

유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어규칙의 최적동조

김중영, 이대근, 오성권, 장성환
 원광대학교 전기전자공학부, 전라북도 익산시 신룡동 344-2 ☎570-749

Optimal Auto-tuning of Fuzzy control rules by means of Genetic Algorithm

Joongyoung Kim, Daekun Lee, Sungkwun Oh, Sungwhan Jang
 Division of Electrical & Electronic Engineering, Wonkwang Univ., Iksan, KOREA

Abstract - In this paper, the design method of a fuzzy logic controller with a genetic algorithm is proposed. Fuzzy logic controller is based on linguistic descriptions(in the form of fuzzy IF-THEN rules) from human experts. The auto-tuning method is presented to automatically improve the output performance of controller utilizing the genetic algorithm. The GA algorithm estimates automatically the optimal values of scaling factors and membership function parameters of fuzzy control rules. Controllers are applied to the processes with time-delay and the DC servo motor. Computer simulations are conducted at the step input and the output performances are evaluated in the ITAE.

$$R_k : \text{IF } E \text{ is } A_i, \Delta E \text{ is } B_i, \Delta^2 E \text{ is } C_i \\ \text{THEN } \Delta U \text{ is } D_i \quad (1)$$

여기서, R_k : k번째의 제어규칙($k=1,2, \dots, N$),
 E : 오차값, ΔE : 오차의 변화값,
 $\Delta^2 E$: 변동오차의 변화값,
 ΔU : 플랜트 제어 입력의 변화값,
 A_i, B_i, C_i : 퍼지 변수, D_i : 실수치($i=1,2, \dots, N$)

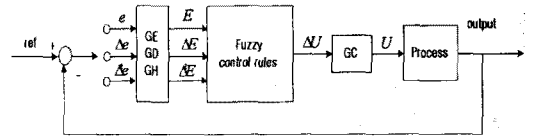


그림 1. 퍼지 제어기의 기본 구성도

1. 서 론

기존의 PID 제어기는 제어기 구상의 간략성 때문에 널리 적용되어 쓰이고 있다. 그러나 복잡한 프로세서나 비선형 동적 시스템에서는 수학적 모델링 하기 어렵고 각 파라미터를 적절하게 조정하는 것이 쉽지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 인간의 사고능력과 적응능력을 갖는 지능형 제어기인 퍼지제어 기법이 등장하게 되었다. 퍼지제어 기법은 인간의 사고에 기인한 애매한 제어 알고리즘을 사용하여 공정 제어 및 비선형 제어에 대하여 기존의 제어 시스템보다 탁월한 성능이 입증되었다. 퍼지 제어기는 IF-THEN 형식의 언어적 규칙으로 표현될 수 있는 인간의 경험이나 전문가의 정성적 지식만 있으면 만족 할 만한 제어기를 설계할 수 있다.

본 논문은 퍼지 제어기의 성능을 개선시키기 위해 퍼지 환산계수와 퍼지 제어규칙을 유전자 알고리즘으로 최적 동조한다. 따라서 본 논문은 첫째, 지능형 제어기인 퍼지 제어기를 제안한다. 둘째, 유전자 알고리즘으로 퍼지 환산계수와 퍼지 제어규칙을 자동 동조하여 제어기의 성능을 개선한다.

제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 시간지연을 갖는 공정 시스템과 직류서보 전동기의 속도 제어를 시뮬레이션 하였으며, 시스템의 성능지수는 오버슈트의 개선과 빠른 정정시간의 높은 효과를 위해 ITAE를 사용한다.

2. 본 론

2.1 퍼지논리 제어기(FLC)

퍼지 제어기의 기본적인 구성도는 그림 1과 같다. 그림 1에서 퍼지 제어기는 오차, 오차변화, 변동오차의 변화의 환산계수 GE, GD, GH와 제어출력의 환산계수 GC, 그리고 퍼지 제어규칙으로 구성된다. 퍼지 제어 알고리즘은 일반적으로 식(1)의 형태를 취하는 N개의 독립적인 제어규칙들로 구성된다.

전반부 및 후반부의 언어적 제어 변수는 오차, 오차변화, 변동오차에 대한 전체적인 제어규칙은 표 1과 같다.

표 1. 3변수 퍼지 제어규칙

(a) $\Delta^2 E = N$

		ΔE			
		N	Z	P	
E	N	NB	NB	NM	
	Z	NM	NS	ZE	
	P	ZE	PS	PM	

(b) $\Delta^2 E = Z$

		ΔE			
		N	Z	P	
E	N	NB	NM	NS	
	Z	NS	ZE	PS	
	P	PS	PM	PB	

(c) $\Delta^2 E = P$

		ΔE			
		N	Z	P	
E	N	NM	NS	ZE	
	Z	ZE	PS	PM	
	P	PM	PB	PB	

각각의 규칙에 있어 전반부의 추론값은 식 (2)에 의해 계산된다.

$$W_i = \min \{ \mu_{A_i}(E_k), \mu_{B_i}(\Delta E_k), \mu_{C_i}(\Delta^2 E_k) \} \quad (2)$$

식 (1)의 후반부 D_i 가 퍼지값이 아닌 단일집합 즉, 단일상수하면 퍼지 제어기의 비퍼지화값은 간략 추론방법인 식 (3)으로부터 구한다.

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^N W_i D_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (3)$$

제어기에 사용되는 오차, 오차 변화값, 변동오차값은 환산계수를 곱함으로써 그 프로세스에 맞게 식 (4)와 같이 변환된다.

$$E(nT) = (R - y(nT)) \times GE = e(nT) \times GE$$

$$\Delta E(nT) = (e(nT) - e((n-1)T)) \times GD = \Delta e(nT) \times GD$$

$$\Delta^2 E(nT) = (e(nT) - 2e((n-1)T) + e((n-2)T)) \times GH$$

$$U(nT) = \Delta U(nT) \times GC \quad (4)$$

제어기의 성능평가를 위한 오버슈트의 개선과 빠른 정정시간의 높은 효과를 위해 성능지수로 ITAE(Integral of product Time and Absolute Error)를 사용한다. 성능지수 ITAE의 식(5)와 같다.

$$ITAE = \int t \cdot |error| dt \quad (5)$$

2.2 지능형 제어기의 설계

본 논문에서 제안한 지능형 제어기인 퍼지 논리 제어기는 퍼지 환산계수와 퍼지 제어규칙의 멤버십 함수 파라미터 등을 유전자 알고리즘으로 동조해서 제어기의 성능을 개선시킨다. 그림 2는 지능형 제어기의 설계를 위한 단계별 수행과정을 나타내고, 그림 3은 퍼지 환산계수와 퍼지 제어규칙 추정하기 위한 자동동조 퍼지 제어기의 구성도를 나타낸다.

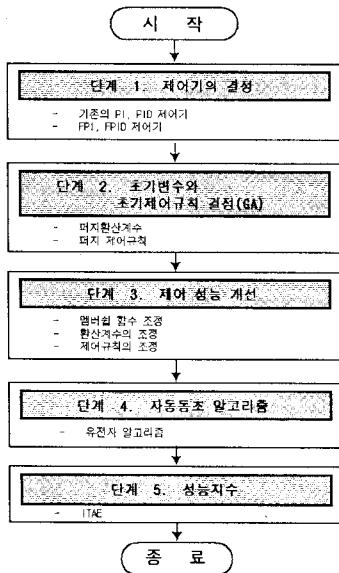


그림 2. 지능형 제어기를 위한 설계과정의 수행순서

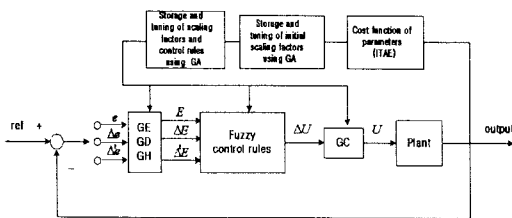


그림 3. 자동동조 퍼지 제어기의 구성도

2.3 컴퓨터 시뮬레이션

실 플랜트의 모든 공정은 지연시간을 갖는 1계 혹은 2계 공정 시스템으로 표현될 수 있다. 대부분의 공정 시스템은 많은 동적 요소를 가지고, 서로 다른 시정수를 가지는 High-order형이지만 이들 시스템은 1, 2계의 근사 모델로 표현할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 공정 시스템의 대상으로 공정 1은 식 (6)으로 설정한다. 공정 2는 선형시스템으로 모델링이 되어 있는 직류서보전동기의 속도제어 전달함수는 식 (7)처럼 구할 수 있다.

$$\text{공정 1: } \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{e^{-2s}}{s+1} \quad (6)$$

$$\text{공정 2: } \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{222.46}{3 \times 10^{-3}s^2 + 4.1454s + 137.63} \quad (7)$$

2.3.1 공정 1

공정 1은 1계 선형공정 시스템으로 시뮬레이션의 결과이다. 그림 4는 퍼지 환산계수의 동조과정을 나타내고, 그림 5는 공정출력과 제어기의 출력파형(조작량)을 보여주고 있다.

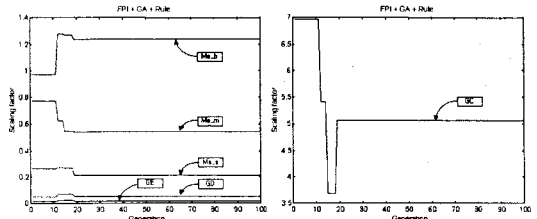


그림 4. 퍼지 환산계수의 수렴과정

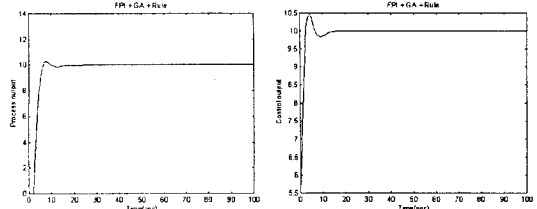


그림 5. 공정 1에서의 공정출력과 제어기 출력

표 2는 공정 1에서의 퍼지 환산계수, 제어규칙의 멤버십 함수 파라미터, 성능지수를 나타내고 있다. 여기서, 퍼지 PI 제어기와 제어 규칙의 파라미터를 동시에 유전자 알고리즘으로 동조시(FPI+GA+Rule)를 나타낸다.

표 2. 공정 1에서 성능지수와 퍼지 환산계수

제어기	FPI	FPID	FPI+Rule	FPID+Rule	
	GA	GA	GA	GA	
환산계수	MM	1		1.1632	
	Me_b	1	0.9711	0.8993	
	Me_m	0.6667	0.7724	0.6453	
	Me_s	0.3333	0.2629	0.3179	
	GE	0.0159	0.0312	0.0148	0.0241
	GD	0.0543	0.2504	0.0506	0.1658
	GH		0.3879		0.1135
	GC	7.7889	8.6099	6.9687	11.6295
	ITAE	147.3541	157.7105	124.8019	123.4664
환산계수	MM	1		1.1421	
	Me_b	1	1.2345	1.0561	
	Me_m	0.6667	0.5439	0.6535	
	Me_s	0.3333	0.2136	0.2456	
	GE	0.0188	0.0166	0.0181	0.0159
	GD	0.0577	0.1096	0.0522	0.1232
	GH		0.1456		0.1392
	GC	5.7517	12.0293	5.0645	12.6188
	ITAE	123.0480	90.9481	106.678	83.2155
shoot	3.0961 %	1.5556 %	2.5652 %	0.6806 %	

그림 6은 환산계수와 퍼지 제어규칙의 멤버십 함수

파라미터 값을 동시에 동조할 때 멤버쉽 함수 파라미터의 동조전과 동조후의 값을 나타낸 것이다.

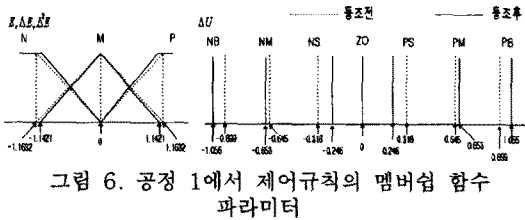


그림 6. 공정 1에서 제어규칙의 멤버쉽 함수 파라미터

2.3.2 공정 2

공정 2는 직류서보 전동기의 전기자 전압 속도제어에 적용된다. 제어기의 성능을 위해 구형파 입력에 의한 정·역회전 실험을 실시하여 샘플링 시간은 0.001(sec), 출력속도는 3000(rpm)으로 한다. 속도제어 전달함수는 식(8)처럼 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{K_t}{L_a J s^2 + (J R_a + B L_a) s + (K_t K_b + B R_a)} \quad (8)$$

여기서, $K_t = 22.246 \times 10^{-2} [N \cdot m/A]$ (토크 정수),

$J = 3.4 \times 10^{-1} [N \cdot m^2]$ (관성모멘트),

$L_a = 0.89 \times 10^{-3} [H]$ (전기자 인덕턴스),

$R_a = 1.2 [\Omega]$ (전기자 저항),

$B = 7.35 \times 10^{-2} [N \cdot m]$ (마찰 토크),

$K_b = 222.2 \times 10^{-3} [V \cdot s/rad]$ (유기전압 상수)

그림 7은 직류서보 전동기의 전기적 등가회로를 나타낸 것이다.

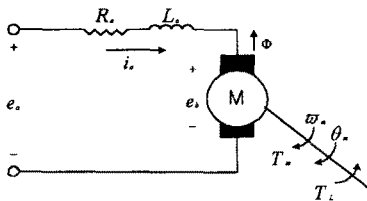


그림 7. 직류서보 전동기의 전기적 등가회로

그림 8은 무부하 상태에서 전동기의 속도 제어를 기존의 PI제어기와 퍼지 제어기의 출력을 비교한 것이다.

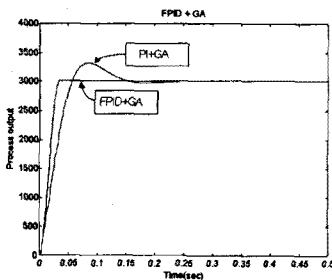


그림 8. 전동기 정·역회전시 출력파형

그림 9는 전동기의 무부하 상태에서 구형파 입력에 의한 정·역회전 실험을 실시하여 나타난 출력 속도도를 나타낸 것이다.

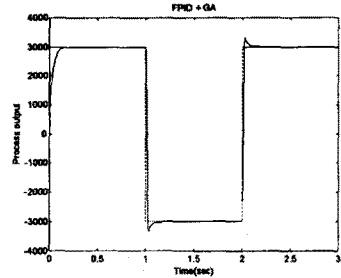


그림 9. 직류서보 전동기의 속도 출력

3. 결론

본 논문에서는 퍼지 제어기의 성능을 개선시키기 위해 퍼지 환산계수와 퍼지 제어규칙을 유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 값을 동조하였다. 공정 1에서는 퍼지 환산계수와 퍼지 제어규칙의 멤버쉽 함수 파라미터를 동시에 유전자 알고리즘을 사용함으로써 성능지수 ITAE, 오버슈트, 지연시간이 상당히 감소함을 알 수 있었고, 공정 2는 직류서보 전동기의 전기자 전압 속도제어에 퍼지 제어기를 적용함으로써 정·역회전시 양호한 추종 결과를 알 수 있었다. 따라서 유전자 알고리즘을 이용하여 동조함으로써 속도성과 적응성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Aström, K.J. "Ziegler-Nichols auto-tuners", Report TFRT-3167, Dept. of Automatic Control, Lund Inst. of Tech., Lund, Sweden.
- [2] D.E Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-wesley, 1989.
- [3] T.Terano, K.Asai and M. Sugeno, "Applied Fuzzy Systems", AP Professional, 1994.
- [4] S.Daley and K.f.Gill, "Comparison of a fuzzy logic with a P+D control law", *Transaction of the ASME*, vol.111, pp.128-137, 1989.
- [5] Xian-Tu Peng, "Self-regulating PID controllers and its applications to a temperature controlling process", *Fuzzy Computing*, pp.355-364, North Holland, 1988.
- [6] L.A.Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process", *IEEE Trans. Syst. Man and Cybern.*, pp.28-44, 1973.
- [7] Sungkwun Oh, Taechon Ahn, Hyungsoo Hwang, Jongjin Park and Kwangbbang Woo, "Design of a Hybrid Fuzzy Controller with the Optimal Auto-tuning Method", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 1, No. 1, September, 1995.
- [8] 오성권, "퍼지모델 및 제어이론과 프로그램", 기다리출판사, 1999.