

# 自适应 Smith 预估控制器在温度 控制系统中的应用\*

耿 直      吴天福

(郑州工学院计算机与自动化系)

**摘 要:** 本文研究了大时延温度对象的控制问题。提出了一种十分实用, 效果较好的自适应 Smith 预估控制器, 并成功的用 TP-802 单板机实现。在实验室的温度控制系统上进行了实验, 效果不仅优于常规 PID 控制, 也优于一般的 Smith 预估控制器。

**关键词:** 预估控制器, 自适应, 滞后

纯滞后或大滞后对象在工业过程控制中是很普通的, 从自动控制理论的角度分析, 这类对象之所以难于控制, 主要是因为对象的纯滞后时间  $\tau$  的存在可使系统的稳定性降低, 特别是在对象的纯滞后时间  $\tau$  与对象的时间常数  $T$  之比大于 0.5 时, 采用常规的 PID 控制很难获得好的控制质量。目前这种大滞后系统应用较多的还是 Smith 预估控制算法。但是该算法有一个致命的缺点, 即它对模型的参数要求很准, 对参数的变化很敏感, 当模型参数变化或系统有随机干扰信号侵入时, 轻则使系统动特性变坏, 重则可使系统不稳定。在实际工程的应用中往往又不可能获得实际对象的精确数学模型, 所以也就限制了 Smith 预估控制器的应用。鉴于此, 如何尽快的找到一种理论完善, 实用性强, 又易于让工厂企业所接受的自适应 Smith 预估器, 是值得研究的一个课题。

## 1 自适应 Smith 预估器的组成

根据模型参考自适应原理, 组成一个参数辨识器, 其结构图如图 1 所示。从结构图中可以看出, 一个辨识器要由一个估计模型和一个自适应机构。自适应机构根据偏差信号  $\varepsilon$ , 产生修改估计模型参数的信息。为了推导方便, 设过程是具有纯滞后的一阶环节。

$$\text{即: } G(s) = \frac{Kc^{-\tau s}}{TS + 1}$$

为使得到的自适应律简单, 易于工程中应用, 本文采用梯度法。

$$\text{被辨识过程: } X(s) = G(s)u(s) = \frac{Kc^{-\tau s}}{TS + 1} u(s)$$

---

\* 收稿日期: 1989.05.10

并联估计模型:  $Y(s) = G_1(s)u(s)$

$$= \frac{K_1 e^{-\tau_1 s}}{T_1 S + 1} u(s)$$

输出误差:  $\varepsilon(s) = [G_1(s) - G(s)]u(s)$

$$= \left[ \frac{K_1 e^{-\tau_1 s}}{T_1 S + 1} - \frac{K e^{-\tau s}}{TS + 1} \right] u(s)$$

目标函数:  $J = \int \varepsilon^2 dt$

自适应律:  $\Delta \tau_1 = -\alpha \frac{\partial J}{\partial \tau}$ ,  $\Delta K_1 = -\beta \frac{\partial J}{\partial K}$ ,  $\Delta T_1 = -\gamma \frac{\partial J}{\partial T}$

图 1

其中:  $\frac{\partial J}{\partial \tau} = \frac{\partial J}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = 2X(s)$ ,  $\frac{\partial J}{\partial K} = \frac{\partial J}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial K} = -2\varepsilon \frac{X(s)}{KS}$ ,  $\frac{\partial J}{\partial T} = \frac{\partial J}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} = 2\varepsilon \frac{X(s)}{TS + 1}$

系统修改规律为:  $K_1(n) = K_1(n-1) + \Delta K_1(n)$ ,  $\tau_1(n) = \tau_1(n-1) + \Delta \tau_1(n)$

$$T_1(n) = T_1(n-1) + \Delta T_1(n)$$

其中  $\tau_1(n)$  必须取整:  $N = \frac{\tau_1(n)}{T_s}$ ,  $T_s$  为采样周期。

所以自适应辨识器结构图如图 2 所示。

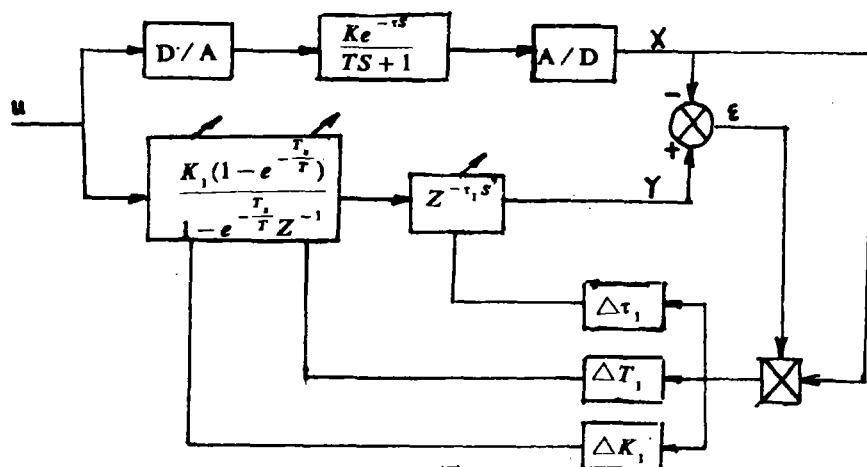


图 2

## 2 自适应 Smith 预估控制系统的组成

自适应 Smith 预估温度控制系统的组成如图 3 所示, 它由 TP-802 单板机、ADA-328 转换板、温度变送器、SCR 触发整流装置、测温元件、电热水器组成。

整个系统仍采用 PID 控制, 从硬件上来看与一般的计算机控制系统一样, 但从组成系统的软件上分析, 与一般计算机控制完全不同。也就是说, 在硬件不变的情况下, 改变软件设计就可以方便的实现自适应控制。

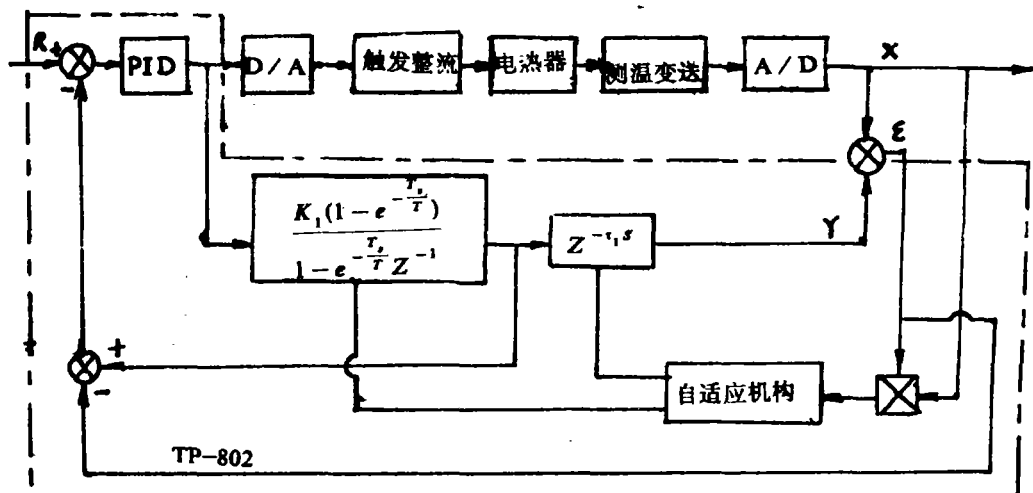


图 3

本系统的软件设计采用积木式结构, 所以通用性强, 控制部分和自适应部分单独设计、各自成体系, 可以方便地在同一系统中做常规控制, 一般 Smith 预估控制和自适应 Smith 预估控制。系统软件由初始化程序和中断服务程序组成, 中断服务程序框图见图 4。由于系统中子程序较多就不一一给出了。

### 3 运行结果分析

在系统运行中做了三组曲线, 以比较三个不同控制系统之间的控制效果。

(1) 常规 PID 控制系统输出曲线,

(2) 一般 Smith 预估控制器输出曲线,

(3) 本文提出的自适应 Smith 预估控制系统输出曲线。

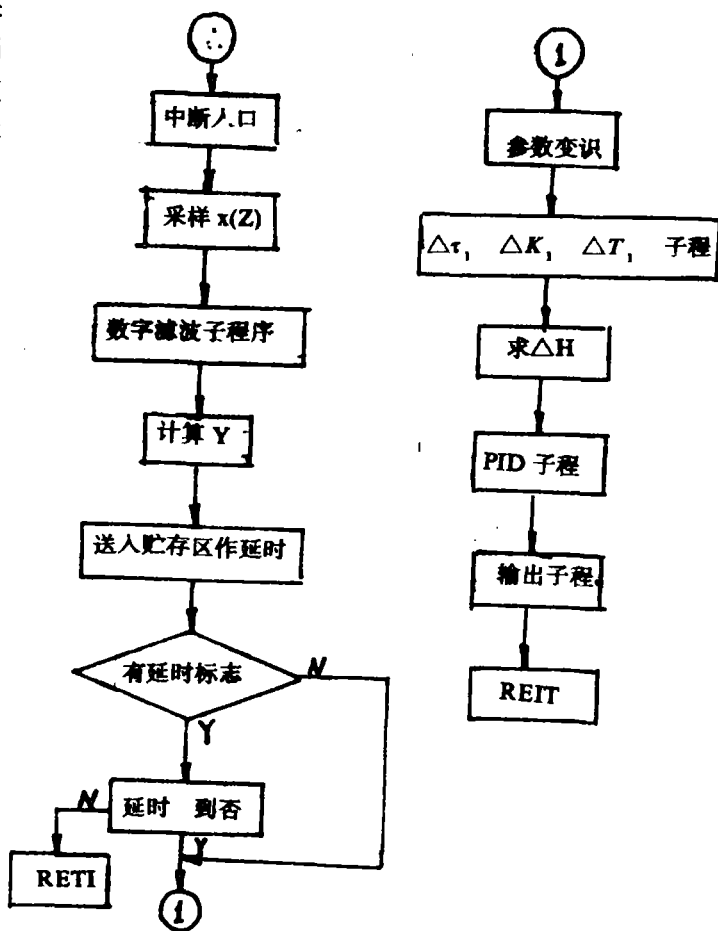


图 4

从图 5 给出的三条曲线可以进行分析对比。

由曲线①可知:

$t_r = 18$  分;  $t_p = 28.5$  分;  $t_s = 109.5$  分;  $\sigma\% = 38\%$ ;  $N = 1$  次。

由曲线②可知:

$t_r = 25.5$  分;  $t_p = 33$  分;  $t_s = 39$  分;  $\sigma\% = 5\%$ ;  $N = 0.5$  次。

由曲线③可知:

$t_r = 24$  分;  $t_p = 27$  分;  $t_s = 24$  分;  $\sigma\% = 1\%$ ;  $N = 0$  次。

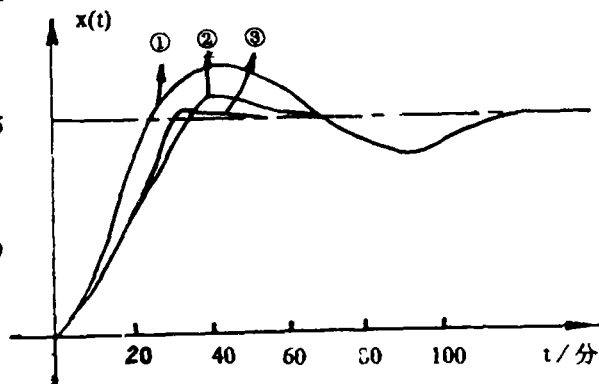


图 5

从以上三条曲线和三组数据来看, 自适应 Smith 预估控制系统特性均优于前二种, 从而体现了它的优越性。实践证明: 在  $\tau_1 / T_1 = 0.71 > 0.5$  时, 常规的 PID 控制的质量是无法保证的。本文还把一般 Smith 预估控制器和自适应 Smith 预估器进行了比较实验, 同样得到了一些有益的曲线和数据, 由于篇幅所限就不再列举了。

本文以大时延对象的控制问题为研究内容, 提出了一个十分实用, 而效果较好的自适应预估控制器, 并成功的在 TP-802 单板机上实现, 在实验室的温度控制系统的应用中得到了考验。

### 参 考 文 献

- (1) I.D.郎道著, 吴百凡译. 自适应控制—模型参考方法. 国防工业出版社
- (2) 谢剑英编著. 微型计算机控制技术. 国防工业出版社
- (3) 韩曾晋编. 自适应控制系统. 机械工业出版社
- (4) Bahill, A. T. A Simple Adaptive Smith-predictor for controlling Time-Delay Systems Control Syscm Magazine May 1983. PP. 16-22

## The application adaptine Smith predictor for the temperature control system

Geng Zhi      Wu Tianfu  
(ZhengZhou Institute of Technology)

**Abstract:** In this paper, the problem of temperature objects with large time-delay is considered. A very useful and effective self-adaptive Smith predictor is constructed. The predictor has been successfully realized with TP-802 single board computer and put into practice in lab. temperature control system. The results had advantages over conventional PID control and ordinary Smith predictor.

**Keywords:** predictor, adaptive, time-delay