

유전알고리즘을 이용한 정교한 자기동조 퍼지 제어기의 설계

황용원* 김낙교 남문현
건국대학교 전기공학과

Design of Sophisticated Self-Tuning Fuzzy Logic Controllers
Using Genetic Algorithms

Yong-Won Hwang* Lark-Kyo Kim Moon-Hyon Nam
Department of Electrical Engineering, Kon-Kuk University

Abstract - Design of fuzzy logic controllers encounters difficulties in the selection of optimized membership function and fuzzy rule base, which is traditionally achieved by tedious trial-and-error process. In this paper We proposed a new method to generate fuzzy logic controllers through genetic algorithm(GA). The controller design space is coded in base-7 strings chromosomes, where each bit gene matches the 7 discrete fuzzy value. The developed approach is subsequently applied to the design of proportional plus integral type fuzzy controller for a dc-servo motor control system. It was presented in discrete fuzzy linguistic value, and used a membership function with Gaussian curve. The performance of this control system is demonstrated higher than that of a conventional PID controller and fuzzy logic controller(FLC).

다[3]. 그러나 유전 알고리즘은 해를 얻기까지 계산량이 많고 시간이 걸리며, 일종의 근사해로서 만족해야 하는 단점이 있다. 따라서 이 방법은 퍼지논리 제어기와 같이 최적화를 요하는 파라미터가 많은 시스템의 Off-Line 설계에 효과적으로 활용될 수 있으므로 제안된 유전알고리즘을 이용하여 퍼지논리 제어기의 적절한 소속함수의 형태 및 이득 파라메타를 자동적으로 결정하는 학습능력을 갖는 정교한 퍼지논리 제어기를 구성 하였다. 또한 본 논문에서 제안된 제어기의 성능과 안정성을 검증하기 위하여 직류 서보 모터 제어 시스템을 일반적인 퍼지논리 제어기 및 PID제어기와 비교 실험 하였다.

1. 서 론

현대 퍼지논리 제어 기법은 전통적인 제어 기술로는 쉽게 제어되지 않는 복잡하고 불확실 하며 비선형성을 포함한 시스템에 대해서 제어 전문가의 경험적인 지식을 언어 형태로 이용하여 쉽게 제어할 수 있다[1].

또한 퍼지논리 제어 이론은 인간의 의사 결정을 모방하여 불확실성과 추상화 개념을 사용할 수 있고 IF-THEN 구문들의 자연스러운 인간의 언어를 모방하고 있다. 그러나 퍼지논리 제어기 설계에 있어서의 여러 가지 문제점이 발견됐다.

이는 인간의 언어 표현에 대한 적절한 소속함수 값의 결정이 어려워 많은 반복연산을 수행하거나, 변환상 오차가 있어 학습능력이 부족하다는 점이다.

이 퍼지논리 제어기의 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 1970년대 초에 John Holland가 제안한 생물에 내재된 유전과 진화라는 복잡한 메카니즘을 추상적으로 재구성하여 적용시스템이나 학습에 유용한 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)이라는 일종의 최적화 계산기법을 이용하였다.[2].

초기 제어기법에서 부터 지금까지 많이 쓰이고 있는 기존의 해석적 최적화 기법은 가지함수와 원소공간이 수학적으로 평활한 탐색공간(Smooth Search Space)을 이룬다는 가정하에, 미분을 구한 후 미분들로부터 이루어진 Gradient Vector를 이용하여 해를 찾는다. 그러나 이와 같은 기존의 방법들은 국부해(Local Solution)의 가능성과 미분이 불가능한 함수인 경우 손을 댈수 없는 점 등 여러 가지 단점을 갖고 있다. 이에 반해 유전알고리즘은 전 공간적 탐색기법으로서 여러 후보해를 병행하여 동시에 탐색할 수 있다. 또한 Gradient Method에서 요구하는 평활성(Smoothness)의 가정들이 없어도 최적해를 구할수 있

2. 본 론

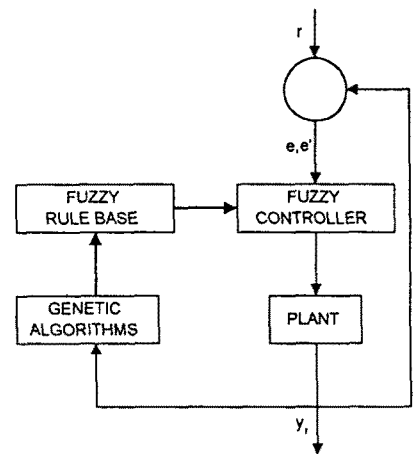


그림 2.1GA를 이용한 규칙 최적화 퍼지 시스템 블록선도

2.1 퍼지논리 제어

제어대상에 대한 대략적인 지식으로부터 복수개의 제어규칙을 이끌어 내어 IF-THEN 형식으로 표현하고, 퍼지추론에 의해 실제입력에 대한 출력을 계산한다. 즉, 제어규칙이 다음과 같이 논리합(OR)로 결합되어 있다고 하자.

- $R_1 : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{11} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{12} \text{ THEN } y \text{ is } B_1$
or
- $R_2 : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{21} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{22} \text{ THEN } y \text{ is } B_2$
or
- $R_3 : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{31} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{32} \text{ THEN } y \text{ is } B_3$
or
- ...
- $R_i : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ THEN } y \text{ is } B_i$

or

R_n : IF x_1 is A_{n1} and x_2 is A_{n2} THEN y is B_n

or

이 때 i 번째의 제어규칙은 x_1, x_2, y 의 공간을 각각 X_1, X_2, Y 로 하면, 퍼지관계 R_i 는 식(2.1)과 같다.

$$R_i = (A_{i1} \times A_{i2}) \times B_i \quad (2.1)$$

입력이 A_1^0, A_2^0 라고 하면 출력 B^0 는 식(2.2)와 같다.

$$B^0 = R(A_1^0 \times A_2^0)$$

$$B^0(y) = \text{MAX}[R(x_1, x_2, y) A_1^0(x_1) A_2^0(x_2)] \quad (2.2)$$

실제 출력값 y^0 를 구하기 위해 $B^0(y)$ 로부터 비퍼지화를 수행해야 한다.

비퍼지화 방법에는 여러 가지 있으나 본 논문에서는 무게 중심법으로 알려져 있는 식(2.3)와 같은 방법을 사용한다.

$$y^0 = \frac{\int B^0(y) y dy}{\int B^0(y) dy} \quad (2.3)$$

2.2 유전알고리즘

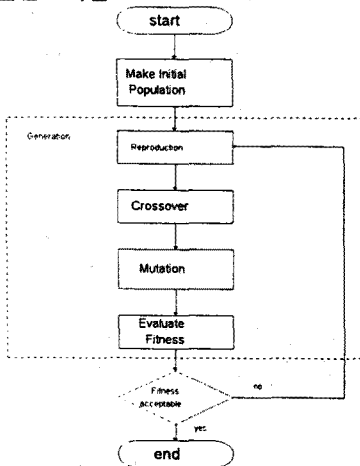


그림 2.2 유전알고리즘의 흐름도

유전연산자에는 재생산(Reproduction), 교차(Crossover), 돌연변이(Mutate)가 있으며, 재생산은 각각의 스트링이 가지는 적합도에 따라 그 스트링을 복제하는 과정이며 이때 적합도 함수는 사용자가 최대화하기를 원하는 어떠한 형태의 함수도 가능하다[4]. 교차는 세대별로 수행되며 먼저 선택 연산자에 의해 개체군에서 두 개의 부모 개체가 선택된다. 다음으로 이 둘이 염색체 교환을 일으키기 위한 교차위치가 무작위로 결정된다. 최종적으로 교차 위치를 기준으로 두 염색체간에 유전자 값이 교환되어 새로운 두 개의 자식 개체가 생성된다. 또한 유전 알고리즘의 두들어진 특징을 보면 여러 해를 동시에 전역적으로 탐색하여 국부최적치에 수렴할 확률이 적고, 시스템에 대한 사전 지식이나 모델을 설정할 필요가 없으며 비선형 시스템에도 적용이 가능하다. 또한 단순 반복법에 의하여 시간대 성능비가 높다.

2.3 퍼지-유전알고리즘의 설계

2.3.1 소속함수의 구성

기존의 퍼지논리 제어기를 이용할 때 각 시스템에 알맞은 소속함수, 이득, 규칙 등의 특성 파라미터 설정에 있어서 사용자의 경험에 의한 시행착오법을 사용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 유전알고리즘을 이용하여 각 파라미터의 최적값을 전역탐색에 의하여 찾는 알고리즘을 제안하였다.

소속함수를 식(2.4) 과 같이 가우스 곡선을 이용하여 구성하고 이들의 모양에 영향을 주는 α, β, σ 등은 유전 알고리즘에 의하여 결정한다[5]. 시스템에 따라 만족할 만한 성능을 보이는 세대의 수가 각각 다르게 나타날 수 있으나, 충분한 세대가 지난 후에는 시스템에 적합한 파라미터를 결정 할 수 있다.

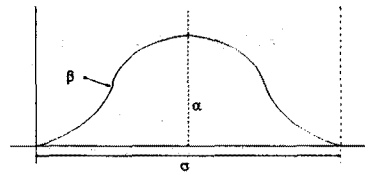


그림 2.3 Gaussian Curve

$\alpha_i \in [-1, 1]$: 소속함수의 중심

$\beta_i \in [1.5, 3.5]$: 소속함수의 형태

$\sigma_i \in [0.1, 1.0]$: 소속함수의 크기

불규칙한 함수에 의해 발생된 문자열에 의해 소속함수를 구성하게 되는데 이를 수식으로 표현하면 식(2.4)과 같이 되고, 그림 2.3과 같은 소속함수들이 구성된다. 여기서 α 는 소속함수의 중심값을 뜻하고 β 는 소속함수의 모양을 뜻하는데 이 값이 작은 값을 가질수록 삼각형에 가깝고 큰 값을 가질수록 사다리꼴에 가까워진다. σ 는 소속함수의 크기를 결정짓는데 소속함수의 범위를 지정하는 변수이고 상호간의 겹치는 정도를 변화시킨다.

$$\mu_i(X) = \exp\left(-\frac{|X - \alpha_i|^{2\beta_i}}{\sigma_i}\right) \quad \text{and} \quad (2.4)$$

$$\mu_{PB} = 1 \quad x > \alpha_{PB}$$

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

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

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.

7개의 언어변수(NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB)에 대하여 각각 오차(e)와 오차변화율(Δe)에 관한 소속함수에 램덤함수를 이용하여 발생시킨 규칙을 배정한다.

2.3.2 문자열의 부호화 및 역부호화

퍼지 규칙이 7×7 형태로 구성됨에 따라 7진수의 랜덤 문자열이 생성되고 49개의 규칙이 만들어진다. 각 파라미터의 최소, 최대 경계를 식(2.5)에 의해 7진수로 변환하여 필요한 자리를 확보하고 초기 염색체를 만든다.

$$K = K_{\min} + (K_{\max} - K_{\min}) \times \frac{\text{value}}{7^n - 1} \quad (2.5)$$

2.3.3 평가함수의 구성

제어하는 대상에 따라 각각의 적합도를 산출하여 발생된 각 문자열마다 시스템에 적합한지의 여부를 조사하게 된다. 제어의 성능평가 함수로 자주 사용되는 시간곱 제곱오차 적분 판정기준(Integral of time multiplied square error criterion, ITSE)을 식(2.6)과 같이 적합도 판별에 사용하였고 이를 다시 식(2.7)의 형태로 변환 시켰다.

$$x = \sum_{j=0}^n (e_j^2 + \Delta e_j^2) i \quad (2.6)$$

$$f(x) = \exp\left(-\sqrt{\frac{x}{n}}\right) \times 100 \quad (2.7)$$

2.4 모의실험

본 논문에서 제안한 퍼지-유전 제어기의 성능을 검증하기 위하여 다양한 특성의 플랜트 모델을 선정하여 모의 실험을 수행하였다.

먼저 세대에 따른 적합도 변화를 알아보기 위해 식 2.8과 같은 전달함수를 사용한 모델에 대하여 모의 실험을 하였다.

$$G_m(s) = \frac{4}{s^2 + 4s + 4} \quad (2.8)$$

Code Equivalent		
Positive Big	PB	0
Positive Medium	PM	1
Positive Small	PS	2
Zero	ZO	3
Negative Small	NS	4
Negative Medium	NM	5
Negative Big	NB	6

표 2.1 기호(Code)화 된 퍼지 규칙

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	5	3	2	3	1	3	2
NM	3	2	5	0	0	4	1
NS	2	1	3	2	1	5	5
ZO	1	3	2	6	3	3	3
PS	3	1	1	2	1	2	0
PM	2	2	3	1	3	2	3
PB	1	3	2	0	0	3	2

표 2.2 초기에 발생된 퍼지 규칙

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	6	5	4	5	4	3	2
NM	6	6	6	2	6	3	1
NS	5	5	3	2	4	5	1
ZO	6	4	2	3	3	2	2
PS	3	1	2	2	1	2	0
PM	3	3	3	1	0	0	0
PB	2	3	2	0	0	3	1

표 2.3 자동 튜닝된 퍼지 규칙

표 2.2와 같이 랜덤 함수를 통해 발생된 초기규칙들이 유전 알고리즘에 의하여 50세대가 지난 후에는 표 2.3과 같이 전문가의 지식이 포함되어 있는 퍼지규칙과 거의 비슷한 퍼지규칙이 나타남을 알 수 있다.

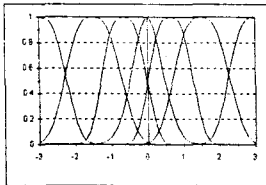


그림 2.4 초기에 발생된 소속함수

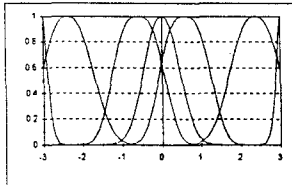


그림 2.5 50세대후 GA에 의해 결정된 소속함수

그림 2.4는 초기 랜덤 함수에 의해 발생된 소속함수를 나타내며 그림 2.5는 유전알고리즘에 의해 50세대가 지난 후에 바뀐 소속함수를 나타낸다.

전문가의 사전지식이 성능향상에 도움이 되는지를 알기 위하여 식 2.9를 이용하여 모의실험을 하였다.

$$G_m(s) = \frac{25.04(s+0.2)}{s(s+5.02)(s+0.01247)} \quad (2.9)$$

식 2.9의 전달함수를 사용하여 기존의 PID제어기와 일

반 퍼지제어기, 유전알고리즘을 이용한 제어기를 서로 비교 하였다.

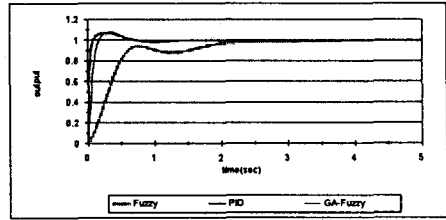


그림 2.6 제어기의 성능비교

결과적으로 그림 2.6과 같이 시행착오법으로 최적화된 PID제어기의 출력에는 GA-Fuzzy의 결과가 조금 떨어진다. 그러나 파라메타를 자동으로 결정한다는 점과 일반적인 퍼지제어기가 정상상태에서 잔류오차가 존재하는 단점이 있는 반면 이를 극복하는 우수성을 보였고 성형, 비선형에 모두 적용 가능한 GA-fuzzy의 장점을 고려해 보면 앞으로 비선형 시스템에 적용할 경우 기존의 제어기에 뒤지지 않는 성능을 보일 것으로 사료된다.

2.5 실험

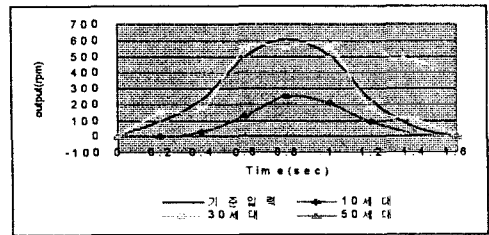


그림 2.7 sin함수에 대한 초기 세대의 출력과 50세대후 출력

그림 2.7은 SIN함수와 단위계단 입력에 대하여 OFF LINE 실험을 하였다. 속도제어를 하는데 있어서 설정치를 비교적 제어가 어려운 저속영역을 선택했고, 정격이 3000rpm을 갖는 DC모터의 약 25% 정도인 600~900rpm으로 정하여 실험 하였다. 이 실험에 결과를 보면 GA-FLC가 OFF-LINE 제어에 좋은 성능이 보이는 것을 알 수 있었다.

3. 결 론

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

(참고 문헌)

- 1) M.Sugeno, T.Yasukawa, "A Fuzzy-Logic based Approach to Qualitative Modeling" IEEE Trans. Fuzzy System, Vol.1 No.1 pp7-31,1993
- 2) John R. Koza, Genetic programming, MIT Press,1993
- 3) K.H.Kim and D.H.KIM, "Fuzzy control Rule Based control and Applications(IV), (Z.Bien edition), KAIST, Feb,1995.
- 4) MELANIE MITCHELL, Massachusetts Institute of Technology, 1996
- 5) Earl Cox, The Fuzzy Systems Handbook : a practitioners guide to building, using, and maintaining fuzzy systems, AP Professional, 1994