

성능평가에 의한 퍼지제어시스템 동조

Fuzzy control system tuning by performance evaluation

정현, 정창규, 고낙용, 김영동, 최한수
조선대학교 제어계측공학과

Heon-Jeong, Chang-Gyu Jeong, Nack-Yong Ko, Young-Dong Kim, Han-Soo Choi
Dept. of Control & Instrumentation Eng., Cho-Sun University

Abstract

The most effective way to improve the performance of a fuzzy controller may be to optimize look-up values.

Look-up values are derived from processes used input-output scale factors, membership functions, rule base, fuzzy inference method and defuzzification. It is powerful way to modify or organize look-up table values.

In this paper, We propose the look-up values self-organizing fuzzy controller(LSOFC). We use the plus-minus tuning method(PMTM), scanning values through the processes of addition and subtraction.

We show the efficiency of this LSOFC by the results of simulation for nonlinear time-varying plant with unmodelled dynamics.

1. 서론

시스템에 대한 특성방정식을 유도하지 않고, 언어적인 값으로 표현된 규칙들을 이용하는 퍼지제어기는 비교적 단순한 제어과정과 간인성 때문에 많은 연구가 되어지고 있다.

이와 같은 퍼지제어기의 성능은 제어규칙, 소속함수, 추론방법, 비퍼지화, 입출력 이득요소의 구성과 선정에 관한 문제로 귀결되어지며, 각각의 요소들을 최적 상태로 설정하는데는 시행착오 및 수정과정이 따른다는 어려움이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 Look-up table 동조방법으로 제어값들을 순차적으로 가감하여 플랜트 특성에 적절한 값으로 개선하는 가감동조 방법을 제안하였으며, 이 값들의 동조는 제어규칙, 소속함수, 추론방법, 비퍼지화 과정에서 발생된 결점들을 보완, 개선하는 효과를 나타낸다. 또한 동조과정에서 플랜트의 응답을 분석하는 수단으로 성능 평가 방법을 사용하였다.

제안된 가감동조 방법에 대한 타당성을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

그림 1은 본 논문에서 사용되는 퍼지제어기의 블럭도이다. 기존의 PD형 퍼지제어기에 Look-up Table 값을 동조하기 위해 성능평가 및 가감동조 블럭을 상층부에 추가하였다.

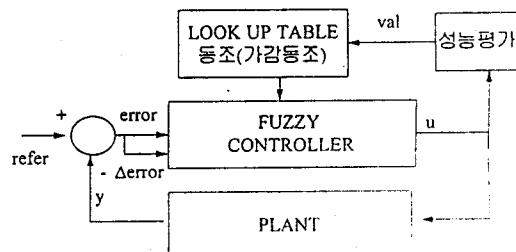


그림 1. Look-up table 동조 기능을 가진 퍼지제어기

refer	: 목표치
y	: 플랜트 출력
error	: 오차
Δerror	: 오차변화량
u	: 플랜트 입력값
val	: 성능평가 결과값

본 논문에서 사용한 퍼지제어기의 입력변수는 오차와 오차변화량이고, 출력 변수는 플랜트 입력값이다.

입력된 오차와 오차변화량은 매 샘플링 시간마다 퍼지제어기의 출력값을 산출하여 플랜트에 제어값으로 입력된다.

또한, off-line 상태에서 퍼지화, 멤버쉽함수, 규칙기반, 퍼지추론, 비퍼지화 과정에 의해 생성된 결과값을 미리 Look-up Table로 작성하였다.

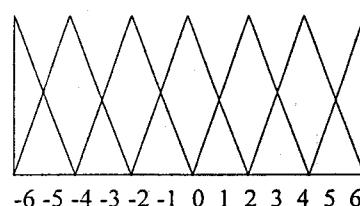


그림 2. 삼각형 소속함수

삼각형태의 소속함수와 MacVicar-Whelan에 의해 제시된 규칙기반과 Max-Min 추론방법 그리고 무게중심법을 사용하였다.

표 1 규칙 기반

Δe	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

표 2 Look-up Table

△ERROR							
-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1
-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3
-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3
-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2
E	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2
R	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2
R	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1
O	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1
R	1	-3	-2	-2	-1	-1	0
2	-2	-2	-1	-1	0	1	1
3	-2	-1	-1	0	1	1	2
4	-1	0	1	1	2	2	3
5	-1	0	1	1	2	2	3
6	0	1	1	2	2	3	3

3. 성능 평가 및 가감동조

3.1 성능평가

제어기에 학습 능력을 부여하기 위해서는 성능 평가 방법이 선형 되어야한다. 식1과 같은 오차의 분산 값을 이용한 제곱시간오차적분방법을 이용해 일정시간의 가격함수에 의한 개선된 퍼지제어기를 설계할 수 있다.

$$J(k) = \sum_{t=0}^k (t * error(t))^2 \quad (1)$$

3.2 가감동조 방법

look-up table 값을 동조하는 방법은 일반적인 파라메터들을 설정해서 계산되어지는 퍼지 제어과정에서 최적화 되지 못했거나 부적절하게 설정되었던 것들을 종합적으로 검토 수정하는 방법이라 할 수 있다. 그러므로 look-up table 동조방법은 다른 파라메타 동조방법에 비해 더 효과적임을 알 수 있다.

look-up table값의 동조 방법으로 본 논문에서는 가감동조 방법을 제안하였으며, 이는 증가동조 방법과 감소동조방법으로 나뉘어진다.

1) 증가동조 방법

증가동조 방법은 순차적으로 제어값 즉, look-up table의

값을 1씩 증가시켜 plant의 특성을 파악한 후, 적절한 값을 얻어내는 방법이며, 이는 시스템 출력이 목표치에 미치지 못하는 경우 출력을 증가시켜 목표치에 접근시키기 위함이다.

대부분의 plant는 1을 증가시켜 좋은 특성을 갖지 못하면 2를 증가시켰을 때에도 좋은 특성을 갖지 못한다는 현상이 발견되었고, 이 때문에 1을 증가시킨 후 좋은 특성의 성능 평가가 이루어지지 않으면 증가전의 값으로 환원시키고 다음의 look-up table 값을 동조하도록 하였다.

이 증가동조 과정에서는 사용자 또는 plant의 특성에 적합하도록 하기 위해 최대 증가 제한값을 설정하였다. 여기서는 look-up table의 동조 값은 6을 초과할 수 없도록 설정하였다.

2) 감소동조 방법

감소동조방법은 순차적으로 look-up table 값을 1씩 감소시켜 적절한 값을 얻어내는 방법을 사용하였는데, 이는 출력이 목표치를 초과하는 경우 출력을 감소시키는 의미를 갖는다. 이 방법 또한 증가동조 방법에서와 마찬가지로 1을 감소시킨 후 좋은 특성의 성능 평가가 이루어지지 않으면 감소 이전의 값으로 환원시키고 다음의 과정을 수행하도록 설계하였다. 감소 동조에서는 최소 감소 제한값을 -6으로 설정하였다.

4. 모의실험 및 고찰

4.1 모의실험

본 모의실험에서는 일반적인 퍼지제어방법과 제안한 look-up table 값 동조방법을 사용한 퍼지제어기의 성능을 비교 분석하였다. 모의 실험은 다음과 같은 1차계와 2차계를 대상으로 하였다.

$$G(s) = \frac{3.3}{(s+0.9)} \quad (2)$$

$$G(s) = \frac{1}{(s-0.3)(s-3.3)} \quad (3)$$

그림 3은 1차계 시스템에 대하여 일반 퍼지제어기의 한 look-up table을 사용한 경우와 제안한 방법을 사용하였을 경우의 플랜트 응답특성을 나타낸 것이다. 일반 퍼지제어기의 한 look-up table을 사용한 경우 결정과정에서 오류 즉, 정

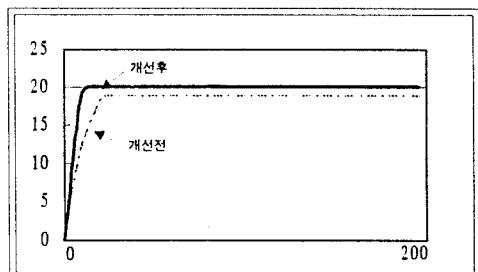


그림 3 1차계 시스템에 대한 응답

정오차가 발생되지만, 제안한 look-up table의 가감동조방법을 사용하여 플랜트의 응답특성을 고찰한 경우에는 정정시간의 단축 및 정정오차를 없애는 효과를 얻을수 있음을 알 수 있다.

표 3은 표 2의 초기 look-up table을 가감 동조시킨 결과로서 구성된 새로운 look-up table이다. 이 표로부터 몇몇의 값이 바뀌었음을 확인할 수 있다.

표 3 Plant 1 Look-up table 동조 결과표

		△ERROR												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
E	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3
	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	2	1	2	2	3	3	4
	2	-2	-2	-1	-1	0	1	6	2	2	3	3	4	4
	3	-2	-1	-1	0	1	1	6	2	3	3	4	4	5
R	4	-1	-1	0	1	1	6	2	3	3	4	4	5	5
	5	-1	0	1	1	2	2	6	3	4	4	5	5	6
	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

그림 4는 2차계 시스템에 대하여 동일한 방법으로 모의 실험을 수행한 결과이다. 1차계에서와 마찬가지로 제안한 동조방법에 의한 응답특성이 개선전 보다 향상되었음을 볼 수 있다. 표 4는 2차계시스템에 대한 look-up table의 가감동조를 수행한 결과이다.

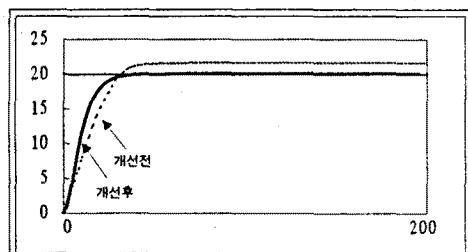


그림 4 2차계 시스템에 대한 응답

표 4 Plant 2 Look-up table 동조 결과표

		△ERROR												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
E	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	-1	0	1	2
	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3
	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	1	2	2	3	3	4
	2	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
R	4	-1	-1	0	1	1	4	2	3	3	4	4	5	5
	5	-1	0	1	1	2	6	3	3	4	4	5	5	6
	6	0	1	1	2	2	3	6	4	4	5	5	6	6

4.2 고찰

모의 실험에서 확인된 바와 같이 일반적인 look-up table을 시스템의 종류에 관계없이 일률적으로 사용하였을 경우보다 시스템의 특성에 맞는 look-up table을 제안한 가감 동조방법으로 얻어낸 후, 이 최적상태의 look-up table을 사용하여 시스템에 적용한 경우의 응답이 개선되어 나타남을 볼 수 있었다.

표 3과 표 4의 결과로부터 볼 수 있듯이 가감동조방법을 이용하게 되면 각 시스템에 따라 최적의 look-up table은 다른 형태를 가진다. 이 변화된 값들은 다른 파라메타 동조에서는 얻을 수 없는 독특한 결과로서 이는 플랜트의 특성을 최대한 고려한 최적 상태의 look-up table로 작용할 수 있다.는 사실이 확인되었다.

5. 결론

본 논문에서는 일반적인 퍼지제어기를 통하여 얻어진 결과보다 더 좋은 응답특성을 보이는 look-up table을 얻기 위해 가감동조방법을 제안하여 이를 적용한 퍼지제어기를 설계하였다. 그 결과 look-up table 동조방법은 규칙기반, 멤버쉽 함수, 비퍼지화 방법, 추론 방법 등에서 발생된 문제 즉, 오비슈트 및 정정오차 발생, 정정시간 지연 등의 문제점을 효과적으로 극복할 수 있었다. 특히 기존의 자기동조 퍼지제어기에서는 볼 수 없었던 시스템의 변화에 따른 최적의 다양한 look-up table이 만들어 질 수 있음을 확인하였다.

그러나 시스템의 변동에 따른 신속하고 유연성 있는 look-up table의 동조는 기대할 수 없다는 사실이 확인되었으며, 이는 결국 가감동조에 의한 최적 look-up table의 생성을 위해서는 일정수준의 학습기능이 필연적으로 수반되어져야 함을 알 수 있었다.

향후 본 연구는 look-up table의 가감동조 방법에 학습기능을 면에서 우수한 성능을 보이는 Neuro-Fuzzy 개념을 첨가함으로써 제안한 방법의 개선을 도모하는 방향으로 연구가 진행되어질 것이다.

참고문헌

- Dasaradh millampati and Sujeet shenoi, "Self-Organizing Fuzzy Controller," Elsevier Science Publishing Co., 1991
- Wu zhi Qiao, Wang Pie Zhunag and the Hoon Heng, "A Rule Self-Regulating Fuzzy Controller," Fuzzy Sets and System, Vol. 47, pp. 13-21, 1992
- 최한수, "입출력 이득요소에 의한 퍼지제어 시스템의 자기동조 방법," 전북대학교 박사학위 논문집, 1994