

소속함수 수정 알고리즘과 ANFIS를 이용한 퍼지논리 제어기의 설계

Design of FLC using the Membership function modification algorithm and ANFIS

최완규*, 이성주**

*광주대학교 컴퓨터전자통신공학부

**조선대학교 컴퓨터공학부

WanKyoo Choi* · SungJoo Lee**

*Division of Computer, Electronic & Communication Engineering, Kwangju University.

**Division of Computer Engineering, Chosun University.

E-mail: wkchoi@kwangju.ac.kr

ABSTRACT

We, in this paper, design the Sugeno-model's fuzzy controller by using the membership function modification algorithm and ANFIS, which are clustering and learning the input-output data. The membership function modification algorithm constructs the more concrete fuzzy controller by clustering the input-output data from the fuzzy inference system. ANFIS construct the Sugeno-model's fuzzy controller by learning the input-output data from the above controller. We showed that the fuzzy controller designed by our method could have the stable learning and the enhanced performance.

Keywords : Fuzzy control, Membership function modification algorithm, ANFIS

I. 서론

퍼지 논리 제어기는 전문가나 운전자 등이 경험에 의해 얻은 지식을 제어규칙으로 사용할 수 있고, 불명확한 정보를 처리할 수 있다는 특징을 갖고 있어서 Mandami의 적용 이후로 복잡한 비선형 시스템이나 수학적 모델을 가지고 있지 않은 시스템들의 제어에 적용되어 오고 있다[1].

퍼지 제어에서 중심적인 역할을 하는 퍼지 제어 규칙은 숙련된 오퍼레이터의 제어행동을 관찰하거나 전문가의 경험이나 공학적 상식을 직접 언어적 형태로 표현하거나, 표준형태의 퍼지 규칙베이스를 이용하여 구축할 수 있다.

그러나 이렇게 구성된 퍼지제어 규칙은 경험 의존적이고 시간이 많이 걸리는 시행착오적인 과정에 의해서 얻어지며, 때때로 전문가나 오퍼레이터의 신뢰성 있는 제어 규칙을 얻기 힘든 경우가 있다[2].

제어기에 관한 전문가의 지식을 언어적 형태로 명확히 표현하기 어려운 경우, 실제 제어과정으로부터 주어진 입력과 출력의 데이터들과

전문가들로부터 얻어진 제어지식을 바탕으로 하여 자동적으로 퍼지 제어기를 구성하는 학습 능력을 갖는 퍼지제어 시스템을 설계할 수 있다[3]. 이 방법은 제어 대상을 가장 잘 제어하는 전문가나 운전자의 제어 규칙을 가능한 정확하게 퍼지제어기로 구현하는 것이다. 또한 퍼지 제어기 구현 시 초기화 과정으로 사용될 수 있다.

ANFIS(Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)[6]는 이러한 목적에 적합한 학습알고리즘이다. ANFIS는 입출력 데이터를 이용하여 역전파 알고리즘을 사용하여 퍼지추론시스템을 튜닝하는 알고리즘으로 퍼지 시스템에 학습기능을 부여한 것이다[4].

따라서 본 연구에서는 표준형태의 퍼지 규칙 베이스를 이용하여 구축된 Mamdani 퍼지 모델에서의 입출력 데이터를 ANFIS를 이용하여 학습시켜 적은 수의 규칙으로도 비선형 특성을 갖는 입출력 관계를 표현할 수 있는 Sugeno 퍼지 모델을 구축하고자 한다.

그러나 ANFIS를 통해서 Sugeno 모델의 퍼지

제어기를 구성하기 위해서는 모델링하고자 하는 제어기의 모든 필요한 대표적 특징을 모두 포함하는 충분히 많은 양의 데이터를 수집하여야 한다[5]. 본 연구에서는 훈련 데이터의 수집을 위해서 소속함수 수정 알고리즘을 이용한다. 소속 함수 수정 알고리즘은 퍼지추론시스템으로부터의 입력과 출력 데이터를 클러스터링하여 보다 더 정확한 퍼지 제어시스템 구축하여 학습에 더욱 적합한 데이터들을 산출할 수 있다.

II. ANFIS

ANFIS[6]는 퍼지 추론 기법을 데이터 모델링에 적용하여 소속함수 파라미터들을 자동으로 선택한다.

ANFIS는 입출력 데이터 집합이 주어지면, 역전과 알고리즘(back-propagation) 또는 최소제곱(least square estimation)과 역전과 알고리즘의 조합을 사용하여 소속함수 파라미터들을 조정하는 퍼지 추론 시스템을 구축한다[5].

소속함수와 관련된 파라미터들은 학습 과정을 통해 변화한다. 파라미터들의 계산은 gradient vector에 의해 수행된다. gradient vector는 퍼지추론시스템이 주어진 파라미터 집합을 위한 입출력을 얼마나 잘 모델링하고 있는가의 측도를 제공한다. gradient vector가 획득되면, 오류척도를 줄일 수 있도록 파라미터를 조정하기 위해서 최적화 루틴들이 적용된다.

III. 퍼지제어 시스템의 설계

퍼지제어기의 성능은 여러 가지 요인으로 결정되어지며, 퍼지 제어 성능에 가장 영향을 미치는 것 중 하나인 소속함수의 형태와 구간의 수정을 통해 성능을 향상시킬 수 있다. 특히 삼각형 소속함수는 계산이 단순하고 위치와 폭으로 파라미터화 할 수 있다는 장점이 있지만, 각각의 언어 라벨에 똑같은 크기와 형태의 소속함수를 사용하므로 일정한 성능밖에 기대할 수 없다[7]. 이런 경우 제어 과정으로부터의 입력과 출력 데이터를 클러스터링하여 보다 더 정확한 퍼지 제어시스템을 설계할 수 있다[2, 3].

본 연구에서는 다음과 같은 단계들을 통해 더 적은 수의 규칙으로 더 정확한 퍼지 제어시스템을 설계한다.

1. 모델 구조를 가정
2. 소속함수 수정 알고리즘을 이용하여 일차적으로 튜닝된 퍼지 제어기로부터 입출력 데이터를 수집.

3. ANFIS를 통한 퍼지추론시스템의 훈련을 통해 Sugeno 모델의 퍼지제어시스템 구축

3.1 Sugeno 퍼지 모델

Mamdani 퍼지 모델의 퍼지 규칙은 조건부와 결론부 변수가 퍼지집합으로 표현되므로 전문가의 지식을 직접 언어 형태의 규칙으로 표현하기가 용이하지만, Sugeno 퍼지 모델의 퍼지 규칙은 결론부가 입력변수들의 함수형태로 표현되므로 실제 제어과정에서 얻은 수치형태로 주어진 입출력 데이터를 이용하여 함수의 파라미터를 최적화함으로써 퍼지규칙을 쉽게 도출할 수 있다[3].

따라서 시스템에 관한 정보가 수치 데이터 형태로 주어지면 학습을 통해 Mamdani 퍼지 모델보다 쉽게 시스템을 식별할 수 있다. 또한 입력공간을 퍼지 분할하여 각 퍼지 부공간에 대한 선형 입출력 관계를 할당함으로써 기존 선형 근사화 방식보다 적은 수의 규칙으로도 비선형 특성을 갖는 입출력 관계를 표현할 수 있다.

3.2 소속함수 수정 알고리즘

소속함수 수정 알고리즘은 표준형태의 퍼지 규칙베이스를 이용하여 구축된 Mamdani식 퍼지 모델로부터의 입출력 데이터를 클러스터링하여 소속함수의 형태와 구간을 수정함으로써 퍼지논리제어기의 성능을 향상시킨다.

그림 1은 소속함수 수정 알고리즘을 보여준다.

- [1] 제어에 대한 제어지식 획득.
- [2] 동일한 형태와 크기의 소속함수를 갖는 퍼지추론시스템 구축.
- [3] 제어를 위한 충분한 입력 데이터 집합 획득.
- [4] 입력에 관련된 출력데이터 집합 획득.
- [5] 입출력 데이터의 적합도 평가.
- [6] 적합도가 임계치를 만족하면 종료.
- [7] 그렇지 않으면 제어지식을 만족하지 않는 입출력 데이터를 입/출력 데이터 집합으로부터 제거.
- [8] 입/출력 데이터 집합을 K-Means 알고리즘을 이용하여 클러스터링하여 새로운 퍼지추론시스템을 구성하고 단계[4]로 분기.

그림 1. 소속함수 수정 알고리즘

적합도 척도(fitness measure)는 아래와 같이 정의한다.

$$fitness = \frac{|X_{incons}|}{|X_{all}|} \quad (식 1)$$

X_{all} : <입력, 출력>쌍의 데이터 집합

X_{incons} : 제어지식을 만족하지 않는 데이터 집합

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 물탱크 수위 제어 시스템과 2차 플랜트 전달 함수를 갖는 PD제어기를 대상으로 실험하였다.

4.1 물탱크 수위 제어

물탱크 수위 제어를 위한 제어 시스템(즉, 그림 2)은 현재의 수위를 알고 밸브를 설정할 수 있어야 한다. 따라서 제어기의 입력은 원하는 수위에서 실제 수위를 뺀 수위 오차(water level error)와 오차 변화량(change)이고, 출력은 밸브가 열리고 닫히는 비율이다.

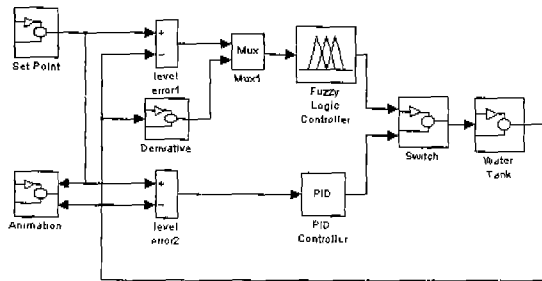


그림 2. 물탱크 수위제어 시스템[5]

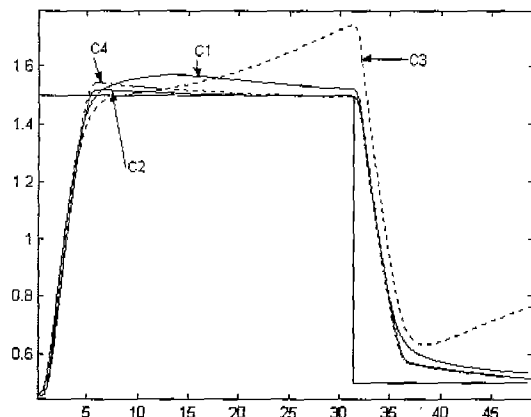


그림 3. 수위제어 결과

- C1: 표준 규칙베이스를 이용한 제어기
- C2: C1을 소속함수 수정알고리즘을 이용하여 수정
- C3: C1로부터의 입출력 데이터로부터 학습한 제어기
- C4: C2로부터의 입출력 데이터로부터 학습한 제어기

그림 3은 네 가지 제어기의 수위제어 결과를 보여준다. C2에 의한 출력은 C1에 의한 출력에 비해 overshoot가 감소되고, rise time도 감소하였다. 또한 C2와 C4는 제어 성능이 커다란 차이를 보이지 않는 반면, C1과 C3은 제어 성능에 커다란 차이를 보인다.

따라서 C2로부터의 입출력데이터를 통한 학습이 안정된 학습을 보임을 알 수 있다.

4.3 2차 플랜트 전달함수

이차 플랜트 전달 함수를 갖는 퍼지제어 시스템에서 입력 변수들은 오차와 오차의 변화량이다. 오차 $E(t)$ 는 기준 입력 $u(t)$ 와 출력 $y(t)$ 의 차로 정의되고, 오차의 변화량 $CE(t)$ 는 t 번째 오차 $E(t)$ 와 직전 오차 $E(t-1)$ 와의 차로 정의된다. 본 실험에서는 이차 플랜트를 사용하였으며 2차 플랜트의 전달 함수는 (식 2)와 같다.

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)} \quad (식 2)$$

표 1. 플랜트 제어를 위한 규칙 베이스

E-CE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NM	NM	MS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

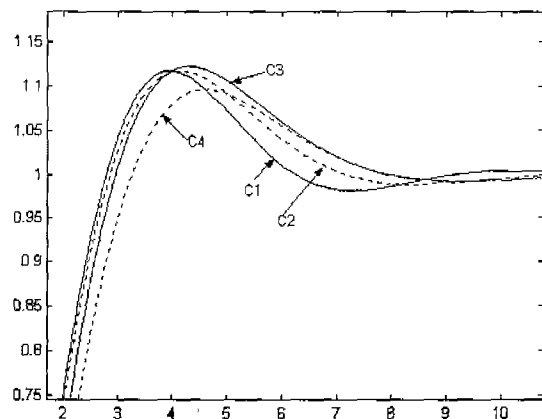


그림 4. 출력 그래프

- C1: 표준 규칙베이스를 이용한 제어기
- C2: C1로부터의 입출력 데이터로부터 학습한 제어기
- C3: C1을 소속함수 수정알고리즘을 이용하여 수정
- C4: C3으로부터의 입출력 데이터로부터 학습한 제어기

플래트 제어를 위한 규칙베이스는 표 1과 같다[7].

그림 4는 성능을 확인하기 위해서 샘플링시간을 0.01초로 하여 실험한 결과를 보여준다. 그림 4에서 오차 범위 2%내에서의 각 제어기의 정착시간(settling time)은 C1은 8.32초, C2는 9.15초, C3은 7.36초, C4는 7.37초이다.

즉, C3과 C4는 정착시간에 커다란 차이를 보이지 않는 반면, C1과 C2는 커다란 차이를 보인다. 따라서 C3으로부터의 입출력데이터를 통한 학습이 안정된 학습을 보임을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 소속함수 수정 알고리즘과 ANFIS를 이용하여 입출력데이터의 학습을 통한 Sugeno 모델의 제어기를 설계할 수 있음을 보여주었다. 소속함수 수정 알고리즘은 일차적으로 소속함수들을 수정하여 표준 규칙베이스에 근거하여 설계된 퍼지 제어기의 성능을 향상시키고, 이들로부터의 입출력 데이터를 ANFIS를 통해 학습하여 Sugeno 모델의 퍼지제어기를 구축하였다.

실험을 통해서 소속함수 수정 알고리즘을 이용하여 일차적으로 튜닝된 제어기에 근거하여 학습하는 것이 안정된 학습결과를 보여주며, 향상된 성능을 보여줄 수 있었다.

VI. 참고 문헌

- [1] 이광형, 오길록, *퍼지 이론 및 응용 II권: 응용*, 홍릉과학출판사, pp5-1~5-91, 1991.
- [2] 김용태 외, "학습/적응능력을 갖는 퍼지 제어 시스템들에 관한 고찰", *한국퍼지및지능시스템학회 논문지*, vol.5, no.3, pp.11-35, 1995.
- [3] 김문수, 공성근, "입출력 부공간에서의 클러스터링에 의한 퍼지제어 시스템 설계", *전자공학회 논문지-S*, vol.34-S, no.12, pp.30-40, 1997.
- [4] 김형섭, 정달호, 양이우, "공조시스템에서 ANFIS를 이용한 속도 추정기 개발에 관한 연구", *한국퍼지 및 지능시스템학회 '96 추계학술발표대회 논문집*, vol.6, no.2, pp.151-153, 1996.
- [5] MathWorks ed., *Fuzzy Logic toolbox Use's Guide*, The MathWorks, Inc., pp.2-78~2-83, 1999.
- [6] Jang, J.-S.R., "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy inference Systems", *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.23, No.3, pp.665-685, 1993.

- [7] 박희경, 공성근, "비균일 멤버십 함수를 이용한 분산 퍼지제어 성능 향상", *한국퍼지 및 지능시스템학회 '97 추계학술발표대회 논문집*, vol.7, no.2, pp.37-40, 1997.