

바퀴형 이동로봇의 LMI기반 퍼지 제어

최현의, 김태규, 박승규, 윤태성
국립창원대학교 전기공학과

LMI-Based Fuzzy Control for Wheeled Mobile Robot

Hyun-Eui Choi, Tae-Kue Kim, Seung-Kyu Park, Tae-Sung Yoon
Department of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea

Abstract - Wheeled mobile robot has different mobility and steerability which determined by type of wheel and it's arrangement. Generally wheeled mobile robot's dynamics are nonlinear and various control methods have studied to control the mobile robot efficiently. In this paper, a T-S fuzzy modeling of a 2-wheeled mobile robot is made and a stable LMI-based state feedback fuzzy controller is designed and applied to the position control of the mobile robot for the reference trajectory following. Also, the verification of the designed controller is done by computer simulation.

이동로봇의 제어입력에 해당하는 $(v, \dot{\theta})$ 에 대한 운동방정식은 다음과 같다. [1]

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad (2)$$

위 식을 통해 이동로봇이 비선형 계통임을 알 수 있다. 본 논문의 제어 목적은 식 (2)에서의 상태 변수 (x, y) 를 제시된 기준궤적(reference trajectory) (x_r, y_r) 를 추적하게 하는 것이다.

1. 서 론

바퀴형 이동로봇은 공간의 높은 이동성을 이용해 공장자동화, 사무자동화, 무인탐사 등의 다양한 분야에 적용될 수 있는 장점을 가지고 있다. 이동로봇의 동특성은 조향성과, 이동성의 조합을 통해 로봇을 구조별로 분류할 수 있고 각각의 구조별로 다른 동특성을 가지게 된다.[1]

이동로봇의 동특성들은 비선형의 형태를 띠게 되어 동적 불확실성을 가지게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 LMI 기반의 퍼지 제어를 이용하여 이러한 문제를 해결하는 연구를 수행하였다. LMI 기반의 퍼지 제어기는 시스템의 비선형적인 특성들을 여러 개의 선형 시스템으로 분할하고 시스템들 각각에 대한 안정적인 제어를 설계하여 최종적으로 퍼지적인 결합을 통해 비선형성을 가진 시스템을 안정적으로 제어하게 된다.[2] 본 논문에서 설계된 퍼지 제어기가 이동로봇을 안정적으로 제어함을 보여주기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 미리 정해진 기준궤적과 이를 추종하는 로봇의 이동 궤적을 비교하는 방식으로 진행 하였다.

2.2 LMI 기반의 퍼지 제어기 설계

연속 시간 영역에서 퍼지시스템은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

Model rule i :

If $z_1(t)$ is M_{i1} and ... and $z_p(t)$ is M_{ip}

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) = C_i x(t) \end{cases} \quad (3)$$

여기서, $i = 1, 2, \dots, r$

이 경우 퍼지 시스템 및 제어기의 추론식들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) A_i x(t) + B_i u(t)}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} \\ &= \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) A_i x(t) + B_i u(t) \end{aligned} \quad (4)$$

$$u(t) = \frac{\sum_{j=1}^r w_j(z(t)) u_j(t)}{\sum_{j=1}^r w_j(z(t))} = \sum_{j=1}^r h_j(z(t)) u_j(t) \quad (5)$$

위 (4), (5)식의 연속 퍼지제어 시스템에 대해 i 번째 안정된 피드백 제어 입력을 (6)식 과 같이 가정할 경우 다음 식 (7)의 조건에 만족하는 양한정 행렬 P가 존재하면 Liapunov 안정도를 만족하게 된다.

$$u_i = -F_i x(t) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} G_{ii}^T P + P G_{ii} &< 0, \\ \left(\frac{G_{ij} + G_{ji}}{2} \right)^T P + P \left(\frac{G_{ij} + G_{ji}}{2} \right) &< 0 \\ (i < j \leq r \text{ s.t. } h_i \cap h_j \neq \emptyset), (G_{ji} = A_i - B_i F_j) & \quad (7) \end{aligned}$$

위의 식 (7)에서 P⁻¹를 양변의 좌우에 곱할 경우 다음 식 (8)과 같이 다시 쓸 수 있다.

2. 본 론

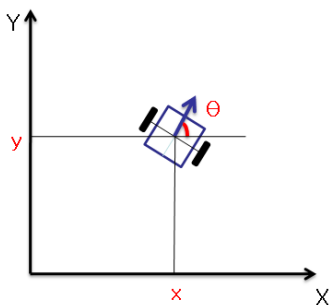
2.1 이동로봇의 운동 모델

대상이 되는 이동로봇이 평면상에 존재한다고 가정할 때 로봇의 자세 P는 다음 식 (1)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

이 때 로봇의 중심점의 좌표를 (x, y) 로 나타내고 로봇의 구동축의 성분과 수직인 가상 선과 X 좌표와의 각도차를 θ 로 정의 한다.

로봇은 그림 1과 같이 회전축이 고정된 두 개의 구동 바퀴를 가지는 형태로 로봇의 구동축 중간에 로봇의 중심점이 존재하게 된다.



<그림 1> 이동로봇의 좌표계

$$P^{-1}A_i^T + A_iP^{-1} - M_j^TB_i^T - B_iM_j < 0 \quad (8)$$

$$(M_j = F_jP^{-1})$$

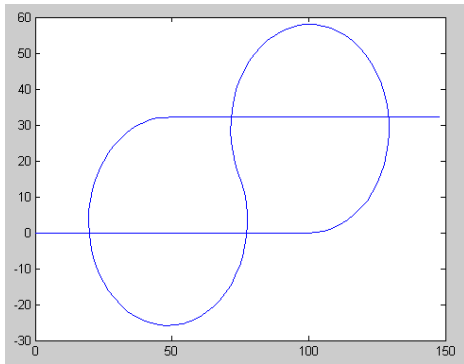
위의 식 (8)에서 i 번째 룰에 적합한 게인 $F_i (= F_j)$ 를 찾아내는 것은 LMI문제므로 Matlab을 이용하여 컴퓨터상에서 쉽게 구해 낼 수 있다.

2.3 LMI기반의 퍼지 제어기를 통한 이동로봇의 위치 제어

시뮬레이션을 위해 기준 궤적을 정하기 위한 기준 값들을 표 1과 같이 나타내었고 이때의 기준 궤적을 그림 2에 나타 내었다.

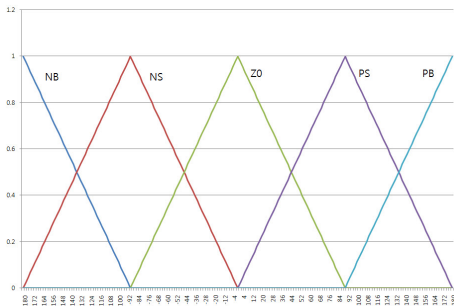
<표 1> 시간에 따른 기준 값

시간 [sec]	0~5	5~10	10~15	15~20
v_r [cm/sec]	20	30	30	20
w_r [deg/sec]	0	59.3	-59.3	0



<그림 2> v_r, w_r 에 의한 기준궤적

이동 로봇의 동특성 방정식 식 (2)에서 비선형 요소를 선형화하기 위해 θ 를 아래 그림 3과 같은 멤버쉽 함수를 갖는 퍼지 집합으로 설정하여 5개의 선형 시스템 모델을 이끌어 내었다.



<그림 3> θ 에 대한 멤버쉽 함수

이 때 5개의 퍼지 집합에서 $\theta[^\circ]$ 에 대한 대표 값들은 표 2와 같다.

<표 2> 각 퍼지 집합의 대표값

NB	NS	ZO	PS	PB
-180	-90	0	90	180

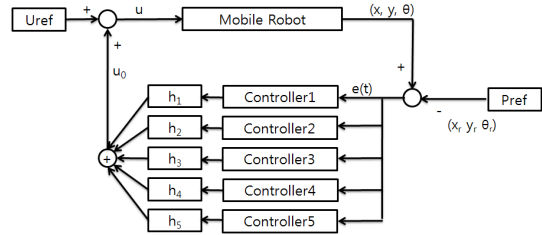
표 2에 나타난 각 퍼지 집합의 대표 값 들을 이용한 5개의 부(sub) 선형 모델에 대한 계수 행렬들은 다음 식 (9) 와 같이 표현 될 수 있다.

$$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = 0$$

$$B_1 = \begin{pmatrix} \cos(-180^\circ) & 0 \\ \sin(-180^\circ) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} \cos(-90^\circ) & 0 \\ \sin(-90^\circ) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, B_3 = \begin{pmatrix} \cos(0^\circ) & 0 \\ \sin(0^\circ) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

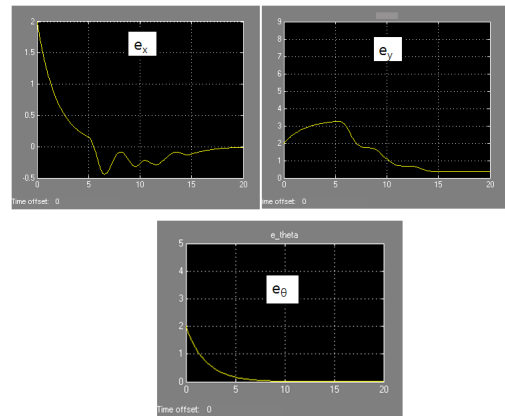
$$B_4 = \begin{pmatrix} \cos(90^\circ) & 0 \\ \sin(90^\circ) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, B_5 = \begin{pmatrix} \cos(180^\circ) & 0 \\ \sin(180^\circ) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

식 (9)의 5개의 선형 시스템의 결합으로 표현된 전체 퍼지 시스템에 대한 안정한 제어기의 게인 $F_i (i=1, \dots, 5)$ 를 계산해 내는 것은 LMI 계산을 통해 풀어 낼 수 있고, 이에 대한 퍼지 제어 시스템의 블록다이어그램을 그림 4에 나타내었다. 이 때 h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 는 각 부 시스템에 대한 소속정도로 그림 3을 통하여 구해낼 수 있다.

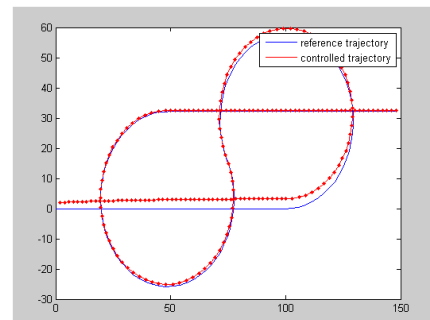


<그림 4> LMI 기반 퍼지 제어기의 블록 다이어그램

초기값을 $(x_0, y_0, \theta_0) = (2[cm], 2[cm], 2[^\circ])$ 로 설정하고 시뮬레이션 한 결과를 아래 그림들에 나타내었다. 그림 5는 이때의 각 상태변수에 대한 오차 그래프를 나타낸 것이고, 그림 6은 기준 궤적(실선)과 퍼지 제어기를 이용해서 얻어진 이동 로봇의 경로(점선)를 나타낸 것이다.



<그림 5> 각 상태 변수에 대한 오차 그래프



<그림 6> 시뮬레이션 결과

3. 결 론

논문에서는 이동 로봇의 궤적 추적 문제를 위하여, 먼저 비선형적인 이동로봇 시스템을 5개의 선형 모델로 퍼지 모델링을 수행한 후 이를 이용하여 LMI 기반의 안정된 상태 피드백 제어기를 설계하였다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 이동 로봇이 설계된 제어기에 의해 안정적으로 제어됨을 보여주었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Guy Campion "structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol 12, No. 1, FEB. 1996
- [2] Kazuo Tanaka, Hua O. Wang "Fuzzy control system Design and analysis", John Wiley & Sons, 2001