

· 电路与控制 ·

自抗扰技术在高精度跟瞄系统中的应用

蔡美华¹, 于海良¹, 陈晨²

(1.中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300000;2.空军装备部重点型号部,北京 100843)

摘要:介绍了一种应用于高精度跟瞄系统的自抗扰控制器。通过与常规PID比较,对该控制器进行了功能分析,并结合实际系统,分析出其在控制上的优越性;分别采用PID控制器和自抗扰控制器对高精度跟瞄系统的速度环进行了设计。在Matlab仿真和实验验证中得到了一致的结果:自抗扰控制器能改善伺服系统的速度响应特性,可以实现阶跃响应快速无超调。在突发扰动条件下,自抗扰控制器的跟踪精度稳定性和鲁棒性均优于常规PID控制器。

关键词:自抗扰控制器;PID控制器;干扰力矩

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-06-0060-04

Application of ADRC Technology in High-precision Tracking System

CAI Mei-hua¹, YU Hai-liang¹, CHEN Chen²

(1. Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China; 2. Key Model Department of Air Force Equipment Ministry, Beijing 100843, China)

Abstract: An active disturbance rejection controller (ADRC) applied in high-precision tracking system is introduced. Comparing with conventional proportional-integral-differential (PID) controller, the function analysis of the controller is performed. With an actual system, control advantages of the controller are analyzed. PID and ADRC controllers are used respectively to design the speed loop of the high-precision tracking system. Consistent results from MATLAB simulation and experimental verifications show that the speed response characteristics of the servo system are improved by ADRC controllers, which can realize fast step response without overshoot. ADRC also has better tracking accuracy in terms of stability and robustness than that of conventional PID controllers in sudden disturbance.

Key words: active disturbance rejection controller (ADRC); proportional-integral-differential (PID) controller; disturbance torque

在光电测量设备、天文观测设备、光束稳定系统以及激光通讯系统中,都需要有光电捕获跟踪与瞄准装置,以便迅速发现并精确跟踪目标^[1]。在高精度跟瞄系统中,外界的风扰,轴系的摩擦,恶劣环境导致的轴系变化等作为不可估测的扰动,影响着系统精度的提升和长期稳定性。目前经典PID仍然是伺服控制系统实践中的主流,很多改进算法也是在其基础上优化,随着系统精度要求越来越高,如目前光束稳定系统,要求做到几角秒,甚至到几个微弧度级别,PID本身的缺陷越发突出。用一个线性控制系统去控制一个复杂的具有很多非线性因素的系统,

已经很难满足领域的要求了。

自抗扰控制器(ADRC),在解决系统干扰的不确定性及扰动的多变性上有很大优势。ADRC控制算法,是通过扩张状态观测器,在对系统响应造成影响之前估计出系统的总扰动,并通过控制信号加以抵消的新型控制技术。自抗扰控制(ADRC)弥补了经典PID和现代控制理论的缺陷,吸收了现代控制理论成果并发扬丰富了PID思想精髓(基于误差来消除误差),并且极大地提高了抗干扰能力。因此,采用自抗扰控制能使控制品质和控制精度有很大的提高。尤其是在恶劣环境中实现快速高精度控制

收稿日期:2014-11-10

作者简介:蔡美华(1985-),女,湖南益阳人,硕士,工程师,研究方向为光电系统设计与伺服控制;于海良(1989-),男,黑龙江大庆人,硕士,助理工程师,研究方向为光电系统设计与伺服控制。

时,自抗扰控制技术更能显出其优越性。自抗扰控制技术,已在国内电力系统、精密机械加工车床、化工过程等领域得到推广应用,取得了显著的社会经济效益^[2]。

1 自抗扰算法的功能优势

自抗扰控制器是针对PID控制器的缺点进行改进的控制方法。经典PID存在的缺点具体地可以归结为以下几点:第一,误差的形成——直接取设定和输出值之间的误差是不合理的。系统输入信号常常是不光滑的,甚至是不连续的,而输出信号通常是光滑的。直接把不光滑的输入信号作为输出的目标,对系统提出的要求过高,将会导致系统超调或振荡。第二,微分信号的实现需要改进。工程应用中微分信号的实现通常采用差分或超前网络,这种方式对噪声的放大作用很大,往往使微分信号失真而不能使用。第三,采用误差信号的比例、微分和积分形成PID的线性组合所形成的控制量不是最优的控制律,这种线性组合不易解决快速性和超调的矛盾。第四,积分反馈的作用主要是消除稳态误差,但它的引入也带来很多副作用,不仅降低了系统的稳定性,还会导致积分饱和现象的出现。

自抗扰控制器的功能优势在于通过跟踪微分器、扩张状态观测器和非线性组合三个基本结构来解决经典PID的自身缺陷:(1)用跟踪微分器来安排过渡过程并提取其微分信号;(2)用扩张状态观测器估计对象状态和不确定扰动作用;(3)利用安排的过渡过程与状态估计之间误差的非线性组合和扰动估计量的补偿来生成控制信号。

2 基于跟瞄系统的速度环自抗扰控制器设计

测定某跟瞄系统的传递函数为 $\frac{K}{(1.12s+1)(0.009s+1)}$,采用两种方法设计和调试该跟瞄系统速度环。采用PID控制器的控制框图如图1所示。

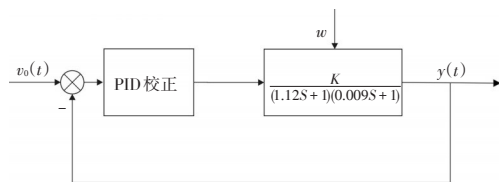


图1 PID控制框图

考虑到系统为二阶系统,采用二阶自抗扰控制器的控制框图如图2所示。

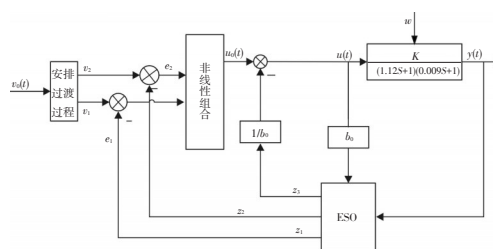


图2 自抗扰控制系统框图

由控制系统框图对比可看出,自抗扰控制器的非线性组合是在PID的线性组合基础上进行的优化,具有ESO状态观测器,对系统的输入输出数据估计并给与补偿,实现了动态反馈线性化。此外,对输入速度误差信息利用跟踪微分器来安排过渡过程以优化微分信号,减小噪声的影响,从而提高微分增益,得到良好控制品质。从设计原理上来说,自抗扰控制器优于PID控制器。

3 验证结果

3.1 仿真实验

为了更好地分析高精度跟瞄系统采用自抗扰控制技术后的控制性能,验证加入自抗扰控制器后的控制效果,在 Matlab 的 Simulink 中搭建系统模型,并进行了仿真实验研究。与此同时,采用PID控制器进行了仿真研究,并给出两种控制器的仿真结果,进行了系统输出的阶跃响应曲线的比较,比较结果如图3、图4所示。

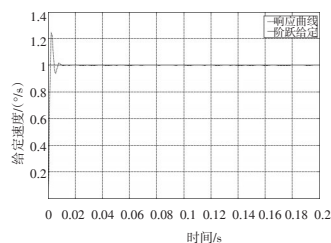


图3 PID校正的阶跃响应曲线

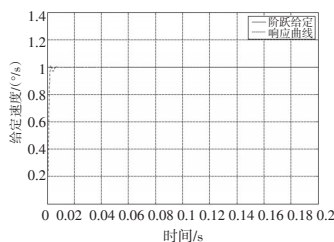


图4 自抗扰校正的阶跃响应曲线

由图3、图4的仿真结果对比可以看出,PID校正响应曲线的超调大于20%,而自抗扰校正响应曲线无超调,同时自抗扰控制器相对PID控制器在同样稳定精度下,响应速度更快。引入相同脉冲扰动的阶跃响应曲线如图5、图6所示。

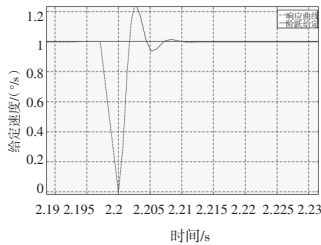


图5 脉冲扰动下PID校正响应曲线

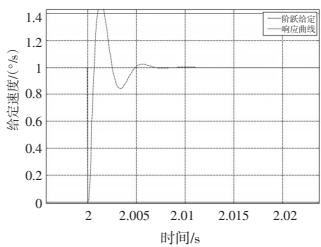


图6 脉冲扰动下自抗扰校正响应曲线

由图5和图6对比可看出,引入相同脉冲扰动,PID控制克服扰动大约0.013 s,而自抗扰控制能在0.007 s克服扰动。自抗扰控制器能在很短的时间内响应扰动,并克服到一定精度,对扰动的克服能力强于PID控制器。

3.2 试验验证

为了验证ADRC控制器的实际应用效果,在高精度跟瞄转台的方位轴上进行了对比实验。跟瞄转台由机械平台及负载、直流力矩电机、PWM功率放大器和全数字伺服控制器等组成。伺服控制器以DSP28335为控制核心,完成系统控制算法计算和控制量输出。自抗扰算法和PID算法在CCS3.3编译环境下调试并烧写到DSP28335,完成控制输出到功率放大器,驱动力矩电机带动转台运动。首先将两种算法调试完成,满足在同等激励下,响应曲线一致。

在试验时,输入方波模拟阶跃给定,图7和图8分别为两种控制器控制时,通过软件实时采集数据并绘制相应曲线得到的图形。横轴为采样点个数,纵轴为给定速度(°/s)。

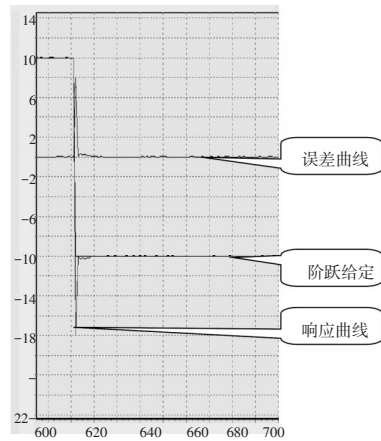


图7 PID校正阶跃响应试验结果

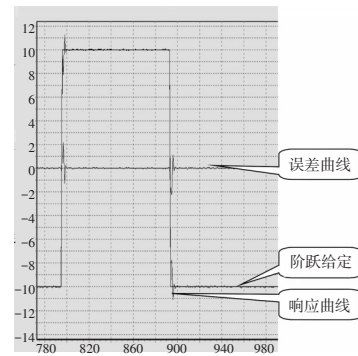


图8 自抗扰校正阶跃响应试验结果

由图7和图8可看出,-10 °/s的阶跃给定时,调试参数到同等稳定精度和快速性要求下,自抗扰校正的超调量比较小,而PID校正的试验结果验证了快速性和超调的矛盾性。

图9和图10为跟瞄系统分别在两种算法控制下,加入同等干扰后的阶跃响应曲线。通过对比可以看出,PID控制器抗扰能力差,而自抗扰控制器对外界突发干扰能很快动态响应并回馈给输入,很大程度上能快速抑制扰动。

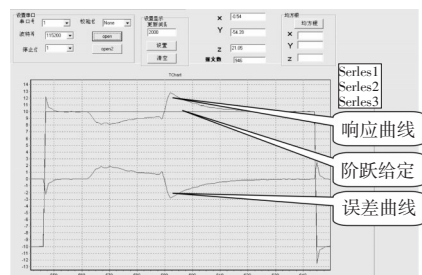


图9 脉冲干扰下的PID校正结果

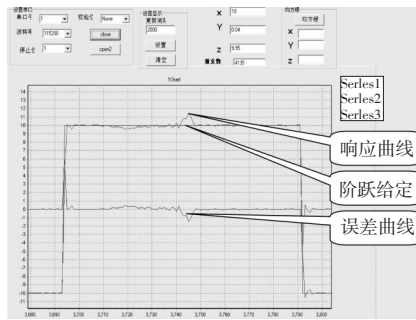


图10 脉冲干扰下的自抗扰校正结果

通过仿真结果和试验结果均可以看出,高精度跟瞄系统采用自抗扰控制器比PID控制器更具有鲁棒性,对大惯量系统来说,对克服摩擦、风阻、不平衡力矩等未知扰动下,精度稳定性更高。

4 结束语

根据跟瞄系统的模型特点,充分利用自抗扰控制器的主要功能,将自抗扰控制技术应用于控制系统当中,通过速度环仿真设计和试验验证证明了加入自抗扰控制器的控制效果与常规PID控制相比,不仅在系统的抗干扰性和鲁棒性上得到极大提高,而且还具有很好的动态和稳态性能。考虑到跟瞄系统的抗扰性主要是在速度环,而未对位置环进行

设计,对高精度跟瞄系统的整个设计验证工作还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 马佳光.捕获跟踪与瞄准系统的基本技术问题[J].光学工程,1989,81(3):2-3.
- [2] 蔡美华.陀螺稳定吊舱控制系统设计与研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [3] 韩京清.自抗扰控制技术[J].前沿科学,2007,1(1):24-30.
- [4] 韩京清.从PID技术到“自抗扰控制”技术[J].控制工程,2002,9(3):13-18.
- [5] 纪恩庆.二阶自抗扰控制器的参数简化[J].自动化仪表,2007,28(5):26-31.
- [6] 吴赛成.自抗扰控制器在激光陀螺单轴稳定平台中的应用研究[D].长沙:国防科技大学,2006.
- [7] 尹明东.自抗扰稳瞄控制技术研究[D].西安:西安工业大学,2012.
- [8] 周涛.光电平台伺服系统稳定环结构谐振自抗扰控制[J].光电工程,2013,40(5):1-11.
- [9] 王帅.光电望远镜伺服系统速度环的自抗扰控制[J].光学精密工程,2011,19(10):2443-2449.
- [10] 韩京清.自抗扰控制技术—估计补偿不确定因素的控制技术[M].北京:国防工业出版社,2008.

(上接第38页)

- [4] Moran M J, She C Y, Carman RL. Interferometer measurements of the nonlinear refractive-index coefficient relative to CS₂ in laser-system-related materials[J]. IEEE J. Quantum Electronics, 1975, 11(6): 259-263.
- [5] Friberg S R, Smith P W. Nonlinear optical glass for ultra fast optical witches[J]. IEEE J. Quantum Electronics, 1987, 23(12): 2089-2094.
- [6] Owyong A. Ellipse rotation studies in laser host materials [J]. IEEE J. Quantum Electronics, 1973, 9(11): 1064-1069.
- [7] Williams W E, Soileau M J, Stryland E W Van. Optical switching and n₂ measurements in CS₂[J]. Optics Communications, 1984, 50(4): 256-260.
- [8] Sheik-Bahae, Said A A, Wei T H, et al. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam[J]. IEEE J Quantum Electronics, 1990, 26: 760.
- [9] Sheik-Bahae, Said A A, Stryland E W Van. High sensitivity single beam n₂ Measurements[J]. Opt Lett, 1989, 14: 955.
- [10] 臧维平, 田建国, 张光寅. 厚光学非线性介质Z扫描理论分析[J]. 物理学报, 1994, 43(3): 476.
- [11] Marburger J H. Prog. J Quantum Electronics[J]. 1975, 4: 35.
- [12] Weaire D, Wherrett B S, Miller D A B, et al. Effect of low-power nonlinear refraction on laser beam propagation in InSb[J]. Opt. Lett., 1974, 4: 331.
- [13] Bridges R E, Fischer G L, Robert W B. Z-scan measurement technique for non-Gaussian beams and arbitrary sample thicknesses[J]. Opt. Lett., 1995, 20(5): 1821.