

浆纱机经纱退绕张力自调匀整的模糊控制

刘曙光 魏俊民

(西北纺织学院)

【摘要】 浆纱机经纱退绕张力控制系统缺乏精确的数学模型，且具有非线性和时变性的特点。针对上述问题，本文采用了模糊控制策略。为了提高控制精度和抗干扰能力，系统采用了参数自调整 Fuzzy-PI 控制器。实验结果表明，这种控制器可有效地实现经纱退绕张力自调匀整，动态响应快，控制精度高，抗干扰能力强，对参数变化不敏感，具有一定的鲁棒性。

一、引言

浆纱机经纱退绕张力匀整采用计算机控制的气动比例系统。由于影响纱线张力变化的因素很多，而且许多因素存在着非线性及时变性，所以，本文采用模糊控制策略。经计算机仿真，证明气动比例系统的模糊控制方法对纱线张力自调匀整具有良好的控制效果。

二、模糊控制器原理

1. 简单模糊控制器

经过前人多年的经验总结及实践，模糊控制器逐渐形成了一种规范形式^{[2],[3],[4],[5]}。简单模糊控制器的系统框图如图1所示。

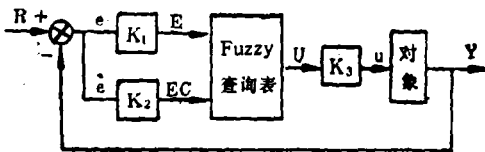


图1 简单 Fuzzy 控制器

图中 K_1 、 K_2 是量化因子， K_3 是比例因子， E 、 EC 和 U 分别为误差 e 、误差变化 \dot{e} 和控制量 u 的语言变量。

模糊控制器的控制规则可用一组模糊条件语句表示：

$$\text{if } E = A_i \text{ and } EC = B_j \text{ then } U = C_{ij} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

这里 A_i 、 B_j 、 C_{ij} 分别表示论域 X 、 Y 、 Z 上的模糊集，代表诸如正大 (PL)、正中 (PM)、负大 (NL) 之类的一些词。(1) 式一般用一个 $X \times Y$ 到 Z 的模糊关系 R 来描述：

$$R = \bigvee_{i,j} A_i \wedge B_j \wedge C_{ij} \quad (2)$$

$$\text{即 } \mu_R(x, y, z) = \bigvee_{i,j} \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_j}(y) \wedge \mu_{C_{ij}}(z)$$

$$\forall (x, y, z) \in X \times Y \times Z \quad (3)$$

若被控对象的输出误差和误差的变化分别为模糊集 A 和 B ，则模糊控制器给出的控制作用的变化由模糊推理合成规则^[3]算出：

$$U = (A \times B) \circ R \quad (4)$$

$$\text{即 } \mu_U(z) = \bigvee_{x,y} \mu_R(x, y, z) \wedge \mu_A(x)$$

$$\wedge \mu_B(y) \quad (5)$$

模糊变量 E 、 EC 和 U 的隶属度赋值表及控制规则表见资料^[6]。按上述算法可得到模糊控制表(表1)。

2. 参数自调整 Fuzzy-PI 控制器

简单模糊控制器，由于它的输出响应慢、余差大，因此不是性能很好的控制器。鉴于线性比例积分控制器，其比例积分既可使控制系统获得较高精度又能加快动态响应。于是，在模糊控制器当中引入 PI 结构，将可以改善控制性能。

表 1 Fuzzy 控制表

$U \backslash EC$	-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	6	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	1	1	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
+0	4	4	4	5	1	1	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4
+1	2	2	2	2	0	0	-1	-4	-4	-3	-4	-4	-4
+2	1	1	1	0	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

稳态, 实行“细调”控制, 放大 K_1 、 K_2 , 提高对 e 和 \dot{e} 的分辨率, 并采取慎微的控制量, 取较小 K_p 、 K_I 。参数自调整 Fuzzy-PI 控制器如图 2。

为简便起见, K_1 、 K_2 放大(或缩小)的倍数与 K_p 、 K_I 缩小(或放大)的倍数取得相同。设放大倍数的语言变量 N 为下列模糊子集

$$N = \{AB, AM, AS, OK, CS, CM, CB\} \quad (7)$$

式中: $AB, AM, AS, OK, CS, CM, CB$ 分别表示高

Fuzzy-PI 控制器的输入、输出关系式为

$$u(t) = K_p \cdot U + K_I \cdot \int_0^t U \cdot dt = K_p \cdot U_i + K_I \cdot T \cdot \sum_{i=0}^t U_i \quad (6)$$

放、中放、低放、不变、小缩、中缩、大缩的模糊概念。

N 的论域规定为

$$N = (1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8) \quad (8)$$

N 的隶属度赋值如表 2 所示。

表 2 Fuzzy 变量 N 的隶属度赋值表

	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8
AB	0	0	0	0	0	0.5	1
AM	0	0	0	0	0.5	1	0.5
AS	0	0	0	0.3	1	0.5	0
OK	0	0	0.3	1	0.3	0	0
CS	0	0.5	1	0.3	0	0	0
CM	0.5	1	0.5	0	0	0	0
CB	1	0.5	0	0	0	0	0

式中: T 为采样时间; K_p 为比例因子; K_I 为积分因子。

为了进一步提高控制器性能, 资料^[6]在 Fuzzy-PI 控制器的基础上提出了参数 K_1 、 K_2 、 K_p 、 K_I 自调整思想, 使 K_1 、 K_2 、 K_p 、 K_I 可随 e 、 \dot{e} 的不同具有自行调整的能力。当误差 e 或误差变化 \dot{e} 较大时, 进行“粗调”控制, 取较小的 K_1 、 K_2 , 降低对 e 或 \dot{e} 的分辨率, 与此同时, 采取较大的控制量, 取较大的 K_p 、 K_I 。反之, 当 e 或 \dot{e} 较小时, 系统接近

误差 E 和误差变化 EC 的模糊子集及隶属度赋值仍与简单模糊控制器的规定相同。参数自调整的思想用表 3 的修改规则表达。应用简单模糊控制器同样的合成算法并结合人工修正, 可算出参数自调整的参数模糊修改表, 如表 4。

自调整机构的工作就是简单的查表运算。先以原来的 K_1 、 K_2 对 e 和 \dot{e} 进行量化, 查修改表得出各参数放大(或缩小)的倍数 n , 计算

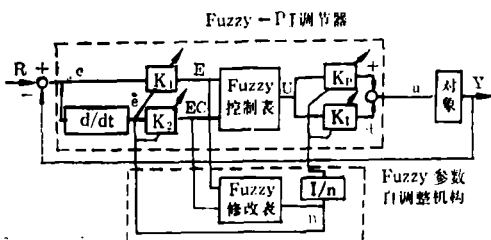


图 2 参数自调整 Fuzzy-PI 控制器

表3 参数修改规则表

E \ N	EC							
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB	
NB	CB	CM	CS	OK	CS	CM	CB	
NM	CM	CS	OK	OK	OK	CS	CM	
NS	CS	OK	OK	AS	OK	OK	CS	
NO	OK	OK	AM	AB	AM	OK	OK	
PO	OK	OK	AM	AB	AM	OK	OK	
PS	CS	OK	OK	AS	OK	OK	CS	
PM	CM	CS	OK	OK	OK	CS	CM	
PB	CB	CM	CS	OK	CS	CM	CB	

$K_1 = K_{1n}$, $K_2 = K_{2n}$, $K_p = K_{pn}$, $K_I = K_{In}$, 作为模糊控制器的新参数进行运算。

三、浆纱机经纱退绕张力自调匀整系统

浆纱机经纱退绕张力自调匀整系统如图3, 其模糊控制系统构成如图4。

在图3的制动控制气动回路中, 采用了一种先进的气动控制元件——电气比例阀(日本SMC公司生产)。此阀可使气动回路中的压力与外部控制信号(电压)成正比, 这样压力的控制可用电信号方便地进行控制。

图3中的张力辊有两个作用: 一是给片纱

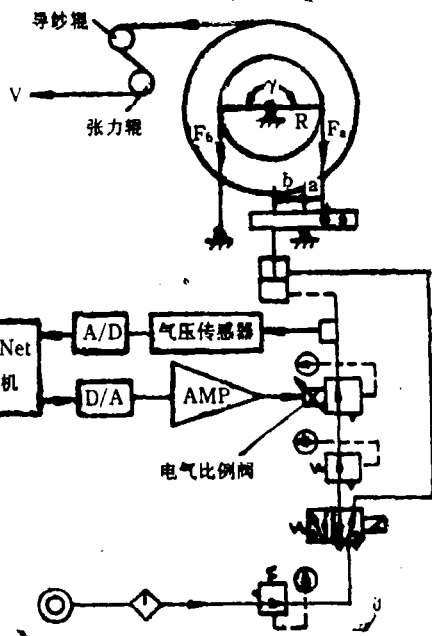


图3 经纱退绕张力匀整控制系统

施加一定的张力(张力设定); 二是检测片纱张力大小。片纱张力变化使张力辊移动, 位移量可由位移传感器检测, 由位移传感器转化来的电量变化去控制气动带式制动机构对经轴的制动力矩, 使制动力矩与张力力矩平衡, 以达到片纱张力在退绕全过程(满轴到空轴)中保持不

表4 参数修改表

E \ N	EC													
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	
-6	0.125	0.125	0.25	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.25	0.125	0.125	
-5	0.125	0.25	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25	0.125	
-4	0.25	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25	
-3	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	
-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
-1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1	
-0	1	1	1	1	2	4	8	4	2	1	1	1	1	
+0	1	1	1	1	2	4	8	4	2	1	1	1	1	
+1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1	
+2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
+3	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	
+4	0.25	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25	
+5	0.125	0.25	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25	0.125	
+6	0.125	0.125	0.25	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.25	0.125	0.125	

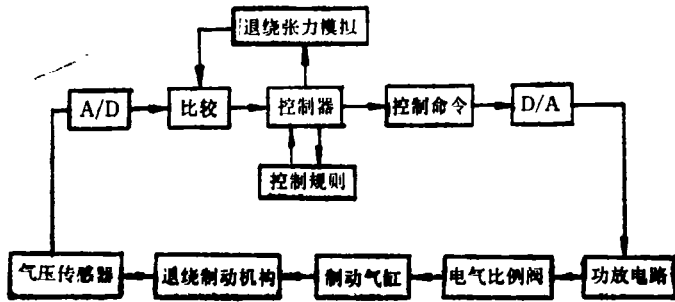


图 4 经轴气动带式制动机构模糊控制系统构成简图

变, 并消除外界干扰, 使片纱张力自调匀整。由于控制系统及硬件的复杂性和实验台机构要求的准确性, 控制系统设计与实验不能直接按上述方法进行。实际上, 可用由计算机模拟片纱张力的实际情况, 再将模拟信号通过电气比例阀加入到气动控制回路中, 此时的检测信号不是来自张力辊, 而是来自制动气缸进口处的气压传感器。

四、控制实验

1. 片纱张力模拟

要使片纱张力保持一定, 片纱张力力矩应与制动力矩平衡。

$$F \cdot D(t) / 2 = P \cdot A(1 - e^{-\mu\gamma})R(b/a) \quad (9)$$

式中: F 为片纱张力; $D(t)$ 为经轴退绕直径; P 为气压; A 为气缸活塞面积; R 为制动轮直径。

(9) 式中的气力与电气比例阀的控制信号是成正比的, 电气比例阀控制信号 U 与气压 P 的关系为

$$U = 4.3P + 0.8 \quad (10)$$

将(9)式带入(10)式, 得到

$$U = C_1 D(t) + 0.8 \quad (11)$$

其中: $C_1 = \frac{4.3aF}{2b(1 - e^{-\mu\gamma})AR}$ 。(11)式中退绕直径的变化由下式给出:

$$D(t + \Delta t) = D(t) - \frac{2v d n \Delta t}{\pi D(t)} \quad (12)$$

式中: v 为退绕线速度; d 为纱线直径; n 为片纱中纱线根数。

由(11)、(12)两式, 可以给出某种纱支张力的计算机模拟信号。其值是按不同品种、不同纱支的单纱断裂强度与片纱中纱线根数来计算的。本文在计算片纱张力时是按 75% 水平下单纱强度的 5% 来计算^[7], 控制实验选用纯棉、涤棉各三种纱支。在下列实验条件下: 气缸内径 32mm, $R = 100\text{mm}$, $D = 200 \sim 80\text{mm}$, 经轴宽 500mm, $\gamma = \pi$, $\mu = 0.7$, $v = 40\text{m/min}$, 它们的 C_1 、 C_2 值见表 5。

表 5 张力模拟公式中参数计算表

参数 \ 纱支	棉21	棉36	棉42	涤棉21	涤棉30	涤棉45
直径 d (mm)	0.1952	0.1491	0.1380	0.1952	0.1633	0.1333
特数 (tex)	47.62	27.78	23.81	47.62	33.33	22.22
片纱张力 (N)	91.43	51.67	43.93	140	82	56.85
常数 C_1	0.0055	0.0031	0.0026	0.0084	0.005	0.0034
常数 C_2	735.64	735.70	735.63	735.65	735.34	735.47

2. 实验结果

纯棉、涤棉各三种纱支片纱张力控制曲线的形状大致相同, 为说明问题, 本文只取其中一种纱线(棉 42)的张力控制曲线, 见图 5。

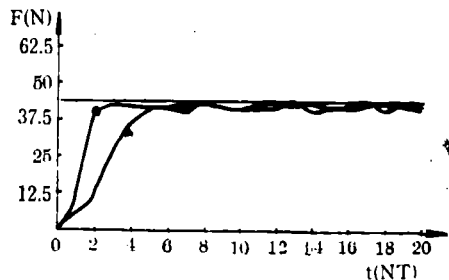


图 5 退绕张力控制曲线

△——简单 Fuzzy 控制器;
○——参数自调整 Fuzzy-PI 控制器。

从实验结果上看, 简单模糊控制器控制的上升时间约为 6 个采样周期(采样时间 $T = 10\text{ms}$ ^[7]), 而参数自调整 Fuzzy-PI 控制器的上升时间约为 3 个采样周期, 响应时间大为提高。与简单模糊控制器相比, 参数自调整 Fuzzy-PI 控制器控制的响应曲线波动小, 它

的抗干扰性和控制精度比较好。

为了检验控制系统抗干扰能力, 还需对参数自调整 Fuzzy-PI 控制系统进行加入随机干扰后的性能研究。现加入的随机干扰为 $f = U_{in} \cdot RND(U_{in} = 0.4V)$, 施加系统的时间为 5 个采样周期, 如图 6。实验结果表明, 这种控制系统具有较好的抗干扰能力。表现出对参数变化有较强的适应性。

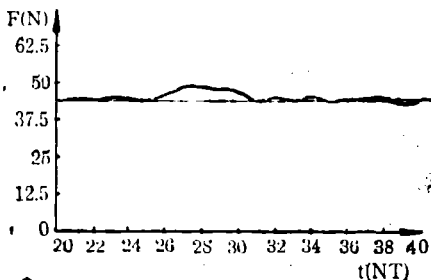


图 6 加随机干扰后参数自调整 Fuzzy-PI 控制器退绕张力控制曲线

我们所设计的控制系统, 虽是在经轴无纱线运动时通过计算机模拟张力变化情况下完成的, 但它仍具有实际应用价值。待条件成熟后, 可以将它直接用于实际生产。可以认为, 浆纱

机各部分张力及温度、湿度、回潮率、上浆率等实现计算机集中、协调控制将成为可能。

参 考 资 料

- [1] L. A. Zadeh, Fuzzy Sets, Inform. Contr., Vol. 8, p. 338~353, 1965.
- [2] D. A. Rutherford and G. C. Bloore, The Implementation of Fuzzy Algorithms for control, Proc. IEEE 84 (1976), 572~573.
- [3] L. A. Zadeh, Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Trans. Syst. Man, Cybern., Vol. SMC-3, p. 28~44, No. 1, 1973.
- [4] Shi-Kuo Chang, On the Execution of Fuzzy Programs Using Finite-State Machines, IEEE Trans. Computer, Vol. C-21, p. 241~253, No. 3, 1972.
- [5] 《自动化学报》, 1980(6), p.25~32.
- [6] 《信息与控制》, 1987(6), p. 26~33.
- [7] 刘曙光, 《浆纱机经纱退绕张力自调匀整系统的研究》, 西北纺织学院硕士论文, 1993. 3.