

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.09.016

高速高精运动平台模型参数最小二乘辨识研究*

徐 峰, 史伟民, 杨亮亮*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对高速高精运动控制对象模型参数辨识的问题,对辨识对象模型、最小二乘辨识算法和滤波器等内容进行了研究,提出了一种基于滤波器的最小二乘线性回归方程的辨识算法,即加入一个稳定的二阶传递函数,对系统输入输出数据进行了滤波处理,使辨识算法在噪声环境下能够减小失真且运行稳定。仿真与实验结果表明,最小二乘在有噪声的闭环运动控制系统中的辨识结果不收敛且失真,而加入滤波器的最小二乘算法能显著提高控制系统的稳定性及精确度,且满足其高速高精的要求。

关键词:高速高精度;运动控制;最小二乘;辨识;滤波器

中图分类号:TH39;TP27

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)09-1173-05

Model parameters identification of motion control platform with high frequency and fast response based on least squares method

XU Feng, SHI Wei-min, YANG Liang-liang

(School of Mechanical and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at realizing the problem of the model parameters identification of motion control with high frequency and fast response, research on the identification model, least squares identification algorithm and filter, a least squares linear regression equation on the base of filter was used, namely adding a stable second-order transfer function, it was used in input and output data filter, could achieve the effect of stable recognition. The simulation and experimental results show that the identification data of least squares in noisy close-loop motion control system is non-convergent and distorted, while is used least squares algorithm with filter can significantly improve the stability and accuracy of the control system, and can meet the requirements of high frequency and fast response.

Key words: high frequency and fast response; motion control; least squares method; identification; filter

0 引 言

随着运动控制系统在数控机床和微电子装备中的广泛使用,它也随之成为了一个新的研究领域。这类系统通常由上位机软件、运动控制器、伺服驱动器、电机及执行机构等构成^[1-2]。运动控制器作为该系统的主要组成部分,它的性能直接影响了系统的

精度要求。

在设计高速高精运动控制系统中的控制器方面,控制器参数会在该系统起着关键作用。因为参数的设置不当会严重影响系统的不稳定,从而导致系统的响应速度和精度达不到要求。所以,关于对控制参数调整是控制器设计至关重要的一个环节。目前基本采用经验的方法来进行调整,该方法效率不高,且基本取决

收稿日期:2014-03-17

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2013BAF05B01);国家自然科学基金资助项目(51305404);浙江理工大学重点实验室优秀青年人才培养基金资助项目(ZSTUMD2012B004)

作者简介:徐 峰(1989-),男,浙江绍兴人,主要高速高精运动控制技术方面的研究。E-mail:b08370322@live.com

通信联系人:杨亮亮,男,工学博士,讲师。E-mail:yangliangliang@zstu.edu.cn

于人的因素。而如果想要得到一个稳定且高速高精的控制器就需要得到一个相对精确的被控对象数学模型^[3-6]。

目前,最小二乘以其原理简单和易于理解的特点,已经成为用于系统参数估计的主要方法之一。但由于其实时性较差,而递推最小二乘可以解决这个问题。^[7]在实际应用中,往往输入信号为通过光学编码器获得的位置信号,而速度信号识别却不能直接获取。由于系统中可能存在噪声的干扰,所以不采用直接使用位置的微分来获取速度和加速度信号。而是通过加入一个滤波器,这种方法可以在不需要获取速度信息的情况下,使用 RLS 辨识算法得到精度更好的估计参数。^[8-9]本研究也将通过实验来验证加入滤波器之后的辨识效果更好。

1 传递函数模型

由输出电流电压值计算出机械输出功率得到推力值。再通过永磁直线同步电机电动力学知识,可以得到以下公式^[10-11]:

$$\begin{cases} F_e = K_f i_q \\ F_e = M \frac{d^2 x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + F_f \end{cases} \quad (1)$$

式中: M —永磁直线同步电机动子质量; B —粘滞系数; K_f —推力系数; F_f —负载阻力; x —动子位移; i_q — q 轴电流值; F_e —推力。

有公式(1)可知,当设定电机位移为 $x(t)$,速度为 $v(t)$,控制量为 u ,直线电机的状态方程可以表示为:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = v(t) \\ \dot{v}(t) = -\frac{B}{M}v(t) + \frac{K_f}{M}u + F \end{cases} \quad (2)$$

由于装置中两部直线电机参数存在着差异,因此该平台装置的动态模型可以用两个二阶微分方程描述:

$$\begin{cases} \dot{v}_x(t) = -\frac{B_x}{M_x}v_x(t) + \frac{Kf_x}{M}u_x + F_x \\ \dot{v}_y(t) = -\frac{B_y}{M_y}v_y(t) + \frac{Kf_y}{M}u_y + F_y \end{cases} \quad (3)$$

由公式(3)所示的微分方程形式,可以得到该二维平台的传递函数模型,如图 1 所示。

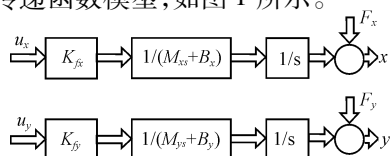


图 1 二维平台传递函数模型
 F_x 和 F_y —两轴的负载阻力

由图 1 可得其传递函数模型为:

$$G(s) = \frac{1}{s(Ms + B)} \quad (4)$$

为了方便计算,故将上述公式变化为:

$$G(s) = \frac{a}{s(s + b)} \quad (5)$$

由此数学模型可以确定,需辨识的系统为一个二阶传递函数,且需要辨识的参数为 a, b 。

2 对象辨识及辨识方法

由上述模型根据最小二乘算法可以得到如下所示:

$$\frac{V}{U} = \frac{a}{s(s + b)} \quad (6)$$

式中: U —输入值; V —输出值。

由于系统中输入值为电压值,即 u 。输出值为位移值,即 x 。所以可得如下所示:

$$\frac{x}{u} = \frac{a}{s(s + b)} \quad (7)$$

推导得:

$$\ddot{x} = -bx + au \quad (8)$$

基于该模型,在位移周期确定的情况下,可以通过参数向量 $\hat{\theta} = [\hat{b} \ \hat{a}]^T$,构建成线性回归形式,回归向量 $\varphi = [-\dot{x} \ u]^T$ 。标准的 RLS 辨识算法如下描述所示:

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + K(t)(\ddot{x} - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)) \quad (9)$$

$$K(t) = P(t)\varphi(t) = \hat{\theta}(t-1) + K(t)(\ddot{x} - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)) \quad (10)$$

$$P(t) = P(t-1) - P(t-1)\varphi(t)(I + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t))^{-1}P(t-1) = (I - K(t)\varphi^T(t))P(t-1) \quad (11)$$

在计算中 $\hat{\theta}(0)$ 和 $P(0)$ 的初始值的按照普遍使用的值选取。如果没有提供其它先验条件,可以将 $\hat{\theta}(0)$ 选取为 $[0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$ 。为了保证 RLS 算法的收敛性, $P(0)$ 应该选取为一个足够大且正定的矩阵。

为了验证以上算法,需要在 Matlab 中使用 Simulink 仿真功能建立一个相应的控制系统。在已知的仿真系统中,已知的传递函数的模型为:

$$\frac{2.6548 \times 10^{-6} \times 50.9}{s^2 + 50.9s} \quad (12)$$

在提取输入输出数据后,并在 Matlab 中编写 RLS 算法,辨识得到的结果如图 2 ~ 图 5 所示。

图 2 和图 3 中辨识所得的 a, b 值分别收敛于 0.000 138 和 52.2,而真实值为 0.000 135 和 50.9。根据实验数据与真实数据的对比可知,辨识结果逼近真实值,可以满足预期的要求。

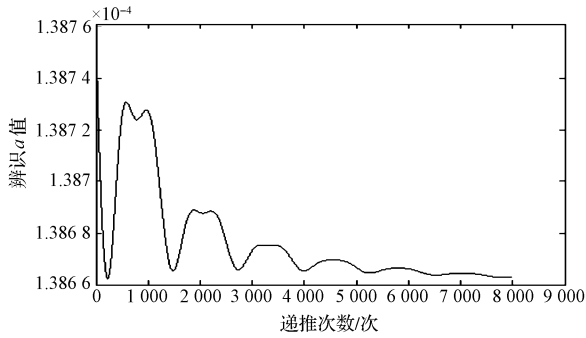


图2 辨识得到的 a 值

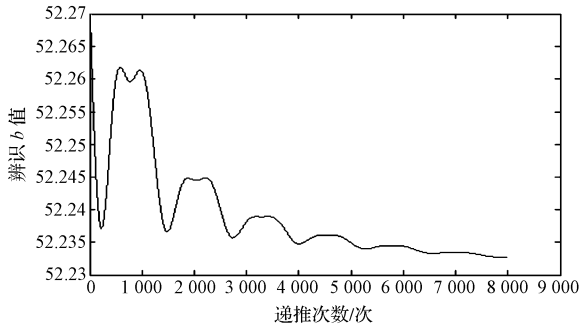


图3 辨识得到的 b 值

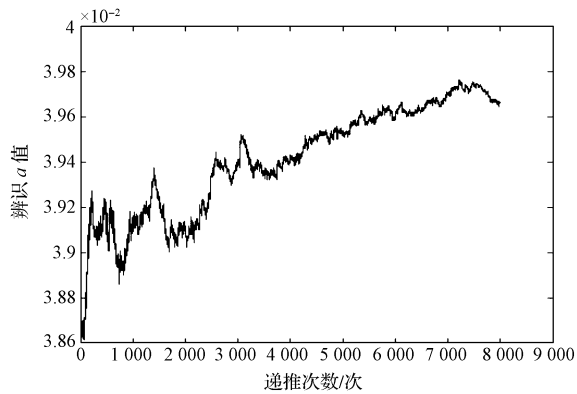


图4 加入噪声后辨识得到的 a 值

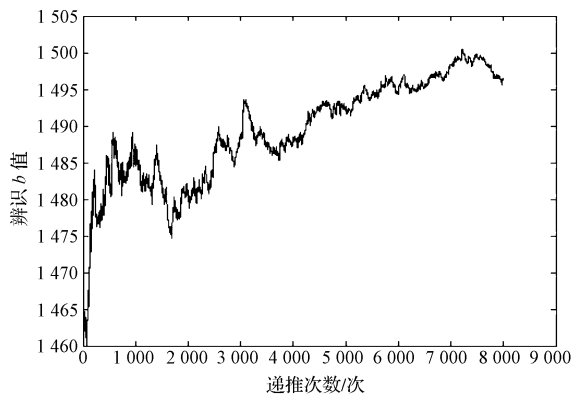


图5 加入噪声后辨识得到的 b 值

但根据图4和图5所示,在加入噪声之后,辨识得到的结果会不收敛且失真。由于实际应用中,可能会出现测量噪声,所以该辨识算法无法使用到实际应用中。

3 滤波后辨识效果

因为按照一般的辨识方法在获取速度数据时需要位置数据进行微分,所以这时出现的测量噪声就会影响最后的辨识效果。所以本研究提出的在获取输入输出数据时候将它们进行滤波处理。

式(7)可表示为一个通用形式的公式,如下所示:

$$A(p)x(t) = au(t) \quad (13)$$

这里 $A(p) = p^2 + bp$, p 表示微分运算符 $p = d/dt$, 因此式(13)可以改写为:

$$H_f(p)A(p)x(t) = H_f(p)au(t) \quad (14)$$

其中 $H_f(p)$ 就是一个所提出的滤波器,它将是一个稳定的传递函数。令:

$$x_f(t) = H_f(p)x(t) \quad (15)$$

$$u_f(t) = H_f(p)u(t) \quad (16)$$

模型可改写为:

$$A(p)x_f(t) = au_f(t) \quad (17)$$

因此,参数向量不变,而回归向量则变为 $\varphi_f = [-\dot{x}_f \ u_f]^T$ 。控制器仍旧按照上一节描述的设计,图5显示了使用滤波器 $H_f(p)$ 后的辨识控制器框图如图6所示。

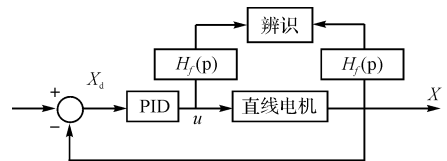


图6 辨识控制器框图

在仿真中,选用的滤波器为:

$$H_f(p) = \frac{1}{s^2 + 20s + 450} \quad (18)$$

加入滤波器之后,得到的辨识效果如图7、图8所示。

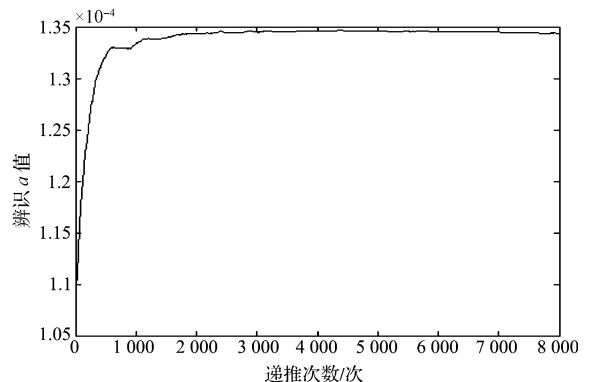


图7 噪声环境下加入滤波器后辨识得到的 a 值

由图7和图8显示,可知:辨识所得的结果 a, b 分别收敛于 0.000 135 和 50.88,收敛效果明显比未加入滤波器好,且收敛的速度更快。以此可以得到,在加入滤波器之后更有利于辨识的算法,以得到更好更精确

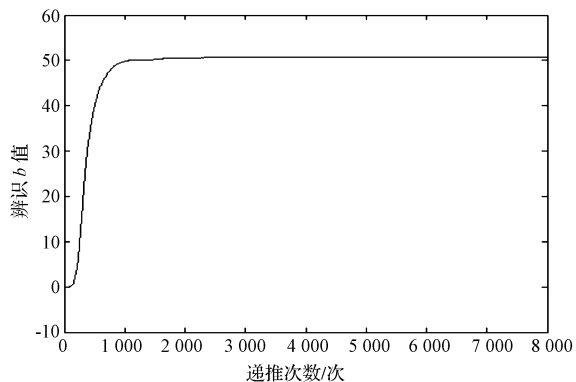


图 8 噪声环境下加入滤波器后辨识得到的 b 值

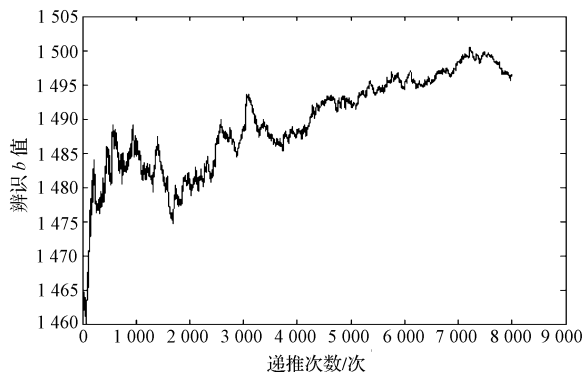


图 11 实际条件下辨识得到的 b 值

的辨识数据,而且在有噪声影响的环境中,该算法也可以正常使用。

4 实验与分析

为了验证实际条件下所提控制方案的可行性,我们将算法使用到实际平台中进行模型辨识,平台如图 9 所示。



图 9 直线电机驱动的运动控制平台

通过获取平台实际运行是输入输出数据,即电压与位置值,将它们作为辨识数据,可以得到的结果如图 10 ~ 图 13 所示:

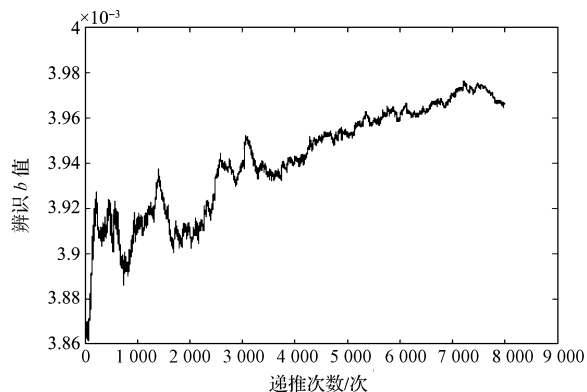


图 10 实际条件下辨识得到的 a 值

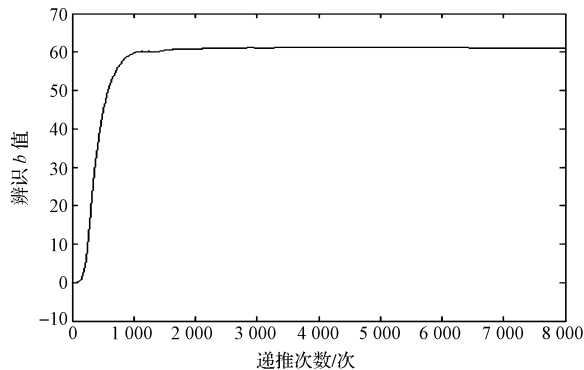


图 12 实际条件下加入滤波器之后辨识得到的 a 值

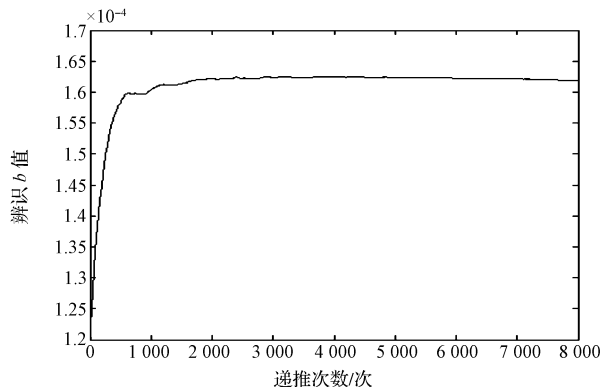


图 13 实际条件下加入滤波器之后辨识得到的 b 值

图中明显可以观察到,图 10 和图 11 无法辨识出真实值,而在图 12 和图 13 中可以得到的 a, b 值分别为:0.000 164 和 62.2。由此可以判断出,加入滤波器的辨识算法可以应用到实际应用中,并且可以得到相对好的辨识效果。

5 结束语

本研究针对高速高精运动控制系统模型参数辨识 (下转第 1195 页)

本文引用格式:

徐 峰,史伟民,杨亮亮. 高速高精运动平台模型参数最小二乘辨识研究[J]. 机电工程,2014,31(9):1173-1176,1195.

XU Feng, SHI Wei-min, YANG Liang-liang. Model parameters identification of motion control platform with high frequency and fast response based on least squares method[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(9):1173-1176,1195. 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

5 结束语

本研究对基于改进的 Buck-boost 型交流斩波无功补偿器的工作原理和拓扑结构的分析,得出了无功补偿电流与占空比之间的关系;采用跟踪 PWM 技术对该补偿器进行控制并利用 Matlab 仿真软件在不同工作模式下进行验证。研究结果表明,基于改进的 Buck-boost 型交流斩波无功补偿器可以完成对电网无功功率的实时跟踪补偿。

改进的 Buck-boost 斩波电路采用了不同的工作模式,克服了其他斩波电路调节范围窄、控制方法繁琐、变化效率低等缺陷,具有潜在的应用价值。

参考文献 (References):

- [1] 粟时平,刘桂英. 静止无功功率补偿技术[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [3] 孙聪,王异凡,陈国柱,等. 基于 Steinmetz 原理与瞬时

无功理论的 SVC 装置防过补偿控制策略[J]. 机电工程, 2013,30(10):1246-1249.

- [4] CHEN Dong, TU Chun-ming, LUO An, et al. Coordinated control design and simulation of joint operation for SVC with STATCOM[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2008,32(19):76-80.
- [5] 王杰. 临界导电模式下 BOOST 变换器功率因数校正电路设计[J]. 机电工程,2011,28(5):616-619.
- [6] 王晓坤,李玉玲. 基于交错并联 boost 电路的集中式光伏发电系统[J]. 机电工程,2013,30(8):1005-1009.
- [7] KULKARNI D B, UDUPI G R. ANN-based SVC switching at distribution level for minimal-injected Harmonics [J]. **IEEE Trans on Power Delivery**,2010,25(3):1978-1985.
- [8] 丁明昌,张友军,任永保,等. 级联式 Buck-Boost AC/AC 交流变换器的研究[J]. 电力自动化设备,2010,30(9):46-50.
- [9] 武伟,谢少军,汤鱼,等. 基于 Buck 交-交斩波器的无功补偿器拓扑与控制方法设计[J]. 电力系统自动化, 2013,37(5):124-129.
- [10] 杨君东,李磊. Buck-boost 式三电平单级 AC/AC 变换 [J]. 电工技术学报,2010,25(2):107-113.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

马立新,马天顺. 基于改进 Buck-Boost 斩波电路的无功补偿器设计[J]. 机电工程,2014,31(9):1191-1195.

MA Li-xin, MA Tian-shun. Design for reactive power compensator based on improved Buck-Boost AC/AC chopper[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014,31(9):1191-1195.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn

(上接第 1176 页)

问题,提出的在辨识对象中使用加入滤波器的最小二乘算法,用于实现在噪声环境下的正确辨识,该方法得到了实验验证。实验结果表明,此算法可以让高速高精运动控制系统中的控制器实现稳定辨识的效果,并为以后的研究提供了重要参考依据。

参考文献 (References):

- [1] 王高中,王石刚,崔海徽. 运动控制系统中被控对象的模型辨识研究[J]. 计算机仿真,2005,22(4):194-197.
- [2] MEULEN S D, TOUSAIN R, BOSGRA O. Fixed structure feedforward controller tuning exploiting iterative trials, applied to a high-precision electromechanical servo system[C] //American Control Conference. New York, JUL, 2007: 4033-4039.
- [3] DING F, LIU G, LIU XP. Partially coupled stochastic gradient identification methods for nonuniformly sampled systems [J]. **IEEE Transactions on Automatic Control**, 2010,55(8):1976-1981.
- [4] YAO B, XU L. Adaptive robust motion control of motion for precision manufacturing [J]. **Mechatronics**,2002,12(4): 595-616.

- [5] 李力千,王占林,周福章,等. 闭环运动控制系统中被控对象的模型辨识研究[J]. 制造业自动化,2000,22(1):17-20.
- [6] 故瑞云,周良德,林碧. 粉末颗粒物料高速、高精度自动称料系统的研究[J]. 包装与食品机械,2012(4):29-32.
- [7] 强明辉,张京鹅. 基于 Matlab 的递推最小二乘辨识与仿真[J]. 自动化与仪器仪表,2008,140(6):4-39.
- [8] ZHAO S, TAN K K. Adaptive feedforward compensation of force ripples in linear motors [J]. **Control Engineering Practice**,2005,13(2005):1081-1092.
- [9] TORFS D E, VUERINCKX R, SWEVERS J, et al. Comparison of two feedforward design methods aiming at accurate trajectory tracking of the end point of a flexible robot arm [J]. **IEEE Transactions on Automatic Control Systems Technology**,1998,6(1):2-14.
- [10] 毛文杰,范坚坚,吴建华,等. 交流伺服 PMSM 系统模糊 PI 矢量控制设计[J]. 轻工机械,2013,31(3):43-46.
- [11] 郭庆鼎. 直线交流伺服系统的精密控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [12] 姜军鹏. 两轴高速直驱伺服进给系统控制策略与实验平台[D]. 天津:天津大学机械工程学院,2012.

[编辑:洪炜娜]