

지능형 로봇의 인터넷 기반 원격 제어

Internet-Based Remote Control of the Intelligent Robot

유영선, 김종선, 김형석, 주영훈*

(Young Sun Yu, Jong Sun Kim, Hyong Suk 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.

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

I. 서론

최근 로봇은 여러 분야에서 필요성이 증대되고 있고, 여러 형태의 로봇들이 각 분야에 적합하게 이용되고 있다. 그 중 사람에게 유해한 작업 현장에서의 사용이 많이 늘어나고 있는 실정이다. 원자력발전소나 원전 폐기물 처리 시설과 같은 방사능 유해 환경에서의 작업은 작업자에게 매우 위험하다. 따라서 작업자를 보호하고 작업의 효율을 높이기 위해서는 로봇 시스템과 유해 환경으로부터 격리된 원격지에서 로봇을 조작할 수 있는 원격 제어 시스템을 필요로 한다. 원격 제어는 작업자가 원격지에서 조종판 또는 버튼을 이용하여 로봇을 제어하는 것을 말한다[1]. 최근 들어 컴퓨터와 인터넷이 급속도로 발전되면서 인터넷을 통한 로봇의 원격제어에 관한 연구가 많은 관심을 받아오고 있다. 홈페이지에 접속한 사용자가 로봇 팔 또는 이동 로봇을 제어하기도 한다[2-4].

로봇을 원격으로 제어하기 위해서는 가장 기본적으로 로봇 주변환경에 대한 인식이 필요하다. 고정된 로봇팔의 경우는 한쪽에서 로봇전체를 비출 수 있는 고정된 카메라를 이용하여 그 영상 정보를 인터넷을 통해 전송한다[5]. 이러한 경우엔 특별한 센서 없이 영상 정보만으로도 제어가 가능하다. 하지만 이동 로봇을 원격제어하기 위해서는 로봇 주변 환경을 알 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 판단

에 따라 자율적으로 이동하는 로봇이다. 이를 위해 각종 센서를 이용하여 환경 정보를 입수하고, 분석하여 이동경로를 결정하고 이동 가능한제어기가 필요하다. 하지만, 이동로봇은 이동 중 바퀴의 미끄러짐이나 외부센서의 오차로 인하여 만족스러운 수학적 모델을 얻지 못하는 복잡한 시스템이다. 즉 전통적인 제어이론으로는 유용성이 떨어진다. 대안으로 퍼지제어, 신경망, 퍼지-신경망 등 여러 가지 지능 제어 기법이 제안되었다[6-8]. 그중 퍼지제어기는 전문가의 경험을 바탕으로 퍼지논리를 이용하여 제어기를 설계하기 때문에 정확한 수학적 모델을 알지 못해도 좋은 성능을 얻을 수 있다고 알려져 있다. 그러나 전문가의 경험을 바탕으로 하므로 시스템의 구성 요소가 최적의 값이란 보장이 없다. 이를 위해 최적화시키기 위한 동정 이론이 등장하였는데 여기에는 신경회로망 이론의 융합, 비선형프로그래밍 기법 등을 이용한 자기 동조방식 전역 최적화 탐색 기법인 유전 알고리즘을 이용한 방식이 많이 사용되고 있다[9,10]. Joo등은 유전알고리즘과 클러스터링 기법을 이용해 퍼지 모델의 파라미터와 구조를 동정하는 자동동정 기법을 제안하였다[12,13]. 상기의 방법중에는 최근 유전자 알고리즘이 많이 이용되고 있다. 그러나 스키마타를 직접적으로 다루지 않는다는 점과 적합도 함수가 월등히 큰개체가 나타타면 해당개체가 전사되어 조기지역수렴의 원인과 효과적인 스키마타를 증가시키면서 동시에 비효과적인 스키마타의 증가도 이루어지는 단점이 있다. 이를 막기 위해 생태학적 모델[14], parallel GA[15], hybrid GA[16], VEGA[17] 기법 등이 제안되었다.

본 논문은 지능형 로봇의 인터넷 기반 원격 제어 시스템을 제안한다. 제안한 방법은 무선 네트워크를 이용하여 자율이동로봇의 원격제어 시스템을 구성하고, 각종 주행 데이터 값과 명령들을 원격으로 전송하고, 주위 환경에 대한 영상을 실시간으로 전송하는 알고리즘을 제안하고, 지능형 로봇의 자율 주행을 위하여 VEGA 기법을 사용한 주행제어기

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 25. 채택확정 : 2007. 2. 5.

유영선, 김종선, 주영훈 : 군산대학교 전자정보공학부

(mulge1009@kunsan.ac.kr/roboinside@kunsan.ac.kr/yhjoo@kunsan.ac.kr)

김형석 : 전북대학교 전자정보공학부(hskim@chonbuk.ac.kr)

* 본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제관리 번호: R-2004-B-120) 주관으로 수행된 과제임.

설계 방법을 제안한다. 즉, 전문가의 제어행위에 의해 획득한 주행 데이터를 이용하여 퍼지 주행 제어기의 규칙의 수와 소속 함수를 자동 동정하기 위하여 VEGA를 사용한다. 마지막으로 인터넷 기반 원격 제어 시스템의 구조를 제시하고 실험을 통해 제안한 시스템이 성공적으로 운용됨을 보인다.

II. 인터넷 기반 원격제어

1. 시스템 구조

본 논문에서 제안된 지능형 로봇의 인터넷 기반 원격 제어 시스템은 로봇의 원격제어를 위한 사용자 인터페이스, 로봇의 제어 명령을 받아들이고 로봇의 주위 환경 및 센서 데이터를 전송하는 로봇제어 인터페이스, 두개의 인터페이스를 연결해주는 네트워크로 구성이 된다. 원격제어 시스템을 위하여 두 대의 컴퓨터를 필요로 한다. 하나는 로봇의 주위환경을 인식하고 로봇을 제어하기 위해 사용되고 다른 하나는 조작자가 원격제어를 하기위해서 사용된다. 이 두 대의 컴퓨터들은 인터넷 연결을 필요로 한다. 이에 무선공유기를 추가로 사용하고 있다. 시스템의 전체적인 구조는 그림 1에 나타나 있다.

본 연구에서는 한울 로보틱스에서 개발한 로봇시스템을 사용한다. 본 로봇은 모터 구동부, 센서 처리부, 웹 카메라를 독립적으로 장착하고 있으며, USB허브를 통하여 연결된다. 로봇 시스템의 구조는 그림 2와 같다.

2. 시스템의 네트워크

로봇의 원격제어를 위하여 인터넷을 사용한다. 인터넷에서 사용하는 프로토콜에는 TCP, UDP, FTP, Telnet, HTTP 등 여러 가지 방법이 있다. TCP/IP는 인터넷상에서 가장 널리 사용되는 프로토콜이다.

이는 IP에 기반을 두고 있다. IP는 네트워크 프로토콜로서 호스트에 대한 주소체계와 데이터 패킷에 대한 라우팅을 담당하고 있다. TCP는 IP상위에 존재하는 접속기반 전송 프로토콜이다. TCP는 전송된 모든 데이터들이 전송된 순서대로 목적지 호스트의 애플리케이션 계층에 나타나도록 보장해준다. IP는 접속을 기반으로 하는 프로토콜이 아니다. 또한 데이터의 무결성에 대한 보장도 없다. 이에 TCP는 IP의 상위에서 QOS(Quality Of Service)를 구현하기위해 다중 송수신, 데이터 무결성 보장, 스트림 지원, 흐름제어, 전 이중 방식전송 같은 메커니즘을 제공한다. 소켓은 TCP/IP 네트워크에서 두 애플리케이션간의 TCP 접속을 의미한다. 비록 프로그래밍 할 때에 직접적으로 필요한 것은

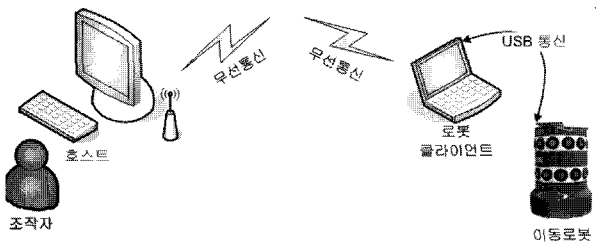


그림 1. 인터넷 기반 원격 제어 시스템.
Fig. 1. Internet-based remote control system.

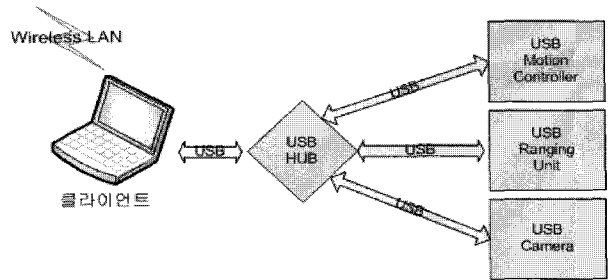


그림 2. 로봇 시스템의 구조.
Fig. 2. Structure of the robot system.

서버 측의 IP주소와 포트번호 뿐이지만, 실제로 소켓은 접속 양 종단의 IP주소와 포트번호를 통해 지정된다. 서버에는 특정포트로의 접속을 기다리는 프로세스가 존재하여 해당포트로의 접속이 맺어지면 서버와 클라이언트간의 TCP 소켓이 생성된다. 소켓은 애플리케이션 계층 네트워크통신의 기반이 된다. TCP는 네트워크 오버헤드 보다는 데이터 전송의 신뢰성이 중요한 경우에 유용하게 사용된다. 이러한 이유에서 로봇의 원격제어를 위해 TCP소켓 통신 방식이 적합함을 알 수 있다. 본 논문에서는 TCP/IP 를 이용한다.

3. 영상 데이터 전송

지능형 로봇의 원격제어에 있어서 전송해야하는 데이터의 형태는 영상, 로봇주위 환경의 거리정보, 제어명령어, 로봇의 상태, 접속여부 등이 있다. 이러한 데이터들은 영상정보, 위치정보, 제어명령의 각각의 소켓을 통해 전송된다. 로봇에 있는 카메라에서 획득한 영상을 사용자의 컴퓨터로 전송하는 영상 정보는 매우 큰 용량을 가지고 있다. 이에 영상정보의 전송이 느려지므로 실시간 영상 확인이 어렵다. 본 논문에서는 로봇에서 전송되는 영상의 크기를 줄여 전송 속도를 올리기 위해 압축률이 높아 네트워크상에서 많이 사용되는 JPEG 압축 방법을 사용한다. 현재 가장 많이 사용되는 JPEG 모드는 Extended baseline mode와 Sequential DCT-based baseline이 있다[18]. 이 기술은 Intel에서 제공하는 Intel JPEG Library(IJL)에서 지원하고 있다. JPEG 영상의 일반적인 decoding/encoding 알고리즘을 표 1에 나타내었다.

본 연구에서 채택한 JPEG에서 사용하는 DCT는 아래의 식과 같다[18].

표 1. 디코딩과 인코딩 알고리즘.

Table 1. Decoding and encoding algorithms.

단계	Decoding Algorithms	Encoding Algorithms
1	JPEG CORE PROPERTIES 데이터 구조할당.	IJL 초기화
2	IJL 초기화	encoding 파라미터설정
3	JPEG 영상의 차원을 얻음.	영상데이터를 IJL로 Write
4	디스플레이 파라미터를 설정, 출력저장소 할당.	IJL 해제
5	JPEG 영상 데이터획득	
6	IJL 해제	

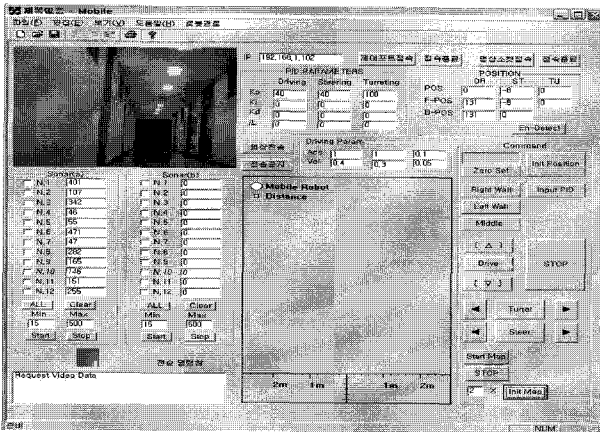


그림 3. 원격 감시를 위한 사용자 인터페이스.
Fig. 3. User interface for remote monitoring.

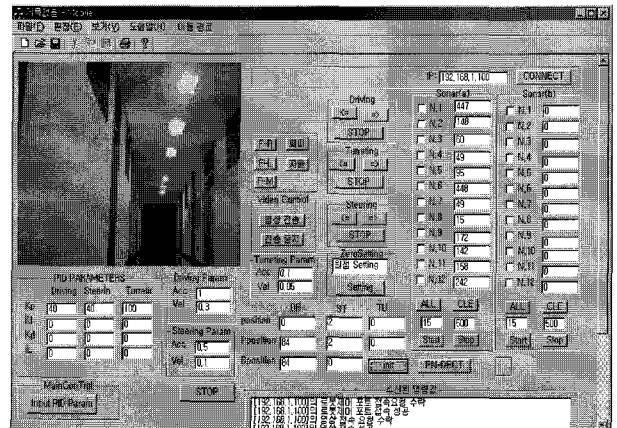


그림 4. 로봇 제어 인터페이스.
Fig. 4. Interface for the intelligent robot control.

$$S_{vu} = \frac{2}{N} C_u C_v \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} S_{yx} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2x+1)v\pi}{2N}$$

$$S_{vu} = \frac{2}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C_u C_v S_{yx} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2x+1)v\pi}{2N}$$

where $C_u = C_v = \frac{1}{\sqrt{2}}$ for $u = v = 0$;
 $C_u = C_v = 1$ otherwise. (1)

4. 원격제어 인터페이스

자율이동로봇의 원격제어 인터페이스는 외부에서 주행 중인 지능형 로봇의 주행 상황을 모니터링 할 수 있는 사용자 인터페이스와 지능형 로봇에 탑재되어 로봇의 제어를 담당하는 로봇제어 인터페이스가 있다. 각 인터페이스에는 영상을 보여주는 부분과 센서의 값을 나타내는 부분, 제어 명령부분, 현재 실행상태를 나타내주는 부분 등으로 구성되어 있다. 각각의 인터페이스의 그림 3과 그림 4에 나타나 있다.

III. 퍼지제어기

본 논문에서 사용한 퍼지주행 제어기는 다음과 같은 구조를 갖는다.

Rule i: If x_1 is A_{i1} , ..., and x_n is A_{in} , then y_i is w_i ($1 \leq i \leq c$) (2)

(2)에서 Rule i는 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 (3)과 같은 이등변 삼각형이다.

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

(3)

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 하였으며, 각 입력변수들은 N(Negative), Z(Zero), P(Positive)의 세 개로 퍼지 분할되고, 출력변수는 실수값을 갖는다. (2)의 규칙으로 구성된 퍼지모델에 1번째 입력이 주어지는 경우의 추론과정은 1번째 입력 데이터 x_{i1} ($x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$)에 대해 i 번째 규칙의 적합도 μ_i 를 (4)과 같이 구할 수 있다.

$$\mu_i = A_{i1}(x_{i1}) \times A_{i2}(x_{i2}) \times \dots \times A_{in}(x_{in})$$

(4)

퍼지 추론의 결과는 가중치평균에 의하여 얻을 수 있는데 이는 (5)와 같다.

$$y_i^* = \frac{\sum_{i=1}^c \mu_i w_i}{\sum_{i=1}^c \mu_i}$$

(5)

IV. VEGA를 이용한 퍼지 주행 제어기

1. 바이러스-진화 유전 알고리즘(VEGA)

유전알고리즘은 진화과정을 수행하기 위한 연산자로 선택(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation)를 사용하는데, 적합도(fitness)가 결정되면 적합도가 높은 것은 많이 선택되어지고, 낮은 것은 적거나 선택되지 않는다. 교차는 두 부모로부터의 유전정보를 합성하여 새로운 자식개체를 생성한다. 돌연변이는 어떤 확률에 의해 염색체의 일부 값을 변경시키는 것이다. 그러나 기존의 유전 알고리즘은 일반적으로 특별한 영역에서는 최적화된 알고리즘이 되지 못한다. 즉, 월등히 우수한 개체의 출현은 개체군내의 진화시 비례적으로 선택되어 전반적으로 우수한 개체의 진화방향으로 전 개체군의 진화가 이루어져 돌연변이에 의해 현재 진화 방향이 바뀌기 전까지 적합도의 향상이 어려운데 이는 스키마타를 간접적으로 다루는 GA의 특징 때문이다. 이러한 문제 해결을 위해 VEGA가 제안되었다[20]. 바이러스는 생태학에 관한 논문에서 생태학적, 진화론적 면에서 중요한 역할을 수행하고 있다[19] 진화론적 관점의 바이러스 이론은 바이러스가 종간의 DNA의 분절을 이동시키는 중요한 메커니즘이라는 사실에 기초한다. 이를 토대로 VEGA는 유

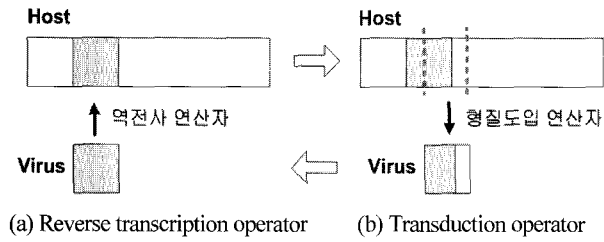


그림 5. 연산자.
Fig. 5. Operator.

전정보의 수직적 상속과 수평적 전파의 진화를 모방한 알고리즘으로 후보해의 개체군의 현 상태에 따라 지역과 전역 사이의 탐색을 변화시킬 수 있다. 이를 위해 새로운 연산자로 감염연산자인 역전사 연산자(reverse transcription operator)와 형질도입 연산자(transduction operator)가 GA에 도입되었다[20].

2. 바이러스-진화 유전 알고리즘의 연산자

VEGA에서는 GA에서의 선택, 교차, 돌연변이 연산자 이외에 추가로 역전사 연산자와 형질도입 연산자가 도입된다. 역전사 연산자는 바이러스 개체가 호스트개체에 바이러스 개체의 유전형질을 전해주는 연산자로 정해진 비율로 임의의 호스트 개체를 감염시켜 직접적으로 효과적인 스키마타를 증가시킬 수 있도록 해준다. 형질 도입 연산자는 바이러스 개체의 생명력 계수가 음의 값 또는 일정 값보다 작으면 현재 바이러스 개체는 소멸되고 새로운 바이러스 개체가 생겨나는데 호스트 개체에서 유전형질을 공급받을 수 있어 바이러스 개체의 유전적 다양성을 보장해준다. 그림 5는 두 개의 연산자를 보여준다.

바이러스 개체는 감염률에 따라 호스트개체를 감염 시키게 된다. 이때 바이러스 감염에 의한 호스트의 적합도가 향상되어지면, 감염된 상태의 호스트개체가 선택되어지고 그렇지 않은 경우엔 초기의 호스트개체가 선택되어진다. 이를 그림 6에 나타내었다.

호스트 개체를 바이러스 개체를 감염시키고 난 후의 적합도의 변화에 따라 연산을 수행한다. 이때 필요한 파라미터들은 감염률, 바이러스 적합도, 생명력이다. 바이러스의 적합도는 (6)과 (7)과 같이 정의된다.

$$fitvirus_{ij} = fithost'_j - fithost_i \quad (6)$$

$$fitvirus_i = \sum_{j \in S} fitvirus_{ij} \quad (7)$$

상기 식에서 $fitvirus_{ij}$ 는 j 번째 호스트개체에 감염되기 전의 적합도이고, $fithost'_j$ 는 감염된 후의 적합도이다. 따라서, $fitvirus_{ij}$ 는 i 번째 바이러스가 j 번째 호스트를 감염시키기 전과 감염시킨 후의 호스트 개체의 적합도의 차이이며, $fitvirus_i$ 는 i 번째 바이러스의 적합도이다. 감염률은 (8)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} &\text{if } fitvirus_i \geq 0, \text{ then } infrate_i + \beta \\ &\text{if } fitvirus_i < 0, \text{ then } infrate_i - \beta \end{aligned} \quad (8)$$

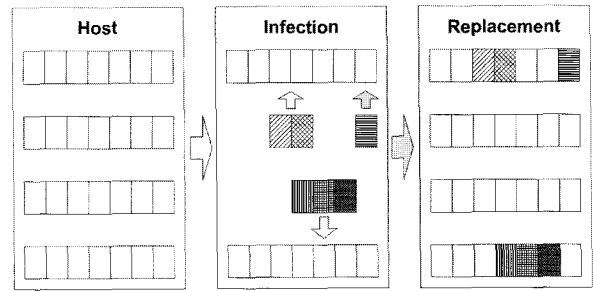


그림 6. 바이러스 감염과 선택.
Fig. 6. Virus Infection and Selection.

(8)에서 정의된 것처럼 감염률은 바이러스의 적합도가 양수이면 β 만큼 증가되고, 음수이면 β 만큼 감소한다. 생명력은 (9)과 같이 정의된다.

$$life_{i,i+1} = r \times life_{i,t} + \alpha \times fitvirus_i \quad (9)$$

(9)에서 $life_{i,t+1}$ 는 $t+1$ 세대의 생명력이고, $life_{i,t}$ 는 t 세대의 생명력이며, r 는 감소율을 α 는 생명도 계수를 나타낸다. 생명력이 양의 값을 가지면, 바이러스 개체는 다음세대에 나타나고 그렇지 않은 경우엔 부분자열을 형질 도입한다.

3. 퍼지모델의 유전 암호화

본 논문에서는 퍼지모델의 파라미터와 구조를 동시에 동정하기 위하여 전반부와 후반부로 나누어 부호화 하는 방법을 제안한다. 그림 7과 8은 각각의 스트링구조를 나타낸다. 이를 기본으로 전반부 소속 함수의 파라미터를 폭과 중심 값으로 나타낸 쌍이 최대 규칙수 만큼 되도록 배열하고, 다음에 후반부 값을 배열하며, 구조 동정을 위하여 0또는 1로 규칙의 필요 유무를 탐색하도록 구성되어 최종적으로 구성된 모습은 그림 9와 같다.

일반적으로 퍼지모델을 동정하기 위해서는 기준이 필요한데 이를 성능지수(performance index)라 한다. 퍼지모델의 최적화는 (10)의 평가 함수값 E 를 최소화 시키는 퍼지규칙과 파라미터 값을 찾는 것이다.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N (y_d - y)^2 \quad (10)$$

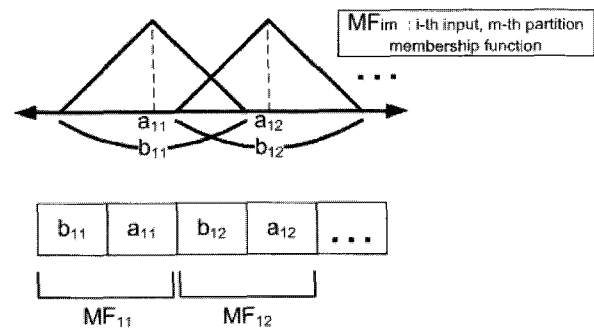


그림 7. 전반부 스트링구조.
Fig. 7. Structure of premise string.

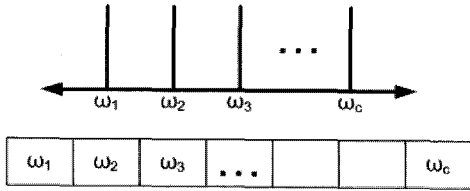


그림 8. 후반부 스트링구조.

Fig. 8. Structure of consequence part.

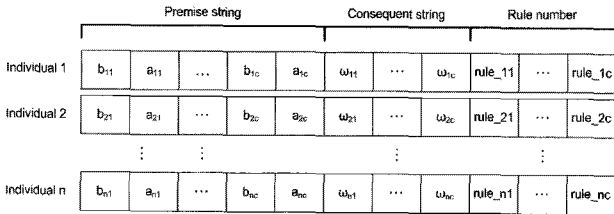


그림 9. 퍼지모델의 유전 암호화.

Fig. 9. Genetic coding of fuzzy model.

GA에서는 적합도 함수를 최대화 시키도록 진화가 이루어지므로 최소화 문제를 최대화 문제로 변경해야한다. 본 논문에서 사용한 적합도 함수는 (11)으로 정의되며, 오차의 최소화과 규칙수의 최소화를 위해 공집합 형성시 별점 부과가 있도록 한다[20].

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^c \omega_i = 0, f = \left(\frac{C_e}{E+\epsilon} + \frac{C_r}{R+\rho} \right) \times \Pi \\ \sum_{i=1}^c \omega_i \neq 0, f = \frac{C_e}{E+\epsilon} + \frac{C_r}{R+\rho} \end{cases} \quad (11)$$

V. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 이동 로봇의 자율주행에 필요한 퍼지제어의 소속함수의 파라미터와 구조를 동시에 동정하기 위하여 VEGA를 이용하였다. 동정을 위해서는 실험 데이터를 필요로 한다. 실험 데이터는 여러 가지 초기 조건을 가지고 이동 로봇을 직접 수동으로 조작하여 획득하거나, 이미 우수함이 증명된 제어기를 이용하여 이동 로봇을 주행하여 데이터를 획득하는 방법이 있다. 본 논문에서는 수동 조작으로 데이터를 획득하는 방법을 선택하였고, 초기 조건으로 기준선을 100[cm]로 설정하였다. 기준선에서 왼쪽에서 3회, 오른쪽에서 3회, 총 224개의 실험 데이터 쌍을 획득하였다. 표 2는 실험데이터를 획득하기 위한 초기 조건을 보여준다. 표 3은 동정을 위해 사용한 VEGA의 초기 값을 나타낸다.

그림 10은 본 논문에서 제안한 VEGA로 동정해서 얻은 소속 함수의 모양이다. 값들은 0과 1사이로 정규화된 값들이다. 원격지에서 제어명령을 내려 로봇제어 인터페이스에 접속하고, 로봇 제어 인터페이스는 자율주행을 VEGA에 의해 동정된 제어기를 이용하게 된다. 이때 로봇 제어 인터페이스는 사용자 인터페이스에 주위의 환경에 대한 영상과 로봇 주위의 거리정보 등의 센서 데이터 값들을 사용자 인터페이스에 전송하고, 이를 받은 사용자 인터페이스는 수신된 거리 정보를 기반으로 로봇의 이동궤적을 사용자 인터페이스에 표시하여준다.

표 2. 실험 데이터의 초기조건.

Table 2. Initial condition of experimental data.

횟수	초기조건	거리차(cm)	진행각(degree)
1		-80	0
2		-50	-30
3		-30	30
4		80	0
5		50	30
6		30	-30

표 3. VEGA의 초기 값.

Table 3. Initial parameters of VEGA.

Parameter's name	Parameter' value
Maximum generation number	1,000
Population number	100
Crossover rate	0.7
Mutation rate	0.2
max_c	6
α	0.9
$\epsilon, C_e, C_r, \rho, \Pi$	0,1,0.4,3,0.0001
Reduction rate, Life coefficient	0.1,0.9

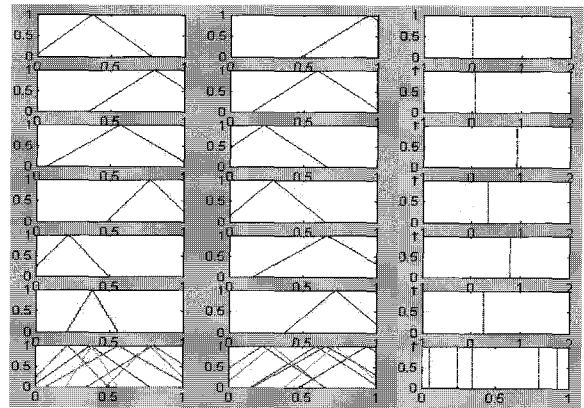


그림 10. VEGA로 동정된 소속함수.

Fig. 10. Membership functions identified by VEGA.

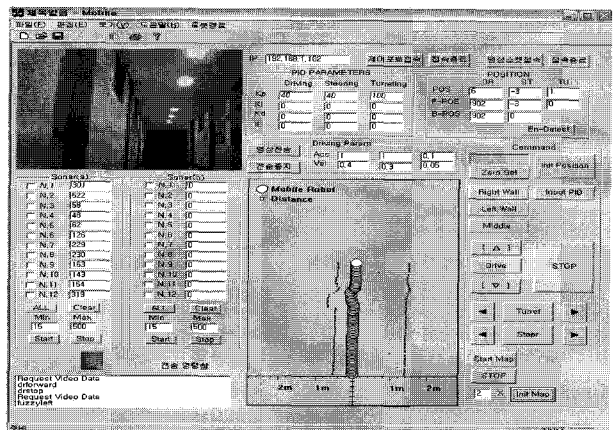


그림 11. 왼쪽 벽면 주행 결과 화면.

Fig. 11. Result for left wall following.

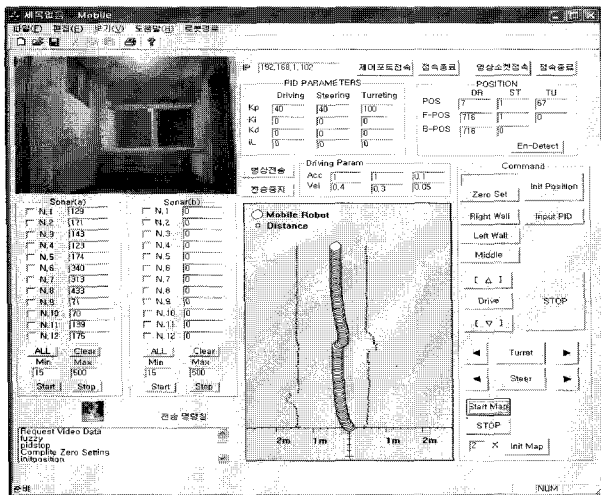


그림 12. 오른쪽 벽면 주행 결과 화면.
Fig. 12. Result for right wall following.

그림 11, 12는 본 논문에서 제안한 방법에 의해 동정된 퍼지 주행 제어기를 이용한 벽면 주행 실험 결과를 도시한 사용자 인터페이스 화면을 도시한 그림이다. 즉, 로봇 제어 인터페이스에서 송신한 주행 데이터를 받아, 사용자 인터페이스에서 주행데이터를 그래픽 처리한 화면이다. 그림에서 보듯이 동영상 화면 뿐 만 아니라 여러 가지 벽면 주행 실험을 성공적으로 수행함을 볼 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 지능형 로봇의 인터넷 기반 원격 제어를 위한 시스템을 제안했다. 제안된 지능형 로봇의 원격 제어를 위해 TCP/IP의 소켓 통신을 이용한다. 제안된 원격 제어 시스템은 크게 사용자 인터페이스와 로봇 제어 인터페이스로 구성된다. 로봇 제어 인터페이스에서는 주행중인 지능형 로봇 주위의 환경에 대한 영상 정보나 각종 주행 데이터를 실시간으로 사용자 인터페이스에 전송하고, 이를 받은 사용자 인터페이스는 각종 정보를 보기 쉽게 화면에 표시한다. 또한, 사용자 인터페이스는 각종 주행 명령들을 로봇 제어 인터페이스에 전송해 원활한 주행을 돕는다.

큰 용량의 영상 정보를 전송하기 위하여 JPEG 압축 알고리즘을 이용한다. 또한, 자율 주행을 위한 제어기는 전문가의 경험에 의해 획득한 주행 데이터를 이용하여 퍼지 제어기를 설계하는 방법을 제시했다. 본 논문에서는 지능형 로봇의 자율 주행을 위한 퍼지 제어기의 설계시 퍼지 규칙의 수와 멤버쉽 함수의 매개변수들을 바이러스-진화 유전 알고리즘을 이용하여 동정하는 방법을 제안했다. 마지막으로, 본 논문에서 제안한 원격 제어 시스템은 실험을 통해 그 응용 가능성을 확인하였다.

참고문헌

[1] W. S. Thayer, "A remote control system for surveyor," *SPIE Proc. Mobile Robots*, vol. 727, pp. 17-24, 1986.
[2] A. S. Sekmen, Z. Bingul, V. Hombal, and S. Zein-Sabatto, "Huma-robot interaction over the internet," *Proc.*

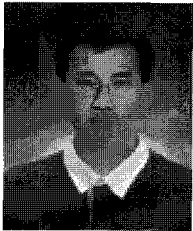
of the IEEE on southeastcon, pp. 224-228, 2000.
[3] R. C. Luo and T. M. Chen, "Remote supervisory control of a sensor based mobile robot via internet," *Proc. of the IEEE/RSJ Inter. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1163-1168, Sep. 1997.
[4] R. L. Alves, R. F. Vassallo, E. O. Freire, 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.
[5] L. R. C. Tse M. Chen, and C. C. Yih, "Intelligent autonomous mobile robot control through the internet," *Proc. of the IEEE Int. Sym. Industrial Electrical*, vol. 1, pp. PL6-PL11, Dec. 2000.
[6] J. M. Mendel and G. C. Mouzouris, "Designing fuzzy logic systems," *IEEE Trans. on Circuits and Systems-II*, vol. 44, pp. 885-895, 1997.
[7] M. Sugeno and T. Yasukawa, "A fuzzy logic-based approach to qualitative modeling," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 7-31, 1993.
[8] L. X. Wang and J. M. Mendel, "Generating fuzzy rules by learning from examples," *IEEE Trans. on System, Men and Cybernetics*, vol. 22, pp. 1414-1427, 1996.
[9] Y. Tamaguchi, T. Takagi, and T. Mita, "Self-organizing control using fuzzy neural networks," *Advances in Intelligent Control*, pp. 337-361.
[10] K. S. Narendra and S. Mukhopadhyay, "Adaptive control using neural networks and approximate models," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 8, pp. 475-485, 1997.
[11] Y. C. Chen and C. C. Teng, "A model reference control structure using a fuzzy neural network," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 73, pp. 291-312, 1995.
[12] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Kim, and K. B. Woo, "Fuzzy system modeling by fuzzy partition and GA hybrid achemes," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 86, no. 3, pp. 279-288, 1997.
[13] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Kim, and K. B. Woo, "Linguistic model identification for fuzzy system," *Electronics Letters*, vol. 31, pp. 330-331, 1995.
[14] Y. Davidor, "A natural occurring niche & species phenomenon: The model and first results," *Proc. of The Fourth Int. Conf. on Genetic Algorithms*, 257-263, 1991.
[15] S. Mahfoud and D. E. Golderg, "A genetic algorithm for parallel simulated annealing, parallel problem solving from nature 2," Elsevier Science Publishers B. V., 1992.
[16] J. Renders and H. Bersini, "Hybridizing genetic algorithms with hill-climbing methods for global optimization: Two possible ways," *Proc. of The First IEEE Conf. on Evolutionary Computing*, vol. 1, pp. 312-317, 1994.
[17] N. Kubota, T. Fukuda, and K. Shimojima, "Virus-

evolutionary genetic algorithm for a self-organizing manufacturing system,” *Computer & Industrial Journal*, vol. 30, no. 4, pp. 1015-1026, 1996.

[18] *Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Image Requirement and Guideline*, CCITT Rec. T.81, 1992.

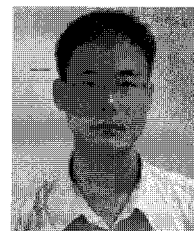
[19] M. Begon, J. L. Harper, and C. R. Townsend, *Ecology: Individuals, Populations and Communities*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1996.

[20] N. Kubota, K. Shimojima, and T. Fukuda, “The role of virus infection in virus-evolutionary genetic algorithm,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on AI*, pp. 182 -187, 1996I.



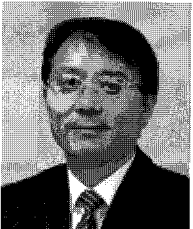
유 영 선

2006년 군산대학교 전자정보공학부 졸업. 2007년~현재 군산대학교 대학원 전자정보공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 지능형 로봇, 지능형 모델링 및 제어, 유전알고리즘, 지능제어.



김 종 선

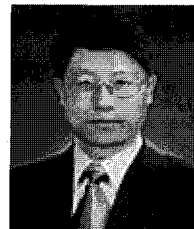
2007년 군산대학교 전자정보공학부 졸업. 2007년~현재 군산대학교 대학원 전자정보공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 지능형 로봇, 관절형 로봇 제어, 유전알고리즘, 지능제어.



김 형 석

1956년 1월 21일 출생. 1980년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 University of Missouri, Columbia, 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 2000년~2002년 미국 캘리

포니아 대학 초빙교수. 2003년~2006년 IEEE Transactions on Circuits and Systems(I), 편집위원. 1993년~현재 전북대학교 교수. Post BK21 사업단장. 관심분야는 신경회로망, 로봇 비전, 시각의 병렬처리회로를 위한 VLSI.



주 영 훈

1958년 6월 25일 출생. 1982년, 1984년 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사, 공학석사, 공학박사). 1986년~1995년 삼성전자(주) 생산기술센터 팀장. 1998년~1999년 미국 휴스턴 대학 전기 및 컴퓨터공학과 박사후박사과

정, 1995년~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수. 현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 부회장. 대한전기학회 D부문 총무이사. 제어 · 자동화 · 시스템공학회 편집주간. 관심분야는 지능형 로봇, 지능형 모델링 및 제어, 인간-로봇 인터페이스, 감정인식 등.