

模糊数学在锻压机控制中的应用

雷夏玲

(南京市广播电视大学数学组, 南京, 210001)

[摘要] 以应用数学方法提出了对某锻压机进行的模糊控制方案, 确定了输入变量的模糊隶属函数, 在此基础上决定了输入变量与输出变量之间的对应关系及有关的输出补偿, 实验证明了本方案的有效性.

[关键词] 模糊数学; 模糊控制; 关系矩阵; 能量补偿

[中图分类号] Q159; TG315; [文献标识码] B; [文章编号] 1008-1925(2001)03-0067-05

0 前言

目前在机械设备的自动控制中广泛存在的一个问题是: 控制的对象往往不能以确定的经典数学模型来表示, 其结构参数难以确定, 而控制策略只能以语言的形式进行所谓的定性描述. 这类问题若用传统的控制算法(如 PID 调节算法等)难以收到满意的效果.

在将模糊数学应用于控制过程时, 一般采用如下方法^[1]: (1) 总结现有的操作经验, 一般形式为模糊条件语句或似然推理, 如: 若 P 则 R , 若 A 或 B 则 C ; (2) 把各语言变量转化为某适当论域上的模糊子集; (3) 设计模糊控制器的模糊判决方法. 本文以模糊数学在某锻压机控制系统中的应用为例说明.

1 被控对象及控制系统简介

锻压机的工件原理是: 利用燃烧气体产生的巨大压力, 推动锻头作直线运动, 打击锻模上的工件, 使之变形, 以生成期望的锻件. 图 1 是该锻压机的模糊控制系统方框图, 控制目标是根据工件温度 T 和工件尺寸误差 ΔU 来调节输出能量以减少 ΔU . 其中 T 是由高温计(一种温度传感器)测量, 并转化为数字量以便计算机处理, ΔU 由一个 CCD 图像传感器测量工件高度并转化为数字量, 经图像处理后期与期望高度值相比较得到的. 控制系统包括以下两个方面: (1) 将模糊量归类于模糊集并选取控制决策. 图 1 中分别用 X 、 Y 、 Z 三个有限域代表 T 、 ΔU 和控制决策 C . 首先将 T 、 ΔU 分类于相应的模糊集 A 或 B 中(分别是 X 或 Y 的成员), 决策状态 Z 由有限子集 C 组成, 其中 C 代表不同的控制决策, 具体决策由模糊关系方程决定. (2) 决定输入能量(压缩气体的能量)及操作锻压机(由压缩气体经燃烧后推动锻头击打工件), 在上述具体决策方案的基础上, 可以决定出最佳的控制参数以直接控制锻压机的动作.

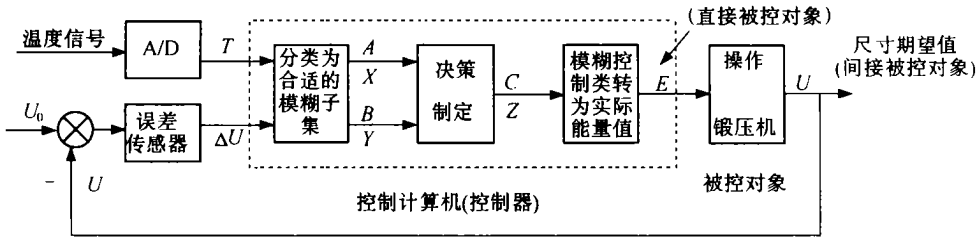


图1 锻压机模糊控制系统方框图

2 X, Y 和 Z 域

2.1 X 域的分割及模糊子集 A_i 的定义

2.1.1 X 域的分割

将可接受的工件温度(800~ 1 240℃), 离散为具有 12 个不同温度类的 X 域: $X = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 其对应的温度范围为: 当 $x < 0$ 时为 $[1\,000 + 40x, 1\,040 + 40x)$; 当 $x = 0$ 时为 1 000; 当 $x > 0$ 时为 $(960 + 40x, 1\,000 + 40x]$; 其中 $x \in X$.

2.1.2 模糊子集 A_i 的定义

经反复试验定义 11 个模糊子集(语义含义为‘温度很高’, ‘温度正好’等) 及上述 12 类温度中每一类温度对于模糊子集的隶属度值如表 1 所示.

表 1 模糊子集 A_i 的定义

		类											
		- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3	4	5	6
模 糊 集	A ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	1
	A ₂	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1	0.8	0.2
	A ₃	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0
	A ₄	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0
	A ₅	0	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0
	A ₆	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0	0
	A ₇	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0
	A ₈	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0
	A ₉	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0
	A ₁₀	0.8	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A ₁₁	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2 Y域的分割及模糊子集 B_j 的定义

2.2.1 Y域的分割

可能的工件尺寸误差值范围是 0~ 8 mm, 定义 $Y = \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ 分别对应于 $[0, 0.5)$, $[0.5, 2)$, $[2, 3.5)$, $[3.5, 5)$, $[5, 6.5)$ 和 $[6.5, 8]$.

2.2.2 模糊子集 B_j 的定义

定义 6 个模糊子集 $B_j (j = 1, 2, \dots, 6)$, 由于尺寸误差值的测量没有误差, 因此, 子集 B_j 的定义中不存在模糊性, 所以模糊集 B_j 实质上是普通集合, 即 $B_j = 1/(j - 1)$.

2.3 Z 域的分割及模糊子集 C_z 的定义

Z 域对应于控制响应, 即根据温度和尺寸的变化控制能量的增减, 包括两个部分 Z₁ 和

Z_2, Z_1 对应于温度的变化, Z_2 对应于工件尺寸的误差.

2.3.1 Z_1 域和模糊子集 C_{1i}

锻压机所需输出能量在其它条件不变的情况下完全取决于工件的温度, 温度越高所需能量越少. 能量调节范围由 E_{\max} 和 E_{\min} 确定, 其中 E_{\max} 对应于工件处于最低温度时的锻压机输出能量, E_{\min} 对应于工件处于最高温度时锻压机的输出能量. 将该连续域离散为有限域 Z_1 :

$$Z_1 \stackrel{\Delta}{=} \left[-\frac{E_{\max} - E_{\min}}{2}, \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2} \right] \stackrel{\Delta}{=} \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$$

对应于各个子类的能量调节量为:

$$Z_{1i} = i \Delta e_1$$

其中, $i = -6, -5, -4, \dots, 5$; $\Delta e_1 = (E_{\max} - E_{\min})/11$.

表2 为在 Z_1 域中定义的 11 个模糊子集及各个子集对于不同子类的隶属度.

表2 模糊子集 $C_{1,i}$ 的定义

		类											
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
模糊子集	$C_{1,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	0.8
	$C_{1,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.8	0.7
	$C_{1,3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
	$C_{1,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0
	$C_{1,5}$	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
	$C_{1,6}$	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0
	$C_{1,7}$	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
	$C_{1,8}$	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0
	$C_{1,9}$	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
	$C_{1,10}$	0	0.8	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	$C_{1,11}$	0.8	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3.2 模糊子集 C_2 的定义

当工件温度为 T 时, 用于纠正工件尺寸误差的补偿能量(连续值)也需离散为有限域 Z_2 , $Z_2 \stackrel{\Delta}{=} \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$, $Z_{2j} = j \Delta e_2 (j = 0, 1, \dots, 5)$, 其中 $\Delta e_2 = E_T$ (温度为 T 时的锻压能量). 每一模糊子集的隶属度为: $C_{2j} = 1/(j-1)$, ($j = 1, 2, \dots, 6$).

上述模糊子集 C_Z 的定义也是根据试验得出的.

3 关系矩阵

关系矩阵实际上是从输入域(X 和 Y)到决策域(Z_1 和 Z_2)的一个矩阵映射, 获得有关的关系矩阵是设计模糊控制算法的关键.

3.1 关于温度映射的关系矩阵 R_1

在实际设计中, 已知的控制关系为: 若工件温度很低则补充能量应很高, \dots , 可将这些关系归纳为关系矩阵:

$$R_1 = \sum_{i=1}^{11} A_i \times C_{1,(12-i)} \quad (1)$$

其中: $A_i \times C_{1,(12-i)}$ 为模糊子集 A_i 和 $C_{1,(12-i)}$ 的笛卡尔乘积.

3.2 关于尺寸误差的关系矩阵 R_2

类似地有:

$$R_2 = \sum_{j=1}^6 B_j \times C_{2j}$$

(2)

4 能量调节

一般地, 能量调节可由下式得到:

$$C_1 = A \circ R_1$$

(3)

$$C_2 = B \circ R_2$$

(4)

其中: \circ 是‘最大—最小’算子.

4.1 A 与 B 的确定

在实际操作中, 输入变量 A 将决定于温度读数 T , A 可一般表示为:

$$A = \frac{\Delta}{\Delta} (\mu_1/(-5) + \mu_2/(-4) + \dots + \mu_{12}/6)$$

其中 μ_i 是各类的隶属度, 具体定义如下:

$$\mu_i = \begin{cases} 0 & T \leq a_0 \\ (T - a_0) \times b_1 / (a_1 - a_0) & a_0 < T \leq a_1 \\ (b_2 - b_1) \times (T - a_1) / (a_2 - a_1) + b_1 & a_1 < T \leq a_2 \\ b_2 & a_2 < T \leq a_3 \\ (b_3 - b_4) \times (a_4 - T) / (a_4 - a_3) + b_4 & a_3 < T \leq a_4 \\ (a_5 - T) \times b_4 / (a_5 - a_4) & a_4 < T \leq a_5 \\ 0 & a_5 < T \end{cases}$$

(5)

表 3 为 12 个类的具体定义.

表 3 隶属度函数参数

函数	类	a_0	b_0	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4	a_5	b_5
μ_1	- 5					800	0. 8	860	0. 8	920	0. 2	920	0
μ_2	- 4			800	0. 7	820	0. 8	875	0. 8	960	0		
μ_3	- 3	800	0	875	0. 6	885	1	915	1	925	0. 6	995	0
μ_4	- 2	840	0	915	0. 6	925	1	955	1	965	0. 6	1000	0. 2
μ_5	- 1	880	0	955	0. 6	965	1	985	1	995	0. 6	1040	0
μ_6	0	920	0	985	0. 6	995	1	1005	1	1015	0. 6	1080	0
μ_7	1	960	0	1005	0. 6	1015	1	1035	1	1045	0. 6	1120	0
μ_8	2	1000	0. 2	1035	0. 6	1045	1	1075	1	1085	0. 6	1160	0
μ_9	3	1005	0	1075	0. 6	1085	1	1115	1	1125	0. 6	1200	0
μ_{10}	4	1040	0	1115	0. 6	1125	1	1155	1	1180	0. 8	1220	0
μ_{11}	5	1080	0	1155	0. 6	1165	0. 8	1195	0. 8	1220	0		
μ_{12}	6	1120	0	1180	0. 8	1205	1						

例如, 若某温度读数为 920℃, 则其隶属度为:

$$\mu_{1(-5)} = 0. 2, \quad \mu_{2(-4)} = 0. 376, \quad \mu_{3(-3)} = \mu_{4(-2)} = 0. 8, \quad \mu_{5(-1)} = 0. 32, \quad \mu_{6(0)} = \mu_{7(1)} = \mu_{8(2)} = \mu_{9(3)} = \mu_{10(4)} = \mu_{11(5)} = \mu_{12(6)} = 0. 0;$$

并且有: $A = 0. 2/(-5) + 0. 376/(-4) + 0. 8/(-3) + 0. 8/(-2) + 0. 32/(-1) + 0/0 + 0/1 + 0/2 + 0/3 + 0/4 + 0/5 + 0/6$. 尺寸测量读数为一组 6 位

的数字量, 因此不存在模糊成份, 这样对于某个读数(如 000010) 则 $B = 0/0 + 0/1 + 0/2 + 0/3 + 1/4 + 0/5$.

4.2 能量补偿的计算

设 $T = 920^\circ\text{C}$, 误差读数为(000010), 则 C_1 和 C_2 分别可由(3)和(4)得出:

$$C_1 = 0/(-6) + 0/(-5) + 0/(-4) + 0/(-3) + 0.2/(-2) + 0.32/(-1) + 0.5/0 + 0.6/1 + 0.8/2 + 0.8/3 + 0.6/4 + 0.6/5$$

$$C_2 = 0/0 + 0/1 + 0/2 + 0/3 + 1/4 + 0/5$$

由于 C_1 中的第 2 类和第 3 类的隶属度相等, 因此应采用介于两者之间的能量调节值即 $2.5\Delta e_1$, 在 C_2 中第 4 类的隶属度最高, 采用 $4\Delta e_2$ 作为尺寸误差能量调节值.

最终锻压机的输出能量应为: $E = E_{1000} + \Delta E$, 其中 E_{1000} 是工件温度为 1000°C 时锻压机所需输出的能量值(定值), $\Delta E = 2.5\Delta e_1 + 4\Delta e_2$.

5 结论

通过实际试运行表明, 模糊控制方式较传统控制方式能够更为有效地控制工件最终尺寸精度, 同时由于合理控制输出能量, 使得锻压头的寿命大大延长.

[参考文献]

- [1] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1982
- [2] 王士同. 模糊数学在人工智能中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991
- [3] Zadeh L. Fuzzy Sets[J]. Information Control, 1965, 8: 338~ 353

Application of Fuzzy Mathematics to a Forging Machine

Lei Xialing

(Mathematics Department, Nanjing Television University, Nanjing, 210001, PRC)

Abstract: A fuzzy control method has been proposed in this paper for a forging machine based on fuzzy mathematics. With the fuzzy membership functions of input variables decided, the relationship between the input and output variables as well as the related energy compensation has been established. The validity of the procedure has been proved through experiments.

Key words: fuzzy mathematics, fuzzy control, relation matrix, energy compensation

(责任编辑: 严海琳)