

# 유전자 알고리즘을 이용한 자동 퍼지규칙 추출 방식

박진성\*, 손동설\*\*, 임중규\*, 정경권\*, 이현관\*\*\*, 엄기환\*

\*동국대학교, \*\*유한대학, \*\*\*호남대학교

## An Auto Fuzzy Rule-base Extraction Method using Genetic Algorithm

Jin-Sung Park\*, Dong-Seol Son\*\*, Joong-Gyu Lim\*, Kyung-Kwon Jung\*, Hyun-Kwan Lee\*\*\*,

Ki-Hwan Eom\*

\*Dongguk University, \*\*Yuhan College, \*\*\*Honam University

E-mail : parkjins@dongguk.edu

### 요 약

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용한 자동 퍼지규칙 추출 방식을 제안한다. 제안한 방식은 전문가의 조언에 의한 퍼지규칙 기반이나 시행착오법에 의한 퍼지규칙에 의존하지 않고 유전자 알고리즘을 이용한 자동 퍼지규칙 방식이다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위해 dc모터제어에 적용하였으며 유용성을 확인하였다.

### ABSTRACT

This paper proposed An auto fuzzy rule-base extraction method using genetic algorithm. The suggested method is an auto fuzzy rule-base extraction method neither expert advise fuzzy rule-base nor trial and error fuzzy rule-base. In order to confirm the validity of proposed method, we have applicated dc motor control and confirmed effective.

### 키워드

Genetic Algorithm, Fuzzy Logic System, Fuzzy Rule-base.

### 1. 서 론

최근에 각광을 받고 있는 인공 제어 방식은 사람의 자연적인 언어 체계를 표현하는데에 효과적인 퍼지 시스템과 생물학적 신경 계통을 모방한 신경 회로망 그리고 자연 세계의 진화 현상에 기초한 계산 모델인 유전자 알고리즘 등을 이용하는 방식이다. 이러한 인공 지능 시스템은 우리 인간의 지적인 기능들을 대신하여 처리해 줄 수 있는 시스템 중에서 가장 적합한 모델이다[1~3].

1965년 L.A.Zadeh 교수에 의해 제안된 퍼지 이론은 1974년 Mamdani의 모형 증기 기관의 제어에 성공적으로 적용함으로써 제어에의 적용 가능성을 제시한 이래로, 퍼지 제어 이론은 경험적 지식을 표현하는 강력한 도구로 등장하였다.

John Holland에 의해 1975년에 개발된 유전자 알고리즘은 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유

전학에 기본 이론을 둔 병렬적이고 전역적(global)인 탐색 알고리즘으로서, 모든 생물은 주어진 다양한 환경 속에 적응함으로써 살아남는다는 Darwin의 적자생존(survival of the fittest)의 이론을 기본 개념으로 한다. 고전적인 제어기 알고리즘들은 제어기에 대한 충분한 지식과 시스템의 수학적인 해석 및 계산에 의해서 설계되었다. 이렇게 설계된 시스템도 주어진 환경에서 지역적(local)일 수도 있었다. 그러나 유전 알고리즘은 전역적인 최적의 해를 발견할 높은 가능성을 가진다는 장점과 목적 함수값(objective function value)에 대한 수학적 제약이 거의 없기 때문에 여러 분야에 적용할 수 있으며, 최근 들어 특히 신경 회로망과 퍼지 제어 방식과의 결합으로 그 응용 범위는 점점 늘어나고 있다[4~6].

본 논문에서는 퍼지 논리 제어 방식에서 전문가의 지식없이 유전자 알고리즘으로 최적의 퍼지 규

칙을 구성하는 방법을 제안한다. 제안하는 방식은 실제 플랜트는 퍼지 논리를 이용해서 제어를 하되 먼저 오프 라인상에서 퍼지 제어기의 퍼지 규칙을 유전 알고리즘으로 최적화시킨 후 제어를 하는 방식이다. DC 서보 모터와 단일 링크 매니플레이터에 적용하여 기존의 제어 방식들과 제어 성능을 비교 및 검토를 한다.

## II. 퍼지논리 시스템

이 시스템에 대한 입력은 실수(crisp)수와 퍼지 수 모두 가능하다. 그러나 최종 추론 결과는 두 경우 모두 퍼지수이므로 비퍼지화(defuzzification)를 통해 실수로 바꾸어 주어야 한다. 비퍼지화 방법은 여러 가지가 있는데 무게중심법(center of gravity)이 가장 많이 사용된다. 그림 1은 퍼지제어방식의 블록선도를 나타내며, 퍼지화기, 퍼지-지식베이스, 퍼지추론기, 비퍼지화기로 구성된다.

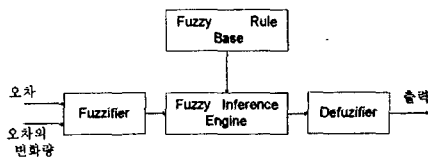


그림 1. 퍼지제어방식에 대한 블록선도

퍼지화기는 퍼지제어기의 입력단에 위치하며, 퍼지제어기의 입력신호인 오차와 오차의 변화량을 퍼지값으로 바꾸는 역할을 한다. 퍼지-지식베이스부는 데이터베이스부와 퍼지규칙베이스부로 구성된다. 데이터베이스부는 입력 변수 전체 집합에 대한 정규화를 정의하고, 퍼지집합의 소속함수 형태를 결정하며, 입 출력 공간의 분할방식을 정의한다. 그림 2는 일반 퍼지제어기에서 많이 사용하는 삼각형 소속함수의 형태를 나타낸다.

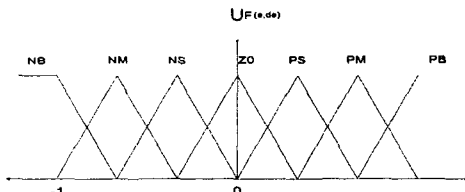


그림 2. 삼각형 소속 함수

퍼지 규칙베이스는 전문가의 경험을 토대로 형식의 언어적 제어규칙으로 표현된다. 퍼지추론기는 퍼지 규칙베이스에서 사용된 퍼지 제어규칙을 이용하여 추론을 하여 결론을 내리는 논리연산 부분으로, 최소-최대 연산, 적-대수합 연산을 많이 사용한다.

표1. 퍼지 규칙

	de	NB	ZE	PB
e				
NB		NB	NB	ZE
ZE		NB	ZE	PB
PB		ZE	PB	PB

비퍼지화기는 퍼지추론의 결과인 퍼지값을 단일 실수값으로 변환시키는 부분으로 최대값방법(maximum criterion method), 최대평균값(mean of maximum method), 무게중심법(center of area method)등이 있으며, 비교적 다른 방법들에 비해 좋은 성능을 나타내는 무게중심법을 많이 이용한다.

기존의 제어기는 어떤 한 파라미터를 조정하면 전체 제어 표면(control surface)에 영향을 미치게 되어 파라미터의 조정이 어려우나, 퍼지 제어기는 규칙 기반으로 제어되기 때문에 일부 규칙이 조정되어도 제어 표면에는 영향이 없고 단지 국부적으로 변경된다는 점이 장점이다.

퍼지 제어를 하기 위해서는 퍼지 IF-THEN 규칙이 필요하다. 특히 퍼지 제어에 이용되는 IF-THEN 규칙을 제어 규칙(control rule)이라 부르며 퍼지 추론에 의해 퍼지 제어를 실현할 수 있으므로, 퍼지 제어기의 구조는 퍼지 추론(fuzzy inference)의 구조이다.

## III. 유전자 알고리즘

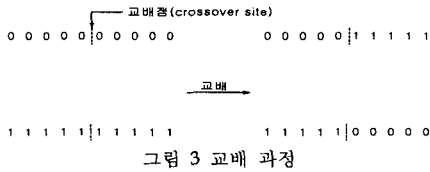
John Holland에 의해 개발된 유전 알고리즘의 연구 목적은 두 가지로, 첫 번째는 자연계 시스템의 적용 과정을 함축 강건(robustness)하게 설명하기 위한 것이고, 두 번째는 자연계 시스템의 골격(mechanism)을 그대로 유지한 채 인공적인 시스템 모델로 만들려는 것이다. 유전 알고리즘의 가장 핵심적인 주제는 강건성(robustness)으로, 이는 자연계의 수많은 다른 환경 속에서 힘센 강자만이 살 수 있는 Darwin의 적자생존 이론을 기본 개념으로 하기 때문이다.

유전 알고리즘은 전역적인 최적화 해를 구하기 위하여 재생산, 교배, 돌연변이라는 유전 연산자를 사용한다.

재생산은 각각의 스트링이 가지는 적합도에 따라 그 스트링을 복제하는 과정이며 이 때 적합도 함수는 사용자가 최대화하거나 최소화하기를 원하는 어떠한 형태의 함수도 가능하다. 이 과정은 적합도가 높은 개체일수록 다음 세대에 더 많은 자손을 가질 확률이 높음을 의미하며 이는 주어진 환경에 더 잘 적응하는 개체만이 살아남는다는 자연 선택의 원리를 담고 있다. 그러나 이를 구현하기 위해서는 주로 바이어스드 룰렛 휠 선택(biased roulette wheel selection)방법이 이용된다.

두 문자열을 교배시키는 과정은 그림 3과 같다. 이는 교배율(crossover rate : Pc)을 가지는 확률

적 과정임에도 불구하고 재생산과 함께 쓰여 개체간의 정보를 교환하고 스트링의 좋은 부분을 결합하는 효과적인 수단이 된다.



이러한 유전 연산자를 적용하기 위해서는 풀고자 하는 문제의 변수값을 이진 스트링으로 표현해야 한다. 개체의 코딩 방법은 문제의 변수가 이진치이거나 다른 이산치를 갖는 경우에 특히 자연스러운 표현법이다. 만약 문제가 실수의 값을 가질 경우에는 이진화된 정수 형태로 변환하여 사용한다.

유전 알고리즘은 10진수로 표현된 파라미터를 일정한 길이의 문자열로 변환시켜 사용하는데 주로 무부호 2진 스트링을 사용한다. 이런 개체들을 모아 하나의 집단을 구성하여 진화를 시키므로 한 점씩 탐색해 나가는 고전적인 알고리즘과는 달리 많은 점을 동시에 탐색할 수 있는 능력을 가지게 된다.

이러한 사항들을 고려한 유전 알고리즘은 모델에 따라 약간의 차이는 있으나 전체적인 알고리즘의 흐름은 다음과 같이 나타낸다.

- ① M개의 개체를 가진 최초의 개체군 P(0)를 형성한다. (세대 t = 0)
- ② 개체군 P(0)에 있는 모든 개체에 대해 적합도를 평가한다.
- ③ 원하는 수준의 해를 가진 개체가 발견되었으면 수행을 멈춘다.
- ④ P(t)로부터 적합도에 기반해 부모 개체를 선택하고 이를 교차나 돌연변이와 같은 유전 연산자에 의해 변형함으로써 새로운 M개의 개체를 생성한다.
- ⑤ 새로운 개체군을 P(t+1)라 하고 세대의 수를 하나 증가한다. (t = t+1)
- ⑥ 앞의 2단계로 가서 위의 과정을 반복한다.

#### IV. 제안한 방식

퍼지 출력의 규칙을 식 (1)와 같이 부호화하여 유전자 알고리즘으로 최적의 퍼지 규칙을 생성하여 퍼지 제어에 이용한다.

$$N, Z, P \Rightarrow 1, 2, 3 \quad (1)$$

표 2. 퍼지 규칙의 구성

	de	N	Z	P
e		#1	#2	#3

Z	#4	#5	#6
P	#7	#8	#9

9개의 퍼지 규칙을 유전자 알고리즘의 염색체 스트링으로 구성하여 각각의 스트링에 식 (1)의 값을 매핑한다.

#1	#2	#3	...	#8	#9
1	1	2	...	1	3

그림 4. 염색체의 구성

적합도는 퍼지 제어의 수행 시간 T까지의 Sse(Sum Squared Error)를 이용하여 식 (2)과 같이 설정한다.

$$F(t) = \frac{1}{Sse(t) + 1} \quad (2)$$

제안한 방식의 수행 과정 순서도는 그림 5와 같고, 블록 선도는 그림 6과 같다.

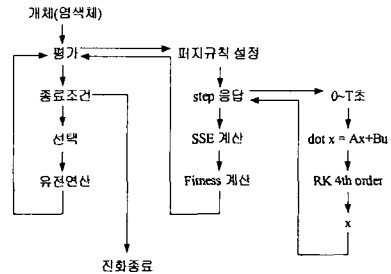


그림 5. 제안한 방식 순서도

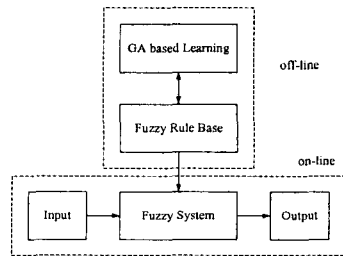


그림 6. 블록 선도

#### IV. 시뮬레이션

제안한 방식의 유용성과 제어성능을 비교 검토하기 위해서 DC 서보 모터에 대하여 PC 상에서 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션을 하였다.

DC 서보 모터의 상태 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\frac{T}{K_t} \dot{\theta}(t) + \frac{1}{K_t} \theta(t) = V \quad (3)$$

여기서는  $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$  각각 DC 서보 모터의 각변위, 각속도, 각가속도를 나타내고,  $V$  는 DC 서보 모터의 입력전압을 나타내며, 시스템의 상수 262msec와  $K_t = 36.5\text{mNm/A}$ 이다.

제안한 방식의 성능의 비교를 위하여 표 3와 같은 전문가가 미리 정해 놓은 퍼지 제어 규칙을 이용하였다. 이것은 전문가가 여러 번의 시행착오를 거치면서 구성한 것이다.

표 3. 퍼지 규칙의 구성

e \ de	N	Z	P
N	N	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	P

시뮬레이션 결과는 그림 7과 같다.

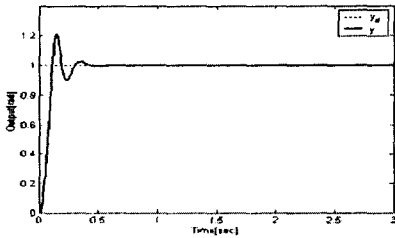


그림 7. 전문가의 퍼지 규칙 방식 1.2937

-- 유전자 알고리즘의 구성과 등등 추가  
50세대를 거치면서 찾아낸 퍼지 규칙은 표 4과 같다.

표 4. 제안한 퍼지 규칙의 구성

e \ de	N	Z	P
N	Z	N	Z
Z	Z	Z	Z
P	P	P	P

제안한 방식으로 찾은 퍼지 규칙을 이용하여 시뮬레이션한 결과는 그림 8와 같다.

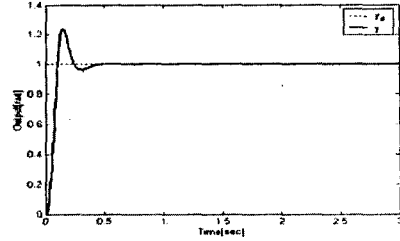


그림 8. 제안한 방식

-- 제안한 방식이 조금 좋다

#### IV. 결론

본논문에서는 퍼지 논리 시스템에서 전문가의 지식과 시행착오법에 의한 퍼지논리 규칙에 의존하지 않고 유전자 알고리즘에 의한 자동 규칙 추출 방식을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 방식의 유용성과 우수성을 확인 하였다.

#### 참고 문헌

- [1] 임영도, 이상부, " 퍼지. 신경망. 유전 진화", 도서출판 영과일, 1997.
- [2] 박종진, 최규석, 퍼지 제어 시스템, 교우사, 2001.
- [3] 이승형, "유전 알고리즘을 이용한 퍼지 논리 제어 방식", 동국대학교 석사 학위 논문, 1998.
- [4] Li-Xin Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control(Design and Stability Analysis)", Prentice-Hall. Inc., 1994.
- [5] Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "Genetic Algorithm & Engineering Design", John Wiley & Sons. Inc., 1997.
- [6] G.Winter, J.Periaux, M.Galan, P.Cuesta, "Genetic Algorithm in Engineering and Computer Science", John Wiley & Sons., 1995.