

一种简单的多变量自校正控制器 及其在电加热炉上的应用

柴天佑 郎世俊

(东北工学院, 沈阳)

摘 要

本文提出一种新的多变量自校正控制器, 该控制器将最小方差策略和极点配置策略结合起来, 从而具有两者的优点; 该控制器可以控制具有不同传输延时的系统; 算法简单。本文讨论了该自校正控制器在双输入双输出电加热炉上的工程应用。实时控制结果表明, 该控制器不仅能适应电网电压波动等因素引起的模型参数的改变, 控温效果优于常规PID调节器, 而且使被控变量之间的耦合作用大大减小。

一、前 言

近年来, 由于多变量自校正控制不要求准确的被控对象的数学模型, 而且容易在微型机上实现, 因此引起人们的广泛注意。多变量自校正调节器^[1]、控制器^[2]和多变量自校正前馈控制器^{[3][4]}、广义自校正解耦控制器^[5]已经提出, 然而这些控制器都要求系统具有相同的传输延时, 而且需要矩阵求逆运算。

本文提出一种新结构的自校正控制器来解决上述问题, 并成功地应用该控制器来控制多变量电加热炉。

二、控制器结构

设被控的多输入多输出系统可以用线性向量差分方程来描述

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

式中 u 和 y 分别是 n 维输入向量和输出向量; $\{\xi(t)\}$ 是零均值的 n 维高斯白噪声序列。 A 、 B 、 C 和 D 是单位后移算子 z^{-1} 的多项式矩阵。不失一般性, 设 A 和 C 为对角多项式矩阵, $A(0)$ 和 $C(0)$ 是单位阵^[3]; C 为稳定多项式矩阵, D 、 B 为

$$D(z^{-1}) = \text{diag}(z^{-k_i}), \quad k_i \geq 1,$$

$$B(z^{-1}) = \overline{B}(z^{-1}) + \overline{\overline{B}}(z^{-1}),$$

或者

$$G(z^{-1})y(t) + H(z^{-1})u(t) + \bar{D}(z^{-1})u(t) = E(z^{-1})w(t), \quad (8)$$

式中

$$H(z^{-1}) = F(z^{-1})\bar{B}(z^{-1}) = \text{diag}(F_{ii}(z^{-1})B_{ii}(z^{-1})),$$

$$\bar{D}(z^{-1}) = F(z^{-1})\bar{B}(z^{-1}) = (\bar{D}_{ij}(z^{-1})), \bar{D}_{ij}(z^{-1}) = 0, i = j,$$

$$\bar{D}_{ij}(z^{-1}) = F_{ii}(z^{-1})B_{ij}(z^{-1}), i \neq j$$

$$E(z^{-1}) = C(z^{-1})R(z^{-1}) = \text{diag}(C_{ii}(z^{-1})R_{ii}(z^{-1})).$$

控制器结构如图 1 所示。

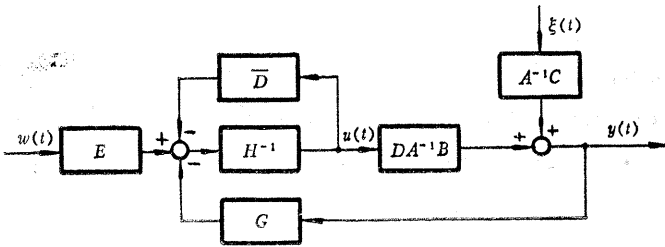


图 1 控制器方框图

由 (8) 和 (2)、(4) 式可得系统的闭环方程为

$$P(z^{-1})y(t) = D(z^{-1})R(z^{-1})w(t) + F(z^{-1})\xi(t). \quad (9)$$

显然, P 和 R 则决定闭环系统的零极点分配. 为使闭环系统的极点位于预定的 $T(z^{-1})$ 且消除跟踪误差, 可选择 R 为

$$R(z^{-1}) = T(z^{-1}) \quad \text{或} \quad R = T(1). \quad (10)$$

三、自校正控制器

当系统的参数未知或者慢时变时, 可以采用自校正控制.

由 (5)、(6) 和 (7) 式可得控制器参数的辨识方程为

$$\begin{aligned} \phi(t) = & D(z^{-1})(G(z^{-1})y(t) + H(z^{-1})u(t) + \bar{D}(z^{-1})u(t) \\ & - C^*(z^{-1})R(z^{-1})w(t)) + F(z^{-1})\xi(t), \end{aligned} \quad (11)$$

式中

$$C^*(z^{-1}) = C(z^{-1}) - I.$$

即

$$\begin{aligned} \phi_i(t) = & G_{ii}(z^{-1})y_i(t-k_i) + H_{ii}(z^{-1})u_i(t-k_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^n \bar{D}_{ij}(z^{-1})u_j(t-k_i) \\ & - C_{ii}^*(z^{-1})R_{ii}(z^{-1})w_i(t-k_i) + F_{ii}(z^{-1})\xi_i(t), \quad i = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (12)$$

控制器方程(8)可以写成

$$G_{ii}(z^{-1})y_i(t) + H_{ii}(z^{-1})u_i(t) + \sum_{j=1, j \neq i}^n \bar{D}_{ij}(z^{-1})u_j(t) = E_{ii}(z^{-1})w_i(t),$$

$$i = 1, \dots, n. \quad (13)$$

于是我们可得自校正控制算法如下:

- 1) 取系统输出值 $y(t)$, 参考输入值 $w(t)$.
- 2) 计算 $\phi(t) = P(z^{-1})y(t)$.
- 3) 采用递推最小二乘算法, 由控制器参数的辨识方程(12)辨识控制器的参数.
- 4) 由(13)式计算控制输入 $u(t)$.

在每个采样周期重复以上各步.

在上述自校正算法中, 只要求 $B(z^{-1})$ 的零点在单位圆内, 而不要求 $\bar{B}(z^{-1})$ 的零点在单位圆内, 自校正算法可以控制 $D(z^{-1})$ 不同的系统, 即可以控制具有不同传输延时的系统. 在(8)式中, H 是对角多项式矩阵, 所以求控制输入 $u(t)$ 时, 可避免实时求逆运算.

四、自校正控制电加热炉

作者采用本文提出的自校正控制算法, 对我院高温实验室的电加热炉进行了在线控制, 该加热炉用于加热金属材料, 根据工艺要求, 材料不同加热温度也不同, 一般在 $200^{\circ}\text{C} \sim 980^{\circ}\text{C}$ 范围内, 且要求长期稳定在设定值 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 之内. 由于电网电压的波动, 电加热炉模型参数是时变的, 加上炉子上部和下部各有一组靠得很近的电热丝, 存在严重的耦合, 当一段炉温受到干扰变化时立刻影响另一段炉温的变化. 采用固定参数的常规 PID 调节器控温时, 温度波动较大, 有时达 $\pm 5^{\circ}\text{C}$. 显然, 采用自校正算法来控制电加热炉是合适的.

作者用 IBM PC 个人计算机和电加热炉组成了一个自适应控温系统, 结构如图 2 所示.

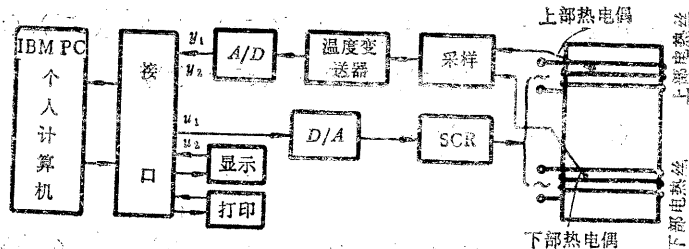


图 2 自适应控温系统

输入模拟量是热电偶测得的温度经过温度变送器转换成的 $0 \sim 5\text{V}$ 电压信号, 计算

机的输出控制信号的数字量经过模出通道 D/A 转换成 0~10mA 的电流信号, 去控制向电热丝供电的可控硅调功器 (SCR)。

采样周期选为 $T = 35s$, 闭环系统的极点选为

$$T(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 - 0.5z^{-1} & 0 \\ 0 & 1 - 0.5z^{-1} \end{bmatrix}.$$

电加热炉的模型是二阶的双输入双输出系统^[6], 图 3 表示采用本文提出的自校正算法控温时, 电炉两段的温度设定值和实际温度输出值。实验结果表明, 自校正控制炉温, 使

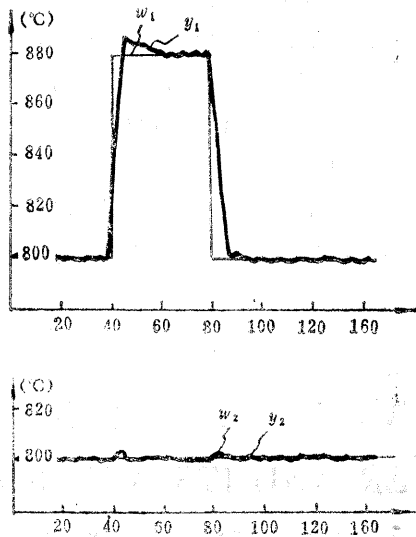


图 3 自校正控温时温度设定值和输出曲线

控温精度大大提高, 温度的实际波动值在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内, 而且使被控变量之间的耦合作用大大减小, 当一段炉温发生变化对另一段炉温几乎没有影响。这是因为本算法实现了对参考输入 $w(t)$ 的解耦控制。

五、结 论

本文提出的自校正控制器使性能指标最小, 实现了极点配置而且可以控制具有不同传输延时的系统, 避免了矩阵求逆运算, 从而简化了计算量。该控制器在电加热炉上的成功应用表明, 它可以应用于实际的生产过程控制。

参 考 文 献

- [1] Borisson, U., Self-tuning Regulators for a Class of Multivariable Systems, Automatica, 15, (1979), 209-215.

- [2] Koivo, H. N., A Multivariable Self-tuning Controller, *Automatica*, 16, (1980), 351-366.
- [3] Morris, A. J., Y. Nazer and R. K. Wood, Multivariable Self-tuning Process Control, *Optimal Control Applications & Methods*, 3, (1982), 363-387.
- [4] 郎世俊、顾兴源、柴天佑, A Self-tuning Feedforward Controller for MIMO Discrete Time Delays, *Preprints of 7th IFAC Conference on Digital Computer Applications to Process Control*, (1985), Vienna, Austria.
- [5] 郎世俊、顾兴源、柴天佑, A Multivariable Generalized Self-tuning Controller with Decoupling Design, *IEEE Trans. Aut. Control*, AC-31, 5, (1986), 474-477.
- [6] 柴天佑、郎世俊, A Detuned Minimum Variance Self-tuning Feedforward Controller and Application to Multivariable Electric-heated System, *IEEE IAS (1985), Annual Meeting*, Ontario, Canada.

A SIMPLE MULTIVARIABLE SELF-TUNING CONTROLLER AND ITS APPLICATION TO ELECTRICALLY HEATED FURNACE

Chai Tianyou, Lang Shijun

(Northeast University of Technology, Shenyang)

Abstract

This paper presents a new multivariable self-tuning controller which combines the minimum variance strategy with the pole placement strategy and possesses their benefits. It can deal with the multivariable systems with different time delays and the algorithm is simple. Its application to a two-input-two-output electrically heated system is discussed in this paper. The results show that the performance of this controller is not only better than PID regulators, but also this controller minimizes the interactions between control loops.