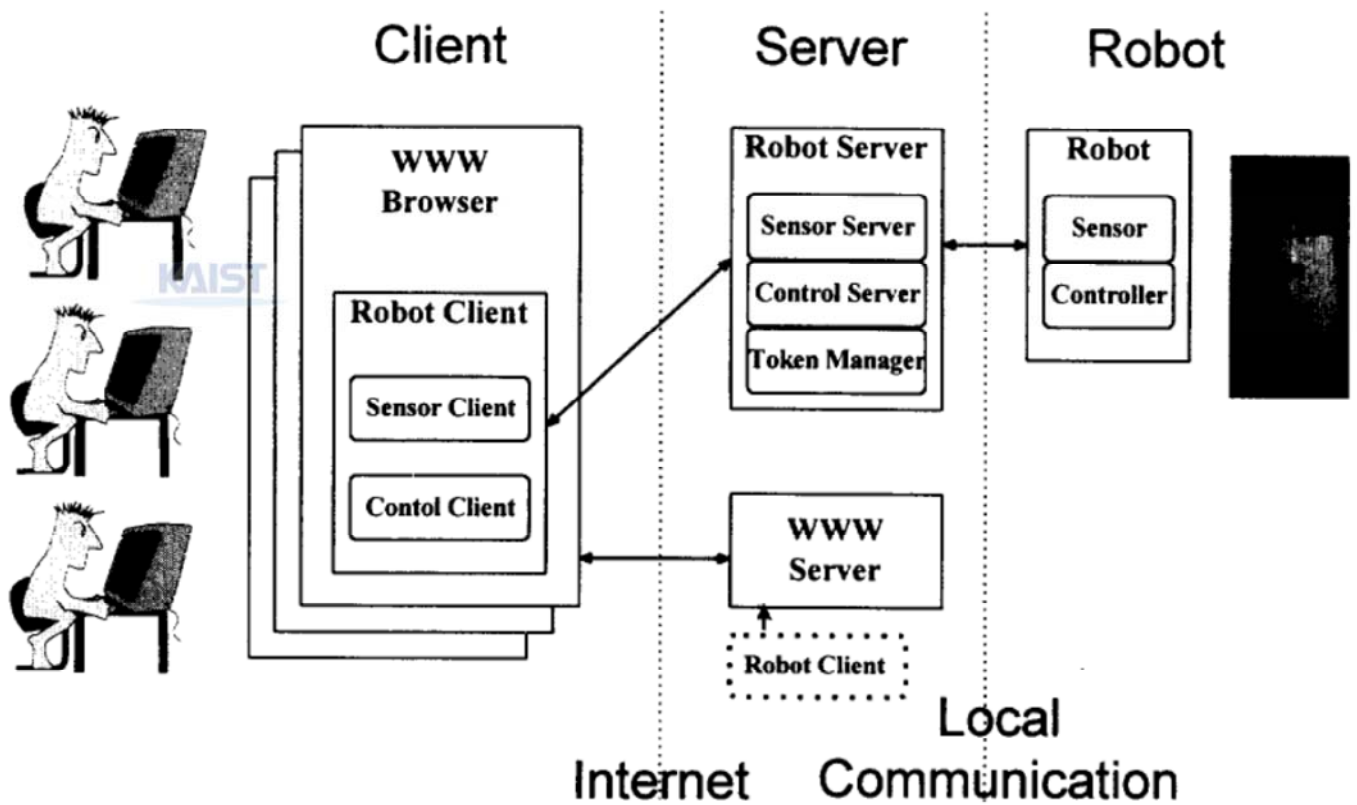


그림 III-1 시스템 전체 구조

이러한 구조에서 로봇 서버와 클라이언트의 구성 요소들을 자세히 살펴보면 그림 III-2와 같다. 각각의 구성 요소들에 대해서는 다음 절에서 살펴본다.

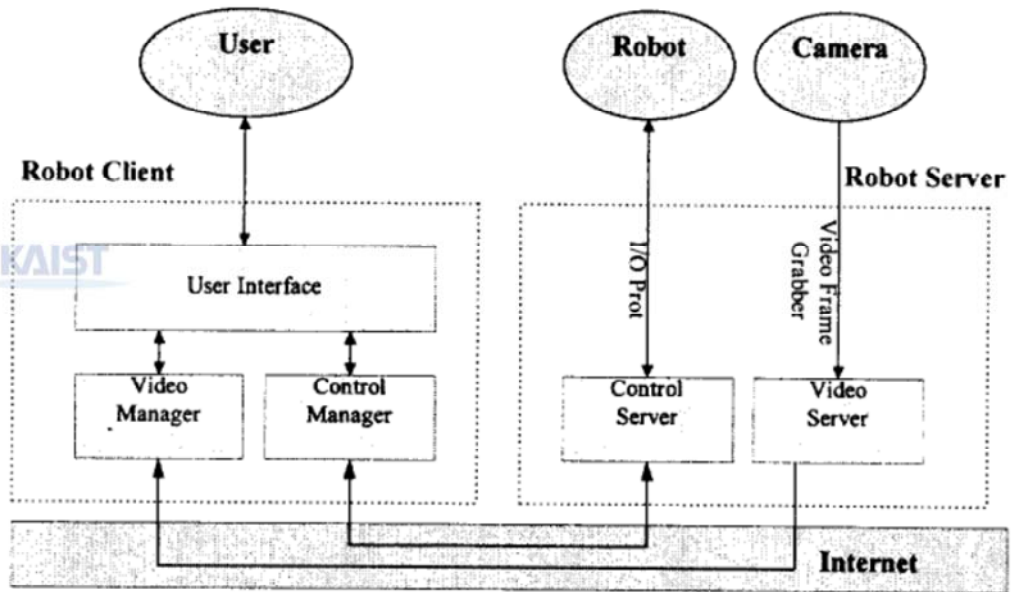


그림 III.-2 로봇 서버와 로봇 클라이언트의 구성

▪ 로봇 서버의 구성

로봇 서버는 비디오 서버, 제어 서버로 구성되어 있다. 각각의 서버는 다음과 같은 기능을 한다.

- 비디오 서버 (Video Server)

비디오 서버는 카메라에서 입력되는 영상을 클라이언트의 비디오 관리자에게 넘겨 준다. 카메라에서 입력되는 영상은 비디오 장면 저장 장치(Video Frame Grabber)에 의해 저장된다. 서버는 이 영상을 인터넷을 통해 클라이언트에 전달해 주게 된다.

- 제어 서버 (Control Server)

제어 서버는 클라이언트의 제어 관리자로부터 넘어온 사용자의 입력을 로봇 언어로 번역하여 로봇에게 전달하고, 로봇에서 발생하는 데이터를 클라이언트로 전달한다. 로봇과는 I/O 포트에 연결되고, 로봇의 위치, 방향, 속도, 각속도, 카메라의 좌우 방향(Pan)과 상하 방향(Tilt), 초음파 센서의 정보 등을 읽어 들인다.

KAIST

사용자가 여러 명일 때, 누가 로봇을 제어할 것인지를 조정하는 역할도 한다. FCFS에 의해서 어느 사용자가 로봇을 제어할 것인가를 결정한다. 사용자 사이의 의사소통도 가능하게 해 준다. 로봇의 각 부분을 서로 다른 사용자가 서로 통신하면서 제어하게 할 수도 있다.

▪ 로봇 클라이언트의 구성

로봇 클라이언트는 비디오 관리자, 제어 관리자, 사용자 인터페이스로 구성되어 있다. 각각의 기능은 다음과 같다.

- 비디오 관리자 (Video Manager)

비디오 관리자는 비디오 서버에서 전송되는 이미지를 저장하는 기능을 한다. 한 이미지가 완성이 되면 그것을 사용자 인터페이스에서 사용자에게 보여주게 된다. 비디오 관리자와 비디오 서버는 소켓을 통해 연결하게 된다. 이미지가 압축되어 전송되면 그것을 복원하는 기능이 필요하다.

- 제어 관리자 (Control Manager)

제어 관리자는 제어 서버에서 전송되는 로봇에 대한 정보를 전송 받는다. 또 사용자 인터페이스를 통해 들어오는 입력을 제어 서버에 전송하는 기능도 한다. 로봇의 제어를 요구, 포기, 제어 토큰의 승인 등 제어 서버와 제어 관리자 사이의 필요한 정보도 교환하는 기능이 필요하다.

KAIST

- 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스는 사용자와 비디오 관리자, 제어 관리자 간의 정보 교환을 담당한다. 비디오 서버에서 비디오 관리자로 전송된 카메라 이미지가 완성이 되면 사용자 인터페이스는 그것을 사용자에게 보여준다. 제어 서버에서 로봇의 정보가 전송되면 제어 관리자는 그것을 받아서 사용자 인터페이스에게 알려주고, 사용자 인터페이스는 그 정보를 사용자에게 가공하여 보여주게 된다. 사용자는 사용자 인터페이스를 통해 보여지는 카메라 이미지와 로봇 정보를 바탕으로 명령을 내리고, 그것은 제어 클라이언트에서 서버로 전송된다.

로봇 제어 토큰의 요구, 포기를 입력 받는 기능도 있으며, 실제로 사용자가 로봇을 제어할 수 있는 상태인지 아닌지를 표시하는 기능도 있다. 제어 서버에서 온 메시지를 출력하는 기능도 있다.

3. 전송 프로토콜

원격 전시 시스템은 인터넷을 통해 사용자가 로봇을 제어하게 된다. 카메라를 통한 전시물의 이미지와 로봇의 제어에 필요한 명령어와 로봇의 상태, 사용자 사이의 제어 등에 쓰이는 데이터들을 전송해야 한다. 각 데이터들은 특성이 다르므로 프로토콜을 따로 정의해서 사용한다.

프로토콜은 기본적으로 다음과 같은 정보 교환 형식을 갖는다.

class	length	data
-------	--------	------

종류(class)는 어떤 종류의 데이터인지를 나타내고 길이(length)는 데이터의 길이를 나타낸다. 데이터(data) 부분에는 실제 내용이 저장된다.

■ 이미지 전송

이미지는 로봇 서버의 비디오 서버에서 클라이언트의 비디오 관리자로 전송된다. 이미지가 생성된 서버의 시간 정보를 같이 기록해서 접근 명령에 사용한다. 접근 명령에 대해서는 0절에서 상세히 다룬다. 전송되는 형식은 다음과 같다.

Class	length	width	height	data	time stamp
-------	--------	-------	--------	------	------------

너비(width)와 높이(height)는 이미지 데이터는 너비와 높이를 나타내고 데이터는 이미지의 데이터를 나타낸다. 시간 데이터(time stamp)는 서버의 시간만 기록한 데이터로써 사용자가 명령을 내리는 순간의 로봇 정보가 서버에서 어느 시각의 것이었는가를 알아내는 데 쓰인다.

■ 로봇 정보

로봇의 정보는 로봇 서버의 제어 서버에서 클라이언트의 제어 관리자로 전송된다. 각 정보에 따라 길이와 빈도가 다르므로 다른 프로토콜이 정의된다.

- 초음파 센서 정보, 로봇의 위치, 방향 정보

초음파 정보와 로봇의 위치, 방향은 한꺼번에 전송이 된다. 초음파 센서는 개수가 고정되어 있다. 제어 서버에서 제어 관리자로는 다음과 같은 형식으로 데이터를 전송한다.

class	length	robot_x	robot_y	degree	data
-------	--------	---------	---------	--------	------

로봇의 좌표는 로봇이 초기화될 때의 좌표를 원점으로 한 좌표이고, 각도는 초기 방향을 0으로 한 좌표이다. 데이터는 초음파 데이터가 연속적으로 포함된다.

- 카메라 방향 정보

카메라의 방향 정보는 아래와 같은 형식으로 전송되게 된다. 이 정보에는 좌우 방향(pan)과 상하 방향(tilt)이 포함된다. 이 값들은 정면 중앙을 바라보았을 때의 값은 각각 0으로 정한 각도 값이다.

class	length	pan	tilt
-------	--------	-----	------

- 로봇 속도, 각속도 정보

로봇의 속도를 전송하는 형식은 아래와 같다. 속도(linear_v)와 각속도(angular_v)가 데이터로 보내진다. 로봇이 정지되어 있을 때가 각각 0 값을 갖는다.

class	length	linear_v	angular_v
-------	--------	----------	-----------

▪ 로봇 제어

로봇 제어 데이터는 사용자 인터페이스를 통해 들어온 입력을 제어 관리자가 로봇 서버의 제어 서버로 전송하는 데이터이다. 로봇의 속도와 각속도, 카메라의 방향을 조정하고, 접근 명령도 보낼 수 있다.

- 로봇 속도, 각속도 제어

로봇의 속도와 각속도는 다음과 같은 형식으로 전송할 수가 있다.

class	length	add_value	velocity
-------	--------	-----------	----------

증가값(add_value)은 양수일 때는 증가를 음수일 때는 감소를 나타낸다.
속도(velocity)는 속도, 각속도, 정지의 세 가지 값을 가질 수 있다.

- 카메라 방향 제어

class	length	camera_x	camera_y
-------	--------	----------	----------

두 좌표값은 전송된 카메라 이미지에서 좌표값을 입력하면, 그것을 제어 서버에서 번역하여 그 좌표가 다음 카메라 이미지의 중앙에 오도록 카메라를 움직인다.

- 접근 명령

class	degree	time stamp
-------	--------	------------

접근 명령은 로봇이 자율적으로 접근하는 명령이므로 전시물의 방향(Degree)과 시간 정보(Time Stamp)가 필요하다. 접근 명령에 대해서는 6.절에서 상세히 다룬다.

■ 사용자 조정

사용자 조정(Coordination)에 필요한 데이터로는 제어 토큰 요구, 승인, 포기, 서버와 클라이언트 간에 교환되는 메시지가 있다. 제어 토큰 요구와 포기는 제어 관리자에서 제어 서버로, 제어 토큰 승인은 그 반대로 전송되게 된다. 메시지는 양방향으로 교환되게 된다.

- 제어 토큰 요구(Request), 승인(Accept), 포기(Drop)

class	0
-------	---

종류(class)가 제어 토큰의 요구, 승인, 포기 중 하나를 나타낸다. 승인 데이터가 전송된 클라이언트의 사용자만 로봇을 제어할 수 있고, 나머지 사용자들은 구경만 할 수 있다. 이 사용자들은 로봇을 제어하는 기능만 불가능하고 나머지 기능은 똑같이 동작한다.

- 메시지 데이터

class	length	data
-------	--------	------

클라이언트와 서버간의 교환되는 메시지를 전송하는 형식이다. 메시지는 문자열로 표현되고 데이터는 그 내용을 나타낸다. 로봇 제어 토큰의 승인, 취소 등을 표시할 때, 접근 명령이 실행되고 있음을 나타낼 때 등에 쓰인다. 사용자들간의 의사소통에도 쓰일 수 있다.



4. 동작 모델

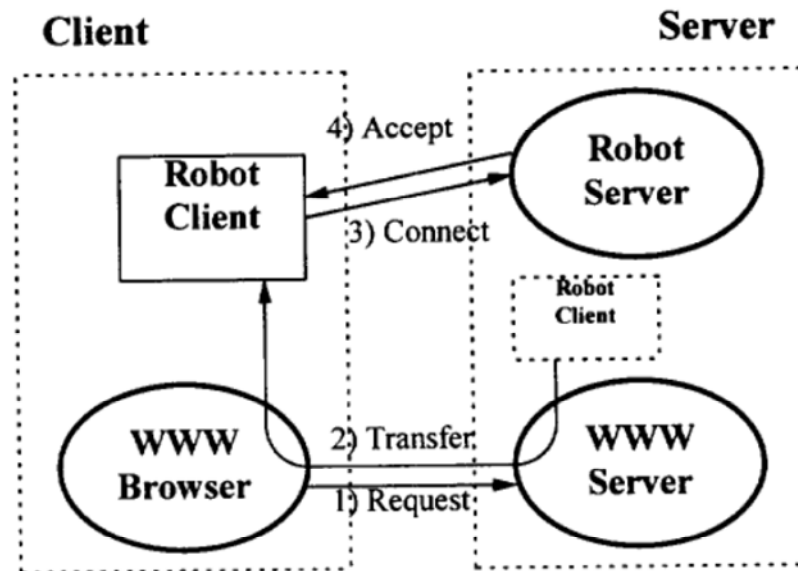


그림 III-3 시스템 초기화 과정

본 시스템의 초기화 과정은 다음과 같은 순서로 이루어진다.

1. Request

WWW 브라우저가 HTTP 서버에 로봇 클라이언트 프로그램이 있는 페이지를 열어 줄 것을 요구한다. 로봇 클라이언트 프로그램은 네트워크 프로그래밍 언어로 짜여져 있어서 코드(또는 실행파일)가 WWW 브라우저에 의해 실행될 수 있다.

2. Transfer and Execution

WWW 페이지에 포함되어 있는 로봇 클라이언트 프로그램이 WWW 브라우저로 전송이 된다. 전송이 끝나면 WWW 브라우저가 로봇 클라이언트를 실행시키게 된다.

3. Connection

로봇 클라이언트는 로봇 서버와 연결을 시도하게 되고 연결된 후에는 사용자의 입력을 기다린다.

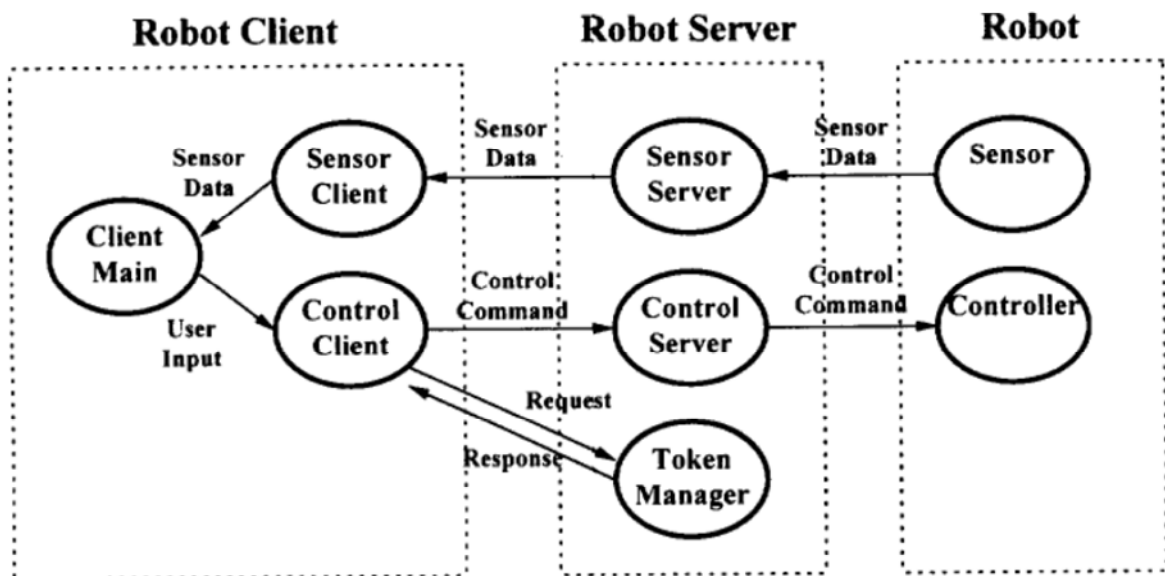


그림 III.-4 시스템 세부 동작 모델

로봇 클라이언트와 로봇 서버가 연결된 후에는 서버와 클라이언트 간에 정보가 전송되게 된다. 서버에서 클라이언트 쪽으로 보내지는 이미지와 로봇 정보는 병렬적으로 전송되어진다. 각각은 다음과 같은 순서에 의해 실행이 된다.

- 이미지

1. 카메라에서 입력되는 이미지는 비디오 장면 저장 장치에 의해 비디오 서버에 의해 저장이 된다. 실제 하드 디스크에 저장이 될 수도 있고, Memory에 저장이 될 수도 있다.
2. 비디오 서버에서 비디오 관리자로 이미지를 전송한다. 소켓과 버퍼를 이용해서 전송을 하는데, 버퍼가 가득찰 때까지 전송을 하고 기다렸다가 다시 버퍼에 여유가 생기면 전송을 한다.
3. 비디오 관리자에서는 소켓에서 데이터를 읽어와서 한 이미지의 전송이 끝나면 그것을 사용자 인터페이스에게 알려준다.
4. 비디오 관리자에서 이미지의 완성을 알려오면 그것을 사용자 인터페이스에서 사용자에게 보여준다. 사용자 인터페이스와 비디오 관리자는 공유 변수를 사용하여 통신을 한다.

- 로봇 정보

1. 로봇에서는 초음파 센서, 로봇 속도, 각속도, 위치, 카메라 위치 정보를 제어 서버에게 전송한다. 로봇과 제어 서버는 직렬 포트 같은 I/O 포트를 이용하고 Kermit으로 통신을 하게 된다.
2. 제어 서버와 제어 관리자는 소켓으로 통신을 하게 된다. 로봇에서 읽어온 정보를 통신 규약에 맞춰서 제어 관리자에게 전송을 한다. 한 데이터를 전송받는 것이 완료되면 사용자 인터페이스에 로봇 정보가 도착했음을 알린다.
3. 로봇 정보가 도착했다는 것을 제어 관리자가 알려오면 사용자 인터페이스는 로봇의 정보를 변경해서 사용자에게 보여준다.

전시 시스템이 초기화 된 후에는 위의 정보들만 서버에서 클라이언트 쪽으로 전송되게 된다. 처음에는 로봇을 제어할 권리는 없고 관찰만 할 수 있다. 이 상태에서 로봇을 제어하려면 로봇 제어 토큰을 얻어야 하며 그 과정은 다음과 같다.

- 로봇 제어 토큰

1. 사용자의 제어 토큰 요구 입력을 제어 관리자가 토큰 관리자에게 보낸다.
2. 토큰 관리자는 FCFS에 의해 제어 토큰을 제어 관리자에게 보낸다. 토큰 요구가 들어온 순서대로 대기큐(Queue)에 저장해 놓았다가, 현재 토큰을 가진 클라이언트가 제어 취소(Drop)를 하면 다음 순서의 클라이언트에게 토큰 승인(Accept)을 해준다. 제어 토큰이 없는 클라이언트는 로봇 제어 명령을 제어 서버에게 보낼 수 없다.

3. 사용자가 제어를 취소하게 되면 로봇 서버는 로봇의 속도와 각속도를 0으로 한다. 그 후 대기큐에 기다리는 사용자가 있다면, 로봇의 속도, 각속도가 0이 되고, 그 사용자에게 한 이미지 전송이 완료되는 것을 확인한 다음 클라이언트에게 제어 승인을 한다.

KAIST

사용자가 로봇 제어 토큰을 얻은 다음에는 로봇을 제어할 수 있다. 클라이언트에서 서버쪽으로 전송되는 정보인 로봇 제어 정보는 다음과 같은 과정을 거친다.

- 로봇 제어 명령

1. 사용자 인터페이스에서 사용자 입력을 받아서 제어 관리자에게 넘겨준다.
2. 제어 관리자는 입력을 제어 명령어로 바꿔서 제어 서버에게 전송한다. 예를 들면 로봇 속도를 증가시키는 키입력을, 속도를 얼마 증가 시키는 입력으로 바꾸어 준다.
3. 제어 서버에서는 실제 로봇 명령어로 바꾸어서 로봇에게 전송한다.
4. 로봇은 전송되어온 명령을 실행한 후에 바뀐 정보를 제어 서버에 전송한다. 이후의 과정은 위의 로봇 정보 전송 과정과 같다.

5. 사용자 인터페이스

원격 전시 시스템에서 사용자 인터페이스는 상당히 중요한 부분이다. Telerobotics에서 원격지 환경을 대상으로 효과적이고 안정적으로 사용자가 작업을 하려면 효율적인 사용자 인터페이스가 필요하다[38]. 본 연구에서는 사용자에게 가능한 많은 정보를 제공하기

위해서 고려했고, 로봇 명령의 입력이 사용자가 직관적으로 받아들일 수 있도록 인터페이스를 설계했다. 사용자 인터페이스는 카메라 이미지, 초음파 지도(Sonar-Based Map), 카메라 각도의 세 부분으로 구성되어 있다.

■ 카메라 이미지

로봇에서 전송되는 카메라 이미지를 사용자 인터페이스에서 사용자에게 보여준다. 이미지 외에 로봇의 속도, 각속도, 카메라의 좌우 방향 각도, 상하 방향 각도를 수치로 보여준다. 카메라 상하 방향 각도를 보여줌으로써 사용자가 카메라의 상태를 예상할 수 있게 했다. 현재 사용자의 상태가 제어 가능한 상태인지 관찰만 가능한 상태인지도 보여준다. 그리고 로봇 서버와의 메시지 문자열 교환을 위한 입력, 출력 공간이 있다.

카메라 이미지 상에서 마우스를 이용해서 카메라의 각도를 바꿀 수가 있다. 마우스 클릭이 있는 곳이 정면 중앙이 되도록 카메라 각도 조정이 되게 했다. 로봇의 이동은 키보드를 통해서 입력 받는다. 속도 증가, 감소, 왼쪽으로 회전, 오른쪽으로 회전을 방향키에 지정해서 사용자가 쉽게 짐작할 수 있도록 했다. 정지 명령도 키보드로 입력 받고, 접근 명령은 카메라 이미지 상에서 마우스와 키보드를 동시에 입력 받아서 실행이 되도록 했다. 카메라 이미지를 표시한 사용자 인터페이스의 모습은 그림 III.-5와 같다.

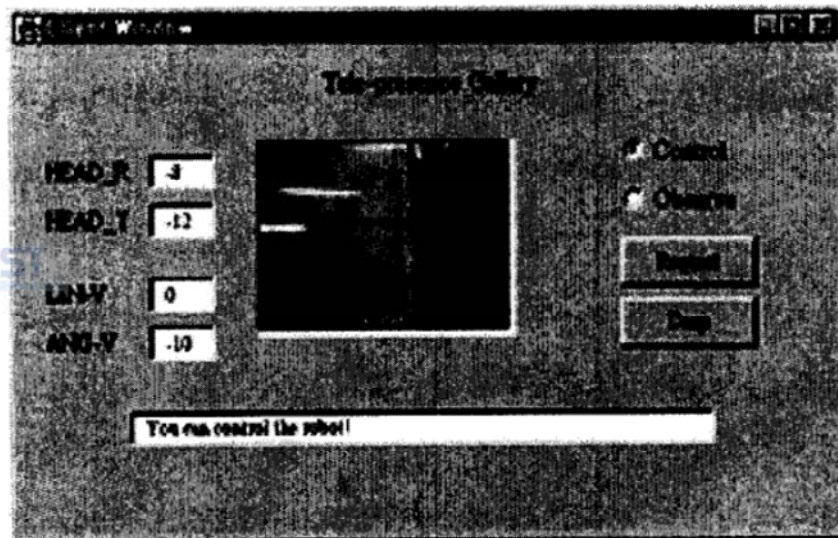


그림 III.-5 카메라 이미지 사용자 인터페이스

■ 초음파 지도

초음파 지도(Sonar-Based Map)는 초음파 센서에서 들어온 정보를 바탕으로 지도를 구성한 것으로, 이것을 이용해서 경로 계획(Path Planning)과 운항(Navigation)에 사용한다[2]. 하지만 이것을 사용자에게 보여줌으로써 로봇의 환경에 대해 사용자가 예상을 하게 할 수 있다. 초음파 지도의 작성은 초음파 센서의 확률 Profile을 이용해서 작성이 된다. Elfes는 초음파 센서의 일반적인 확률 Profile을 제시했고[2], 이 시스템에서는 그것을 단순화 시킨 모델을 적용시켜서 시각화하여 사용자에게 보여준다.

로봇의 표시는 로봇과 진행 방향으로 표시를 해서 사용자가 예상을 할 수 있게 했다. 초음파 지도를 표시한 사용자 인터페이스의 모습은 그림 III.-6와 같다. 이것은 클라이언트에서 사용자에게 보여주기 위해 만드는 초음파 지도이고 서버에서 운항에 사용하기 위해 만드는 초음파 지도와는 다른 것이다. 서버에서 만드는 초음파 지도에 대한 설명은 6.절에서 기술한다.

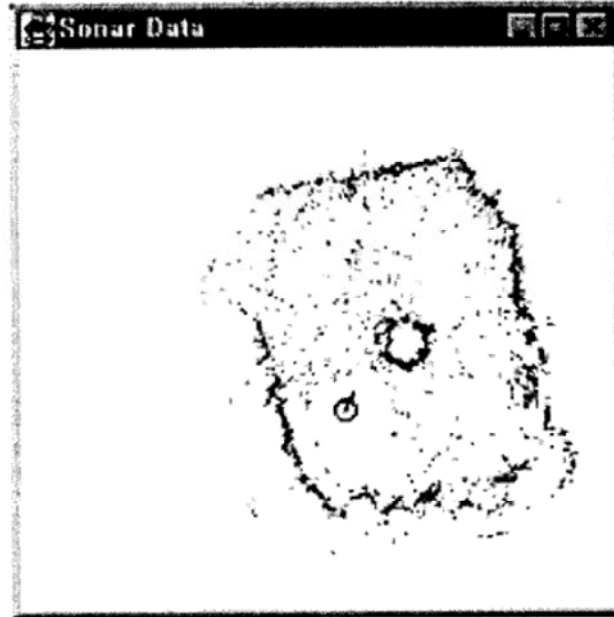


그림 III.-6 초음파 지도 사용자 인터페이스

■ 카메라 각도

카메라 각도는 사용자가 카메라가 로봇의 정면에서 좌우로 얼마나 돌아가 있는 지에 대한 지각(Perception)을 갖게 하기 위해서 보여준다. 카메라가 최대로 돌아갈 수 있는 각도와 현재 카메라의 각도를 보여준다. 카메라 각도를 표시한 사용자 인터페이스의 모습은 그림 III.-7와 같다. 카메라를 위에서 바라본 모습으로 그림에서 밝은 구역이 카메라가 좌우로 회전할 수 있는 범위이고, 가장 밝은 선이 현재 카메라의 각도이다.



그림 III.-7 카메라 각도 사용자 인터페이스

6. 접근 명령

원격 전시 시스템에서 사용자가 카메라 이미지에서 목적하는 대상을 찾았을 때, 그 대상으로 가기 위해 로봇 명령을 내리게 된다. 하지만 네트워크 시간 지연에 의해 이미 로봇은 사용자가 로봇 명령을 내린 위치에서 다른 위치로 이동했을 것이다. 그것을 보정하기 위해서 접근 명령이 필요하다. 접근 명령은 사용자가 현재 보고 있는 이미지에서 가고자 하는 방향으로 로봇을 이동시키는 기능을 하는 명령이다.

이 명령은 현재 사용자가 보는 카메라 이미지의 시각 정보(Time Stamp)와 그 시각의 로봇의 위치를 알아야 한다. 그리고 카메라 이미지에서 가고자 하는 방향을 구하고, 초음파 지도에서 그 방향에 전시물이 위치한 정보를 구하게 된다. 그 후에 로봇의 위치 정보를 모니터하면서 그 위치로 접근하게 한다.

이 때 전시물이 벽 같은 장애물에 위치해 있다는 가정이 필요하다. 공중에 매달려 있거나 움직이지는 않는 상태로 전시된다고 가정한다. 이러한 가정 하에서 접근 명령의 실행 순서는 다음과 같다.

1. 현재 사용자가 보는 카메라 이미지에서 접근을 원하는 전시물의 방향을 구한다.

카메라 이미지 상에서 사용자가 선택한 점의 x 좌표와 카메라 렌즈의 초점 거리 f 를 알면, 바늘구멍(Pin Hole) 모델에서 전시물의 방향을 구할 수 있다. 그림 III.-8에서 구한 각도를 카메라의 각도에 더하면 로봇에서 전시물의 방향이 구해진다.

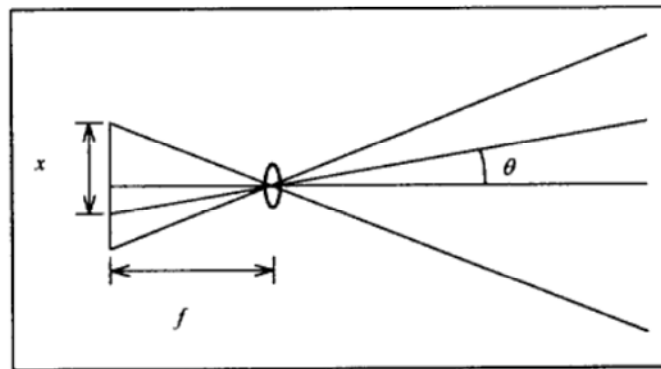


그림 III.-8 카메라 이미지에서 전시물의 방향을 구하는 원리

2. 카메라 이미지의 시각 정보(Time Stamp)로 접근 명령이 내려졌을 때의 로봇의 위치를 구한다.

클라이언트에서 서버로 시각 정보가 넘어오게 된다. 서버에서는 카메라 이미지가 전송될 때마다 로봇의 위치 정보를 미리 저장했다가 접근 명령과 함께 넘어온 시각 정보를 가지고 로봇의 위치를 알아낸다.

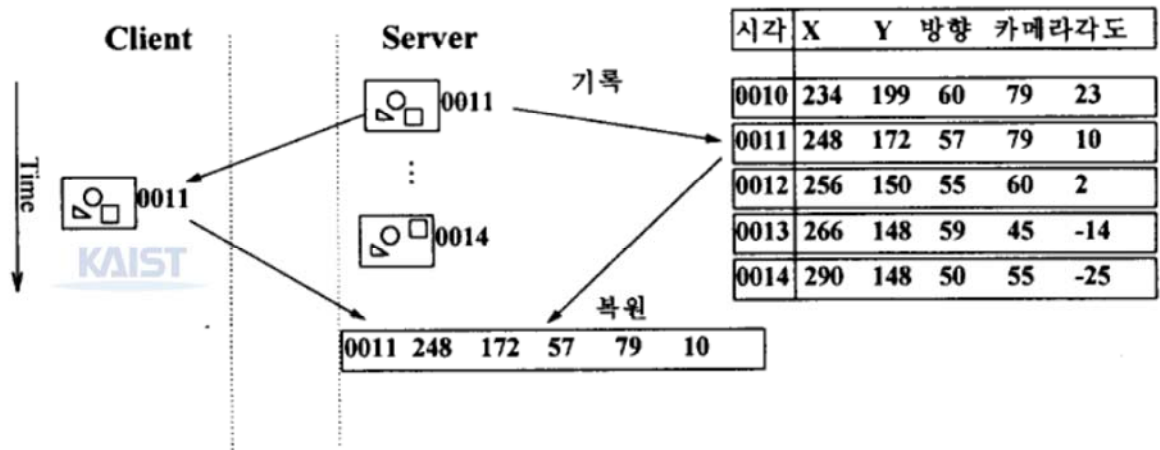


그림 III-9 Time Stamp

3. 초음파 지도(Sonar-Based Map)에서 전시물의 위치를 구한다.

로봇 서버는 접근 명령에 사용하기 위해 초음파 지도를 만든다. 전시 공간의 좌표 평면에 대응되는 배열을 정의해서, 초음파 센서에서 입력된 값으로 로봇에서 그 거리의 좌표에 해당하는 배열의 값을 증가 시켜간다. 이 값은 로봇이 초기화될 때 전부 0으로 초기화 된다.

2.에서 구한 로봇의 위치에서 1.에서 구한 전시물의 방향으로 초음파 지도를 검색한다. 이 때 직선 표시 알고리즘을 써서 선택되는 그림 III-10과 같은 점들을 로봇의 위치에서 가까운 점부터 차례로 추적한다. 추적하면서 각 점에 기록되어 있는 초음파 검출 누적 값을 비교한다. 그래서 장애물이 있을 가능성이 높은 가장 가까운 위치를 구한다. 제일 먼저 나타나는 한계 치 이상의 위치를 찾으면 된다.

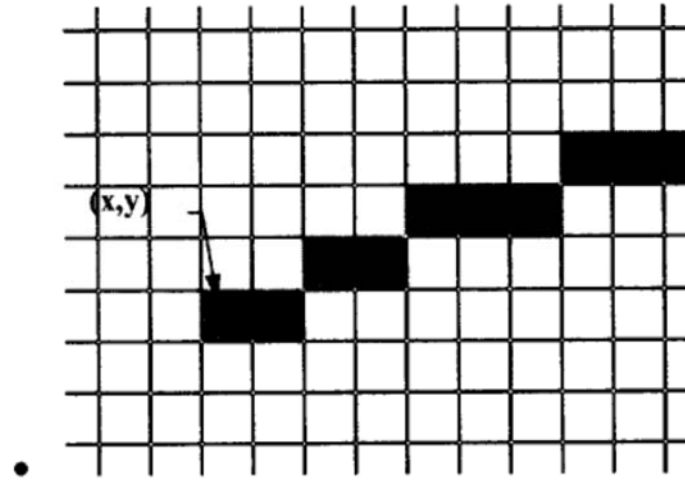


그림 III-10 직선 표시 알고리즘으로 선택되는 점들

한계 치 이상의 점이 없을 때에는 장애물이 아직 검출되지 않은 상태이다. 이 때는 로봇을 시선 방향으로 진행하는 명령을 내리고 종료한다.

전시물이 장애물과 수직으로 바라보도록 배치가 되었다는 가정을 한다면, 초음파 지도에서 장애물의 각도를 안다면, 접근 행위에서 전시물과 수직인 방향으로 로봇을 움직이도록 할 수가 있다.

4. 로봇이 전시물 위치로 가도록 조정한다.

현재 위치에서 목적 위치까지의 방향과 거리를 검사하면서 진행을 한다. 거리에 따라서 속도를 조절해 준다. 거리가 멀면 빨리 가고 가까워지면 천천히 가서 원하는 위치에 가까이 가게 한다.

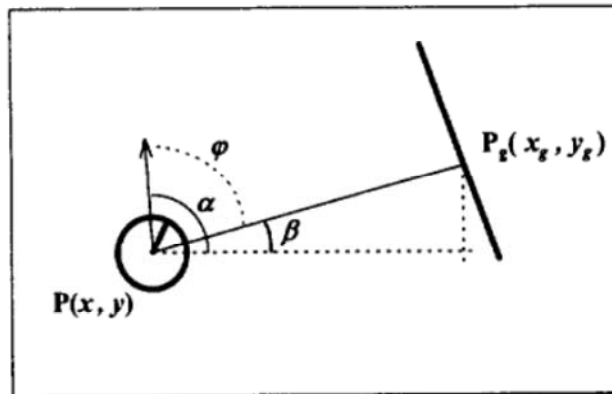



그림 III.-11 접근 알고리즘

현재 로봇의 위치를 $P(x, y)$, 로봇의 방향을 α , 목적 위치를 $P_g(x_g, y_g)$ 로 하면, 현재 로봇의 가야할 방향의 각도 ϕ 는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\phi = \alpha - \beta = \alpha - \tan^{-1}\left(\frac{y_g - y}{x_g - x}\right)$$

접근 동작이 수행되는 도중에 다른 명령이 들어오면 동작을 중지하고 그 명령을 수행한다. 사용자가 원하는 대상으로 접근하던 도중에 로봇의 이동 방향을 마음대로 바꿀 수 있게 하기 위해서 이다.

IV. 시스템 구현

본 장에서는 시스템의 구현 환경으로 설정한 소프트웨어 및 하드웨어 환경을 설명한다. 그리고 시스템의 구현에 사용한 로봇에 대해 설명한다. 그리고 시스템 실험 결과에 대해서 서술한다. 

1. 구현 환경

본 시스템은 WWW 상에서 동작하도록 작성되었다. 이를 위해 클라이언트는 네트워크 프로그래밍 언어인 Java 언어로 작성 되었으며, 이 때문에 하드웨어에 상관없이 동작하는 장점이 있다. Java 언어는 Java 가상 기계를 지원하는 대부분의 WWW 브라우저에서 실행이 가능하기 때문에 하드웨어와 운영체제에 관계없이 WWW을 접속할 수 있는 환경이면 동작이 가능하다.

서버는 UNIX를 바탕으로 하여 X-window 시스템에서 구현되었다. 비디오 이미지 저장을 위해서는 이 로봇의 2대의 카메라 중 한 대와 Parallax Graphics사의 Xvideo board를 사용하였고, 로봇 서버와 HTTP 서버가 도는 호스트는 Sun SPARCworkstation을 사용하였다. 로봇 서버와 로봇은 직렬 포트로 통신을 한다.

로봇은 한국과학기술원 전산 학과에서 개발한 지능형 이동 로봇 (Intelligent Mobile Robot)인 CAIR-2를 이용하였다[25]. 로봇의 외관은 그림 IV.-1과 같다.

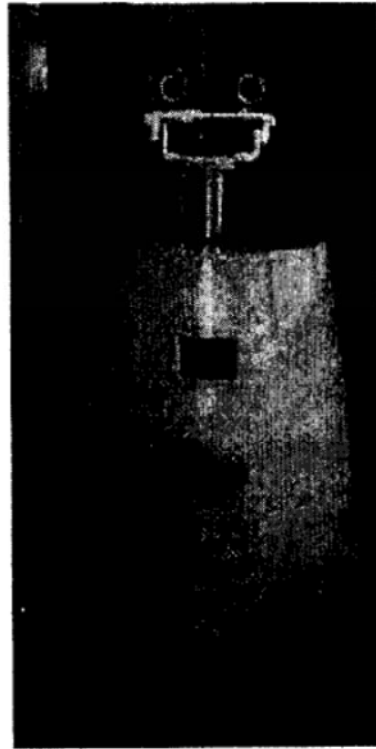


그림 IV.-1 CAIR-2의 외관

CAIR-2는 100cm의 길이와 60cm의 직경, 65kg의 무게를 가지고 있으며, 두개의 공기 타이어로 주행한다. 정보 처리를 위해 두개의 MC68040 보드를 탑재하여 다른 VME 보드들을 통제한다. 각 보드들간의 정보 전달은 VME bus를 통하여 이루어진다. 여러 VME 보드들은 CPU로부터 명령을 받아 모터 제어, 적외선 센서 관리, 초음파 센서 관리, 음성 합성, 램 디스크 관리, 영상 입력 등등의 작업을 행한다. 각 작업을 원활히 하기 위해서 한국과학기술원 전산 학과에서 개발한 로봇용 실시간 운영체제가 동작하고 있다.

CAIR-2가 탑재한 16개의 초음파 센서들은 로봇으로부터 30cm에서 300cm이내의 사물의 위치를 파악하여 VME bus를 통하여 CPU로 전달하고, 8개의 적외선 센서들은 보다 근접한 사물들의 위치, 즉 로봇으로부터 30cm이내의 공간에 있는 사물의 위치를 파악 CPU로 전달하여 로봇의 CPU에서 동작하고 있는 실시간 운영체제로 하여금 충돌을 회피하게 한다.

로봇의 머리 부분에는 두 대의 카메라가 시선의 조정을 위해 Pan과 Tilt를 변화 시킬 수 있도록 모터에 의하여 컨트롤 되고 있어 물체의 인식, 영상 이해, 목표물 추적, Stereo Vision등에 이용된다.

2. 구현 결과

시스템 실험은 공용 전산망 Ethernet을 사용하였다. 그리고 시스템의 전시 공간으로 사용된 한국과학기술원 전산학과 인공지능 연구실의 실제 실험 공간의 규격은 그림 IV.-2와 같다. 가운데 있는 것은 실험에 쓰인 CAIR-2와 같은 외양의 로봇이다.

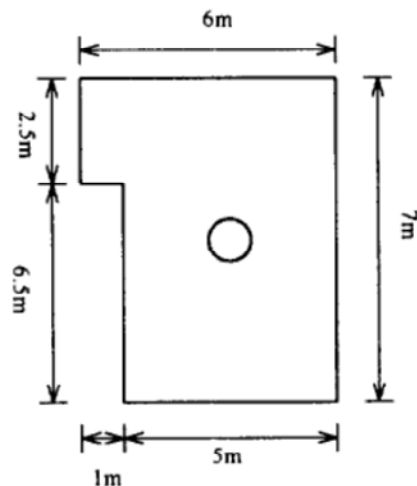


그림 IV.-2 실제 실험 공간

사용자는 원격 전시 시스템에 WWW 브라우저로 접속을 한다. 지정된 페이지로 접속을 하면 다음과 같은 모습의 클라이언트가 실행된다.

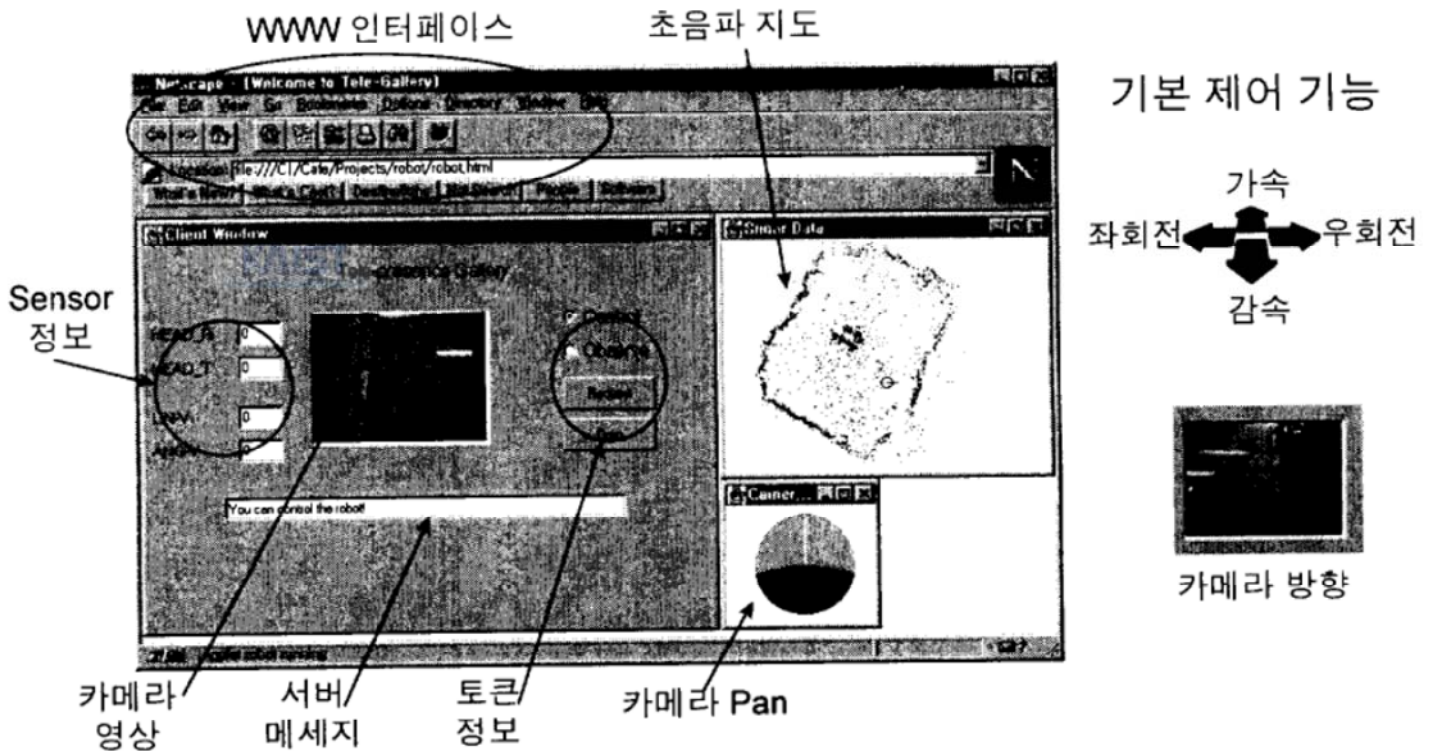


그림 IV.3 클라이언트 사용자 인터페이스

이미지는 네트워크 속도를 감안해서 흑백(Gray Scale)으로 전송하였다. 0.5초 이내의 전송 지연이 있었다. 초음파 지도는 결과에 나온 것처럼 사용자가 미리 예상하기에 충분한 정보를 보여주었다. 하지만 좀 더 정확한 제어를 하기 위해서 또는 전시 환경을 모델화하기 위해서는 초음파 지도의 작성에 대한 연구가 더 필요하다. 초음파 지도에서 로봇의 위치 갱신과 카메라 각도 갱신은 이미지 전송과 비슷한 지연이 있었다.

접근 명령의 결과는 다음 그림에 나타나 있다. 로봇이 첫번째 결과 상태에 있을 때 사용자가 접근 명령을 내렸다. 로봇은 초음파 지도 상의 위쪽으로 진행 중이었는데, 방향을 바꿔서 오른쪽의 전시물이 있는 쪽으로 점점 접근해 갔다. 화살표는 카메라의 방향이다. 하지만 접근 명령을 수행한 후에 벽면에 가까이 다가간 경우, 그 위치에서 벗어나기 위해서 로봇을 제어하는 것이 쉽지 않았다. 로봇이 후진을 할 수 없기 때문이다. 이 경우를 위한 명령도 필요하다는 관찰을 했다.

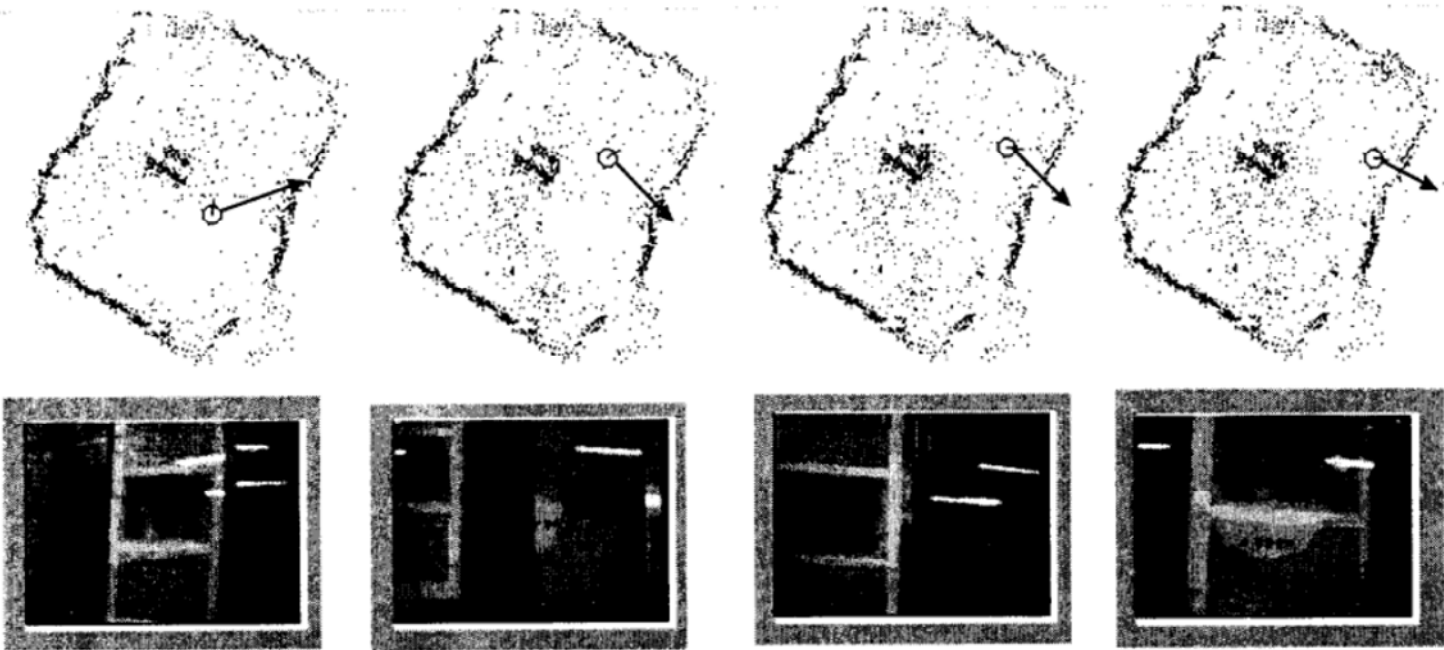


그림 IV.-4 접근 명령 결과

V. 결론

본 논문에서는 Telerobotics 기술을 이용하여 WWW상에서 원격 전시 시스템을 설계하고 구현하였다. 확장성을 위해 HTTP서버를 거치지 않고 직접 클라이언트와 서버가 연결되는 구조를 설계했다. 또한 네트워크 프로그래밍 언어로 클라이언트를 구현하였다. 이 때문에 하드웨어, 운영체제에 관계없이 WWW에 접속할 수 있는 사용자는 누구나 이 시스템을 사용할 수 있다.

본 시스템에서는 사용자가 효율적으로 전시 공간을 관람하게 하기 위하여 사용자 인터페이스를 설계하였다. 카메라 이미지와 초음파 지도와 카메라 각도를 그래픽 방법으로 사용자에게 보여준다. 이 방법으로 시스템에 사용되는 이동 로봇의 정보들을 효과적으로 보여줌으로써 사용자가 전시 공간을 운항하는데 도움이 되게 하였다.

본 시스템에서는 네트워크 시간 지연에 대한 해결 방법으로 접근 명령을 구현하였다. 현재 사용자가 보고 있는 로봇의 정보를 바탕으로 내린 명령이 서버에서 재구성되어 동작하도록 하였다. 사용자가 명령을 내린 시각의 로봇의 위치를 구해서 그 때의 목적 위치를 구하고 현재 로봇을 그 쪽으로 가게하는 접근 명령을 구현하여서 사용자가 명령을 내린 후에 예상하는 방향으로 로봇이 이동하도록 하였다.

향후 연구는 더욱 사용자가 몰입을 할 수 있도록 가상 현실 인터페이스를 이용하는 연구가 되어야 한다. 네트워크 시간 지연 문제에 대한 연구로 시스템 서비스의 질(QOS)을 조절하는 연구가 되어야 한다. 전시장을 Modeling해서 원격지에서 전시장을 시뮬레이션 하는 연구도 필요하다. 카메라의 자유도를 높여서 더욱 사용자가 원하는 시점에 가까운 위치에서 전시물을 볼 수 있도록 하는 연구도 되어야 한다. 더욱 다양한 종류의 전시장을

관람하는 사람의 모델링이 되어서, 시간 지연을 해결하기 위한 명령들이 추가되어야 한다.
전시물과 웹과의 연동에 대해서도 연구되어야 한다.

KAIST

VI. 참고문헌

- [1] A.E.R. Greaves, "State of the Art in Nuclear Telerobotics: Focus on the Man/machine Connection," Transactions of the American Nuclear Society, 1994.
- [2] Alberto Elfes, "Sonar-Based Real-World Mapping and Navigation," IEEE Journal of Robotics and Automation. VOL. RA-3. NO. 3, June 1987
- [3] C. Ntuen, E. Park, and S. Kimm, "A Blackboard Architecture for Human-machine Interface in Mining Teleoperation," Human Computer Interaction, 1993.
- [4] C. R. Weisbin and D. Lavery, "Vasa Rover and Telerobotics Technology Program," IEEE Conf. on Robotics and Automation Magazine, 1993.
- [5] Craig P. Sayers, "Intelligent Image Fragmentation for Teleoperation," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1993.
- [6] Eric Paulos and John Canny, "Delivering Real Reality to the World Wide Web via Telerobotics," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1996.
- [7] [HTTP://citynight.com/livecam.html](http://citynight.com/livecam.html)
- [8] [HTTP://firstvip.stanford.edu/](http://firstvip.stanford.edu/)
- [9] [HTTP://hogwild.hamjudo.com/cgi-bin/wave/](http://hogwild.hamjudo.com/cgi-bin/wave/)
- [10] [HTTP://jek113.rh.psu.edu/](http://jek113.rh.psu.edu/)
- [11] [HTTP://rr-vs.informatik.uni-ulm.de/rr/](http://rr-vs.informatik.uni-ulm.de/rr/)

- [12] [HTTP://telerobot.mech.uwa.edu.au/](http://telerobot.mech.uwa.edu.au/)
- [13] [HTTP://vive.cs.berkeley.edu/capek/](http://vive.cs.berkeley.edu/capek/)
- [14] [HTTP://webcam.engsoc.carleton.ca/](http://webcam.engsoc.carleton.ca/)
- [15] [HTTP://www.counterfeit.org/](http://www.counterfeit.org/)
- [16] [HTTP://www.cs.cmu.edu/People/Xavier/](http://www.cs.cmu.edu/People/Xavier/)
- [17] [HTTP://www.deepspace.ucsb.edu/rot.htm](http://www.deepspace.ucsb.edu/rot.htm)
- [18] [HTTP://www.quadrant.net/interface/](http://www.quadrant.net/interface/)
- [19] [HTTP://www.telescope.org/rti/](http://www.telescope.org/rti/)
- [20] [HTTP://www.usc.edu/dept/garden/](http://www.usc.edu/dept/garden/)
- [21] [HTTP://www.usc.edu/dept/raiders/](http://www.usc.edu/dept/raiders/)
- [22] Hyun S. Yang, Jiyeon Chung, Byeong S. Ryu, and Juho Lee, "CAIR-2 Intelligent Mobile Robot for Guidance and Delivery," AI magazine, 1996.
- [23] J. V. Draper, "Teleoperators for Advanced Manufacturing: Applications and Human Factors Challenges," International Journal of Human Factors in Manufacturing, 1995.
- [24] James Gosling and Henry McGilton, "The Java Language Environment: A White Paper," Technical Report, Sun Microsystem, 1995.
- [25] Jiyeon Chung, "A Study on the Intelligent Mobile Robot with Real-Time Vision Capability," M.S. Thesis for Department of Computer Science, KAIST, Dec. 20, 1991

- [26] Jiyeon Chung, "Integrated Control Architecture Based on Behavior and Plan for Mobile Robot Navigation," Ph.D. Dissertation for Department of Computer Science, KAIST, Oct. 11, 1996
- [27] Ken Goldberg, Michael Mascha, Steven Gentner, Nick Rothenberg, Carl Sutter and Jeff Wiegley, "Desktop Teleoperation via World Wide Web," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1995.
- [28] Lee Gomes, "Plug-ins May Redraw Web's Capabilities," San Jose Mercury News, Feb. 1996.
- [29] P. S. Green, J. W. Hill, J. F. Jensen, and A. Shah, "Telepresence Surgery," IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 1995.
- [30] Praveen Bhatia and Masaru Uchiyama, "Shared Intelligence for Telerobotics with Time Delay: Theory and Human Interface with Local Intelligence," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1994.
- [31] R. D. Ballard, "A Last Long Look at Titanic," National Geographic, December 1986.
- [32] Raymond Goertz and R. Thompson, "Electronically Controlled Manipulator," Nucleonics, 1954.
- [33] Richard S. Wallace and Shana M. Fisher, "Finite-state Machine Models of World-Wide Web Clients," Technical Report NYU CS TR 700, 1995.
- [34] Rodney A. Brooks, "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot," IEEE Journal of Robotics and Automation. VOL. RA-2 NO. 1, March 1986.
- [35] Stephen Strenn, T.C. Hsia and Karl Wilhelmsen, "A Collision Avoidance Algorithm for Telerobotics Applications," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1994.

- [36] Tim Berners-Lee, Robert Cailliau, Jean-Francois Groff, and Bernd Pollerman, "World-wide Web: The Information Universe," Electronic Networking: Research, Applications and Policy, Westport CT, Spring 1992.
- [37] Ulrich Nehmzow, Andreas Buhlmeier, Holger Durer and Manfred Nolte, "Remote Control of Mobile Robot via Internet," Dept. Of CS University of Manchester Technical Report Series UMCS-96-2-3, 1996.
- [38] Won S. Kim, "Graphical Operator Interface for Space Telerobotics," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1993.

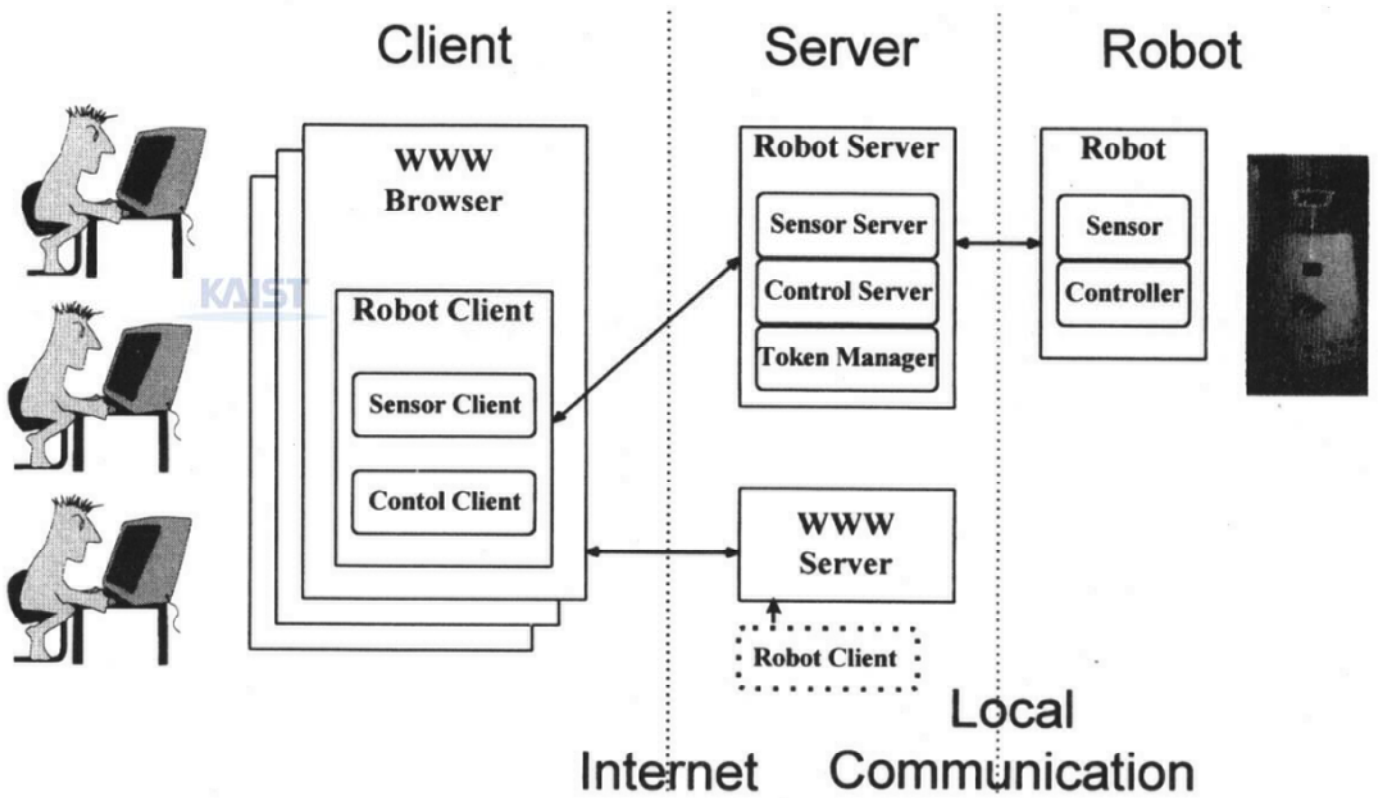


그림 III.-1 시스템 전체 구조

이러한 구조에서 로봇 서버와 클라이언트의 구성 요소들을 자세히 살펴보면 그림 III.-2와 같다. 각각의 구성 요소들에 대해서는 다음 절에서 살펴본다.

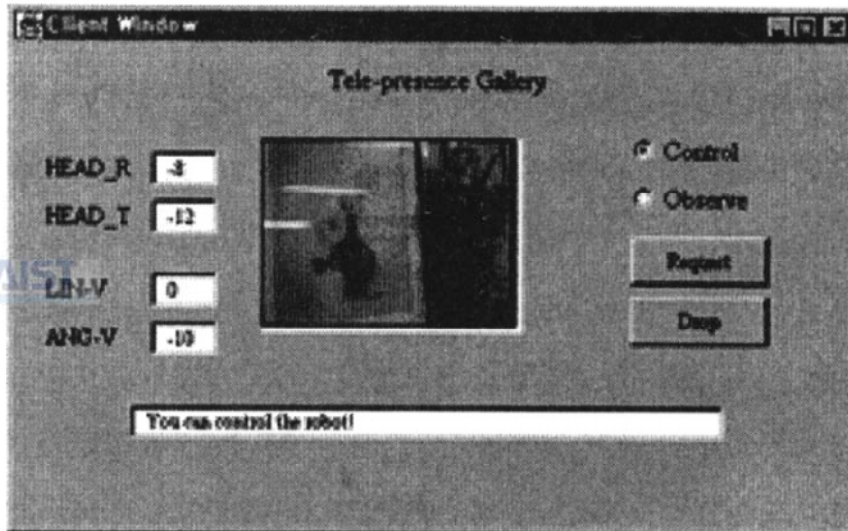


그림 III.-5 카메라 이미지 사용자 인터페이스

▪ 초음파 지도

초음파 지도(Sonar-Based Map)는 초음파 센서에서 들어온 정보를 바탕으로 지도를 구성한 것으로, 이것을 이용해서 경로 계획(Path Planning)과 운항(Navigation)에 사용한다[2]. 하지만 이것을 사용자에게 보여줌으로써 로봇의 환경에 대해 사용자가 예상을 하게 할 수 있다. 초음파 지도의 작성은 초음파 센서의 확률 Profile을 이용해서 작성이 된다. Elfes는 초음파 센서의 일반적인 확률 Profile을 제시했고[2], 이 시스템에서는 그것을 단순화 시킨 모델을 적용시켜서 시각화하여 사용자에게 보여준다.

로봇의 표시는 로봇과 진행 방향으로 표시를 해서 사용자가 예상을 할 수 있게 했다. 초음파 지도를 표시한 사용자 인터페이스의 모습은 그림 III.-6와 같다. 이것은 클라이언트에서 사용자에게 보여주기 위해 만드는 초음파 지도이고 서버에서 운항에 사용하기 위해 만드는 초음파 지도와는 다른 것이다. 서버에서 만드는 초음파 지도에 대한 설명은 6.절에서 기술한다.

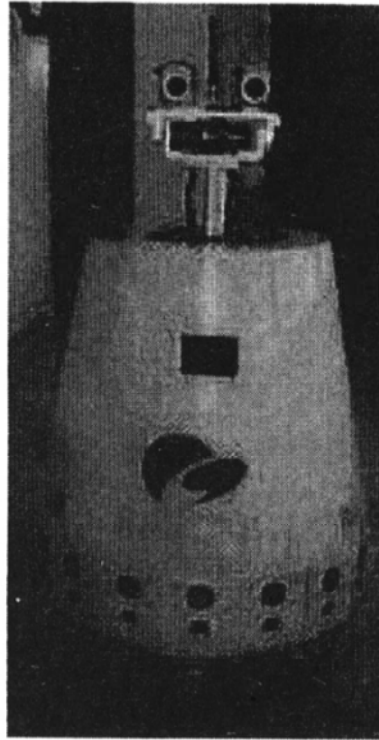


그림 IV.-1 CAIR-2의 외관

CAIR-2는 100cm의 길이와 60cm의 직경, 65kg의 무게를 가지고 있으며, 두개의 공기 타이어로 주행한다. 정보 처리를 위해 두개의 MC68040 보드를 탑재하여 다른 VME 보드들을 통제한다. 각 보드들간의 정보 전달은 VME bus를 통하여 이루어진다. 여러 VME 보드들은 CPU로부터 명령을 받아 모터 제어, 적외선 센서 관리, 초음파 센서 관리, 음성 합성, 램 디스크 관리, 영상 입력 등등의 작업을 행한다. 각 작업을 원활히 하기 위해서 한국과학기술원 전산 학과에서 개발한 로봇용 실시간 운영체제가 동작하고 있다.

CAIR-2가 탑재한 16개의 초음파 센서들은 로봇으로부터 30cm에서 300cm이내의 사물의 위치를 파악하여 VME bus를 통하여 CPU로 전달하고, 8개의 적외선 센서들은 보다 근접한 사물들의 위치, 즉 로봇으로부터 30cm이내의 공간에 있는 사물의 위치를 파악 CPU로 전달하여 로봇의 CPU에서 동작하고 있는 실시간 운영체제로 하여금 충돌을 회피하게 한다.

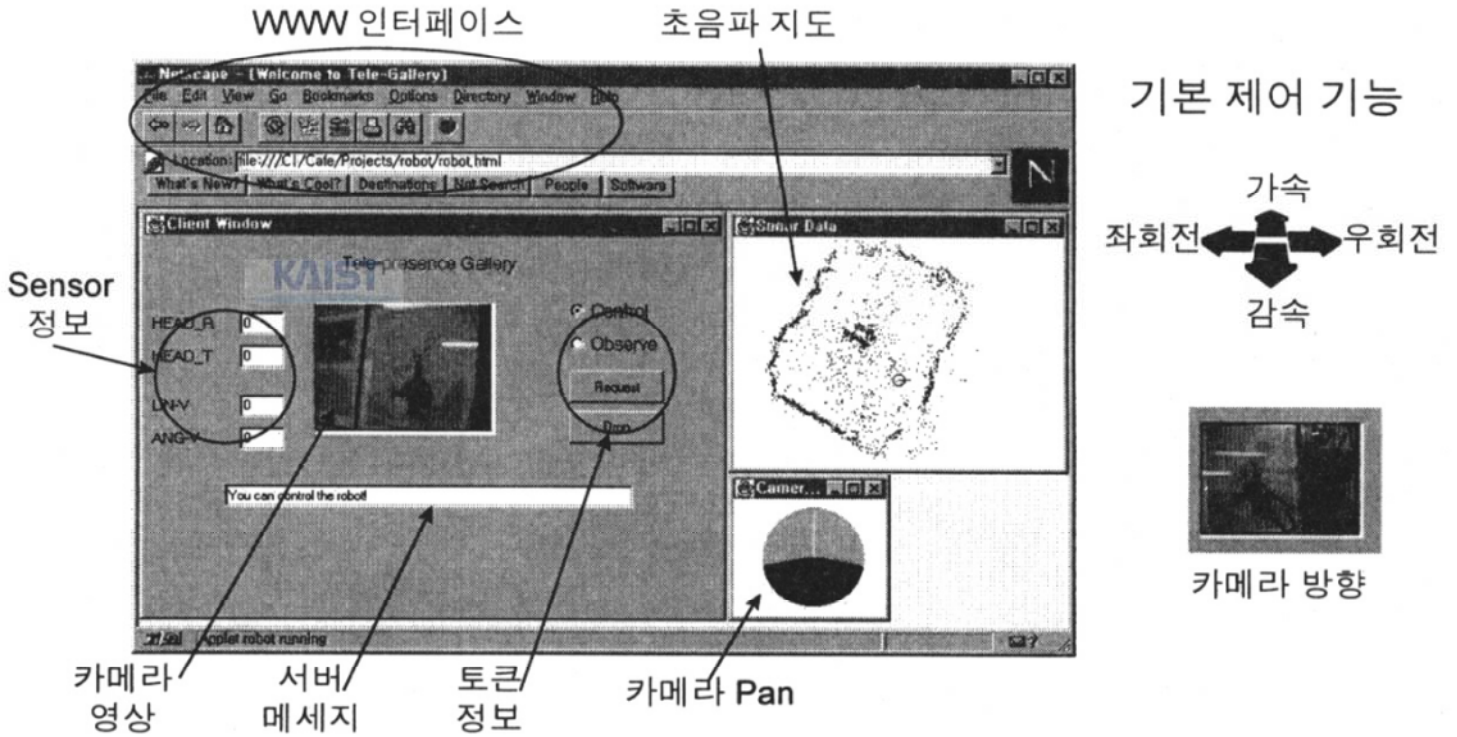


그림 IV.3 클라이언트 사용자 인터페이스

이미지는 네트워크 속도를 감안해서 흑백(Gray Scale)으로 전송하였다. 0.5초 이내의 전송 지연이 있었다. 초음파 지도는 결과에 나온 것처럼 사용자가 미리 예상하기에 충분한 정보를 보여주었다. 하지만 좀 더 정확한 제어를 하기 위해서 또는 전시 환경을 모델화하기 위해서는 초음파 지도의 작성에 대한 연구가 더 필요하다. 초음파 지도에서 로봇의 위치 갱신과 카메라 각도 갱신은 이미지 전송과 비슷한 지연이 있었다.

접근 명령의 결과는 다음 그림에 나타나 있다. 로봇이 첫번째 결과 상태에 있을 때 사용자가 접근 명령을 내렸다. 로봇은 초음파 지도 상의 위쪽으로 진행 중이었는데, 방향을 바꿔서 오른쪽의 전시물이 있는 쪽으로 점점 접근해 갔다. 화살표는 카메라의 방향이다. 하지만 접근 명령을 수행한 후에 벽면에 가까이 다가간 경우, 그 위치에서 벗어나기 위해서 로봇을 제어하는 것이 쉽지 않았다. 로봇이 후진을 할 수 없기 때문이다. 이 경우를 위한 명령도 필요하다는 관찰을 했다.

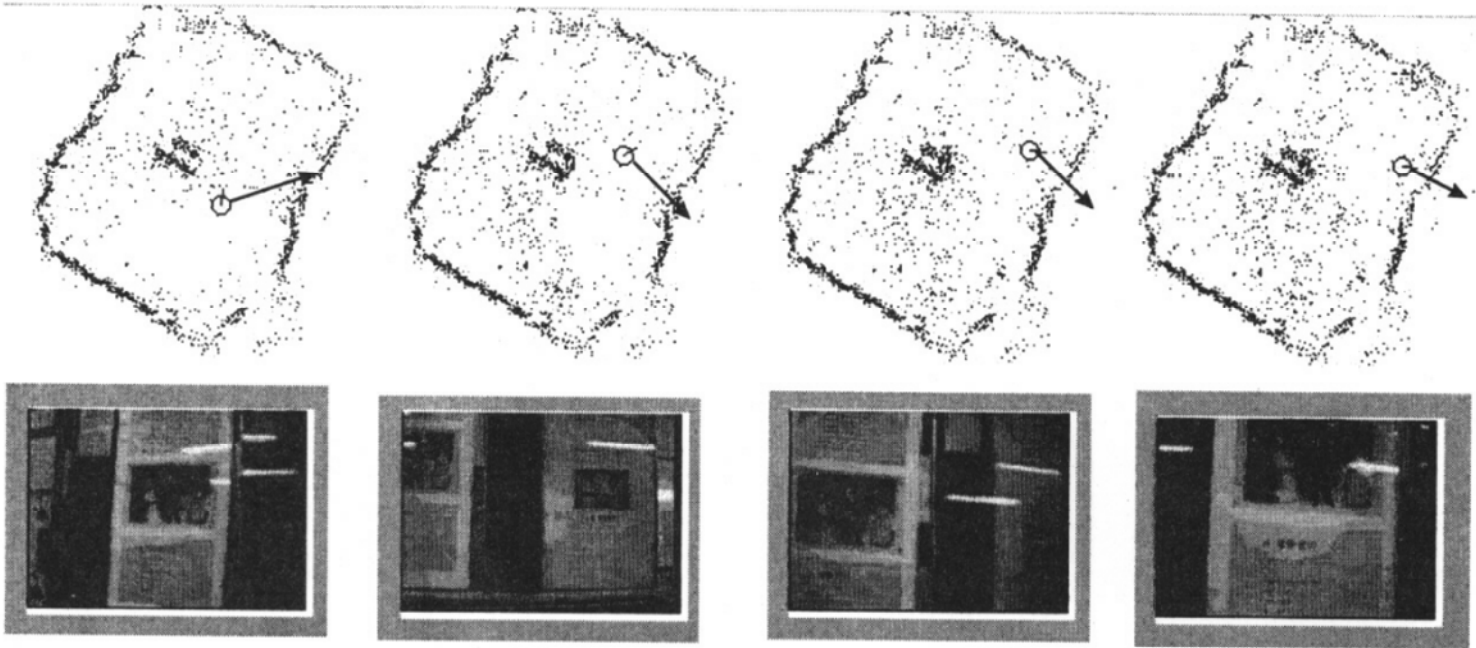


그림 IV.-4 접근 명령 결과