

웹을 이용한 이동로봇의 원격제어

The Remote Control of Mobile Robots on the Web

옥진삼 · 강근택 · 이원창

J. S. Ok, G. T. Kang and W. C. Lee

Key Words : Remote Location(원격지), Web(웹), Mobile Robot(이동로봇), Image Separation(이미지 분할)

Abstract : It is often necessary to observe the working environment of a robot to control it efficiently in the remote location. The remote sensing data and control commands are transmitted via various media such as radio, microwave, and computer network. The World Wide Web can be used as the infrastructure for teleoperation of mobile robots. In this paper we propose an advanced technique of the remote control of mobile robots on the web. For the real-time control, the image separation algorithm is proposed to transmit the current positions of mobile robots instead of transmitting the full frame image. It is shown by experiments that the proposed algorithm is effective.

1. 서론

오늘날 로봇 시스템은 공장 자동화, 우주 탐사, 군사 등 광범위한 분야에서 응용되고 있다¹⁾. 특히 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등의 인공지능 이론은 로봇에게 자율성을 부여하여 로봇 혼자서도 주어진 임무를 수행할 수 있는 단계에 이르렀다. 비단 특수 목적의 로봇 분야뿐만 아니라 청소, 의료보조, 정원관리 등 일상 생활에서 응용될 수 있는 연구도 진행되고 있다²⁾. 그러나, 로봇이 어느 정도의 자율성을 확보하고 있더라도 로봇의 상태와 주변환경을 관찰할 필요가 있다. 더구나 로봇 관리자가 원격지에 있을 경우 네트워크 등 통신환경을 구축하여 정보를 인식할 필요성이 있다. 한편 인터넷의 발전은 문자에서 벗어나 음성, 영상 등의 멀티미디어 서비스를 제공하고 있는 추세에 있다. 현재 양방향 화상회의, 원격 감독 시스템 등 인터넷 기반의 응용 분야도 주목할 만하다^{3) 5)}. 그리고 인터넷 기반의 프로그래밍 언어의 등장으로 인해 인터넷에서의 응용 분야의 범위는 더욱 확대되어 가는 추세이다. 원격지에서의 로봇제어환경에서는 원격지에서 사용자에게 편리한 제어환경을 제공하기 위해서 원격지의

환경을 실시간으로 사용자가 인식하는 것이 요구된다. 그러나 이미지 기반의 명령시스템은 이동로봇의 실시간 제어를 위해서 빠른 이미지 전송을 요구한다. 본 논문에서는 이러한 인터넷 기반의 이

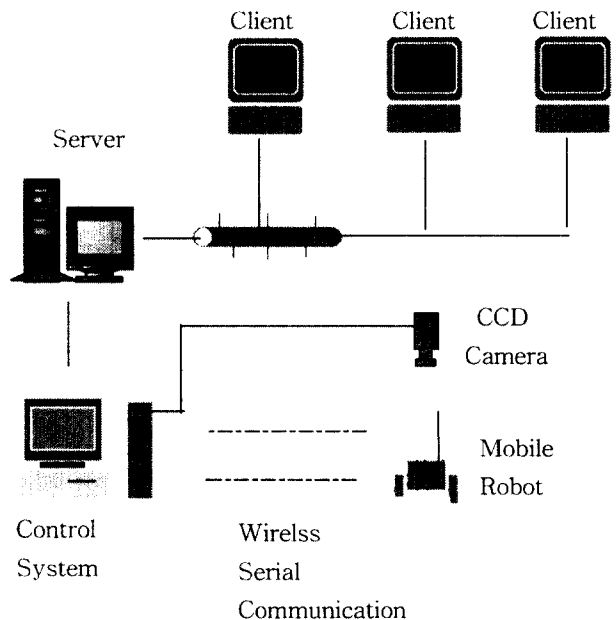


Fig. 1 Block diagram of the remote control system

접수일 : 2000년 6월 26일
옥진삼 : 부경대학교 대학원
강근택, 이원창 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

동로봇의 원격제어 시스템과 준 실시간 이동로봇의 제어를 위해 이미지 분리 및 위치 전송 알고리즘을 제안하고, 실험을 통해서 알고리즘 적용의 결과를 보인다.

2. 이동로봇 원격제어시스템

2.1 시스템의 전체 구성

시스템의 환경은 Fig. 1과 같다. 이미지 처리 및 이동 명령을 생성하기 위한 컨트롤 시스템과 웹 브라우저를 탑재한 임의의 사용자 PC, 그리고, 웹서버로서 구성된다. 컨트롤 시스템은 이미지를 통해 이동로봇 및 목표지점의 위치와 방향각을 계산하여 이동로봇의 이동명령을 생성한다. 또한 이미지 처리를 통해 얻어진 로봇의 위치를 웹서버를 통해 클라이언트로 송신한다. 웹서버는 컨트롤 시스템으로부터 이동로봇의 위치를 전송 받아 로봇의 이미지를 클라이언트에 나타낸다.

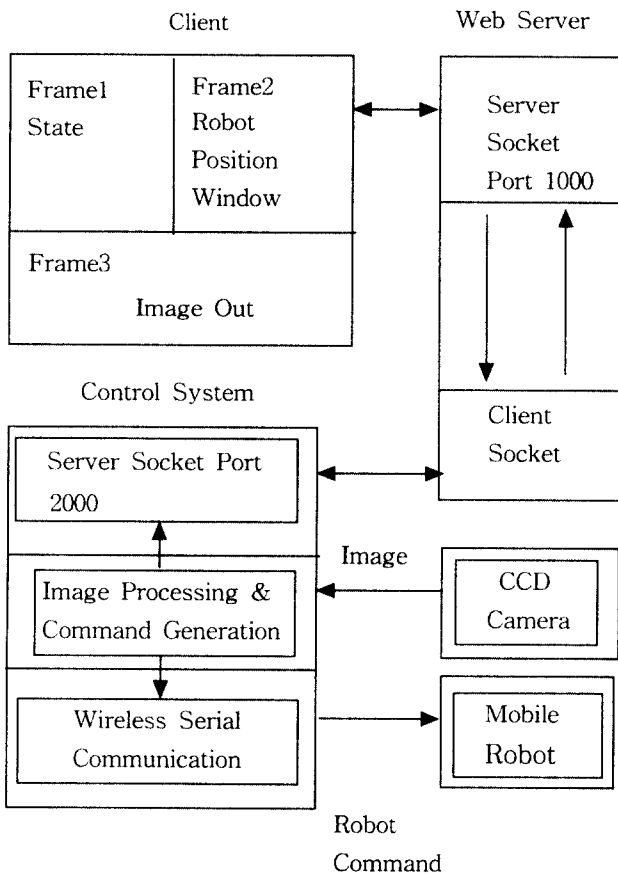


Fig. 2 Operating architecture of the remote control system

2.2 시스템간의 통신과 원격지의 로봇 제어환경

시스템의 통신은 소켓을 생성하여 네트워크를 형성함으로써 이루어진다. Fig. 2와 같이 각각의 시스템은 소켓 접속을 통해 네트워크를 형성하고, 클라이언트의 사용자 인터페이스는 웹서버로부터 사용자 인터페이스 애플릿을 다운받아 로봇을 제어한다. 컨트롤 시스템은 로봇의 이미지 처리부와 소켓 통신 그리고 이동로봇에게 명령 송신을 위한 무선 직렬 통신부로 구성된다.

시스템간의 통신은 두 가지로 나누어지는데 클라이언트에서 컨트롤 시스템과의 통신과 컨트롤 시스템으로부터 클라이언트와의 통신이다. 전자는 사용자로부터 로봇의 목표 위치를 입력받아서 컨트롤 시스템으로 전송하고, 로봇의 이미지와 로봇의 환경을 프레임의 통해 출력한다. 컨트롤 시스템은 이미지 프로세싱을 통해 얻어진 로봇의 현재위치를 클라이언트로 전송하고 현재 목표와 이동목표위치로부터 이동명령을 생성하여 로봇에게 무선으로 이동로봇에게 전송한다.

Fig. 3과 4는 각각 클라이언트 사용자 인터페이스

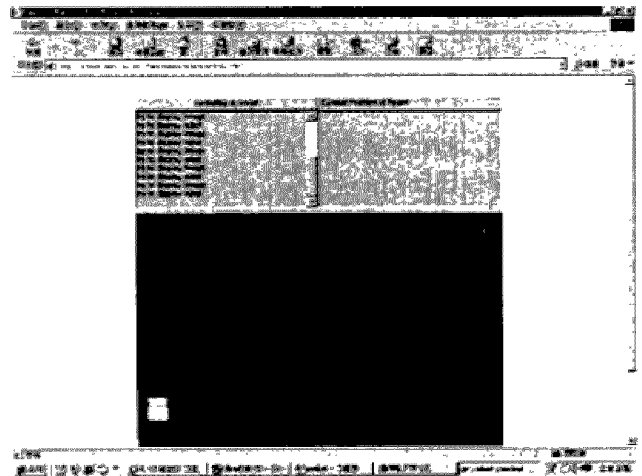


Fig. 3 Web user interface

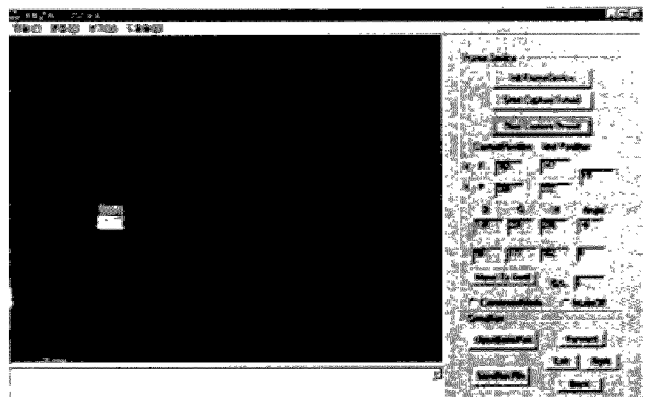


Fig. 4 Control system interface

와 컨트롤 시스템의 사용자 인터페이스이다. 로봇의 이동명령 방식은 사용자가 클라이언트에서 마우스로 이동하고자 하는 포인터를 클릭하면 클릭된 좌표가 컨트롤 시스템으로 전송되고 컨트롤 시스템은 전송받은 좌표를 바탕으로 로봇의 이동명령을 생성한다. 클라이언트의 인터페이스 구현을 위해서 현재 인터넷 언어로 널리 사용되는 JAVA 언어를 사용하였으며, 컨트롤 시스템은 C++ 언어로 구현했다.

2.3 이미지 분할 및 위치 전송

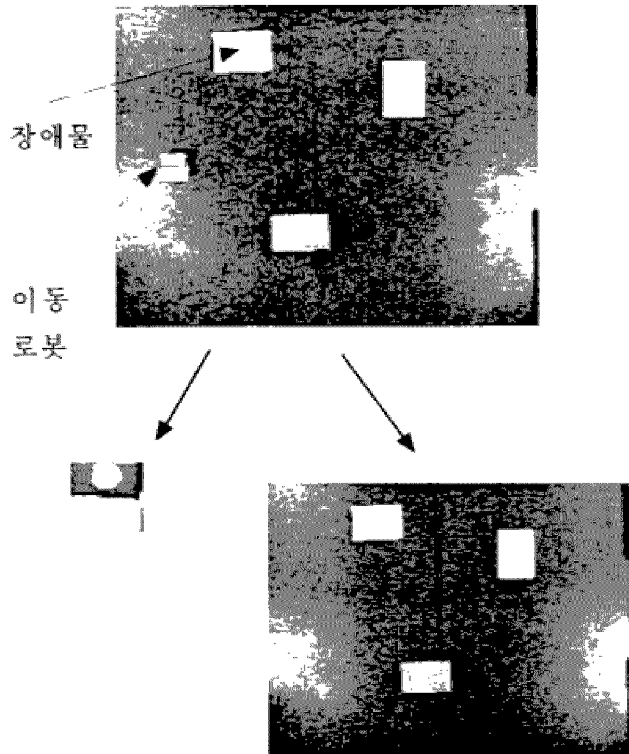


Fig. 5 Image separation

본 논문에서 제안하는 이미지 분할 및 위치 전송 알고리즘은 다음과 같다. 전체 프레임을 실시간으로 전송하여 클라이언트에 출력하기 위해서는 빠른 네트워크 속도를 요구한다. 따라서 본 논문에서는 전체 정지영상의 전송 대신에 이미지를 분리, 압축하여 웹서버에 미리 저장하고 로봇의 위치의 위치를 전송하여 준 실시간을 만족하도록 하는 알고리즘을 제안한다. 이미지 분할 및 위치 전송 알고리즘의 개념은 Fig. 5와 같이 로봇의 환경 이미지와 이동로봇의 이미지를 분리, 웹서버에 저장하고, 전체 이미지 대신에 이미지 프로세싱을 통해 얻어진 로봇의 위치만을 전송함으로써 이동로봇의 제어를 실시간에 가깝도록 구현하는데 있다. 로봇의 위치를 전송하기 위해 정지화상의 이미지 프로세싱⁶⁾ 과정이 필요하다.

2.4 로봇의 위치 및 방향각 계산

로봇의 현재위치 x_c 와 y_c 는 CCD 카메라로부터 얻은 컬러정지화상을 이미지 프로세싱을 통해 구한다. 로봇은 로봇의 위치와 자세를 계산하기 위해 두 가지의 페치색을 가진다. 로봇의 위치는 주 페치색을 찾아서 계산되고, 부페치는 로봇의 자세를 계산하기 위해 사용된다. 페치의 중심은 면적 계산법을 통해 중심위치를 구할 수 있다. 로봇의 위치와 방향각 계산을 위해서 두 단계의 계산과정을 적용했다.

- 단계 1. 전체 이미지 검색을 통한 면적 중심법에 의한 이동로봇의 위치검출
- 단계 2. 특정영역 검색을 통한 임계값 처리와 레이블링에 의한 이동로봇의 위치 및 방향각 계산

먼저 단계 1을 통해 로봇의 위치를 찾는다. 그러면 단계2에서 로봇위치와 방향각을 계산한다. 이렇게 두 단계로 나누는 것은 매 프레임마다 전체 이미지 처리의 계산량을 줄임으로써 보다 빠른 이미지 처리를 위해서다. 단계 2에서의 로봇의 위치와 방향각 계산의 과정은 다음과 같다.

단계 2의 로봇의 위치와 방향각 계산과정은 다음과 같다.

- 1) 단계 1에서의 얻어진 로봇의 위치를 중심으로 상하 좌우 50 크기의 영역, 즉 가로, 세로 100×100 픽셀크기의 영역을 임계값 처리를 통해 각 픽셀에 대표값을 부여한다.
- 2) 과정 1)에서 얻어진 대표값으로부터 주페치의 네 개의 꼭지점을 찾는다.
- 3) 구해진 네 개의 꼭지점으로부터 각 꼭지점간의 거리를 계산한다.
- 4) 각각의 거리중에서 가장 거리가 긴 두 꼭지점을 얻는다.
- 5) 두 꼭지점간의 중심을 계산하여 로봇의 중심을 찾는다.
- 6) 두 꼭지점을 잇는 직선을 경계로 해서 법선 성분의 픽셀값을 조사해서 로봇의 앞뒤를 계산하고, 로봇의 방향각을 계산한다.

로봇의 현재좌표와 방향각과 목표지점의 좌표와 방향각으로부터 식(1),(2)로부터 구해진다. Fig. 7의 기준좌표계 $o_0x_0y_0$ 에서의 로봇의 위치와 방향각을 (x_R, y_R, θ_R) , 로봇좌표계 o, x, y_r 에서의 목표지점의 위치와 방향각을 (x_G, y_G, θ_G) 라고 하면 거리

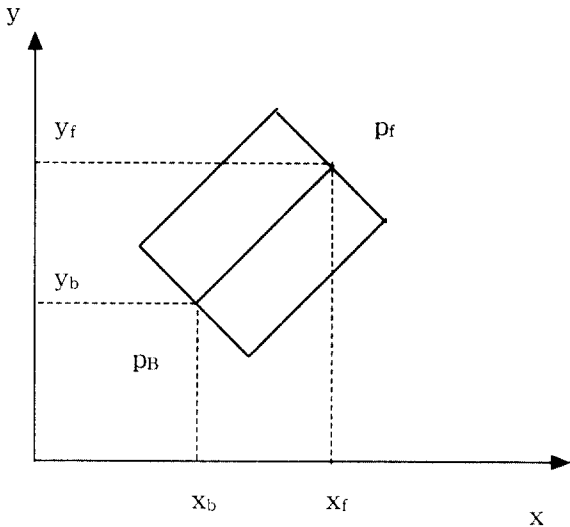


Fig. 6 Computation of robot's position and orientation

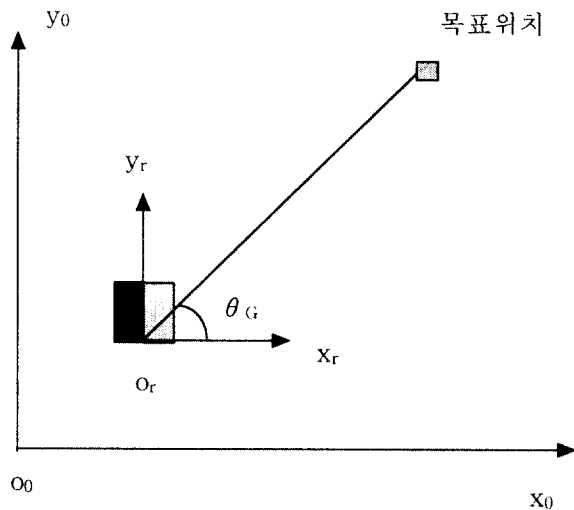


Fig. 7 Computation of distance and orientation difference

오차와 방향각오차는 다음식 (1),(2)에 의해서 구해진다.

$$\theta_e = \theta_R - \theta_G \quad (1)$$

$$d_e = \sqrt{(x_R - x_G)^2 + (y_R - y_G)^2} \quad (2)$$

여기서 θ_e 는 방향각오차, d_e 는 로봇의 위치와 목표위치와의 거리오차이다.

$$V_l = K_{pd} \cdot d_e - K_{pa} \cdot \theta_e \quad (3)$$

$$V_r = K_{pd} \cdot d_e + K_{pa} \cdot \theta_e \quad (4)$$

여기서, K_{pd} 는 와 K_{pa} 는 각각 비례계수가 된다. 이동로봇에서 모터를 구동하기 위한 신호는 PWM(pulse width module)신호이다. 따라서 이동로봇으로 속도 데이터를 전송하기 전에 선속도를 적절한 PWM 제어신호로 변환한다. 로봇의 제어는 Fig. 8에서와 같이 이미지 프로세싱을 통해 로봇의 거리오차와 방향각오차로 지령을 생성하는 페루프 시스템이 된다.

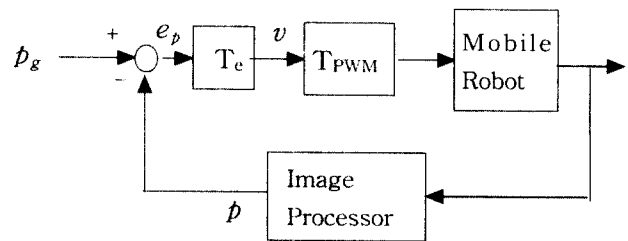


Fig. 8 Block diagram of robot control system

Fig. 8에서 $p_g = [x_g \ y_g \ \theta_g]^T$ 는 목표좌표와 방향각의 벡터를 나타내고, $p = [x_c \ y_c \ \theta_c]^T$ 는 현재 로봇의 좌표와 방향각의 벡터이다. e_p 는 자세오차를 나타내는 벡터이다. T_e 는 이득계수이고, T_{pwm} 은 변환계수이다. $v = [v_l \ v_r]^T$ 는 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴 입력의 선속도 벡터로

$$v = T_e \cdot e_p \quad (5)$$

로 주어진다.

2.5 이동로봇

이동로봇은 8.0cm× 8.0cm×8.0cm 의 비홀로노믹 로봇이다⁷⁾. 로봇의 외형은 Fig. 9와 같다. 로봇의 프로세서는 Intel사의 80C196KC를 사용했다. 로봇의 이동은 오직 CCD 카메라를 통한 비전 처리만으로 이루어짐으로 별도의 센서를 장치하지 않았다.

3. 실험

실험은 가로 150cm, 세로 120cm 의 로봇 축구경기장을 주변환경으로 설정하였다⁸⁾. 웹서버의 운영체제는 UNIX Solaris ver.2.6 이고, 컨트롤 시스템

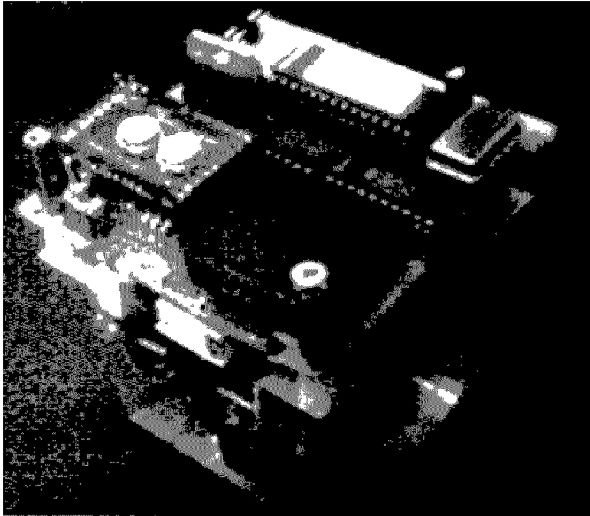
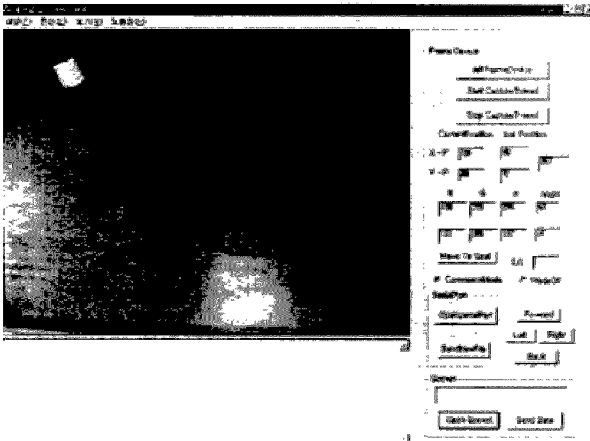
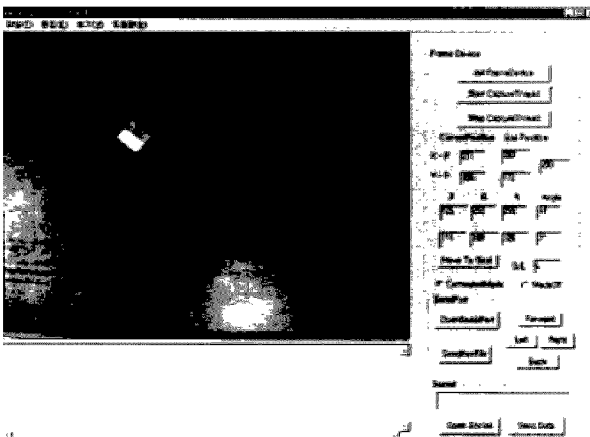


Fig. 9 Target mobile robot

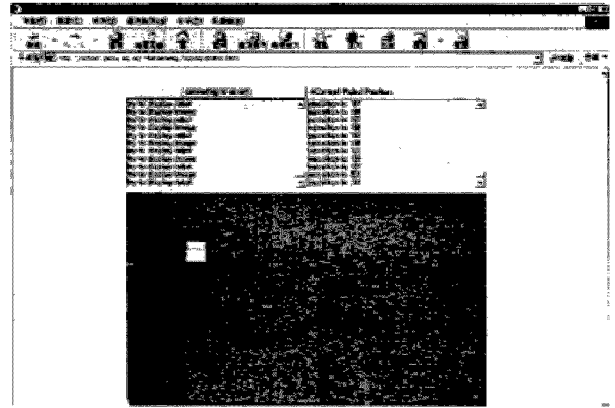


(a)

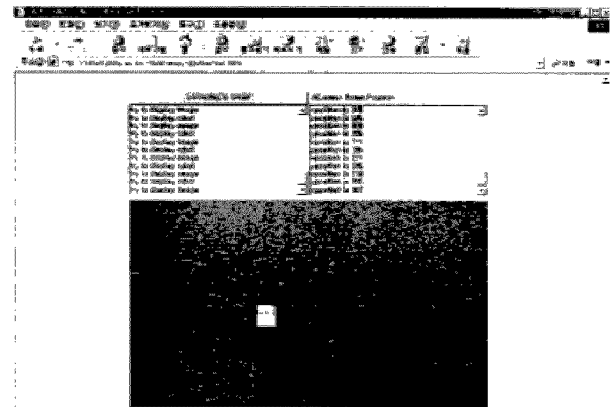


(b)

Fig. 10 Image of target robot on control system user interface (a) initial position (b) target robot under remote control



(a)



(b)

Fig. 11 Image of target robot on the web user interface (a) initial position (b) target robot under remote control

의 PC 사양은 Pentium 180MHz, 이미지 처리를 위해 CCD 카메라, 640×480 픽셀의 컬러 프레임 그래버를 사용했다. 로봇의 이동 명령 생성은 로봇의 목표 위치가 주어지면 로봇의 위치, 방향각, 목표지점과의 방향각 오차를 계산하여 생성한다. 명령의 순서는 방향각 오차만큼의 회전 명령을 주고, 방향각 오차가 ± 5 도 이내에서 직진 명령을 주도록 했다. 이동 명령 전송은 표 1과 같은 패킷 구조를 가진다. 이동 로봇의 직진 속도는 약 20cm/sec로 등속도로 제한했다. 회전 속도는 표 1에서와 같이 회전해야 할 반경에 비례하여 시간값을 주는 방식을 사용했다. 실험에서 각각의 PWM 값은 좌우 모터 각각 115, 125를 주었을 때 직진함을 실험을 통해 얻을 수 있었다. 직진 명령 좌우 모터의 PWM 값은 다음 식에 의해 계산했다.

$$l_{pwm} = 115 + K_{\theta} \cdot \theta_e \quad (6)$$

$$r_{pwm} = 125 - K_{\theta} \cdot \theta_e \quad (7)$$

여기서, l_{pwm}, r_{pwm} 은 각각 좌우 모터의 PWM값이고, K_{θ}, θ_e 는 각각 비례상수와 방향각오차이다. 이미지 처리는 약 초당 7프레임의 결과를 보였다. 로봇의 위치 및 방향각 계산을 위해 노란색과 녹색의 폐치색을 사용하여 임계값 처리와 폐치의 네 개의 꼭지점을 찾아서 방향각을 계산했다. Fig. 10은 컨트롤 시스템의 사용자 인터페이스에서의 로봇의 이동을 나타낸 것이다.

Fig. 11은 컨트롤 시스템에서 전송된 로봇의 이동 좌표를 클라이언트에서 출력된 것을 나타낸다.

4. 결 론

본 논문에서는 웹상에서 이동로봇의 원격제어에 관한 시스템을 구현했다. 원격지에서 로봇의 제어를 위해서는 준 실시간성을 요구한다. 그러나 현재 일반적인 네트워크의 전송속도는 실시간적으로 영상데이터와 기타 원격제어에 필요한 데이터를 전송하기에는 다소 미흡하다고 할 수 있으며, 이러한 상황에서 원격제어를 행한다면 통신시간의 지연에 의해 원활한 제어가 이루어지기 어렵다. 따라서, 로봇의 준 실시간 제어와 제어 환경의 편이성을 위해 이미지 분할 및 위치 전송 알고리즘을 제안하였으며, 실험을 통해 로봇의 이동제어의 결과를 보였다. 실험에서 로봇의 이미지 프로세싱과 로봇의 위치 전송은 약 초당 7회의 전송 결과를 보였으며, 전송데이터의 패킷의 크기는 10바이트 미만으로 네트워크의 전송속도에 영향을 받지 않았다. 향후 과제로서 이동로봇의 제어환경의 보다 정확한 정보제공을 위한 실시간 동영상 전송 알고리즘 구현에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

1. S. Hyati and R. Volpe, "The Rocky 7 Rover: A Mars Sciencecraft Prototype", Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation Albuquerque, New Mexico, pp. 2458~2464, April, 1997
2. <http://cwis.usc.edu /dept/garden>
3. T. M. Chen and R. C. Luo, "Remote Supervisory Control of Autonomous Mobile

- Robot Via World Wide Web", ISIE '97-Guimaraes, Portugal, pp. 60~64, 1997
4. Ren C.Luo, Wei Zen Lee, Jyh Hwa Chou, and Hou Tin Leong, "Tele- Control of Rapid Prototyping Machine Via Internet for Automated Tele- Manufacturing", Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2203~2208, 1999
5. T. Fitzpatrick. "Live Remote Control of a Robot via The Internet", IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 7~8, September 1999
6. R. C. Gonzalez and R. E. Woods "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992
7. K. C. Koh and H. S. Cho "A Smooth Path Tracking Algorithm for Wheeled Mobile Robots with Dynamic Constraints" Journal of Intelligent and Robotic System, Vol. 24, pp. 367~385, 1999
8. 김종환, "로봇 축구 시스템" 대영사, 1999