

基于无人机摄影测量的地质结构特征提取与分析

张馨 王琛 田丽

江苏省地质局第一地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v8i1.2127

[摘要] 本研究探讨了无人机摄影测量技术在地质结构特征提取中的应用,概述了无人机平台、摄影测量系统及数据处理流程的关键技术。通过实验分析,验证了边缘检测、Hough变换、区域生长算法及深度学习等提取方法的有效性。研究结果表明,无人机摄影测量技术为地质勘探提供了高效、精确的技术手段,具有广泛的应用前景。

[关键词] 无人机摄影测量; 地质结构特征提取; 深度学习; 技术手段

中图分类号: P2 **文献标识码:** A

Extraction and analysis of geological structure features based on unmanned aerial vehicle photogrammetry

Xin Zhang Chen Wang Li Tian

The First Geological Brigade of Jiangsu Geological Bureau

[Abstract] This study explores the application of unmanned aerial vehicle photogrammetry technology in geological structure feature extraction, and outlines the key technologies of unmanned aerial vehicle platform, photogrammetry system, and data processing flow. Through experimental analysis, the effectiveness of extraction methods such as edge detection, Hough transform, region growing algorithm, and deep learning has been verified. The research results indicate that unmanned aerial vehicle photogrammetry technology provides efficient and accurate technical means for geological exploration, and has broad application prospects.

[Key words] drone photogrammetry; Geological structure feature extraction; Deep learning; Technical means

随着地质勘探领域的不断发展,对地质结构特征的精确提取与分析提出了更高的要求。传统的地质勘探方法在精度和效率方面存在一定的局限性^[1]。近年来,无人机摄影测量技术的迅速崛起,为地质结构特征提取提供了新的解决方案。本研究旨在探讨无人机摄影测量技术在地质结构特征提取中的应用及其优势,为地质勘探提供一种高效、精确的技术手段。通过分析无人机平台、摄影测量系统及数据处理流程,研究将揭示无人机摄影测量技术在地质勘探领域的应用前景^[2]。

1 无人机摄影测量技术概述

1.1 无人机平台

无人机平台作为摄影测量技术的核心,其硬件和软件的进步显著提升了数据采集的精度和效率^[3]。现代无人机搭载先进的飞控系统和惯性导航系统,确保了在复杂环境和恶劣气候下的稳定飞行,实时调整飞行参数以精确定位和导航。同时,其增强的载荷能力允许搭载多种传感器,如高分辨率相机和LiDAR,实现一次飞行中多数据类型的采集。此外,高性能的计算单元和快速的数据传输系统使得无人机能够实时处理和分析数据,而自主飞行与智能规划功能进一步提高了作业效率和精度,减少

了人为误差和风险。

1.2 摄影测量系统

摄影测量系统作为无人机摄影测量技术的核心,其发展直接提升了地质结构特征提取的精度与效率。得益于计算机视觉和图像处理技术的迅猛发展,该系统在硬件和软件方面均取得了重大进步。现代无人机摄影测量系统配备了高分辨率数码相机、LiDAR传感器和多光谱相机等先进传感器,能够精确捕捉地质结构的细微特征,并生成高精度的三维模型。同时采用结构光法、立体视觉等多视图立体重建算法,结合多传感器数据融合技术,有效提高了地质信息的全面性和识别精度。

1.3 数据处理流程

无人机摄影测量技术的数据处理流程至关重要,它通过一系列自动化、高精度的步骤,直接影响到地质结构特征的提取效果。流程始于数据预处理(去噪、畸变校正、配准)保障图像质量,为三维重建打基础。然后,采用多视角立体视觉算法进行三维重建,生成点云数据。点云处理(滤波、配准、分割)优化数据,构建三维模型。特征提取(法向量、曲率分析)识别地质结构关键特征。最终数据融合与可视化展示地质结构,支持地质勘探。

2 地质结构特征提取方法

2.1 确定研究区域

确定研究区域是地质结构特征提取的起点,其选择对数据采集和分析的准确性和有效性至关重要。应综合考虑地质背景、地形特征和研究目标来选择研究区域。地质背景应具有代表性,包含断层、褶皱等地质单元,见图1,确保研究价值;地形特征应有利于无人机飞行和数据采集,选择地形起伏大、地质现象明显的区域,并考虑植被覆盖情况;研究目标则指导区域选择,如断层活动性分析需选断层发育区,矿产资源勘查则需选资源丰富且地质构造复杂的区域。

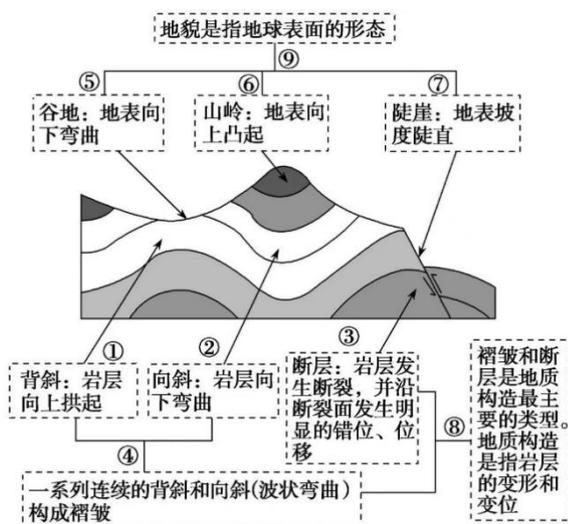


图1 地质结构示意图

2.2 预处理无人机影像

预处理无人机影像是确保数据质量和提取精度的关键步骤,涉及影像去噪、几何校正和影像配准。去噪过程通过高斯滤波、中值滤波或小波变换等算法消除传感器和环境噪声,提升影像质量。几何校正则通过相机参数和地形模型消除镜头畸变和地形影响,恢复影像真实形态。影像配准则使用SIFT、SURF或ORB等特征点匹配算法,将多幅影像中的相同特征点对齐,为三维重建和特征提取打下基础。

2.3 地质结构线提取

2.3.1 边缘检测算法

边缘检测算法是地质结构线提取的基础,通过识别图像中亮度变化显著的区域,提取出地质结构的边缘信息。传统的边缘检测算法包括Canny算子、Sobel算子和Laplace算子等,这些算法主要基于图像的局部梯度信息。边缘检测算法通过计算图像中像素的梯度来识别边缘。常用的Sobel算子公式如下:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * I$$

其中, G_x 和 G_y 分别表示图像在x方向和y方向的梯度, I 表

示输入图像。最终的边缘强度可以通过以下公式计算:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

2.3.2 Hough变换检测直线

Hough变换是一种经典的图像处理算法,用于检测图像中的几何形状,如直线和圆等。Hough变换通过将图像空间中的点映射到参数空间,通过统计参数空间中的峰值来检测直线。具体来说,Hough变换将图像空间中的每个点转换为参数空间中的一条曲线,这些曲线的交点对应于图像空间中的直线。在地质结构线提取中,Hough变换能够有效地检测断层、褶皱等线性地质结构。结合边缘检测算法,Hough变换可以进一步提高地质结构线提取的精度和效率。

2.4 地质结构面提取

2.4.1 区域生长算法

区域生长算法是一种常用的图像分割技术,通过从种子点开始,根据相似性准则逐步扩展区域,最终实现图像的分割。其基本公式如下:

选择种子点 $S(x_0, y_0)$, 对于每个待处理点, $P(x, y)$ 计算其与种子点的相似性:

$$|I(x, y) - I(x_0, y_0)| < T$$

其中, $I(x, y)$ 表示点 $P(x, y)$ 的像素值, T 是预设的阈值。

在地质结构面提取中,区域生长算法可以用于分割岩体结构面。改进的区域生长算法结合了三维激光点云数据,通过KD-tree数据结构进行最邻近搜索,并利用多特征值对区域生长分割参数进行修正,从而提高了结构面分割的精度。该方法在复杂地形和多变的地质环境中表现出较高的识别率和准确性。

2.4.2 基于深度学习的地质结构面识别

深度学习技术在地质结构面识别中展现出巨大的潜力。基于深度学习的地质结构面识别方法通过训练神经网络模型,自动提取和识别地质结构面特征。例如,改进的U-Net网络模型结合通道注意力机制和残差模块,能够有效处理复杂地层中的结构面识别问题。

3 实验与分析

3.1 实验数据

实验数据是地质结构特征提取研究的基础,直接影响实验结果的可靠性和准确性。为确保数据的代表性和全面性,实验数据应包括多种类型的地质信息,如高分辨率影像数据、LiDAR点云数据和多光谱图像数据等,如表1所示。这些数据通过无人机平台在不同地质环境下采集,涵盖了断层、褶皱、岩浆侵入体等多种地质结构特征。

3.2 实验方法

实验方法在地质结构特征提取研究中扮演着核心角色,其科学性和可重复性至关重要,主要包括数据预处理、特征提取和结果验证三个环节。数据预处理环节通过影像去噪、几何校正和影像配准等技术,确保数据质量,为后续处理打下基础。特征

提取环节是核心,利用边缘检测、Hough变换、区域生长算法以及深度学习方法,从点云和影像数据中提取地质结构的几何与纹理特征。最后结果验证环节通过人工标注、实地验证和统计分析等方法,评估算法的精度和有效性,确保实验结果的可靠性,并全面考量算法的适用性和鲁棒性。

表1 不同地质结构类型及其无人机数据采集特征

地质结构类型	特征描述	所在区域	无人机数据类型
断层	明显的断裂面,两侧地层错动	区域A	高分辨率影像、LiDAR
褶皱	地层弯曲,形成背斜或向斜	区域B	高分辨率影像、多光谱
岩浆侵入体	岩石颜色、结构和成分发生变化	区域C	高分辨率影像、红外
矿体	矿石矿物富集,具有特定的矿化特征	区域D	高分辨率影像、多光谱
滑坡	土体或岩体沿某一面发生滑动	区域E	高分辨率影像、LiDAR
地裂缝	地表裂缝,可能伴随地面沉降	区域F	高分辨率影像、红外

3.3 实验结果与分析

实验结果表明,基于无人机摄影测量的地质结构特征提取方法在不同地质环境中展现出高精度和效率。边缘检测算法能准确提取结构边缘,Hough变换有效识别断层和褶皱等线性结构,而区域生长算法在岩体结构面分割中具有高识别率。深度学习方法在处理复杂地质结构时具有明显优势。然而分析发现,这些算法各有适用性和局限性:边缘检测易受噪声干扰,Hough变换对非线性结构识别有限,区域生长算法处理大规模数据效率低,深度学习方法则对训练数据依赖较大。

4 应用案例

4.1 矿产资源勘查

无人机摄影测量技术在矿产资源勘查中扮演着日益重要的角色,它通过搭载高分辨率相机和LiDAR传感器,快速准确地获取矿区影像和地形数据,构建三维地形模型和数字正射影像,从

而大幅提升勘查效率和精度。这些模型不仅展现了矿区地形和内部细节,还借助多光谱和红外传感器分析地表信息,有效识别潜在矿产资源,并实现矿产储量的动态监测。

4.2 地质灾害防治

无人机摄影测量技术在地质灾害防治中发挥着关键作用,通过搭载LiDAR和倾斜摄影技术,它能快速精确地获取灾害区域的地形数据,生成高精度的DEM和三维模型,有效识别地质灾害隐患点,并为预警提供数据支持。在灾害发生后,无人机能迅速进行灾区监测,实时影像数据助力灾害评估和应急响应,如四川茂县叠溪镇山体滑坡和汶川地震救援中,无人机提供了关键的三维实景模型和受灾区域定位,极大地提升了救援效率和决策质量。

5 结论

经过深入研究和实验分析,本研究得出以下结论:基于无人机摄影测量的地质结构特征提取方法在理论研究和实际应用中均表现出显著的优势和效果,能够高效、准确地识别地质结构特征,为地质勘探、矿产资源勘查和地质灾害防治等领域提供了有力的技术支持。尽管存在一定的局限性,但通过不断优化算法和提升数据处理能力,该方法具有广阔的应用前景和发展潜力,对推动地质勘探技术进步具有重要意义。

[参考文献]

- [1]刘亮,刘威.矿山地质工程中无人机倾斜摄影测量研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(1):94-97.
- [2]黄立鑫,苏建龙,李小军.无人机实时摄影测量技术的应用研究与展望[J].有色金属(矿山部分),2024,76(3):1-6.
- [3]李煜.基于无人机与摄影测量的不同尺度地质结构面精细识别[D].江苏:南京大学,2017.

作者简介:

张馨(1991—),女,汉族,江苏省常州市溧阳人,工程师,本科,研究方向:工程测绘。