

Application of Mapping and Modeling Technology in Multi-rotor Unmanned Aerial Vehicle Power Inspection

Jian Chen Zizhao Luo Jinglin Huang Yuxuan Sun Chunxia Hu

Guangzhou City University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510800, China

Abstract

This article focuses on the application of multi-rotor unmanned aerial vehicle power line inspection mapping modeling technology in university teaching. The curriculum integrates knowledge from multiple disciplines, through step-by-step training and mainstream software and hardware, concentrating on the dual core of “technical application + professional ethics”. The teaching breaks away from the simple “pilot training”, achieving an upgrade from “being able to fly” to “being able to use”, enabling students to master the full chain skills of power line mapping parameter setting and professional software operation. The course covers shooting preparation, core parameter operation, and 2D/3D modeling with DJI Terra, and through comparing the accuracy and efficiency of different parameter results, formulates a standardized teaching plan. This model enhances students’ employment competitiveness, builds a closed-loop curriculum system, and provides industry with skilled professionals with comprehensive capabilities.

Keywords

Multi-rotor drones; power inspection; surveying and modeling; industry scenario applications

多旋翼无人机电力巡检中测绘建模技术应用

陈剑 罗梓钊 黄景林 孙宇轩 胡春霞

广州城市理工学院, 中国 · 广东 广州 510800

摘 要

本文聚焦多旋翼无人机电力巡检测绘建模技术在高校教学的应用。课程体系融合多学科知识, 通过阶梯式训练与主流软硬件, 聚焦“技术应用+职业素养”双核心。教学跳出单纯“飞手训练”, 实现从“会飞”到“会用”的升级, 使学生掌握电力测绘参数设置与专业软件操作等全链条技能。课程涵盖拍摄准备、核心参数操作及DJI Terra的2D/3D建模, 并通过对比不同参数成果的精度与效率, 形成规范教学方案。该模式提升学生就业竞争力, 构建闭环课程体系, 为行业输送复合型技术人才。

关键词

多旋翼无人机; 电力巡检; 测绘建模; 行业场景化

1 引言

高校无人机实操培训以“理论+实践+场景化”为核心, 聚焦技术应用与电力行业适配, 兼具专业性、系统性与创新性, 其核心特点如下:

2 课程体系兼具理论与行业适配性

覆盖无人机原理、空气动力学、电子电路、GPS 定位技术等核心知识, 同时融入民航局飞行法规、空域管理、安全规范等合规内容, 兼顾技术理解与合法作业能力。结合电力巡检, 设置针对性课程模块, 如电力线路测绘参数设置, 贴合就业需求。跨学科融合: 整合计算机(数据处理)、地理信息(GIS)、动化(飞行控制)、电力工程(行业应用)

等多学科知识, 培养复合型技术人才。

3 实践教学强调“从基础到高阶”的阶梯式训练

分阶段实操: 从设备组装、信号校准、基础飞行等入门技能, 逐步过渡到航线规划、参数调试、应急处置等进阶操作, 最后聚焦行业专项任务(如电力杆塔环绕拍摄、三维建模数据采集)。软硬件支撑充足: 配备 Phantom 4 Pro V2 等主流实训机型, 搭配 DJI GO 4、GS Pro、Terra 等专业软件, 模拟真实作业环境, 确保学员上手即掌握行业常用工具。

4 人才培养聚焦“技术应用+职业素养”双核心

注重资质认证: 对接 UTC 电力巡检认证等行业资质, 课程内容与考证标准衔接, 提升学员就业竞争力。强化数据处理能力: 专项训练 DJI Terra 等软件的三维建模、影像拼接、

【作者简介】陈剑(1975—), 男, 中国湖北武汉人, 本科, 副教授, 从事电气自动化控制, 电网输配电研究。

缺陷识别等功能,让学员不仅会“飞”,更会“处理成果”。

5 教学模式灵活创新,适配高校育人特点

理论与实践深度结合:课堂讲解与实验室操作、户外实训交替进行,如讲解“重叠率设置”后,立即通过GS Pro软件实操,强化知识吸收。产学研协同育人:与无人机企业、电力公司、电力运维企业、电力测绘院等合作,引入真实项目案例,邀请行业专家授课,让学生接触一线技术需求^[1]。

目前无人机教学多基于图传系统进行影像采集与基础飞行训练,仍停留在“飞手”层面,与行业应用结合不足。本文将无人机电力巡检中的测绘建模技术融入教学,引导学生跳出单纯操作,深度对接行业需求,实现技能从“会飞”到“会用”的升级。

掌握行业核心技术:精通电力场景测绘参数设置(如重叠率、航线角度、云台俯仰角)、数据采集质量控制及DJI Terra建模流程,形成“飞行操作+数据处理+成果输出”全链条能力。适配行业专项需求:掌握杆塔环绕拍摄、“井字形”航线测绘及绝缘子、金具等关键部件的精准拍摄与缺陷识别逻辑^[2],技能直接匹配岗位要求。

提升软件应用能力:熟练使用DJI GS Pro航线规划、DJI Terra空中三角测量与三维建模等行业常用软件,具备原始数据筛选、格式转换、模型优化等数据处理能力,弥补纯飞手训练的技能短板。

6 结合无人机电力巡检中的测绘建模技术开展教学

6.1 技能维度升级,从“会飞”到“会用”

掌握行业核心技术:熟悉无人机基础操作,精通电力场景测绘参数设置、数据采集质量控制及DJI Terra建模流程,形成“飞行操作+数据处理+成果输出”全链条技能。

适配行业专项需求:掌握杆塔环绕拍摄、“井字形”航线测绘及山地、林区等特殊作业^[3],熟悉绝缘子、金具等关键部件的精准拍摄与缺陷识别逻辑,技能匹配岗位要求。

提升软件应用能力:熟练使用DJI GS Pro航线规划、DJI Terra空中三角测量与建模,具备数据筛选、格式转换和模型优化能力,弥补纯飞手训练的短板。二、就业竞争力显著提升

岗位选择更广泛:可适配电力巡检公司、测绘院、无人机应用服务商等多个领域的岗位,包括电力巡检工程师、测绘数据处理专员、三维建模技术员等,而非局限于基础飞手岗位。

6.2 实践与行业需求无缝衔接

适配行业技术发展:当前电力巡检正朝着“精细化、数字化、智能化”转型,测绘建模技术是核心支撑,学生提前掌握该技术,能顺应行业升级趋势,避免技能过时。

6.3 学习与发展的便利优势

结合本校的输电实训基地,实践场景中有2座铁塔和1

座电杆,开展模拟测绘练习,便于教学实践开展。成果可视化强:三维建模生成的电力线路模型^[4]、数字正射影像图等成果直观可见,学生能快速感知操作效果,提升学习兴趣与成就感。

在利用无人机进行电力巡检测绘建模的应用训练项目中,首先是进行无人机拍摄过程与操作的核心要求,涉及到:

6.3.1 拍摄前准备

设备检查:确认大疆精灵4无人机机身、螺旋桨、电池状态正常,遥控器信号连接稳定,Micro SD卡容量充足。

软件配置:安装并更新DJI GO 4和DJI GS Pro,确保固件兼容。

环境确认:选择风速 $\leq 10\text{m/s}$ 、能见度 ≥ 500 米的晴天,起降点平整开阔($\geq 10\text{m} \times 10\text{m}$),远离电磁干扰源和人群密集区。

空域申请:本次飞行高度控制在60m以下不用进行空域的申请。

6.3.2 拍摄过程要求要点

信号与定位:起飞前确保GPS卫星数 ≥ 12 颗,图传信号强度 $\geq 85\%$,指南针校准完成。

质量监控:实时查看图传画面,避免模糊、遮挡,每完成1/3航线核查照片数量;强光环境调整曝光补偿 $\pm 0.3\text{EV}$,保证亮度均匀。

电量管理:电池初始电量 $\geq 80\%$,飞行中剩余电量 $\leq 15\%$ 立即返航。

安全规范:飞行高度不超过60m,与电力线路保持安全距离,飞手全程目视无人机,观察员监控周边环境。

打开DJI GS Pro软件。点击“进入飞行任务列表创建任务,”“测绘航拍区域模式”,选择飞行器选点。

6.3.3 三组拍摄参数与操作流程

参数组1:旁向90%+航向90%+角度 $0^\circ/90^\circ$ +高度45m

核心设置:航向与旁向重叠率均设为90%,分两次飞行,首次航线角度 0° ,二次调整为 90° ,飞行高度固定45m。

操作步骤:在DJI GS Pro中创建“测绘航拍区域模式”,采用飞行器选点标记4个边界点生成闭合区域;基础设置选择“沿航线方向”“悬停拍照”“扫描模式”,飞行速度5.0m/s;高级设置中设定边距5m、云台俯仰角度 -45° ,任务完成后自动返航。两次飞行仅变更航线角度,其余参数保持一致。

参数组2:航向85%+旁向85%+角度 0°

核心设置:航向与旁向重叠率均为85%,航线角度 0° ,飞行高度按实际场景匹配(参考45m基准)。

操作步骤:选点方式与参数组1一致,基础设置中飞行速度维持5.0m/s,高级设置边距5m、云台俯仰角度 -45° ,单次飞行完成数据采集,无需二次调整航线角度。

参数组3:航向90%+旁向90%+角度 0°

核心设置:重叠率与参数组1相同(均90%),仅保留 0°

单一航线角度，飞行高度 45m。

操作步骤：与参数组 2 流程一致，仅在高级设置中调整重叠率至 90%，其余基础参数（拍照模式、飞行速度等）保持统一。

7 大疆智图（DJI Terra）操作流程与要点

7.1 数据导入与预处理

原始数据导出：通过读卡器取出 Micro SD 卡，复制 RAW/JPG 照片、GPS 坐标数据及飞行日志，按“作业日期-线路名称-参数组”命名文件夹，双重备份至移动硬盘与电脑。

数据筛选：剔除模糊、过曝/欠曝文件，确保照片数量与规划一致，GPS 坐标无异常偏差。

7.2 2D 飞行位置图生成步骤

新建任务：打开 DJI Terra，点击“新建任务”，选择“可见光”类型，输入任务名称（含参数组标识）。

导入数据：展开“照片”选项栏，导入对应参数组的照片文件夹，系统自动在地图上显示拍摄点位。

空三计算：选择“电力线场景”，计算模式设为“单机计算”，高级设置中填写被摄地物距离 45m，点击“开始空三”。

生成 2D 图：空三完成后，选择“二维地图”功能，系统基于拍摄点位坐标与航线规划自动生成飞行位置图，包含航点分布、航线轨迹及区域边界。

7.3 3D 模型生成步骤

参数设置：空三计算通过后，展开“三维模型”选项栏，

输出坐标系选择 WGS84/UTM zone 49N，点云与模型格式按需选择（如 PLY、OBJ）。开始重建：确认分辨率设为“高”，点击“开始重建”，等待系统完成纹理映射与模型优化。

模型校验：检查模型细节完整性，确保无扭曲、缺失，电力线路及周边地形清晰可辨。

7.4 软件操作核心要点

场景匹配：电力线路测绘需选择“电力线场景”；若涉及杆塔特写，可切换“环绕场景”。

参数一致性：同一参数组的相机参数需与飞行时保持一致，避免解算误差。

成果备份：2D 图导出为 PNG/JPG 格式，3D 模型保存为多格式（PLY+OBJ），同步生成质量报告记录解算情况。

7.5 精度与实用性对比

2D 图：可直观判断航线是否存在漏拍区域，参数组 1（双角度）的轨迹呈“井字形”，覆盖密度高于参数组 2（85% 重叠率）和参数组 3（单角度 90% 重叠率）。

3D 图：不同重叠率配置（85% 双重叠率、90% 单航线重叠率、90% 双航线重叠率）下，3D 模型的核心差异集中在细节还原度、建模精度、数据完整性及处理效率，以下是具体分析对比：

3D 模型：参数组 1 因双角度+高重叠率，模型无拼接缝隙，细节还原度最高；参数组 2（85% 重叠率）在复杂地形处可能出现数据空洞；参数组 3（单角度 90%）虽重叠率高，但缺乏纵向交叉覆盖，立体精度略逊于参数组 1。

表 1 核心参数与 2D 图呈现特征对应关系

重叠率配置	航点分布密度	航线覆盖特征	航线覆盖特征	数据冗余度
航向 85%+ 旁向 85% （单航线 0°）	中等	航线间距均匀，无明显密集区	边界无额外冗余覆盖，贴合标记区域	低
航向 90%+ 旁向 90% （单航线 0°）	较高	航线间距缩小，相邻航线航点衔接更紧密	边界航点密度略高于 85% 配置，覆盖更充分	中
航向 90%+ 旁向 90% （双航线 0° +90°）	极高	呈“井字形”交叉分布，交叉点航点密集	低边界外扩 5m 缓冲带，无漏拍盲区	高

表 2 核心参数与 3D 模型呈现特征对应关系

重叠率配置	细节还原度	建模精度（误差范围）	数据完整性	处理效率 （单区域）
航向 85%+ 旁向 85%（单航线 0°）	中等	≤ 0.3 米	常规区域完整，复杂地形易漏细节	10-15 分钟
航向 90%+ 旁向 90%（单航线 0°）	较高	≤ 0.2 米	多数细节完整，杆塔边缘偶有缺失	15-20 分钟
航向 90%+ 旁向 90%（双航线 0° +90°）	极高	≤ 0.1 米	全场景无死角，绝缘子、金具等结构较清晰	30-40 分钟

7.6 2D 飞行位置图与 3D 模型的对比分析

①核心功能差异

2D 飞行位置图与 3D 模型的对比分析见表 3。

②应用场景适配：

2D 图适用于作业汇报、流程复盘，快速核对航线参数是否符合设计要求，操作门槛低、易传播。

3D 模型适用于精准测绘、工程设计，可测量杆塔高度^[5]、线路间距等空间数据，参数组 1 的模型因双重航线角度，测量误差最小（≤ 0.2m），参数组 2 误差稍大（≤ 0.3m），参数组 3 在纵向维度误差明显。

③数据处理效率：

2D 图：解算速度快，单参数组处理时间约 10-15 分钟，

不受硬件性能限制。

3D 模型：参数组 1 因照片数量多（双角度拍摄），处理时间约 30-40 分钟；参数组 2 和 3 处理时间约 30-60 分钟，且模型简化程度更低时效率进一步下降。

④ 优劣总结

2D 飞行位置图：优势是生成高效、直观展示航线轨迹，便于作业合规性核查；劣势是缺乏空间维度信息，无法满足精准测量需求。

3D 模型：优势是立体还原场景细节，支持空间测量与高精度分析，参数组 1 的双角度 + 高重叠率配置效果最优；劣势是数据处理耗时久、对硬件要求高，文件存储占用大。

在教学上构建“理论 - 实操 - 成果输出”闭环，形成“基础飞行 + 行业专项 + 数据处理”递进式课程体系。评价维度更全面，从飞行参数、数据质量到模型精度多方面考核，贴合行业用人标准，同时作业场景安全可控。

表 3 2D 飞行位置图与 3D 模型的对比分析

对比维度	2D 飞行位置图	3D 模型
呈现内容	平面航线轨迹、拍摄点位分布、区域边界、坐标信息	三维地形、电力线路立体形态、杆塔细节、空间距离关系
核心用途	作业过程追溯、航线合规性核查、拍摄覆盖范围验证	测绘精度分析、三维建模成果展示、空间尺寸测量、缺陷立体定位
数据基础	主要依赖 GPS 坐标与航线规划数据	基于多视角照片的空三解算、纹理映射与点云重建

参考文献

[1] 大疆创新. DJI GS Pro 无人机飞行规划软件用户手册[Z]. 2023.

[2] 王鹏, 李艳, 周亮. 高校无人机测绘专业“产学研用”协同育人模式研究[J]. 测绘工程, 2023, 32(04): 76-80.

[3] 贾辉,陈伟,郑明海,等. 高压输电线路中运用无人机电力巡检技术的重要性分析 [J]. 电工技术, 2025, (S1): 276-278+281.

[4] 靳安民,陈光耀,王乙景. 无人机倾斜摄像技术在水利工程测量中的应用分析 [J]. 中国信息化, 2025, (10): 85-86.

[5] 张博. 基于无人机倾斜摄影的测绘工程三维建模技术研究 [J]. 科技与创新, 2025, (16): 203-205+209.