

유전알고리즘을 이용한 자기동조 퍼지 제어기의 설계

서제근* 김태언 권혁진 김낙교 남문현
 건국대학교 전기공학과

Design of Self-Tuning Fuzzy Logic Controllers using Genetic Algorithms

Jae-Kun Suh Tae-Eun Kim Hyuk-Jin Kwon Lark-Kyo Kim Moon-Hyon Nam

Department of Electrical Engineering, Kon-Kuk University

Abstract

In this paper We proposed a new method to generate fuzzy logic controllers through genetic algorithm(GA). In designing of fuzzy logic controllers encounters difficulties in the selection of optimized membership functions, gains and rule base, which is conventionally achieved by a tedious trial-and-error process. This paper develops genetic algorithms for automatic design of high performance fuzzy logic controllers which can overcome nonlinearities in many engineering control applications. The rule-base is coded in base-7 strings by generated from random function, which can be presented in discrete fuzzy linguistic value, and using membership function with Gaussian curve. To verify the validity of this fuzzy logic controller it is compared with conventional fuzzy logic controller(FLC) and PID controller.

1. 서론

최근 제어분야에 있어서 인간의 지능을 모방한 지능형 제어를 하거나, 지식의 표현을 전산화하여 이를 이용하는 방법들이 등장하게 되었다. 이 들은 대개 인간의 개입 없이도 스스로 올바른 수행을 할 수 있기를 기대하는 데 반해서, 현실적으로 아직 해결되지 못한 여러 가지의 장애로 인하여 아직 실생활에 적용하기에는 안정성뿐만 아니라 다른 여러가지 문제점들을 노출하고 있다. 이중 퍼지 제어기 설계에 있어서의 난점은 인간의 언어 표현에 대한 적절한 소속함수 값의 결정이 어려워 많은 시행착오를 거쳐야만 한다는 점이다. 이 점에 착안하여 본 논문에서는 다윈의 적자생존 원리에 기초를 두고 1970년대 초에 John Holland에 의해 제안된 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 적절한 소속함수의 형태 및 이득 파라메타를 자동으로 결정하는 학습능력을 갖는 제어기를 구성하였다. 이 시스템에서 기존의 퍼지 제어기가 갖고 있는 문제점인 학습능력의 부재를 유전알고리즘을 이용하여 보완하였다. 또한 본 논문에서 제안된 제어기의 안정성을 검증하기 위하여 일반적 퍼지 제어기 및 PID 제어기와 비교 실험 하였다.

2. 유전알고리즘

1) 어려해를 동시에 전역적으로 탐색하여 국부최적치에 수렴할 확률이 적다

- 2) 시스템에 대한 사전 지식이나 모델을 설정할 필요가 없고 비선형 시스템에도 적용이 가능하다.
- 3) 단순반복법에 비하여 시간대 성능비가 높다.

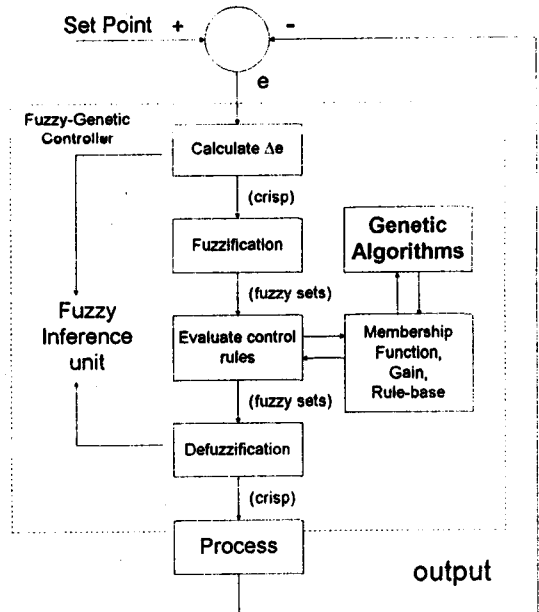


그림 2.1 퍼지제어기 흐름도

3. 퍼지-유전알고리즘의 설계

3.1 소속함수의 구성

기존의 퍼지 제어기를 이용할 때 각 시스템에 알맞은 소속함수, 이득, 규칙 등의 특성 파라메터 설정에 있어서 그 체계적인 방법이 아직 존재하지 않으므로 사용자의 경험에 의한 시행착오법을 대부분 사용하고 있다. 이를 대신하여 본 논문에서는 유전알고리즘을 이용하여 각 파라메터의 최적값을 진역탐색에 의하여 찾는 알고리즘을 제안하였다. 소속함수를 식

3.1 과 같이 가우스 곡선을 이용하여 구성하고 이들의 모양에 영향을 주는 α, β, σ 등은 유전알고리즘에 의하여 결정한다[4]. 시스템에 따라 만족할 만한 성능을 보이는 세대의 수가 각각 다르게 나타날 수 있으나, 충분한 세대가 지난 후에는 시스템

에 적합한 파라미터를 결정 할 수 있다. 랜덤함수에 의해 발생된 문자열에 의해 소속함수를 구성하게 되는데 이를 수식으로 표현하면 식 3.1 과 같이 되고, 그림 3.1 과같은 소속함수들이 구성된다. β 는 작은 값을 가질수록 삼각형에 가깝고 큰 값을수록 사다리꼴에 가깝다. σ 는 소속함수의 범위를 지정하는 변수로 상호간의 겹치는 정도를 변화시킨다.

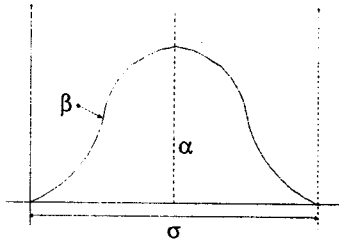


그림 3.1 Gaussian Curve

α_i : center of membership function

$\beta_i \in [1.5, 3, 5]$: shape parameter

$\sigma_i \in [0.1, 1, 0]$: scale parameter

$$\mu_i(x) = \exp\left(-\frac{|x - \alpha_i|^{\beta_i}}{\sigma_i}\right) \text{ and } \begin{cases} \mu_{NB} = 1 & x > \alpha_{NB} \\ \mu_{NB} = 1 & x < \alpha_{NB} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu_{NB} = 1 \quad x < \alpha_{NB}$$

$$\forall x \in [NB, FB], i = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

이 파라미터들은 서로 겹치거나 범위를 벗어나 시스템에 장애를 일으키지 않도록 경계값을 주게되며 기본적인 모양을 유지하면서 새로운 세대가 생성됨에 따라 최적의 제어를 할 수 있는 파라미터로 변화시켜간다.

3.2 평가함수의 구성

제어하는 대상에 따라 각각의 적합도를 산출하여 발생된 라분자열마다 시스템에 적합한지의 여부를 조사하게 된다. 제어의 성능평가 함수로 자주 사용되는 ITSE(Integral of time multiplied square error criterion)를 식 3.2 과 같이 적합도 판별에 사용하였다.

$$x = \sum_{i=0}^n \{e_i^2 + \Delta e_i^2\} / i \quad (3.2)$$

4. 모의실험

4.1 사례 1: 세대에 따른 적합도의 변화(적응성)

$$G_m(s) = \frac{4}{s^2 + 4s + 4} \quad (4.1)$$

전단함수 식 4.1 을 사용한 모델에 대하여 모의실험을 하였다. 표 4.1 과 같이 랜덤함수를 통해 발생된 초기규칙들이 유전알고리즘에 의하여 50 세대가 지난 후에는 표 4.2 와 같이 전문가의 지식이 포함되어 있는 퍼지규칙과 거의 비슷한 퍼지규칙을 구성하고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 전문가가 경험하지 않은 상황에 대하여도 규칙을 자동으로 구성하여 최적의 제어를 행하게 됨을 의미한다. 그림 4.1 은 식 4.1 의 모델에 대한 출력의 변화를 세대별로 나타낸 것으로 초기에 랜덤으로 시작된 규칙 및 이득들이 25 세대에 기본 형태를 갖추기 시작

하여 100 에 다다르면 식 3.2 에 의해 산출된 적합도가 70%가 되는 것을 볼 수 있다.

표 4.1 초기에 발생된 퍼지 규칙

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NM	ZO	PS	ZO	PM	ZO	PS
NM	ZO	PS	NM	PB	PB	NS	PM
NS	PS	PM	ZO	PS	PM	NM	NM
ZO	PM	ZO	PS	NB	ZO	ZO	ZO
PS	ZO	PM	PM	PS	PM	PS	PB
PM	PS	PS	ZO	PM	ZO	PS	ZO
PB	PM	ZO	PS	PB	PB	ZO	PS

표 4.2 자동 튜닝된 퍼지 규칙

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NS	NM	NS	ZO	PS
NM	NB	NB	NB	PS	PB	ZO	PM
NS	NM	NM	ZO	PS	NS	NM	PM
ZO	NB	NS	PS	ZO	ZO	PS	PS
PS	ZO	PM	PS	PS	PM	PS	PB
PM	ZO	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB
PB	PS	ZO	PS	PB	PB	ZO	PM

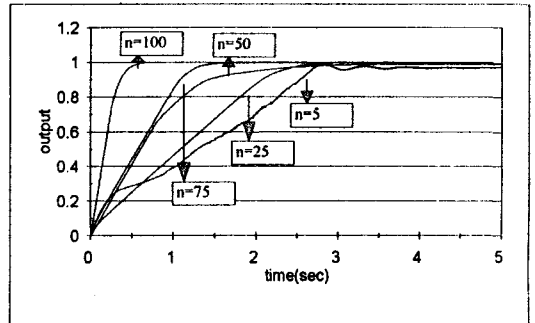


그림 4.1 세대의 변화에 따른 출력

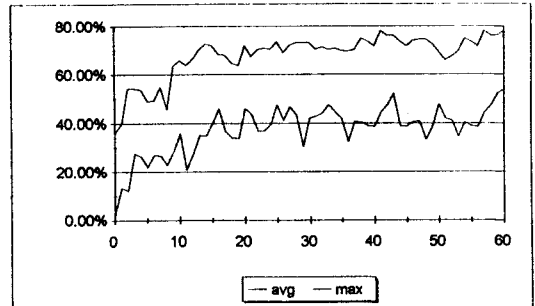


그림 4.2 세대의 변화에 따른 최대적합도 및 평균적합도

4.2 사례 2: 전문가 지식을 입력한 경우 (속응성)

$$G_m(s) = \frac{25.04(s+0.2)}{s(s+5.02)(s+0.01247)} \quad (4.2)$$

전문가의 사전 지식이 성능향상에 도움이 되는지를 알기 위하여 식 4.2 를 사용하여 실험하였다. 유전알고리즘에 의해 최적해를 찾을 수 있으나 만족할 만한 성능을 나타내기 까지는 오랜 시간이 요구된다. 그러나 초기에 일반적으로 알려진 사실이나 전문가의 지식을 입력하므로써 유전알고리즘의 탐색은 유리한 위치에서 시작하게 되므로 최적해를 찾는 시간을 상당히 단축 할 수 있다. 그림 4.3 는 각각 50 세대가 지난 후의 출

력파형을 나타낸 것으로 전문가의 지식이 포함된 정도에 따라 다양한 파형을 나타내고 있다. 이들은 입력하지 않은 경우와 3, 5, 7 가지의 언어변수를 사용한 경우를 나타내었고 세밀한 지식의 표현은 유전알고리즘의 수렴의 속도를 가속시키는 역할을 한다. 따라서 전문가의 지식이 충실히 포함될 수록 더욱 양호한 성능을 나타내었다.

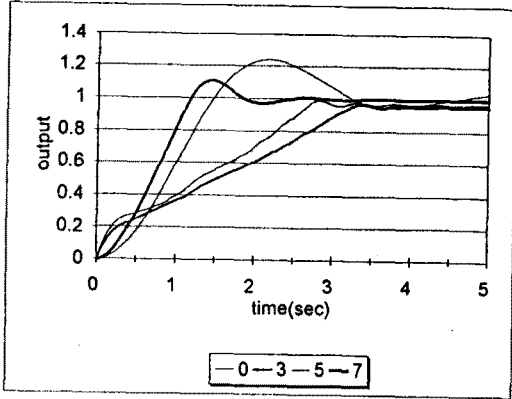


그림 4.3 전문가 지식의 입력에 대한 출력

4.3 사례 3: 일반퍼지제어기 및 PID 제어기와의 비교 (실용성)
 사례 2와 같은 모델에 사용하여 기존의 PID 제어기와 일반 퍼지제어기, 유전알고리즘을 이용한 제어기(GA-FLC)를 서로 비교 하였다. 퍼지제어기와 PID 제어기는 시행착오법으로 파라메타를 결정하였고 GA-FLC는 기본지식을 입력한 상태에서 세대가 200에 도달 했을때의 출력파형을 표시한 것이다. 이 결과로 미루어 보아 시행착오법으로 최적화된 PID 제어기의 출력에는 GA-Fuzzy의 결과가 다소 떨어진다. 그러나 파라메타를 자동으로 결정한다는점과 일반적인 PD형 퍼지제어기가 정상상태에서 잔류오차가 존재하는 단점이 있는 반면 이를 극복하는 우수성을 보였다. 또한 선형, 비선형에 모두 적용 가능한 GA-Fuzzy의 장점을 고려할때 차후에 비선형 시스템에 적용한 경우 기존의 제어기에 뒤지지 않는 성능을 보일 것으로 추정 된다.

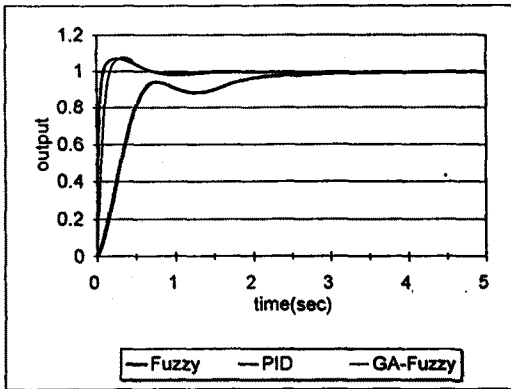


그림 4.4 각 제어기의 성능 비교

표 4.3 각 제어기의 성능 비교

	PID	Fuzzy	GA-Fuzzy	
Kp	37.5	0.55	6.32	
Ki	0.001	Kde	0.70	0.14
Kd	0.1	Kout	0.95	3.83
Fitness(%)	70.20	Fitness(%)	64.09	66.43

5. 결론

5.1 적용성

본 논문에서 제안한 알고리즘은 개략적인 전문가의 지식으로 최적의 규칙을 생성할 수 있으며, 심지어는 전문가가 경험하지 못한 경우 즉 전문가의 지식이 전혀 포함되지 않은 상태에서도 최적의 규칙을 생성할 수 있다. 따라서 전문가의 지식이 완전히 포함되기 어려운 비선형 시스템에 대하여 강한 적응성을 나타내었다.

5.2 속용성

본 논문에서 제안한 알고리즘은 많은 세대의 유전에 의하여 파라메타를 결정하게 되므로 많은 시간의 탐색을 필요로 하여 속용성에 문제가 있다. 그러나 전문가가 얻을 수 있는 지식이 많이 포함될 수록 속용성은 개선되어질 수 있다.

5.3 실용성

본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 일반 퍼지제어기와 비교하여 매우 우수한 성능을 보였으며, 시행착오를 거쳐 정밀하게 결정된 PID 제어기에 준하는 성능을 나타냄으로써 향후 꾸준한 연구로 실생활의 많은 분야에 실용화가 될것으로 전망된다.

참고문헌

- [1] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine-Learning*, Addison-Wesley, 1989
- [2] Zbigniew Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, 1995
- [3] 변중남, *퍼지제어기술의 신전개 월간자동화기술*, vol. 1995, No.8, pp.126-137
- [4] K.C. Ng and Y. Li, *Design of Sophisticated Fuzzy Logic Controllers Using Genetic Algorithms*, Technical report, Department of Electronics and Electrical Engineering, University of Glasgow, June 1994
- [5] Earl Cox, *The Fuzzy Systems Handbook : a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems*, AP Professional, 1994
- [6] Bart Kosko, *Neural Network and Fuzzy Systems : A Dynamic Systems Approach to Machine Intelligence*, Prentice-Hall, 1992