

퍼지 논리 제어기 설계와 도립 진자에의 적용

방 성운*, 고 재호*, 유 창완*, 배 영철**, 임 화영*

* 광운대학교 제어계측공학과, ** 산업 정보 기술원

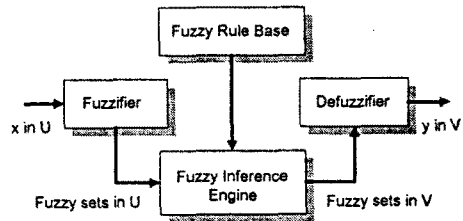
Design of Fuzzy Logic Controller and Its Application to Inverted Pendulum

Bang Sung-Yun, Ko Jae-Ho, Ryu Chang-Wan, Bae Young-Chul, Yim Hwa-Yeoung

* Dept. of Control & Inst. Eng. Kwangwoon Univ. ** KINIFI

Abstract - Fuzzy cotroller design consists of intuition, and any other information about how to control system, into a set of rules. These rules can then be applied to the system. If the rules adequately control the system, the design work is done well. If the rules are inadequate, the designer must modify the rules. Through this procedure, the system can be controlled. In this paper, we design fuzzy cotroller composed of two parts, one is balancing cotroller, the other is angle cotroller.

지값을 추론하는 추론 엔진(Inference Engine), 추론 과정에서 이용되는 규칙 기반(Rule Base), 규칙 기반을 구성하는 IF-THEN 규칙, 퍼지값을 다시 정량적인 값으로 바꾸어주는 비퍼지화기(Defuzzifier)로 나누어진다. 퍼지화기, 추론 엔진 비퍼지화기는 여러 가지가 제시되어 있지만 Singleton 퍼지화기, Product 추론 엔진, Center Average 비퍼지화기가 보편적이다.



<그림 1.> 퍼지 시스템

1. 서 론

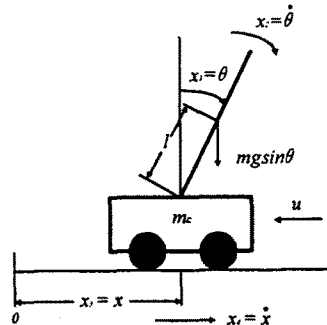
퍼지 제어 시스템은 제어 대상체로부터 발생하는 일련의 동작들을 제어하기 위한 퍼지 규칙의 집합체로 구성된 시스템이다. 일반적으로 모델이 복잡하거나 비선형등으로 복잡한 시스템에 경험이나 직관등에 의해 규칙을 언어 변수로 표현할 수 있으며 제어 대상 시스템의 수학적 모델링이 필요하지 않는다는 이유로 간단히 적용할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 균형 제어기와 각도 제어기로 구성된 간단한 퍼지 논리 제어기(FLC)를 설계하여 성능을 평가하기 위해 도립 진자를 이용하였다.

2.2 도립 진자 시스템

도립 진자의 제어의 목적은 진자를 도립된 상태로 원하는 위치에 놓이도록 하는 것이다. 도립 진자 제어 시스템은 비선형 시스템의 전형적인 예로서 제어 이론의 성능을 입증하는 플랫폼으로 많이 이용되고 있다.

2. 본 론

고전 제어에서는 프로세스를 수학적으로 모델링하여 그 모델을 해석하여 제어를 하였으나 복잡한 플랜트일수록 수식 표현의 어려움이 있었다. 따라서, 근래에는 인간의 경험, 전문가의 지식등을 기반으로하여 플랜트를 제어하려는 연구가 진행되고 있다.



<그림 2.> 도립 진자 시스템

2.1 퍼지 시스템

퍼지 시스템은 <그림 1.>에서 보는 바와 같이 정량적인 입력을 퍼지화하는 퍼지화기(Fuzzifier), 퍼

시스템의 상태 방정식은 다음과 같다.

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \frac{g \sin x_1 - \frac{m l x_2^2 \sin x_1 \cos x_1}{m_c + m}}{l \left(\frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 x_1}{m_c + m} \right)} - \frac{\cos x_1}{m_c + m} \cdot \frac{m l x_2^2 \sin x_1 \cos x_1}{m_c + m}$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

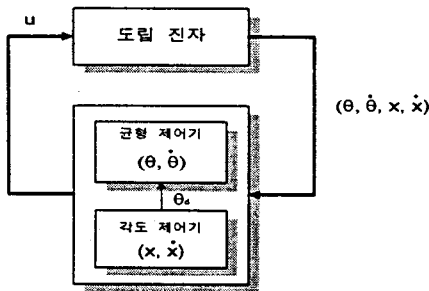
$$\dot{x}_4 = \frac{m l x_2^2 \sin x_1 - m l \dot{x}_2 \cos x_1}{m_c + m} + \frac{1}{m_c + m}$$

x_1	진자의 각도	6 degree
x_2	진자의 각속도	6 degree/sec
x_3	수레의 거리	x cmr
x_4	수레의 속도	\dot{x} cm/sec
u	제어 입력	Newton
m	진자의 질량	0.1 kg
g	중력 가속도	9.81 m/s ²
m_c	수레의 질량	1 kg
l	진자 길이의 반	0.5 m

<표 1.> 상태 변수와 시스템 파라미터

2.3 퍼지 제어기 설계

본 논문에서 제안한 퍼지 제어기는 균형 제어기(Balancing Controller)와 각도 제어기(Angle Controller)로 구성되어 있다. 각도 제어기는 수레의 위치와 속도를 입력으로 받아 수레를 원하는 위치로 움직이도록 하는 기준 각도(θ_c)를 출력한다. 균형 제어기는 현재의 각도에서 기준 각도를 뺀 차이와 각속도를 입력으로 받아 진자의 각도 오차를 0으로 만드는 출력 u 를 만든다. 전체 블록도는 다음과 같다.



<그림 3.> 퍼지 제어 시스템

2.3.1 IF THEN 규칙 베이스

퍼지 제어 시스템을 구성하기 위해서는 우선 상태 변수와 출력 변수를 정해야 하는데 상태 변수로는 진자의 각도와 각속도, 수레의 원점으로부터의 거리와 속도로 정하였고, 출력 변수는 프로세스로 들어가는 입력 u 로 정하였다. 정의된 입력 변수는

샘플링 시간마다 퍼지 규칙에 의하여 제어기의 출력을 결정하게 된다. 균형 제어기와 각도 제어기에 대한 IF-THEN 규칙은 다음과 같다.

IF x_1 is A_1 and x_2 is A_2 , THEN u is B
 IF x_3 is C_1 and x_4 is C_2 , THEN θ_c is D'

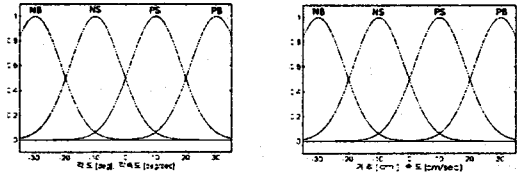
$A_1, A_2, B, C_1, C_2, D'$ 는 각각에 대한 퍼지 집합이다. 규칙을 나타내면 다음과 같다.

θ_c	NB	PB	PM	PS	Z
	NS	PM	PS	Z	NS
	PS	PS	Z	NS	NM
	PB	Z	NS	NM	NB
	NB	NS	PS	PB	
	θ_c				

<표 2.> IF-THEN 규칙 테이블

2.3.2 소속 함수 (Membership Function)

각각의 상태 변수에 대한 조건부 소속 함수는 4 부분으로 나누어 <그림 4.>와 같이 정의하였다. 그리고 결론부 소속 함수는 <표 5.>와 같이 5부분으로 분할하였다.



<그림 4.> 조건부 소속 함수

θ_c	NB	15	10	5	0
	NS	10	5	0	-5
	PS	5	0	-5	-10
	PB	0	-5	-10	-15
		NB	NS	PS	PB
θ_c					
x	NB	30	20	10	0
	NS	20	10	0	-10
	PS	10	0	-10	-20
	PB	0	-10	-20	-30
		NB	NS	PS	PB
x					

<표 5.> 결론부 소속 함수

2.3.3. 퍼지 제어기

Center Average 비퍼지화기, Product 추론 엔진, Singleton 퍼지화기를 이용하여 두 제어기에 대한 출력을 구하면 다음과 같다.

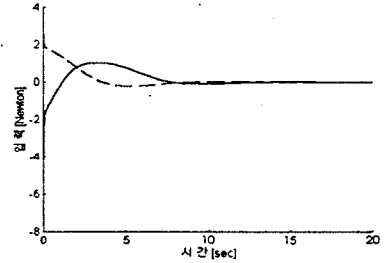
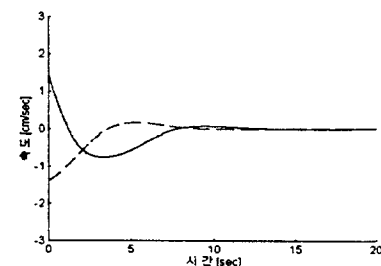
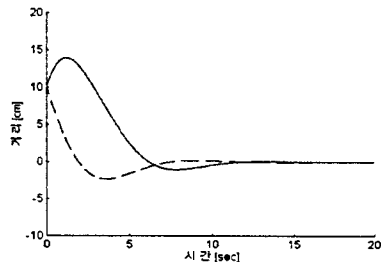
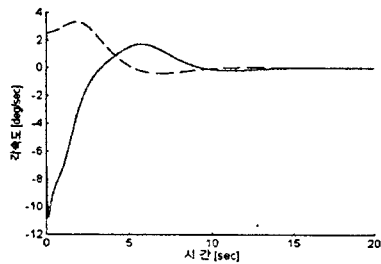
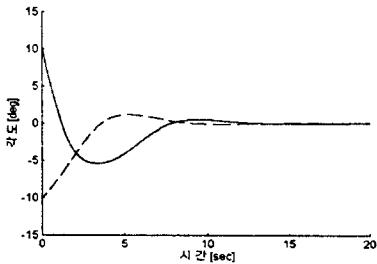
$$u = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}' \left(\prod_{j=1}^n \mu_{A_j'}(x_j) \right)}{\sum_{i=1}^M \left(\prod_{j=1}^n \mu_{A_j'}(x_j) \right)}$$

$$\theta_d = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}' \left(\prod_{j=1}^n \mu_{C_j'}(x_j) \right)}{\sum_{i=1}^M \left(\prod_{j=1}^n \mu_{C_j'}(x_j) \right)}$$

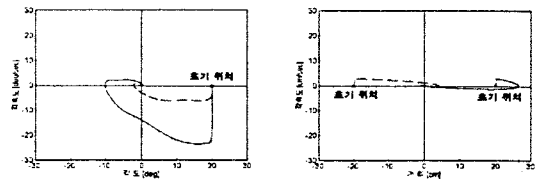
2.4 시뮬레이션 결과

다음 네가지 초기 조건에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

	θ	$\dot{\theta}$	x	\dot{x}
조건 1	10 [deg]	0 [deg/s]	10 [cm]	0 [cm/s]
조건 2	-10 [deg]	0 [deg/s]	10 [cm]	0 [cm/s]
조건 3	20 [deg]	0 [deg/s]	20 [cm]	0 [cm/s]
조건 4	20 [deg]	0 [deg/s]	-20 [cm]	0 [cm/s]



<그림 5> 시뮬레이션 결과
(— : 조건 1, --- : 조건 2)



<그림 6> 시뮬레이션 결과
(— : 조건 3, --- : 조건 4)

3. 결 론

본 논문에서는 간단한 퍼지 제어를 설계하여 도립 진자를 제어할 수 있음을 보였고 소속 함수의 선정과 IF THEN 규칙의 개수등이 시스템 성능의 중요한 파라미터로 작용할 수 있음을 알았다.

참 고 문 헌

- [1] Li-Xin Wang, "A Course in Fuzzy and Control", Prentice-Hall, 1997
- [2] Li-Xin Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis", Prentice-Hall, 1994
- [3] D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank, "An Introduction to Fuzzy Control", Springer, 1993
- [4] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, vol. 20, No. 2, pp. 404-418, 1990
- [5] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part II", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, vol. 20, No. 2, pp. 419-435, 1990
- [6] M. Beale, H. Demuth, "Fuzzy Systems Toolbox for Use with MATLAB", PWS, 1994