

퍼지논리와 유전자 알고리즘 융합에 의한 지능형 제어 시스템 설계

이 말 레[†] · 김 태 은^{††}

요 약

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어 시스템 설계 방법을 제안한다. 시스템의 성능 평가는 rise-time, settling time 그리고 overshoot와 같은 성능 매개변수를 이용하였다. 제안한 방법은 root-locus 방법을 사용한 제어 시스템과 비교하였다. 기존 제어 시스템은 제어기 설계시 수학적 처리가 필요하다. 하지만 유전자 알고리즘을 이용한 제어기 설계는 수학적 모델링을 할 필요가 없다. 그리고 일반적으로 시스템의 비선형 정도는 탐색에 의해서만 알 수 있는 성질의 것이므로 본 논문에서는 최적의 탐색 알고리즘으로 널리 인정되고 있는 유전자 알고리즘을 사용하여 전역적인 최적 공간을 탐색한 후 이를 바탕으로 퍼지 제어기를 완성한다. 제안된 제어 시스템의 효율성은 타스크 트래킹 위치 제어 시스템을 사용하여 안정, 불안정 시스템에서 컴퓨터 모의 실험을 통해서 입증된다.

On Design Intelligent Control System by Fussion of Fuzzy Logic and Genetic Algorithms

Mal-Rey Lee[†] · Tae-Eun Kim^{††}

ABSTRACT

This paper presented the application of GAs as a means of finding optimal solutions over a parameter space in the controller design for a fuzzy control system. The performance can involve a weighted combination of various performance characteristics such as rise-time, settling time, overshoot. The results obtained here are compared with those for a traditional design obtained using the root-locus method. In contrast to traditional methods, the GA-based method does not require the usual mathematical processess or mathematical model of the system. In this paper, the GA based Fuzzy control system combining Fuzzy control theory with the GA, that is known to be very effective in the optimization problem, will be proposed. The effectiveness of the proposed control system will be demonstrated by computer simulations using task tracking position system in stable and unstable linear systems.

It is shown that the GA based controller is better than the traditional controller used in stable and unstable linear systems.

1. 서 론

인공 지능 분야에서 지능 시스템 설계는 매우 흥미

있는 분야이며, 지난 몇 년 동안 연구자들은 이 분야에 많은 노력을 기울여왔다. 특히 퍼지이론과 신경 망 접근법은 비 선형 모델에서 불확실한 정보를 처리할 수 있을 뿐만 아니라 일반화의 기능도 있으므로 제어 시스템이나 의사 결정 지원 시스템, 학습 시스템 등에서 많은 연구가 있었다[1,2].

퍼지 제어 시스템의 구성은 퍼지화기(fuzzifier), 규

* 본 논문은 1998년도 조선이공대학교 공업기술연구소 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 조선이공대학교 컴퓨터공학 교수

†† 성 회 원 : 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

논문접수 : 1997년 9월 12일, 심사완료 : 1998년 10월 13일

의 베이스(rule base), 퍼지 추론기(fuzzy inference engine), 그리고 비퍼지화기(defuzzifier)로 구성되어 있다. 대부분 규칙 베이스는 전문가의 경험등을 "if then" 형의 규칙으로 구성한다. 퍼지 제어기를 설계하는데 있어서 어려운 점은 규칙 베이스를 구성하는 일이다. 전문가의 지식이나 실험에 의해 규칙 베이스를 구성할 수 있지만, 제어 대상이 복잡하거나 특별한 환경일 경우, 그 구성에 많은 어려움을 갖는다. 게다가 규칙 베이스를 구성하였다 하더라도 그것이 최적인 규칙인지 알 수 없다. 이러한 어려움을 보완하기 위해 규칙 베이스를 자동으로 생성할 수 있는 방법들에 대한 연구가 진행되고 있다. 이들 연구는 신경 망과의 융합으로 규칙을 자동 생성하는 방법과 자기 동조법에 의한 자동 생성 방법 등이 있다[3,4].

신경 망과의 융합 방식은 제어 규칙의 언어 변수인 소속 함수 등을 제어 대상에 맞게 조정하는 방식으로 학습 알고리즘으로는 오차 역전파(error backpropagation learning algorithm)를 사용한다. 이 과정은 네트워크의 연결 강도를 반복적으로 조정하여 실제 신경망의 출력과 원하는 출력간의 차이를 줄여 가는 방법이다. 그러나 신경 망 역시 학습 시간, 입력 층 및 은닉 층에서 이용되고 있는 가중치를 적절한 학습을 위해 어떻게 선정을 해야 하는가의 어려움이 있으며, 또한 학습 알고리즘인 오차 역전파 알고리즘이 지역적인 최솟해(local minimum)에 빠지는 문제점등을 해결해야 한다[5,6].

한편 자기 동조 방식은 성능지표에 따라 제어 규칙을 만들면서 수정하는 방법인데, 성능지표는 전문가의 경험과 지식에 의해 정해주게 되므로 규칙 베이스를 구성하기가 어렵다.

이런 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 학습/적용 능력을 갖는 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어 시스템을 설계하고자 한다. 제안한 제어 시스템의 설계는 부정확하고 불확실한 환경에서 효과적이며, 유전자 알고리즘은 선역적인 맹렬 탐색 알고리즘이기 때문에 신경 망을 이용한 기법의 지역적 수렴을 해결할 수 있다. 모의 실험을 통해서 제안된 방법의 우수성을 보여준다.

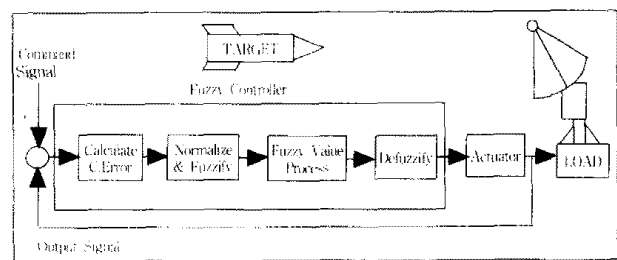
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용된 기본개념에 대해 알아본다. 3장에서는 퍼지 제어 시스템 설계에 대해 설명하고 4장에서는 컴퓨터 모의 실험을 통해 본 논문의 유용성을 보이며, 5장

에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시하고 본 논문을 맺는다.

2. 기본 개념

2.1 퍼지 제어기

본 논문에서 사용된 퍼지 제어 시스템은 타스크 트래킹의 위치 제어에 대한 것이며, 시스템 구조는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 퍼지 제어 트래킹 시스템 구조
(Fig. 1) System Structure of Fuzzy Control tracking

퍼지 제어기는 command signal과 output signal을 받아서 오차의 변환분을 계산하고 오차와 오차의 변환분의 입력값의 퍼지화할 수행한다. 즉, 입력 데이터를 적절한 언어적인 값으로 변환시킨다. 여기서 언어적인 값은 일반적으로 입력부 전체집합 내에서 정의된 퍼지 집합들의 이름을 사용한다. 이들 퍼지 언어 변수는 합성 추론 규칙을 사용하여 퍼지 규칙을 평가하여 퍼지 제어 입력을 구해준다. 출력 퍼지 값을 실제 제어 입력의 전체집합에 맞추어 크기를 변환시켜야 한다. 즉 비퍼지화는 무게중심법을 이용하여 실제 제어 입력으로 사용할 수 있는 명확한 비 퍼지 값으로 변환 시킨다. 이 값은 Actuator에 전달되어 실제적인 일을 하게 된다.

퍼지 논리 시스템을 설계 할때 다음과 같은 단계가 필요하다.

- 1) 입출력 변수를 명세화 한다.
- 2) 각 퍼지 변수에 대한 소속 함수를 명세화 한다.
- 3) 성능지표를 최적화하는 퍼지 지식 베이스를 유전 알고리즘을 이용해 구축한다.
- 4) 제어변수를 비퍼지화 하여 원하는 반응 즉, 성능 지표에 적합한지를 알기 위해 하나의 gain 값을 적용한다.
- 5) 컴퓨터 시스템에서 모의 실험을 한다.

2.2 퍼지 제어기 규칙

본 논문에서 사용된 퍼지 규칙은 식 (1)과 같은 “if then” 형식의 규칙들로 구성되어 있다.

- Rule 1 : IF x_1 is SP and x_2 is MP THEN CA is SP
 - Rule 2 : IF x_1 is MP and x_2 is SP THEN CA is MP
- (1)

이곳에서 x_1 , x_2 와 CA는 각각 입력 및 출력 변수들이고, SP, MP는 (그림 2)에 해당하는 소속함수들을 갖는 퍼지 변수들이다. 소속함수는 퍼지 제어의 오차(error)의 전체집합을 정하는 환산 계수에 의한 범위를 나타낸다.

식 (1)의 N개로 구성되어 있는 규칙 베이스를 제어 대상에 맞게 조정할 수 있는 방법은 각 규칙의 전제부와 결론부의 퍼지 변수 소속함수들을 변경하거나 입력들의 환산 계수를 조정하여 이루어 질 수 있다. 입력 (x_1 , x_2)에 대한 퍼지 추론치 y_i 의 소속의 값은 Mamdani의 MIN-MAX추론 방법을 사용하여 소속 값을 구할 수 있으며, 식 (2)와 같이 구한다[11].

$$y_i = \min(\mu_{m_i}(x_1), \mu_{m_i}(x_2)), (m_i = SP, MP) \quad (2)$$

CA를 구하는 비퍼지화 방법에는 여러가지가 있는데 본 논문에서는 무게중심 비퍼지화 방법을 이용하여 CA를 구할 수 있으며, 식 (3)과 같다[12].

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (3)$$

여기서 n은 규칙의 수 이고, p_i 는 소속함수의 중앙값이다.

3. 퍼지 제어 시스템 설계

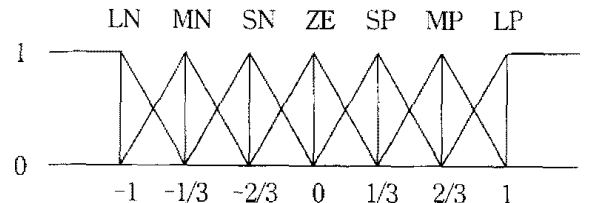
3.1 퍼지 규칙의 파라미터

본 논문에서 사용하고 있는 소속 함수는 (그림 2)와 같으며, 환산 계수에 의해 정규화된 범위를 나타낸다. 여기서 각 퍼지 변수들은 이등변 삼각형 모양의 소속 함수를 갖는다고 가정한다. 식 (1)의 N개로 구성되어 있는 규칙을 제어 대상에 맞게 조정할 수 있는 방법은 각 규칙의 전제부와 결론부의 퍼지 변수 소속함수들을 변경하거나, 입력들의 환산 계수를 조정하여 이루어 질 수 있다. 본 논문에서는 제어 환경에 맞는 퍼지 규칙을 결

정하기 위해 규칙의 전제부와 결론부의 소속 함수를 주요 조정 대상 혹은 최적화 파라미터로 삼는다. 최적화 파라미터인 삼각형 소속 함수의 밑변 길이를 일정하게 유지하면 상단 꼭지점 만으로도 그 소속 함수를 특징 지을 수 있다. 이에 전체집합 상의 상단 꼭지점 위치를 최적화 대상으로 삼으며, 그 위치를 규칙의 적합도에 따라 유전자 알고리즘을 이용하여 조정한다. 이를 위해 꼭지점의 상단 위치들을 부호화된 이진수로 표현한다. 퍼지 규칙에서 사용된 언어 변수를 다음과 같다.

$$L = \{LN, MN, SN, ZE, SP, MP, LP\}$$

즉, LN(Large Negative), MN(Medium Negative), SN(Small Negative), ZE(Zero), LP(Large Positive), MP(Medium Positive)와 SP(Small Positive)이다. 따라서 하나의 스트링은 49개의 소속 변수를 갖게된다.



(그림 2) 퍼지 언어 변수의 소속함수
(Fig. 2) Membership Function of Fuzzy Language Variable

(그림 3)은 (그림 2)의 소속 값을 유전자 알고리즘을 이용하기 위하여 이진수의 스트링으로 표현한 예이다. 이 스트링은 퍼지 규칙의 전제부와 결론부의 소속 값들로 이루어졌다. 즉, 하나의 스트링은 하나의 규칙이 된다.

N개의 전제부와 결론부의 소속함수

string 1 : 01010..011000011 + 010001..0011

.....

string N : 01101..01001111 + 110011..11011

(그림 3) 하나의 스트링으로 합성한 N개의 소속함수
(Fig. 3) N Membership Function is Composed of One String

3.2 적합도 함수

우선 평가할 대상을 “출력응답”으로 하고 출력응답을 세 가지 속성으로 나눈다. 세 가지 속성은 rise time, overshoot, 그리고 settling time이다. 퍼지 제어

시스템의 목적은 최소한의 rise time과 settling time 그리고 overshoot로 주어질 목적을 수행하는데 있다. 이 조건을 퍼지 제어 시스템의 제어 규칙을 생성 하는데 기준으로 사용된다. 목적 함수는 risetime과 settling time 그리고 overshoot 시간의 합으로 평가된다. 적합도 함수는 다음의 식 (4)와 같다. $H = \text{rise time} + \text{settling time} + \text{overshoot}$ 이다.

$$\text{Fitness}(i) = 1/H + 1 \quad (4)$$

단 i 는 문자열을 나타내며, H 가 음수가 아니기 때문에 H 가 최소 값일때 최대의 적합도 함수를 얻을 수 있다. 즉, 최대의 적합도를 가진 규칙이 퍼지 제어 시스템의 적합한 퍼지 규칙이 된다.

3.3 GA에 의한 퍼지 제어기 규칙 결정

최적화 대상 인자를 및 이들의 스트링 표현법을 결정한 후 유전자 알고리즘에 의한 규칙 베이스의 최적화 과정은 다음과 같이 이루어진다.

[단계 1] 임의의 초기 집단은 규칙 베이스로 만든 초기 스트링을 가지고 난수 발생에 의해서 초기 집단을 생성하고 이때 집단은 임의의 M 개의 규칙 베이스들을 이진수로 표현한 집단을 나타낸다.

[단계 2] 임의의 초기 집단으로 만들어진 스트링 각각은 하나의 규칙 베이스이다. 집단의 각행(string)의 적합도를 구한다. 적합도는 스트링을 2진수 값으로 역변환하여 퍼지 규칙들의 전제부와 결론부 변수들의 소속함수를 결정한다.

[단계 3] 모든 규칙 베이스의 적합도를 구한후 이들 중 적합도가 가장 높은 스트링을 선택하여 다음 세대가 될 스트링들을 선택한다. 즉, 높은 적합도를 갖는 스트링에 높은 선택 확률을 주어 선택될 가능성을 높여 준다.

[단계 4] 선택된 스트링들로부터 교배와 돌연변이의 진화 과정을 거쳐 다시 세대의 집단을 구성한다.

[단계 5] 적합도 값이 낮은 스트링은 집단에서 삭제한다.

[단계 6] 요구 조건이 만족되면 종료하고 그렇지 않으면 단계 2부터 다시 반복한다.

이와 같은 진화를 통해 구성된 새로운 집단은 이전 집단보다 적합도가 높은 집단이 되며, 상기 과정을 반복할 경우 집단내의 어느 한 스트링이 최대의 적합도

를 갖게 되고, 군대에 이르게 된다. 이때 퍼지 규칙의 적합도가 가장 높은 스트링을 이용하여 구성하게되며 이렇게 구성된 규칙은 Actuator의 rise time, settling time 그리고 overshoot를 최소화 시키는 최적의 규칙을 의미하게 된다.

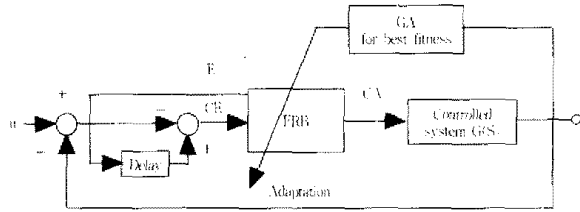
본 부분에서 제안한 GA를 이용한 퍼지 제어 시스템의 블록도는 (그림 4)와 같다. 퍼지 규칙은 오차 ($E = u - y$)와 (그림 4)에서 보는 바와 같이 제어 값과 같은 출력 변수에 대한 오차 변화분($CE = E(t-1) - E(t)$)의 입력 변수와 관련된다. 여기에서는 49개의 파라미터를 사용하고 7개의 퍼지 소속값을 갖는다. 소속 함수는 다음과 같이 부호화하여 사용한다. 즉, 0=None(unused), 1=LN(Large Negative), 2=MN(Middle Negative), 3=SN(Small Negative), 4=ZE(Zero), 5=SP(Small Positive), 6=MP(Middle Positive) 그리고 7=LP(Large Positive)와 같이 이용한다. 퍼지 규칙 각각의 파라미터는 각 파라미터의 영역을 포함하는 3비트의 이진수로 부호화 한다. 이렇게 소속 함수를 이진 스트링으로 나타내면 전체의 집단 스트링 갯수는 147개의 비트 스트링을 갖는다. 스트링 집단은 모두 부호화된 파라미터에 의해 형성한다. 이들 규칙은 퍼지 입력 변수와 출력 변수의 관계가 행렬로 배열되어 있다. 이 퍼지 규칙의 입력은 <표 1>과 같으며, 유전자 알고리즘에 의해 입력 값에 따라 규칙이 수정되게 된다.

<표 1> 초기의 퍼지 규칙 베이스 예
(Table 1) Example of Initial Fuzzy rule Base

e(t) \ cet(t)	(LN)	(MN)	(SN)	(ZE)	(SP)	(MP)	(LP)
(LP)	NO	NO	NO	LP	SP	LP	SP
(MP)	NO	NO	NO	MP	LP	MP	MN
(SP)	NO	NO	SP	SP	SP	ZE	MN
(ZE)	NO	NO	SP	ZE	SN	MN	LN
(SN)	NO	NO	SN	SN	LN	LN	NO
(MN)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
(LN)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

퍼지 제어 판단 과정에서 퍼지 규칙들의 집합은 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$ 로 표시하며, 각 규칙 A_i, B_i, C_i 는 퍼지 언어 변수이고 한 규칙의 예로 (SP, LN, ca)와 같이 표기 할 수 있고, 이때 ca는 퍼지 출력 규칙의 결론부 변수이다.

이들 규칙은 퍼지 입력 변수와 각 규칙의 $R_i = (A_i, B_i, C_i)$ 들은 주어진 입력 쌍 e 와 ce 는 (e, ce, ca) 로 표현된다.



(그림 4) GA를 이용한 퍼지 제어 시스템 블록도
(Fig. 4) A block diagram of fuzzy control system using GA

4. 컴퓨터 시뮬레이션

제안한 방법을 이용하여 결정된 퍼지 규칙의 타당성을 확인하기 위하여 일반적인 퍼지 제어 시스템을 도대로 모의 실험 하였다. 본 논문에서 사용한 유전자 알고리즘의 파라미터는 다음과 같다. 유전자 알고리즘의 성능은 교배와 돌연변이 확률에 크게 좌우되는데 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해 온라인 및 오프라인 성능이 우수한 De Jong의 확률값을 사용하는데, 이는 가장 널리 사용되고 있는 확률 알고리즘이다[14]. 여기서 온라인 성능은 적합도의 평균값을 의미하고, 오프라인 성능은 최대의 적합도를 의미한다.

1. 전체 집단 크기(Total population size) = 20
2. 시스템 매개 변수 수(System variable number) = 49
3. 각 변수 길이(Length of each variable) = 3
4. 스트링 길이(Chromosome length(lchrom)) = 147
5. 최대 세대수(Maximum# of generation(maxgen)) = 500
6. 교배 확률(Crossover probability(p_c)) = 0.6
7. 돌연변이 확률(Mutation probability(p_m)) = 0.001

Actuator 전달 함수를 이용하여 (그림 4)의 블록도를 기반으로 컴퓨터 시뮬레이션을 한다. 성능 기준은 상승시간과 정착시간 및 overshoot의 합에 의해 적합도는 식 (4)와 같다.

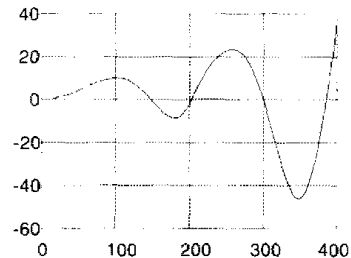
제어 규칙은 <표 1>의 규칙을 사용하였다. 여기에서 $e(t)$ 와 $ce(t)$ 는 제어기의 입력이고 테이블 안에 있는 요소는 제어기의 출력이다. $e(t)$ 는 출력오차로 $y_r(t)-y(t)$ 이고 $ce(t)$ 는 출력오차의 변화율로서 $e(t)-e(t-1)$ 을 나

타낸다. 이때 $y_r(t)$ 는 기준입력이고 $y(t)$ 는 공정의 출력이다.

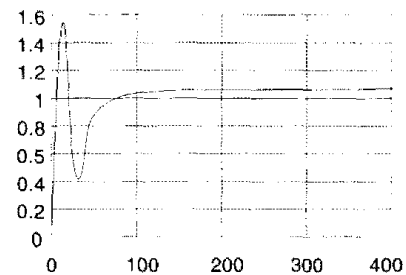
퍼지 제어를 위한 퍼지 제어 시스템에서 입력변수들로서는 일반적으로 오차와 오차 변화량이 사용된다. 오차 $E(t)$ 는 기준 입력 $u(t)$ 와 시스템의 실제출력 $y(t)$ 와의 차로써 정의되고, 오차의 변화량 $CE(t)$ 은 t 번째의 오차 $E(t)$ 와 직전오차 $E(t-1)$ 와의 차로 정의된다. 퍼지 시스템의 출력 변수로서는 Actuator에 대한 제어 입력 $CA(t)$ 가 주로 사용된다.

퍼지 제어 시스템의 설계과정의 일반성을 얻기 위하여 입출력을 모두 $[-1, 1]$ 로 정규화 하였다. Actuator는 다음식과 같이 정의되는 2차 선형 시불변 함수 $G(s)$ 를 사용하였으며 이산시간 영역에서 시뮬레이션을 하기 위하여 샘플링 시간은 0.05초로 하였다. 플랜트 전달 함수는 다음과 같다. (그림 5)는 시불변 전달함수에 대한 기존 시스템과 제안한 방법을 이용한 출력응답을 보여주고 있다. 그림에서 보다시피 본 논문에서 제안한 출력응답(b)가 기존 시스템(a)에 비해 향상된 반응을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다.

$$G(s) = 4.46 / (s-3)(0.43s + 1) \quad (5)$$



(a) Original System Response



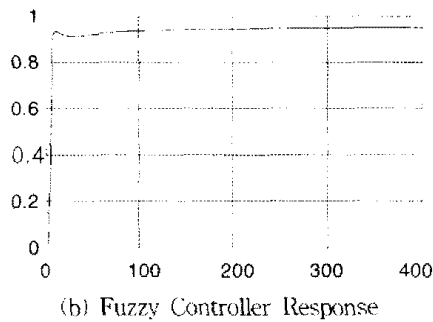
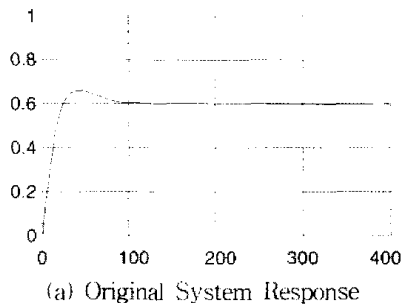
(b) Fuzzy Controller Response

(그림 5) 식 (5) 전달함수에 대한 출력 반응
(Fig. 5) Output response for transition function

시변함수로 사용된 플랜트의 전달 함수는 식 (6)과 같다. (그림 6)는 시변 전달함수에 대한 기존 시스템과

제안한 방법을 적용한 출력응답을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 본 논문에서 제안한 출력응답(b)가 기존 시스템(a)에 비해 향상된 반응을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다.

$$G(s) = 4.46 / (s+3)(0.43s + 1) \quad (6)$$



(그림 6) 식 (6) 전달함수에 대한 출력 반응
(Fig. 6) Output response for transition function

퍼지 제어기 시스템의 응답 반응 시간은 거의 완벽하다. 매우 짧은 상승시간과 거의 0에 가까운 overshoot 그리고 매우 빠른 settling time을 얻을 수 있었다. 시간반응을 분석함으로써 rise time, overshoot, 그리고 settling time의 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 시간분석의 출력응답

<Table 2> Output response of time analysis

	rise time (iteration)	overshoot (%)	settling time (iteration)
original response	30	30	200
fuzzy response	6	5	8

5. 결 론

대부분의 퍼지 제어 시스템을 구현할 때 시간이 많

이 소비되고 시스템 성능에 영향을 주는 파라미터는 소속 함수와 규칙 베이스의 선택이다. 퍼지 제어 시스템에서 사용되는 규칙을 소유한 전문가와 퍼지 제어 시스템의 개발자가 서로 다른 사람인 경우에 전문가의 규칙 습득시 오해가 발생하여 잘못된 규칙을 획득할 수 있고, 규칙의 표현시 잘못 기술함으로 인한 시스템의 성능저하를 가져올 경우가 많이 있었다. 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 부정확하고 불확실한 환경에 효과적이며, 전역적인 병렬 탐색 알고리즘인 유전 알고리즘을 이용하여 사전의 전문가의 경험이나 지식이 없이도 성능 기준을 최적화하는 퍼지 제어 시스템 설계 방법을 제시했다. 이 시스템의 유용성을 보이기 위해 선형 안정과 불안정 시스템에서 컴퓨터 모의 실험 했다. 이 경우에 매우 좋은 결과를 보였고 추후 연구 과제로는 다양한 시스템의 적용이 필요하고 교배와 돌연변이 확률을 다양하게 적용해 시스템의 성능에 어떤 영향을 미치는지 알아보아야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Y. F. Li, C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems," IEEE Control Syst. Mag., pp.65-72, 1989.
- [2] J. A. Bernard, "Use of a Rule-Based System for Process Control," IEEE Control Syst. Mag., pp.3-13, 1988.
- [3] Shin-ichi Horikawa, "A Fuzzy Controller Using A Neural Network and Its Capability to Learn Control Rules," Proceedings of the International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks, pp.103-106, 1990.
- [4] Shihuang Shao, "Fuzzy Self-Organizing Controller and Its Application for Dynamic Processes," Fuzzy Sets and Systems 26, pp.151-164, 1988.
- [5] B.Kosko, Neural Networks and Fuzzy Systems : A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence, Prentice-Hall : Englewood Cliffs, NJ, 1992.
- [6] Shaohua Tan, Shi-zhong He, "Hybrid Control of Nonlinear Dynamical Systems using Neuralnets and Conventional Control Schemes Problem," IJCNN, Vol.2, pp.805-810, 1992.

[7] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, MI: Univ. Mich. Press, 1975.

[8] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.

[9] D. E. Goldberg and R. Lingle, Jr., "Alleles, loci and the Traveling Salesman Problem," in *proc. Int. Conf. Genetic Algorithms and Their Appl.*, 1985, pp.154-159.

[10] K. K. Kumar and D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Control System Optimization," *IAAA Guidance, Navigation and Control Conference*, Aug. 20-22, 1990.

[11] Mamdani, E. H., "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *IEEE Proc. Control & Science*, Vol.121, No.12, pp.1585-1588, 1974.

[12] Hans Hellendoorn, Christoph Thomas, "Defuzzification in fuzzy controllers," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, Vol.1, pp.109-123, 1993.

[13] W. R. Hwang, C. W. Tao, W. E. Thompson, and R. Paz, "A Comparison of a Fuzzy Controller with an Optimal PD Controller for a Nonlinear Control System," *Michigan*, August 16-18, 1993.

[14] K. Krishnakumar and D. E. Goldberg, "Control System Optimization using Genetic Algorithms," *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 15, No.3, pp.735-740, 1992.

[15] C. T. Chen, *Analog and Digital Control System Design: Transfer-Function, State-Space, and Algebraic Methods*, Saunders College Publishing, 1993.

[16] Kickart, W. J. M. and Mandani, E. H., "Analysis

of fuzzy logic controller," *Fuzzy sets and system*, Vol.1, No.1, pp.29-44, 1978.

[17] M. Braae and D. A. Rutherford, "Selection of Parameters for a Fuzzy Logic Controller," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.2, pp.185-199, 1979.

[18] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I, Part II," *IEEE Trans. on Sys. Man and Cyber.*, Vol.20, No.2, pp. 404-435, 1990.



이 말 레

e-mail : mrlee@mail.chosun.ac.kr

1991년 국립군산대학교 컴퓨터과
학과 졸업(학사)

1993년 중앙대학교 일반대학원 컴
퓨터공학과 졸업(공학석사)

1997년 중앙대학교 일반대학원 컴
퓨터공학과 졸업(공학박사)

1998년~현재 조선이공대학교 컴퓨터공학 교수
관심분야 : 유전자 알고리즘, 퍼지, 신경망, 인공지능, 에이전트, 멀티미디어 등



김 태 은

e-mail : kekim@nsu.ac.kr

1989년 중앙대학교 전기공학과 졸
업(학사)

1992년 중앙대학교 일반대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)

1997년 중앙대학교 일반대학원 전
자공학과 졸업(공학박사)

1998년~현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
관심분야 : 3-D영상처리, 컴퓨터비전, 영상코딩, 패턴인식, 멀티미디어 통신