

## 단순구조 퍼지논리시스템을 이용한 이동 로봇의 주행 제어기 설계

# Design of Simple-structured Fuzzy Logic System based Driving Controller for Mobile Robot

최병재 · 김 성

Byung-Jae Choi and Sheng Jin

대구대학교 전자공학과

### 요 약

이동로봇에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 본 논문에서는 미지의 공간에서 효과적으로 장애물을 회피할 수 있는 SFLC(single-input fuzzy logic controller) 기반의 이동로봇의 주행 제어기 설계와 구현을 제안한다. 장애물의 위치와 거리 인식을 위해 초음파센서를 사용하였으며, 좌, 우측 바퀴의 각속도 출력 제어를 위하여 퍼지논리시스템 기반의 제어기를 설계하였다. 퍼지제어기의 퍼지화 방법은 싱글톤 방법, 추론법은 간략화된 Mamdani의 추론법, 비퍼지화 방법은 간략화된 무게중심법을 사용하였다. 제안한 퍼지제어기의 성능 및 실제 적용 가능성의 평가를 위해 이동로봇의 모델링에 근거한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 이동로봇이 장애물을 피하면서 목표지점에 정확히 도착함을 확인하였다. 더욱이 기존의 2-입력 퍼지논리시스템 기반의 제어기로부터 단일 입력을 가지는 단순구조 퍼지논리제어기를 설계할 수 있음도 보였다.

**키워드** : 퍼지논리기반 제어, 이동 로봇, 퍼지 추론, 장애물 회피, 초음파센서

### Abstract

In this paper, we present an obstacle avoidance control algorithm for mobile robots based on SFLC (single-input fuzzy logic controller) with an efficient fuzzy logic look-up table to replace the traditional complicated operation. This method achieves better performance than traditional methods in terms of efficiency. The output of a SFLC leads the robot to the target automatically although many obstacles on the path. Our experiments show that the robot has good performance in the view of path tracking and other efficiency.

**Key Words** : Fuzzy logic based control, Mobile robot, Fuzzy inference, Obstacle avoidance, Ultrasonic sensor

## 1. 서 론

산업 자동화가 가속화되면서 이동로봇에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 현장에서 실제 사용되고 있는 무인 반송차들은 많은 장점을 가지고 있지만 유연성과 확장성의 문제로 인하여 유발되는 단점 또한 많은 것이 사실이다. 스스로 주위 환경을 인식하고 상황에 알맞은 행동을 계획하고 자율적으로 장애물을 회피하면서 주행하는 자율행동 결정능력을 가지는 보다 지능화된 이동로봇에 관한 연구가 요구되고 있다. 자율적으로 동작하여야 하는 로봇은 대체로 비선형적인 특성을 많이 함축하고 있어서 기존의 수학적 방식을 통한 고전 제어 방법으로는 성능 향상에 한계가 있다. 더욱이 독립적으로 주행하는 로봇에게 예상치 못한 많은 상황들이 일어날 수 있으며 그러한 경우들에 대하여 로봇은 적절하고 유연하게 대응하여야 하지만 아직까지는 최상의 해를 찾아내지 못하고 있는 실정이다.

자율로 주행하는 로봇은 주위의 불완전한 정보로부터 올바른 판단을 유도해 낼 수 있어야 하며, 이러한 문제 해결을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 이동로봇의 자율주행에 관한 연구로는 퍼지논리이론, 신경회로망 이론, 유전자 알고리즘 이론 등의 지능시스템을 이용한 방식이 널리 사용되고 있다[1-2].

본 논문에서는 이동하는 로봇의 경로에 장애물이 존재할 경우, 이를 회피하여 주행할 수 있도록 다수의 초음파 센서를 사용한다. 즉, 초음파 센서로부터 얻은 장애물과의 거리와 방향에 관한 정보로부터 장애물과 충돌하지 않고 주행할 수 있는 경로를 찾아서 로봇이 이동할 수 있도록 퍼지논리시스템 기반의 제어기를 설계한다. 여기서 사용하는 퍼지논리시스템 기반의 제어기는 퍼지화 방법으로 싱글톤 방법, 추론방법으로는 Mamdani의 추론법, 그리고 비퍼지화 방법으로는 간략화된 무게중심법을 사용한다. 더욱이 기존 제어기의 단점으로 지적되었던 규칙의 수 증가와 그에 따른 계산량 증가 등을 대폭 줄이기 위하여 단일 입력의 구조를 가지는 단순구조 퍼지 논리 제어기를 구현하였다[3]. 제어대상 시스템인 이동로봇은 조향장치가 없이 각각의 바퀴로 방향을 바꾸도록 구성된 차동 구동형 로봇으로,

접수일자: 2012년 1월 22일

심사(수정)일자: 2012년 2월 3일

게재확정일자 : 2012년 2월 5일

정확한 속도를 알아낼 수 있다는 가정 하에서 설계하였으므로 실제 경우에 발생할 수 있는 불확실성은 무시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 및 3장에서는 각각 제어대상 시스템인 이동 로봇의 구조와 초음파 센서의 배치에 관하여 소개한다. 4장에서는 기존의 2-입력 퍼지논리제어기 구조에서 유도한 단일 입력 퍼지논리제어기 기반의 시스템 설계를 제시한다. 5장에서는 주요 시뮬레이션 결과를 제시하고, 6장에서 결과에 대하여 설명한다.

## 2. 이동 로봇 시스템의 구조

본 연구에서 구성한 이동로봇의 구조는 다음의 그림 1과 같다. 여기서,  $x$ ,  $y$ 는 로봇의 중심점의 좌표이고,  $\theta$ 는 로봇의 앞부분이 향하는 방향각이다. 따라서 로봇의 자세는 절대 위치( $x$ ,  $y$ )와 로봇이 향한 방향각( $\theta$ )으로 이루어진다. 즉, 이들 3개의 변수를 통하여 로봇의 이동이 정의되며, 자동으로 조정되어야 할 변수들이기도하다.

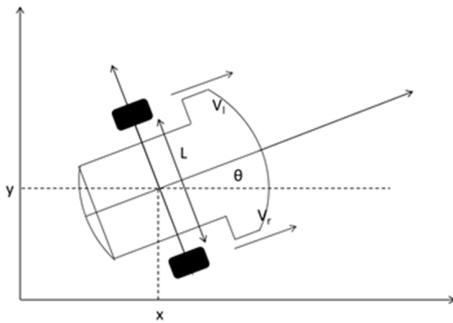


그림 1. 이동로봇의 기구학

Fig. 1. Kinematics model of the robot

본 논문에서 사용하는 이동 로봇은 좌우 바퀴의 회전속도 차를 이용하여 로봇을 원하는 방향으로 진행시킬 수 있도록 하는 Tracked Wheel 형의 로봇이다. 좌우 바퀴의 회전 속도 차에 의해 로봇의 회전중심이 결정되므로 어떤 공간에서든지 자유로이 회전할 수 있어 자유로운 방향 전환이 가능하다.

왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 각속도를  $\omega_r$ ,  $\omega_l$ 이라고 하면, non-slipping 조건을 가정할 경우, 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 지면과의 접촉점의 속도는 식(1)과 같다.

$$V_l = r\omega_l, V_r = r\omega_r \quad (1)$$

여기서  $V_r$ ,  $V_l$ 은 각각 로봇의 오른쪽 및 왼쪽 바퀴의 선속도이고,  $r$ 은 구동 바퀴의 반지름이다. 이제 로봇 중심의 선속도  $V$ 는 다음의 식(2)와 같이 표현된다.

$$V = \frac{V_r + V_l}{2} = r \frac{\omega_r + \omega_l}{2} \quad (2)$$

로봇의 오른쪽 및 왼쪽 바퀴의 각속도로부터 로봇의 각속도  $\omega$ 는 식(3)과 같이 표현된다.

$$\omega = \frac{V_r - V_l}{L} = r \frac{\omega_r - \omega_l}{L} \quad (3)$$

## 3. 초음파센서 기반의 감지시스템

초음파 센서는 음향 에너지 중에서 비교적 높은 음향 에너지 영역을 검출하기 위한 센서의 총칭으로, 센싱 범위는 20[kHz]에서 수백[MHz] 이상에 이른다. 따라서 20[kHz]이상의 특정 주파수의 음향 에너지 검출 소자를 초음파 센서라고 표현하기도 한다. 초음파 센서는 가까운 거리에 있는 물체 또는 사람의 유/무, 거리 측정, 속도측정 등에 널리 사용된다. 거리를 측정하는 초음파센서로는 종종 세라믹 센서를 이용한다. 세라믹 초음파 소자는 고유진동에 상당하는 교류전압을 인가하면 압전효과에 의해 진동을 통해 초음파를 발생시킨다.

각각의 센서는 중심각( $\theta_s$ ) 만큼 이동로봇의 전면에  $n$  개를 배치할 수 있고, 센서의 수가 많을수록 중심각이 줄어들어 더욱 정밀한 장애물 인식이 가능하다. 거리 데이터로부터 장애물의 위치는 이동로봇의 현재위치와 각도, 그리고 센서와 센서 사이의 각도 및 센서에서 얻은 값들로부터 구할 수 있다.

본 연구에 적용한 감지시스템의 모델은 다음의 그림 2와 같다.

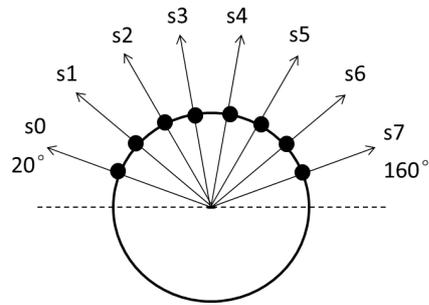


그림 2. 감지시스템의 모델

Fig. 2. Perceptual model

그림 2의 센서시스템 기반에서 장애물을 감지할 경우, 이동로봇에 장착된 각 센서가 이루는 중심각( $\theta_s$ )은 식(4)와 같다.

$$\theta_s = \frac{140}{n-1} \quad (4)$$

각각의 센서로부터 입력되는 장애물과의 거리정보 등은 이동로봇의 주행경로를 결정하는데 사용된다. 그림에서  $s_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots, 7$ )는 센서의 번호를 나타내고,  $d_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots, 7$ )는 각 센서와 장애물과의 거리를 나타낸다.  $d_i$ 의 값을 가지고 장애물이 존재하지 않는 영역과 장애물이 존재하는 영역을 판단할 수 있으며, 장애물이 없을 경우 로봇은 빠른 속도로 이동하게 된다. 만약 이동 중에 로봇이 장애물을 만나게 되면 목표지점과의 이동 방향 등을 고려하여 먼저 장애물이 없는 영역으로 이동한 후에 목표지점을 향하여 이동하게 된다.

## 4. 단일입력의 퍼지논리 제어기 설계

이동로봇이 목표지점에 도달하기 위해서는 진행방향을 결정하는 알고리즘뿐만 아니라 속도를 제어하는 알고리즘도 필요하다. 장애물의 유무 및 장애물과의 거리에 따라 로봇의 이동속도는 달라야 한다. 즉, 주변에 장애물이 있을 경우에는 적절한 방향 회전 및 저속의 이동이 필요하고, 그렇지 않을 경우에는 목표지점을 향한 고속 주행이 요구된다. 여기서는 이동로봇의 속도를 제어하기 위한 목적으로 퍼지논리 기반의 지능 제어를 설계한다.

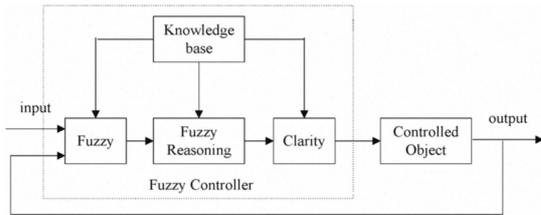


그림 3. 퍼지제어의 일반적인 구조

Fig. 3. The general structure of a fuzzy controller

퍼지논리제어의 일반적인 구조는 그림 3과 같다. 즉, 전통적인 퍼지논리제어기는 보통 2개(오차와 오차의 변화)의 입력신호를 기반으로 하나의 제어입력을 만들어낸다. 이 때 만들어지는 제어입력은 규칙베이스에 저장된 지식정보를 바탕으로 적절한 추론엔진에 의한 추론을 통해 최적의 제어입력을 찾아낸다. 점선의 박스 내부가 퍼지논리제어시스템이며, 그 내부에서는 기존의 crisp 값이 아닌 fuzzy 값이 사용되므로, 입력부에서 퍼지화기(fuzzifier), 출력부에서 비퍼지화기(defuzzifier)가 요구된다. 실제의 퍼지제어기는 입력신호를 일단 표준규격화 시키는 정규화 모듈과 제어기 출력을 실제 액츄에이터 변수영역에 맞추는 비정규화 모듈이 있고, 이러한 여러 기능모듈들이 상호 일관된 체계 하에서 운영되도록 필요한 데이터를 제공하는 데이터베이스가 있다.

공정 제어에 사용되는 퍼지논리제어기는 일반적으로 제어 대상인 공정의 상태에 대한 정보를 입력 받은 후, 지식베이스에 축적된 지식을 기반으로 추론을 하여 그 결과를 출력하는 구조이다. 따라서 일반적인 퍼지논리제어기의 지식베이스에 축적된 지식은 제어 규칙으로 불리며, 통상 다음과 같이 IF-THEN 조건문으로 표현된다.

IF (입력변수의 상태정보) THEN (출력변수의 값)

본 논문에서 사용한 입출력 변수는 다음과 같다. 입력 변수로는 장애물과의 거리( $\xi$ ), 이동로봇의 이동 방향과 장애물과의 각도( $\theta$ ), 그리고 출력 변수로는 좌, 우 바퀴의 각속도( $\omega_l, \omega_r$ )로 설정하였다. 여기서 입력 변수인 로봇과 장애물 사이의 거리는 다수의 초음파 센서에 의해 측정된 장애물과의 거리 중에서 가장 작은 값을 선택한다. 특히, 이동로봇에 장착된 초음파센서 중에 전방을 향하고 있는 센서의 정보만을 이용하여 결정한다. 출력변수는 두 개의 입력변수에 의해 결정되며, 로봇의 좌, 우 바퀴의 속도 값을 계산하는데 사용된다.

로봇의 이동방향과 장애물의 위치 사이의 각도 및

장애물과의 거리의 소속함수는 모두 "NB", "NM", "NS", "ZO", "PS", "PM", "PB"의 7개를 사용하였다. 이들은 각각 "Negative Big", "Negative Medium", "Negative Small", "Zero", "Positive Small", "Positive Medium", "Positive Big"의 의미를 가진다. 두 바퀴의 각속도는 모두 "SB", "SM", "SS", "NO", "FS", "FM", "FB"의 소속함수로 구성하였다. 이들은 각각 "Slow Big", "Slow Medium", "Slow Small", "Normal", "Fast Small", "Fast Medium", 그리고 "Fast Big"의 의미를 가진다.

본 논문에서 설계할 퍼지논리제어의 입출력 변수의 소속함수는 그림 4와 같다. 그리고 제어 규칙표는 전문가의 경험적 지식 등을 기반으로 표 1 및 표 2와 같다. 즉, 표 1은 이동로봇의 왼쪽 바퀴의 각속도를 이끌어내기 위한 제어 규칙표이고, 표 2는 오른쪽 바퀴의 각속도를 이끌어내기 위한 제어 규칙표이다.

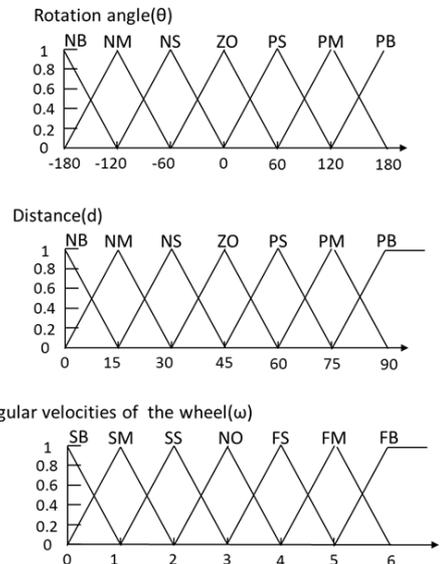


그림 4. 퍼지변수의 소속함수

Fig. 4. Membership functions of fuzzy variables

표 1. 이동로봇의 좌측 각속도( $\omega_l$ )를 위한 2-입력 퍼지논리제어기(FLC)의 제어 규칙표

Table 1. Rule table of 2-input FLC for  $\omega_l$

		Distance ( $\xi$ )						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
Angle ( $\theta$ )	PB	SB	SB	SM	SM	SS	SM	NO
	PM	SB	SM	SM	SS	SS	NO	FS
	PS	SM	SM	SS	SS	NO	FS	FS
	ZO	SM	SS	SS	NO	FS	FS	FM
	NS	SS	SS	NO	FS	FS	FM	FM
	NM	SS	NO	FS	FS	FM	FM	FB
	NB	NO	FS	FS	FM	FM	FB	FB

표 2. 이동로봇의 우측 각속도( $\omega_r$ )를 위한 2-입력 퍼지논리제어기(FLC)의 제어 규칙표  
Table 2. Rule table of 2-input FLC for  $\omega_r$ .

		Distance ( $\xi$ )						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
Angle ( $\theta$ )	PB	NO	FS	FS	FM	FM	FB	FB
	PM	SS	NO	FS	FS	FM	FM	FB
	PS	SS	SS	NO	FS	FS	FM	FM
	ZO	SM	SS	SS	NO	FS	FS	FM
	NS	SM	SM	SS	SS	NO	FS	FS
	NM	SB	SM	SM	SS	SS	NO	FS
	NB	SB	SB	SM	SM	SS	SS	NO

표 1 및 표 2의 제어규칙표를 보다 세밀하게 분석하면 다음과 같은 특징을 유도할 수 있다. 즉, 두 입력변수에 의해 만들어지는 제어입력 신호가 대각선 형태의 밴드를 형성하고 있음을 알 수 있다. 보다 자세하게 분석하면 그 특징은 다음과 같다(표 2의 경우).

- 1) 중앙의 대각선 성분에는 “NO”의 제어입력 신호 밴드가 형성되어 있다.
- 2) 우상의 삼각형에 포함된 제어 입력 신호는 “NO”밴드에서 멀어질수록 각각 “FS”, “FM”, “FB”의 제어입력 신호 밴드가 형성되어 있다.
- 3) 좌하 삼각형에 포함된 제어 입력 신호는 “NO” 밴드에서 멀어질수록 각각 “SS”, “SM”, “SB”의 제어입력 신호 밴드가 형성되어 있다.

즉, “NO” 밴드에서 멀어질수록 우상의 제어 규칙은 “fast”를 더욱 강하게, 좌상의 제어 규칙은 “slow”를 더욱 강하게 하는 제어 입력 신호가 만들어짐을 알 수 있다. 이를 통하여 우리는 참고문헌([3])에서와 같이 단일 입력의 퍼지논리제어기를 설계할 수 있다.

이제 기존의 2-입력 퍼지논리제어기가 가졌던 주요한 특성을 이용하여 기존의 2-입력 퍼지논리제어기 대신에 단일 입력의 퍼지논리제어기를 설계할 수 있다.

단일 입력의 퍼지논리제어기에 사용될 입력변수를  $D$ 라고 하고, 이를 다음의 식(5)와 같이 유도한다.

$$D = \frac{\theta + \lambda\xi}{\sqrt{1 + \lambda^2}} \quad (5)$$

위의 식(5)에서  $D$ 를 유도하는 과정은 참고문헌([3])에 자세하게 제시되어 있으며, 여기서는 간략하게 식의 의미만을 설명한다. 즉,  $D$ 는 부호를 가지는 거리의 개념으로 “NO” 밴드의 중심선인 스위칭 직선( $\theta + \lambda\xi = 0$ )과 동작점(operating point) 사이의 거리를 의미한다. 그리고  $\lambda$ 는 스위칭 직선의 기울기를 의미하며, 여기서는 조정변수이다. 상기의 제어규칙표의 특성으로부터 다음과 같이 단일 입력변수( $D$ )의 제어 규칙표를 유도할 수 있다.

표 3. 이동로봇의 좌측 각속도( $\omega_l$ )를 위한 단일입력 퍼지논리제어기(SFLC)의 제어 규칙표  
Table 3. Rule table of SFLC for  $\omega_l$ .

D	NB	SM	NS	ZO	PS	PM	PB
$\omega_l$	FB	FM	FS	NO	SS	SM	SB

표 4. 이동로봇의 우측 각속도( $\omega_r$ )를 위한 2-입력 퍼지논리제어기(FLC)의 제어 규칙표  
Table 4. Rule table of SFLC for  $\omega_r$ .

D	NB	SM	NS	ZO	PS	PM	PB
$\omega_r$	SB	SM	SS	NO	FS	FM	FB

표 1 및 표 2에 포함된 제어규칙의 수는 각각 49개이고, 표 3 및 표 4에 포함된 제어 규칙의 수는 각각 7개로 전체 제어 규칙의 수가 1/7 수준으로 대폭 축소되었다. 따라서 제어기 동작에 따른 계산의 양이 대폭 줄어들게 되며, 동시에 특정 영역을 위한 정밀제어를 위하여 쉽게 제어 규칙의 수를 증가시킬 수 있다. 즉, 단일 입력의 단순구조 퍼지논리제어기의 설계를 통하여 지금까지 퍼지논리제어기 설계에서 문제점으로 지적되었던 설계의 복잡성을 크게 개선시킬 수 있다.

퍼지논리제어기 설계에 사용되는 추론엔진은 다양한 종류가 있으나, 고속응답이 필요한 경우에는 계산 시간 등을 고려하여 단순 구조의 간단한 추론엔진이 널리 사용된다. 여기서는 Mamdani의 간략화된 추론법을 사용하였다.

비퍼지화기는 퍼지집합으로 표시되는 퍼지 값으로부터 crisp 값을 얻는 일종의 변환장치이다. 본 논문에서는 다음과 같이 간략화된 무게중심법을 사용하였다. 즉, 각각의 제어규칙( $R_i$ )에 의한 근사추론의 결과( $B'_i$ )를 COG 방법으로 비퍼지화( $u^* = COG(B'_i)$ )한 후에 다음의 식(6)으로 얻는다.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^N u_i^* k_i}{\sum_{i=1}^N k_i} \quad (6)$$

여기서  $k_i$ 는  $i$ 번째 제어규칙  $R_i$ 의 적합도이다.

## 5. 실험 및 결과

본 연구에서는 조향장치없이 각각의 바퀴속도에 의해 방향이 바뀌도록 구성된 차동 구동형 이동 로봇을 모델로 하였다. 이동로봇의 축간 거리는 50[cm], 바퀴의 반지름은 20[cm], 그리고 센서는 각각 20도 간격으로 8개를 전방에 배치하였고, 센서의 최대 탐지 거리는 150[cm]이다.

로봇이 진행하는 경로 상에 장애물이 있을 경우, 이동로봇은 장애물의 위치 및 방향 정보를 이용하여 충돌을 회피할 수 있는 방향각을 계산할 수 있으며, 그에 따른 이동로봇의 속도 또한 퍼지논리제어기를 통하여

구할 수 있다. 즉, 방향을 정하는 각도와 장애물과의 거리를 퍼지논리제어기의 입력으로 사용하여 이동로봇의 바퀴 각속도를 조정하여 원하는 목표점까지 충돌없이 이동할 수 있게 된다.

시뮬레이션에 사용할 환경을 그림 5와 같이 구성하였다. 즉, 30[m]×30[m] 공간에 다수의 장애물이 위치하고 있으며, 이동로봇은 (0,0)에서 출발하여 (25,25)의 목표지점까지 이동하여야 한다. 그리고 현재 로봇은 (5,5)에 위치하고 있다고 가정한다. 시뮬레이션을 위하여 출발지와 목적지의 주요 지점에 6개의 장애물을 배치하였다.

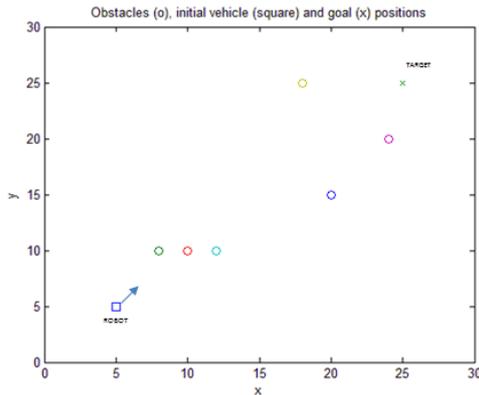


그림 5. 시뮬레이션 환경  
Fig. 5. Experimental environment

기존의 퍼지논리제어기(FLC)와 단일입력 퍼지논리제어기(SFLC)의 경우에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다.

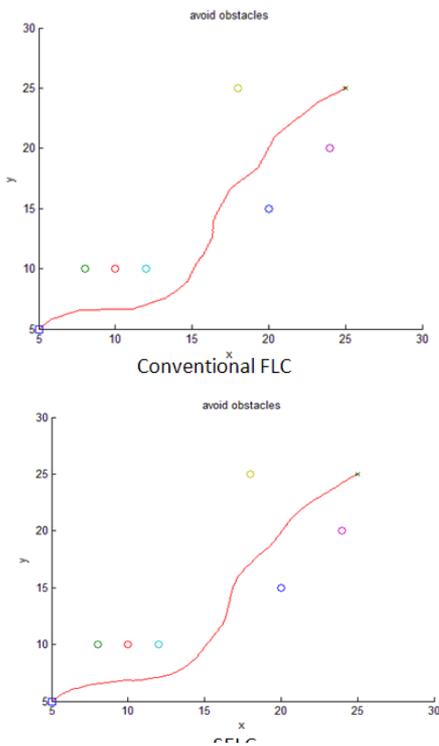


그림 6. 이동 로봇의 궤적  
Fig. 6. The trajectory of the mobile robot

그림 6에서 잘 알 수 있듯이 98개의 제어규칙을 사용한 2-입력의 기존 퍼지논리제어기(FLC)와 단지 14개의 제어규칙을 사용한 단일입력 퍼지논리제어기(SFLC)의 시뮬레이션 결과에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 오히려 SFLC의 경우 더욱 매끄러운 궤적을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이를 비교하면 표 5와 같다.

표 5. FLC와 SFLC의 성능비교

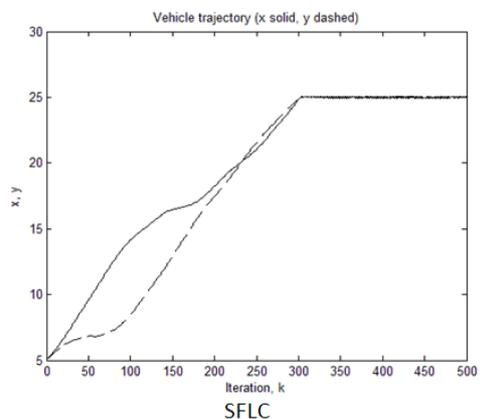
Table 5. Performance comparison between FLC and SFLC

구분	FLC	SFLC
이동거리[m]	43.8	41.5
소요시간[sec]	59.7	55.6

표 5에서 알 수 있듯이 이동에 따른 거리 및 소요시간 등의 제어 성능도 SFLC에서 더욱 개선되었음을 확인할 수 있다.

그림 6 및 표 5로부터 단순구조 퍼지논리제어기의 성능이 더 우수하게 나타났음을 확인하였다. 이는 퍼지논리제어기가 가진 주요 문제점의 하나인 조정변수 (scaling factor)의 수 과다로 인한 결과라고 판단된다. 즉, 2-입력 퍼지논리제어기는 단일입력 퍼지논리제어기에 비하여 조정변수의 수가 많아서 최상의 성능을 유지할 최적의 조정변수 조합을 찾아내기가 쉽지 않기 때문이다. 다시말해서 단순구조 퍼지논리제어기는 조정할 변수의 수가 적으므로 최상의 성능을 나타내는 조정변수를 쉽게 찾아낼 수가 있다. 더욱이 단순구조 퍼지논리제어기의 경우에는 규칙의 수가 적으므로, 정밀제어를 원할 경우 규칙의 수를 증가시켜서 더욱 우수한 제어 성능을 유도할 수 있을 것이다. 또한 단일입력 퍼지논리제어기는 제어규칙의 수가 대폭 줄어들었기 때문에 제어기 설계가 매우 단순화되었을뿐만 아니라 제어기의 출력을 계산해내는 계산의 복잡성 측면에서도 크게 개선되어 계산의 양이 대폭 줄어든다.

그림 7은 이동로봇이 출발지점에서 목표지점에 도달할 때 까지의 x, y 축의 값의 변화를 보여주고 있다. 그림으로부터 비록 제어 규칙의 수가 대폭 줄어든 단일입력의 퍼지논리제어기에서도 기존의 퍼지논리제어기와 유사한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.



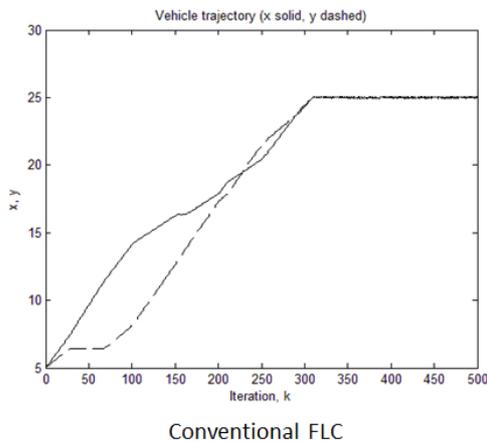


그림 7. 로봇의 이동에 따른 x와 y의 값 변화  
Fig. 7. The variation of x and y

## 6. 결론

본 논문에서는 다수의 초음파 센서를 장착한 이동로봇의 자율 주행을 위한 단순 구조 형태의 퍼지논리제어기 설계를 제안하였다. 여기서는 8개의 초음파 센서를 장착한 차동 구동형의 이동로봇을 모델로 하였다.

기존의 퍼지논리제어기 형태에서는 장애물과의 거리와 장애물 회피 방향각의 두 개 신호를 입력으로 받아서 이동로봇의 구동력인 각속도를 유도하는 시스템이지만, 여기서 사용되는 제어 규칙표가 가지는 특징을 분석하여 단일 입력의 단순 구조형 퍼지논리시스템을 설계할 수 있었다. 제안한 단일입력 퍼지논리제어기의 성능을 확인하기 위하여 차동 구동형 이동로봇의 모델링에 근거한 시뮬레이션을 수행하였다. 전통적인 2-입력 퍼지논리제어기 및 단일 입력 퍼지논리제어기 모두 임의의 위치에 장애물이 놓여 있는 환경에서 목표지점까지 이동하는 시뮬레이션에서 원하는 성능을 입증하였다. 더욱이 단일입력 퍼지논리제어기는 제어 규칙의 수가 대폭 줄어들음으로 인하여 제어기 설계의 간편성, 계산량 감소, 정밀 제어 용이 등의 특징과 함께 제어 성능 측면에서도 개선된 효과를 나타내었다.

추가적인 연구로 이동로봇이 실제로 주행할 때 발생할 수 있는 이동로봇의 바퀴와 지면사이의 미끄러짐 현상과 주행 평면의 불규칙함 등을 고려한 정밀 알고리즘 설계가 요구된다.

## 참 고 문 헌

[1] W. L. Xu and S. K. Tso, "Sensor-Based Fuzzy Reactive Navigation of a Mobile Robot through Local Target Switching," *IEEE Trans. on Sys., Man, and Cyber.*, vol.9, no.3, pp.451-459, 1999.  
[2] H. R. Beon and H. S. Cho, "A Sensor-based Navigation for a Mobile Robot using Fuzzy-logic and Reinforcement Learning," *IEEE Trans. on Sys., Man, and Cyber.*, vol.12, no.6, pp.521-527, 1997.

[3] B.-J. Choi, *A New Simple Design Methodology for Fuzzy Logic Controllers and Its Stability Analysis*, KAIST, 1998.  
[4] 허준영, 강근택, 이원창, "비전과 IR 센서를 갖는 이동로봇의 퍼지 규칙을 이용한 자율 주행," *한국지능시스템학회 논문지*, 제17권, 제7호, 2007.  
[5] 최배훈, 김범성, 김은태, "실내형 이동로봇을 위한 레이저 스캐너를 이용한 위치 인식과 장애물 추적," *한국지능시스템학회 논문지*, 제21권, 제3호, 2011.  
[6] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I & II," *IEEE Trans. on Sys., Man, and Cyber.*, vol.20, no.2, pp.404-435, 1990.  
[7] E. H. Mamdani and N. Baakini, "Prescriptive Method for Deriving Control Policy in a Fuzzy-logic Controller", *Electronics Letters*, vol.11, no.25, pp.625-626, 1975.  
[8] O. Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for manipulator and Mobile Robots", *The International Journal of Robotic Research*, pp.90~98, 1986.  
[9] 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, 1997.  
[10] 채문석, 정태영, 강석범, 양태규, "장애물 회피를 위한 자율이동로봇의 퍼지제어," *한국해양정보통신학회 논문지*, 제10권, 제9호, pp.1718-1726, 2006 .  
[11] 배봉규, 채양범, 이원창, 강근택, "비전과 퍼지 규칙을 이용한 이동로봇의 경로계획과 장애물회피," *한국지능시스템학회 논문지*, 제11권, 제6호, pp.470-476, 2001.  
[12] 나두영, 노수희, 문형필, 정진우, 김용태, "모듈형 로봇의 자가 결합을 위한 퍼지 주행 제어 및 장애물 회피 제어," *한국지능시스템학회 논문지*, 제19권, 제4호, pp.470-477, 2009.

## 저 자 소 개

최병재 (Byung-Jae Choi)  
제20권 제5호 참조



김성 (Sheng Jin)  
2009년: JiLin University, ZhuHai College  
2009년~현재: 대구대학교 정보통신공학과 석사과정

관심분야: 지능제어, 지능형로봇, 임베디드시스템  
Phone : 053-850-4432  
Fax : 053-850-6619  
E-mail: jinshengqq@hotmail.com