

퍼지제어기를 이용한 무인차 항법제어

○  
정학영, 이장규

서울대학교 공과대학 제어계측공학과, 자동화공동연구소

Fuzzy Logic Controller for a Mobile Robot Navigation

Hakyoung Chung, Jang Gyu Lee

Automation and Systems Research Institute & Dep. of  
Control and Instrumentation Eng., Seoul Nat'l Univ.

ABSTRACT

This paper describes a methodology of mobile robot navigation which is designed to carry heavy payloads at high speeds to be used in FMS(Flexible Manufacturing System) without human control. Intelligent control scheme using fuzzy logic is applied to the navigation control. It analyzes sensor readings from multi-sensor system, which is composed of ultrasonic sensors, infrared sensors and odometer, for environment learning, planning, landmark detecting and system control. And it is implemented on a physical robot, AGV(Autonomous Guided Vehicle) which is a two-wheeled, indoor robot. An on-board control software is composed of two subsystems, i.e., AGV control subsystem and Sensor control subsystem. The results show that the navigation of the AGV is robust and flexible, and a real-time control is possible.

1. 서론

무인차는 센서들로부터 입수된 정보를 분석하여 스스로 환경을 인지하고, 주어진 환경에 적용하면서 목표위치를 찾아가는 차량이나 토보트이다. 무인차의 본격적인 사용은 1970년대 중반에 자동차의 조립에 응용되면서 시작되었고 지금은 조립 뿐만 아니라 창고관리 특히 공장자동화에서 공구와 제작 중인 제품들을 운반하는데 응용되고 있다. 무인차의 기능은 여러가지가 있으나 원리적으로는 인간의 제어 없이 임의의 위치에서 출발하여 장애물과의 충돌을 피하면서 최적경로로 목표지점에 도달하는 항법의 일종이다. 무인차의 자율 항법제어시스템은 주어진 내부지도로부터 지형의 특징을 추출하여 최적경로를 결정하는 계획시스템, 근접센서로부터의 정보를 해석하여 환경을 표현하는 환경인지시스템 그리고 효율적인 차량제어를 수행하여 무인차를 목표위치에 도달시키는 제어시스템의 세부분으로 크게 구분된다.

본 논문에서는 계획시스템에 의하여 목표점까지 진행되어야 할 경로가 결정된 것으로 전제하고 항법제어의 기초가 되는 장애물이 있는 복도주행에 대하여 연구하였다. 제어기법으로는 최근 활발히 연구되고 있는 지능제어 기법인 퍼지논리 제어를 이용하였다.

2. 항법기법

초음파센서와 적외선센서를 사용한다. 초음파센서는 벽면 또는 장애물과 무인차간의 거리정보를 제공하며 1.4 m 이내와 물체의와의 각도가 25° 이내인 경우에 신뢰할 수 있는 정보를 제공한다. 적외선센서는 물체의와의 거리정보는 제공하지 못하지만 약 0.5 m이내에 있는 물체의 유무를 감지한다. 또한 무인차에는 접촉센서가 범퍼내에 설치되어 있어 벽이나 장애물과의 충돌시 정지하도록 되어있다.

환경인지시스템에서는 거리센서로부터 들어온 정보를 분석하여 무인차에 주위 환경정보를 제공한다. 항법시스템은 이 정보를 근거로 하여 무인차가 이동해야 할 경로를 결정하고 예상하지 못한 장애물이 있는 경우 충돌을 피하면서 목적지점으로 이동해야 한다. 무인차 주행의 기본 방법은 한쪽 벽면과 평행을 유지하면서 일정거리의 간격을 두고 진행하는 것이다. 항법시스템은 그 기능별로 '평행모드', '위치조정모드', '회피모드', '직진모드'로 구분되며 자율항법제어시스템에서의 구조는 그림 1과 같다.[2]

- 평행모드 : 평행조정은 측면에 설치된 1쌍의 초음파센서의 거리차에 의해 조정되며 평행모드는 처음 기동시와 주행시로 구분하여 무인차를 조정한다.
- 처음 기동시 : 회전운동을 통하여 무인차가 한벽면과 평행이 되도록 하며 평행조정 회전각속도는 지능제어시스템에 의하여 결정된다. 평행조정을 하는 동안 직진속도를 0으로 하여 장애물과 접촉하지 않도록 한다. 처음 평행이 조정된 후의 좌표를 기준좌표로 하여

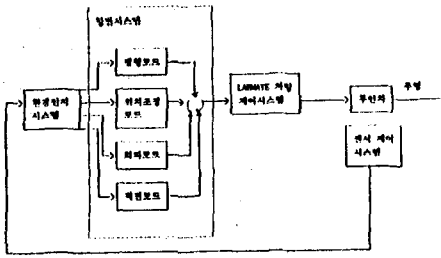


그림 1. 항법시스템 구조

내부 주행기표포계를 조정한다. 이와 같이 조정된 내부 주행기표는 표시점검지(landmark detecting) 전에는 조정되지 않는다. 평행조정이 완료되면 '위치조정'에 의하여 기준 벽면과 일정한 거리가 되도록 이동한다.

- 주행시 : 위치조정에 의하여 기준 벽면과 일정한 거리가 되면 다시 평행조정을 한 후에 '직진모드'에 의해 주행을 시작한다. 지능제어에 의해 주행중 평행모차가 일정범위내에 있는 경우 직진속도를 증가시켜 무인차가 신속하게 주행하도록 하며 평행모차가 한계범위를 넘어서게 되면 속도를 느리게 하면서 평행을 조절한다.

o 위치조정시스템 : 위치조정시스템은 무인차가 기준 벽면 또는 장애물과 항상 일정 거리를 유지하도록 하며 이 방법은 초음파센서의 신뢰할 수 있는 측정거리의 한계가 약 1.4m이므로 공장이나 실험실과 같이 넓은 공간에서 사용하기 적합하다. 벽면과의 거리는 약 70cm를 유지하며 이 거리는 무인차의 폭에 의하여 결정된다. '위치조정'은 우측센서로부터 입력된 거리정보와 초음파센서의 한계 측정각도를 고려하여, 무인차의 내부 주행기 변이량을 이용하여 수행된다.

o 회피모드 : 회피모드는 전방과 양 측면의 센서로부터 장애물이 감지되는 경우 무인차가 이 장애물과 충돌하지 않고 스스로 피하여 갈 수 있도록 한다. 회피모드에서는 장애물이 전방센서에 의해 감지된 경우와 측면센서에 의해 감지된 경우를 구분하여 수행한다.

- 전방센서에 의해 감지된 경우 : 진행방향에 예상하지 못한 장애물이 감지되는 경우 이 장애물이 사람과 같이 일시적인 것인지 고정된 것인지를 판단해야 한다. 따라서 경우 일정시간 정지상태로 대기한 후 장애물이 스스로 없어지면 계속 주행하고 그렇지 않으면 회피동작을 시작한다.

장애물이 전방센서 2개에 모두 감지된 경우 무인차는 장애물의 왼쪽방향으로 회피를 시도한다. 그 이유는 우측벽과는 무인차 폭만큼의 간격을 유지하면서 주행했기 때문에 전방의 우측센서에 감지되면 오른쪽방향으로는 무인차가 피해 나갈 만한 공간적 여유가 없

다고 판단한다.

- 측면센서에 의해 감지된 경우 : 측면센서에 의해 감지된 경우 '평행'과 '위치조정'을 반복 수행하여 측면 장애물과 일정한 거리를 유지하면서 피해하도록 한다. 이 방법은 벽면이 매끄럽지 않고 굴곡이 있는 경우에 무인차가 효과적으로 빠져나갈 수 있도록 한다.

o 직진모드 : 직진모드에서는 '평행'과 '위치조정'이 완료된 후에 무인차를 앞으로 진행시킨다. 직진모드를 수행하는 동안에는 모든 센서로부터 들어온 정보를 분석하여 필요시 '평행', '위치조정', '회피'기능이 수행 되도록 한다.

초음파센서는 물체와의 거리정보를 제공하여 무인차가 주행할 수 있도록 하지만 물체와의 각도에 따라 불안정한 정보를 줄 수 있다. 즉 앞에서 언급한 바와 같이 물체와의 각도가 25° 이상인 경우에는 그 데이터가 신뢰할 수 없다. 따라서 적외선센서, 접촉센서 등을 이용한 멀티센서시스템을 구성하여 무인차가 장애물과 충돌하지 않고 목표지점에 도달할 수 있도록 해야 한다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 3개의 방어영역을 설치하여 물체와의 충돌을 피할 수 있도록 한다.[2]

경계영역(alarm zone) : 초음파센서에 의하여 관리되며 거리는 약 70cm이다. 물체가 경계영역안에 들어오게 되면 무인차는 회피모드에 의하여 천천히 진행 방향 각도를 조정하여 장애물을 피하게 된다.

위험영역(danger zone) : 적외선센서에 의해 관리되며 거리는 약 50cm이다. 초음파센서의 측정각도 한계와 설치위치에 의하여 발견되지 못하는 장애물에 대처하기 위한 방어영역이다. 앞에서 설명한 바와 같이 적외선센서는 약 50cm이내에 있는 물체의 유무를 감지하며 거리정보는 제공할 수 없다. 그러나 초음파센서에 비하여 물체와의 각도에 민감하지 않기 때문에 적외선센서를 사용하여 관리한다. 물체가 위험영역안에 있다는 것이 감지되면 무인차는 회피모드에 의해 진행각도를 크게 조정하여 장애물을 피하게 된다. 회피모드에 의한 진행방향 각도조정의 크기는 지능제어에 의하여 결정된다.

정지영역(dead zone) : 범퍼에 설치되어 있는 접촉센서에 의해 관리된다. 초음파센서와 적외선센서에 의해 감

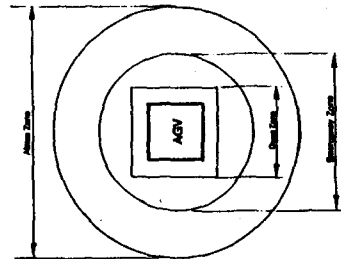


그림 2. 멀티센서를 이용한 방어영역

지되지 못한 장애물과의 충돌시 피해를 최소화하고 계속 주행하여 목표위치에 도달할 수 있도록 하기 위한 영역이다. 무인차의 범퍼가 물체에 부딪히면 급정거를 수행하고 다음 일정거리를 후퇴한 후 초음파센서나 적외선센서로 물체를 확인하면서 회피모드로 장애물을 피한다.

초음파센서와 적외선센서는 위의 방어영역 효과를 최대화할 수 있도록 배치되어야 한다.

### 3. 퍼지논리제어기

자동제어분야에서는 PID형태, 상태공간 접근방법, 확률적(stochastic) 방법, 최적제어, 필터링, 상태추정과 같은 많은 이론적인 접근이 시도되어 왔다. 그러나 기존 제어 알고리즘들은 그 적용 시스템의 정확한 수학적 모델을 구할 수 있어야 하며 그렇지 못한 경우 좋은 성능을 기대하기 어렵다. 무인차는 예상하지 못한 장애물이 많은 환경에서 주행해야 하며 센서측정 데이터에도 많은 불확실성이 포함되어 있다. 또한 주어진 환경이 실제 인지된 환경과는 많은 차이가 있는 경우도 발생할 수 있다. 인간은 이러한 불확실한 상황에서도 주어진 목적을 쉽게 수행할 수 있으나 기존 제어 알고리즘을 이용하여 실시간으로 제어한다는 것은 거의 불가능하다.

퍼지제어는 1965년 Zadeh에 의해 처음 제안된 퍼지어론중 언어적 표현(linguistic approximation)기법을 이용하는 제어방식이며 불확실한 정보와 모호한 상황에서 인간과 같이 논리적으로 해결하기 위한 방법이다. 실제 무인차는 자율적 판단에 의해 스스로 대처할 수 있어야 하며 불확실하고 모호한 정보를 사용하여 인간과 같이 논리적으로 판단할 수 있어야 한다. 퍼지논리제어는 전문가의 지식을 기초로 하며 시스템에 대한 정확한 수학적 모델이 필요없는 제어기법으로 무인차 항법제어에 적합한 기법이다.[7]

무인차와 퍼지논리제어기의 관계를 기능별 블록으로 표시하면 그림 3과 같다. 여기서 e'와 de'는 각각 오차와 오차의 변화율이며 u는 제어출력값이다. 또한 CE, CDE, U는 환산계수이다. 퍼지제어기의 입력이 되는 오차 e'는 항법기법의 각 모드 즉 '평행', '위치조정', '회피' 모드에 대하여 다르게 정의된다. 즉 평행모드에서 e'는 우측 2센서의 벽면까지의 거리 측정값의 차이이며 위치 조정모드에서는 우측센서의 거리 측정값과 내부 주행기의 변이값, 회피모드에서는 각 방향 센서로부터 장애물까지의 거리이다.

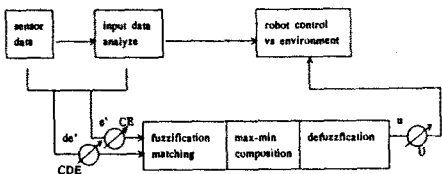


그림 3. 퍼지논리제어기 구조

퍼지제어 규칙은 MacVicar-Whelan이 퍼지제어에 일반적으로 적용하기 위하여 제안한 제어규칙을 사용한다.

각 모드에 적용된 퍼지제어규칙은 동일하며 멤버십함수(membership function)의 크기가 변한다. 퍼지논리 제어기는 다음과 같이 4단계 과정에 의한다.[7]

- i) 거리센서 또는 내부 주행기로부터 오차 e'와 오차의 변화율 de'를 구한다.
- ii) 오차 e'와 오차의 변화율 de'는 멤버십함수에 의하여 퍼지화하며, 본 연구에서는 삼각형 형태의 멤버십함수를 사용하여 입력데이터를 정량화하였다.
- iii) 추론합성법칙(composition rule of inference)은 최대-최소 합성법(max-min composition)을 사용하며 제어규칙에 ii)에서 구한 멤버십함수를 대입하여 다음과 같이 퍼지관계(Fuzzy relation)의 멤버십함수를 구한다.

$$\mu R(ei, dei, ui) = \max_{j=1}^N \{ \min \{ \mu(ei), \mu(dei), \mu(ui) \} \} \quad (1)$$

여기서  $\mu$ 는 멤버십함수이며 N은 제어규칙의 수이다.

식 (1)의 퍼지관계 멤버십함수와 ii)에서 구한 오차와 오차의 변화율의 멤버십 함수로부터 퍼지제어출력은 다음과 같이 구해진다.

$$\mu(ui) = \max_{e, de} \{ \min \{ \mu(ei), \mu(dei), \mu R(ei, dei, ui) \} \} \quad (2)$$

$\mu(ui)$ 는 오차와 오차의 변화율이 각각 ei, dei 인 경우의 출력제어값의 멤버십함수이다.

- iv) 실제 시스템에 적용되는 제어출력은 크리스프(crisp)한 값이어야 하므로 식 (2)에서 구한 퍼지제어출력의 멤버십함수로부터 제어출력을 비퍼지화해야 한다. 추론된 퍼지 집합에서 대표값  $U_i$ 를 구하는 방법은 식 (3)의 무게중심법을 사용한다.

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^N (ctr_j) * (membership\ value_j)}{\sum_{j=1}^N membership\ value_j} \quad (3)$$

여기서 ctr j는 j번째 퍼지규칙의 결론부에서 멤버십 함수값이 최대가 되는 제어출력이다.

이상과 같은 퍼지제어규칙을 평행모드에 대하여 예로 들면 다음과 같다. 먼저 언어적 표현에 의한 제어규칙은 아래와 같다.

제어규칙 i : 우측 두센서의 거리 측정값의 오차가 PB이고 오차의 변화율이 NB이면 무인차는 각속도를 ZO로 하여 회전한다.

제어규칙 i+1 : 우측 두센서의 거리 측정값의 오차가 PB이고 오차의 변화율이 ZO이면 무인차는 각속도를 PM으로 하여 회전한다.

여기서 오차, 오차의 변화율 그리고 제어출력은 그림 4와 같은 멤버십 함수를 갖는다.

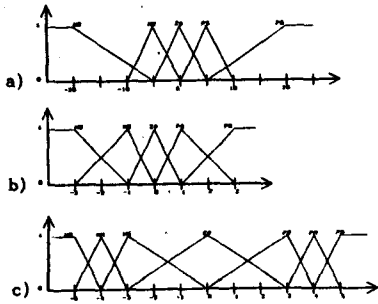


그림 4. 평행모드에서 사용하는 멤버십함수

a) 오차 b) 오차의 변화율 c) 제어출력

여기서 PB : Positive Big, PM : Positive Medium

PS : Positive Small, ZO : Zero

NM : Negative Medium, NS : Negative Small

NB : Negative Big

4. 실험결과 및 성능분석

퍼지논리제어기법을 이용한 무인차는 불규칙한 환경에서도 장애물과 충돌하지 않고 성공적으로 목표지점에 도달한다. 그림 5는 우측 벽면에 굴곡이 있는 경우에 무인차가 장애물을 피하면서 목표지점에 도달하는 것을 보여준다.

주행중 장애물이 감지되지 않으면 빠르게 이동하며 우측 초음파센서에 의해 벽면의 장애물이 감지되면 속도를 느리게 하고 장애물과 평행을 맞춘다. 평행을 맞추는 동안 무인차는 주행을 계속하며 평행조정이 완료되면 위치조정예 의해 장애물과의 거리를 일정하게 유지하며 주행한다. 이와 같이 무인차는 측면에 장애물이 있는 경우 평행조정과 위치조정을 반복 수행하여 장애물과 충돌하지 않고 목표위치에 도달하게 된다.

이상의 무인차제어는 실시간으로 제어된다.

5. 결론

초음파센서, 적외선센서로부터 들어온 정보들을 효과적으로 분석하는 멀티센서시스템을 구성하고 이 시스템을 무인차 항법제어시스템에 연동하여 스스로 장애물을 피하여 목표지점에 도달하는 기초적인 항법제어기법을 제시하였다.

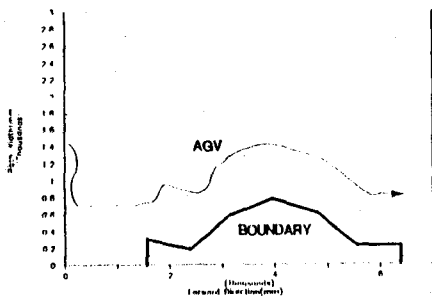


그림 5. 굴곡이 있는 벽면을 따라 주행하는 무인차 경로

주행시험 결과에 의해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 멀티센서시스템에 의해 비교적 단순한 장애물이 있는 환경의 인지가 가능하다.
- 불규칙한 환경의 변화에도 적응하여 적절히 대응할 수 있다.
- 퍼지논리제어기는 센서정보의 오차와 불확실성에 대해서도 안정된 제어를 수행한다.
- 퍼지논리제어는 애매한 정보에 대한 자세한 분석이 필요하지 않으므로 제어기 설계가 간단하고 시간이 적게 소요된다.
- 퍼지논리제어는 복잡한 계산없이 환경에 대하여 단순하게 대응하는 방법이므로 실시간제어가 가능하다.

무인차 항법기법은 병원내에서의 물자 수송, 사무실 문서관리, 건물청소 로봇 제어, 자동차 자동 주차시스템 등 여러 분야에 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] M. H. Soldo, "Reactive and preplanned control in a mobile robot," *Proc. 1990 IEEE Conf. of Robotics and Automation*, pp. 402-406, 1990.
- [2] M. J. Mataric, "Environment learning using a distributed representation," *Proc. 1990 IEEE Conf. of Robotics and Automation*, pp. 1128-1132, 1990.
- [3] A. M. Flynn, "Combining sonar and infrared sensors for mobile robot navigation," *Int'l J. of Robotics and Research*, 1988.
- [4] J. L. Crowley, "World modelling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging", *Proc. 1989 IEEE Conf. of Robotics and Automation*, pp. 674-680, 1989.
- [5] W. Pedrycz, *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*. Taunton: Research Studies Press, 1989.
- [6] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, Part II," *IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, 1990.
- [7] E. H. Ruspini, "Fuzzy logic in the flakey robot," *Proc. Int'l Conf. on Fuzzy logic & Neural Networks*, pp. 13-26, 1990.