

探索复杂环境中电力线激光点云的自动提取

黄战 方飞

安徽宏源电力设计咨询有限责任公司

摘要:为处理复杂环境中电力线提取问题,给出了一种自动提取方法。基于主成分研究明确线路方向,把输电走廊分成若干空间网格,以应对植被点云的影响;再利用全新滤波算法剔除地物点,结合分布差异达到自动分离;提出分离后结果处理,获取激光点云数据。实验表明,所提方法的提取精度能达到99.69%,有着较好的鲁棒性。针对输电通道空间结构,本次研究在自动分析和巡检方面有着较大的运用价值。

关键词:激光技术;电力线;自动提取;复杂环境

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.075

引言:对于电力工业而言,它属于基础产业,在经济发展中具有重要的作用。想要达到经济发展的需求,逐渐提高了对输电线路建设的要求,其数量需求变高,穿越环境越来越复杂,导致线路维护工作难度加大。LiDAR技术是一项新技术,能够切实弥补航空摄影测量的不足,及时获得高精度信息,提升巡线效率,且具备全天候运行等优势。所以,研究电力线自动提取方法对电力巡线具有十分关键的意义。

一、研究背景

伴随智能电网建设推进,使得空间结构分析要求变高。围绕输电通道来看,输电线是不可或缺的设施,在电力输送上具有关键性的作用。输电线安全是系统正常运行的有力保障。实际上,电力线常常处于复杂环境中,树木、建筑等对其产生威胁。所以怎样基于复杂环境合理提取电力线,对研究空间关系非常关键。现如今,电力线提取方法涉及以下步骤:其一,剔除地物点的方式包括:根据分布高差特点,通过分割算法剔除,实际上,此算法仅适用平坦地形;为适应地形起伏,人们把输电线路分成若干小距离空间,再通过分割算法分离,此方式即便处理了地形起伏干扰,但无法明确高程阈值;采取滤波方法先对地面点进行剔除,之后根据角度的滤波方式对植被点进行剔除,此方式可以滤除很多植被点,但有着较大的计算量,并且可能被阈值干扰。其二,针对电力线提取方式的分析,是结合电力线性特点,通过Hough变换在二维空间提取,此方式能够切实分离电力线,但难以分割垂直电力线^[1];另外,通过监督分类的方式分离,采取仿射模型算法完成提取,初始模型十分关键,能决定提取精度;采用分类器来分

离,此方式需要很多的样本方可实现预期效果,并且采样不均也将提升错误分类率。对此,基于空间分布特点,提出适应复杂环境的提取方式。综合分析地形起伏影响,基于空间网格划分,通过滤波方式对地物点进行剔除。然后,采取半径搜索法来提取。最后,开展了提取实验,佐证了所提方法的可行性及精准性,精度高达99.69%。

二、电力线点云自动提取问题描述

(1) 机载LiDAR点云特点。根据扫描作业方法,将点云数据分成三种,一是电力线,二是地物,三是杆塔。其中杆塔点和地物点的分割,对电力线点云提取具有关键性的作用,有助于加强提取精度及效率,由此,应对点云数据分布和特点开展分析。首先,从水平空间分布来看,架空线路一般要经过平原及山区等复杂地形条件,若是所处地形环境存在差异,那么点云数据分布也将不同,对于平原等地形变化不明显的区域,所有杆塔通常都在相同水平高度,电力线点云分布高程和地面点之间没有重叠;对于丘陵等地势起伏明显的区域,因为地形条件变化相对较大,通常会导致邻近两杆塔水平高度存在差异,还可能会产生一端杆塔塔顶低于另一端底端的现象,在这一过程中,电力线点云分布高程往往会和地面点云分布出现重叠现象。其次,从垂直空间分布来看,基于特定区域,根据高程大小开展排序,按照由小到大的顺序,先是地物点,接着是杆塔点,最后是电力线点。对于地物点云来看,它在整个区域都有一定的分布,高程值不大,还有着连续性的特点;对于杆塔点云来看,其分布相对集中,高程比较大,在安装水平投影之后,常常分布于小范围区域,具有较大的密度;对于电力线点云来看,它在三维空间中是线状分布,因为考虑到安全方面的需求,一般会让其与地面之间存在一定的高程差,其密度非常小。根据导线前往小距离尺度范围,导线等具有明确的高程分布特点,电力线和杆塔高程在这个区域范围内要远超过地面高程。

(2) 传统提取方法局限性。识别和提取的过程也就是剔除其他物体点云的过程,在点云数据中涉及地物和杆塔点云,所以识别和提取过程一般分成两个部分,一是地物点云分割,二是杆塔分割。通过点云特点研究可知,电力线高程一般都在地面高程以上,与电力线进行对比,杆塔点投影具有很大的密度,可依次借助高程

及投影密度差完成分割和提取。传统方式也就是采取分割法及投影法达到分割与提取，基本原理是：统计高程信息，且计量全部点的平均高程，结合平均高程把点云分成两部分；之后依次统计各自平均高程；然后计算均值当作新的平均高程；重复以上步骤，直至处于指定范围；结合平均高程把点云分成两部分，高程低于平均高程的部分是地物点，大于平均高程的部分是非地物点，如图1所示。达到地物点分割的前提下，将非地物点投影，之后根据一定间隔分成若干网格，统计点云数量当作点云密度值，据此把网格内的点进行划分，完成电力线提取。此环节需要把三维点投影，找出电力线和非电力线后，实施对照，达到三维空间定位，多次映射会干扰算法效率^[2]。理论研究和实践说明：传统方式运用于平坦区域时，提取效果较好，但在起伏较大的区域有着一定问题。分析分割原理可知：是借助平均高程明确分割阈值，地形平坦区域，因层次分明、地物点点云密度较大，阈值分割效果较好；地形变化较大地段，因分布空间容易发生重叠，在分割阈值处于其中时，会导致一些电力线点被认定为地物点删除，同时大于阈值的难以剔除，提取效果不好，如图2。根据图2可知，与右端地势进行对比，左端地势相对较低，围绕整体点云来看，其阈值控制在电力线和地面点间，一些电力线受到剔除，使得电力线提取不全面。

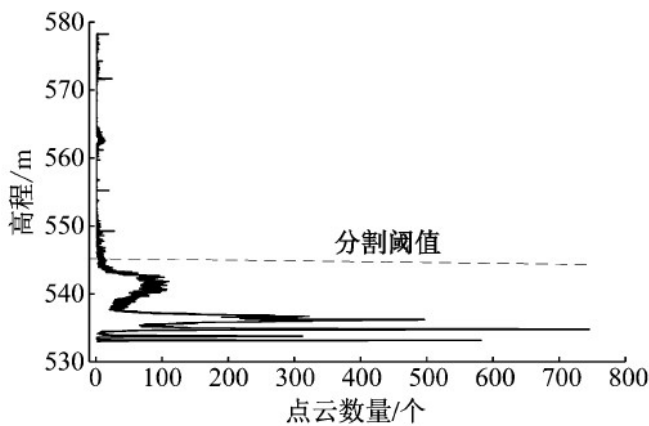


图1 高程分布和分割阈值选取

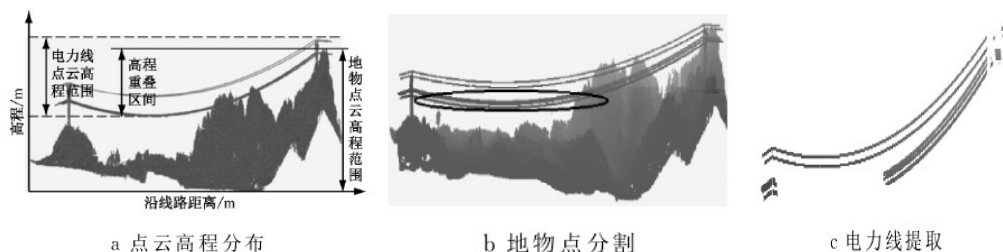


图2 传统方法测试结果

三、基于复杂环境下电力线激光点云的自动提取方法

通过LiDAR扫描获取的输电走廊数据，不但涉及点云数据，也存在很多的地物点及电塔点，所以正式提取前，应当对原始数据开展预处理。本文在复杂环境下，使用空间网格划分法，针对网格采取从顶向下的方式对地物点进行分离，且借助密度介绍子分离电塔点，达到提取预处理。(1)对网格使用自顶向下的方式分离地物点。通过LiDAR扫描获得的数据包括地面点、植被点等。针对地势起伏较大的线路，往往会发生电力点与地物点重叠情况。如果把线路分成若干空间网格，那么网格近似点云分布，于是能够对网格开展处理且切实处理地势起伏问题。不仅如此，因分布杂乱，被地物点干扰较小。根据这些特征，采取自顶向下方式对地物点进行剔除^[3]。其一，根据主成分分析法明确线路走向：构建协方差矩阵，特征向量一般是点云主方向，具体来看就是线路走向，将它设成X轴方向。其二，网格划分：把尺度设为dx，把点云空间分成n个网格。其三，单元格划分：划分尺度设为dz，朝着z轴的方向，把网格分成mi个单元格，表示为Si, j。其四，通过搜索算法来对地物点进行剔除。对网格开展处理，因宽度相近，所以通过各塔型的宽度，设计初始间距d，根据平面宽度改变特征，明确边界值，基于删除边界值之外点云进而完成大部分地物点剔除；之后根据点云投影条数，对网格开展搜索，在电力线条数相等时，对应高度即是切割阈值，去除其以下的点云，完成地物点剔除。最终，实现网格中地物点剔除。

(2) 设定适当密度描述子阈值。在通过以上算法处理之后，只保留了线塔点云和少许噪声点云，后者一般是高空飞点，不干扰提取。为达到自动提取，需要对杆塔点云进行剔除。结合点云密度特征，采取统计法分割电塔，以下是实现过程：对空间网格开展分割，设划分尺度为dy，朝着y轴的方向把网格分成mi个单元格。基于设置适当密度描述子阈值就能够分割线塔点云，结合所处位置，可以划分成单档数据，方便提取。通过验证，此方式能够切实剔除电塔点云。(3) 使用半径搜索算法提取。在对原始数据进行预处理之后，可以获得

电力线点云数据。结合输电线路设计要求，在上下层电力线间以及同程水平电力线间保留科学的间隔宽度。结合该特征，借助半径搜索算法对电力线进行提取。因为激光雷达扫描角度，还有物体对其吸收程度，会对电力线点云数据造成影响，极易造成数据稀疏问题，不利于垂直方向单根电力线的运行^[4]。另外，电力线还有着不同的弧度，也就是电力线自重，会造成自然下垂现象，基于地势起伏部位，单档距电力线具备最小及最大弧垂值，由此，以往借助高程阈值对电力线进行分离的方式在地形复杂条件下的表现并不好，无法对实际阈值进行科学确定。针对以上问题，文章通过对半径搜索算法的分析，对单条电力线进行提取，其原理包括下述方面。第一，找到电力线点云数据T中x值最小点，将其当成初始搜索点p，同时构建搜索半径r，在这之中，r一般控制在上下线间距的三分之二以下。第二，围绕搜索点p，将r当作半径，把搜索的点归为集合Sc，其余点则归为集合Rc，对能否搜索新的点进行科学分析，若是可以搜索新的点，需要调整p点，将其设置成x值最大点；如若不然，将顺着主方向平移构建新的点。第三，如果 $\max(x(T) - px)$ 的数值在r值以下，那么可以开展一次搜索，并提取一条点云数据，执行下一步骤，如若不然，还要重复第二步。第四，如果Rc中没有点云，应暂停全部搜索，如若不然，需要在Rc中获得x值最小点，将其当成初始搜索点p，继续步骤二及步骤三。

四、试验测试与讨论

为了对文章提出的方法在复杂条件下应用的可行性进行验证，选用了多个复杂地形条件和多种塔型的机载激光点云数据开展验证。首先，数据1，其覆盖面积是1347.5*280米，其中总计3221968个三维数据点，且输电走廊地形不平整时，附近存在很多植被干扰，其中与电力线相连的是羊角塔。其次，数据2，其面积是1482.1*261米，其中涉及3288538个三维数据点，所在地形十分陡峭，高空中存在噪声点干扰，与电力线相连的是酒杯塔。最后，数据3，其覆盖面积是625.1*826.5米，其中总计7752188个三维数据点，其地形条件十分平坦，与电力线进行连接的杆塔是猫头塔，其电力线按照等腰三角形进行建设。

实际进行验证过程中，涉及的参量有dx、dy和dz，在这之中，dx一般是根据杆塔厚度开展设置，其数值处于3至6米之间，dy与dz通常是基于电力线水平和垂直间距之上开展设置的，一般都在间距的二分之一以下^[5]。该实验中将dx、dy和dz依次设置成4米、1米和1米，可以根据主方向把数据1、数据2及数据3依次分成337个、374个及230个空间网格。（1）线塔点云分离。基于原

始点云数据空间网格划分之上，借助自上而下的方式，采用滤波算法对地物及线塔点云数据进行分隔。根据实验结果得知，该算法对复杂地形条件具有较强的适应性，通过实验结果得知，可以对一些电塔的基座进行剔除，因为该研究强调电力线的提取，所以不用对完整性进行分析。在对剔除地物点所有空间网格密度描述子进行计算之后，借助折线图呈现统计结果，不管输电走廊的地形怎样改变，杆塔类型怎样改变，电塔点的空间网格密度描述子都接近于1。由此可见，在对线塔点云进行分离时，把描述子阈值设置成与1接近的设置，也就是把电力线点云数据通过线塔点云进行分离，对电塔点进行剔除后获得相应的实验结果。（2）单条提取实验。将剔除电塔点云之后剩下的电力线点云借助半径搜索法，对电力线进行搜索。依次对三组数据开展实验，同时选取其中任一档数据开展结果呈现，对提取完成的电力线借助多种多样的颜色开展染色区分。由此得知，半径搜索法可以完整地达到对电力线的有效分离。

（3）提取精度评估。想要对提取精度开展验证，针对以上实验的提取精度开展评估，主要是根据点云提取率开展计算，提取率等于提取点云数除以标定点云数。电力线总提取精度超过99%，由此，对于电力线点云数据而言，不管是连接塔型存在差异，还是地形条件不同，亦或存在干扰的点云数据，文章探究的电力线提取方法均可以使用。

结论：基于研究塔线物空间分布特征，采取网格分割算法，提出一种自动提取方法。在复杂环境内，此方式能够精准提取电力线，同时针对输电走廊有着良好的鲁棒性。通过试验可知，所提方法切实处理了提取精度不高的问题，在空间结构智能研究方面有着较大的运用价值。

参考文献

- [1] 辛浩浩, 张强, 郭锦萍. 机载激光点云中电力线的自动提取与重建[J]. 测绘工程, 2021, (05): 58-63.
- [2] 李彩林, 李祥瑞, 王柏涛. 激光雷达点云电力线自动提取算法[J]. 测绘通报, 2021, (06): 33-38.
- [3] 王伟玺, 李晓明, 李游. 基于机载激光点云的电力线自动提取方法[J]. 激光技术, 2021, (03): 362-366.
- [4] 彭向阳, 徐文学, 王珂. 机载激光点云数据中电力线自动提取方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, (12): 1600-1605.
- [5] 李靖, 钱建国, 方莉娜. 车载激光点云中道路环境几何特征提取[D]. 导师: 杨必胜. 武汉大学, 2020.