

인터넷을 통한 자율이동로봇 원격 제어

Internet Based Tele-operation of the Autonomous Mobile Robot

심귀보 · 변광섭

Kwee-bo Sim and Kwang-Sub Byun

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

지난 몇 년 동안 인터넷기반 원격제어 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 인터넷기반 원격 제어시스템을 구현한다. 로봇의 주변환경 및 제어 정보를 강인하게 전송하기 위하여 데이터를 패킷 형태로 만든다. 또한 매우 큰 용량을 갖는 영상 데이터를 전송하기 위하여 JPEG 압축 알고리즘을 이용한다. 인터넷 기반 원격제어의 주된 문제점은 데이터 전송 지연 또는 데이터 손실이다. 이러한 특수한 문제를 해결하기 위하여 2-layer fuzzy controller를 장착한 자율이동로봇을 소개한다. 그리고, 컬러 인식 시스템을 구현하여 로봇을 물체를 인지할 수 있도록 하였다. 다양한 입력 센서가 장착된 로봇에 2-layer fuzzy controller를 적용하여 그 효율성을 입증한다. 2-layer fuzzy controller는 다양한 입력과 출력을 갖는 로봇을 강인하게 제어할 수 있고 제어 비용도 낮기 때문에 그것이 다양한 분야에 적용되어 질 것으로 기대된다.

Abstract

The researches on the Internet based tele-operation have received increased attention for the past few years. In this paper, we implement the Internet based tele-operating system. In order to transmit robustly the surroundings and control information of the robot, we make a data as a packet type. Also in order to transmit a very large image data, we use JPEG compressive algorithm. The central problem in the Internet based tele-operation is the data transmission latency or data-loss. For this specific problem, we introduce an autonomous mobile robot with a 2-layer fuzzy controller. Also, we implement the color detection system and the robot can perceive the object. We verify the efficacy of the 2-layer fuzzy controller by applying it to a robot that is equipped with various input sensors. Because the 2-layer fuzzy controller can control robustly the robot with various inputs and outputs and the cost of control is low, we hope it will be applied to various sectors.

Key words : Internet based tele-operation, two-layer fuzzy control, autonomous mobile robot, vision system

1. 서 론

지난 몇 년 동안 인터넷 기반 원격제어에 관한 연구가 많은 관심을 받아오고 있다. 홈페이지에 접속한 사용자가 로봇 팔 또는 이동 로봇을 원격으로 제어한다 [1][2]. 인터넷 데이터 전송 지연을 해결하기 위해 사용자 측에서 로봇 시뮬레이터를 조작함으로써, 실제 로봇을 원격으로 제어하는 기술도 제안되었다 [3]. 또한 다중 사용자가 다중 로봇을 제어하는 시스템도 제안되었다 [4]. 이러한 알고리즘의 특징은 거의 모두 직접 제어이고 로봇의 주변환경을 미리 알고 있어야 한다는 것이다. 따라서 이것을 그대로 실제에 적용하는 것은 무리이다. 이러한 결점을 해결하기 위해 본 논문에서는 JPEG압축과 패킷 형태의 데이터 전송, 컬러 인식 비전 시스템, 2-layer fuzzy controller를 장착한 자율이동로봇을 제안한다.

퍼지 추론을 이용한 장애물 회피는 오랫동안 연구되어 왔고 가장 많이 이용되는 알고리즘 중의 하나이다. 주변 환경을 인식하기 위해 신경망을 이용하고 인지된 상황과 관련된 룰을 형성하는 회피행동을 추론하기 위해 퍼지 로직을 이용하였다. 많은 퍼지 sub-controller의 출력을 합하여 행동을 추론하기도 하고, 장애물 회피와 목표 탐색을 결합하여 로봇의 행동을 추론하기도 하였다 [5]-[7]. 특히 계층적 또는 multistage/multilevel fuzzy controller는 많은 입력을 갖는 로봇을 강인하게 제어할 수 있는 알고리즘이다 [8][9]. 본 논문에서는 이러한 계층적인 퍼지 제어기의 특수화되고 개선된 2-layer fuzzy controller를 장착한 자율이동로봇을 구현한다.

본 논문에서는 비전 시스템이 포함된 2-layer fuzzy controller를 설계하여 자율이동로봇을 구현하고 인터넷을 통한 로봇 원격 제어에 이용한다. 2장에서는 로봇 원격 제어 시스템을 설명하고 3장에서는 자율이동로봇을 구현하기 위한 2-layer fuzzy controller를 소개한다. 4장은 전체 시스템에 대한 실험 및 결과를 나타내었으며, 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 논한다.

접수일자 : 2003년 9월 27일

완료일자 : 2003년 11월 15일

본 연구는 2003학년도 중앙대학교 학술연구비 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

2. 인터넷 기반 원격 제어

2.1. 인터넷 기반 네트워킹

로봇을 원격으로 제어하기 위해 인터넷을 이용한다. 네트워킹에서 가장 많이 사용되는 것은 소켓이다. 소켓을 이용한 데이터 전송에는 두 가지가 있는데, 그것은 스트림 소켓과 데이터그램 소켓이다.

데이터그램 소켓은 어떤 컴퓨터 IP 주소로 데이터를 무조건 보내고 상호 접속 여부는 고려하지 않는다. 여기에는 데이터의 순차성이 없기 때문에 데이터가 순서대로 보내지더라도, 먼저 도착한 데이터가 먼저 입력된다. 그래서 이것은 비동기식 방법이라고 불린다. 이 방식을 이용한 프로토콜로서 UDP가 있다. 이것은 자체에서 에러 제어와 전송 제어를 수행해주어야 하므로 거의 이용되지 않는다.

반면에 스트림 소켓은, 서버가 실행되면 클라이언트의 접속을 기다린다. 클라이언트가 자신의 주소를 서버에서 보내면 서버는 접속할 통로를 만든다. 그것은 실시간 접속이기 때문에 데이터는 순서대로 전송된다. 데이터를 정확하고 완벽하게 보내기 위해 스트림 소켓을 이용한다. 이것이 신뢰성 있는 데이터를 전송할 수 있는 동기식 방식이다. 이 스트림 소켓을 이용한 프로토콜로서 TCP/IP가 가장 널리 사용되고 있다 [10]. 본 논문에서도 원격 제어 시스템을 구현하기 위해 TCP/IP를 이용한다.

2.2. 원격 제어 시스템의 구성

원격 제어 시스템을 구성하기 위해 우선 두 대 이상의 컴퓨터가 필요하다. 하나는 로봇 주변 환경을 인지하고 로봇을 제어하기 위해 사용되고 다른 하나는 로봇을 원격 제어하기 위해 사용된다.

원격으로 떨어진 사용자는 로봇의 구동 속도 조항 각 등을 결정할 수 있고 인터넷을 통해 로봇을 직접 제어할 수도 있다. 또한 로봇이 스스로 돌아다니도록 간단한 명령을 내릴 수도 있다. 로봇은 영상 카메라와 조음과 센서를 통해 영상 및 거리 정보를 수집하고 인터넷을 통해 원격 사용자에게 전송한다. 로봇과 사용자 측의 시스템 구조가 그림 1과 그림 2에 나타나 있다.

로봇 구동부는 바퀴의 구동 및 조향을 제어하고 상체의 회전을 제어한다. 장애물 회피에 관한 알고리즘을 가지고 자율이동을 할 수 있고 로봇은 진행 방향을 결정하고 원격 컴퓨터의 의해 설정된 파라미터를 적용한다. 또한 로봇의 상부와 하부의 각도를 보정하는 기능을 추가하여, 사용자는 진행 방향을 영상의 볼 수 있도록 하였다.

원격 컴퓨터는 사용자가 볼 수 있도록 영상 정보를 복원하고 로봇을 원격으로 제어하는 인터페이스를 제공한다.

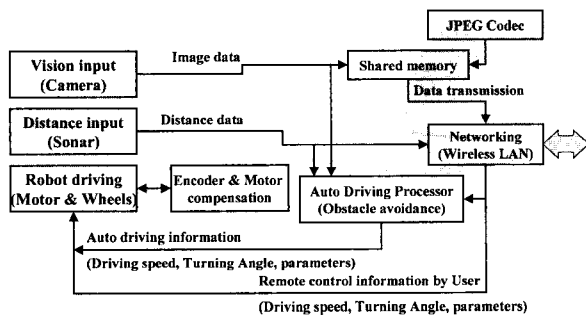


그림 1. 로봇 시스템의 구조
Fig. 1. Structure of the robot system

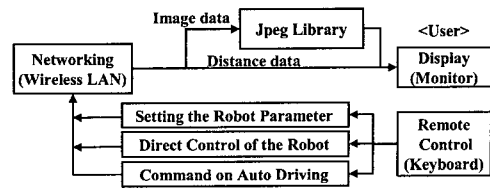


그림 2. 원격 컴퓨터의 구조
Fig. 2. Structure of the remote computer

2.3. 데이터 전송

로봇의 기능이 다양하고 복잡해지고 있다. 이 때문에 원격 제어에서 전송할 데이터의 형태 또한 다양하다; 영상, 거리, 명령어, 로봇의 상태, 메시지, 접속 여부 등. 본 논문에서 우리는 데이터를 패킷 형태로 전송한다. 패킷의 구조가 그림 3에 나타나 있다.

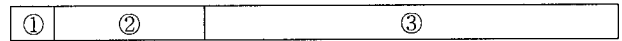


그림 3. 데이터 전송을 위한 패킷의 구조
Fig. 3. Structure of the packet for data transmission

패킷은 세 부분으로 구성된다. ①은 다양한 데이터의 형태를 저장한다. 이 부분은 전송된 데이터의 형태를 구별한다. 예를 들어, '1'은 거리 정보, '2'는 영상 정보, '3'은 로봇에 대한 명령어를 나타내도록 하였다. ②는 데이터의 크기를 저장한다. 크기를 함께 전송하는 이유는 전송된 데이터의 크기가 모두 다르기 때문이다. 데이터를 수신하는 원격 컴퓨터는 크기 정보를 이용하여 특정한 크기를 갖는 버퍼를 할당할 수 있다. ③은 데이터의 내용을 저장한다.

로봇에 장착된 카메라로부터 얻은 영상 정보는 원격 컴퓨터로 전송되어야 한다. 이때, 이 영상 정보는 매우 큰 용량을 갖는다. 또한 그것은 한 프레임 데이터가 아니라 실시간 데이터이다. 이 때문에 소켓을 통해 이 데이터를 그대로 전송한다는 것은 무리이다. 그래서 우리는 영상 데이터를 JPEG 압축하여 전송한다.

현재 가장 많이 사용되는 JPEG 모드는 순차적인 DCT 기반 baseline과 확장된 baseline 모드이다. 이러한 기술은 Intel Jpeg Library(IJL) ver. 1.1을 이용하여 쉽게 구현할 수 있다. 또한 IJL은 JPEG 디코딩에서 점차적인 DCT기반 모드를 제공한다. 영상의 JPEG 압축은 IJL의 인코딩 알고리즘에 의해 수행되고 JPEG 영상의 복원은 디코딩 알고리즘에 의해 수행된다. 이러한 알고리즘이 다음에 나타나 있다 [11].

Algorithm for "Normal Encoding of a JPEG Image":

1. Initialize the IJL.
2. Set up encoding parameters (if different than the default values).
3. Write image data to the IJL.
4. Close the IJL.

Algorithm for "Normal Decoding of a JPEG Image":

1. Allocate a JPEG_CORE_PROPERTIES data structure.
2. Initialize the IJL.
3. Get the JPEG image dimensions, etc.
4. Set up display parameters and allocate output storage.
5. Get the JPEG image data.
6. Close down the IJL.

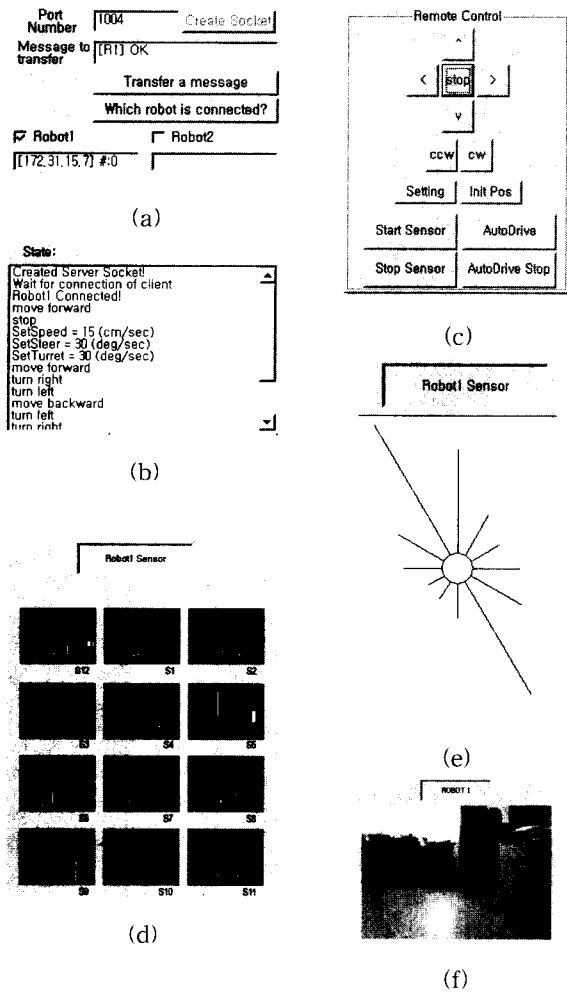


그림 4. 원격 컴퓨터의 사용자 인터페이스; (a) 네트워킹, (b) 상태 창 (c) 직접 제어기 (d) 거리 변화 그래프 (e) 현재의 거리 정보 (f) 수신되어 복원된 영상

Fig. 4. User interface of remote computer; (a) networking (b) state window (c) direct controller (d) distance change graph (e) current distance (f) transmitted image

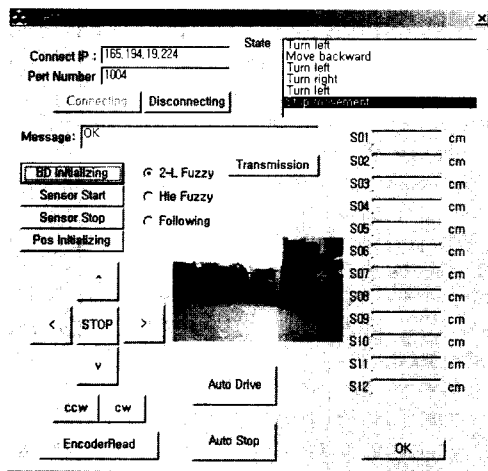


그림 5. 로봇 시스템의 인터페이스
Fig. 5. Interface of the robot system

2.4. 원격 제어 시스템의 인터페이스

본 논문에서 사용된 원격 컴퓨터의 사용자 인터페이스가 그림 4에, 로봇의 인터페이스가 그림 5에 나타나 있다. 이 시스템은 일정한 포트 번호와 IP 주소를 가지고 네트워킹 된다. 인터페이스에 로봇의 상태나 네트워킹 상태, 원격 제어에 대한 명령어 등을 보여준다. 직접 제어기는 친숙한 버튼 방식으로 구현되었다. 또한 컴퓨터 모니터에 로봇의 주변환경에 대한 영상 및 거리 데이터를 보여준다.

3. 2-Layer Fuzzy Controller

3.1. 계층적 퍼지 추론 시스템

일반적인 퍼지 추론 시스템에서 입력의 개수가 늘어남에 따라, 전체 퍼지 룰의 개수는 지수적으로 증가한다. 또한, 입력의 개수에 따라 조정해야 할 시스템 파라미터도 지수적으로 증가한다. 이 두 가지를 dimensionality problem 이라고 한다 [8]. 일반적인 퍼지 제어기로는 다양한 입력과 다양한 행동을 갖는 로봇을 제어하는 데 어려움이 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해, Chung과 Duan이 다단식 퍼지 신경망 모형을 제안하였다. 그들은 계층적 퍼지 시스템을 3가지의 다단식 구조 즉, 증가형, 집합형, 종속형으로 분류하였다 [9].

3.2. 2-Layer fuzzy controller

본 연구실에서 2-Layer Fuzzy Controller (2LFC)를 제안 하였다 [12]. 2LFC는 많은 입력 변수에 대해 적은 개수의 룰을 가지면서도 강인한 제어를 할 수 있다. 그림 6에 2LFC의 구조를 나타내었다. 이 그림은 첫 번째 단계에 4개의 sub-controller를 갖고 두 번째 단계에 2개의 combined controller를 갖는 구조를 보여준다.

첫 번째 단계에서 많은 입력이 4가지로 분류되어 sub-controller들로 입력된다. 첫 번째 단계의 각 sub-controller 들은 적절한 퍼지 추론 시스템을 이용하여 독립적으로 퍼지 추론을 한다. 그 다음으로, 두 번째 단계에서는 combined controller의 입력으로, 첫 번째 단계의 sub-controller의 출력을 이용한다. 이때, 최종적으로 다른 형태의 출력을 내기 위해, combined controller는 필요한 첫 번째 단계의 출력을 선택한다. 두 번째 단계의 combined fuzzy controller는 통합적인 퍼지 추론을 수행한다. 각각의 combined controller가 최적의 최종 출력을 위해 서로 배타적인 것은 아니다. 이러한 과정을 통해 2LFC는 다양한 입력과 출력에 대해 퍼지 추론을 할 수 있다.

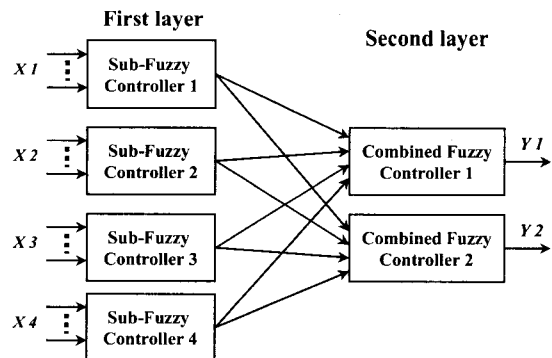


그림 6. 2LFC의 구조
Fig. 6. Structure of the 2LFC

이 그림에서 보듯이, 그것은 다단식 퍼지 추론 시스템의 집합형 구조와 비슷하고 신경망의 모양과도 비슷하다. 그러나 2LFC는 세 가지 다른 점이 있다. 첫 번째로, 2LFC는 다단식 퍼지 시스템의 집합형 구조의 특수화된 경우이다. 2LFC는 퍼지 추론 단계를 2단계 즉, 2-layer로 제한하였다. 다단식 퍼지 시스템의 경우에, 늘어나는 단계에 대한 해결책이 뚜렷하지 않아 전체 시스템의 안정성을 보장할 수 없다. 하지만 2LFC는 퍼지 추론의 단계를 2단계까지 한정함으로써, 시스템의 안정성을 보장할 수 있다. 두 번째로, 2LFC는 최종 출력이 연결된 최종 단계에 둘 이상의 모듈을 갖는다. 요즘에는 제어할 대상이 매우 복잡하고 다양하기 때문에, 다양하고 많은 입력과 출력을 갖는다. 그런데 다단식 퍼지 시스템은 다양한 입력은 다루고 있지만, 출력은 그렇지 않다. 반면에, 2LFC는 최종 단계에서 둘 이상의 모듈을 갖기 때문에 다양한 출력을 다룰 수 있다. 마지막으로, 2LFC는 인공 신경망의 구조와 유사하지만 각각의 모듈-인공 신경망에서는 노드로 불림-에 퍼지 제어기를 갖는다. 또한 weight도 포함되어 있지 않다. 이러한 관점에서, 2LFC는 인공 신경망과는 아무런 관련이 없다.

3.3. 2-Layer fuzzy controller의 적용

그림 7은 2LFC의 간단한 예를 보여준다. 제어할 로봇은 많은 초음파 센서와 비전 카메라를 장착하고 있다. 초음파 센서는 장애물까지의 거리를 측정하는데 이용되고 비전 카메라는 물체의 색을 인식하는데 이용된다.

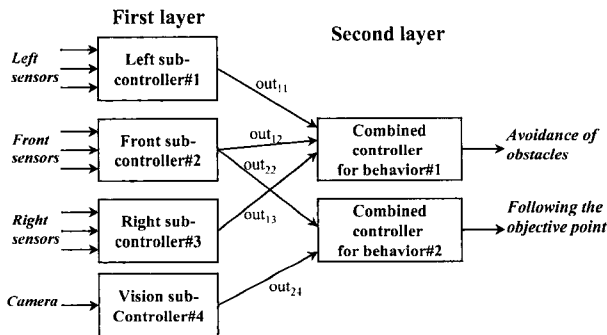


그림 7. 2-layer fuzzy controller의 적용
Fig. 7. Application of 2 layer fuzzy controller

로봇은 앞쪽, 왼쪽, 오른쪽에 각각 3개씩, 총 9개의 초음파 센서를 거리 측정을 위해 사용한다. 이것들은 같은 형태이지만 간단히 제어하기에는 너무 많은 개수를 갖는다. 그래서 3개의 센서를 갖는 3개의 입력 그룹으로 그것들을 분리하였다. Sub controller#1의 입력은 왼쪽의 3개 센서이고, sub controller#2의 입력은 앞쪽의 3개 센서이며, sub controller#3의 입력은 오른쪽의 3개 센서이다. 비전 카메라는 초음파 센서와는 다른 형태의 센서이다. 즉, sub-controller#4의 입력은 영상 정보이다. 위 그림에서, 'out_{ij}'는 j번째 sub controller의 출력과 i번째 combined controller의 입력을 나타낸다.

지능 로봇의 기본행동은 장애물 회피이므로 본 시스템의 combined controller#1은 이 행동을 출력한다. 장애물 회피에 관한 정보는 로봇의 진행방향이 된다. 그것은 거리 측정은 위한 sub controller의 출력과 combined controller#1의 입력 즉, out₁₁, out₁₂, out₁₃을 필요로 한다. 또한 로봇의 발전된 행동으로 대상 물체를 따라가는 것을 적용하였다. 그래서,

combined controller#2는 이 행동을 출력하고 대상 물체의 위치를 필요로 한다. 그것은 대상 물체의 인식 정보 즉, 대상 물체의 방향과 거리이고, combined controller#2의 입력 out₂₂와 out₂₄이다. Front sub-controller는 로봇으로부터 대상 물체까지의 거리를 출력하고 vision sub-controller는 대상 물체의 방향을 출력한다.

각 모듈은 서로 다른 퍼지 추론 시스템을 갖는다. 본 적용에서는 퍼지 추론 엔진으로, Sugeno의 simplified method를 사용하였다. 그 이유는 각 제어기의 출력이 상수로 주어지기 때문이다 [12].

3.4. Vision sub-controller

자율이동로봇의 성능을 높이기 위해 본 논문에서는 컬러 인식 시스템을 구현한다.

컬러 CRT 모니터와 컴퓨터 그래픽 시스템은 RGB 컬러 모형을 사용한다. RGB 컬러 공간은 상호 가산적인 삼원색인 빨강, 녹색, 파랑으로 구성된다. RGB 모형이 컴퓨터그래픽 시스템의 설계는 쉽게 만들지만, 모든 적용분야에 이상적인 것은 아니다. RGB와 같은 색상 요소는 매우 큰 상호관계를 갖는다. 그래서, 영상 처리의 어떤 알고리즘에는 적용할 수 없을 수도 있다. 물체를 인식하기 위해서는 조명의 영향이 작아야 하는데, 이에 대해 가장 적합한 모형은 YUV 모형이다. RGB 모형과 YUV 모형의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ U &= -0.169R - 0.331G + 0.500B \\ V &= 0.500R - 0.419G - 0.081B \end{aligned} \tag{1}$$

본 논문에서는, 추가적인 하드웨어 없이 단지 웹 카메라만 가지고 컬러 영상을 인식할 수 있는 비전 시스템을 구현하였다. 따라서, 로봇에 장착되는 하드웨어를 최소화하였고, 결과적으로 다른 어떤 시스템에도 간단히 적용할 수 있다. 이 비전 시스템은 로봇 축구 시스템에서 사용되는 방식과 유사하다 [13]. 하지만 다음 그림 8에서 보는 바와 같이, 특수화된 컬러 히스토그램을 추가하여, 그 속도와 성능을 개선하였다.

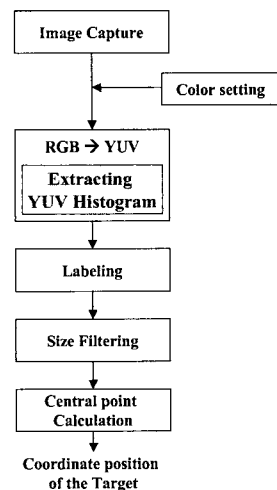


그림 8. 컬러 인식을 위한 영상 처리 과정
Fig. 8. Vision system for color detection

영상의 각 프레임을 캡처한 후에, 그 RGB 영상을 YUV 영상으로 변환하면서, 수평 축과 수직 축에 대한 두 개의 히스토그램을 추출한다. 그 다음 각각 1차원 히스토그램에 대한 라벨링, 크기 필터링, 중심점 계산 등을 거쳐 대상 물체의 좌표값을 찾는다. 여기에서 사용된 각각의 히스토그램은 각 좌표위치에서 찾고자하는 YUV값의 개수를 나타낸다.

이 시스템의 장점은 빠른 속도와 강인성이다. 320×240 픽셀 크기의 영상에 대해, 히스토그램을 이용하지 않는 비전 시스템은 영상 처리의 각 단계마다 2차원 영상을 다룬다. 따라서 총 230,720번의 처리를 거친다. 반면에 특수화된 컬러 히스토그램을 이용한 비전 시스템의 경우에는 2차원 영상을 1차원 히스토그램으로 분할하여 다루기 때문에 78,480번의 처리를 거친다. 그러므로 본 시스템은 히스토그램추출을 갖지 않는 시스템보다 약 3배정도 빠르게 동작한다. 또한, 본 시스템은 그 출력부에서 필터링 과정을 필요로 하지 않는 데에 대해서는 다음 4.3절에서 실험을 통해 증명한다.

4. 실험 및 결과

4.1. 자율이동로봇에 대한 시뮬레이션

로봇의 강인한 제어와 보호를 위해 2-layer fuzzy controller를 장착한 자율이동로봇을 소개하였다. 이 알고리즘을 실제 로봇에 적용하기 전에 먼저 시뮬레이션을 수행하여 퍼지 제어기의 적절한 퍼지 룰을 찾았다. 적용을 간단히 하기 위해 vision sub-controller와 combined controller#2는 제외하였다. 그림 9는 시뮬레이션을 통해 수정된 퍼지 룰의 전건부 멤버쉽 함수를 보여준다. 2LFC에서 중요한 제어기는 combined controller인데, 그 입력은 다른 형태를 가지므로 3가지 형태의 멤버쉽 함수를 갖는다.

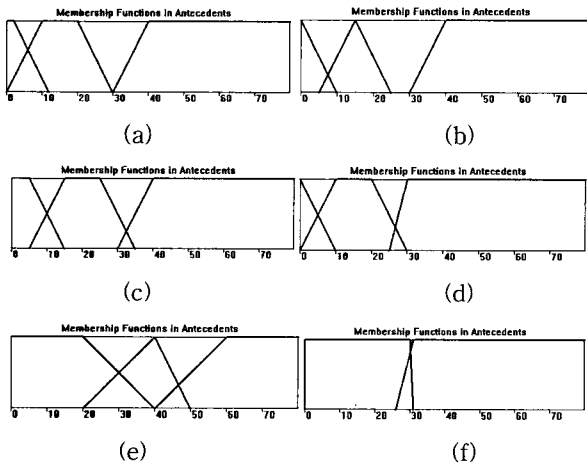


그림 9. 퍼지 룰의 멤버쉽 함수 (a) left sub-controller (b) front sub-controller (c) right sub-controller (d) combined controller#1을 위한 out_{11} (e) out_{12} (f) out_{13}

Fig. 9. Membership functions of fuzzy rules (a) left sub-controller (b) front sub-controller (c) right sub-controller (d) out_{11} (e) out_{12} (f) out_{13} for combined controller#1

4.2. 데이터 전송 실험

다양한 데이터 전송 실험을 수행하였다. 모든 데이터가 2.3절의 그림 4에서처럼 전송되고 수신되었다. 특히, JPEG 영상은 약 14.5 frame/sec의 속도로 전송되었다. 160×120 픽

셀 크기의 영상은 압축하기 전에는 57Kbyte 크기였으나, JPEG압축을 한 후에는 3Kbyte가 되어 높은 압축률을 보여주었다.

4.3. 컬러 인식 실험

향후 수행 과제를 위해 다른 로봇을 인식할 수 있는 시스템을 구현하였다. 본 실험에서 사용된 로봇의 색은 빨강 계열이다. 찾고자하는 색-로봇의 색-을 본 연구실에서 제작한 '컬러 설정' 프로그램에 의해 입력받는다. 본 비전 시스템은 그림 10에서 보는 바와 같이 로봇의 중심점을 잘 찾는다. 이 그림에서 로봇의 중심 좌표가 화면의 상단에 제대로 표시되는 것을 볼 수 있다.



그림 10. 컬러 인식 실험 모습
Fig. 10. Experiment on color detection

두 비전 시스템에 대해, 물체의 위치 추적 실험을 하였다. 그림 11은 시간에 따른 대상 물체의 움직임을 수평 좌표에 대해서 나타낸 것이다. 그림 11의 (a)는 히스토그램 추출과정이 없는 비전 시스템이고 (b)는 특수화된 컬러 히스토그램 추출과정이 포함된 히스토그램이다. 이 그림에서 보듯이, 특수화된 컬러 히스토그램을 이용한 컬러 인식 시스템은 강인한 물체 위치 추적이 가능하고 추가적인 필터가 필요 없다. 그러나 일반적인 컬러 인식 시스템은 출력의 불안정성을 제거할 수 있는 특정한 필터가 필요하다.

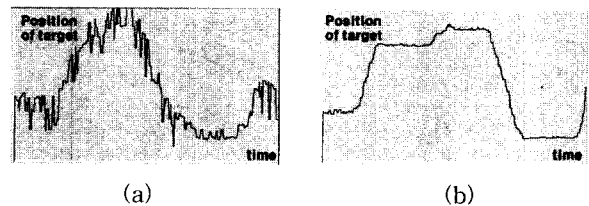


그림 11. 물체의 움직임에 따른 위치 추적 (a) 일반적인 컬러 인식 시스템 (b) 히스토그램 추출이 추가된 비전 시스템

Fig. 11. Graph of target tracking (a) general color detecting system (b) vision system with the extraction of histogram

4.4. 원격 제어에 대한 실험

위의 시스템들을 통합하여 이동로봇을 원격제어 하였다. 원격 제어에 대한 실험 화면이 2.3절의 그림 4와 그림 5에 나타나 있다. 인터넷의 네트워크 상태가 매우 좋아서, 로봇의 직접 원격 제어는 성공적이었다. 인터넷의 시간 지연을 만들기 위해 로봇이 충돌할 위기에 직접 제어신호를 보내지 않고 로봇의 행동을 관찰하였다. 이 경우에, 로봇이 2-layer fuzzy controller를 이용하여 벽이나 장애물을 잘 피하고 자신을 보호하였다.

인터넷을 통해 수신된 영상과 거리 정보를 통해 원격 로

봇의 환경을 알 수 있었고, 이러한 데이터를 가지고, 직접 제어기 사용자 인터페이스를 통해 로봇을 직접 제어할 수 있었다. 또한 로봇은 2-layer fuzzy controller를 이용하여 자동적으로 움직일 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는, 인터넷 기반 원격 제어시스템을 구현하였다. 로봇의 주변환경 및 제어 정보를 강인하게 전송하기 위해, 패킷 형태의 데이터를 이용하였고 매우 큰 용량의 영상 데이터를 전송하기 위해 JPEG압축 알고리즘을 사용하였다. 인터넷 기반 원격 제어에서의 가장 큰 문제는 데이터 전송 지연 또는 데이터 손실이다. 이 문제를 해결하기 위해 2-layer fuzzy controller를 장착한 자율이동로봇을 소개하였다. 또한 컬러 인식 시스템을 구현하여 로봇이 물체의 위치를 인식할 수 있도록 하였다. 2-layer fuzzy controller는 다양한 입출력을 갖는 로봇을 강인하게 제어할 수 있고, 제어 비용도 낮기 때문에 다양한 분야에 적용될 것으로 기대된다.

그런데, 퍼지 시스템의 주된 문제는 퍼지 룰 베이스를 어떻게 설계하느냐에 달려있다. 본 논문에서는 전문가적 경험과 시뮬레이션을 통한 시행착오에 의해 퍼지 룰을 설계하였다. 그러나 퍼지 룰 생성을 위한 다른 접근법-강화 학습, 신경망, 진화 연산 등-을 이용하여 2-layer fuzzy controller를 위한 퍼지 룰을 자동으로 생성하도록 하는 것이 향후 과제이다. 또한 본 논문에서는 단지 컬러 인식 시스템이 구현되었는데, 대상 물체가 무언인지도 결정할 수 있는 개선된 시스템의 구현이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Y. Liu, C. Chen, and M. Meng, "A study on the teleoperation of robot systems via WWW," *Proc. of IEEE on Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, pp. 836 -840, 2000.

[2] R.L. Alves, R.F. Vassallo, E.O. Freire, and T.F. Bastos-Filho, "Teleoperation of a mobile robot through the Internet," *Proc. of IEEE on Circuits and Systems*, vol. 2, pp. 930-933, 2000.

[3] K.H. Han, S. Kim, Y.J. Kim, S.E. Lee, and J.H. Kim, "Implementation of Internet-based personal robot with Internet control architecture," *Proc. of IEEE on Robotics & Automation*, vol. 1, pp. 217-222, 2001.

[4] I. Elhajj, J. Tan, N. Xi, W. K. Fung, Y. H. Liu, T. Kaga, Y. Hasegawa, and T. Fukuda, "Multi-site internet-based cooperative control of robotic Operations," *Proc. of IEEE on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 826-831, 2000.

[5] H. R. Beom and H. S. Cho, "A sensor-based obstacle avoidance controller for a mobile robot using fuzzy logic and neural network," *Proc. of IEEE on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1470 - 1475, 1992.

[6] S.H. Lian, "Fuzzy logic control of an obstacle avoidance robot," *Proc. of IEEE on Fuzzy*

Systems, vol. 1, pp. 26 -30, 1996.

[7] B.Y. Chee, Sherman Y. T. Lang, and Peter W. T. Tse, "Fuzzy mobile robot navigation and sensor integration," *Proc. of IEEE on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 7-12, 1996.

[8] F.L. Chung and J.C. Duan, "On multistage fuzzy neural network modeling," *Trans. of IEEE on Fuzzy Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 125-142, Apr. 2000.

[9] J.C. Duan and F.L. Chung, "Multilevel fuzzy relational systems: structure and identification," *Soft Computing* 6, Springer-Verlag 2002, pp. 71-86, 2002.

[10] 이상엽, *Visual C++ programming bible ver. 6.x*, 영진출판사, 2002.

[11] Intel, *Intel JPEG library developer's guide*, Intel Corporation, 1999.

[12] 심귀보, 변광섭, 박창현, "이동로봇의 행동제어를 위한 2-Layer Fuzzy Controller" *한국퍼지 및 지능시스템 학회 논문지*, 제13권, 3호, pp. 287-292, 2003. 6.

[13] 김종환 외8명, *로봇 축구 공학*, KAIST press, pp. 109-172, 2002.

저 자 소 개



심귀보(Kwee-Bo Sim)

1984년 : 중앙대학교 전자공학과 공학사
 1986년 : 동대학원 전자공학과 공학석사
 1990년 : The University of Tokyo
 전자공학과 공학박사
 1991년 ~ 현재 : 중앙대학교 전자전기
 공학부 교수

2000년 ~ 현재 : 제어자동화시스템공학회 이사 및 지능
 시스템연구회 회장
 2002년 ~ 현재 : 중앙대학교 산학연컨소시엄센터 센터장
 2003년 ~ 현재 : 일본계측자동제어학회(SICE) 이사
 2003년 ~ 현재 : 한국퍼지 및 지능시스템학회 부회장
 관심분야 : Artificial Life, Intelligent Robot, Intelligent
 Systems, Artificial Brain, Multi-Agent System,
 Distributed Autonomous Robotic System, Machine
 Learning, and Adaptation Algorithm, Soft
 Computing(Neuro, Fuzzy, Evolutionary Computation),
 Evolvable Hardware, Artificial Immune System,
 Intrusion Detection System, etc.
 Phone : +82-2-820-5319
 Fax : +82-2-817-0553
 E-mail : kbsim@cau.ac.kr
 Homepage URL : http://alife.cau.ac.kr



변광섭(Kwang-Sub Byun)

2003년 : 중앙대학교 전자전기공학부
 공학사
 2003년~ 현재 : 동대학원 전자전기공학부
 석사과정
 관심분야 : 퍼지 이론, 로봇 원격제어, 공진
 화 알고리즘

Phone : +82-2-820-5319, E-mail : ks4070@yahoo.co.kr