

論文2001-38CI-2-2

유전자 알고리즘을 이용한 적응 퍼지 제어 시스템의 새로운 방법 (A New Method of Adaptive Fuzzy Control System Using Genetic Algorithms)

張 原 彬*, 金 東 一*, 權 奇 浩**

(Wonbin Chang, Dongil Kim, and Key Ho Kwon)

요 약

본 논문은 적응 퍼지 제어 시스템에 있어 유전자 알고리즘에 대한 새로운 방법을 제안한다. 다중개체군 유전자 알고리즘을 이용한 이전의 논문은 염색체를 두부분(제어규칙과 소속함수)으로 분할하였다. 그러나 이런 경우 좋지 못한 제어규칙은 좋은 제어규칙과 잘 진화된 소속함수의 최적화를 방해한다. 다중개체군 유전자 알고리즘에 대한 새로운 방법은 염색체를 세부분(좋은 제어규칙, 좋지 못한 제어규칙 및 소속함수)으로 분할하는 것이다. 이 방법에 대한 효율성을 입증하기 위해 트럭 배킹 문제에 적용하였다. 시뮬레이션 결과 다중개체군 유전자 알고리즘에 대한 제안된 방법이 좋은 적응성을 보여 주었다.

Abstract

This paper describes a new method of Genetic Algorithms for Adaptive Fuzzy Control System. Previous works using a Multi-population Genetic Algorithm have divided chromosome into two components, rule sets and membership functions. However, in this case bad rule sets disturb optimization in good rule sets and membership functions. A new method for a Multi-population Genetic Algorithm suggests three components, good rule sets, bad rule sets, and membership functions. To show the effectiveness of this method, fuzzy controller is applied to a Truck Backing Problem. Results of the computer simulation show good adaptation of the proposed method.

I. 서 론

다른 제어기법이 제어 대상 시스템의 수학적 모델링에 의존하여 구성되는 것과 달리 퍼지 제어기는 정량적으로 표현하기 어려운 전문가의 경험과 지식을 퍼지 규칙 베이스로 구성하여 언어적 제어전략을 효과적으로 구현할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이러한 퍼지 제어기는 여러 가지 복잡한 문제에 기존의 제어기보다 우수한 성능을 보이지만 제어대상이 매우 복잡한 경우

퍼지 제어기의 퍼지 규칙 베이스를 전문가의 경험과 지식에 의하여 임의로 설정하기 어렵고^{[1]-[4]}, 한번 결정된 퍼지 규칙 베이스는 고정되어 있으므로 제어환경의 변화에 대하여 적절하게 대응하지 못하는 문제점이 있다^{[5]-[7]}. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 퍼지 규칙 베이스를 자동 생성시키고 퍼지 제어기에 적응성을 부여하는 연구가 진행되었다. 현재 적응성을 부여하기 위하여 전문적 지식, 인공지능, 신경망, 유전자 알고리즘 등이 이용되고 있다.

유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기는 수치 데이터뿐 아니라 언어적 변수로 표현된 퍼지 규칙 베이스를 직접 사용할 수 있으며 얻어진 해가 최적해를 나타내는 특징이 있다. 퍼지 규칙 베이스를 만드는 방법에는 제어규칙을 미리 결정하고 소속함수를 진화시키는 방법, 소속함수를 미리 결정하고 제어규칙을 진화시키

* 學生會員, ** 正會員, 成均館大學校 電氣電子 및 컴퓨터工學部

(Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

接受日字: 2000年7月4日, 수정완료일: 2001年2月27日

는 방법, 및 제어규칙과 소속함수를 동시에 진화시키는 방법이 있다.

유전자 알고리즘의 일종인 일반 다중개체군 유전자 알고리즘은 염색체를 두부분(제어규칙과 소속함수)으로 분할하여 제어규칙과 소속함수를 동시에 진화시키는 방법으로 좋은 성능의 퍼지 제어를 설계할 수 있었다. 그러나 제어규칙과 소속함수가 염색체에 동시에 표현되어 좋지 못한 제어규칙이 잘 진화된 소속함수를 크게 변화시킬 수 있고, 좋은 제어규칙과 좋지 못한 제어규칙을 한꺼번에 표현하였기 때문에 좋은 제어규칙에서 잘 진화된 소속함수의 변화를 좋지 못한 제어규칙이 방해하므로 최적해를 얻을 가능성이 감소되는 단점이 있다. 본 논문에서는 트럭 배킹 문제(Truck Backing Problem)를 대상으로 여러 형태의 유전자 알고리즘을 적용하여 성능을 비교 분석하였다^[8]. 기존의 다중개체군 유전자 알고리즘을 제안된 유전자 알고리즘과 구별하기 위하여 편의상 일반 다중개체군 유전자 알고리즘으로 명칭을 정하였다. 본 논문은 2장에서 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기에 대해 소개하고 3장에서 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘에 대해 기술하며 4장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기

유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기는 수치 데이터뿐 아니라 언어적 변수로 표현된 제어규칙을 직접 사용할 수 있으며 얻어진 해가 최적해를 나타내는 특징이 있다. 이 제어기를 만드는 방법에는 제어규칙을 미리 결정하고 소속함수를 진화시키는 방법, 소속함수를 미리 결정하고 제어규칙을 진화시키는 방법 및 제어규칙과 소속함수를 동시에 진화시키는 방법이 있다. 일반적으로 제어규칙과 소속함수를 동시에 진화시키는 방법에 의하여 가장 좋은 성능의 퍼지 제어기를 설계할 수 있지만, 제어규칙과 소속함수가 염색체에 동시에 표현되어 좋지 못한 제어규칙이 좋은 제어규칙과 잘 진화된 소속함수를 크게 변화시킬 수 있으므로 최적해를 얻을 가능성이 감소되는 단점이 있다.

퍼지 제어 시스템에서는 인간의 전문지식을 “IF~THEN” 규칙형태로 만들고 퍼지 추론으로 제어기의 입출력 관계를 결정한다. 이 경우 전문지식에 의하여

생성된 규칙이라 하더라도 제어목적을 달성하는 최적 제어가 아닐 수 있다. 그림 1은 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 구조를 보여 주고 있다^[9, 10].

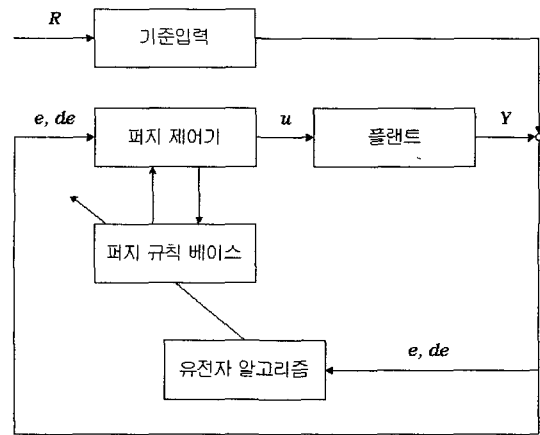


그림 1. 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 구조
Fig. 1. Structure of a fuzzy controller using Genetic Algorithms.

제어규칙과 소속함수를 표현하는 방법은 여러 가지 있는데 본 논문에서는 64디지트(digit)를 사용하여 제어규칙에 7개의 언어변수로 49디지트를 할당하였고 소속함수에 15디지트를 할당하였다. 표 1과 그림 2는 제어규칙과 소속함수에 대한 내용을 보여 주고 있다. 제어규칙과 소속함수를 0에서 6까지의 디지트(0: NB(Negative Big), 1:NM(Negative Medium), 2: NS(Negative Small), 3:ZO(Zero), 4:PS(Positive Small), 5:PM(Positive Medium), 6:PB(Positive Big))로 표현하였고^[11] 무작위 초기화(random initialization)법, 룰렛휠 선택(roulette wheel selection)법, 일점교배(one-point crossover)법, 단순 돌연변이(simple mutation)법, 무게중심법(center of gravity method) 등을 사용하였다.

표 1. 제어규칙의 예
Table 1. Example of rule sets.

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

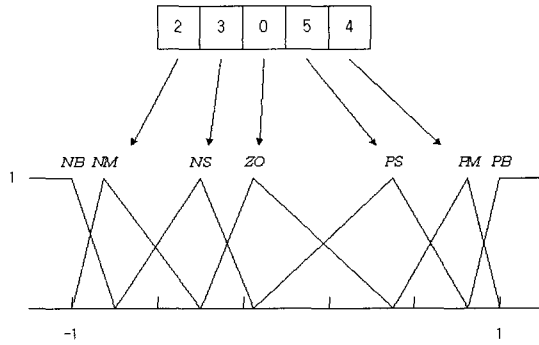


그림 2. 소속함수의 예
Fig. 2. Example of membership functions.

III. 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘

퍼지 제어 시스템에 대한 알고리즘의 성능을 비교하기 위해 단순 유전자 알고리즘, 일반 다중개체군 유전자 알고리즘 및 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘을 적용하였다. 제어규칙과 소속함수를 표현하는 방법은 여러 가지 있는데 본 논문에서는 64디지트(digit)를 사용하였다. 그림 3~5는 단순 유전자 알고리즘, 일반 다중개체군 유전자 알고리즘 및 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘의 염색체 표현방법을 보여 주고 있다.

기존의 퍼지 제어기에 사용된 일반 다중개체군 유전자 알고리즘은 염색체를 두부분(제어규칙과 소속함수)으로 분할하여 제어규칙과 소속함수를 동시에 진화시키는 방법으로 좋은 성능의 퍼지 제어기를 설계할 수 있었다.

그러나 제어규칙과 소속함수가 동시에 표현되었기 때문에 좋지 못한 제어규칙이 잘 진화된 소속함수를 크게 변화시킬 수 있고, 좋은 제어규칙(good rule sets, 표 2의 짙은 부분)과 좋지 못한 제어규칙(bad

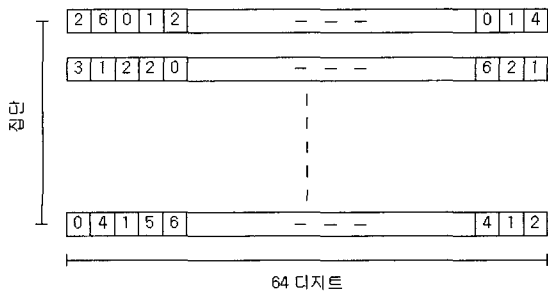


그림 3. 단순 유전자 알고리즘의 염색체 표현
Fig. 3. Chromosomes of a Simple Genetic Algorithm.

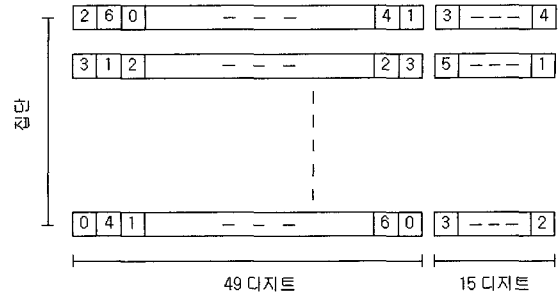


그림 4. 일반 다중개체군 유전자 알고리즘의 염색체 표현
Fig. 4. Chromosomes of a General Multi-population Genetic Algorithm.

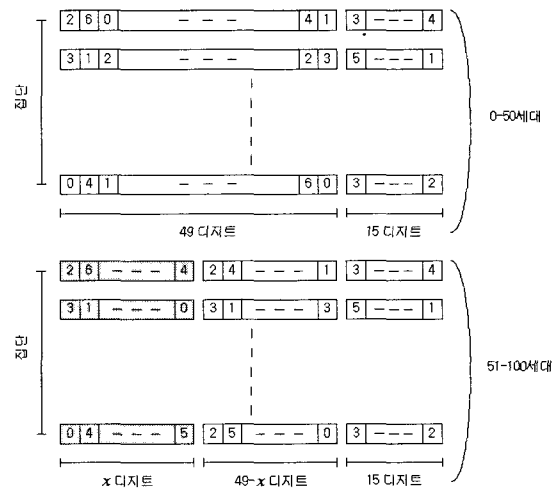


그림 5. 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘의 염색체 표현
Fig. 5. Chromosomes of the Proposed Multi-population Genetic Algorithm.

rule sets, 표 2의 짙은 부분)을 한꺼번에 표현하였기 때문에 좋지 못한 제어규칙이 좋은 제어규칙과 잘 진화된 소속함수를 방해하므로 최적해를 얻을 가능성을 감소시키는 단점이 있다.

본 논문에서 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘은 최대 세대수의 절반(0~50세대)동안 제어규칙과 소속함수를 두부분으로 분할하는 일반 다중개체군 유전자 알고리즘을 적용하였고 남은 절반 세대수(51~100세대) 동안 염색체를 세부분(좋은 제어규칙, 좋지 못한 제어규칙 및 소속함수)으로 분할하여 적용하였다. 좋은 제어규칙과 좋지 못한 제어규칙의 분할의 경계조건(threshold)은 절반 세대수까지 적용된 전체 제어규칙의 1.0%로 하였다. 따라서 좋은 제어규칙은 1.0%이상

이 되고 좋지 못한 제어규칙은 1.0%미만이 된다. 그림 6은 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘의 구조를 보여 주고 있고 표 2는 좋은 제어규칙과 좋지 못한 제어규칙 분할을 보여 주고 있다.

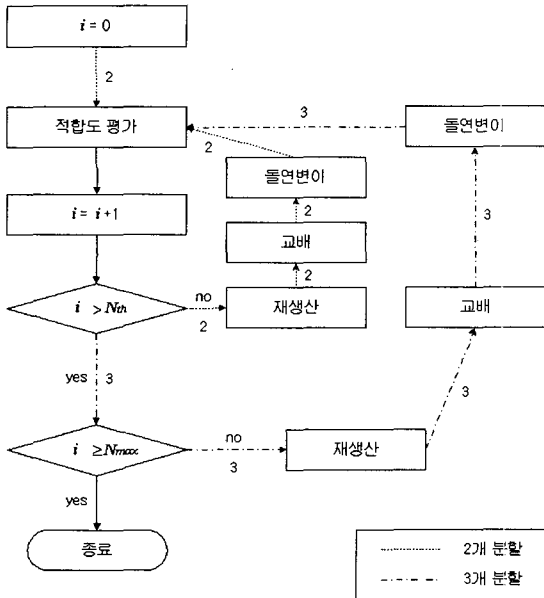


그림 6. 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘의 구조
Fig. 6. Structure of the Proposed Multi-population Genetic Algorithm.

여기서 i 는 세대수, N_{th} 는 경계 세대수 및 N_{max} 는 최대 세대수를 의미한다.

표 2. 제어규칙의 분할
Table 2. Division of rule sets.

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

IV. 시뮬레이션

트럭 배킹 문제를 대상으로 알고리즘을 적용하였다. 그림 7은 시스템의 구성을 보여 주고 있다. 시스템은 100×100 그리드(grid)인 이차원(two dimension) 상에

놓인 트럭을 목표위치로 이동시키는데 트럭의 본체각도(truck angle ϕ), 트럭의 조타각도(steering angle θ), 트럭의 x 축 좌표(distance x), 및 트럭의 y 축 좌표(distance y)가 존재한다. 시스템에서는 기준입력(R)을 최단시간 내의 x 축 좌표(x_R)를 50.0[m]인 상태와 y 축 좌표(y_R)를 100.0[m]인 상태로 하였고 시간에 대한 샘플링(τ)을 0.02[sec]로 하며 샘플링 제한(limited time step)을 65로 하였다. 그림 7의 시스템은 식 (1)~(3)으로 표현된다.

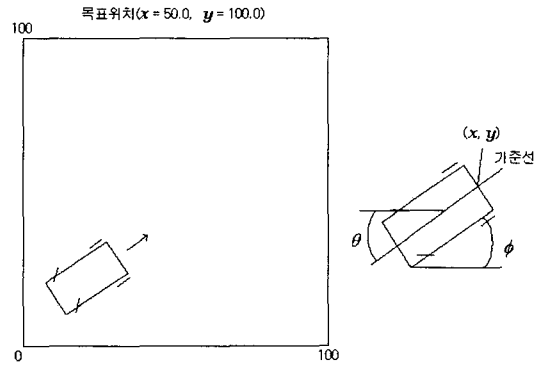


그림 7. 트럭 배킹 문제
Fig. 7. A Truck Backing Problem.

$$\begin{aligned} \phi' &= \phi + \theta & (1) \\ x' &= x + r \cos(\phi') & (2) \\ y' &= y + r \sin(\phi') & (3) \end{aligned}$$

여기서 트럭의 반경(radius, r)은 2.0[m]으로 하였다. 표 3은 퍼지 제어기의 입력변수와 출력변수의 범위를 보여 주고 있다.

표 3. 입출력 제어변수의 이득
Table 3. Gains of input and output control variables.

변수	범위
ϕ	$-90.0^\circ \sim +270.0^\circ$
x	$0.0[m] \sim +100.0[m]$
θ	$-30.0^\circ \sim +30.0^\circ$

트럭 배킹 문제를 대상으로 표 5와 같이 단순 유전자 알고리즘, 일반 다중개체군 유전자 알고리즘 및 제안한 다중개체군 유전자 알고리즘에 따른 적합도를 비교하였다. 표 4는 알고리즘에 대한 파라미터를 보여 주

고 있다.

표 4. 알고리즘에 대한 파라미터
Table 4. Parameters of algorithms.

파라미터	값
최대 세대수	100
경계 세대수	50
집단 크기	100
염색체 크기	64
전체 제어규칙 크기	49
전체 소속함수 크기	15
교배 확률	0.4
돌연변이 확률	0.01
무계중심 샘플링 횟수	10
제어규칙을 분할하기 위한 경계조건	0.01

표 5. 알고리즘에 대한 비교
Table 5. Comparison of algorithms.

알고리즘 (ϕ_0, x_0)	SGA	일반 MGA	제한된 MGA
(22.5, 10.0)	2.23594E-4	2.2972E-4	2.38637E-4
(90.0, 10.0)	2.49451E-4	2.52539E-4	2.56365E-4
(22.5, 40.0)	2.05452E-4	2.09375E-4	2.15527E-4
(157.5, 40.0)	2.60871E-4	2.61617E-4	2.67659E-4
(90.0, 50.0)	1.83427E-4	2.26818E-4	2.31573E-4
(225.0 50.0)	2.56725E-4	2.71547E-4	2.7331E-4
(22.5, 60.0)	1.56439E-4	1.66505E-4	1.85244E-4
(157.5, 60.0)	2.21431E-4	2.31468E-4	2.36489E-4
평균	2.19674E-4	2.31199E-4	2.38101E-4

여기서 재생산에는 룰렛휠 선택법을, 교배에는 일점교배법을 및 돌연변이에는 단순 돌연변이법을 사용하였고 적합도 함수는 식 (4)와 같다.

$$F(x) = \int_0^T \sqrt{(x_R - x)^2 + (y_R - y)^2} dt \quad (4)$$

본 시뮬레이션에서는 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 초기위치(ϕ_0, x_0)를 다르게 적용하여 평균을 구해 보았다. 여기서 SGA(Single Genetic Algorithms)는 단순 유전자 알고리즘을, 일반 MGA(Multi Genetic Algorithms)는 일반 다중개체군 유전자 알고리즘을 의미하고, 제한된 MGA(Multi Genetic Algorithms)는 제한한 다중개체군 유전자 알고리즘을

의미한다. 시뮬레이션 결과 단순 유전자 알고리즘 및 일반 다중개체군 유전자 알고리즘보다 제한된 다중개체군 유전자 알고리즘의 성능이 우수함을 보여 주었다. 그림 8은 초기위치가 (22.5, 10.0)일 경우 세대별 최대 적합도를 보여 주고 있다.

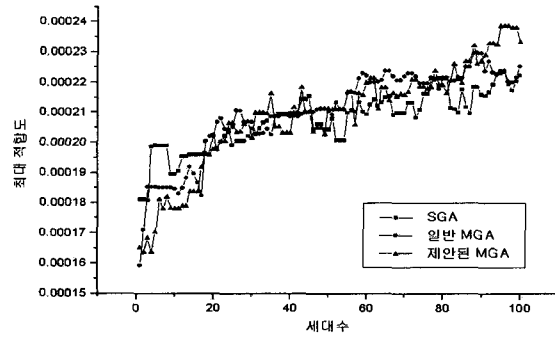


그림 8. 세대별 최대적합도
Fig. 8. Maximum fitnesses during generations.

표 6. 최대적합도에 대한 제어규칙
Table 6. Rule sets for maximum fitness.

$\phi \backslash x$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	6	5	3	3	6	4	3
NM	4	6	4	0	5	0	1
NS	6	6	6	5	0	3	5
ZO	1	6	6	6	3	0	6
PS	5	3	6	1	4	2	0
PM	5	2	6	4	5	2	6
PB	2	1	4	6	6	5	0

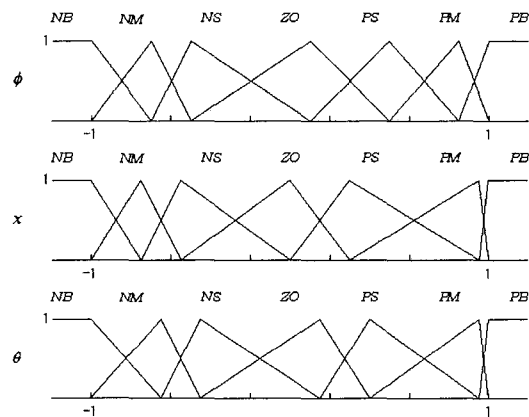


그림 9. 최대적합도에 대한 소속함수
Fig. 9. Membership functions for maximum fitness.

그림 8에서 제안한 다중개체군 유전자 알고리즘의 최대적합도에 대한 제어규칙을 표 6에서 보여 주고 그림 9에서 소속함수를 보여 주고 있다.

그림 10~11은 최대 세대수동안 가장 좋은 적합도를 나타낸 염색체에 대한 시스템의 응답을 보여 주고 있다.

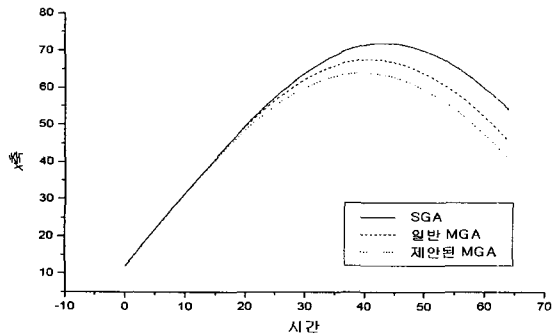


그림 10. 최대적합도에 대한 응답(x 축 좌표)
Fig. 10. Response for maximum fitness(distance x).

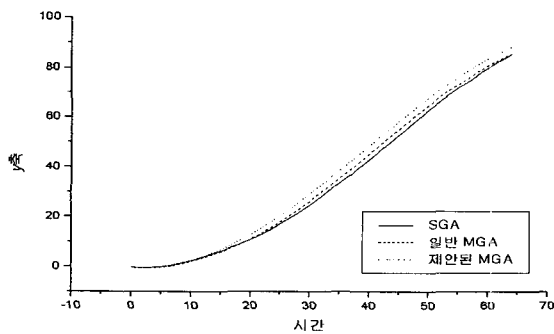


그림 11. 최대적합도에 대한 응답(y 축 좌표)
Fig. 11. Response for maximum fitness(distance y).

V. 결론

본 논문에서는 기존에 연구된 제어규칙과 소속함수를 동시에 설계하는 다중개체군 유전자 알고리즘의 단점을 보완하기 위하여 일반 다중개체군 유전자 알고리즘의 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘에서는 좋은 제어규칙에 대한 다양성을 향상시키기 위하여 염색체를 좋은 제어규칙, 좋지 못한 제어규칙 및 소속함수, 세부분으로 분할하였다. 제안된 알고리즘의 성능의 우수성을 입증하기 위하여 퍼지 제어기의 파라미터 및 구조를 동일하게 생성한 후, 트럭

배킹 문제를 대상으로 시뮬레이션을 수행한 결과 단순 유전자 알고리즘 및 다중개체군 유전자 알고리즘보다 제안된 다중개체군 유전자 알고리즘이 좋은 성능을 보여 주었다.

향후 연구과제로 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 재생산 방법, 교배 방법, 돌연변이 방법 등의 변화가 필요하며 좋은 제어규칙과 좋지 못한 제어규칙을 분할하는 경계조건 및 경계조건이 적용되는 세대수를 결정하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 퍼지 제어기의 입출력변수가 다수 요구되는 퍼지 제어 시스템을 대상으로 제어규칙과 소속함수를 최적화 하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] C. D. Sousa and B. K. Bose, "A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase Controlled Converter DC Machine Drive", IEEE, Trans. on Industry Applications, Vol. 30, No. 1, pp. 34-44, 1994.
- [2] Z. Y. Zhao, M. Tomizuka, and S. Isaka, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Vol. 23, No. 5, pp. 1392-1398, 1998.
- [3] R. Ketata, D. De Geest, and A. Titli, "Fuzzy Controller: Design, Evaluation, Parallel and Hierarchical Combination with a PID Controller", Fuzzy Sets and System, Vol. 71, pp. 113-129, 1995.
- [4] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I, II", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Vol. 20, No. 2, pp. 404-435, Mar./Apr. 1990.
- [5] S. M. Simth and D. J. Corner, "Automated Calibration of a Fuzzy Logic Controller Using a Cell State Space Algorithms", IEEE Control Syst. Mag., pp. 18-28, Aug. 1991.
- [6] J. A. Bernard, "Use of a Rule-based System for Process Control", IEEE Control Syst. Mag., pp. 3-13, Oct. 1988.
- [7] Han-Xiong Li and H. B. Gatland, "A New Methodology for Designing a Fuzzy Logic

Controller", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Vol. 25, No. 3, pp. 505-512, 1995.

[8] Abdollah Homaifar and Ed McCormick, "Simultaneous Design of Membership Functions and Rule Sets for Fuzzy Controllers Using Genetic Algorithms", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 3, No. 2, May 1995.

[9] S. Shao, "Fuzzy Self-organizing Controller and its Application for Dynamic Processes", Fuzzy Sets and Syst., Vol. 26, pp. 151-164, 1988.

[10] D. Park, A. Kandel, and G. Langholz, "Genetic-based New Fuzzy Reasoning Models with Application to Fuzzy Control", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Vol. 24, No. 1, pp. 39-47, 1994. [1] C. D. Sousa and B. K. Bose, "A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase Controlled Converter DC Machine Drive", IEEE, Trans. on Industry Applications, Vol. 30, No. 1, pp. 34-44, 1994.

[11] Gyula Mester, Szilveszter Pletl, Attila Nemes and Tibor Mester, "Structure Optimization of Fuzzy Control Systems by Multi-population Genetic Algorithm", EUFIT '98, September 7-10, 1998.

저 자 소 개



張原 楸(學生會員)

1998년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정. 주관심분야는 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등

리즘 등



金東一(學生會員)

1998년 8월 성균관대학교 생물기전공학과 졸업(공학사). 2000년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정. 주관심분야는 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등

등



權奇浩(正會員)

1975년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1978년 8월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1978년 1월~1980년 2월 ETRI 연구원. 1988년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1996년 1월~1996년 12월 Texas A&M 교환교수. 1989년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수. 주관심분야는 카오스, 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등