

# 진화 연산을 이용한 DC 모터 퍼지 제어기 구현

\*황 기현, 김형수, 문경준, 이화석, 박준호, 황창선  
부산대학교 공과대학 전기공학과

## Implementation of Fuzzy Controller of DC Motor Using Evolutionary Computation

\*G. H. Hwang, H. S. Kim, K. J. Mun, H. S. Lee, J. H. Park, C. H. Hwang  
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

**Abstract :** This paper proposes a design of self-tuning fuzzy controller based on evolutionary computation. Optimal membership functions are found by using evolutionary computation.

Genetic algorithms and evolution strategy are used for tuning of fuzzy membership function. An arbitrarily speed trajectory is selected to show the performance of the proposed methods. Experiment results show the good performance in the DC motor control system with the self-tuning fuzzy controller based on evolutionary computation.

### 1. 서론

제어 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 정성적이고, 부정확하고, 불확실한 경우에 퍼지 제어기는 우수한 제어 성능을 나타내고 있다. 그러나 퍼지 제어는 전문가의 지식을 바탕으로 제어규칙을 언어적으로 쉽게 표현할 수 있지만, 제어 대상이 복잡해지고 입력 변수가 3개 이상일때는 언어적으로 표현하기가 어렵다. 또한, 퍼지 규칙들이 시스템에 제대로 반영되도록 하려면 규칙에 사용한 퍼지 변수의 소속함수 모양등을 조정하는데 있어서 전문가의 경험 혹은 시행착오적으로 결정해야하는 단점이 있다.

근래에 이를 보완하기 위하여 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 확률적인 최적점 탐색방법인 진화연산(evolutionary computation)이 이용되고 있다. 적용 분야는 종래의 방법으로는 최적화하기 어려운 목적함수의 최적화, 신경회로망의 학습, 퍼지의 멤버십(membership) 함수의 튜닝, 기계학습, 시스템 식별 및 제어등에 널리 응용되고 있다[1-10]. 또한, 진화연산은 목적함수의 미분가능, 연속성에 관계없이 최적해를 구할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 퍼지 멤버십 함수의 동조에 유전알고리즘에 evolution strategy(ES)를 결합[11,12]한 진화연산을 이용하여 DC 모터 제어기를 설계하였으며, 실험을 통해서 설계된 퍼지 제어기의 성능이 우수함을 보였다.

### 2. 퍼지 제어 이론 및 진화 연산

#### 2.1 퍼지 제어 이론

일반적으로 퍼지 제어기의 성능은 퍼지 규칙의 적절한 선택과 멤버십 함수의 형태에 의해서 결정된다. 멤버십 함수의 형태는 삼각형, 중, 사다리꼴 등 여러 가지가 있으나, 여기에서는 삼각형 멤버십 함수를 사용하였다. 퍼지 규칙은 표 1에서와 같이 19개의 규칙을 사용했다.

표 1 튜닝에 사용한 퍼지 규칙

$\Delta E$							
E							
NB				NB	NM		
NM				NM			
NS				NS	ZO		PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM		ZO	PS			
PM				PM			
PB			PM	PB			

퍼지 이론의 응용은 많은 분야에서 적용되고 있다. 특히 퍼지 제어는 기존의 정확한 수학적 모델을 기초로 설계되는 제어기와는 달리 인간의 의사결정 방식을 도입하여 보다 인공지능적인 제어를 할 수 있다. 퍼지 제어기는 병렬 분산형제어, 논리형 제어, 언어적 제어등의 특징을 지니고 있으며, 퍼지 제어의 과정은 크게 세가지로 분류된다.

- 1) 퍼지화 : 퍼지의 도입부에서 입력 변수값을 적절한 퍼지값으로 바꾸는 연산이다.
- 2) 퍼지 추론 : 제어규칙을 이용하여 출력값을 계산하는 과정이며 MAX - MIN, MAX - PRODUCT 등이 있다.
- 3) 비퍼지화 : 출력부 전체 집합에서 정의된 퍼지 제어 조작량을 명확한 비퍼지 제어 조작량으로 변화시켜 주는 작업을 말한다. 비퍼지화 방법에는 최대값 방법, 최대 평균법, 무게 중심법등이 있다.

#### 2.2 진화 알고리즘

이 절에서는 멤버십 함수를 결정하기 위해 사용된 진화연산을 간략하게 기술한다.

##### 2.2.1 유전 알고리즘

자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 유전알고리즘은 확률적인 방법과 개체간의 체계적인 정보교환을 통해 탐색공간을 조사해나감으로써 주위환경에 알맞은 가장 적절한 해를 구하는 최적화 알고리즘이며 부호화 및 초기화, 평가, 복제, 교차 및 돌연변이 과정을 거쳐 최적해를 구하는 방법이다[7].

##### 2.2.2 Evolution Strategy

GA가 유전자형에 기초한 최적화 알고리즘인 반면, ES는 겉으로 표현되는 생물의 체질 즉, 표현형에 기초한 방법이다[6]. ES를 적용하여 최적해를 구하는 과정은 다음과 같다.

- a) 초기화 : 부모  $X(n$ 차원 벡터)를 허용영역내에서  $\mu$ 개를 랜덤하게 발생시켜 초기해집단  $X_i, i = 1, \dots, \mu$ 를 생성한다.

- b) 돌연변이 : 부모  $X_i$ 에 Gaussian random variable(평균은 0이고 표준편차는 임의로 설정)을 더하여 자손  $X'_i; i = 1, \dots, \lambda$ 를 생성한다.
- c) 평가 : 주어진 목적함수에 따라 각 해( $\mu + \lambda$  혹은  $\lambda$ )의 적합도를 평가한다.
- d) 선택 : 적합도가 높은  $\mu$  개를 다음 세대의 새로운 부모로 선택한다.
- e) b) ~ d) 과정을 반복하여 만족할만한 해를 얻으면 종료한다.

### 3. 진화 연산을 이용한 자기동조 퍼지 제어기 설계

진화 연산을 이용하여 퍼지 멤버십 함수를 동조하기 위해서 그림 1과 같은 제어기 모델을 제안하였다.

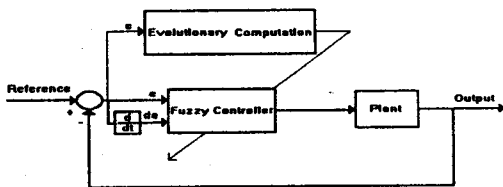


그림 1 진화연산과 퍼지 시스템을 이용한 제어기 모델

먼저 유전알고리즘으로 멤버십 함수를 동조하기 위해서는 삼각형 멤버십 함수의 꼭지점과 밑변 길이의 반을 하나의 스트링으로 구성한다. 즉 그림 2와 같은 형태로 초기 해집단을 구성한다.

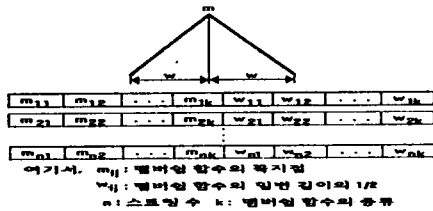


그림 2 초기해집단의 구성

또한 각 스트링을 평가하기 위한 적합도를 여러 방법으로 선정할 수 있으나, 본 연구에서는 T시간 동안에 취득한 실제출력과 목표출력간의 오차의 절대치의 합을 이용하여 다음과 같이 정하였다.

$$\text{fitness} = \frac{\beta}{a + \sum_{k=0}^n |\text{error}_k|} \quad (1)$$

여기서,  $\text{error}_k = \omega_r(k) - \omega_p(k)$

$\omega_r(k)$  : 원하는 입력,  $\omega_p(k)$  : 실제 출력

$a, \beta$  : 상수,  $n$  : T 시간 동안에 취득한 데이터의 수

초기에 발생시킨 랜덤한 해집단을 이용하여 식(1)의 적합도를 평가한 후 복제, 교차 및 돌연변이를 수행하고 반복횟수가 설정값 이하가 될 때까지 반복 수행한다.

본 연구에서 제시한 제어기 튜닝방법은 유전 알고리즘에 ES를 결합하여 이용하는 방법[11,12]이다. 유전 알고리즘을 이용하여 적절한 해를 찾고 적합도의 변화가 일정값 이내 혹은 설정된 반복횟수에 도달하면 ES를 수행한다. 왜냐하면 유전알고리즘은 최적해 근처로 빨리 수렴하나 확실적인 방법의 특성상 최적해를

구하는 데 시간이 많이 걸리는 반면, ES는 초기 수렴성은 낮으나 최적해를 찾는 능력이 뛰어나기 때문이다.

### 4. 실험 결과

#### 4. 1 전체 하드웨어 구성

모터 속도 제어를 위한 전체 하드웨어의 블록선도는 그림 3과 같다. IBM PC 486과 PIO 인터페이스 카드의 일종인 818 Lab 카드를 사용하였다. C 언어로 구성된 퍼지 제어기의 출력이 인터페이스 카드를 통하여 PWM 전류제어기의 입력으로 전달되며, PWM 전류제어기는 인터페이스 카드의 출력과 모터의 실질적인 전류 신호를 비교하여 Gate amp module회로의 입력을 구성하고 Gate amp module회로에서는 모터 구동을 위한 신호를 생성한다. 그림 4 및 5에 PWM 전류제어기와 Gate amp module 회로를 각각 나타내었다.

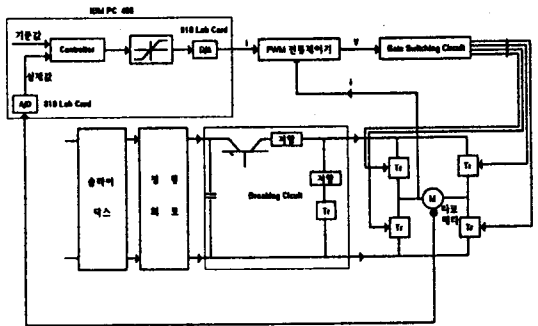


그림 3 DC 모터의 구동을 위한 하드웨어 구성도

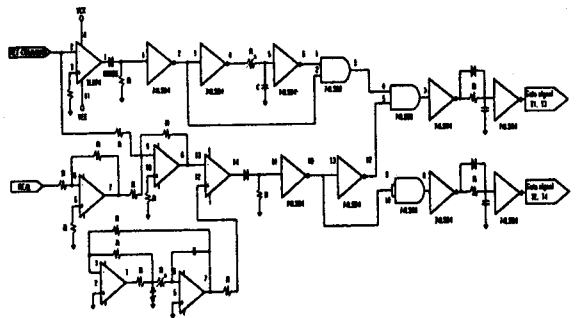


그림 4 PWM 전류제어기

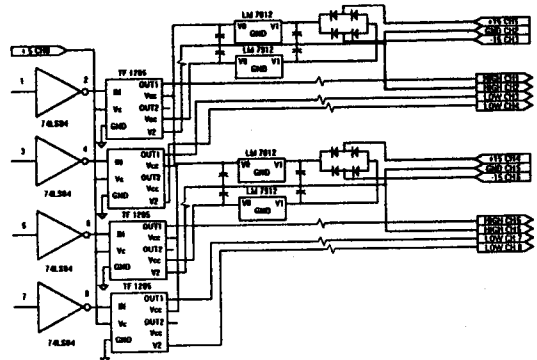
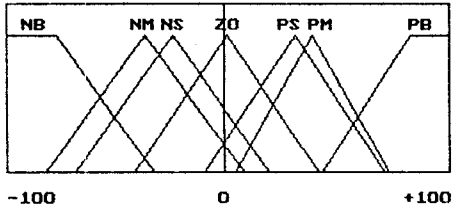


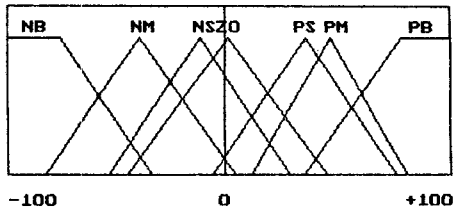
그림 5 Gate amp module 회로

#### 4. 2 실험 결과

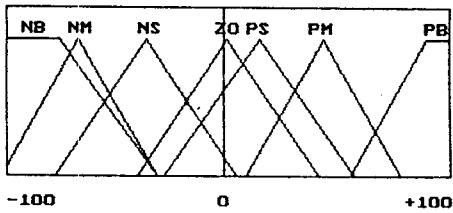
제안한 방법을 실 시스템에 적용하기 위하여 PC Lab 카드의 출력을 0~10[V], PC Lab 카드의 입력은 타코메타의 출력값을 이용하였다. 튜닝된 멤버십 함수는 그림 6과 같다. 이 경우의 출력응답 특성을 그림 7에 나타내었다.



a) 오차의 멤버십 함수



(b) 오차의 변화의 멤버십 함수



(c) 출력부의 멤버십 함수

그림 6 멤버십 함수의 튜닝 결과

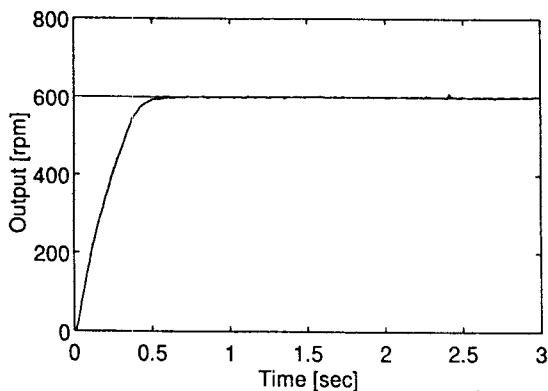


그림 7 기준입력에 대한 출력응답

#### 5. 결론

본 연구에서는 진화연산을 이용하여 퍼지 제어기의 멤버십 함수를 튜닝하는 퍼지 제어기의 설계방법을 제시하였다. 종래의 퍼지 제어기의 단점은 각 멤버십 함수의 튜닝을 시행착오법에 바탕을 두었으나 본 논문에서 제시한 진화연산을 이용하면 자동으로 튜닝할 수 있었다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] K. Krishnakumar, David E. Goldberg, "Control System Optimization Using Genetic Algorithms", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* Vol. 15, No. 3, pp. 735 - 740, May - June, 1992
- [2] Vittorio Maniezzo, "Genetic Evaluation of the Topology and Weight Distribution of Neural Networks", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 5, No. 1, pp. 39 -53, Jan., 1994
- [3] A. Varšek, T. Urbančič, and B. Filipič, "Genetic Algorithm in Controller Design and Tuning", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 23, No. 5, pp. 1330 - 1339 Sept./Oct. 1993
- [4] N. Sarvanan and D. B. Fogel, "Evolving Neurocontrollers using Evolutionary Programming", *Proc. of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 217 - 222, 1994
- [5] J. J. Buckley and Y. Hayashi, "Fuzzy Genetic Algorithms for Optimization", *Proc. of 1993 International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 725 - 728, 1993
- [6] David B. Fogels, "An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization", *IEEE Trans. on Neural Network*, Vol. 5, No. 1, pp. 3 - 14, Jan., 1994
- [7] David E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989
- [8] V. Nisssoen, "Solving the Quadratic Assignment Problem with Clues from Nature", *IEEE Trans. on Neural Network*, Vol. 5, No. 1, pp. 66 - 72, Jan., 1994
- [9] X. Qi and F. Palmieri, "Theoretical Analysis of Evolutionary Algorithms with an Infinite Population Size in Continuous Space", *IEEE Trans. on Neural Network*, Vol. 5, No. 1, pp. 102 - 119, Jan., 1994
- [10] T. Bäck, "Selective Pressure in Evolutionary Algorithms: A Characterization of Selection Mechanisms", *Proc. of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 57 - 62, 1994
- [11] 황기현, 박준호, 이화석, "신경망과 진화알고리즘을 이용한 DC 모터 속도제어", *대한전기학회 추계종합학술대회 논문집*, pp. 359 - 361, 1994
- [12] 황기현, 문경준, 이화석, 김형수, 박준호, "퍼지 시스템과 진화연산을 이용한 DC 모터 속도제어", *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp. 652 - 654, 1995
- [13] Siri Weerasoriya and M. A. El-Sharkawi, "Identification and Control of a dc motor using back-propagation neural networks", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 6, No. 4, pp. 663 - 669, Dec., 1991