

输电线路无人自主精细巡检技术与应用研究

文 / 郭彦明 齐晓隆 北京数字绿土科技有限公司

输电线路精细巡检主要实现对线路本体、杆塔本体及其附属设备等缺陷状况进行巡视。本研究基于激光雷达系统采集输电通道高精度三维点云数据，通过对点云数据的预处理、航线自动生成、人工修改编辑等操作后，自动进行航点间距检查和飞行安全性检查并生成航线上传至飞行账户。最后，无人机通过云端账户调取航线并实现无人驾驶自主精细巡检。经实际应用测试结果表明，无人自主精细巡检可以多方位巡视输电线路缺陷，极大提升巡检效率，确保电网安全运行。

传统的人工输电线路巡检工作强度大、时效差、巡视效果差，难以多方位观察线路本体、线路附属设备、杆塔本体、塔上附属设备的状况。如果输电线路巡检工作不全面、不到位，则势必会造成输电线路发生故障，进而影响到电力的正常供应，无人机的出现，为电力输电线路的巡检工作带来了巨大的革新。无人机能够有效代替作业人员来进行输电线路巡检，使巡检人员能够通过无人机来检查输电线路、杆塔等的故障情况，极大减少登塔高空作业频率，有效减轻巡检人员的工作强度。但通过手动控制无人机进行精细巡检，其工作效率仍然相对较低，每个巡检人员每天可完成十几级杆塔的精细节巡检任务，对于山区的输电线路则更少，难以满足输电线路精细巡检的时效性。随着无人机 RTK 技术的发展以及高精度三维点云数据的采集，输电线路无人自主精细化巡检技术可以较好地解决这些问题。

无人自主精细巡检技术路线

通过激光雷达系统采集的高精度点云数据具备精确的位置和高程信息，可根据这些信息在输电线路走廊三维可视化展示平台上，根据不同设备的特点自动

设计规划航线，并能够保存和下发，机组人员可直接将该航线传入无人机控制面板，实现无人机依据航线自动驾驶进行采集数据，如图 1 所示。

高精度点云数据采集。激光雷达点云数据采集完成后，通过后处理差分技术解算得到高精度三维点云数据，可获得专业的精度保证。

三维点云数据预处理。对输电线路点云数据进行去噪、分类处理，基于高精度点云，提取到的杆塔巡视部位经纬度准确，高程及平面位置误差不大于 20cm。

精细巡检航线规划。通过激光三维点云视图刺点，可方便、快速、准确提取杆塔巡视部位点；能够自动根据提取的杆塔巡视点，计算出最佳的拍摄点位置，并自动生成航线；对航线进行航点间距及飞行安全检查，确保无误后上传云端账户。

无人自主精细巡检。通过云端账户下载精细巡检航线，然后上传无人机飞控，进行自主巡检拍照。无需手动控制无人机学习采集点，就能完成杆塔精细化航线自动生成，避免人为操作无人机产生的安全隐患。

1. 激光雷达系统。激光雷达扫描系统 (Lidar, Light Detection and Ranging) 是集激光扫描仪、全球定位系统 (GPS, Global Position System)、惯

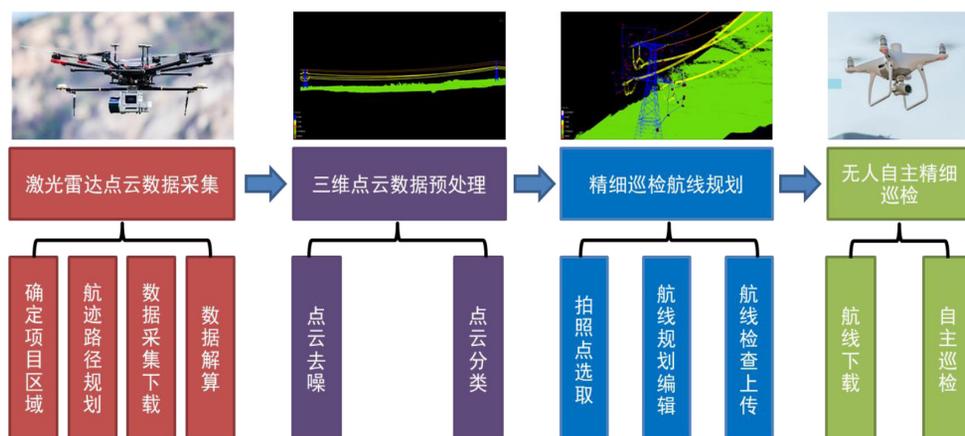


图1 无人自主精细巡检技术路线

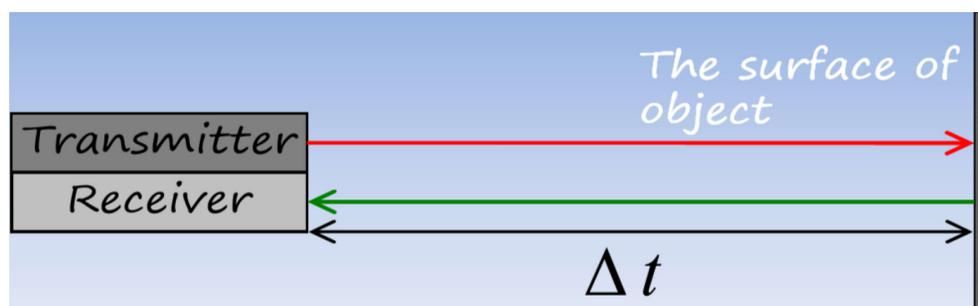


图2 激光雷达数据采集原理

性测量单元（IMU， Inertial Measurement Unit）、高分辨率数码相机于一体的新型主动式快速测量系统，能够快速、精确地获取地表三维空间信息和目标影像。

激光雷达扫描系统以激光器作为发射光源，以光电探测传感器为接收元件，依据激光测距的原理进行距离和角度的测量和记录，以此确定被测对象的方位信息。光脉冲打在物体上并反射回到接收器的传播时间，光速是已知的，传播时间即可被转换为对距离的测量。激光雷达数据采集原理如图2所示。

激光雷达测距公式： $S = C \times \Delta t / 2$ (1)

其中， S 为传感器到目标物的距离， c 为光速， Δt 为激光往返时间。

由LiDAR获取数据结合激光扫描角度、时间及

GPS记录的位置和IMU记录的角度等参数，可准确地计算出每个激光点的三维坐标（ X 、 Y 、 Z ），进而得到目标物的三维激光点云数据。

2. 输电线路激光雷达数据采集系统平台。输电线路三维激光雷达数据获取可采用直升机、无人机、车辆、背包等多种平台的三维激光雷达扫描系统，考虑到输电线路会经过山区、城区以及禁飞区域，可根据不同场景选择合适设备，对输电线路通道进行三维点云数据获取。由于激光雷达属于非接触式、主动式测量，且具有抗有源干扰能力强、可穿透植被等特点，用于输电线路通道高精度三维数据的获取具有较大优势。

3. 数据采集流程。利用激光雷达扫描系统获取输电线路高精度三维点云数据，主要流程包括：确定项

目区域、航迹（路径）规划、数据采集、数据下载、POS 及点云数据解算等。

数据采集完成后，采用数字绿土 LiCloud 云端自动后处理 POS 航迹解算和点云解算，同步生成激光雷达点云数据航迹质量报告和 POS 精度报告，自动生成三维点云数据。

三维点云数据预处理

由于噪点会影响精细巡检航线的规划质量，所以必须对解算得到三维点云原始数据进行去噪处理，另外对点云数据进行分类，分出杆塔、导线等类别，便于选择拍照点及航线的相关安全性检查。采用 LiPowerline 电力巡检数据处理分析软件进行数据预处理结果。

精细巡检航线规划

1. 拍照点选取。基于高精度三维点云生成航线，首先通过人工在点云数据上选取拍照点，如绝缘子、防震锤等部件，在 LiPowerline 软件中进行拍照点选取。

2. 航线规划编辑。杆塔拍照点选取后，通过生成航线功能，设置安全距离、基本高度、过塔高度等相关参数，即可自动生成巡检航线路径。生成航线参数设置如图 3 所示。



图 3 生成航线参数设置

3. 航线检查。为保证自动巡检的安全，对于生成的航线进行航点间距检查和飞行安全性检查。航点间距检查确保航线点间距大于无人机能识别的最小点间距，飞行安全性检查主要检查巡检路径与线路及杆塔本体的距离。经航线检查无误后通过 LiCloud 云端上传航线数据进行管理，航线生成编辑后结果如图 4 所示。

无人自主精细巡检

无人自主精细巡检采用动态差分定位技术，结合地面布设在控制点上的 GPS 基站接收机或者连续运行参考站系统（CORS, Continuously Operating Reference Stations）、千寻账号等，通过动态实时差分，为具备 RTK（Real-time kinematic, 实时动态）载波相位差分功能的无人机提供精准的定位数据，整个过程中改正了对流层延迟误差、电离层延迟误差、星历误差以及多路径效应等对系统定位造成影响的误差，从而保证无人机按照规划航线精确执行巡检任务。

采用带有 RTK 功能的无人机设备，通过云端账户下载自动巡检航线，然后上传执行巡检任务，自主按照航线对线路杆塔本体低空近距离巡检，采集关键部件的照片，如图 5 所示。

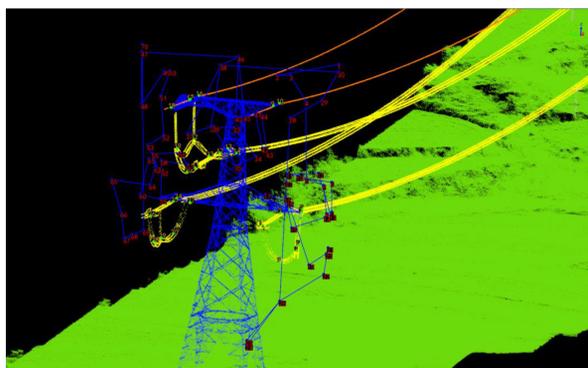


图 4 航线生成编辑后结果

结语

输电线路无人自主精细巡检技术与应用研究,以激光雷达系统采集得到的输电线路通道高精度三维点云数据为基础,选取拍照点,自动生成航线,通过云端账户进行管理下发,外业巡检人员下载航线后执行精细巡检任务。无人自主精细巡检技术可实现航线自动生成、无人机自动飞行、自动定点精准拍摄,提高了架空线路精细化巡检作业效率和智能化水平,降低人员参与度,能极大地解决结构性缺员、人员经验水平参差不齐、巡检影像效果不佳等问题。■

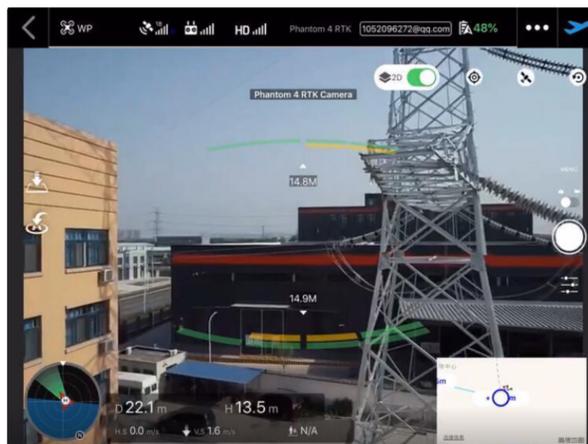


图5 自主精细巡检地面站监控

参考文献:

- [1] 黄谨益. 电力输电线路巡检中无人机的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2019(01):233.
- [2] 严文涛, 王玮, 苏琦, 刘荫, 殷齐林, 郭爽爽, 刘越. 基于输电线路三维信息的无人机智能巡检技术研究 [J]. 中国高新科技, 2018(19):76-78.
- [3] 傅荣宗, 丘文彪. 小型多旋翼无人机在架空输电线路巡检应用探索 [J]. 科技创新与应用, 2018(33):170-171.
- [4] 陈曦. 多旋翼无人机在输电线路巡检中的应用 [J]. 科学技术创新, 2018(36):45-46.
- [5] 陈曦. 多旋翼无人机在输电线路巡检中的应用 [J]. 科学技术创新, 2018(36):45-46.
- [6] 光明, 鄂爱东, 钱凤阳, 苏力德, 王佳琦. 基于三维激光扫描技术的输电线路无人机巡检方法分析 [J]. 内蒙古电力技术, 2019, 37(01):21-24.
- [7] 曾懿辉, 何通, 郭圣, 熊勇良, 崔颖如, 左剑, 罗昊. 基于差分定位的输电线路多旋翼无人机智能巡检 [J]. 中国电力, 2019, 52(07):24-30.
- [8] 操松元, 陈江, 严波, 李文平, 方登洲. 无人机巡检输电线路的路径规划算法研究 [J]. 机械与电子, 2019, 37(05):40-45.
- [9] 廖俊杰. 输电线路巡检中无人机航测技术的运用 [J]. 电子测试, 2019(12):99-100.
- [10] 彭福先, 张玮, 祝晓军, 罗明, 董峰, 荣玉. 基于激光点云精确定位的输电线路无人机自主巡检系统研究 [J]. 智慧电力, 2019, 47(07):117-122.
- [11] 林仁雄. 输电线路无人机自动巡检的实现与应用 [J]. 科技资讯, 2019, 17(21):35-36.
- [12] 董素河. 输电线路智能无人机巡检的研究及应用 [J]. 石化技术, 2019, 26(08):350-351.
- [13] 刘军, 刘健辉. 无人机在输电线路巡检中应用的探索 [J]. 中国新通信, 2019, 21(17):109.
- [14] 万力, 刘军. 无人机巡检输电线路技术的应用分析 [J]. 中国新通信, 2019, 21(17):107.
- [15] 张昌赛, 刘正军, 杨树文, 左志权. 大型无人机输电线路巡检数据采集与处理关键技术 [J]. 测绘通报, 2017(S1):136-139+163.
- [16] 冯凯. 输电线路采用多旋翼无人机精细化巡检方法探讨 [J]. 海峡科技与产业, 2018(07):13-15.
- [17] 田力. 输电线路杆塔无人机自动精细巡检系统研究 [J]. 电力与能源, 2019, 40(02):130-134.