

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.07.029

# 温控系统的智能优化方法研究与设计\*

李学忠<sup>1</sup>, 戴 钧<sup>1\*</sup>, 柳 毅<sup>2</sup>

(1. 杭州电子科技大学 计算机学院, 浙江 杭州 310018,  
2. 杭州电子科技大学 管理科学与信息工程研究所, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对传统 PID 温控系统存在的调节时间长、精度低的问题,对温控系统的控制算法、执行机构、反馈量等方面进行了研究,提出了一种温控系统的智能优化方法。采用增量式 PID 算法对执行机构进行控制,用遗传算法优化最小输出量,达到了平滑 PID 输出的效果。在控制过程中将最小输出量作为遗传因子,采用绝对误差的一阶矩型累加和的倒数为适应度函数,进行了最小输出量的在线优化及寻找最优解,减少了执行机构的振荡次数。设计了多线程控制方式,控制线程实现了控制逻辑,PID 线程实现了精确控制,优化了线程实现最小输出量的优化,通过 DITT 调度算法来协调多线程,提高了系统利用率。研究表明,该智能优化方法已成功地运用在炉温控制系统中,系统的动态性能得到了提高,增强了系统的快速性,达到了控制效果。

**关键词:**智能优化;PID;遗传算法;多线程;炉窑

中图分类号:TP 273.2

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)07-0955-04

## Research and design of intelligent optimization method on temperature control system

LI Xue-zhong<sup>1</sup>, DAI Jun<sup>1</sup>, LIU Yi<sup>2</sup>

(1. College of Computer, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China; 2. Institute of Management Science & Information Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at solving the problem of long adjustment time and low precision in traditional PID temperature control system, the control algorithm of the temperature control system, actuator and feedback quantity were reached, temperature control system of intelligent optimization method was proposed. The incremental PID algorithm was used to control the actuator. Genetic algorithm optimization was used for the minimum output, smooth PID output effect was achieved. In the process of PID control, the minimum output was used as the genetic factor, the reciprocal of integrated time absolute error was adopted. Thus minimum output on line was set and the oscillation frequency of the actuator was reduced. Multithreaded control mode was designed, control logic of control threading was realized, accuracy control of PID threading was achieved and optimization of parameter in optimizing threading was realized. By DITT scheduling algorithm, multithreading control was coordinated to improved the system utilization. The results indicate that intelligent optimization method is successfully used in the furnace temperature control system, improves the dynamic performance, enhances the rapidity of the system, ensures the control effect.

**Key words:** intelligent optimization; PID; genetic algorithm; multithreading; furnace

## 0 引 言

由于 PID 控制算法结构简单、易于实现,在温度控制系统中得到了广泛的应用,但是传统 PID 算法存在

调节时间长、精度低的问题<sup>[1-2]</sup>。针对该问题,温控系统中的 PID 算法的研究应用逐渐增多<sup>[3]</sup>。文献[4]提出了一种自适应温控算法,该算法采用模糊控制技术使控制过程可以随受控对象的变化而变化,但存在控

收稿日期:2014-03-03

基金项目:浙江省重点科技创新团队项目(2010R50008)

作者简介:李学忠(1988-),男,浙江瑞安人,主要从事嵌入式与智能控制方面的研究. E-mail:lixuezhong0904@163.com.

通信联系人:戴 钧,男,副教授,硕士生导师. E-mail:daijunhao@hotmail.com

制精度不高的问题。文献[5]提出了神经网络算法优化 PID 控制器的设计方案,然而神经网络法需要大样本训练,容易出现数值局部最优问题,并且智能优化算法会对执行机构进行频繁的控制,导致其振荡。同时,嵌入式系统中的智能算法会占用大量系统资源<sup>[6-7]</sup>,而完成基本逻辑控制之后依然有大量空闲时间未被利用<sup>[8]</sup>。

因此,本研究提出一种温控系统的智能优化方法,采用增量式 PID 控制算法精确控制执行机构,遗传算法优化 PID 的最小输出量,达到控制温度的效果;采用多线程控制方式,通过 DITT 调度算法,使控制线程、PID 线程与优化线程相互协调运行,充分利用 CPU 空闲时间。

## 1 智能优化算法

在温控系统中,执行机构的输出波动影响控制温度的稳定。系统采用增量式 PID 控制算法控制执行机构,并用遗传算法优化 PID 算法的最小输出量(比如比例阀的最小开度)<sup>[9]</sup>,使执行机构得到稳定控制,达到精确控制温度的效果,结构图如图 1 所示。

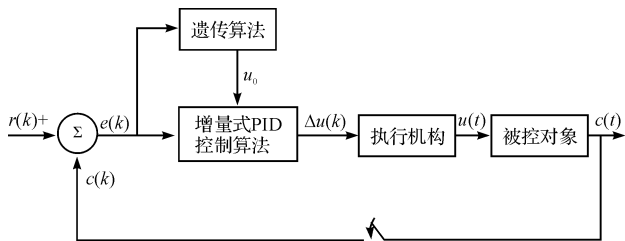


图 1 智能优化系统结构图

$r(k)$ —执行机构设定值, $e(k)$ —执行机构设定值和实际反馈值的差值, $u_0$ —增量式 PID 控制算法的最小输出量, $\Delta u'(k)$ —遗传算法再次优化后的执行机构增量, $u(t)$ —执行机构的实际输出开度, $c(t)$ —通过被控对象的实际值, $c(k)$ —实际值通过采样得到离散值

智能优化系统的控制规律为:

$$\Delta u(k) = \sum_{k=m}^k \{ K_p \Delta e(k) + K_I e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \} \quad (1)$$

$$\Delta u'(k) = \begin{cases} 0 & \text{当 } |\Delta u(k)| \leq |u_0| \text{ 时} \\ \Delta u(k) & \text{当 } |\Delta u(k)| > |u_0| \text{ 时} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ ;  $K_p$ —比例系数;  $K_I$ —积分系数;  $K_D$ —微分系数;  $\Delta u(k)$ —中间变量,累加 PID 的微小输出值;  $u_0$ —PID 算法的最小输出量。

比例系数主要决定系统响应速度,积分系数主要消除静态误差,微分系数减少系统调节时间,最小输出量主要是减少系统输出的振荡次数。

系统的智能优化算法分为两个部分:

第一部分是增量式 PID 控制算法,通过 PID 控制器产生控制量的增量  $\Delta u(k)$ ,具有自适应性强、鲁棒性高、算式不需要累加等优点。

第二部分是遗传算法,寻找最优的最小输出量  $u_0$ 。因为若  $u_0$  值太小,达不到控制效果,控制动作还是会比较频繁,达不到稳定被控对象的目的;若  $u_0$  值太大,则系统有时候会不动作,产生较大的滞后。因此,通过遗传算法在线寻找最优的最小输出量  $u_0$ ,能快速达到稳定,减少系统输出的振荡次数。

在遗传算法的操作过程中,以基因形式表示种群中的个体,本研究将 PID 的最小输出量  $u_0$  作为遗传算法中的个体。笔者通过二进制编码的方式,将  $u_0$  编码为有限长度的串,考虑在工程应用中需较大的整定与寻优空间和寻优精度<sup>[10]</sup>,采用 8 位无符号二进制码表示。根据  $u_0$  的范围,把  $u_0$  的值按比例转化为 0~255,再把十进制的值转化为 8 位无符号二进制进行编码。

系统对种群进行初始化,在一定范围内均匀产生初始种群,然后根据适应度函数进行优胜劣汰。适应度函数表明个体对环境适应能力的强弱,本研究选取绝对误差的一阶矩型累加和的倒数作为适应度函数:

$$f(k) = \frac{1}{\sum_0^{\infty} k \cdot |e(k)|} \quad (3)$$

复制过程中,系统把个体按照它们的适应度值进行复制。种群个体通过适应度函数得到一个适应度值,适应度值越大的个体,进行复制的概率越大,即在下一代个体中将有更多的机会产生子孙。在复制的操作过程中,本研究采用轮盘赌的方法,根据种群中每个个体适应度值的大小占据轮盘上的一定比例区域,随机转动轮盘,选择的个体产生一个子代。若子代的适应度值比父代的高,则子代替父代,保持父代中的个体数不变。

交叉操作是使子代能综合父代的长处,淘汰较差的个体。将新复制的种群进行随机两两分配,由函数 randband 产生的随机数来决定个体对应的二进制码的交叉段,交叉段内位置由随机函数产生的随机数来决定,再进行交叉繁殖得到一个新种群。

变异操作是以某一概率随机改变一个串位的值,通常变异的概率非常小。对于复制和交叉而言,该操作是相对次要的,只是为了防止丢失一些有用的遗传因子,寻找的结果是全局最优解而不是局部最优解。

## 2 多线程设计

在温控系统中,占用 CPU 资源较多的是 PID 控制

算法和遗传算法,尤其是遗传算法优化最小输出量非常消耗资源,有可能会占用过多的 CPU 资源,影响其他控制程序运行的实时性。

而 ePLC(embedded Programmable Logic Controller) 能将可编程控制器的开发方式应用于专用控制器上,具有软/硬件易扩展、高开发效率、高可靠性等特点。它的引擎内核是四级线程架构:微秒级线程、毫秒级线程、10 μs 级线程和秒级线程,优先级依次降低。因此,本研究提出利用多线程的策略解决该问题。

在温控系统中根据实时性要求的高低,创建控制线程、PID 线程和优化线程,依次分配毫秒级线程、10 μs 级线程和秒级线程。控制线程运行 I/O 的输入采集、输出控制、中断、定时器、计数器、DMA、内存读/写等程序;PID 线程采用 PID 控制算法控制执行机构;在整个循环周期中,当控制线程和 PID 线程结束后,运行优化线程,利用 CPU 空闲时间运行遗传算法优化最小输出量。

线程之间的调度算法采用动态中断和时间触发 (Dynamic Interrupt and Time Triggered, DITT) 调度算法<sup>[11]</sup>。线程调度工作原理如图 2 所示。每个线程都有一个优先级,以及反馈优先级,线程调度器选择两者中大者将任务分配到快速线程池、慢速线程池和优化线程池中。线程监视器不断监视时间触发调度器和定时中断抢占调度器,得出一个线程的反馈优先级,反馈给线程调度器,如此循环完成线程调度。如果检测到线程优先级改变则调用抢占式优先级调度算法改变线程所属线程池,继续循环工作。

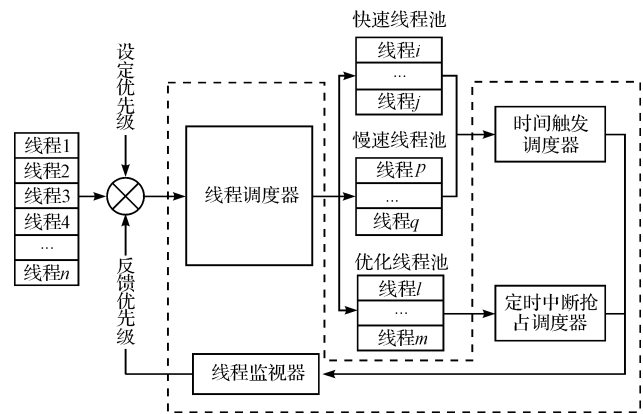


图 2 任务调度过程

### 3 系统应用案例

根据温控系统的智能优化方法,本研究设计了炉温控制系统,并在一家青瓷生产厂家投入使用。炉温控制系统的整体结构如图 3 所示。执行机构是比例阀,被控对象是炉窑,控制量是煤气压力。炉窑主控制

器通过输出 PWM 波控制比例阀开度,煤气的多少根据比例阀开度的大小调节,压力传感器采集目前的煤气压力(即煤气量的多少),然后供给炉窑,炉窑主控制器则把压力传感器采集到得煤气压力进行分析,采用智能优化算法对其优化,最终达到稳定控制温度的效果。

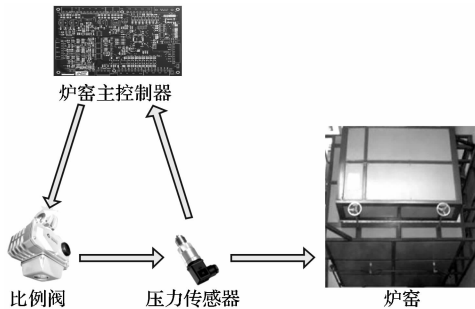


图 3 炉温控制系统整体结构图

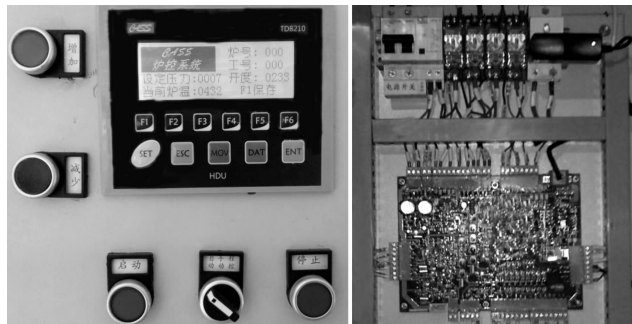
炉温控制系统的总体架构分为 3 层:硬件层、引擎驱动层和用户软件层。

(1) 硬件层。硬件层分模块设计,由电源模块、CPU 模块、输入模块、输出模块以及一些扩展模块组成。

(2) 引擎驱动层。类似于计算机的操作系统,引擎驱动层用于管理主控制器的资源,有序地控制对处理器、存储器、I/O 接口的分配,协调多线程同步运行。同时温控系统的驱动程序要运行在不同的硬件设备上,它是否可移植将直接决定其发展前景,一般在嵌入式系统的研发中,系统的移植、升级和扩展将占用开发人绝大部分时间。有了这个抽象层之后,操作系统使用起来就非常灵活,可以对不同的硬件系统采取一致的操作方法。如把该系统移植到了炉温控制系统中。

(3) 用户软件层。程序的编写使用 CASS 开发平台,采用梯形图编程语言进行开发。用户软件层完成用户编程需求,实现基本的逻辑控制,PID 控制算法、遗传算法等的调用。

完成的实物图如图 4 所示。炉温控制系统控制柜内部的实物图如图 4(a)所示,炉温控制系统的控制柜外部的实物图如图 4(b)所示。

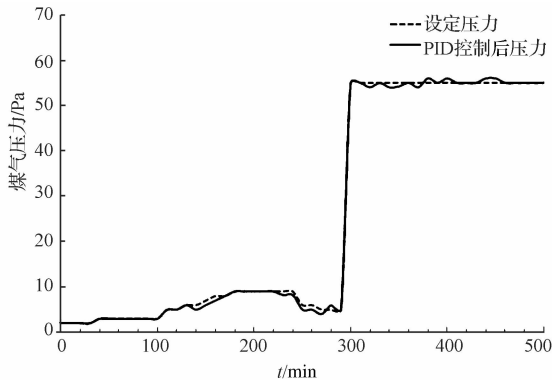


(a) 机柜外部 (b) 机柜内部

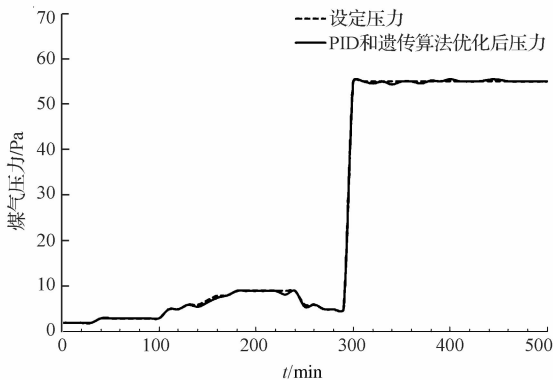
图 4 炉温控制系统控制柜

## 4 实验结果

本研究记录炉温控制系统的运行数据,压力曲线如图 5 所示。



(a) PID控制压力与设定压力曲线



(b) PID和遗传算法控制压力与设定压力曲线

图 5 压力曲线比较

本研究设置 PID 参数  $K_p = 0.05$ 、 $K_i = 0.01$ 、 $K_d = 0.001$ , 采样周期为 100 ms, 采用 PID 控制算法得到的压力曲线如图 5(a) 所示, 控制效果一般, 有些地方有小范围波动, 最大波动幅度为 1.2 Pa, 平均振荡的幅度为 0.985 Pa。产生波动的原因是煤气管道前端输入压力不稳定, 经过 PID 调节, 实际压力又调节到设定压力值。

在此基础上, 加入遗传算法, 设置群体大小为 40, 交叉概率为 0.85, 变异概率为 0.1, 最大迭代数为 150, 得到曲线如图 5(b) 所示, 相比图 5(a), 波动范围有明显改进, 最大波动幅度降为 0.7 Pa, 平均振荡的幅度为 0.475 Pa, 控制效果良好。通过压力控制后得到的温度呈现稳定上升的趋势, 烧制成的青瓷外表光泽透亮, 釉色均匀剔透。

## 5 结束语

根据 ePLC 的构架方式, 本研究提出了一种温控系统的智能优化方法。该方法采用增量式 PID 控制算法精确控制执行机构, 同时加入遗传算法优化 PID 的最小输出量, 达到了控制温度的效果; 通过设计多线程的协调工作, 实现了控制线程、PID 线程和优化线程同时运行, 充分利用了 CPU 的空闲时间。本研究已把该智能优化方法成功地运用在炉温控制系统中, 提高了动态性能, 增强了系统的快速性, 保证了控制效果的实现。

### 参考文献 (References):

- [1] ZANG Huai-quan, LI Qian. The Automatic Temperature system with Fuzzy Self-adaptive PID Control in Semiconductor laser [C]//International Conference on Automation and Logistics. Shangang: [s. n.], 2009:1691-1694.
- [2] 孙增圻, 张再兴, 邓志东. 智能控制理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [3] WANG Yu, YONG Li. On the Temperature Control of Micro-fermentation Tank Based on Single Neuron PID Algorithm [C]//25th Control and Decision Conference. Guiyang: [s. n.], 2013:436-439.
- [4] 林 燕, 薛钰芝, 周丽梅, 等. 高精度智能温控系统的实现 [J]. 控制工程, 2005, 512(3):273-276.
- [5] 刘 迪, 赵建华. 一种基于 BP 神经网络模型的自适应 PID 控制算法 [J]. 自动化技术与应用, 2008, 7(8):8-10.
- [6] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [7] 刘金琨. 先进 PID 控制 Matlab 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] LIU Zai-wen, DUAN Chang-ming, XV Ji-ping. Implement method of multithreading technique for distributive monitor and control network system [C]//The 26 th Chinese, Control Conference. Huam: [s. n.], 2007:441-445.
- [9] 王衍平. 单神经元 PID 算法在包装机温控系统中的应用 [J]. 包装与食品机械, 2013(3):69-72.
- [10] 牛芎洁, 王玉洁, 唐 剑. 基于遗传算法的 PID 控制器参数优化研究 [J]. 计算机仿真, 2010, 27(11):180-183.
- [11] 严 义, 胡峰令. 面向嵌入式 PLC 的调度算法 [J]. 计算机工程, 2009, 35(19):257-259.

[编辑:李 辉]

### 本文引用格式:

李学忠, 戴 钧, 柳 毅. 温控系统的智能优化方法研究与设计 [J]. 机电工程, 2014, 31(7):955-958.

LI Xue-zhong, DAI Jun, LIU Yi. Research and design of intelligent optimization method on temperature control system [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(7):955-958.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>