

모델참조 퍼지 알고리즘을 이용한 병렬형 퍼지제어기 설계

추연규, 김병철, 이광석, 김현덕

진주산업대학교

Design of Parallel Type Fuzzy Controller Using Model
Reference Fuzzy Algorithm

Yeon-Gyu Choo, Byung-cheul Kim, Kwang-Seok Lee, Hyun-Duck Kim

Jinju National University

E-mail : ygchoo@jinju.ac.kr

요 약

본 논문에서는 Hybrid형 퍼지-PID 제어기와 모델참조 퍼지제어기를 이용하여 병렬형 퍼지 제어기를 설계하였다. 먼저 첫 번째 제어기는 퍼지 PI와 퍼지 PD가 결합한 Hybrid형 퍼지-PID 제어기로서 원하는 응답특성에 대해 안정하게 도달하는 목적과 플랜트에 대해 외란이 발생한 경우 외란을 극복할 수 있는 역할을 하게 된다. 그리고 두 번째 제어기인 모델참조 퍼지제어기는 원하는 응답에 대해 빠른 응답을 나타낼 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 설계된 병렬형 퍼지제어기를 이용하여 DC 모터에 적용하여 응답특성을 살펴본 결과 빠르고 안정된 응답특성과 또한 외란이 발생한 경우 빠른 시간에서 외란을 극복함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, parallel type fuzzy controller is designed by using a hybrid connected type fuzzy-PID controller and a model reference fuzzy controller. The first controller that consists a fuzzy-PI and a fuzzy-PD making a hybrid type fuzzy-PID controller plays a role as firstly reaching stable responses and secondly overcoming disturbance in plants. The second controller, model reference fuzzy controller, plays a role as reaching faster responses than other controllers. We have confirmed that we get rapid and stable responses and the controller overcomes disturbance in a short time when there happens disturbance by using parallel type fuzzy controller applying to DC motor in this paper.

Keywords

fuzzy-PID controller, model reference, parallel fuzzy controller

1. 서 론

많은 제어시스템의 응답특성에서 가장 중요한 목적은 빠른 응답조건, 정밀한 제어 그리고 파라미터의 변화나 불확실한 외란 발생시 강인한 특성을 나타낼 수 있어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 PID 제어기는 계수값을 조정하기가 쉽지 않으며, 불확실한 외란에 대해 강인하지 못하다는 단점이 있다[1-4]. 이에 비해 퍼지제어기는 제어조정 능력의 자유도가 높고 파라미터 변화나 잡음에 대한 민감도가 낮아 견실하다는 장점이 있다. 그러나 퍼지제어 규칙들을 유도해 내는데는 직관적이고 경험적인 경향이 많기 때문에

불규칙의 범위를 어떻게 정하는가 하는 문제점이 있다[5-6]. 따라서 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 PI형 퍼지제어기와 PD형 퍼지제어기를 결합한 Hybrid형 퍼지-PID 제어기를 사용하였다. 이와 같은 방법을 사용함으로써 제어대상의 변화나 외란에 대해 매우 강인한 특성이 나타남을 확인할 수 있다. 그러나 이 방법을 사용하는 경우 빠른 응답특성을 얻기가 힘들다. 따라서 본 논문에서는 빠른 응답특성을 나타내기 위하여 모델참조를 통하여 빠른 응답특성을 나타낼 수 있도록 플랜트 모델참조를 이용한 병렬형 퍼지 제어기를 설계하였다. 제안된 제어기를 사용하여 DC 모터에 적용하여 그 성능을 확인하였다.

II. Hybrid형 퍼지-PID 제어기

PID 제어기는 산업현장에서 널리 사용되고 있으나, 플랜트의 변화나 외란 발생시 각 계수 값을 다시 수정해야 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 많은 방법들이 소개되었다. 대표적인 방법으로 인간의 사고방식과 유사한 특징을 가지는 퍼지를 들 수 있다. 퍼지는 미지의 대상물에 대해 매우 강한 특징을 가지며 대상물의 변화에 대한 적응력이 뛰어나다. 그러나 일반적인 퍼지제어기의 경우 제어규칙과 멤버십 함수의 형태 설정에 있어 전문가의 경험적인 경향이 많기 때문에 제어 대상에 대한 불규칙의 범위를 어떻게 정하는가 하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 PI형 퍼지제어기와 PD형 퍼지제어기를 결합한 Hybrid형의 퍼지-PID 제어기를 사용하였다. 그림 1은 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 블록도를 나타낸 것이다. 그림 1을 통해 알 수 있듯이 퍼지-PID 제어기는 PI형 퍼지제어기와 PD형 퍼지제어기를 결합하여 PID 제어기와 같은 동작을 하게 된다[7-9]. 그림 2는 본 논문에서 사용한 퍼지-PI, 퍼지-PD 제어기의 멤버십 함수를 나타낸 것이다.

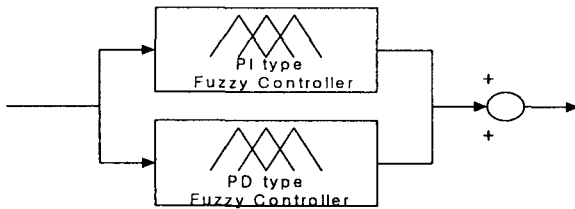
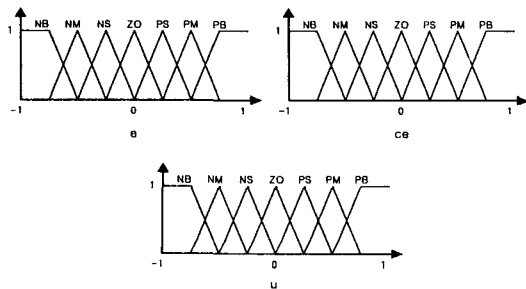
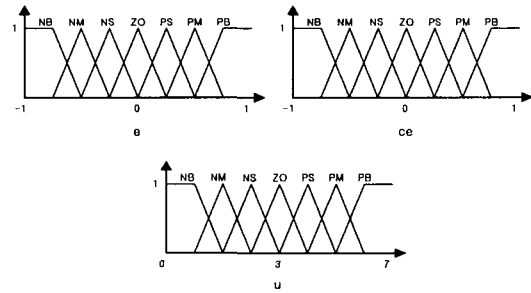


그림 1. Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 구조

사용된 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 추론은 Mamdani의 Max-Min 연산을 사용하였고, 비퍼지화는 무게중심법을 사용하였다.



(a) 퍼지-PI 제어기

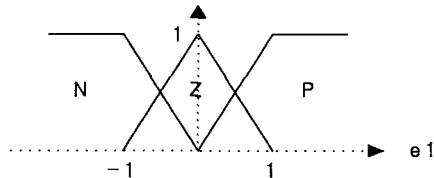


(b) 퍼지-PD 제어기

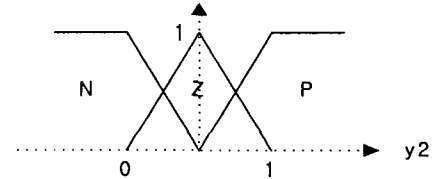
그림 2. Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 멤버십 함수

III. 병렬형 퍼지제어기

앞 절에서 설계된 Hybrid형 퍼지-PID 제어기의 단점을 보완하기 위하여 모델참조 퍼지제어기를 결합하여 빠른응답을 얻을 수 있도록 병렬형 퍼지제어기를 설계하였다. 사용된 모델참조 퍼지제어기는 플랜트에 대해 빠른 응답특성을 얻기 위해 적은 규칙으로 설계되었다.



(a) 멤버십 함수 e1



(b) 멤버십 함수 y1

그림 3. 멤버십 함수

표 1. 규칙표

y2 \ e1	N	Z	P
N	NB	NS	Z
Z	NS	Z	PS
P	Z	PS	PB

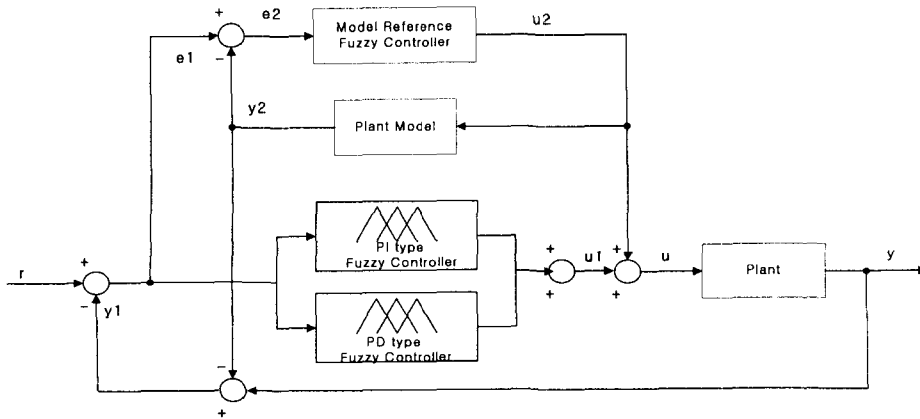


그림 4. 제안된 제어를 사용한 제어시스템의 블록도

그림 4는 Hybrid형 퍼지-PID 제어기에 병렬로 모델참조 퍼지제어기가 결합한 병렬형 퍼지제어기를 사용한 제어시스템의 구성도를 나타내었다. 제안된 병렬형 퍼지제어기는 안정된 응답특성과 빠른 응답을 갖도록 설계하였다. Hybrid형 퍼지-PID 제어기를 통해 원하는 응답특성에 대한 안정성을 높일 수 있다. 그리고 모델참조 퍼지제어기를 통해 빠른 응답특성을 얻을 수 있다. 그림 4에서 사용된 각 변수들은 아래와 같이 정의하였다.

r : 원하는 신호, y : 실제출력
 $y_1 = y - y_2$ 모델과 실제 플랜트의 출력차
 y_2 : 플랜트 모델의 출력
 즉 그림 4에서 모델참조 퍼지제어기의 동작은 입력신호로서 e_1 을 가지며 제어신호 u_2 를 출력한다. 그림 4를 통해 알 수 있듯이 전체출력은 $y = y_1 + y_2$ 이며, e_2 는 두 제어기의 실제 오차로서 동작한다. 이는 e_1 보다 작게 동작되므로 빠른 상승 시간을 얻을 수 있다. 따라서, 모의실험을 위한 전체 블록도의 응답특성을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{응답특성} &= \frac{\text{오차}}{\text{원하는 응답}} \\ &= \frac{e}{r} = \frac{r-y}{r} \quad (1) \\ &= \frac{e_1 - y_2}{r} = \frac{e_1}{r} \cdot \frac{e_2}{e_1} \end{aligned}$$

IV. 모의 실험

제안된 제어기의 성능을 평가하기 위하여 플랜트

로 DC Motor를 사용하여 모의실험을 하였다. 그림 5는 가장 대표적인 전기자의 모델을 나타내고 있다 [10].

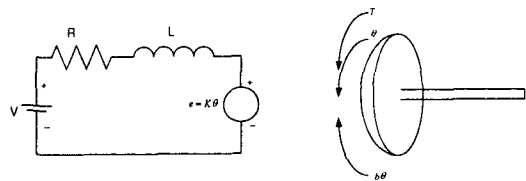


그림 5. DC 모터의 블록도

그림 5에서 사용된 변수들은 표 2와 같다. 여기서 V 는 전원 전압, θ 는 모터의 회전속도이다.

표 3. DC 모터의 사양

Parameters	Value
로터 내부관성 (J)	0.01 kg.m ² /s ²
기계적 진동비 (b)	0.1 Nms
전기상수 ($K=K_e=K_t$)	0.01 Nm/Amp
저항	1 ohm
인덕턴스	0.5 H

$$J \ddot{\theta} + b \dot{\theta} = K i \quad (2)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - k \dot{\theta} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)은 입력에 따른 전압과 상태변수로써 나타낸 것이다. 전기자 전류와 회전속도의 선택에 의

해 식 (4)와 (5)의 상태방정식으로 정의된다[11].

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} V \quad (4)$$

$$\dot{\theta} = [1 \ 0] \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} \quad (5)$$

그림 6은 모델참조 퍼지제어기를 사용하지 않은 경우와 본 논문에서 제안한 제어방법을 사용한 출력파형으로서 외란이 인가하지 않은 경우를 나타낸 것이다. 결과를 통해 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방법이 원하는 응답에 매우 빨리 도달함을 알 수 있다. 그림 7은 외란을 인가한 경우의 출력파형을 나타낸 것이다. 출력파형 결과를 통해 알 수 있듯이 외란을 인가하였음에도 불구하고 빠른 시간내에 원하는 응답이 나타남을 확인하였으며, 또한 안정된 응답특성이 이루어짐을 확인하였다.

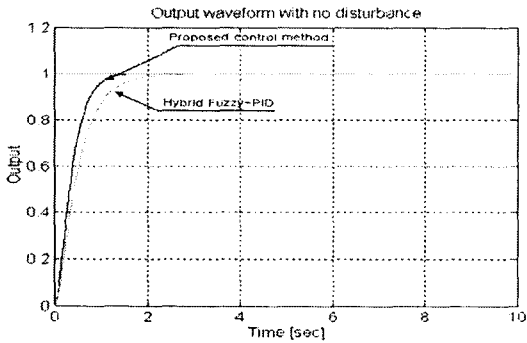


그림 6. 외란을 포함하지 않는 경우의 출력응답

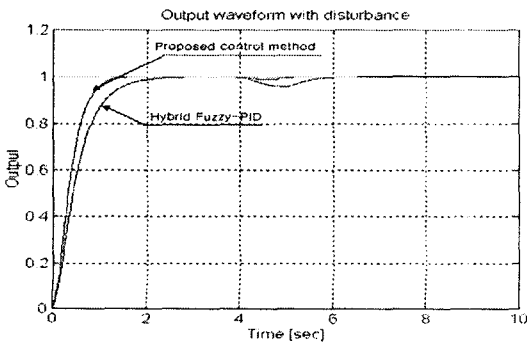


그림 7. 외란을 포함한 경우의 출력응답

IV. 결 론

본 논문에서는 모델참조 퍼지제어기와 Hybrid형 퍼지-PID 제어기가 결합된 병렬형 퍼지제어기를 제안하였다. Hybrid형 퍼지-PID 제어기에 병렬로 모델참조 퍼지제어기가 결합한 병렬형 퍼지제어기를 설계하였다. 제안된 제어기를 사용하여 모의실험을 통하여 나타난 결과 Hybrid형 퍼지-PID 제어기보다도 안정된 응답특성과 빠른 응답을 확인하였다. 제안된 병렬형 퍼지제어기의 특징은 모델참조 퍼지제어기는 원하는 응답에 대해 빠른 응답특성을 나타내는 역할을 하였으며, Hybrid형 퍼지-PID 제어기를 통해 원하는 응답특성에 대한 안정성을 높일 수 있었다. 모의실험을 통하여, 제안된 병렬형 퍼지제어기의 안정성과 빠른 응답특성을 확인하였지만, 실제 로봇과 같은 플랜트에 적용하여 강인성 등의 문제점을 보완하는 것이 추후의 과제라 할 것이다.

참고문헌

- [1] Seul Jung and Richard C. Dorf, "Analytic PID Controller Design Technique for A Third Order System", Conference on Decision and Control 35th, Proc., Japan, 1996, pp. 2513-2517
- [2] C. C. Hang, K. J. Åström, and W. K. Ho, "Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula" Proc. IEEE., vol. 138, pp. 111-118, 1991.
- [3] R. C. Dorf and D. R. Miller, "A method for enhanced PID controller design", Journal of Robotics and Automation, vol. 6, pp. 41-47, 1991.
- [4] R. C. Dorf and R. H. Bishop, Modern Control Systems, 7th edition, Addison Wesley, 1995.
- [5] Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich, "Fuzzy Control", 1998, pp. 230-240.
- [6] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modelling and Control", IEEE Trans, on SMC, 15 (1), pp.116-132. 1985
- [7] Hong Lian, Sng, Christopher H. Messom, Pik Kong, Yue, " Fuzzy Hybrid PID Controller of A steam Heated Dryer", IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings, 1999, Korea, pp.1701-1711
- [8] 박재형, 김승철, 조용성, 최부귀, "퍼지 보상기와

- 퍼지 동조기를 이용한 PID 제어기의 Deadzone을 포함 시스템제어”, 한국해양정보통신학회, Vol3, No. 2, pp. 403-410
- [9] Shuang Cong, Guodong Li, "Parallel Bi-Fuzzy Controller", Proc. 2nd Asian Control Conference, 1997, pp. 723-726
- [10] K. Ogata, Modern Control Engineering, 2nd edition, Prentice Hall, 1990.
- [11] Ghang-Ming Liaw, Faa-Jeng Lin, "A Robust Speed Controller for Induction Motor Drives", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1994, pp. 308-315