第 33 卷 第 1 期 电 子 科 技 大 学 学 报 Vol.33 No.1
2004 年 2 月 Journal of UEST of China Feb. 2004

双线性工业过程稳态模型辨识新方法

刘知贵[1]，黄正良[1]，蒲 洁[2]，张 霜[2]

(1. 西南交通大学计算机与通信工程学院 成都 610031； 2. 西南科技大学网络学院,管理学院 四川 绵阳 621002)

【摘要】针对双线性模型描述的工业过程的优化控制的稳态模型建立须在人为干扰很小的条件下进行，提出了利用优化过程中设定点的阶跃信号作为输入信息，在F_i为可逆矩阵的假设下，获取其稳态模型的辨识方法。该方法新颖、简洁、精度高、对生产过程干扰少，仿真结果显示了方法的有效性和实用性。

关 键 词 双线性； 辨识； 稳态模型； 阶跃信号

中图分类号 TP11 **文献标识码** A

A New Identification Technique of Steady-State Models for Bilinear Industrial Processes

Liu Zhigui[1]，Huang Zhengliang[1]，Pu Jie[2]，Zhang Shuang[2]

(1.School of Computer and Communication Engineering Southwest JiaoTong University Chengdu 610031;

2.Southwest University of Science and Technology Network College School of Humanities & Social Science Sichuan Mianyang 621002)

Abstract It is very key to build the steady-state models of the industrial processes. Using the step signals of set-points changes in the course of optimizing control as the input signals to identifying the steady-state models is good identification technique and reduces the disturbed to the processes. In this paper, a new identification technique to obtain the steady-state models is presented for the bilinear industrial processes. which uses the step signals of set-points changes in the course of optimizing control as the input step signals to identifying the steady-state models of industrial processes described by bilinear models ,is presented .The novel technique is simple ,high identification accurate and less disturb to the industrial processes .Finally ,the simulation results show that the new approach is very efficient and practical.

Key words bilinear; identification; steady-stay model; step signals

当今能源和原材料的短缺日趋严重，由此带来的价格上涨使得生产成本不断提高，公司为了获得最佳经济效益，需要保持生产过程的最佳工作状况。在工业过程优化控制过程中，工业过程的稳态模型的建立起着关键的作用。为了减少人为的干扰，利用优化过程中设定点正常变化的阶跃信号作辨识输入信号，获取其稳态模型是一种很好的方法。如何克服外界环境的变化、器件、触媒老化以及原材料成分的变动等慢扰动因素对生产过程和产品质量的影响，在线地确定和跟踪系统的最优工作状况是十分重要的[1]。针对这一问题，早期的研究主要是寻找收敛速度快、稳定性好的算法[2,3]。从20世纪八十年代末期开始，人们开始寻找确定工业过程稳态模型可辨识的方法，现已解决了线性模型的辨识和一些特殊的非线性模型的辨识[4~6]，对于多变量的双线性模型的辨识还未解决。基于上述情况，本文提出利用优化过程中设定点变化的阶跃信号作输入信号来辨识其稳态模型的方法。

收稿日期：2003－10－09
基金项目：国家自然科学基金资助项目(69674003)
作者简介：刘知贵(1966－)，男，博士生，副教授，主要从事自动控制理论、计算机技术及应用方面的研究.

1 问题描述

有相当广泛的一类工业过程的输入/输出特性可用双线性模型来描述，由双线性模型描述的工业过程的稳态输入/输出关系如下所示

$$y = Au + \sum_{i=1}^{m} u_i B_i y \tag{1}$$

式中 $y \in R^n, u \in R^m$ 分别为过程的稳态输出和输入；A、$B_i\ (i=1,2,\cdots,m)$ 分别为 $n\times m$ 阶、$n\times n$ 阶的未知矩阵。

将矩阵 B_i 按列记为 $B_i = (B_{i1}\ B_{i2}\ \cdots\ B_{in})$，式(1)又可改写为

$$\begin{aligned} y = {} & Au + \sum_{i=1}^{m} u_i (B_{i1}\ B_{i2}\ \cdots\ B_{in}) = \\ & Au + \sum_{i=1}^{m} u_i (B_{i1} y_1 + B_{i2} y_2 + \cdots + B_{in} y_n) = \\ & Au + y_1 (B_{11}\ B_{21}\ \cdots\ B_{m1}) u + \\ & y_2 (B_{12}\ B_{22}\ \cdots\ B_{m2}) u + \cdots + \\ & y_n (B_{1n}\ B_{2n}\ \cdots\ B_{mn}) u = \\ & Au + y_1 D_1 u + y_2 D_2 u + \cdots + y_n D_n u = \\ & Au + \sum_{i=1}^{n} y_i D_i u \end{aligned} \tag{2}$$

式中 $D_i = (B_{1i}\ B_{2i}\ \cdots B_{mi})$，所以，式(1)和(2)描述的输入/输出特性是等价的。

由式(1)可知，这是一个包含了 $n^2 + m^2 n$ 个未知系数的代数方程。本文的目的就是如何选择稳态输入信号，利用输入/输出数据估计A和 B_i，从而确定其稳态模型。

2 辨识方法

首先，选择设定点 $u = u^i = (0\ \cdots\ 0\ \sigma_i\ 0\ \cdots\ 0)^T$ (第i个分量为 σ_i)加到过程中，记过程的稳态输出为 $y^i (i=1,2,\cdots,n)$，有

$$y^i = A_i \sigma_i + \sigma_i B_i y^i \tag{3}$$

式中 A_i 为 A 矩阵的第i列，即有 $A = (A_1\ A_2\ A_i\ \cdots\ A_m)$，输入选择 $\sigma_i = 1$，其稳态输出

$$\tilde{y}^i = A_i + B_i \tilde{y}^i \tag{4}$$

由式(4)可得

$$A_i = (I - B_i) \tilde{y}^i \tag{5}$$

由式(1)得

$$\begin{aligned} y = {} & \sum_{i=1}^{m} A_i u_i + \sum_{i=1}^{m} u_i B_i y = \\ & \sum_{i=1}^{m} (I - B_i) \tilde{y}^i u_i + \sum_{i=1}^{m} u_i B_i y = \\ & \sum_{i=1}^{m} B_i (u_i y - u_i \tilde{y}^i) + \sum_{i=1}^{m} \tilde{y}^i u_i = \\ & \sum_{i=1}^{m} B_i (y - \tilde{y}^i) u_i + \sum_{i=1}^{m} \tilde{y}^i u_i \end{aligned} \tag{6}$$

选择 $u = u^i$，得

$$y^i = B_i (y^i - \tilde{y}^i) \sigma_i + \tilde{y}^i \sigma_i \tag{7}$$

$$B_i (y^i - \tilde{y}^i) = \tilde{y}^i / \sigma_i - \tilde{y}^i \tag{8}$$

选择 σ_i 为 $\sigma_{i_j}\ (j=1,\cdots,n)$ 加入到过程中，测量其稳态输出得到 y^{i_j}，即有

$$B_i (y^{i_j} - \tilde{y}^i) = y^{i_j} / \sigma_{i_j} - \tilde{y}^i \qquad j = 1,2,\cdots,n \tag{9}$$

于是有

$$B_i(y^{i_1}-\tilde{y}^i,\cdots,y^{i_n}-\tilde{y}^i)=(y^{i_1}/\sigma_{i_1}-\tilde{y}^i,\cdots,y^{i_n}/\sigma_{i_n}-\tilde{y}^i) \tag{10}$$

记

$$F_i=(y^{i_1}-\tilde{y}^i,\cdots,y^{i_n}-\tilde{y}^i)$$

$$E_i=(y^{i_n}/\sigma_{i_1}-\tilde{y}^i,\cdots,y^{i_n}/\sigma_{i_n}-\tilde{y}^i)$$

即有

$$B_iF_i=E_i \tag{11}$$

当F_i为可逆矩阵时，则有

$$B_i=E_iF_i^{-1} \tag{12}$$

由式(5)和式(12)可知，A和B都可确定。

3 仿真研究

针对提出的辨识方法来进行数字仿真，考虑如下双线性系统的数字仿真。

例

$$y_1=u_1+u_2+0.5y_1u_1$$

$$y_2=u_1+2u_2+0.3333y_2u_2$$

式中

$$A=(A_1\quad A_2)=\begin{pmatrix}1 & 1\\ 1 & 2\end{pmatrix}$$

$$B_1=\begin{pmatrix}0.5000 & 0.0000\\ 0.0000 & 0.0000\end{pmatrix}$$

$$B_2=\begin{pmatrix}0.0000 & 0.0000\\ 0.0000 & 0.3333\end{pmatrix}$$

选择$u_1=1$，$u_2=0$加到过程中，量测其稳态输出，得到

$$\tilde{y}^1=(2\quad 1)^T$$

选择$u_1=0$，$u_2=1$加到过程中，量测其稳态输出，得到

$$\tilde{y}^2=(1.0000\quad 2.9999)^T$$

首先，辨识B_1和A_1，选择

$$\sigma_{1_1}=\begin{pmatrix}4\\ 0\end{pmatrix}\qquad \sigma_{1_2}=\begin{pmatrix}6\\ 0\end{pmatrix}$$

得到

$$y^{1_1}=\begin{pmatrix}-4\\ 4\end{pmatrix}\qquad y^{1_2}=\begin{pmatrix}-3\\ 6\end{pmatrix}$$

于是有

$$F_1=\begin{pmatrix}-6 & -5\\ 3 & 5\end{pmatrix}\qquad E_1=\begin{pmatrix}-3.0000 & -2.5000\\ 0.0000 & 0.0000\end{pmatrix}$$

由式(12)可得到

$$B_1=E_1F_1^{-1}=\begin{pmatrix}-3.0000 & -2.5000\\ 0.0000 & 0.0000\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-6 & -5\\ 3 & 5\end{pmatrix}^{-1}=$$

$$\begin{pmatrix}0.5000 & 0.0000\\ 0.0000 & 0.0000\end{pmatrix}$$

$$A_1=(I-B_1)\tilde{y}^1=\begin{pmatrix}0.5000 & 0.0000\\ 0.0000 & 0.0000\end{pmatrix}\begin{pmatrix}2\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}$$

其次，辨识B_2和A_2，选择$u_1=0$，$u_2=0.5$；$u_1=0$，$u_2=6$代人双线性方程中,得到

$$y^{2_1}=(0.5000\quad 1.2000)^T$$

$$y^{2_2}=(6.0000\quad -12.0024)^T$$

$$F_2=\begin{pmatrix}-0.5000 & 5.0000\\ -1.7999 & -15.0023\end{pmatrix}$$

$$E_2=\begin{pmatrix}0.0000 & 0.0000\\ -0.5999 & -5.0003\end{pmatrix}$$

$$B_2=E_2\cdot F_2^{-1}=\begin{pmatrix}0.0000 & 0.0000\\ -0.5999 & -5.0003\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-0.5000 & 5.0000\\ -1.7999 & -15.0023\end{pmatrix}^{-1}=$$

$$\begin{pmatrix}0.0000 & 0.0000\\ -0.0000 & 0.3333\end{pmatrix}$$

$$A_2=(I-B_2)\tilde{y}^2=\begin{pmatrix}1 & 0.0000\\ 0 & 0.6667\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\3\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1.0000\\2.0001\end{pmatrix}$$

4 结 论

工业过程优化控制中，起决定作用的是其稳态模型，本文为减少人为干扰获取其稳态模型提出了一种辨识新方法，解决了双线性工业过程稳态模型的辨识。该方法最突出的特点是利用优化过程中设定点变化的阶跃信号作输入信号来辨识系统的稳态模型，减少了对生产过程的干扰，仿真结果显示了方法的有效性和实用性。该方法新颖、简洁、精度高、辨识成本低。

参 考 文 献

[1] Findeisen W, Bailey F N, Bray's M, *et al.* Control and coordination in hierarchical systems[M]. London：John Wiley and Sons, 1980

[2] Roberts P D. Multilevel approaches to the combined problem of system optimization and parameter identification[J]. Int. J. Systems Sci., 1977, 10(2): 207-223

[3] Brdy's M, Chen S, Roberts P D. An extension to the modified two-step algorithm for steady-state system optimization and parameter estimation[J]. Int. J. Systems Sci., 1986, 17(8): 1 229-1 243

[4] 黄正良, 万百五, 韩崇昭. 双线性系统稳态模型估计及其强一致分析[J].自动化学报, 1995, 21(15): 562-569

[5] 万百五, 黄正良. 大工业过程计算机在线稳态优化控制[M]. 北京: 科学出版社, 1998

[6] 刘知贵, 黄正良. 大工业过程稳态模型s的分散辨识[J]. 电子科技大学学报, 1999, 28(3): 286-290

编 辑 漆 蓉