

测绘地理信息中高精度空间数据采集方法研究

夏平¹, 李魏¹, 景晓峰²

1. 江苏创时空信息技术有限公司, 江苏 扬州 225000

2. 扬州市朴席镇人民政府安全生产和生态环境办公室, 江苏 扬州 225000

DOI:10.61369/ETQM.2026030005

摘 要 : 本文围绕测绘地理信息中的高精度空间数据采集与处理方法展开深入研究, 首先分析了高精度空间数据的核心特征及研究意义, 随后系统阐述了当前主流的采集技术, 并探讨了各技术的应用场景与优化策略。在此基础上, 重点研究了数据处理的关键流程, 涵盖数据预处理、坐标转换、误差分析与修正及数据融合等环节, 提出了基于多源数据协同的误差修正模型与融合算法。最后, 结合实际工程案例验证了所提方法的有效性, 为提升高精度空间数据的采集效率与处理质量提供了理论参考与技术支持。

关 键 词 : 测绘地理信息; 高精度空间数据; 数据采集; 数据处理; 误差修正

Research on the Method of High Precision Spatial Data Acquisition in Surveying and Mapping Geographic Information

Xia Ping¹, Li Wei¹, Jing Xiaofeng²

1. Jiangsu Chuangshikong Information Technology Co., Ltd. Yangzhou, Jiangsu 225000

2. Office of Work Safety and Ecological Environment, People's Government of Puxi Town, Yangzhou City, Yangzhou, Jiangsu 225000

Abstract : This study conducts an in-depth investigation into high-precision spatial data acquisition and processing methodologies in surveying and mapping geographic information. The research first analyzes the core characteristics and research significance of high-precision spatial data, then systematically outlines mainstream data acquisition technologies while exploring their application scenarios and optimization strategies. Building on this foundation, the paper focuses on critical data processing workflows—including data preprocessing, coordinate transformation, error analysis and correction, and data fusion—proposing an error correction model and fusion algorithm based on multi-source data collaboration. Finally, practical engineering case studies validate the effectiveness of the proposed methods, providing theoretical references and technical support for enhancing the efficiency and quality of high-precision spatial data acquisition and processing.

Keywords : surveying and mapping geographic information ; high-precision spatial data; data acquisition; data processing; error correction

引言

高精度空间数据作为测绘地理信息成果的核心载体, 能够精准反映地理实体的位置、形态、属性及时空关系, 为国土空间规划、重大工程建设、应急救援、智慧城市管理等领域提供关键数据支撑。随着各领域对空间数据精度要求的不断提高, 传统的数据采集与处理方法已难以满足实际需求, 亟需研发与应用更为高效、精准的技术方法。本文基于当前测绘地理信息技术发展现状, 从数据采集与处理两个核心环节入手, 深入剖析主流技术方法的原理与应用要点, 针对关键技术难题提出优化策略, 并结合工程案例进行验证, 旨在为相关领域的研究与实践提供参考^[1-3]。

一、高精度空间数据的核心特征与研究意义

(一) 核心特征

高精度空间数据相较于传统空间数据, 具有以下核心特征:
一是高精度性, 其平面精度与高程精度通常达到厘米级甚至毫米

级, 能够精准刻画地理实体的细微特征; 二是多维性, 不仅包含地理实体的二维平面坐标, 还涵盖高程、属性、时间等多维信息, 实现对地理现象的全方位描述; 三是时空动态性, 能够实时或准实时捕捉地理实体的时空变化信息, 满足动态监测的需求; 四是多源性, 数据来源涵盖卫星、无人机、地面测量设备、传感

作者简介: 夏平 (1979.10-), 女, 汉族, 江苏东台人, 中级工程师, 大学本科, 研究方向: 测绘工程。

器网络等多种渠道，数据格式与结构呈现异构性。这些特征决定了高精度空间数据采集与处理过程中，必须注重技术方法的精准性、兼容性与高效性，同时加强对数据质量的控制。

（二）研究意义

在国土空间规划领域，高精度空间数据能够精准反映国土空间的利用现状、地形地貌特征及资源分布情况，为国土空间规划的科学性与合理性提供数据保障，有效避免规划失误导致的资源浪费；在工程建设领域，如桥梁、隧道、高铁等重大工程，高精度数据能够指导工程选址、施工放样与变形监测，降低工程风险，提高工程质量；在智慧城市建设领域，高精度空间数据是构建数字孪生城市的核心基础，能够实现城市设施的精准管理、交通流量的实时调控及公共服务的优化配置^[4-5]。

二、高精度空间数据采集技术方法

（一）GNSS定位技术

GNSS定位技术是当前地面高精度空间数据采集的核心技术之一，其通过接收多颗导航卫星的信号，经数据解算得到测站点的三维坐标。根据定位精度与应用场景的不同，GNSS定位技术可分为静态定位、动态定位及实时动态（RTK）定位三种模式。

静态定位模式通过长时间观测卫星信号，能够实现毫米级的定位精度，主要适用于大地控制测量、工程控制网建立等高精度需求场景。动态定位模式则适用于移动载体的轨迹测量，如车辆导航、船舶定位等，定位精度通常在米级至分米级。RTK定位技术通过基准站与流动站之间的实时数据传输，能够实现厘米级的实时定位，广泛应用于工程放样、地形测量、不动产测绘等领域。

（二）激光扫描技术

激光扫描技术在应用过程中，面临着点云数据冗余、噪声干扰及数据配准难度大等问题。针对这些问题，优化策略如下：一是在数据采集前，根据扫描目标与场景特点，合理设置扫描分辨率与扫描范围，避免不必要的冗余数据；二是采用自适应滤波算法，根据点云数据的密度与分布特征，去除环境噪声、设备误差等导致的异常点；三是改进点云配准方法，结合特征点提取与迭代最近点（ICP）算法，提高多站扫描数据的配准精度与效率，减少配准误差累积。

（三）无人机航测技术

无人机航测技术的工作流程主要包括航测规划、影像采集、数据处理三个阶段。在航测规划阶段，需根据测区范围、地形条件及精度要求，确定飞行高度、飞行航线、重叠度等参数；在影像采集阶段，通过无人机搭载的相机按规划航线自动拍摄影像，并同步记录GNSS与IMU数据；在数据处理阶段，利用专业软件（如Pix4D、ContextCapture）对影像数据进行空三加密、DOM制作、DSM/DEM生成及矢量数据提取。

提升无人机航测数据精度的优化策略：一是优化航测参数设置，根据测区地形起伏情况调整飞行高度，确保影像重叠度满足要求（航向重叠度通常不低于80%，旁向重叠度不低于70%）；

二是增加地面控制点数量，在测区关键位置布设高精度地面控制点，用于空三加密时的精度控制；三是采用倾斜摄影技术，通过多视角影像采集，能够获取地理实体的侧面纹理与三维信息，提升建模精度；四是加强影像数据预处理，对拍摄的影像进行畸变校正、曝光调整等处理，提高后续数据处理的精度^[6-8]。

（四）影像测量技术

影像测量技术基于摄影测量原理，通过对目标物体的二维影像进行分析与处理，提取目标的三维空间坐标信息。随着高分辨率影像技术与计算机视觉技术的发展，影像测量技术已从传统的模拟摄影测量、解析摄影测量发展为数字摄影测量，精度与效率大幅提升。

数字影像测量技术主要包括立体影像测量与单像测量两种方式。立体影像测量通过对同一目标的两张或多张立体影像进行匹配与解算，能够获取高精度的三维坐标，适用于地形测量、工程测量等场景；单像测量则通过已知控制点与影像的对应关系，计算目标点坐标，适用于简单场景的坐标获取。此外，随着深度学习技术的发展，基于深度学习的影像特征提取与匹配方法不断涌现，能够自动识别影像中的特征点、目标物体，大幅提升了影像测量的自动化水平。

影像测量技术的优化方向：一是采用高分辨率影像设备，提高影像的分辨率与清晰度，为高精度特征提取提供基础；二是引入深度学习算法，构建基于卷积神经网络（CNN）的特征提取模型，提高特征点匹配的准确性与效率；三是结合多源影像融合技术，整合不同分辨率、不同传感器的影像数据，实现优势互补，提升测量精度。

三、高精度空间数据处理关键技术

（一）数据预处理

数据预处理是高精度空间数据处理的首要步骤，其目的是去除原始数据中的噪声、异常值与冗余信息，规范数据格式，为后续处理环节提供高质量的数据。不同类型的采集数据，预处理方法存在差异，本文重点针对GNSS数据、点云数据与影像数据的预处理进行分析。

GNSS数据预处理主要包括数据格式转换、粗差剔除与数据完整性检查。数据格式转换是将不同品牌GNSS设备采集的原始数据转换为统一格式（如RINEX格式），便于后续解算；粗差剔除通过 3σ 准则或格拉布斯准则，识别并删除因设备故障、信号干扰等导致的异常数据；数据完整性检查则确保采集的数据覆盖全部测站点，无数据缺失。

点云数据预处理主要包括去噪、降采样与数据分割。去噪采用统计滤波、半径滤波等方法，去除因设备误差、环境干扰产生的噪声点；降采样通过体素格滤波、随机采样等方法，在保证数据精度的前提下减少数据量，提高处理效率；数据分割则根据点云的空间位置、反射强度等特征，将点云数据分割为不同的目标类别（如地面、建筑物、植被），便于后续建模与分析。

影像数据预处理主要包括畸变校正、影像增强与影像匹配。

畸变校正通过相机标定参数，修正镜头畸变导致的影像变形；影像增强通过对比度调整、直方图均衡化等方法，改善影像质量；影像匹配则通过特征点提取与匹配，建立不同影像间的对应关系，为后续空三加密提供基础。

(二) 坐标转换

由于不同的测绘任务采用不同的坐标系，如大地坐标系（WGS-84）、国家平面直角坐标系（2000国家大地坐标系）、地方独立坐标系等，因此在数据处理过程中需进行坐标转换，实现不同坐标系间的统一。坐标转换的核心是建立不同坐标系间的转换参数，常用的转换方法包括七参数转换法、四参数转换法与三参数转换法。

七参数转换法通过求解平移参数（ ΔX 、 ΔY 、 ΔZ ）、旋转参数（ ϵ_x 、 ϵ_y 、 ϵ_z ）与尺度参数（ m ）七个参数，实现空间直角坐标系间的转换，适用于大范围、高精度的坐标转换场景；四参数转换法通过求解平移参数（ Δx 、 Δy ）、旋转参数（ α ）与尺度参数（ m ）四个参数，实现平面直角坐标系间的转换，适用于小范围的平面坐标转换；三参数转换法仅求解平移参数（ ΔX 、 ΔY 、 ΔZ ），适用于坐标系间旋转与尺度差异较小的场景。

提升坐标转换精度的关键在于：一是选取数量充足、分布均匀的公共控制点，公共控制点的精度直接影响转换参数的准确性；二是采用最小二乘法对转换参数进行优化求解，减少偶然误差对转换结果的影响；三是对转换结果进行精度验证，通过未参与参数求解的检查点，验证转换精度是否满足要求^[9-10]。

四、工程案例

为验证本文提出的高精度空间数据采集与处理方法的有效性，以某城市新区的地形测绘工程为案例进行分析。该工程测区面积约5km²，地形以平原为主，包含部分建筑物与植被，要求测区DOM分辨率达到0.1m，DEM精度达到10cm，平面坐标系采用2000国家大地坐标系，高程系统采用1985国家高程基准。

(一) 数据采集方案

结合测区特点与精度要求，采用“无人机航测+地面激光扫描+GNSS控制点测量”的综合采集方案：

1. GNSS控制点测量：在测区范围内布设12个高精度地面控

制点，采用GNSS静态定位模式进行观测，观测时间不少于60分钟，数据解算采用多系统融合定位方法，确保控制点平面精度达到5mm，高程精度达到10mm。

2. 无人机航测：选用搭载高分辨率相机（像素2400万）与IMU的多旋翼无人机，飞行高度设定为100m，航向重叠度85%，旁向重叠度75%，采用倾斜摄影技术采集测区影像数据，同步记录GNSS与IMU数据。

3. 地面激光扫描：对测区内部的高大建筑物、复杂地形区域，采用地面激光扫描仪进行补充扫描，扫描分辨率设定为1cm，获取高精度点云数据。

(二) 结果验证

选取测区范围内未参与数据处理的20个检查点，对最终成果进行精度验证，验证结果如下表所示：

成果类型	平面中误差 (cm)	高程中误差 (cm)	满足精度要求情况
DOM	4.2	-	是
DEM	-	8.5	是

由验证结果可知，采用本文提出的采集与处理方法生成的DOM平面中误差为4.2cm，DEM高程中误差为8.5cm，均满足工程要求的精度指标，验证了方法的有效性与可行性。

五、结论

高精度空间数据具有高精度性、多维性、时空动态性与多源性等核心特征，其采集与处理质量直接影响各应用领域的决策科学性，研究具有重要的理论与实践意义。主流的采集技术各有优势，GNSS定位技术适用于地面高精度定位，激光扫描技术适用于三维点云数据获取，无人机航测技术适用于中小范围高效测绘，影像测量技术适用于基于影像的三维信息提取。通过多技术融合与优化，可提升复杂环境下的采集精度与效率。数据处理的关键环节包括数据预处理、坐标转换、误差分析与修正及数据融合。提出的多源数据协同误差修正模型与改进D-S证据理论融合算法，能够有效降低误差影响，提升数据精度。工程案例验证表明，采用“无人机航测+地面激光扫描+GNSS控制点测量”的采集方案，结合本文提出的处理方法，能够满足高精度地形测绘的要求，成果精度达到预期指标。

参考文献

[1] 李德仁, 王密, 胡庆武. 测绘地理信息学科的发展现状与展望 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2020, 45(1): 3-10.
[2] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2018.
[3] 刘经南, 姜卫平. 全球导航卫星系统 (GNSS) 发展综述 [J]. 导航定位学报, 2019, 7(1): 1-8.
[4] 王树根, 朱庆. 激光扫描技术在古建筑保护中的应用 [J]. 测绘通报, 2018(5): 45-48.
[5] 宁津生, 杨凯. 现代大地测量学的发展及其应用 [J]. 测绘科学, 2020, 45(3): 1-6.
[6] 陈军, 李志林, 蒋捷. 数字孪生城市的构建与应用 [J]. 地理学报, 2021, 76(1): 1-14.
[7] 龚健雅, 夏桂松. 多源空间数据融合理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2019.
[8] 王庆, 张小红. 基于IMU/GNSS组合的高精度定位技术研究 [J]. 测绘学报, 2018, 47(7): 921-929.
[9] 刘智敏, 李建松. 无人机航测技术在地形测绘中的应用研究 [J]. 测绘工程, 2019, 28(4): 36-40.
[10] 张艳, 王磊. 激光扫描点云数据处理关键技术研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(5): 123-126.