

文章编号: 1671-7848(2004)03-0197-04

基于可行模型集合方法的多模型切换控制

王建, 张珩

(中国科学院力学所, 北京 100080)



摘 要: 对含参数跳变的一类具有有界干扰的多输入多输出系统, 为改善系统的瞬态响应性能, 采用由多个固定模型和两个自适应模型组成的多模型, 并引入切换指标函数构成多模型切换控制器。为克服多模型方法计算量大的缺点, 采用可行模型集合方法, 给出了可行模型应满足的必要条件。应用这一必要条件, 对系统的多个模型进行检验, 可快速缩小模型可行集合的范围, 再通过切换指标函数, 在可行模型集合中选择正确的控制器, 从而在不降低系统响应性能的前提下, 提高计算速度。

关键词: 多模型; 可行模型集合; 有界扰动

中图分类号: TP 273 **文献标识码:** A

1 引言

对于时不变或慢时变的参数未知系统, 可采用自适应控制方法, 但在实际控制中, 系统故障、外界扰动和工作条件的变化都使被控对象模型发生很大变化, 利用常规自适应控制方法将导致系统瞬态响应变差, 甚至不稳定。基于多模型方法可有效解决这一问题。多模型方法是建立多个模型覆盖参数变化范围, 进而基于切换指标函数设计多模型控制器的一种方法。

多模型方法已取得很多结果, 文献[1]利用多自适应模型切换解决了估计模型的稳定性问题, 文献[2, 3]通过比较多个模型的预测误差从控制器集合中选出使系统输出跟踪参考输入的控制器, 文献[4]讨论在环境变化下, 从多个模型和对应的控制器中确定何时切换控制器, 自适应地调节模型和控制器参数, 使系统达到最好性能, 文献[5]采用多个固定模型和自适应模型相结合的方法以改善参数跳变系统的瞬态响应。但多模型的一个缺点是计算量大, 本文针对一类受有界干扰的多输入多输出系统, 提出可行模型集合方法。这种方法可快速缩小可行模型集的范围, 在不降低系统响应特性的同时又大大减少计算量。仿真结果表明了该算法的有效性。

2 系统描述

考虑带有界干扰的多输入多输出线性离散系

统模型:

$$A(t, z^{-1}) Y(t) = D(z^{-1}) B(t, z^{-1}) U(t) + \omega(t) \quad (1)$$

式中, $U(t)$, $Y(t)$ 分别为 n 维输入、输出向量, $\omega(t)$ 是干扰向量, 满足 $\|\omega(t)\| \leq \omega$ 。

$A(t, z^{-1})$, $D(z^{-1})$ 是后移算子 z^{-1} 的多项式对角阵, $B(t, z^{-1})$ 是 n 维多项式方阵。

A, B 的阶次分别为 n_a, n_b , $A(0, 0) = I$, $D(z^{-1}) = \text{diag}(z^{-k})$ 。

$$A(t, z^{-1}) = I + A^1(t) z^{-1} + \dots + A^{n_a}(t) z^{-n_a}$$

$$B(t, z^{-1}) = B^0(t) + B^1(t) z^{-1} + \dots + B^{n_b}(t) z^{-n_b}$$

假设 $A^l(t)$, $B^j(t)$, $l = 1, 2, \dots, n_a; j = 0, 1, 2, \dots, n_b$ 是时不变或含跳变参数的实矩阵。并且相邻两次跳变间隔足够长, 系统在此期间内参数保持不变。

系统式(1)可写成:

$$y_i(t) = \Phi_i^T(t-1) \theta_i(t) + \omega_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, $\Phi_i^T(t-1)$ 是 $1 \times (n_a + n_b + 1)$ 维向量, $\theta_i(t)$ 是 $(n_a + n_b + 1) \times 1$ 维由输入输出数据构成的向量, $\theta_i(t)$ 中的元素是 t 的函数, 且

$$Y(t) = [y_1(t), \dots, y_n(t)]^T$$
$$\theta_i(t) = [a_{i1}, \dots, a_{i n_a}, b_{i1}^0, \dots, b_{i n_b}^0, b_{i1}^1, \dots, b_{i n_b}^1, \dots, b_{i1}^{n_b}, \dots, b_{i n_b}^{n_b}]^T$$

收稿日期: 2003-08-27; 收修定稿日期: 2003-10-24

作者简介: 王建(1971-), 男, 黑龙江塔河人, 博士研究生, 主要研究方向为混杂系统、多模型系统的控制等; 张珩(1961-), 男, 吉林长春人, 研究员, 博士生导师。

$$J_i = \frac{Y(t) - \hat{Y}^i(t)}{1 + \phi_L^T(t-1)\phi_L(t-1)}$$

由上述可得基于可行模型集合方法的多模型自适应算法。

1) 时不变系统的多变量多模型自适应算法

当 $t =$ 初始时刻 t_0 ,

令 $I(t_0) = I_0 = \{1, 2, \dots, s\}$ 。

当 $t > t_0$, 计算:

$$I(t) = t \text{ 时刻的可行模型集合}, I(t) = I(t) \cap I(t-1), i(t) = \underset{i \in \{I(t), A1, A2\}}{\arg \min} J_i。$$

如果 $i(t) \neq I(t)$, 则将第 $i(t)$ 个固定模型所对应的控制器投入系统; 如果 $i(t) \in \{A1, A2\}$ 则用上述自适应算法设计控制器。

如果 $i(t) = i(t-1)$, 将 $\hat{L}^{i(t)}$ 作为第 2 个自适应模型下一次参数辨识的初值, 否则继续。

$t = t + 1$, 返回。

算法 1) 经改进后可用于参数跳变的系统。

2) 含参数跳变的多变量多模型自适应算法将算法 1) 的第二步改为

当 $t > t_0$, 计算:

$I(t) = t$ 时刻的可行模型集合,

$I(t) =$

$$\begin{cases} I(t) \cap I(t-1) & \text{if } I(t) \cap I(t-1) \neq \emptyset \\ I_0 & \text{else} \end{cases}$$

$$i(t) = \underset{i \in \{I(t), A1, A2\}}{\arg \min} J_i$$

其余步骤同算法 1)。

5 系统稳定性分析

引理 1^[6] 系统辨识算法有下面性质:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} OS_i^2(t) = 0$$

$$1 + \phi_i^T(t-1) P_i(t-2) \phi_i(t-1) > \delta$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [\hat{y}_i(t) - \hat{y}_i(t-d)] = 0, 0 < d < \infty$$

定理 1 采用上述的基于可行模型集合方法的多模型自适应算法, 可保证系统的输入 $u(t)$, 输出 $y(t)$ 有界。

证明 分两种情况

如果系统模型参数收敛到 $A1, A2$, 则根据文献[6]定理 1 可知按上述的控制器设计方法, 可使系统的输入 $U(t)$, 输出 $y(t)$ 有界。

如果系统参数收敛到固定模型 $\hat{L}, I = \{1, 2, \dots, s\}$, 则该固定模型参数即是参数辨识算

法的收敛参数, 如若不然, 设参数辨识算法收敛到 \hat{L} 则由参数辨识算法, 算法 1) 和 2), 引理 1 可知:

$$\|y_i^n(t) - \phi_i^n(t-1) \hat{L}\| \leq \epsilon_{\max i}$$

$$\|y_i^n(t) - \phi_i^n(t-1) \hat{L}\| > \epsilon_{\max i}$$

由定义 2, 固定模型 \hat{L} 和自适应模型 \hat{L} 的切换指标函数满足: $J_I > J_A$, 导致矛盾, 因此由文献[6]可知系统输入 $U(t)$, 输出 $y(t)$ 有界。

6 仿 真

考虑两输入两输出的电路系统如图 1 所示。

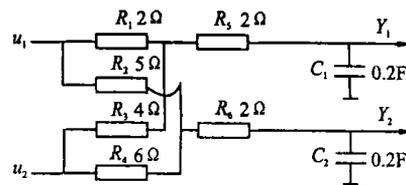


图 1 两输入两输出的电路系统

将系统以采样周期 $T = 0.6 s$ 离散化后所得模型如式(1), A, B 的阶次为 $n_a = 1, n_b = 0$, 干扰向量 $w(t) = 0.01$ 。

系统的两个期望输出信号以 $30 T$ 为周期分别按 $2 \sim 3 V$ 和 $4 \sim 5 V$ 交替变化, 在第 $40 T$ 时, 电阻 R_1 和 R_2 由于故障原因分别由 $2 \sim 5$ 跳变到 $1 \sim 3$ 。要求系统输出跟踪期望输出。

设计 1 080 个模型以 $0.05 s$ 间隔覆盖电阻跳变引起的模型参数变化范围:

$$a_{11}^1 \in [-0.43, -0.33],$$

$$a_{22}^1 \in [-0.55, -0.45],$$

$$b_{11}^0 \in [0.36, 0.56],$$

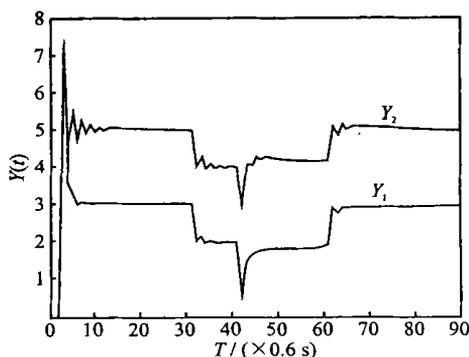
$$b_{12}^0 \in [0.12, 0.22],$$

$$b_{21}^0 \in [0.23, 0.38],$$

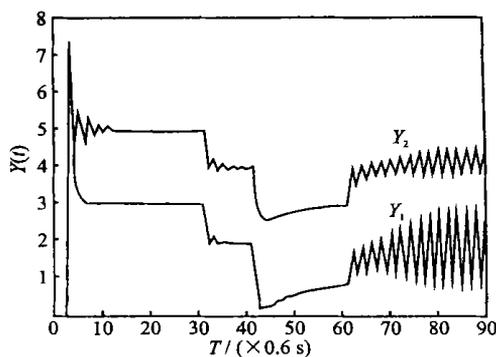
$$b_{22}^0 \in [0.17, 0.22]$$

采用可行模型集合方法的多模型切换控制算法仿真时间为 $8.56 s$, 未采用这种方法的多模型切换控制算法仿真时间为 $11.12 s$ 。虽然两种方法的响应曲线相同, 如图 2(a) 所示, 但采用可行模型集合方法比未采用这种方法计算量大大减少, 如果参数多次跳变, 计算量减小的程度会更加明显。

常规自适应方法的系统响应曲线如图 2(b) 所示, 可见采用基于可行模型集合方法的多模型切换方法的系统响应特性(如图 2(a) 所示) 远远优于常规自适应方法。



(a) 采用可行模型集合方法



(b) 采用常规自适应方法

图 2 系统响应曲线

7 结 语

本文研究含参数跳变的一类具有有界干扰的多输入多输出系统的控制问题,为改善系统的瞬态响应,采用基于由多个固定模型和自适应模型组成的多模型,并引入切换指标函数构成多模型自适应切换控制器。为克服多模型方法计算量大的缺点,采用可行模型集合方法,可快速缩小模型可行集合的搜索范围,提高计算速度。仿真结果表明,该算法可在不降低系统的瞬态响应特性的同时,大大降低计算量。

参考文献:

[1] Middleton R H, Godwin G C. Design issues in adaptive control[J]. IEEE Trans Autom Control, 1988, 40(1):

50-58.

[2] Kukami S R. Model and controller selection policies based on output errors[J]. IEEE Trans A C, 1996, 41(11):1594-1608.

[3] Judith H. Controller switching based on output prediction errors[J]. IEEE Trans A C, 1998, 43(5):596-607.

[4] Narendra K S, Balakrishnan J. Adaptive control using multiple models [J]. IEEE Trans A C, 1997, 42(2):171-187.

[5] Narendra K S, Balakrishnan J. Intelligent control using fixed and adaptive models [A]. Proc IEEE, 33rd CDC [C]. Lake Buena Vista: IEEE, 1994.

[6] Wen Yu, Chai T Y. Robustness and transient performance of adaptive decoupler for a class of Multivariable systems[J]. INT J Systems Sci, 1995, 26(11):2177-2186.

[7] Chai T Y. A multivariable robust self-tuning controller [A]. Proc. 9th IFAC/ IFORS Symposium on Identifications and System Parameter Estimation [C]. Budapest: Pergamon Press Inc, 1991.

Multi-model Switching Control Based on Feasible Model Set

WANG Jian, ZHANG Heng

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract: A multi-model switching controller is presented to improve the transient response of the MIMO systems with the bounded disturbances and the jumping parameters. The controller is based on multiple fixed models and two adaptive models with a switching index function. The feasible model set method is proposed to reduce the computation burden of multi-model algorithm. The necessary condition that the feasible models should meet is given. The scope of feasible model set is reduced with this condition and then the correct controller is selected with the switching index function in the feasible model set. So the computation burden is reduced without the degradation of system performance.

Key words: multi-model; feasible model set; bounded disturbances