

# PDA를 이용한 이동로봇 제어

## PDA-based Supervisory Control of Mobile Robot

김성주 · 정성호 · 김용택\* · 전흥태

Seong-Joo Kim, Sung-Ho Jung, Yong-Taek Kim\*, Hong-Tae Jeon

중앙대학교 일반대학원 전자전기공학부

\*한국전력기술주식회사 전력기술개발연구소

### 요 약

본 논문은 PDA(개인용 휴대용 단말기)를 이용하여 원격제어하는 이동로봇 시스템을 구현하였다. 현재 급속도로 발전하는 인터넷 개발 기술 때문에 이를 기반으로 하는 많은 원격 제어 방법들이 제안되어 왔다. 주변환경을 인지 못하는 상황에서 안내와 인터넷을 통한 이동 로봇 제어를 위하여 PDA를 활용한 제어를 제안한다. 이에 제안하는 시스템은 사용자 인터페이스인 PDA와 이동로봇의 컨트롤러인 노트북과 통신을 한다. 이를 위해 TCP/IP 프로토콜을 이용한다. 회전 각도 조절 방향과 속도에 대한 정보가 PDA에서 이동로봇에 피드백 되며 퍼지 추론엔진으로부터 출력된 새로운 제어값을 PDA가 보내게 된다.

### Abstract

This paper represents the mobile robot system remote controlled by PDA(personal digital assistance). So far, owing to the development of internet technologies, lots of remote control methods through internet have been proposed. To control a mobile robot through internet and guide it under unknown environment, We propose a control method activated by PDA. In a proposed system, PDA acts as a user interface to communicate with notebook as a controller of the mobile robot system using TCP/IP protocol, and the notebook controls the mobile robot system. The information about the direction and velocity of the mobile robot feedbacks to the PDA and the PDA send new control method produced from the fuzzy inference engine.

**Key Words** : Mobile Robots, PDA, Fuzzy, Speech Recognition, Wireless LAN Communication, Neural Networks

## 1. 서 론

최근 몇 년 동안 인터넷 기술의 발전으로 로봇의 제어에 있어서 공간적 한계와 시간적 제약에 구애를 받지 않는 용이성 때문에 TCP / IP를 기반으로 하는 로봇 제어 분야가 활발히 연구되고 있다. 이러한 웹 기반 응용 로봇 공학의 출현은 일찍이 무선조정(teleoperation)을 기원으로 발전해 왔다 [1]. 인터넷 기반 하에 웹브라우저를 이용한 원격제어 로봇이나 장치 제어에 관련된 웹 텔레로보틱스의 개념은 아직 초기단계에 있다 [2]. 현재 네트워크를 기반으로 원격로봇조작 관련된 기술들은 여러 종류가 있지만, 개발된 대다수의 기술들이 실제적으로 플랫폼에 독립적이며 호환성을 가지는 JVM(Java Virtual Machine)을 사용하여 기계어 코드로 번역 되어 동작 시키는 썬마이크로시스템의 Java나 마이크로소프트의 전략적 객체지향 프로그램 기술인 ActiveX control 같은 기술을 사용하여 웹브라우저와 연동하여 어플리케이션의 내부에서 돌아가는 시스템이 대부분이다 [3,4,5]. 특히, 기존 대부분의 인터넷을 기반으로 한 매니플레이터나 이동로봇을 제어하는 모듈들은 운영 공간의 한계를 극복하고자 시스템을 구성하였지만, 시스템의 안정성을 고려하여

성능이 좋은 데스크탑이나 서버를 기반으로 개발되어 소형화와 휴대성 문제는 간과해 왔다. 이에 급속도로 발전하고 있는 PDA(Personal Digital Assistance)를 이용하여 제어모듈의 소형화 문제에 한 걸음 접근하고자 한다. PDA 장점인 OS의 Loading 시간 없이 전원을 인가하였을 때 바로 실시간으로 제어모듈 인터페이스에 사용할 수 있다는 편이성과 PDA 운영체제 중 하나인 윈도우 CE의 RTOS(real-time operating system) 시스템의 강점을 접목하여 이동로봇 제어의 효율성을 극대화하고자 한다. 본 논문에서는 음성인식 하드웨어 시스템과 마그네틱 센서, PDA를 하나의 제어모듈로 구성하여 무선랜 환경을 기반으로 이동로봇을 제어하는데 초점을 두고자 한다. 현재 음성인식 하드웨어 시스템의 소형화 문제가 완전히 해결되지는 못했지만 음성인식이나 기타 입력재원에 의한 데이터입력으로 이동로봇의 실시간 운영 가능성을 검증하고자 한다.

## 2. PDA를 이용한 이동로봇 제어

### 2.1 시스템의 구성

본 논문에서 구현된 로봇 제어를 위한 전체적인 시스템의 구성도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는 것처럼 전체적인 하드웨어 시스템 구성도는 크게 사용자가 명령을 내리는 제어 시스템을

접수일자: 2001년 10월 26일

완료일자: 2002년 5월 2일

중심으로 하는 IWM (Intelligent Wearable Module)과 한울로보틱스의 Synchro-drive Mobile Robot(Model : HWR-MRB2)을 직접 제어하는 MV(Mobile Vehicle)로 구성되어 있다. IWM에는 크게 음성 인식 장치와 방향을 인식하는 자장 센서 장치 그리고 PDA 단말기(i-paq H3660, Compaq)로 구성되어 있다.

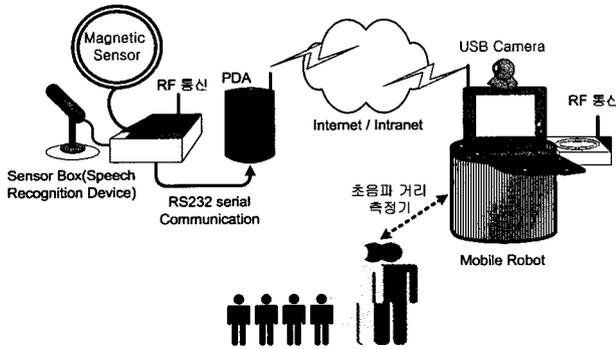


그림 1. 전체적인 시스템 구조  
Fig. 1. System Architecture

IWM과 MV는 무선 랜 카드를 이용한 통신 방식으로 정보의 제공과 명령의 전달 과정을 구현하도록 통신 프로토콜이 마련되어 있다. 내부적으로는 IWM의 경우, 사용자의 음성명령, 행동명령을 감지할 수 있는 센서박스 와 시리얼 통신을 할 수 있도록 구성되어 있으며, MV의 경우 이동 로봇을 직접 제어하도록 USB 포트를 통해 노트북과 연결되는 구조로 구성되었다.

명령수행 과정은 다음과 같다. 정의된 프로토콜에 의해 음성인식 또는 마그네틱 센서를 통해서 들어오는 명령은 PDA를 거쳐 MV의 모바일 로봇에 전달되어 명령을 수행하게 된다. 또한 MV에서는 초음파 센서를 통해 측정된 거리 데이터를 IWM의 PDA에 전달하여 퍼지 추론 알고리즘에 의해 모바일 로봇의 속도와 방향을 제어할 수 있도록 한다. 인터넷에서 전송 시에는 네트워크 시스템에 크게 영향을 받지 않지만, 만일 인터넷 환경일 때 전체 네트워크 부하로 네트워크 속도 저하 문제가 발생하였을 경우를 대비하여 명령어를 전송할 수 있도록 40kbps까지 전송이 가능한 RF송수신 (BiM-418-F, Radiometrix) 모듈로 구성된 RF 통신 전송 방식으로 전환하여 작동하도록 구성하였다.

2.2 소켓통신 기본 구조

IWM의 메인 제어시스템을 PDA로 구성하였으며 MV의 메인 제어시스템을 노트북으로 구성하였고, 최고 11Mbps의 전송률을 가진 무선 랜 카드와 Access Point(AP)로 무선 랜 환경을 구축하였다. 무선 랜을 이용한 소켓통신 시 프로그램의 구성은 모바일 로봇쪽의 MV를 Server 개념으로 항상 동작 대기 상태에 있다고 보며, IWM은 MV에 역세스를 했다가 접속을 끊을 수 있는 것과 같이 Client 개념으로 소켓 프로그램을 작성하였다. 위에서도 잠깐 언급했듯이 IWM의 PDA 운영체제는 윈도우 CE이다. 윈도우 CE의 모든 문자열은 UNICODE 방식으로 처리된다. UNICODE 방식은 모든 문자 체계를 2바이트 인덱스 체계로 처리하지만 MV에서의 프로그램에서는 ANSI방식으로 문자셋을 1바이트로

처리한다 [6,7].

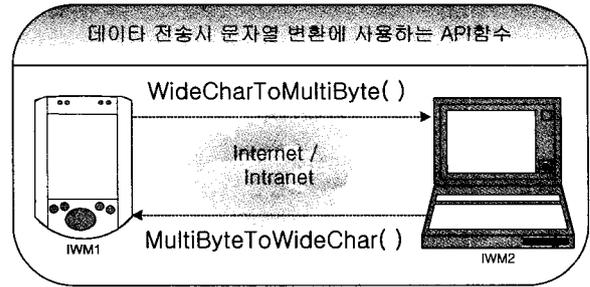


그림 2. 데이터 전송 시 사용하는 Windows API 함수  
Fig. 2. Using Windows API for Data transmission

따라서 데이터를 전송시 데이터가 제대로 전송되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 그림 2에서 보는 것과 같은 Windows API 함수를 사용하여 PDA에서 받은 데이터를 UNICODE로 변환해 주어야 하고, 보내기 전에 데이터를 ANSI코드로 변환하여 전송하여야 한다. PDA에서의 소켓 프로그램에서는 다른 소켓 클래스는 잘 동작하지 않는 관계로 윈도우 CE에서만 지원하는 Class인 CCESocket 클래스를 사용하였으며, MV에서는 non-blocking 방식의 CAsyncSocket 클래스를 기본 클래스로 하는 파생 클래스를 정의하여 사용하였다.

2.3 하드웨어 구성

전체 시스템의 구조를 개념적으로 표현하면 다음 그림과 같다.

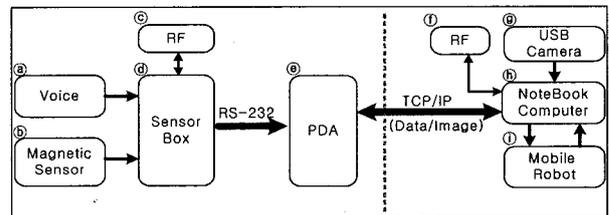


그림 3. 전체 시스템 개념도  
Fig. 3. Block Diagram of Full System

전체 시스템을 구성하고 있는 세부 모듈에 대해 설명하면 다음과 같다.

a) Voice

IWM 사용자는 음성을 이용하여 명령을 내리게 되고 이때 받은 음성의 인식 결과를 통해 간접적으로 MV에 명령을 할 수 있게 하기 위해 구성된 모듈이다. 예를 들어 '따라와'와 같은 추종 명령어가 대표적인 명령어로 현재 모듈에서는 화자 종속에 Continuous Listening Mode로 15개의 음성 인식이 가능하다. 현재 PCB로 제작되어 테스트가 완료되어 자체 모듈로 사용이 가능하도록 구현되었다.

음성 인식 모듈로는 Voice Direct™ 364 Speech Recognition Kit 을 사용하였다. 사용한 음성인식 하드웨어는 Continuous Listening(CL) 모드로 구성시 15개의 명령어를 학습하여 인식할 수 있다.

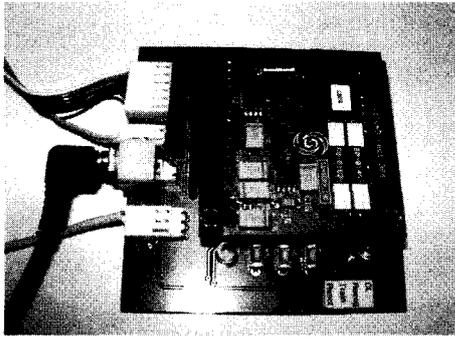


그림 4. 음성인식 모듈  
Fig. 4. Speech Recognition Module

b) 자기장 센서 (Magnetic Sensor)

자기장 센서는 4개 성분의 wheatstone bridge로 형성된 칩이 메인을 이루고 있으며 90도의 위상을 이용, 자기장 영역을 서로 다른 전압으로 출력한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 8방위의 센서 정보를 얻어 MV의 튜렛(Turret)을 회전 동작명령을 수행할 수 있다. 자기장 센서 모듈은 음성을 통하거나 손을 통하여 명령을 전달할 수 없는 신체 장애인을 고려한 명령 입력 방식으로 사용될 수 있으며, 신체 일부를 회전함으로써 명령을 전달할 수 있다. 본 논문에서는 MV의 응시방향 전환을 위해 사용하도록 고안하였다.

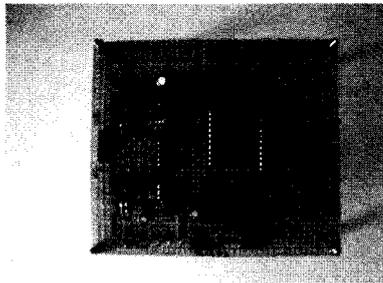


그림 5. 자기장 센서모듈  
Fig. 5. Magnetic Sensor Module



그림 6. 자기장 센서 응용 장치  
Fig. 6. Magnetic Sensor Application Device

c) RF module

Intelligent Wearable System은 현재 전체 시스템을 구

성도에서 보는 바와 같이 크게 Intelligent Wearable Module와 이동로봇을 기반으로 하는 Vehicle Module로 구성되어 있다. 이 두 시스템간의 통신방식은 기본적으로 TCP/IP를 기반으로 한다. 많은 용량의 센서 데이터나 영상 데이터와 같은 정보를 전송하기에는 인터넷을 기반으로 하는 TCP/IP가 최상의 프로토콜이다. 그러나 인터넷 환경에서는 문제없이 데이터가 전송이 되겠지만 인터넷 환경에서는 언제 전체 네트워크 시스템의 부하로 원하는 데이터가 전송되지 못할 수가 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 긴급명령이나 MV에 명령을 내릴 필요가 있을 때 사용되는 모듈이다.

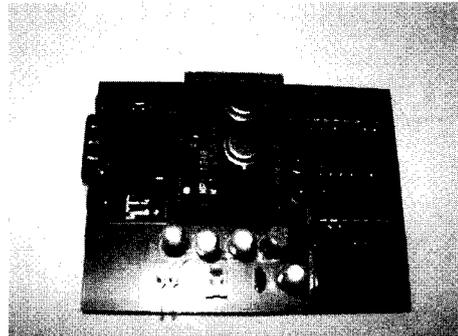


그림 7. 자기장 센서 모듈  
Fig. 7. Magnetic Sensor Module

d) 센서 박스 (Sensor Box)

센서 박스의 역할은 각 센서 입력(음성, 자기장)으로부터 들어온 센서정보의 스위칭 역할을 하며, 또한 하드웨어적으로 정의한 프로토콜 형태로 만들어 주는 역할을 하며, PDA에 시리얼로 데이터를 전송해 주기 위해 전송 속도 등을 설정할 수 있도록 설계하였으며, ATMEL사의 AT89C51과 AT89C2051 Micro controller를 이용하여 프로그래밍하였다.

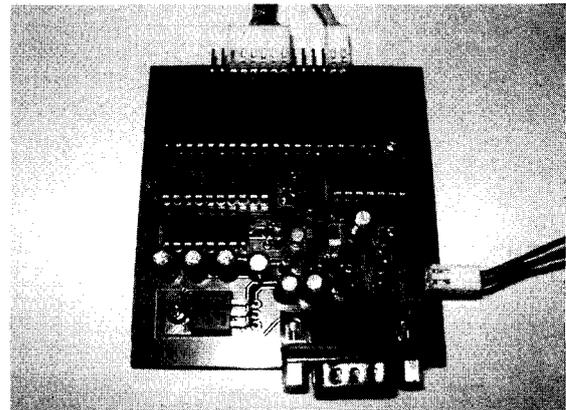


그림 8. 메인 제어 기판  
Fig. 8. Main Control Board

e) PDA

PDA 모듈은 크게 PDA본체, 확장팩, Wireless Lan Card로 구성되어 있다. PDA는 Compaq의 ipaq3660을 사용하였다.

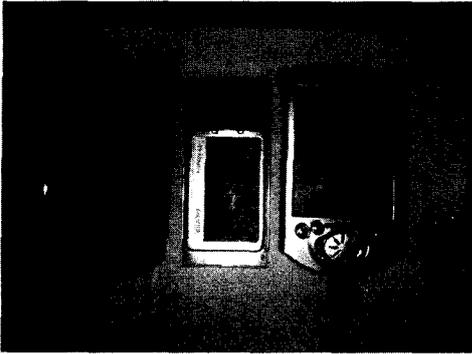


그림 9. PDA 모듈  
Fig. 9. PDA Module

표 1. PDA 성능  
Table. 1. PDA Spec.

Processor	Intel Strong arm 206MHz 32bit RISC processor
Memory	64MB RAM, 16MB ROM
Display	240x320 pixels Color

PCMCIA Card를 장착하기 위한 확장팩과 TCP/IP 데이터 전송을 위해 PCMCIA type 10Mbps 전송속도의 ORINOCO Wireless Lan Card를 사용하였다. PDA에서 하는 역할은 Sensor Box로부터 전송된 데이터를 MV로 전송하거나 역으로 MV로부터 전송되는 초당 2프레임의 동영상을 보여주며 MV의 초음파 센서로부터 들어온 거리와 위치 정보의 속도 Data를 통해 Fuzzy로 속도와 회전각도를 판단하고 명령을 내리게 된다. PDA에서는 한 화면에 보여줄 수 있는 정보가 매우 제한적이므로 PropertySheet 형태로 구성하였다.

f) USB Camera

USB 카메라는 KOCOM사의 KMC-88i 모델을 사용하였다. USB 카메라는 로봇의 상단에 장착되어 시각 정보를 제공하게 된다.

카메라로부터 전달된 영상정보로부터 지정 색상을 지닌 물체를 찾기 위하여 RGB 값을 비교한 후 해당 화소의 위치를 저장한다. 이 때 얻어진 좌표는 로봇의 조향각도로 사용된다.

g) NoteBook Computer

Mobile Robot의 제어모듈을 직접 제어할 수 있게 하는 디바이스 드라이버가 설치되어 있으며 MV로부터 오는 초음파 센서 정보와 영상정보를 IWM, 즉 PDA에 전송하는 역할을 담당한다.

h) Mobile Robot

MV(Mobile Vehicle) 모듈에서의 이동로봇은 HWR-MRB2을 사용하였으며 이 이동 로봇의 몸통에 설치되어 있는 12개 혹은 24개의 초음파 센서의 선택 구동하여 장애물 또는 목표물과의 거리를 측정하며 이때 카메라는 장애물과 목표물(도착지점)의 여부를 판단한다.

2.4 소프트웨어 구조

크게 소프트웨어 구성은 다음과 같이 구분할 수 있다. Microsoft Embedded Visual C++ 3.0으로 제작된 PDA 프로그램과 그림 11, 12에서 보는 바와 같이 MFC로 구현된 MV의 Mobile Robot의 제어, 명령을 확인 수 있는 부분으로 구성되어 있다. 특히 PDA는 240x320 pixels Color로 디스플레이 되므로 한 화면에서 보여줄 수 있는 정보가 매우 적다. 따라서 PDA에서는 다양한 명령 창과 데이터 출력을 점검할 수 있는 에디트 창을 보여주기 위해 Property Sheet, Property Page 형식으로 탭을 선택하여 다른 창을 선택할 수 있도록 구성하였다. 현재 MV의 상단에 장착된 약30만 화소의 USB 카메라를 통해 받은 영상의 픽셀 정보로 MV에서 색깔과 모양을 분석하여, 그에 해당하는 정보와 영상을 IWM에 전달하게 된다. 특히 PDA에서 추론 판단알고리즘 연산과 영상처리를 동시에 처리에 하기에는 무리가 있음을 고려하여 MV에서는 320\*240 pixels 크기의 영상정보가 보여지지만 IWM에 전송되는 영상정보는 160\*120 pixels 크기로 축소하여 전송되며 PDA에서는 1초에 2프레임의 영상정보가 갱신되어 디스플레이된다. USB에서 받은 영상정보는 JPEG로 압축되어 메모리에 이미지로 저장 후 전송하게 된다.



그림 10. PDA 실행화면  
Fig. 10. PDA Execution Monitor

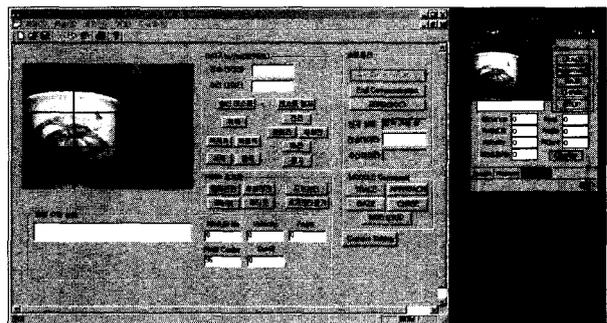


그림 11. IWM과 MV의 실행화면  
Fig. 11. IWM and MV Display

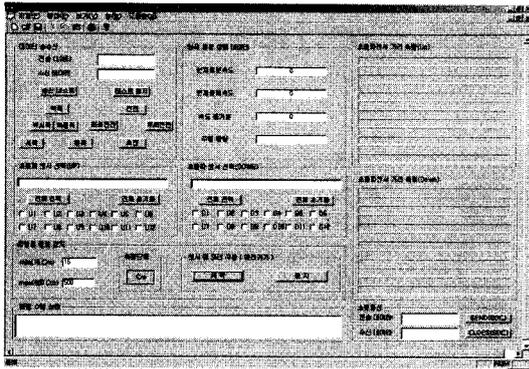


그림 12 MV 프로그램 일부분  
Fig. 12. partial MV program

2.5 알고리즘 소개

신경망의 입출력은 다음과 같다. 입력은 사용자의 명령, 카메라에 의해 얻은 영상 정보값, MV 옆면 센서 거리값 그리고 정면센서 거리값으로 정의하고 신경망의 출력은 MV의 행동을 제어할 수 있는 모듈 선택으로 정의하여 구성하였다. 인공 신경망에 의해 추론/판단의 결과는 Trace, Approach, Avoidance, Gaze, Search, Warring의 6개 모듈로 구성하였으며 학습 알고리즘으로는 가장 많이 이용되는 역전파 학습방법을 사용하였다. 입력은 4개, 출력은 1개, 가중치 범위는 -0.1~0.1, 은닉층 개수는 20개, 학습횟수는 10000번으로 하여 학습하였다. 활성화 함수는 시그모이드 (sigmoid) 함수를 사용하였다.

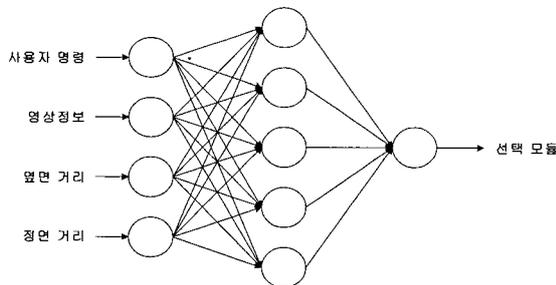


그림 13. 신경망을 이용한 추론 / 판단  
Fig. 13. Inference and Decision with NN

인공신경망에 의해 모듈이 선택되면 각 모듈은 퍼지 이론에 의해 MV를 제어할 수 있도록 회전각도와 속력값이 출력되고 이동로봇 쪽의 MV에 전달되어 제어가 된다. 예매 모호한 값에 대하여 다음과 같이 퍼지 룰을 세워 퍼지제어를 하였다.

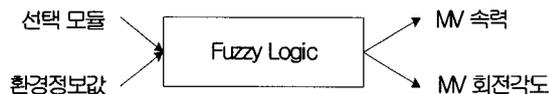


그림 14. 퍼지 제어기  
Fig. 14. Fuzzy Controller

IF d is PB and de is NS, then Speed is PB  
(d : 거리, de : 거리차)

IF p is NS and pe is P, then Angle is ZO  
(p : 위치, pe : 위치차)

퍼지 추론법은 Mamdani의 Max-Min 연산을 사용하였고 비퍼지화 방법으로는 무게중심법을 사용하였다.

2.6 실험 및 결과

그림 15는 전체 시스템에 의해 노트북과 PDA의 무선 랜 통신을 통한 이동로봇의 제어 장면을 보여준다. 시뮬레이션은 전체 시스템의 데이터 전송의 안정성에 주안점을 두고 진행하였다.

무선 랜 환경에서의 PDA와 기타 센서들을 이용한 이동로봇의 원격 제어 기반 기술을 이용하였으며, 신경망을 이용한 추론 및 판단을 거쳐 각 행동의 형태인 추종, 충돌 회피, 장애물 회피 등을 퍼지 규칙에 의해 처리함으로써 이동로봇의 제어에 필요한 변수를 결정하는 방식으로 PDA를 통한 이동로봇의 지능 제어를 구현하였다.

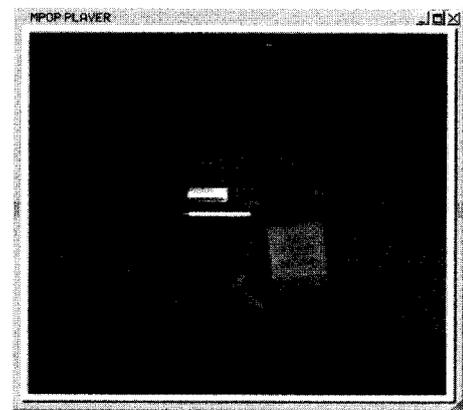


그림 15. 시뮬레이션  
Fig. 15. Simulation

3. 결 론

본 논문에 기술된 시스템은 진행되고 있는 과제로 아직 완벽한 소형화 문제나 신경망과 퍼지추론 알고리즘 부분에 있어서 완벽하지는 않다. 현재 일부분의 하드웨어 구성 장치를 안정성을 위해 1차적으로 PCB 제작하였다.

그러나 PDA와 센서박스를 핸드폰처럼 휴대하고 다니기에 아직 무리이다. 향후 연구과제에서 IWM의 Sensor Box와 같은 하드웨어 부분의 SMD 타입을 부품을 사용하여 소형화 문제가 먼저 선결되어야 할 것이다. 그리고 극복해야 할 과제가 아직 많지만, 특히 사용자가 텍스트로 전송되는 정보로 주변상황 전체를 인지하기에는 매우 힘들다. 따라서 실시간으로 초당 2프레임의 영상을 전송하고 있지만 실제 상황에서는 만족할만한 수준이 아니다. PDA 영상 데이터 처리, 추론 판단 알고리즘 연산, 송수신 데이터의 동시처리 능력에 있어서 별 문제가 없다면 H.263 같은 이미지 압축알고리즘을 사용하여 영상을 실시간으로 전송할 수 있는 부분을 구현해야 할 필요가 있다. 현재 궁극적으로 추구하는 웨어러블 모듈 개념을 이용하여 사용자가 원격지에서 로봇을 완벽히 제어됨을 확인할 수 있었다. 따라서 이런 웨어러블 모듈의 음

성인식이나 센서정보를 통한 이동 로봇에서처럼 웨어러블의 모듈이 개선이 이루어진다면 사용자 위주의 편의를 제공하는 시스템이 될 것이다.

**저 자 소개**

**참 고 문 헌**

[1] K. Taylor, B. Dalton, "Internet Robots : A New Robotics Niche," *IEEE Robotics & Automation Magazine* , Vol.7, Issue 1, March 2000

[2] H. Martinez Barbera, M.A. Zamora Izquierdo, A.F.Gomez Skarmeta, "Web-based Supervisory Control of Mobile Robots," *IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2001

[3] P. Skrzypczynski, "Guiding a mobile robot with an Internet application," *Proc. 2001 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 2, pp. 649-654, 2001

[4] Lixiang Yu, Pui Wo Tsui, Quan Zhou, Huosheng Hu, "A Web-based telerobotic system for research and education at Essex," *Proc. 2001 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics*, Vol. 1, pp. 37-42, 2001

[5] 박태현, 강근택, 이원창, "인터넷을 이용한 이동로봇의 원격 운용시스템," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제8권, 제3호, 2002. 3.

[6] Douglas Boling, *Proramming Microsoft Windows CE, Second Edition*, Microsoft, 2001.

[7] [http : //msdn.microsoft.com](http://msdn.microsoft.com)



**김성주(Seong-Joo Kim)**

1999년 : 중앙대학교 전자공학과 공학사  
2001년 : 동 대학원 전자공학과 공학석사  
현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정  
관심분야 : 신경망, 로보틱스, 퍼지, 웨이블릿, 신경망 등

**정성호(Sung-Ho Jung)**

2001년 : 중앙대학교 전기전자제어공학부 공학사  
2001년 9월~현재 동 대학원 전자전기공학부 석사과정  
관심분야 : 퍼지 이론, 신경회로망, 유전알고리즘, DataBase

**김용택(Yong-Taek Kim)**

1992년 : 중앙대학교 전자공학과 공학사  
1994년 : 동 대학원 전자공학과 공학석사  
1996년 9월~현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정  
현재 KOPEC, 전력기술개발연구소 재직  
관심분야 : 신경망, 로보틱스, 퍼지, 2족로봇

**전홍태(Hong-Tae Jeon)**

현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수