Proceedings of KFIS Fall Conference, 2003. 5. 3

이동로봇의 행동제어를 위한 2-Layer Fuzzy Controller

2-Layer Fuzzy Controller for Behavior Control of Mobile Robot

변광섭, 허광승, 박창현, 심귀보
중앙대학교 전자전기공학부

Kwang-Sub Byun, Kwang-Seung Heo, Chang-Hyun Park, and Kwee-Bo Sim
School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University
E-mail: kbsim@cau.ac.kr

ABSTRACT

로봇의 기능이 다양해지며 복잡해지고 있다. 주위의 환경을 감지하는 센서로는 거리정보 뿐만이 아니라 영상 정보, 음성 정보까지 이용하고 있다. 본 논문에서는 다양한 입력정보를 가지고 로봇을 제어하기 위한 알고리즘으로 2-Layer Fuzzy Control을 제안한다. 장애물 회피의 경우에 다수의 초음파 센서를 이용하였는데 이것을 앞쪽, 왼쪽, 오른쪽으로 분류하여 3개의 sub-controller를 가지고 퍼지 추론을 한 다음 2단계에서는 이 3개의 sub-controller의 출력으로 조합된 퍼지 추론을 하여 통합적인 추론을 한다. 본 논문에서는 2-Layer Fuzzy Controller와 비슷한 구조를 갖는 Hierarchical Fuzzy Controller와 성능비교를 하였으며 Robot Following에도 적용하여 각각에 대한 시뮬레이션과 실험을 통해 확인한다.

Key words : 2-Layer Fuzzy Control, 장애물 회피, 로봇 Following , 다기능 지능 로봇,

I. 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 거리 뿐만이 아니라 영상 정보, 음성 정보까지 이용하고 있다. 그러므로 다기능 지능 로봇을 제어하는데 있어서 기존의 알고리즘만으로 원하는 기능을 모두 수행할 수는 없다.

본 논문에서는 이렇게 다양한 입력정보를 가지고 로봇을 제어하기 위한 알고리즘으로 2-Layer Fuzzy Control을 제안한다. 이동로봇의 행동을 제어하는데 있어서 가장 기본은 장애물 회피이다. 퍼지 추론을 이용한 장애물 회피 알고리즘은 오래 전부터 많이 제안되어 왔다. 다수의 입력에 대해 81개의 룰을 이용한 일반적인 퍼지 추론 방식이 제안되었고[1], 뉴럴 네트워크를 이용하여 주변 환경을 여러 개의 클래스로 분류하여 퍼지 룰의 개수를 줄인 방식도 제안되었다[2]. 장애물 회피와 경로탐색을 위한 두 가지 행동에 대해 직렬적으로 2단계 퍼지추론을 하는 알고리즘도 있다[3]. 이러한 로봇의 조합된 행동을 위한 퍼지 룰을 작성하기 위해 Machine Learning의 하나인 C4.5를 이용하기도 하였다[4].

2-Layer Fuzzy Control은 입출력 형태가 다른 상황에서도 큰 제약 없이 제어를 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 퍼지 룰의 작성에 있어서 센서의 개수가 증가함에 따라 일반적인 퍼지 추론에 비해 룰의 개수가 줄어드는 장점도 있다. 본 논문에서는 다른 알고리즘과의 비교를 위해 장애물 회피에 초점을 맞추었다. 본 론에서는 2-Layer Fuzzy Controller와 이와 비슷한 구조를 갖는 Hierarchical Fuzzy Controller의 구조와 룰의 개수에 대해 비교를 하고 각각에 대한 시뮬레이션과 실험을 통해 성능을 비교한다.

본 연구는 과학기술부의 뇌신경정보학연구사업의 '뇌정보처리 메커니즘에 기반한 인간행동 시스템연구'의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

II. 2-Layer Fuzzy Control

2.1 2-Layer Fuzzy Controller의 구조

2-Layer Fuzzy Controller와 비슷한 구조를 갖는 Hierarchical Fuzzy Controller가 1996년에 제안되었다[5]. 이 구조는 Non-hierarchical system에 비해 rules의 개수가 줄어들고 구조가 간단해진다는 장점이 있다. 그림1은 Hierarchical Fuzzy Controller의 구조를 나타내고, 그림2는 2-Layer Fuzzy Controller의 구조를 나타낸다.

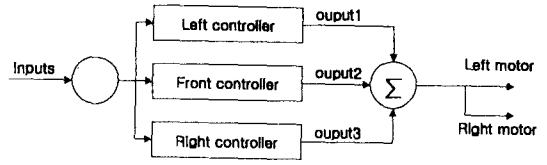

그림 1. Hierarchical Fuzzy Controller

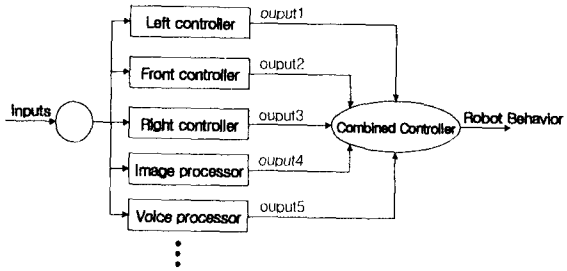

그림 2. 2-Layer Fuzzy Controller

Hierarchical Fuzzy의 구조는 입력을 3개의 Sub-Fuzzy Controller로 나누어 처리하고 각각의 출력을 Summation하기 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 보이면서도 다양한 로봇의 행동에 대해서도 제어가 가능한 시스템이다. Hierarchical Fuzzy와 마찬가지로 Sub-Controller에서는 각각의 입력(앞쪽, 왼쪽, 오른쪽)에 대해서 독립적으로 퍼지 추론을 한다.

각각의 입력(전건부)에 대한 멤버쉽 함수로 그림3과 같은 형태를 사용하였다.

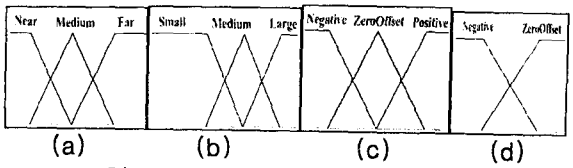

그림 3. Membership Function (MF)
(a) Sub-Controller의 MF, (b),(c),(d)는 Combined Fuzzy Controller의 입력1, 입력2, 입력3에 대한 MF

출력(후건부)에 대해서는 로봇의 진행 방향(회전 각도)이 되므로 상수가 되어, sugeno의 Simplified Method를 이용하여 퍼지추론을 하였다[6]. 이 추론 방식의 장점은 비퍼지화 부분이 퍼지 추론부에 포함되어 있어서 따로 Defuzzier를 추가할 필요가 없다는 것이다.

2-Layer Fuzzy Control에서는 Sub-Controller의 출력을 입력으로 하여 다시 통합된 퍼지 추론을 한다. 퍼지 룰을 작성할 때는 이동 로봇이 장애물 회피를 하면서 동시에 벽을 따라가도록 작성하였다.

2.2 다른 Fuzzy Control과의 비교

우선 일반적인 Fuzzy Control과 Hierarchical Fuzzy Control, 2-Layer Fuzzy Control의 룰의 개수를 비교한다. 비교를 쉽게 하기 위해 각각의 입력에 대한 멤버쉽 함수의 개수는 3개로 고정하였다. 입력의 개수가 작을 때는 2-Layer Fuzzy Control의 룰의 개수가 가장 많다. 하지만 입력의 개수가 9개일 때는, 일반적인 Fuzzy Control의 경우에 $3^9 = 19683$, Hierarchical Fuzzy의 경우에는 $3^3 + 3^3 + 3^3 = 81$개, 2-Layer Fuzzy Control은 $(3^3 + 3^3 + 3^3) + 3^3 = 81 + 27 = 108$가 되어 일반적인 Fuzzy Control에 비해 룰의 개수가 현저하게 감소된다는 장점이 있다. 물론 Hierarchical Fuzzy의 경우가 2-Layer Fuzzy Control의 경우보다 룰의 개수가 약간 더 적지만, 다른 형태의 출력에 대해서 Hierarchical Fuzzy에는 적용할 수 없기 때문에 2-Layer Fuzzy Control의 성능이 가장 우수하다고 할 수 있다. 표1은 3가지 Fuzzy Control에 대한 룰의 개수를 비교한 것이다.

표 1. 3종류의 Fuzzy Rule의 개수 비교

입력 (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)	$3^7 = 2187$	$3^2 + 3^3 + 3^2 = 45$	$45 + 3^3 = 72$
9(3+3+3)	$3^9 = 19683$	$3^3 + 3^3 + 3^3 = 81$	$81 + 3^3 = 108$

2.3 2-Layer Fuzzy Controller의 적용

2-Layer Fuzzy의 가장 큰 장점은 각각 다른 형태의 입,출력에 대해서도 강인한 추론을 할 수 있다는 것이다. 이러한 특징을 살린 알고리즘으로 로봇을 따라가는 시스템을 구현하였다. 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 그림4는 로봇 Following을 하는 알고리즘을 나타내었다. 양 옆에 장애물이 없는지를 판단하여 장애물 회피를 우선으로 하고 장애물 회피가 정상적으로 된 상태에서 따라갈 로봇에 대한 방향이나 거리 정보를 이용하여 로봇을 따라가도록 Combined Controller를 구성하였다. 그러나, Front Controller에서만 따라갈 로봇의 정보를 받아들이므로 따라갈 로봇이 갑작스럽게 왼쪽이나 오른쪽으로 90도 이동하면 로봇을 제대로 찾아내지 못 할 수도 있다는 약점을 갖고 있기도 하다.

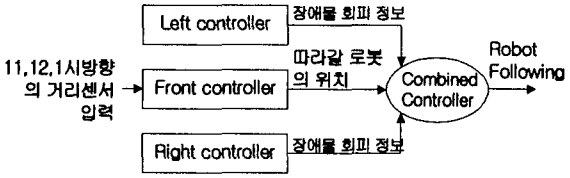

그림 4. Robot Following을 적용한 2-Layer Fuzzy Controller

III. 시뮬레이션 및 실험

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 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 컨트롤러에 대한 시뮬레이션 결과

Fuzzy Control	valley 충돌	concave 충돌	convex 충돌
Hierarchical	92	X	29
2-Layer	20	X	X

3.2 Robot Following Simulation

다음 그림5와 같은 환경에 대해 2.3에서 언급한 로봇을 따라가는 행동에 대한 시뮬레이션을 하였다.

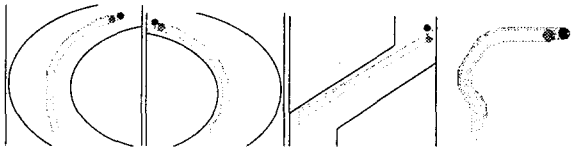

그림 5. Robot Following Simulation 환경
(a) Concave Path, Center Move (b) Convex Path, Wall Following (c) Corridor, Wandering (d) Free Space, Free Move

표 3. Robot Following Simulation 결과
(10번 시도에 대한 성공 횟수,
Robot1: 앞에서 주행, Robot2: 따라가는 로봇)

Robot1	Wall following	wandering	Center Move	Free Move
Convex	9	6	9	10
Concave	3	0	10	

시뮬레이션 결과를 표3에 나타내었는데, 따라갈 로봇을 놓치지 않고 Path 끝까지 이동한 경우를 성공한 것으로 하였다.

Concave 경로에서 실패가 많은 이유는 로봇1이 Wall의 반대방향으로 이동하는 상황이 발생하여 로봇2가 벽을 로봇으로 잘못 판단하기 때문이다. Wandering에서 실패가 많은 이유는 로봇1이 90도 이상의 급격한 방향전환을 함으로써 로봇2가 역시 로봇1을 탐지해내지 못하기 때문이다.

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

3.2 Hanuri로봇을 이용한 실험

본 알고리즘을 실제 상황에 적용하기 위해 한울로보틱스의 Hanuri로봇을 이용하여 실험

을 하였다. Hanuri는 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 이루어 진다. 본 실험에서는 구현을 간단히 하기 위해 방향전환만을 제어하여 장애물 회피 및 Wall Following을 하도록 하였다. 또한 로봇을 따라가는 행동에 대해서도 실험하였다.

실험결과, Hierarchical Fuzzy를 적용한 로봇은 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. 또한 로봇을 따라가는 행동에 대해서도 실험을 하였는데, 앞쪽의 로봇이 벽과 가까워지면 따라가는 로봇이 벽에 충돌하는 상황이 발생하지만 로봇이 벽에서 많이 떨어져 있는 경우에 대해서는 거의 잘 따라가는 것을 확인하였다.

IV. 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 Followingr과 Robot Following을 수행하였다.

많은 입력에 대해서 2-Layer 퍼지를 이용하면, 일반적인 퍼지 추론보다는 룰의 개수가 훨씬 줄어들면서도 Hierarchical 퍼지에서는 불가능한 다양한 형태의 입출력에 대해서도 강인한 추론을 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 앞으로 등장할 수많은 다기능 지능 로봇에 대한 행동을 제어하는데도 2-Layer Fuzzy Controller를 이용하면 강인한 행동 제어를 할 수 있을 것으로 기대된다.

Fuzzy System의 강점은 불확실하고 불분명한 정보를 다룰 수 있고 언어적인 형태로 된 규칙을 표현할 수 있다는 것이다. 그러나 정확한 멤버쉽 함수를 구축하기 어렵고 퍼지 룰 작성이 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[4][7]. 그리고 로봇을 따라가기 위한 시스템에서는 따라갈 로봇을 영상입력으로 받아들이면 더욱 확실하게 로봇을 따라갈 수 있다.

본 논문에서 제안한 2-Layer Fuzzy Controller에 퍼지 룰 작성을 위한 학습알고리즘을 적용하고 물체 인식을 위한 비전 시스템을 장착하여 다기능 지능 로봇에 대해 더욱 강인한 행동제어를 할 수 있도록 하는 것이 앞으로의 과제이다.

V. 참고문헌

[1] Xiaojiang Zhang, "Fuzzy control system for a mobile robot collision avoidance", *Proc. of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, pp. 125- 128, 1994. 12.

[2] Beom H.R., Cho H.S., "A Sensor-based Obstacle Avoidance Controller For A Mobile Robot Using Fuzzy Logic And Neural Network", *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1470-1475, 1992. 7.

[3] Bing-Yung Chee, Lang, S.Y.T., Tse, P.W.T., "Fuzzy mobile robot navigation and sensor integration", *Proc. of the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 7-12, 1996. 9.

[4] Itta, A.; Attolico, G.; Distante, A., "Combining reactive behaviors using a hierarchy of fuzzy controllers", *The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 2, pp. 1041 -1044, 2000.

[5] Sng Hong Lian, "Fuzzy logic control of an obstacle avoidance robot", *Proc. of the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 26 -30, 1996. 2.

[6] 강훈, 심귀보, *지능 정보 시스템*, 대영사, pp. 1-60, 2001. 3.

[7] Tunstel E., Akbarzadeh-T M.-R., Kumbla K., Jamshidi M., "Hybrid fuzzy-control schemes for robotic systems", *Proc. of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 171-176, 1995. 8.