

·光电系统·

瞄线与火线多轴一致性测试系统

肖夏, 孙大维

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:介绍了瞄线与火线多轴一致性测试系统的组成,引入扩径系统概念,说明了扩径镜组系统的设计方法,并运用动态光学理论,对扩径镜组的备选方案进行分析比较。验证测试系统在大视场情况下是否能够满足所需的测试精度进行误差分析,其中包括平行光管、瞄准线、电视摄像机的误差以及光学观瞄镜、红外热像仪、激光测距机、火线与平行光管之间的误差。

关键词:多轴一致性;平行光管;扩径系统

中图分类号:TN247;TN216

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-01-0001-06

Multi-axis Consistency Testing System of Aiming Line and Gun Bore Line

XIAO Xia, SUN Da-wei

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The structures of multi-axis consistency testing systems of aiming line and gun bore line are introduced. The concepts of expanding systems are referred. The design methods of expanding lens systems are described. According to dynamic optics theory, the alternative schemes of expanding lens are analyzed and compared. The precision of testing systems whether can meet the requirement in large field of view is verified which includes the errors of collimators, aiming line and TV cameras and the errors generated in optical observation mirrors, infrared cameras, laser rangefinders, gun bore line and collimators.

Key words: multi-axis consistency; collimator; expanding system

光通信系统、大型多光轴光电经纬仪、火控指挥系统等光学仪器具有多个光轴,由于这些光学仪器的光轴平行度精度要求都很高,所以对多轴平行性的检测是十分重要的^[1]。

传统的靶板画线测量方法存在瞄准镜与火炮轴线安装位置有相对误差以及距离短的问题,不能满足装调和测试要求。瞄线与火线多轴一致性测试系统采用多波段大口径平行光管装置作为主要检测设备,利用平行光管的平行光的特性调试和检测光学观瞄镜、电视摄像机、红外热像仪、激光测距机的光轴(即瞄准轴线)与火线轴间的平行性精度,以达到各轴线间的平行性调校之目的^[2]。其拓展应用还可以进行白光目视仪器光轴调校,以及白光、微光、红

外、激光光学系统的常规参数检测和调校工具^[3]。

1 多轴一致性测试系统

1.1 系统的组成

测试系统采用大口径自准直平行光管方式,如图1所示。用大口径自准直平行光管测试光学观瞄镜、电视摄像机、红外热像仪、激光测距机等瞄准轴线一致性;平行光管后端放置光源(可见、红外)用于测试光学观瞄镜、电视摄像机、红外热像仪的光轴一致性,放置CCD用于测试激光测距机的光轴一致性。

整个测试系统固定在一个调整平台上,调整平台可进行升降、俯仰和水平调节,下方设置有轮子,

收稿日期:2012-12-04

作者简介:肖夏(1984-),男,辽宁锦州人,长春理工大学光电工程学院光学设计专业,学士学位,助理工程师,主要研究方向为光电技术,光学设计。

在固定时可通过放下支角固定,设置有电子水泡用于调整水平,设置有激光垂直仪便于平台的调整,并可采用气浮方式隔离振动,也可以放置在隔振地基上工作。

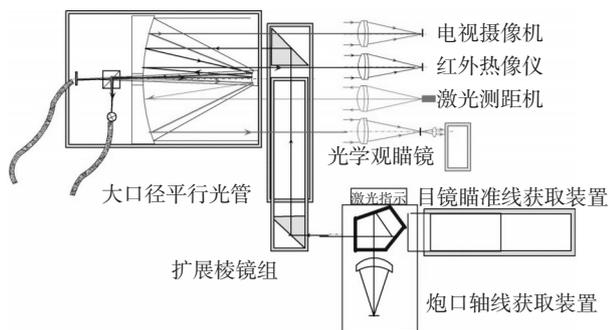


图1 大口径自准直平行光管测试原理图

1.2 平行光管结构

作为光学检测基础设备的平行光管来说,光学系统的选择是十分重要的。由于能同时透过白光、激光、红外光的光学材料很少,且大口径的这种材料更难找到,故大口径透射式平行光管的研制非常困难,所以多考虑R-C系统及其改型为基础,或是球面加工半反半透镜组成的系统。这里设计为口径 Φ 300 mm,焦距3 000 mm,主反射镜采用抛物面形式,次镜用平面反射镜。平行光管光路图和结构图如图2和图3所示。

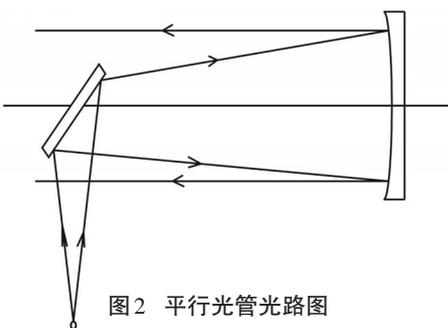


图2 平行光管光路图

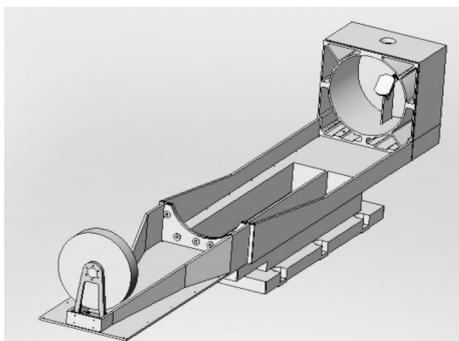
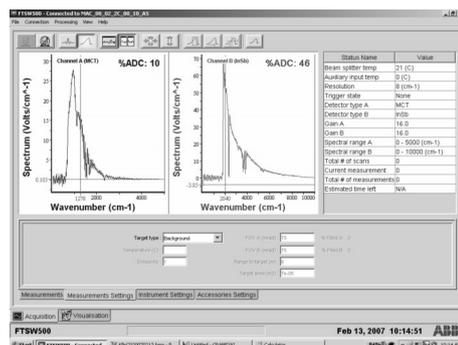


图3 平行光管结构示意图

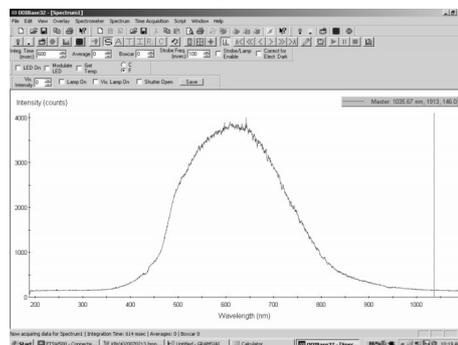
1.3 平行光管分光光路

平行光管的分光组件有不同的形式,是依据被测系统的要求,主要包含光源发射和接收两部分,光源发射又包含可见光、红外、激光($1.06\ \mu\text{m}$ 、 $1.54\ \mu\text{m}$),接收部分主要针对激光测距机的发射进行接收,所以接收部分方案与激光测距机的发射相关,若考虑系统全面性,则需要可见光、红外、激光($1.06\ \mu\text{m}$ 、 $1.54\ \mu\text{m}$)三种光源,若考虑测试两种波长的激光测距机($1.06\ \mu\text{m}$ 、 $1.54\ \mu\text{m}$)接收部分也将需要两种探测器,这样系统需要六路分光(可见光光源、红外光源、 $1.54\ \mu\text{m}$ 和 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光、 $1.54\ \mu\text{m}$ 激光接收的四象限探测器、 $1.06\ \mu\text{m}$ 激光接收的硅基四象限探测器或CCD)。六路分光不仅使光路复杂、成本升高、技术难度增大,由于分光造成的杂散光难于处理,甚至会使整个系统光路相互干扰造成系统的瘫痪^[4]。基于如上考虑,将系统分光作成三路即可见/红外光源、激光光源、激光接收三路。

对于光源组件的选择,可见和红外波段采用特殊处理的溴钨灯,其光谱特性如图4所示。



(a) 红外光谱的光谱特性



(b) 可见光谱的光谱特性

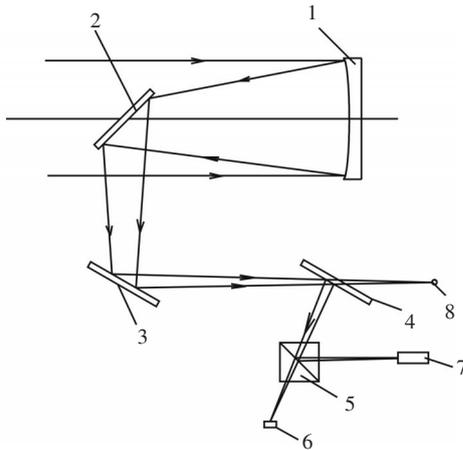
图4 溴钨灯的光谱特性(图a为红外光谱;图b为可见光谱)

激光光源主要指激光测距机发出的光源,在系统中利用聚焦透镜、光纤耦合的方式,将激光测距机发出的光引入平行光管。对于不同波长的激光测距机($1.06\ \mu\text{m}$ 和 $1.54\ \mu\text{m}$),平行光管的激光发射光源

都与测距机的接收探测器匹配^[5]。

对于激光接收这一路光,因为平行光管中使用的 CCD 不能探测到 1.06 μm 或者 1.54 μm 波段,所以利用红外上转换器件,将激光在室温下转换成红光(峰值波长 672 nm),CCD 的光敏面置于红外探测转换器件后,接收转换后透射的红光,并经视频采集卡在计算机中显示出来。

平行光管分光光路图如图 5 所示,图中 4 为 ZNS 镜片,半反半透,由 8 溴钨灯发出的可见和红外波段光透过 ZNS 镜,照到 3 上,然后经过平行光管,平行出射;6 为激光光源入口。利用光纤耦合方式,将激光测距机发射的光引入,透过分光棱镜,经 ZNS 反射,导进平行光管;7 实际上是一个中继镜组,后面接 CCD,用来接收激光光轴的。



(1 为抛物面主镜; 2 为平面反射镜次镜; 3 为二次反射镜; 4 为 ZNS 镜; 5 为分光棱镜; 6 为激光光源入口; 7 为激光接收; 8 为溴钨灯)

图 5 平行光管分光光路图

2 扩径镜组系统的设计

可见光、电视、热成像、激光多光轴一致性测试是检验各个系统的光轴平行性。理论上只要平行光管的口径足够大,就可以满足测试要求。由于平行光管需要检测不同光谱之间的光轴平行性。所以只要平行光管的口径能够包含所有的探测器,并且平行光管精度足够,这种检测就比较简单了。

但是,光管口径越大,成本越高。瞄准系统光轴与炮膛轴线之间距离相差比较大,如何利用小口径平行光管,检测瞄线与火线多轴一致性,这里需要引入扩径系统的概念^[6]。扩径系统是指利用光学转向器件,将平行光管发出的平行光折转,以一定位移量

与原方向平行出射。

2.1 方案 1: 双平面镜反射方式

采用双平面镜反射方式作扩径镜组,如图 6 所示。

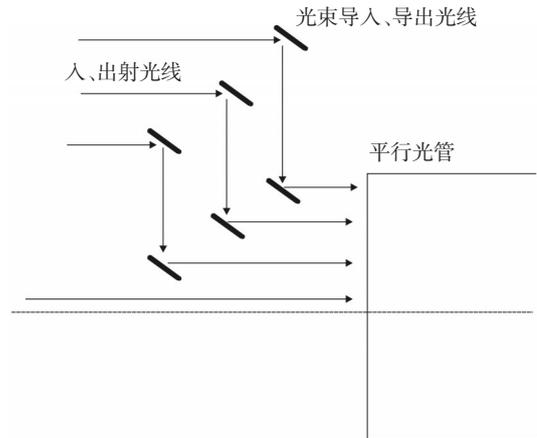


图 6 双平面镜反射示意图

针对上述方案进行动态光学分析,可得出对平面反射镜组的要求,如图 7 设反射镜的坐标如下。

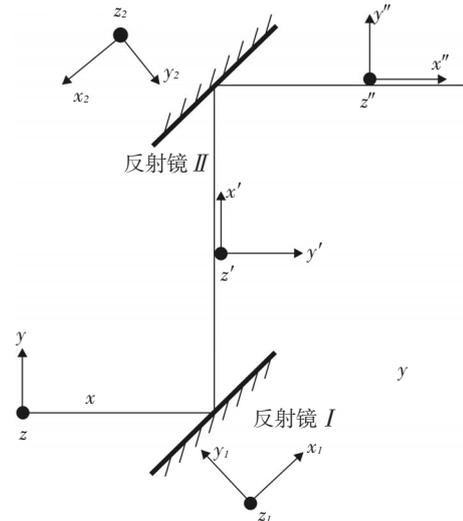


图 7 反射镜坐标设置

由图可知被反射面 I, II 的作用矩阵为

$$\begin{cases}
 \mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ \sin \beta & -\cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 \begin{bmatrix} \cos 90^\circ & \sin 90^\circ & 0 \\ \sin 90^\circ & -\cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 \mathbf{R}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{cases} \quad (1)$$

各面的象坐标系与该面的面坐标系的转换矩阵为

$$\begin{cases} \mathbf{G}_1 = \begin{bmatrix} \cos 45 & \sin 45 & 0 \\ \sin 45 & -\cos 45 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & \sqrt{2} & 0 \\ \sqrt{2} & -\sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{G}_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -\sqrt{2} & \sqrt{2} & 0 \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2)$$

$$\overline{\Delta A} = [\alpha_1(\mathbf{G}_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{G}_1^{-1} - \mathbf{R}_1 \mathbf{G}_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{G}_1^{-1} \mathbf{R}_1^{-1}) + \alpha_2(\mathbf{G}_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{G}_2^{-1} - \mathbf{R}_2 \mathbf{G}_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{G}_2^{-1} \mathbf{R}_2^{-1})] \bar{A} \quad (3)$$

$\alpha_1 \mathbf{P}_1$ 、 $\alpha_2 \mathbf{P}_2$ 、 $\alpha_3 \mathbf{P}_3$ 表示为各面坐标系中的量,则

$$\overline{\Delta A} = [\alpha_1(\mathbf{G}_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{G}_1^{-1} - \mathbf{R}_1 \mathbf{G}_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{G}_1^{-1} \mathbf{R}_1^{-1}) + \alpha_2(\mathbf{G}_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{G}_2^{-1} - \mathbf{R}_2 \mathbf{G}_2 \mathbf{P}_2 \mathbf{G}_2^{-1} \mathbf{R}_2^{-1}) + \alpha_3(\mathbf{G}_3 \mathbf{P}_3 \mathbf{G}_3^{-1} - \mathbf{R}_3 \mathbf{G}_3 \mathbf{P}_3 \mathbf{G}_3^{-1} \mathbf{R}_3^{-1})] \bar{A} \quad (4)$$

将式(4)写为矢量叉积形式(注意矩阵行列式值或坐标系关系)

$$\overline{\Delta A} = \bar{\mu}' \times \bar{A}' \quad (5)$$

$$\bar{\mu}' = \alpha_1(E + \mathbf{R}_1) \mathbf{G}_1 \bar{P}_1 + \alpha_2(E + \mathbf{R}_2) \mathbf{G}_2 \bar{P}_2 - \alpha_3(E + \mathbf{R}_3) \mathbf{G}_3 \bar{P}_3 \quad (6)$$

式(6)中

\bar{P}_1 、 \bar{P}_2 分别为反射面 I、II 的偏转轴矢量,得

$$\begin{aligned} \bar{\mu}' &= -\alpha_1 \begin{bmatrix} \sqrt{2} & 0 & 0 \\ \sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{1x} \\ P_{1y} \\ P_{1z} \end{bmatrix} + \alpha_2 \begin{bmatrix} -\sqrt{2} & 0 & 0 \\ \sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{2x} \\ P_{2y} \\ P_{2z} \end{bmatrix} \\ \bar{\mu}' &= \begin{bmatrix} -\sqrt{2}\alpha_1 P_{1x} - \sqrt{2}\alpha_2 P_{2x} \\ -\sqrt{2}\alpha_1 P_{1y} + \sqrt{2}\alpha_2 P_{2y} \\ -2\alpha_1 P_{1z} + 2\alpha_2 P_{2z} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{\mu}'_x \\ \bar{\mu}'_y \\ \bar{\mu}'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}\alpha_{1x} - \sqrt{2}\alpha_{2x} \\ -\sqrt{2}\alpha_{1y} + \sqrt{2}\alpha_{2y} \\ -2\alpha_{1z} + 2\alpha_{2z} \end{bmatrix}$$

式(7)表明了这个共有2面反射镜的系统的误差分析情况及误差调整修正关系。式中, $\alpha_{1x} = \alpha_1 P_{1x}$; $\alpha_{2x} = \alpha_2 P_{2x}$; $\alpha_{1z} = \alpha_1 P_{1z}$; $\alpha_{2z} = \alpha_2 P_{2z}$ 表示相应反射面绕其面形坐标轴的转角。系统作误差分析时,它们表示各个反射面相应的误差角;做光学调整时(此时称误差修正),表示相应反射面的修正量。 $\bar{\mu}'_x$ 、 $\bar{\mu}'_y$ 、 $\bar{\mu}'_z$ 表示像偏转矢量绕其坐标轴的旋转量。

可见必须保证单个反射镜在 x 、 y 、 z 三个方向的偏差分别与另一个反射镜的三个方向偏差绝对值相

等才能保证出、入射的像不发生倾斜和偏转,这样对于两个反射镜的装调是非常困难的(用计算机辅助软件进行调节才能达到),而且在使用过程中结构上的变形难以保证精度(需用特殊结构材料才能保证)。

2.2 方案2: 五棱镜反射方式

如图8为五棱镜的光路图^[7], (x, y, z) 为物坐标, (x', y', z') (x'', y'', z'') 分别是物坐标经过 I、II 面的像坐标, (x_1, y_1, z_1) (x_2, y_2, z_2) 为 I、II 面的面形坐标。由图可知被分解元件的作用矩阵为

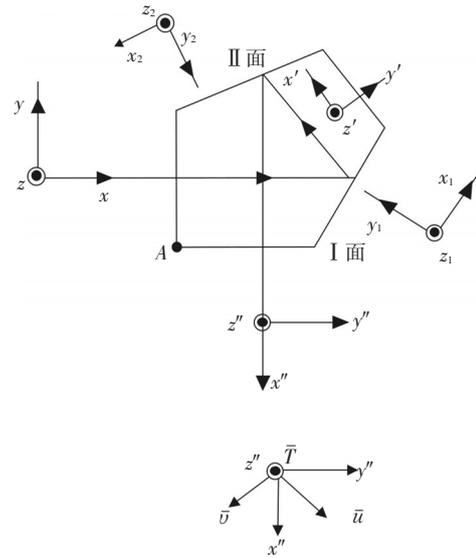


图8 五棱镜光路图

$$\mathbf{R}_1 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \mathbf{R}_2 = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

各面的像坐标与该面的面坐标系的转换矩阵为

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_1 &= \begin{pmatrix} \cos 67.5^\circ & \cos 157.5^\circ & \cos 90^\circ \\ \cos(-22.5^\circ) & \cos 67.5^\circ & \cos 90^\circ \\ \cos 90^\circ & \cos 90^\circ & \cos 0 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 0.38 & -0.92 & 0 \\ 0.92 & 0.38 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \mathbf{G}_2 &= \begin{pmatrix} 0.38 & -0.92 & 0 \\ -0.92 & -0.38 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

像的绝对运动

$$\vec{u} = \vec{T} - \alpha_1(E + \mathbf{R}_1)\mathbf{G}_1\vec{P}_1 + \alpha_2(E + \mathbf{R}_2)\mathbf{G}_2\vec{P}_2 = \vec{T} - \begin{pmatrix} 0.765\ 3\alpha_{1x} - 0.000\ 013\ 38\alpha_{1y} - 0.765\ 3\alpha_{2x} + 0.000\ 133\ 8\alpha_{2y} \\ 1.847\ 7\alpha_{1x} + 0.000\ 071\ 6\alpha_{1y} + 1.847\ 7\alpha_{2x} + 0.000\ 071\ 6\alpha_{2y} \\ 2\alpha_{1z} - 2\alpha_{2z} \end{pmatrix} \quad (10)$$

式(10)中, $\alpha_{1x} = \alpha_1 P_{1x}$; $\alpha_{1y} = \alpha_1 P_{1y}$; $\alpha_{2x} = \alpha_2 P_{2x}$; $\alpha_{2y} = \alpha_2 P_{2y}$ 表示相应的面型绕其面型坐标的转角。 \vec{T} 与 z'' 轴重合。

所以五棱镜的原理误差(光轴偏、像倾斜)

$$\begin{cases} u_x = u_x = 0.765\ 3\alpha_{1x} - 0.000\ 013\ 38\alpha_{1y} - \\ \quad 0.765\ 3\alpha_{2x} + 0.000\ 133\ 8\alpha_{2y} \\ a_y = -u_y = 1.847\ 7\alpha_{1x} + 0.000\ 071\ 6\alpha_{1y} + \\ \quad 1.847\ 7\alpha_{2x} + 0.000\ 071\ 6\alpha_{2y} \\ a_z = u_z = 2\alpha_{1z} - 2\alpha_{2z} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

式(11)中, a_y 表示在 y'' 方向的光轴偏; a_z 表示在 z'' 方向的光轴偏; u_x 表示绕 x'' 转动的像倾斜。可以看出,当五棱镜绕特征方向 \vec{T} 微小偏转时,不会产生像倾斜^[8]。

由上述分析知,扩径系统若采用平面镜组,必须保证单个反射镜在 x 、 y 、 z 三个方向的偏差分别与另一个反射镜的三个方向偏差绝对值相等,才能保证出入射的像不发生倾斜和偏转,这样对于两个反射镜的装调是非常困难的,而且在使用过程中结构上的变形难以保证精度。若采用五棱镜组,光束经过两个五棱镜后,出射光束偏转误差比较小,且沿特征方向旋转时,不影响光束的出射方向,这在结构上来说,沿 z 轴方向的变形对光路不产生影响,这就减少一个误差的引入^[9],所以设计中扩径镜组的选择使用了五棱镜。

五棱镜扩径镜组系统如图9所示。

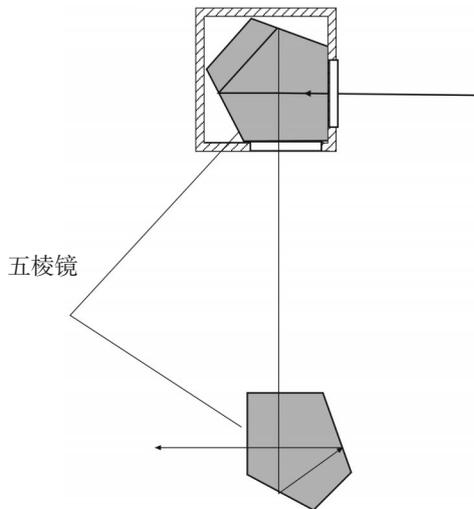


图9 五棱镜扩径镜组系统

3 误差分析

为了验证瞄线与火线多轴一致性测试系统能够满足在大视场情况下检测设备时的精度要求,进行下面的误差分析。

以平行光管可见光源作为基准计算出各光轴平行差,通过数据处理得任意两光轴之间的平行差^[10]。

3.1 平行光管误差分析

设平行光管焦距为 3 000 mm,采用 CCD 的像元尺寸为 16 μm ,则平行光管的对准误差为 $\delta = \frac{d}{f} = 5.3 \times 10^{-6} \text{ rad} = 5.3 \times 10^{-3} \text{ m rad}$,远远大于要求的误差,若分光棱镜的平行差和分光面误差控制在 2 s 以内。平行光管星孔光路和 CCD 光路的光轴差为

$$\sqrt{2''^2 + 2''^2 + 4''^2} = 15'' = 0.023\ 8 \text{ m rad}$$

同时平行光管的两个轴可通过角锥棱镜或直角屋脊棱镜 DII₁-180 校准,校准后精度可达 0.025 mrad,可见平行光管本身的误差可以忽略不计。

3.2 瞄准线获取装置误差分析

设光学瞄准镜的光学参数为:放大倍率 $\Gamma = 3 - 7\times$;视场角 $2\omega = 6^\circ \sim 20^\circ$;口径 $D = 70 \text{ mm}$,出瞳直径 $d_p = 10 \sim 30 \text{ mm}$;出瞳距 $\geq 25 \text{ mm}$ 。选取 1/3" CCD 摄像机,其像面尺寸为 $3.6 \times 4.8 (\text{mm}^2)$,像元尺寸为 0.006 4 mm。根据 $0.6^\circ \times 0.8^\circ$ 的视场要求,火炮瞄准镜与 CCD 物镜的组合焦距: $f'_{\text{总}} = 343.77 \text{ mm}$; CCD 摄影物镜的焦距: $f'_i = \frac{f'_{\text{总}}}{\Gamma} = 34.377 \text{ mm}$,视场: $6^\circ \times 8^\circ$ 。

$$\text{组合系统的理论分辨率为: } \alpha = \frac{140''}{D} = 2''$$

目视瞄准镜采用叉丝对准, $\delta = 20''$,其对准误差为: $\sigma_1 = \frac{\delta}{\Gamma} = \frac{20''}{7} = 2.86'' \sim 6.66''$,CCD 上爱里斑半径为: $r' = \frac{1.22\lambda}{D} f'_i = 6 \mu\text{m}'$,约为一个像元。CCD 动态下隔行扫描的判读误差为两个像元,量化误差为:

$$\sigma = \frac{2 \times 0.006\ 4}{f'_i} \times 206\ 265 = 8''$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = 10.41'' = 0.05 \text{ m rad}$$

3.3 炮口轴线获取装置精度分析

将炮口轴线获取装置装于炮口,前面放置平行光管,使其十字线成像于校炮镜目视系统分划中心,转动校炮镜,使平行光管十字线的像相对于校炮镜目视系统分划中心摆动小于0.005 mm,则炮口轴线获取装置与炮口轴线同轴度误差为

$$\sigma_1 < \frac{0.005}{200} = 2.5 \times 10^{-5}(\text{rad}) = 5'' = 0.023 \text{ mrad} \quad (12)$$

3.4 扩径镜组精度分析

扩展棱镜组采用机械研磨方法,保证精度在2 μm ,则扩展棱镜组产生的角度误差为

$$\sigma < \frac{0.002}{100 \sim 1000} = 2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-6}(\text{rad}) = 0.019 \sim 0.0019 \text{ mrad} \quad (13)$$

在测量前在扩展棱镜组伸长某个长度时可实现标定和调校,调校采用自准直平行光管,设平行光管焦距为200 mm,每个CCD像元为10 μm ,则调校后精度为

$$\sigma_1 < \frac{0.001}{200} = 0.5 \times 10^{-5} = 0.005 \text{ mrad} \quad (14)$$

可采用直角屋脊棱镜DII₁-180进行调校精度为0.025 mrad。

3.5 电视摄像机与平行光管光轴平行差的误差

电视摄像机参数如下:

口径: 50 ~ 100 mm

焦距: 40 ~ 300 mm

视场: $0.8^\circ \times 0.6^\circ \sim 4^\circ \times 3^\circ$

CCD像面尺寸: $1/3''$

CCD像元数: 640×480

根据上述参数得:

CCD上爱里斑半径为

$$r = \frac{1.22\lambda}{D} f' = \frac{1.22 \times 0.56 \times 10^{-6}}{50 \sim 100} \times (40 \sim 300) = 2.73 \sim 4.10 \mu\text{m} \quad (15)$$

每个CCD的像元尺寸为10 μm

衍射极限角为

$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D} = \frac{1.22 \times 0.56 \times 10^{-3}}{50 \sim 100} = 0.01 \sim 0.005 \text{ mrad} \quad (16)$$

CCD动态下若隔行扫描的判读误差为两个像元,量化误差为

$$\sigma = \frac{2 \times 0.010}{40 \sim 300} = 0.067 \sim 0.5 \text{ mrad} \quad (17)$$

若不考虑焦距只考虑视场的情况下,每个CCD像元对应的视场为 $0.021 \sim 0.104 \text{ mrad}$,所以系统能测试视场范围为 $0.8^\circ \times 0.6^\circ \sim 3.8^\circ \times 2.86^\circ$ 的光轴差。

为解决大视场测试部分的测试,采用CCD像元细分技术,只要将CCD像元进行6细分就可达到要求,实际做到10~20细分,可以满足大视场测试时的精度要求。按焦距参数得测试精度可以达到0.05 ~ 0.001 mrad,按视场计算可以达到0.002 1~0.010 4 mrad。

3.6 光学观瞄镜与平行光管光轴平行差的误差

此项平行差包含两项误差

(1)瞄准线获取装置误差 $\sigma_1 = 0.05 \text{ mrad}$

(2)平行光管误差 $\sigma_1 = 0.0238 \text{ mrad}$

总的误差为 $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = 0.055 \text{ mrad}$

3.7 红外热像仪与平行光管光轴平行差的误差

红外热像仪参数为:

口径: 60 ~ 140 mm

视场: $3^\circ \sim 9^\circ$

红外传感器像元数: 640×480

计算红外热像仪的衍射极限角为

$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D} = \frac{1.22 \times 12 \times 10^{-6}}{60 \sim 140}(\text{rad}) = 0.001 \sim 0.023 \text{ mrad} \quad (18)$$

每个像元对应的角度为: $0.0625 \sim 0.1875 \text{ mrad}$,所以系统能测试的视场为 $3^\circ \sim 4.76^\circ$,采用像元细分技术,可以作到4~20细分,若10细分则可在大视场情况下得到0.02 mrad的精度。

3.8 激光测距机与平行光管光轴平行差的误差

激光测距机发散角为2 mrad,如果直接接收,在平行光管的像面上会出现很大的光斑,造成测量超差,在激光测距机前加一个可变光阑孔,可以起到两个作用:

(1)使光能量衰减;

(2)取激光中心部分近轴光可经过试验确定光阑孔的大小。

激光发射光轴的偏差精度:

红外上转换材料的分辨率为50 μm ,则系统精度为0.016 mrad。在红外上转换分划板上刻划上间距
(下转第46页)

5 结论

针对普通无损图像压缩算法难以在FPGA上实现,并且运算速度不高,不适合用于高频相机的不足,提出了一种适合FPGA图像压缩算法。采用双向扫描、乒乓方式处理、状态机、串并转换等方法大大缩短了编码时间,提高了编码性能。在不使用链表的条件下,减少了运算量,提高了运算效率。

参考文献

- [1] 魏秋明,朱耆祥,李永远.在动态测量中面阵CCD受控变速读出方法研究[J].光电工程,1997,24(3):16-20.
- [2] 徐林.基于信息保持的医学图像压缩编码[D].上海:复旦大学,2004.
- [3] 张扬.基于小波变换的遥感影像无损压缩方法及效率研究[D].北京:首都师范大学,2008.

- [4] 廖锋峰,郭行波,刘文捷.基于小波变换的图像编码研究[J].浙江工业大学学报,2010,38(2):197-201.
- [5] 刘洞波.一种扩展的嵌入零树小波算法[J].现代计算机,2006,243:94-97.
- [6] 张焯.静态图像的感兴趣区域压缩编码研究[D].苏州:苏州大学,2003.
- [7] 王相海,张福炎.一种基于零树小波的图像比率可分级编码方法的研究[J].南京大学学报,2002,38(2):1136-1140.
- [8] 熊雨前.先进的静态图像压缩编码标准:JPEG2000特征及实现简述[J].人工智能与识别技术,2010,4:33-36.
- [9] 黄卓君,马争鸣.多小波图像编码[J].中国图像图形学报,2000,5:309-316.
- [10] 陈援非.基于小波包的区域联合矢量量化(WPVQ)图像压缩方法研究[D].山东:山东大学,2002.
- [11] 杨志高,李鹏飞.基于整数小波变换和子带比特平面编码的图像压缩算法[J].中国图像图形学报,2003(6):625-630.

(上接第6页)

小于0.3 mm的刻线,这样精度为0.1 mrad。

激光接收轴的偏差精度,只要小孔光阑在平行光管焦面上移动精度0.3 mm,这样精度为0.1 mrad。

3.9 火线与平行光管光轴平行差的误差

(1)炮口轴线获取装置与炮口轴线同轴度误差 $\sigma_1 = 0.023 \text{ mrad}$

(2)平行光管误差 $\sigma_2 = 0.025 \text{ mrad}$

(3)扩径镜组误差 $\sigma_3 = 0.025 \text{ mrad}$

(4)CCD的检测误差为 $\frac{0.010}{200} = 0.05 \text{ mrad}$,只需要4细分就可得 $\sigma_4 = 0.0125 \text{ mrad}$,不采用细分计算精度则 $\sigma_4 = 0.05 \text{ mrad}$

总的误差为

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = 0.065 \text{ mrad} \quad (19)$$

4 结束语

瞄线与火线多轴一致性测试系统的设计,使检测自动化、现代化,能够及时准确地输出测试结果,采取的五棱镜扩径镜组设计方案,极大地提高了测量系统的精度,并可为多轴一致性测试系统进行精确结构设计提供参考,对测试系统的误差分析,可以证明能够满足大视场情况下的测试精度要求。

参考文献

- [1] 陈文建,郑宝忠,杨建莉.多光谱多光轴自动校准技术[J].应用光学,2004,25(1):60-64.
- [2] 付跃刚,王志坚,李博.多光谱光学系统光学平行性的调校和检验方法探讨[J].长春光学精密机械学院学报,2001,24(4):11-14.
- [3] 黄静,刘朝晖,折文集,等.室内多波段光轴一致性测试系统的设计[J].应用光学,2007,28(5):663-666.
- [4] 李刚,周冰,孙新华,等.激光制导装置出射激光束散角和光轴平行性的简易检测方法[J].光学技术,2004,30(5):628-630.
- [5] 张雏,周冰,沈学举,等.精确校正激光测距仪三光轴平行的理论计算方法研究[J].光学·精密工程,2002,10(6):650-654.
- [6] 付跃刚,姜会林.火炮轴线一致性与偏离角测试系统研究[J].仪器仪表学报,2002,23(5)增刊:80-82.
- [7] 金友.采用静止光学头和移动五棱镜的长轨轮廓仪[J].光机电信息,1998(12):21-26.
- [8] 付跃刚,王志伟,王志坚.用五棱镜法调校平行光管原理的探讨[J].长春光学精密学院学报,2002,25(1):11-13.
- [9] 李松.用五棱镜法检测光束准直性的原理分析[J].测绘信息与工程,1999(2):30-31.
- [10] 凌军,刘秉琦,赵熙林.几种光轴平行性测试方法的比较与探讨[J].应用光学,2003,24(1):43-45.