

퍼지를 이용한 자율 이동 로봇의 이동 경로 추종 및 고속 정밀 제어

Moving Path following and High Speed Precision Control of Autonomous Mobile Robot Using Fuzzy

이원호, *이형우, **김상헌, ***정재영, 노태정

부경대학교 메카트로닉스자동화정보공학과, *부경대학교 제어계측공학과,

동명정보대학교 컴퓨터공학과, *동명정보대학교 메카트로닉스공학과

Won-ho Lee, *Hyung-woo Lee, **Sang-Heon Kim, ***Jae-young Joung, Tae-jung No

Dept. of Mechatronics Engineering, *Dep. of Control and Instrumentation
Engineering, Pukyong National University

Dept. of Computer Engineering, *Dept. of Mechatronics Engineering,
Tongmyong University of Information Technology

요 약

E-mail : apursuer@dreamwiz.com

일반적인 이동 로봇의 주된 관심은 경로 생성과 생성된 경로 추종에 있다. 그러나 일부 고속의 이동성이 필요로 하는 로봇의 경우 동역학적 제한 조건이 존재하며, 이러한 제한 조건 내에서 원하는 움직임에 대한 제어가 요구된다. 본 논문에서 환경 지도를 가지고 있지 않은 상태, 즉 미지의 환경에서 이동 로봇의 경로 추종에 있어서 빠른 이동시에 발생할 수 있는 이동 로봇의 미끄러짐이나 전복 현상을 막기 위해 이동 로봇의 동역학적 제한 조건을 퍼지 논리를 이용하여 기준 속도를 변화시켜 안전하고 빠른 경로 추종 성능을 얻고자 하였다.

특히, 라인 추종 이동 로봇을 모델링하여 실시간으로 변화하는 목표점에 대한 추종 제어를 설계하고 퍼지 최적 속도 제한 제어를 통해 연속적으로 변화하는 라인에 대해서 지능적으로 로봇이 변화하는 라인에 대해서 지능적으로 로봇의 속도를 제한하여 안정적인 추종 성능을 발휘함을 확인하였다.

keyword : Mobile Robot, Navigation Algorithm(주행알고리즘), Fuzzy control technique(퍼지제어기법), 근접센서

1. 서론

이동 로봇의 경로 생성(path planning)과 경로 추종(path tracking)은 많은 연구가 진행되어 왔으며 이를 이용한 장애물 회피(avoid obstacle)에 관한 다양한 방법들이 제시되고 있다. 연구용 및 산업용으로 개발되는 이동 로봇 뿐만 아니라 가정용 또는 오락용으로의 로봇 개발이 활성화 되면서 로봇의 이동 성능 향상을 위한 동역학적인 제한 조건을 고려하여 최적의 이동 성능을 끌어내기 위한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 일반적인 두 바퀴 이동 로봇(2 wheel mobile robot)에 대한 동역학적 모델링을 통해

제한 조건을 구하고, 추종 제어기의 속도 출력을 퍼지 속도 제한 제어기의 입력으로 하여 회전 운동 시에 발생할 수 있는 미끄러짐이나 전복 현상을 막고 직선 운동 시에는 빠른 속도로 이동할 수 있도록 하는 것이 목표이다.

경로 추종을 위해서는 로봇이 이동하고자 하는 경로가 추종 목표로 설정되어야 한다. 본 연구에서는 어떤 외부 환경의 기하학적 지도를 가지고 있지 않은 상태에서 적외선 센서를 이용한 라인 추종 이동 로봇에 퍼지 추종 제어기와 퍼지 속도 제한 제어를 적용하였다.

라인 추종 이동 로봇은 명암 차이가 확연한 바닥과 라인에 적외선을 방출하여 이에 반사되는 적외선의 양을 적외선 수광 센서를 이용하여 받아 들어 라인의 위치를 알아내고 로봇 적외선 센서 중심과 라인과의 위치 차이를 오차 값으로 하여 양 모터의 속도를 제어함으로써 라인을 따라 가도록 하는 로봇이다. 이러한 라인 추종 이동 로봇의 빠른 이동을 위해서는 특히 적외선 센서 처리 기술이 중요하다. 센서부 중심과 라인과의 위치 오차를 제어기의 입력으로 사용하기 위해서 가중치를 부여하여 평균을 내는 방법인 WAM(Weight Average Method) 을 제안하고 이를 이용하였다.

퍼지 라인 추종 제어기는 WAM을 통해 얻은 오차 값과 오차 값의 미분된 값(현재값-이전값)을 입력으로 이용하여 설계하였다. 이 두 입력에 대한 멤버십 함수를 결정하고 퍼지화-퍼지추론-비퍼지화 과정[그림 1]을 통해 모터 속도 변화비를 출력으로 얻는다.

퍼지 최적 속도 제한 제어기에서는 두 모터의 속도를 입력으로 하여 제한된 모터 속도를 출력으로 한다. 역시 퍼지화-퍼지추론-비퍼지화 과정[그림 1]을 거쳐서 출력을 얻어낸다.

이렇게 얻어진 최종 모터 속도를 라인 추종 이동 로봇의 모터에 적용하게 된다. 이러한 두 가지의 퍼지 제어기를 통해서 곡선에서는 속도를 줄이고 직선에서는 속도를 높여 최적화된 고속 추종 주행이 가능하게 된다.

본 논문에서 제안한 퍼지 제어기를 실제 라인 추종 이동 로봇에 적용하여 추종 성능을 확인하였다.

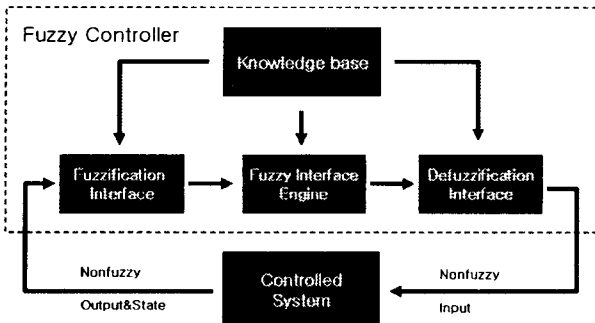


그림 1. 퍼지 제어기의 기본 구조

2. 라인 추종 이동 로봇의 기구학

그림 2는 자체 제작된 이동 로봇 MECHAPIA M-04이다. 두 개의 스테핑 모터로 각 바퀴를 구동하며 보조 바퀴로는 핀치 롤러를 이용하였다. 로봇의 실제 움직임을 파악하기 위해 RF 무선 통신 또는 유선 RS-232C 시리얼 통신을 통하여 센서 값의 변화와 양 바퀴의 속도 변화를 데이터로 받을 수 있도록 구성하였으며, 라인 추종을 위해 적외선 센서 5개가 전면 센서 보드에 있다.

그림 3은 M-04의 라인 추종 시뮬레이션을 위한 기구학적 파라미터들을 표시하였으며 <표 1>은 각 파라미터에 대한 설명이다.

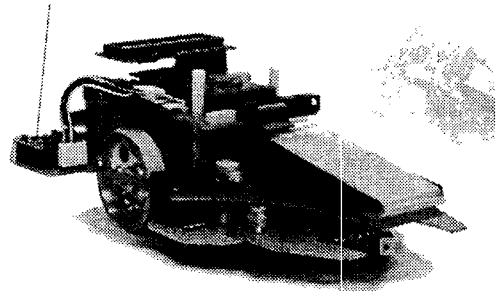


그림 2. 이동 로봇 MECHAPIA M-04

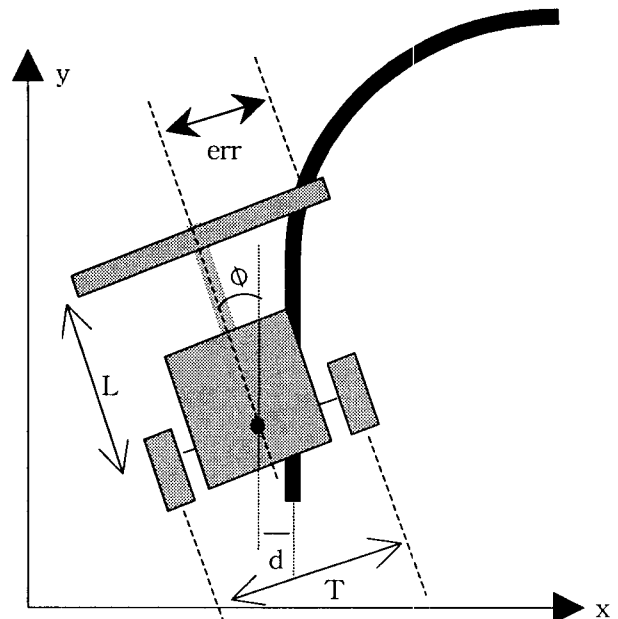


그림 3. M-04 기구학적 파라미터

err	추종 목적점과 센서 중앙과의 오차
Φ	이동 로봇의 각 오차
d	이동 로봇의 거리 오차
T	두 바퀴 사이의 거리
L	센서부와 회전축과의 거리

표 1. 기구학적 파라미터에 대한 설명

로봇 중심에서의 선속도와 각속도는 다음과 같이 구해진다.

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} \quad (1)$$

$$w = \frac{V_R - V_L}{T}$$

라인 추종 이동 로봇에서 T와 L이 추종 성능에 미치는 영향력은 매우 크다. 이에 대한 영향을 확인하기 위해 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 확인하였다.

3. 퍼지 라인 추종 제어기

라인 추종을 위해서 식의 변수 e와 de에 대해 그림 1과 같은 멤버십 함수를 구성하고 퍼지화를 시킨

다. 이때 e 를 얻기 위해서 센서의 전압을 ADC를 통해 얻은 광량 값을 오차 각으로 변환하는 기법이 요구되는데 본 논문에서는 자체 개발한 가중치 부여 평균법인 WAM(Weight Average Method) [식2]를 제안한다.

$$e = \frac{\sum_{j=1}^n w_j \cdot v_j}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (\text{단, } e \neq \emptyset) \quad (2)$$

- e : 각 오차
- w : 센서 가중치
- v : 정규화 된 센서값
- n : 적외선 센서의 수

추종 제어기에 사용된 멤버십 함수는 그림 4, 이며 퍼지 규칙은 <표2>와 같다. 식 3의 PD 제어기의 목표치 중심의 심한 흔들림과 수렴 과정에서의 D 제어[식3]에 따른 음의 영향을 막을 수 있도록 규칙을 설계했다.

$$\begin{aligned} V_R &= V - K_p \cdot e - K_d \cdot \dot{e} \\ V_L &= V + K_p \cdot e + K_d \cdot \dot{e} \end{aligned} \quad (3)$$

언어 변수인 'err', 'derr' 그리고 'out'의 언어항은 각각 {NB, NM, ZO, PM, PB}, {DNB, DNM, DZO, DPM, DPB}, {N5, N4, N2, N1, Z, P1, P2, P3, P4, P5}이다. 입력 변수와 출력 변수의 멤버십 함수는 그림 4, 5 그리고 6과 같다.

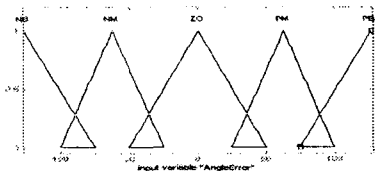


그림 4. WAM 결과 err에 대한 멤버십 함수

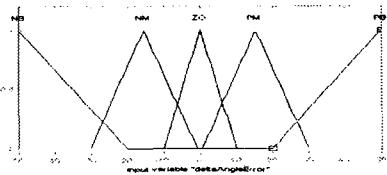


그림 5. WAM 결과 derr에 대한 멤버십 함수

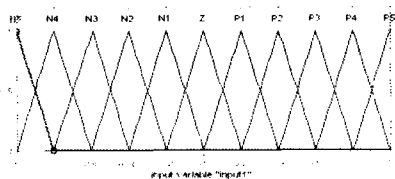


그림 6. 출력에 대한 멤버십 함수

퍼지 추론 과정은 Max-Min법을 사용하였으며 비퍼지화(Defuzzification) 과정은 무게 중심법(Center of Mass)을 사용하였다. 출력 결과 값[그림 7]은 모터 속도 상수인 K_f 이다. 속도 상수 K_f 를 이용한 양 바퀴 모터의 속도[식4]는 퍼지 최적 속도 제한 제어기의 입력으로 사용된다.

$$\begin{aligned} V_R &= V - K_f \cdot e \\ V_L &= V + K_f \cdot e \end{aligned} \quad (4)$$

err derr	NB	NM	ZO	PM	PB
DNB	N5	N4	N2	P1	P3
DNM	N5	N3	N1	P2	P3
DZO	N4	N2	Z	P2	P4
DPM	N3	N2	P1	P3	P5
DPB	N3	N1	P2	P4	P5

표 2. 퍼지 라인 추종 제어기 퍼지 규칙

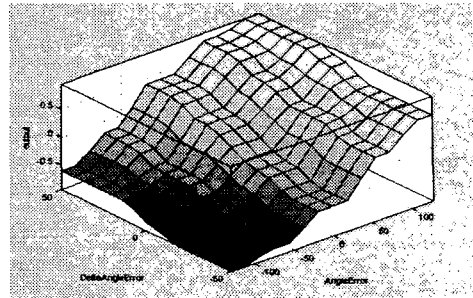


그림 7. 퍼지 라인 추종 제어기 제어 표면

4. 퍼지 최적 속도 제한 제어기

이동 로봇이 빠른 속도로 추종할 시에 미끄러짐과 전복 현상을 막기 위해서 속도 제한이 필요할 수 있다. 이러한 속도 제한 조건을 구하기 위해 로봇에 작용하는 힘의 작용을 그림 5에서와 같이 표현하고 식 5와 같은 제한 조건을 구할 수 있다. 이 때 실제 제한 속도는 로봇의 마찰력과 질량, 무게 중심의 높이 등의 예도 사용된 모터의 구동 능력(해당 속도에 따른 토크)에 따라 결정된다. 본 연구에서 사용된 로봇 M-03의 경우 스테핑 모터를 이용하였으며 스테핑 모터의 경우 고속 회전 시에 토크 특성이 급격히 떨어지는 것을 감안하여 급격한 회전 시에 탈조가 나지 않는 수준의 속도를 제한 조건으로 하였다. 본 연구에서 사용한 스테핑 모터는 Shinano Kenshi 사의 SST42HD1100이다. 그림 8과 그림 9는 각각 속도 제한기의 입력(양 바퀴 속도)과 출력(제한 속도)에 대한 멤버십 함수이며, <표 3>은 퍼지규칙, 그림 10은 제어면을 나타내었다.

$$|vw| \leq \sqrt{(\mu mg)^2 - A_m^2} = R_{m1} \quad (5)$$

$$|vw| \leq \frac{L}{2h}g = R_{m2}$$

$$|vw| \leq R_m = \text{MAX}(R_{m1}, R_{m2})$$

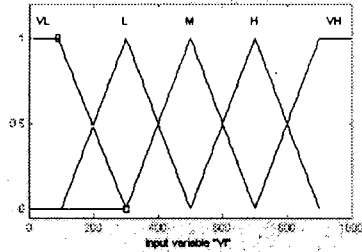


그림 8. 최적속도제한기 입력 퍼지 집합

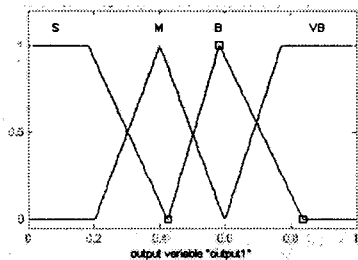


그림 9. 최적속도제한기 출력

V_r \ V_l	VL	L	M	H	VH
VL	VB	VB	VB	OM	S
L	VB	VB	VB	OM	OM
M	VB	VB	VB	B	B
H	OM	OM	B	VB	VB
VH	S	OM	B	VB	VB

표 3. 최적 속도 제한기 퍼지규칙

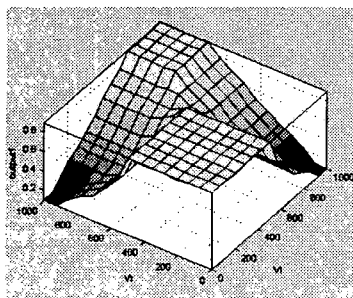


그림 10. 퍼지 속도 제한기 제어 표면

5. 실제 구현 및 결과

퍼지 라인 추종 제어기의 성능 확인을 위해 실제 검정색 바탕에 흰색으로 구성된 라인을 구성하여 주행했을 때 로봇의 위치 변화를 확인하였다. 로봇에 RF 무선 통신 기능을 장착하고 이를 PC에서 RS-232C 시

리얼 통신으로 수신 후 그 데이터를 이용하여 경로를 생성하였다. 그림 11과 같이 정확한 라인 추종 성능을 보여주고 있음을 확인 할 수 있다.

이와 동시에 기준 속도를 설정한 후 주행했을 시에 회전 시에 퍼지 최적 속도 제한기에 의해 감속하여 회전함을 확인 할 수 있었다.

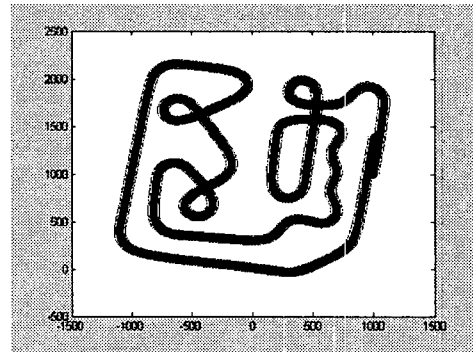


그림 11. 퍼지 제어를 이용한 주행 결과

잘못된 멤버십 함수로 인한 과도한 보정 출력으로 인해 발생한 잘못된 보정 성능을 보여준다. 반면 적당한 멤버십 함수를 선정했을 경우 그림 10와 같은 안정된 성능을 발휘함을 확인했다.

6. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 퍼지 제어를 이용한 추종 제어기 및 속도 제어를 구성하였고 이를 이용하여 라인 추종 로봇에 적용하여 보았다. 물론 이러한 제어기는 퍼지 제어를 사용하지 않더라도 구현할 수 있으며 본 논문에서와 같이 두 개의 제어기를 이용하지 않고 한 개의 제어기로도 원하는 성능을 발휘하도록 설계할 수도 있을 것이다. 그러나 본 연구를 통해 퍼지 제어기의 비선형 시스템의 제어 성능을 확인 할 수 있었으며, 미지의 환경에서의 이동 로봇의 추종 제어기 적용이 매우 효과적임을 보여주었다.

7. 참고문헌

- [1] Jyh-Shing Roger Jang, Chuen-Tasi Sun, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall International, Inc, 1997
- [2] 김용수, "MATLAB 입문과 활용", 높이깊이, pp 15-367, 2002
- [3] 이상배, "퍼지-뉴로제어 시스템", 교학사, pp. 3-108, 1999.
- [4] 김은석, 주기세, "퍼지를 이용한 자율이동로봇의 이동경로 추종", 한국정밀공학회지 제17권 제5호, 2000.
- [5] 강훈, 심귀보, "지능 정보 시스템", 대영사, pp 1-60, 2001.
- [6] 김종환, "로봇축구 시스템", 대영사, 2000
- [7] 변중남, "퍼지 논리 제어", 홍릉출판사, 1997