

# 一类Fuzzy控制模型的建立与应用

林德衡 陈洁如 林勋亮

(无线电电子学系)

## 摘 要

本文就一类消除控制对象输出误差的Fuzzy控制问题,提出用规格化的方法建立Fuzzy控制模型,这样的模型易于在微计算机上实现,更便于在控制系统中根据过程行为对控制器的不同要求,适时地选择不同规格的模型.用计算机模拟的方法,研究了不同规格Fuzzy控制模型的控制效果,并举例说明规格化Fuzzy控制模型的应用.

## 一、问题的提出

1965年美国L. A. Zadeh发表了Fuzzy集合理论<sup>[1]</sup>, 1974年E. H. Mamdani首先把Fuzzy集合理论应用于过程控制. 随后,以模型装置或实际装置为对象,或者用计算机模拟的方法,进行了大量的试验研究工作<sup>[2-4]</sup>. 就这一类Fuzzy控制器的设计方法而言,大多数是根据某一特定对象的控制要求,直接用设计者对过程的定性经验构造Fuzzy控制模型,通过试算、观察结果、适当修改控制规则这样一个迭代过程,获得最终的模型(控制表). 这种模型,不可能按照控制系统给定的指标来设计. 在Fuzzy变量隶属函数和论域量化等级的选择等方面,主要是依赖于人的定性经验,且受设计者主观随意性的影响. 另外,从模型的建立、试验、修改规则直至最后定型,常常需要花费相当长的时间,而且随着控制对象的变更,上述过程也需重复进行. 因此,对于Fuzzy控制器的设计方法,一直存在着各种各样的批评意见<sup>[3,5]</sup>,而且至今也没能得出确定的评价.

本文提出用比较简单而直观的方法,建立一组具有不同控制作用的规格化的Fuzzy控制模型. 用计算机模拟的方法研究了不同规格模型的控制效果,并举例说明了规格化Fuzzy控制模型的应用.

## 二、规格化Fuzzy控制模型

文[2]、[4]介绍的一类按消除控制对象输出误差的Fuzzy控制系统,系根据图1给出的控制规则构造Fuzzy控制模型. 文[4]在微计算机上实现Fuzzy算法,并按照取最

本文于1984年8月收到

误差的变化:EC

	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	NB				PM	0	
NM		PM	0	NS			
NS	PM		PS	0	NS		NM
NO							
PO	PS	0	NM				
PS							
PM	0	NM	NB				
PB							

图1 根据系统输出的误差和误差的变化来消除误差的模糊控制规则。

P—Positive; N—Negative;  
B—Big; M—Medium;  
S—Small.

大隶属度的决策方法计算并打印控制表(如表1所示)。从这一类Fuzzy控制器的建立步骤可知,Fuzzy变量论域量化等级的选择、从属函数的形式以及Fuzzy控制规则是影响控制器特性的三个主要因素<sup>[5]</sup>。但是,实际计算及应用研究的结果又清楚地表明:从属函数的形式丝毫不是本质的东西<sup>[6,6]</sup>。至于Fuzzy变量量化等级的选择,它直接关系到控制器的增益。作为Fuzzy系统中的一个参量,设定为某一离散化等级来加以研究,并不影响控制器设计方法的普遍意义。因此,对Fuzzy控制器起重要作用的还是Fuzzy控制规则。从这一基本认识出发,本文提出的用规格化方法建立Fuzzy控制模型的要点是:

1. 用以消除控制对象输出误差的Fuzzy控制规

表1 在DJS-130数字机上用BASIC语言计算出的模糊控制表

	EC	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
E														
	-6	7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
	-5	6	6	6	6	6	6	6	4	4	2	0	0	0
	-4	7	6	7	6	7	7	7	4	4	2	0	0	0
	-3	7	6	6	6	6	6	6	3	2	0	-1	-1	-1
	-2	4	4	4	5	4	4	4	1	0	0	-1	-1	-1
	-1	4	4	4	5	4	4	1	0	0	0	-3	-2	-1
	-0	4	4	4	5	4	4	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
	+0	4	4	4	5	4	4	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
	+1	2	2	2	2	0	0	-1	-4	-4	-3	-4	-4	-4
	+2	1	2	1	2	0	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-4	-4
	+3	0	0	0	0	-3	-3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	+4	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7
	+5	0	0	0	-2	-4	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	+6	0	0	0	-2	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-7	-6	-7

则如图2所示,与图1相比仅仅是图中框内Fuzzy变量(控制量u)的符号及含意不同,且其隶属函数的形式直接选用正态分布。控制量u的量化等级设定为正负各六级(参看图3)。

2. 按照图2的控制规则列写Fuzzy条件语句,在TRS-80微型机上用BASIC语言实

现Fuzzy算法。仍按照取最大隶属度决策方法，计算出的控制表为表2所示（表中个别元的取值作了修改）。

考虑到Fuzzy控制器应用的特点，供系统实际使用的控制表应满足下列三项约定：

- 控制表的使用对于“零点”（即在  $E = 0$  和  $EC = 0$  处）是对称的；
- 控制表中自左下角至右上角这一对角线上的每个控制量等级均为0；
- 最靠近控制表“零点”处的那四个控制量等级分别取为 +1 或 -1。

误差的变化: EC

	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	PU <sub>6</sub>	PU <sub>5</sub>	PU <sub>4</sub>	PU <sub>3</sub>	PU <sub>2</sub>	PU <sub>1</sub>	0
NM	PU <sub>5</sub>	PU <sub>4</sub>	PU <sub>3</sub>	PU <sub>2</sub>	PU <sub>1</sub>	0	NU <sub>1</sub>
NS	PU <sub>4</sub>	PU <sub>3</sub>	PU <sub>2</sub>	PU <sub>1</sub>	0	NU <sub>1</sub>	NU <sub>2</sub>
0	PU <sub>3</sub>	PU <sub>2</sub>	PU <sub>1</sub>	0	NU <sub>1</sub>	NU <sub>2</sub>	NU <sub>3</sub>
PS	PU <sub>2</sub>	PU <sub>1</sub>	0	NU <sub>1</sub>	NU <sub>2</sub>	NU <sub>3</sub>	NU <sub>4</sub>
PM	PU <sub>1</sub>	0	NU <sub>1</sub>	NU <sub>2</sub>	NU <sub>3</sub>	NU <sub>4</sub>	NU <sub>5</sub>
PB	0	NU <sub>1</sub>	NU <sub>2</sub>	NU <sub>3</sub>	NU <sub>4</sub>	NU <sub>5</sub>	NU <sub>6</sub>

图2

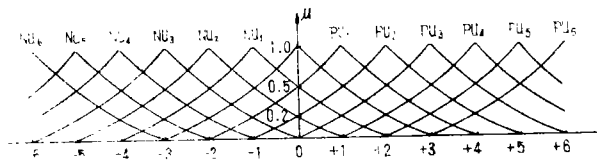


图3

表2 按照图2控制规则计算出的控制表

E \ EC	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	6	6	5	5	4	4	3	2	2	1	1	0	0
-5	6	6	5	5	4	4	3	2	2	1	1	0	0
-4	5	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0	-1	-1
-3	5	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0	-1	-1
-2	4	4	3	3	2	2	1	0	0	-1	-1	-2	-2
-1	4	4	3	3	2	2	1	0	0	-1	-1	-2	-2
0	3	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3
1	2	2	1	1	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4
2	2	2	1	1	0	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4
3	1	1	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5
4	1	1	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5
5	0	0	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6
6	0	0	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6

3. 为了便于定义不同规格的Fuzzy控制模型,我们把与图2基本控制模型相应的控制表(即表2)称为“O型”Fuzzy控制模型。在这一模型的基础上,当表2中框内所有元素(控制量等级)的绝对值增加1、或增加2、……或增加n时,所构成的Fuzzy控制模型分别称为“+1型”、“+2型”、…“+n型”。同样,当表2框内所有元素减1、或减2、……或减m时,所构成的Fuzzy控制模型分别称为“-1型”、“-2型”……“-m型”。(参看附录:规格化Fuzzy控制模型一览表)。

无论是那一种规格的Fuzzy控制模型,相应的控制表都同样必须满足上面所述的三项约定。同时,由于在建立基本模型(表2)时,已经选定控制量u的量化等级为:+6、+5、…+1、0、-1…-5、-6,因此,控制表框内的每个元素的绝对值由于递增而大于6时均取为6;由于递减而小于0时均取为0。

综上所述,所谓规格化的Fuzzy控制模型,就是以“O型”为基础,把表中框内每个元素(控制等级)的绝对值同时递增或递减某一量化等级,所得到的各个控制表,即为不同规格的Fuzzy控制模型。

### 三、应用及计算机模拟的结果

规格化的Fuzzy控制模型是一组可供选择的具有不同控制效果的Fuzzy模型。在一类按消除控制对象输出误差的控制系统中,选用的控制模型规格不同,则控制器消除系统输出误差及抗扰动的能力也不同。这就为开拓Fuzzy控制器的应用以及寻求过程的最佳控制提供了条件。规格化Fuzzy控制模型的应用及计算机模拟的结果列举如下:

1. 系统在不同规格Fuzzy控制模型条件下的阶跃响应。

设在单输入单输出控制系统中,控制对象的传递函数为:

$$\frac{10}{(5s+1)(0.5s+1)}$$

在TRS-80微型机上,用连续系统数字仿真方法进行模拟试验,计算并打印出在选用不同规格Fuzzy控制模型条件下,系统对单位阶跃输入的响应特性,如图4所示。

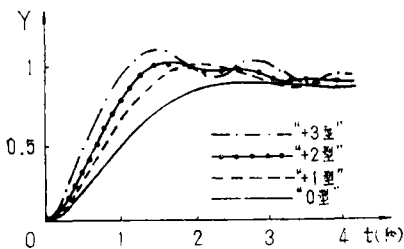


图4

控制器所提出的不同控制要求

2. 消除纯滞后过程的振荡现象

过程的纯滞后性质对Fuzzy系统产生非常不利的影晌。P.J.King和E.H.Mamdani的试验结果表明<sup>(2)</sup>,过程的纯滞后使系统输出产生振荡,是系统不稳定的主要因素。为克服这种振荡现象,我们在试验中选用低增益的Fuzzy控制模型,尤其是采用混合的

图4清楚地表明:随着系统中Fuzzy控制器由0型改变为+1型、+2型或+3型,控制器对于消除系统输出误差的能力依次增强,系统阶跃响应的上升时间依次缩短,超调量相应增大。多种模拟试验的结果还表明:适当选择某种规格(从控制量为零到正的或负的最大控制量)的Fuzzy控制模型,可以在较广泛的范围内,满足多种对象对控

Fuzzy模型,可以取得良好的效果。在TRS—80微型机上,用离散系统仿真程序模拟试验的结果如下。

设:过程的传递函数为

$$e^{-\tau s} \cdot \frac{K}{S(TS+1)}$$

过程的纯滞后时间 $\tau=0.4$ 秒,控制器选用“+3型”,则系统对于单位阶跃输入的响应特性产生近乎等幅的振荡(图5中的曲线①)。如果控制器改为采用“0型”Fuzzy控制模型,过程的振荡现象即可消除(图5中的曲线③)。但是,振荡现象消除了,而系统阶跃响应特性的上升时间却显著加长。

为此,可采用混合的Fuzzy控制模型。即把“0型”与“+3型”组成一个新的模型。当系统输出误差的绝对值 $|E| \geq NB$ 或PB时,控制器按照“+3型”工作;当 $|E| < NB$ 或PB时,控制器按照“0型”工作。这样既保持了系统阶跃响应特性上升快、

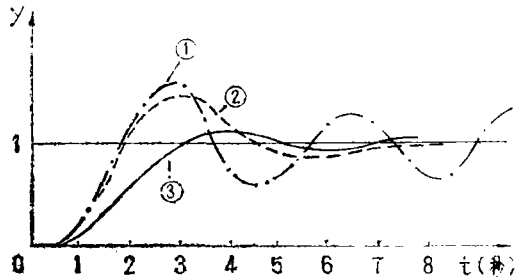


图5

超调量小,又能很好地克服过程的纯滞后所产生的振荡现象(参看图5中的曲线②)。

## 四、结 语

本文提出的用规格化方法建立的一类Fuzzy控制模型,可以减少对人的定性经验及主观随意性的影响。所谓规格化Fuzzy控制模型,只不过是基本控制规则(图2)所对应的控制表(表2)为基础,按数组的形式存入计算机,把数组的每个元递增或递减某一控制量等级(并符合文中所述的三项约定),即可方便地产生了相应的新的控制模型。

不同规格的控制模型,消除控制对象输出误差及抗扰动的能力不同(参看附录)。这样一组规格化的Fuzzy控制模型,可以在较广泛的范围内满足不同过程对控制器所提出的要求。尤其是把两种不同规格的模型进一步组成新的混合模型,往往可以取得更加良好的控制效果。

与模糊变量从属函数可在实轴闭区间 $[0,1]$ 任意取值的概念相同,规格化Fuzzy控制模型的意义也是在于为控制系统提供一个可供选择的控制量,这个控制量可以在控制作用为0以至控制作用为(系统所允许的)正的或负的最大的范围内任意取值(指量化值)。更重要的是不同规格Fuzzy控制模型的选择是可以在线计算机非常方便地实现的。这样就有可能通过对过程行为的不断观测,而又不断地实时地产生新的控制作用。这对于进一步开展Fuzzy控制器的试验及应用研究是有意义的。

**参 考 文 献**

- [1] Zadeh, L.A., *Information and Control*, 8(1965), 338.
- [2] King, P.J. and Mamdani, E.H., *Automatica*, 13(1977), 235.
- [3] Tong, R.M., *Automatica*, 13(1977), 559.
- [4] 李宝綬、刘志俊, 自动化学报, 6(1980), 25.
- [5] 营野道夫, 模糊集合与模糊逻辑在控制中的应用, 叶耕中译自《计测与制御》, 18(1979), 2.
- [6] 应行仁, 模糊数学, 4(1982).

## **Construction and Application of a Class Fuzzy Control Model**

*Lin Deheng Chen Jieru Lin Xunliang*

### **Abstract**

A class Fuzzy control model which is constructed by means of standardization method is described. It is very convenient that the model is implemented on microcomputer and the model is selected according to various requirement of processes. Examples of application of the model and the results obtained from digital simulation are also given.

附录：规格化Fuzzy控制模型一览表（示例，余者类推）

EC	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
E	6	6	6	6	5	5	4	3	3	2	2	1	0
	-5	6	6	6	5	4	3	3	2	2	1	0	0
	-4	6	6	5	4	4	3	2	2	1	0	0	0
	-3	6	6	5	4	4	3	2	2	0	0	0	0
	-2	5	5	4	4	3	2	1	0	0	0	0	0
	-1	5	4	4	3	3	1	0	-1	0	0	0	0
	0	4	4	3	2	1	0	-1	0	0	0	0	0
	+1	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	+2	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	+3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

“+1型”

EC	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
E	5	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0	0	0
	-5	5	4	4	3	3	2	1	1	0	0	0	0
	-4	4	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0
	-3	4	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0
	-2	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	-1	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	0	2	2	1	1	0	1	0	-1	0	0	0	0
	+1	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
	+2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

“-1型”

EC	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
E	6	6	6	6	6	6	5	4	4	3	3	2	0
	-5	6	6	6	6	6	5	4	4	3	3	0	0
	-4	6	6	6	5	5	4	3	3	2	0	0	0
	-3	6	6	6	5	5	4	3	3	0	0	0	0
	-2	6	6	5	4	4	3	2	0	0	0	0	0
	-1	6	6	5	4	4	3	1	0	0	0	0	0
	+1	5	5	4	4	3	1	0	-1	0	0	0	0
	+2	4	4	3	3	0	-1	0	-1	0	0	0	0
	+3	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

“+2型”

EC	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
E	4	4	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0
	-5	4	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0
	-4	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	-3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	-2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	-1	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0
	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

“-2型”