

文章编号:1007-2780(2011)03-0409-04

# 空间相机连续调焦地面仿真测试系统设计

曹小涛,徐抒岩,赵运隆

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033, E-mail: cxiaotao@yahoo.com.cn)

**摘要:**为使空间相机获得清晰准确的地面目标图像,相机需要依据结构变化对焦面位置进行调整。如果空间相机可以在轨快速对目标景物连续调焦,通过地面下传图像准确判断出最优焦面位置,将会极大提高空间相机的工作质量和效率。为验证连续调焦方法的可行性,提出了一种地面仿真测试方法。采用动态目标发生器和平行光管模拟相机在轨对地面目标成像。应用计算机系统作为目标发生器远程控制、数据处理、信息发送和接收设备,空间相机实时接收飞行器模拟设备发送的命令和工程参数,完成模拟在轨连续调焦。试验结果表明,所设计的系统能够依据图像判断最优焦面位置,满足设计和测试要求。

**关键词:**空间相机;连续调焦;仿真测试

中图分类号: TP331.2 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20112603.0409

## Design of Simulation and Detection System for Space Camera Continuous Focus Adjustment System

CAO Xiao-tao, XU Shu-yan, ZHAO Yun-long

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun 130033, China, E-mail: cxiaotao@yahoo.com.cn)

**Abstract:** In order to acquire the clear and exact image of the ground object, the focus position of space camera should be adjusted according to the variety of the mechanism. If the focus of the camera can be adjusted continuously in the orbit, and the optimal focus can be exactly acquired from the photos transmitted to the ground, the quality and efficiency of the space camera will be greatly improved. In order to validate the continuous focus adjustment method, a simulation and detection method is proposed. A dynamic aim generator and a collimator are applied to simulating the ground object. The computer system is used to control the dynamic aim generator, accomplish the data processing, transmit and receive the data information. The command and parameter transmitted by the simulation devices are received by the space camera at the real time, then the photos are taken and the focus is adjusted continuously and simultaneously. The experiment results show that the optimal focus can be acquired and the detective method satisfies the test requirement.

**Key words:** space camera; continuous focus adjustment; simulation and detection

## 1 引 言

空间光学遥感技术已经成为现代科技、军事、

气象、农业和地质等领域重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。空间相机作为空间光学遥感领域的重要设备,可以搭载在卫星、飞船和航天飞机等飞行器上,在地面指

收稿日期: 2011-02-28; 修订日期: 2011-04-11

作者简介: 曹小涛(1980—),男,河南巩义人,博士,主要研究方向为空间相机的地面测试技术。

挥中心的控制下,实时对地面感兴趣的目标进行拍摄,然后再通过数据传输系统发回到地面接收站。

由于火箭发射等力学振动,以及复杂空间环境(如真空、温度、辐照等)的影响,会造成空间相机结构参数发生变化,从而导致相机焦面产生不同程度的偏移。为补偿这种偏移,空间相机需要设置调焦系统<sup>[3-5]</sup>。对于振动影响,可以对地面研制过程进行控制,然而仍然具有随机发生的概率。对于空间环境影响,目前主要通过理论计算和在地面进行热光学试验,给出环境温度与焦面位置之间的对应关系。当相机在轨工作时,地面指挥中心接收下传的温度数据,依据上述对应关系注入相应的焦面位置给空间相机,相机调焦系统完成焦面调整过程。然而由于仿真环境的局限性,仍然会存在一定程度的差异甚至于错误。为此,希望空间相机能够在轨完成对于地面景物的连续调焦,地面指挥中心通过一系列连续拍摄的景物图像判断出当前状态下的最优焦面位置,从而注入给相机进行调焦。

对于空间相机的连续调焦方法,在相机的研制过程中,需要进行试验验证。本文应用动态成像目标生成及模拟系统、计算机高速网络系统和飞行器模拟装置,设计了一种地面仿真测试系统,完成了对于空间相机的连续调焦方法的地面验证。

## 2 连续调焦工作原理

空间相机调焦系统一般为由控制器、驱动电路、步进电机、调焦机构、调焦镜和编码器组成的闭环位置控制系统。地面指挥中心向控制器注入焦面位置信息。控制器接收编码器反馈的焦面位置信息,依据焦面位置偏差,控制驱动电路工作,使得步进电机工作,调焦机构带动调焦镜移动,直至偏差最小,从而完成一次焦面调节过程。

连续调焦的工作原理为:相机在轨对地面景物进行拍摄时,控制调焦镜从一个较大负离焦处连续移动至一个较大正离焦处,则在此移动过程中,会经过最佳焦面位置。在运动过程中所拍摄到的图像为一幅沿相机推扫方向上由模糊至清晰,再由清晰而至模糊的连续图像,而图像最清晰处可以判定为相机最佳焦面位置。由于连续调焦过程所得到的图像为一个渐变过程的图像,如果

图像具有某种相关性,比如同为城市中的建筑物带,则可以很容易判断出最清晰图像位置。因此,地面指挥中心可以将当前的焦面位置注入给空间相机。图 1 给出了一次连续调焦过程的示意图。

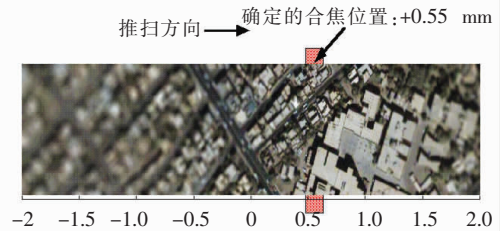


图 1 连续调焦过程

Fig. 1 Continuous focus adjustment

## 3 地面仿真测试系统设计

### 3.1 系统组成及工作原理

空间相机连续调焦地面仿真测试系统主要由计算机网络系统、动态目标生成及模拟系统(以下简称为目标发生器)、平行光管、飞行器模拟装置和图像高速采集及存储系统组成,如图 2 所示。

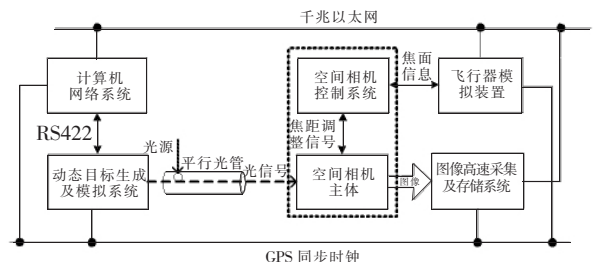


图 2 地面仿真测试系统

Fig. 2 Ground simulation and detection system

地面仿真测试设备之间通过千兆以太网连接,以实现指令和数据信息的传输;GPS 同步时钟系统为仿真测试设备提供同步时钟。动态目标发生器和平行光管模拟无穷远运动目标,从而模拟空间相机在轨推扫成像过程。飞行器模拟装置向空间相机控制系统注入连续调焦指令,控制相机中的调焦子系统工作,完成一次连续调焦过程。最后由高速采集及存储系统实时获取动态目标图像及数据,并实时存储和显示。一次测试依以下步骤完成:

(1) 经由计算机网络系统发送控制指令至目标发生器,控制目标发生器内圆鼓以指定速度匀速转动,以模拟相对空间飞行器的地面像移;

(2)经以太网将目标圆鼓速度传输给飞行器模拟设备,飞行器模拟设备经变换计算,将该速度值转换为 TDICCD 积分时间;

(3)飞行器模拟设备按空间目标飞行器预定参数和 TDICCD 积分时间,通过 1553B 总线发送给相机控制系统,控制相机以给定的积分时间对动态目标成像,控制相机调焦机构运动,完成一次连续调焦。

(4)飞行器模拟设备经由网络系统,把每次循环接收到的参数、状态、数据和时间码等均进行实时存储和显示;

(5)图像高速采集及存储系统实时采集空间相机工作过程中图像数据信息,完成监视和存贮功能;

(6)依据图像数据分析最优焦面位置。

### 3.2 动态目标生成及模拟系统

动态目标发生器是动态闭环连续调焦系统的核心,用于产生匀速或变速运动目标,模拟飞行器相对地面像移,模拟飞行器偏航角和姿态的变化。动态目标发生器主要由光学系统、精密转台和电子学控制系统组成,如图 3 所示。

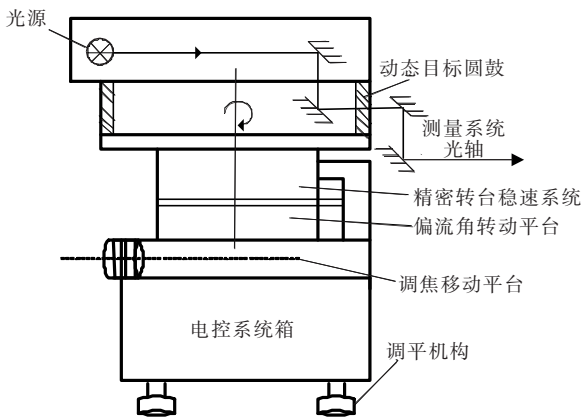


图 3 动态目标发生器示意图

Fig. 3 Dynamic aim generator

在连续调焦测试中,需要产生匀速运动目标。采用直流力矩电机和增量编码器作为控制执行和速度检测部件。对于通过给定速度转动动态目标发生器的目标圆鼓,只要根据给定速度计算出给定的频率,最终使编码器反馈频率等于给定频率,就可实现匀速控制。锁频控制系统包括增量编码器、可逆计数器、D/A 变换器、前置(PD)放大器和功率放大器等。锁频控制结构如图 4 所示。

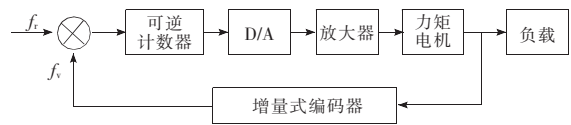


图 4 锁频控制系统示意图

Fig. 4 Frequency-lock control system

### 3.3 计算机网络系统

计算机网络系统主要完成以下功能:

(1)完成动态目标发生器的远程控制。通过计算机系统内的控制软件经由 RS422 总线发送指令给动态目标发生器;

(2)通过 RS422 总线获取的目标圆鼓速度,经过计算转换为 TDICCD 积分时间之后,通过千兆以太网发送给飞行器模拟装置;

(3)实时记录和显示目标发生器和飞行器模拟装置的工作状态、调焦参数及控制命令等。

### 3.4 GPS 同步时钟

在连续调焦测试过程中,地面仿真测试设备的时钟同步是非常必要的,一方面各个测试设备需要在统一的时间基准下工作;另一方面需要依据图像高速采集及存储系统采集到的图像的时间信息来判断对应的焦面位置。GPS 同步时钟系统如图 5 所示。

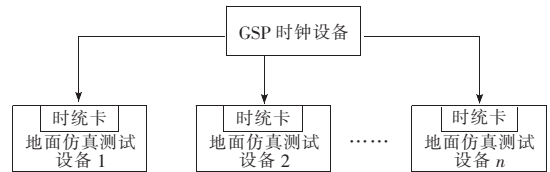


图 5 GPS 同步时钟系统示意图

Fig. 5 Synchronous clock system

GPS 同步时钟系统由 GPS 时钟设备和放置在每一个地面仿真测试设备机箱 PCI 插槽中的时统卡组成<sup>[6]</sup>。GPS 时钟设备实时接收卫星时间,将该时间和一个周期为 1 ms 的脉冲信号传送给时统卡。时统卡完成向上位机实时传输毫秒级时间信息。

## 4 试验结果

试验采用某空间相机。该相机调焦电机执行连续调焦的过程分为准备段和执行段两个阶段:准备段以极快的匀速度从当前位置运行至最大负离焦处;执行段以较慢的匀速度从最大负离焦处

运行至最大负离焦处。图 6 给出了动态连续调焦过程中图像高速采集及存储系统实时采集记录到的相机拍摄的动态靶标图像。其中(a)~(d)给出

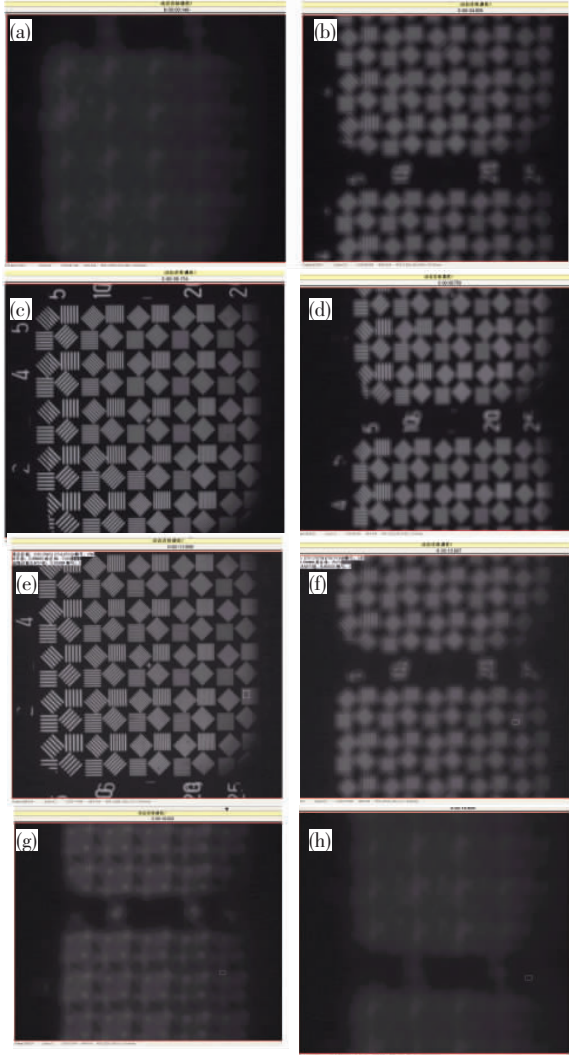


图 6 动态目标图像

Fig. 6 Image of dynamic aim

了准备段的图像,由于在准备段相机调焦机构会经过最佳焦面位置,因此在准备段可以得到一次清晰的目标图像(图(c),在 6.1 s 时刻)。图(d)~(g)为执行段相机所拍摄到的动态目标图像,由图可知,相机在动态连续调焦过程中,能够在最佳焦面位置处得到最清晰的动态目标图像,如图(e)所示(在 12.1 s 时刻)。图(h)给出了动态连续调焦结束后相机拍摄到的动态目标图像,由于远离最佳焦面位置,图像模糊难辨。由于同步时钟的作用,测试系统可以精确记录下每一幅图像处的编码器值(误差 $\pm 10$  个码),另一方面,由于准备段和执行段均为匀速运行,在初始运动起点已知的情况下,也可以通过计算得到最佳焦面位置。通过人眼粗观测结合传递函数精确计算<sup>[7]</sup>可以确认本次试验对应最大传递函数的焦面位置处编码器值为 7F49H(十六进制)。与相机真实的最佳焦面位置 8000H 相比,误差为 51H。在这样的误差范围内,相机的传递函数变化很小。经过多次重复试验,误差范围稳定在 70H 范围之内。因此该测试方法满足工程测试的需求。

## 5 结 论

设计了空间相机连续调焦地面仿真测试系统。采用动态目标发生器作为相机对地面景物成像的模拟装置,应用计算机网络系统作为目标发生器远程控制、数据处理、系统连接、信息发送和接收设备,设计了全局时钟同步,完成了空间相机实时调焦系统的地面仿真测试。试验结果表明,相机的调焦机构和算法能够实现连续调焦,能够在连续调焦的过程中获得高质量的图像。满足相机实时动态测试的需求。

## 参 考 文 献:

- [1] 王淑荣,李福田,曲艺. 空间紫外光学遥感技术与发展趋势[J]. 中国光学与应用光学,2009,2(1):17-22.
- [2] 任建岳. 空间光学遥感器专题文章导读[J]. 光学精密工程,2008,16(10):1852-1852.
- [3] 张洪文. 空间相机调焦技术的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2003.
- [4] 安源,齐迎春. 空间相机直线调焦机构的设计[J]. 光学精密工程,2009,17(3):609-614.
- [5] 赵志彬,刘晶红. 基于图像处理的航空成像设备自动调焦设计[J]. 液晶与显示,2010,25(6):863-868.
- [6] 穆欣,胡君,宋启昌,等. 空间相机集成测试系统的时钟同步[J]. 光学精密工程,2010,18(6):1436-1443.
- [7] 万春明,佟首封. CCD 相机调制传递函数的测试原理分析[J]. 半导体光电,2002,23(1):40-43.