

城市空间信息工程理论与应用研究

张世强

天津新信科技股份有限公司 天津 300041

摘要: 本文聚焦城市空间信息工程, 阐述其核心理论体系, 涵盖空间数据建模、关系与精度控制理论。介绍关键技术, 包括采集、处理与分析技术及应用逻辑。分析典型应用场景, 如城市规划、基础设施运维及人居环境整治。同时剖析应用中的问题, 如多源数据融合难、技术适配性不足等, 并提出建立统一数据标准、强化技术定制等优化对策, 以及数据安全防护和人才培养措施, 为城市空间信息工程的发展提供参考。

关键词: 城市空间; 信息工程; 理论; 应用研究

引言: 在城镇化进程加速的当下, 城市空间信息工程成为推动城市科学管理与可持续发展的关键力量。它以空间科学为基石, 融合多学科理论, 构建起涵盖数据采集、处理、分析及应用的核心体系。从城市空间规划的精准布局, 到基础设施运维的高效管理, 再到人居环境整治的细致优化, 城市空间信息工程贯穿城市发展的各个环节。然而, 在实际应用中, 多源数据融合困难、技术与实践场景适配性不足、数据安全风险突出以及专业人才缺口等问题, 制约着其效能的充分发挥。深入探究城市空间信息工程的理论、技术、应用场景及问题对策, 对于提升城市治理水平、实现城市高质量发展具有重要的现实意义。

1 城市空间信息工程核心理论体系

城市空间信息工程理论体系以空间科学为基础, 融合信息论、控制论与工程学原理, 构建了以空间数据为核心、多学科理论交叉支撑的框架, 核心理论涵盖空间数据建模、空间关系与空间精度控制三大板块。(1) 空间数据建模理论是基础, 旨在构建精准反映城市空间实体特征、属性及关联的数学模型与数据结构。城市空间实体包括自然地理实体(地形、水系等)和人工地理实体(建筑、道路等), 其形态、特征及关系复杂且动态。该理论强调依据应用场景, 选择矢量、栅格或混合模型抽象表征空间实体, 明确数据分层、编码及索引规则, 保证数据规范可操作, 为后续处理分析奠定基础。

(2) 空间关系理论聚焦城市空间实体间的位置、拓扑与距离关系, 是空间分析应用的核心依据。位置关联反映实体绝对与相对位置, 拓扑关系体现相邻、包含等逻辑联系, 距离关系量化空间间隔与可达性。解析这些关系可挖掘城市空间布局规律, 如道路与建筑适配性、管网拓扑连通性, 为规划与运维提供理论支撑。(3) 空间精度控制理论贯穿工程全流程, 通过科学的精度评估与

控制方法, 确保空间数据及工程成果可靠适用。数据采集、处理、应用各环节都可能产生误差, 该理论明确不同场景精度需求阈值, 提出误差来源识别、传播规律分析及修正方法, 如平差计算修正测量误差, 数据校验剔除异常值, 满足城市管理及决策需求^[1]。

2 城市空间信息工程关键技术及应用逻辑

2.1 空间数据采集技术

空间数据采集是城市空间信息工程的前提, 核心目标是获取全面、精准的城市空间实体数据, 涵盖地形地貌、人工设施、地表覆盖等多类信息。当前主流采集技术包括传统测量技术与现代遥感、定位技术, 根据应用场景的需求差异灵活组合使用。传统测量技术如全站仪、水准仪测量, 适用于小范围、高精度的空间数据采集, 例如城市建筑轮廓、地下管网点位的精准定位, 能够满足局部区域工程建设的精度需求。

现代遥感技术(RS)凭借大范围、非接触式的采集优势, 广泛应用于城市地表覆盖、地形地貌及大型设施的宏观监测, 包括航空遥感与卫星遥感两种形式。航空遥感适用于城市全域或重点区域的高分辨率数据采集, 可快速获取城市建筑密度、绿地分布、道路网络等信息; 卫星遥感则能够实现更大范围的城市空间格局监测, 为城市整体空间分析提供数据支撑。全球定位系统(GPS)与北斗卫星导航系统(BDS)则为空间数据提供精准的位置坐标, 结合移动测量设备, 可实现对动态空间实体(如移动车辆、施工机械)的实时定位与轨迹采集, 丰富空间数据的维度与时效性^[2]。

2.2 空间数据处理技术

采集后的空间数据存在格式不统一、冗余、误差等问题, 需通过专业处理技术转化为标准化、高质量的可用数据, 核心环节包括数据预处理、格式转换与数据融合。数据预处理主要针对原始数据中的异常值、缺失值

与重复数据进行处理,通过滤波去噪、插值补全、数据清洗等方法,剔除无效数据,修正数据误差,确保数据的完整性与准确性。例如,对遥感影像数据进行辐射校正与几何校正,消除大气干扰与成像偏差,提升影像数据的空间精度与可读性。

数据格式转换技术旨在解决不同采集设备、不同软件生成的数据格式不兼容问题,通过格式转换工具将矢量数据(如SHP格式)、栅格数据(如TIFF格式)、文本数据等转化为统一格式,实现数据的互通互用。数据融合技术则是将多源空间数据(如遥感影像数据、GPS定位数据、传统测量数据)进行整合,通过空间配准、属性关联等方法,融合不同数据源的优势,形成全面、立体的城市空间数据集。例如,将高分辨率遥感影像数据与地下管网矢量数据融合,既能够呈现地表空间格局,又可反映地下设施分布,为城市综合运维提供完整数据支撑。

2.3 空间数据分析技术

空间数据分析是城市空间信息工程的核心环节,依托地理信息系统(GIS)平台,结合空间统计分析、拓扑分析、网络分析等方法,挖掘空间数据背后的规律与关联,为城市空间管理决策提供依据。空间统计分析通过对空间数据的均值、方差、聚集度等指标计算,分析城市空间实体的分布特征,例如城市人口分布的聚集模式、绿地空间的分布均匀性等,为空间资源优化配置提供参考。

拓扑分析基于空间关系理论,通过对实体间拓扑关系的运算,验证空间数据的合理性,同时挖掘实体间的逻辑关联,例如地下管网的连通性分析、道路网络的拓扑完整性校验,可及时发现管网断裂、道路连通性不足等问题,为设施运维提供支撑。网络分析则聚焦城市交通网络、管网系统等线性设施,通过最短路径计算、可达性分析、流量分配等方法,优化设施的运行效率,例如城市急救路线的动态规划、供水管网的流量调配等,提升城市基础设施的协同运维能力。

3 城市空间信息工程典型应用场景

3.1 城市空间规划场景

在城市空间规划中,城市空间信息工程可实现对规划区域的全面认知与科学研判,解决传统规划中依赖经验、数据支撑不足的问题。通过空间数据采集技术获取规划区域的地形地貌、现有建筑、道路网络、绿地分布等基础数据,经数据处理与融合后,构建三维空间规划模型。借助空间分析技术,对规划方案的合理性进行校验,例如分析建筑容积率与采光、通风条件的适配性,验证道路网络的可达性与通行效率,评估绿地空间的服

务覆盖范围。

同时,通过三维可视化技术,将规划方案以直观的形式呈现,便于规划人员、建设单位及公众直观了解规划效果,减少规划方案与实际需求的偏差。例如在城市新区规划中,依托空间信息工程技术,可精准测算土地利用效率,优化建筑布局与道路走向,实现土地资源、空间资源的高效配置,提升规划方案的实操性与科学性^[3]。

3.2 城市基础设施运维场景

城市基础设施(包括地下管网、道路桥梁、公共交通设施等)的运维管理是城市正常运行的核心保障,城市空间信息工程可实现对基础设施的动态监测与精准运维。针对地下管网(供水、供电、燃气、排水管网),通过空间数据采集技术获取管网的位置、走向、管径、材质等核心信息,构建管网空间数据库与三维模型。借助拓扑分析与网络分析技术,可快速定位管网故障点,优化维修路线,减少故障排查与维修时间,降低运维成本。

对于道路桥梁等地面设施,通过遥感技术与移动测量技术,实时监测道路路面破损、桥梁结构变形等情况,结合空间数据分析技术,评估设施损耗程度,制定针对性的维护方案。在公共交通设施运维中,通过GPS定位技术采集公交、地铁等交通工具的实时运行轨迹,结合道路网络分析,优化运营路线与发车频次,提升公共交通的运行效率与服务质量。

3.3 城市人居环境整治场景

城市人居环境整治的核心是提升城市居住舒适度与生态环境质量,城市空间信息工程可为整治工作提供精准的数据支撑与效果评估依据。通过遥感技术与地面采集技术,获取城市人居环境的核心数据,包括绿地覆盖面积、水体质量、建筑密度、噪声分布、垃圾堆积点位置等。经数据处理与分析后,识别人居环境存在的薄弱环节,例如绿地分布不均、噪声污染严重、垃圾堆积点集中等问题,为整治工作明确重点区域与整治方向。

在整治过程中,通过动态数据采集与分析,实时监测整治效果,例如跟踪绿地种植面积的增长情况、噪声污染的改善程度、垃圾堆积点的清理进度。整治完成后,借助空间分析技术,对人居环境质量进行综合评估,对比整治前后的空间数据指标,验证整治工作的实际成效,为后续人居环境优化工作提供参考。

4 城市空间信息工程应用中的问题及优化对策

4.1 核心问题剖析

首先,多源数据融合难度大,不同采集技术获取的数据在精度、格式、坐标系等方面存在差异,且数据来源分散,缺乏统一的整合标准,导致数据融合过程中易

出现偏差,影响数据质量与应用效果。其次,技术与实践场景适配性不足,现有技术多基于通用场景开发,针对不同城市的空间特征、功能需求的个性化适配能力较弱,例如高密度城市与中小城市的空间数据需求差异较大,通用技术难以完全满足个性化运维需求。

再者,数据安全风险突出,城市空间数据包含大量核心地理信息与设施布局信息,属于敏感数据,在数据存储、传输与共享过程中,易出现数据泄露、篡改等问题,威胁城市空间安全。最后,专业人才缺口明显,城市空间信息工程需兼具空间科学、信息技术与工程实践能力的复合型人才,现有人才队伍在跨学科整合能力与实践操作水平上存在不足,制约了技术的高效落地^[4]。

4.2 优化对策建议

针对多源数据融合问题,需建立统一的数据标准体系,明确不同类型空间数据的精度要求、格式规范、坐标系标准与编码规则,实现数据采集、处理、存储的标准化。同时,引入先进的数据融合算法,结合人工智能技术,自动识别不同数据源的差异,优化数据配准与关联精度,提升数据融合的效率与质量。例如,通过机器学习算法自动修正遥感影像与矢量数据的空间偏差,实现多源数据的精准融合。

针对技术与实践场景适配性不足的问题,需强化技术的个性化定制能力,结合具体城市的空间特征与应用需求,对核心技术进行针对性优化。例如,针对高密度城市地下空间复杂的特点,优化地下空间数据采集技术,提升地下管网、地下建筑数据的采集精度;针对中小城市运维资源有限的情况,开发轻量化的空间信息管理系统,降低技术应用门槛。同时,加强技术应用前的场景调研,精准对接实际需求,确保技术方案与实践场景高度适配。

4.3 风险防控与人才培养措施

在数据安全防控方面,构建全流程数据安全保障体系,采用加密存储、访问控制、数据溯源等技术手段,强化数据存储、传输与共享过程的安全管控。例如,对敏感空间数据进行加密处理,设置分级访问权限,仅授

权人员可访问核心数据;建立数据溯源机制,对数据的修改、传输轨迹进行全程记录,及时发现并处理数据安全隐患。同时,加强数据安全意识培训,规范数据操作流程,从人员层面防范数据安全风险。

针对专业人才缺口问题,需构建多元化的人才培育体系,加强高校、科研机构与企业的协同合作,优化人才培养方案。高校可增设跨学科课程,融合空间科学、信息技术、工程实践等内容,培养复合型人才;企业可与高校开展校企合作,提供实践平台,提升学生的实操能力。同时,加强现有从业人员的技能培训,引入行业前沿技术与实践案例,提升其跨学科整合能力与技术应用水平,打造高素质的专业队伍。

结束语

城市空间信息工程作为城市发展的智慧引擎,在理论构建、技术创新与应用实践中已取得显著成果。尽管面临多源数据融合、技术适配、数据安全及人才短缺等挑战,但通过建立统一标准、强化定制开发、构建安全体系及多元培育人才等对策,能够有效应对。未来,随着技术的持续进步与应用场景的不断拓展,城市空间信息工程将深度融入城市发展的各个方面,为城市规划提供更科学的决策依据,为基础设施运维提供更精准的技术支持,为人居环境改善提供更有力的数据保障,助力城市实现高质量、可持续发展,迈向更加智慧、宜居的未来。

参考文献

- [1]李兴华,许继恒,谢金容等.基于多源数据城市人防工程平战转换技术研究[J].地下空间与工程学报,2023,19(S1):51-60.
- [2]牛天勇,安佑瑶,王沁怡等.超大城市人防工程开发利用趋势分析与风险治理研究[J].房地产世界,2022(24):47-50.
- [3]车稳,邵峰.浅论城市地下空间与人防工程的融合发展[J].房地产世界,2023(04):96-98.
- [4]韩正昌,刘吉雷,王志亮.地理信息系统在城市地下空间规划中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(13):22-24.