

模糊 PID 技术在焚烧系统中的研究与应用^①

孙元军, 蒋念平

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 复杂控制系统由于其非线性、滞后和参数时变性的特点, 传统的 PID 控制技术难以获得满意的控制效果。以焚烧这一典型复杂控制系统为例, 结合模糊控制理论, 提出模糊 PID 控制技术, 并利用 MATLAB 进行仿真。结果表明, 模糊 PID 具有超调量小、稳定性好和适应性强等特点, 达到预期的控制效果。

关键词: 模糊控制; PID; 焚烧炉; 仿真

Research and Application of Fuzzy PID Control in the Burn System

SUN Yuan-Jun, JIANG Nian-Ping

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Complex control systems have nonlinearity hysteresis and their parameters are time-varying, because of which the traditional PID control is difficult to obtain satisfactory control results. This paper takes the incineration of the complex control system as an example. With Fuzzy control theory, it proposes fuzzy PID control, and uses matlab simulation tools. It has a small overshoot, good stability and strong adaptability, and achieves the desired control effect.

Key words: fuzzy control; pid; incinerator; simulation

传统的控制器结构简单, 具有一定的鲁棒性, 无稳态误差, 控制精度较高, 能满足大多数工业控制的要求, 因此长期以来被广泛的应用于工业过程控制。但对于一些非线性、多输入、参数时变和模型不确定性的复杂控制系统来说, 普通的控制器难以获得令人满意的控制效果。

为了克服传统的控制器的缺点, 本文以焚烧炉燃烧过程这一典型的复杂控制系统为例, 结合传统的控制器, 运用模糊控制理论, 设计在线自整定模糊控制器, 取得了良好的控制效果。

1 传统的PID控制器的基本原理

常规的 PID 控制器的基本原理是: 根据给定值与实际值构成控制器偏差, 对偏差进行比例、积分和微分运算, 将三种运算的结果相加, 就得到 PID 控制器的控制输出, 在连续时间域中, PID 控制器算法的表

达式为:

$$\mu_{(t)} = k_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

式中, k_p : 比例系数; T_i : 积分时间常数; T_d : 微分时间常数。

简单来说, PID 控制器各校正环节的作用如下:

1. 比例环节: 成比例地反映控制系统的偏差信号 $e(t)$, 偏差一旦产生, 控制器立即产生控制作用, 以减少偏差。

2. 积分环节: 主要用于消除静差, 提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 T_i , T_i 越大, 积分作用越弱, 反之越强。

3. 微分环节: 反映偏差信号的变化趋势(变化速率), 并能在偏差信号变得太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度,

^① 收稿时间:2011-03-22;收到修改稿时间:2011-04-14

减少调节时间。

比例系数 k_p 的作用在于加快系统的响应速度, 提高系统的调节精度, k_p 越大, 响应速度越快, 调节精度越高, 但过大将产生超调, 设置导致系统不稳定。积分系数 T_i 的作用在于消除系统的稳态误差, T_i 越大, 静差消除越快, 但大会产生积分饱和而引起较大的超调。微分系数 T_d 影响系统的动态特性, T_d 越大, 越能抑制偏差变化, 但过大会延长调节时间, 降低抗干扰能力^[1]。

根据以上三个元素对控制系统输出特性的影响, 总结出在控制过程中不同的偏差和偏差变化率, 三个元素的自整定原则:

- (1) 起始阶段由于误差较大, 应选取较小的 k_e 、 k_{ec} , 较大的 k_p , 以提高系统的响应速度。
- (2) 当在控制过程中, 偏差处于中等大小时, 为保证系统较好的稳定性, k_p 的值应当取小一些, 因为此时 k_p 的值对整个系统影响很大, T_i 的值要适当。
- (3) 当误差较小时, k_e 、 k_{ec} 的值应逐步增大, k_p 应逐渐减小, 以保证控制系统的控制精度。

根据实际控制系统的要求, 结合目前的 PID 控制方法, 对一些智能 PID 控制和专家控制系统及其应用的环境和现实的可行性进行分析, 模糊 PID 技术在控制要求、运行环境和可行性等实际方面, 自整定模糊 PID 控制系统更容易实现, 而且完全可以达到控制系统的要求。

2 变量的隶属度函数

根据以上三个变量的要求, 设计自整定模糊 PID 控制系统^[2], 以误差 $e(t)$ 和误差变化率 $\frac{de}{dt}$ 作为输入, 以修正后的 Δk_p 、 Δk_i 和 Δk_d 作为输出。

取输入 $e(t)$ 的模糊子集为 {NB,NM,NMS,NS,ZR,PS,PMS,PM,PB}, $\frac{de}{dt}$ 的模糊子集 {NB,NMB,NM,NS,ZR,PS,PM,PMB,PB}, 输出 Δk_p 的模糊子集 {NB,NMB,NM,NMS,NS,ZR,PS,PMS,PM,PMB,PB}, Δk_i 的模糊子集 {NB,NM,NS,ZRN,ZRP,PS,PM,PB}, Δk_d 的模糊子集为 {NB,NMB,NM,NMS,NS,ZR,PS,PMS,PMPMB, PB}。子集中元素分别代表负大, 负中, 负中小, 负小, 零, 正小, 正中小, 正中, 正大。其论域为[-5,5]。

在模糊逻辑工具箱的隶属度函数编辑器中^[3], 输入量隶属度函数为高斯型, 输出为三角形, 如图 1 所示:

另一输入量 $\frac{de}{dt}$ 和 $e(t)$ 有类似的隶属度函数, T_i 、 T_d 也与 k_p 有类似的隶属度函数。

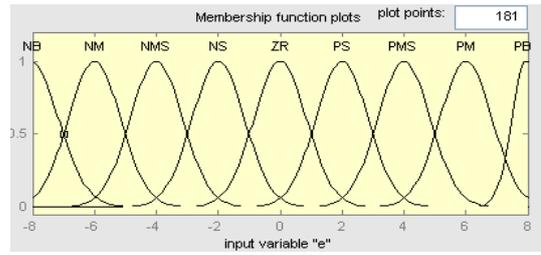


图 1 输入 $e(t)$ 、 k_p 的隶属度函数

3 PID参数自整定模糊控制器

根据 PID 的结构和对控制系统的要求, 设计以下结构的控制器, 如图 2 所示:

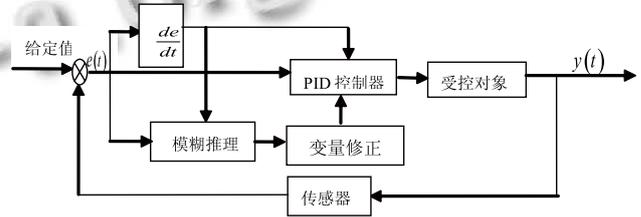


图 2 模糊 PID 控制系统结构

由以上三个变量的模糊子集及其隶属度函数, 以及对 PID 的、和参数的控制原则, 可得到如下的共 81 条控制规则:

- 1.If(e is NB)and(is B) then (is PS)(is NB)(is PB)(1)
- 2.If(e is NM)and(is NM) then (is PMS)(is NM)(is ZR)(1)
- 3.If(e is NMS)and(is NB) then (is PMS)(is NB)(is PB)(1)
- 4.If(e is NS)and(is NMB) then (is PS)(is NB)(is PMB)(1)
- 5.If(e is ZR)and(is NM) then (is PMS)(is ZRM)(is ZR)(1)
- 6.If(e is PS)and(is NB) then (is PMS)(is NS)(is PB)(1)
- 7.If(e is PMS)and(is NMB) then (is PS)(is ZRN)(is PMB)(1)
- 8.If(e is PM)and(is NMB) then (is PMS)(is NB)(is PMB)(1)
- 9.If(e is PB)and(is NM) then (is PMS)(is PS)(is ZR)(1)
- ...

打开 Matlab 的曲面观测窗口^[4], 可以看到三个变量分别在论域上的输出曲面图 2 所示:

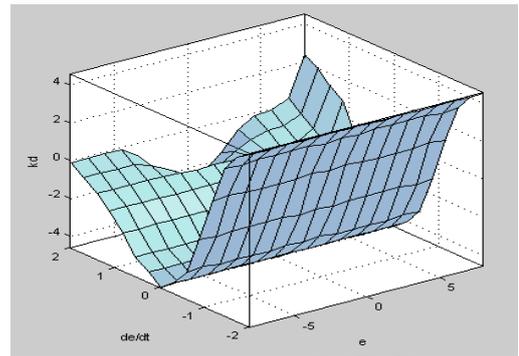
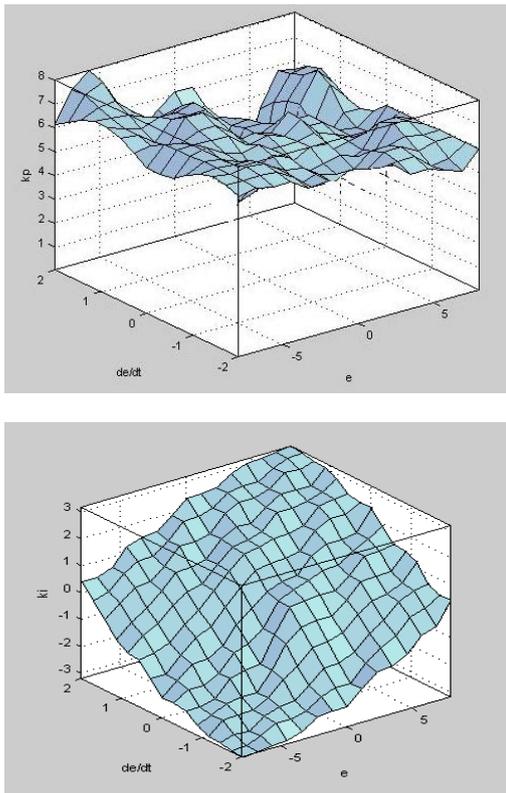


图 2 k_p 、 T_i 和 T_d 分别在论域上的输出曲面

4 仿真及应用

在 Matlab/Simulink 环境中^[5]，建立燃烧系统的自适应模糊控制仿真模型，由于工业过程控制可用二阶惯性环节加纯滞后来表示，因此本文选选择的仿真数学模型的传递函数 $G(s) = \frac{e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$ ， $T_1 = 4$ ， $T_2 = 2$ ， $\tau = 0.3$ ， $k_e = k_{ec} = 0.01$ ，PID 的初始值 $k_p = 6$ ， $T_i = 0.8$ ， $T_d = 3$ 。如下图 3 所示，进行仿真实验。

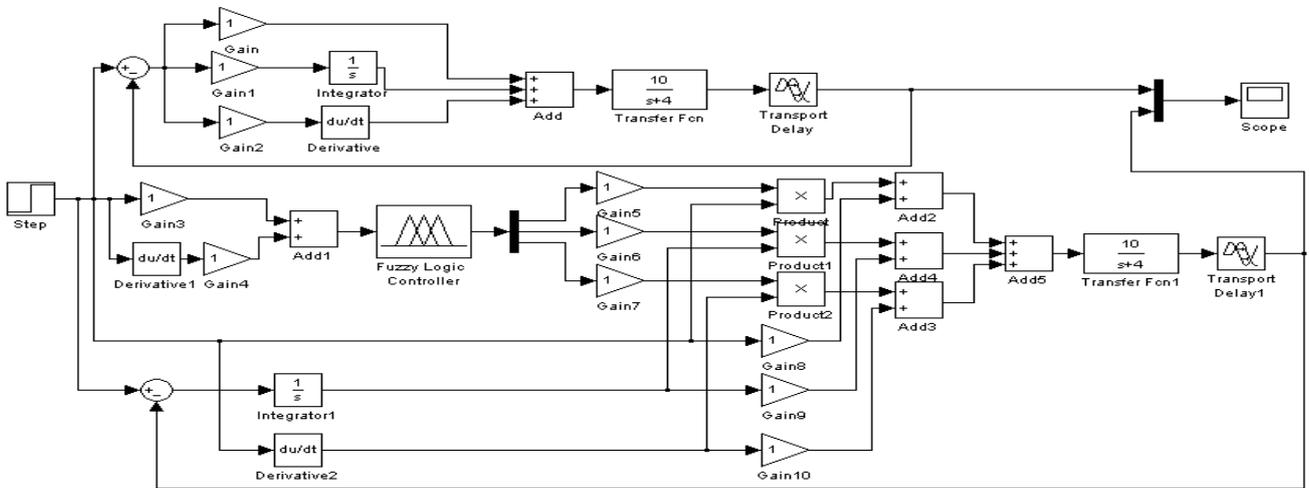


图 3 基于自适应模糊控制的仿真模型

对采用常规 PID 控制和自适应模糊控制的 PID 燃烧控制系统进行仿真对比试验，其仿真结果如图 4 所示。

仿真结果分析：自适应模糊控制 PID 控制系统的超调量明显减少，振荡减小，抗干扰能力强，达到稳定状态的时间明显缩短，从而系统的稳定性明

显增强。

仿真结果表明，采用模糊自整定 PID 控制系统，相比于常规 PID 控制，在给定的输入信号下，可以使系统具有更好的性能，可以达到较好的控制效果。

(下转第 138 页)

编号按序编号,从1到N。根据网络的结构,将单灯的节点号和单灯的网络节点地址联系起来。为了准确而快速地对网络中的各个节点状态进行控制和采集,系统主要使用两个机制来进行网络的控制。

(1) 命令转发机制

网络中各个节点只对收到的命令帧进行转发,对帧的内容不做修改。每个节点通过一个位示图结构来记录哪些帧已经被转发。节点接收到帧数据后根据帧号将该缓冲区的相应位置位,同时转发。如果节点接收到帧后判断该帧已经被该节点转发,即相应位已经被置1则丢弃该帧,从而保证以最快的速度控制一条线路。

对于向某个指定节点发送命令,节点接收到帧后,将自己的节点号与接收到的帧中的节点号对比,如果大于则丢弃该帧,否则转发。这样可使网络中数据帧传输有序化,有效避免网络堵塞。

(2) 状态返回机制

目前只针对单个节点状态返回机制,发送指定命令帧后,指定节点接收到该命令后立即返回状态。只有节点号比目标节点号小时才转发状态,直到主节点接收到状态。状态返回机制和命令转发机制的执行过程相反。

5 结语

在苏州科技园的某条道路上对20个景观灯搭了所设计的系统进行了测试,经实际运行,该系统可以良好地完成预期的效果。ZigBee网络对单灯的控制以及取单灯状态指令的响应速度很快,发生数据丢帧的情况极少,且该网络还可以继续扩展。此外,虽然该ZigBee网络是以照明监控系统为依托的,但为类似的无线网络系统提供了很好的参考,具有很好的实际应用价值。

参考文献

- 1 李战明,刘宝.Zigbee 传感器网络在路灯远程监控系统中的应用.微计算机应用,2009,12(2):17-20.
- 2 瞿雷,刘盛德,胡咸斌.ZigBee 技术及应用.北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- 3 Sun J, Wang ZX, Wang H, Zhang XF. Research on Routing Protocols Based on ZigBee Network. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2007,639-642.
- 4 Shang T, Wu W, Liu XD, Liu JW. AODVjr Routing Protocol with Multiple Feedback Policy for ZigBee Network. Consumer. Electronics, 2009. ISCE2009. IEEE 13th International Symposium on. 2009, 483-487.

(上接第141页)

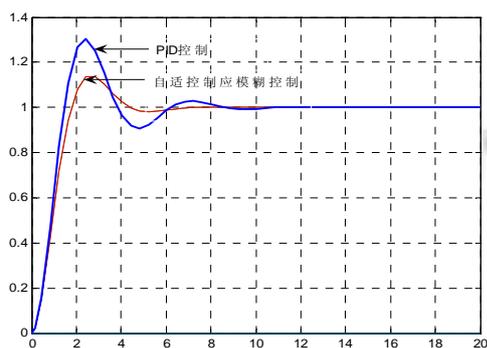


图4 PID控制和自适应模糊控制的仿真曲线

5 结语

为了适应焚烧炉的燃烧过程具有非线性、参数时变等特性,抑制外界变化和本身不确定性等因素的影响,本文提出了自适应PID模糊控制方案,算法简单,易于实现,通过在线实时最优调整控制器的量化因子

和比例因子,提高了系统的响应速度和稳态精度。经过仿真和应用表明,与常规的PID控制相比,基于自适应模糊控制的调节器具有使系统更好的性能,不但满足了焚烧安全稳定的要求,而且能动态适应热值变化,是一种有效的控制方法。

参考文献

- 1 胡寿松.自动控制原理.北京:科学出版社,2000.77-132.
- 2 张恩勤,施颂椒.模糊控制与PID控制方法的比较.上海交通大学学报,1999,33(2):32-35.
- 3 窦振中.模糊逻辑控制技术及其在应用.北京:北京航空航天大学出版社,1995.32-79.
- 4 欧阳黎明.MATLAB 控制系统设计.北京:国防工业出版社,2001.42-90.
- 5 刘金锴.先进PID控制MATLAB仿真.北京:电子工业出版社,2004.98-129.