

文章编号 1004-924X(2013)01-0094-07

高帧频图像融合光学测量吊舱的设计

孙明超^{1,2,3}, 刘晶红², 张 葆^{2*}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所

中国科学院 航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:建立了空中高帧频图像测量吊舱系统,用于飞机校飞和导弹离梁、下滑及飞行姿态等关键阶段的观测。为了保证系统中可见光与红外同视轴以及吊舱具有良好的气动外形,系统采用可见光与红外共光路设计。以光学标校配准法进行图像的配准,提出能够提高标校精度的处理方法,并对光学标校配准法的特点进行总结。比较分析了在时域内能达到实时性的几种图像融合方法及效果。最后,探讨了可消除不同分辨率的异源图像融合后的边缘痕迹的方法,提出采用窗函数法既可以保留融合的效果又可以消除融合后的边缘痕迹。实验结果表明:基于共光路设计并采用光学标校配准法处理 100 frame/s 的异源图像,配准率可达到 99%,稳定性为 95%,配准耗时为 2 ms。所述方法基本满足空中高帧频图像测量吊舱对图像配准与融合精度,实时性和抗干扰性的要求,适合工程应用。

关键词:光学测量吊舱;共光路设计;双波段;高帧频;光学标校配准;图像融合

中图分类号:V248;TP752.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132101.0094

Design of measuring gondola system with high frame rate for image fusion

SUN Ming-chao^{1,2,3}, LIU Jing-hong², ZHANG Bao^{2*}

(1. *Key laboratory of Airborne Optical Image and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

3. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

** Corresponding author, E-mail: sunmingchao@sina.com*

Abstract: An image measuring aerial gondola system with high frame rates was established to observe the critical stages of aircrafts such as the flight calibration of aircraft and the beam-leaving, felling and attitude of missiles. To ensure the visual and infrared lights to be coaxial in the system and the entire system to be a perfect aerodynamic shape, the common-path design was used for both visual and infrared paths. The optical calibration method was used in image registration, and a processing approach was proposed to improve the calibration accuracy. Then, the characteristics of optical calibration were

收稿日期:2012-07-12;修订日期:2012-09-29.

基金项目:国家 973 重点基础研究发展计划资助项目(No. 2009CB72400105)

summarized. Several image fusion methods to achieve real-time effect in the time domain were analyzed and their results were compared. Finally, how to eliminate the edge traces of the fusion image with different sizes was discussed, and it suggests that the window function method can not only retain the effect of fusion but also can eliminate the edge traces of fusion images. The experiment results indicate that the common-path design is used to process different source images with a frame rate of 100 frame/s can increase the registration rate to 99%, the stability to 95%, and allow the registration time to 2 ms (immediately image registration after read from the sensor). The proposed method basically meets the requirements of the image measuring aerial gondola system for high-precision, real-time and strong anti-interference of registration and fusion of high frame rate images and is suitable for engineering applications.

Key words: optical measuring gondola; common-path design; dual-band; high frame rate; optical calibration registration; image fusion

1 引言

吊舱是挂载于载机外,装有有效载荷且具有流线型外观的设备,其主要功能有导航、跟瞄、辐射测量、电子干扰和获取情报等。目前,美国国家导弹防御系统正在研制一种能够装备在无人机上的传感器吊舱,用于获取弹道导弹在助推段的精确数据。

不同科技领域对多种光学图像数据需求的扩大,使得多种传感器得到广泛的应用,随之而来的是图像数据的多样性、复杂性和庞大的数据量,这就要求光学设备的图像处理能力从简单变复杂,从单一数据处理变为数据融合处理。由于以往的光学吊舱难以满足高空、高速、高帧频的要求,一种以光学成像与测量为基础,并与信息科学相结合的机载光学观测设备高帧频图像测量吊舱成为人们关注和研究的热点^[1-4]。

本文针对导弹的离梁、下滑及飞行姿态、飞机的隐身性能及飞行时关键结构部件的空气动力学性能的标校分析提出了一种提供实时近距离观测视频数据的空中高帧频图像测量吊舱系统,该系统装载了可见光与红外两种传感器,既可以通过可见光传感器观察目标的直观性能及姿态,又可以通过红外传感器对其特征部件进行观测并可以进行辐射测量。提出的系统采用可见光与红外共光路设计,以光学标校配准法进行图像配准。文中介绍了测量吊舱的关键设计,给出了实验结果。

2 高帧频图像融合测量吊舱的构成及其工作原理

航空机载高帧频图像融合测量吊舱系统主要由光学成像载荷、陀螺稳定吊舱、记录器和无线链路组成。目前,在航空机载吊舱中比较常用的是可见光、红外和 SAR 等传感器,本系统装载了红外和可见光两种光学图像传感器。图 1 为航空机载高帧频图像融合测量吊舱系统组成框图。

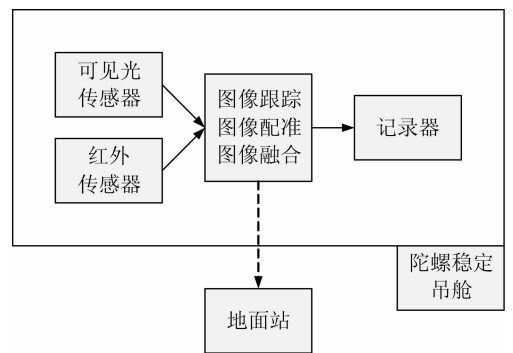


图 1 高帧频图像融合测量吊舱系统组成框图

Fig. 1 Frame diagram of image fusion measuring aerial gondola system with high frame rate

在地面站观察可见光或红外传感器的图像,用数字引导或手动控制搜索发现感兴趣的目标时,选取该目标作为观测目标,通过伺服系统与图像处理系统的配合,可以控制陀螺稳定吊舱以稳定跟踪被观测的目标,使其尽量保持在视场中,从而进行观察、跟踪、导航、测量等工作^[5]。

3 高帧频图像融合测量吊舱的关键设计

3.1 采用共光路的光学系统

为了让吊舱的可见光和红外传感器能够同视轴,缩短图像配准算法的时间,也为了吊舱能够有较好的气动外形,满足高空高速飞行的要求,采用了可见光和红外共光路设计^[6-8],图 2~5 为可见光和红外共光路设计图。

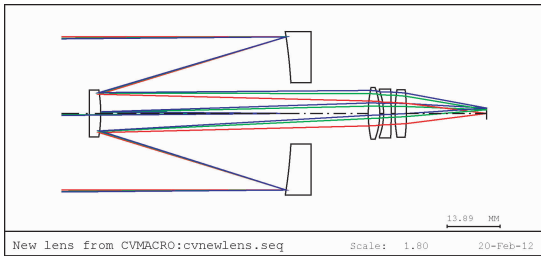


图 2 可见光大视场二维光路图
Fig. 2 2D path of visible WFOV

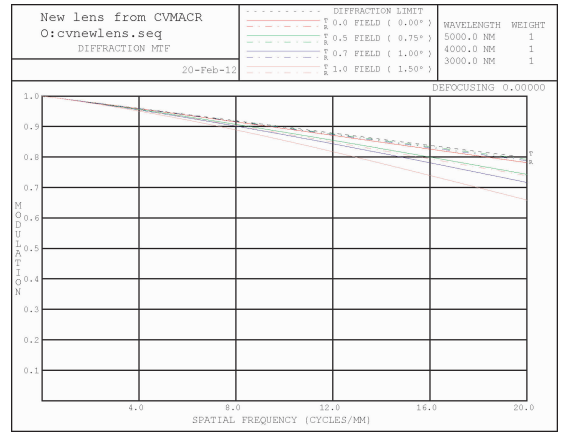


图 5 红外大视场 MTF
Fig. 5 MTF of infrared WFOV

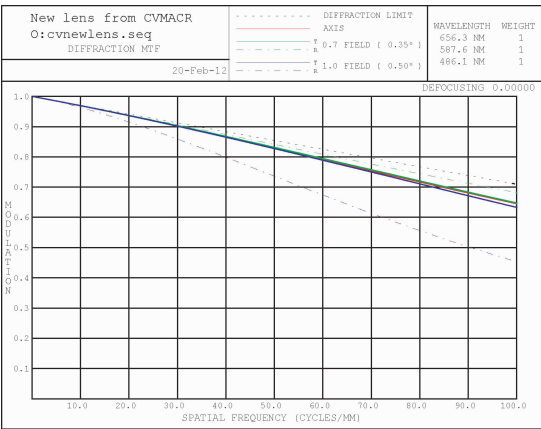


图 3 可见光大视场 MTF
Fig. 3 MTF of visible WFOV

3.2 光学标校配准法的设计

通常可见光图像的分辨率高于红外图像,这时将可见光图像分辨率降低至和红外图像分辨率相同,虽然采用可见光与红外共光路设计可以保证光路的同视轴,但在加工、装调及安装过程中,传感器的安装位置如有一定的偏差,就会使 2 个视场中心不能完全重合,2 个图像间就存在平移、旋转和缩放,由于可见光与红外都是两档变倍的,所以平移、旋转和缩放可以通过标校的方式来解决,也就是在图像融合之前需要先对图像进行配准^[9-10],如图 6、图 7 所示。

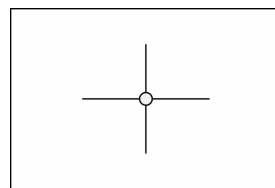


图 6 可见光单星点图
Fig. 6 Visible star point

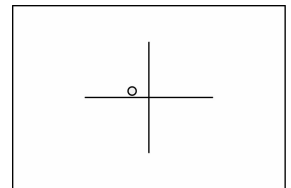


图 7 红外单星点图
Fig. 7 Infrared star point

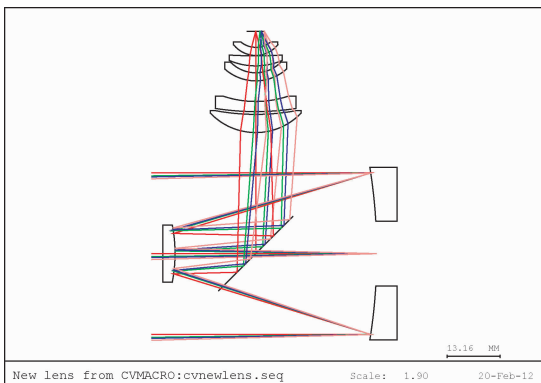


图 4 红外大视场二维光路图
Fig. 4 2D path of infrared WFOV

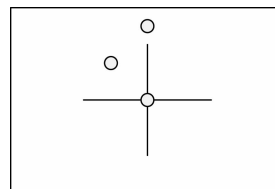


图 8 可见光星点图
Fig. 8 Visible star points

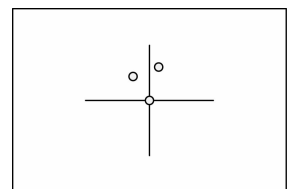


图 9 红外星点图
Fig. 9 Infrared star points

当可见光与红外一起观看星点,星点在可见光视场中心时,与红外视场中心有一定的偏差,这时就可以求解出两个图像之间存在的平移量。

当星点转动 3 个不同的位置时,可见光和红外观察到的 3 个星点所成的三角形存在一定的偏差,这时可以利用三角形之间的关系求解出旋转和缩放的值,如图 8、图 9 所示。

由于可见光和红外所观察的星点所成的图像并不是理想的圆形,为了提高精度,首先对图像进行滤波等预处理,提取出星点的边缘,根据边缘点的坐标求解出星点的圆心坐标:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=0}^m x_i}{m}, \quad (1)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=0}^m y_i}{m}, \quad (2)$$

其中:\$(x_i, y_i)\$为边缘点坐标:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2, \quad (3)$$

边缘点与圆心的距离为:

$$d = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} - r^2. \quad (4)$$

为了找到星点圆心,就要求得边缘点和圆心间距离的最小值,设 \$f(x_0, y_0, r) = d^2\$ 并设定初始阈值条件,把边缘点坐标带入方程,当满足初始阈值条件时求解出的 \$(x_0, y_0)\$ 为星点的圆心坐标。

分别求出两幅图像 3 个星点的圆心后,就可以画出三角形,根据相似三角形的相关公式,求出旋转和缩放的值。

3.3 图像融合

目前,图像融合主要有时域融合和变换域融合,其中时域融合主要有加权平均、像素灰度值选大融合和像素灰度值选小融合等方式,时域融合耗时少,实时性好,但融合质量一般;变换域融合主要有基于塔形分解的图像融合和基于小波变换的图像融合等方式,变换域融合耗时多,但融合质量较高。为了满足高实时性、高帧频(100 帧)的要求,采用时域融合的方法^[11-15]。

由于红外图像和可见光图像的灰度直方图有较大差异,即对同一块区域的灰度差别较大,文中首先用直方图规定法将待融合区域的可见光图像的灰度用红外区域的灰度直方图进行调制,实现了可见光区域和红外区域的灰度近似,使融合效果达到最佳;其次,针对图像融合区域有比较明显的边缘,用窗函数法对可见光图像 \$V\$ 和红外图像 \$I\$ 进行处理,所采用的窗函数如下:

$$x(i, j) = \exp[-(i - M/2)(j - N/2)/(2 \times a \times a)], \quad (5)$$

$$a = \min(M, N), \quad (6)$$

$$F(i, j) = [1 - x(i, j)] \times I(i, j) + x(i, j) \times V(i, j), \quad (7)$$

其中:\$x(i, j)\$为图像某像素点的比例系数,\$M\$为水平像素大小,\$N\$为垂直像素大小,\$F\$为融合后的图像。由公式看出越靠近中心点的位置可见光图像占的比重越大;越靠近边缘,红外图像占的比重越大。从而解决了既很好地保留了可见光图像的内容,又很好处理了融合后图像边缘的问题。

最后,通过观察融合后图像的直方图发现其灰度值大都集中在低灰度区域,为了得到更好的视觉效果,对其进行了直方图均衡化,以便更好地观察图像细节。

4 实验与结果



图 10 原始可见光图像

Fig. 10 Original visual image



图 11 原始红外图像

Fig. 11 Original infrared image



图 12 光学标校法配准后图像

Fig. 12 Image of with optical calibration registration



图 14 像素灰度取大图像融合法

Fig. 14 Maximum pixel gray image fusion method

表 1 光学标校配准法的特点

Tab.1 Characteristics of optical calibration registration

光学标校配准法	
配准时间/ms	2(从传感器读出的数据就可配准)
算法复杂度	简单
图像数据量对配准算法的影响程度	很小
配准率/%	99(稳定工作后)
稳定性/%	95(变倍镜头片组切换时会有错误匹配帧)
配准精度	像素级
通用性	同源、异源传感器均可
可移植性	差(只能使用于特定的光学系统)



图 15 像素灰度取小图像融合法

Fig. 15 Minimum pixel gray image fusion method



图 13 加权平均图像融合法

Fig. 13 Weighted average image fusion method



图 16 像素统计图像融合法

Fig. 16 Pixel statistics image fusion method



图 17 灰度均匀图像融合法

Fig. 17 Average gray image fusion method



图 18 窗函数图像融合法

Fig. 18 Window function image fusion method

5 结 论

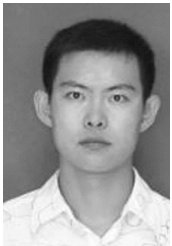
根据机载空中视频测量的高空、高速、高帧频及多传感器图像融合的要求,设计了高帧频图像融合光学测量吊舱,并介绍了其光学系统设计及系统工作原理。首先,为了保证可见光与红外同视轴,在光学设计上采用可见光与红外共光路设计。接着,以光学标校配准法为例来进行图像配准的标校,并提出能提高标校精度的处理方法,对光学标校配准法特点进行了总结。比较分析了在时域内能达到实时性的几种图像融合方法及效果。最后对大小不同异源图像的融合后图像的边缘痕迹消除进行了探讨,采用窗函数法既可以保留融合的效果又可以消除融合的边缘痕迹。实验结果表明:采用共光路设计,光学标校配准法来处理帧频为 100 frame/s 的异源图像,配准率达到 99%,稳定性达到 95%,配准耗时 2 ms(从传感器读出的图像后即可配准),基于窗函数法的图像融合可以消除不同大小的异源图像融合后的边缘痕迹,基本满足空中高帧频图像测量吊舱系统的高帧频图像配准与融合的高精度、高实时性和抗干扰性强等要求。

参考文献:

- [1] BLUM R S. On multisensor image fusion performance limits from an estimation theory perspective [J]. *Information Fusion*, 2006, 7(3):250-263.
- [2] PIELLA G. *Adaptive wavelets and their applications to image fusion and compression* [D]. Amsterdam: CWI and University of Amsterdam, 2003.
- [3] YELLER Y, AVERBUCH A, ISRAELI M. Pseudopolar-based estimation of large translations, rotations, and scalings in images [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005, 14(1): 12-22.
- [4] 何友,王国宏,陆大金,等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
HE Y, WANG G H, LU D J, et al.. *Multisensor information fusion with applications* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. (in Chinese)
- [5] 甘至宏. 光电吊舱内框架减振系统设计[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(9):2036-2043.
GAN ZH H. Design of inner frame vibration absorbing system for optoelectronic pod [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(9): 2036-2043. (in Chinese)
- [6] FREIMAN D. Dichroic beamsplitter for a dual-wavelength camera in a long-range airborne reconnaissance system [J]. *SPIE*, 5783: 827-834.
- [7] PETRUSHEVSKY V, KARKINSKY Y, CHERNOBROV A. El-Op EO/IR LOROP camera: image stabilization for dualband whiskbroom scanning photography [J]. *Infrared Technology and Applications*, *SPIE*, 4820: 60-66.
- [8] 董科研,潘玉龙,王学进,等. 谐衍射红外双波段双

- 焦光学系统设计[J]. 光学 精密工程, 2008, 16(5): 764-770.
- DONG K Y, PAN Y L, WANG X J, *et al.*. Optical design of a HDE infrared dual-band step-zoom system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5): 764-770. (in Chinese)
- [9] LAI S H, FANG M. A hybrid image alignment system for fast and precise pattern localization [J]. *Real-Time Imaging*, 2002, 8:23-33.
- [10] 田阿灵. 基于 SIFT 的红外与可见光图像配准方法研究[D]. 北京:华北电力大学, 2008.
TIAN A L. *The research of IR and Visible images Registration method based on SIFT* [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2008. (in Chinese)
- [11] 刘卫光, 郭师红, 周利华. 红外与可见光图像实时配准融合系统[J]. 红外技术, 2004, 26(5): 66-71.
LIU W G, GUO SH H, ZHOU L H. A real-time multisensor image registration and fusion system [J]. *Infrared Technology*, 2004, 26(5): 66-71. (in Chinese)
- [12] 李光鑫. 红外和可见光图像融合技术的研究[D]. 长春:吉林大学, 2008.
LI G X. *Fusion technology of infrared and visible images* [D]. Changchun: JiLin University, 2008. (in Chinese)
- [13] VIOLA P A, WELLS W M. Alignment by maximization of mutual information [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1997, 24(2): 137-154.
- [14] 曲锋, 刘英, 王建, 等. 红外双波段图像实时融合系统[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(7): 1684-1690.
QU F, LIU Y, WANG J, *et al.*. Infrared dual-band real-time image fusion sstem [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7): 1684-1690. (in Chinese)
- [15] HEATHER J P, SMITH M I. Multimodal image registration with applications to image fusion [C]. *The 8th International Conference of Information Fusion*, 2005:372-379.

作者简介:



孙明超(1982—),男,吉林长春人,博士研究生,2005年于吉林大学获得学士学位,主要从事航空光学成像与测量技术方面的研究。E-mail: sunmingchao@sina.com



刘晶红(1967—),女,吉林长春人,研究员,主要从事航空光电成像与测量技术方面的研究。E-mail: liu1577@126.com

导师简介:



张 葆(1966—),男,吉林磐石人,博士、研究员、博士生导师,主要从事航空光电成像技术的研究。E-mail: clesresky@vip.sina.com

(版权所有 未经许可 不得转载)