光学 精密工程
OPTICS AND PRECISION ENGINEERING
核心期刊
主管：中国科学院
主办：中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
中国仪器仪表学会
主编：曹健林

光学精密工程 2013, 21(8) 2038-2047 ISSN: 1004-924X CN: 22-1198/TH

微纳技术与精密机械

电动舵机伺服系统非线性辨识及补偿

肖前进[1,2,3]，贾宏光[1*]，章家保[1]，韩雪峰[1]，席睿[1]

1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所，吉林 长春 130033；
2.中国科学院大学，北京 100039；3.武汉第二船舶设计研究所，湖北 武汉 430064

摘要： 为提高电动舵机伺服系统的跟踪精度，提出了辨识、测试摩擦和间隙非线性及对其进行补偿的方法。针对位置和速度双闭环控制的电动舵机伺服系统，建立了基于LuGre摩擦和迟滞间隙的数学模型；依据模型采用前馈补偿方法对系统中的摩擦进行补偿，同时采用逆模型方法对系统中的间隙进行补偿控制。实验显示，对于幅值为1°，频率为2.5 Hz的给定正弦信号，补偿后系统的最大位置跟踪误差由原来的0.166°减小到了0.096°，最大速度跟踪误差由原来的2.723 r/min减小到了0.393 r/min。结果表明，本文提出的辨识测试方法能够精确地获得摩擦和间隙模型，基于该模型的补偿能够有效地提高电动舵机伺服系统的跟踪精度。

关键词： 电动舵机伺服系统 非线性 LuGre摩擦 迟滞间隙 辨识及补偿

Identification and compensation of nonlinearity for electromechanical actuator servo system

XIAO Qian-jin[1, 2,3], JIA Hong-guang[1*], ZHANG Jia-bao[1], HAN Xue-feng[1], XI Rui[1]

1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3.Wuhan Second Ship Design and Research Institute,Wuhan 430064,China

Abstract: To improve the tracking accuracy of an electromechanical actuator servo system, the methods to identify and compensate the noninearities of friction and backlash were put forward. The mathematical models based on the LuGre friction and the hysteresis backlash were established for the electromechanical actuator servo system with position loop and speed loop controllers. According to the identified nonlinearity models, the friction was compensated though a feed-forward method, and the backlash was compensated simultaneously though an inverse model as well. The experiments indicate that the maximum position tracking error of system after compensation decreases from 0.166° to 0.096° , and the maximum speed tracking error decreases from 2.723 r/min to 0.393 r/min when the given signal is sine wave with an amplitude of 1° and a frequency of 2.5 Hz. It concluds that the friction and backlash models can be accurately obtained by the proposed identification methods, and the tracking accuracy of the electromechanical actuator servo system can be improved through nonlinearity compensation on the basis of the proposed models.

Keywords: electromechanical actuator servo system nonlinearity LuGre friction hysteresis backlash identification and compensation

收稿日期 2012-07-02 修回日期 2012-08-21 网络版发布日期 2013-08-20

基金项目:

中国科学院知识创新工程国防科技创新重要方向项目;中国科学院三期创新工程资助项目

通讯作者: 肖前进

作者简介: 肖前进(1986-)，男，湖北大冶人，博士研究生，2008年于吉林大学获学士学位，主要从事机电伺服系统结构设计及优化方面的研究。

作者Email: xiaoqj1986@gmail.com

参考文献:

[1]彭书华，李华德，苏中.非线性摩擦干扰下的电动舵机滑模变结构控制[J].信息与控制，2008，37（5）：637-640. PENG SH H, LI H D,SU ZH. Sliding model variable structure control for electromechanical actuator with nonlinear friction [J]. Information and Control, 2008, 37(5): 637-640. (in Chinese) [2]李友年，陈星阳.舵机间隙环节对控制系统的影响分析[J].航空兵器，2012，（1）：25-33. LI Y N, CHEN X Y. Influence analysis of actuator’s gap on control system [J]. Aero Weaponry, 2012, (1): 25-33. (in Chinese) [3]黄立梅，吴成富，马松辉.抑制飞控系统舵机间隙影响的非线性补偿器设计[J].飞行力学，2012，30（2）：132-138. HUANG L M, WU CH F, MA S H. Design of a nonlinear compensator for depressing the influence of actuator’s clearance in flight control system [J]. Flight Dynamics, 2012, 30(2):132-138. (in Chinese) [4]刘强，尔联洁，刘金琨.摩擦非线性环节的特性、建模与控制补偿综述[J].系统工程与电子技术，2002，24（11）：45-52. LIU Q, ER L J, LIU J K. Overview of characteristics, modeling and compensation of nonlinear friction in servo systems [J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(11): 45-52. (in Chinese) [5]赵国峰，樊卫华，陈庆伟，等.齿隙非线性研究进展[J].兵工学报，2006，27（6）：1072-1080. ZHAO G F, FAN W H, CHEN Q W, et al..A survey on backlash nonlinearity [J]. Acta Armamentarii, 2006, 27(6): 1072-1080. (in Chinese) [6]SHAO ZH Y, FANF D Y, ZHANG X D. Adaptive high precision position control of servo actuator with friction compensation using LuGre model [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2011, 20(1): 105-110. (in Chinese) [7]HAN K H, KOH G O, SUNG J M, et al.. Adaptive control approach for improving control systems with unknown backlash[J]. IEEE International Conference on Control, Automation and Systems, 2011, 1919-1923. [8]史建伟，史永丽.基于自抗扰控制的伺服系统输出间隙补偿研究[J].电力学报，2009，24（2）：105-108. SHI J W, SHI Y L. Compensation of output backlash in servo systems based on auto-disturbance-rejection control[J]. Journal of Electric Power, 2009, 24(2):105-108. (in Chinese) [9]DAIKI H, NORIHIRO K, JUN I. Friction compensation using time variant

disturbance observer based on the LuGre model [C]. The 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2012. [10]JANG J O, LEE P G, CHUNG H T, et al.. Output backlash compensation of systems using fuzzy logic[C]. Proceeding of the American Control Conference, 2003: 2489-2490. [11]陈涛，陈娟，蒋凤华.伺服系统两种低速非线性补偿方法的对比[J].光学 精密工程，2003，11（1）：94-97. CHEN T, CHEN J, JIANG F H. Two low-speed nonlinear compensations for servo system[J]. Opt. Precision Eng., 2003, 11(1): 93-97. (in Chinese) [12]向红标，裘祖荣，李醒飞，等.精密实验平台的非线性摩擦建模与补偿[J].光学 精密工程，2010，18（5）：1119-1127. XIANG H B, QIU Z R, LI X F, et al.. Nonlinear friction modeling and compensation of high-precision experimental platforms[J]. Opt. Precision Eng., 2010, 18(5): 1119-1127. (in Chinese) [13]刘丽兰，刘宏昭，吴子英，等.机械系统中摩擦模型的研究进展[J].力学进展，2008，38（2）：201-213. LIU L L, LIU H ZH, WU Z Y, et al.. An overview of friction models in mechanical systems[J]. Advances In Mechanics, 2008, 38(2): 201-213. (in Chinese) [14]TAO G, KOKOTOVIC P V. Adaptive control of systems with unknown output backlash [C]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1995, 40(2): 326-330. [15]CANUDA C, OLSSON H, ASTROM K J, et al.. A new model for control of systems with friction [C]. IEEE Transaction on Automatic Control, 1995, 40(3):419-425. [16]于伟，马佳光，李锦英，等.基于LuGre模型实现精密伺服转台摩擦参数辨识及补偿[J].光学 精密工程，2011，19（11）：2736-2743. YU W, MA J G, LI J Y, et al.. Friction parameter identification and friction compensation for precision servo turning table[J]. Opt. Precision Eng., 2011, 19(11): 2736-2743. (in Chinese) [17]刘柏希.基于改进链码法的LuGre摩擦模型动态参数辨识[J].计算力学学报，2012，29（2）：279-283. LIU B X. Parameters identification for LuGre friction model based on modified chain code recognition method [J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2012, 29(2): 279-283. (in Chinese) [18]谭文斌，李醒飞，向红标，等.应用稳态误差分析辨识LuGre模型参数[J].光学 精密工程，2011，19（3）：664-671. TAN W B, LI X F, XIANG H B, et al.. Parameter identification of LuGre model based on analysis of steady state error[J]. Opt. Precision Eng., 2011, 19(3): 664-671. (in Chinese) [19]刘丽兰，刘宏昭，吴子英，等.考虑摩擦和间隙影响的机床进给伺服系统建模与分析[J].农业机械学报，2010，41（11）：212-218. LIU L L, LIU H ZH, WU Z Y, et al.. Modeling and analysis of machine tool feed servo systems with friction and backlash [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 212-218. (in Chinese) [20]韩雪峰.含间隙刚柔耦合电动舵机关键技术研究[D].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，2011. HAN X F. Research on the Key Technology of Rigid-flexible Coupling Electric Actuator Servo System with Clearance[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, 2011. (in Chinese)

本刊中的类似文章

1. 侯俊峰 王东光 邓元勇 张志勇 孙英姿.斯托克斯椭偏仪的非线性最小二乘拟合偏振定标[J]. 光学精密工程, 2013,21(8): 1915-1922

2. 杨世海 王国民.天文光学望远镜摩擦驱动滑移动态检测与修正[J]. 光学精密工程, 2013,21(8): 2056-2063

3. 白瑜亮 崔乃刚 吕世良.水下运载器纵向轨迹自适应跟踪控制[J]. 光学精密工程, 2013,21(7): 1719-1726

4. 陈远晟 裘进浩 季宏丽 Ronan Le Breton.基于双曲函数的Preisach类迟滞非线性建模与逆控制[J]. 光学精密工程, 2013,21(5): 1205-1212

5. 叶荣 曾曙光 张彬 李恪宇.基于单块晶体级联二阶非线性的超短激光脉冲脉宽压缩[J]. 光学精密工程, 2013,21(3): 583-589

6. 杨世海.大口径光学望远镜油垫非线性干扰的检测与抑制[J]. 光学精密工程, 2013,21(2): 408-415

7. 王加贤 林正怀 张培 吴志军.纳米半导体复合薄膜的非线性光学性质及其在激光器中的应用[J]. 光学精密工程, 2013,21(1): 20-25

8. 赖志林, 刘向东, 耿洁.压电陶瓷执行器的类Hammerstein模型及其参数辨识[J]. 光学精密工程, 2012,20(9): 2087-2094

9. 张桂林, 张承进, 赵学良.压电驱动器记忆特性迟滞非线性建模[J]. 光学精密工程, 2012,20(5): 996-1001

10. 魏强, 张承进, 张栋, 王春玲.压电陶瓷驱动器的滑模神经网络控制[J]. 光学精密工程, 2012,20(5): 1055-1063

11. 李伟, 高思田, 卢明臻, 施玉书, 杜华.计量型原子力显微镜的位移测量系统[J]. 光学精密工程, 2012,20(4): 796-802

12. 李淼, 高慧斌.应用径向基函数神经网络的经纬仪跟踪误差建模[J]. 光学精密工程, 2012,20(4): 818-825

13. 张来明, 谢冀江, 郭劲, 陈飞, 姜可, ANDREEV YU M, IONIN A A, KINYAEVSKIY I O, KLIMACHEV YU M, KOZLOV A YU, KOTKOV A A, LANSKII G V, SHAIDUKO A V.CO激光在非线性晶体$ZnGeP_2$和 GaSe中的混频效应[J]. 光学精密工程, 2012,20(2): 277-286

14. 崔岩, 王飞, 董维杰, 姚明磊, 王立鼎.非线性压电式能量采集器[J]. 光学精密工程, 2012,20(12): 2737-2743

15. 韩建, 巴音贺希格, 李文昊, 孔鹏.全息光栅制作中光栅掩模槽形形状随光刻胶特性曲线的演化规律[J]. 光学精密工程, 2012,20(11): 2380-2388
