

机载激光点云输电线路巡检关键技术的研究

管涛 肖叶清

咸宁市国网咸宁供电公司 湖北 咸宁 437100

【摘要】：由于架空输电线路的覆盖面很广，穿越地形复杂、自然环境较差的地区，给电网的安全监测技术带来了新的挑战。机载激光雷达能够迅速获得高精度、高密度、高三维空间信息的电力线点云数据，具有高效率、无损耗、无接触等优点，弥补了以往手工检测的不足，成为目前电力线路智能检定的研究热点。

【关键词】：机载激光；点云输电线路；巡检

Research on Key Technologies of Airborne Laser Point Cloud Transmission Line Inspection

Tao Guan, Yeqing Xiao

Xianning State Grid Xianning Power Supply Company Hubei Xianning 437100

Abstract: Due to the wide coverage of overhead transmission lines, crossing areas with complex terrain and poor natural environment, it brings new challenges to the security monitoring technology of power grid. Airborne lidar can quickly obtain power line point cloud data with high precision, high density and high three-dimensional spatial information. It has the advantages of high efficiency, no loss and no contact. It makes up for the shortcomings of previous manual detection and has become a research hotspot of intelligent verification of power lines.

Keywords: Airborne laser; Point cloud transmission line; Inspection

引言

随着我国经济的迅速发展，电网规模不断扩大，电网的运营水平不断提升，电网的安全性也在不断提高。输电线路是电力系统中最重要的传输设备，其运行状况是电力系统运行和维护的关键环节。近几年，机载/无人机上的激光雷达能够迅速获得高精度的三维立体数据，为架空输电线路的安全校验提供了新的技术途径。尽管在功率控制方面取得了长足的进步，但是在数据处理、模型构建、应用等方面仍然存在着许多问题。

1 机载激光雷达技术的功能

1.1 机载激光雷达技术实现距离的准确测量

由于采用了无人驾驶的激光雷达技术，能够对输电线路及其相关的设备进行实时监测和检测。当发现有故障或有安全风险时，能迅速将真正的数据提供给电源管理员，实时监测和校核数据，并精确定位，特别是通过传输通道内的物体所引起的危险，对其进行分析和报警。它采用高精度的激光雷达测控系统，对线路的实际位置进行高精度的点云探测，及时判断建筑物、植被、交叉口等线路的间距是否满足操作规程的规定，并作出正确判断^[1]。

1.2 机载激光雷达技术实现线路资产管理

利用无人机的激光雷达技术可以有效地解决巡线过程中获取的点云和高清影像资料，并能及时地处理巡线所获取的点云和高清影像资料。利用 DOM 和 DEM，将点云进行精细的分类，建立三维电力线的三维模型。它的外形、地形都是真实的，包括植物、参考线和其他物体，用来模拟三维空间。在技术人

员的屏幕上再现了真实的地表环境，由技术人员利用 3D 模型输入线路属性参数，实现对线路资产的实际管理，极大地提高了巡检工作的效率和质量。

2 机载激光雷达技术的工作原理

现在，对传输线进行检修的本技术采用无人驾驶飞机，检测了激光雷达的线路，并对电源线上的点云进行了处理，能较好地反映出电源线的表面形态及地貌。将所传送的参数资料，以三维立体的方式，将相应于地表的环境接触与实际状况进行显示，以便于了解电力线路的设备及构筑物的工作及结构，并能准确地侦测出线路的异常及安全隐患。电气设备的运行状况，并及时采取相应的措施，以防止由于线路通道中的交叉物体的干扰而导致线路失效。另外，目前应用于电网传输线监控的无人驾驶激光雷达技术，能够有效地对资产泄露进行有效的监控，实现与智能电网的技术连接，从而提高了输电线路的安全和可靠性。

3 监测方法

从空中传输线的激光点云资料与第三方的实时天气资料相结合，例如气象局的气象服务，或者是电网的实时监测。对静止激光点云进行采集，建立了激光静止点云的传输线路^[2]。本文以三维模型重构、缺陷检测、传输线路形态度为基础，采用空载激光点云数据对传输线路进行实时监控，其中包括：气象数据预处理，输电线路提取，激光点云模型重建，以及三维输电线路模型的实时重构。

由于地球表面吸收的太阳辐射不均衡，造成了大气在空间

中的流动。由于地形的变化和天然风场的紊动,风场对地形、地形和线路的方向都有很大的影响。要精确地模拟紊流的脉动和自然风场的特性,是非常困难的。本文提出了一种用于描述自然风场分布的恒定态模式,并给出了两种假定:

首先,将风场假定为不变条件下的风场。将风场的短期分布看作是一种能量恒定、形状规则的静止风场,并将其转化为初始状态下的风量。风向是中国气象机构常用的十六个方向代表风向的一种标准方式。在恒风环境下,输电线路的运行机制实质上是由初始的稳态负荷向恒定风速方向运动的过程。

其次,假定传输线上的风是摆动的。在长时间的风荷载作用下,传输线自身的能量发生变化。输电线路的表面结冰会引起线路的抖动和跳跃,而风荷载的突然增大也会引起线路的竖直波动。在不变风场的情况下,将传输线的风向转向作为一种将两个悬挂点连在一起的导线在三维空间中进行单摆的移动。以中心轴为中心。该系统的两个平动自由度具有一定的规律性,且不考虑在 z 轴上的快速移动、冰外跳跃以及传输线的阻尼。

3.1 净空距离监测

《架空输电线路操作规程》中明确指出,输电线路导线与线路通道内的地面目标,如树木、建筑物、地面、交叉线等,均应满足安全距离的限定。为此,需要对点云进行归类,从而找出不同类型的潜在缺陷的判别准则。目前的点云分类方法在建筑物、林区等点云分类方面具有良好的应用前景,但是在绕线、长输电线路中仍然存在着一些问题^[3]。首先,传送线路呈Z字形。要对点云进行分类,建立一套高效的特征数据是困难的。如果尺寸特征空间过小,就不能满足要求。为了更好地反映出不同对象的形貌特征差别,在属性空间中,如果特征空间的维数太大,将会造成维度泛滥,从而影响分类的准确性。其次,将电力线点云的分类对象分为地面点、植被点、控制点、电力线点、车辆等。传统的随机树、支持向量机等机器学习方法因其线性点数多出数十、数百倍而难以取得预期结果。同时,由于点云数据的大量积累,使得特征选取和分类器的运算量增大,使得机器学习分类器的分类效率明显降低。

基于点云的点云分类思想,对多单元传输线激光点云进行了分级。DTM通过对相邻的塔点进行识别,利用坐标寄存器对塔架进行粗略的提取,并将其作为候选点。最后,通过对建筑物的平面特征进行分析,并将其与其余资料相结合,得出植物点。

首先,对地表进行抽取。点云滤波技术是一种较为成熟的方法,能够对地面点和非地面点进行快速识别。目前已有部分点云滤波方法被整合到了LiDAR360、点云立方体、CloudCompare等点云数据处理平台上。该方法具有参数少、设置简单等特点,可广泛应用于地面点的提取。

其次,杆塔点提取。通过传输线路和铁塔坐标寄存器的数据,确定出铁塔的中心点,然后通过柱状邻域的方法,确定出可能的输电线,然后从高架线和铁塔之间的交叉点出发,通过自顶向下的点云连接度分析,消除候选点。通过调整连接度搜索半径,提高点云连接度的描述。

其三,建筑物点提取。与分散的、非均匀的植被形态比较,在点云空间中,建筑呈现出规整的平面和边缘点。所以,在提取建筑物时,可以根据目标点附近的柱状邻接点的高度偏差,设定一个阈值判别准则,对其进行提取。

其四,植被点提取。在萃取过程中,将植物点云与残余点云进行合并。按上述方法,将地面点、塔点、建筑点、植被点按分层提取。

利用三维曲线缓冲法对三维空间离散点和三维曲线的距离进行了分析,并以三维曲线为中心轴线,在中心轴线周围设一圆弧圆筒作为半径,然后对其进行直线穿越。在圆柱形区域中的点会使通道的缺点变得明显。三维空间缓存分析可以直接对各种点云与传输线三维向量模型的三维距离进行粗略的粗略计算,这就要求高效率地进行点云结构的组织以及大量的空间距离的计算,从而大大减少了对线形信道的探测和探测所需的时间和效率。通过对输电线路模型的重构,将各种点云看作是输电线路点云数据集中的“噪声点”,通过对点云和模型残差曲线的分析,利用剩余值作为边界。通过距离的计算,将复杂的三维曲线空间缓存分析转换为二维平面残差的简化运算:将点云投影在二维平面上,通过对分类点云和传输线模型之间的横向距离进行求解,再进行点云的转换。将云投射至传输线所在的竖直面上,通过对分类点云和抛物线模型进行纵向距离的计算,得出了分类点云与向量模型之间的距离、位置,并对其分类进行分类。

3.2 覆冰厚度检测

覆冰会增大传输线上的竖向负荷,使传输线上的垂向和横向应力都会同时增大。在这种情况下,输电线路的垂向和水平应力随一定的水平负荷而变化。同时,还可以根据结冰前和结冰后的比负荷变化来判断输电线路的负荷。由逆向计算出了传输线的垂度、横向应力等参数。基于上述理论,建立了基于电力线激光点云的无冰期和结冰期资料,对电力线结冰厚度进行了高精度反演。这主要由三个步骤组成。首先,将两相激光点云的传输线提取出来,并进行三维空间向量的重构。其次,利用模型曲线对线路水平应力进行分析,并输入线路的自重、水平应力、温度等已知参数。电力线和由电力线的状态方程决定了冻结状态。

由于激光点云能够精确地反映输电线路的整体分布特性,所以用空间模式-水平应力-覆冰厚度反演方法计算出的覆冰厚度为输电线路的平均冰厚度,也就是等效冰厚度。

为了检验激光点云传输线冰厚反演的效果,采用激光点云传输线的结冰观测资料,并将其作为基准。一种精确的估算方法,它反映了错误的最大分布,而绝对错误是指与基准的比率。利用等面积法,将实测的冰层厚度转化为等值冰的厚度。采样点沿着悬弧线的长度确定,最后测量的覆冰值为每个取样点长度的平均长度。

4 机载激光雷达技术的应用分析

4.1 关于机载激光雷达技术的应用分析

其基本原理是将 GPS 与激光测距技术结合起来,能够迅速、精确地测量目标和目标的三维坐标。它的测量精度更高,而且可以更快地获得地理位置。很多测绘工业更倾向于利用 Chelidar 航空扫描技术来对地表进行扫描和测量。在电网输电线路巡视时,采用机载激光雷达对输电线路进行扫描,获取和传回线路上的地形、空间环境参数,从而构成了一种立体的立体结构。它的基本原理是利用 Chelidar 技术获得地表喷口目标的环形反射强度,消除地面目标的回波,并提取出三维立体模型。由此可以对输电线路的实际工作状态进行评价。

4.2 在输电线路通道地物点云分类中的应用分析

输电线路的信道是电网中的重要组成部分,它包括了地形地貌和标志支撑的悬挂点,是输电线路划分中的主要监控数据信道点云,并对输电线路产生一定的影响。重点关注的目标,保证操作的稳定性和安全性。在实际应用中,无人驾驶的激光雷达技术必须通过多次试验来获取原始点云。分类与相关数据的记录,尤其是对各种地物的激光点进行了分割,使得原始点云能够按照过滤的方式精确地划分出地表和非地表。通过对不同的节点,可以构成不同的网络,从而实现三维的地面通道。为了确保数据的正确性和正确性,必须在多个数据进行比对。

4.3 针对激光雷达数据滤波功能的应用分析

所谓的“数据滤波”,就是指能够从车辆光线点云中提取出的数字地貌。

在利用激光雷达的资料筛选中,如从地表目标、建筑、三

维建模等方面,必须利用激光聚光数据进行准确的分割,其中以植物为中心。在电力线巡视时,要从电网中抽取电力线的点,必须采用滤波技术,以明确接点与特征点的区别。在实际应用中,对植物点、电力线进行滤波、分割等数据处理非常重要。

4.4 输电线路通道巡检中激光雷达扫描数据三维模型技术应用

传输线的三维建模也是整个三维建模的重点,而三维建模的目标是传输线自身,是电力系统安全分析的一个重要组成部分。在无人驾驶激光雷达技术所获取的参数及有关的地理信息的帮助下,电力线路巡检 GIS 的实时工作是保证线路安全的关键。所以,在对电力线路进行检测时,Chelidar 的技术扫描仪应该能为电力线路的表面和地面模型提供实时 3D 重构,从而能够生成 3D 立体影像,让三位技术人员能够利用,为传送线路的信道工作提供精确的资料。在实际使用时,必须正确地确定电塔与电源线的位置,并精确地确定隧道中的地面目标的空间关系,从而为传回的资料提供依据。该方法与地面目标的实际空间条件相吻合,并与塔架上装置测量的温度、湿度进行回传,便于进行力分析和仿真。

5 结语

综合上述内容,可以看出:无人机激光雷达技术在采集数据、测量地形特征、建立清晰的塔架模型、测量精度等方面,都具有较高的优越性。通过对实际地物和信道内部的连接进行了大量的三维数字建模,不但可以对线路中的线路进行正确的故障和异常的判定,而且能够通过位置信息的反馈来精确地确定线路和走廊元素的空间关系。与常规的线路检测技术比较,无人驾驶的激光雷达能够判断线路、线路与地面的距离、线路与植被、建筑物之间的距离、交叉口与线路之间的距离、线路与线路之间的距离是否符合工作规程的要求。并根据具体的具体条件,给出了相应的传输线磁场干扰和安全距离等数据。该系统还能对危险对象进行自动识别、全面检测和精确的警告,并向技术人员发送试验结果,为传输线路的安全和传输操作提供足够的支撑。

参考文献:

- [1] 孙全,薛菲.基于机载激光 LiDAR 的电网巡检应用研究[J].南方能源建设,2018,5(3):133-139.
- [2] 彭淑雯.输电通道机载 LiDAR 点云分类方法研究[D].中国科学院大学,2021.
- [3] 王成,王和平,习晓环,等.超特高压输电线路激光雷达巡检关键技术及应用[Z].中国科学院遥感与数字地球研究所.2019.