

논문 2011-48SC-1-7

# 원격제어 이동로봇의 장애물 회피를 위한 퍼지 제어

## ( Fuzzy Control for the Obstacle Avoidance of Remote Control Mobile Robot )

여 희 주\*, 성 문 현\*\*

(Hee-Joo Yeo and Mun-Hyun Sung)

### 요 약

원격제어 이동로봇은 임의의 사용자가 조이스틱과 같은 장치를 이용하여 조작함으로써 사용자가 직접 나서지 않고 간접적으로 주어진 업무를 수행하는 로봇을 말한다. 이러한 원격제어 이동로봇은 기본적으로 사용자에게 보다 많은 정보를 제공하기 위하여 영상정보를 이용하며, 사용자는 로봇으로부터 전송되는 영상정보를 눈으로 보고 판단하여 로봇에게 명령을 전달하는 형태로 이루어져 있다. 이러한 원격제어 이동로봇의 단점은 통신시연과 영상정보에서 발생하는 사각지대로 인하여 사용자가 보지 못하는 장애물과의 충돌 가능성이 존재 한다는 것이다. 본 논문에서는 위와 같은 문제를 해결하고자 원격제어 이동로봇에 퍼지 제어를 적용하여 사용자의 명령에 추종하면서 실시간으로 장애물 회피가 가능한 시스템을 제안하고자 한다. 여기서 제안한 퍼지 제어기의 성능 평가 및 적용 가능성을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여, 장애물 회피와 경로 추종, 추종 경로위에 장애물이 존재할 때 이동로봇의 장애물 회피에 관한 모의실험을 통하여 퍼지 제어기의 적용 가능성을 보였으며, 실험을 통하여 검증하였다.

### Abstract

The remote control mobile robot is the robot accomplishing a task according to the orders giving by a user through departed communication system using a joystick. Basically, to supply a lot of information, as this type of robot uses visual information, the user can check the transmitted information by eyes and give orders to the robot. But the weak point of this type of robot is that it has a possibility to come into a collision with an obstacle not be seen to the user because of the communication delay occurring in a communication system and dead zone happening in visual information. To solve the problem, in this paper, we try to suggest a system applying a fuzzy control system to the robot to avoid collision with an obstacle by an immediate order of the user. The fuzzy control system has better performance than any other existing control methods in the change of noise and parameter. And it is more efficient than any other since it solves easy the complexity of the system analysis occurring because of the nonlinear feature of the mobile robot system. In this paper, we made experiments how the mobile robot controlled by the fuzzy control system avoids an obstacle, tracks the path and avoids the obstacle in the path, to prove the performance and to check the evaluation and the application possibility of the fuzzy control system.

**Keywords :** Fuzzy, Mobile Robot, Obstacle Avoidance, Remote Control

### I. 서 론

원격제어 이동로봇은 일반적으로 로봇으로부터 전송

되는 영상정보를 바탕으로 사용자가 로봇의 주변 환경을 직접 보면서 제어가 가능하다는 장점이 있지만, 원거리의 사용자가 로봇으로부터 전송되는 영상정보를 눈으로 보고 판단하여 다시 로봇에게 제어명령을 전송하는 과정에서 발생하는 문제가 있다.

그 첫 번째 문제는 원격제어에서 발생하는 통신시연에 의한 장애물과의 충돌 가능성이다. 사용자는 로봇으로부터 전송되는 영상정보를 바탕으로 로봇을 조종하게 되는데, 이러한 영상정보를 이용하려면 인간의 인지 불

\* 정희원, 대전대학교 전자공학과

(Dept. of Electronics Engineering, Daejin University)

\*\* 정희원, LS메카피온 모션시스템사업본부 제어팀  
(LS Mecapion, Motion System Business Division)  
접수일자: 2010년12월1일, 수정완료일: 2010년12월13일

가능한 손실(virtually lossless)을 고려하여도 최소 초당 15 프레임 이상의 영상정보가 전송되어야 한다. 영상 1 프레임에는 명암 및 컬러 정보들로 구성되어 데이터 사이즈가 크며, 초당 15 프레임 이상의 영상 데이터를 전송하는 과정에서 발생하는 통신지연은 피할 수 없다.

여기서 통신지연은 로봇으로부터 전송되는 영상정보가 실시간(realtime) 정보가 아닌 과거의 영상정보를 의미하며, 이는 사용자가 현재 보고 있는 화면에는 어떠한 장애물도 보이지 않지만 실제 로봇의 주행경로에는 장애물이 존재할 수 있음을 의미한다. 이는 곧 이동로봇이 동작하는 공간에서 동적이거나 정적인 장애물과의 충돌 가능성을 이야기 할 수 있다<sup>14)</sup>.

두 번째 문제는 영상정보를 제공하는 카메라의 화각(view angle)에서 발생하는 문제이다. 이는 카메라를 통하여 사용자에게 전송되는 영상정보에 보이지 않은 사각지대가 존재함을 의미하며, 보이지 않는 곳에 대한 장애물의 존재 가능성에 의해서 이동로봇의 충돌 가능성을 이야기 할 수 있다<sup>12, 15)</sup>.

따라서 본 논문에서는 위와 같이 통신지연과 영상정보의 화각에서 발생하는 문제를 해결하기 위한 방법으로 첫째, 거리측정 센서를 이용함으로써 영상정보의 사각지대(dead zone)에 존재하는 장애물을 검출하는 방법과 둘째, 통신지연으로 인해 발생하는 장애물들에 실시간으로 유연하게 회피하기 위한 방안으로 퍼지 제어 시스템을 제안 하였다.

## II. 장애물 회피를 위한 퍼지 제어기 설계

본 논문에서는 퍼지제어의 기본 이론을 바탕으로 원격제어 이동로봇의 장애물 회피를 위한 시스템 구현에 적용하기 위한 퍼지제어기의 설계에 대하여 설명하고자 한다. 또한 로봇이 사용자의 명령을 우선시 할 것인지, 로봇 스스로 장애물 회피를 위한 제어명령을 우선시 할 것인지를 판단하는 명령 선택기(command arbitrator)에 대하여 설명하고자 한다.

### 1. 장애물 회피를 위한 이동로봇의 시스템 구성

본 논문에서 제안한 원격제어 이동로봇은 로봇 스스로가 완전한 독립적인 자율 주행이 아닌 사용자의 제어 명령에 의한 반 자율성을 가지는 이동로봇이다. 이와 같은 시스템의 특성은 사용자의 제어명령을 우선으로 하지만, 사용자의 실수, 또는 통신에 의한 지연 및 영상

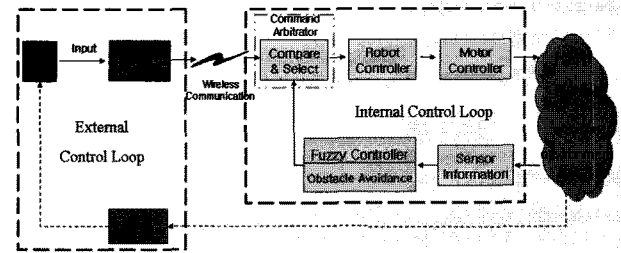


그림 1. 장애물 회피를 위한 이동로봇의 전체시스템 블록도

Fig. 1. Block diagram of mobile robot for obstacle avoidance.

정보의 사각에 존재하는 장애물과의 충돌을 막기 위해서는 로봇이 스스로 주변의 센서정보를 이용하여 판단하고 회피할 수 있어야 하며, 로봇이 스스로 장애물을 회피하는 중에도 사용자의 제어 명령을 어느 정도 고려해야 한다. 이를 위해서는 이동로봇이 사용자의 실수라고 판단할 수 있도록 장애물에 대한 위험도를 판단할 수 있어야 하며, 그 위험도에 따라서 사용자의 명령을 우선시 할 것인지, 로봇 자체적인 회피가 이루어져야 할지를 판단할 수 있어야 한다.

이와 같은 판단을 위하여 일반적인 원격제어 이동로봇의 시스템과는 다른 2개의 제어시스템을 구성하였다. 아래 그림 1은 원격제어 이동로봇의 장애물 회피를 위한 전체시스템 블록도이다.

영상 정보를 바탕으로 하는 일반적인 원격제어 이동로봇의 전체적인 시스템과의 차이점은 크게 2가지로 볼 수 있다. 첫 째는 사용자의 제어 명령을 수신 받아 로봇의 컨트롤러에서 제어명령을 실행하기 전에 로봇의 센서정보를 이용하여 로봇이 스스로 장애물을 회피(internal control loop)하도록 할 것인지, 사용자의 제어 명령(external control loop)을 따를 것인지를 비교 선택하는 명령 선택기와 로봇이 스스로 장애물과의 충돌을 회피하기 위한 퍼지 제어기로 구성하였다.

### 2. 명령 선택기

원격제어 이동로봇의 명령 선택기(command arbitrator)는 이동로봇의 센서정보에 따르는 장애물과의 충돌 위험도와 사용자의 현재 제어명령을 비교 판단하여 사용자의 명령과 로봇의 퍼지 제어기를 선택한다. 초음파 센서의 일정구간의 거리 값을 크리스피(crisp)한 값으로 변환한다. 이는 IF THEN 조건문을 이용하여 특정 구간의 값에서 싱글톤(singleton) 입력변수를 이용하여 제어명령 결정규칙을 이용하여 선택하도록 구성하

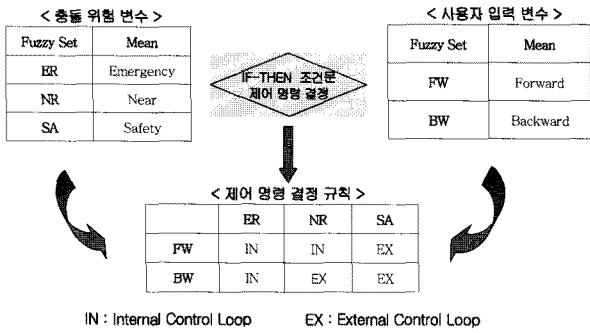


그림 2. 제어명령의 결정 규칙  
Fig. 2. Decision rule of control command.

였으며, 그림 2는 제어명령을 결정하기 위한 조건을 보여준다.

충돌 위험 변수는 초음파센서의 정보를 이용하여 장애물과의 거리에 따라서 안전함(Safety), 근접함(Near), 위험함(Emergency)의 싱글톤 변수로 이루어졌으며, 사용자의 입력 변수로는 장애물이 존재함에도 불구하고 사용자가 원격제어 이동로봇을 장애물이 위치한 방향으로 지속적인 제어명령을 주는 것을 의미하는 전방명령(Forward)과 사용자가 장애물을 인지하고 회피하기 위하여 장애물이 위치하지 않은 방향으로의 제어명령을 주는 것을 의미하는 후방명령(Backward)의 싱글톤 변수로 구성하였다.

원격제어 이동로봇은 충돌 위험 변수와 사용자의 입력변수에 의하여 제어 명령을 결정하며, 결정된 출력값에 따라서 로봇 자체적인 장애물 회피를 위하여 퍼지 제어기에 의존하는 내부 제어루프(internal control loop)와 사용자의 제어명령을 따르는 외부 제어루프(external control loop)를 선택한다.

### 3. 장애물 회피를 위한 퍼지제어기

장애물 회피를 위한 퍼지시스템은 퍼지규칙(fuzzy rule base), 퍼지 추론 엔진(fuzzy inference engine), 퍼지화(fuzzifier), 비퍼지화(defuzzifier)의 네 부분으로 구성되어 있으며, 그림 3은 퍼지 제어기의 기본 구성을

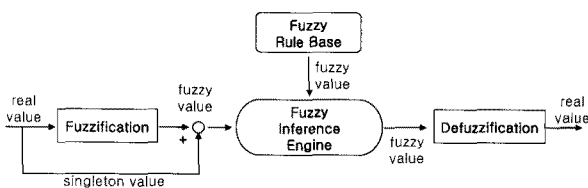


그림 3. 퍼지 제어기의 구성도  
Fig. 3. Block diagram of fuzzy controller.

보여준다.

퍼지화기는 제어대상을 소속 함수로 만드는 과정이며, 퍼지 변수의 범위에 따라서 입력 변수를 변환(scale mapping)하는 고정까지 포함한다. 퍼지 규칙 베이스는 전문가의 경험과 실험적인 수치를 바탕으로 퍼지 제어 규칙 테이블을 만드는 과정이며, 퍼지 규칙 테이블과 연계하여 입력에 따른 출력을 결정짓는 퍼지 추론기, 마지막으로 비퍼지화기는 최종 출력변수를 이용하여 실제 제어시스템에 적용하기 위한 대표 출력값을 구하는 과정이다.

### 4. 언어 변수의 정의

이동로봇의 진행 경로에 존재하는 대략적인 장애물의 위치와 현재 사용자가 진행하고자 하는 방향에 대한 제어명령에 대해서 언어를 변수화 한다.

그림 4와 5는 이동로봇의 진행 경로위에 존재하는 장애물에 대한 도식도와 퍼지집합(fuzzy set)을 보여주고 있으며, 사용자가 제어하는 방향을 기반으로 이동로봇의 진행 경로에 대한 도식도와 퍼지집합을 보여준다.

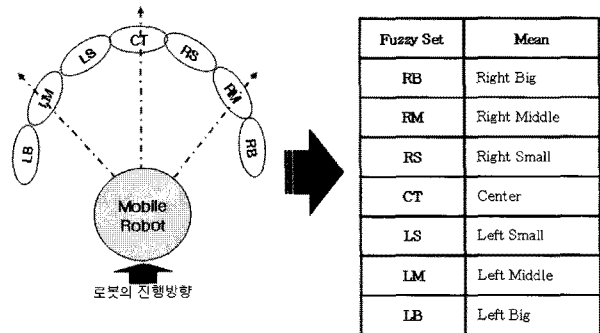


그림 4. 로봇의 진행 경로에 대한 장애물 도식도와 퍼지집합  
Fig. 4. Obstacle diagram of robot movement path and fuzzy set.

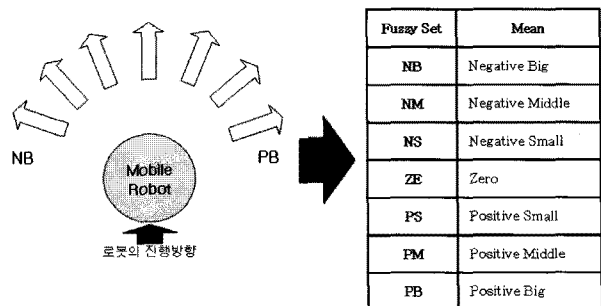


그림 5. 로봇의 진행 경로에 대한 도식도와 퍼지집합  
Fig. 5. Diagram of robot movement path and fuzzy set.

5. 퍼지 소속함수

정의된 언어 변수를 이용하여 장애물이 현재 좌측에 있는가? 우측에 있는가? 의 위치한 정도와 현재 이동로봇이 진행하고자 하는 방향각에 대한 방향각에 대한 회전 정도를 알아내기 위한 소속 함수(membership function)를 정의하기 위하여 일반적으로 많이 사용되는 삼각 퍼지수를 사용하였으며, 식(1)과 같이 p, r, q 세 개의 파라미터(parameters)에 의해서 완전히 결정된다.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{1}{(r-p)}(x-r)+1 & p < x \leq r \\ -\frac{1}{(q-r)}(x-r)+1 & r < x \leq q \end{cases} \quad (1)$$

이동로봇의 진행 경로위에 존재 가능한 장애물들의 위치에 대한 소속 함수를 그림 6과 같이 정의하고, 현재 이동로봇이 진행하고자 하는 진행 경로의 방향각에 대한 소속 함수를 그림 7과 같이 정의한다.

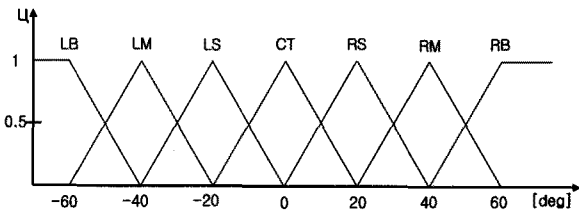


그림 6. 장애물의 위치에 대한 소속 함수  
Fig. 6. Membership function for obstacle position.

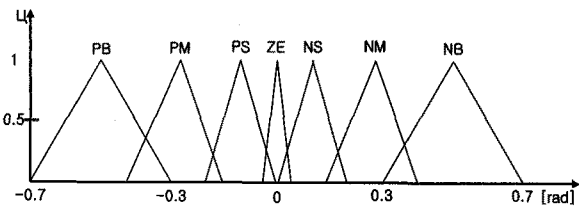


그림 7. 이동로봇의 방향각에 대한 소속 함수  
Fig. 7. Membership function for angular of mobile robot.

6. 퍼지추론과 출력 결정

본 연구에서는 퍼지 추론의 결과로 원격제어 이동로봇의 회전 각도를 출력으로 나타내어준다. 퍼지 추론으로는 Max-Min 방법(Mamdani 방법)을 이용하였으며, 비퍼지화(defuzzifier)로는 실험을 통해 얻은 경험을 바탕으로 17개의 출력 테이블을 이용하여 출력에 사용하였다. 그림 8은 Max-Min 방법에 의한 퍼지추론의 예

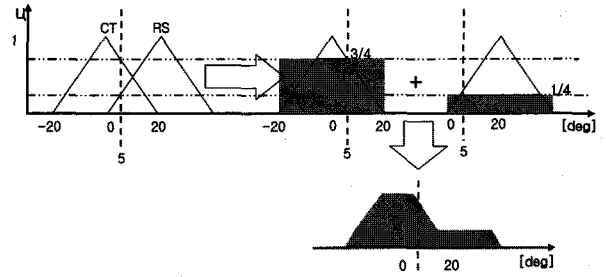


그림 8. 퍼지 추론  
Fig. 8. Fuzzy inference.

를 보여주며, 추론식은 식(2)와 같다.

$$u_c(z) = \bigcup_{i=1}^n \{ \lambda_i \wedge u_{c_i}(z) \} \quad (2)$$

그림 8은 장애물의 위치가 현재 약 5°정도에 위치해 있다고 가정하고 이동로봇이 이에 대한 위치를 어떻게 파악하는 것인지를 예로 보여준다. 위의 소속 함수에서 5°라는 위치는 CT(Center)와 RS(Right Small)에 대하여 소속이 되어 있으며, CT에 대한 소속 정도는 약 3/4 이고, RS에 대한 소속 정도는 약 1/4정도에 포함 되어 있다.

이와 같이 각 센서에 들어오는 전체 센서의 거리값에 해당하는 소속 정도를 알 수 있으면 현재 이동로봇이 진행하는 방향각과 비교하여 이동로봇이 장애물과 회피할 수 있는 방향각을 알 수 있다. 회피하고자 하는 방향각의 결정은 표 1의 퍼지추론 엔진에 의하여 출력을 결정하게 되며, 퍼지규칙에 의하여 결정된 퍼지변수는 표 2에 의하여 이동로봇의 방향각을 의미하는 최종 출력값을 얻는다. 비퍼지화기로는 PI제어기와 비슷한 특성을 가지는 무게 중심법을 이용하였으며, 식(3)과 같다.

여기서  $w_k$ 는 k번째 규칙의 소속정도이며,  $y_c^k$ 는 k번

표 1. 퍼지 추론 엔진 테이블  
Table 1. Engine table of fuzzy inference.

		Robot Steering Angle						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
Obstacle position	RB	ZRO	ZRO	ZRO	ZRO	NSM	PLB	PLB
	RM	ZRO	NVS	NMS	ZRO	NBM	NSB	PLB
	RS	ZRO	NMS	NBS	NVS	NSB	NMB	NLB
	CT	ZRO	NVS	NMS	PSM	PMS	PVS	ZRO
	LS	PLB	PMB	PSE	PVS	ZRO	ZRO	ZRO
	LM	NLB	PSB	PBM	ZRO	PMS	PVS	ZRO
	LB	NLB	NLB	PSM	ZRO	PBS	PMS	ZRO

표 2. 퍼지 규칙에 의한 최종 출력 테이블  
Table 2. Final output table for fuzzy rule.

Fuzzy Set		Mean	Real Value [radian]	
		(P): Positive, (N): Negative	(P)= + 1	(N)= - 1
ZERO		Zero	0	
(P)VS	(N)VS	Very Small	0.05	
(P)MS	(N)MS	Middle Small	0.07	
(P)BS	(N)BS	Big Small	0.1	
(P)SM	(N)SM	Small Middle	0.15	
(P)BM	(N)BM	Big Middle	0.2	
(P)SB	(N)SB	Small Big	0.3	
(P)MB	(N)MB	Middle Big	0.6	
(P)LB	(N)LB	Large Big	0.7	

제 규칙에 의한 출력의 평균치이다.

$$y^* = \frac{\sum_{k=1}^M y_c^k \cdot w_k}{\sum_{k=1}^M w_k} \quad (3)$$

### III. 시뮬레이션 및 실험 결과

퍼지 제어기의 성능 평가를 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 모의실험을 하였으며, 실제 환경에서 적용 가능성을 확인하기 위하여 원격제어 이동로봇을 대상으로 실험을 수행하였다.

#### 1. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 원격제어 이동로봇의 장애물 회피를 위한 퍼지 제어기의 성능 검증에 위한 방법으로 매트랩을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 이동로봇의 구현은 전방에 3개의 초음파 센서와 6개의 접촉 센서를 이용하여 구현하였으며, 실험 공간으로 440 \* 440의 좌표 공간을 생성하고 공간의 외벽으로 좌우 양 끝의 20 픽셀(pixel)을 장애물과 같은 벽으로 생성하였다. 로봇의 실제 자유공간인 400\*400의 공간에 장애물을 설치하였다.

시뮬레이션은 이동로봇이 퍼지 제어기를 이용하여 임의 공간에서 장애물을 회피하는 시뮬레이션과 원격제어라는 상황을 고려하여 임의의 경로를 생성하고 생성된 경로를 추종하도록 하는 시뮬레이션, 생성된 경로를 추종하도록 한 뒤에 추종하는 경로 위에 임의의 장애물을 생성 하였을 때 이동로봇의 장애물 회피에 관한 시

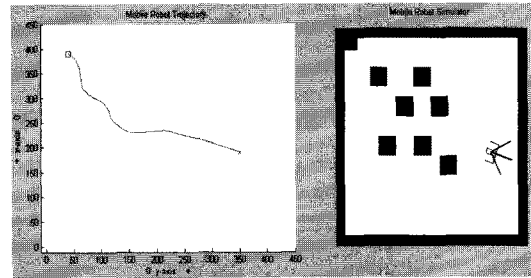


그림 9. 장애물 자율 회피 시뮬레이션  
Fig. 9. Simulation of obstacle avoidance.

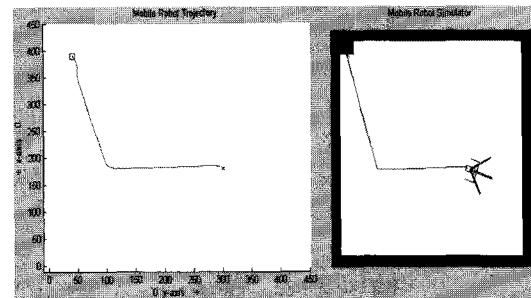


그림 10. 경로 생성 후 추종 시뮬레이션  
Fig. 10. Simulation of path tracking after make the path planning.

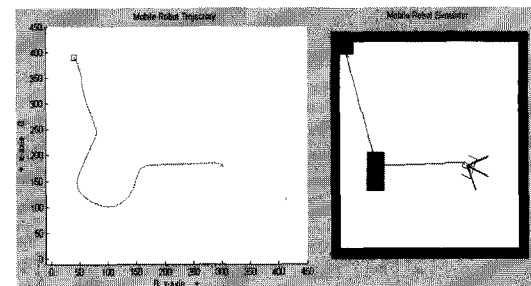


그림 11. 생성 경로 추종 중 장애물 회피 시뮬레이션  
Fig. 11. Obstacle avoidance simulation of path tracking after make the path planning.

뮬레이션을 수행하였다.

그림 9는 400\*400의 자유 공간에 그림과 같은 형태를 갖는 임의의 장애물을 설치하고 시작점의 좌표를 [50,400], 목표점의 좌표를 [350,200]으로 설정하여 장애물을 회피하는 시뮬레이션이다. 각각의 시뮬레이션은 초음파 센서의 거리 변수를 퍼지 제어기의 입력으로 사용하고 퍼지 출력으로는 이동로봇의 방향각을 가진다.

그림 9는 7개의 장애물로 구성하였으며 이동로봇이 장애물 사이사이로 충돌 없이 목표점에 도달하는 것을 볼 수 있다.

그림 10과 11은 원격제어 상황을 가정한 시뮬레이션이며, 사용자가 이동로봇에게 제어명령을 내린 경우를 고려하여 추종라인을 따라서 이동로봇이 확실히 추종하

는 것을 보여주기 위한 시뮬레이션이다. 그림 10의 오른쪽 그림에서 이동로봇의 실시간 추종라인이 보여주듯이 이동로봇의 실제 이동경로가 확실히 추종되는 것을 확인 할 수 있다. 그림 11은 추종경로 위에 장애물을 설치하고 이동로봇이 추종명령을 고려하여 장애물을 회피한 후 다시 추종경로, 즉 제어명령을 주는 방향으로 다시 추종하는 것을 보여주며, 이동로봇이 경로 추종 중 장애물을 회피하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 12와 13은 원격제어 이동로봇이 실제 사용되는 환경을 고려한 시뮬레이션이다. 실제 영상기반의 원격제어 이동로봇을 조작할 때, 로봇의 충돌이 가장 빈번히 발생하는 곳은 좁은 문(door)을 통과할 때이다. 이는 사용자가 영상정보를 이용하여 로봇을 문으로 통과 시킬 때, 일정 거리에서는 양 쪽 문의 벽이 모두 보이지만 문을 통과하기 위하여 로봇이 서서히 다가가면서 영상정보의 사각지대(dead zone)로 문의 양쪽 벽이 사라지기 때문이다. 이와 같은 상황을 구성하기 위해서 그림 12의 오른쪽 그림과 인간이 생활하는 주거 공간의 형태로 장애물을 구성하고 사용자의 제어명령 즉, 추종라인을 벽의 모서리 부분으로 밀착하여 경로를 생성하고, 이동로봇이 추종경로를 추종하도록 시뮬레이션을 수행

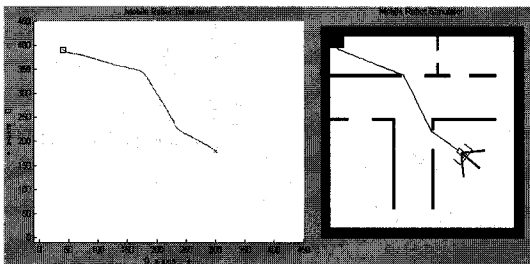


그림 12. 가상공간 시뮬레이션  
Fig. 12. Simulation of virtual space.

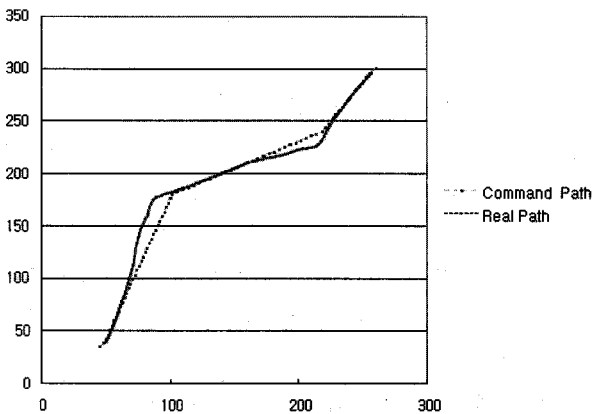


그림 13. 가상공간 시뮬레이션의 경로 비교  
Fig. 13. Path comparison of virtual space simulation.

하였다.

그림 13의 그래프를 보면 이동로봇이 추종경로를 따라가다가 문을 통과하기 위한 부분 즉, 코너가 생기는 부분에서 벽면과의 충돌을 회피하기 위해서 추종 경로를 벗어난 뒤 장애물과의 충돌이 존재 하지 않은 부분에서 다시 경로를 추종하여 목표점으로 이동하는 것을 확인 할 수 있다.

2. 실험 및 결과

퍼지 제어기의 성능 평가를 위해서 직접 제작한 원격제어 이동로봇을 이용하여 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실험을 수행하였다. 그림 14는 실험에 사용한 원격제어 이동로봇의 전체 시스템 구성도이며, 그림 15는 시뮬레이션과 비슷한 환경을 갖추고자 사용한 PSD센서의 특성곡선이다. 센서를 거리 값으로 계산하기 위하여 곡선 형태의 보간법에 유리한 Lagrange 보간법을 사용하였으며, 그 식은 식(4)와 같다.

$$L_i(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x_i-x_n)}{(x_i-x_0)(x_i-x_1)\dots(x_i-x_n)} = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j} \quad (4)$$

실험은 이동로봇의 주행 경로에 2개의 소형 장애물

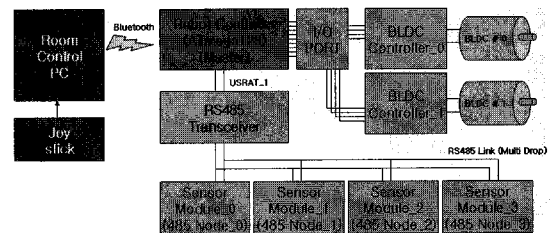


그림 14. 원격제어 이동로봇의 시스템 구성도  
Fig. 14. System block diagram of remote control mobile robot.

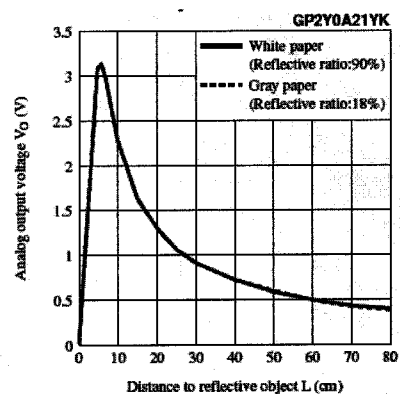


그림 15. PSD센서의 출력  
Fig. 15. Output of PSD sensor.

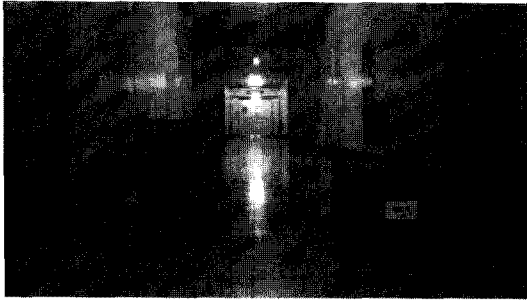


그림 16. 이동로봇의 장애물 회피를 위한 실험 환경  
Fig. 16. Test environment for obstacle avoidance of mobile robot.

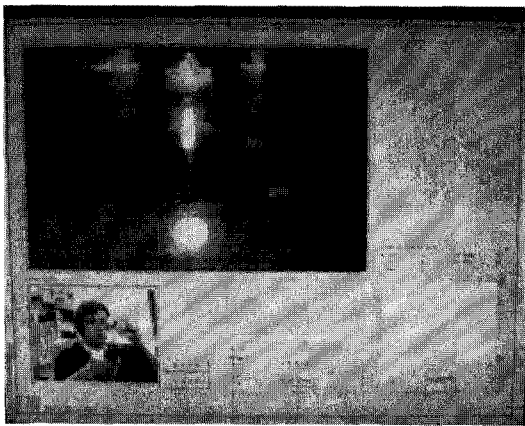


그림 17. Application Program을 이용한 이동로봇의 제어  
Fig. 17. Control of mobile robot using application program.



그림 18. 원격제어 이동로봇을 이용한 실험  
Fig. 18. Test using remote control mobile robot.

을 설치하고, 제어 명령을 주는 조이스틱은 계속 직진 방향으로만 명령을 주어 장애물을 스스로 회피 하는지에 대한 실험을 수행하였다. 그림 14는 실험 환경에 장애물을 설치한 모습을 보여주고 있으며, 그림 16과 17은 Application Program을 이용하여 로봇으로부터 수신되는 영상을 보면서 제어하는 것을 보여주고 있다. 그림 18과 같이 이동로봇이 장애물을 스스로 회피하여 진

행하는 것을 확인 할 수 있으며, 시뮬레이션과 동일한 결과를 확인 할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 원격제어 이동로봇이 전역경로계획과 지역경로계획을 선택적으로 적용하여 장애물을 회피할 수 있는 방법으로 퍼지 제어를 제안하였다. 적용된 퍼지 제어기는 사용자의 제어명령을 추종 할 것인지, 로봇이 스스로 장애물을 회피하여 진행 할 것인지를 판단하기 위한 명령 선택기와 이동로봇이 센서정보를 이용하여 장애물을 회피할 때, 이동로봇의 방향각을 출력으로 가지는 제어기로 구성되었다. 제안한 퍼지 제어기는 매트랩을 이용하여, 사용자의 제어 명령 추종과 자유공간에서의 장애물 회피를 위한 시뮬레이션을 수행하고, 원격제어 이동로봇이 장애물과 충돌 없이 사용자의 명령에 추종하는 것을 확인하였다.

다양한 시뮬레이션에서 이동로봇이 사용자의 명령과 장애물 회피를 위한 선택의 문제는 없었지만, 장애물 회피에 있어서 최단 경로를 찾지 못하는 경향이 있다. 따라서 원격제어 이동로봇의 명령 선택에 있어서 사용자의 예상 경로를 예측하고 로봇이 이동할 수 있는 최단 경로를 찾아내어 보다 빠르고 안전하게 목표점을 향할 수 있도록 하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Goel, G. Dedeoglu, S. Roumeliotis and G. Sukhatme, "Fault Detection and Identification in a Mobile Robot Using Multiple Model Estimation and Neural Network", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, USA, 2000.
- [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Information & Control, Vol 8, 338-353, 1965.
- [3] S. M. Smith and D. J. Comer, "Automated Calibration of a Fuzzy Logic Controller Using a Cell State Space Algorithm", IEEE Control System, pp. 18-28, 1991.
- [4] J. Borenstein. "The Vector Field Histogram Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp. 278-288, 1991.
- [5] J. Barraquand and J.C. Latombe, "Non-holonomic Multibody Mobile Robots: Controllability and

- Motion Planning in the Presence of Obstacle”, in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento, CA, pp. 2328-2335, 1991.
- [6] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki and T. Noguchi, “A Stable Tracking Control Method for an Autonomous Mobile Robot”, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 384-389, 1990.
- [7] 정태영, 장애물 회피를 위한 자율이동로봇의 퍼지 제어, 목원대학교 대학원, 공학석사 학위 논문, 2005.
- [8] A. Albagul, “Dynamic Modelling and Control of a Wheeled Mobile Robot”, PhD thesis, University of Newcastle Upon Tyne, 2000.
- [9] C.Louste, A.Liegeois, “Path Planning for Non-holonomic Vehicles: a Potential Viscous Fluid Field Method”, Robotica, vol. 20, pp. 291-298, 2002.
- [10] 이광형, 오길록, “퍼지 이론 및 응용”, 홍릉과학출판사, 1992.
- [11] Marc E. Herniter, “MATLAB 프로그래밍”, 한티미디어, 2004.
- [12] K. J. Kyriakopoulos and G. N. Saridis. “Distance estimation and collision prediction on-line robot motion planning”, Automatica, vol. 28, no. 2, pp.389-394, 1992.
- [13] Chieh-Chih Wang and Chuck Thorpe, “Simultaneous localization and mapping with detection and tracking of moving object,” Proc ICRA’02, vol.3, pp. 2918-2924, 2002.
- [14] Borenstein, J. and Koren, Y., “Obstacle Avoidance With Ultrasonic Sensors,” IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-4, No. 2, pp. 213-218, 1998.
- [15] 이상봉, 원격제어 이동로봇을 위한 자율주행시스템 개발, 서울산업대학교 산업대학원, 공학석사 학위 논문, 2003.

---

 저 자 소 개
 

---



여희주(정회원)

1988년 한양대학교  
전자공학과 학사졸업  
1900년 한양대학교 대학원  
전자공학과 석사졸업.  
1997년 한양대학교 대학원  
전자공학과 박사졸업.

1997년~현재 대전대학교 전자공학과 교수  
<주관심분야 : 퍼지제어, 다중로봇, 지능로봇>



성문현(정회원)

2007년 대전대학교  
전자공학과 학사졸업.  
2009년 대전대학교 대학원  
전자공학과 석사졸업.  
2009년~현재 국립암센터  
의공학연구과 연구원

<주관심분야 : 자동제어, 수술로봇, 이동로봇>