

模糊自适应 Smith 预估控制及其应用*

刘欣

尹绍清 肖顺达

(邮电部第四研究所·西安, 710056) (西北工业大学九系·西安, 710072)

摘要: 为了改善具有时变及大纯滞后系统的控制品质, 本文提出了一种模糊自适应 Smith 预估控制方法. 此方法将模糊控制、自适应及 Smith 预估控制之长处综合在一起, 在一定程度上弥补了上述三者各自的不足. 通过仿真和在窑温控制中实时运行, 取得了满意的效果.

关键词: 模糊控制; 自适应 Smith 预估; 窑温; 单片机

1 前言

对具有参数时变、非线性及大纯滞后的系统, 模糊控制, 自适应控制及 Smith 预估控制是常被采用的控制方法. 特别是模糊控制, 近几年已被许多实践证明, 其在许多场合优于传统的 PID 控制. 模糊控制的稳定性已在实践中和初步在理论上得到了证明, 从而使人们增强了应用模糊控制方法的信心. 但是, 上述三种控制方法又各自存在一定的缺陷. 常规模糊控制一般设置 3~4 个固定比例系数和一张固定控制数表, 运行中根据误差和误差变化率的大小, 通过查表而得到控制量. 虽然它对对象时变及纯滞后有一定的适应性, 但范围有限, 控制精度不够高. 自适应控制适应对象时变性较强, 但一般要求实时识别对象的数学模型, 或解决系统状态重构问题, 这在精度要求和微处理器实现上有困难. Smith 预估方法原则上可以改善大纯滞后系统的控制品质, 但需要精确的预估模型, 否则将带来较大的控制误差. 因此, 本文提出了一种简单易行, 适应性较强的控制方法——模糊自适应 Smith 预估控制 (简称 FASC). 为提高控制精度和动态品质, 本文还用参数自调整模糊控制器取代常规模糊控制器. 这样, 将模糊控制、自适应及 Smith 预估控制的长处综合在一起, 可用于控制具有时变、非线性及大纯滞后的工业过程.

2 FASC 系统及仿真结果

2.1 FASC 系统组成及工作原理

系统组成如图 1 所示.

图中 $G_P(s) = K_P e^{-\tau s} / Q_P(s)$ 为被控对象传递函数, $G_m(s) = K_m e^{-\tau_m s} / Q_m(s)$ 为预估模型. 模糊控制器可用一个实函数 $X = f[e(t), \dot{e}(t)]$ 来描述^[1]. 为叙述方便, 假定在其输入输出的一定范围内可以用 $F(s) = X(s) / E(s)$ 表述其性能函数. 又由图 1 知

$$Y_d(s) = Y(s) / Y_m(s) = K_P Q_m(s) e^{-\tau s} / K_m Q_P(s) e^{-\tau_m s}, \quad (1)$$

$$Y_X(s) = X_m(s) Y_d(s) = K_P U(s) e^{-(\tau - \tau_m)s} / Q_P(s). \quad (2)$$

由 (2) 式知, 当 τ 与 τ_m 接近时, $Y(s)$ 中的滞后因子 $(\tau - \tau_m)$ 就较小, 由于系统的反馈信

* 国家自然科学基金资助项目.

本文于1991年12月9日收到. 1992年7月27日收到修改稿.

量累加的速度。

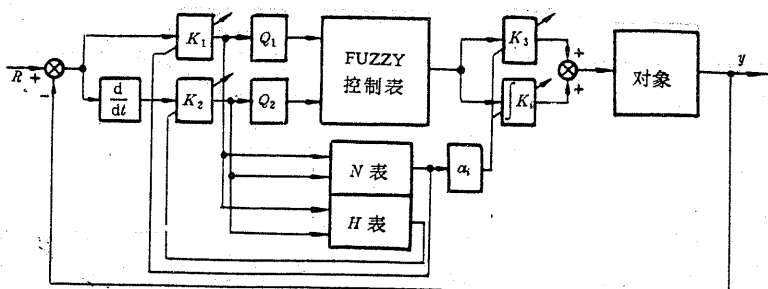


图 2 参数自调整模糊控制系统组成原理图

K_1 和 K_3, K_i 的调整原则是

$$\begin{aligned} |e(k)| \uparrow &\rightarrow K_1 \downarrow \rightarrow K_3 \uparrow \rightarrow K_i \uparrow, \\ |e(k)| \downarrow &\rightarrow K_1 \uparrow \rightarrow K_3 \downarrow \rightarrow K_i \downarrow. \end{aligned} \quad (7)$$

用一组 Fuzzy 控制规则表来表达(7)式的思想,以 $e(k), ec(k)$ 为输入,按 Fuzzy 合成算法求得自调整系数表,使 K_1 及 K_3, K_i 的本次值在上次值的 8, 4, 2, 1, $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ 倍数中变化,其变化系数用 $N(e)$ 表示。

K_2 的调整原则是

$$\begin{aligned} K_2 \uparrow &\begin{cases} e(k) > 0, \text{ 且 } ec(k) \geq 0, \\ e(k) \leq 0, \text{ 且 } ec(k) < 0, \end{cases} \\ K_2 \downarrow &\begin{cases} e(k) \text{ 正大且 } ec(k) \text{ 负小,} \\ e(k) \text{ 负大且 } ec(k) \text{ 正小.} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

按处理(7)式的方法制得自调整表,其变化系数用 $H(e, ec)$ 表示。

当系统运行时,先以原始的 K_{10}, K_{20} 算得 $E_0 = K_{10}e(k), EC_0 = K_{20}ec(k)$,由 E_0 及 EC_0 查表得到 $N(e)$ 和 $H(e, ec)$,再计算 $E = N(e)E_0, EC = H(e, ec)EC_0$,然后由 E, EC 查表得控制增量 $\Delta U(k)$,最后由下式算得本次控制量

$$U(k) = K_3 \Delta U(k) / N(e) + \sum_{j=1}^k K_i \Delta U(j) / N(e). \quad (9)$$

实际应用中, K_1, K_2 及 K_3, K_i 递推的单向变化倍数不宜过大,以防溢出和失稳。再者对 $N(e)$ 表和 $H(e, ec)$ 表,可只利用其中几组数值。

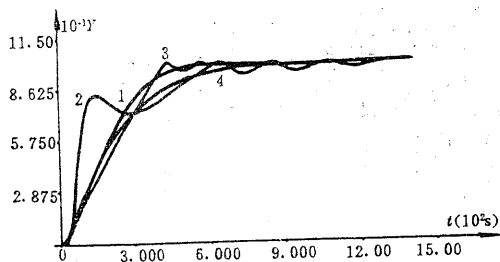
2.3 仿真结果举例

作者以从某厂烧结窑温特性的辨识中所得到的传递函数

$$G_p(s) = 0.73e^{-120s} / (597^2 s^2 + 1194s + 1) \quad (10)$$

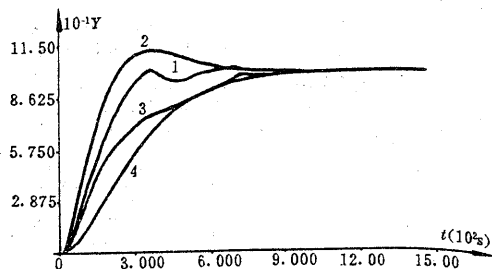
为对象进行了仿真研究。首先取 $G_m(s) = G_p(s)$, 将 SRFC 的参数调至稳定运行最佳状态,再以 PID 控制取代 SRFC 位置并调至最佳运行状态。然后固定两种控制器的参数不变,改变 $G_p(s)$ 的参数,对两种控制效果进行比较。图 3 是当 $\tau_m = 120s$ 不变, $T_s = 12s$ 不变, τ 变为 200s 及 40s 时 SRFC 及 PID 控制下的响应。曲线 1, 3 为 SRFC 控制, 2, 4 为 PID 控制。 $\tau = 200s$ 时, PID 控制出现振荡式响应。而曲线 1 则较平稳。图 4 是当 K_p 变为 1.36 和 0.365 时的响应。1, 3 为 SRFC 控制, 2, 4 为 PID 控制。当 K_p 增大一倍时, PID 超调 13%, SRFC 超调 3.1%。对 $G_p(s)$ 中时间常数变化的仿真也证实了在图 1 所示系统中采用 SRFC 较采用 PID

优越.



曲线 1 和 3 为 $\tau_m=200s$ 和 $40s$, 引入 SRFC 控制 FASC 仿真曲线; 曲线 2 和 4 为 $\tau_m=200s$ 和 $40s$, 引入 PID 控制 FASC 仿真曲线

图 3 取 $\tau_m=120s$, 采样周期 $T_s=10s$, 当被控对象的 τ 改变时, 仿真曲线



曲线 1 和 3 为 $K_F=1.36$ 和 $K_F=0.365$, 引入 SRFC 控制 FASC 仿真曲线; 曲线 2 和 4 为 $K_F=1.36$ 和 $K_F=0.365$, 引入 PID 控制 FASC 仿真曲线

图 4 取 $\tau_m=120s$, 采样周期 $T_s=10s$, 当被控对象的 K , 改变时仿真曲线

3 FASC 在窑温控制系统中的应用

西安某磁材厂 1 号烧结窑由 56 支硅碳棒作发热体, 4 个温度检测点, 功率为 60kW, 其温控系统由 8031 单片机控制器、热电偶和可控硅调功器等组成. 我们对扰动较大的 1 温区采用了 FASC 控制, 对其余 3 个温区采用 SRFC 控制. 有关控制参数取值为 $K_{10}=0.375$, $K_{20}=0.5$, $K_3=5.5$, $K_4=0.0625$. 程序用 MCS-51 汇编语言编制, 固化在一片 EPROM2764 中. 参数自调整的递推限为一级. 程序中还采用了 FASC(或 SRFC)控制与 Bany-Bang 控制相结合的方法, 即

$$|Y(k) - R(k)| = |e(k)| \begin{cases} > \varepsilon, & \text{Bang-Bang 控制;} \\ \leq \varepsilon, & \text{FASC 或 SRFC 控制.} \end{cases}$$

图 5 为 1 号温区的实际运行时温度曲线. 当有快速进料扰动时, 温度波动 -6°C , 恢复时间约为 6 分钟. 稳态误差在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 之内. 其它温区控制质量也较为满意, 产品质量均匀稳定. 而过去用单回路 PID 控制时, 温度在 $\pm 30^\circ\text{C}$ 内波动, 产品质量均匀性较差.

上述应用说明, FASC 方法具有较强的自适应能力, 可用于控制时变快、大纯滞后的工业过程. 其中预估模型并不一定要求十分精确, 靠一些一般方法, 如分析平时操作记录, 做阶跃飞升曲线及 M 序列试验信号下的数据采集分析综合等, 得出一阶或二阶传递函数及纯滞后时间即可. 通过现场调试运行, 便可找到满意的控制参数. 本方法的缺点是编制的汇编程序较繁, 占用存贮空间和机时较多. 不过 8031 单片机存贮空间和运行速度完全可以满足一般温控系统的需要. 对于快速反应系统, 可考虑采用字长 16 位以上的微机. 为进一步提高自适应能力, 可由程序自动辨识和修正预估模型 $G_m(s)$. 这有待进一步研究和改进.

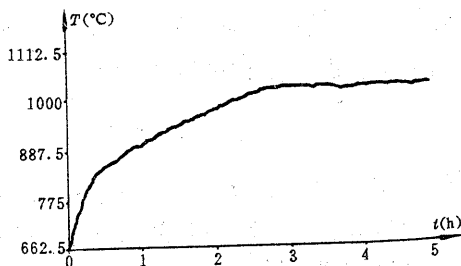


图 5 磁芯烧结炉 1 温区采用 FASC 控制的实际运行曲线

参 考 文 献

- [1] 王学慧,田成方编. 微机模糊控制理论与应用. 北京:电子工业出版社,1987, 213—236
- [2] 尹绍清主编. 过程计算机控制系统. 西安:西北工业大学出版社,1989, 244—251
- [3] 胡家跃等. 参数自调整 Fuzzy—PI 控制器. 信息与控制, 1987, 6:29—30

Fuzzy Adaptive Smith Prediction Control and Its Practical Application

LIU Xin

(The Fourth Research Institute of MPT·Xi'an, 710056, PRC)

YIN Shaoqing and XIAO Shunda

(The Ninth Department, Northwest Polytechnic University·Xi'an, 710072, PRC)

Abstract: In this paper, a fuzzy, adaptive Smith prediction control method is presented. It can be applied to industrial processes with a large time delay and time varying parameters. This method combines the advantages of fuzzy control concept, adaptive control concept and Smith prediction control concept altogether. So as to eliminate the disadvantages to certain degree of the control system by using a single control concept alone. Simulation and real time operation results on the factory show that the design is satisfactory.

Key words: fuzzy control; adaptive control; Smith predictor; furnace Temperature; single chip computer

本文作者简介

刘 欣 1958年生. 1982年大学毕业, 1991年3月硕士研究生毕业. 主要研究工业生产过程的计算机控制以及模糊控制器的研制.

尹绍清 1930年生. 1957年大学毕业. 主要从事工业过程控制的教学和科研. 研究模糊控制方法在工业过程控制中的应用.

肖顺达 1925年生. 1949年大学毕业. 1953年硕士研究生毕业. 主要从事飞行控制理论研究, 模糊控制理论和应用研究.