

短文

大滞后生产过程的智能式补偿预测控制

古钟璧 王 苇 王祯学

(四川大学无线电系 成都 610064)

摘 要

利用智能建模的方法修正系统的预测输出,提高了预测输出的精度。通过预测控制与人工智能方法的结合,建立了一种适于大滞后生产过程的控制方法。这一方法已成功地应用于小氮肥生产的氢氮比控制中。

关键词: 大滞后过程,预测控制,人工智能,模型误差,鲁棒性。

1 引言

大滞后过程是实际工业生产中广泛存在的一类过程。它的控制问题,至今仍然是困扰控制理论界的一个难题。对大滞后过程控制方法和机理的研究,引起了控制工作者的重视。

对于大滞后过程来说,因为当前施加的控制作用,需要经过较长的时间才会在输出中反映出来,因此,控制的困难在于如何选择一个合适的当前控制,使得系统未来的输出恰好是指标所希望的形式。可见,实现大滞后过程控制的关键依赖于对系统输出的预测。近年来受到国际控制界普遍关注的预测控制为解决这一难题提供了一种方法。

然而,由于实际的生产过程大多是复杂的动态过程,描述对象的数学模型与实际的对象特性之间存在较大的误差。不可避免的模型误差与预测控制所要求的精确预报之间出现了矛盾,当模型误差较大时,甚至可能根本破坏预测控制的鲁棒性。在进行小氮肥生产合成氨系统的氢氮比控制应用研究时,作者利用人工智能的方法对模型预测进行补偿,以克服建模误差的影响,提高预测输出的精度。通过预测控制方法与人工智能思想的结合,得到了一种适于大滞后复杂工业过程的智能式补偿预测控制算法。

2 预测误差的智能模型及对预测输出的补偿

为了实现预测控制,需要建立系统输出的预测模型。然而生产过程中工况的改变、负荷的波动、以及中间环节引入的各种不确定扰动往往是随机的,它们对系统动态特性的影

响很难归并到模型中,精确建模具有特殊的困难。但是,一个熟悉生产工艺的技术人员,一个有经验的操作工人,往往能够根据负荷波动的大小、工艺改变的情况、以及生产过程中的各种“异常”现象推测其对未来输出的影响,作出修改控制的判断。把这些“专家”的知识、经验进行归纳、总结,并变成机器的“智能”,正是人工智能及智能控制的基本思想。基于这样一种认识,系统的预测输出可修改为

$$y((t+k)/t) = y_m((t+k)/t) + y_e((t+k)/t). \quad (1)$$

$y((t+k)/t)$ 是在 t 时刻对 $(t+k)$ 时刻系统输出的预测,其中 $y_m((t+k)/t)$ 是基于数学模型的预测; $y_e((t+k)/t)$ 是对误差的预测,它是考虑到未建模动态的影响,利用“专家”的经验对模型预测的补偿。

从工程实现考虑,可以把生产过程相对比较平稳、系统动态特性波动不大时的运动特性作为描述系统行为的数学模型。对于大滞后生产过程,基于大范围预测思想,采用计算机控制里经常使用的 ARMAX 模型

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t). \quad (2)$$

利用通常的建模方法,容易得到(2)式描述的动态模型,这是在预测控制里采用的基础模型。基于基础模型,利用预测理论,可以得到对系统未来输出的预测

$$y_m((t+k)/t) = E_k u(t+k-1) + \frac{G_k}{C} y(t) + \frac{q^{-k}L_k}{C} u(t+k-1) + F_k e(t+k). \quad (3)$$

上式中各参数多项式 E_k, G_k, L_k, F_k 可由 D. W. Clarke 等的广义预测控制算法递推计算^[1,2]。

为了得到对于模型预测的补偿 $y_e((t+k)/t)$,根据前面的讨论,利用人工智能的方法,建立预测误差的智能模型。

在系统的动态信息空间 Σ 上,取状态特征变量 $x_1(t), x_2(t), \dots, x_r(t)$, 组成状态特征集合

$$\mathbf{x} = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_r(t)\}, \quad x_i(t) \in \Sigma. \quad (4)$$

所选择的特征量是对系统输出有重要影响而又难以归并到数学模型中去的一些状态特征。经常用到的状态特征有预测误差的历史数据及其变化率;引起系统特性变化、或与系统特性变化有直接关系的可测量。例如,大滞后过程中除了输入、输出可测外,在过程的中间环节还有许多中间变量是可测的。把这些测量值作为状态特征量,不但可以得到一些从中间过程引入的不确定因素的信息,而且由于它们比输出量能更早地反映出模型失配和扰动的影响,因此引入这些特征量,能够对系统将来的输出作一个“超前”补偿,从而进一步削弱大时滞的影响。

根据选取的特征量,建立系统状态特征集 \mathbf{x} 与输出预测误差 \mathbf{Y}_e 之间的某种定量或定性的映射关系 ψ :

$$\psi: \mathbf{x} \rightarrow \mathbf{Y}_e,$$

即 $\mathbf{Y}_e = F(\mathbf{x})$, (定量映射)

或写成 IF...THEN...的形式。(定性映射)通常这种映射关系用一种通用的模糊关系模型表示

$$\boldsymbol{w}^T = (y_r(t+1), y_r(t+2), \dots, y_r(t+N))$$

\mathbf{I} 为单位矩阵.

在实际应用中,每一时刻只需求出一步控制律 $u(t)$

$$u(t) = \bar{g}^T(\boldsymbol{w} - \mathbf{F}) \quad (9)$$

\bar{g}^T 是矩阵 $(\mathbf{E}^T \mathbf{E} + \mu \mathbf{I})^{-1} \mathbf{E}^T$ 的第一行.

4 应用情况

在小氮肥生产中,氢氮比是影响产量和能耗的最重要的参数. 由于氢氮比控制面对的是一个不确定因素很多的大滞后过程,难于建立对象的数学模型,因此,实现氢氮比的自动控制具有特殊的困难.

作者利用本文提出的方法,在一个自行研制的低成本集散型控制系统中实现了氢氮比自动控制和生产过程信息管理. 该系统于 1991 年 10 月在生产现场一次投运成功,当月,该厂化肥产量、能耗、利润等主要经济指标同时突破建厂以来历史最高水平. 经四川省化工厅组织专家小组现场测试,确认氢氮比的合格率由过去人工调节的 50% 左右提高到 90% 以上,达到了化工部颁发的标准. 一个年产一万吨合成氨的小氮肥厂,每年可增利润 30 万元左右,不到半年即可收回技术改造全部投资,经济效益显著.

参 考 文 献

- [1] Clarke D W, Mothadi C, Tuffs P S. Generalized predictive control. part I: the basic algorithm, part II: extensions and interpretations, Dept. of Engineering Science, 1984.
- [2] Clarke D W, Mothadi C. Properties of generalized predictive control. *Automatica*, 1989, 25(6).
- [3] 席裕庚,许晓鸣,张钟俊. 预测控制的研究现状和多层智能预测控制. *控制理论与应用*, 1989, 6(2).
- [4] 谢晓方,谢剑英,席裕庚. 工业串联系统的多层反馈预测控制. *控制理论与应用*, 1992, 9(2).
- [5] 古钟璧,一种具有强鲁棒性的广义预测控制. *控制与决策*, 1990, 5(3).
- [6] 古钟璧,王祯学,王苇. 具有误差预测修正的预测控制算法. *控制与决策*, 1992, 7(6).
- [7] 李祖枢. 智能控制理论研究. *信息与控制*, 1991, 20(5).

INTELLIGENT COMPENSATIVE PREDICTIVE CONTROL FOR LONG TIME DELAY INDUSTRIAL PROCESSES

GU ZHONGBI WANG WEI WANG ZHENXUE

(*Sichuan University Chengdu 610064*)

ABSTRACT

This paper modifies the prediction output by intelligent modeling in order to compensate the prediction, thus raises the precision of the system output. With the association of predictive control and artificial intelligence, a new control method which fits for long time-delay processes is obtained. This method has already successfully applied in the control of the H/N ratio in small nitrogenous fertilizer plants.

Key word: Long time delay process, predictive control, artificial intelligence, model error, robustness.