

文章编号:1003-7837(2006)03-0225-04

模糊PID控制算法在车牌生产线张力控制系统中的应用

曾永荣, 王钦若, 严兴华

(广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510090)

摘要:采用偏差 E 和偏差变化率 E_c 的变化规律为依据的模糊PID控制算法,对车牌生产线中难以整定的张力进行在线修改,建立模糊控制规则的监控系统表,并用MATLAB的仿真工具进行仿真实验.结果表明,与传统PID控制算法比较,模糊PID控制算法具有灵活性好,控制适应性强,动态、静态性能好等优点.

关键词:模糊PID控制算法;张力;在线修改;仿真

中图分类号:TP373.4

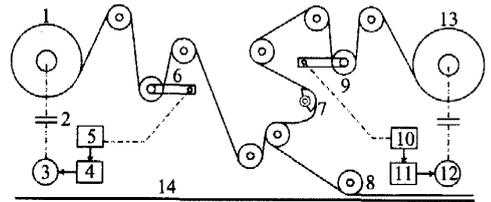
文献标识码:A

车牌半成品自动生产线系统包括以下工位:放卷、校直、清洗、烘干、贴膜和冲压.要在铝板上进行正常的贴膜操作,必须使反光膜卷保持恒定的张力.张力过大会造成膜卷的塑性变形或拉断,张力过小,不仅可能造成料膜跑偏,还使贴膜操作无法正常运行.由此可见,张力控制的效果直接关系到车牌半成品的质量,这就要求其控制过程必须可靠性高、控制适应性强、灵活性好.由于被控过程的非线性、高阶次、时变性以及受随机干扰等因素的影响,采用常规PID控制算法难以达到满意的效果.而模糊PID控制原理的本质特征决定了其在复杂控制系统中的地位,它运用模糊数学的基本原理和方法,把控制规则的条件和操作用模糊集表示,并把这些模糊控制规则以及相关信息存入计算机的“知识库”中.计算机根据控制系统的实际情况,运用模糊推理,即可自动实现对PID参数的最佳调整.本文将模糊PID自整定控制算法应用到车牌生产线张力控制系统,系统的运行效果达到了预期的设计要求.

1 张力控制系统的结构

反光膜卷张力控制系统的总体结构如图1所示.张力检测臂和与之相连的角度传感器(实质上为电位计)构成了一个间接张力检测系统,张力臂的位

置变化将间接体现张力的变化.放卷时,控制器根据张力检测电压值与平衡位置的给定电压值的偏差,控制交流伺服电动机经减速机构带动反光膜卷跟随铝带的牵引速度,实现放卷过程的恒张力控制.



1—底纸卷;2—传动机构;3—收纸变频电机;4,11—控制器;5,10—角度传感器;6,9—张力检测臂;7—反光膜导向;8—压膜胶辊;12—放卷伺服电机;13—反光膜卷;14—铝带

图1 反光膜卷张力控制系统示意图

Fig.1 Sketch map of the reflective film's tension control system

2 模糊PID控制器的设计

2.1 模糊PID控制原理

模糊PID控制的原理是找出PID的3个参数与系统偏差 E 和偏差变化率 E_c 之间的模糊关系,在系统运行中通过检测 E 和 E_c ,根据模糊控制原理对3个参数进行在线修改,以满足不同阶段的 E 和 E_c .对控制参数的不同要求,使被控对象有良好的

收稿日期:2006-04-20

作者简介:曾永荣(1981-),男,广东广州人,在读硕士.

动、静态特性。根据比例系数 K_P 、积分系数 K_I 和微分系数 K_D 对系统输出特性的影响,确定以下推理原则,获得模糊输出量 $\Delta K_P, \Delta K_I$ 和 ΔK_D ,用以分别整定 K_P, K_I 和 K_D 。

在张力调节过程的初期,偏差 E 最大,为加快系统的响应速度,并避免开始时误差瞬间变大可能引起的微分过饱和,而使控制作用超出许可范围,应取较大的 ΔK_P 和较小的 ΔK_D ,同时为避免系统响应出现较大的超调,应对积分作用加以限制。在调节过程中期,为使系统响应具有较小的超调,并保持张力的稳定, $\Delta K_P, \Delta K_I$ 和 ΔK_D 都不应取得过大,在这种情况下, ΔK_D 的取值对系统响应的影响较大。在调节过程后期,为提高张力输出的精度、减少静差,使系统具有较好的稳态性能, ΔK_I 和 ΔK_P 均应取大些;为避免系统在设定值附近出现振荡,并考虑系统的抗干扰性能,当误差变化较大时, ΔK_D 可取大些;当误差变化较小时, ΔK_D 应取小些。

对系统偏差 E 和偏差变化率 E_c 均定义了 7 个模糊子集:正大、正中、正小、零、负小、负中、负大,分别记作:PB,PM,PS,ZR,NS,NM 和 NB,其论域为 $[-6, +6]$,量化等级分为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。模糊输出量 ΔK_P 也定义了 7 个模糊子集: $\{NB, NM, NS, ZR, PS, PM, PB\}$,论域取为 $[-3, +3]$,量化等级分为 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$;输出量 ΔK_I 和 ΔK_D 均定义了 5 个模糊子集: $\{NB, NS, ZR, PS, PB\}$,论域取为 $[-2, +2]$,量化等级分为 $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ 。

根据上述原则所建立的 $\Delta K_P, \Delta K_I$ 和 ΔK_D 的推理规则,分别列于表 1、表 2 和表 3。

2.2 模糊 PID 控制器的结构

根据上述模糊 PID 控制原理,把图 1 中的控制器设计为模糊 PID 自整定控制器,其结构如图 2 所示。以张力检测电压值与平衡位置给定电压值的偏差 E 和偏差的变化率 E_c 作为控制器的二维输入量,经过模糊控制器按模糊推理规则处理,输出 $\Delta K_P, \Delta K_I$ 和 ΔK_D 用于整定 PID 参数。

2.3 模糊 PID 控制器的自适应校正

在控制器算法中,为在线整定方便,先获取被控对象的单位阶跃响应,然后利用 Z-N 公式求得 PID 初始优化值 K_{P0}, K_{I0} 和 K_{D0} ,依据此初始优化值,模糊控制器输出相应的 $\Delta K_P, \Delta K_I$ 和 ΔK_D 用于在线修正。PID 参数采用如下算法修正:

$$K_P = K_{P0} + a \times \Delta K_P \tag{1}$$

$$K_I = K_{I0} + b \times \Delta K_I \tag{2}$$

$$K_D = K_{D0} + c \times \Delta K_D \tag{3}$$

表 1 ΔK_P 的推理规则
Table 1 Inference rule of ΔK_P

E	E_c						
	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZR	ZR
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZR	ZR
NS	PM	PM	PM	PS	ZR	NS	NM
ZR	PM	PM	PM	ZR	NM	NB	NB
PS	PS	PS	ZR	NS	NM	NB	NB
PM	PS	ZR	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZR	ZR	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 ΔK_I 的推理规则
Table 2 Inference rule of ΔK_I

E	E_c						
	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NS	NS	NS	ZR	ZR
NM	NB	NB	NS	NS	NS	ZR	ZR
NS	NB	NS	NS	NS	ZR	PS	PS
ZR	NB	NS	ZR	ZR	PS	PB	PB
PS	NS	NS	ZR	PS	PS	PB	PB
PM	ZR	ZR	PS	PS	PS	PB	PB
PB	ZR	ZR	PS	PS	PB	PB	PB

表 3 ΔK_D 的推理规则
Table 3 Inference rule of ΔK_D

E	E_c						
	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NS	PS
NM	PS	NS	NB	NB	NS	NS	ZR
NS	ZR	NS	NB	NB	NS	NS	ZR
ZR	ZR	NS	NS	NS	NS	NS	ZR
PS	ZR	ZR	ZR	ZR	ZR	ZR	ZR
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PB	PS	PS	PS	PS	PB

式(1)~(3)中, a, b, c 为调整系数,根据不同对象选取。在线运行过程中,控制系统通过对模糊逻辑规则结果的处理、查表和运算,完成对 PID 参数的在线自校正,其工作流程如下:

入口 $\rightarrow K_{P0}, K_{I0}$ 和 $K_{D0} \rightarrow E(k) = r(k) - y(k) \rightarrow E_c(k) = E(k) - E(k-1) \rightarrow E(k-1) = E(k) \rightarrow E(k), E_c(k)$ 模糊化 \rightarrow 模糊整定 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D \rightarrow$ 计算当前 $K_P, K_I, K_D \rightarrow$ PID 控制器输出 \rightarrow 返回。

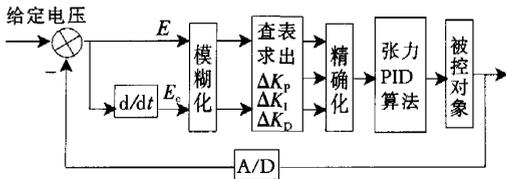


图 2 模糊自整定 PID 控制器结构

Fig. 2 Structure of the self-regulating fuzzy-pid controller

3 系统仿真

在忽略电参数,保留机械参数的条件下,将模糊

控制器的广义控制对象降阶并近似用二阶系统拟合.在试验条件下,获取广义对象的单位阶跃响应,由两点法测得其传递函数:

$$G(s) = \frac{k}{s(s+d)+w} \tag{4}$$

式(4)中, $k = 1.82 \sim 3.61$, $d = 0.0138 \sim 0.0507$, w 为反光膜卷宽度.

系统模型经过降阶简化和近似处理后,会对实际张力响应带来一定的偏差,但考虑到所忽略的电参数均较小,故偏差的影响不会太大.在 MATLAB 的 Simulink 环境下,对此广义对象模型进行模糊自整定 PID 控制的仿真研究,仿真结构图如图 3 所示.

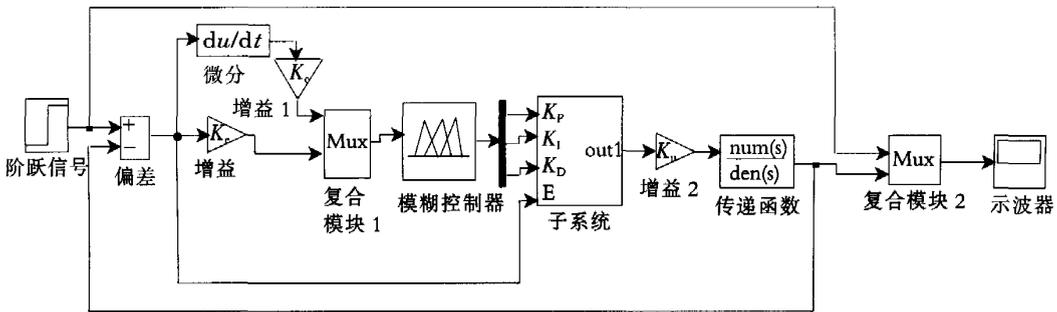


图 3 模糊自整定 PID 控制器仿真结构图

Fig. 3 Simulation block diagram of the self-regulating fuzzy-PID controller

图 4 是上述对象模型在单位阶跃信号激励下,用模糊 PID 控制(曲线 1)和 Z-N 公式整定的常规最佳 PID 控制(曲线 2)的阶跃响应和对阶跃扰动的抑制.将图 4 局部放大后,得到图 5.由图 5 可看出,在反光膜卷径最大时,采用模糊自整定 PID 控制,系统的过渡过程为 14 ms,较常规 PID 控制提前了 15 ms 达到

稳态(取 $\Delta=2$),而且此时系统最大超调量减少了 3%;在反光膜卷径最小时,采用模糊自整定 PID 控制,系统的过渡过程为 16 ms,较常规 PID 控制提前 4 ms 达到稳态(取 $\Delta=2$),此时系统最大超调量减少了 1%.由此可见,模糊参数自整定 PID 控制提高了系统的响应速度,能更有效地抑制系统噪声,降低超调量.

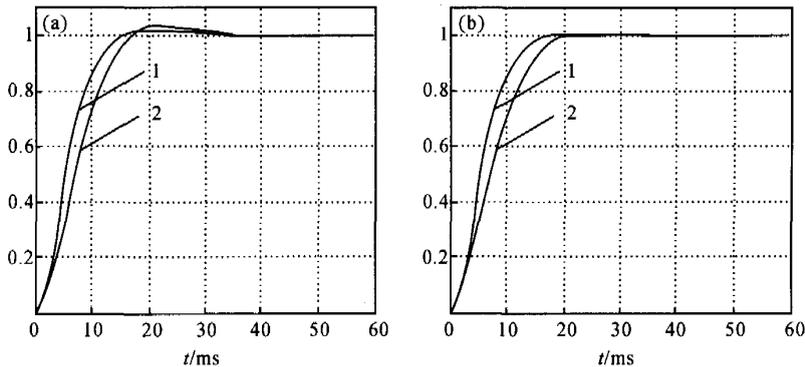


图 4 不同控制策略的系统阶跃响应仿真曲线比较

(a) 反光膜卷径最大时(对应于 k 最大); (b) 反光膜卷径最小时(对应于 k 最小)

Fig. 4 Simulation curve's comparison between the different algorithms

(a) the diameter is maximum; (b) the diameter is minimum

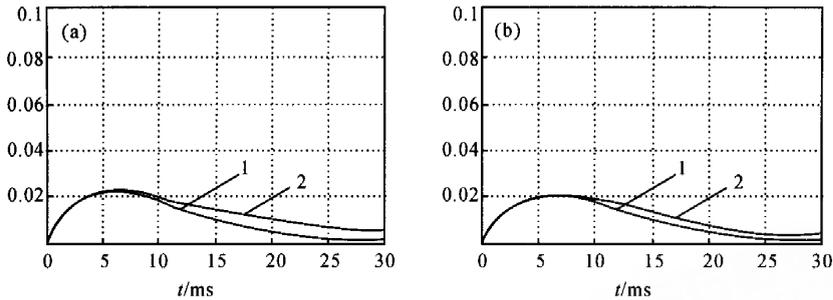


图5 局部放大后的系统阶跃响应仿真曲线比较

Fig. 5 Simulation curves comparison after magnifying the specific part

4 结 语

车牌半成品自动生产线已经投入使用,运行结果表明,由模糊自整定PID控制的反光膜卷的张力控制系统灵活性好,控制适应性强,张力波动小,连续贴膜的质量稳定。

参考文献:

- [1] 蔡自兴. 智能控制[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
 [2] 吴晓莉,林哲辉. MATLAB 辅助模糊系统设计[M]. 西

安:西安电子科技大学出版社,2002.

- [3] 王翔. 车牌半成品自动生产线的反光膜卷张力模糊控制研究及网络控制系统设计[D]. 广州:广东工业大学工学硕士学位论文,2004.
 [4] 孙华,肖志杰,甘朝晖. 卷取张力控制系统仿真[J]. 计算机仿真,2004,21(10):182-184.
 [5] 张金焕. PID控制系统和模糊自适应PID控制系统的研究及比较[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2005,27(5):286-290.
 [6] 唐武军. 双机架平整机中间张力控制系统的模糊控制[J]. 武钢技术,2004,42(5):34-37.

Application of fuzzy PID control algorithm in tensility control system of vehicle licence production line

ZENG Yong-rong, WANG Qin-ruo, YAN Xing-hua

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: This paper uses fuzzy PID control algorithm, which based on the changes rules of deviation E and deviation change rate E_c to achieve on line coordination of the tensility parameters in vehicle license production line, and establishes a fuzzy control monitoring system table. Then it uses simulation tool of MATLAB to have a simulating experiment. The results indicate that compared with traditional PID control algorithm, the fuzzy PID control algorithm has the advantages of good adaptability, convenient control, and good dynamic and static performance etc.

Key words: fuzzy PID control algorithm; tensility; on line coordination; simulation