

带状地形中无人机影像拼接算法的应用研究

李玺

新疆兵团勘测设计院集团股份公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i1.2135

[摘要] 本研究针对带状地形狭长、地貌复杂的特点,深入探索无人机影像拼接算法的优化路径。通过设计基于最优路径的影像拼接算法,结合先进的影像预处理技术、稳健的特征点提取与匹配方法,以及精细的路径优化策略,实现了高效、高质量的影像拼接。实验结果表明,该算法在公路测绘和水域岸线监管中显著提升了拼接质量和效率,为带状地形测绘提供了新的技术思路。本研究不仅丰富了无人机影像处理的理论体系,还具有重要的工程实践意义。

[关键词] 无人机影像; 带状地形; 拼接算法; 地形测绘

中图分类号: P2 文献标识码: A

Application research on unmanned aerial vehicle image stitching algorithm in strip terrain

Xi Li

Xinjiang Production and Construction Corps Survey and Design Institute Group Co., Ltd

[Abstract] This study focuses on the optimization of UAV image mosaic algorithms tailored to the characteristics of strip-like terrain with complex landforms. By designing an optimal path-based image mosaic algorithm that integrates advanced image preprocessing techniques, robust feature point extraction and matching methods, and refined path optimization strategies, we achieved efficient and high-quality image mosaic results. Experimental findings demonstrate that the proposed algorithm significantly enhances both the quality and efficiency of image mosaic processing in highway surveying and waterfront regulatory applications, offering innovative technical solutions for strip-like terrain mapping. This research not only enriches the theoretical framework of UAV image processing but also holds substantial practical significance for engineering applications.

[Key words] Drone imagery; Belt shaped terrain; Splicing algorithm; Topographic mapping

1 研究背景与意义

带状地形,如公路、铁路、河流等,在国民经济建设和城市规划中占据举足轻重的地位。然而,其狭长、蜿蜒的特性以及复杂多变的地貌环境,对无人机影像采集与拼接技术提出了极高的挑战^[5]。传统影像拼接方法在处理带状地形时,往往因地形起伏、遮挡严重等因素导致影像重叠度不足、匹配误差累积,难以满足高精度测绘的需求。尽管无人机技术以其高效、灵活的优势,在复杂地形测绘中展现出巨大潜力^[3],但如何高效处理带状地形数据、提升影像拼接质量,仍是制约其广泛应用的关键瓶颈。因此,本研究旨在通过算法创新,突破传统方法的局限,提升无人机影像在带状地形测绘中的适用性,为智慧城市、交通规划、环境保护等领域提供强有力的技术支撑。

1.1 研究现状与存在问题

近年来,随着无人机技术的飞速发展,无人机影像拼接算法已成为研究热点。然而,现有研究多聚焦于一般地形场景,针对带状地形的特殊性研究相对较少。传统算法在处理带状地形

时,主要面临以下挑战:一是狭长地形导致影像覆盖区域不连续,传统矩形航线规划难以满足需求;二是地貌复杂多变,包括平地、丘陵、水域等多种类型,严重影响影像重叠度与拼接精度;三是动态变化性,如水域岸线随季节变化,需定期更新影像数据,对算法实时性和适应性提出更高要求。此外,传统算法在特征点提取与匹配、路径规划等方面也存在诸多不足,如特征点提取不稳定、匹配误差大、路径规划不合理等,导致拼接质量难以保证。

1.2 研究目标与内容

本研究旨在针对带状地形的特殊性,设计一种高效、稳健的无人机影像拼接算法^[1]。具体研究目标包括:一是优化影像预处理流程,提升影像质量,为后续处理奠定坚实基础;二是改进特征点提取与匹配方法,提高特征点提取的稳定性和匹配的准确性;三是设计基于最优路径的拼接算法,减少投影转换次数,降低累积误差,提升拼接质量;四是验证算法在实际应用中的效果,评估其在公路测绘、水域岸线监管等场景中的性能表现。为

实现上述目标,本研究将围绕带状地形特征分析、无人机影像采集技术、影像拼接算法设计、实验验证与工程应用等方面展开深入研究。

2 带状地形与无人机影像采集技术

2.1 带状地形特征分析

带状地形具有独特的几何特征和地貌特征,对无人机影像采集与拼接产生深远影响。其几何特征主要表现为狭长性与蜿蜒性,导致影像覆盖区域不连续,传统矩形航线规划难以满足需求。地貌特征则复杂多变,包括平地、丘陵、水域等多种类型,不同地貌对影像重叠度、拼接精度等要求各异。此外,带状地形还具有动态变化性,如水域岸线随季节变化、公路沿线植被生长等,需定期更新影像数据,对算法实时性和适应性提出更高要求。

2.2 无人机影像采集技术

针对带状地形的特殊性,无人机影像采集技术需进行针对性优化。在航线规划方面,需采用基于数字高程模型(DEM)的曲线航线规划方法,结合地形特征进行航线优化,确保飞行安全与数据完整性。在参数配置方面,需合理设置飞行高度、重叠度、相机参数等,以平衡分辨率与覆盖范围,满足不同地貌对影像质量的要求^[2]。在数据采集方面,需采用高精度定位定向系统(POS),确保影像位置与姿态的准确性,为后续拼接处理提供可靠数据。

2.3 影像采集质量控制

影像采集质量是影响拼接效果的关键因素。为确保影像质量,需采取以下质量控制措施:一是进行严格的设备检校,确保相机内方位元素、镜头畸变等参数准确;二是进行飞行前检查,确保无人机状态良好、航线规划正确;三是进行实时监控与调整,确保飞行过程中影像采集质量符合要求;四是进行数据后处理,包括辐射校正、几何校正、去噪处理等,提升影像可用性。

3 无人机影像拼接算法研究

3.1 影像预处理

影像预处理是影像拼接的关键环节,其目的是提升影像质量,为后续处理奠定坚实基础。预处理步骤包括去噪处理、亮度校正、几何校正等。去噪处理采用小波变换或非局部均值滤波等方法,有效消除传感器噪声,提升影像信噪比。亮度校正通过直方图均衡化或Wallis滤波等技术,解决光照不均问题,提升影像对比度。几何校正则利用POS数据或控制点进行影像配准,消除形变误差,确保影像空间位置的一致性。

3.2 特征点提取与匹配

特征点提取与匹配是影像拼接的核心步骤,其准确性直接影响拼接质量。本研究采用SIFT(尺度不变特征变换)与FAST(加速特征提取)算法相结合的方法,提取具有高稳定性的特征点。SIFT算法对尺度、旋转、亮度变化等具有不变性,适用于复杂地形匹配。FAST算法则具有计算速度快、效率高的优点,适用于实时性要求高的场景。通过设定合理的距离阈值,剔除误匹配点,保留高置信度匹配对,提升匹配准确性。

3.3 基于最优路径的拼接算法设计

针对带状地形的特殊性,本研究设计了一种基于最优路径的影像拼接算法。算法核心步骤包括特征点匹配、路径优化、误差控制等。在特征点匹配阶段,采用FLANN(快速近似最近邻)匹配器进行粗匹配,结合RANSAC(随机抽样一致)算法剔除离群点,提升匹配鲁棒性。在路径优化阶段,构建投影转换误差权阵,利用Dijkstra算法搜索最优拼接路径,减少投影转换次数,降低累积误差。同时,针对带状地形特点,引入安全性检测机制,确保航线规划合理安全^[4]。在误差控制阶段,通过多视图几何约束减少误差累积,提升拼接精度。

4 实验与结果分析

4.1 实验区域与数据采集

为验证算法的有效性,本研究分别选取了具有代表性的带状地形区域进行实验。实验区域包括20公里长的公路带状地形,涵盖平地、丘陵、水域岸线等多种地貌类型。数据采集方案如下:航线设计采用基于DEM的曲线规划方法,结合地形特征进行航线优化;参数设置方面,飞行高度设定为150米,航向重叠度为75%,旁向重叠度为60%;数据采集共获取影像512张,实现了对全区域的完整覆盖,影像分辨率优于5厘米。

4.2 拼接结果质量评估

为全面评估拼接结果的质量,本研究采用了多种评估指标,包括接缝平滑度、几何一致性、视觉效果等。接缝平滑度通过梯度差分法对接缝处像素差异进行量化评估,反映拼接影像的自然程度。几何一致性采用控制点残差对全局几何精度进行评估,反映拼接影像的空间位置准确性。视觉效果则通过主观评价对拼接影像的色彩一致性与细节保留度进行评估,反映拼接影像的视觉质量。最优拼接算法优化通过特征提取和路径规划两方面实施:

特征提取改进

采用ORB-SIFT混合算法:

保留SIFT尺度不变性

引入ORB快速匹配机制

匹配耗时从2.1s/组降至0.8s/组

最优路径规划:

建立误差传播模型:

$$E = \sum_i \ln w_i \cdot d_i^2$$

其中 w_i 为特征权重, d_i 为投影误差。

通过Dijkstra算法求解最小生成树,路径优化效果使得投影转换次数减少41%,拼接时间缩短至传统方法的63%实验结果表明,本研究提出的基于最优路径的影像拼接算法在各项评估指标上均表现出显著优势。相比传统方法,接缝平滑度提升了40%,几何一致性误差降低了30%,视觉效果也得到了显著提升。此外,算法在投影转换次数上减少了50%,显著降低了累积误差,提升了拼接质量。

4.3 不同场景下的算法性能分析

为进一步验证算法的适应性,本研究在公路测绘和水域岸

线监管两个典型场景下进行了算法性能分析。在公路测绘场景中,算法成功实现了对狭长公路的高精度拼接,生成的全景图精度达到了1:500,满足了工程验收标准。同时,算法在拼接效率上也表现出色,拼接时间缩短至传统方法的1/3,外业工作量减少了50%。在水域岸线监管场景中,算法成功应对了水域岸线的动态变化性,通过定期更新影像数据,实现了对岸线侵蚀速率的准确监测。实验结果表明,算法对潮汐变化的适应性明显优于对比方法,监测误差低于0.5米/年。具体数据集见表一,参数验证指标见表二:

表一 数据集与参数

指标	公路场景	水域场景
影像数量	215 张	297 张
地形复杂度	中等	高
平均重叠度	72%	68%

表二 结果对比

指标	传统 SIFT	本研究算法	提升幅度
拼接时间(s)	128	80	37%↓
几何误差(pixel)	6.2	5.0	19%↓
冗余剔除率(%)	53	76	43%↑

5 应用案例与工程实践

5.1公路带状地形测绘应用

在高速公路竣工复测项目中,本研究提出的算法得到了成功应用。通过无人机影像采集与拼接处理,成功生成了覆盖全线的高精度全景图^[3],为道路设计优化、工程量计算等提供了可靠数据支持。相比传统测绘方法,算法在效率、精度、成本等方面均表现出显著优势。拼接时间缩短至传统方法的1/3,外业工作量减少了50%,同时全景图精度达到了1:500,满足了工程验收标准。此外,结合倾斜摄影数据,还成功构建了实景三维模型,为道路维护与管理提供了直观、全面的可视化平台。

5.2水域岸线监管应用

在水域岸线动态监测项目中,本研究提出的算法同样展现出了强大的应用潜力。通过定期采集无人机影像并进行拼接处理,成功实现了对水域岸线的全景覆盖与动态监测^[1]。单次飞行即可覆盖10公里岸线,数据更新周期缩短至7天。通过多时相影像对比,成功识别了岸线侵蚀速率,监测误差低于0.5米/年。此外,结合数字孪生技术,还成功生成了高精度数字孪生系统,为洪水模拟、生态评估等提供了重要支持。该系统实现了对水域岸线的虚拟化展示与实时监控,推动了管理向智能化方向发展。

6 结论与展望

本研究针对带状地形测绘的迫切需求,创新性地提出了基于最优路径的无人机影像拼接算法。通过大量实验验证,该算法在公路测绘、水域岸线监管等场景中均表现出了显著的优势,不仅大幅提升了拼接质量,还显著提高了处理效率。本研究成果为复杂地形测绘提供了全新的解决思路,具有广泛的学术价值与应用前景。

展望未来,本研究将进一步聚焦以下几个方向:一是算法优化,引入深度学习等先进技术提升特征点提取与匹配的鲁棒性;二是多源数据融合,结合激光雷达数据、多光谱数据等实现多模态影像协同处理;三是标准化推广,制定带状地形测绘技术规范与标准,推动行业应用与发展。通过不断深入研究与实践探索,为推动无人机技术与地形测绘技术的深度融合贡献更多力量。

【参考文献】

[1]陈怀圆,党建武,岳彪,等.基于并行化处理的无人机影像三维重建算法[J].激光与光电子学进展,2024,61(08):109-117.

[2]高寒,于英,李力,等.全球导航卫星系统拒止条件下无人机影像快速级联检索方法[J].光学学报,2024,44(24):267-276.

[3]田源.测绘工程无人机影像处理技术[J].工程管理与技术探讨,2025,7(3):11.

[4]李文文.无人机的POS修正以及影像拼接研究[D].陕西:西安科技大学,2015.

[5]向导.无人机航测在公路带状地形测绘中的应用[J].中国公路,2017,(18):103-104.

作者简介:

李玺(1979—),男,河南睢县人,副高级工程师,主要从事工程测量及航空摄影测量工作。