

瞄准线稳定精度的室内测试技术

刘正云 苏建刚

(北京跟踪与通信技术研究所 北京 100094)

摘要 系统地介绍了瞄准线稳定精度的测量原理和测量系统组成,对测量系统中的主要技术如环境模拟、图像处理及数据拟合等技术进行了详细的描述。文中还阐述了测量方法、步骤及为提高测量精度采用的标定方法。最后给出了一个典型的测量实例。

关键词 瞄准线 稳定精度 环境模拟 室内测量

中图分类号 TH703 **文献标识码** A

1 引言

现代武器的火控系统通常都装备有用于观察、跟踪和瞄准的光学仪器,为了使武器在进行过程中操作手观察、瞄准目标不受外界扰动的影响,以实现对目标的准确瞄准和跟踪,这些瞄准或跟踪的光学仪器通常是具有稳定瞄准线功能的稳像仪。瞄准线的稳定精度是反映稳像仪性能的重要参数。测试稳定精度的传统方法是:在野外设立一目标靶,武器系统在一规定的路面行进同时对目标跟踪和瞄准,将 CCD 摄像机固定在稳像瞄准镜的目镜处,利用录像机记录整个试验过程瞄准镜对目标的稳定情况,经过事后判读处理,可得到稳定精度。由于这种方法测量精度低,试验条件不可知,且不可控制,因此测量数据只能对稳像仪性能作出粗略的评价。为了克服以上难题,发展了一种室内测量系统,通过在室内对野外目标和环境的模拟实现对稳定精度的高精度测量。本文主要介绍环境模拟、数据处理、系统标定等技术。

2 测试系统组成

瞄准线稳定精度的室内测试系统由目标发生器、三自由度环境模拟台、CCD 摄像机、测控计算机等四部分组成。设备框图如图 1 所示。目标发生器是一平行光管,在其物镜焦平面的分划上装定一小园孔靶板,在照明系统的作用下,产生一无穷远的园孔目标(平行光)。经被测稳像仪后在目镜出瞳处 CCD 摄像机将稳定后的园孔目标成像在 CCD 光敏面上,测控计算机一

方面控制三自由度环境模拟台的运动,一方面通过图像卡采集 CCD 输出的视频图像,经过大规模逻辑门阵列处理出目标的坐标和运动轨迹。并计算出在此环境模拟条件下稳像仪的稳定精度。

为了实现精确测量,系统必须满足以下两个条件:

- (1) CCD 摄像机和被测稳像仪与三自由度环境模拟台均以刚性连接;
- (2) 目标发生器的光管口径必须覆盖被测稳像仪在摇摆过程中的视场。

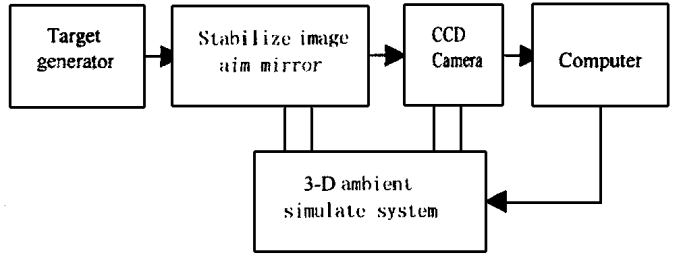


Fig. 1 The block diagram of the measurement system

3 环境模拟

环境模拟是通过三自由度环境模拟台来实现的。三自由度环境模拟台由内环、中环、外环和底座组成,三个环分别实现水平、横向和纵向的摆动,以三个自由度的综合运动模拟车辆在野外行进间对稳像瞄准镜的扰动。如图 2 所示是控制系统的原理框图。

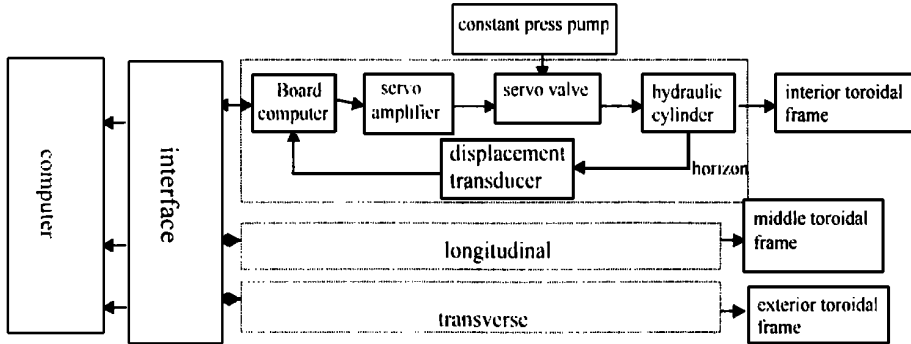


Fig. 2 The principle block diagram of control system

三自由度的摆动动力均由装有电液伺服阀的液压缸提供。计算机通过控制电路给伺服阀控制信号,伺服阀根据控制信号的大小以信号成比例的流量流进或流出液压缸,高压油推动活塞使活塞杆与缸体间产生相对运动,实现有控摆动。

如图 2 所示,从位移传感器反馈来的位移信号,通过单片机 A/D 采样后变成离散信号,将其值由十进制变成二进制,此反馈值与输入信号进行比较,得到偏差量,根据相应的控制规律对此差值进行处理,由单片机高速输出口 D/A 输出得到连续信号,放大后,成为电液伺服阀的输入信号,通过改变油量驱动液压缸产生相应的运动,实现按控制信号的有规律摇摆。在单片机控制中,应用单片机内部的时钟定时进行采样,在采样时间到时,A/D 变换器开始采样,经计算,D/A 变换,产生预期控制。这些控制都在一个周期内完成,在下一个周期到达时,重复上一过程。

4 图像处理

图像采集与处理由一块图像板完成,其处理和计算过程如图3所示(以水平方向为例)。由 CCD 摄像头输出的视频信号分别传输至同步分离、信号整形等图像预处理,将复合于视频信号中的行、场、帧同步信号准确分离,以供图像处理逻辑门阵列之用,同时视频信号中的图像部分是模拟信号,经过图像板采集成为数字信号。逻辑门阵列包含图像检测中的所有数字逻辑、计算和微机接口逻辑。由于目标是园形光斑,所以只有将光斑图像信号中的水平和垂直两个方向的图像最大宽度求出,便可得出光斑的中心位置。

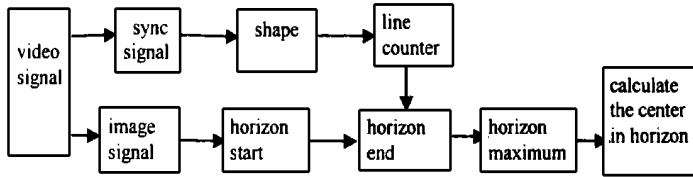


Fig. 3 The block diagram of the image processing

逻辑门阵列中分别设有水平起点、水平终点、垂直起点、垂直终点和行计数器。同时还有用于辨别比较各行的宽度以求出水平向的极大值及垂直方向极大值的两个求极值逻辑,由该逻辑求出的目标数据需经过参数综合计算逻辑,将所有原始参数转化为测量要求的目标位置和目标直径,其直径数据可以用于对不同被测件的角当量的标校,而位置数据可以由控制主机将其乘以相应的角当量,从而得出目标当时的位置。具体计算方法如下:

设第 j 行光斑水平起始位置为 x_{sj} , 终点位置为 x_{ej} , 则该行的光斑宽度为:

$$dx_j = x_{ej} - x_{sj}$$

光斑中心的水平位置为:

$$p_x = \eta \times \max(x_{sj} + x_{ej})/2$$

式中, $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

$\eta = D/d$ η —— CCD 单位相元对应于目标上的尺寸,即为测量系统的综合参数。

D ——园孔目标直径; d ——园孔目标经 CCD 成像后在像面上的光斑直径。

同理,设光斑垂直起始位置为 y_{si} , 终点位置为 y_{ei} , 则该列的光斑高度为:

$$dy_i = y_{ei} - y_{si}$$

光斑中心的垂直位置为:

$$p_y = \eta \times \max(y_{si} + y_{ei})/2$$

式中, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。

5 数据处理

由于稳像仪自身的固有特性决定了其在稳像过程中会出现漂移,如果测量时间较长,有可能将目标漂移出视场,出现这种情况时,应调节稳像仪使目标改变回到视场中心以连续测量。

测量的结果是将水平和垂直方向以两个数据文件分别存贮在计算机中,在进行数据处理时,先剔除测量结果中漂移出视场的无用数据,然后对两个方向的测量数据分别采用数据拟合的最小二乘法拟合数据曲线。

设水平和垂直方向的测量数据序列分别为 (i, x_i) 、 (i, y_i) , $i = 0, 1, 2, \dots, n$ 。 n 为测量点数。 设将数据序列 (i, x_i) 拟合为:

$$p_m(w) = a_0 + a_1w + a_2w^2 + \dots + a_mw^m = \sum_{j=0}^m a_j w^j$$

m 次多项式, 且使

$$\sigma = \sum_{i=0}^n [p_m(i) - x_i]^2 = \sum_{i=0}^n \left[\sum_{j=0}^m a_j i^j - x_i \right]^2$$

取最小值, 即

$$\frac{\partial \sigma}{\partial a_k} = 0 \quad k = 0, 1, 2, \dots, m。$$

$$\sum_{j=0}^m a_j \sum_{i=0}^n i^{j+k} - \sum_{i=0}^n x_i i^k = 0$$

解此方程组, 可求出 a_j , 所得到的 m 次多项式 $P_m(w)$ 是 σ 取最小值的拟合多项式。

6 测量步骤

6.1 系统标定

在瞄准线稳定精度测量时, 目标固定不动, 而稳像仪随三自由度环境模拟台运动, 稳定精度通常是以偏离稳像仪物方中心的角量来描述, 而 CCD 测量的是目标光斑在稳像仪像方的线量, 这就要求事先标定 CCD 单位相元的线量相当于稳像仪物方的角量值, 或称角当量, 然后再将 CCD 得到的线量换算到稳像仪物方的角量。 具体标定方法是: 将经纬仪与目标发生器对面放置, 调节使两光轴平行, 分别改变目标发生器在水平方向和垂直方向的角度, 使经纬仪反向转动, 读出其角度值。 同时 CCD 得出稳像仪像方目标偏移中心的线量, 将二者相比, 即得到水平和垂直向的角当量。

6.2 控制电压与摆幅关系

三自由度环境模拟台是一个惯性系统, 其输入控制信号电压与摆动幅值并非正比关系, 且由于每个自由度的转动惯量和稳像仪的质量互不相同, 因而信号电压与摆动幅值的关系也不相同, 所以, 为了准确知道每次测量时模拟台的运动条件, 在每个被试品进行测量前, 都需测定控制电压与摆幅的关系。

6.3 装定试验条件进行测量

在确定了对被测某稳像仪的环境扰动条件后, 根据已确定的控制电压与摆幅的关系, 通过测控计算机对每个自由度输入相应控制信号值和运动方式, 即可进行瞄准线稳定精度的测量。

7 测量实例

在一定环境模拟条件下, 我们对某型稳像仪瞄准线稳定精度在室内进行了测量, 并对其测量数据进行了处理, 测量数据及处理结果如图 4 所示。 图 a、b 分别为 x 、 y 方向的测量原始数据, 其中横坐标表示测量数据点系列, 纵坐标表示每个测量点目标在水平和竖直方向的坐标值。 图 c 为对原始测量数据经过最小二乘法拟合, 剔除稳像仪漂移运动的影响后目标在稳像仪

中的运动轨迹, 即图 c 的横坐标表示图 a 的测量数据与该拟合曲线的偏差量, 纵坐标表示图 b 的测量数据与该拟合曲线的偏差量。如果以每个测量点的拟合曲线坐标值为中心点, 瞄准线稳定精度可用目标在 x 和 y 方向偏离此中心的均方差表示。如乘以该方向的角当量即得到物方的角偏差均方值, 即物方的稳定精度。

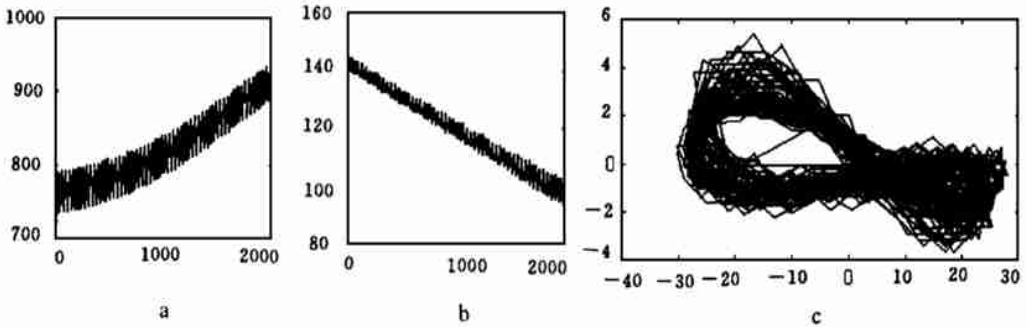


Fig. 4 The measurement results

参 考 文 献

- 1 孙志勇等. 瞄准线稳定精度检测研究. 光电技术研讨及学术交流会议论文集, 北京: 航天工业总公司光电技术信息网, 1998. 32~35
- 2 邹恒光. 三自由度集散控制系统: [硕士论文]. 北京: 北京理工大学, 1996
- 3 刘正云. PSD 用于稳像仪稳像精度测试方法探讨. 应用光学, 1995, 16(1): 50~52
- 4 张志涌等. 掌握和精通 MATLAB. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997
- 5 蒋伯诚, 陈吉斌. 计算方法与程序设计. 长沙: 国防科技大学出版社, 1987

Indoor Measurement Techniques for the Stabilizing Accuracy of Aiming Line of Image Stabilizer

LIU Zheng-Yun, SU Jian-Gang

(Beijing Institute of Track and Telecommunication Technology, Beijing 100094)

Abstract

The measurement principle of the stabilizing accuracy of the aiming line of the image stabilizer is introduced systematically in this paper. The main techniques, such as ambient simulating, image processing and data fitting, are described in detail. The measurement methods and steps also are given. The measurement accuracy is improved by calibrating. An example of measurement is given in the end.

Key words: Aiming line, Stabilizing accuracy, Ambient simulation, Indoor measurement

刘正云 男, 1966 年生, 1993 年毕业于国防科技大学军用光学专业, 获得硕士学位。现为北京跟踪与通信技术研究所工程师, 主要从事常规兵器靶场试验测控总体研究工作。