

·光电系统·

车载高精度陀螺稳定跟踪系统

吴卓昆,舒小芳,孙利军,杨 凯

(光电系统控制和安全技术重点实验室,河北 三河 065201)

摘要:讨论了车载平台高精度光电跟踪系统问题,进行了系统结构设计,平台采用T型结构,并通过整体减振的方式隔离载体的高频振动。进行了控制系统设计,利用陀螺稳定装置实现平台的粗级稳定,高频快速反射镜实现平台的精级稳定,通过这种粗精结合的二级稳定平台来提高平台的稳定精度。进行了模拟仿真试验,通过摇摆台来模拟车载环境试验进行系统测试。试验结果表明该系统能达到较高的跟踪精度。

关键词:跟踪系统;陀螺稳定;二级稳定;车载平台

中图分类号:TN751

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)06-0008-03

High Precision Vehicular Gyro-stabilized Tracking System

WU Zhuo-kun, SHU Xiao-fang, SUN Li-jun, YANG Kai

(Science and Technology on Electro-optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China)

Abstract: The research of the high precision electro-optical tracking system based on the vehicle platform is introduced, the system structure is designed. The platform is a T-shaped structure, and the high frequency vibration is separated by the whole vibration reduction. The control system is designed, the rough stabilization is realized by the gyro-stabilization device, the fine stabilization is realized by the high frequency fast mirror, and the stabilized precision is improved by the two-level stabilization platform combing the fine and rough stabilization. The simulation experiment is made and the system test is also made by the swing device which can simulate the vehicular environment. The experimental result shows that the system can achieve the high precision.

Key words: tracking system; gyro-stabilized platform; two-level stabilization; vehicle-borne platform

安装在车载平台的光电跟踪系统,在行进过程中,会受到载体姿态变化、车体振动、崎岖路面带来的颠簸以及风阻力矩的影响。因此,必须建立一个稳定分系统,将传感器的视轴与载体的运动、振动相隔离,使视轴稳定在惯性空间,实际上是一“视轴稳定与跟踪系统”^[1-4]。

整体减振的方式,在与载体的安装位置处,设计了由JZP-40T型减振器组成的减振盘,对载体的高频振动进行了隔离;采用双轴陀螺稳定平台作为粗级稳定控制装置,隔离载体的低频干扰,使跟踪视轴稳定在惯性空间,同时,采用高频快速精稳组件消除系统的残余误差,提高系统的稳定精度和跟踪精度。

1 系统设计

1.1 系统组成

系统由光电跟踪转塔和操控台组成,系统采用

1.2 结构设计

跟踪转塔采用T型结构,以相互正交的俯仰轴系和方位轴系为精密回转轴系,分别装有驱动元件、测角元件和测速元件。俯仰支架和方位底座是俯仰轴系和方位轴系的支撑体,其结构形式和选材非常关

键。在满足结构刚度要求的前提下,选择合适的结构形式,尽量减轻底座的质量,并通过适当的热处理工艺,提高其机械性能。此外根据需要还装有限位机构、锁紧机构等。

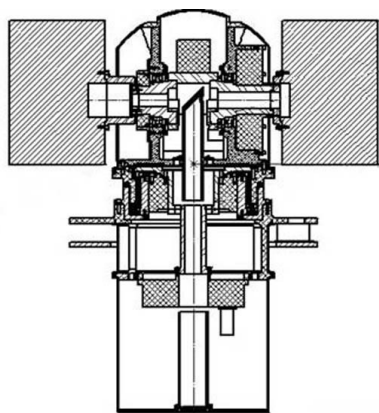


图1 结构示意图

1.3 减振设计

对于车载平台光电跟踪系统,振动严重影响了系统性能及可靠性,各级振动经过弹性构件传递到平台基座,引起平台环架和台体振动,造成指向误差,同时,振动会使陀螺漂移误差增大,直接影响平台稳定系统工作。对于减振系统设计的基本要求为:①减振系统的固有频率要低;②共振时的传递率要小;③越过共振区后的传递率曲线应大幅度下降;④既要保证减振系统的固有频率低于基座频率,又要保证与平台上的关键元件(陀螺)的固有频率有一定的间隔距离,以避免谐振干扰^[5,6]。

2 陀螺稳定跟踪控制系统设计

通过负载分析和误差分配,完成系统静态设计。伺服跟踪控制系统原理框图如图2所示。

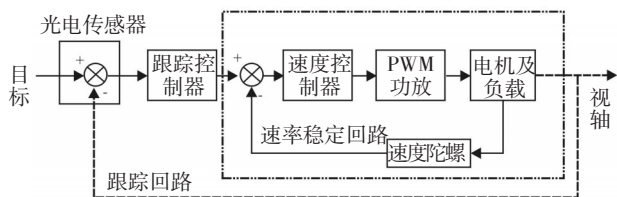


图2 伺服跟踪控制系统原理框图

伺服跟踪控制系统设计采用由内到外的设计方法,内环应具有较高的带宽和响应频率。以方位环为例,对速度环的设计,采用传递函数法校正的方

法,首先将电机及负载和PWM功放作为一个整体,通过频率特性试验测得的传递函数为

$$G(s) = \frac{18e^{-0.005s}}{\left(\frac{1}{5.6}s+1\right)\left(\frac{1}{270}s+1\right)} \quad (1)$$

设计速度稳定环校正传递函数为

$$D(s) = \frac{42.4(s+10)}{s(s+100)} \quad (2)$$

校正前后速度环的开环对数幅频特性如图3所示。

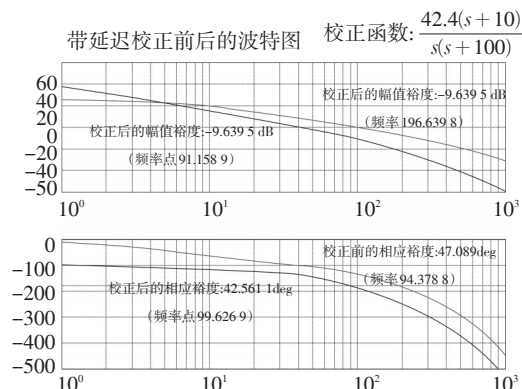


图3 校正前后速度环的开环对数幅频特性

位置环校正前的开环传递函数为

$$W(s) = \frac{1793}{s(s^2 + 79.79s + 1794)} \quad (3)$$

设计位置环的校正传递函数为

$$D(s) = \frac{12.5(s+2)}{s} \quad (4)$$

校正前后的开环传递函数的Bode图如图4所示。

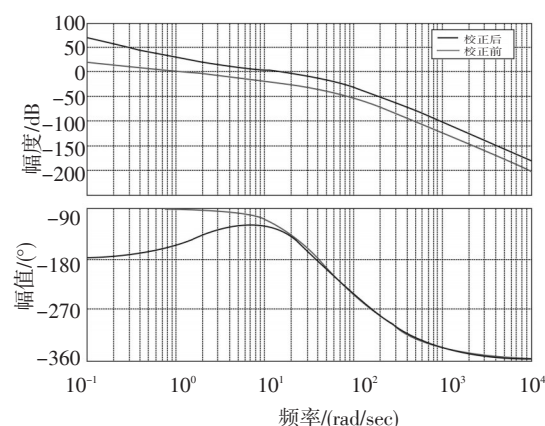


图4 校正前后位置环的开环对数幅频特性

3 粗精组合二级稳定系统设计

粗精组合二级稳定的设计思想是:在陀螺稳定平台粗级稳定的基础上,通过在光电跟踪视轴中加入精稳控制组件,补偿系统的残余误差,将系统的稳

定精度提高一个数量级^[7,8]。粗精二级稳定控制系统原理框图如图5所示。

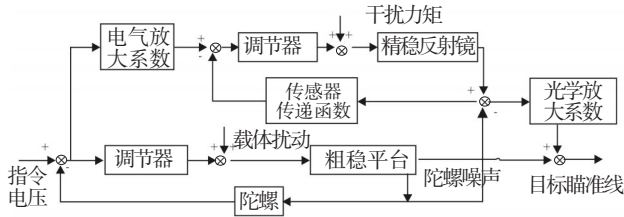


图5 粗精二级稳定控制系统原理框图

用于精稳控制组件的元件主要有音圈电机和压电陶瓷,音圈电机具有较大的行程,但响应频率较低。

压电陶瓷分为开环压电陶瓷和闭环压电陶瓷,开环压电陶瓷的响应频率较高,但压电陶瓷存在迟滞效应和蠕变效应等缺点。迟滞特性是指在输入电压和输出位移之间的一种非线性对应关系。蠕变效应是指当外加驱动电压迅速改变时,压电陶瓷的伸长过程分为两步:第一步是在较短时间内的快速伸长,第二步是需要较长时间的缓慢伸长过程,即为时间相关的蠕变效应,迟滞效应和蠕变效应见图6和图7所示。

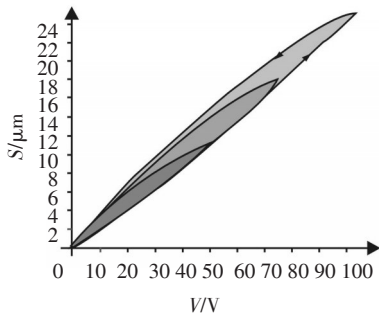


图6 迟滞效应

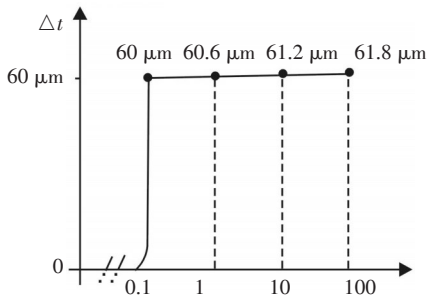


图7 蠕变效应

迟滞效应和蠕变效应都会影响系统的定位精度。在对迟滞效应和蠕变效应进行建模的基础上,采用一定的控制算法进行修正,对迟滞和蠕变特性进行逆补偿控制,提高系统的定位精度^[9,10]。

4 试验研究

在实验室内进行了典型环境下的跟踪精度试验研究。将光电跟踪转塔放置在双轴电动摇摆台上,对模拟运动目标进行跟踪,通过设定摇摆台的摇摆幅值和频率模拟车载运动环境,对运动目标进行跟踪,同时记录视频图像数据,以偏离瞄准视轴中心位置偏差的均方根值作为跟踪误差。系统测试原理图如图8所示。

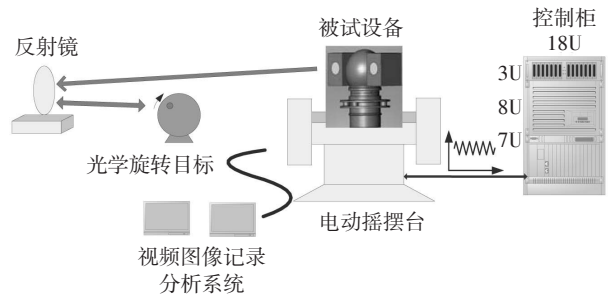


图8 系统测试原理图

跟踪误差的数据处理方法如下:测量出方位、俯仰像素偏差点 $\Delta X1$ 、 $\Delta Y1$,每个像素偏差点对应的分辨率误差为 $\Delta\theta$,随机抽取 n 个样本,分别计算各个图像的方位、俯仰像素偏差,则方位、俯仰的跟踪误差 ΔX 、 ΔY 按下列公式计算

$$\Delta X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}} \times \Delta\theta \tag{5}$$

$$\Delta Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n}} \times \Delta\theta \tag{6}$$

则系统的跟踪误差为

$$\Delta\Omega = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \tag{7}$$

跟踪录像及处理界面如图9所示。

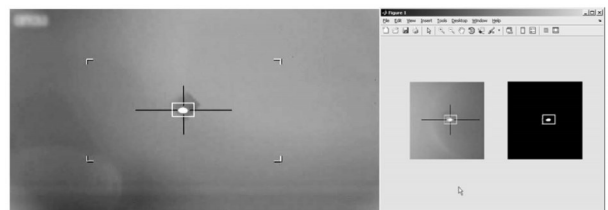


图9 跟踪图像及数据处理界面

5 结论

文中对车载光电跟踪系统的组成、结构和伺服 (下转第17页)

不同脉宽、不同频率的激光束对光电探测系统的辐照损伤阈值不同。探测器积分时间、前放带宽、读出电路时钟、行/场频率等对强光辐照软损伤阈值有明显影响。

参考文献

- [1] F Bartoli. Irreversible damage in IR detector materials[J]. Appl. Opt, 1977, 16: 2934.
- [2] F Bartoli. A generalization in thermal model for laser damage in infrared detectors[J]. J Appl. Phys, 1976, 47: 2875.
- [3] R H Dyck, W Steffe. Effects of optical crosstalk in CCD image sensors[C]// in Proc. 5th Int. Conf on Applications of Charge-Coupled Devices. San Diego, CA, 1978: 55-61.
- [4] James p Lavine, Win-chyi Chang, Constantine N Anagnostopoulos. Monte-Carlo Simulation of the Photoelectron Crosstalk in Silicon Imaging Devices[C]// IEEE Transactions on Computer-aided Design. CAD-4(4), 1985: 531-535.

- [5] 曾雄文, 陆启生, 赵伊君, 等. CCD的光电特性研究[J]. 强激光与粒子束, 1999, 11(1): 47-51.
- [6] 王世勇, 付有余, 郭劲. 激光辐照面阵 CCD 探测器系统局部的干扰效应[J]. 半导体光电, 2002, 23(2): 106-108.
- [7] 王思雯, 郭立红. 激光对卫星探测器的干扰技术研究[J]. 半导体光电, 2009, 30(4): 622-625.
- [8] 陆启生, 蒋志平, 刘泽金. 激光辐照下 Insb 探测器(PV 型)的瞬变行为[J]. 1991, 3(1): 102-108.
- [9] 陆启生, 蒋志平, 刘泽金. 光电探测器中的非线性光学效应[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(1): 12-21.
- [10] 车念曾, 闫达远. 辐射度学和光度学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1990.
- [11] 周炳琨, 高以智, 陈侗嵘, 等. 激光原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [12] 刘贤德. 红外系统设计基础[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1985.
- [13] R.D. 小哈得逊. 红外系统原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1975.

(上接第10页)

控制系统进行了设计。进行了系统结构设计, 平台采用 T 型结构, 并通过整体减振的方式隔离载体的高频振动。进行了控制系统设计, 利用陀螺稳定装置实现平台的粗级稳定, 高频快速反射镜实现平台的精级稳定, 对系统的控制模型进行建模, 采用粗精二级稳定的方法提高系统精度。进行了模拟仿真试验, 通过摇摆台来模拟车载环境试验进行系统测试, 试验结果表明该系统能达到较高的跟踪精度。

参考文献

- [1] 张国斌. 国外车载主动防护[J]. 国外坦克, 2002, 8(12): 30-32.
- [2] 张景旭, 王洋. 动载体光学图像视轴稳定技术[J]. 光电技术应用, 2007, 22(1): 4-8.
- [3] 王连明. 机载光电平台的稳定与跟踪伺服控制技术研究报告[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2002: 29-42.
- [4] 毕永利, 刘洵, 葛文奇, 等. 机载多框架陀螺稳定平台速度稳定环设计[J]. 光电工程, 2004, 2(31): 16-18.
- [5] 周静淑, 刘朝晖, 许峰. 车载状态下光电经纬仪的减振防护研究[J]. 光子学报, 2007, 6(36): 244-247.
- [6] 潘平. 减震在车载光电系统中的应用[J]. 舰船光学, 1998,

- 2(8): 11-17.
- [7] 纪明. 车载机载稳瞄系统 FSM 补偿技术[J]. 火力与指挥控制, 1997, 1(22): 58-63.
- [8] 纪明. 武装直升机瞄准线粗/精组合二级稳定技术[J]. 航空学报, 1997, 5(18): 289-293.
- [9] 王岳宇, 赵学增. 补偿压电陶瓷迟滞和蠕变的逆控制算法[J]. 光学·精密工程, 2006, 1(13): 1032-1036.
- [10] 岳冰, 杨文淑, 傅承毓. 空间光通信中的快速倾斜镜跟踪实验系统[J]. 光电工程, 2002, 6(29): 35-39.
- [11] 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, 16(3): 1-42.
- [12] 魏克新, 王云亮, 陈志敏, 高强. MATLAB 语言与自动控制系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 155-202.
- [13] Rogers R M. Weapon IMU transfer alignment using aircraft position from actual tests. Proc. of IEEE PLANS' 96, Atlanta, GA, 1996: 328-335.
- [14] 李亦君, 陈祖金. 某型光电跟瞄平台跟踪回路的设计与实现[J]. 航空兵器, 2006, 4(12): 38-39.
- [15] 毕永利, 王连明, 葛文奇. 光电稳定平台控制系统中数字滤波技术研究[J]. 仪表技术与传感器, 2005, 1(13): 54-55.
- [16] 孟中, 张涛, 戴明, 等. 陀螺滤波在改善伺服系统低速特性中的应用[J]. 压电与声光, 2006, 2(28): 109-110.