

基于模糊PID参数自整定的温度系统控制方法

范新明

(盐城工学院 实验教学部, 江苏 盐城 224051)

摘要:对基于模糊PID参数自整定的温度系统控制方法进行了研究。为了构造生化分析仪,首先必须要建立温度系统模型。然后通过模糊PID参数自整定的方法对温度系统进行控制,最后给出模糊PID自整定控制算法的软件实现。实验结果表明,该方法具有良好的性能。

关键词:生化分析仪;模糊PID参数自整定;温度系统控制

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2008)03-0018-04

在生化分析仪系统中,检测时的化学反应大都需要酶的参与,而酶的活力受温度影响很大,在测量过程中需要边控温边测量,温度的变化影响化学反应的速度和结果,也影响仪器测量结果的准确性,所以要求生化分析仪具有高精度恒温控制系统,从而确保化学反应在恒定的温度下进行。

温度系统是维持比色皿温度恒定,由控制器输出控制信号来控制驱动电路使帕尔贴工作,使得比色皿温度发生变化,经检测、模数转换后送入单片机,控制算法根据检测值来调整驱动信号的大小,实现温度控制,其硬件如图1所示。

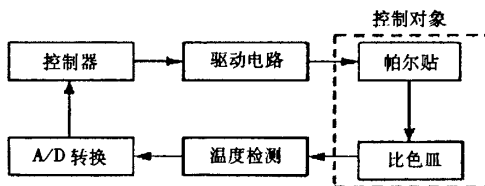


图1 温度控制系统硬件方框图

Fig. 1 The structure of temperature system

1 温度系统的模型

在仪器中帕尔贴和比色皿都具有延迟的特性,温度控制系统的模型把这两个器件作为一个整体来分析,其模型如下式所示。

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s}$$

式中 τ 为纯滞后时间。

从模型来看本温度系统是一个滞后系统,滞后系统的反馈性能可能引起系统不稳定。温度系统的延迟时间 τ 会随环境温度的改变而发生变化,常规PID控制可能不能实现对系统温度的精确控制。

2 模糊PID参数自整定控制器

PID控制器结构简单、工作稳定、鲁棒性强,但是对于静态与动态性能之间的矛盾、跟踪设定值与抑制振动之间的矛盾、鲁棒性与控制性能之间的矛盾等方面还没有得到很好的解决,为此通常不得不采用折衷的方法,使系统不能获得最佳的控制效果。模糊控制是一种智能控制方法,它将控制人员的控制经验用控制规则的形式表达出来,具有控制适应性、控制过程平滑等特点,但由于其本质上属于PD控制器,无法消除静态衰减。将两种控制方式结合起来,根据对PID控制器设计经验,利用模糊控制法,将PID控制参数的实时调整策略制定为模糊控制规则,实现PID控制器的在线参数实时调整。由此构成的模糊PID参数自整定控制器,实际上是对PID控制器进行了非线性处理,实现了系统特性变化与控制量之间的非线性映射关系,从而把PID控制与模糊控制的各自优点发挥出来,实现了一种性能更优良的新型智能控制器。图2为模糊PID参数自整定控制器的结构图。

收稿日期:2008-05-17

作者简介:范新明(1972-),男,江苏盐城人,讲师,苏州大学硕士研究生,主要研究方向为计算机应用研究。

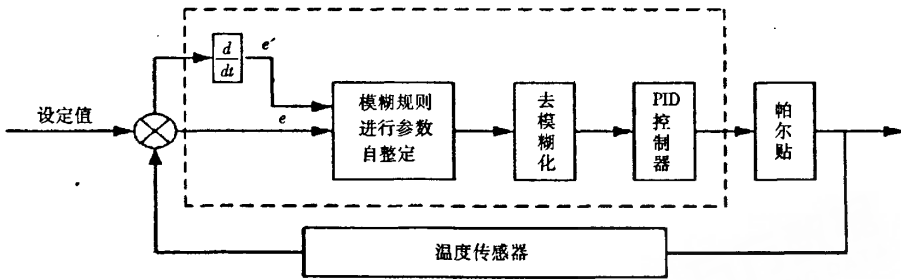


图2 模糊PID参数自整定控制器结构图
Fig.2 The structure of fuzzy self-tuning PID parameters

本模糊系统采用二维控制结构,温度的偏差 e 及偏差的变化 e_c 作为输入,控制器对其进行模糊化、模糊推理、解模糊后即可得到该时刻的 K_p, K_i, K_d ,实时调整控制器的PID参数。模糊PID参数自整定控制器主要是由控制规则库、模糊化、模糊推理、去模糊化4部分组成^[1]。

模糊PID参数自整定控制器是在PID参数预整定的基础上,利用模糊规则实时在线整定PID的3个参数,以实现对比色皿工作温度的优化控制。模糊PID参数自整定控制器的设计可以按以下3步完成^[2]。

2.1 控制系统模糊化

模糊控制器的输入、输出变量都是精确量,模糊推理是针对模糊量进行的,因此控制器首先要对输入量进行模糊化处理。在本课题所设计的模

糊PID参数自整定控制器中,输入输出的变量的语言值均分为11个语言值{负大,负较大,负中,负较小,负小,0,正小,正较小,正中,正较大,正大},用字母表示为{NB, NJB, NM, NJS, NS, 0, PS, PJS, PM, PJB, PB}。隶属度函数曲线形状较陡的模糊子集其输出变化比较剧烈,控制灵敏度也比较高;相反隶属度函数曲线形状较平缓,控制特性也较平缓,系统稳定性较好。因此,在选择模糊集的隶属函数时,在偏差较大的区域采用形状比较平缓的隶属函数,在偏差较小或接近于零附近的区域采用形状比较陡的隶属度函数。系统采用灵敏性强的三角形隶属函数,为增强系统的鲁棒性,在0值附近的函数形状取得更陡,具体的隶属度函数如图3所示。

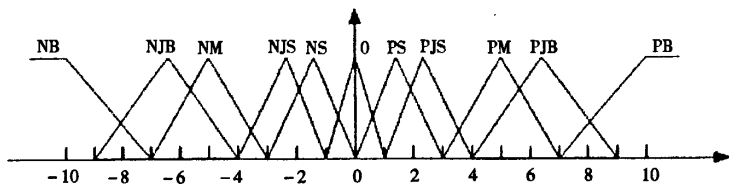


图3 隶属度函数
Fig.3 membership function

在生化分析仪温控系统中模糊PID参数自整定控制器量化因子的确定:

偏差的基本论域为:[0℃,40℃]

偏差变化的基本论域为:[-4℃,4℃]

以上各变量的论域均为[-10,-9,-8,-7,-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]

偏差和偏差变化的量化等级分别为10,则

偏差的量化因子为 $a_e = \frac{m}{e_c} = \frac{10}{40} = 0.25$

偏差变化的量化因子为 $a_{e_c} = \frac{m}{e_{ec}} = \frac{10}{4} = 2.5$

2.2 参数整定规则及模糊推理

PID参数的整定必须考虑到在不同时刻3个参数(P, I, D)的作用以及相互之间关系。根据参数 K_p, K_i, K_d 对系统输出特性的影响情况,在不同

$|e|$ 、 $|e_c|$ 被控过程对参数 K_p 、 K_i 和 K_d 的自整定要求可归结为:①当 $|e|$ 较大时,为使系统具有良好的发展跟踪性能,并避免因开始时偏差 e 的瞬间变大,可能引起微分饱和,使控制作用超出许可范围,因此应取较大的 K_p 和 K_d 较小的,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,通常取 $K_i=0$ 。②当 $|e|$ 和 $|e_c|$ 处于中等大小时,为使系统响应具有较小的超调, K_p 、 K_i 、 K_d ,都不能取大, K_i 应取得小些,在这种情况下, K_d 的取值,对系统响应的影响较大, K_p 的取值要适当。③当 $|e|$ 较小时,为使系统具有较好的稳态性能, K_p 和 K_i 均应增大些,同时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,应适当地选取 K_d 值,其原则是:当 $|e_c|$ 较小时,值可取大些;当 $|e_c|$ 较大时,值应取小些。

由 Mamdani 推理方法可知,对于其中任一规则,可以表达为:IF A and B THEN C,即 $R=A \times B$,得 $\mu_R(x,y)=\mu_A(x) \times \mu_B(y)$,根据实际情况得到 R 是一个 11×11 矩阵,再根据参数 K_p 、 K_i 和 K_d 对温度系统的控制作用,可以建立以下的模糊控制规则表^[3-4]。对输入的偏差 e 和偏差的变化 e_c ,在取得相应的语言值后,根据整定规则表,分别得出 3 个修正参数的模糊量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d ,将其分别乘以 3 个修正因子进行去模糊化,取得精确量,代入下式计算新的 K_p 、 K_i 、 K_d 。

$$K_p = K_{p0} + \{e, ec\} P = K_{p0} + \Delta K_p$$

$$K_i = K_{i0} + \{e, ec\} I = K_{i0} + \Delta K_i$$

$$K_d = K_{d0} + \{e, ec\} D = K_{d0} + \Delta K_d$$

这样就完成了模糊 PID 参数在线自整定。

2.3 用模糊 PID 参数自整定控制器算法得出控制量

模糊 PID 参数自整定控制器所整定的 3 个数要代入如下公式:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

但计算出的 $u(k)$ 并不是单片机能够直接输出的控制量,所以要进行转换。算出 $u(k)$ 的最大对应的占空比为 100%, $u(k)$ 的最小对应的占空比为 0,计算出单片机可编程计数器阵列 (PCA) 输出的 PWM 波形的占空比来控制帕尔贴的工作效能。

3 模糊 PID 自整定控制算法步骤

步骤 1:提取对象特征,初始化 PID 参数 K_{p0} 、 K_{i0} 和 K_{d0} 。

步骤 2:计算偏差值 $c(k)$ 和 $cc(k)$ 并将其模糊化。

步骤 3:提取温度采样值。查表修正 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_d ,并计算当前的 K_p 、 K_i 和 K_d 。

步骤 4:进行 PID 运算。

步骤 5:进行占空比计算。

步骤 6:限幅输出。

4 实验结果与分析

对帕尔贴元件的温度控制采用的是 PWM 方式,通过模糊算法得出的结果改变输出信号的占空比,由于 PWM 信号中高低电平所占比例不同,从而可以实现不同的模拟电压信号。模糊控制算法用的是查表法,查表法依赖于控制表,控制表是根据控制规则和推理方法所形成的输入量化值与输出量化值的关系表,为了实现对两变量控制表格的查找,将控制量值存为控制表。

表 1 控温系统温度实测值
Table 1 Value of temperature Control System

	s						
t	0	3	6	9	12	15	18
PID	16.10	23.74	33.27	39.79	39.51	36.19	38.20
模糊 PID	16.12	26.46	35.28	38.42	36.51	36.92	36.80
t	21	24	27	30	33	36	39
PID	37.09	36.40	37.27	37.20	37.08	37.10	37.08
模糊 PID	37.12	36.90	37.04	37.10	36.98	37.02	37.01

常规 PID 控制和模糊 PID 参数自整定控制在基本相同的环境下进行对比实验,表 1 是这两种控制方法实测温度记录表,其中时间零点是取温度开始发生变化的点,测温仪选用的精度为 0.01

℃,温度值每隔 3 s 记录一次,根据温度记录点在 Matlab 中应用样条插值方法得到图 4。

由图 4 分析可以得到:①常规 PID 控制的超调量为 9.6%,调节时间为 25 s,有振荡;②模糊

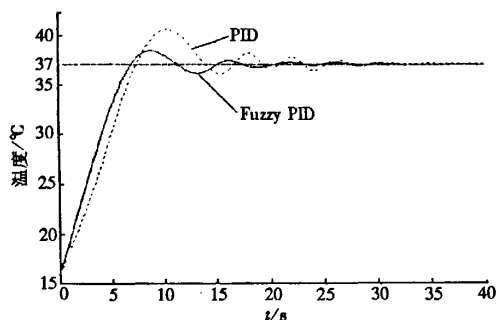


图4 实际使用中PID控制和模糊PID控制的比较

Fig.4 The comparison of the PID control and fuzzy PID control in practical application

PID 参数自整定控制的超调量为 3.8%, 调节时间为 18 s, 同样也存在振荡。

在实际实验中常规 PID 控制和模糊 PID 参数自整定控制都存在振荡, 而模糊 PID 参数自整定控制在仿真图中不存在振荡, 因为系统的实际模

型与仿真模型可能具有一些微小差别。从分析中可以看出模糊 PID 参数自整定控制器具有较小超调, 较少的调节时间, 较好的控温效果, 成功地控制比色皿温度在设定温度(37 ℃)下, 从实验中可以观察其温度波动范围小于 0.1 ℃, 满足了系统设计的要求。

4 结论

本文详细介绍了温度控制系统的控制算法设计, 包括了模糊 PID 参数自整定控制器和神经网络参数自学习 PID 控制器, 并仿真比较了常规 PID 控制器、模糊 PID 参数自整定控制器和神经网络参数自学习 PID 控制器的效果, 在实际设计中选择了性能居中且较容易实现的模糊 PID 参数自整定控制器, 给出了其算法步骤, 并与常规 PID 控制比较了实际使用的效果, 得出模糊 PID 参数自整定控制器具有良好的实际控制作用。

参考文献:

- [1] 周有平, 罗中良. 模糊 PID 自整定控制方法[J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2001, 19(1): 42-45.
- [2] Han-xiong Li, Lei Zhang, Kai-yuan Cai. An Improved Robust Fuzzy-PID Controller with Optimal Fuzzy Reasoning [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part B, 2005, 35(6): 1283-1294.
- [3] 李俊婷, 石文兰, 高楠. 参数自整定模糊 PID 在温度控制中的应用[J]. 无线电工程, 2007(7): 47-49.
- [4] 戴焰明, 周哲民. 基于参数模糊自整定 PID 温度控制系统[J]. 自动化与仪表, 2007(3): 65-68.

Control of Temperature System Based on Fuzzy Self-tuning PID Parameters

FAN Xin-ming

(Department of Experiment Teaching, Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: A study is made on control of temperature system based on Fuzzy self-tuning PID parameters. In order to construct biochemistry analyzer, first, model of temperature system is needed. Then temperature system is controlled by fuzzy self-tuning PID parameters. Last, algorithm of fuzzy self-tuning PID parameters is proposed in the paper. Experiments results indicate that the proposed method has good performance.

Keywords: biochemistry analyzer; Fuzzy self-tuning PID parameters; control of temperature system