

데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어기

· 윤 형 식 이 평 기 전 기 준
경북대학교 공과대학 전자공학과

Self-Organizing Fuzzy Controller Using Data Base

Hyoung-Sic Yoon Pyeong-Gi Lee Gi-Joon Jeon

Dept. of Electronics Eng., Kyungpook National University

ABSTRACT

A fuzzy logic controller with rule modification capability is proposed to overcome the difficulty of obtaining control rules from the human operators. This new SOC algorithm modifies control rules by a fuzzy inference machine utilizing data base. Computer simulation results show good performances on both a linear system and a non-linear system.

1. 서 론

고전적 제어기의 설계 방법에서는 플랜트의 수학적 모델링이 매우 중요한 역할을 하게된다. 그러나 복잡한 프로세스에서는 수학적 모델링이 어렵고, 모델을 구하더라도 외란이 있는 경우 적절한 제어기의 설계가 쉽지않다. 이러한 어려움을 해결하기 위해 인간의 결정 과정을 모방한 제어 이론을 시스템에 도입하는 방법이 다양하게 연구되었는데 그 방법중 하나가 1965년 Zadeh[1]에 의해 제안된 퍼지 집합 이론이다. 퍼지 이론에 관한 응용은 1974년 영국의 Mamdani[2]에 의한 스팀 엔진 제어 연구의 성공으로 그 실용성의 가능성을 보여 줌으로써 연구의 박차를 가하게 되었다. 이후 1980년에는 지하철 운전 제어등 실제 산업 현장에 이용, 최근 1,2년 사이에는 일본을 중심으로 가전 제품을 비롯한 많은 곳에서 퍼지 이론을 사용한 실제 응용상의 접근을 해왔다[10]. 그러나 이러한 폭 넓은 접근에도 불구하고 복잡한 동적 특성을 가진 시스템의 경우 적절한 퍼지 규칙을 찾는다는 것이 상당히 어렵거나 불가능할 수도 있기에 초기에 설정되었던 퍼지 규칙들은 시스템을 제어하기에 적절하지 않게된다.

자기 구성 퍼지 제어기(Self-Organizing Fuzzy Controller)는 Procky 와 Mamdani[3]에 의해 제시된 것으로 숙련자의 경험이나 사전 지식으로 퍼지 규칙을 생성하기 어려울때 실제 수행중에 얻어진 정보들을 토대로 하여 설정된 제어 성능을 관측해 나가면서 퍼지 제어기가 스스로 제어 규칙을 설정하고 개선함으로써 원하는 제어 대상의 성능을 얻을 수 있는 일종의 적응 퍼지 제어기라 볼 수 있다. 자기 구성 퍼지 제어기의 특징은 제어계의 성능을 평가하여 그 평가에 따라 제어 규칙을 변경 또는 생성 시킬 수 있는 제어 성능 평가 지표(Control Performance Decision Table)를 기준으로 하여 제어 규칙을 개선 시킨다는 것이다. 그러나 이러한 자기 구성 퍼지 제어기는 제어 성능 평가 지표와 증분 모델의 정확도가 전체 성능에 영향을 주기때문에 시스템의 동적 특성이 복잡해 질수록 초기에 이들을 결정하기는 어려워지게 된다. 이들의 어려움에서 오는 결점을 보완하고자 본 연구에서는 성능 평가 지표와 증분 모델 대신에 새로운 데이터 베이스로부터 추론 과정을 거쳐 제어 규칙을 수정하는 알고리즘을 제시한다.

2. 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어기

기존의 자기 구성 퍼지 제어기에서는 시스템의 성능을 개선시키기 위하여 시스템 응답의 제어 성능 평가 지표를 이용하여 제어 규칙을 변경하지만 본 연구에서는 제어 성능 평가 지표 작성의 어려움을 극복하기 위하여 제어 성능 평가를 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어기를 논하였다. 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어기의 전체적 구성은 그림 1 과 같다.

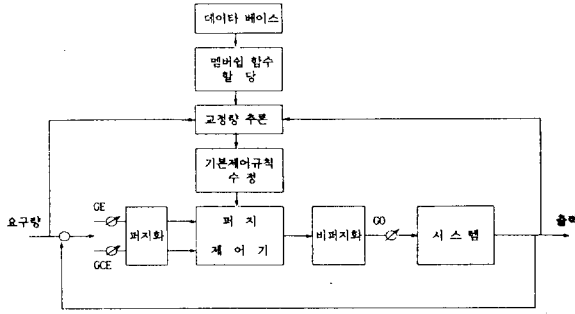


그림 1. 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어기
Fig.1 Self-Organizing Fuzzy Controller Using Data Base

자기 구성 퍼지 제어기는 기본 제어 계층(Basic Control Level)과 자기 구성 계층(Self Organizing Level)의 두 부분으로 구별할 수 있다.

2.1 기본 제어 계층

자기 구성 퍼지 제어기의 기본 제어 계층은 기본적인 퍼지 제어기에 해당된다. 이 기본 제어 계층의 중심 개념은 언어적 제어 규칙(Linguistic Control Rule)이라 할 수 있으며, 이 언어적 제어 규칙은 여러가지 형태로 표현 되지만 기본적으로는 언어적 조건문으로 볼 수 있으며 연관 행렬(Relation Matrix) R_k 의 형태로 나타낼 수 있다.

$$R_k = E_k \times C_k \times U_k \quad (1)$$

퍼지 제어 규칙으로부터 얻어지는 전체 연관 행렬 R 은 N 개의 독립적 연관 행렬의 집합 형태로 표시 된다.

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_k \cup \dots \cup R_N = \bigcup_{k=1}^N R_k \quad (2)$$

퍼지 제어기의 출력 U 는 제어기에 입력되는 오차(Error, E)와 오차 변화율(Change of error, C)로부터 Zadeh의 추론 합성 규칙(Composition Rule of Inference)에 따라 다음과 같이 계산 된다.

$$U = (E \times C) \circ R \quad (3)$$

각 샘플 주기에 따른 표현은 다음 식(4)와 같이 정의 된다.

$$U(nT) = (E(nT) \times C(nT)) \circ R \quad (4)$$

2.2 자기 구성 계층

자기 구성 계층은 4 부분 -데이터 베이스 저장 부분, 데이

타 베이스에 멤버십(membership) 함수 할당 부분, 고정량 추론 부분, 기본 제어 규칙 수정 부분 -으로 구분한다.

아래에서 자기 구성 계층의 각 부분에 대해서 자세히 논하겠다.

2.2.1 데이터 베이스 저장 부분

시스템이 입력 u 와 출력 y 를 가진 단일 입출력 시스템이라 가정한다면 이 시스템의 모델 입출력은 일반적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(n+1) = f(u(n), u(n-1), \dots, u(n-k+1)), \quad (5)$$

$$y(n), y(n-1), \dots, y(n-k+1)$$

$i < 0$ 일때 $u(i)=0, y(i)=0$ 인 시불변 시스템으로 표현되고 $u(n)$ 과 $y(n)$ 은 각각 시스템의 nT 샘플 순간의 입력과 출력이 된다. 이러한 시스템에 한정된 시간동안 기준 학습 신호 u_{db} 를 넣고 이에 대응하는 출력 신호 y_{db} 를 받아서 $u_{db}(i), y_{db}(i); i=1, 2, \dots, K(K: \text{측정 되는 샘플 수})$ 형태의 입출력 데이터 베이스 쌍으로 저장 시켜 둔다. 기준 학습 신호의 적절한 선택이 퍼지 제어 규칙을 고정하는데 결정적인 영향을 주게되므로 기준 학습 신호의 선택은 매우 중요하다. 시스템의 동적 특성을 충분히 포함할 수 있는 기준 학습 신호의 선택이 요구되어 진다.

2.2.2 데이터 베이스에 멤버십 함수 할당

데이터 베이스에 저장된 K 개의 데이터 쌍 $u_{db}(i), y_{db}(i); i=1, 2, \dots, K$ 의 각각에 $f_u: R \rightarrow [0,1], f_y: R \rightarrow [0,1]$ 처럼 멤버십 함수를 할당하게 되는데 이는 그림 2에서 나타나있다.

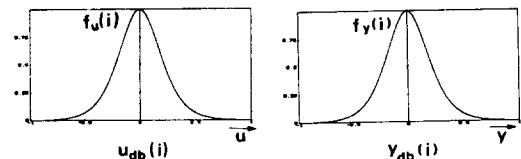


그림 2. 데이터 베이스에 멤버십 함수 할당
Fig.2 Membership Function Assignment on Data Base

이 과정은 미리 정해진 데이터 베이스 쌍에 포함된 오차를 고려하고 데이터 베이스 쌍에 포함된 값 이외의 다른 데이터

쌍들도 추론해 내기 위한 과정이다.

2.2.3 교정량 추론 부분

시스템의 시간 지연 성분 mT 를 고려 한다면 $(nT-mT)$ 샘플 순간의 입력에 따른 결과가 nT 순간에 나타날 것이다. 입력 $u(nT-mT)$ 에 의해 출력 $y(nT)$ 가 발생되고 그 순간 출력 요구량이 $s(nT)$ 였다면 $y(nT)$ 에서 $s(nT)$ 로 변하기 위해서 입력 교정량이 필요하게 될 것이다. 이 입력 교정량 $r(nT)$ 를 구하기 위한 연산 과정은 다음과 같다. nT 샘플 순간의 실제 시스템의 출력 $y(nT)$ 와 그 순간의 출력 요구량 $s(nT)$ 와 데이터 베이스에 축적된 신호 $y_{ab}(i)$, $y_{ab}(i+1)$ 과의 유사량을 표시하는 $p(i)$ 는 다음과 같다.

$$p(i) = [F\{y(n)\} \circ f_y(i)] \cap [F\{s(n)\} \circ f_y(i+1)] \quad (6)$$

$$i=1, 2, \dots, K-1$$

여기에서 \circ 는 최대-최소(Max-Min)를 나타내는 합성 연산자 (composition operator)이다.

$p(1), p(2), \dots, p(K-1)$ 이 구해졌을때 현 상황에 유사한 데이터 쌍들을 구해내기 위하여 알파 컷(α -cut) 개념을 이용한다. $p(1)$ 에서 $p(K-1)$ 값들중 일정 알파값($0 \leq \alpha \leq 1$) 이상 이 되는 값들을 구한다.

$$p = \{ p(1), p(2), \dots, p(K-1) \} \text{ 일때}$$

$$Q(m) = \{ i | i \leq K-1 \mid p(i) \geq \alpha \}, \alpha \in [0, 1] \quad (7)$$

로서 알파 값 이상의 $p(i)$ 값을 $Q(m)$ 으로 두었다. 이들 $Q(m)$ 에서 원하는 입력 교정량을 구하면 다음과 같은 형태로 쓸수 있다.

$$r(nT) = \frac{\sum Q(m) \times u_{ab}(m)}{\sum Q(m)} \quad (8)$$

2.2.4 기본 제어 규칙 수정 부분

기본 제어 규칙의 수정 방법은 크게 3가지로 구분 될 수 있다.

1. 제어 규칙의 변경.
2. 이득항(scaling factor 혹은 gain factor)들에 대한 변경.
3. 제어 규칙과 이득 항들에 대한 동시 변경.

여기에서 2와 같은 변경 방법은 시스템의 제어 성능을 향상 시킬 수 있으나 그 전제로 적절한 퍼지 제어 규칙이 미리 설정 되어 있어야 하는 조건이 따른다. 3과 같은 변경 방법 도 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있으나 제어 규칙과 이득 항의 두가지 성분을 동시에 어떻게 적절히 바꿀 수 있느냐 하는 문제가 아직 많이 연구 되어야 하는 과제로 남아 있다. 일반적인 자기 구성 퍼지 제어기는 1과 같이 제어 규칙의 변경에 의존한다. 시스템이 시간지연 mT 를 가진다고 가정할때 $(nT-mT)$ 샘플 순간의 제어 명령이 현재 순간 nT 에서의 제어 성능에 영향을 준다. 자기 구성 계층을 거치기전인 최초의 퍼지 제어기의 제어 규칙은

$$E(nT-mT) \rightarrow C(nT-mT) \rightarrow U(nT-mT) \quad (9)$$

이고, 이는 자기 구성 계층을 거치면서 아래의 식 (10)과 같이 수정될 수 있다.

$$E(nT-mT) \rightarrow C(nT-mT) \rightarrow V(nT-mT) \quad (10)$$

여기서

$$E(nT-mT) = F \{ e(nT-mT) \}$$

$$C(nT-mT) = F \{ c(nT-mT) \}$$

$$U(nT-mT) = F \{ u(nT-mT) \}$$

$$V(nT-mT) = F \{ u(nT-mT) + r(nT) \}$$

퍼지 연관 행렬로 이를 표현하면

$$R(nT) = E(nT) \times C(nT) \times U(nT) \quad (11)$$

$$R'(nT) = E(nT-mT) \times C(nT-mT) \times U(nT-mT) \quad (12)$$

$$R''(nT) = E(nT-mT) \times C(nT-mT) \times V(nT-mT) \quad (13)$$

$R(nT)$ 가 현 순간의 연관 행렬이라 가정한다면 새로 수정된 연관 행렬은 $R(nT+T)$ 이고 이를 언어적인 표현으로 구해보면 다음과 같다.

$$R(nT+T) = \{ R(nT) \text{ but not } R'(nT) \} \text{ else } R''(nT) \quad (14)$$

식 (13)을 퍼지 집합 연산자를 사용하여 다시 표현하면 다음과 같다.

$$R(nT+T) = \{ R(nT) \cap \overline{R'(nT)} \} \cup R''(nT) \quad (15)$$

3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 연구에서 제안한 이론의 적용 가능성을 검토하기 위하여 다음과 같이 주어진 선형과 비선형의 단일 입출력 시스템 모델에 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어기를 적

용해 보았다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 제어 규칙의 수형은 결정표(Decision Table)를 이용한 방법[4]을 이용하였다.

선형 시스템의 모델은

$$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{e^{-s}}{(1+s)(1+10s)} \quad (16)$$

비선형 시스템의 모델은

$$y(nT) = 0.8 \sin(2y((n-1)T)) + 1.2 u((n-1)T) \quad (17)$$

초기에 임의로 준 결정표에 의한 결과는 그림 3에 나타나 있고 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어를 사용하여 여러번 수행을 거친 후의 수정된 제어 결과는 그림 4와 같다. 초기에 사용된 결정표와 수정된 후의 결정표는 표 1.2 에 주어졌다.

표 1. 초기 결정표

Table 1. Initial Decision Table

E	CE												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0
-5	-6.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	1.0
-4	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	-4.0	-4.0	-3.0	-2.0	-2.0	1.0	1.0
-3	-4.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	-1.0	0.0	1.0
-2	-3.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	1.0
-1	-3.0	-2.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0
0	-3.0	-2.0	-1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0
1	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	3.0
2	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0
3	-1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0
4	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	3.0	4.0	4.0	5.0
5	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
6	1.0	2.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

표 2. 수정된 결정표

Table 2. Modified Decision Table

E	CE												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0
-5	-6.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	1.0
-4	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	-4.0	-4.0	-3.0	-2.0	-2.0	1.0	1.0
-3	-4.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	-1.0	0.0	1.0
-2	-3.0	-2.0	-2.0	1.5	2.0	2.0	0.7	2.3	2.4	0.0	0.0	1.0	1.0
-1	-3.0	-2.0	-0.2	1.1	1.7	0.0	0.0	1.9	2.1	1.0	1.0	1.0	2.0
0	-3.0	-2.0	-1.0	1.0	0.3	1.0	1.0	0.0	0.6	1.0	1.0	1.0	2.0
1	-2.0	-2.0	-1.0	1.1	1.7	0.3	1.0	0.0	2.0	1.0	1.0	2.0	3.0
2	-1.0	-1.0	-1.0	2.5	2.5	1.5	1.0	1.3	3.0	3.7	2.0	3.0	3.0
3	-1.0	0.0	0.9	3.3	3.2	4.0	2.0	1.6	4.2	4.3	3.0	3.0	4.0
4	0.0	0.0	3.2	5.7	4.5	1.6	3.0	3.0	4.8	4.8	4.0	4.0	5.0
5	1.0	4.4	9.9	8.2	1.9	1.9	4.0	4.1	5.0	2.0	5.0	5.0	6.0
6	1.0	2.0	6.7	8.8	5.0	5.0	18.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

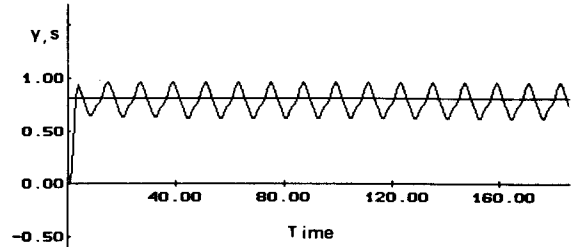


그림 3. 초기의 결정표를 이용한 선형 시스템 모델(16)의 출력 응답

Fig.3 Output Response of Linear System Model(16) Using Initial Decision Table

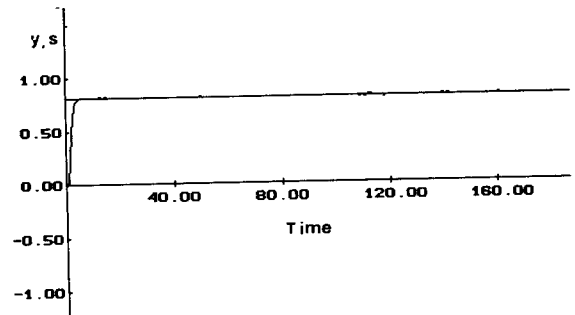


그림 4. 수정된 결정표를 이용한 선형 시스템 모델 (16)의 출력 응답

Fig.4 Output Response of Linear system Model(16) Using Modified Decision Table

그림 5,6 에서는 선형 시스템 모델과 비선형 시스템 모델에 대한 초기의 결정표의 모든 성분 값을 0으로 둔후 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어를 사용하여 여러 번 수정 후의 제어 결과를 보여준다.

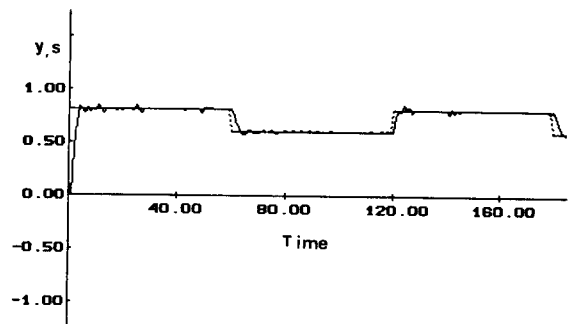


그림 5. 선형 시스템 모델 (16)의 출력 응답

Fig.5 Output Response of Linear System Model(16)

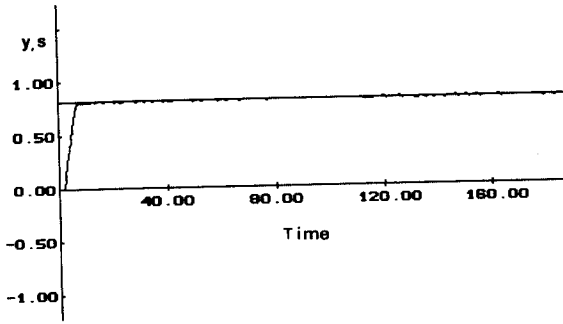


그림 6. 비선형 시스템 모델 (17)의 출력 응답

Fig.6 Output Response of Non-Linear System Model(17)

그림 4,5,6 에서의 결과는 데이터 베이스를 이용한 자기 구성 퍼지 제어가 선형 시스템의 모델뿐만 아니라 비선형성이 큰 시스템에서도 효과적인 제어 목적을 달성 함을 보여 준다.

4. 결론

본 연구에서 제안된 제어기는 미리 구해진 시스템의 입출력 정보를 이용한 데이터 베이스만을 가지고 매 샘플 순간 제어 규칙의 입력 교정량을 구하여 제어 규칙을 수정한다. 제안한 알고리즘은 시뮬레이션을 통하여 선형과 비선형 시스템의 제어에 적용 시켜 본 결과 만족한 결과를 확인 하였다.

5. 참고 문헌

- [1] L.A.Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process", IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., Vol.3, 1973, PP. 28-44.
- [2] P.J.King and E.H.Mamdani, "The application of fuzzy control system to industrial process", Automatica, Vol.13, 1977, PP. 235-242.
- [3] T.J.Procyk and E.H.Mamdani, "A linguistic self-organizing process controller", Automatica, vol.15,1979, pp.15-30.
- [4] Shihuang Shou, "Fuzzy self-organizing controller and its application for dynamic process", Fuzzy sets and

systems, vol.26, 1988, pp.151-164.

- [5] Kenji Sugiyama, "Rule-based self-organizing controller", Fuzzy Computing, M.M.Gupta and T.Yamamura(Editor), North-Holland, 1988, pp.341-353.
- [6] D.A.Linken and S.B.Hasnain, "Self-organizing fuzzy logic control and application to muscle relaxant anaesthesia", IEE.Proc, vol.138, No.3, May, 1991, pp. 274-284.
- [7] B.P.Graham and R.B.Newell, "Fuzzy adaptive control of first-order process", Fuzzy sets and systems, vol.31, 1989, pp.47-65.
- [8] X.I.Peng and S.M.Liu, "Self-regulating PID controllers and its applications to a temperature controlling process", Fuzzy Computing, M.M.Gupta and T.Yamamura (Editors), North-Holland, 1988, pp.355-364.
- [9] F.van der Rhee and H.R.van Nauta Lemke and J.G.Dijkman, "Applying fuzzy set theory to modeling process", 10th world congress on automatic control, vol.6, 1987, pp.338-343.
- [10] 박 민용, "퍼지 이론의 산업적 응용", 전기 학회지, 제 39권, 제12호, 1990.