인터넷을 통한 자율이동로봇 원격 제어

Internet-based Tele-operation of the Autonomous Mobile Robot

변광섭, 심귀보
중앙대학교 전자전기공학부

Kwang-Sub Byun and Kwee-bo Sim
School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University
E-mail : kbsim@cau.ac.kr

ABSTRACT

본 논문에서는 인터넷의 기능을 이용하여 인터넷이 연결된 어느 장소에서라도 로봇을 원격으로 제어하거나 로봇으로부터 받은 정보를 인터넷으로 전송 받아 처리할 수 있는 알고리즘을 구현하였다. 빠른 영상정보 전송을 위해 JPEG 압축 기술을 이용하였다. 인터넷을 통한 원격 제어에서의 가장 큰 문제점은 전송 지연 또는 데이터 손실과 같은 통신 장애이다. 이러한 상황에서도 로봇이 스스로 자신을 보호하고 원하는 작업을 수행하도록 하기 위해 자율이동 기능이 필수적인데, 이를 위해 본 논문에서는 2-layer fuzzy controller를 이용하였다. 2-Layer fuzzy controller를 이용하여 로봇은 장애물을 회피하면서 원활하게 이동할 수 있다. 마지막으로 실제 구현 및 실험을 통해 그 효율성을 평가한다.

Key words : 인터넷 기반 원격 제어, JPEG 영상 압축, 자율이동로봇, 2-Layer Fuzzy Controller

I. 서 론

인터넷을 이용한 원격 제어에 관한 연구는 이미 많은 관심을 받고 있다. 홈페이지에 접속한 사용자가 로봇 팔을 원격 제어하는가 하면, 이동 로봇을 제어하기도 한다[1][2]. 또한 인터넷의 데이터 전송지연을 해결하는 기법으로 사용자 측에서 로봇의 시뮬레이터를 조작하여 원격의 실제 로봇을 제어하는 방법도 제안되었고, 다수의 사용자가 다수의 로봇을 제어하는 시스템도 제안되었다[3][4]. 이러한 논문에서 제안된 알고리즘의 특징은 대부분 교사 제어이고 영상정보 전송이 매우 느리다는 것이다. 또한 대부분 로봇의 주위 환경을 미리 알고 있어야 실현 가능한 알고리즘이 대부분이어서 실제에 적용하는 것이 쉽지 않다. 본 논문에서는 이러한 단점들을 보완하기 위해 JPEG압축을 이용한 영상정보를 전송하고, 자율 이동로봇이 스스로 장애물을 회피하는 알고리즘을 소개하며 실제로 구현하여 실험한다.

퍼지 추론을 이용한 장애물 회피에 관한 연구는 매우 오래 전부터 시작되어 왔다. 뉴럴 네트웍을 이용하여 주변 환경을 7개의 클래스로 분류하고 퍼지 룰의 개수를 줄인 방법, 여러 개의 fuzzy sub-controller를 이용하여 이 출력들을 합하여 퍼지 추론을 하는 방법, 장애물 회피에 대한 퍼지 추론과 목표 지점까지의 주행을 위한 퍼지 추론으로 구성된 2단계 퍼지 추론방법 등 여러 가지 알고리즘이 제안되어 왔다[5][6][7]. 특히 hierarchical fuzzy controller와 multi-stage fuzzy controller는 많은 센서 정보들을 가지고도 강인한 제어를 할 수 있는 알고리즘이다. 본 논문에서는 이러한 알고리즘의 개선되고 특수화된 것으로서 2-layer fuzzy controller를 이용하여 자율이동로봇을 구현하였다[8].

본문의 2장에서는 로봇의 원격 제어 시스템에 대해 설명하고 3장에서는 자율이동로봇 구현을 위해 적용된 2-layer fuzzy controller에 대해 간략히 설명한다. 4장에서는 전체 시스템

에 대한 실험 및 실험 결과를 나타내었으며, 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 논의한다.

II. 원격 제어 시스템

2.1 원격 제어 시스템 구성

데이터를 완전하고 정확하게 보내기 위해서는 스트림 소켓 방식을 이용한다. 이것은 신뢰성 있는 데이터를 전송할 수 있는 동기식 방법이다. 이것을 이용한 프로토콜로서 광범위하게 많이 쓰이는 프로토콜이 TCP/IP이다. 인터넷을 이용할 때는 보통 이 TCP/IP 프로토콜을 이용한다. 본 원격 제어 시스템에서도 역시 TCP/IP를 이용하여, 로봇과 원격 컴퓨터를 인터넷을 통해 연결하였다[9].

원격 제어 시스템을 구성하기 위해서, 우선 두 대 이상의 컴퓨터가 필요하다. 한 대의 컴퓨터는 로봇에 탑재되어 로봇 컨트롤러를 제어하거나 영상정보와 거리정보를 읽어 들이는데 사용되며, 다른 한 대의 컴퓨터는 이 로봇을 원격으로 제어하거나 각각의 센서 정보들을 처리하는데 이용된다. 그림 1은 원격 제어시스템의 개략도를 나타낸다.

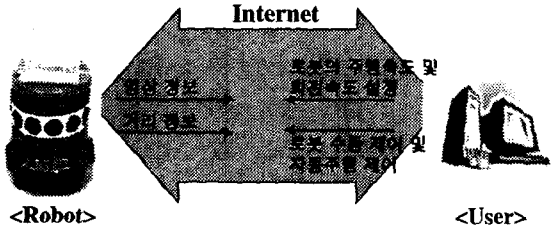

그림 1. 원격 제어 시스템

원격으로 떨어져 있는 사용자는 인터넷을 통해 로봇의 주행속도 및 방향 회전 속도 등을 설정할 수 있고 직접 로봇을 조종할 수 있다. 또한 로봇이 스스로 주행하도록 하기 위해 자동 주행할 것을 명령할 수도 있다. 로봇은 카메라와 초음파센서를 이용하여 수집한 영상 정보 및 거리 정보를 인터넷을 통해 사용자 컴퓨터로 전송하여 원격 제어 시스템의 성능을 높일 수 있다.

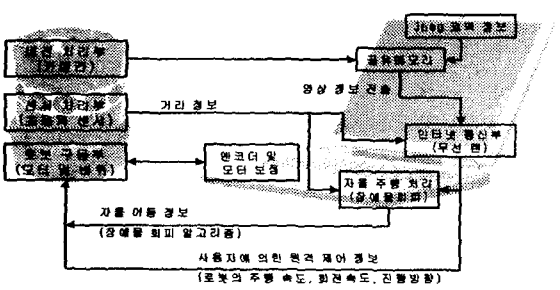

그림 2. 로봇 구성도

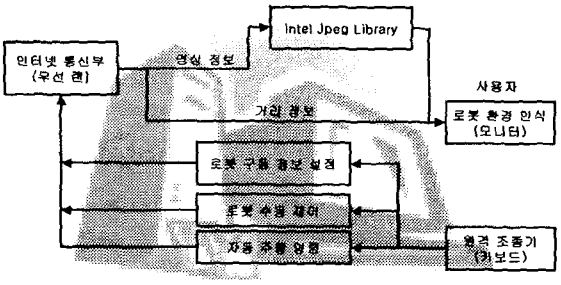

그림 3. 원격 컴퓨터 구성도

원격 제어 시스템에서 사용된 로봇과 사용자 측 원격 컴퓨터의 시스템 구조는 그림 2와 그림 3에 나타나 있다.

로봇의 로봇 구동부는 주행과 방향 전환 그리고 상체부를 제어하도록 되어 있다. 장애물 회피알고리즘을 이용한 자율주행으로 로봇의 진행방향을 결정하고, 원격 컴퓨터에서 설정한 로봇의 속도, 방향전환각도 및 상체부 회전 각도를 적용할 수 있다. 또한 로봇의 하부와 상부의 절대 각도를 엔코더로 읽어 들여 로봇의 진행방향으로 카메라가 향하도록 보정하는 기능도 추가하여 로봇의 진행 방향 쪽의 영상을 볼 수 있다.

원격 컴퓨터는 영상정보를 복원하여 사용자가 볼 수 있도록 하였으며, 키보드를 이용하여 로봇을 원격으로 제어할 수 있다.

2.2 영상 정보 압축 전송

로봇의 카메라에서 받은 영상정보를 사용자가 볼 수 있도록 원격 컴퓨터로 전송해주어야 한다. 이 때 이 영상정보는 매우 큰 용량을 갖게 된다. 게다가 한 frame의 이미지 정보가 아니라 실시간 영상정보이기 때문에 이것을 그대로 소켓을 통해 전송한다는 것은 무리가 있기 마련이다. 따라서 본 논문에서는 JPEG압축을 이용하였는데, 이것은 Intel에서 제공하는 Intel Jpeg Library(IJL)를 이용하여 하나의 프로그램으로 만들어놓은 것을 사용하였다.

JPEG 영상의 일반적인 encoding(압축)과 decoding(복원) 알고리즘은 다음과 같다[10].

□□Decoding algorithm

1. JPEG 데이터 구조할당.
2. IJL을 초기화
3. JPEG 영상의 차원 획득.
4. 디스플레이 매개변수 설정, 출력기억장치 할당.
5. JPEG 영상 데이터 획득.
6. IJL 해제.

□ · Encoding algorithm

1. IJL을 초기화
2. 인코딩 매개변수 설정
3. 영상 데이터를 IJL로 기록.
4. IJL 해제.

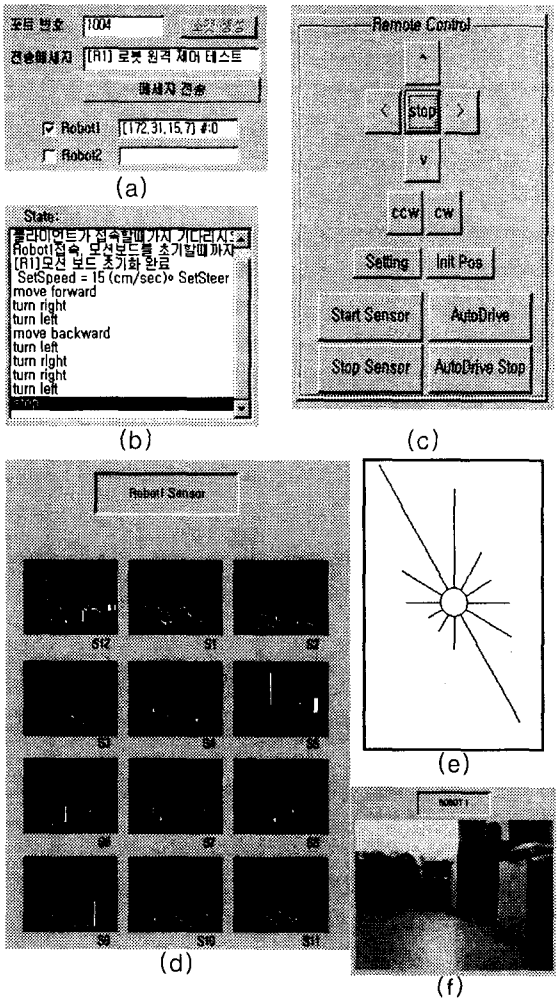

그림 4. 원격 제어 시스템 인터페이스 (a) 로봇과 네트워킹 및 간단한 채팅 기능 (b) 로봇에 대한 명령이나 상태를 나타냄 (c) 원격 조종기 (d) 12방향에 대한 거리 정보 그래프 (e) 로봇으로부터의 12방향에 대한 거리 (f) 인터넷을 통해 전송 받은 영상 정보

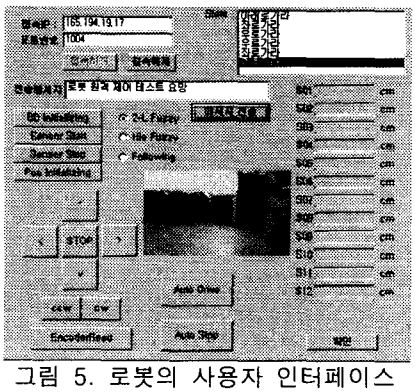

그림 5. 로봇의 사용자 인터페이스

2.3. 원격 제어 시스템 인터페이스

본 논문에서 사용한 원격 컴퓨터의 사용자 인터페이스를 그림 4에 나타내었고, 로봇 쪽의 사용자 인터페이스를 그림 5에 나타내었다. 본 시스템에서는 일정한 포트 번호와 IP주소를 가지고 네트워킹을 한다. 네트워크 상태나 로봇의 상태, 원격 제어 명령 등을 상태 창에 나타나도록 하였으며, 원격 제어 명령은 친숙한 버튼식으로 구현하였다. 로봇의 주변 환경에 대한 거리 정보와 영상 정보를 실시간으로 받아서 화면상에 표시하도록 하였다.

III. 2-Layer Fuzzy Controller

입력의 개수가 증가함에 따라 퍼지 제어기의 퍼지 룰의 개수는 기하급수적으로 증가하므로 제어 속도나 비용 면에서 큰 부담으로 작용한다. 따라서 입력의 개수가 증가함에 따른 룰의 개수의 증가율은 낮으면서, 강인한 제어를 할 수 있는 퍼지 추론 방식이 필요하다.

Multi-stage fuzzy의 경우에는 대부분 늘어나는 stage에 대한 해결책이 뚜렷하지 않아 대부분 multistage fuzzy neural network에 이용되고 있는 추세이다. 2-layer fuzzy controller는 퍼지 추론의 단계를 2단계로 제한 시켰는데, 그 이유는 퍼지 추론의 단계가 늘어남에 따라 제어기의 안정성을 보장할 수 없기 때문이다. 2-Layer fuzzy control의 경우에는 많은 입력에 대해서 룰의 개수를 줄이면서 강인한 퍼지 추론을 함과 동시에 multi-stage구조와는 달리 퍼지 추론의 단계를 2단계로 한정함으로써 제어기 출력의 안정성을 어느 정도 보장할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

그림 6은 2-layer fuzzy controller의 일반적인 구조를 나타낸다. 거리 정보를 앞쪽, 왼쪽, 오른쪽의 3부분으로 분류하고 이것을 입력으로 하는 sub-controllers를 구성한 다음, sub-controllers의 출력들을 입력으로 하는 combined controller를 추가하여 통합된 추론을 하였다. 이러한 방식을 통해 로봇은 장애물을 회피하는 자율 주행을 할 수 있다[8].

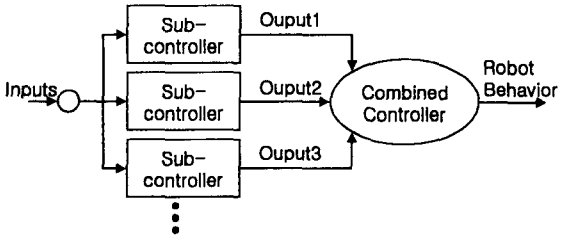

그림 6. 2-layer fuzzy controller의 구조

IV. 실험 및 결과

인터넷을 통한 데이터 전송 중 가장 많은 비

중을 차지하는 부분인 영상 정보 전송에 대해 실험 측정을 하였다. 160×120pixel 사이즈의 이미지에 대해서, 원래 크기는 57KBytes이고 JPEG압축을 했을 경우 3KBytes가 되어 매우 큰 압축율을 보이는 것을 알 수 있다. 기존의 영상정보 전송 속도를 보면 보통 2초당 1프레임정도를 전송하였으나 본 연구에서는 초당 15프레임까지 전송 가능하였다. 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. CPU속도에 따른 영상 전송 속도

로봇 CPU속도 (Mhz)	원격 CPU속도 (Mhz)	전송 속도 (Frame/sec)
2000	500	14.6
500	2000	13.7
800	2000	14.2

모두 초당 15frame을 전송하도록 설정하였는데, 표 1에서 알 수 있듯이, 수신하는 쪽 보다 송신하는 쪽의 CPU속도가 전송속도에 더 큰 영향을 미친다. 또한, 2-layer fuzzy controller를 이용한 자율이동로봇 구현에서는 [8]과 같은 결과를 얻었다.

실제로 로봇을 구동하면서 인터넷을 통해 원격 제어를 한 결과, 1분에 2~3번 정도 영상 전송이 끊어지는 것을 볼 수 있었다. 원격 제어에서는 거의 성공하였으나, 실험을 위해서 로봇이 벽에 가까이 가고 있을 경우에 별다른 제어 신호를 보내지 않았다. 이 경우에도 역시 로봇이 스스로 벽을 피해 주행하는 것을 볼 수 있었다. 실험 결과가 매우 좋게 나온 것은 한 건물 내에서 실험이 이루어져서 인터넷의 전송 속도와 신뢰도가 높았기 때문으로 예상된다.

V. 결론

본 논문에서는 TCP/IP를 이용하여 로봇과 원격 컴퓨터를 인터넷을 통해 네트워킹하고 빠른 영상 정보 전송을 위해 JPEG압축 기술을 이용하였으며, 인터넷 전송 지연 및 통신 두절에 대비해 2-layer fuzzy controller를 장착한 자율 이동로봇을 구현하였다. 이 시스템을 통해 원활한 원격 제어를 할 수 있었다.

영상 인식 기술을 적용하여 로봇이 물체를 인식하도록 하기 위해서는 1frame 정보가 필요한데, 영상 압축에서 JPEG를 이용한 것도 MPEG가 한 frame의 영상 처리가 까다롭기 때문이다. 그러므로 본 시스템에 영상 인식 기술을 적용한 로봇의 물체인식을 구현하면, 더욱 강인한 자율이동로봇 원격 제어를 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구비(과제번호: 2000-2-30300-003-3)지원으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

VI. 참고문헌

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

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

[3] Kuk-Hyun Han, Shin Kim, Yong-Jae Kim, Seung-Eun Lee, Jong-Hwan Kim, "Implementation of Internet-based personal robot with Internet control architecture", *IEEE Proc. 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, T. Fukuda, "Multi-site internet-based cooperative control of robotic Operations", *IEEE Proc. on Intelligent Robots and Systems,* vol. 2, pp. 826-831, 2000.

[5] H. R. Beom, H. S. Cho, "A Sensor-Based Obstacle Avoidance Controller for a Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Neural Network", *IEEE Proc. on Intelligent Robots and Systems,* vol. 2, pp. 1470 -1475, 1992.

[6] Sng Hong Lian, "Fuzzy logic control of an obstacle avoidance robot", *IEEE Proc. on Fuzzy Systems,* vol. 1, pp. 26 -30, 1996.

[7] Bing-Yung Chee, Sherman Y. T. Lang, Peter W. T. Tse, "Fuzzy Mobile Robot Navigation and Sensor Integration", *IEEE Proc. on Fuzzy Systems,* vol. 1, pp. 7-12, 1996.

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

[9] 이상엽, *Visual C++ Programming Bible Ver. 6.x,* 영진출판사, pp. 1609-1634, 2002.

[10] Intel, *Intel JPEG Library Developer's Guide,* Intel Corporation, 1999.