

서보 시스템의 강인제어를 위한 퍼지 레귤레이터

(A Fuzzy Regulator for Robust Control of Servo System)

朴日緒*·吳 勳**·李柱張***
(Wal-Seo Park·Hun Oh·Ju-Jang Lee)

요 약

PID 제어기는 많은 서보 제어 시스템에 사용되고 있다. 하지만 제어 시스템이 외란이나 시변특성을 가졌을 때 시스템의 강인제어가 어렵게 된다. 이에 대한 보완적인 한 방법으로 본 논문에서는 PID 제어기가 퍼지 레귤레이터를 갖는 제어기법을 제시 하였다. 퍼지 레귤레이터는 에러와 에러 변화분에 의해서 설계되며, k 번째 제어 입력은 k 번째와 $(k-1)$ 번째 비퍼지화 값의 덧셈에 의해 결정된다. 제어입력은 입력측에 전달된다. 퍼지 레귤레이터에 의한 강인한 제어기능은 시뮬레이션에 의해 확인하였다.

Abstract

PID controller is being used in many servo control systems. However, when a control system has disturbance or time variable characteristic, it is very difficult to guarantee the robustness of the system. In the way of solving this problem, in this paper, a control method using the PID controller with Fuzzy Logic Regulator is presented. Fuzzy Logic Regulator is designed by error and error change, the k th sampling control input is decided by the addition of the k th sampling defuzzification value and the $(k-1)$ th sampling defuzzification value.

Control input is transmitted to input. The robust control function of Fuzzy Logic Regulator is demonstrated by the computer simulation.

1. 서 론

근래에 보다 정교한 현대 제어 이론들이 개발되었음에도 현장에는 PID 제어기가 널리 쓰이고 있다. 그러나 산업현장에 설치되어 있는 PID 제어기는 좋은 성능을 얻기 위해 숙련된 기술자에 의하여 시행 착오법으로 동조되고 있으며, 이경우에 많은 시간이 소비된다. 또한 시스템이 시변 특성인 경우에는 수시로 제어기의 매개변수를 조

정하여야 하는 단점이 있다.^{1), 2)} 특히 외란 인가시에 영향을 최소화하는 방법으로 진·지상 필터, 적분계환, 전향 제어기 등이 연구되고 있으나 외란 및 공정의 정보가 알려져야 제어기 설계가 가능하다.^{3), 4), 5)} 최근에 널리 연구되고 있는 퍼지 제어기(fuzzy logic controller : FLC)는 일반적으로 오차와 오차 변화분의 두가지 변수를 가지고 제어기를 설계한다.^{6), 7), 8)} 따라서 퍼지제어는 제어 대상의 모델이 난이하고, 비선형성이 높은 시스

* 正會員 : KAIST 電氣 및 電子工學科 研究員. 工博
** 正會員 : 圓光大學校 電氣工學科 博士課程

*** 正會員 : KAIST 電氣 및 電子工學科 副教授. 工博
接受日字 : 1993年 11月 29日

템의 효과적인 제어기법으로 연구되고 있다. ⁹⁾ PID 제어기를 갖는 시스템은 공정의 특성이 변화 하거나 외란이 있을 경우에 설정값에서 크게 이탈하게 된다.

본 논문에서는 서보 시스템에 강인제어를 위하여 PID 제어기가 퍼지 레귤레이터(fuzzy logic regulator : FLR)를 갖는 제어기법을 제안한다. FLR은 오차와 오차변화분에 의해서 설계되며, K번째 제어입력은 K번째와 (K-1)번째 비퍼지화 값의 덧셈에 의해 결정된다. 결정된 제어입력은 입력측에 전달된다. 샘플링 구간 결정에 대한 효과도 고려해 볼 것이며, 제안된 제어기법이 외란에 대한 강인함을 시뮬레이션에 의해서 확인할 것이다.

2. 시스템의 구성

PID 제어기가 FLR을 갖는 시스템의 구조는 그림1과 같은 형태를 취한다.

그림1에서 플랜트와 PID 제어기($K_p+K_i/S+K_dS$)는 기본 제어 루프를 형성한다. PID 제어기의 매개변수는 단위 계단 응답법에 의해 결정하여 사용했으며, 플랜트 특성의 변화에 따라 매개변수가 자동동조되는 제어 구조를 선택했다, 플랜트의 특성이 변화하면 슈퍼바이저 규칙기반의 조건부에 의해 결론부의 제어기 매개변수가 동조하게 되지만 특성이 변화하는 순간에서 일정시간 동안 과도응답 특성을 나타낸다. 외란 인가시에도 플랜트의 특성 변화때와 비슷한 과도응답 특성을 나타낸다. 그러므로 플랜트 특성의 변화나 외란

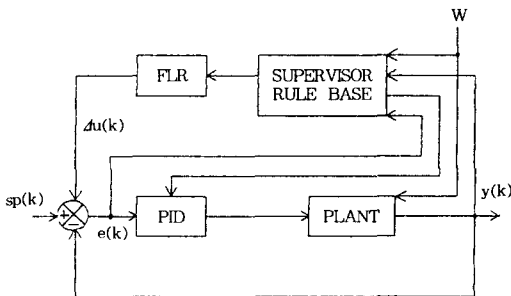


그림 1. 퍼지 레귤레이터를 갖는 시스템 구성도

인가시에는 동작자가 원하는 허용오차값이내로 유지하기 어렵게 된다. 이러한 기본 제어루프가 갖는 문제점을 보완하기 위해서 오차와 오차의 변화량에 의해 설계되는 퍼지 레귤레이터를 제안하였다. 퍼지 레귤레이터의 제어입력은 입력측에 전달되며, PID제어기와 별개로 동작되지만 하나의 제어세트로 사용되면 PID제어기의 단점을 충분히 보완할 수 있다. 퍼지 레귤레이터는 레귤레이터의 입출력 변수의 정의와 퍼지화 그리고 퍼지 추론 및 비퍼지화 단계로 구성되어진다.

3. 퍼지 레귤레이터의 설계

3.1 레귤레이터의 입·출력 변수 정의

레귤레이터의 입력변수는 오차($e(k)$)와 오차의 변화량($de(k)$)으로 선정하고, 출력변수는 제어입력($u_0(k)$)으로 선정하였으며 아래와 같이 정의한다.

$$e(k) = sp(k) - y(k) \quad (3.1)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (3.2)$$

$$u_0(k) = u_0(k) - u_0(k-1) \quad (3.3)$$

여기에서 $sp(k)$ 와 $y(k)$ 는 각각 k번째 샘플링 시간의 설정값(setpoint)과 플랜트 출력이다. 식(3.3)의 $u_0(k)$ 는 k번째 샘플링 시간의 비퍼지화 값과 (k-1)번째 비퍼지화 값의 덧셈에 의해 결정된다.

3.2 퍼지화 (fuzzification)

퍼지화란 측정되어지는 입력변수($e(k)$, $de(k)$)를 퍼지 연산에 편리하도록 경험적 지식에 의해 미리 정해놓은 퍼지입력 변수의 전체집합으로 변환하는 과정이다. 언어변수(linguistic variable)는 다음과 같이 5개의 집합으로 정의하였고, 소속함수는 그림2와 같이 삼각형 형태를 취하였다. 출

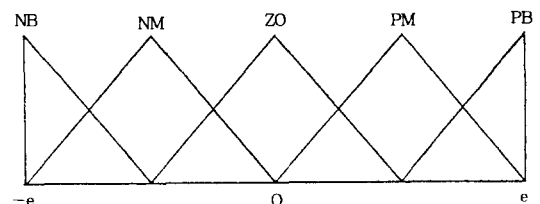


그림 2. 퍼지화를 위한 소속함수

력의 언어변수(du')는 삼각형 형태의 7개 집합으로 선택하였다.

$$e' = \{PB, PM, ZO, NM, NB\} \quad (3.4)$$

$$de' = \{PB, PM, ZO, NM, NB\} \quad (3.5)$$

$$du' = \{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\} \quad (3.6)$$

3.3 퍼지 추론 (fuzzy reasoning)

서로다른 두영역의 e와 de의 언어적 값(e', de')의 함의(e'→de')관계를 나타내는 퍼지 관계 R은 e'×de'라는 다른 영역의 퍼지 부분집합이며, 소속 함수는 다음과 같다.

$$\mu_R(e, de) = \min(\mu_{e'}(e), \mu_{de'}(de)) \quad (3.7)$$

만약, 2입력 1출력 시스템으로 다음과 같은 입력, n개의 룰 그리고 출력을 갖는다면

입력 : e is e' and de is de'

R₁ : If e is e₁' and de is de₁', then du is du₁'

or R₂ : If e is e₂' and de is de₂', then du is du₂'

Or R_n : If e is e_n' and de is de_n', then du is du_n'

출력 : du is du'

윗식과 식(3.7)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu_{du'}(du) = \bigcup_{i=1}^n \min(\lambda_i, \mu_{du_i'}(du)) \quad (3.8)$$

$$\lambda_i = \min(\mu_{e_i'}(e), \mu_{de_i'}(de))$$

퍼지추론은 max-min 방법을 선택하였고, 제어 규칙은 표 1과 같다.

3.4 비퍼지화 (defuzzification)

추론 결과로 얻어지는 값은 퍼지집합이므로 제어입력에 맞는 형태로 변환시켜 주어야 한다. 비퍼지화는 이러한 일을 수행하며 가장 좋은 가능성의 값을 취하도록 하여야 한다.

$$u_0 = \text{defuzzification}(du') \quad (3.9)$$

여기서 u₀는 crisp값으로서 퍼지 레귤레이터의 출력을 나타내며 du'는 추론된 퍼지집합이다.

본 연구에서의 비퍼지화는 최대값 방법을 사용

표 1. 퍼지 제어 규칙

	de	NB	NM	ZO	PM	PB
e	du					
NB		NB	NB	NM	NS	ZO
NM		NB	NM	NS	ZO	PS
ZO		NM	NS	ZO	PS	PM
PM		NS	ZO	PS	PM	PB
PB		ZO	PS	PM	PB	PB

했다.

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

앞에서 논의한 FLR의 성능을 확인하기 위하여 다음과 같은 개루프 전달 함수를 선택하였다.

$$G(s) = \frac{50}{(1+2s)^2} \quad (3.10)$$

기본 제어루프의 PID제어기의 매개변수는 Ziegler-Nichols 단위 계단 응답법에 의해 결정(k_p=4, k_i=1.176, k_d=3.2)해서 사용했다. 퍼지 레귤레이터를 갖는 기본 제어루프에 대한 외란의 영향을 고찰하기 위해서 계단식 외란을 인가했다.

그림 3은 설정값에 대하여 4초부터 70(%)의 외란을 인가한 응답곡선이다. 그림 4는 설정값에 대하여 4초부터 70(%)음의 외란을 인가했을 경우 응답곡선이다.

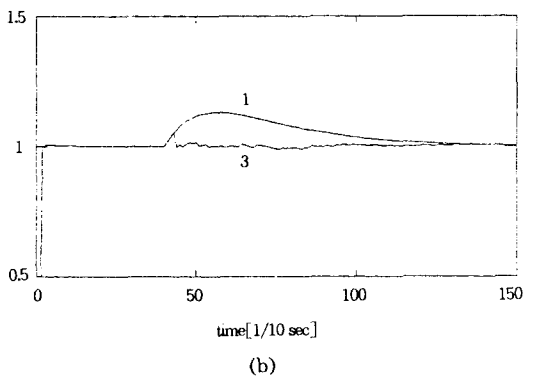
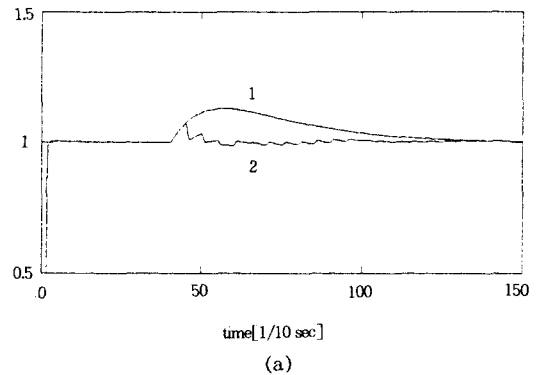


그림 3. 70(%) 계단식 외란에 대한 응답곡선

기본 제어루프의 PID 제어기에 의한 외란 감소는 그림 3의 1곡선과 그림 4의 1곡선에서 보는 바와 같이 외란의 23(5)로 나타난다. 그림 3의 2곡선과 그림 4의 2곡선에서 보듯이 샘플링 간격을 0.5초로 했을 경우 FLR에 의한 외란감소는 최대이탈값으로 보아 PID만의 사용때 보다 약 50(%)로 감소되고 이탈되는 시간도 단축된다. 그림 3의 3곡선과 그림 4의 3곡선에서 보는 바와 같이 샘플링 간격을 0.25초로 했을 경우 FLR에 의한 외란감소는 샘플링 0.5초로 했을 경우 보다 최대이탈값은 약 70(%)로 감소되고, 평활한 제어가 됨을 알 수 있다. 실시간 제어에 있어서 시스템 허용오차의 정도에 따라 샘플링 간격을 선정하면 서보 제어의 목적을 달성할 수 있으리라 사료된다.

5. 결론

산업현장에서 PID 제어기는 많은 제어 시스템

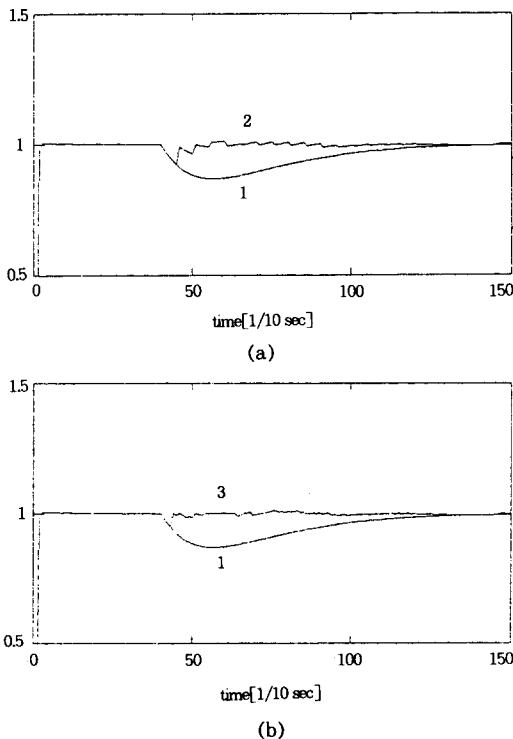


그림 4. 음의 70(%) 계단식 외란에 대한 응답곡선

에 사용되고 있는데, 외란 및 시스템이 시변특성인 경우에 강인제어는 어렵게 된다.

본 논문에서 서보 시스템의 강인제어를 위하여 PID 제어기가 퍼지 레귤레이터를 갖는 제어기법을 제시하였다. 퍼지 레귤레이터는 플랜트의 정보없이 오차와 오차변화분에 의해 설계된다. 이 두변수의 정보에 의해서 시스템에 인가되는 외란을 허용오차 이내로 유지시킬 수 있음과 샘플링 간격이 외란 감소에 크게 영향을 미침을 알았다. 이와같이 퍼지 레귤레이터는 외란이 문제가 되고 시스템의 특성이 시변인 서보 시스템에 사용될 수 있으리라 사료된다.

參考文獻

- 1) K.J.Astrom and T. ägglund, "Automatic Tuning of Simple Regulator with Specifications on phase and Amplitude Marains", *Automatica*, Vol.20, pp. 645-651, 1985.
- 2) 박왕서, "직류 서보 전동기의 속도제어를 위한 전문가 자동동조 PID 제어기", 한국 통신 학회 논문지 16권 9호 pp. 887-882, 1991.
- 3) 박왕서 외 1인, "피드포워드 경로를 갖는 규칙기반 자동동조 PID제어기", 대한전기학회 논문지 41권 4호 pp. 355-361, 1992.
- 4) C.A. Smith and A.B. Corripio, *Principles and Practice of Automatic process control*, Wiley-Interscience, 1985.
- 5) R. Scattolini, "A multivariable self-tuning controller with integral action", *Sutomatica*, vol.22, pp. 619-627, 1986.
- 6) 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.
- 7) Y.F Li and C.C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo system", *IEEE control system magazine*, pp. 65-71, April 1989.
- 8) J.A. Bernard, "Use of a rule-Based system for process control", *IEEE control systems Magazine*, pp. 3-13, October 1988.
- 9) M. Sugeno, *Industrial Applications of Fuzzy control*, Elsevier science publishers B.V., 1985.
- 10) 이광형외 1인, 퍼지이론 및 응용, 홍능과학 출판사, 1991, pp. 5-68