

Analysis of Key Technologies and Engineering Practices in UAV Aerial Survey Image Processing

Shicai Chen Jianhua Luo

Kunming Renweifeng Technology Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

With the in-depth implementation of the low-altitude economic strategy, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial surveying has shifted from the original single data acquisition to an important engine for building a digital twin base. This paper mainly studies the current technical system and engineering implementation path, and analyzes the key nodes of the entire chain such as high-precision acquisition, automated aerial triangulation and encryption, and large-scale three-dimensional reconstruction. The article discusses the image matching algorithm based on deep learning, presents a multi-source heterogeneous data fusion architecture, and predicts that cloud-edge collaboration will promote the progress of the industry. The coupling of technical logic and practice is analyzed to provide certain references for improving operation efficiency, ensuring the accuracy of results, and promoting the intelligent transformation of surveying and mapping.

Keywords

UAV aerial surveying; image processing; three-dimensional reconstruction; aerial triangulation and encryption; multi-source fusion

无人机航测影像处理关键技术及工程实践探析

陈仕才 罗建花

昆明人为峰科技有限公司, 中国·云南 昆明 650000

摘要

随着低空经济战略的深入实施, 无人机航测已经由原来的单一数据获取转变为构建数字孪生底座的重要引擎。本文主要研究当前的技术体系和工程实施路径, 对高精度采集、自动化空三加密、大规模三维重建等全链路的关键节点进行分析。文章就基于深度学习的影像匹配算法展开论述, 给出多源异构数据融合架构, 预测云边协同促使行业的进步。对技术逻辑和实践的耦合进行分析, 以期为提高作业效率、保证成果精度、促进测绘智能化转型提供一定的参考。

关键词

无人机航测; 影像处理; 三维重建; 空三加密; 多源融合

1 引言

现代国土空间规划、智慧城市治理中, 无人机航测凭借高机动性、高分辨率的优势, 已经成为获取地表信息的主要方式^[1]。但是海量原始数据转化为高精度三维产品存在流程繁杂、算力需求大、环境干扰严重等问题。传统的模式依靠人工的干预, 不能达到广域覆盖和高频更新的目的。因此建立一个集自动化、智能化为一体的处理系统就显得十分重要。本文以行业前沿为立足点, 从数据采集、空三加密、三维重建、质量控制的深层逻辑入手, 结合工程实际分析软硬件集成、流程优化的策略, 力求学术严谨和工程实用之间取得平衡, 给出有指导意义的实践范式。

【作者简介】陈仕才(1991-), 男, 中国云南楚雄人, 本科, 工程师, 从事工程测量、不动产测绘、测绘航空摄影研究。

2 无人机航测影像处理核心技术体系

2.1 影像数据采集与预处理技术

高精度三维成果来源于高质量的输入, 现代采集已经转为以任务规划为基础的动态自适应方式。关键在于利用机载激光雷达、多光谱相机和高精度 GNSS/IMU 三者融合的方式, 保证影像的几何一致性以及辐射均匀性。对复杂的地形, 用重叠度智能规划算法动态改变轨迹来消除盲区。预处理环节为精度奠定基础, 主要针对去噪、辐射校正和镜头畸变解算展开工作, 其中以物理模型为基础的辐射校正可以消除大气散射的影响, 高阶多项式模型可以准确还原地物的形态。当前的趋势是用深度学习自动剔除模糊或者过曝的劣质影像, 内容感知筛选大大降低了冗余, 结合气象评估保证入库影像在全局范围内高度一致, 为后续空三加密打下了良好的基础。

2.2 影像匹配与空三加密技术

空三加密是将二维影像和三维空间联系起来的桥梁,其难点在于无控制点或少控制点时的高精度相对定向和绝对定向。主流技术已经全部转向了用深度学习来提取特征,新的卷积神经网络生成的全局描述子大大提高了在纹理重复或者弱纹理区域的匹配成功率^[2]。在此基础上,严密光束法平差算法被广泛使用,不但要用共线方程进行非线性优化,还会用 POS 数据做强约束或者用 GCP 做局部加权平差来抑制长航线误差的传播。对于大规模的实景建模,分块并行处理和增量式算法相结合是解决算力瓶颈的重要方式,把大集合分成独立的子集并行计算,然后无缝拼接,既保证了效率,又保证整体几何完整性,使空三加密精度和速度都达到了新的高度。

2.3 三维重建与模型生成技术

三维重建把离散的影像变成连续的实体,技术正从传统的多视图立体几何向神经辐射场和显式几何表示相结合的方向发展。传统的密集匹配对于透明或者反光的物体容易产生伪影,而神经隐式表示方法则是通过训练网络来隐式地编码场景,从而得到更加平滑、细节丰富的模型。具体实现中使用体素网格划分、点云融合技术,先由稀疏点云引导生成稠密点云,再用泊松重建或者移动立方体算法生成三角网,需要精细控制网格密度来防止网格自相交。纹理映射使用视锥体优化融合算法,用多视角权重分配消除接缝痕迹。大规模场景下 LOD 技术的使用使宏观地形与微观细节之间可以动态转换,满足不同应用对于精度、渲染性能等各方面的不同要求。

2.4 质量检查与精度控制技术

成果质量决定应用价值,创建全过程质检、精度控制体系十分重要。当前,质检模式正由人工目视向自动化和智能化混合模式转变,用语义分割网络自动识别断裂、悬浮等缺陷,用统计判定快速定位异常。精度控制的重点在于建立严密的误差传递模型,要对从传感器标定到平差残差的各个环节进行量化评价,特别是对于高程精度,需引入 RTK/PPK 数据和实测点进行联合检核。在进行大面积作业时,要考虑到地球曲率的影响,用局部坐标转换和格网改正的方法来消除系统误差。在实际工程中建立动态反馈机制,当精度不达标时,系统应自动回溯重算,形成闭环的质量控制机制,以保证交付的模型几何准确、属性完整,完全符合高要求的应用场景标准。

3 无人机航测影像处理工程实践

3.1 硬件系统集成方案

高效的工程实施要依靠稳定的、强大的硬件支持,现代无人机航测系统正朝着轻量化、高集成化、模块化方向发展。硬件集成方案的关键在于使飞控平台、载荷系统和通信链路深度匹配,使用抗风等级高、续航能力强的六旋翼或多

旋翼无人机做载体,搭载高像素全画幅传感器和机械快门,尽可能减少运动模糊,保证成像质量^[3]。

再者,机载高性能计算单元、大容量存储设备的配置要符合现场即时处理的要求,部分高端系统还带有边缘计算模块,在飞行中可以对数据进行初步的预处理和质量控制。地面端是高性能图形工作站、高速服务器集群和专业显示终端组成的处理中心,用万兆光纤网络连接起来,支持多卡 GPU 并行加速,保证海量影像数据快速加载、运算和渲染。野外作业环境对于硬件的设计要求更高,使用加固型机箱、防震减震结构保证设备在恶劣气候下正常工作,无线图传、数传链路冗余备份保证飞行安全、数据链路实时畅通,为整个工程的实施打下了坚实的基础。

3.2 软件系统架构设计

软件系统是无人机航测工程的“大脑”,它的架构设计要兼顾功能的完备性、扩展性和高并发处理能力。当前主流的工业级软件平台大多采用微服务架构,把影像导入、空三加密、三维重建、纹理映射和成果输出等主要功能模块分离出来,各个模块之间用标准 API 接口互相交流,这样既加强了系统的可维护性,又让功能可以自由添加或更新。

底层算法上软件使用了 OpenCV、PCL 以及自研的深度学习推理引擎等开源或者自研的算法库,针对不同的硬件环境做深度优化,充分发挥出 CPU 多线程和 GPU 加速的优势,大大提高了运算速度。同时软件架构重视用户体验以及交互逻辑的流畅性,给用户可视化的作业流程编排界面,用户可以拖拽的方式来自定义处理流程,系统会自动调度计算资源来完成任务。为了解决大规模的数据处理问题,软件中加入了分布式计算框架,可以对任务进行管理,并且可以实现负载均衡,在大量的数据并发处理的时,保证系统的稳定性和响应速度,进而实现从单机作业到集群协同的平滑过渡,满足大型工程项目对于时效性很高的要求。

3.3 生产作业流程优化

标准化的生产作业流程是保证工程效率和成果质量的重要手段,现代航测工程已经抛弃了以往的串行作业模式,采用流水线式和并行式相结合的方式进行作业。在任务规划阶段使用 AI 辅助算法自动生成最优飞行路径,根据地形起伏、建筑物高度、重叠度要求保证数据采集的全面性、高效性。数据采集完毕之后,系统会自动开始数据校验和上传过程,不需要人工操作就可以把数据分发到处理集群上,并且可以进入并行处理通道。处理环节中根据项目规模、紧急程度动态调整空三加密、三维重建的计算优先级,利用集群资源优势进行多项目并行处理,大幅缩短周转时间^[4]。

同时,建立严格的质量门禁制度,每一个处理节点都要经过预先设定的精度和完整性指标后才能进入下一个环节,不合格的数据会自动退回到相应的节点进行重新处理。此外,用自动化报告生成系统可以实时给出作业进度、质量评价以及成果预览,管理人员可以随时掌握项目的状况并做

出科学的决策,端到端的流程改进既削减了人工出错的可能性,又把总体的生产速率提高了几倍,从而达成由数据采集到成果交付的全流程数字化管控。

3.4 多源数据融合处理

单一维度的影像数据很难满足复杂的场景下综合应用的要求,多源数据融合是提高航测成果价值的必然趋势。当前工程实践重视将无人机倾斜摄影数据、机载激光雷达点云数据、卫星遥感影像、地面测量数据等有机融合起来,利用各自的优势互补,形成全息化的三维地理信息模型。

具体而言,利用激光雷达穿透植被的能力得到高精度的DEM数据,再结合倾斜摄影的高分辨率纹理数据,生成带有真实纹理的植被冠层模型,有效地解决了传统摄影测量在植被覆盖区无法获取真地表的问题。融合时使用了基于特征配准和几何约束的多源数据对齐算法,保证不同来源的数据在空间坐标系下高度一致,用属性映射技术把多源信息整合到同一个实体对象上,给模型赋予丰富的语义属性。融合之后不仅提高了模型的几何精度和纹理真实性,而且扩大了它在林业调查、电力巡检、水利监测等领域的应用能力,把无人机航测成果由原来的视觉展示变成为具有多维感知能力的数字资产,给智慧城市精细化治理赋予了强大的数据支撑。

4 无人机航测影像处理技术发展趋势

伴随着人工智能、云计算以及5G技术的不断发展与融合,无人机航测领域也出现出了三个比较明显的趋势。

第一,全域实时化处理能力有了重大突破,这是依靠边缘计算技术和云边协同架构来实现的。传统的依靠“事后处理”的模式正在向“边飞边算”的实时处理范式转变,系统利用5G网络的高速率、低延迟特点,把采集到的数据立即传送到云端,经过快速运算之后,就可以立刻产生出高品质的三维实景成果。该种变革大大缩减了数据处理时间,明显加强了应急测绘、灾害监测等场合的快速反应和决策支撑水平。

第二,智能化、自动化水平达到质的飞跃。深度学习等人工智能技术正在更加深入地渗透到无人机航测的各个环节当中,从飞行任务的智能规划、数据采集质量的自动检

测、影像数据的自动分类和语义分割等方面,正在形成起一个端到端的自动化处理流程。系统可以自动识别、理解航测场景中各种要素,并能自动检测、修复数据中的缺陷、异常,极大地减少了对人工干预、专业经验的依赖,提高了作业效率和成果的准确性、一致性。

第三,数字孪生技术同实景三维城市建设开始进入深度融合的新阶段。无人机航测凭借高效、灵活、高精度的数据获取能力,正在逐渐成为创建城市级、工程级高精度数字孪生底座的主要数据来源和技术手段。将无人机航测成果同建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)、物联网(IoT)等技术深度融合并联动起来,可以使得物理世界和虚拟数字空间实现精确、及时的映射和同步。促使传统航测服务由原来的静态二维地图或者三维模型,转变为动态的、可计算的、可模拟的、可交互的数字基础设施,给智慧城市、智能交通、精细化管理等应用赋予了强有力的时空数据基础和分析手段。

5 结语

综上所述,无人机航测影像处理技术正处在由传统的几何重建向智能化、实时化、多源融合化转变的重要阶段。通过建立包含采集、空三、重建和质量控制在内的完整体系,结合科学的硬件、软件和流程方案,行业已经可以处理大规模的高精度数据。只有坚持技术创新和工程实践并重,不断探索AI与遥感的深度融合,才能冲破瓶颈,使技术在数字经济中发挥更大的作用。随着技术的成熟普及,无人机航测会形成一个更加精确高效的时空信息基础设施,给社会高质量发展赋予有力的数字底座。

参考文献

- [1] 杨鹏,冯云. 无人机航测技术在露天矿山储量动态检测中的应用[J].中国金属通报,2025,(09):141-143.
- [2] 宗瑜航. 地形测绘中无人机航测技术运用探究[J].低碳世界,2025,15(05):49-51.
- [3] 丁康. 无人机遥感技术在风电场周边水土流失动态监测中的应用研究[J].应用能源技术,2025,(03):82-84.
- [4] 张森. 无人机航测的矿山地形测绘技术应用研究[J].中国金属通报,2025,(02):157-159.