

퍼지제어기를 위한 입력력이득요소 설계

정창규, 이감연, 정 현, 김영동, 고낙용, 최한수
 조선대학교 제어계측공학과

I/O Scaling Factors Design for Fuzzy Controller

C. G. Jung, G. Y. Lee, H. Jeong, Y. D. Kim, N. Y. Go, H. S. CHOI
 Dept. of Control & Instrumentation Eng. Chosun Univ.

ABSTRACT

The design of I/O scaling factors for fuzzy controller system is proposed in this paper. The proposed method is for nonlinear input scaling factor and variable output scaling factor. The fuzzy controller is evaluated by computer simulation on the 1st order process and 2nd order process.

Simulation results showed robust characteristics for variable reference signal.

1. 서 론

퍼지제어기의 성능에 영향을 미치는 인자는 언어적 형태의 제어규칙, 멤버십함수를 결정하는 방법 및 입력력이득요소 산출 방법 등이 있다. 특히, 플랜트의 출력에 직접적인 영향을 미치는 입력력이득요소 선정에는 세심한 주의가 필요하다.

본 연구에서는 퍼지제어기의 입력으로 들어오는 명확한 값을 정의된 전체집합내의 퍼지숫자로 변환시켜 주는 입력이득요소를 비선형으로 사상하였으며, 출력이득요소는 시스템의 제어환경의 변화나 비선형성에 잘 적응하기 위해 시스템의 출력 변화에 따라 가변할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제안된 퍼지제어기의 성능을 입증하기 위해 1차계와 2차계 시스템에 대한 모의실험을 하였다.

2. 퍼지제어기의 구성

그림 1은 퍼지제어기의 입력이득요소와 출력이득요소 설계를 위한 기본 블록도이다.

설계된 제어기의 동작순서를 단계별로 구성하면 다음과 같다.

- (1) 플랜트 출력 $y[k]$ 와 목표치 S.P에 대한 오차 $e[k]$ 와 오차 변화량 $de[k]$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$e[k] = S.P - y[k], \quad de[k] = e[k] - e[k-1]$$

- (2) 오차와 오차의 변화량을 -6과 6사이의 전체집합내의 범위로 정규화 및 양자화 하기 위해 입력이득요소 k_1 과 k_2 를 사용한다.

$$E[k] = k_1 \times e[k], \quad DE[k] = k_2 \times de[k]$$

- (3) 오차의 양자화 값과 오차변화량의 양자화 값을 이용하여 제어값표에서 제어신호 $DU[k]$ 를 얻는다. 표 1은 본 연구에서 사용된 제어값표이다.

- (4) 제어신호 $DU[k]$ 에 가변출력이득요소 K_3 을 곱해 새로운 제어신호 $du[k]$ 를 구한다.

$$du[k] = DU[k] \times k_3$$

- (5) 플랜트 구동에 필요한 조작량 $u[k]$ 는 다음과 같다.

$$u[k] = u[k-1] + du[k]$$

- (6) 플랜트의 출력이 허용오차 e^* 이내로 도달할 때까지 단계(1)에서 단계(5)까지 반복한다.

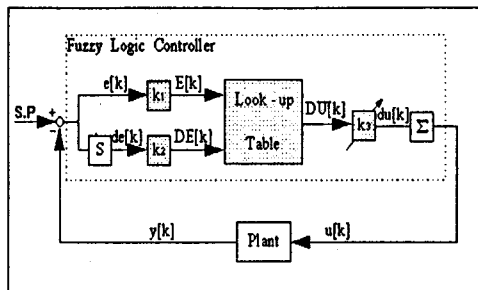


그림 1. 퍼지제어기의 블록선도

표 1. 추론한 제어값표

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

3. 퍼지제어기를 위한 입출력이득요소 설계

설계된 퍼지제어기의 입력이득요소는 오차와 오차 변화량 각각에 대하여 세계급근 사상 방법을 사용하였으며, 출력이득요소는 플랜트 출력과 오차 사이의 관계를 이용하여 구했다.

3.1 비선형입력이득요소 산출방법

본 논문에서 제안한 세계급근 사상 방법은 양자화 범위의 '0' 구간을 줄이고, 전체집합의 최대값 또는 최소값 쪽으로 갈수록 구역의 범위를 넓혀서, 빠른 상승시간과 적은 정상상태 편차를 발생하도록 하였다.

세계급근 사상 방법을 단계적으로 구분하면 다음과 같다.

- (1) 정규화 구간은 -6에서 6까지의 13개 구간으로 설정하였다.
- (2) 사상 상수 c_1 은 목표치를 임의의 값으로 나누어 구한다. 본 논문에서는 전체집합중의 최대값 6의 세계급근 값으로 목표치를 나누어 사용하였다.

$$c_1 = S.P \div 216$$

- (3) 입력이득요소 k_1, k_2 산출 방법은 다음과 같다.

$$k_1[k] = \sqrt[3]{(e[k] \div c_1)}$$

$$k_2[k] = \sqrt[3]{(de[k] \div c_1)}$$

- (4) 입력이득요소 k_1, k_2 에 오차 및 오차 변화량을 곱하여 정의된 전체집합으로 양자화 한다.

$$E[k] = e[k] \times k_1$$

$$DE[k] = de[k] \times k_2$$

3.2 가변출력이득요소 산출방법

본 논문에서는 출력이득요소 동조방법으로 편차가증기법을 사용하였으며, 제안한 편차가증기법은 오차값에 양자화된 오차값을 곱하여 k_3 값이 플랜트의 출력 전 범위에서 연속적으로 변화하도록 하였다. 가변출력이득요소 k_3 의 도출 방법은 다음과 같다.

- (1) 만약 양자화된 오차의 절대값 $|E[k]|$ 가 '0' 보다 크면 k_3 은 다음과 같이 구한다.

$$k_3 = (|E[k]| \times e[k]) \div \alpha, |E[k]| > 0$$

- (2) 양자화된 오차의 절대값 $|E[k]|$ 가 '0' 과 같으면 다음과 같이 구한다.

$$k_3 = (e[k]) \div \alpha, |E[k]| = 0$$

$e[k]$ 는 플랜트의 전 범위에 걸쳐서 연속적인 값을 발생시키며, $E[k]$ 는 플랜트의 출력 변화 상태에 따라 -6에서 6까지 변화되어 $e[k]$ 값에 가중치를 준다. α 는 최적의 k_3 값을 도출하기 위한 상수로서 ($|E[k]| \times e[k]$)에 의하여 발생하는 값들을 플랜트의 입력에 적합한 크기로 변환해주는 동조상수이다.

4. 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 입출력이득요소 동조방법을 사용한 퍼지제어기의 성능평가를 위하여 식(4.1), 식(4.2)와 같은 1차계 및 2차계의 공정모델을 사용하였다.

$$G(s) = \frac{3.3}{(S+0.9)} \tag{4.1}$$

$$G(s) = \frac{1}{(S+0.3)(S+3.3)} \tag{4.2}$$

1차계 공정모델의 경우 목표치 100에 대해 고정된 입력이득요소값은 0.06이며 출력이득요소 K_3 은 0.85이다. 1차계 공정모델에 대한 고정된 입출력이득요소의 응답은 그림 2의 1과 같다. 그림 2의 1에서 볼 수 있는 것처럼 목표치가 0에서 100으로 변화한 경우에는 출력이 정상상태 편차를 발생시키지 않으면서 안정되게 목표치에 수렴하였으나, 목표치가 변경되는 경우에는 예상하지 못한 정정오차가 발생되었다.

따라서, k_3 의 값은 목표치의 변화에 따라 알맞은 값으로 동조되어야만 한다.

그림 2의 2는 본 논문에서 제안한 편차가증기법을 적용하여 모의 실험한 응답특성으로 목표값이 변화하여도 허용오차 이내로 안정되게 수렴하는 것을 볼 수 있다.

2차계의 응답도 그림 3과 같이 제안된 편차가증기법을 사용한 경우 정정시간, 상승시간 및 정상상태 편차가 개선되어 있음을 알 수 있다.

표 2. k_3 에 대한 응답특성(1차계)

목표값	k_3 고정		k_3 동조	
	정상상태 편차	정정 시간	정상상태 편차	정정 시간
100	0.74	15	0.0019	6
100 → 50	2.74	·	0.0009	112
50 → 100	3.98	·	0.0093	248

표 3. k_3 에 대한 응답특성(2차계)

목표값	k_3 고정		k_3 동조	
	정상상태 편차	정정 시간	정상상태 편차	정정 시간
100	0.02	69	0.0001	28
100 → 50	0.16	·	0.0000	110
50 → 100	4.83	·	0.005	242

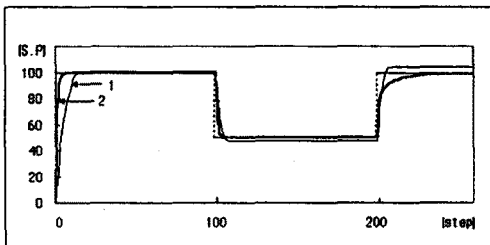


그림 2. 1차계 응답특성

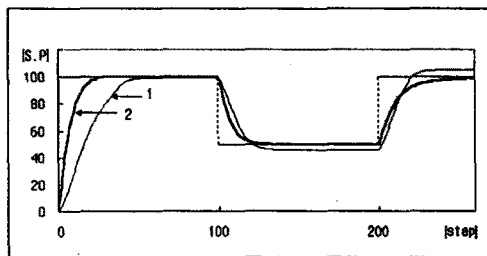


그림 3. 2차계 응답특성

5. 결 론

본 연구에서는 오차와 오차 변화량의 양자화 범위를 조절하는 방법으로 입력이득요소를 오차와 오차 변화량 각각의 세제곱근에 비례하도록 사상하였으며, 출력이득요소는 목표치의 변화 값에 따라 적절히 변화하면서 오차의 양자화 값에 의하여 가중을 받는 편차가증기법을 제시하였다.

모의실험 결과 고정된 출력이득요소는 목표치가 100인 첫 구간에서는 목표치 수렴하였으나 정정시간과 상승시간이 길었고 목표치가 100에서 50으로, 50에서 100으로 변환 경우에는 정상상태 편차의 발생으로 인하여 목표치에 수렴하지 못하였다.

편차가증기법을 사용한 출력이득요소는 1차계와 2차계 모두 정정 시간은 60%이상 개선되었으며 정상상태 편차는 0.01% 이하로 수렴하였다. 고정된 출력이득요소를 사용한 퍼지제어기에서 발생되었던 문제점을 해결하므로써 강인한 응답특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

6. 참고문헌

1. 최한수 "입출력 이득요소 의한 퍼지제어 시스템의 자기동조방법" 공학박사학위 논문, 전북대학교, 1994
2. H.B. Gürocak and A. de Sam Lazaro, A fine tuning method for fuzzy logic rule bases, Fuzzy Sets and Systems 67 (1994) 147-161
3. S. Joe Qin and Guy Borders, A Multiregion Fuzzy Logic Controller for Nonlinear Process Control, IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS VOL. 2, NO.1 (1994)
4. Chih-Hsun Chou and Hung-Ching Lu, A heuristic self-tuning fuzzy controller, Fuzzy Sets and Systems 61 (1994) 249-264
5. M. Maeda and S. Murakami, A self-tuning fuzzy controller, Fuzzy Set and Systems 51 (1992) 29-40