

文章编号: 1001-0920(2005)05-0583-03

随机载荷的远程参数控制实现的模型

林文强¹, 刘红领¹, 礼宾¹, 王学义²

(1 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110004; 2 第一汽车制造集团 技术中心, 吉林 长春 130000)

摘要: 远程参数控制技术(RPC)利用计算机输出的数字信号经系统传递函数控制系统输出,忽略输入、输出信号的具体量纲,通过模拟迭代的方法逐步消除误差和非线性因素的影响。在对随机过程远程模拟控制理论进行研究的基础上,建立了一个严谨离散化的、便于工程应用的RPC模型。该模型主要用于对高频随机载荷的高精度模拟。

关键词: 远程参数控制; 传递函数; 模拟迭代; 高频; 随机载荷

中图分类号: TH113; TP13 **文献标识码:** A

Model to realize the remote parameter control of random load

LIN Wen-qiang¹, LIU Hong-ling¹, LIBin¹, WANG Xue-yi²

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Northeast University, Shenyang 110004, China; 2. Technique Center, the First Vehicle Manufacture Group of China, Changchun 130000, China. Correspondent: L N Wen-qiang, E-mail: neulh1@sohu.com)

Abstract: The remote parameter control (RPC) technology uses the digital signal from computer to control the output of systems through the transfer function. This technology ignores the dimension of both input and output, and the simulative iteration is used to delete the effects of non-linearity and errors. On the basis of the profound research on the theory of random process remote simulative control, an RPC model is established. The model is precise, discrete and convenient for engineering application, which is mainly used to obtain the high precision simulation of the high frequency random load.

Key words: remote parameter control; transfer function; simulative iteration; high frequency; random load

1 引言

远程参数控制(RPC)理论是一种关于随机过程的模拟控制技术,国外学者对该技术已有一定的研究和较深的技术积累^[1]。但主要集中于对近似平稳随机过程的远程控制理论的研究,而对高频随机过程模拟的研究则较少,尚没有建立一种普适的远程控制模型。目前国内在该领域还处于起步阶段,仅对某些方面有所接触。

本文在对产生非平稳随机过程进行深刻剖析和对其迭代方法深刻理解的基础上,在对非线性系统响应进行分解和迭代之后建立了普适的RPC模型。该模型基于控制和随机过程的模拟等理论,提出了对产生平稳随机过程和非平稳随机过程的分析方

法。根据该数学模型,结合实验、分析方法,可实现对实际系统的准确控制以及在计算机上的精确模拟。

2 系统辨识

一个典型的控制系统一般应包括电控设备、液压设备、机械设备、传感设备、数据转换、采集及传输设备。直接获得这样一个复杂系统的数学模型较为困难,为此人们采用了系统辨识的方法^[2,3]。目前系统辨识方法主要有神经网络法^[4],模糊控制法^[5]和传递函数法^[6-8],在RPC中采用传递函数法为求出系统的频率响应函数 $H(f)$,根据线性理论,首先要有一组满足一定要求的随机过程 $x(t)$ 作为系统的输入信号,然后将该信号输入系统,并收集响应 $y(t)$,计算 $x(t)$ 的自谱 $S_{xx}(f)$ 及 $y(t)$ 与 $x(t)$ 的

收稿日期: 2004-07-26; 修回日期: 2004-09-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G9990650)。

作者简介: 林文强(1961—),男,浙江温岭人,副教授,从事结构疲劳与计算机模拟的研究;刘红领(1979—),男,河南周口人,硕士生,从事机械设计的研究。

$$e^0(t) = y^D(t) - y^0(t), \quad (13)$$

误差谱为

$$E^0(f) = Y^D(f) - Y^0(f). \quad (14)$$

据此求出驱动谱的修正谱为

$$\Delta X^0(f) = H^{-1}(f)E^0(f); \quad (15)$$

然后确定驱动信号时域修正谱

$$\Delta x^0(t) = F^{-1}[\Delta X^0(f)] = F^{-1}[H^{-1}(f)E^0(f)]; \quad (16)$$

进而得到新的驱动信号

$$x^1(t) = x^0(t) + \alpha \Delta x^0(t). \quad (17)$$

为防止驱动信号超限而引起设备故障, $\Delta x^0(t)$ 前乘以一个小于 1 的, 称为安全系数或反馈系数的因子 α $0 < \alpha < 1$.

用新的驱动信号 $x^1(t)$ 激励系统, 测量响应 $y^1(t)$, 计算偏差

$$e^1(t) = y^D(t) - y^1(t). \quad (18)$$

若 $e^1(t)$ 小于预置误差, 则迭代结束, $x^1(t)$ 为有效波形; 否则重复迭代过程, 继续迭代, 直到满足给定的精度为止. 求得有效波形后, 便可用它驱动系统对设备进行试验. 将所得信号输入单片机系统, 由系统响应波形控制作动器动作, 并随时测得响应

5 仿真结果分析

该模型已应用于摩托车道路模拟机的设计. 通过在模拟机上模拟实际路面的不平度, 再现了摩托车在实际路面上的振动响应, 为试验车辆提供一个非常接近于实际行驶条件的可控制、可重复的振动环境. 已知摩托车在实际路面上的振动响应, 经反复模拟迭代, 消除非线性和噪声的干扰, 所求得的有效波形如图 2 所示; 通过有效波形激励系统得到的系统响应如图 3 所示. 系统响应与有效波形之间的均方差 $\sigma = 0.066$ V (位移信号转换成了电压信号), 有效波形的平均值 $\mu = -2.4986$ V (负号只代表方向), 可计算出液压控制系统的误差为 $\epsilon_t = (\sigma/\mu)$

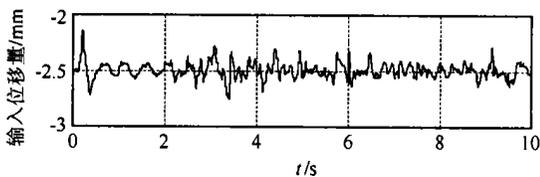


图 2 有效波形

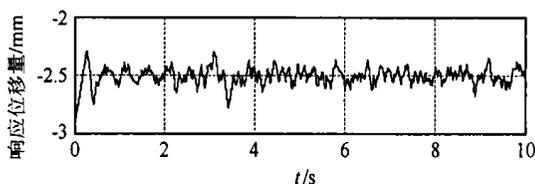


图 3 系统响应

$\times 100\% = 2.64\%$. 又知机械系统 X 方向误差 $\epsilon_x = 0.845\%$, Y 方向误差 $\epsilon_y = 0.046\%$, 从而可计算出整个系统控制过程中总的误差 $\epsilon = \epsilon_x + \epsilon_y = 3.485\%$. 对同一有效波形采集 3 组响应数据, 与有效波形之间的均方差分别为 $\sigma_1 = 0.0648$, $\sigma_2 = 0.0655$, $\sigma_3 = 0.0657$. 计算出的可重复精度结果如下:

$$\eta = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3} = \frac{0.0657 - 0.0648}{0.0653} = 1.38\%.$$

6 结 论

1) 远程参数控制与传统控制模型(非线性微分方程和差分方程模型以及用 Volterra 级数展开表示的多项式模型等)相比具有明显的优势. 囊括了线性和非线性系统的特点, 能够全面反映随机过程的控制特征, 可实现随机过程尤其复杂随机过程的远程模拟控制.

2) 在控制过程中输入量与输出量的量纲不受限制, 例如输入量是位移, 输出量可以是加速度. 而采用一般方法, 加速度必须经两次积分后才可以处理, 此时对边界值的处理是目前尚未得到很好解决的课题.

3) 此模型可用于对高频(25~50 Hz)随机载荷的高精度模拟, 控制精度在 5% 以内, 可重复精度在 2% 以内. 利用所建立的模型对随机载荷进行模拟试验, 对各种工况进行分析, 可代替实际路面的实验, 节省大量的实验费用.

4) 本文结合控制和随机过程模拟等理论, 提出了对产生平稳随机过程和非平稳随机过程的分析方法, 具有一定的普适性. 该方法不仅可以在道路模拟过程中得以应用, 还可用于海洋平台设计、地震破坏预测和海浪模拟等各方面的研究.

参考文献 (References)

[1] He J B, Tang X J, Cao C K. Methodology & strategy of speed measuring & controlling in KDV automobile pilot[J]. *Modelling, Measurement & Control B*, 1995, 59: 37-46

[2] Li D G, Shah Sirish L, Chen T W, et al. System identification and long-range predictive control of multi-rate systems[A]. *Proc of the American Control Conf [C]*, 1999, 1: 336-340

[3] 周西峰. 系统辨识与建模的一种新方法[J]. *信息与控制*, 2000, 29(2): 131-138 (Zhou X F. A new approach of system identification and modeling[J]. *Information and Control*, 2000, 29(2): 131-138)

(下转第 591 页)

角速度; θ 为俯仰角; δ_e 为发动机油门控制角; δ_r 为升降舵偏转角

系数矩阵的取值为

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0.087 & -0.996 & 0 & 0.608 \\ 0 & -0.17 & -0.003 & -0.014 & 9.773 \\ 0 & -0.255 & 0.008 & 50.01 & -0.885 \\ 0 & 0.001 & -1.125 & -1.47 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2.334 & -0.556 \\ 0 & -8.09 \\ 0 & -6.47 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0.17 & -0.03 \\ -0.055 & 0.058 \\ 0.001 & -0.125 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

采用 H_2 指标设计的输入将超出 $-70^\circ \delta_e$ 0° ; $-90^\circ \delta_r$ 80° 的范围。如果对输入限制到 $-20^\circ \delta_e$ 0° ; $-50^\circ \delta_r$ 30° ; 则仿真过程发散。

按照输入受限的 H_2 指标(式(8)) 设计的状态反馈阵为

$$K = \begin{bmatrix} -0.1314 & 0.0088 & 0.0314 & 0.2166 & -1.2048 \\ -4.5858 & -53.7766 & 6.7476 & 5.9253 & -209.8957 \end{bmatrix};$$

闭环极点为

$$\sigma(A - BK) = \{-54.2588, -0.8202 + 7.4789i, -0.8202 - 7.4789i, -0.0874, -0.0093\};$$

油门开度为 $\delta_e = -10^\circ$ 。

为了说明问题, 给出按式(8) 设计控制系统的图形结果(见图 1)。由图 1 可知, 采用本文方法可得到满意的结果。

5 结 语

实际系统中, 因能量的限制或安全性原因, 控制系统的输入常常限制在一定的取值范围内, 而传统基于 H_2 指标的标准优化算法都没有考虑输入量的限制问题。本文通过分析系统优化过程, 按全部和部分输入超过限制分别考虑不同指标下的优化计算问题, 得到了输入受限条件下的 3 种 Riccati 方程。并对该 Riccati 方程进行了讨论, 得到了最优解的存在性问题。将本文算法用于飞行控制器设计, 得到了飞机着陆控制的满意效果。还可将其应用于所有线性系统输入受限制时的 H_2 指标下的优化计算, 也可推广到 H_2 指标或其他输入受限的 Riccati 方程修正问题。

参考文献(References)

- [1] Bernstein D. S., Michel A. N. A chronological bibliography on saturating actuators[J]. *Int J Robust and Nonlinear Control*, 1995, 5(5): 375-380.
- [2] Gwak, Kwan-Woong, Masada, et al. Structural analysis of nonlinear control systems using singular value decomposition: Part II - control of an input-constrained thermal system [J]. *Dynamic Systems and Control Division*, 2003, 72(1): 271-277.
- [3] Rojas O svaldo J., Goodwin Graham C., Seron Maria M., et al. An SVD based strategy for receding horizon control of input constrained linear systems[J]. *Int J of Robust and Nonlinear Control*, 2004, 14(13-14): 1207-1226.
- [4] Saberi Ali Shi Guoyong, Stoorvogel Anton A., Han Jian. Constrained stabilization problems for discrete-time linear plants[J]. *Int J of Robust and Nonlinear Control*, 2004, 14(5): 435-461.

(上接第 585 页)

- [4] Fung C F., Billings S A., Zhang H. Generalised transfer functions of neural networks[J]. *Mechanical Systems & Signal Processing*, 1997, 11(6): 843-868.
- [5] V rba J., Puncochar M., Drahos J. Formal uncertainty and membership transfer in fuzzy simulation of complex technological systems[J]. *Systems Analysis Modelling Simulation*, 1997, 28: 43-47.
- [6] Huijberts H J C. Characterization of static feedback realizable transfer functions for nonlinear control systems[J]. *Int J of Robust and Nonlinear Control*, 1998, 11: 979-993.
- [7] Lew J S., Lin K B. Robust control of identified

reduced-interval transfer function [J]. *IEEE Trans on Control System Technology*, 2000, 8(5): 833-841.

- [8] Hwang C L. Fuzzy linear pulse-transfer function-based sliding-mode control for nonlinear discrete-time systems [J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2002, 10(2): 187-197.

- [9] 林文强, 缪瑞平. 一种道路模拟系统辨识信号的产生方法[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2003, 24(2): 140-143.

(Lin W Q., Miao R P. An approach to generate the signal of road simulation system [J]. *J of Northeastern University (Natural Science)*, 2003, 24(2): 140-143.)