

다개체군 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어기의 설계

論 文

49D-11-6

A Design of Fuzzy Controllers using Genetic Algorithm

孫 豪 盛* · 權 奇 浩**

(Ho-Seung Sohn · Key-Ho Kwon)

Abstract - Fuzzy controllers show good performance in case of the systems being nonlinear and difficult to solve. But these fuzzy controllers have problems which have to decide suitable rules and membership functions. In general, we decide those using the heuristic methods or the experience of experts.

Recently, G.A. have been studied in this field.

The number of rules increase exponentially when the number of input and output increase. It also makes hard to decide the rules and membership functions even though we use G.A.

In this paper, we suggest parallel fuzzy controllers, and also the method to decrease the number of rules. The excellent performance of these methods is confirmed through simulations.

Key Words : 퍼지 이론, 병렬 퍼지 제어기, 유전자 알고리즘, 다개체군 유전자 알고리즘, Ball and Plate System

1. 서론

퍼지 이론의 창시자인 자데(L. A. Zadeh)는 수치적인 값보다는 "입력 값이 매우 크면 출력 값은 작게 하라"와 같이 감각적으로 제어할 수 있다면 제어 대상의 복잡성이 증가하더라도 제어 값을 결정하는 것은 어렵지 않을 것으로 생각하였다. 또한 자데는 일련의 연구 발표를 통해서 퍼지 이론의 수학적 바탕을 마련하였다^[1]

또한 영국 런던 대학의 맘다니(E. H. Mamdani) 교수는 종래의 PID 제어, 최적 제어 등을 이용한다 하더라도 숙련된 조작자의 제어 행위보다 좋은 결과를 기대할 수 없음을 지적하고, 자데의 이론적인 연구를 바탕으로 퍼지 이론을 이용한 스팀 엔진 제어를 성공적으로 실험하였다^[2].

현재까지 모형 자동차의 운전제에 대한 퍼지 제어^[3-6], 비선형성이 강한 시스템의 퍼지 제어^[7], 퍼지 추론을 이용한 시스템 모델링과 함수 근사화 문제^[8], 지하철 운전^[9], 컨테이너 크레인 운전^[10] 등 여러 분야에 퍼지 제어가 도입되고 있으며, 그 밖에 퍼지 컴퓨터, 퍼지 제어기 및 퍼지 메모리 등 하드웨어도 개발되고 있다.

이러한 퍼지 제어는 퍼지 논리에 기초를 두고 있는데, 퍼지 논리는 기존의 논리체계에 모호성을 도입하여 논리체계의 사고의 범위를 확장시켰고, 퍼지 논리에 의한 제어 방법은 복잡한 특성을 가지는 시스템에서 정량적으로 해석하기 어려울 때 효과적으로 이용되었다. 퍼지 논리는 기존 논리 체계보다

인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 가지고 있어서, 실제계의 근사적이고 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용될 수가 있다. 이러한 관점에서 퍼지 제어기를 퍼지논리 제어기(fuzzy logic controller, FLC)라고도 부른다.

퍼지 제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어적 형식의 제어규칙이며, 여기에는 퍼지 연관관계가 포함되어 있고, 퍼지 합성 규칙에 의해서 제어입력이 생성된다. 결국 퍼지논리 제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어적 형식의 제어규칙이며, 전문가의 제어지식을 언어적 형태로 표현하여 제어 대상을 제어하게 된다.

그러나 이러한 퍼지 제어기의 구성에 있어 어려운 점은 규칙 베이스와 입출력 변수의 소속함수를 구성하는 일이다. 전문가의 지식이나 실험에 의해 규칙 베이스와 소속함수를 구성할 수 있지만, 제어 대상이 복잡하거나 특별한 환경인 경우, 그 구성에 많은 어려움을 갖는다. 또한 규칙 베이스와 소속함수를 구성하였다 하더라도 그것이 최적인 규칙과 함수인지를 알 수 없다. 이러한 어려움을 보완하기 위해 규칙 베이스를 자동으로 생성할 수 있는 방법들에 대한 연구가 진행되고 있다^[11-12]. 또 다른 문제점으로 퍼지 제어기는 입출력 변수의 증가 시 규칙의 개수가 기하급수적으로 증가하게 된다는 점이다. 많은 규칙 베이스를 가지는 퍼지 제어기의 경우 퍼지 추론을 행하는데 있어 많은 시간을 요구하게 된다.

본 논문에서는 이러한 퍼지 제어기의 단점을 극복하고자 학습과 적응 능력을 갖는 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어 시스템의 규칙 베이스와 그에 적합한 소속함수를 생성하고, 병렬 퍼지 제어기와 개환 및 지연 부분을 가지는 퍼지 제어기를 사용하여 퍼지 규칙 베이스의 수를 줄이는 방법을 제시하고 기존의 연구들과 비교 분석한다.

2장에서는 시뮬레이션에 사용될 시스템을 설명하고, 3장에

* 準 會 員 : 成均館大 電氣電子 및 컴퓨터工學科 碩師課程

** 正 會 員 : 成均館大 電氣電子 및 컴퓨터工學科 教授

接受日字 : 2000年 8月 4日

最終完了 : 2000年 11月 7日

서는 다개체군 유전자 알고리즘을 사용한 병렬 퍼지 제어기에 대한 설명을 한다. 4장에서는 시뮬레이션 방법 및 결과를 보이며 5장에서는 실험 결과와 향후 연구과제에 대해 이야기한다.

2. Ball and plate system^[13]

그림 1은 시뮬레이션에 사용될 Ball and plate system이다. 60×60cm의 평판의 중앙에 universal joint를 연결한 시스템이다. 이 시스템은 두 개의 DC 모터에 연결된 연결 로프(rope)에 의해서 움직이게 된다. 이때 두 개의 potentiometer가 이 평판의 각을 측정하게 되고, 평판 위에 고정되어 있는 CCD 카메라가 2차원 상에서 공의 움직임을 측정하여 기록하게 된다. 이때 평판의 x축과 y축 각각의 움직임은 서로 독립적으로 근사화 될 수 있다^[13].

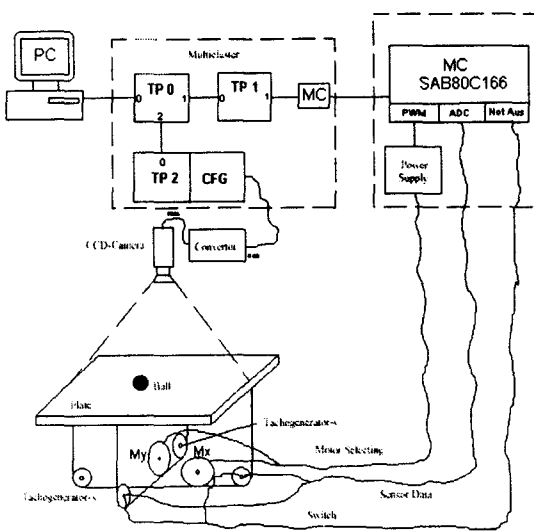


그림 1. Ball and plate system

2.1 Ball and plate 시스템의 수학적 모델

Ball and plate 시스템에서 평판의 수학적 모델은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_{A1}(t) \\ \dot{\omega}_T(t) \\ \dot{q}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R_A}{L_A} & -\frac{c_1}{L_A} \dot{u} & 0 \\ \frac{2}{\Theta_1'} & \frac{c_{\mu 1}}{\Theta_1'} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{A1}(t) \\ \omega_T(t) \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L_A} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u_{A1}(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{\dot{u}}{\Theta_1'} \\ 0 \end{pmatrix} M_H$$

$$y_1(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{A1}(t) \\ \omega_T(t) \\ q_1(t) \end{pmatrix}$$

여기서 $i_{A1}(t)$ 와 $q(t)$ 는 시스템에 흐르는 전류와 전하의

양, L_A 는 인덕턴스의 값, Θ' 는 관성 모멘트이며, M_H 는 마찰 모멘트이다. 또한 R_A 는 저항의 값이며, c_1 은 평판이 단위 각속도를 내는데 필요한 전압의 값이다. $c_{\mu 1}$ 는 관성 계수를 나타내며, ω 평판의 각속도이고 \dot{u} 는 평판과 모터 사이의 기어 비를 나타낸다.

Ball and plate 시스템에서 공의 수학적 모델은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{5}{6}g \end{pmatrix} q_1(t)$$

$$x(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \end{pmatrix}$$

여기서 $x(t)$ 볼의 위치를 나타내는 변수이고 g 는 중력 가속도이다.

3. 다개체군 유전자 알고리즘을 이용한 병렬 퍼지 제어기

퍼지 논리를 이용한 퍼지 제어기를 구성하는데 있어 다음과 같은 문제점들이 존재하게 된다.

첫째, 퍼지 규칙 베이스와 그에 맞는 소속 함수를 구성하는데 있어 전문가의 지식이나 실험에 의해 규칙 베이스를 구성할 수 있지만, 제어 대상이 복잡하거나 특별한 환경인 경우, 그 구성에 많은 어려움을 갖는다. 더욱이 규칙 베이스를 구성하였다 하더라도 그것이 최적의 규칙인지를 알 수 없다. 이러한 어려움을 보완하기 위해서 규칙 베이스를 자동으로 생성할 수 있는 방법들에 대한 연구가 진행되고 있으며, 그 방법들의 일환으로 유전자 알고리즘, 신경망등이 사용되고 있다. 본 논문에서는 다개체군 유전자 알고리즘을 이용하여 규칙 베이스 및 소속 함수를 최적화 하는 기법을 사용하였다.

둘째, 퍼지 제어기의 중요한 구성부인 규칙 베이스를 생성하는데 있어, 변수의 개수와 변수가 가지는 소속함수의 개수에 따라 규칙 베이스의 수가 기하급수적으로 늘어난다는 점이다. 이를 보완하기 위해서 여러 가지 형태의 퍼지 제어기 모델들이 제시되고 있다. 특히 본 논문의 시뮬레이션 대상인 Ball and plate system과 같은 다입력 단일 출력 형태의 시스템에 사용되는 퍼지 제어기에서는 입력 변수의 증가에 따른 규칙 베이스의 기하급수적 증가를 막기 위해서 여러개의 퍼지 제어기를 함께 사용하는 병렬 퍼지 제어기, 다단 퍼지 제어기 등이 연구되고 있다.

3.1 다개체군 유전자 알고리즘

퍼지 제어기를 설계하는데 있어 규칙 베이스와 소속 함수의 설계는 쉽게 최적의 값을 찾을 수 없을 뿐만 아니라 찾아낸다고 하더라도 그것이 최적의 값인지 판단하기 어려운 NP-hard 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 다개체군 유전자 알고리즘을 사용하여 퍼지 제어기의

규칙 베이스와 소속함수를 최적화 하였다.

각각의 염색체는 그림 2와 같이 두 개의 개체군으로 나누어 질 수 있는데, 첫 번째 개체군은 이진 또는 실수 코딩을 사용하여 소속함수를 최적화 하는 개체군이며, 두 번째 개체군은 정수코딩을 사용하여 규칙 베이스를 최적화 하는 개체군이다.

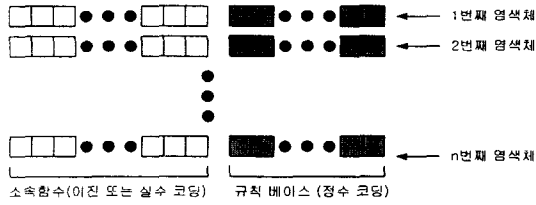


그림 2. 다개체군 유전자 알고리즘

3.2 기존의 퍼지 제어기^[14]

퍼지 제어기 1의 모델은 세 개의 입력 변수(공의 위치 변수 dX , 평판의 각속도 W , 공의 속도 V)를 하나의 퍼지 제어기의 입력으로 하여 전압(U)을 퍼지 제어기의 출력으로 하는 일반적인 퍼지 제어기의 모델이다. 단일입력 단일출력의 시스템인 경우 일반적으로 오차와 오차 변화량을 퍼지화 하여 퍼지 제어기의 입력으로 하나, 이 시스템의 경우 세 개의 변수를 퍼지 입력으로 사용하였다. 사용된 규칙 베이스는 245개의 규칙이 사용되었다.

퍼지 제어기 2의 모델은 두 개의 퍼지 제어기를 병렬로 연결하여 사용하였다. 첫 번째 퍼지 제어기에는 한 개의 변수(dX)를 가지며, 두 번째 퍼지 제어기에 두 개의 입력변수(V, W)를 퍼지 제어기의 입력으로 하여 각각의 출력 전압(U_1, U_2)의 합을 퍼지 제어기의 출력으로 하는 모델이다.

첫 번째 퍼지 제어기의 경우 입력 변수(dX)가 7개의 소속함수를 가짐으로써 7개의 규칙 베이스가 필요하게 되며, 두 번째 퍼지 제어기의 경우 각각의 입력 변수(W, V)가 7개씩의 소속 함수를 가짐으로써 49개의 규칙 베이스가 사용된다.

퍼지 제어기 3의 모델은 한 개의 퍼지 제어기의 입력으로 네 개의 입력(dX, W, V, U_{old})을 사용하여 퍼지 연산을 통해 나온 퍼지 출력(ΔU)에 지연을 거쳐 나온 궤환한 값 전압(U_{old})을 합한 것을 퍼지 출력으로 사용하는 퍼지 제어기 모델이다. 위치 변수(dX)와 전압(U_{old})는 3개의 소속 함수를 가지고 있으며, 각도(W)와 속도(V)는 2개의 소속 함수를 가진다. 따라서 총 35개의 규칙 베이스가 사용되었다^[15]. 이 경우 궤환 및 지연 시스템을 사용함으로써 입력 변수의 수는 증가되어 같은 수의 입력 변수를 갖는 퍼지 제어기에 비해서 규칙 베이스의 수가 늘어나는 단점이 있으나, 각 입력변수의 소속함수의 개수를 줄임으로서 기존의 퍼지 제어기보다 많은 양의 규칙 베이스의 수를 줄일 수 있는 장점이 있다.^[15]

3.3 제안하는 퍼지 제어기

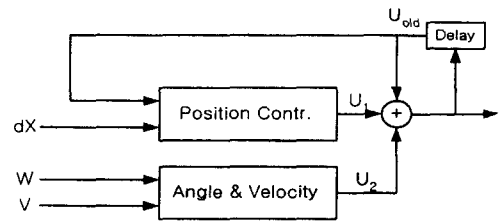


그림 3. 퍼지 제어기 4

퍼지 제어기 4의 모델은 그림 3과 같이 구성되어 있다. 퍼지 제어기 2와 퍼지 제어기 3의 장점을 따와서 만든 형태로서 지연과 궤환 시스템을 가지는 퍼지 제어기이지만 이 입력값을 하나의 퍼지 제어기에 모두 입력 시키지 않고 dX 와 U 를 하나의 퍼지 제어기 입력으로 택하고, W 와 V 를 다른 퍼지 제어기의 입력으로 취함으로써 입력 변수가 증가함에 따른 규칙 베이스의 기하 급수적 증가를 막았다. 또한 중요 변수인 dX 의 소속함수를 U 값을 궤환 시켜 같이 퍼지 연산을 함으로써 소속 함수의 개수를 줄일 수 있다. 각 변수마다 3개의 소속 함수를 사용하였고, 총 18개의 규칙 베이스를 사용하였다.

4. 시뮬레이션 방법 및 결과

4.1 시뮬레이션 방법

x 축과 y 축이 각각 독립적으로 근사화 될 수 있으므로, 시뮬레이션에서는 x 축만을 고려하여 실험하였다. $t=0$ 에서 x 축상의 0.0의 지점에서 출발한 공이 0.3의 지점에 정지(steady state)하는 것을 시뮬레이션의 목적으로 하였다.

4.1.1 Ball and plate system^[14]

시뮬레이션에 사용한 Plate system의 수학적 모델 :

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_{A1}(t) \\ \dot{\omega}_T(t) \\ \dot{q}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -800 & -1200 & 0 \\ 28 & -0.84 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{A1}(t) \\ \omega_T(t) \\ q_1(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u_{A1}(t)$$

$$y_1(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{A1}(t) \\ \omega_T(t) \\ q_1(t) \end{pmatrix}$$

Plate system의 전달 함수

$$G_q(s) = \frac{2800}{s(s+45)(s+755)}$$

Ball system의 전달 함수

$$G_b = \frac{7}{s^2}$$

4.1.2 유전자 알고리즘

제안하는 병렬 퍼지 제어기의 설계에 있어 소속 함수와 규칙 베이스를 생성하는데 다개체군 유전자 알고리즘을 사용하였다^[16]. 소속 함수의 모양을 결정하는데 있어 고전적 유전자 알고리즘과 같은 이진 코딩을 사용하였고, 규칙 베이스를 구성하는데 있어서는 실수 코딩을 이용하였다. 퍼지 제어기 4의 경우에는 234비트의 이진 염색체와 27비트의 실수 염색체

를 사용하였으며, 퍼지 제어기 5의 경우에는 144비트의 이진 염색체와 18비트의 실수 염색체를 사용하였다. 사용된 유전자 알고리즘의 파라메타들은 다음과 같다.

가. 교배 확률(P_c) : 0.25

나. 돌연변이 확률(P_m) : 0.01

다. 개체수(Population Size) : 20

라. 세대수(Generation) : 500세대

마. 평가함수

$$F = \frac{1}{\sum |x(t) - \text{reference}| \times t}$$

4.1.3 퍼지 제어기 4

표 1은 다개체군 유전자 알고리즘을 사용하여 최적화한, 퍼지 제어기 4에 사용된 규칙 베이스를 나타낸 것이다. 볼의 위치 및 속도와 평판의 각 변수, 궤환된 전압값은 각각 3개의 소속 함수를 가지고 있으며, 규칙 베이스에 사용된 총 규칙의 수는 18이다.

표 1. 퍼지 제어기 4에 사용된 규칙 베이스

U \ dX	N	ZE	P
N	XPB	XNS	XNS
ZE	XPB	ZE	XNB
P	XPS	XPS	XNS

V \ W	N	ZE	P
N	PB	ZE	NS
ZE	PS	ZE	NS
P	PS	ZE	NB

4.2 시뮬레이션 결과

그림 4과 표 2은 네 가지 퍼지 제어기에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다.

퍼지 제어기 1(Detailed Rule-Base)의 경우 245개의 규칙 베이스를 사용하게 되고, 퍼지 제어기 2의 경우 56개의 규칙 베이스를 사용하지만 시뮬레이션 결과에서 나타나듯이 두 퍼지 제어기의 응답은 비슷하게 나타난다. 이것을 통해서 우리는 입력 변수가 많은 경우 병렬 퍼지 제어기를 사용함으로써 규칙 베이스의 수를 줄일 수 있는 좋은 모델임을 알 수 있다. 또한 퍼지 제어기 3의 경우 궤환 및 지연 모델을 사용함으로써 소속 함수의 개수를 줄이면서도 일반적인 퍼지 제어기의 성능보다 좋은 제어 결과를 얻을 수 있음을 보여준다.

퍼지 제어기 4의 경우에는 퍼지 제어기 2와 퍼지 제어기 3의 장점을 결합해서 만든 형태로서, 퍼지 제어기 2에서 사용되지 않은 궤환 및 지연 시스템을 사용함으로써, 입력 변수는 퍼지 제어기 2와 비교해서 한 개가 증가한 형태이지만 전체 규칙 베이스는 56개에서 18개로 줄어들었음을 알 수 있다. 또한 제어 결과에서도 퍼지 제어기 4와 비슷한 성능을 보임으로써 궤환 및 지연 시스템을 사용하면 퍼지 제어기를 사용할

때 작은 소속함수로써 좋은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

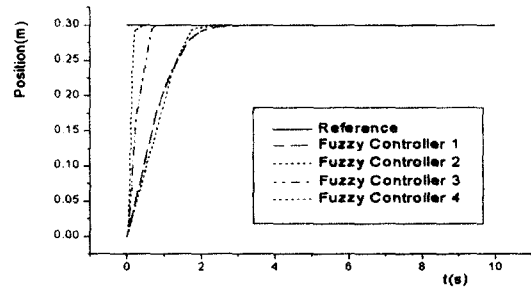


그림 4. 각 퍼지 제어기의 결과 비교

표 2. 퍼지 제어기의 성능 비교

	퍼지 제어기 1	퍼지 제어기 2	퍼지 제어기 3	퍼지 제어기 4
Rising Time	1.446(s)	1.372(s)	0.516(s)	0.158(s)
Settle Time(5%)	1.833(s)	1.688(s)	0.649(s)	0.347(s)
Settle Time(2%)	2.161(s)	1.781(s)	0.695(s)	0.405(s)

4. 결론

현재까지 많은 학자들에 의해 정량적인 해석인 어려운 시스템에서 좋은 성능을 보이는 퍼지 제어기가 연구되어 왔다. 하지만 이러한 퍼지 제어기도 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, 퍼지 제어기의 규칙 베이스와 소속함수의 모양을 결정하는 문제이고, 둘째, 입출력 변수에 따른 규칙 베이스 수의 기하급수적 증가이다.

첫 번째 문제점의 해결책으로서 최근 들어 최적화 알고리즘을 이용하여 규칙 베이스를 생성함으로써 기존의 전문가의 지식이나 숙련된 기술자의 지식을 바탕으로 하는 경험적 방법보다는 좋은 결과를 가져올 수 있는 방법들이 연구되고 있다. 본 논문에서도 최적화 알고리즘 중의 하나인 유전자 알고리즘을 이용한 규칙 베이스와 소속 함수의 최적값을 구하고, 그것을 퍼지 모델에 적용하였다.

또한 두 번째 문제점의 해결을 위하여 본 논문에서는 병렬 퍼지 제어기와 궤환 및 지연 시스템을 연구했다. 병렬 퍼지 제어기를 사용함으로써 전체 제어기에 사용될 규칙 베이스의 수를 줄이면서도 일반적인 퍼지 제어기에 비해서 성능 면에서 뒤지지 않는다는 것을 알 수 있었다. 또한 입력 변수의 수가 증가하더라도 여러개의 퍼지 제어기를 사용함으로써 규칙 베이스의 기하급수적 증가를 막을 수 있음을 보였다. 궤환 및 지연 시스템의 사용은 규칙 베이스의 수를 직접적으로 줄일 수는 없지만 입력 변수의 소속함수의 수를 줄이고도 좋은 결과를 얻을 수 있게 함으로써 간접적으로 규칙 베이스

의 수를 줄이는 방법으로 사용될 수 있음을 보였다.

향후에 연구되어야 할 과제로서 본 논문에서 사용한 유전자 알고리즘을 개선이 필요할 것이다. 규칙 베이스와 소속함수의 효과적인 코딩방법, 각 파라메타가 결과에 미치는 영향, 효율적인 평가 함수의 도입이 필요시 된다.

퍼지 제어기 4의 모델에서 입력으로 사용되는 전압값과 각 입력 변수와의 상관관계에 대한 연구를 통하여 전체 규칙베이스의 수와 연산 속도를 줄여가는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 4개 이상의 입력을 가진 시스템에 적용해봄으로써 논문에서 제시하고 있는 퍼지 제어기의 성능을 평가해보아야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 성균관 대학교의 1997년도 성균학술 연구비에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

[1] Zadeh. L.A., "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", IEEE Tr. on Systems, Man, and Cybernetics Vol. SMC-3, No. 1, 1973

[2] Mamdani. E. H., "Application of fuzzy algorithms for controller of simple dynamic plant", IEEE Proc. Control&Science, Vol. 121, No. 12, 1974

[3] K.Tanaka and M. Sano, Trajectory stabilization of a model car via fuzzy control, Fuzzy Sets and Systems 70, p. 155-170, 1995.

[4] M. Sugeno and M. Nishida, Fuzzy control of model car, Fuzzy Sets and Systems 16, p. 103-113, 1985.

[5] M. Sugeno and K. Murakami, An experimental study of fuzzy parking control using a model car, in: M. Sugeno, Ed., Industrial Applications of Fuzzy Control, p. 125-138, 1985.

[6] M. Sugeno and T. Murofushi, Fuzzy algorithmic control of a model car by oral instructions, Fuzzy Sets and Systems 32, p. 207-218, 1989.

[7] Sukhamay Kundu and Jianhua Chen, Design of heuristic fuzzy controller, Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, p.2130-2134, 1996.

[8] H. Ishigami, T. Fukuda, T. Shibata and F. Arai, Structure optimization of fuzzy neural network by genetic algorithm, Fuzzy Sets and Systems 71, p. 257-264, 1995.

[9] Yasunobu, S., Miyamoto, S., "Automatic train operation system by predictive fuzzy control," in Industrial Applications of Fuzzy Control, M.Sugeno(ed.), Elsevier Science Publisher B.V.(North-Holland), 1985

[10] Yasunobu, S., Hasegawa, T., "Predictive fuzzy control and its application for automatic container crane operation system," Control Theory Adr. Technol., Vol.

2, No. 3, 1986

[11] C. L. Karr, "Design of an adaptive fuzzy logic controller using genetic algorithm," in Proc. the Fourth Int. Conf. Genetic Algorithms, p. 450-457, 1991.

[12] P. Thrift, "Fuzzy logic synthesis with genetic algorithms," in Proc. Fourth Int. Conf. Genetic Algorithms, p. 509-513, 1991.

[13] Ludemann J., Rebeschies S., "Comparison of Different Fuzzy Control Approaches for A Ball and Plate System." EUFIT '98., 1998

[14] Ludemann J., "Fuzzy-Regelung einer Kugel auf dem Balanciertisch," TU Berlin, Fachgebiet Regelungstechnik und Systemdynamik, Diplomarbeit, Berlin, 1997

[15] Rebeschies S., "Kugel auf einem Balanciertisch", TU Berlin, Institut fur Meb nud Automatisierungstechnik, Institusbericht Nr. 181, Berlin, 1996

[16] 류시열 외, 다중 개체군 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 규칙 최적화, 성균관 대학교 전기 전자 및 컴퓨터 공학부, 대한 전기학회 제 36권 8호 P54-61, 1999

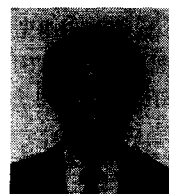
저 자 소 개



손 호 성 (孫 豪 盛)

1971년 4월 21일생. 1998년 성균관대학교 전자 공학과 졸업. 현재 성균관 대학교 전기 전자 및 컴퓨터 공학부 석사 과정. 관심분야 : 최적화 알고리즘, 유전자 알고리즘, 퍼지제어 등.

연락처: hssohn@ece.skku.ac.kr, 031-290-7197



권 기 호 (權 奇 浩)

1975년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업. 1978년 8월 서울대학교 전자공학과 졸업(석사). 1978년1월~1980년 2월 ETRI 연구원. 1988년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학박). 1996년 1월~1996년 12월 Texas A&M 교환교수. 1983년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수. 관심분야: 카오스, 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등 (전기학회지 49권 1월호, 지능형 제어기법을 이용한 싸이클로트론 이온빔 제어에 관한 연구"김유석, 권기호" 참조)