

다이나믹시스템의 퍼지모델 식별을 통한 퍼지제어

전 기 준 이 평 기
경북대학교 공과대학 전자공학과

Fuzzy Control by Identification of Fuzzy Model of Dynamic Systems

Gi-Joon Jeon Pyeong-Gi Lee

Dept. of Electronics Eng.

Kyungpook National University

ABSTRACT

The fuzzy logic controller which can be applied to various industrial processes is quite often dependent on the heuristics of the experienced operator. The operator's knowledge is often uncertain. Therefore an incorrect control rule on the basis of the operator's information is a cause of bad performance of the system. This paper proposes a new self-learning fuzzy control method by the fuzzy system identification using the data pairs of input and output and arbitrary initial relation matrix. The position control of a DC servo motor model is simulated to verify the effectiveness of the proposed algorithm.

1. 서 론

재래의 제어기법의 문제점인 실시간 처리의 어려움, 외란에 의한 특성의 감도 변화, 과도한 오버슈트(overshoot) 및 긴상승시간등 으로 인한 응답의 저성능을 해결하기 위하여 인간의 결정과정을 모방한 제어이론을 시스템에 도입하는 방법이 다양하게 시도되고 있다. 그러한 방법중의 하나로 퍼지 집합이론은 1965년 Zadeh[1]가 처음 제시한 것으로 인간의 의사결정에 있어서 언어적 개념을 수치화 하는 이론인데 오늘날 플랜트제어, 의학진단, 패턴인식, 문자인식, 인공지능, 로봇제어등 여러분야에 매우 활발하게 적용되어지고 있다.

1970년대 중반 Pappis[2], King[3], Kickert[4]등은 산업 공정제어 분야인 교통망 제어, 증기엔진, 온수 조절 플랜트등에 퍼지 제어이론을 적용하였다. 그러나 이러한 적용에는 아주 오랜 시간에 걸쳐 완성된 전문가의 경험에 의한 제어규칙을 미리 알고 있어야만 제어가 가능하는 단점이 있

다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 1979년 Procyk[5,6]등에 의해 시도된 자기학습제어기에 관한 연구에 힘입어 초기 제어규칙에 의존성이 적은 제어기 개발에 대한 가능성을 보여 주었으나 제어기의 연관행렬 도출을 위한 계산시간 및 컴퓨터 기억용량의 증가등이 단점으로 지적되었다.

그후 시스템 식별에 관한 연구로 1984년 Pedrycz[7]는 합성연산자를 이용한 식별방법을 제안하였고 1988년 Chen[8,9]은 매 샘플링 순간마다 데이터 정보를 미리 규정 한 참조 퍼지집합에 가장 근접하는 조건가능분포 (conditional possibility distribution)를 계산하여 규칙을 수정하는 퍼지 시스템 식별방법을 제시하였다. 그러나 이러한 것은 시스템의 입력과 출력과의 관계를 나타내는 연관행렬을 도출하는 것에 국한되었다.

본 연구에서는 공정에 대한 제어규칙 생성의 어려움, 부정확한 제어규칙에 따른 정상상태에서의 편차증가등의 문제점을 해결하기 위하여 특정 시스템에 대한 전문가의 사전 정보를 요구함이 없이 임의의 초기 연관행렬과 공정의 입력과 출력의 정보만으로서 퍼지 시스템 식별을 통해 미리 설정한 목표치를 잘 추적할 수 있도록 하는 새로운 퍼지 제어기를 제안하고자 한다. 여기에서 제안한 퍼지 시스템 식별을 통한 제어기 알고리즘의 신뢰성을 검증하기 위해서 DC 서어보 모터 제어모델[10]에 적용하였다.

2. 기본적인 퍼지 집합이론

특정 사물에 대한 인간의 사고는 고전적인 집합의 명확한 경계치에 의한 참과 거짓으로 구별되기 보다는 참인 정도를 0 과 1 사이의 값으로 정의하는 멤버십(membership)함수로써 더 잘 표현되어 진다.

(정의 1) X를 공간(space), 즉 x라는 요소들의 집합이라고 할때 공간 X에서의 퍼지집합 A는 다음과 같이 각 요소에

대한 멤버십 함수로 정의 되어진다.

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) / x \in X \} \quad (1)$$

여기서 $\mu_A(x)$ 는 퍼지집합 A의 멤버십 함수이다.

(정의 2) U가 x요소들의 집합, V가 y요소들의 집합이라고 할때 두 퍼지 집합의 연관행렬 R1은 U와 V의 카테시안(cartesian)곱 $U \times V$ 로서 표현되며 이 연관행렬의 멤버십 값은 다음 식(2)와 같이 정의할 수 있다

$$\mu_{R1}(x,y) = \min\{ \mu_A(x), \mu_B(y) \} \quad (2)$$

(정의 3) 추론되어진 퍼지집합으로 부터 물리적인 값을 산출하기 위한 중력 평균 디퍼지피케이션방법은 다음과 같다.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{y \in Y} y B(y)}{\sum_{y \in Y} B(y)} \quad , y \in V \quad (3)$$

3. 퍼지 시스템 식별을 통한 새로운 퍼지 제어기 구성

퍼지 연관행렬 R에 의해서 표현되어지는 퍼지 시스템의 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_k = X_k \circ R \quad (4)$$

식(4)와 같이 주어지는 퍼지 시스템 방정식에서 식별문제는 여러 개의 퍼지 입력과 출력들의 열 집합으로서 모르는 연관행렬 R을 도출하는 것을 의미한다.

(정의 4) $A \in F(x)$ 인 모든 퍼지 집합들과 퍼지 연관행렬 R과의 α 합성 연산을 정의하면 다음과 같다.

$$\mu_A(x) \alpha \mu_A(y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_A(x) \leq \mu_A(y) \\ \mu_A(y) & \text{if } \mu_A(x) > \mu_A(y) \end{cases} \quad (5)$$

$$B = A \alpha R \quad (6)$$

식(6)을 멤버십 함수로 표현하면

$$\mu_B(x) = \bigwedge_{y \in X} [\mu_A(y) \alpha \mu_R(x,y)] \quad , x,y \in X \quad (7)$$

이다.

k번째의 데이터 쌍으로 다음 식(8)과 같이 연관행렬 R_k 를 계산할 수 있다.

$$R_k = X_k \alpha Y_k \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

n개의 퍼지 입력과 출력의 데이터 쌍으로 전체 프로세스의 추정 연관행렬 R을 다음과 같이 계산하여 식별한다.

$$R = \bigcap_{k=1}^n R_k \quad (9)$$

식(9)에서 추정되어진 연관행렬 R을 이용하여 원하는 목표치를 잘 추적할 수 있도록 하는 퍼지 시스템의 식별을 통한 새로운 퍼지 제어기의 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

1단계 : 반복횟수 k를 0으로 두고 입력 x와 출력 y의 유한한 퍼지 부분 집합 및 임의의 초기 연관행렬 R_k 을 설정한다.

2단계 : $k=k+1$

3단계 : R_{k-1} 과 기준입력의 퍼지집합을 이용하여 프로세스의 제어입력 x_k 를 계산한다.

$$X_{ok} = Y_{opt} \alpha R_{k-1} \quad (10)$$

$$\mu_{Xok}(x) = \bigwedge_y [\mu_{Yopt}(y) \alpha \mu_R(x,y)] \quad (11)$$

$$x_{ok} = D(X_{ok}) * GU \quad (12)$$

$$x_k = x_{ok} - \xi dx_{k-1} \quad (13)$$

여기서 ξ 는 스텝 크기를 말하며 dx_{k-1} 은 제어 입력의증감량을 나타낸다.

4단계 : 3단계에서 계산되어진 제어입력으로 프로세스의 출력 y_k 를 계산한다.

5단계 : 목표치 s_k 와 출력값 y_k 의 차인 추적오차에 따른 제어입력의 증감량 dx_k 를 계산한다.

$$s_1 = D(S_k) , y_1 = D(Y_k) \quad (14)$$

$$S_k = F(s_k) , Y_k = F(y_k) \quad (15)$$

$$dex = (s_1 - y_1) * GY \quad (16)$$

$$dx_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{1 + \{ y_k - y_{k-1} \}} * dex \quad (17)$$

여기서 D는 디퍼지피케이션, F는 퍼지화를 나타낸다.

6단계 : 퍼지 집합의 유한한 서포트(support)를 물리적인 제어입력으로 변환한 후 시스템에 인가하여 출력과 입력쌍을 계산한다.

7단계 : 6단계에서 얻은 데이터쌍을 퍼지화하여 다음과 같이 퍼지 시스템을 식별하여 새로운 연관행렬 R_k 를 계산한다.

$$R_k = \sum_{j=1}^{n_1} R_j \quad (18)$$

여기서 n_1 는 퍼지 집합의 유한한 서포트 수를

나타낸다.

8단계 : 반복횟수 k가 n2보다 작을때 2단계로 가고 아니면 끝낸다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 제안한 퍼지 시스템 식별을 통한 자기 동조 제어기 이론을 다음 식(19)과 같은 DC 서어보 모터 모델에 적용하였다. 서어보 모터 모델의 전달함수 및 이산적인 시스템의 차분 방정식은 다음과 같다.

$$G(s) = 1 / s(s+4) \quad (19)$$

$$y_k = 1.21 y_{k-1} - 0.368 y_{k-2} + 0.158 x_{k-1} \quad (20)$$

퍼지 시스템 식별을 위한 입력과 출력의 퍼지 집합을 다음 그림 1 과 같이 나타낼 수 있다.

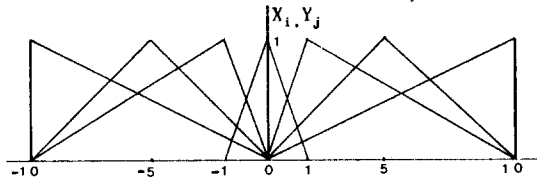


그림1 입력과 출력의 퍼지 집합

Fig 1 Fuzzy sets of input and output

초기 연관행렬의 의존성 검사를 위해 2개의 서로 다른 임의의 연관행렬로써 시뮬레이션을 하였다.

$$R_{01} = \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.2 & 0.9 & 0.7 \\ 1.0 & 0.7 & 0.7 & 0.5 & 0.8 & 0.3 & 0.9 \\ 0.6 & 0.3 & 0.9 & 0.6 & 0.7 & 0.2 & 0.8 \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.2 & 0.5 & 1.0 & 1.0 & 0.3 & 1.0 \\ 0.2 & 1.0 & 0.9 & 1.0 & 0.8 & 1.0 & 0.7 \\ 1.0 & 0.1 & 1.0 & 0.5 & 1.0 & 0.7 & 0.3 \\ 0.8 & 0.1 & 0.4 & 1.0 & 0.2 & 1.0 & 0.9 \\ 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 0.4 & 0.2 & 0.5 & 0.8 & 0.1 & 0.7 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.8 \end{bmatrix}$$

시스템의 입력과 출력의 특성을 나타내는 수렴되어진 연관행렬 R1은 다음과 같다.

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.6245 & 0.8189 & 0.4094 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5825 & 0.9135 & 0.4378 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5615 & 0.9892 & 0.4567 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5510 & 0.9918 & 0.5040 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4984 & 0.9729 & 0.5135 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4774 & 0.8972 & 0.5324 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.4564 & 0.8215 & 0.5608 \end{bmatrix}$$

이때 입력과 출력의 스케일링 요소 GU=4.5, GV=7.5로 하고 궤환 제어 증감량의 스텝크기 ζ는 0.02, R01을 임의의 초기 연관행렬, 추적해야할 목표치를 24로 하였을 경우 퍼지 시스템 식별을 통한 출력의 궤적, 제어입력, 궤환되는 제어입력의 증감량에 대한 궤적은 각각 그림 2, 3, 4와 같다.

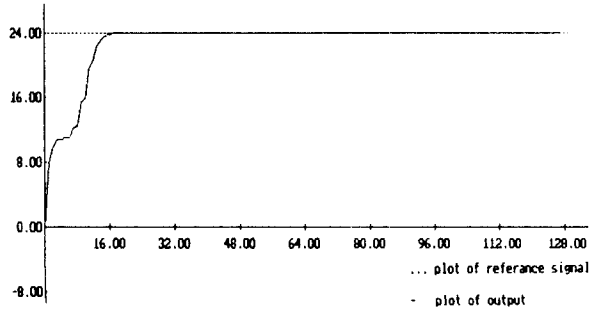


그림2 출력의 궤적(R01)

Fig 2 Trajectory of output

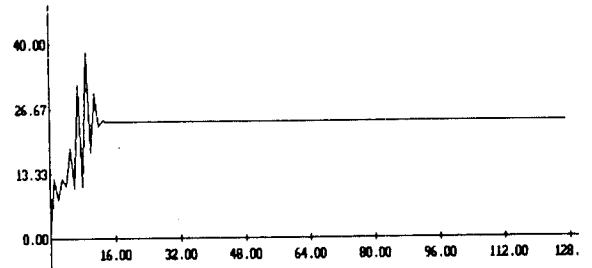


그림3 제어입력의 궤적

Fig 3 Trajectory of control input

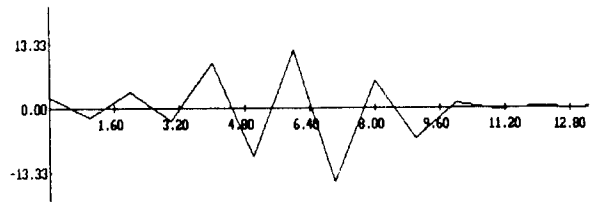


그림4 보상되는 제어입력의 궤적

Fig 4 Trajectory of the compensated control input

또한 R_{02} 를 임의 초기 연관행렬로 설정했을 때 출력의 궤적 및 제어입력의 궤적은 각각 그림 5, 6과 같으며 수렴되어진 연관행렬은 R_1 과 같다.

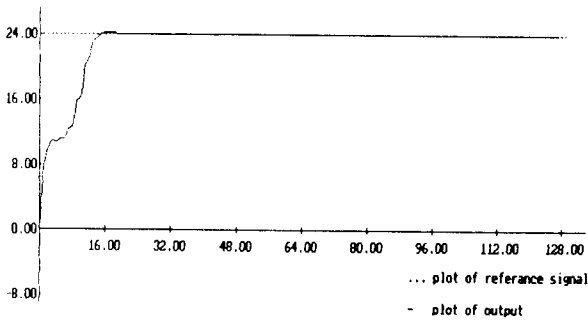


그림5 출력의 궤적(R_{02})

Fig 5 Trajectory of output

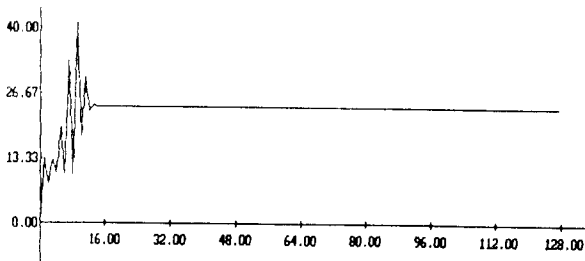


그림6 제어입력의 궤적

Fig 6 Trajectory of control input

컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안한 퍼지 시스템 식별을 통한 퍼지 제어기는 서로다른 임의의 연관행렬을 초기치로 설정 하였을 경우에도 반복횟수를 거듭함에 따라 수렴되어진 연관 행렬이 같은 결과를 나타냄으로 초기 연관행렬에 의존성이 거의 없으면서 요구하는 목표치를 추적함을 알 수 있으며 또한 오버슈트가 거의 존재하지 않고 목표치 24에 16번의 반복횟수 만에 수렴됨을 알 수 있다.

5. 결 론

특정한 제어규칙에 의해서 산출된 제어입력으로 요구하는 목표치를 추적하는 퍼지 시스템 제어는 조작자의 휴리스틱스(heuristics)에 의존하고 있다. 일반적으로 경험이 많은 전문가의 시스템에 대한 사전정보로 제어규칙을 구성하지만 때로는 정보에 대한 신뢰성이 불확실하여 특정 시스템이 요구하는 성능을 만족시킬 수 없는 경우가 종종 있다.

본 연구에서는 전문가의 사전정보 대신 시스템에 대한 초기 연관행렬과 입력과 출력의 정보만으로 매 샘플링 순간마다 제어입력의 증감량을 계산하여 궤환시켜 주는 퍼지 시스템 식별을 통한 퍼지 제어를 제안하였다. 제안한 알고

리즘을 DC 서어보 모터 모델에 적용 시켜 본 결과 오버슈트가 거의 없으면서 목표치를 잘 추적하는것을 확인할 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] L.A.Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and desion process," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., vol.3 pp. 28-44, 1973
- [2] C.P.Pappis and E.H.Mamdani, "A fuzzy logic controller for a traffic junction," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., vol. 7, pp. 707-717, 1977
- [3] P.J.King and E.H.Mamdani, "The application of fuzzy control system to industrial processes," Automatica, vol. 13, pp. 235-242, 1977.
- [4] W.J.M.Kickert and H.R.Lemke, "Application of a fuzzy controller in a warm water plant," Automatica, vol. 12, pp. 301-308, 1976.
- [5] E.H.Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," IEEE Trans. on Comp., vol. 26, no. 12 pp. 1182-1191, 1977.
- [6] T.J.Procyk and E.H.Mamdani, "A linguistic self-organizing process controller," Automatica, vol. 15, pp. 15-30, 1979.
- [7] W.Pedrycz, "Identification in fuzzy systems," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., vol. 14, pp. 361-366, 1984.
- [8] W.X.Chen and Z.Yong, "Fuzzy model identification and self-learning for dynamic systems," IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., vol. 17, no. 4, pp. 683-689, 1987.
- [9] W. X. Chen, "Fuzzy system identification," IEE Proc., vol.136, pp.146-150, 1989.
- [10] Y.F.Li and C.C.Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems," IEEE Con. Syst. Mag., pp. 65-71, 1989.