

采用改进 PID 算法的局部温控仿真

孙筠

(湖北第二师范学院 物理与机电工程学院, 湖北 武汉 430205)

摘要: 针对传统 PID 算法在进行温度控制时存在超调量和控制误差较大的问题,提出一种改进的 PID 算法,用于小区域局部温度控制.为了避免系统操作和外界环境噪声引起的干扰,引入一阶低通滤波器,与常规 PID 一起构成复合控制.同时,在控制调节过程中,加入积分限幅和微分分离操作,进一步优化控制效果.仿真实验表明:改进 PID 算法能有效避免噪声对控制过程的影响,控制误差较小,满足小区域局部温控的要求.

关键词: 局部温控;一阶低通滤波器;PID 算法;积分限幅;微分分离

中图分类号: TP 391.9

文献标志码: A

重点局部区域的温度精确控制在石化、冶金、医疗、通信等领域有着广泛的需求和应用^[1-2].温度控制方法主要包括智能和非智能两类.智能温控法包括神经网络算法^[3]、自适应模糊算法^[4]和大林算法等^[5].这类方法适合解决复杂非线性温控问题,但其普遍存在计算复杂度过高的缺陷,不利于实时控制.非智能法中最典型的是 PID 算法^[6-7].该算法原理简单,便于工程实现.但是,由于小范围局部温度存在时变性、滞后性和非线性等特点,加之受到控制精度等因素的限制,传统 PID 算法往往无法取得令人满意的控制效果.黄炎等^[8]提出将预测控制与传统 PID 控制相结合,有效提高了温度的控制精度,降低了超调量;王晓娜^[9]将人工免疫算法融入到经典 PID 算法中,有效改善了参数调节的过程,取得了响应时间和超调量之间的较好平衡.目前,改进算法几乎都将焦点集中于参数调节和控制过程,很少关注被控信号噪声对算法的影响,尤其是存在幅值较大的随机尖峰脉冲干扰时,这些改进算法的控制效果往往不佳.基于上述分析,本文提出一种改进的 PID 算法,用于局部小区域温度控制.

1 离散 PID 算法的温控原理

假设系统第 k 次输出值与期望值之间的偏差为 $e(k)$,则 PID 算法输入与输出之间的关系式为

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

式(1)中: K_p, K_i, K_d 分别为比例、积分、微分环节的比例系数; $u(k)$ 为控制器第 k 次输出值.

根据式(1)可以得到系统的传函为 $H(z) = \frac{Y(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + K_d(1-z^{-1})$.

PID 算法中的 3 个比例系数一般通过实验调整或专家经验设定.比例控制是反映最快的基础控制,当偏差信号出现时,比例控制就开始工作;积分控制主要用于消除控制过程的静差,降低超调量;微分控制则用于抑制系统产生误差,并控制调节速度.这 3 个环节协同操作,就可以达到控制温度的目的.

2 PID 算法的改进及其在局部温控中的应用

2.1 结合一阶低通滤波的复合控制

系统启停、突然制动等情况下,会出现幅值较大且作用时间极短的尖峰脉冲干扰,使输出值与期望

收稿日期: 2016-03-08

通信作者: 孙筠(1979-),女,讲师,博士,主要从事温度自动控制的研究. E-mail:sj625@126.com.

基金项目: 湖北省教育厅科研基金资助项目(B2015026)

值相差甚远,造成控制品质下降.因此,考虑在 PID 控制环节之前引入一个一阶低通滤波环节,从而有效地去除噪声.首先,对输入信号进行 N 次连续采样;然后,根据偏离程度对采样数据进行排序,将排在前两位的数据去除;最后,对剩余的 $N-2$ 个采样数据求平均.结合了一阶低通滤波环节以后的复合控制结构,如图 1 所示.

偏差信号 $e(k)$ 经过一阶低通滤波器处理后,表示为

$$e'(k) = (1 - \alpha)e'(k - 1) + \alpha e(k). \tag{2}$$

式(2)中: $e'(k)$ 为第 k 次采样滤波输出; $\alpha=1-\exp(-T/\tau)$, T 为采样周期, τ 为滤波器的时间常数.

对式(2)进行变换后,可得其传函为

$$G(z) = \frac{E'(z)}{E(z)} = \frac{\alpha z}{z + \alpha - 1}. \tag{3}$$

将滤波处理后的 $e'(k)$ 作为常规 PID 控制算法的输入,可以有效地降低外界噪声的影响.

2.2 积分限幅和微分分离

在局部区域温度控制过程中,升降温的控制和保持时间的长短是最为关键的因素.由于温度的非线性、时变性、多变量耦合性等特点,需要在控制过程中根据情况随时做出调整,为了实现自适应调整的目的,在常规 PID 算法中加入积分限幅和微分分离操作.

积分限幅的基本原理就是选择两个适当的阈值作为积分上下限,当积分控制项的输出超过设定范围时,用上下阈值代替积分输出值,从而有效避免 PID 控制器的深度饱和,即

$$u(k) = \begin{cases} u_{\max}, & u(k) \geq u_{\max}, \\ u_{\min}, & u(k) \leq u_{\min}. \end{cases} \tag{4}$$

式(4)中: $u(k)$ 为控制算法的第 n 次输出; u_{\max} 和 u_{\min} 分别为控制量输出上、下限.

微分控制主要用来消除系统偏差,但其同时会使控制器的调节时间变长,因此,并不是时刻都需要微分作用.微分分离的目的就是在常规 PID 的基础上,对微分项增加一个逻辑开关函数,即当系统偏差较大时,启动微分调节;否则,暂时取消微分作用.这样 PID 控制器的算式就变为

$$u(k) = K_p e'(k) + K_i \sum_{j=0}^k e'(j) + K_a K_d [e'(k) - e'(k - 1)]. \tag{5}$$

式(5)中:逻辑开关函数 K_a 为

$$K_a = \begin{cases} 1, & e(k) < 0 < e(k - 1) \text{ 或 } e(k - 1) < 0 < e(k), \\ 0, & \text{其他情况}. \end{cases}$$

2.3 改进 PID 温控算法的实现流程

对常规 PID 算法的改进主要有两个步骤:首先,引入了一阶低通滤波器,与常规 PID 算法一起构成复合控制,从而有效避免噪声的影响;其次,在控制过程中加入积分限幅和微分分离操作,有效改善 PID 调节过程.改进后的 PID 局部小区域温控算法的实现流程,如图 2 所示.

3 仿真实验与分析

为了验证文中所提改进 PID 算法的有效性,利用 Matlab 软件进行仿真实验.实验中,被控对象选择为石化生产过程中的酒精萃取提纯环节.由于不同温度下萃取得到的产物相差很大,因此,该环节对温度的控制精度要求很高.根据文献[10]可以得到一个该环节的化简模型,即

$$G(s) = \frac{346\ 200}{s^3 + 78.64s^2 + 11\ 065s}. \tag{6}$$

可见,酒精萃取提纯过程的温度变化具有强滞后性和时变

图 1 复合控制结构框图
Fig.1 Complex control block diagram

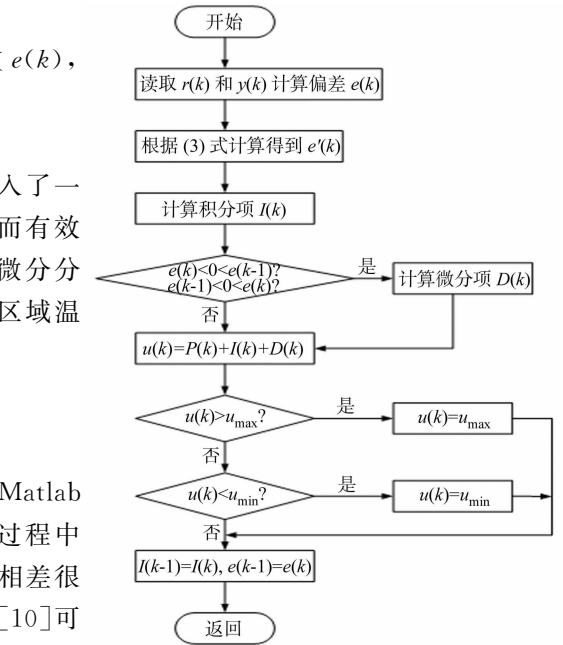


图 2 改进 PID 温控算法流程图
Fig.2 Improved PID temperature control algorithm flowchart

性,属于较难控的过程. 利用文中改进方法对该过程的温度变化进行控制,同时,为了充分验证算法,还与常规 PID 及文献[9]提出的方法进行比较. 其中,初始参数分别设定为 $K_p=35,K_i=0.033,K_d=10$. 选取负荷为 30%和 80%两种情况,在阶跃激励下的仿真结果,如图 3 所示.

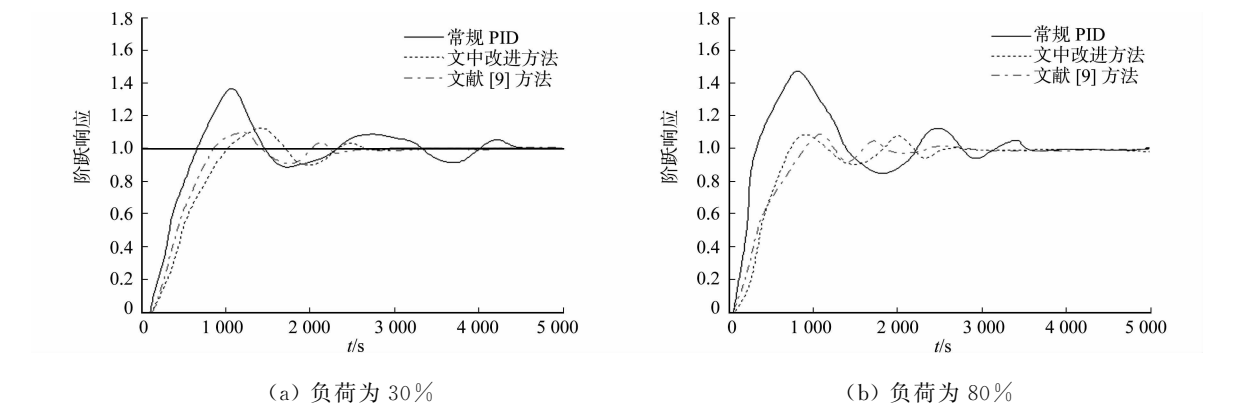


图 3 不含噪声时的仿真结果

Fig. 3 Simulation results without noise

由图 3 可知:在输入数据不含噪声的情况下,无论是负荷较大还是较小时,文中所提改进 PID 算法的控制效果都要明显好于常规 PID 算法,而与文献[7]方法的效果基本相同.

为了进一步验证文中所提算法的优越性,在输入数据中加入幅值为 0.04 的随机干扰信号,采用的一阶低通滤波器为

$$Q(s) = 1/(0.04s + 1).$$

(7)

同样还是在负荷为 30%和 80%时进行实验,结果如图 4 所示.

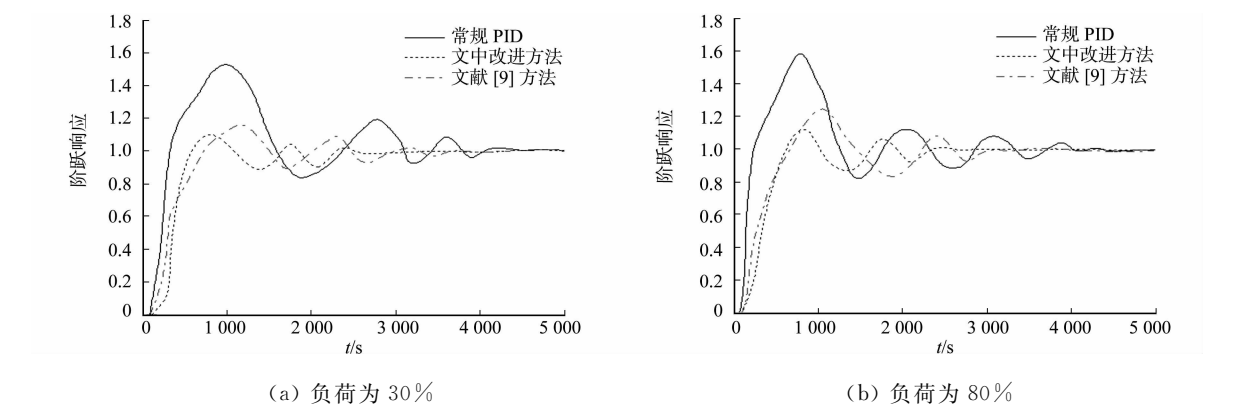


图 4 含噪声时的仿真结果

Fig. 4 Simulation results with noise

在有噪声和无噪声时,分别进行 20 次独立重复实验,重点考察延迟时间(t_L)、过渡时间(t_T)、超调量(η)和控制误差($\Delta\theta$),结果如表 1 所示. 表 1 中:数据都为 20 次实验的平均结果.

表 1 多次重复实验结果

Tab. 1 Repeated experiment results

| 算法 | t_L/s | | t_T/s | | $\eta/\%$ | | $\Delta\theta/^{\circ}C$ | |
|---------|---------|-----|---------|-------|-----------|-----|--------------------------|------|
| | 无噪声 | 有噪声 | 无噪声 | 有噪声 | 无噪声 | 有噪声 | 无噪声 | 有噪声 |
| 常规 PID | 102 | 105 | 3 500 | 4 000 | 38 | 44 | 0.80 | 1.20 |
| 文中改进方法 | 84 | 85 | 2 200 | 2 500 | 9 | 10 | 0.30 | 0.34 |
| 文献[9]方法 | 80 | 82 | 2 000 | 2 850 | 8 | 13 | 0.28 | 0.52 |

由表 1 可知:无论在哪种情况下,常规 PID 的控制效果最差;文中改进方法和文献[9]方法在无噪声时,4 个考察指标基本相差不多;而在有噪声干扰时,文献[9]方法的控制效果明显变差,尤其是超调量和控制误差都有所上升,文中改进方法由于考虑了滤波处理,因此,控制效果无明显变化. 总体来看,文中所提改进 PID 算法对小区域局部温度的精确控制具有较好的性能.

4 结 束 语

由于温度的非线性、时变性、滞后性等特点,小区域局部的精确温控一直是个难点.在以往研究的基础上,文中提出了一种改进的 PID 算法用于小区域局部温度控制.首先,为了避免系统操作和外界环境噪声所产生的干扰,引入了一阶低通滤波器,与常规 PID 一起构成复合控制;其次,为了优化控制调节过程,加入了积分限幅和微分离操作,进一步提升了控制精度和系统稳定性.仿真实验结果表明:文中所提算法在有噪声和无噪声时都具有较好的控制效果,非常适合于小区域局部的精确温度控制.

参考文献:

[1] 赵东世,凌朝东,黄炜炜,等.一种新型实时时钟芯片温度误差补偿方法[J].华侨大学学报(自然科学版),2011,32(4):478-480.

[2] JING Xiangyang,LIU Xinghong,ZHOU Wei,et al.Real-time temperature control for high arch dam based on decision support system[J].Transactions of Tianjin University,2014,20(2):118-125.

[3] 李界家,李晓峰,片锦香.基于改进 PSO 和模糊 RBF 神经网络的退火炉温控控制[J].南京理工大学学报(自然科学版),2014,38(3):337-341.

[4] 许博文.基于自适应模糊 PID 算法的窑筒体红外测温与制冷的精确控制[J].红外,2014,35(3):12-16.

[5] LI Keliu,WANG Kai,WANG Jun,et al.An intelligent control method for a large multi-parameter environmental simulation cabin[J].Chinese Journal of Aeronautics,2013,26(6):1360-1369.

[6] 李建海,张大为,张凯,等.数字 PID 控制器在温度控制系统中的应用[J].电子测量技术,2009,32(4):100-103.

[7] 刘迪,谭春亮,李建海,等.基于数字 PID 和 89C52 单片机的温度控制系统[J].电子设计工程,2010,18(4):28-30.

[8] 黄炎,邵宇鹰,邓丽,等.改进的 PID 算法在加热炉温度控制中的应用[J].自动化仪表,2014,35(5):69-71.

[9] 王晓娜.基于改进 PID 的恒温控制软件设计与实现[J].计算机仿真,2015,32(4):371-375.

[10] 孙宜标,王杰,王丽梅.永磁直线电机离散 PID 神经网络重复控制[J].电气自动化,2014,36(5):15-17.

[11] 杨世忠,任庆昌.变风量空调静压的鲁棒 PID 控制[J].控制工程,2013,20(6):1176-1180.

[12] ESKANDARIA M,SAMAVATI V.Sono-assisted extraction of alcohol-insoluble extract from Althaeae rosea: Purification and chemical analysis[J].International Journal of Biological Macromolecules,2015,72(8):347-355.

Simulation Research of Local Temperature Control
Using Improved PID Algorithm

SUN Jun

(School of Physics and Mechanical and Electrical Engineering, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)

Abstract: For the problem that the overshoot and large control error existing in the temperature control when using the traditional PID algorithm, an improved PID algorithm for small local temperature control is proposed. To avoid the interference caused by system operations and the external environment noise, a first-order low-pass filter is introduced and is constructed compound control together with conventional PID. At the same time, in order to further optimize the control performance, the integral limiter and differential separation are added in the control and regulation process. The simulation results show that the improved PID algorithm can effectively avoid the effect of noise on the control process. The control error is small, and can meet the requirements of the local temperature control in small regions.

Keywords: local temperature control; first-order low-pass filter; PID algorithm; integral limiter; differential separation

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:吴逢铁)