

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.11.020

一种线性插值模糊控制器在纱线张力 控制系统中的应用*

杨福芹,王培超,常德功*

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:针对络筒机中纱线张力存在随机性和不稳定性的等问题,将一种基于修正因子的线性插值模糊控制器应用到纱线张力控制系统中。开展了纱线张力控制系统、模糊控制系统和线性插值算法的分析,建立了模糊控制系统和线性插值之间的关系,提出了针对纱线张力控制系统应用线性插值模糊控制的方法。应用 Matlab 对此方法在纱线张力控制系统上进行了仿真试验,并且研究对比了经典模糊控制与线性插值模糊控制对纱线张力控制的效果。研究表明,与经典模糊控制相比,插值模糊控制能从根本上消除系统的稳态偏差和颤振现象,简单易行,使纱线张力控制系统稳定性更好,具有一定实用价值。

关键词:络筒机;模糊控制;修正因子;线性插值;纱线张力

中图分类号:TH39;TP273.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)11-1494-04

Application of a linear interpolation fuzzy controller in tension control system of yarn

YANG Fu-qin, WANG Pei-chao, CHANG De-gong

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Aiming at the problems of the randomness and instability of the yarn tension in winding machine, a linear interpolation fuzzy controller was proposed based on a correction factor for the yarn tension control system. After the analysis of yarn tension control system, fuzzy control system and linear interpolation algorithm, the relationship between fuzzy control system and linear interpolation was established. A method of linear interpolation fuzzy control for yarn tension control system was put forward. The simulation experiment of the yarn tension control system using Matlab was carried out, and the effect of the fuzzy control and linear interpolation fuzzy control on yarn tension control was studied. The research results show that compared with the classical fuzzy control, interpolation fuzzy controller essentially eliminates the steady-state error and the chatter phenomenon of the system, simple and easy, and make the yarn tension control system is better, and has certain practical value.

Key words: winder; fuzzy control; correction factor; linear interpolation; yarn tension

0 引 言

自动络筒机附加张力的控制系统是典型的多变量复杂系统,外界对纱线张力的影响较为显著,纱线上一个小小的纱节就很可能造成络筒张力控制效果的波

动,因此采取有效的纱线张力控制方式对络筒工序的产品质量和生产效率具有决定意义^[1-2]。因为影响纱线张力波动的因素很多,很难对纱线张力控制系统建立一个精确的数学模型,考虑到模糊控制技术所特有的鲁棒性和适应性,且不需要建立数学模型,因此控制

收稿日期:2015-05-22

基金项目:青岛市科技计划资助项目(12-1-4-3-(32)-Jch)

作者简介:杨福芹(1972-),女,山东青岛人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事机械传动设计理论与方法方面的研究。E-mail:y_5_q@163.com

通信联系人:常德功,男,博士,教授,博士生导师。E-mail:jxshjqust@163.com

模块中采用模糊控制规则是提高纱线张力控制效果的有效途径^[3]。但经典模糊控制的偏差和偏差变化率被模糊量化取整后会产生控制器调节死区,而控制量的分档还会引起调节过粗^[4],这些都会使得纱线张力控制系统产生稳态偏差和颤振现象。

本研究将基于修正因子的线性插值的模糊控制方法应用于络筒机张力控制系统,并对其进行研究与分析。

1 纱线张力控制系统

为保证纱线张力恒定,本研究设计一个张力闭环自动控制系统(如图 1 所示),对纱线张力进行实时控制,包括:张力传感器、线性插值模糊控制器、张力的设定机构、张力的测量机构、张力调节机构。该系统主要是通过张力传感器测得实际张力值后,与设定值比较,再反馈给控制器,然后控制电动机的转速和转盘张力器,来调节纱线张力。

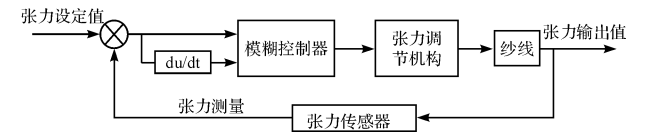


图 1 纱线张力闭环控制系统

纱线张力控制系统通过张力设定值和实际测量值的偏差来确定张力控制各执行机构的控制量。纱线张力的测量是在纱线对应变片产生的应变转换为电阻的变化后,通过电桥电路将电阻的变化转换成电量,再经过信号处理装置对信号进行分析就可以获取纱线张力信息。纱线张力的调节机构主要是当纱线张力变化时,直流电机施加给转盘张力器的阻力矩会做相应大小的变化,进而保证纱线输出的张力恒定^[5]。

2 基于修正因子方法的线性插值模糊控制器

2.1 基本思想

基于修正因子的线性插值模糊控制方法结构框图如图 2 所示。图 2 中:输入量为偏差 e 和偏差率 ec,输出量为 u。

2.2 修正因子基本原理

本研究用一个解析式来表示控制量 U 和偏差 E、偏差变化率 EC 的关系从而建立模糊数模型结构,该解析式为:

$$\tilde{U} = <a \tilde{E} + (1-a)\tilde{EC}> \tag{1}$$

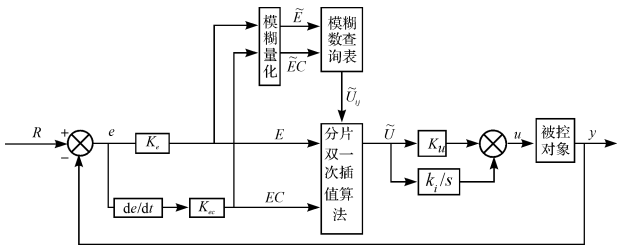


图 2 结构框图

偏差 E,偏差变化率 EC—输入量的模糊量,即 $E = K_e e(t)$, $EC = K_{ec} ec(t)$; $\tilde{E}, \tilde{EC}$ —对 E 和 EC 的量化取整,即 $\tilde{E} = \lfloor K_e e(t) \rfloor$, $\tilde{EC} = \lfloor K_{ec} ec(t) \rfloor$; $\tilde{U}$ —插值运算得到,再经过输出判决和 PI 运算得到 u; K_e, K_{ec} —偏差和偏差变化率的量化因子, K_u —输出量的比例因子

式中: $a \in [0, 1]$ —修正因子; $\tilde{U}$ —控制变化量量化取整值;符号 $\lfloor \cdot \rfloor$ —取整运算。

基于解析式(1)建立的模糊模型,本研究弥补了单凭经验确定控制规则的不足,还避免了控制规则定义中的空档现象。为了实现对控制规则的校正,当 a 取值不同时,对 $\tilde{E}$ 和 $\tilde{EC}$ 的权重不同,控制规则就不同,控制效果也必然不同,这种加权如实地反映了操作者进行手动控制时的思维特征。

2.3 模糊控制查询表的建立

由式(1)得到模糊控制查询表如表 1 所示。由于式(1)的量化取整,表 1 中数据均为整数。当 E_i 和 EC_j 恰好都等于 $\tilde{E}_i$ 和 $\tilde{EC}_j$ 时,即 $U = \tilde{U}_{ij}$,才能反应控制规则,实现准确控制^[6]。而取到非整数时,在表 1 中无法查到相应数据,由此产生了稳态偏差。为此要消除由于量化取整而带来的稳态偏差。当 $\tilde{E}_i < E < \tilde{E}_{i+1}$ 、 $\tilde{EC}_j < EC < \tilde{EC}_{j+1}$ 时,本研究采用插值算法求取控制量变化量 U。

表 1 模糊控制查询表

	$\tilde{EC}_1$	$\tilde{EC}_2$	...	$\tilde{EC}_m$
$\tilde{E}_1$	$\tilde{U}_{11}$	$\tilde{U}_{12}$	...	$\tilde{U}_{1m}$
$\tilde{E}_2$	$\tilde{U}_{21}$	$\tilde{U}_{22}$	...	$\tilde{U}_{2m}$
$\vdots$	$\vdots$		...	
$\tilde{E}_3$	$\tilde{U}_{n1}$	$\tilde{U}_{n2}$	...	$\tilde{U}_{nm}$

2.4 线性插值算法的设计

插值的方法很多,如泰勒二元函数的一次展开法;矩形域内的二元函数插值法;基于一次样条的曲线磨光法;基于二次样条的曲线磨光法等。这里采用矩形域上的二元函数分片双一次插值算法。

笔者将(E,EC)平面的某一个区域分成若干个矩

形,选其中任一个矩形域 $A_1 - A_2 - A_3 - A_4^{[7]}$, 矩形域示意图如图 3 所示。矩形顶点坐标分别为 $A_1 = (\tilde{E}_i, \tilde{EC}_j)$ 、 $A_2 = (\tilde{E}_{i+1}, \tilde{EC}_j)$ 、 $A_3 = (\tilde{E}_{i+1}, \tilde{EC}_{j+1})$ 、 $A_4 = (\tilde{E}_i, \tilde{EC}_{j+1})$, 设角点 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 上的函数 $\tilde{U}_{ij}$ 、 $\tilde{U}_{i+1,j}$ 、 $\tilde{U}_{i+1,j+1}$ 、 $\tilde{U}_{i,j+1}$ 值已知。它利用以下插值公式:

$$y(x) = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}(x - x_i) \tag{2}$$

式中: y —因变量, x —自变量。且 $x_i < x < x_{i+1}$, $y_i < y < y_{i+1}$ 。

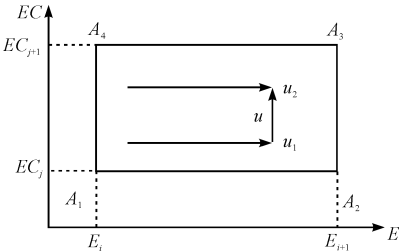


图 3 矩形域示意图

根据公式(2),按照图 3 所示顺序求取 U 的过程如下:

$$U_1 = \tilde{U}_{ij} + (\tilde{U}_{i+1,j} - \tilde{U}_{ij}) \frac{E - \tilde{E}_i}{\tilde{E}_{i+1} - \tilde{E}_i} \tag{3}$$

$$U_2 = \tilde{U}_{i,j+1} + (\tilde{U}_{i+1,j+1} - \tilde{U}_{i,j+1}) \frac{E - \tilde{E}_i}{\tilde{E}_{i+1} - \tilde{E}_i} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} U &= U_1 + (U_2 - U_1) \frac{EC - \tilde{EC}_j}{\tilde{EC}_{j+1} - \tilde{EC}_j} = \\ &\left(\frac{\tilde{E}_{i+1} - E}{\tilde{E}_{i+1} - \tilde{E}_i} \right) \left(\frac{\tilde{EC}_{j+1} - EC}{\tilde{EC}_{j+1} - \tilde{EC}_j} \right) \tilde{U}_{ij} + \\ &\left(\frac{E - \tilde{E}_i}{\tilde{E}_{i+1} - \tilde{E}_i} \right) \left(\frac{\tilde{EC}_{j+1} - EC}{\tilde{EC}_{j+1} - \tilde{EC}_j} \right) \tilde{U}_{i+1,j} + \\ &\left(\frac{E - \tilde{E}_i}{\tilde{E}_{i+1} - \tilde{E}_i} \right) \left(\frac{EC - \tilde{EC}_j}{\tilde{EC}_{j+1} - \tilde{EC}_j} \right) \tilde{U}_{i+1,j+1} + \\ &\left(\frac{\tilde{E}_{i+1} - E}{\tilde{E}_{i+1} - \tilde{E}_i} \right) \left(\frac{EC - \tilde{EC}_j}{\tilde{EC}_{j+1} - \tilde{EC}_j} \right) \tilde{U}_{i,j+1} \end{aligned} \tag{5}$$

由式(5)知,任意一点 (E, EC) 处的 U_{ij} 值仅依赖于邻近的 4 个角点上的值 $\tilde{U}_{ij}$ 、 $\tilde{U}_{i+1,j}$ 、 $\tilde{U}_{i+1,j+1}$ 、 $\tilde{U}_{i,j+1}$ 。本研究将该算法运用于模糊控制中,对任一时刻的 E 和 EC 不必取整,而是根据与它相邻 4 个点的整数值得到的查询表的值,由插值公式求出 U 。

采用该插值算法后,相当于 $\tilde{E}$ 和 $\tilde{EC}$ 在其论域内的分档数趋于无穷大。这样在控制表内的相邻分档之间以线性插值的方式补充了无穷多个连续的控制量 $U^{[8]}$ 。

2.5 输出判决及 PI 运算

输出判决是将线性插值运算后得到的正态模糊数

转换成确定量,由于线性插值模糊控制方法不需要进行模糊推理合成运算,只得到一个模糊数,可直接采用最大隶属度函数法对其进行模糊判决。将输出结果 U 经过 PI 运算后再施加给被控对象,即:

$$U = K'_p f(e(t)) + K'_d \frac{df(e(t))}{dt} \tag{6}$$

式中: $f(e(t))$ — U 和 e 之间的非线性变换关系。

施加给被控对象的实际控制量

$$u(t) = K_u U + K_i \int_0^t U dt =$$

$$K_u [K'_p f(e(t)) + K'_d \frac{df(e(t))}{dt}] +$$

$$K_i \int_0^t [K'_p f(e(t)) + K'_d \frac{df(e(t))}{dt}] dt =$$

$$K_p f(e(t)) + K_i \int_0^t f(e(t)) dt + K_d \frac{df(e(t))}{dt} \tag{7}$$

式中: $u(t)$ —实际控制量,可见其具有非线性 PID 控制规律,可消除系统的稳态偏差。

3 实际应用

3.1 模糊控制查询表建立

模糊控制器的输入变量为测定张力值 y 和张力设定值 r ,两个变量之间的偏差 $e = y - r$ 和偏差变化率 $ec(k) = e(k) - e(k - 1)$ 。根据测控系统要求,设偏差 e 的基本论域为: $[-30, 30]$, 偏差变化率 ec 的基本论域为: $[-10, 10]$ 。可表示 $E = \{NB \ NM \ NS \ ZO \ PS \ PM \ PB\}$, $EC = \{NB \ NS \ ZO \ PS \ PB\}$; 取 $K_e = 0.2$, $K_{ec} = 0.6$; 则各量的模糊论域为 $e = \{-6 \ -4 \ -2 \ 0 \ 2 \ 4 \ 6\}$; $EC = \{-6 \ -4 \ -2 \ 0 \ 2 \ 4 \ 6\}$; $U = \{-6 \ -5 \ -4 \ -3 \ -2 \ -1 \ 0 \ -1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6\}$ 修正因子 a 由实验确定为 0.5, 由式(1)建立模糊控制查询表如表 2 所示。

表 2 模糊控制查询表

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

3.2 软件实现

在 Matlab 模糊控制工具箱^[9-12]中设计模糊控制器的 m 文件如下:

```
t=1;
e=0.2 * ( -30 + 60 * rand(1,1) );
```

```
ec=0.6*( -10+20*rand(1,1));
E=[ -6 -4 -2 0 2 4 6];
EC=[ -6 -4 -2 0 2 4 6];
fori=1:7
forj=1:7
U(i,j)=round(0.5*E(i)+0.5*EC(j));
end
end
U1=interp2(E,EC,U,e,ec);
s=[t,U1];
```

用 Matlab 的 simulink 仿真结构如图 4 所示。

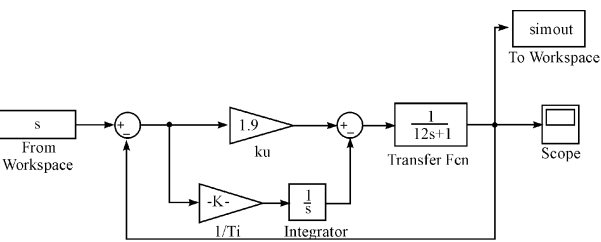


图 4 Simulink 仿真结构图

从仿真结果图 5 可知,对于相同的控制表、相同的量化因子和控制参数,插值模糊控制的超调量较小,经典模糊控制系统的稳态性能较差,发生振荡现象。纱线张力控制系统采用插值法后,不仅消除了量化偏差,而且还获得连续变化的控制量并能够准确地执行控制规则,始终保持纱线张力的恒定。

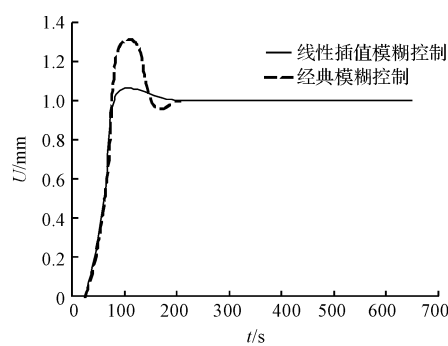


图 5 基于修正因子的线性插值模糊控制阶跃响应

4 结束语

稳定的络筒张力是络筒机络成均匀紧密筒子的重

要保证,同时有利于筒子在后道工序中顺利退绕。本研究采用一种基于修正因子的线性插值模糊控制方法来控制纱线张力,通过该方法可以计算出系统的控制输出,使模糊控制规则表内相邻分档之间补充了无穷多个控制规则,充实了原来的控制规则,并在 Matlab 的 Simulink 环境中对应用在纱线张力控制系统的此方法进行了仿真研究。

从仿真结果来看,该方法具有良好的控制性能,能从根本上消除由量化偏差和调节死区引起的稳态偏差和颤振现象,与经典模糊控制相比,更有利于保持纱线张力的恒定,显著改善模糊控制系统的稳态性能。

参考文献 (References) :

[1] 杨志清. 用先进的适用技术改造络筒机[J]. 新纺织, 2004 (8) :30-35.

[2] 郁崇文. 纺纱系统与设备[M]. 北京:中国纺织出版社, 2005.

[3] 刘艳红. 自动络筒机纱线张力控制系统的研究[D]. 青岛:青岛科技大学机电工程学院, 2008.

[4] 章卫国,杨向忠. 模糊控制理论与应用[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1999.

[5] 刘艳红,常德功. 模糊 PID 控制在纱线张力控制中的应用[J]. 机械工程师, 2008(6) :57-58.

[6] 高宏岩,王建辉,孙盛骐. 一种在线插值模糊控制方法及应用[J]. 自动化仪表, 2005, 26(6) :41-43.

[7] 肖秦琨,李琳琳,李振国. 模糊控制的改善方法[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2002, 34(2) :183-186.

[8] 于风卫. 一种基于线性插值的模糊控制器设计及应用[J]. 中国航海, 2007(3) :85-87, F0003.

[9] 张国良. 模糊控制及其 Matlab 应用[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.

[10] 宋晓华. 基于 PID 与模糊控制的切削加工过程双模控制[J]. 轻工机械, 2015, 33(2) :61-64.

[11] Mohand Mokhtari Michel Marie. Engineering Application of Matlab 5.3 and SIMULINK 3[M]. Publishing House of Electronice Industry, 2002.

[12] 楼天顺. 基于 Matlab 的系统分析与设计-模糊系统[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2001.

[编辑:张 豪]