

· 电路与控制 ·

位置解算检测设备探测光轴内场标定方法的实现

黄 伟, 庞建莹

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

摘 要:位置解算检测设备系统光机结构较为复杂, 设备安装后需要校准可见光光轴和激光光轴。设计了一种基于视轴平行原理的位置解算检测设备探测光轴内场标定方法, 详细介绍了系统组成和标定原理。结果表明, 该标定方法精度较高、系统布置简便、可操作性强, 可快速、精确地实现位置解算检测设备探测光轴内场标定的目的。

关键词:位置解算检测设备; 视轴平行; 内场标定

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-02-0049-05

Realization of Simulation Calibration Method for Detection Optical Axis of Position Solution Testing Equipment

HUANG Wei, PANG Jian-ying

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: The optical and mechanical structure of the position solution testing equipment is more complex, the equipment needs to be calibrated after the installation of visible optical axis and laser optical axis. A kind of simulation calibration method for the detection optical axis of the position solution testing equipment based on the principle of parallel to the optical axis is designed. The composition and the calibration principle of the system are introduced in detail. The results show that the calibration method has the advantages of high precision, simple system layout, facile operation, and can quickly and accurately realize the purpose for the optical axis simulation calibration of the position solution testing equipment.

Key words: position solution testing equipment; the principle of parallel to the optical axis; simulation calibration method

位置解算检测设备是集可见光探测、激光测距于一体的信息交互融合设备, 可对远程移动目标(如飞机、汽车等)进行有效定位、识别和测距, 解算出绝对位置信息, 实现对目标的精确侦察与监视^[1-4]。位置解算检测设备系统光机结构较为复杂, 设备安装后需要校准可见光光轴和激光光轴, 光轴误差包括安装误差、轴系误差、快反镜精度误差等^[5], 提出了一种基于视轴平行原理的位置解算检测设备探测光轴内场标定方法, 该方法可以较好地对上述各项误差进行综合校准, 保证激光出光光

轴方向的准确性, 极大提高了系统的探测概率。

1 位置解算检测设备组成和原理

位置解算检测设备主要有可见光侦察告警单元、激光探测单元、综合信息处理单元和伺服平台组成。可见光侦察告警单元采集可见光图像数据经多帧目标分析, 提取威胁目标, 并实时将目标位置信息发送至综合信息处理单元; 综合信息处理单元对目标进行轨迹预测, 预测后的目标俯仰信息控

制快反镜单元,预测后的目标方位信息控制激光探测单元对目标实施测距工作,融合目标告警信息和测距信息,解算出目标的空间位置信息。位置解算检测设备组成框图见图1所示。

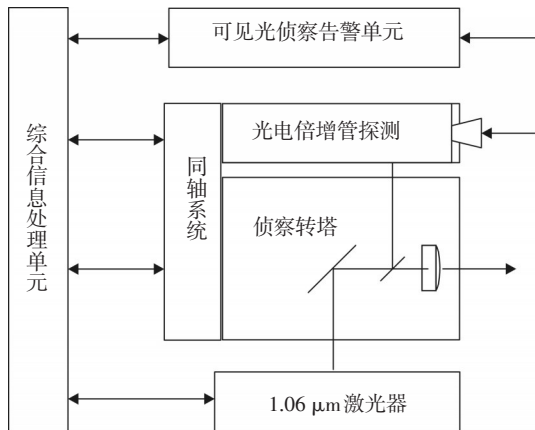


图1 位置解算检测设备组成框图

2 标定原理

在可见光侦察告警目标指示精度固定的前提下,激光探测单元激光指向精度成为位置解算检测设备的关键技术。对于束散角为mrad量级的激光,系统安装误差、轴系误差、激光出光延迟、快反镜到位精度误差等都会影响激光束的指向精度。设备方位转动 θ 角度后,旋转视轴(虚线)与原视轴(实线)在平面内的投影示意图如图2所示。

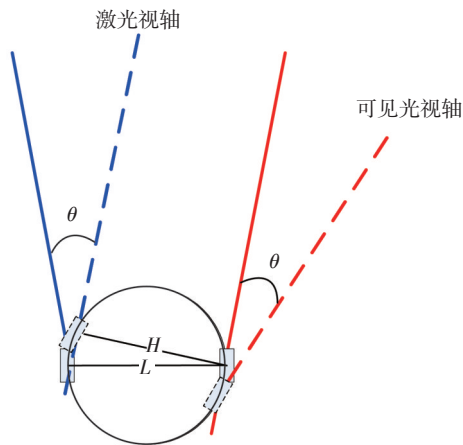


图2 方位转动 θ 角度后示意图

图中,红色实线部分为可见光侦察告警单元发现目标时刻光轴,蓝色虚线部分为激光探测单元旋

转 θ 角度后激光出光光轴。设备工作时,两光轴存在以下3种关系(如图3所示)。

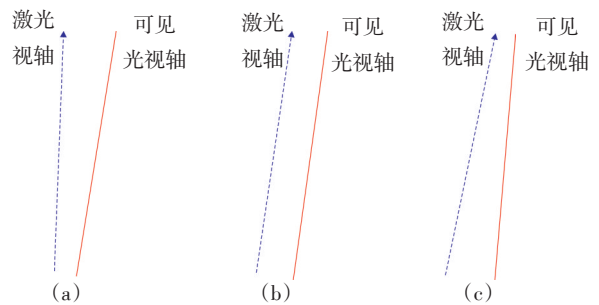


图3 激光视轴与可见光目标点视轴示意图

(a)工作模式下,对于近距离的大目标可正常工作,但随着距离的增大,激光视轴与可见光视轴偏离程度加大,当偏离间距大于目标尺寸的一半时,侦察失效;(c)工作模式下,激光视轴与可见光视轴有交汇点,交汇点过后恢复(a)工作模式,因此在远距离处存在侦察盲区;(b)工作模式下,激光视轴与可见光视轴平行,随着距离的增大,激光光斑也增大,对目标的覆盖面积也变大,更有利于侦察。需说明的是,(b)工作模式下,对近距离的点目标存在侦察盲区,取决于两光轴间距与激光束散角之间的关系。

设激光束散角为 θ' ,激光侦查距离为 L' ,激光视轴、可见光视轴与设备旋转面直径交线长度为 L ,激光视轴与可见光告警目标点视轴平行时距离为 H ,则有下式

$$H = L \times \cos \frac{\theta'}{2} \quad (1)$$

根据距离等效原则,当满足 $\theta' \cdot L' \geq H$ 时,侦察有效,即

$$L' \geq \frac{L \times \cos \frac{\theta'}{2}}{\theta'} \quad (2)$$

距离小于 $\frac{L \times \cos \frac{\theta'}{2}}{\theta'}$ 即为设备侦察盲区,在束散角一定时,减小激光视轴与可见光视轴的距离可压缩盲区,扩大侦察的动态范围。

综上所述,如何保证激光出光时刻光轴与可见光发现目标时刻光轴的平行性,是文中标定方法需要解决的主要内容。标定时,控制方位码值匹配可保证激光方位方向的指向性^[6],控制高精度快反镜可保证激光俯仰方向的指向性。

3 标定系统设计

内场标定系统主要有靶标、图像采集系统、高速图像处理平台等组成。系统组成框图如图4所示。

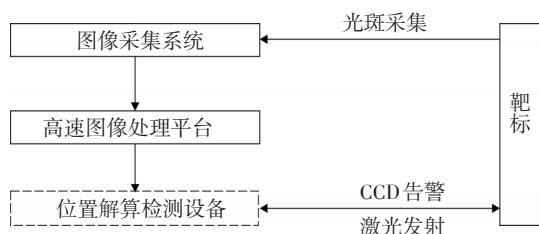


图4 内场标定系统组成框图

3.1 靶标

内场标定靶标由靶板、光源支架、底座三部分组成。其中靶板主要用于接收激光光斑；光源支架用于安装光源，模拟可见光目标；底座采用4个带锁紧装置的万向轮，方便位置移动，底座与靶板结合处应有刻度标尺。内场标定靶标如图5所示。

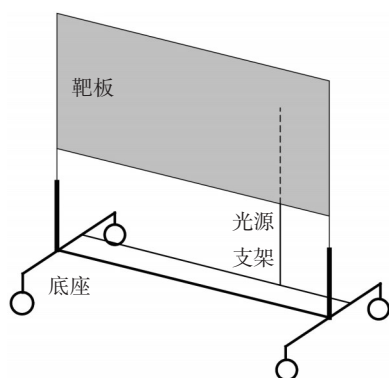


图5 内场标定靶标示意图

其中靶板正面需氧化发黑处理，提高激光光斑的观测对比度；靶板的外形尺寸需覆盖位置解算检测设备的正面投影尺寸；靶板上圆孔尺寸为直径3 mm，模拟点源可见光目标，两圆孔中心距 S_1 与可见光探测单元上、下视场中心距相等；激光光斑理想位置点与下圆孔垂直方向间距 S_2 与激光探测单元出光口、可见光探测单元下视场垂直方向的间距相等；光斑理想位置点处有细分网格线，利于光斑位置提取。靶板详细设计示意图如图6所示。

光源支架置于靶板后方，光源表面与靶板相距100 mm，靶板高度可调，调节范围不小于1 484~1 784 mm，可在任意位置固定。光源在光源支架上

的安装方式如图7所示。光源工作温度约100℃，图中箭头所指部分采用非金属材质，耐温100℃。

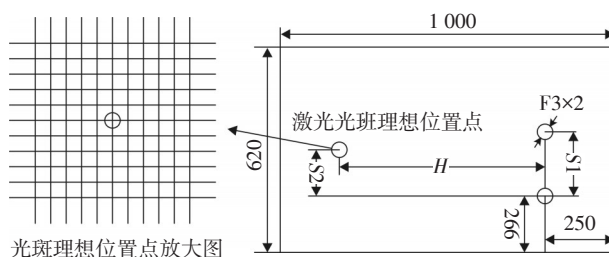


图6 靶板设计示意图

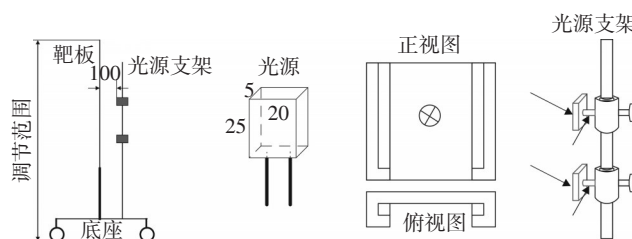


图7 光源在光源支架上的安装方式示意图

3.2 图像采集系统

图像采集系统主要用于对激光光斑的探测和识别，由光学镜头、CCD相机、三脚架等组成。激光探测波长为1 064 nm，CCD相机的选取至关重要，既要保证CCD组件能正常探测光斑，同时光斑能量又不至于引起CCD图像饱和。选取海康威视DS-2CD864FWD-E普通相机进行试验，其探测性能理论计算如下

$$P_0 \leq \frac{P_i \rho \tau_f \tau_D^2 \tau_j \tau_l K_1 K_2 D_M^2 D_g^2}{4 \theta_f^2 R^4} \quad (3)$$

其中， P_0 为CCD最小可探测功率； P_i 为激光器的发射功率； ρ 为目标的漫反射系数； τ_f 为发射光学系统透过率； τ_D 为大气透过率； τ_j 为接收光学系统透过率； τ_l 为窄带滤光片的峰值透过率； K_1 为发射效率； K_2 为大气湍流等综合误差引起的激光回波功率减小系数； D_M 为目标的等效直径； D_g 为入瞳直径； θ_f 为光束发散角； R 为作用距离。将设备各项参数代入后，在 $R=30$ m处激光回波功率为55 W，则130万像素的DS-2CD864FWD-E单个光敏元最大接收功耗为 $P_0=4 \times 10^{-5}$ W。CCD单个光敏元接收电荷数推算如下，其中探测光谱曲线如图8所示。

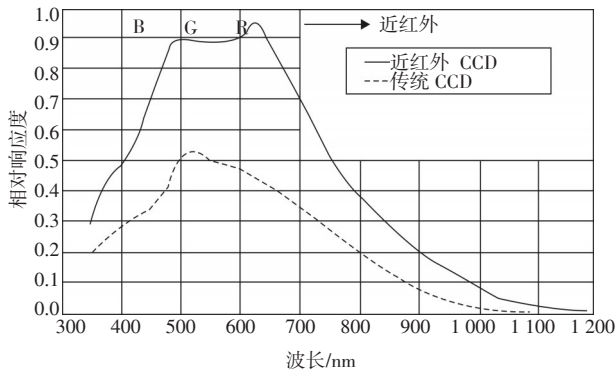


图8 CCD光谱响应曲线

图中虚线部分为普通 CCD 光谱响应曲线,在 1 064 nm 的量子效率约为 1%。根据光电转换定律,在 CCD 上产生的电子数计算公式为

$$n = \frac{Q\lambda}{hc} \eta \tag{4}$$

其中, n 为产生的电子个数; Q 为 CCD 接收的能量; λ 为光的波长; η 为 CCD 的量子效率; h 为普朗克常量; c 为光速。则 1 个电荷所需要的能量为 $Q=1.873 \times 10^{-17}$ (J)。单个光敏元最大接收功率为 4×10^{-5} W, 单次曝光,总曝光时间为 10 ns, 电荷数目 $n=P \times T/Q=20\ 000$ 。一般 CCD 读出噪声低于 20 个电荷,到达 CCD 靶面单个光敏元的电荷数为 200, 基本能成像。因此,此 CCD 组件能正常探测光斑。

选配 3° 视场角的标准 C 口光学镜头,该镜头具备焦距可变、光圈可调等功能。通过调整光学镜头参数,使 CCD 只对靶标靶板位置成像,亮度均匀,光斑理想位置处细分网格线清晰可见^[7]。

3.3 高速图像处理平台

高速图像处理平台主要用于对可见光目标和激光光斑进行综合评估。高速图像处理平台由图像采集卡、计算机、监视器等组成。

设置重点区,使位置解算检测设备对靶标目标源进行实时告警;在高速图像处理平台显控软件界

面上,点击进入设备标定窗口,此时点击“激光发射允许”操作,可在 CCD 视场中观测到激光光斑相对于可见光目标的位置,通过操作界面中“方位←、方位→、俯仰↑、俯仰↓”按钮,将激光光斑成像位置与理想位置的方位和俯仰误差实时反馈至位置解算检测设备,使激光光斑最终覆盖理想位置点,此时点击“激光发射禁止”操作,即可完成一个测试点的方位、俯仰误差补偿标定。

4 光校试验及结果

进行内场标定试验时,在位置解算检测设备正前方 30 m 处放置靶标,调整靶标靶板的高度,使靶板可见光目标源的位置高度与可见光探测单元窗口镜高度相同。内场标定系统架设示意图如图 9 所示。

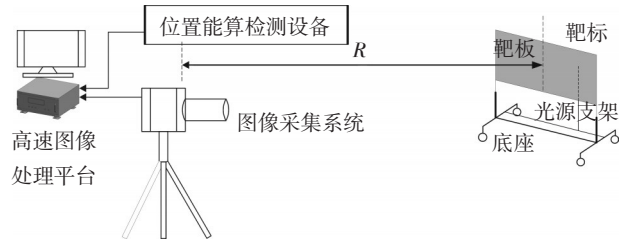


图9 内场标定架设示意图

可见光瞬时俯仰视场为 9°,设备基线调节步长影响误差补偿精度;步长越小,探测补偿点越多,精度越高,但不利于数据拟合和处理;步长越大,探测补偿点少,影响拟合精度,增加测量误差。经多次试验统计发现,试验时设备基线调节步长设置为 0.5°、探测补偿点为 18 个时,数据处理时间短,平均误差较小。

通过调节设备基线,使可见光探测单元上、下视场分别对靶标上的上、下目标源进行告警;高速图像处理平台在告警点位置数据基础上,通过调整快反镜俯仰补偿值和方位码补偿值实时反馈给位置解算检测设备,使激光光斑中心位置最终落在靶板理想位置点上,得到该次试验数据如表 1 和表 2 所示。

表1 可见光上视场补偿点数值

补偿值	视场值									
	8.75°	8.25°	7.75°	7.25°	6.75°	6.25°	5.75°	5.25°	4.75°	
方位 Δ_s	-290	-290	-290	-290	-290	-292	-299	-299	-300	
俯仰 Δ_s	-71	-75	-75	-75	-75	-75	-69	-73	-75	

表2 可见光下视场补偿点数值

补偿值	视场值									
	4.25°	3.75°	3.25°	2.75°	2.25°	1.75°	1.25°	0.75°	0.25°	
方位 Δ_s	-292	-296	-301	-306	-310	-315	-320	-326	-332	
俯仰 Δ_s	-86	-88	-88	-88	-88	-89	-90	-90	-90	

运用分段函数法对误差补偿值数据进行拟合,即每两个补偿点拟合为一线性函数,总共可拟合出17段线性函数,将所有线性函数信息存储在综合信息处理单元中;综合信息处理单元根据探测目标信息的俯仰数值,判断此数值位于哪个角度区间,代入相对应的线性函数,得出当前目标的方位码补偿值和俯仰角补偿值(Δ'_x , Δ'_y),分别控制方位码匹配和快反镜驱动;对于 $0^\circ\sim 0.25^\circ$ 和 $8.75^\circ\sim 9^\circ$ 区间内的目标,可以近似等效为 $0.25^\circ\sim 0.75^\circ$ 和 $8.25^\circ\sim 8.75^\circ$ 区间的线性函数段。标定结束后,将基线调节步长设置为 0.2° 进行全视场激光指向精度的校验。经校验,分段函数法补偿可将激光指向精度控制在 0.5 mrad 以内,能够较好地解决设备动态误差的影响。

5 结论

提出了一种基于视轴平行原理的位置解算检测设备内场标定方法,详细介绍了系统组成和原理,该方法采用模块化设计,便于扩展和升级。本方法已在某型位置解算检测设备调试过程中成功应用。结果表明,该标定方法精度较高、系统布设简便、可操作性强,可快速、精确地实现位置解算检测设备内场标定的目的,有效提高了设备的探测

概率。

参考文献

- [1] 周斌,刘秉琦,张瑜,等.利用CCD实现猫眼目标探测的实验研究[J].光电工程,2011,38(11):35-38.
- [2] 刘志春,袁文,苏震.光电侦察告警技术的装备与发展[J].中国学术期刊文摘,2009(4):7-7.
- [3] 郭劲,姜润强,陈健.直升机载光电对抗情报侦察系统研究[J].光机电信息,2011,28(10):6-14.
- [4] 时光,张海洋,耿仲博,等.大视场激光主动探测系统实验[J].红外与激光工程,2013,42(4):890-894.
- [5] 张玉蝶,柳万胜,罗一涵,钟代均.一种三轴光电跟踪系统指向误差修正的方法[J].光电工程,2014,41(6):51-55.
- [6] 卢科青,王文,陈子辰.点激光测头激光束方向标定[J].光学·精密工程,2010,18(4):880-886.
- [7] 王斌,张林,吴刚,等.一种新型便携式CCD自准直仪图像测量系统研究[J].计算机测量与控制,2014,4:019.
- [8] 张晖,刘静军.激光回波模拟系统[J].光电技术应用,2016,31(1):1-3.
- [9] 程伟宁,孙宏宇.基于AOTF的光学系统设计[J].光电技术应用,2016,31(2):1-4.
- [10] 程伟宁.中长波共孔径光学系统设计[J].光电技术应用,2016,31(3):1-3.

(上接第35页)

“RDY”拉高后即表示FLASH已经准备好全部数据了,此时可以进行读取操作。读取操作一般比较快,最多为 $35\ \mu\text{s}$,一般只有几微秒。

5 结论

采用FPGA+DSP的架构实现了红外图像的存储与回放,该系统存储空间为192 G,通过观察分析回放的数据验证了系统的可靠性,详细介绍了FPGA内部的逻辑设计,该系统适用范围广,无需改变系统硬件,通过内部逻辑的设计即可适用于多种分辨率的红外传感器,运用到多种场合。

参考文献

- [1] 王永仲.现代军用光学技术[M].北京:科学出版社,2009:139-168.
- [2] 吴晗平.红外搜索系统[M].北京:国防工业出版社,2013:157-173.
- [3] 汪安民,张松灿,常春藤.TMS320C6000DSP实用技术与开发案例[M].北京:人民邮电出版社,2018:287-301.
- [4] 张雄伟,陈亮,徐光辉.DSP芯片的原理与开发应用[M].3版.北京:电子工业出版社,2006:12-34.
- [5] 刘向宇.DSP嵌入式常用模块与综合系统设计实例精讲[M].北京:电子工业出版社,2009:204-238.
- [6] FORSBERG H, BJUREUS P, SODERQUIST I, et al. Next generation COTS-commercial IP blocks in avionics [C]// The 23rd Digital Avionics Systems Conference. Geneva, Switzerland.2004:121-132.
- [7] 黄万伟,董永吉,伊鹏,等.Xilinx FPGA应用进阶—通用IP核详解和设计开发[M].北京:电子工业出版社,2014:171-215.
- [8] 李宪强.FPGA项目开发实战讲解[M].北京:中国工信出版社,2015:195-217.