

# 多源异构数据融合及其在全息测绘中的应用

张中皎, 沈迅

云南省地质工程勘察有限公司, 云南 昆明 650051

DOI:10.61369/ERA.2025070016

**摘要** : 本文阐述了多源异构数据的特点及全息测绘对数据融合的需求, 详细分析多源异构数据融合的关键技术, 包括数据预处理、特征提取、融合算法等。通过实际案例探讨多源异构数据融合在全息测绘场景中的应用实践, 展示其在提升测绘精度、丰富测绘信息维度、实现场景动态表达等方面的优势。研究表明, 多源异构数据融合技术能够有效整合不同类型数据, 为全息测绘提供更全面、准确、实时的数据基础, 推动测绘技术向智能化、全息化方向发展。

**关键词** : 多源异构数据; 融合; 全息测绘; 融合算法

## Multi-source Heterogeneous Data Fusion and Its Application in Holographic Surveying and Mapping

Zhang Zhongjiao, Shen Xun

Yunnan Geological Engineering Survey Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650051

**Abstract** : This article elaborates on the characteristics of multi-source heterogeneous data and the demand for data fusion in holographic surveying and mapping. It provides a detailed analysis of the key technologies involved in multi-source heterogeneous data fusion, including data preprocessing, feature extraction, fusion algorithms, and more. Through practical case studies, the article explores the application of multi-source heterogeneous data fusion in holographic surveying and mapping scenarios, demonstrating its advantages in improving surveying and mapping accuracy, enriching the dimensionality of surveying and mapping information, and realizing dynamic scene representation. The research results indicate that multi-source heterogeneous data fusion technology can effectively integrate different types of data, providing a more comprehensive, accurate, and real-time data foundation for holographic surveying and mapping. This technology promotes the development of surveying and mapping techniques towards intelligence and holography.

**Keywords** : multi-source heterogeneous data; fusion; holographic surveying and mapping; fusion algorithm

## 引言

随着测绘技术的快速发展与多源数据采集手段的日益丰富, 地理空间信息获取已进入多源异构数据时代, 卫星遥感、航空摄影、地面激光扫描、物联网传感器等设备产生的海量数据, 在时空尺度、数据结构与语义表达上存在显著差异, 如何实现多源异构数据的高效融合, 成为地理信息领域的关键课题。与此同时, 全息测绘作为新型测绘技术范式, 以全要素、全尺度、全时态表达地理空间信息为目标, 对多源数据的深度融合与协同处理提出了更高要求。传统单一数据采集方式存在信息覆盖不全、时效性差等问题, 难以满足智慧城市、灾害应急、数字孪生等应用场景对高精度、实时化地理信息的需求<sup>[1]</sup>。多源异构数据融合技术通过整合不同来源、不同类型的数据, 发挥数据间的互补优势, 能够显著提升地理信息的完整性、准确性与现势性, 为全息测绘提供坚实的数据基础。因此, 研究多源异构数据融合技术及其在全息测绘中的应用具有重要的理论意义和实践价值。

## 一、多源异构数据与全息测绘概述

### (一) 多源异构数据特点

多源异构数据指来自不同采集设备、存储格式和表达形式的数据集合, 在全息测绘应用中呈现出显著特征。首先, 数据来源

具有多样性, 涵盖卫星遥感、航空摄影、地面激光扫描、无人机航测、移动测量系统、物联网传感器等多类平台, 各平台获取数据的视角、尺度与精度存在差异, 例如, 卫星遥感可提供大范围宏观影像, 而地面激光扫描则能获取高精度局部三维点云。其次, 数据结构与格式异构性突出。空间数据包含矢量、栅格、点

云等多种结构, 矢量数据以几何坐标和属性表存储地物空间位置与特征, 栅格数据通过像元阵列表达影像信息, 点云数据则以离散点集合记录三维空间信息; 同时, 数据格式包括 Shapefile、GeoTIFF、LAS、JSON 等, 缺乏统一标准<sup>[2]</sup>。此外, 数据存在时空基准不一致问题。不同采集时间的数据存在时间分辨率差异, 如卫星影像以天或月为周期更新, 而物联网传感器可实现实时采集; 空间基准方面, 坐标系、投影方式和高程基准的不同, 导致数据难以直接融合。数据的语义异构性同样显著, 同一地物在不同数据源中的属性描述、分类体系和编码规则可能不同, 增加了数据整合难度。

## (二) 全息测绘的内涵

全息测绘是一种追求全面、真实、动态表达地理空间信息的全新测绘技术范式, 旨在构建具有全要素、全尺度、全时态特征的地理空间数字孪生体<sup>[3]</sup>, 其核心内涵体现在三个层面: 全要素覆盖要求对地形地貌、建筑物、植被、基础设施等地理实体进行完整建模, 不仅包含几何形态, 还需集成材质、纹理、物理属性等多维度信息; 全尺度表达强调在微观、中观和宏观层面实现无缝衔接的空间数据展示, 从厘米级的建筑细节到千米级的区域地形, 均能以高精度模型呈现; 全时态动态更新则依托实时监测与数据分析技术, 实现地理空间信息随时间变化的持续跟踪与快速更新, 满足智慧城市、应急管理等领域对地理信息时效性的严苛要求。全息测绘通过融合多源异构数据, 利用三维建模、虚拟现实、数字孪生等技术, 构建可交互、可分析、可预测的地理空间信息系统, 为城市规划、工程建设、生态监测等提供全方位数据支撑, 推动测绘地理信息行业向智能化、精细化方向发展。

## 二、多源异构数据融合关键技术

### (一) 数据预处理

多源异构数据在格式、精度、时空基准等方面存在显著差异, 数据预处理是实现有效融合的基础环节, 主要包括数据清洗、格式转换、时空配准和归一化处理。在数据清洗阶段, 通过异常值检测与修复技术识别并处理噪声数据。对于空间数据中的离群点, 常采用基于密度的 DBSCAN 算法或局部异常因子 (LOF) 算法进行检测; 对于时间序列数据中的跳变值, 可利用滑动平均滤波、中值滤波等方法进行平滑处理。格式转换则针对不同数据类型 (如矢量数据、栅格数据、点云数据), 采用标准化数据接口 (如 GeoJSON、LAS) 实现统一存储与传输。时空配准是解决多源数据空间基准不一致问题的核心技术, 对于遥感影像与激光点云数据, 常采用基于特征匹配的配准方法, 通过提取 SIFT、SURF 等特征点, 利用迭代最近点 (ICP) 算法或基于区域的匹配算法实现空间对齐; 针对时间序列数据, 通过时间戳校准和插值方法统一采样频率, 确保数据在时间维度上的一致性。归一化处理则通过最大-最小归一化、Z-score 标准化等方法, 消除数据在量纲和数值范围上的差异, 为后续融合奠定基础。

### (二) 特征提取

特征提取旨在从原始数据中提炼出具有代表性的关键信息,

降低数据维度的同时保留核心特征, 为融合算法提供高效输入, 根据数据类型的不同, 特征提取方法可分为几何特征提取、光谱特征提取和语义特征提取<sup>[4]</sup>。对于激光点云、三维模型等几何数据, 常采用局部特征描述子进行特征提取。如点云数据可通过计算法线、曲率等局部几何属性, 生成 PFH (点特征直方图)、FPFH (快速点特征直方图) 等特征描述子; 对于遥感影像, 可利用边缘检测算法 (如 Canny 算子) 提取轮廓特征, 或通过区域生长算法提取目标区域的几何形状特征。光谱特征提取主要应用于多光谱、高光谱遥感数据<sup>[5]</sup>。常用方法包括主成分分析 (PCA)、波段选择和光谱特征变换。PCA 通过线性变换将原始波段数据转换为相互正交的主成分, 实现数据降维; 波段选择算法 (如遗传算法、模拟退火算法) 则从众多波段中筛选出信息量丰富的波段组合。在语义特征提取方面, 深度学习方法展现出强大优势。通过卷积神经网络 (CNN) 可自动提取影像中的目标语义信息, 如建筑物、道路等; 利用 Transformer 架构可实现点云数据的语义分割, 提取地物类别信息。

### (三) 融合算法

融合算法是实现多源异构数据深度融合的核心, 根据融合层次可分为像素级融合、特征级融合和决策级融合, 像素级融合直接对原始数据进行处理, 适用于数据类型相似、空间分辨率匹配的场景<sup>[6]</sup>。常见方法包括加权平均法、主成分分析融合法和小波变换融合法, 加权平均法根据数据的可靠性赋予不同权重进行叠加; 主成分分析融合法通过将多源数据投影到新的特征空间实现信息融合; 小波变换融合法则利用多分辨率分析特性, 在不同尺度上融合数据细节。特征级融合是对提取的特征信息进行融合, 具有数据量小、处理效率高的特点。常用算法包括基于贝叶斯理论的概率融合、基于 D-S 证据理论的决策融合和基于神经网络的特征融合。贝叶斯理论通过计算后验概率实现多源特征的概率融合; D-S 证据理论通过证据组合规则处理不确定性信息; 神经网络则通过训练多层感知器或自编码器实现特征的非线性融合。决策级融合是最高层次的融合, 将不同数据源的决策结果进行综合分析<sup>[7]</sup>。常用方法包括投票法、专家系统和模糊决策。投票法通过对多个分类器的结果进行投票表决得出最终决策; 专家系统利用知识库和推理规则对决策结果进行综合判断; 模糊决策则通过建立模糊隶属度函数处理不确定信息, 实现决策结果的融合。

## 四、多源异构数据融合在全息测绘中的应用实践

### (一) 城市三维建模

城市三维建模是全息测绘的重要基础, 多源异构数据融合技术为构建高精度、多细节的城市模型提供了有效途径。在数据采集阶段, 综合利用航空摄影测量、地面激光扫描、无人机倾斜摄影、车载移动测量系统等多种手段获取数据。航空摄影测量可快速获取城市大范围的高分辨率影像, 无人机倾斜摄影则能获取建筑物侧面纹理信息, 二者结合为城市模型提供宏观几何与纹理基础; 地面激光扫描与车载移动测量系统可获取厘米级甚至毫米级精度的点云数据, 用于精细化刻画道路、桥梁、地下空间等复杂

结构的几何形态<sup>[8]</sup>。在数据融合处理过程中,首先通过时空配准技术统一不同数据源的空间基准,利用特征匹配算法将点云数据与影像数据进行精确对齐。例如,采用基于 SIFT 特征点的匹配方法,结合迭代最近点(ICP)算法,实现点云与影像的亚像素级配准。针对数据的结构异构问题,通过数据格式转换与重构,将矢量数据、栅格影像和点云数据统一为 CityGML 等标准格式。在模型构建阶段,运用多分辨率网格建模、纹理映射等技术,将融合后的数据构建为 LOD (Level of Detail) 多层次细节模型,既满足宏观场景的快速浏览需求,又支持局部区域的精细化展示。在某智慧城市建设项目中,通过多源异构数据融合构建的城市三维模型,完整呈现了城市建筑、道路、绿地、地下管网等全要素信息。模型精度达到5厘米,包含建筑材质、植被种类等语义属性,为城市规划、交通管理、应急疏散模拟等提供了精准的空间数据支持,有效提升了城市管理的智能化水平。

## (二) 灾害监测与评估

多源异构数据融合在灾害监测与评估中发挥着关键作用,在地震、洪涝、滑坡等自然灾害监测中,集成卫星遥感、无人机航测、地面传感器网络等多源数据。卫星遥感可提供大范围、周期性的灾害区域影像,用于宏观灾情监测;无人机航测能在灾害发生后快速抵达现场,获取高分辨率的灾后影像和三维模型,精准识别灾害破坏范围与程度;地面传感器(如位移计、雨量计、水位传感器)则实时采集灾害过程中的动态数据。数据融合时,利用时空插值方法将不同时间、空间尺度的数据统一到相同的时空基准。例如,将卫星影像的中低分辨率数据与无人机高分辨率数据进行融合,采用基于深度学习的超分辨率重建算法,生成兼具大范围覆盖与高细节的灾情影像<sup>[9]</sup>。在特征提取层面,运用卷积神经网络(CNN)自动识别影像中的灾害特征,如地震后的建筑物倒塌、洪涝淹没区域边界等。在灾害评估阶段,通过多源数据融合构建灾害损失评估模型。结合房屋建筑矢量数据、土地利用数据和灾后影像,利用决策树、随机森林等算法评估建筑物损毁数量与程度;基于地形数据、水文监测数据和遥感影像,模拟洪水演进过程,评估淹没范围与受灾人口。某洪涝灾害监测项目中,通过多源数据融合,将灾情监测的时间从传统方法的数小时缩短至30分钟以内,灾害损失评估误差降低至8%,为应急救援决策提

供了及时、准确的数据支持。

## (三) 数字孪生场景构建

数字孪生场景构建是全息测绘的高级应用形态,旨在通过多源异构数据融合创建物理世界的虚拟映射<sup>[10]</sup>。在数据采集方面,整合物联网传感器数据、BIM(建筑信息模型)数据、地理空间数据等多源信息。物联网传感器实时采集温度、湿度、光照、设备运行状态等动态数据;BIM数据包含建筑物的几何结构、材料属性、设备参数等详细信息;地理空间数据提供地形地貌、交通网络等基础地理信息。数据融合过程中,采用语义映射与知识图谱技术解决数据语义异构问题。通过建立统一的数据语义模型,将不同领域的的数据属性映射到相同的语义概念,构建包含实体、关系和属性的知识图谱。例如,将建筑设备的运行数据与BIM模型中的设备信息进行关联,实现设备状态的实时可视化。在场景构建阶段,利用游戏引擎(如Unreal Engine、Unity)结合三维建模技术,将融合后的数据渲染为高逼真度的虚拟场景,并通过实时数据驱动实现虚拟场景与物理世界的同步更新。在某智慧园区数字孪生项目中,通过多源异构数据融合构建的数字孪生平台,实现了园区建筑、设备、人员、环境等全要素的实时数字化呈现。平台可模拟园区能源消耗、人流分布等场景,辅助管理者优化资源配置;在设备故障预警方面,通过融合传感器数据与设备模型,提前预测设备故障概率,将设备维护效率提升40%,有效降低了运维成本,为园区的智能化提供了强大的技术支撑。

## 五、结束语

多源异构数据融合通过数据预处理、特征提取和融合算法等关键技术,能够有效整合不同类型数据,为全息测绘提供更全面、准确、实时的数据支持,在城市三维建模、灾害监测与评估、数字孪生场景构建等实际应用中,多源异构数据融合技术展现出显著优势,提升了测绘成果的质量和和应用价值,为全息测绘提供更智能化、安全化的技术支撑,推动全息测绘技术在更多领域的广泛应用。

## 参考文献

- [1] 潘俊铨,阮浩德,徐可,等.一种基于多源异构空间规划数据的融合方法[J].测绘通报,2025(1):127-132.
- [2] 丁杲杰.车载激光扫描技术在全息测绘中的应用[J].经纬天地,2023(4):5-8.
- [3] 王彦婕.多源异构数据融合技术的研究[J].山西电子技术,2022(3):71-73.
- [4] 任花侨,张绚.面向数字孪生城市的智能化全息测绘研究[J].百科论坛电子杂志,2020(23):549.
- [5] 顾建祥,杨必胜,董震.智能化全息测绘及示范应用[J].城市勘测,2019(3):10-14.
- [6] 高桂甫,任高升,王亚梅,等.车载LiDAR和无人机一体化控制的全息数据采集与应用研究[J].现代测绘,2021,44(5):45-49.
- [7] 郝斌,李琦,朱沁玲.多源异构数据融合的水利数字地球研究[J].水利技术监督,2024(3):28-32,37.
- [8] 王雁飞.多源数据的全息地形数据精度分析[J].测绘技术装备,2021,23(3):16-21.
- [9] 孙慧英.多源数据融合实景三维智能处理关键技术及应用[J].电脑高手(电子刊),2021(3):441.
- [10] 李小雨,郭功举.面向智能化全息测绘要素符号化方法[J].地理空间信息,2023,21(4):27-29.