

# 具有双检测通道 SISO 系统的一种自校正算法<sup>1)</sup>

华 刚 韩崇昭 万百五

(西安交通大学系统工程研究所)

**关键词:** 自适应控制, 双检测, 工业过程.

## 一、引言

对于一类工业过程如窑炉等不可能利用热电偶直接测量工件表面温度, 间接量测则具有较大的时延和测量误差. 采用红外测温计虽然可以直接测量工件表面温度, 但具有较大的随机误差. 针对这类工业过程的特点, 本文试图利用热电偶具有较高的精度以及红外测温计比较敏感的特点, 提出了一种基于双通道检测的自校正算法. 该算法对双通道检测的信号进行统一处理, 用随机系统理论中的估计方法对其中一个进行预估, 以得到有限步提前预报值. 在此基础上实现广义输出最小方差控制.

## 二、对象的数学描述

设系统由如下差分方程描述:

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t-k) + C(z^{-1})\zeta(t), \quad (1)$$

$$T(z^{-1})y_1(t) = hy(t-d), \quad (2)$$

$$y_2(t) = y(t) + \eta(t), \quad (3)$$

式中  $y(t)$  为系统实际输出;  $y_1(t)$  和  $y_2(t)$  分别是两种检测信号;  $u(t)$  为系统实际控制输入; 噪声  $\zeta(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma_1^2)$ ,  $\eta(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma_2^2)$ ,  $\sigma_1^2 \gg \sigma_2^2$  为相互独立的白噪声过程;  $k$  为系统整数时延;  $d$  为从  $y(t)$  到  $y_1(t)$  的传输时延; 多项式  $A(z^{-1}), C(z^{-1}), T(z^{-1})$  均为可逆的首一多项式;  $h > 0$  为固定常量, 且设所有多项式阶数为  $n$ .

## 三、自校正算法的推导

定义  $t$  时刻实时信息

$$\mathcal{L}_t \triangleq \{y_1^i, y_2^i, u^{i-1}\}, \quad (4)$$

本文于 1988 年 11 月 22 日收到.

1) 中国科学院科学基金资助课题.

其中

$$y_1' \triangleq \{y_1(t), y_1(t-1), \dots\}, y_2' \triangleq \{y_2(t), y_2(t-1), \dots\}, u^{t-1} \triangleq \{u(t-1), u(t-2), \dots\}.$$

$t$  时刻容许控制律为  $u(t) = \Psi(t, \mathcal{L}_t)$ . 选择如下控制性能指标:

$$\min_{u(t)} J_t \triangleq \mathcal{E} \{ [q_1(y(t+k) - y_r(t))]^2 + [q_2 u(t)]^2 | \mathcal{L}_t, u(t) \}. \quad (5)$$

由于  $y(t)$  无法直接得到, 因此首先根据量测信息  $y_1', y_2'$  需要对  $y(t)$  进行估计. 对式(2)及式(3)进行适当变换, 并写成向量矩阵形式, 从中导出

$$\mathcal{E} \left\{ \begin{bmatrix} y_1(t+k+d) \\ y_2(t+k) \end{bmatrix} | y_1^{t+d}, y_2^t, u^t \right\} = F(z^{-1}) \begin{bmatrix} y_1(t+d) \\ y_2(t) \end{bmatrix} + G(z^{-1})u(t), \quad (6)$$

其中  $F(z^{-1}), G(z^{-1})$  满足如下恒等式:

$$I_2 = E(z^{-1}) \begin{bmatrix} \frac{1}{h} T(z^{-1})A(z^{-1})C^{-1}(z^{-1}) & 0 \\ -\frac{1}{h} T(z^{-1}) & 1 \end{bmatrix} + z^{-k}F(z^{-1}), \quad (7)$$

$$G(z^{-1}) = E(z^{-1}) \begin{bmatrix} C^{-1}(z^{-1})B(z^{-1}) \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

因为  $t$  时刻信息不包括  $y_1(t+1), \dots, y_1(t+d)$ , 由式(6)不能得到  $y(t)$  的  $k$  步提前预报值. 为此由式(1)及式(2)导出

$$\hat{y}_1(t+i|t) = \frac{F_i'(z^{-1})y_1(t) + G_i'(z^{-1})u(t-k-d+i)}{hC(z^{-1})}, \quad i = 1, 2, \dots, d. \quad (9)$$

其中  $G_i'(z^{-1}) = hB(z^{-1})E_i'(z^{-1})$ .  $E_i'(z^{-1}), F_i'(z^{-1})$  满足

$$hC(z^{-1}) = F_i'(z^{-1})T(z^{-1})A(z^{-1}) + z^{-i}F_i'(z^{-1}). \quad (10)$$

根据式(3), 式(6)及式(9)得

$$\begin{aligned} \hat{y}(t+k|t) &= [0 \ 1] \mathcal{E} \left\{ \begin{bmatrix} y_1(t+k+d) \\ y_2(t+k) \end{bmatrix} | \mathcal{L}_t, u(t) \right\} \\ &= [0 \ 1] \left\{ \sum_{j=0}^{n-1} F_j \begin{bmatrix} \hat{y}_1(t+d-j|t) \\ y_2(t-j) \end{bmatrix} + \sum_{j=0}^{2n+k-2} G_j u(t-j) \right\}, \end{aligned} \quad (11)$$

式中  $\hat{y}_1(t-j|t) = y_1(t-j), j \geq 0$ .

在假设系统参数已知的情况下, 可以导出最优控制

$$u^*(t) = \frac{g_{02}q_1^2}{q_2^2 + q_1^2g_{02}^2} \left\{ y_r(t) - [0 \ 1] \left[ \sum_{j=0}^{n-1} F_j \begin{bmatrix} \hat{y}_1(t+d-j|t) \\ y_2(t-j) \end{bmatrix} + \sum_{j=1}^{2n+k-2} G_j u(t-j) \right] \right\}, \quad (12)$$

其中  $g_{02}$  为  $G_0$  的第二个元素. 当系统参数未知时, 从式(1), 式(2)及式(3)可得如下辨识方程:

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t-d) \end{bmatrix} = F(z^{-1}) \begin{bmatrix} y_1(t-k) \\ y_2(t-k-d) \end{bmatrix} + G(z^{-1})u(t-k-d) + E(z^{-1}) \begin{bmatrix} \zeta(t-d) \\ \eta(t-d) \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$$y_1(t) = F_i''(z^{-1})y_1(t-i) + G_i''(z^{-1})u(t-k-d) + E_i'(z^{-1})\zeta(t), \quad (14)$$

其中  $F_i''(z^{-1}) = F_i'(z^{-1})/hC(z^{-1}), G_i''(z^{-1}) = G_i'(z^{-1})/hC(z^{-1})$ . 通过式(13)及式(14)

可采用递推最小二乘法估计出  $F(z^{-1}), G(z^{-1}), F_i''(z^{-1}), G_i''(z^{-1})$  在  $t$  时刻的参数估计值,并由式(11)求出最优控制。

## 四、仿 真 结 果

为了验证上述算法,在计算机上对不同的例子进行仿真试验,结果表明该算法比采用单回路检测的自校正算法或 PID 算法均为优越。

## 参 考 文 献

- [1] Clarke, D.W. and Gawthrop, P.J., Self-tuning Controller, *Proc. IEE*, **122**(1975), 9,929—934.
- [2] Brosilow, C.B., Tong, M., The Structure and Dynamics of Inferential Control Systems, *AIChE Journal*, **24**(1978), 492—500.
- [3] Guilandoust, M. T., Morris, A. J., Adaptive Inferential Control, *Proc. IEE*, **134**(1987), 3,171—179.
- [4] 韩崇昭等,随机系统理论,西安交通大学出版社,1987.

## A SELF-TUNING ALGORITHM OF SISO SYSTEM WITH DOUBLE MEASUREMENTS

HUA GANG HAN CHONGZHAO WAN BAIWU  
(*Institute of Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University*)

**Key words:** Adaptive control; double measurements; industrial process.