

이동로봇의 행동제어를 위한 2-Layer Fuzzy Controller

2-Layer Fuzzy Controller for Behavior Control of Mobile Robot

심귀보 · 변광섭 · 박창현

Kwee-Bo Sim, Kwang-Sub Byun, and Chang-Hyun Park

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

로봇의 기능이 다양해지며 복잡해지고 있다. 주위의 환경을 감지하는 센서로는 거리정보 뿐만 아니라 영상 정보, 음성 정보까지 이용하고 있다. 본 논문에서는 다양한 입력정보를 가진 로봇을 제어하기 위한 알고리즘으로 2-layer fuzzy control 을 제안한다. 장애물 회피의 경우에 다수의 거리 센서를 이용하는데 이것을 앞쪽, 왼쪽, 오른쪽으로 분류하여 3개의 sub-controller를 가지고 퍼지 추론을 한 다음, 2단계에서는 이 3개의 sub-controller의 출력으로 조합된 퍼지 추론을 하여 통합적인 제어를 한다. 본문에서는 2-layer fuzzy controller와 비슷한 구조를 갖는 hierarchical fuzzy controller와 비교를 하였으며 robot following에도 적용하여 각각에 대한 시뮬레이션과 실험을 통해 성능을 확인한다.

Abstract

The ability of robot is being various and complex. The robot is utilizing distance, image data and voice data for sensing its circumstance. This paper suggests the 2-layer fuzzy control as the algorithm that control robot with various sensor information. In a obstacle avoidance, it utilizes many range finders and classifies them into 3parts(front, left, right). In 3 sub-controllers, the controller executes fuzzy conference. And then it executes combined control with a combination of outputs of 3 sub-controllers in the second step. The text compares the 2-layer fuzzy controller with the hierarchical fuzzy controller that has analogous structure. And the performance of the 2-layer fuzzy controller is confirmed by application this controller to robot following, simulation to each other and real experiment.

Key Words : 2-Layer Fuzzy Control, Obstacle Avoidance, Robot Following, Multi-functional Intelligent Robot

1. 서 론

이제 로봇의 시대가 도래하고 있다. 곳곳에서 개인용 로봇이나 가정용 로봇, 엔터테인먼트 로봇들이 출시를 시작했다. 아직은 그러한 로봇들의 기능이 단순하지만 앞으로는 휴머노이드 로봇처럼 한 대의 로봇으로 할 수 있는 일들이 수없이 늘어날 것이다. 즉 로봇의 기능이 다양해지고 복잡해진다. 주위의 환경을 감지하는 센서로는 장애물까지의 거리뿐만 아니라 영상 정보, 음성 정보, GPS를 이용한 전자지도 정보까지 이용하고 있다. 그러므로 다기능 지능 로봇을 제어하는데 있어서 기존의 알고리즘만으로 원하는 기능을 모두 수행할 수는 없다.

이동 로봇의 여러 가지 행동을 제어하는데 있어서 가장 기본은 장애물 회피이다. 장애물 회피를 위한 알고리즘도 여러 가지가 있으나 가장 많이 이용되는 방식은 퍼지 제어 방식이다. 로봇을 제어하는데 퍼지 추론을 이용하는 이유는 애매모호한 로봇의 주변 환경에 대해서도 강인한 제어를 할 수 있고 제어기의 구조를 명확하게 나타낼 수 있기 때문이다. 또한 제어조정능력의 자유도가 높고 파라미터의 변화나 잡음에 대한 민감도가 낮아 견실하며 실제적으로 활용하기 쉽다

범용성이 높다는 장점을 갖고 있다. 하지만 입력의 개수가 증가함에 따라 퍼지 제어기의 퍼지 룰의 개수는 기하급수적으로 증가하므로 제어 속도나 비용 면에서 큰 부담으로 작용한다. 따라서 입력의 개수가 증가함에 따른 룰의 개수의 증가율은 낮으면서 강인한 제어를 할 수 있는 퍼지 추론 방식이 필요하다.

이에 따라 계층적 퍼지 구조가 제안되었다. 룰의 개수를 획기적으로 줄이기 위해 입력의 개수가 늘어남에 따라 퍼지 제어기를 추가해 가는 hierarchical fuzzy control이 제안되었다[1]. 이 시스템의 구조적 특징은 n개의 입력에 대해 필요한 퍼지 시스템의 개수는 n-1개가 된다는 것이다. 룰의 개수는 줄어들지만 그에 따라 제어기의 개수가 증가하는 단점이 있다. Multi-stage/multi-level fuzzy control도 제안되었다 [2][3]. Multi-stage fuzzy의 경우에는 대부분 늘어나는 stage에 대한 해결책이 뚜렷하지 않아 multistage fuzzy neural network에 이용되고 있는 추세이다. 본 논문에서는 퍼지 추론의 단계를 2단계로 제한시켰는데 그 이유는, 퍼지 추론의 단계가 늘어남에 따라 제어기의 안정성을 보장할 수 없기 때문이다. 2-Layer fuzzy control의 경우에는 많은 입력에 대해서 룰의 개수를 줄이면서 강인한 퍼지 추론을 함과 동시에 multi-stage구조와는 달리 퍼지 추론의 단계를 2단계까지로 한정함으로써 제어기 출력의 안정성을 어느 정도 보장할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

본 논문에서는 다른 알고리즘과의 비교를 위해 장애물 회피에 초점을 맞추었다. 본문에서는 2-layer fuzzy controller

접수일자 : 2003년 3월 15일

완료일자 : 2003년 6월 1일

와 이와 비슷한 구조를 갖는 hierarchical fuzzy controller의 구조를 비교하고 일반적인 퍼지 제어 방식과 룰의 개수에 대해 비교를 한다. 마지막으로 2-layer fuzzy controller의 시뮬레이션과 실험을 통해 성능을 확인한다.

2. 2-Layer Fuzzy Control

2.1 2-Layer Fuzzy Controller의 구조

Sng Hong Lian이 1996년에 hierarchical fuzzy controller를 제안하였다[4]. 이 퍼지 제어기의 구조는 non-hierarchical system에 비해 퍼지 룰의 개수가 줄어들고 구조가 간단해지는 장점이 있다. 다음 그림1은 hierarchical fuzzy controller의 구조를 나타내고, 그림 2는 2-layer fuzzy controller의 구조를 나타낸다.

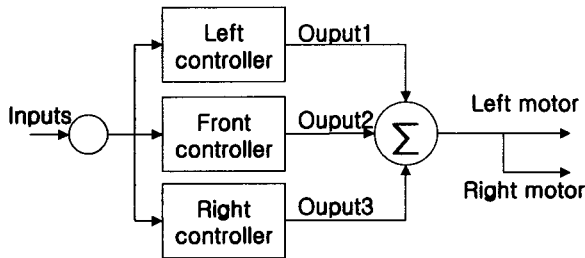


그림 1. Hierarchical Fuzzy Controller의 구조
Fig. 1. Structure of the Hierarchical Fuzzy Controller

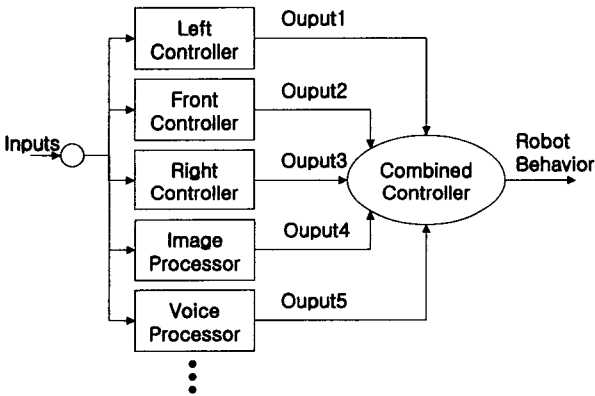


그림 2. 2-Layer Fuzzy Controller의 구조
Fig. 2. Structure of the 2-Layer Fuzzy Controller

Hierarchical fuzzy controller의 경우 입력을 3개의 sub-controller로 나누어 처리하고 각각의 출력을 합하여 로봇의 행동을 제어하지만 2-layer fuzzy controller에서는 sub-controller에서 각각의 입력에 대해 독립적으로 퍼지 추론을 한 후 그 출력을 입력으로 하는 combined controller를 사용하여 통합적인 퍼지 추론을 통해 로봇의 행동을 제어한다.

Hierarchical fuzzy controller의 left controller에서는 왼쪽의 장애물 위치가 가까우면 오른쪽으로 회전하여 이동하고, 중간정도(15)이면 앞으로 일정한 속도를 유지하면서 이동하며, 멀면 왼쪽으로 회전하여 이동하도록 함으로써 왼쪽 벽을 따라가도록 하였다. Front controller에서는 앞쪽의 장

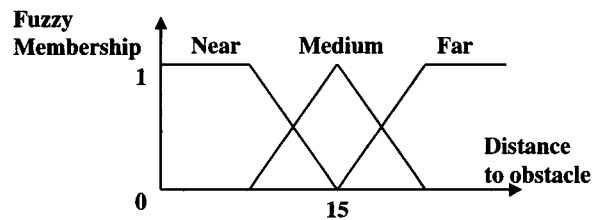
애물 위치가 가까우면 속도를 줄이면서 오른쪽으로 회전하게 하였고, 중간정도(30)이면 오른쪽으로 회전하며, 멀면 로봇의 주행에 아무런 영향도 주지 않도록 하였다. Right controller는 오른쪽에 장애물이 매우 가까운 경우에만 작용한다. 이때 앞쪽에 장애물이 없고 오른쪽 장애물과 벽 사이에 로봇이 통과할 충분한 공간이 있을 경우에는 간격을 맞추어 이동하게 하고 그렇지 않은 경우에는 오른쪽으로 급회전하게 하였다.

2.2 2-Layer Fuzzy Control 알고리즘

3개의 입력에 대해 3개의 퍼지 멤버십 함수를 사용할 경우, non-hierarchical system의 경우에는 입력공간을 완전히 나타내기 위해서 퍼지 룰이 $3^3=27$ 개가 필요하다. 그러나 hierarchical system의 경우에는 $3+3+3=9$ 개로 충분히 로봇을 제어할 수 있다. Hierarchical fuzzy의 구조는 입력을 3개의 sub-fuzzy controller로 나누어 처리하고 각각의 출력을 합하기 때문에 3개의 sub controller의 출력이 같은 형태이어야 한다는 단점이 있다. 이것은 입력이 장애물까지의 거리이고 출력이 양쪽 바퀴의 모터 출력인 경우에 한해서는 강인한 특성을 보이지만 로봇의 구조가 복잡하고 기능이 다양한 로봇에 대해서는 적용이 매우 어렵다. 왜냐하면 각각의 sub controller의 출력이 다른 형태를 가질 수 있기 때문이다. 따라서 이 다양한 출력 정보들을 가지고 로봇을 제어하기 위해서는 대수적인 합이 아닌 또 하나의 fuzzy controller를 추가해야 한다.

이러한 구조를 갖는 것이 2-layer fuzzy controller이다. 2-layer fuzzy controller는 다양한 입력에 대해서도 강인한 특성을 보이면서 다양한 로봇의 행동에 대해서도 제어가 가능한 시스템이다. 2-layer fuzzy controller에서는 2단계에 combined controller가 존재하기 때문에, 1단계의 sub-controller들에서 정확하지 않은 출력이 나와도 전체 제어기의 출력에는 그렇게 큰 영향을 미치지 않는다. Hierarchical fuzzy controller와의 비교를 위해서 왼쪽 벽을 따라가면서 장애물 회피를 하는 상황에 2-layer fuzzy control을 적용하였을 경우의 제어 알고리즘은 다음과 같다.

Left controller에서는 왼쪽의 장애물 위치만을 인식하여 오른쪽으로 어느 정도 회전할 것인지를 출력한다. Right controller에서도 오른쪽의 장애물 위치만을 인식하여 왼쪽으로 어느 정도 회전할 것인지를 출력한다.



Left Controller	(Right Turn)	60°	30°
	90°		
Right Controller	(Left Turn)	-60°	-30°
	-90°		
Front Controller	(Collision)	50%	0%
	100%		

그림 3. Sub-controllers에 대한 퍼지 룰
Fig. 3. Fuzzy Control Rules for Sub-controllers

Front controller에서는 앞쪽의 장애물까지의 거리와 그 장애물이 앞쪽의 어느 쪽으로 치우쳐져 있는지를 출력한다. 이러한 퍼지 룰과 멤버십 함수는 그림 3과 같다.

2단계의 combined controller에서는 앞쪽에 장애물이 없는 경우, 좌회전 정보(right controller의 출력)가 크지 않은 상황에서는 우회전 정보(left controller의 출력)에 따라 주행 경로를 결정하게 되고 좌회전 정보가 큰 경우에는 우회전 정보가 크지 않으면 약간 좌회전을 하도록 하여 왼쪽 벽을 따라가면서 로봇이 통과할 수 있는 공간을 가진 좁은 통로도 통과할 수 있도록 하였다. 앞쪽에 장애물이 존재하는 경우에는 좌회전 정보나 우회전 정보가 없는 쪽으로 이동하는데 좌회전을 우선으로 하여 왼쪽 벽을 따라가도록 하였다. Combined controller에 대한 퍼지 멤버십 함수를 그림 4에 나타내었다. 3개의 입력에 따라 멤버십 함수가 각각 다르게 사용되고 그에 대한 퍼지 룰도 sub-controller보다는 복잡하게 만들어진다.

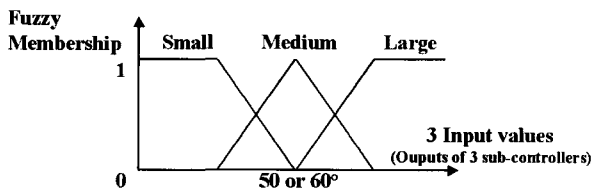


그림 4. Combined Controller에 대한 멤버십 함수
Fig. 4. Membership Function of a Combined Controller

일반적으로 퍼지 추론 방식은, 논리 연산에서 Fuzzy Modus Ponens(FMP) 또는 Generalized Modus Ponens(GMP)는 Conjunctive AND에 해당하는 T-norm과 Disjunctive OR에 해당하는 T-conorm(or S-norm)으로 구성되어 있기 때문에 그 방식에 있어서 다양하다. 크게 3가지로 분류할 수 있는데, 직접법, 간접법, 혼합법이 그것이다. 그런데 2-layer fuzzy controller에서 sub-controller와 combined controller의 출력(후건부)은 로봇의 진행 방향(회전각도) 또는 충돌 가능성과 같은 상수가 되도록 퍼지 룰을 작성하였다. 따라서 퍼지 추론 엔진은 퍼지 추론의 혼합법 중의 하나인 Sugeno의 Simplified Method를 이용하여 구성하였다[5]. 이 추론 방식은 퍼지 룰의 후건부 출력이 상수로 이루어진 경우에 사용되는 방식으로 추론의 결과 값은 다음 식으로부터 얻어진다. 이 식에서 λ_i 는 i 번째 퍼지 룰로부터 얻어진 적합도를 나타내고, c_i 는 i 번째 퍼지 룰의 후건부 상수 값을 나타내며, Z 는 퍼지 추론의 최종 출력 값을 나타낸다.

$$Z = \left(\sum_{i=1}^n (\lambda_i * c_i) \right) / \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \quad (1)$$

이 추론 방식의 장점은 비퍼지화 부분이 퍼지 추론부에 포함되어 있어서 따로 defuzzier를 추가할 필요가 없다는 것이다. 위 식에서 알 수 있듯이 퍼지 룰로부터 추론 엔진을 거친 후 바로 출력 값이 결정된다.

2.3 다른 퍼지 제어 알고리즘과의 비교

2-layer fuzzy controller의 룰의 개수에 있어서의 장점을 확인하기 위해 일반적인 fuzzy control과 hierarchical fuzzy control, 2-layer fuzzy control의 룰의 개수를 비교한다. 비교를 쉽게 하기 위해 각각의 입력에 대한 멤버십 함수의 개수는 3개로 고정하였다. 입력의 개수가 3, 5, 7, 9일 때 3가지

다른 퍼지 제어기에 따른 퍼지 룰의 개수를 계산한 결과를 표1에 나타내었다.

표 1. 3가지 퍼지 제어기에 대한 퍼지 룰의 개수 비교
Table 1. Comparison of the Number of Fuzzy Rules to 3 kinds of Fuzzy Controllers

입력 개수 (좌+앞+우)	General Fuzzy	Hierarchical Fuzzy	2-Layer Fuzzy
3 (1+1+1)	$3^3 = 27$	$3^1+3^1+3^1 = 9$	$9+3^3 = 36$
5 (2+1+2)	$3^5 = 243$	$3^2+3^1+3^2 = 21$	$21+3^3 = 48$
7 (2+3+2)	$3^7 = 2,187$	$3^2+3^3+3^2 = 45$	$45+3^3 = 72$
9 (3+3+3)	$3^9 = 19,683$	$3^3+3^3+3^3 = 81$	$81+3^3 = 108$

입력의 개수가 작을 때는 2-layer fuzzy control의 룰의 개수가 가장 많다. 하지만 입력의 개수가 9개일 때는, 일반적인 fuzzy control의 경우에 19,683개, hierarchical fuzzy control의 경우에는 81개, 2-layer fuzzy control은 108개가 되어 일반적인 fuzzy controller에 비해 룰의 개수가 현저하게 감소한다는 장점이 있다. 여기서 주목할 점은 2-layer fuzzy control의 룰의 개수가 hierarchical fuzzy control의 룰의 개수에 3^3 을 더한 값이 된다는 것이다. 이것은 hierarchical fuzzy controller에서 사용되는 sub-controller의 출력부에 3개의 입력을 갖는 fuzzy controller를 추가했기 때문이다. 그 결과, hierarchical fuzzy controller의 경우가 2-layer fuzzy controller의 경우보다 룰의 개수가 약간 더 적지만, 다른 형태의 출력을 다루는 경우에 hierarchical fuzzy controller에는 적용할 수 없기 때문에 2-layer fuzzy control의 성능이 가장 우수하다고 할 수 있다.

2.4 2-Layer Fuzzy Controller의 적용

2-layer fuzzy control의 가장 큰 장점은 각기 다른 형태의 입·출력에 대해서도 강인한 추론을 할 수 있다는 것이다. 이러한 특징을 살린 알고리즘으로 로봇을 따라가는 알고리즘에 2-layer fuzzy control을 적용하였다. 2.2 절에서 설명한 2-layer fuzzy controller의 wall following 알고리즘에서도 front controller의 경우 앞쪽 장애물에 대한 충돌 가능성을 출력으로 하기 때문에 3개의 sub-controllers의 출력이 다른 경우이다. 하지만 wall following을 구현하는 경우에는 front controller의 출력도 로봇의 회전 정보를 출력하도록 구성해도 즉, 3개의 sub-controllers의 출력을 같은 형태로 맞추어도 로봇의 이동 제어를 할 수 있다. 하지만 로봇을 따라가는 알고리즘의 경우, 따라갈 로봇에 대한 정보가 필요하기 때문에 sub-controllers의 출력이 모두 같을 수는 없다. 즉, 적어도 하나의 sub-controller에서는 따라갈 로봇에 대한 정보를 출력하고 있어야 한다.

따라갈 로봇을 판단하기 위해 front controller의 입력을 3개로 하여 시스템을 구성하였다. 앞쪽 3방향 입력(11시, 12시, 1시 방향)으로 front controller에서 따라갈 로봇의 위치를 판단하여 출력하게 된다. combined controller에서는 따라갈 로봇의 방향과 거리(front controller의 출력), 양 옆의 장애물에 대한 회피 동작(left·right controller의 출력)을 통합하여 장애물을 피하면서 앞 쪽의 로봇을 따라가게 된다. 다음 그림5는 2-layer fuzzy controller를 이용하여 로봇을 따라가는 알고리즘을 나타내었다. 양 옆에 장애물이 없는지

를 판단하여 장애물 회피를 우선으로 하고 장애물 회피가 정상적으로 된 상태에서 따라갈 로봇에 대한 방향이나 거리 정보를 이용하여 로봇을 따라가도록 Combined Controller를 구성하였다. 그러나, 이러한 구조는 Front Controller에서만 따라갈 로봇의 정보를 받아들임으로 따라갈 로봇이 갑작스럽게 왼쪽이나 오른쪽으로 90° 이상 이동하면 로봇을 제대로 찾아내지 못 할 수도 있다는 단점을 갖고 있기도 하다.

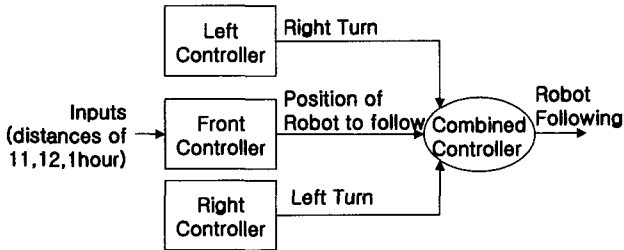


그림 5. Robot Following을 위한 2-Layer Fuzzy Controller의 구조

Fig. 5. Structure of the 2-Layer Fuzzy Controller for Robot Following

3. 시뮬레이션 결과

3.1 시뮬레이션을 통한 알고리즘 비교

2가지의 Fuzzy Controller에 대해 앞, 좌, 우에 대해 총 3개의 입력센서만을 가지고 장애물 회피를 하면서 Wall Following을 하는 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션 하였다.

3가지의 환경에 대한 시뮬레이션을 하였는데, convex와 valley가 합해진 형태의 경로, convex만 있는 경로, concave만 있는 경로가 그 환경이다. 이러한 3가지 환경에서 30바퀴 주행 시뮬레이션 한 결과를 표2에 나타내었다. 여기에서 로봇이 장애물에 2cm이내에 진입했을 경우를 모두 충돌로 간주하였다. 표2에서 알 수 있듯이 convex와 valley가 합해진 형태의 경로에서는 Hierarchical Fuzzy에서의 충돌횟수가 2-Layer Fuzzy보다 훨씬 많았고 convex만 존재하는 경로에 대해서는 Hierarchical Fuzzy에서만 충돌이 여러 번 일어나는 것을 알 수 있다. Concave한 형태의 경로에 대해서만 두 컨트롤러에 대해 모두 충돌이 없는 것을 확인할 수 있었다.

표 2. 두 퍼지 제어기에 대한 시뮬레이션 결과
Table 2. Result of the Simulation to two Fuzzy Controller

Fuzzy Control	Path		
	convex and valley	concave	convex
Hierarchical Fuzzy Controller	92	X	29
2-Layer Fuzzy Controller	20	X	X

Convex와 valley가 합해진 형태의 경로에서 충돌 횟수가 많은 이유는 골짜기에 들어갔다 나올 때 워낙 좁은 통로에서 장애물 회피가 이루어지기 때문이고 convex만 있는 경로의 환경에서 hierarchical fuzzy controller를 적용한 경우에 충돌이 발생하는 이유는 sub-controller의 출력을 대수적으

로 합하면서 너무 큰 회전 정보가 출력되어 벽에 충돌하는 것으로 판단된다.

3.2 Robot Following Simulation

다음 그림6과 같은 환경에 대해 2.4절에서 언급한 로봇을 따라가는 행동에 대한 시뮬레이션을 하였다.

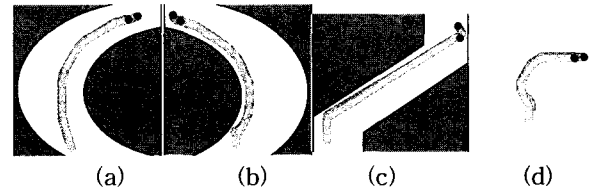


그림 6. Robot Following Simulation 환경

(a) Concave 경로, 중앙 이동 (b) Convex 경로, 좌측벽 따라가기 (c) 복도, 돌아다니기 (d) 자유 공간, 자유 이동
Fig. 6. Simulation Environment for Robot Following
(a) Concave Path, Center Move (b) Convex Path, Left Wall Following (c) Corridor, Wandering (d) Free Space, Free Move

표 3. 10번 시도에 대해 따라가는 로봇의 성공 횟수, 로봇 1은 앞에서 주행하는 로봇

Table 3. The number of Success of Robot Following in 10 trials, Robot 1 is a robot moving in front.

Robot 1 \ Path	Wall Following	Wandering	Center Move
Convex	9	6	9
Concave	3	0	10
Free Space	10		

시뮬레이션 결과를 표3에 나타내었는데, 따라갈 로봇을 놓치지 않고 Path 끝까지 이동한 경우를 성공한 것으로 하였다. 그리고 이때 로봇1은 앞에서 주행하는 로봇이고 로봇 2는 뒤에서 따라가는 로봇을 나타낸다. 위의 표에서 wall following, wandering, center move 같은 로봇의 행동은 모두 로봇 1의 행동을 나타내고 표의 성공 횟수는 로봇 2가 로봇 1을 제대로 따라갔는지를 나타낸다.

위의 표3에서 보는 것처럼 concave 경로에서 실패가 많은 이유는 로봇 1이 벽의 반대방향으로 이동하는 상황이 발생하여 로봇 2가 벽을 로봇으로 잘못 판단하기 때문이다. Wandering에서 실패가 많은 이유는 로봇 1이 90° 이상의 급격한 방향전환을 함으로써 로봇 2가 역시 로봇 1을 탐지해 내지 못하기 때문이다.

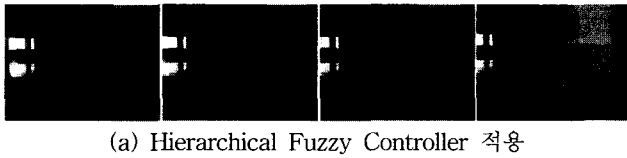
시뮬레이션 결과 로봇을 따라가는 행동에 대해서, 주위에 장애물이 concave 형태로 존재할 경우에는 로봇 2가 잘 따라가지 못하지만, 주위에 장애물이 없는 상황에서는 로봇1을 잘 따라가는 것을 알 수 있었다.

4. 실험 결과

4.1 Wall Following 실험

본 알고리즘을 실제 상황에 적용하기 위해 한울로보틱스

의 Hanuri로봇을 이용하여 실험을 하였다. Hanuri로봇은 15° 지향특성을 갖는 12개의 초음파센서를 이용하여 주변 환경에 대한 거리 정보를 제공한다. 또한 Hanuri로봇은 이동할 때, 2개의 바퀴로 구동하는 일반적인 주행 로봇과는 달리 3개의 바퀴를 이용하여 방향 전환과 구동이 독립적으로 이루어진다. 본 실험에서는 구현을 간단히 하기 위해 방향 전환만을 제어하여 장애물 회피 및 wall following을 하도록 하였다. 그림 7은 두 퍼지 제어기에 대한 벽을 따라가는 실험 장면이다.



(a) Hierarchical Fuzzy Controller 적용



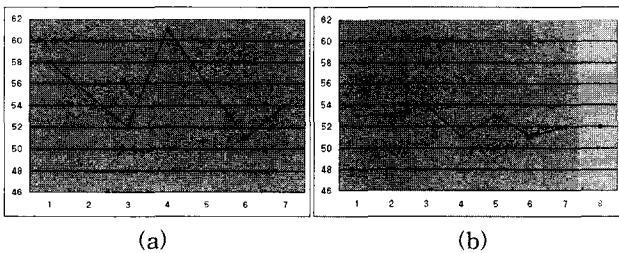
(b) 2-Layer Fuzzy Controller 적용

그림 7. 두 퍼지 제어기를 적용한 로봇이 벽을 따라가는 실험

Fig. 7. Experiment of Wall Following of the Robot that applied to two Fuzzy Controllers

(a) Adaptation of Hierarchical Fuzzy Controller
(b) Adaptation of 2-Layer Fuzzy Controller

실험결과, Hierarchical Fuzzy를 적용한 로봇도 벽을 따라 주행하지만 일정한 거리를 유지하기 위해 좌우로 계속 진동하는 것을 볼 수 있었고 2-Layer Fuzzy를 적용했을 경우에는 진동이 거의 없이 벽을 따라가는 것을 확인할 수 있었다. 6m거리를 벽을 따라가면서 충돌한 횟수와 주행 시간을 측정하였는데 하나의 퍼지 제어기마다 10번의 실험을 통해 측정하였다. 주행시간은 그림 8에 나타내었으며 측정 결과를 표 4에 함께 나타내었다.



(a) Hierarchical Fuzzy Controller 적용
(b) 2-Layer Fuzzy Controller 적용

그림 8. 로봇의 주행시간 그래프

Fig. 8. Moving Time Graph of Robot
(a) Adaptation of Hierarchical Fuzzy Controller
(b) Adaptation of 2-Layer Fuzzy Controller

실험결과, hierarchical fuzzy controller를 구현한 경우가 2-layer fuzzy controller를 구현한 경우보다 1번 더 충돌을 했고, 6m를 주행하는데 약간 더 오래 걸리는 것을 볼 수 있다. 하지만 이것보다 더 주목할 것은 주행시간에 대한 분산이다. Hierarchical fuzzy controller를 구현한 로봇의 경우, 주행시간이 매 실험마다 큰 차이를 보이지만, 2-layer fuzzy

controller를 구현한 로봇의 경우 매 실험마다 거의 비슷한 주행시간을 보여주었다. 이것은 hierarchical fuzzy는 주변 환경의 변화나 잡음에 대해 민감하게 반응하는데 반해, 2-layer fuzzy는 그러한 영향에 대해 민감하지 않게 반응하여 안정적인 주행을 하는 것을 보여준다. 이 실험에서 2~3회 정도의 충돌이 있었는데 이것은 로봇의 모터를 제어하는 PID 계수를 정확하게 맞추지 않았기 때문에 생긴 잡음으로 인한 것으로 추정된다.

표 4. Wall Following 실험 결과

Table 4. Experiment Result of Wall Following

Controller	Time (Average)	Time (Variance)	Collision
Hierarchical Fuzzy	55.2 sec	11.9	3 times
2-Layer Fuzzy	52.5 sec	1.1	2 times

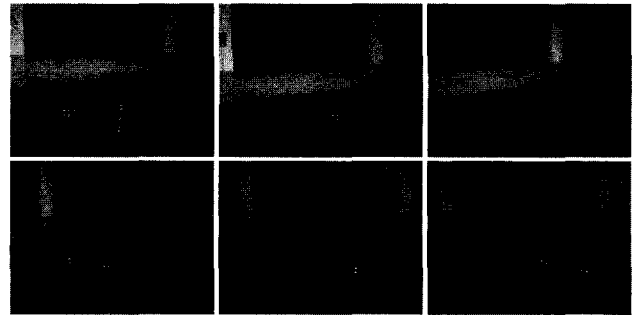


그림 9. Robot Following 실험

Fig. 9. Experiment of Robot Following

4.2 Robot Following 실험

로봇을 따라가는 행동에 대해서도 실험을 하였는데, 이러한 행동은 2.4절에서도 설명했듯이 hierarchical fuzzy controller로는 구현할 수 없으나 2-layer fuzzy controller를 이용하면 구현할 수 있다. 그림 9는 2-layer fuzzy controller를 적용한 로봇들의 로봇 따라가기 실험 장면이다. 앞에 가는 로봇은 시뮬레이션의 장애물이 없는 공간에서 로봇이 움직이는 것과 같은 알고리즘으로 미리 계획된 경로를 따라 움직이도록 작성하였다. 앞쪽의 로봇이 벽과 가까워지면 따라가는 로봇이 벽에 충돌하는 상황이 발생하지만 로봇이 벽에서 많이 떨어져 있는 경우에 대해서만 어느 정도 따라가는 것을 확인하였다. 시뮬레이션에서보다는 안 좋은 결과를 얻었는데 이것은 따라갈 로봇에 대한 정보를 처리하는 데에 단지 초음파 센서만을 이용했기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 다양한 입력 정보에 대해 다른 형태의 출력을 내보내는 로봇의 행동을 제어하기 위한 알고리즘으로 2-layer fuzzy controller를 제안하였다. 많은 거리센서 정보들을 앞쪽, 왼쪽, 오른쪽의 3부분으로 분류하고 이것을 입력으로 하는 sub-controllers를 구성한 다음, sub-controllers의 출력들을 입력으로 하는 combined controller를 추가하여 다른 형태의 입출력에 대해 통합된 추론을 하였다. 이

Controller를 이용하여 장애물 회피를 기본으로 wall following과 robot following을 수행하였다.

많은 입력에 대해서 2-layer fuzzy를 이용하면, 일반적인 퍼지 추론보다는 룰의 개수가 훨씬 줄어들면서도 hierarchical fuzzy에서는 불가능한 다양한 형태의 입출력에 대해서도 강한 추론을 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 앞으로 등장할 수많은 다기능 지능 로봇에 대한 행동을 제어하는데도 2-layer fuzzy controller를 이용하면 강한 행동 제어를 할 수 있을 것으로 기대된다.

Fuzzy system의 강점은 불확실하고 불분명한 정보를 다룰 수 있고 제어기의 구조를 명확하게 표현할 수 있다는 것이다. 그러나 정확한 멤버십 함수를 구축하기 어렵고 퍼지를 작성시 대부분 전문가적 경험 지식에 기반하기 때문에 잘못하면 한정된 영역에서만 적용 가능할 수도 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 machine learning이나 신경 회로망 같은 학습알고리즘이 많이 제안되어 있다. 또한 퍼지 룰에 대해 진화알고리즘을 적용하기도 하였다[6][7]. 그리고 로봇을 따라가기 위한 시스템에서는 따라갈 로봇을 영상입력으로 받아들인다면 더욱 확실하게 로봇을 따라갈 수 있다.

본 논문에서 제안한 2-layer fuzzy controller에 퍼지 룰 작성을 위한 학습알고리즘을 적용하고 물체 인식을 위한 비전시스템을 장착하여 다기능 지능 로봇에 대해 더욱 강한 행동제어를 할 수 있도록 하는 것이 앞으로의 과제이다

저 자 소개



심귀보(Kwee-Bo Sim)

1984년 : 중앙대학교 전자공학과 공학사

1986년 : 동대학원 전자공학과 공학석사

1990년 : The University of Tokyo 전자공학과 공학박사

2003년~현재 : 한국퍼지 및 지능시스템학회 부회장

2001년~2002 : 대한전기학회 제어및시스템부문회 편집위원 및 학술이사

2000년~현재 : 제어자동화시스템공학회 이사

2003년~현재 : 일본계측자동제어학회(SICE) 이사

1991년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

관심분야 : 인공생명, 진화연산, 지능로봇시스템, 뉴로-퍼지 및 소프트 컴퓨팅, 자율분산시스템, 로봇비전, 진화하드웨어, 인공면역계 등

Phone : +82-2-820-5319

Fax : +82-2-817-0553

E-mail : kbsim@cau.ac.kr

참 고 문 헌

- [1] Li-Xin Wang, "Analysis and design of hierarchical fuzzy systems", *Fuzzy Systems, IEEE Transactions*, vol. 7, no. 5, pp. 617-624, Oct. 1999.
- [2] Fu-Lai Chung, Ji-Cheng Duan, "On multistage fuzzy neural network modeling", *Fuzzy Systems, IEEE Transactions*, vol. 8, no. 2, pp. 125-142, Apr. 2000.
- [3] J.-C. Duan, F.-L. Chung, "Multilevel fuzzy relational systems: structure and identification", *Soft computing 6, Springer Verlag 2002*, vol. 6, no. 2, pp. 71-86, 2002.
- [4] Sng Hong Lian, "Fuzzy logic control of an obstacle avoidance robot", *Proceeding of the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 26 -30, 2. 1996.
- [5] 강훈, 심귀보, 지능 정보 시스템, 대영사, 2001. 3.
- [6] Tunstel E., Akbarzadeh-T M.-R., Kumbala K., Jamshidi M., "Hybrid fuzzy-control schemes for robotic systems", *Proceeding of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 171-176, 8. 1995.
- [7] Itta, A.; Attolico, G.; Distanto, A., "Combining reactive behaviors using a hierarchy of fuzzy controllers", *The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 2, pp. 1041 -1044, 2000.



변광섭 (Kwang-Sub Byun)

2003년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사

2003년~현재 : 동대학원 전자전기공학부 석사과정

관심분야 : 퍼지 이론, 로봇 원격제어, 공진화 알고리즘

Phone : +82-2-820-5319

E-mail : ks4070@yahoo.co.kr



박창현 (Chang-Hyun Park)

2001년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사

2003년 : 동대학원 전자전기공학부 공학석사

2003년~현재 : 동대학원 전자전기공학부 박사과정

관심분야 : 감성정보처리, 진화연산, 신경회로망 등

Phone : +82-2-820-5319

E-mail : 3rr0r@alife.cau.ac.kr