

·光电系统与·设计·

光电跟踪系统频率特性测试与数据分析

舒小芳, 吴卓昆, 冯海青

(光电系统信息控制技术国家级重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要:分析了光电跟踪系统组成及控制原理,并对速度稳定回路的各个环节进行了建模.通过跟踪环架的开环频率特性测试,绘制出跟踪环架的实际频率特性曲线,运用最小二乘法对测试数据进行拟合,建立了控制对象的数学模型.与实测曲线相比,取得了较好的一致性.

关键词:光电跟踪系统;频率特性;速度稳定回路;最小二乘法;传递函数

中图分类号: TN247; TP274

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)02-0005-03

Frequency Characteristic Test and Data Analysis of Optoelectronic Tracking System

SHU Xiao-fang, WU Zhuo-kun, FENG Hai-qing

(National Laboratory of Electro-Optics System Technology, Sanhe 065201, China)

Abstract: The composing and controlling diagram block of the optoelectronic tracking system were analyzed, and every part of velocity stabilization loop was modeled. Through the open-loop frequency characteristic test of the gimbal, the actual frequency characteristic curve of the tracking system was plotted. By using total least square algorithm on testing data to approach curve, the mathematics model of the controlled object was built. Comparing with the actual frequency characteristic curve, the model has made good coherence.

Key words: optoelectronic tracking system; frequency characteristic; velocity stabilization loop; total least square algorithm; transfer function

光电跟踪系统是集光、机、电于一体,由多个分系统组成的光电设备.跟踪精度和响应速度是光电跟踪系统的 2 个关键指标,也是系统方案选择的决定因素^[1].速度稳定回路是跟踪系统的关键环节,其性能对系统的跟踪精度有较大的影响,因此建立被控对象的精确数学模型,对控制系统的设计有重要意义.针对跟踪环架速度稳定回路的各个环节进行建模,并对跟踪环架进行了频率特性测试,运用了最小二乘法拟合测试数据,取得了被控对象较为精确的数学模型.

1 系统组成及控制原理

系统为安装于移动载体上的光电跟踪系统,为克服载体运动及空气扰动力矩^[2],系统采用整体稳定的双轴陀螺稳定平台结构.系统由光电探测器、转塔、图像处理计算机、中心控制计算机和信号解调与功放电路 5 部分组成.光电探测器和陀螺安装在转塔的俯仰环架上,图像处理计算机主要负责图像采集、目标识别和目标提取,并将目标的偏差信息发送给中心控制计算机,经中心控制计算机解算后,完成对转塔的伺服跟踪控制.系统结构原理示意图如图 1 所示.

收稿日期:2010-02-15

基金项目:国家部委基金项目

作者简介:舒小芳(1980-),女,湖北天门人,硕士,主要从事光电系统研究。

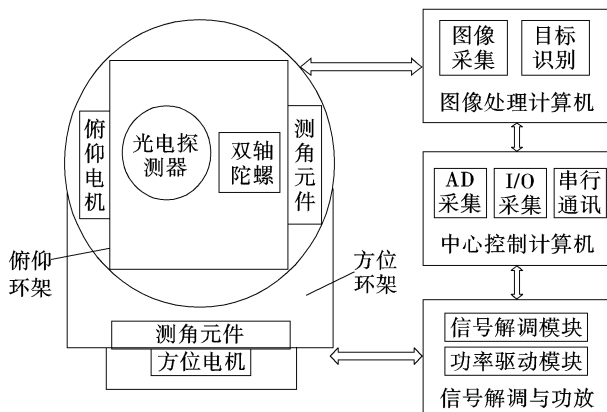


图1 系统结构原理示意图

系统可工作在扫描、随动、半自动跟踪、自动跟踪等多种模式下,不同的工作模式,控制系统回路结构也不完全相同.在跟踪模式下,控制回路原理框图如图2所示.由速度稳定回路组成系统控制内环,由跟踪回路构成系统控制外环,组成双闭环控制系统.

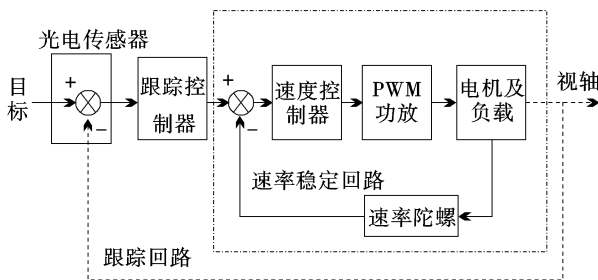


图2 光电跟踪系统控制回路原理框图

2 速度稳定回路模型的建立

根据系统原理框图,虚线框部分为系统的速度稳定回路,由校正环节、PWM功放环节、电机及负载、陀螺4个部分组成.在跟踪状态下,速度稳定环和跟踪环对载体角运动均具有隔离作用,但跟踪环的采样频率较低,且跟踪传感器存在延迟环节,因此,跟踪回路带宽较窄,对载体角运动的隔离作用较弱,系统中主要起隔离作用的是速率稳定环^[3].速度稳定回路各环节的模型如下:

(1)速度稳定回路校正放大环节 $G_{TVC}(s)$,其结构和参数在速度稳定回路设计时确定.

(2)PWM功放环节 $G_{PWM}(s)$ 由两部分组成,一部分是比例环节,另一部分是延迟环节

$$G_H(s) = Ke^{-T_{PWM}s} \quad (1)$$

(3)被控对象是由电机及负载组成的跟踪环架,其传递函数为

$$G_{OBJ}(s) = \frac{1/K_e}{(T_m s + 1)(T_e s + 1)} \quad (2)$$

(4)速率陀螺的输出为与速度信号成正比的电压信号,比例因子为

$$K_{lf} = 146.02(\text{mv}^\circ/\text{s})$$

传递函数为

$$G_{gyro}(s) = K_{lf} \quad (3)$$

3 跟踪环架频率特性的工程测试

频率特性法是控制系统设计常用的方法,在分析跟踪环架频率特性的基础上,建立跟踪环架的数学模型,依据控制系统性能指标,绘制期望的频率特性,设计出校正环节,使系统达到良好的动态特性和稳态性能.光电跟踪架的开环频率特性测试原理框图如图3所示.

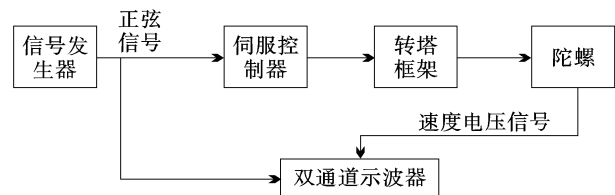


图3 开环频率特性测试原理图

(1)由信号发生器产生频率可调、幅值相位固定的正弦信号,一路经AD转换后送给伺服控制器,另一路送给示波器;

(2)伺服控制器根据所采集的正弦信号的符号和数值分别产生控制转轴转动的控制信号,使转塔框架作正弦摆动,所摆频率与正弦激励信号相同,转塔框架摆动的速度由陀螺测量得到,即将陀螺的输出信号送与示波器显示;

(3)记录在不同频率下($\omega_1, \omega_2 \dots$)测得输入电压幅值和输出电压幅值,经计算可得被测系统的对数幅频特性曲线;记录在不同频率下($\omega_1, \omega_2 \dots$)测得输入电压和输出电压的相位差,经计算可得被测系统的对数相频特性曲线.

按照以上步骤,对方位跟踪环架进行了测试,绘出相应的频率特性曲线如图4所示.

4 数据分析与结果仿真

利用MATLAB中的多项式拟合命令 $[a, s] = \text{polyfit}(x, y, n)$,对测试数据进行拟合,由于多项式的拟合目标是形如 $y(s) = f(a, x) = a_1 x^n + a_2 x^{n-1} + \dots + a_n x + a_{n+1}$ 的 n 阶多项式模型,不能

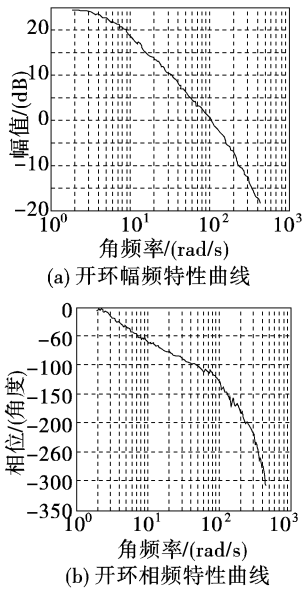


图 4 方位跟踪架的频率特性曲线

直接用于对频率特性的幅频特性进行拟合,通过函数变化,变为可以简单有效处理的线性最小二乘问题^[4].被控对象的传递函数为

$$G(s) = \frac{ke^{-T_{PWM}s}}{\left(\frac{1}{T_1}s + 1\right)\left(\frac{1}{T_2}s + 1\right)} \quad (4)$$

两边取幅值,则有

$$|G(j\omega)| = \frac{|ke^{-iT_{PWM}\omega}|}{\left| \left(j\frac{1}{T_1}\omega + 1\right)\left(j\frac{1}{T_2}\omega + 1\right) \right|} = \frac{|K|}{\sqrt{\left(\left(\frac{1}{T_1}\omega\right)^2 + 1\right)\left(\left(\frac{1}{T_2}\omega\right)^2 + 1\right)}} \quad (5)$$

变换后为

$$\frac{1}{|G(j\omega)|^2} = \frac{1 + \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2}\right)\omega^2 + \frac{1}{T_1^2 T_2^2}(\omega^2)^2}{K} = \frac{1}{K} + \frac{1}{K} \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2}\right)\omega^2 + \frac{1}{K} \frac{1}{T_1^2 T_2^2}(\omega^2)^2 \quad (6)$$

令 $x = \omega^2, y = \frac{1}{|G(j\omega)|^2}$, 则式(6)变为

$$y = \frac{1}{k} \frac{1}{T_1^2 T_2^2} x^2 + \frac{1}{K} \left(\frac{1}{T_1^2} + \frac{1}{T_2^2}\right) x + \frac{1}{K} \quad (7)$$

这样就可直接用二阶多项式进行拟合,经拟合并计算得

$$\begin{cases} K \approx 18 \\ T_1 \approx 5.6 \\ T_2 \approx 280 \end{cases}$$

得到被测对象对应的最小相角系统为

$$G_1(s) = \frac{18}{\left(\frac{1}{5.6}s + 1\right)\left(\frac{1}{280}s + 1\right)} \quad (8)$$

延迟环节参数 T_{PWM} 的确定, $\angle G(s)$ 和 $\angle G_1(s)$ 的相位差为 $\angle G_1(s) - \angle G(s) = T_{PWM}\omega$, 根据相位差的对应关系, 可以求出 $T_{PWM} = 0.005s$.

则求得速度稳定回路控制对象的传递函数为

$$G(s) = \frac{18e^{-0.005s}}{\left(\frac{1}{5.6}s + 1\right)\left(\frac{1}{280}s + 1\right)} \quad (9)$$

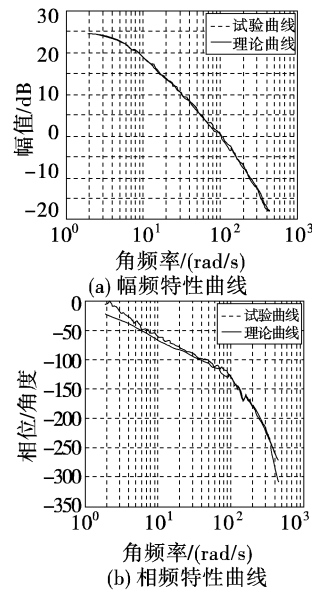


图 5 拟合曲线和试验曲线比较图

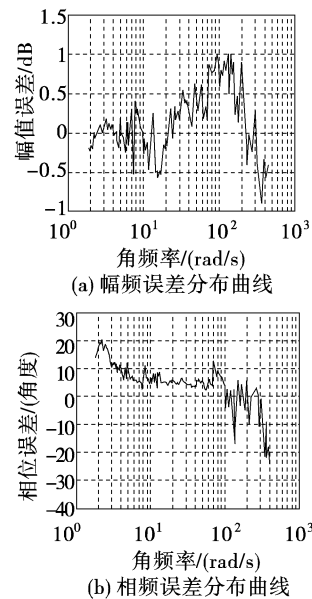


图 6 试验曲线和拟合曲线误差图

(下转第 17 页)

关,则相应脉冲的间隔不具备强相关性^[6].

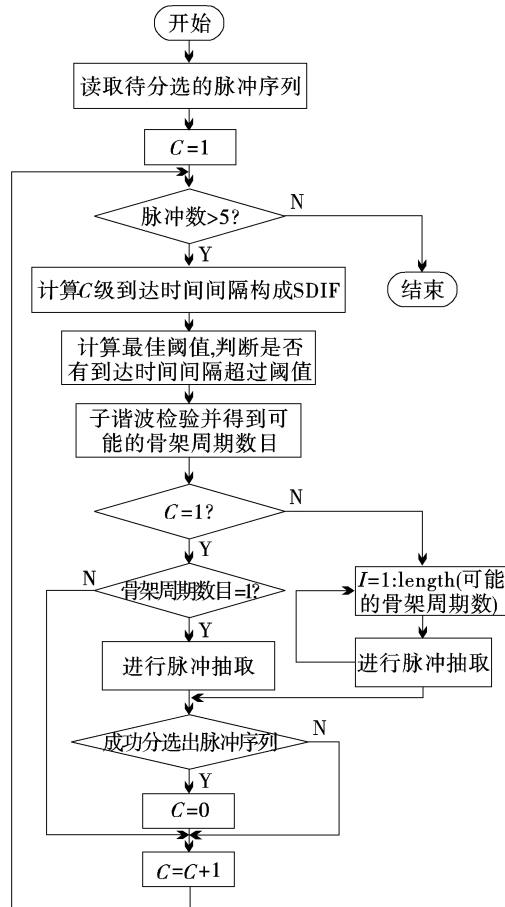


图 5 SDIF 算法流程图

4 结 论

通过以上软硬件的设计,可以看出基于 CPLD 和 DSP 的激光探测系统具有双波段、大空域探测、探测概率高、虚警概率低和信号处理能力强的优点,算法具有较好的实时性.文献[6]表明:在混合信号密度低于 100 pps 的条件下,该算法的时间可以控制在 1.5 s 以内.

参考文献

- [1] 付伟. 激光侦察告警技术的现状及发展趋势[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(2): 6-9.
- [2] 孙晓泉, 聂劲松, 吕跃广. 激光对抗教程[M]. 北京: 解放军出版社, 2006, 12: 26-29.
- [3] 叶庆, 姚龙海, 陈长俊. 基于 DSP 的多激光威胁信号分选和码型识别[J]. 电子技术应用, 2006, 11(32): 58-60.
- [4] 肖洪梅, 吴健, 陈长庚, 等. 微弱激光脉冲信号的相关检测[J]. 光学与光电技术, 2004, 2(1): 61-64.
- [5] 姚龙海, 叶庆. 光电探测器阵列型激光告警系统信号分选和码型识别算法设计[J]. 光学与光电技术, 2007, 6(5): 63-65.
- [6] 叶庆, 孙晓泉, 程玉宝. 混合激光制导信号的批次分选与码型识别研究[J]. 电光与控制, 2009, 16(10): 70-74.

(上接第 7 页)

比较试验曲线和拟合传递函数的曲线如图 5 所示. 拟合曲线和试验曲线误差分布图如图 6 所示. 从中可以看出, 经最小二乘法拟合的理论曲线, 在较宽的频率范围内与试验真值保持了良好的一致性.

5 结 束 语

光电跟踪系统是集光、机、电于一体, 由多个分系统组成的光电设备. 跟踪精度和响应速度是光电跟踪系统的 2 个关键指标, 也是系统方案选择的决定因素. 建立被控对象的精确数学模型, 对控制系统的设计有重要意义. 针对跟踪环架速度稳定回路的各个环节进行建模, 并对跟踪环架进行了频率特性测试, 运用了最小二乘法拟合测试数据, 得到被控对象较为精确的数学模型, 通过仿真可看出试验曲线和拟合曲线在较宽的频率范围内一致. 通过建立的

控制对象数学模型, 可以更好地根据方位轴系的稳定性能和动态性能要求, 精确的设计校正环节, 从而提高系统的跟踪控制精度. 运用该方法也可以对俯仰跟踪环架进行建模, 设计校正环节. 此方法还可以对各个闭环跟踪控制回路进行分析, 测试闭环跟踪控制系统的性能指标, 在工程上具有较好的实用性.

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, 16(3): 1-42.
- [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): 4-7.
- [3] 王连明. 机载光电平台的稳定与跟踪伺服控制技术[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] 魏克新, 王云亮, 陈志敏, 等. 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.