

이동로봇의 장애물 회피를 위한 계층적 퍼지 제어기 설계 Hierarchical Fuzzy Logic Controller Design for Obstacle Avoidance of a Mobile Robot

김기웅* (부산대 대학원), 이석 (부산대)

Kee-woong Kim (Graduate School, Pusan National Univ.), Suk Lee (Pusan National Univ.)

ABSTRACT

This paper addresses that through the use of Fuzzy Logic Control, a reactive behavior(e.g. avoiding obstacles on the way) are smoothly blended into one sequence of control action. In this classical problem, the aim is to guide a mobile robot along its path to avoid any static obstacles in front of it. This controller presented here uses three sub-controllers. This fuzzy controller was apply to a miniature mobile robot. This robot follows a left wall, maintaining a minimum distance.

Key Words : Mobile Robot(이동 로봇), Hierarchical Fuzzy Logic Control(계층적 퍼지 논리 제어), Obstacle Avoidance(장애물 회피).

1. 서론

현장에서 실제 사용되고 있는 무인 반송차(AGV ; Autonomous Guidance Vehicle)들이 많은 장점을 가지고 있지만 유연성과 확장성의 문제로 말미암아 유발되는 단점들로 인해, 스스로 주위 환경을 인식하고 상황에 알맞은 행동을 계획하고 자율적으로 장애물을 회피하면서 주행하는 자율행동 결정능력 (autonomous behavior decision)을 갖는 산업적 이동로봇에 관한 연구가 지속되어오고 있다.^(1,6) 하지만 자율적으로 동작하여야하는 로봇의 특성은 또한 비 선형적인 요소를 많이 내포하고 있어 수학적인 수식을 통하여 제어하기에는 한계가 있다. 그리고 독립적으로 주행하는 로봇에게 예상치 못한 많은 상황들이 일어날 수 있으며 그러한 경우들에 로봇은 적절하고 유연하게 대응하여야 한다.

본 논문에서는 로봇의 자율적인 주행에 있어서 기존의 로봇 제어 시스템의 여러 가지 복잡한 수식 모델의 많은 계산 없이 보다 인간이 가지는 정성적 지식을 효과적으로 표현하는 퍼지 제어 알고리즘^(3,4)을 사용하였다. 또한 계층적인 퍼지 제어의 구조를 사용하여 퍼지 규칙수를 줄이고 수정과 확장이 용이하게 함으로써 실시간 하드웨어 구현에 적합함을 제시하고자 하였다.

본 논문의 2장에서는 일반적인 이동로봇의 기구학적 방정식과 대상이 되는 이동로봇의 구조를 설명하였으며 3장에서는 본 논문에서 적용한 계층적 퍼지 제어의 구조를 설명하였다. 4장에서는 설계한 퍼지 제어기로 이동로봇이 좌측의 벽을 따라 가도록 하는 모의 실험과 그 결과를 나타내었다.

2. 기구학적 운동 방정식

2.1 로봇의 기구학적 방정식

본 연구에서 구성한 이동로봇의 구조는 다음 그림 1.과 같다.

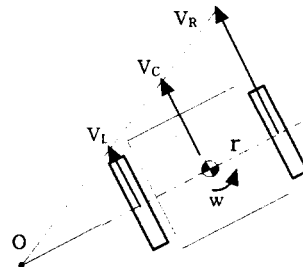


그림 1. 이동로봇의 기구학

Fig. 1. Kinematics of a mobile robot

좌우 바퀴의 회전속도 차를 이용하여 로봇을 임의의 방향으로 진행시킬 수 있도록 하는 Tracked Wheel type의 Turtle 로봇이다. 좌우 바퀴의 회전속도 차에 의해 로봇의 회전중심 O가 결정되므로 어떤 공간에서든지 자유로이 회전할 수 있어 자유로운 방향전환이 가능하다.

로봇의 좌우가 대칭이라 가정할 때 로봇의 무게 중심의 이동속도(v_C)는 우측바퀴의 속도(v_R)와 좌측바퀴의 속도(v_L)의 산술적 평균으로 식 (1)에서 볼 수 있는 것과 같이 구할 수 있다. 그리고 로봇의 자세를 결정하는 각속도 θ 는 로봇의 중심에서 바퀴까지의 거리를 r 이라고 할 때, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$v_C = \frac{v_R + v_L}{2} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{1}{r}(v_R - v_L) \quad (2)$$

2.2 이동로봇의 구조

이동로봇의 대략적인 전체 구성은 그림 2와 같다.

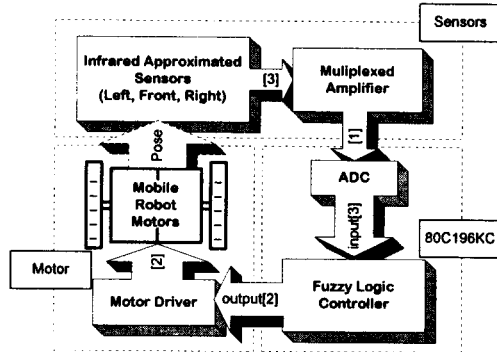


그림 2. 이동로봇의 구조
Fig. 2. Structure of Mobile Robot

제작한 이동로봇은 크게 3부분으로 구분할 수 있다. 센서와 다중 증폭기(Multiplexed Amplifier)로 구성된 센서부와 지령에 따라 바퀴에 동력을 전달하는 모터부, 센서로부터의 입력을 판단하여 모터로 출력을 내보내는 마이크로 프로세서부로 나뉜다. 세 개의 적외선센서를 이용하여 벽을 감지하며 이것들을 시간차를 두고 각각 차례로 구동하므로, 실제로는 한번에 하나의 센서값을 읽는다. 그림 3은 로봇 상에 센서의 위치와 그것이 벽을 감지하는 범위를

가시적으로 나타낸 것이다. 마이크로 프로세서로는 상대적 속도는 느리지만 칩내에 PWM, ADC등 많은 주변장치를 내장하고 있는 인텔사의 80C196KC를 사용하였으며 모터는 출력에 비하여 무게가 많이 나가고 소비전류가 크지만 엔코더 없이도 정확한 제어가 가능한 스텝모터(4V/0.4A, 2상)를 사용하였다.

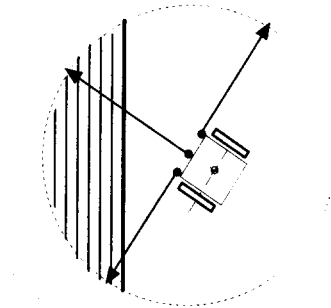


그림 3. 로봇의 센서 위치와 벽
Fig. 3. Sensor Direction and Wall

3. 퍼지 제어기

3.1 계층적 퍼지 제어기

본 연구에서 이용한 퍼지 제어기의 구조는 그림 4와 같다. 세 개의 센서들에서 오는 입력을 하나의 퍼지 제어기에 입력하여 두 모터의 출력을 구하려 하면 최대 27개의 퍼지규칙을 작성해야 한다. 하지만, 각 센서에서의 출력값을 각각의 부 퍼지 제어기의 입력으로 하여 두 모터를 위한 제어명령을 각각 출력하여 일정한 가중치값을 곱한 후 평균을 구하여 모터로 각각 보내면 각 부 퍼지 제어기에는 최대 6개의 퍼지 규칙만 작성하므로 규칙을 많이 줄였다. 가중치는 센서들의 특성값의 차이에 의한 보정을 위한 것으로 실험적으로 정해주었다.

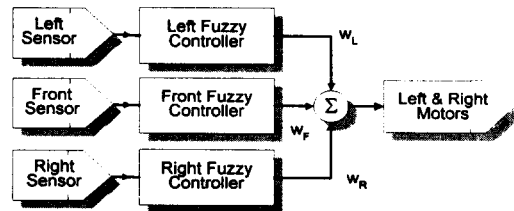


그림 4. 계층적 퍼지 제어기
Fig. 4. Hierarchical Fuzzy Logic Controller

여기서 좌측 센서를 위한 제어기(Left Fuzzy Controller)는 로봇의 왼쪽에 있는 벽에 대하여 일정한 거리를 두고 따라 가도록 한다. 만일 벽이 로봇에게서 멀어지면 이 제어기는 오른쪽 모터를 위한 속도값을 증가시켜서 로봇이 다시 벽과 가까워지게 한다. 전방 센서를 위한 제어기(Front Fuzzy Controller)는 진행방향에 존재하는 장애물에 대한 거리를 측정하여 장애물에 가까워질수록 정해놓은 규칙에 의해 모터에 대한 명령값이 변화시켜 장애물의 회피하도록 하였다. 우측 센서를 위한 퍼지 제어기(Right Fuzzy Controller)는 연구의 확장을 위한 것으로 본 연구에서는 사용하지 않았다.

3.2 퍼지 규칙과 소속함수

일반적으로 여러 개의 입력을 가지는 퍼지 논리의 규칙은 다음 예와 같은 형식을 가진다.

IF (Left distance is Near) and (Front distance is Medium) and (Right distance is Far) THEN (Left motor is Medium Positive, Right motor is Small Positive)

이러한 경우에는 로봇의 행동을 제어하기 위한 총 27개의 규칙이 필요하다. 하지만, 다음과 같은 계층적인 퍼지 규칙은 단지 12개의 규칙만이 필요하다.

IF (Left distance is Near) THEN (Left motor is Small Positive, Right motor is Small Positive); IF (Front distance is Near) THEN (Left motor is Small Negative, Right motor is Large Negative); 등 12개

그림 5.은 전방과 좌측 두 센서입력에 대한 퍼지 규칙을 표로 정리한 것이다.

| | Left_Sensor | | | Front_Sensor | | |
|-------------|-------------|----|----|--------------|----|----|
| | NR | MD | FR | NR | MD | FR |
| Left_Motor | SP | SP | MP | SN | SP | SP |
| Right_Motor | ZE | SP | LP | LN | MN | SP |

그림 5. 퍼지 규칙
Fig. 5. Fuzzy Rules

다음 그림 6.은 앞의 두 센서 입력변수에 대한 소속함수의 형태를 나타내고 있다.

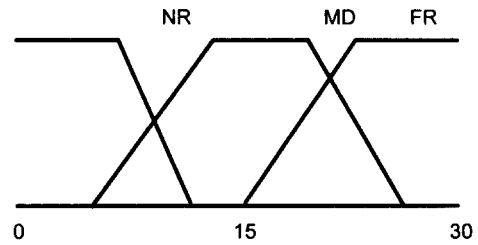


그림 6. 전방과 좌측 센서 입력 변수에 대한 소속함수
Fig. 6. Membership Function for Front and Left Sensor Input

적외선 센서의 경우 비교적 근거리에서는 반응이 좋으나 거리가 멀어질수록 반응의 비 선형성이 강해진다. 그래서 일반적으로는 로그형 증폭기를 사용하지만 여기서는 센서 입력변수의 소속함수의 형태를 치우치게 함으로써 센서값의 비 선형성을 극복하고자 하였다. 퍼지제어기의 출력변수를 위한 소속함수의 정의를 그림 7.에 그래프로 나타내었다. 이 소속함수는 좌측과 우측 모터에 동일하게 적용하였다.

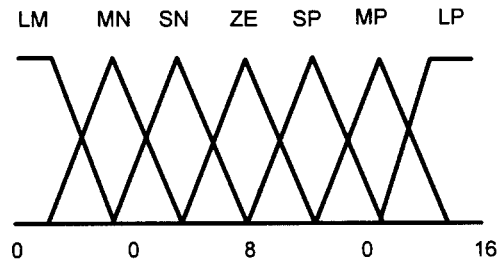


그림 7. 좌우측 모터 출력 변수를 위한 대한 소속함수
Fig. 7. Membership Function for Left and Right Sensor Input

4. 모의 실험과 그 결과

앞에서 설계한 퍼지 제어기를 이용하여 모의실험을 수행하였다. 그림 8.은 그 결과를 나타내었다. 이 동로봇이 자신의 왼쪽에 존재하는 벽을 인식하고 그것을 따라 주행하다가 장애물이 나타났을 때의 상황을 묘사하였다.

그림에서 'ㄱ'자모양의 두 직선은 로봇이 감지하는 벽을 모델링한 것이다. (0, 10)의 좌표(㉠)에서 90

도의 각도를 시작으로 출발한 로봇은 좌측 센서를 이용하여 자신의 왼쪽에 위치한 벽과 일정한 거리를 두고 주행한다(②). 좌측에 감지되던 벽이 갑자기 없어지자 오른쪽 바퀴의 속도가 왼쪽바퀴의 그것보다 상대적으로 커지므로 다시 왼쪽으로 급회전하였다(③). 다시 왼쪽 벽과의 거리를 유지하기 위해 벽으로 접근한다(④). 계속적으로 왼쪽 벽을 따라가던 중에 전방에 벽이 감지되자 전방의 벽이 접근할수록 왼쪽 바퀴의 속도가 증가함으로써 우회전하였다(⑦).

다음 그림 9, 10은 주행 중에 감지된 두 센서값들의 변화를 샘플링 스텝을 가로축으로 나타내었다.

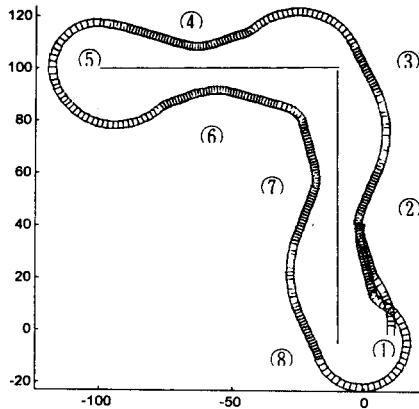


그림 8. 모의실험 결과
Fig. Result of Simulation

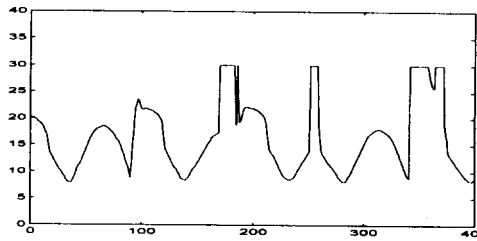


그림 9. 좌측 센서 입력의 변화
Fig. Change of Left Sensor Input

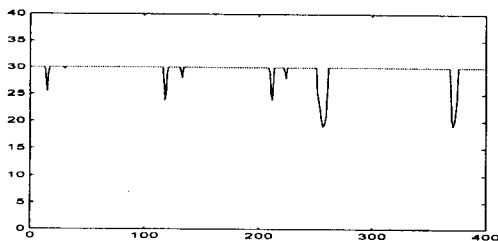


그림 10. 전방 센서 입력의 변화
Fig. Change of Front Sensor Input

5. 결론

기존에 이동로봇의 반응행위(Reactive Behavior)에 적용되었던 수학적 모델링 대신 퍼지 로직의 언어규칙을 로봇에 적용하였다. 수행한 모의실험을 통해 주위의 벽을 감지하여 주행하며 전방에 장애가 되는 벽을 발견하였을 때 회피하는 동작을 인간의 직관적인 언어 규칙을 기초로 하여 작성한 퍼지 코드가 쉽게 적용이 됨을 알 수 있었다. 간단한 알고리즘이며 계층적인 구조의 간편함으로 실시간 적용에 적합한 것으로 생각된다.

6. 향후과제

결과 그림인 그림 8.에서 볼 수 있듯이 국부적으로 오버샷이 존재함을 볼 수 있다. 이를 위한 동적인 소속함수의 조정이 필요하다. 또한, 이번 실험은 이동로봇의 국부적인 주행의 제어에만 초점을 두었지만 목적지의 위치와 각도를 고려한 전역적인 이동로봇의 제어도 계층적인 퍼지 제어기 구조의 확장으로 쉽게 구현될 수 있다. 그리고, 본 연구는 단일 프로세서를 대상으로 한 연구였지만 로봇의 시스템이 커지고 센서의 숫자도 증가하게 되면 핀 수가 적은 4 또는 8bit 마이크로프로세서를 각각의 센서에 또는 센서 그룹에 전담시켜 병렬성을 높일 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 박민용, 김승우, "산업적 활용을 위한 이동로봇 시스템의 개발", 1996.
2. Sug Hong Lian, "Fuzzy Logic Control of an Obstacle Avoidance Robot", IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 26-30, 1996.
3. 정재훈 외, "Fuzzy Algorithm을 이용한 자율 이용 Robot의 운동제어", 대한 전기학회 하계학술대회논문집, pp. 1099-1101, 1994.
4. 채석, 오영석, "퍼지이론과 제어", 청문각, 1995.
5. Alonzo Kelly, "Essential Kinematics for Autonomous Vehicles", Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 1994.
6. Phillip J. McKerrow, "Introduction to Robotics", Addison Wesley, 1992.