

# 이동 로봇의 원격 주행 시스템

## Remote Navigation System for Mobile Robot

김종선, 유영선, 김성호, 주영훈,  
(Jong Seon Kim, Yeong Seon Yu, Sung Ho Kim and Young Hoon Joo)

**Abstract** - In this paper, we implement the internet-based remote control system for intelligent robot. For remote control of the robot, it uses the socket communication of the TCP/IP. It consists of the user interface and the robot control interface. Robot control interface transmits the navigation and environmental informations of the robot into the user interface. In order to transmit the large environmental images, a JPEG compression algorithm is used. User interface displays the navigation status of the robot and transmits the navigation order into the robot control interface. Also, we propose the design method of the fuzzy controller using navigation data acquired by expert's knowledge or experience. To do this, we use virus-evolutionary genetic algorithm(VEGA). Finally, we have shown the proposed system can be operated through the real world experimentations.

**Key Words** : internet-based remote control, virus-evolutionary genetic algorithm(VEGA), intelligent robot, robot control

### 1. 서론

최근 로봇은 여러 분야에서 필요성이 증대되고 있으며, 다양한 형태의 로봇들이 각 분야에서 이용되고 있다. 그중 사람에게 유해한 작업 현장에서의 사용이 많이 늘어나고 있다. 원자력 발전소나 원전 폐기물 처리 시설 같은 방사능 유해환경에서의 작업은 작업자에게 매우 위험하다. 따라서 작업자를 보호하고 작업의 효율을 증대시키기 위해서 로봇시스템과 유해환경으로부터 격리되어 로봇을 조작할 수 있는 원격제어 시스템을 필요로 한다. 최근 컴퓨터와 인터넷이 급속도로 발전되면서 인터넷을 통한 로봇의 원격제어에 관한 연구가 많은 관심을 받아오고 있다. 홈페이지에 접속한 사용자가 로봇 팔 또는 이동로봇을 제어하기도 한다[1-3].

원격으로 로봇을 제어하기 위해서는 기본적으로 로봇 주변 환경에 대한 인식을 필요로 한다. 로봇팔의 경우 고정된 카메라를 이용하여 로봇 전체의 영상을 얻어 인터넷을 통하여 전송한다. 이동로봇을 원격으로 제어하기 위해서는 로봇 주변 환경을 인식할 수 있는 추가적인 센서가 필요하다. 주변 환경을 단순히 전송만 하여서는 인터넷의 시간지연이나 데이터 손실 같은 문제를 배제할 수는 없다. 이러한 약점을 보완하기 위한 방법으로 지능형 로봇의 연구가 시작되었다.

자율이동 로봇은 주위환경을 인식하여 로봇 자신의 판단에

따라 움직이는 로봇이다. 각종 센서를 활용하여 환경정보를 입수하고, 분석하여 이동경로를 결정하고, 이동하는 제어가 필요하다. 하지만, 이동 중에 바퀴의 미끄러짐이나 센서의 오차로 인하여 만족스러운 수학적 모델을 얻지 못하는 복잡한 시스템이다. 전통적인 제어이론으로는 유용성이 떨어진다. 대안으로 퍼지제어, 신경망, 퍼지-신경망 등 여러 가지 지능제어 기법이 제안되었다. 그중 퍼지제어기는 전문가의 경험을 바탕으로 퍼지논리를 이용하여 제어를 설계하기 때문에 정확한 수학적 모델을 알지 못해도 좋은 성능을 얻을 수 있다고 알려져 있다. 정확한 수학적 모델을 알지 못해도 좋은 성능을 얻을 수 있다고 알려져 있다. 그러나 전문가들의 경험을 바탕으로 하므로 시스템의 구성 요소가 최적이라는 보장이 없다. 이를 위해 최적화시키기 위한 동정이론이 등장하였는데 여기에는 신경회로망 이론의 융합, 비선형 프로그래밍 기법 등을 이용한 자기 동조방식 전역 최적화 탐색기법인 유전 알고리즘을 이용한 방식이 많이 이용되고 있다.

본 논문은 지능형 로봇의 인터넷 기반 원격 제어 시스템을 제안한다. 제안된 방법은 무선네트워크를 이용하여 자율이동 로봇의 원격제어 시스템을 구성하고, 각종 주행 데이터 값과 명령들을 원격으로 전송하며, 주위환경에 대한 영상을 실시간으로 전송하며, 지능형 로봇의 자율주행을 위하여 VEGA 기법을 사용한 주행제어기 설계방법을 제안한다. 마지막으로 인터넷 기반 원격제어 시스템의 구조를 제시하고 실험을 통해 제안된 시스템이 성공적으로 운용됨을 보인다.

### 저자 소개

\* 김종선, 유영선 : 群山大學校 電子精報工學部 博士課程  
주영훈, 김성호 : 群山大學校 電子精報工學部 敎授 · E博

감사의 글: 본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(관계관리번호: R-2004-B-120) 주관으로 수행된 과제임.

### 2. 인터넷 기반 원격제어

본 논문에서 제안된 지능형 로봇의 인터넷 기반 원격제어 시스템은 로봇의 원격제어를 위한 사용자 인터페이스, 로봇의

제어 명령을 받아 로봇의 주위 환경 및 센서데이터를 전송하는 로봇제어 인터페이스, 두개의 인터페이스를 연결해주는 네트워크로 구성된다. 이를 위해 두 대의 컴퓨터와 무선 공유기를 사용하고 있다. 시스템의 전체적인 구조는 그림 1에 나타나 있다.

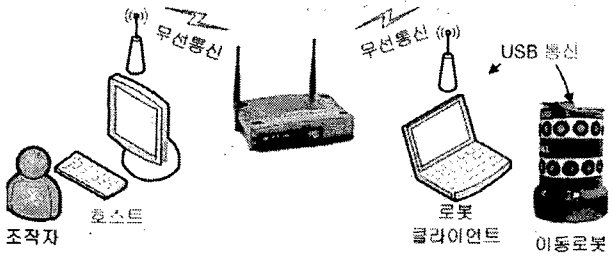


그림 1. 원격제어 시스템

로봇의 원격제어를 위해 인터넷을 사용한다. 인터넷에서 사용하는 프로토콜에는 TCP, UDP, FTP, Telnet, HTTP등 여러 가지가 있는데, TCP/IP는 인터넷상에서 가장 널리 사용되는 프로토콜이다. 따라서 로봇의 원격제어를 위해 TCP/IP 네트워크에서의 소켓을 활용한다.

로봇의 원격제어에 있어서 전송해야하는 데이터의 형태는 영상, 로봇주위 환경의 거리정보, 제어명령어, 로봇의 상태 접촉여부 등이 있다. 이러한 데이터들은 영상정보, 위치정보, 제어명령의 각각의 소켓을 통해 전송된다. 로봇에 있는 카메라에서 획득한 영상은 큰 용량을 가지고 있어서 사용자의 컴퓨터로 전송 시에 전송 지연으로 인한 실시간 영상 확인이 어렵다. 본 논문에서는 로봇에서 전송되는 영상의 크기를 줄여 전송속도를 높이기 위해 JPEG 압축방법을 사용한다.[4] 현재 가장 많이 사용되고 JPEG 모드는 Extended baseline mode 와 Sequential DCT-based baseline이 있다.

원격제어 인터페이스는 외부에서 주행 중인 지능형 로봇의 주행 상황을 모니터링 할 수 있는 사용자 인터페이스와 지능형 로봇에 탑재되어있는 로봇의 제어를 담당하는 로봇제어 인터페이스로 구성된다. 로봇제어 인터페이스는 그림 2와 같고, 사용자 인터페이스는 실험부분 그림 5에서 볼 수 있다.

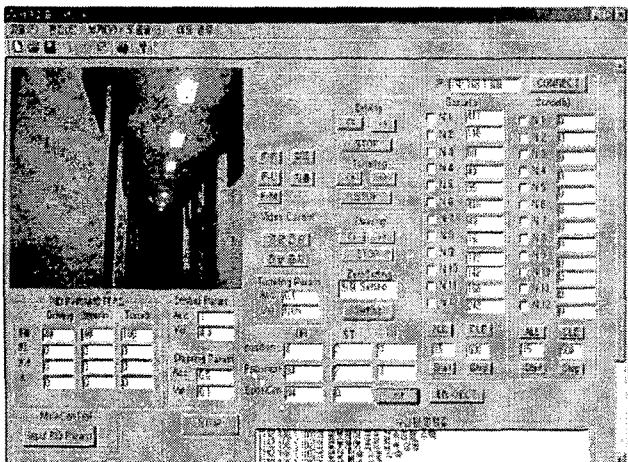


그림 2. 로봇제어 인터페이스

### 3. 퍼지 주행 제어기

#### 3.1 퍼지제어기

본 논문에서 사용한 퍼지 주행제어기는 다음과 같은 구조를 갖는다.

Rule  $i$ : If  $x_1$  is  $A_{i1}$ , ..., and  $x_n$  is  $A_{in}$ , then  $y_i$  is  $w_i$  ( $1 \leq i \leq c$ ) (1)

식 (1)에서 Rule  $i$ 는  $i$  번째 규칙( $1 \leq i \leq c$ )을 말하며,  $x_j$  ( $1 \leq j \leq n$ )은  $j$  번째 입력 변수,  $y_i$ 는  $i$  번째 규칙의 출력으로 실수치  $w_i$ 를 갖는다. 전반부 소속함수  $A_{ij}$ 는 식 (2)과 같은 이등변 삼각형이다.

$$A_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{2}{b_{ij}}(x_{ij} - (a_{ij} - \frac{b_{ij}}{2})), & a_{ij} - \frac{b_{ij}}{2} \leq x_{ij} \leq a_{ij} \\ -\frac{2}{b_{ij}}(x_{ij} - (a_{ij} + \frac{b_{ij}}{2})), & a_{ij} \leq x_{ij} \leq a_{ij} + \frac{b_{ij}}{2} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $a_{ij}$ 는 이등변 삼각형의 중심 값을 나타내고  $b_{ij}$ 는 이등변 삼각형의 폭을 의미한다. 본 논문에서는 입력과 출력 변수의 값들을 0과 1사이로 정규화 하였다.

#### 3.2 바이러스-진화 유전 알고리즘(VEGA)

유전 알고리즘은 진화과정을 수행하기 위한 연산자로 선택, 교차, 돌연변이를 사용하는데, 적합도가 결정되면 적합도가 높은 것은 많이 선택되어지고 낮은 것은 적거나 선택되지 않는다. 따라서 월등히 우수한 개체의 출현은 현재 진화 방향이 바뀌기 전까지 적합도의 향상이 어렵다. 이는 스키마타를 간접적으로 다루는 GA의 특징 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 VEGA가 제안되었다.[5] VEGA에서는 추가로 역전사 연산자와 형질도입 연산자가 도입된다.

#### 3.3 퍼지모델의 유전 암호화

퍼지모델의 파라미터와 구조를 동시에 동정하기 위하여 전반부와 후반부로 나누어 부호화 하는 방법을 제안한다. 전반부 소속 함수의 파라미터를 폭과 중심 값으로 나타낸 쌍이 최대 규칙 수 만큼, 되도록 배열하고, 다음에 후반부 값을 배열하며, 구조 동정을 위해 규칙의 필요 유무를 탐색하도록 구성한다. 최종의 스트링 구조는 그림 3과 같다.

	Premise string			Consequent string			Rule number				
Individual 1	$b_{11}$	$a_{11}$	...	$b_{1c}$	$a_{1c}$	$w_{11}$	...	$w_{1c}$	rule_11	...	rule_1c
Individual 2	$b_{21}$	$a_{21}$	...	$b_{2c}$	$a_{2c}$	$w_{21}$	...	$w_{2c}$	rule_21	...	rule_2c
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Individual n	$b_{n1}$	$a_{n1}$	...	$b_{nc}$	$a_{nc}$	$w_{n1}$	...	$w_{nc}$	rule_n1	...	rule_nc

그림 3. 퍼지모델의 유전 암호화

### 4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 이동로봇의 자율주행에 필요한 퍼지제어기의 소속 함수의 파라미터와 구조를 동정하기 위하여 VEGA를 사용하였다. 동정을 위한 실험 데이터는 수동으로 조작하여 초기조건으로 기준선을 100[Cm]로 설정하고, 기준선에서 왼쪽에서 3회, 오른쪽에서 3회 총 224개의 실험 데이터 쌍을

획득하였다. 표 1은 동정을 위해 사용한 VEGA의 초기 값을 나타낸다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 VEGA로 동정해서 얻은 소속함수의 모양이다. 값들은 0과 1사이로 정규화된 값들이다.

Parameter's name	Parameter' value
Maximum generation number	1,000
Population number	100
Crossover rate	0.7
Mutation rate	0.2
max_c	6
$\alpha$	0.9
$\epsilon, C_c, C_r, \rho, \Pi$	0,1,0,4,3,0.0001
Reduction rate, Life coefficient	0.1,0.9

표 1. VEGA의 초기 값

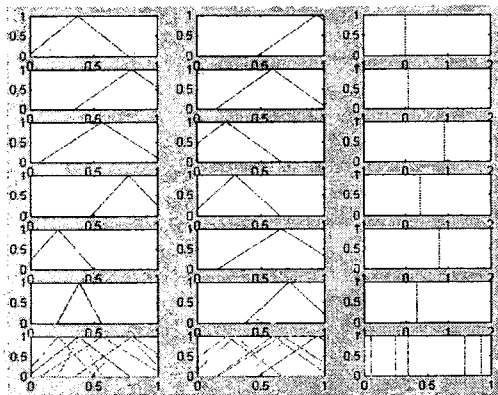


그림 4. VEGA로 동정된 소속함수

원격지에서 제어명령을 내려 로봇제어 인터페이스에 접속하고, 로봇제어 인터페이스는 자율주행을 VEGA에 의해 동정된 제어기를 이용하게 된다. 이때 로봇 제어 인터페이스는 사용자 인터페이스에 주위 환경에 대한 영상과 로봇주위의 거리 정보 등의 센서데이터 값들을 사용자 인터페이스에 전송하고, 이를 받은 사용자 인터페이스는 수신된 거리 정보를 기반으로 로봇의 이동궤적을 사용자 인터페이스에 표시하여 준다. 그림 5, 6은 제안된 방법에 의해 동정된 퍼지 주행 제어기를 이용한 벽면주행 실험결과를 나타낸 사용자 인터페이스의 화면이다. 즉, 로봇제어인터페이스에서 송신한 주행 데이터들을 그래픽으로 처리하였다. 그림에서 보듯이 로봇주위 환경의 영상이 전송됨을 볼 수 있고 벽면 주행 실험을 성공적으로 수행함을 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 지능형 로봇의 인터넷 기반 원격 제어를 위한 시스템을 제안하였다. 로봇의 원격제어를 위하여 TCP/IP의 소켓 통신을 이용한다. 시스템은 크게 주행 중인 지능형 로봇주위의 환경에 대한 영상정보나 각종 주행 데이터 등을 전송하는 로봇제어인터페이스와 각종정보를 수신하여 보기 쉽게 화면에 표시하는 사용자인터페이스로 구성된다. 큰 용량의 영상정보를 전송하기 위하여 JPEG 압축 알고리즘을 이용한다. 지능형 로봇의 자율주행을 위한 퍼지제어기의 설계

시 퍼지규칙의 수와 멤버십 함수의 매개변수들을 바이러스-진화 유전알고리즘을 이용하여 동정하는 방법을 제안하였다. 마지막으로 제안된 시스템을 실험을 통하여 응용 가능성을 확인하였다.

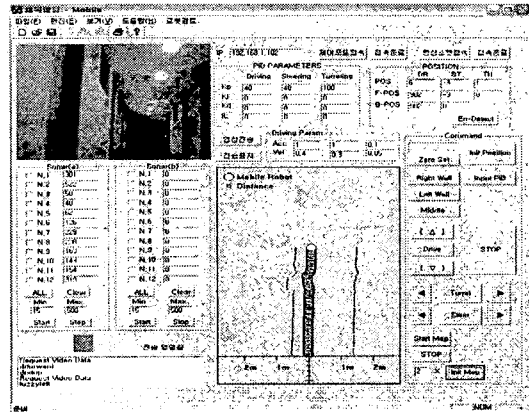


그림 5. 왼쪽 벽면 주행 결과 화면

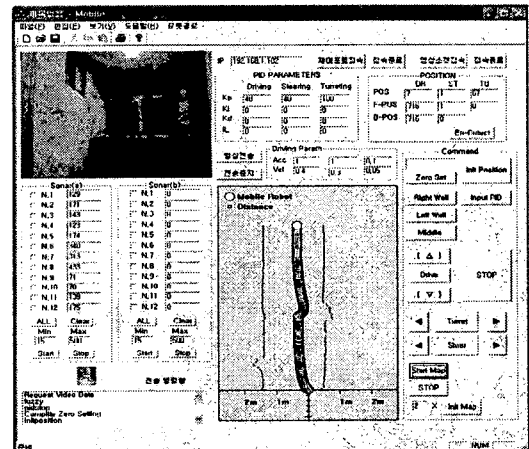


그림 6. 오른쪽 벽면 주행 결과 화면

## 참고 문헌

- [1] A. S. Sekmen, Z. Bingul, V. Hombal, and S. Zein-Sabatto, "Huma-robot interaction over the internet", *Proc. of the IEEE on southeastcon*, pp. 224-228, 2000
- [2] R. C. Luo and T. M. Chen, "Remote Supervisory Control of A sensor based mobile robot via internet", *Proc. of the IEEE/RSJ Inter. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1163-1168, Sep. 1997
- [3] R. L. Alves, R. F. Vassallo, E. O. Freire, and T. F. Bastos-Filho, "Teleoperation of a mobile robot through the internet", *Proc. of the 43rd IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems*, vol. 2, pp.930-933, 2000.
- [4] *Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Image Requirement and Guideline*, CCITT Rec. T.81, 1992
- [5] N. Kubota, K. Shimojima, T. Fukuda, "The Role of Virus Infection in Virus-Evolutionary Genetic Algorithm", *Proc. of IEEE Int. Conf. on AI*, pp. 182 -187, 1996.