

# Simulated Annealing 과 랜덤 프로세서가 적용된 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 설계

## Design of a Fuzzy Controller Using Genetic Algorithm Employing Simulated Annealing and Random Process

。 한 창 옥\*, 박 정 일\*\*

\* 영남대학교 전자공학과(Tel : 82-53-810-1523; Fax : 82-53-813-8230; E-mail : cwihan@aclab.ee.yeungnam.ac.kr)

\*\* 영남대학교 전자정보공학부(Tel : 82-53-810-2498; Fax : 82-53-813-8230; E-mail : jipark@ynu.ac.kr)

**Abstract** : Traditional genetic algorithms, though robust, are generally not the most successful optimization algorithm on any particular domain. Hybridizing a genetic algorithm with other algorithms can produce better performance than both the genetic algorithm and the other algorithms. In this paper, we use random process and simulated annealing instead of mutation operator in order to get well tuned fuzzy rules. The key of this approach is to adjust both the width and the center of membership functions so that the tuned rule-based fuzzy controller can generate the desired performance. The effectiveness of the proposed algorithm is verified by computer simulation.

**Keywords** : genetic algorithms , random process, simulated annealing, fuzzy control

### 1. 서론

시스템의 비선형성과 입·출력 관계에 대한 제한된 양의 데이터 등은 시스템을 분석하는데 있어서 많은 문제점이 되고 있다. 그래서 퍼지, 신경망 등과 같은 지식 기반 연산에 많은 관심이 집중되고 있으나, 이론적인 발전과 많은 실제적인 성공에도 불구하고 바람직한 결과를 얻기 위한 퍼지 제어 규칙의 최적화 과정은 언어 제어 규칙이 전문가의 지식에 기반되었다 하더라도 시간이 많이 걸리고 지루한 작업이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 자기 학습 퍼지 제어기가 Mamdani[1]에 의해 제안되었고 이것에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 예를 들면 simulated annealing을 이용하여 퍼지 제어기의 소속함수를 구하거나[2], 적응 퍼지 제어기(adaptive fuzzy controller)를 이용하여 퍼지 제어 규칙을 자동으로 생성하거나[3], Sugeno 형태의 퍼지 제어기의 결론부 파라미터들을 유전 알고리즘을 이용하여 구하기도 하였다[4].

유전 알고리즘(simple genetic algorithm;SGA) 또는 진화 알고리즘(evolutionary algorithms)은 자연 세계의 진화 과정을 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 함으로써 복잡한 실세계의 문제를 해결하고자 하는 계산 모델이다. 1970년대 초반 J. Holland에 의해 제시된 유전 알고리즘[5]은 자연계에 존재하는 적자생존의 원리를 이용하여 적합도가 큰 개체를 다음 세대에 복제함으로써 전역해(global minima)를 찾아가는 최적화 기법중의 하나이다. 기존의 최적화 이론들과 유전 알고리즘의 근본적인 차이점은 목적함수에 연속미분조건이 없으며 다수의 변수들을 하나의 문자열로 나타낸 집단을 사용함으로써 병렬연산 및 동시 최적화가 가능하다는 것이다. 또 확률적인 방법에 의해 전역탐색을 수행하므로 부분 극소점(local minima)에 빠질 가능성이 적다. 그래서 유전 알고리즘은 최근 주목받는 최적화 기법중의 하나가 되었으며 적응적 탐색과 학습 및 최적화를 통한 공학적인 문제의 해결에 많이 응용되고 있고 최근 들어 특히 신경망과 퍼지 로직과 결합한 적용사례들이 많이 발표되고 있다. [6]의 논문에서는 유전 알고리즘을 신경망의 연결 강도를 최적

화 하는데 이용하였고 [7]의 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기의 소속함수와 제어 규칙을 동시에 최적화하였다.

Simulated annealing은 금속의 열처리 중의 하나인 금속 어닐링의 개념으로부터 유추되었으며, 에너지가 낮아지는 방향으로의 이동은 항상 허용되며, 에너지가 높아지는 방향으로의 이동은 온도의 함수인 확률에 따라 허용된다.

본 논문에서는 유전 알고리즘의 유전 연산자(genetic operators)인 돌연변이(mutation) 대신에 돌연변이 확률에 따라 랜덤하게 각각의 개체를 새롭게 생성한 다음 돌연변이 전의 에너지와 돌연변이 후의 에너지를 이용하여 simulated annealing을 수행한다. 돌연변이의 경우 돌연변이 확률에 따라 한 비트만 변화시키지만 여기에서는 한 개체를 모두 랜덤하게 변화시킨다.

기존의 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 제어 규칙의 최적화와 본 논문에서 제안된 방법을 이용한 퍼지 제어 규칙의 최적화 결과를 비교하기 위해 대표적인 비선형 시스템인 도립진자(inverted pendulum)의 모의 실험을 수행하고, 이를 통하여 그 유용성을 확인하고자 한다.

### 2. 자기 학습 퍼지 제어기

퍼지 제어 규칙들의 소속함수의 중심값과 폭을 학습시키기 위해서 다음과 같은 평가 함수를 사용한다.

$$J = \sum_{j=0}^P e_j^2 + \dot{e}_j^2 \quad (1)$$

여기서  $e$ 는 오차,  $\dot{e}$ 는 오차의 변화분,  $P$ 는 입출력 쌍의 수이다. 퍼지 제어기에서 두 개의 입력 변수  $x$ ,  $y$ 와 하나의 출력 변수  $z$ 를 가지는  $i$ 번째 제어 규칙은 다음과 같다.

$R_i$  : If  $x$  is  $A_i$  and  $y$  is  $B_i$ ,

then  $z$  is  $C_i$ ,  $i=1,2,n$  (2)

본 논문에서는 간단히 하기 위해서 퍼지 제어 규칙의 결론