퍼지제어기의 자기등조 방법에 관한 연구

°최 한수*, 김 성중**,
*조선대학교 제어계측공학과 **전북대학교 제어계측공학과

Self-Tuning Method for Fuzzy Controller

°Han-Soo Choi*, Sung-Joong Kim**
*Dept. Control & Instrumentation Eng. Chosun Univ.
**Dept. Control & Instrumentation Eng. Chonbuk National Univ.

ABSTRACT

This paper deals with a self-tuning fuzzy controller. The fuzzy controller is constructed with linguistic rules which consist of the fuzzy variables and fuzzy sets. Each of fuzzy sets is characterized by a membership function. The tuning fuzzy controller has paramemters to effect control output. In this paper we propose tuning method for the scaling factor. Computer simulations carried out on a second-order process will show how the present tuning approach improves the transient and steady-state characteristics of the overall system.

1. 서 론

퍼지제어는 퍼지논리에 기반을 두고 있으며 퍼지논리는 인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 갖고 있어서 실세계의 근사적이고 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용 될 수 있다. 퍼지제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어 형식의 제어규칙이며, 퍼지합성규칙에 의해 제어 입력이 생성된다. 결국 퍼지제어기는 전문가의 제어지식을 언어적 형태로 기술한 제어규칙을 제어기가 동작하도록 역할을 바꾸어 주는 기능을 수행하는 것이다. 또 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 부정확하고 불확실한 경우에 기존의 제어기를 보다 우수한 결과를 나타내고 있다.

퍼지제어기를 동조시키는데 중요한 영향을 미치는 요소들은 언어형태로 구성된 제어규칙, 제어기의 입력단과 출력단에서 실제의 제어값과 양자화레벨간에 환산계수로 작용하는 이득요소(scaling factor) 그리고 멤버쉽함수를 결정하는 방법 등을 들 수 있다. 이러한 요소들 중 본 논문에서는 퍼지제어시스템을 동조시키기 위한 방법으로 sacling factor를 산출하는 방법을 제안한다. scaling factor는 시스템에서의 오차, 오차의 변화량 그리고 제어입력신호등과 퍼지제어기의 양자화레벨 간에 환산계수로 작용하여 서로를 맵핑 시켜주는 이득요소이다. 퍼지제어기의 입,출력단에서 작용하는 scaling factor들은 제어시스템출력에 직접적인 영향을 미치기 때문에 이들의 선정은 매우 신중을 기해야 한다. 그러나 체계적인 방법이 제시되어 있지않아 시행착오에 의존하여 왔으며, 최근 이 문제를 해결하기 위한 시도가 활발하다. [1-5]

2. 퍼지제어기의 구성

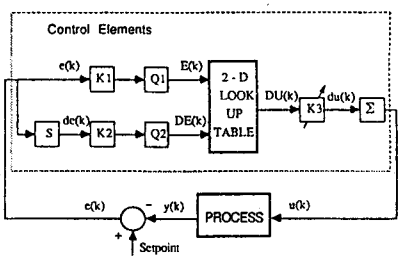


그림 1. 퍼지제어 시스템의 블럭선도

2.1 규칙 기반(rule base)

퍼지제어기의 특징중의 하나는 if-then규칙들이 기존의 제어전략과 전문가의 지식을 기반으로 하여 서술한다는 점이다. 더우기 시스템은 많은 파라메타들을 가지고 있고 그것의 제어는 제어시스템의 동조에 의존한다. 대부분의 경우 이 파라메타들은 시행착오를 통하여 동조되어진다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제어응답을 평가함으로써 시스템의 파라메타를 동조시키는 자기동조방법을 제안한다.

본 논문에서는 MacVicar-whelan의 규칙기반[6]을 근거로하여 퍼지제어규칙들을 설계하였으며 표.1과 같다.

2.2 멤버쉽 함수의 정의

멤버쉽 함수는 제어규칙및 퍼지데이터의 처리에 이용되며 설계자의 경험과 지식에 의하여 주관적으로 정의 된다. 입,출력변수 e(k), de(k), du(k)에 대한 언어변수(linguistic variable)는 표.2와 같이 7개의 용어집합으로 정의 하였다. 멤버쉽함수를 이산적으로 정의하기 위해 제어기의 입,출력변수에 대한 전체집합(Universe of discourse)을 13개의 레벨로 양자화 하였다.

표 1. 규칙 기반

Error(E) \ Change in Error(DE)	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PM
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

PB : Positive Big　　NS : Negative Small

PM : Positive Medium　　NM : Negative Medium

PS : Positive Small　　NB : Negative Big

ZO : Zero

표.2. 이산적 표현의 멤버쉽 함수

Linguistic Variables	Quantization Levels												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NB	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NM	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NS	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
PS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0
PM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3
PB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0

2.3 비퍼지화(defuzzification)

오차 e(k)와 오차의 변화량 de(k)는 scaling mapping을 통해서 E(k)와 DE(k)로 환산되는데 이 값들은 -6~6사이의 양자화레벨 값이 된다. 그리고 비퍼지화를 위해 무게중심법을 이용하여 DU(k)를 산출한 후 DU(k)에 scaling factor를 곱하여 실제 제어값에 맞는 제어기의 출력을 구한다.
무게중심법에 관한 식은 다음과 같다.

$$DU = \frac{\sum_{i=1}^{n}\mu(w_i)\cdot w_i}{\sum_{i=1}^{n}\mu(w_i)} \qquad (1)$$

3. 입,출력 이득 동조방법

본 논문에서 제안한 scaling factor의 산출은 입력단의 이득요소 k_1, k_2와 출력단의 이득요소 k_3로 구분하여 정리하였으며 보다 정확한 맵핑을 위해 입력 이득요소를 k_{11}, k_{12}와 k_{21}, k_{22}로 세분하였다. k_1, k_2는 선형맵핑 방법으로 구한 후 그 값을 고정하며, k_3는 scaling factor가 시스템 출력에 미치는 영향을 고려하여 식을 유도하였는데 임의로 초기치를 주고 그때의 출력을 조사하여 안정된 출력이 될 때까지 반복하여 구함으로써 퍼지제어시스템을 동조할 수 있다.

3.1 입력 scaling factor

입력이득요소는 단계별로 구분하여 K_1, k_2를 구할수 있도록 순차적으로 정리 하였다.

[단계 1] e_{max}, de_{max} 파악
e의 quantization level(EQL)정의
de의 quantization level (DEQL)정의
e(k) = r - y(k)
de(k) = e(k) - e(k-1)

[단계 2] K_{11} = (EQL수+1)/2 * e_{max}
K_{21} = (DEQL수+1)/2 * de_{max}

[단계 3] $e_{max} * K_{11} * K_{12}$ = EQL_{max} value
$de_{max} * K_{21} * K_{22}$ = $DEQL_{max}$ value

[단계 4] $K_1 = K_{11} * K_{12}$
$K_2 = K_{21} * K_{22}$

[단계 5] $e * K_1$ = one of EQL value
$de * K_2$ = one of DEQL value

3.2 출력 scaling factor

규칙기반(rule base)에 추론과 일점화(defuzzification)과정을 거쳐 DU가 얻어지며 이것은 다음의 과정에 의해 새로운 제어 입력신호를 얻게된다.

$$DU(k) * K_3 = du(k)$$
$$u(k) = du(k) + u(k-1) \qquad (2)$$

제어입력신호 u(k)는 시스템출력 y(k)와 비례하며 오차신호 e(k)와 관련 되어진다. 출력 scaling factor K_3를 얻기 위해 초기치 k_{03}를 인가한 후 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$K_3 = K_{03} - \alpha[e^*(k) - e(k)] \qquad (3)$$

$e^*(k)$: 샘플링 시간 k에서의 목표오차값
α : 목표치 r에 따른 상수

4. 모의 실험

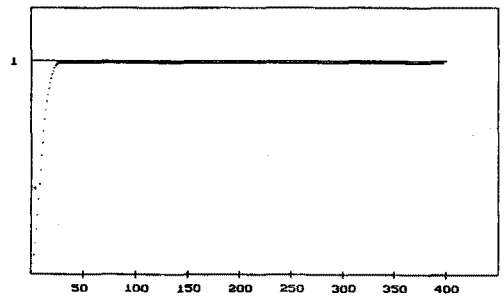
모의 실험에 적용한 공정모델은 다음과 같은 2차 시스템이다.

$$G(s) = \frac{1}{s(s+3.6)}$$

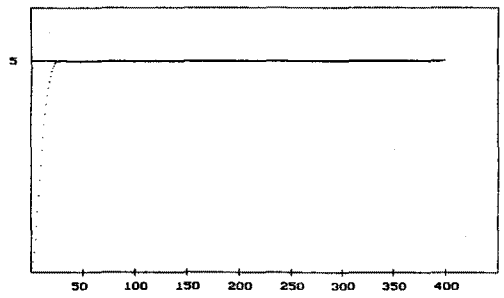
e_{max}과 de_{max}은 set point 값인 r로 하였다. Set point값에 따른 입,출력 scaling factor k_1, k_2, k_3를 각각 조사하여 표 3.에 작성하였고 이 결과를 그림 2에 도시하여 목표치에 잘 수렴함으로써 제안한 scaling factor의 산출방법의 타당성을 입증하였다.

표 3. 산출한 입,출력 이득 요소

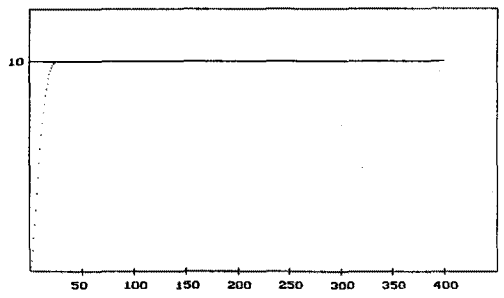
	r	k_1	k_2	k_3	k_{d3}	α	$e^*(k)$
A	1	6.0	6.0	0.015	0.015	0.00001	0.05
B	5	1.2	1.2	0.079	0.015	0.00001	0.05
C	10	0.6	0.6	0.161	0.015	0.00001	0.05



(A) k1=6.0, k2=6.0, k3=0.015



(B) k1=1.2, k2=1.2, k3=0.079



(C) k1=0.6, k2=0.6, k3=0.161

그림 2. 목표치에 따른 출력 응답

5. 결 론

모의 실험결과 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었으며 그동안 시행착오에 의존해야만 했던 scaling factor를 제안한 방법에 의해 구할 수 있었다. 이제 제어규칙을 세우는데 있어서 발생하는 문제점을 위해 제어 성능을 평가할 수 있는 기능을 첨가하여 보완한다면 완벽한 퍼지제어기가 될것으로 생각한다.

REFERENCES

[1] M.Yoshida, Y.Tsutsumi and T.Isida, Gain tuning method for design of fuzzy coltrol system, Proc. of the International Conference Fuzzy Logic.& Neural Networks(Iizuki, Japan, July 20-24, 1990)pp.405-408

[2] G.M.Abdelnour , C.H.Chang, F.H.Huang and J.Y.Cheung Design of a fuzzy controller using input and output mapping factors, IEEE Trans. on systems, man, and cybernetics, vol 21, No 5, sep/oct 1991.

[3] M.maeda and S.Murakami, A self-tuning fuzzy controller., Fuzzy sets and system 51(1992) 29-40

[4] S.I.Yamada, H.Fujikawa, et al, A tuning method for a fuzzy controller., Processings of international conference of fuzzy logic & Neural Networks(Iizuki, Japan, July 20-24, 1990)pp.397-400

[5] Z.Y.Zhao, M.Tomizuka and S.Sagara, A fuzzy tuner for fuzzy logic controllers., 1992 ACC/TP3

[6] K.L.Tang and R.J.Mulholland,comparing fuzzy logic with classical controller designs, IEEE trans. on system, man, and cyberneties, Vol. SMC-17, NO.6, Nov/Dec 1987