

基于空三解算技术的树障测量技术研究

刘汉君, 吴锦秋, 林江涛

(广东电网有限责任公司 中山供电局, 广东 中山 528400)

摘要: 电线与树冠之间准确而有效的测量可以有效地防止与植被有关的故障, 并确保电力系统的安全稳定运行; 针对电力走廊树木障碍的测量难度, 提出了一种基于空三解算技术进行测量的方法; 通过拍摄电力走廊区域的正面照, 并使用图像的重叠特征点, 可以算出每张照片的方向元素; 根据空中三角剖分的原理, 采用像素匹配算法计算测量区域的密集点云数据, 可以对树障测量进行统计, 然后计算出树障的值; 实验结果表明, 空三解算方法可以实现对传输线势垒值的测量, 测量误差可以满足测量树木与输电线路之间距离的需要。

关键词: 树障测量; 空三解算; 图像采集

Research on Tree Obstacle Measurement Technology Based on Space Three Solution Technology

Liu Hanjun, Wu Jinqiu, Lin Jiangtao

(Zhongshan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd, Zhongshan 528400, China)

Abstract: the accurate and effective measurement between the wire and the tree crown can effectively prevent the failure related to the vegetation and ensure the safe and stable operation of the power system. In view of the difficulty of tree obstacle measurement in the power corridor, a method based on the space three solution technology is proposed. By taking a front photo of the power line corridor area and using the overlapping feature points of the image, the direction elements of each photo can be calculated. According to the principle of air triangulation, pixel matching algorithm is used to calculate the dense point cloud data in the measurement area, which can be used to make statistics on the measurement of tree obstacles, and then calculate the value of tree obstacles. The experimental results show that the space three solution method can achieve the measurement of the transmission line barrier value, and the measurement error can meet the needs of measuring the distance between trees and transmission lines.

Keywords: tree obstacle measurement; three dimensional solution; image acquisition

0 引言

树木障碍的隐患是指架空电力线与树木之间的距离小于最小安全距离时可能发生的单相接地, 电弧短路, 断线等故障, 以及其他可能发生的故障。法规规定的最大风偏或最大下垂距离; 这样的故障将导致一系列安全事故, 例如短路跳闸, 大面积停电和森林火灾等问题的出现^[1-3]。国内外都有许多传输线障碍的事故。2006年, 由于电线与树木的树枝缠绕在一起, 马来西亚东部发生了大范围的电源故障^[4]。据统计, 近年来广东省电网因树障引起的绊倒事故占绊倒事故总数的46%。树木障碍的问题已成为维护和保证电网安全稳定运行的主要隐患。为了避免超高树可能对电网造成的危害, 有必要及时发现并消除树障碍的这种隐患。传输线, 塔和其他单元始终暴露在周围环境中, 小巷中的尤其是树木很可能成为对其的威胁。如果不及时刮除, 树与电线之间的距离将破坏文件中标准的安全要求。

在这种情况下, 将导致传动系统停止运转, 从而影响正常工作。因此, 测量传输线与树木之间的距离并及时清除树木障碍的隐患至关重要。基于问题的严重程度, 很多研究者结合目前科技探究了多种测量树障的方法。

国内外也进行过很多关于树障测量的研究, 并且也取得了一定成果。现将情况汇总。2009年, Yoshihiro Kobayashi等^[5]介绍了一种创新概念, 利用多光谱立体卫星对图像沿着架空传输线识别危险树木和植物。会自动扫描右侧的多光谱卫星图像, 并分析每个像素的颜色(波长)。此扫描可识别健康的植被, 其中可能包含会危害传输线的树木。使用多光谱立体图像, 可以确定每个像素的高度, 并计算与导体的距离。当该距离小于导体周围的危险区域时, 则认为识别出的物体或树木会危害电线。2016年, Zhang W等人^[6]提出了一种基于LiDAR的自动树障预警方法。获取走廊中传输线和其他类型物体的分类信息。然后, 在相应线段的极端天气条件下模拟导体下垂和风向偏航。为了提高计算效率, 该方法基于DB-Scan将属于树型的点分成几组。最后, 通过计算电线与树木之间的最小距离并结合树木生长周期模型来实现预警。2018年, Chen Q等研究小组^[7]提出了一种双目视觉测距方法来测量输电线路与树木之间的距离。基于双目视觉测距原理, 使用标记的棋盘格

收稿日期:2020-03-30; 修回日期:2020-05-12。

基金项目:广东电网有限责任公司科技项目(032000KK52180058)。

作者简介:刘汉君(1979-),男,广东中山人,硕士,高级工程师,主要从事生产运行、变电运行、配电运行、电力机器人等方面技术研究和实践方向的研究。

作为校准板对双目相机进行校准。然后,将 SAD 区域匹配算法应用于预处理后的图像,并获得视差图。最后,根据两个目标点的三维坐标信息,可以得到树与传输线之间的距离。2019 年, Mao H. S. 等团队^[8]在 Steger 算法的基础上,设计了一种自动检测算法,可以自动提取架空电力线的中心线及其像素坐标。根据双目视觉原理,通过立体匹配算法分别获得架空电力线和树冠轮廓线的三维坐标,然后计算出树障的值。

关于树障测量的研究已有很多,鉴于以上研究,本文在相关算法的基础上,设计了另一种计算树障测量的相关研究,本文利用无人机的遥感数据进行空中三角剖分,立体模型建立和基于 MapMatrix 软件^[9]的双目立体视觉高度提取,然后获得电线与树冠之间的准确而有效的测量,可以实现对传输线势垒值的测量,并通过调整参数,使得最终的测量误差精度可以满足测量树木与输电线路之间距离的需要,至今未有人将这一算法使用在树障测量研究上,在一定程度上有所创新。这项研究不仅符合要求的的安全距离,也具有高检测效率,维护成本低,风险低,坚固可操作性等优点。

1 电线路对树冠的距离限值

为了测量电线路与树冠之间的距离,首先需要明确安全范围。根据《架空输电线路运行规程》^[10]中的相关规范,电线在其最大垂直弧度和最大风力偏向时和树冠之间的安全距离如表 1 所示。由图可以看出,不同电压下的最大垂直距离和最大风偏时的安全距离是不一样的。随着电压的增高,安全距离也在增大。

表 1 输电线路在最大垂直弧度、最大风偏时与树冠之间的安全距离

| 线路电压/kV | 最大垂直弧度距离/m | 最大风偏时安全距离/m |
|---------|------------|-------------|
| 60~220 | 4 | 3.5 |
| 220 | 5 | 4.5 |
| 440 | 6 | 6 |
| 550 | 7 | 7 |
| 750 | 8 | 8 |

根据表 1 所示的不同电压下的不同安全距离,从而制定了相应的树障隐患等级,共分为三个隐患等级,分别为普通隐患、严重隐患、紧急隐患。表 2 给出了详细的等级分类。

根据表 2 可以看出国家电网对于三个等级的安全距离归类,依据表格内容进行树障测量的研究具有现实意义。

2 基于空三解算的树障测量

2.1 图像测量原理

本研究使用无人机获得高分辨率架空电力的可见光图像采集物体。基于航空视觉开发软件 MapMatrix,一站式空中三角剖分和立体模型建立获取的图像^[11]。电源线在电力走廊中的地面高度被提取,并且获取树冠与地面之间的高度,并对获取的高度信息进行评估和分析。在这项研究中,无人机总共进行了一次飞行,获得的高分辨率无人机遥

表 2 输电线路在最大垂直弧度、最大风偏时与树冠之间的隐患等级分类

| 线路电压/KV | 种类/m | 普通隐患 | 严重隐患 | 紧急隐患 |
|---------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| 60~220 | 最大垂直弧度时距离 | $3.6 < d < 4$ | $3.3 < d < 3.6$ | $d < 3.3$ |
| | 最大风偏时安全距离 | $3.1 < d < 3.6$ | $2.8 < d < 3.1$ | $d < 2.8$ |
| 220 | 最大垂直弧度时距离 | $4 < d < 4.6$ | $3.5 < d < 4$ | $d < 3.5$ |
| | 最大风偏时安全距离 | $3.6 < d < 4$ | $3.2 < d < 3.6$ | $d < 3.2$ |
| 440 | 最大垂直弧度时距离 | $5 < d < 5.6$ | $3 < d < 5$ | $d < 3$ |
| | 最大风偏时安全距离 | $4.7 < d < 5$ | $3.3 < d < 4.7$ | $d < 3.3$ |
| 550 | 最大垂直弧度时距离 | $6 < d < 7$ | $4.6 < d < 6$ | $d < 4.6$ |
| | 最大风偏时安全距离 | $6 < d < 7.6$ | $5 < d < 6$ | $d < 5$ |
| 750 | 最大垂直弧度时距离 | $7.6 < d < 8$ | $6 < d < 7.6$ | $d < 6$ |
| | 最大风偏时安全距离 | $7.4 < d < 8$ | $6 < d < 7.4$ | $d < 6$ |

感图像约为 10 平方千米,如图 1 所示。在航拍过程中,海拔约为 220 米,图像的地面分辨率约为 5 厘米/像素。为了提高以后的数据质量加工,航向重叠率和侧面重叠度设置为 75%。无人机航拍完成后,检查航空摄影图像数据所必需的,主要是检查图像重叠度,云雾度,航向角度和倾斜角度等。最终获得相机参数数据,部分 POS 数据,图像数据和控制点。

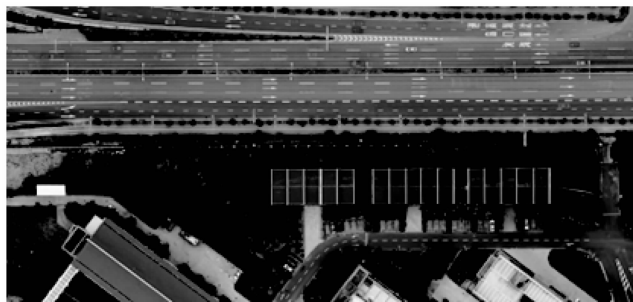


图 1 航拍面积图

本文采用双图像立体映射原理对图片进行分析。双图像立体映射是指通过使用立体图像对(在两个拍摄点拍摄的两张具有相同地面场景的重叠图像的照片)并直接测量几何模型来重建地面实体几何模型^[12-13]。提供符合指定比例的地形图或建立数字地面模型。图 2 (a) 显示了从空中到地面的拍摄过程, S_1 和 S_2 是两个相机站(相机物镜中心),拍摄了两个图像 P_1 和 P_2 , S_1 和 S_2 之间的空间距离称为摄影基线 M ,通过 S_1 和 S_2 发出的光的地面点 A, B, C, D 等分别被限制在 P_1 和 P_2 图像上图像的重叠范围内,并成为两个摄影光束。光线 AS_1, AS_2, CS_1 和 CS_2 等都是相同名称的对应光线。此时,同名和基线的光线始终在同一平面上,即三个向量 S_1S_2, S_1A 和 S_2A 是共面的,也称为同名的光线成对相交。根据拍摄过程的可逆性,设计了两台类似相机的投影仪,将图像 P_1 和 P_2 分别安装到两台投影仪中,并使两台投影仪的方向与拍摄过程中相机的方向相同,但是物镜之间距离缩小,即投影仪从 S_2 移至 S'_2 (如图 2 (b) 所示)。此时,两台投影机之间的距离为 $S_1S'_2 = m$,称为 m 投影基线。在投

影机上, 使用聚光灯照明, 东部的两台投影机中所有相同名称的光形成的空间与 A' , B' , C' , D' 之间有交点。所有这些交点的集合构成了一个类似于地面的几何模型。模型的比例为 $1:p=m:M$ 。此过程称为摄影过程的几何反演, 这是立体摄影测量的基本原理。

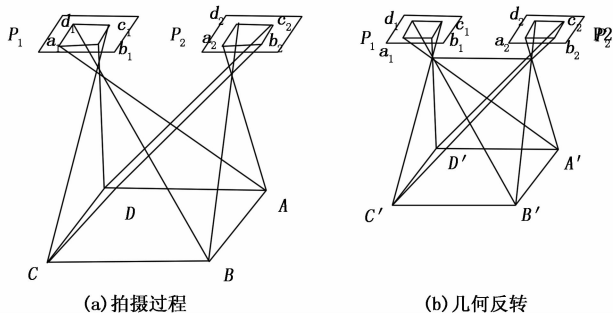


图 2 双图像立体映射原理

立体图像的两个图像重叠范围内的任何地面点分别在两个图像上具有其同名图像点, 并与相应的摄影中心形成同名射线。同名的摄影射线彼此相交。因此, 在摄影基线中, 同名图像点和地面点之间存在固定的几何关系。为了对图像对进行立体映射, 有必要重建与场相似的几何模型, 并符合比例尺和空间方向, 如果可以恢复图像对的内外取向元素, 则上述固有的几何关系可以恢复, 因此可获取 3D 重建和电力线高程点。

2.2 空三解算剖析

2.2.1 内部方向

内部方向是根据照片的帧标记坐标和相应的照相机校准参数恢复照片和照相机的相对位置, 即建立照片坐标系。在执行内部确定之前, 必须设置图像的扫描分辨率和相机参数。对于数字图像, MapMatrix 的 HAT 模块可用于全自动内部定向, 这将同时自动刷新图像的坐标。执行完后, 蓝色投影中心标记将显示在具有成功内部定向的图像中间, 如图 3 所示。对于胶片图像, 如果未进行自动校准, 则在执行“自动内部定向”操作后, 在框架标签的中心, 需要人工干预才能进行内部方向编辑校正^[14-15]。

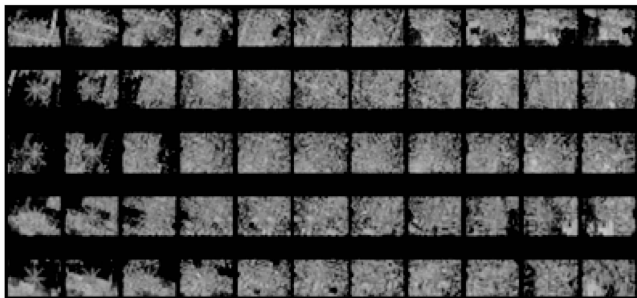


图 3 内部定向结果

2.2.2 相对方向

当两个摄像机在同一地面上拾取一个立体声对时, 任何一对立体声对相同名称的两条光线在对象点处相交, 即存在一种现象, 即相同名称的一对光线相交, 如果保留两

个图像, 则相对位置和姿态关系不变, 将两个图像移动, 旋转并更改基线长度, 并且同名光线对的特征不改变^[16]。分析方法的相对方向基于同名立体图像对的内部几何关系。通过测得的图像点坐标, 解析计算出相对方位元素, 建立与地面相似的立体模型, 确定模型点的三维坐标。相对方向与照片的绝对位置无关, 并且不需要地面控制点。相对定向的目的是建立三维模型。空三的操作过程主要取决于相对取向, 其质量直接影响绝对取向的结果, 进而影响立体效果。

2.2.3 连接点生成和筛选

连接点是用于连接相邻模型的相同名称的图像点。连接点的地面坐标是未知的, 但是可以在两个或多个图像的重叠区域中进行识别和测量。连接点还应均匀分布在该区域的图像上, 最典型的是每个图像 9 个连接点。在一个调查区域中, 如果有 60% 的航向重叠和 30% 的侧向重叠, 则每个图像上的 9 个连接点足以连接整个导航带并获得更高的精度。如图 4 所示。

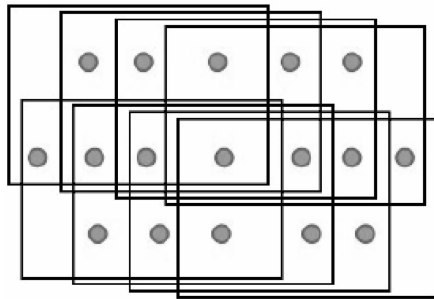


图 4 连接点的分布

根据导航带的内外方位元素, 摄像机参数, 控制点等数据, 生成连接点后, 需要对连接点的错误点进行过滤和去除, 主要是消除重叠度小于 2 的点和综合 Max 的总差值。删除的点不参与无效的三位运算, 并不影响结果的准确性。

2.2.4 调整计算

调整计算基于数学模型, 使用现场测量的几个控制点, 进行摄影测量操作所需的所有控制点 (称为固定点或加密点) 的调整计算 (加密)。每张照片的外部方向元素, 飞机跑道方法, 独立模型方法是更常用的调整模型^[17]。还根据加密区域进行分类, 可以分为单跑道方法和区域网络方法。本研究中, PATB 调整软件用于调整计算。它使用理论上最严格的自检波束调整算法, 可以补偿系统误差。同时, 它增加了先进实用的粗差检测算法, 因此可以通过有效的粗差检测获得高精度的调整结果。在自动生成连接点之后, 可以在工程区域的四个角附近准时插入几个控制点 (当没有 POS 信息时, 至少要有三个 ID 控制点), 并且应在尽可能多的相关图像上进行准确标记使用 HAT 模块插入控制点时可以使用。插入控制点后, 可以首先计算调整值以了解连接点的精度。如果调整是收敛的, 则添加其他控制点很方便。控制点给定的值越小, 表示的重量值越大, 反之亦然。计算调整后, 通常会编辑争议点, 然后通常进行调整

计算,直到没有明显的争议点的信息为止。另外,有必要在最后一次调整计算的功能中检查“通过反演计算后验方差”中的“输出后验方差”。同时,如果出现“通过自动错误检测”的检查,则可以不进行检查。在连接点没有明显的大错误点,并且可以确定控制点没有问题。

2.3 数据处理

空中三角剖分完成后,MapMatrix 可以输出项目文件,在中打开创建的项目文件 MapMatrix 主页,立体图像对和 DLG 创建项目文件,并针对输电线垂直弧度创建立体图像对模型进入 DLG 项目文件,并对树障进行分析。数字化 DLG 项目文件以打开 Feature One 模块,并将图形比例设置为 500。上文制作的模型用于提取输电线路和树冠之间的高度和地面特征。然后使用 MapMatrix 的 Feature One 模块收集输电线和树障对象。危险要素的高程点是要素的最高点,以及每 15m 收集一次传输线。

3 实验结果

通过 MapMatrix 软件进行实验分析,并通过对比对本次实验进行精度验证。对比试验是 2016 年,中国能源建设集团在 100 km 范围内,基于可见光影像的输电线与树冠之间安全距离的测量技术进行研究,并结合了高精度的激光雷达对指定范围进行精度验证。由对比可知,本次实验所做出的输电线与树冠之间安全距离的测量满足电线运营和维护的工作要求。实验数据如表 3 所示。

表 3 实验数据距离差值

| 序号 | 累计距离/m | 偏移距离/m | 本次实验测量/m | 雷达测量/m | 差值/m |
|----|--------|--------|----------|--------|-------|
| 1 | 2 | +3.5 | 6.54 | 7.44 | -0.9 |
| 2 | 8.8 | -4.5 | 5.65 | 6.3 | -0.65 |
| 3 | 10 | -4 | 6.54 | 6.33 | 0.21 |
| 4 | 22 | +1 | 4.32 | 3.32 | 1 |
| 5 | 36.8 | -2 | 4.56 | 3.9 | 0.66 |
| 6 | 55.8 | -0.6 | 5.21 | 5.32 | -0.11 |
| 7 | 76 | +1.2 | 4.43 | 4.82 | -0.39 |
| 8 | 84.5 | -0.2 | 6.43 | 6.99 | -0.56 |
| 9 | 91.6 | +0.6 | 5.32 | 5.1 | 0.22 |
| 10 | 96.3 | -0.4 | 4.33 | 3.9 | 0.43 |

由于无人机图像采集的灵活性,实时性和低成本等优点,无人机遥感在电力巡逻中的应用越来越广泛^[18]。使用可见光影像进行树障测量之间的精度取决于很多因素,例如:影像质量、连接点选取、空三解算法的数据读取精度等都会对树障测量产生影响。有效运用空三解算方法测量树障距离能够提高精度不足的问题。

4 结束语

本文建立了基于空三解算技术的树障测量技术研究,通过无人机图像采集技术获取了相关影像信息,提高了电力巡线的效率和质量。本研究针对当前电力线高度和树冠高度的净高进行分析,分析了树障安全距离,并对电力线

风险进行评估。这一研究有效避免了更多树木障碍事故的发生,并且能够保障工作人员以及小区环境的安全。

参考文献:

- [1] 袁文俊,郑武略,贺敏恒,等. 基于多旋翼无人机 GPS 坐标计算的树障面积快速测定法 [J]. 计算技术与自动化, 2019, 38 (4): 42-46.
- [2] 饶成成. 基于摄影测量的输电线路三维建模优化技术研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2019.
- [3] 王正坤,袁 炜,王 昊. 基于可见光影像的架空线路树障测量技术研究 [J]. 地理空间信息, 2018 (7): 145-148.
- [4] Guo Z H. The focus of transmission line anti-external damage-clean tall plants [J]. Technological development of enterprise, 2011, 30 (11): 34-36.
- [5] Kobayashi, Yoshihiro, et al. The utilization of satellite images to identify trees endangering transmission lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery. 2009, 24 (3): 1703-1709.
- [6] Zhang W, Zhang J, Wang B, et al. The research on early-warning methods of tree barriers of transmission lines based on lidar data [A]. 2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI) [C]. IEEE, 2016: 1-4.
- [7] Chen Q, Miao X, Jiang H, et al. Measurement of Tree Barriers in Transmission Line Corridors Based on Binocular Stereo Vision [A]. 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV) [C]. IEEE, 2018: 1514-1519.
- [8] Mao H, Miao X, Jiang H. Measurement of Tree Barriers on Transmission Line Based on Binocular Vision and Steger Algorithm [A]. 2019 Chinese Automation Congress (CAC) [C]. IEEE, 2019: 3353-3358.
- [9] 黄新波. 程荣贵. 王孝敬等. 输电线路在线监测与故障诊断 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2018.
- [10] 许昌亮,张秋雁,杨 忠,等. 悬挂刀具结构的树障清理空中机器人设计 [J]. 广东电力, 2019, 32 (9): 78-84.
- [11] Yang C, Li Y, Zhou X, et al. Research on 3D Reconstruction of Transmission Lines and Identification of Hidden Dangers of Tree Barriers Based on Airborne Lidar Point Cloud [A]. International Conference on Geo-informatics in Sustainable Ecosystem and Society [C]. Springer, Singapore, 2018: 374-384.
- [12] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册. [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [13] 周小红,李向欢,石 蕾,等. 无人机倾斜摄影技术在电力巡线树障检测中的实践应用研究 [J]. 电力大数据, 2019, 22 (8): 53-59.
- [14] 阮 峻,陶雄俊,韦新科,等. 基于固定翼无人机激光雷达点云数据的输电线路三维建模与树障分析 [J]. 南方能源建设, 2019, 6 (1): 114-118.
- [15] 丁 薇,黄绪勇,谭向宇,等. 基于机载激光点云的输电线路走廊树障自动化检测方法 [J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41 (11): 125-128.
- [16] 祝 贺,于卓鑫,严俊韬. 特高压输电线路树障隐患预判及仿真分析 [J]. 东北电力大学学报, 2018, 38 (2): 21-27.
- [17] 张学东,要粮安,谢 强,等. 输电线路树障砍伐绕线装置设计 [J]. 电工技术, 2018 (5): 124-126.
- [18] 黄 维,黄志都,王 乐,等. 架空输电线路走廊树障隐患动态管理及预警分析 [J]. 广西电力, 2017, 40 (3): 39-42.