

一种可在线实现的对象辨识新方法

甄新平 李全善 姜景杰 潘立登* 闻光辉

(北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 大多数工业生产装置是一种非线性和慢时变的过程,这类过程在实施基于模型的先进控制时,往往在先进控制投运初期运行状况良好,但随着时间的推移,由于模型的时变性和先进控制模型不能及时更新,结果造成先进控制运行效果越来越差,以至最终无法投运。针对这类问题,本文提出了一种可在线更新对象模型的新方法(MPSEIVD),新方法的仿真结果表明,应用新方法进行对象辨识,效果明显,提高了对象辨识的准确性。该方法的提出为确保先进控制的长期运行提供了一种新思路。

关键词: 对象辨识; 先进控制; MPSEIVI; NLJ

中图分类号: TP273.5

引言

在工业生产装置上实施先进控制,以提高装置的生产效益是生产企业的首选,针对生产装置实施先进控制的研究是当今控制领域一个非常活跃的话题。有关这方面的研究,每年都有大量的文献发表,从所发表的文献内容看,所使用的方法主要有三大类,一类为基于模型的方法,另外两种是基于规则和神经网络的方法^[1-2]。

基于模型的方法,首先要得到对象的数学模型,然后以获得的对象模型为基础,进行装置的先进控制设计,所以说模型辨识的正确与否是先进控制能否得以顺利实施的关键。本文以内模(IMC)控制为基础在工业生产装置上实施基于模型的先进控制,并已在多套生产装置上取得成功应用^[3-4]。

基于IMC先进控制在生产装置的投运,为生产企业带来了显著的经济效益,但随着运行时间的增长,同其它基于模型的先进控制一样,出现了运转效果下降的现象。究其原因,是由于多数工业生产装置是一种非线性和慢时变的过程,在这类生产装置上实施先进控制时,先进控制投运初期,由于模型辨识较准确,因此效果明显,但随着运行时间的增长,

对象特性发生改变,而先进控制所用的模型没有更新或者没有及时更新,结果造成先进控制运行效果变差。为解决这个问题,就要实现对象模型的及时更新。

要实现模型的及时更新,就需要进行在线对象辨识,即先进控制软件能利用装置运行数据进行对象模型的更新。由于常规辨识需要对装置进行正规测试,不能直接利用装置运行数据,为此本文提出了一种新的辨识方法,即模型参数和状态方程初值同时辨识(Model Parameters and State Equation Initial Values Identified Simultaneously,简称MPSEIVI)方法,该方法不用进行正规测试,仅通过一些负荷量改变等的不正规阶跃变化,甚至未达到稳态的阶跃响应历史数据,就可进行对象辨识。仿真结果表明了该方法的可行性。

1 MPSEIVI 辨识法

由于装置所取的数据不可能都是正规的阶跃响应数据,要实现工业生产装置的在线对象辨识,关键在于解决非正规的阶跃响应数据的辨识问题。通过对这类数据进行分析可知:由于这类数据选择的随意性,在数据选择的开始时期,系统就可能处在过渡过程时期而非稳态,此时系统的状态方程初值不可能是零状态,因此在辨识对象时就必须同时进行状态方程初值进行辨识,这就是MPSEIVI辨识法的精髓。

MPSEIVI根据装置的操作变化选择辨识所需数据,使用NLJ^[5-7]优化算法及给出的对象参数和

收稿日期: 2006-03-07

基金项目: 北京市教育委员会共建项目(XK100100435)

第一作者: 男, 1966年生, 博士生

*通讯联系人

E-mail: panld@mail.buct.edu.cn

状态方程初值,计算出系统的传递函数,进而获取系统的状态方程,根据系统的输入,以四阶龙格库塔法求解状态方程获得系统的输出,以公式(1)作为目标函数(ISE),搜索最优的对象模型参数和状态方程初始值。MPSEIVI辨识流程见图1。

$$ISE = \int_0^T (y(t) - \hat{y}(t))^2 dt \quad (1)$$

式中 $y(t)$ 和 $\hat{y}(t)$ 分别为控制系统的实际输出值和估计输出值。

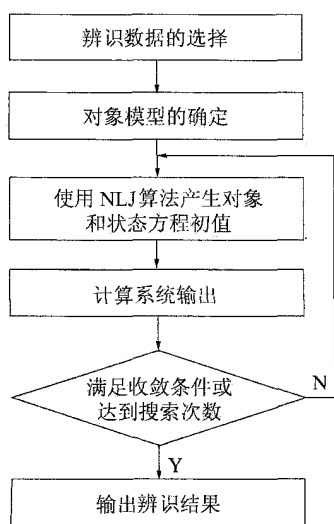


图1 MPSEIVI的辨识流程

Fig. 1 The identification program of MPSEIVI

2 MPSEIVI方法对象模型辨识的求解过程

本文以PID回路为例介绍MPSEIVI的对象辨识过程,并与常规(不考虑状态方程初值)辨识结果进行对比。应用MPSEIVI进行对象模型辨识,需要确定对象模型,在对象模型类型确定后,给定对象模型参数初始值和状态方程初值的初始值,作为NLJ算法的搜索值,这样每产生一组搜索值,就可计算控制系统传递函数进而得到系统的状态方程,根据系统的输入,求得系统仿真输出,然后使用公式(1)计算ISE值,拥有最小ISE值的搜索值就是所求参数。

2.1 模型数据的选择

由于PID控制系统中,操作员对控制回路改变是正常进行的,而这改变前后的回路的控制器输出和测量值就是辨识所需的理想数据。MPSEIVI可根据操作条件的改变作为触发条件,进行辨识数据的获取,然后在给定的时间内进行对象辨识。

2.2 对象模型类型的确定

根据过程控制特点,本文使用二阶加纯滞后过程来描述广义对象,如式(2)所示,对于纯滞后项使用一阶Pade近似^[8],这样所需辨识的对象模型参数为 a, b, c, d 。

$$Y(s) = \frac{1}{as^2 + bs + c} e^{-ds} U(s) \quad (2)$$

式中, $Y(s)$ 为对象输出; $U(s)$ 为对象输入; a, b, c, d 为对象模型参数; s 为拉氏变换算子(以下同)。

2.3 系统输出计算

根据前一步获取的对象模型类型和NLJ算法给定对象模型参数,计算出传递函数,并转换为状态方程。根据系统的输入和NLJ算法给定的状态方程初值,使用四阶龙格库塔法即可求得控制系统输出。

2.4 使用MPSEIVI方法进行对象模型辨识

MPSEIVI方法通过给定对象模型参数初始值和系统初始状态的初始值作为NLJ算法的搜索初值组,NLJ算法以这组初值为中心,产生出多组搜索值,对于每一组值,计算出系统的估计输出,以系统的实际输出和估计输出之差作为目标函数(ISE),然后以ISE值最小的那一组值为中心进行新的搜索,经反复迭代,最终获得对象参数的最优值。

3 系统仿真

为了验证算法的有效性,分别对PID控制系统进行开环(手动模式)和闭环(自动模式)仿真。对开环和闭环两种模式,使用下述方法产生仿真数据:在开环模式时对控制器输出(OP)施加两个阶跃信号,在第一个阶跃响应达平稳之前施加第二个阶跃信号;在闭环模式时对控制回路的设定值(SP)上施加两个阶跃信号,在第一个阶跃响应达平稳之前施加第二个阶跃信号;使用Matlab的Simulink计算出仿真数据。以控制器OP和测量值(PV)作为辨识仿真数据,在第二个阶跃发生前开始选取。

3.1 仿真数据的产生与数据选择

给定控制系统TIC001的仿真数据(真值)如表1所示,对象模型见公式3和PID控制算法类型见公式4,开环仿真结构如图2,闭环仿真结构如图3。图中对传递函数的分母最高项进行了归一化,其中SP为设定值,PID为控制器传递函数,OP为控制器输出,OBJECT为对象传递函数,DELAY为纯滞后项,PV为系统输出。

$$Y(s) = \frac{1}{5s^2 + 15s + 1} e^{-3.5s} U(s) \quad (3)$$

$$U(s) = \left(1 + \frac{1}{4.5s} \right) \left(\frac{1+0.27s}{1+0.25s} \right) E(s) \quad (4)$$

式中, $R(s)$ 为控制系统输入; $Y(s)$ 为控制系统的输出; $U(s)$ 为控制器的输出; $E(s)$ 为控制器的输入。

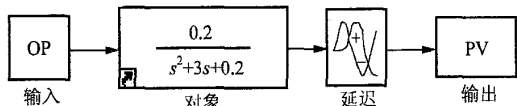


图 2 开环仿真结构图

Fig. 2 The open loop simulation structure

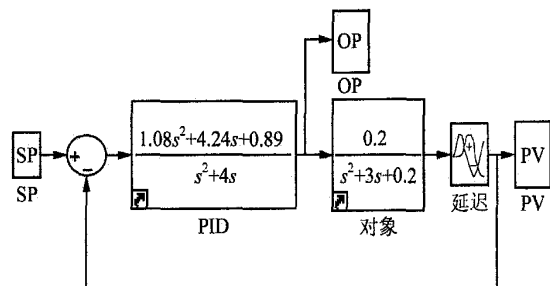


图 3 闭环仿真结构图

Fig. 3 The closed loop simulation structure

仿真所使用的采样间隔为 0.5 min, 选取 400 个数据, 在第 10 min 时加入幅值为 5 的阶跃信号, 在 75 min 时加入幅值为 10 的阶跃信号, 以此作为系统输入, 分别计算出控制器输出和控制系统的输出。

然后在控制器输出和系统输出上分别加入均值为 0, 方差为 0.05 的白噪声, 作为系统的仿真输出, 最后分别选择第 28 min 到 178 min 的数据进行两种类型的对象辨识。数据选取范围如图 2 所示, 图中的 PV + Noise 为系统输出加上白噪声后的曲线, 其它参数如表 1 所述, 表中 X_0 、 X_1 代表状态方程初值。

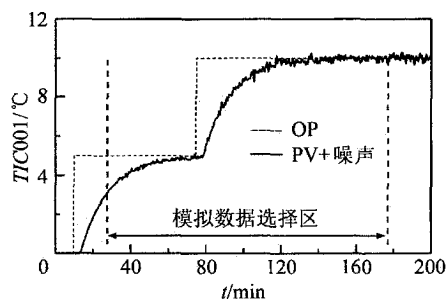


图 4 开环仿真数据区域选择图

Fig. 4 Range selected figure of the open loop simulation data

3.2 基于开环控制的对象辨识

使用上一步提供的控制器输出与测量值作为辨

识的输入输出数据, 以数值 1 作为参数初值, 进行常规对象辨识和 MPSEIVI 对象辨识, 辨识结果见表 2, 结果曲线见图 6。

表 1 仿真使用的数据

Table 1 Simulation parameters

对象模型参数				开环状态初值		闭环状态初值	
a	b	c	d	X_0	X_1	X_0	X_1
5	15	1	3	0.494	17.75	0.46	33.72

表 2 开环控制的两种辨识结果对比

Table 2 Comparison of results of the two open loop identification methods

常规辨识结果				MPSEIVI 辨识结果					
a	b	c	d	a	b	c	d	X_0	X_1
0.99	5.61	1.03	6.5	4.92	14.97	1.00	3.04	0.498	17.24

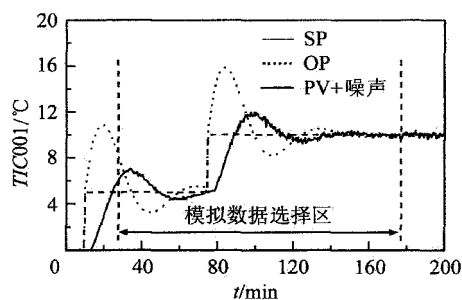


图 5 闭环仿真数据区域选择图

Fig. 5 Range selected figure of the closed loop simulation data

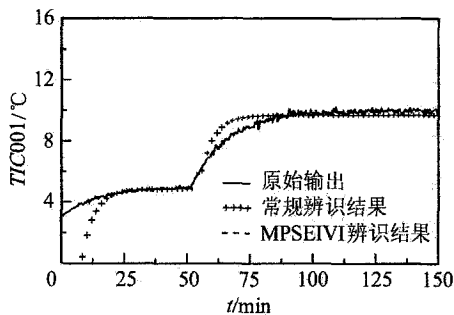


图 6 开环辨识的两种结果曲线对比

Fig. 6 The compare results of the two open loop identification methods

3.3 基于闭环控制的对象辨识

使用第一步提供的闭环控制的控制器输出与测量值做辨识的输入输出数据, 以数值 1 作为辨识初始化值, 分别进行闭环常规对象辨识和 MPSEIVI 辨识。辨识结果见表 3, 辨识曲线见图 7。

表 3 闭环控制的两种辨识结果对比
Table 3 Comparison of results of the two closed loop identification methods

常规辨识结果				MPSEIVI 辨识结果					
a	b	c	d	a	b	c	d	X ₀	X ₁
1.59	8.98	1.01	4.50	4.93	15.06	0.999	2.98	0.461	33.17

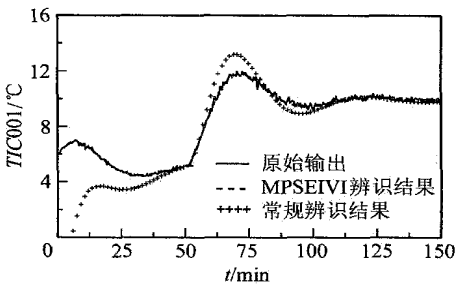


图 7 闭环辨识的两种结果曲线对比
Fig. 7 Comparison of results of the two closed loop identification methods

从两种辨识结果可知,由于常规辨识方法是基于系统在稳态基础上的阶跃响应而进行对象辨识的,因此不用考虑状态方程的初值问题,但对于不在稳态的过程,这时由于系统的状态方程初值不为零,因此很难得到正确的辨识结果。而 MPSEIVI 方法由于考虑了状态方程的初值,即考虑了辨识开始时的不稳状态,因此能获取较精确的辨识结果。

4 结论

针对先进控制难于长期投运的缺点,本文提出

了一种新的辨识方法——对象参数辨识与系统状态方程初值同时辨识的新方法。仿真表明,该方法对于上述系统的对象模型辨识是一个有效的新方法。该方法的提出,为控制系统的在线辨识,为解决控制系统在自动状态下稳定困难,PID 参数整定难于进行的难题提供了新的解决方案,为控制系统的优化和先进控制长期运行提供了一种新思路。

参 考 文 献

[1] 吴宏鑫,沈少萍. PID 控制的应用与理论依据[J]. 控制工程, 2003, 10(1): 37 - 42.
[2] 夏红,赏星耀,宋建成. PID 参数自整定方法综述[J]. 浙江科技学院学报, 2003, 15(4): 236 - 240.
[3] 王文新,张金昌,王艳辉,等. IMC-PID 控制器在炼油厂减压蒸馏装置的应用研究[J]. 化工进展, 2004, 23(6): 654 - 656.
[4] 李全善,潘立登,王文新,等. 催化裂化装置 PID 控制回路的优化[J]. 石油炼制与化工, 2004, 35(9): 46 - 50.
[5] Luus R. Iterative dynamic programming [M]. New York: Chapman & Hall/ CRC, 2000, 44 - 65.
[6] 潘立登,潘仰东. 系统辨识与建模[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 148 - 152.
[7] 马俊英,罗元浩,潘立登. 用改进的 NLJ 方法辨识闭环系统的模型参数及滤波器设计[J]. 北京化工大学学报, 2003, 30(4): 95 - 98.
[8] 龚剑平,王连伟,游浩. 用于二阶加纯滞后过程的 IMC-PID 控制器的研究[J]. 北京化工大学学报, 1999, 26(2): 59 - 62.

A new online process identification method

ZHEN Xin-ping LI Quan-shan JING Jing-jie PAN Li-deng WEN Guang-hui
(College of Information Science & Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: For nonlinear and slow processes, it is usual to employ advanced control at the start. As the conditions change however the advanced control model can not be updated sufficiently rapidly, and the performance of the model deteriorates and may even cease to be applicable. In order to overcome this problem, a new online process identification method is proposed. This can improve the accuracy of the model and successful simulation results are reported. This method provides a new way to extend the applicable lifetime of the advanced control process.
Key words: process identification; advanced process control; MPSEIVI; NLJ