

现代工程测量中多源数据融合技术研究

尹文浩

(西安市勘察测绘院, 陕西 西安 710000)

摘要 在现代工程测量领域, 多源数据融合技术已成为提升测量精度与效率的关键手段。本文深入探讨了多源数据融合技术在现代工程测量中的应用现状及重要意义, 从优化数据采集、提升处理精度、创新融合算法、强化质量控制四个方面提出了具体的实施策略, 旨在为工程测量教学与实践提供有益参考, 推动该技术在现代工程测量中的深入研究与广泛应用。

关键词 现代工程测量; 多源数据融合技术; 数据采集; 数据处理精度; 融合算法

中图分类号: TU198

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.006

0 引言

随着现代工程规模的不断扩大与技术的日益复杂, 工程测量面临着更高的精度要求与更复杂的测量环境。多源数据融合技术作为一种新兴的测量手段, 能够整合来自不同传感器、不同平台的测量数据, 充分发挥各数据源的优势, 为工程测量提供更全面、更准确的信息支持。深入研究多源数据融合技术在现代工程测量中的应用, 对于提升工程测量的质量与效率具有极为重要的现实意义。

1 多源数据融合技术在现代工程测量中的现状与意义

目前, 多源数据融合技术在现代工程测量中已得到广泛应用, 如在桥梁变形监测中融合 GNSS、全站仪与 InSAR 数据, 全面掌握桥梁的变形特征; 在地形测绘中结合航空摄影测量与地面激光扫描数据, 提高地形细节的表达精度。这些应用不仅显著提升了测量结果的精度与可靠性, 还丰富了测量数据的类型与维度, 为工程分析与决策提供了更为坚实的数据基础^[1]。此外, 多源数据融合技术的应用有助于优化测量流程, 减少重复测量与数据冗余, 提高测量工作的效率与经济性。

2 多源数据融合技术在现代工程测量中的实施策略

2.1 优化数据采集, 拓宽数据源

在现代工程测量领域, 数据采集作为测量工作的基础环节, 其质量与完整性直接决定了后续数据处理与融合的成效。因此, 优化数据采集并拓宽数据源, 是提升多源数据融合技术应用效果的关键前提。

构建多元化的数据采集体系, 意味着要打破传统单一测量手段的局限, 融合多种先进测量技术与设备

的优势。高精度全球导航卫星系统 (GNSS) 接收机能够提供高精度的三维坐标信息, 其定位精度可达毫米级, 尤其在开阔区域的测量中表现出色。全站仪则以其高精度的角度测量和距离测量能力, 在工程测量的控制网建立和地形测绘中发挥着重要作用。无人机摄影测量系统凭借其灵活性和高效性, 能够在短时间内获取大面积的高分辨率影像数据, 为地形地貌的快速建模和地物信息提取提供了有力支持。地面激光扫描仪则以其高密度的点云数据输出, 能够精确地捕捉物体表面的三维几何形状, 尤其适用于复杂地形和建筑物的精细测量。

在实际工程测量项目中, 不同测量设备所采集的数据具有不同的特点和优势。例如: GNSS 数据具有高精度的坐标信息, 但缺乏地形地貌的细节描述; 全站仪数据能够提供精确的地形高程信息, 但在大面积覆盖方面存在局限; 无人机摄影测量数据能够直观地反映地形地貌的纹理信息, 但精度相对较低; 地面激光扫描数据则能够精确地描绘物体的三维形状, 但数据量较大且采集成本较高。因此, 将这些不同类型的测量数据进行融合, 可以充分发挥各数据源的优势, 弥补单一数据源的不足, 从而提高测量结果的精度和可靠性。

以大型水利工程建设测量为例, 水利工程的建设涉及复杂的水文、地质和地形条件, 需要全面、准确的数据支持。通过联合水利部门获取水文数据, 可以了解工程区域的水位变化、水流速度、水量等信息, 这对于水利工程的设计和运行管理至关重要。与气象部门共享气象信息, 能够实时掌握工程区域的天气变化, 提前做好应对措施, 保障测量工作的顺利进行。

结合工程测量数据,如 GNSS、全站仪、无人机摄影测量和地面激光扫描等数据,可以实现对工程区域环境的全方位监测与分析。例如:在大坝建设过程中,通过融合水文数据、气象数据和工程测量数据,可以实时监测大坝的变形情况、坝体结构的稳定性以及周边环境的变化,为大坝的安全运行提供科学依据。

2.2 提升数据处理精度,挖掘数据价值

在现代工程测量中,多源数据融合技术的应用为数据处理带来了前所未有的挑战与机遇。针对多源数据来源广泛、类型多样、精度不一且存在时空差异的特点,数据处理的精度提升成为挖掘数据价值的关键环节。数据预处理作为数据处理的首要步骤,其目的在于通过一系列算法与技术手段,对原始测量数据进行去噪、校正与补充,从而提高数据的可用性与一致性。

卡尔曼滤波作为一种经典的线性动态系统估计方法,广泛应用于多源数据融合中的动态数据处理^[2]。通过建立系统的状态空间模型,卡尔曼滤波能够实时估计系统的状态变量,同时对观测数据中的噪声进行滤除。在工程测量中,对于动态监测对象如桥梁、大坝等结构的变形监测数据,卡尔曼滤波可有效去除由于仪器误差、环境干扰等因素导致的噪声,从而准确反映监测对象的真实变形状态。小波变换则以其多分辨率分析的特性^[3],在处理非平稳信号方面表现出独特优势。它能够将数据分解为不同频率层次的信号,从而在不同尺度上对数据进行分析与处理。在地形测绘数据处理中,小波变换可用于去除地形数据中的高频噪声,同时保留地形的细节特征,如山脊线、山谷线等,为后续的地形分析与建模提供高质量的数据基础。神经网络作为一种模拟人脑神经元结构与功能的计算模型,具有强大的非线性拟合与自适应学习能力。在多源数据融合中,神经网络可用于建立数据之间的复杂非线性关系模型,通过训练学习数据的内在规律,实现对数据的去噪、校正与预测。例如:在卫星遥感影像与地面测量数据融合中,神经网络可用于校正由于大气散射、地形遮挡等因素导致的影像数据误差,提高影像数据与地面测量数据的一致性。

在完成数据预处理,提高数据质量与一致性之后,数据挖掘与知识发现技术成为挖掘数据价值的核心手段。数据挖掘技术通过运用统计分析、机器学习、模式识别等方法,从海量的多源数据中提取隐含的、有价值的规律与信息。在工程测量中,数据挖掘可用于分析地形地貌特征,如通过对地形高程数据、坡度数据、坡向数据等的挖掘,识别出地形的起伏规律、地貌单元

的划分等,为工程建设的选址、规划与设计提供科学依据。对于建筑物变形监测数据,数据挖掘技术可挖掘出建筑物变形的规律与趋势,如周期性变形、累积变形等,从而提前预警建筑物的安全隐患,为建筑物的维护与加固提供决策支持。在地质灾害监测领域,通过对地质灾害监测数据,如地震波数据、降雨量数据、地表位移数据等的挖掘,可识别出地质灾害的前兆信息与诱发因素,为地质灾害的预警与防治提供科学依据^[4]。

2.3 创新融合算法,增强融合效果

在现代工程测量领域,多源数据融合技术的核心在于融合算法的创新与优化。融合算法的优劣直接决定了多源数据融合的精度、效率与可靠性。因此,针对不同的工程测量任务与数据特点,研发适用于多源数据融合的新型算法,是提升融合效果的关键所在。

以动态变形监测为例,工程结构的变形过程通常具有时间连续性与动态变化性。传统的数据融合方法往往难以实时、准确地捕捉这种动态变化特征。为此,引入基于时间序列分析的融合算法具有重要意义。时间序列分析方法能够充分利用数据的时间相关性,通过对多源监测数据的时间序列建模与分析,实现对变形趋势的实时预测与监测。例如:卡尔曼滤波算法是一种经典的动态数据融合方法,它能够实时处理来自不同传感器的动态监测数据,通过递推估计与更新,准确地捕捉结构变形的动态变化过程。在实际应用中,结合卡尔曼滤波算法与多源数据融合技术,可以有效地提高动态变形监测的精度与实时性,为工程结构的安全评估与预警提供更为可靠的数据支持。

在三维地形重建领域,多源数据融合同样面临着诸多挑战。航空影像与激光点云数据作为当前三维地形重建的常用数据源,各自具有独特的数据特点与优势。航空影像能够提供丰富的纹理信息,而激光点云则具有高精度的三维几何信息。然而,如何将这两种不同类型的数据进行高效融合,生成高精度的三维地形模型,一直是该领域的研究热点。基于几何约束的多源数据融合算法为这一问题提供了有效的解决方案。该算法通过建立几何约束关系,将航空影像与激光点云数据进行空间配准与融合。具体而言,利用激光点云数据的高精度几何信息作为几何约束,对航空影像进行空间纠正与匹配,从而实现两种数据在几何空间上的统一。在此基础上,进一步融合两种数据的纹理与几何信息,生成高精度、高分辨率的三维地形模型。

除了针对特定工程测量任务的融合算法创新,探索多传感器协同测量与融合的新模式也是提升融合效

果的重要途径。在实际工程测量中,多传感器协同测量能够实现数据的互补与增强,但同时也面临着传感器布局优化、数据传输与同步等技术难题。通过优化传感器布局,合理配置不同类型的传感器,可以最大限度地发挥各传感器的优势,提高数据采集的效率与质量。例如:在大型工程结构的监测中,结合GNSS传感器、全站仪与光纤传感器等不同类型传感器,通过科学布局,实现对结构变形、应力、应变等多物理量的协同监测。此外,建立高效的数据传输与同步机制也是多传感器协同测量的关键环节。通过采用先进的通信技术与数据同步算法,确保各传感器采集的数据能够实时、准确地传输与同步,从而实现数据在采集端的初步融合。

2.4 强化质量控制,保障数据可靠性

建立完善的多源数据融合质量控制体系,从数据采集、处理到融合结果评估的全流程,制定严格的质量标准与检验方法,是确保数据可靠性的基础。在数据采集阶段,对测量设备进行定期校准与维护,是确保数据准确采集的关键环节。测量设备的精度直接影响数据的质量,因此,必须建立完善的设备校准机制,采用高精度的校准设备和标准,对各类测量仪器进行全面校准。同时,定期对设备进行维护保养,确保其在测量过程中的稳定性和可靠性^[5]。此外,还应加强对测量环境的监测与控制,减少环境因素对数据采集的干扰,从而从源头上保障数据的准确性与一致性。

在数据处理过程中,采用多种算法进行对比验证是检查数据处理合理性与稳定性的有效手段。多源数据融合涉及不同类型的数据,其处理方法也各不相同。为了确保数据处理的准确性,需要综合运用多种数据处理算法,对同一数据集进行处理,并对处理结果进行对比分析。通过对比不同算法的处理结果,可以发现数据处理过程中的潜在问题,如数据偏差、噪声干扰等,并及时进行调整与优化。此外,还应建立数据处理的追溯机制,记录数据处理的每一步骤与参数设置,以便在发现问题时能够快速定位并解决,从而提高数据处理的稳定性和可靠性。

在融合结果评估方面,引入精度指标、可靠性分析等方法,对融合后的数据进行综合评价是质量控制的重要环节。融合结果的质量直接影响工程测量的最终成果,因此,必须建立科学合理的评估体系。精度指标是衡量融合数据质量的重要参数,通过计算融合数据与真实值之间的误差,可以定量评估数据的精度。同时,采用可靠性分析方法,如置信区间估计、假设

检验等,对融合数据的可靠性进行评估,能够进一步验证数据的有效性。在实际应用中,应根据不同的工程测量任务和数据特点,选择合适的精度指标和可靠性分析方法,对融合后的数据进行全面、系统的评价,及时发现并纠正质量问题。

例如:在地震灾害评估测量中,融合后的遥感影像、地震烈度数据、地面调查数据等多源数据的质量至关重要。遥感影像能够提供大范围的宏观信息,地震烈度数据能够反映地震的强度与分布,而地面调查数据则能够提供详细的现场信息。对这些多源数据进行融合后,需要从多个维度进行质量检验。首先,对遥感影像的分辨率、对比度、色彩还原度等进行评估,确保其能够清晰地反映灾害区域的地形地貌和建筑物破坏情况;其次,对地震烈度数据的准确性进行验证,通过与历史地震数据对比分析,检查其是否符合地震学规律;最后,对地面调查数据的真实性进行核实,通过实地复查和数据交叉验证,确保其能够准确反映灾害现场的实际情况。

3 结束语

多源数据融合技术作为现代工程测量领域的重要发展方向,具有广阔的应用前景与深远的研究价值。通过优化数据采集、提升数据处理精度、创新融合算法、强化质量控制等多方面的实施策略,能够充分发挥多源数据融合技术的优势,为现代工程测量提供更为精准、高效、全面的技术支持。在未来的研究与实践中,应持续关注该技术的发展动态,不断探索新的应用领域与方法,推动现代工程测量技术的持续进步与创新。

参考文献:

- [1] 尹世滔,李楠,肖克炎,等.基于人工智能的地质矿产勘查软件系统开发与应用[J].中国矿业,2024,33(12):31-37.
- [2] 白璐.UUV对跟踪目标运动要素估计方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2020.
- [3] 牟岩.基于子空间的高光谱影像降维及分类研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [4] 张旭.黄土高原南部黄土优先流与微观孔隙结构关系研究[D].西安:长安大学,2023.
- [5] 郭飞燕,刘检华,邹方,等.数字孪生驱动的装配工艺设计现状及关键实现技术研究[J].机械工程学报,2019,55(17):110-132.