

测绘地理信息仪器装备发展研究

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 编

2017

非外借



测绘出版社

测绘地理信息仪器装备发展研究

(2017)

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 编

测 绘 出 版 社

© 中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会 2017
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

图书在版编目(CIP)数据
测绘地理信息仪器装备发展研究. 2017 / 中国测绘
地理信息学会仪器装备专业委员会编.—北京：测绘
出版社, 2017.10
ISBN 978-7-5030-3951-5
I. ①测… II. ①中… III. ①测绘仪器—文集
IV. ①P204-53
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 253269 号

责任编辑	余易举	封面设计	李 伟	责任校对	石书贤	责任印制	陈 超
出版发行	测绘出版社	电 话	010—83543956(发行部)				
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)				
邮政编码	100045		010—68531363(编辑部)				
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com				
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司	经 销	新华书店				
成品规格	210mm×285mm						
印 张	7.5	字 数	212 千字				
版 次	2017 年 10 月第 1 版	印 次	2017 年 10 月第 1 次印刷				
印 数	0001—1300	定 价	27.00 元				

书 号 ISBN 978-7-5030-3951-5
本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

编 委 会

顾 问 刘先林

主 编 齐维君 郭志勇

编 委 (按姓氏音序排列)

陈 新 付子傲 郭四清 李 松

李宗春 罗维佳 文汉江 吴海玲

徐忠阳 余 峰

前 言

测绘地理信息仪器装备已广泛应用于测绘地理信息数据获取、处理和输出等关键技术环节,是测绘地理信息技术发展不可或缺的重要组成部分。中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会坚持从测绘地理信息服务的需求出发,紧跟测绘地理信息技术“自动化、智能化”的发展步伐,着眼于跟踪发达国家在技术研发、技术创新、技术应用等方面的发展动向,提高我国测绘地理信息仪器装备的国际竞争力,研究和分析国内外测绘地理信息技术发展趋势,不断推进我国测绘地理信息仪器装备建设,为我国测绘地理信息转型升级、跨越发展发挥应有的重要作用。

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会围绕测绘地理信息仪器装备的“产学研用和测试评价”开展学术交流,活跃学术思想,普及科学知识,传播科学思想。本文集的出版涉及测绘地理信息仪器装备理论与研究、测试与评价、技术与应用等方面,力求为广大青年科研工作者提供一个高质量、高水平和内容广泛的学术交流平台。在此向所有为本文集积极撰稿和出版做出贡献的专家和学者表示衷心的感谢!

中国测绘地理信息学会仪器装备专业委员会
2017 年 10 月

目 录

理论与研究

自动全站仪的光斑图像中心定位研究及精度分析 王欣宇,李引生,杨远程,王彬力,李紫庭(3)

光笔式单像片坐标测量系统 王永强,冯其强,张 锐,任永超,牛 犇,陈洪赛(11)

BDS/GPS 载波相位静态及动态解算比较分析 任永超,丁锁妹,牛 犇(16)

基于一维标定杆的多相机标定方法 郭迎钢,李宗春,冯其强(22)

基于畸变改正倾斜影像的城市真三维模型构建研究 李 莹,林宗坚(26)

数字航摄相机实验室检定方法研究 徐寿志,李 莹,巴洪伟(32)

数字航摄仪检定场绝对辐射定标研究 杨 凡,徐寿志(36)

利用波形匹配方法的卫星激光测高脚点精确定位
..... 张文豪,马 跃,刘 芮,张智宇,王 虹,余 峰,李 松(41)

雨雾天气对激光雷达探测性能的影响研究
..... 张智宇,史光远,张文豪,刘 芮,马 跃,余 峰,李 松(47)

测试与评价

国际标准 ISO 17123-5 全站仪测试方法理解与分析 付子傲,贾 真,包 欢(57)

因瓦水准标尺线膨胀系数研究 贾 真,付子傲,金 挺(62)

地面三维激光扫描仪测试结果分析 时健康,黄彦党,朱海波,史东旭(65)

无人机非量测相机检定及检定场建立 李 冀,刘海波(76)

技术与应用

关于无人机自动避障系统的探讨 刘海波,李 冀(83)

因瓦条码水准标尺的条码磨损对检定及测量结果的影响初探 史东旭,朱海波,时健康(86)

全国测绘地理信息仪器装备检测信息管理平台设计与实现 杨泽东,孙成忠,张静华,陈国岭(91)

航摄仪野外几何检测场二维三维一体化信息平台设计与实现
..... 张静华,陈 澍,孙成忠,杨泽东,陈国岭,牛 犇(95)

测绘计量信息化管理系统开发与应用 吴秀娟,徐寿志(101)

紫禁城城墙内部洞室的三维测量方法 王 凯,吴 星,孟 良(104)

测量机器人在某垂直转运轨道检测中的应用 吴 星,孟 良,王 凯(110)

理论与研究

自动全站仪的光斑图像中心定位研究及精度分析

王欣宇^{1,2,3}, 李引生¹, 杨远程¹, 王彬力¹, 李紫庭¹

1. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450000; 2. 中国人民解放军信息工程大学, 河南 郑州 450001; 3. 苏州一光仪器有限公司, 江苏 苏州 215006

摘要:自动目标识别与照准全站仪成为研究的热点。为研制国产的自动目标识别全站仪, 本文将 CMOS 图像传感器内置于苏州一光仪器有限公司的 RTS010A 电动全站仪中, 构造自动目标识别全站仪系统; 分析了光斑图像特征, 研究了图像相减法和直接预处理方法, 由两者结合进行图像处理, 运用椭圆分割法去除边缘毛刺, 通过平方加权灰度重心法对光斑图像进行中心定位; 测试并分析了光斑图像中心定位精度, 全站仪望远镜固定不动时, 光斑中心定位精度小于 0.2 个像素坐标, 全站仪望远镜沿水平角或竖直角单方向旋转时, 光斑中心坐标变化在固定方向小于 0.7 个像素, 在变化方向呈现梯度跳跃符合实际情况, 所以光斑图像中心定位精度可满足自动目标识别全站仪模型标定的要求。

关键词:全站仪; 图像; 光斑; 中心定位; 自动目标识别

1 引言

全站仪在工程测量中广泛使用, 为精确照准测量目标, 经常需要人工进行反复瞄准目标棱镜, 费时费力, 从而促使了自动目标识别与照准全站仪的诞生, 要实现自动照准功能, 必然要将马达驱动全站仪与图像传感器结合起来, 通过图像与全站仪旋转角之间的关系确定自动照准模型。国外自动目标识别全站仪产品成熟, 而国内仍然依赖进口。于是本文通过互补金属氧化物半导体 (CMOS) 图像传感器与苏州一光仪器有限公司的 RTS010A 电动全站仪组合构造全站仪自动目标识别系统, 配合目标棱镜实现自动目标识别功能, 对自动全站仪的棱镜光斑图像中心定位进行研究, 为实现自动目标照准提供理论依据。

2 自动目标识别全站仪

自动目标识别全站仪是由马达全站仪和图像传感器组合而成的, 将 CCD/CMOS 内置于全站仪的望远镜中, 实现两者的紧密结合。目前, CCD 图像传感器产品相对成熟, 成像质量高, 但价格昂贵; CMOS 是成本较低的感光元件, CMOS 的电路消噪技术也有了很大的提高, CMOS 结构比较简单, 生产工艺技术也不复杂, 所以生产成本较低。为降低成本本文选择 CMOS 图像传感器与全站仪进行组合。

自动目标识别部件安装在全站仪望远镜上, 红外光束通过光学部件发射与视准轴同轴的光束, 从物镜发射出去, 反射回来的光点由内置 CMOS 接收, 以 CMOS 相机中心作为参考点确定位置。自动目标识别系统如图 1 所示。

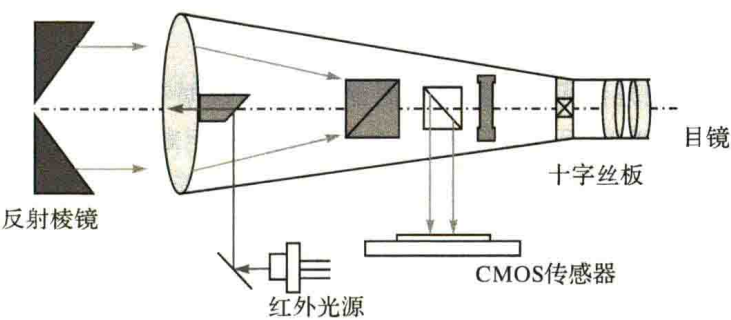


图 1 自动目标识别系统

本文采用苏州一光仪器有限公司的 RTS010A 全站仪, 通过上述部件组合瞄准目标棱镜后发射红外光源, 便可实现内置 CMOS 传感器获取目标棱镜光斑并呈现在 CMOS 阵列上, 由计算机连接 CMOS 进行图像采集, 如图 2 所示。

第一作者简介: 王欣宇(1990—), 男, 硕士, 主要研究方向为精密工程测量。
邮箱: 1173954778@qq.com。

3 棱镜回光光斑中心定位

CMOS 图像传感器与全站仪紧密结合后,首先要做的便是对 CMOS 所获取的图像进行处理求得回光光斑的中心坐标。

3.1 光斑图像特征分析

自动目标识别全站仪发射的红外光被目标棱镜接收反射回 CMOS 呈现光斑状,图像光斑受各种因素影响,其形状不是标准的圆形,这使图像处理及光斑中心定位变得困难。

图 3~图 5 为在室外红外光源照射目标棱镜反馈形成的图像光斑及其灰度分布图。



图 2 CMOS 传感器与全站仪组合采集图像



图 3 光斑图像

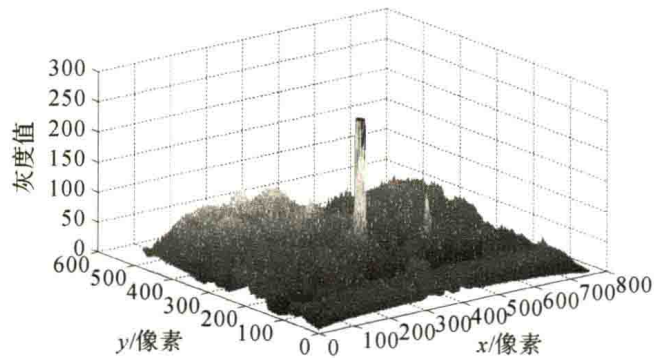


图 4 光斑灰度三维分布

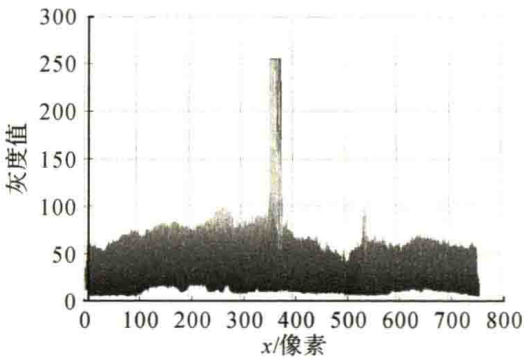


图 5 光斑灰度二维分布

通过对棱镜光斑进行灰度分布分析,发现光斑图像具有以下特征:

(1)亮度分布。图像背景黑暗灰度值较小,目标光斑明亮灰度值较大,图像中目标光斑灰度值基本都可达到 255 的“准二值图像”,如图 5 所示。

(2)光斑形状。光斑呈类圆形,在不同环境条件下光斑圆形度有所差异,背景黑暗条件下基本成圆形,如图 3 所示。

(3)光斑大小。图像中的光斑目标随距离增加而逐渐减小;根据实验统计,10 m 距离时光斑近似直径为 40 个像素左右,20 m 距离时光斑近似直径为 25 个像素,60 m 距离时光斑近似最大直径为 14 个像素,120 m 距离时光斑近似直径为 10 个像素,300~700 m 距离时光斑近似直径为 4 个像素,700~900 m 距离时光斑近似直径大小仅为 1 个像素。

(4)图像灰度分布均匀度。图像光斑边缘有散光现象,使光斑边缘不圆滑出现大量毛刺,边缘灰度梯度非常大,而光斑中心及背景灰度均匀;灰度值三维图呈圆台分布,如图 4 所示。

3.2 光斑图像预处理

红外激光经棱镜反射的回光光斑在 CMOS 上成像时有散射现象,CMOS 传感器也存在噪声,光斑边缘不圆滑存在尖锐毛刺。在复杂光线条件下,图像背景灰度会有非棱镜光斑干扰而产生较大灰度值,从而产生多个梯度变化明显的边缘,噪声恶化了图像的质量,使图像变得模糊,掩盖了特征信息,影响光斑图像的识别和精确定位。为了更准确快速地对目标和光斑进行识别和中心定位,首先要求对图像进行预处理。

本文分析了两种图像预处理方法:第一种是通过红外激光发射前后图像相减得到光斑图像,但以损害

光斑灰度为代价;第二种是直接对红外光经目标棱镜反射的图像光斑进行图像处理,但受外界光线干扰,给图像识别带来困难。

3.2.1 图像相减去噪

根据自动目标识别工作原理可知,自动目标识别系统主动发射红外激光,激光光斑是在接收到棱镜回光打在 CMOS 上呈现出来的,所以 CMOS 所采集到的带有棱镜光斑的图像特征与未发射红外激光时呈现在 CMOS 上的图像特征除光斑部位外基本相同。基于以上考虑,我们在激光发射前后分别采集图像,一张图像带有回光光斑,另一张不带回光光斑,将两张图像相减所得结果即为光斑图像。即使有其他光源的干扰也可被减掉,达到滤波算法难以实现的去噪效果。

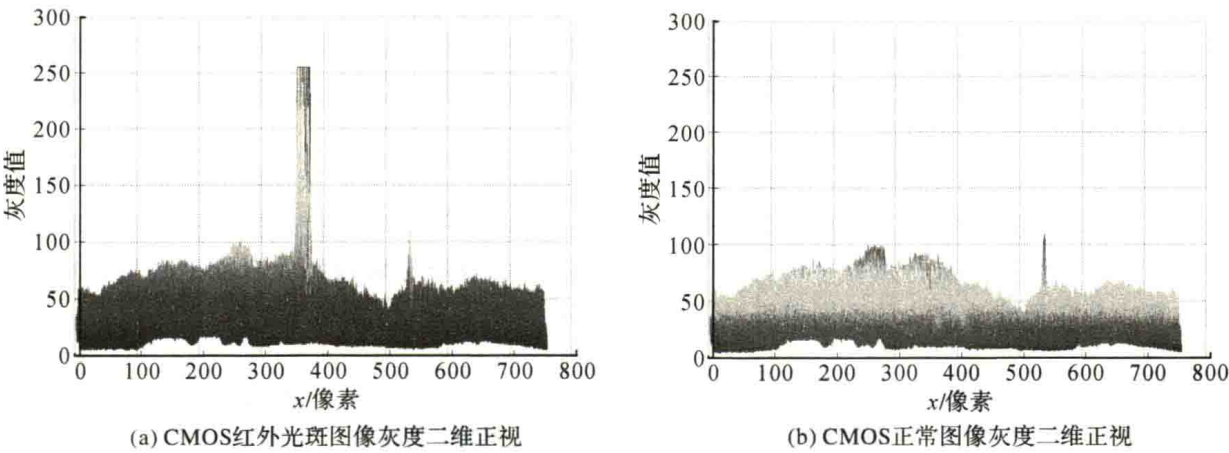


图6 自动目标识别系统发射红外激光前后图像灰度分布

通过图6可观察自动目标识别系统在发射红外激光前后所获取的图像灰度分布,发射红外激光前后的灰度值除光斑部位均近似相等。因此,通过自动目标识别系统发射红外激光前后图像进行相减可以完全去除非红外激光产生的噪声。相减结果如图7所示。



图7 自动目标识别系统红外光前后相减效果

自动目标识别系统发射红外激光前后图像相减后的图像灰度分布图如图8所示。

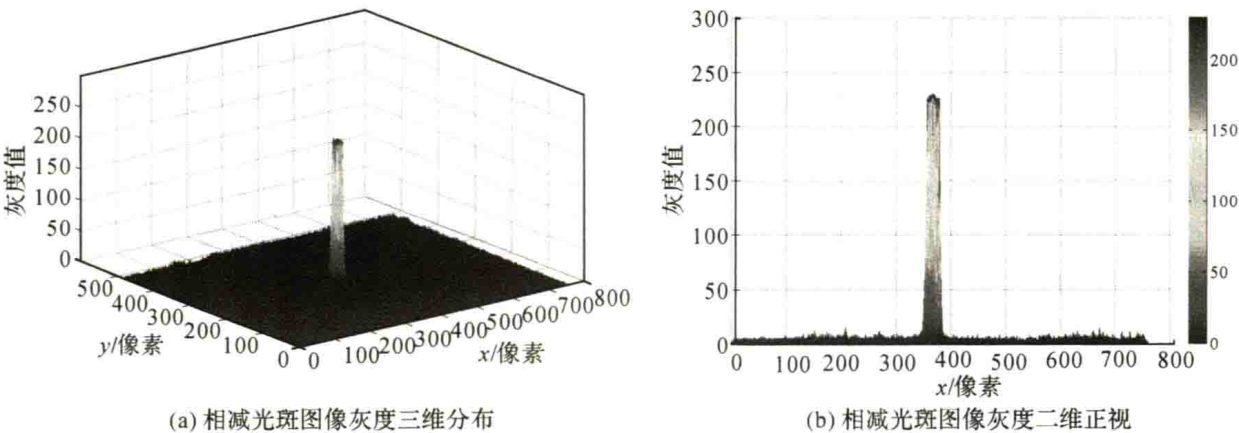


图8 相减后光斑图像灰度分布

通过激光发射前后的灰度分布图可以发现,两幅图像相减得到了光斑图像,并且达到了很好的去噪效果。

3.2.2 直接去噪

基于本文光斑图像噪声的特点,除传感器及环境因素导致的噪声外,还有边缘毛刺的影响,因此在去噪过程中要求既要达到很好的去噪效果又要弱化边缘毛刺的影响。传统的图像预处理技术大多是基于空间域对图像进行处理。在空间域中主要利用邻域平均法、加权平均法、选择式掩模平滑法和中值滤波法来消除图像噪声。

邻域平均法和加权平均法在消除噪声的同时,都会带来平均化,导致边缘信息模糊。选择式掩模平滑法可保留一定的边缘信息,可得到较好的图像细节,这种方法以尽量不模糊边缘轮廓为原则,而本文的初衷即是弱化边缘信息以减少毛刺对中心定位结果的影响。中值滤波法和双边滤波法是非线性滤波,虽然具有很好的滤波效果,但同时也会改变图像的性质,从数学角度而言其对局部特征信息有破坏性,所以其滤波是以牺牲特征信息为代价的。

均值滤波是一种线性滤波算法,主要方法为邻域平均法,噪声点像素的灰度值与其周围邻域的像素灰度明显不同,因此通过噪声这一特点可以使用邻域平均法消除噪声。高斯滤波是一种线性平滑滤波,能消除高斯噪声。对整幅图像进行加权平均,像素点的值是由其本身和邻域内的像素值加权平均后得到。由均值滤波算法和高斯滤波算法的不同模板对不同光斑图像进行处理,结果如图 9 所示。

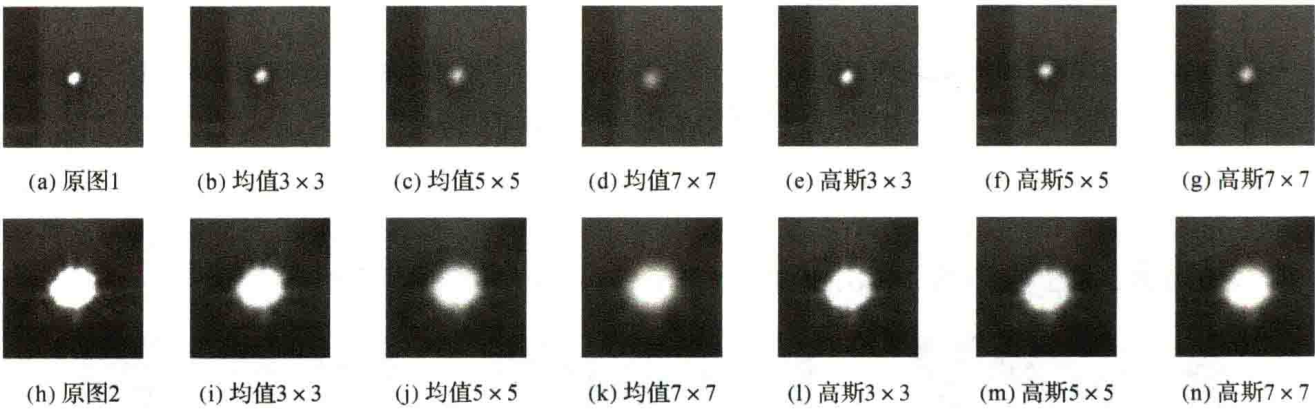


图 9 均值滤波和高斯滤波效果

通过图 9 可以看出,采用均值滤波算法有去噪的效果,随着模板的增大,其对边缘信息损坏较大,尤其光斑较小时影响更为严重,所以如果采用均值滤波宜采用 3×3 模板进行滤波;高斯滤波算法同样有随模板增大对边缘有损坏的缺陷,通过图 9 观察其与均值滤波的滤波效果相当,由其算法原理可知,其对边缘毛刺弱化作用不明显,不能达到很好的去噪效果。因此为能进一步弱化边界信息,减小边缘毛刺对中心定位的影响,同时又保证边缘定位的精度,宜采用均值滤波 3×3 模板进行滤波。

通过图像相减去噪和直接去噪方法比较可知,虽然图像相减法损害了光斑特征信息,但光斑灰度梯度变化仍明显,认为没有损害边缘,但是对中心定位结果会有影响,因为光斑图像未进行相减处理时的灰度分布大都为最大值 255 呈圆台型,相减处理后光斑灰度不呈圆台型,但仍不影响其梯度特征。可记录图像相减之前光斑图像灰度值为 255 的像素坐标,将相减之后图像光斑相应像素坐标处的灰度值重新设为相减之后光斑灰度分布的最大值,即认为恢复了光斑图像的原始信息,呈类似圆形平顶特征,从而减小其对中心定位结果的影响。另外,通过相减法图像预处理还可以避免虚假光斑图像的出现,而直接预处理方法还需要通过一定的方法进行光斑识别检验以剔除虚假光斑图像,图像相减法则省去了光斑检验这一环节,并且通过图像相减后非光斑部分图像灰度基本为 0,这就为光斑图像识别带来了便利。所以本文先采取图像相减法进行图像预处理,再采用 3×3 模板进行均值滤波使边缘变得圆滑。

3.3 光斑图像中心定位

无论采取哪种方法进行图像预处理都不能完全去除由于散斑和外界光线的干扰等影响产生的边缘尖

锐毛刺,影响边缘定位的准确性,从而降低了光斑中心定位的精度。本文通过椭圆拟合的方法去除掉椭圆以外的散射毛刺,首先对光斑图像进行边界追踪得到边界的所有像素坐标值,对边界像素坐标进行最小二乘椭圆拟合,通过拟合的椭圆计算椭圆中心坐标 (x_c, y_c) 及长短轴 (a, b) ,将椭圆以外的像素值剔除,剩余椭圆内像素认为是光斑图像的有效像素。

进行上述光斑毛刺的分割仍不能完全消除小毛刺对中心定位的影响。由于棱镜回光光斑的特殊性,本文采用重心定位法对光斑图像进行中心定位。重心定位法主要有灰度加权重心法、带灰度阈值的加权重心法及灰度平方加权重心法。由于光斑图像灰度分布越靠近光斑中心附近的灰度值越高而边缘的灰度值会降低,并且光斑边缘不够圆滑有大量散光毛刺,所以采用的重心定位法要以尽量减少边缘毛刺对定位精度的影响为目的,从而提高光斑图像的中心定位精度。平方加权重心法更突出表现了中心像素对光斑图像中心定位结果影响大而边缘像素灰度对光斑图像中心定位结果影响小的特点,取图像光斑内各个像素值的灰度值的平方作为各自的权值,通过平方加权灰度重心法对全站仪棱镜光斑图像进行中心定位,其公式为

$$\left. \begin{aligned} x_c &= \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n x f^2(x, y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f^2(x, y)} \\ y_c &= \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n y f^2(x, y)}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f^2(x, y)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, $f(x, y)$ 为光斑像素灰度值,图像大小为 $m \times n$, (x, y) 为像素坐标。

4 光斑图像中心定位精度分析

图像中心定位稳定性分两种情况进行测试:一种是当望远镜精确瞄准目标棱镜后,固定不动连续采集图像进行中心定位,确定其图像光斑中心坐标值;另一种是固定望远镜一个方向的角度值调整另外一个方向望远镜的角度值,对图像光斑进行中心定位观察其变化结果。

4.1 固定方向图像中心定位精度分析

在进行光斑中心提取时,将全站仪望远镜对准目标棱镜后,以一定的频率采集 60 张光斑图像进行中心定位,测试中心定位结果的稳定性。

表 1 列出了望远镜精确照准目标棱镜时连续采集的 60 张光斑图像的中心坐标提取结果,像素分布如图 10 和图 11 所示。

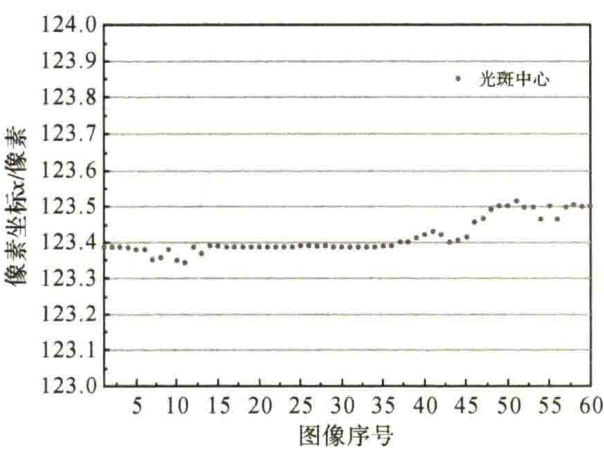


图 10 光斑中心像素坐标 x 变化

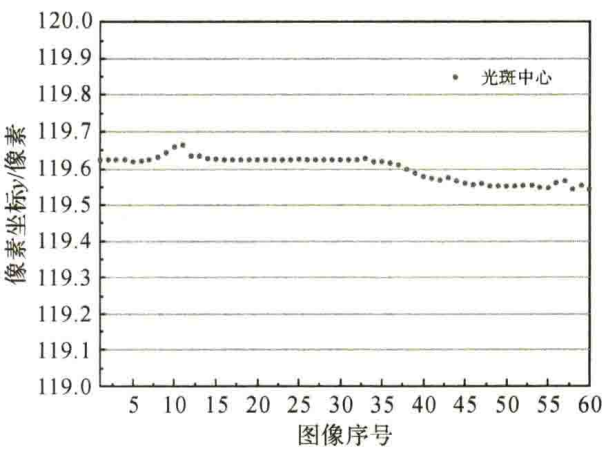


图 11 光斑中心像素坐标 y 变化

由表 1 可求得光斑中心像素提取精度在 x 、 y 方向分别为 0.048 和 0.034 个像素值;通过表 1、图 10 和图 11 可知光斑图像中心定位比较稳定,各图像定位结果之差最大值小于 0.2 个像素坐标;认为图像中心

定位可以用来对全站仪角度进行标定。

表 1 望远镜精确照准目标棱镜时图像光斑中心坐标值

序号	$x/\text{像素}$	$y/\text{像素}$	序号	$x/\text{像素}$	$y/\text{像素}$	序号	$x/\text{像素}$	$y/\text{像素}$
1	123.386 4	119.624 4	21	123.386 4	119.624 4	41	123.430 4	119.572 7
2	123.386 4	119.624 4	22	123.386 6	119.624 4	42	123.422 5	119.568 9
3	123.386 6	119.624 5	23	123.385 9	119.624 5	43	123.400 1	119.576 2
4	123.385 0	119.625 3	24	123.385 5	119.624 4	44	123.405 2	119.566 4
5	123.379 9	119.619 7	25	123.390 2	119.625 2	45	123.414 2	119.559 7
6	123.380 4	119.620 7	26	123.388 9	119.624 4	46	123.456 0	119.556 5
7	123.350 9	119.623 8	27	123.387 9	119.624 3	47	123.466 6	119.559 8
8	123.356 6	119.630 9	28	123.390 0	119.624 4	48	123.490 7	119.553 1
9	123.378 7	119.643 3	29	123.386 6	119.624 4	49	123.501 6	119.553 1
10	123.349 8	119.659 6	30	123.386 4	119.624 5	50	123.500 9	119.552 9
11	123.343 0	119.664 5	31	123.386 4	119.624 4	51	123.516 3	119.553 2
12	123.386 9	119.634 6	32	123.386 4	119.624 6	52	123.499 3	119.553 9
13	123.368 8	119.634 4	33	123.386 5	119.627 9	53	123.497 5	119.553 7
14	123.391 1	119.629 0	34	123.386 6	119.619 0	54	123.466 0	119.548 7
15	123.388 4	119.625 5	35	123.388 8	119.619 8	55	123.501 7	119.547 7
16	123.386 4	119.625 3	36	123.389 2	119.615 9	56	123.464 9	119.560 8
17	123.386 4	119.624 9	37	123.399 7	119.609 8	57	123.499 3	119.567 3
18	123.386 5	119.624 7	38	123.400 1	119.598 7	58	123.506 4	119.543 9
19	123.386 3	119.624 4	39	123.412 3	119.588 4	59	123.499 8	119.554 6
20	123.386 7	119.624 3	40	123.422 3	119.579 4	60	123.500 3	119.544 9
RMS	0.048	0.034						

4.2 单方向变化图像中心定位精度分析

单方向变化包含两种情况：一种是全站仪水平角不变调整望远镜在竖直方向旋转；另一种是望远镜竖直角不变驱动仪器在水平方向旋转。

根据两种情况分别进行测试：①望远镜水平角不变，调整望远镜竖直角分别提取光斑图像中心坐标值；②望远镜竖直角不变，调整望远镜水平角分别提取光斑图像中心坐标值。为减小工作量又能体现其坐标变化规律，从每一方向采集的 60 张图像中每间隔 10 张抽取一张进行中心提取。

表 2 单方向变化图像光斑中心定位结果

水平角不变(0°00'00")变化竖直角				竖直角不变(195°15'52")变化水平角			
竖直角/(° ' ")	图像	$x/\text{像素}$	$y/\text{像素}$	水平角/(° ' ")	图像	$x/\text{像素}$	$y/\text{像素}$
195 15 51.8	1	123.386 4	119.624 4	0 00 30.8	1	124.832 0	119.846 9
	2	123.343 0	119.664 5		2	124.858 3	119.795 3
	3	123.386 4	119.624 4		3	124.858 3	119.795 3
	4	123.386 4	119.624 4		4	124.907 3	119.744 0
	5	123.430 4	119.572 7		5	124.844 7	119.799 9
	6	123.516 3	119.553 2		6	124.832 0	119.846 9
195 16 21.8	1	123.447 1	121.280 9	0 01 0.5	1	126.144 6	119.859 2
	2	123.372 7	121.217 6		2	126.103 2	119.907 0
	3	123.411 3	121.279 4		3	126.073 8	119.895 6
	4	123.372 7	121.217 6		4	126.103 2	119.907 0
	5	123.404 7	121.248 5		5	126.103 2	119.907 0
	6	123.404 7	121.248 5		6	126.082 6	119.870 9

续表

水平角不变(0°00′00″)变化竖直角				竖直角不变(195°15′52″)变化水平角			
竖直角/(° ′ ″)	图像	x/像素	y/像素	水平角/(° ′ ″)	图像	x/像素	y/像素
195 16 52.1	1	123.245 9	122.951 7	0 01 59.3	1	129.018 3	120.103 6
	2	123.198 6	122.990 4		2	128.987 7	120.071 5
	3	123.198 6	122.990 4		3	128.958 5	120.016 8
	4	123.198 6	122.990 4		4	128.957 9	120.052 0
	5	123.198 6	122.990 4		5	128.958 5	120.016 8
	6	123.198 6	122.990 4		6	128.958 5	120.016 8
195 17 50.5	1	123.249 1	125.755 7	359 59 30.5	1	121.928 6	119.762 7
	2	123.249 1	125.755 7		2	121.928 6	119.762 7
	3	123.239 1	125.726 0		3	121.897 7	119.769 5
	4	123.239 1	125.726 0		4	121.928 6	119.762 7
	5	123.320 3	125.702 6		5	121.897 7	119.769 5
	6	123.310 0	125.673 4		6	121.928 6	119.762 7
195 15 20.8	1	123.450 6	118.183 4	359 59 00	1	120.466 7	119.909
	2	123.437 5	118.135 9		2	120.512 5	119.929 8
	3	123.431 2	118.175 7		3	120.512 5	119.929 8
	4	123.431 2	118.175 7		4	120.512 5	119.929 8
	5	123.431 2	118.175 7		5	120.529 1	119.955 7
	6	123.437 5	118.135 9		6	120.529 1	119.955 7
195 14 50.5	1	123.640 3	116.609 7	359 58 01	1	117.721 4	119.897 2
	2	123.647 6	116.576 2		2	117.675 2	119.874 0
	3	123.560 6	116.635 6		3	117.675 2	119.874 0
	4	123.745 8	116.580 1		4	117.680 9	119.908 1
	5	123.758	116.543 4		5	117.680 9	119.908 1
	6	123.640 3	116.609 7		6	117.680 9	119.908 1
195 13 50.8	1	123.339 7	114.035 7				
	2	123.339 7	114.035 7				
	3	123.339 7	114.035 7				
	4	123.354 4	114.005 9				
	5	123.354 4	114.005 9				
	6	123.303 8	114.037 5				

通过表 2、图 12 和图 13 可知当一个方向角度固定,变化另外一个方向的角度时,则固定方向所对应的图像的像素坐标值变化小于 0.7 个像素,远小于角度变化方向的像素坐标变化 12~14 个像素,通过固定方向的中心定位坐标值变化情况可知光斑图像中心定位的重复性精度较好。因此可以通过固定一个方向调整另外一个方向的角度值提取光斑中心像素进行标定。

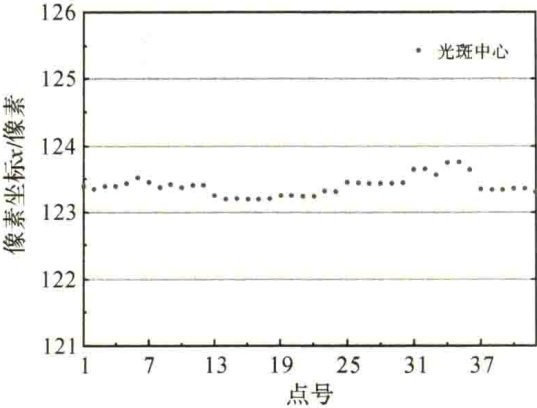


图 12 竖直角变化像素坐标 x 的变化情况

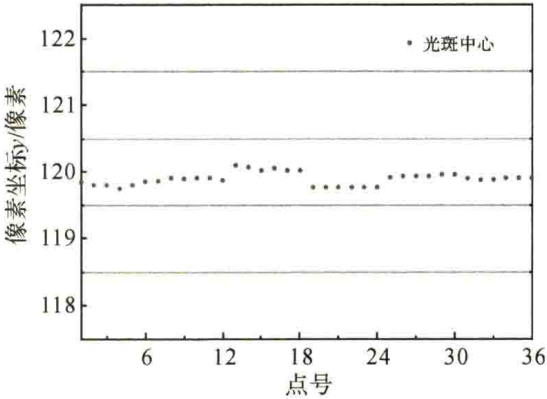


图 13 水平角变化像素坐标 y 的变化情况

通过表 2、图 14 和图 15 可知,固定一个方向的角度不变,调整另外一个方向的角度变化,每调整一个角度连续取 6 张图像进行中心坐标提取,则变化方向所对应的像素坐标变化情况与预期事实相符,即每 6 个点的坐标为一个台阶,像素坐标接近,当角度变化时,像素坐标发生跳跃,通过变化方向的中心定位坐标值变化情况可知光斑图像中心定位符合实际情况,因此可以用来进行光斑图像中心像素与望远镜旋转角度之间关系的标定。

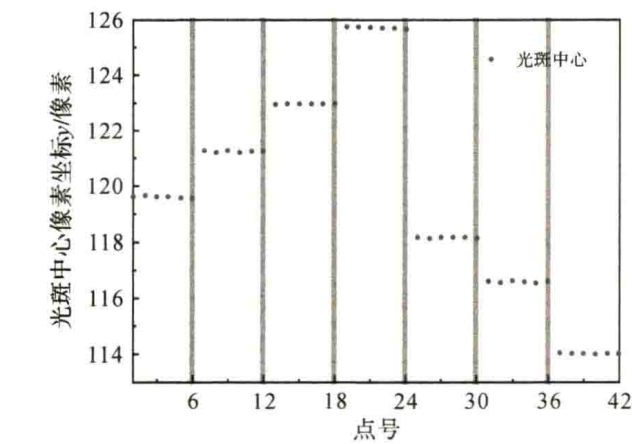


图 14 竖直角变化像素坐标 y 的变化情况

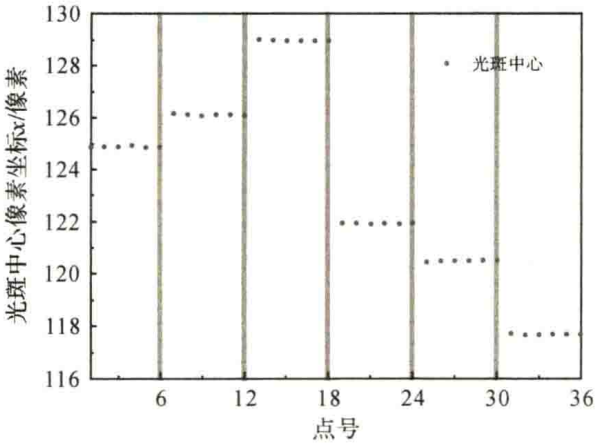


图 15 水平角变化像素坐标 x 的变化情况

5 结 语

通过图像传感器 CMOS 与全站仪组合,分析了 CMOS 采集的光斑图像特征,对图像进行中心定位并对其进行精度分析。

对光斑图像进行预处理,通过图像相减法可以去除非红外激光带来的噪声,达到很好的去噪效果,采取 3×3 均值滤波模板进行滤波来弱化边缘毛刺对中心定位结果的影响,应用椭圆分割法进一步分割边缘毛刺,最后通过平方加权灰度重心法对光斑图像中心进行提取。

通过全站仪固定方向和单方向角度变化的图像提取精度进行分析,固定全站仪望远镜方向时,各图像定位结果之差最大值小于 0.2 个像素坐标,具有较好的重复性精度。望远镜单方向变化时,固定方向所对应的图像的像素坐标值变化小于 0.7 个像素,变化方向所对应的像素坐标变化情况与预期事实相符,即当角度变化时,与之相应的像素坐标发生跳跃,固定方向和变化方向的中心定位坐标值变化情况均符合实际情况,因此可以用来进行光斑图像中心像素与望远镜旋转角度之间关系的标定。

参考文献(略)

光笔式单像片坐标测量系统

王永强^{1,2}, 冯其强², 张锐¹, 任永超¹, 牛犇¹, 陈洪赛¹

1. 中测国检(北京)测绘仪器检测中心, 北京 100039; 2. 中国人民解放军信息工程大学地理空间信息学院, 河南郑州 450001

摘要:针对大尺寸工业制造领域中精密尺寸测量需求,设计了一种光笔式单像片坐标测量系统。首先,基于4个非共线控制点的单像空间后方交会原理解算相机外方位元素初值,利用最小二乘迭代原理计算模型参数精确解,建立光笔与相机坐标系的转换关系。其次,针对光笔标志点及测头属性不同,提出光笔两步标定法,即利用多片空间前方交会原理标定标志点坐标;根据光笔绕固定点旋转时光笔测头位置不变理论,建立光笔测头标定模型。最后,实验表明:相机在X、Y、Z轴的重复性测量精度分别为0.007 mm、0.002 mm、0.027 mm;在4 m范围内,量距精度优于0.2 mm。

关键词:精密工程测量;单像空间后方交会;坐标转换;光笔标定;最小二乘迭代

1 引言

随着工业技术的快速发展,航空、航天、汽车等制造业领域,对大型工件几何尺寸、面形轮廓的在线测量工作越来越多,精度要求也越来越高。目前对于复杂曲面的检测手段研究较成熟,但对于工件几何尺寸及定位孔、线的在线测量研究较少。三坐标测量机因其测量精度高、通用性好等优点,在工业产品检测中发挥着重要作用。但由于传统框架式坐标测量机体型庞大,不易实现产品在线检测。视觉测量技术是以光学为基础,融合计算机技术和图像处理等技术于一体的新型测量技术,具有非接触、实时性强、精度较高等特点。基于单相机的视觉测量技术因其结构简单、运算速度快而应用前景广阔。

光笔式视觉测量系统是利用一台相机获取接触被测目标光笔的单张像片,经过处理获得被测点的三维坐标。国际上对其研究起步早,已有较成熟的商业软件,如挪威 Metronor 公司的 SOLO 系统。国内对光笔式单相机视觉测量的研究主要有黄风山提出的手持3点式光笔测量系统,解则晓提出的平面多点式光笔测量系统,程志强提出的三维6点式光笔测量系统。针对测量对象的种类,设计不同类型的光笔;为获取高精度的测量坐标,从硬件及解算方法上不断做出改进。

本文针对影响光笔式单相机测量系统精度的因素,设计了一款基于回光反射标志的光笔,提高了像点提取精度;根据基于4个非共线控制点的单像空间后方交会原理,建立光笔及相机坐标系间的转换关系,不需要初值即可解算模型参数精确解;提出一种现场标定光笔的方法,简便易行且精度高。实验表明:上述技术在一定程度上提高了系统的测量精度,具有较高的应用价值。

2 系统概述

单像片坐标测量系统主要包括硬件和软件两部分。硬件包括笔记本电脑、单反相机及脚架,和获取三维信息的附加约束工具——光笔,如图1所示;运行装载在电脑内的软件显示测量结果。光笔笔体上至少有4个标志点和1个测头,并且标志点及测头之间的相对位置关系必须精确标定。

本系统设计的手持光笔如图2所示,光笔测头呈圆锥形;光笔主体上随机分布32个回光反射标志点,配合相机闪光灯获得标志点的准二值图像,避免将红外LED灯埋在光笔中使远距离图像标志点定位不准。

系统坐标测量原理:测量时,固定相机位置不动,相机拍摄光笔接触被测物体的像片;通过无线传输模块将像片实时传输至电脑,通过计算机图像处理获得标志点的像点坐标;根据单像空间后方交会原理求解相机的外方位元素,进而求得光笔的位姿参数;再根据坐标转换求解出光笔测头的三维坐标,即被测点的坐标。

第一作者简介:王永强(1990—),男,助理工程师,主要研究方向为精密工程测量。
邮箱:446223605@qq.com。