

# 퍼지 제어기의 퍼지규칙 및 멤버십 함수 튜닝에 유전알고리즘을 적용한 직류 모터의 속도제어

\*황기현, \*김형수, \*박준호, \*황창선, \*\*김종진  
\* 부산대학교 전기공학과, \*\* 삼성중공업 전기 연구소

## Fuzzy Rules and Membership Functions Tuning of Fuzzy Controller Applying Genetic Algorithms of Speed Control of DC Motor

\* G. H. Hwang, \* H. S. Kim, \* J. H. Park, \* C. S. Hwang, \* J. K. Kim  
\* Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University  
\*\* R & D Center, Samsung Heavy Industries Co.

### Abstract

This paper proposes a design of self-tuning fuzzy rules and membership functions based on genetic algorithms. Sub-optimal fuzzy rules and membership functions are found by using genetic algorithms.

Genetic algorithms are used for tuning fuzzy rules and membership functions. A arbitrary speed trajectories are selected for the reference input of the proposed methods. Experimental results show the good performance in the DC motor control system with the self-tuning fuzzy controller based on genetic algorithms.

### 1. 서론

퍼지 제어기는 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 정성적이고, 부정확하고, 불확실한 경우에 우수한 제어 성능<sup>[1-3]</sup>을 나타낸다. 그러나 퍼지규칙 및 퍼지변수의 소속함수 모양등이 시스템에 제대로 반영되지 못하면 뛰어난 제어성능을 기대할 수 없다. 기존에는 퍼지규칙 및 멤버십 함수 모양을 조정하기 위해서 시행착오법 및 전문가의 경험으로 결정해야하는 단점이 있다.

근래에는 이런 문제점을 극복하기 위해서 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 확률적인 최적점 탐색방법인 진화연산이 종래의 방법으로는 최적화하기 어려운 목적함수의 최적화, 신경회로망의 학습, 퍼지의 멤버십 함수의 튜닝, 기계학습, 시스템 식별 및 제어 등에 널리 응용<sup>[4-6]</sup>되고 있다. 진화연산을 이용한 동적시스템 제어는 제어대상 시스템의 정확한 수학적 모델이 필요 없고, 실제시스템이 비선형이고 시변인 경우에도 적용가능하다.

본 연구에서는 퍼지규칙 및 퍼지 멤버십 함수 튜닝에 유전 알고리즘을 적용한 DC 모터 제어를 설계하였으며, 실험을 통해 그 성능을 비교, 검토하였다.

### 2. 퍼지 제어 및 유전알고리즘

#### 2.1 퍼지 제어 이론

일반적으로 퍼지 제어기의 성능은 퍼지규칙의 적절한 선택과 멤버십 함수의 형태에 의해서 결정된다. 멤버십 함수의 형태는 삼각형, 사다리꼴 등 여러가지가 있으나, 본 연구에서는 삼각형 멤버십 함수를 사용하였으면 동시에 퍼지규칙도 최적화 방법인 유전알고리즘을 사용하여 튜닝하였다.

퍼지 이론의 응용은 많은 분야에서 적용되고 있다. 특히 퍼지 제어는 기존의 정확한 수학적 모델을 기초로 설계되는 제어

기와는 달리 인간의 의사결정 방식을 도입하여 보다 인공지능적인 제어를 할 수 있다. 퍼지 제어기는 병렬 분산형제어, 논리형 제어, 언어적 제어 등의 특징을 지니고 있으며, 퍼지 제어 과정은 크게 세가지 즉, 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화 등으로 분류된다.

#### 2.2 유전 알고리즘

자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 유전 알고리즘은 확률적인 방법과 개체의 체제적인 정보교환을 통해 탐색 공간을 조사해나감으로써 주위 환경에 알맞은 가장 적절한 해를 구하는 최적화 알고리즘이며, 부호화 및 초기화, 평가, 복제, 교차, 돌연변이와 같은 연산자를 사용하여 최적해를 탐색한다.

### 3. 유전알고리즘의 적용방법

자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 확률적인 최적점 탐색방법인 유전알고리즘으로 퍼지규칙 및 멤버십 함수를 튜닝하기 위해서 퍼지규칙과 삼각형 멤버십 함수의 꼭지점 및 밑변의 길이의 1/2을 하나의 스트링 즉, 그림 1과 같은 형태로 초기해 집단을 구성하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 총 49개의 퍼지규칙(1=NB, 2=NM 등)중에서 점선의 위부분에 해당하는 퍼지규칙 21개와 삼각형 멤버십 함수의 꼭지점과 밑변의 길이의 1/2을 하나의 스트링으로 구성하였다. 또한, 멤버십 함수의 꼭지점과 꼭지점 사이를 15등분하여 탐색을 하였다.

string | 1232123212322222 | 4422578912 ... 1234784543 |  
rule set membership function

	NB	NS	ZE	PS	PH	PB
NB	1	2	3	2	1	1
NS	2	1	1	2	1	2
ZE	2	2	1	1	2	2
PS	2	2	2	1	1	2
PH	2	2	2	2	1	1
PB	2	2	2	2	2	1

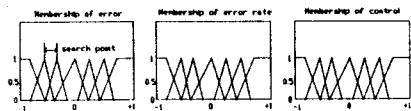


그림 1 스트링의 구조

각 스트링을 평가하기 위해서 적합도를 여러 방법으로 선정할 수 있으나, 본 연구에서는 T시간 동안에 취득한 실제출력과 기준입력간의 오차의 절대치의 합의 평균을 이용하였다.

$$\text{적합도} = \frac{1}{1 + \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |\text{error}_i|} \quad (1)$$

여기서, N : T시간 동안에 취득한 데이터의 수  
 error : 기준입력 - 실제출력

본 연구에서 제시한 제이그 튜닝방법은 처음에는 멤버쉽 함수의 꼭지점과 밑변의 길이를 일정하게 두고 퍼지규칙을 유전알고리즘으로 튜닝하다가 적합도의 변화가 일정값 이내 혹은 설정된 반복횟수에 도달하면 퍼지규칙과 멤버쉽 함수를 동시에 튜닝하는 방법과 처음부터 유전알고리즘을 이용하여 동시에 퍼지규칙과 멤버쉽 함수를 튜닝하는 방법을 사용하였다. 실험을 통해서 제안한 방법에 대한 성능을 검토하였다.

#### 4. 실험 결과

유전알고리즘을 이용한 퍼지규칙 및 멤버쉽 함수를 튜닝하기 위한 전체 하드웨어 구성도는 그림 2와 같다. 전체 하드웨어는 퍼지 제어기, PWM 전류 제어기, 구동회로, A/D 및 D/A 컨버터로 구성된다. 또한, PWM 전류제어기를 하드웨어로 구현하지 않고 C-언어를 사용하여 소프트웨어로 구성하였다.

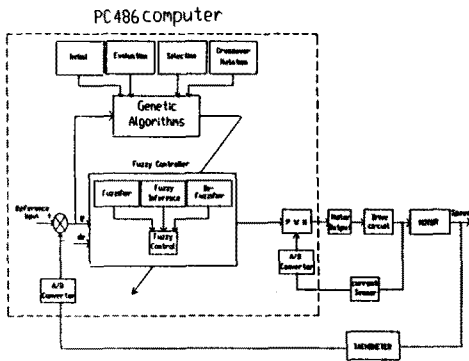
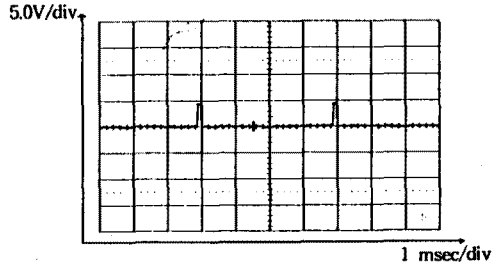


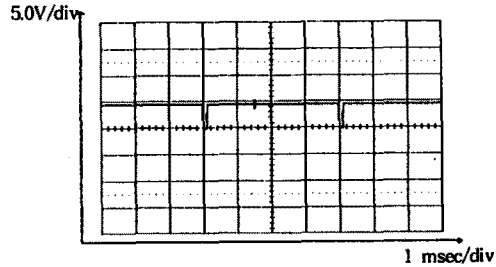
그림 2 유전알고리즘과 퍼지시스템을 이용한 제어기 모델

그림 2에서 보는 바와같이 전체 하드웨어는 크게 두가지 루프, 즉 속도루프와 전류루프로 구성된다. 먼저 전류루프에서 소프트웨어로 구성한 PWM 전류 제어기의 성능을 검토하기 위해서 개방루프와 폐루프에서 실험을 실시하였다. 그림 3에서는 개방루프에서 PWM의 최소 및 최대 Duty 비를 나타내었고, 그림 4에서 폐루프에서 전류명령치와 전류추종치 및 PWM의 출력파형을 나타내었다.

그림 3, 4에서 보는 바와같이 전류루프를 상수를 취급할 수 있을만큼 만족스러운 결과를 나타내었다. 다음 단계인 속도루프에 대한 실험을 실시하였고, 속도제어에서 튜닝된 퍼지규칙 및 멤버쉽 함수는 그림 5에 나타내었고, 그림 6에서는 최대 적합도의 추이를 나타내었다. 그림 7에서는 기준입력에 대한 출력응답을 나타내었고, 그림 8에서는 새로운 기준입력에 대한 출력응답 특성을 나타내었다.

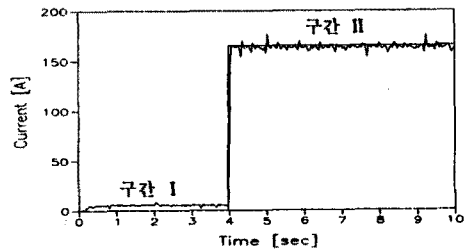


a) 최소 PWM Duty 비

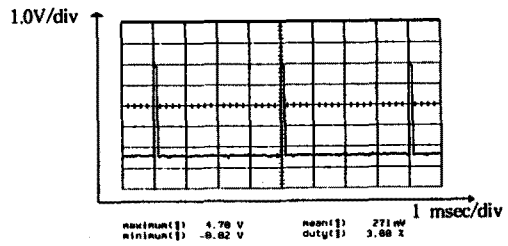


b) 최대 PWM Duty 비

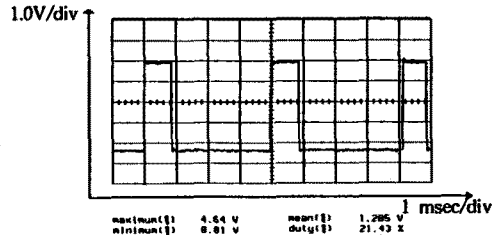
그림 3 개방루프에서의 PWM의 출력파형



a) 전류명령치에 대한 전류추종치



b) 구간 I에서의 PWM의 출력파형



c) 구간 II에서의 PWM의 출력파형

그림 4 폐루프에서의 PWM의 출력파형

	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	1	1	3	2	1	1	4
NM	1	3	2	3	1	4	7
NS	2	1	1	1	4	7	7
ZE	2	1	1	4	7	5	6
PS	1	1	4	7	7	6	5
PM	2	4	7	7	7	5	6
PB	4	6	7	6	6	7	7

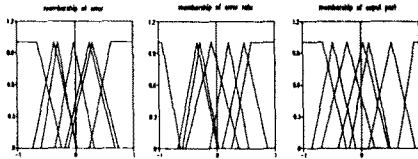


그림 5 퍼지규칙 및 멤버쉽 함수

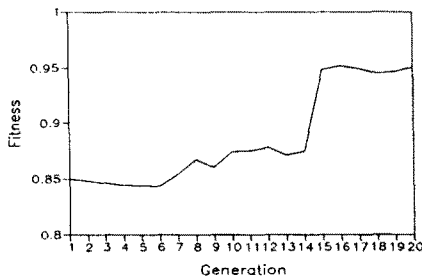


그림 6 최대 적합도 추이

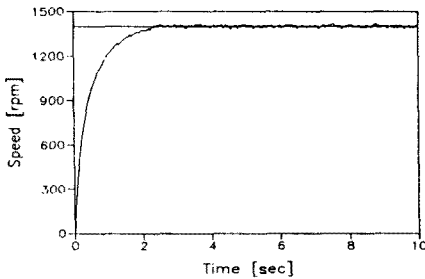


그림 7 기준입력에 대한 출력응답

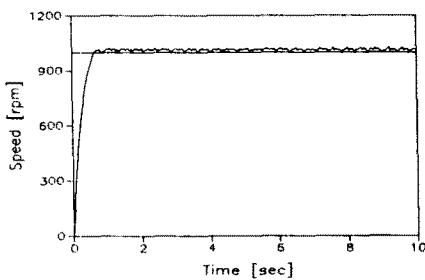


그림 8 새로운 기준입력에 대한 출력응답

## 5. 결론

본 연구에서는 유전알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기의 퍼지규칙 및 멤버쉽 함수를 튜닝하는 퍼지 제어기 설계방법을 제시하였다.

퍼지 제어기의 설계시 이제까지는 퍼지규칙 및 퍼지변수의 소속함수 모양을 조정하는데 있어서 전문가의 경험과 지식 혹은 시행착오법에 바탕을 두었다. 그러나, 본 연구에서는 확실적인 최적화방법인 유전알고리즘을 이용하여 퍼지규칙 및 퍼지변수의 소속함수 모양을 자동으로 튜닝하였다. 제안한 방법을 이용하여 실제실험을 해 본 결과 만족스러운 결과를 얻었다.

## 6. 참고 문헌

- [1] 황기현, 문경준, 이화석, 김형수, 박준호, "퍼지 시스템과 진화연산을 이용한 DC 모터 속도제어", 대한전기학회 하계종합학술대회논문집, pp. 652-654, 1995
- [2] Charles L. Karr and Edward J. Gentry, "Fuzzy Control of pH Using Genetic Algorithms", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 1., No. 1., pp. 46-53, Feb., 1993
- [3] Abdollah Homaifar and Ed McCormick, "Simultaneous Design of Membership Functions and Rule Sets for Fuzzy Controllers Using Genetic Algorithms", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 3., No. 2., pp. 129-139, May, 1995
- [4] 황기현, 박준호, 이화석, "신경망과 진화알고리즘을 이용한 DC 모터 속도제어", 대한전기학회 추계종합학술대회논문집, pp. 359-361, 1994
- [5] 황기현, 문경준, 이화석, 김형수, 박준호, 황창선, "진화 연산을 이용한 DC 모터 퍼지 제어기 구현", 대한전기학회 추계종합학술대회논문집, pp. 189-191, 1995