

基于 RELS 方法的控制系统参数和结构辨识仿真

何致远

(杭州应用工程技术学院信息与电气工程系 杭州 310012)

摘 要 给出了应用递推增广最小二乘法对控制系统参数和结构进行数字仿真辨识的方法和步骤, 通过对三个实际模型参数及阶的辨识结果, 验证了仿真方法的可行性. 提出的辨识思想对系统辨识实验研究具有意义.

关键词 系统辨识 递推增广最小二乘法 仿真

中图分类号 TP391.9

递推增广最小二乘法 (Recurrence Extension Least Squares Methods, 简称 RELS 方法) 是用于控制系统参数估计和结构辨识的一种方法, 它基于 LS (最小二乘) 方法, 使被控对象数学模型在误差信号平方和最小的意义上由实验数据拟合, 同时把有色噪声看成是由白噪声合成的, 从而解决了 LS 算法的有偏性和非一致性问题, 在校正控制中得到广泛的应用. 为进行系统辨识的教学和研究, 往往采用数字仿真方法来模拟被测对象参数和阶的实验测试过程. 作为对辨识方法的应用研究, 本文基于 RELS 方法对三个不同对象模型进行参数及阶辨识仿真实验, 给出了仿真辨识的思路、方法步骤和推算结果.

1 仿真过程和结果

1.1 系统结构

辨识对象的系统结构如图 1 所示.

其中 $W(k)$ 为白噪声; $U(k)$ 为输入; $Y(k)$ 为输出; 系统为开环辨识.

$A(k), B(k), C(k), D(k)$ 表达式见各仿真模型.

其中有色噪声 $e(k) = \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})} w(k)$

给出三个对象模型: (θ 为被估参数矢量; “*” 表示已知的精确值)

(1) CAR 模型: $A(Z^{-1}) = 1 - 1.5Z^{-1} + 0.7Z^{-2}, B(Z) = Z^{-1} + 0.5Z^{-2}, C(Z^{-1}) = 1, D(Z^{-1}) = 1;$

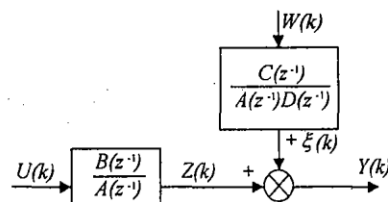


图 1 辨识系统结构

$$\theta = (\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6)^T, \theta^* = (-1.5 \ 0.7 \ 1 \ 0.5 \ 1 \ 1)^T$$

(2) CARMA 模型: $A(Z^{-1}) = 1 - 1.5Z^{-1} + 0.7Z^{-2}$, $B(Z^{-1}) = Z^{-1} + 0.5Z^{-2}$, $C(Z^{-1}) = 1 - Z^{-1} + 0.2Z^{-2}$, $D(Z^{-1}) = 1$;

$$\theta = (\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6)^T, \theta^* = (-1.5 \ 0.7 \ 1 \ 0.5 \ -1 \ 0.2)^T$$

(3) CARMA 模型: $A(Z^{-1}) = 1 - 1.5Z^{-1} + 0.7Z^{-2}$, $B(Z^{-1}) = Z^{-1} + 0.5Z^{-2}$, $C(Z^{-1}) = 1$, $D(Z^{-1}) = 1 + 0.6Z^{-1}$;

$$\theta = (\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6)^T, \theta^* = (-1.5 \ 0.7 \ 1 \ 0.5 \ -0.6 \ 0.36)^T$$

输入 $U(K)$ 采用幅值为 1 的伪随机二位式 M 序列 (PRBS)^[1], 其反馈移位寄存器 $n = 13$. $W(K)$ 是均值为零, 方差为 σ^2 , 服从正态分布的不相关随机白噪声系列, 可通过改变 σ^2 的大小来改变其噪声信比.

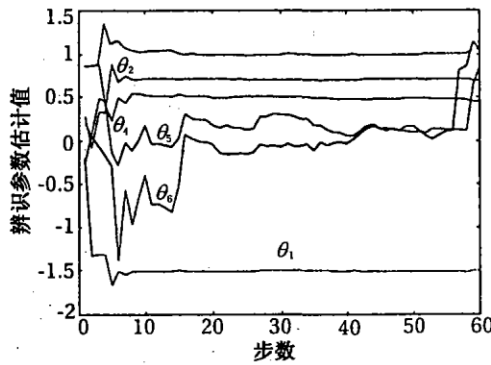


图2 模型1参数辨识过程

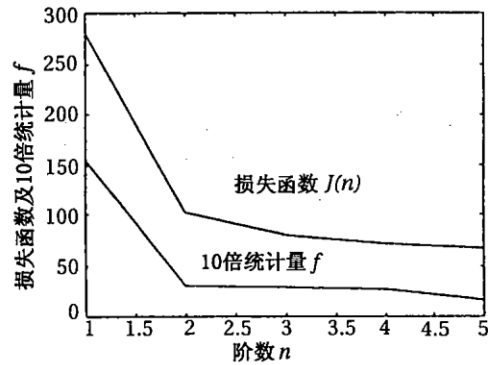


图3 模型1结构辨识过程

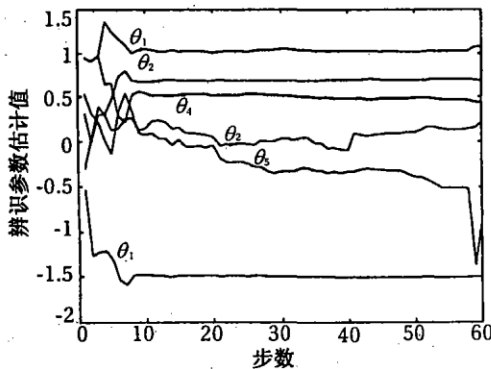


图4 模型2参数辨识过程

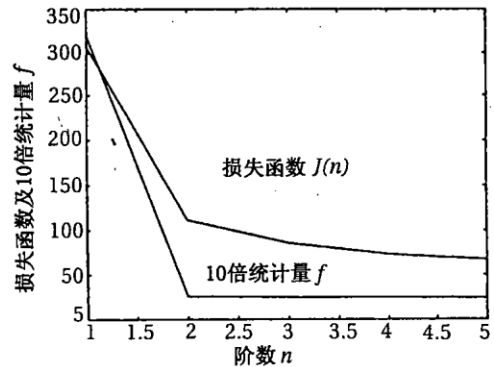


图5 模型2结构辨识过程

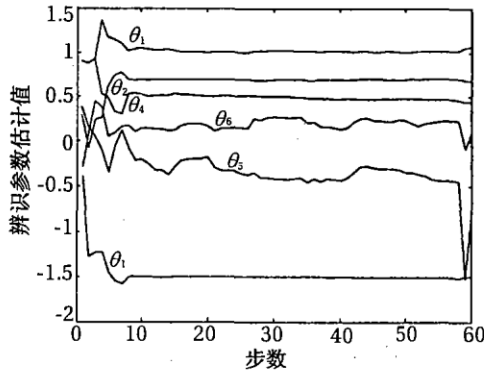


图6 模型3参数辨识过程

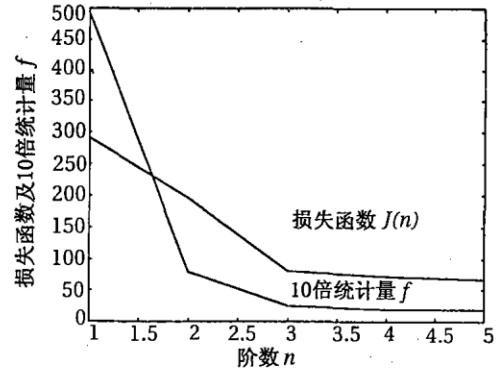


图7 模型3结构辨识过程

1.2 $W(K)$ 的设计

笔者设计 $W(K)$ 的产生方法是:先按乘同余法产生 $0,1$ 之间均匀分布随机数 $X(i) = \lambda X(i-1) \pmod{M}$, $M = 2^{13} = 8192$, 取 $X(0) = 1, \lambda = 5003$; $\eta(k) = X(k)/M$ ($k = 1, 2, 3, \dots, 60$);然后再产生 $N(\sigma^2, \mu)$ 的不相关噪声 $\eta(k)$. $W(k)$ 序列的求取式:

$$\begin{aligned} W(2k-1) &= \sigma \sqrt{-2\ln\eta(2k-1)} \cos 2\pi\eta(2k) + \mu \\ W(2k) &= \sigma \sqrt{-2\ln\eta(2k-1)} \sin 2\pi\eta(2k) + \mu \\ k &= 1, 2, 3, \dots, 30 \end{aligned}$$

1.3 算法步骤

为模拟对上述三模型的辨识,先在 $U(k)$ 及 $W(k)$ 输入条件下,由差分方程获取输出 $Y(k)$ (此时 $Y(k)$ 已被噪声污染).再在已知 $Y(k)$ 的基础上,运用 RELS 方法辨识各模型的参数,同时用 F 检验法逐次辨识模型的阶.为模拟实时控制系统的节省存储空间和避免由矩阵求逆带来计算量增加的要求,采用递推算法.

RELS 算法^[2]: $\theta(k+1) = \theta(k) + K(k+1)[Y(k+1) - X^T(k+1)\theta(k)]$ ($\theta(k)$ 为被估参数矢量)

$$\begin{aligned} K(k+1) &= P(k)X(k+1)/[1 + X^T(k+1)P(k)X(k+1)]; \\ P(k+1) &= [1 - K(k+1)X^T(k+1)]P(k); \end{aligned}$$

其中: $X^T(k) = [-y(k), -y(k-1), \dots, -y(k-n+1), u(k), \dots, u(k-n+1), w(k), \dots, w(k-n+1)]$; $k = 1, 2, 3, \dots, N$ 取 $P(0) = 10^5 I$;考虑到步数 ≥ 60 , 趋于稳定, 取 $N = 60$.

F 检验中, 损失函数 $J(n) = (Y - X\theta)^T(Y - X\theta)$; 风险水平 $\alpha = 0.05$; 统计量取为:

$$f = \frac{[J(n_1) - J(n_2)]/2(n_2 - n_1)}{J(n_2)/(N - 2n_2)}, f^* = 3.00, (\text{CAR 模型})$$

$$f = \frac{[J(n_1) - J(n_2)]/3(n_2 - n_1)}{J(n_2)/(N - 3n_2)}, f^* = 2.60, (\text{CARMA 模型})$$

1.4 辨识结果

算法程序用 C 语言编写, 辨识结果用 Matlab 工具绘制见图 2~图 7. 从 3 个模型的辨识结果中看出, 个别参数波动大, 实时辨识时宜增加步数和用滤波算式改善.

2 结论

从本文分析及给出实例的辨识结果看出, 笔者提出的基于 RELS 方法对控制系统参数和结构

辨识仿真是可行的.从理论上分析基于 RELS 方法的系统辨识可达到无偏和一致的效果,实时应用时宜合理选择推算步数和滤波算式,达到改良辨识的效果.

参 考 文 献

- 1 吴广玉主编.系统辨识与自适应控制:上册.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1987.50~57
- 2 方崇智,萧德云.过程辨识.北京:清华大学出版社,1987.173~175

The simulation based on RELS method to identify parameters and structures of control systems

He Zhiyuan

(Department of Information and Electric Technology, Hangzhou Institute of Applied Engineering, Hangzhou 310012)

Abstract This thesis gives the simulation methods and steps, based on RELS method to identify parameters and structures of control systems. By identifying 3 different models and offering their results, it verifies the feasibility of this simulation method. The train of thoughts advanced by the thesis has significance for experiment of system identification.

Key words control identification recurrence extension least squares methods simulation