

应用于校正扩展视场偏差的红外成像测量方法

陈卫宁,杨洪涛,范哲源,曹剑中,刘广森,张 建,武登山,张 志

(中国科学院西安光学精密机械研究所,陕西 西安 710119)

摘 要:介绍了一种可扩展视场红外光学系统的工作原理,针对系统初始化后由于楔形镜装配误差引起的视场偏差对成像的影响,设计了一种校正该光学系统视场偏差的红外成像测量方法。通过计算机视觉技术在目标运动轨迹测量中的应用,把该技术与红外成像系统进行结合;用红外成像系统对运动目标成像,将目标的运动轨迹视为序列离散点,利用计算机视觉技术对这些离散点进行轨迹检测,并采集这些目标连续运动过程中的离散点图像。后期通过对采集的目标运动轨迹原始图像进行像图像处理,运用编程仿真构造目标的实际运动轨迹,最终完成了可扩展视场红外光学系统视场偏差的校正。结果表明,基于计算机视觉技术的红外成像测量方法能够很好地实现运动目标的轨迹测量。

关键词: 红外成像测量; 计算机视觉; 扩展视场; 光学零位

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)03-0584-06

An infrared imaging measuring method applied to check deviation of extended field view

Chen Weining, Yang Hongtao, Fan Zheyuan, Cao Jianzhong, Liu Guangsen,
Zhang Jian, Wu Dengshan, Zhang Zhi

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

Abstract: The working principle of an extended infrared optical system was introduced in this paper. Because the imaging is usually affected by the deviation of view field due to the assembly error of wedge lens after initialization of system, a new infrared imaging optical measuring method was put forward in order to check the deviation of view field in optical system. The method integrated infrared imaging system and the computer vision technology that was applied in measuring the trajectory of motion target. The infrared imaging system was used to image the motion targets. Then the trajectories of motion target were regarded as the sequence of discrete points. The computer vision technology was used to detect the trajectories of the points and collect the image of discrete points in the continuous motion of those targets. Later, the deviation of view field of extended infrared optical system was revised by image processing of the original image of the trajectory of motion target and simulation of actual trajectory of motion target using programming. The results show that the infrared imaging measuring system which is based on computer vision technology can efficiently complete the measuring of the trajectory of motion target.

Key words: infrared imaging measurement; computer vision; extended field view; optical zero position

收稿日期:2012-07-22; 修订日期:2012-08-19

基金项目:国防预研项目

作者简介:陈卫宁(1985-),男,硕士,主要从事航空光学载荷光机结构设计的研究。Email:chenweining501@163.com

0 引言

随着计算机信息技术的快速发展,计算机视觉技术也迅速发展并被广泛应用。计算机视觉的研究目标是使计算机具有利用图像获取目标信息的能力,而这种能力使得计算机能感知场景中目标的几何信息,包括形状、姿态、位置等,并且能对它们进行捕获、描述、存储、识别。因此,利用计算机视觉技术获取目标运动序列的信息,可以实现对特定运动目标的轨迹检测,它具有较高的检测精度。

红外成像技术的飞速发展使红外成像系统^[1-2]在军用和民用领域的应用已经日益广泛,对红外成像系统目标测量技术的需求也在不断增加,在自动化硬件配套设备日益完善的条件下,需要进一步开展相关红外目标测量方法的研究,结合计算机视觉技术在机构运动目标轨迹检测方面的优势,将计算机视觉技术应用于红外光学目标运动轨迹检测,从目标提取、信息存储、图像处理、目标信息分析以及目标运动轨迹计算等方面对这种技术进行分析研究,完成了一种可扩展视场的红外光学系统成像误差的优化调整。

1 计算机视觉轨迹检测技术

现代机构学的发展以及现代控制理论、计算机技术、人工智能技术的发展为机构学的发展提供了新的研究领域。可控机构中对机构运动参数或运动输入用计算机进行实时控制,使机构能够按照预定复杂的轨迹进行运动,并且可以改善机构的运动特性和动力特性^[3]。可控机构作为机构学的重要分支之一,近年来得到了快速发展,已经有许多学者对可控机构预定运动轨迹的精确实现进行研究^[4-6],提出了一些可控机构实现给定轨迹的方法。应用计算机视觉检测方法对两自由度平面五杆机构的运动轨迹进行测量^[7],如图1所示,结果表明,应用计算机视觉检测技术对平面可控机构的运动轨迹进行测量,能够获取目标的运动序列图像,对该序列图像进行处理即可得到运动目标的轨迹。

由于可控机构的运动控制比较复杂,而且运动参数测量难度大;运动的复杂性和常规检测方法的局限性,机构运动轨迹的精确检测存在一定难度。以

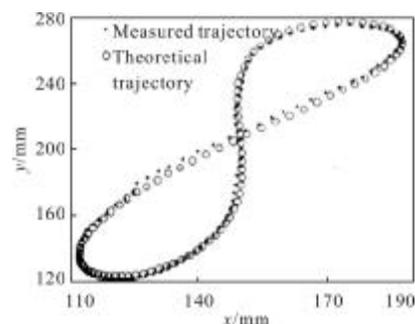


图1 理论轨迹与实测轨迹

Fig.1 Comparison between theoretical trajectory and measured trajectory

图像处理技术为基础的计算机视觉测量方法在可控机构运动轨迹检测中具有一定的优势,该方法具有一定精确度、稳定且简便实用,为可控机构进一步的实验与应用研究铺平了道路。

数字图像是计算机视觉研究的基础,运动目标图像的获取是运动目标检测过程的关键程序之一。由于计算机采集的图像信息在生成、传输和变换的过程中,受到其他因素的干扰,会造成图像质量的降低或特征不突出。因此,需要对目标图像做增强处理,保证后续提取图像信息的精确性。

采用计算机视觉技术进行红外目标测量时,目标的运动信息是通过它在一个运动周期中处于不同时刻的一系列图像记录下来,称之为图像序列。采集相机的位置保持固定,根据机构运动的连续性,将运动序列图像每帧中运动目标的图像坐标按时间顺序映射到空间世界坐标系中,再将这些空间位置坐标进行曲线拟合,即可得到机构上运动目标点的运动轨迹。整个测量过程包括目标图像提取、图像增强、特征信息提取、特征测量及轨迹拟合。

计算机视觉检测技术是一种非接触式测量方法,它具有测量稳定、精确度高、检测效率高等特点,因此,在机构运动轨迹的检测方面具有广泛应用性。

红外成像具有作用距离远、抗干扰性好、穿透烟尘雾霾能力强、可全天候、全天时工作等优点,在红外成像、红外测量等军用^[8-10]和民用领域都得到了极为广泛的应用。在红外成像系统测量中,可以采用计算机视觉检测技术对目标的运动轨迹进行测量。

2 可扩展视场红外光学系统

设计光学系统时由于整机系统机构尺寸和重量

等的技术指标的要求,光学系统的视场会受到一定限制,因此,为了使光学系统具备较大的工作视场,在系统的前端设计一组楔镜,如图 2 所示,利用两个相等楔角的棱镜,首尾两个端面平行放置,当两个光楔绕着回转轴以不同角度旋转时,可实现一个大的视场范围内固定较小视场目标的搜索和观察。

可扩展大视场红外光学系统图如图 2 所示。定

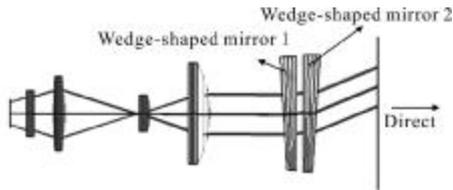


图 2 可扩展大视场光学系统

Fig.2 Optical system with extended large field of view

义沿光学系统光轴方向 (X 向) 逆时针方向为正方向,定义水平向右为 0° 位置,定义前面的楔形镜为楔镜 1、后面的为楔镜 2。经双光楔扫描镜后,固定观察视场 A 可扩展至 B、C、D、E 4 个区域,如图 3 所示。分别将 A、B、C、D、E 五个视场定义为中视场、偏

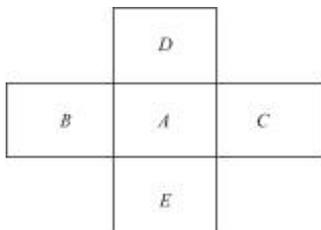


图 3 5 个视场位置

Fig.3 Five viewing position

左视场、偏右视场、偏上视场、偏下视场。其中,在中视场 (无视场扩展) 时,该光学系统的视场为 $28^\circ \times 21^\circ$,利用双楔镜进行视场偏转,在 B、C 水平视场最大为 78° ,在 D、E 垂直视场最大为 57° 。当双光楔分别由电机带动按照表 1 中设计的角度位置转动时,即可实现图 3 中 5 个区域的观察。

光学系统工作时,首先要检查楔形镜位置,使其处于中视场,然后根据指令旋转双光楔的角度,进行视场偏转,视场切换时,双光楔还需要根据复位指令检查楔形镜位置,使楔形镜复位中视场。

从表 1 可以看出,该光学系统中各视场成像均对两楔形镜之间的位置关系有严格要求,中视场为系统初始化后的视场位置,其他 4 个视场均以中视

场时两楔形镜所处的位置为基准位置,然后由电机根据指令将两楔形镜旋转至各个视场对楔形镜所要求的位置。

表 1 楔镜视场与位置对应关系

Tab.1 Relation of wedge-shaped mirror view and position

	Position of wedge lens 1	Position of wedge lens 2	Position relation between two wedge
Middle field of view	90°	-90°	
Left field of view	$90^\circ - 180^\circ$	$-90^\circ - -180^\circ$	Two wedge lens are symmetrical around
Right field of view	$0^\circ - 90^\circ$	$0^\circ - -90^\circ$	Two wedge lens are symmetrical around
Head field of view	$0^\circ - 45^\circ$	$135^\circ - 180^\circ$	Two wedge lens are symmetrical around
Below field of view	$0^\circ - -45^\circ$	$-135^\circ - -180^\circ$	Two wedge lens are symmetrical around

该视场偏转结构如图 4 所示,楔形镜片安装在带齿镜框里,通过安装在电机上的小齿轮驱动旋转,在两个楔镜旋转圆周所对应的壳体上分别安装一个霍尔传感器,在楔形镜框上与楔形镜厚边对应的位置安装一个直径为 2 mm 的磁钢,当楔镜的磁钢旋转至霍尔器件能够感应到时,系统便可检测到楔镜,然后对楔形镜定位。

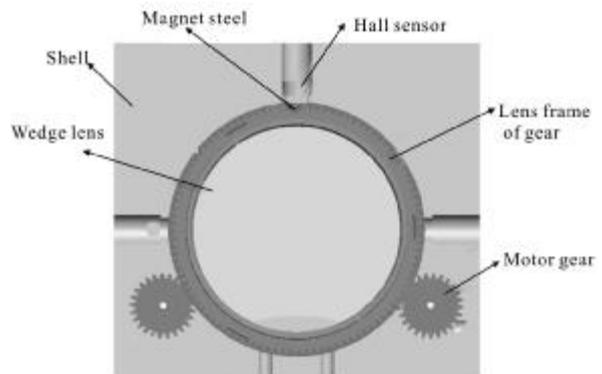


图 4 视场偏转结构

Fig.4 View deflection structure

根据光学系统的工作原理可知,如果双楔镜在系统初始化后能够处于理论设计位置,即磁钢中心和霍尔器件的中心完全对应,用点热源在像面成像为一个亮点,如图 5 所示,此时,由电机带动双楔镜相对静止同步旋转,该像点将处于静止状态,此时的

中视场与设计一致。

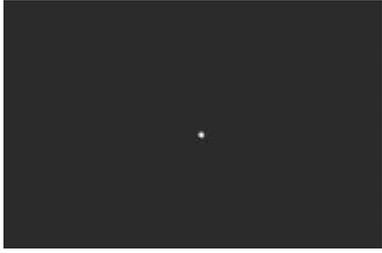


图 5 红外成像图

Fig.5 Infrared imaging

但是,当系统初始化时,由于楔形镜的初始位置是通过霍尔传感器感应磁钢的位置来确定的,由于霍尔传感器和磁钢均是区域感应,致使磁钢与霍尔器件的感应位置不稳定,使系统初始化时双楔镜的定位会存角度误差,即实际初始化后的中视场位置与理论位置存在偏差,此时,将双楔镜相对静止旋转,图 5 中的像点将作圆周运动;若直接将此时的中视场作为基准进行其它视场的偏转,会使得其它偏转视场与理论设计结果产生偏移,导致系统不能达到预期的视场扩展角度。

根据以上分析,为了消除实际偏转视场的位置偏差,需要对系统初始化后双楔镜的位置进行修正。

3 红外成像轨迹测量

光学系统初始化后双楔镜存在的位置偏差,直观地反映为同步旋转双楔镜时成像面上像点做圆周运动。将该光学系统初始化后的双楔镜状态称为机械零位,那么,根据光学系统的技术指标,需要对机械零位进行调整,将双楔镜调整至理论上的光学零位,即同步旋转双楔镜时成像面上像点静止不动。由于红外成像目标具有其自身的独特性,因此,考虑采用基于计算机视觉技术的图像轨迹检测方法,通过软件编程实现光学零位的自动调整。

首先,将光学系统装上制冷型探测器,再接上数据采集卡与监视器连接,由于制冷型探测器对温度的灵敏度较高,在其视场中用点热源作为探测目标,监视器上会获得比较清晰的成像,如图 5 所示。

系统开机后先进行双楔镜的初始化,找到机械零位,然后将目标点热源置于系统的视场范围内,

对双楔镜发送同步旋转指令观察该点热源是否在视场范围内旋转,否则移动目标点热源,使其在视场范围内旋转,以确保计算机能够采集到目标一个运动周期内的全部位置图像。

为了提高检测目标轨迹的精度,需要采集较多的运动目标轨迹点,但是,太多的采集点不利于后期的数据计算处理,实际的采集数量可根据对轨迹精度的要求而定;设计中在每个运动周期内等时间间隔连续采集 100 个坐标点,用以描述目标点的运动轨迹。

根据分析,楔镜不在光学零位时,两楔镜同步旋转使目标点在像面上做近似圆周运动,将该圆的面积记作 ΔS ,采用计算机视觉检测技术对成像目标点的轨迹进行检测,可获取该点一个运动周期内的序列点坐标为:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1, x_2, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_{99}, x_{100} \\ y_1, y_2, \dots, y_i, y_{i+1}, \dots, y_{99}, y_{100} \end{bmatrix}$$

由于目标的运动轨迹近似为圆,因此,需要计算其等效半径为:

$$r = \sqrt{\frac{(\max(X_i) - (\min(X_i)))^2 - (\max(Y_i) - (\min(Y_i)))^2}{8}}$$

$$\Delta S = \pi \frac{(\max(X_i) - (\min(X_i)))^2 - (\max(Y_i) - (\min(Y_i)))^2}{8}$$

楔镜调至光学零位后, ΔS 的值近似为 0。如图 6(a) 所示,设 O 为系统的光学零位, M 为初始化后磁钢的位置,可以看出, M 与 O 存在偏差,再设定 AB' 与 BA' 在线 M 上截取的长度为 ΔS ,那么, M 距离 O 越远, ΔS 的值越大,光学零位的调整就是将 M 调至 O 的位置。

初始化完成后,保持前楔镜不动,后楔镜磁钢的位置 M 存在两种情况,分别在霍尔传感器的两边。因此,调整前首先需要判定 M 的位置,再将 M 逐步调整至 O 位。

先假设 M 在光学零位的逆时针方向,由于楔形镜与镜座的安装角度误差要求不大于 $5'$,令 $\Delta\alpha = 5'$,保持前楔镜不动,将后楔镜逆时针旋转角度 $\Delta\alpha$ 至 M_1 位置, AB' 与 BA' 在线 M_1 上截取的长度为 ΔS_1 ;顺时针旋转 $\Delta\alpha$ 至 M_2 位置, AB' 与 BA' 在线 M_2 上截取的长度为 ΔS_2 ,如图 6 中(a)所示,可以看出, $\Delta S_2 < \Delta S_1$,此时,可以判定光学零位在 ΔS 小的

一边。同样方法,对图 6 中(b)、(c)、(d)所示 M 的三种位置进行分析,同样可以得出,光学零位在 ΔS_1 小的方向。

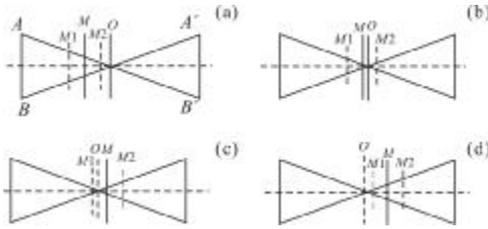


图 6 光学零位判定图

Fig.6 Zero position decision diagram

对后楔镜磁钢的位置M进行判定后,在光学零位一侧,以 $\Delta\alpha$ 为步进角迭代计算 ΔS_i 和 ΔS_{i+1} ,然后对它们进行比较,直至 $\Delta S_i \leq \Delta S_{i+1}$ 时, ΔS_i 所处的位置可视为楔镜的光学零位,此时的楔镜角度误差与理论值小于 $5'$ 。上述光学零位的调整过程如图 7 所示。

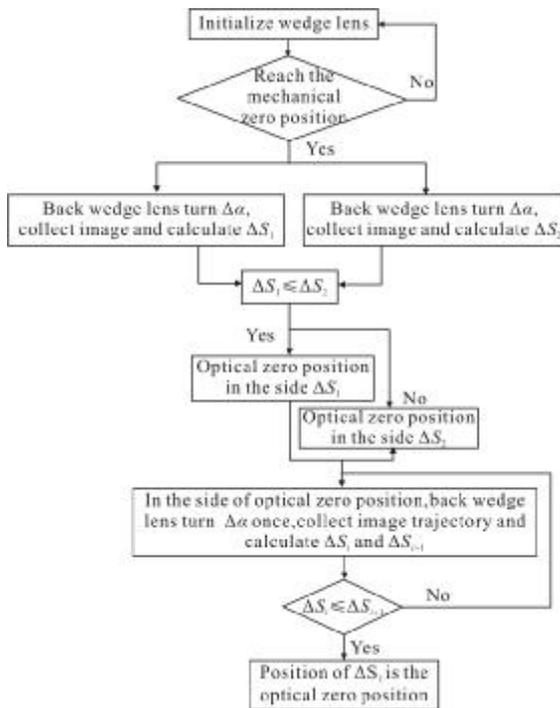


图 7 光学零位检测及调整过程

Fig.7 Detection and adjustment for zero position

图 8 所示为检测到楔镜某一位置时像点目标的运动轨迹,可以看出,轨迹形状整体比较规则,接近于圆形,如果在一个运动周期内采集更多的目标运动序列点,得到的轨迹的精度会更高。

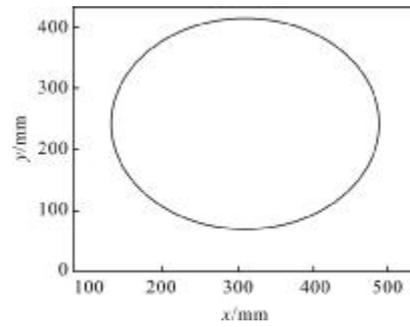


图 8 目标运动轨迹

Fig.8 Trajectory of target motion

4 总结

研究分析了计算机视觉技术结合红外成像测量系统实现运动目标轨迹测量的方法,以可扩展视场红外光学系统为例,对系统安装误差引起的视场偏差进行校正,结果有效地消除了光学系统的视场偏差。文中通过具体的应用实例完成了对红外成像目标运动轨迹测量方法的研究,研究结果结果表明该测量方法具有高效、简便、精度高等优点,因此,也可应用于其他红外类目标的运动轨迹测量。

参考文献:

- [1] Fan Yongjie, Jin Weiqi, Liu Chongliang. New progress on FLIR imaging system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2010, 39(2): 189-194. (in Chinese)
范永杰, 金伟其, 刘崇亮. 前视红外成像系统的新进展[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(2): 189-194.
- [2] Zhang Zhenghui, Xu Shiwen. Infrared imaging characterization of ground scene [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(4): 583-587. (in Chinese)
张正辉, 许士文. 地面景物红外成像特性 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 583-587.
- [3] Li Ruiqin, Zou Huijun. The classification and application of controlled mechanisms [J]. Machine Design and Research, 2002, 18(4): 17-19. (in Chinese)
李瑞琴, 邹慧君. 可控机构的分类及应用 [J]. 机械设计与研究, 2002, 18(4): 17-19.
- [4] Quyang P R, Li Q, Zhang W J, et al. Design, modeling and control of a hybrid machine [J]. Mechatronics, 2004, 14 (10): 1197-1217.
- [5] Yu Hongnian. Modeling and control of hybrid systems—a five bar mechanism case[J]. Internal Journal of Automation and

- Computing, 2006, 3(3): 235-243.
- [6] Zhou Shuanglin. Study on theory and experiment of hybrid driven five-bar mechanisms reeling trajectories [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2001. (in Chinese)
周双林. 实现轨迹的混合驱动五杆机构设计理论及实验研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2001.
- [7] Li Renjun, Liu Hongzhao, Li Pengfei. Detecting trajectory of planar controllable linkage mechanism based on computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 161-168. (in Chinese)
李仁军, 刘宏昭, 李鹏飞. 平面可控机构运动轨迹的计算机视觉检测[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 161-168.
- [8] Wu Jianfei, Li Fanming. Passive ranging through triple station IRST system [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(4): 560-564. (in Chinese)
吴健飞, 李范鸣. 三站红外告警系统被动测距方法 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4): 560-564.
- [9] Zou Qianjin, Qin Weidong, Dai Rui, et al. Simulation of infrared imaging system [J]. Electro-optic Technology Application, 2009, 24(3): 72-74. (in Chinese)
邹前进, 秦卫东, 戴睿, 等. 红外成像系统仿真[J]. 光电技术应用, 2009, 24(3): 72-74.
- [10] Fu Xiaoning, Niu Jianjun, Liu Shangqian. IR passive mono-station ranging algorithm using dual-band radiation [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(6): 648-651. (in Chinese)
付小宁, 牛建军, 刘上乾. 红外双波段单站被动测距算法研究[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(6): 648-651.

下期预览

激光诱导击穿光谱技术测定土壤中元素 Cr 和 Pb

陈金忠, 白津宁, 宋广聚, 孙江, 魏艳红

(河北大学 物理科学与技术学院, 河北 保定 071002)

摘要: 为了检验激光诱导击穿光谱技术对物质成分的检测能力, 采用 Nd:YAG 激光器在优化实验条件下激发产生土壤等离子体, 通过等离子体原子发射光谱法定量分析了国家标准土壤样品中元素 Cr 和 Pb。实验中绘制了以 Fe 原子谱线为内标、分析谱线背景为内标以及没有内标的三种情况下的元素定标曲线, 并确定了该方法的精密度和检出限。结果表明, 三种情况下分析元素 Cr 的相对标准偏差分别为 5.85%、26.48% 和 33.10%, 元素 Pb 的分别为 5.42%、22.78% 和 38.66%, 证明采用内标法可以明显提高测量精度。用 Fe 谱线为内标时得到的元素 Cr 和 Pb 的相对检出限分别为 $3.50 \times 10^{-3}\%$ 和 $57.90 \times 10^{-3}\%$, 满足微量元素分析要求。