

서보 시스템을 위한 퍼지 자동 동조 PID 제어기

(Fuzzy Auto-tuning PID Controller for Servo System)

吳 勳* · 尹 良 雄**
(Oh Hun · Yang-Woong Yoon)

요 약

PID 제어기는 많은 서보 제어 시스템에 사용되고 있다. 하지만 제어 시스템이 가변부하일 경우에 정밀한 제어는 어렵게 된다. 이에 대한 보완적인 한 방법으로, 본 논문에서는 가변부하일 경우 퍼지 규칙에 의해 PID 제어기의 매개변수를 자동 동조하는 방법을 제시하였다.

PID 제어기의 매개변수는 부하 변화에 따라서 퍼지 규칙에 의해 결정된다. 퍼지 자동 동조에 의한 정밀한 제어 기능은 모의실험에 의해 확인하였다.

Abstract

PID controller is being used in many servo control system. However, when a control system has variable load, it is difficult to guarantee the accurate control of the system. In the way of solving this problem, in this paper, a auto-tuning method of PID controller parameter using fuzzy rule in variable load is presented.

The parameters of PID controller are decided by fuzzy rule according to load variation. The accurate control function of fuzzy auto-tuning is demonstrated by simulation.

1. 서 론

근래에 보다 정교한 현대 제어 이론들이 개발 되었음에도 현장에서는 PID 제어기가 널리 쓰이고 있다. PID 제어기는 구조가 간단하고 과도 응답 특성이 좋으며 정상 상태 오차를 제거할 수 있기 때문인데, 부하의 변동이 있을 때는 제어기의 매개변수를 조정해야만 한다. 제어기의 매개변수는 기술자의 시행착오 방식이나 Ziegler-Nichols방법, Åström과 Hagglund가 제안한 릴레이 실험 등을 이용하여 결정하게 된다.¹⁾²⁾³⁾ 실제로 제어 대상 시스템에 대하여 PID 제어기가 원하는 성능을 얻도록 매개변수를 조정하는 것은 많은 시간과 노력의 반복 작업이다. 최근 경험적

지식을 제어기 구성에 첨가하여 성능 개선 등 문제 해결 능력을 신장시키는 연구가 진행되고 있고,⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 그 중에서 경험적 지식을 규칙화하여 조건부의 변화에 따라 추론하여 결론부를 얻는 fuzzy control도 여러 분야에서 연구되고 있다.⁷⁾⁸⁾

본 논문에서는 가변 부하시 퍼지 규칙에 의해 PID 제어기의 매개변수를 자동 동조시키는 방법을 제안하였다. 부하의 변화에 따라서 제어기의 매개 변수는 퍼지 규칙에 의해 자동 동조된다. 퍼지 자동 동조에 의한 정밀한 제어는 모의실험에 의해 확인된다.

2. 시스템의 구성

퍼지 자동 동조 PID 제어기를 갖는 시스템의 구조는 그림 1과 같다.

그림 1에서 플랜트와 PID제어기 ($K_p + K_{Vs} + K_o$)는 기본 제어 루프를 형성한다. PID 제어기의

* 正會員 : 圓光大學校 電氣工學科 博士課程

** 正會員 : 圓光大學校 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1994年 12月 28日

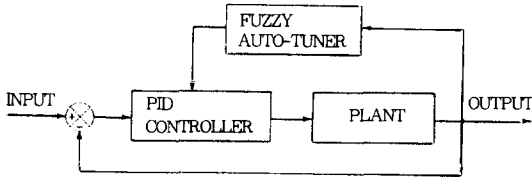


그림 1. 퍼지 자동 동조 PID 제어를 갖는 시스템의 구성도
Fig. 1. Block diagram of system with fuzzy auto-tuning PID controller

매개변수는 Ziegler-Nichols 방법을 사용하여 구한 후, 단위 응답을 보고 조정하여 사용하였다. 퍼지 자동 동조 제어기에서는 부하가 변화할 경우에 PID 제어기의 매개변수를 추론하여 동조시킨다. 플랜트는 직류 서보 모터를 사용하였고, 전달함수는 다음과 같다.

$$G(s) = \left[\frac{K_t}{(JL_a s^2) + (JR_a + BL_a)s + (K_t K_b + BR_a)} \right] \quad (2.1)$$

한편, 본 논문에서 사용된 모터의 매개변수는 다음과 같다.

무부하시 관성 모멘트	$30 \times 10^{-6} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
역기전력 상수	$60 \times 10^{-3} [\text{V} \cdot \text{s}/\text{rad}]$
회전력 상수	$17 \times 10^{-3} [\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}]$
마찰력	$5 \times 10^{-3} [\text{N} \cdot \text{m}]$
전기자 저항	$3.2 [\Omega]$
전기자 인덕턴스	$8.6 \times 10^{-3} [\text{H}]$

3. 퍼지 자동 동조 규칙

본 절에서는 부하(L)의 변화에 따른 PID 제어기의 매개변수를 자동 동조시키기 위한 퍼지 규칙과 추론의 개발에 목적이 있다. 정격 부하를 positive big, 무부하시를 negative big로 정의하면 소속 함수는 그림 2와 같이 사용할 수 있다.

PID 제어기의 매개변수는 부하의 변화에 따라 변화되므로 변화의 최대 및 최소값을 소속 함수로 나타낼 수 있다. 이는 그림 3과 같다.

K_p , K_i , K_d 의 매개변수는 다음과 같은 퍼지 규칙에 의해 결정된다.

IF $L(t)$ is A_i and $\Delta L(t)$ is B_i THEN K_p is C_i , K_i is

D_i , K_d is E_i (3.1)

where $i=1, 2, \dots, m$

이를 표로 나타내면 다음 표 1과 같다.

max-min 추론 방법에 의한 값은 퍼지값이므로 최대값방법을 사용하여 비퍼지화하였다. 이를 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

Table 1. Fuzzy Tuning Rule for K_p , K_i , K_d

$\Delta L(t)$ \ L(t)	NB	NM	ZO	PM	PB
NB	P1	P1	P2	P2	P3
NM	P1	P2	P2	P3	P4
ZO	P2	P2	P3	P4	P4
PM	P2	P3	P4	P4	P5
PB	P3	P4	P4	P5	P5

NB : Negative Big NM : Negative Medium PB : Positive Big
PM : Positive Medium ZO : Zero P1~P5 : 최소~최대

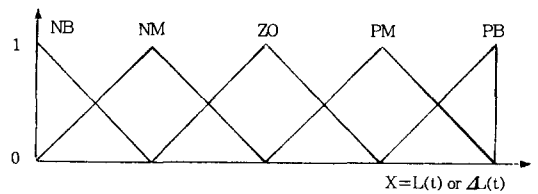


그림 2. 부하(L) 및 부하 변화율(Δ)의 소속 함수
Fig. 2. Membership function for L and Δ

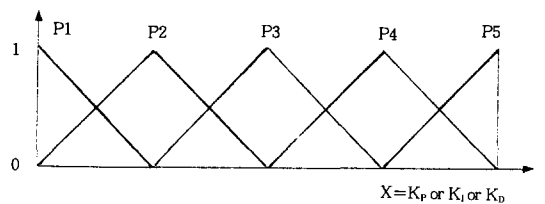


그림 3. K_p , K_i , K_d 의 소속 함수
Fig. 3. Membership function for K_p , K_i , K_d

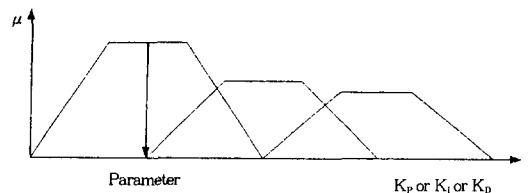


그림 4. 최대값 방법에 의한 매개변수 결정
Fig. 4. Parameter decision by maximum value method

4. 모의 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 논의한 퍼지 자동 동조 PID 제어기의 성능을 확인하기 위하여 모터 전달함수 식 (2.1)을 사용하였다. Ziegler-Nichols 방법에 의해 무부하시의 관성 모멘트가 10배($J \times 10$)인 경우 PID 매개변수를 결정하여 (1) $J \times 10$, (2) $J \times 20$, (3) $J \times 30$ 의 단위 계단 응답을 그림 5에 나타냈다.

그림 6-(a)는 퍼지 규칙에 의해 $J \times 10$ 인 경우 PID 매개변수를 결정하여 (1) $J \times 10$, (2) $J \times 20$, (3) $J \times 30$ 의 응답곡선을 나타내었다. 그림 6-(b)는 퍼지 규칙에 의해 $J \times 20$ 인 경우 PID 매개변수를 결정하여 (1) $J \times 10$, (2) $J \times 20$, (3) $J \times 30$ 의 응답곡선을 나타내었다. 그림 6-(c)는 퍼지 규칙에 의해 $J \times 30$ 인 경우 PID 매개변수를 결정하여 (1) $J \times 10$, (2) $J \times 20$, (3) $J \times 30$ 의 응답곡선을 나타내었다.

그림 5에서 알 수 있듯이 $J \times 10$ 인 경우 Ziegler-Nichols 방법에 의해 구한 PID 매개변수는 설정값에 도달하는 시간이 약 1.5초 정도 걸리고 20% 정도의 overshoot가 발생하였다. 그리고 부하 변동시($J \times 20$, $J \times 30$) 매개변수가 적합하지 않아 설정값에 도달하는 시간이 많이 걸리고 더 큰 overshoot가 발생하였다. 그림 6-(a)는 $J \times 10$ 인 경우에 퍼지 규칙에 의하여 구한 PID 매개변수 응답곡선으로서 overshoot없이 설정값에 도달하는 시간이 약 0.3초가 소요되었고, $J \times 20$, $J \times 30$ 인 경우는 매개변수가 적합하지 않아 설정값에

도달하는 시간이 길어짐을 볼 수 있다. 그림 6-(b)는 $J \times 20$ 인 경우에 퍼지 규칙에 의하여 구한 PID 매개변수 응답곡선으로서 $J \times 10$ 인 경우에는 과도응답 현상을 보이고, $J \times 30$ 인 경우에는 설정값에 도달하는 시간이 길어짐을 볼 수 있다. 그림 6-(c)는 $J \times 30$ 인 경우에 퍼지 규칙에 의하여 구한 PID 매개변수 응답곡선으로서 $J \times 10$, $J \times 20$ 인 경우에는 과도응답 현상을 보이고 있다.

이상의 결과로서 퍼지 자동 동조 PID 제어기는 최적의 매개변수 동조가 있을 때 속응성과 overshoot의 현저한 저감효과를 보였다.

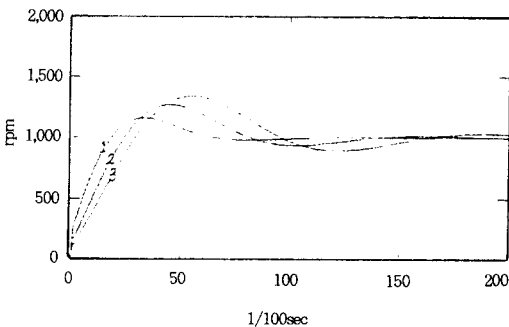
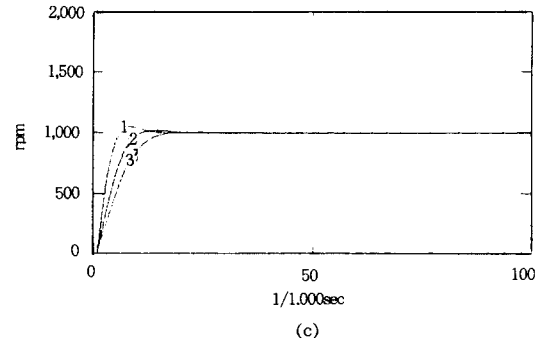
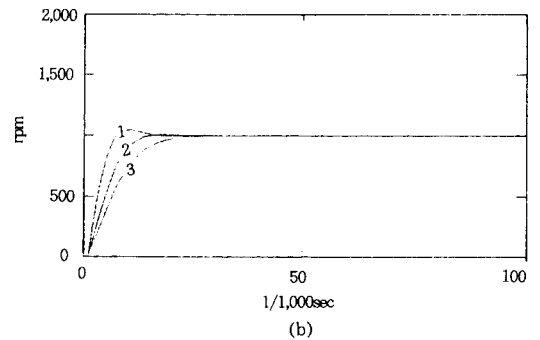
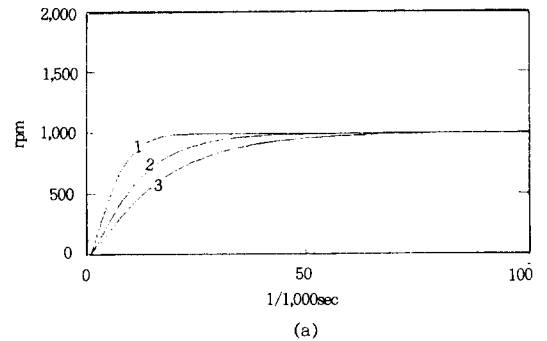


그림 5. Ziegler-Nichols 방법에 의한 응답 곡선
Fig. 5. Response curve of Ziegler-Nichols method

그림 6. 퍼지 규칙에 의한 응답 곡선
Fig. 6. Response curve of fuzzy rule

5. 결 론

산업 현장에서 PID 제어기는 많은 제어 시스템에 사용되고 있는데 부하 변화시 정밀한 제어는 어렵게 된다. 본 논문에서는 서보 시스템의 정밀한 제어를 위하여 부하 변동시에 가장 적합한 PID 제어기의 매개변수가 동조되도록 하는 퍼지 자동 동조 규칙을 제시하였다.

퍼지 자동 동조 규칙은 부하와 부하 변화분에 의해 설계되고 시스템에 가장 적합한 매개변수가 동조된다. 부하 변동이 문제가 되는 서보 시스템에 이용할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) I. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic Controllers" Trans., ASME, Vol. 65, pp. 433~444, Nov. 1942.
- 2) K. J. Åström and T. Hagglund, "Automatic tuning of PID controllers", Instrument Society of America, 1988.
- 3) K. J. Åström and T. Hagglund, "Automatic tuning of amplitude margins", automatica, Vol. 20, pp. 645~651, 1985.
- 4) K. J. Åström and J. J. Anton, "Expert control", Automatica, Vol. 22, No. 3, pp. 277~286, 1986.
- 5) K. E. Arzen, "Expert systems for process control", Proc. 1st Int. conf. Appl. of AI in Engng. Pract, Southampton, U. K., 1986.

- 6) K. Liu and J. Gertler, "A supervisory adaptive control scheme", IFAC 10'th World Conference on Automatic Control, 1987.
- 7) C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems : Fuzzy logic control-part I, II", IEEE Trans. Syst. Man & Cybern., Vol. SMC-20, No. 2, pp. 404~432, 1990.
- 8) Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems", IEEE Control of System magazine, pp. 65~71, Apr. 1989.

◇ 著 者 紹 介 ◇



오 훈(吳勳)

1967年 9月 8日生. 1991年 圓光大工大 電氣工學科 卒. 1993年 同 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1994年 同 大學院 電氣工學科 博士課程



윤 양 옹(尹良雄)

1941年 9月 25日生. 1962年 2月 22日 全北大 工大 電氣工學科 卒. 1981年 建國大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1986年 全北大 大學院 電氣工學科 卒(工博). 現在 圓光大學校 工大 電氣工學科 教授. 1995年 現在 當 學會 平議員.