

基于AI+BIM的快速建模 在智慧城市领域场景应用

Application of AI+BIM Rapid Modeling in Smart City

郭兴海,庞晓静,邹俊燕,隋泽昱,黄崇轩,彭新潮(北京电信规划设计院有限公司,北京100080)

Guo Xinghai, Pang Xiaojing, Zou Junyan, Sui Zeyu, Huang Chongxuan, Peng Xinchao (Beijing Telecom Planning & Designing Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China)

摘要:

随着新型智慧城市、数字孪生城市建设进入爆发期,基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术在智慧城市领域的应用已逐渐展开新的探索和尝试,应用价值日益凸显。通过AI和BIM技术深度结合,逐渐开发完善一个全新的三维建筑建模的AutoML集成算法技术平台,实现智慧城市领域建筑、市政、路桥等全行业快速高精建模及高价值场景应用,降低了BIM建模成本和难度,拓展了BIM模型深度应用的范围和场景,使BIM模型数据一图到底,支撑基于数字孪生的智慧城市建设。

Abstract:

As the construction of new smart city and digital twin city enters the outbreak period, the application of rapid building modeling technology based on AI+BIM fusion has been gradually explored and tried in the field of smart city, and its application value has become increasingly prominent. By the BIM technology depth combined with AI, it gradually develops a new AutoML integration algorithm of 3D building modeling technology platform, which achieves industry-wide rapid and high precision modeling and high value of application scenarios of construction, municipal, road and bridge of smart urban area, reduces the cost and difficulty of BIM modeling and expands the scope and depth of the BIM model application scenarios. The BIM model data can be mapped to the end to support the construction of smart cities based on digital twins.

Keywords:

Smart City; AI; BIM; AutoML; Digital twin; Deep learning

引用格式: 郭兴海,庞晓静,邹俊燕,等. 基于AI+BIM的快速建模在智慧城市领域场景应用[J]. 邮电设计技术, 2022(11): 79-85.

0 引言

智慧城市建设正处在如火如荼的爆发增长期,城市数字孪生作为智慧城市建设的先决条件^[1],面临着城市建筑物类型繁多、体量宏巨、管理流程基础信息错漏缺失,数字孪生城市建设成本不断提升,效率低下、周期漫长、更新困难,城市数字孪生过程更多的依赖于人工处理,质量和标准难以把握,各专业协同管理难等诸多难题。本文基于业内AI+建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)融合的建筑快速

关键词:

智慧城市; AI; BIM; AutoML; 数字孪生; 深度学习

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.11.015

文章编号: 1007-3043(2022)11-0079-07

中图分类号: TN915

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



建模AutoML算法技术平台,探索研究其在智慧城市领域的多场景应用及延伸应用。

1 应用研究背景

在智慧城市建设过程中,基于BIM的智慧城市建筑数字孪生技术主要有3种。

第1种方式利用三维软件正向建模,如美国欧克特公司的Revit、英国奔特力工程软件有限公司的Microstation、Bentley Bridge系列产品、法国达索CATIA系统等,国内有广联达BIM、品茗BIM、鲁班HIBIM等产品。

第2种方式通过仪器设备参照点云数据逆向建

收稿日期: 2022-10-20

模,主要设备包括三维激光扫描仪与无人机2种。其中三维激光扫描主流设备包括瑞士徕卡、美国天宝、日本拓普康、德国Z+F等,三维激光扫描设备如图1所示。三维激光扫描形成的点云数据处理软件包括芬兰 TerraSolid Oy 公司基于 Microstation 平台开发的 TerraSolid 平台、美国天宝公司的 Realworks、徕卡公司的 Cyclone、奔特力公司的 Pointtools、Orbit Mobile Mapping 等,国内科研院所和公司开发的工具软件包括武汉天擎的 LiDAR Suite、西安煤航的 LiDAR-DP、北京数字绿土的 LiDAR 360,三维激光扫描点云模型数据如图2所示。无人机厂商主要包括大疆创新科技、美嘉欣、亿航智能、零度智控、华科尔等,倾斜摄影无人机设备如图3所示。倾斜摄影建模软件包括 Acute3D 公司的 Smart 3D ContextCapture、瑞士 Pix4D 公司的 Pix4Dmapper、AGISOFT 公司的 Photoscan、德国 INPHO 公司的 inpho 等,无人机倾斜摄影成果如图4所示。



图1 三维激光扫描设备



图2 三维激光扫描点云模型数据

第3种方式利用图像或者视频来进行建筑逆向建模,目前国际上微软公司、Autodesk 公司、斯坦福大学和麻省理工学院等机构在基于图像的三维形体快速重建方面有良好的研究成果,但是仅仅是实验室研究



图3 倾斜摄影无人机设备



图4 无人机倾斜摄影成果

成果,还无法实现商用。其中加拿大公司 FOTO3D 等对基于图像的三维重建系统进行了市场推广,但是需要大量的手工交互,对照片的拍摄环境和拍摄精度有相当高的要求。在国内,该技术仍处于学术研究阶段,北京大学、清华大学、中科院自动化所、北京航空航天大学、香港理工大学等科研院校正在开展前沿研究,仅有 Autodesk 123D Catch、北科光大 3DCloud 平台等极少市场化产品。

本文主要研究方向为基于 AI+BIM 融合的建筑快速建模技术,属于上述3类方法中第1类和第3类方法的结合,研究目的在于快速推进基于 AI+BIM 的快速建模技术实践,缩短智慧城市数字化周期,提高城市建筑物数字化效率和模型数据质量,降低建模成本和难度。国内目前主要研究方包括腾讯、阿里、万科、中交集团等,该技术尚处在发展完善阶段,相关算法模型和流程尚处于商业机密,典型产品如阿里云全息空间 BIM、万科 VBIM 等。通过机器自动学习、深度

学习、大数据训练等一系列过程,深度结合 BIM 全专业类型软件,逐渐发展成为全专业、功能全面的城市数字孪生能力开放共享平台,实现智慧城市全场景全领域自动化高精度建模的宏伟目标。

2 基于 AI+BIM 的快速建模技术原理和步骤

2.1 AI+BIM 快速建模技术原理

在传统 BIM 建模过程中,人工建模方式在图纸数据收集整理、样板及空间坐标建立、数据导入建模检查、BIM 模型数据成果输出这 4 项流程上会花费大量时间精力,机械重复该流程。而且不同工程师有不同的操作习惯,导致模型数据成果质量、进度、建模效率不同,给后期模型数据整合、深化应用带来不便,甚至返工重建耽误进度。

基于 AI+BIM 融合的建筑快速建模技术的原理和核心是基于 AI 算法的图符识别、图元数据提取和处理,图元数据汇聚和基于 BIM 的 3D 模型自动构建^[2]。首先是标准化图纸,通过经验丰富的工程设计人员,将不同专业、不同类型的图纸进行分类和标准化处理,处理过程包括独栋建筑物图纸归集、独栋建筑物图纸专业/类型分类、独栋建筑物图纸标准化、图元分解标注等。其次是基于 AI 的 AutoML 算法平台深度学习^[3],将海量图纸数据输入 AI 算法模型,直到系统能够较全面识别图纸图文信息,在该步骤中需要人工手动选择建筑栋数。机器识图的过程如下:首先识别建筑平面图,提取数据生成数据包模型;然后识别立面图生成数据包模型;最后识别剖面图生成数据包模型。将 3 种数据包模型进行整合剪切生成最终数据包模型。举一个简单例子,墙上面有一个门,通过平面图可以定位到门的宽度尺寸和位置信息,算法会记录到这些信息生成模型数据包;通过立面图获得门的位置和尺寸信息,生成模型数据包,然后对这 2 个数据包模型进行融合,将有用的信息整合起来。最后是模型生成,AI 算法根据 BIM 建筑建模软件的建模数据规则将数据抽取、融合处理成标准数据包,也就是组成独栋建筑数据包,最后一键生成模型,数据包内建筑数据会按照建模软件数据规则自动搭建模型,自动检查模型完整性。

2.2 AI+BIM 快速建模标准流程

基于 AI+BIM 的建筑快速建模流程共分 4 步。

a) 拆分图纸框架。将标准化后的图纸上传至 AutoML 平台,进行图纸框架拆分,图纸拆分成功后可点

击预览检查,重新框选命名。

b) 设置轴网标高。系统平台自动勾选默认图纸和楼层数据设置为轴网标高,也可点击图纸自定义轴网标高并修改轴网标高数据。

c) 识别图纸内容。勾选相应楼层图纸即可识别图纸内容,可点击任意一张图纸在线 3D 预览,点击 2D 模式并且打开图纸显隐,叠加图纸和 3D 模型检查图元是否有错漏部分,图纸框架拆分和 3D 预览分别如图 5 和图 6 所示。如有错漏可点击设置图层进行手动图元归类,在图层类型中查看构件类别,将错漏的图元归类至相应的类别,重新识别该图纸,刷新模型,得到更新后无图元错漏的模型图,并将所有图纸的坐标点调整成一致。检查图纸坐标点,查看每张图纸所对应的模型是否处于同一个位置,如果不一致则需纠偏;如果一致则无需纠偏。



图 5 图纸框架拆分

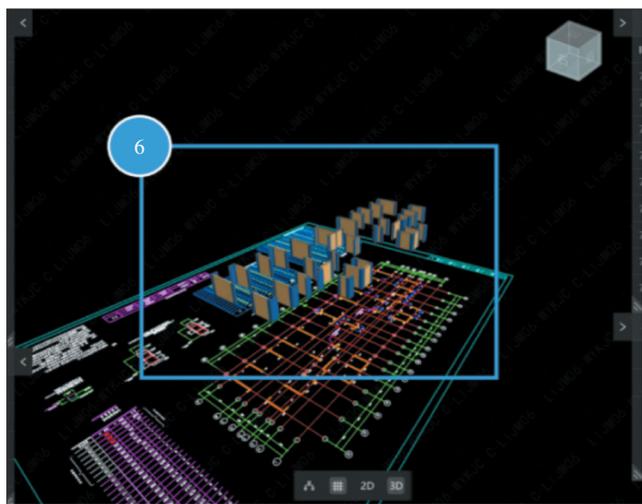


图 6 3D 预览

d) 选择建模范围,模型生成。勾选所需建模的构件及图纸,可筛选建模图纸内的专业分类,如建筑、结构等,点击开始建模即可生成模型。可实时查看模型生成状态、模型搭建进度。

机器建模需要将整理好的图纸导入云端,经算法计算生成模型数据包。这个过程有2个部分的工作需要人工完成,第一是图模一致性的审查,对模型中建模错误的问题和算法识别错误的问题进行修改,比如对门窗族匹配错误等情况进行更改;第二是对机器生成的报告进行整理,并对图纸表达不清楚或无法识别的问题进行整理,合并一起生成最终问题报告,报告中的问题需要用户进行明确,明确后将模型修改完成。

2.3 AI+BIM快速建模系统业务架构

基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术是基于AI算法解析二维建筑设计图纸(CAD)形成建筑数据包进行三维模型构建,支持生成建筑、结构(含钢结构)、机电等专业,可快速生成BIM,还原建筑空间信息。BIM模型生成效率、精度高,支持无缝对接主流BIM/CIM软件与平台,广泛应用于建筑楼宇、园区、社区和城市的数字化建设与智慧化管理等多个场景^[4]。基于AI+BIM融合的建筑快速建模 AutoML算法平台技术系统的业务架构示意如图7所示。

基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术 AutoML

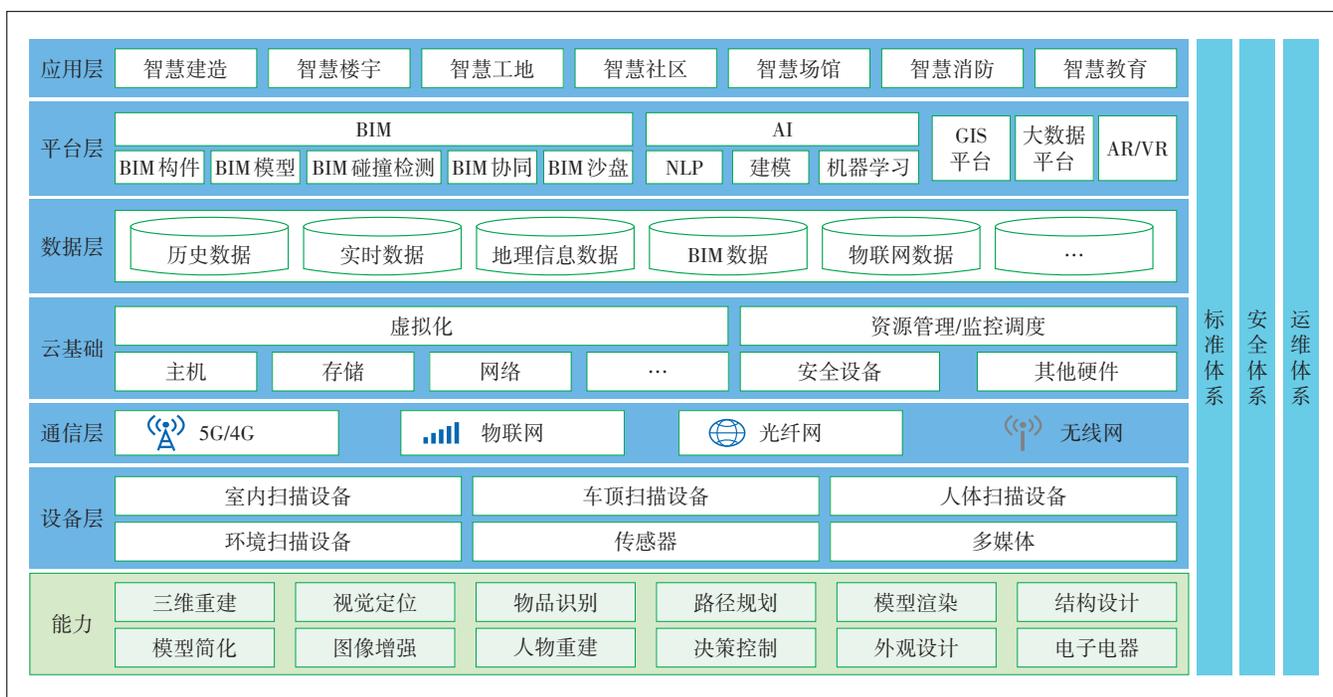


图7 业务架构示意图

算法平台系统业务架构分为设备层、通信层、云基础、数据层、平台层、应用层共6层。设备层主要是数据采集设备,包括室内/室外扫描设备、环境扫描设备、传感器、人体扫描设备等;通信层主要包括物联网、无线网、4G/5G、光纤网络,保障在系统运行中数据传输稳定通畅;云基础层主要包括虚拟化主机和资源管理调度系统,负责云资源的分配、调度、使用和管理;数据层包括BIM数据、二维CAD图纸数据、历史数据、实时数据、地理信息数据、物联网数据等;平台层是核心层,主要包括AI+BIM三维建筑自动高精度建模算法、XR融合算法、建筑大数据 AutoML平台、GIS平台等;最顶层为应用层,目前应用场景包括智慧工地、智慧楼宇、智慧建造、智慧社区、智慧场馆、智慧消防、智慧

展会等。

目前系统架构为基于BIM三维建筑建模算法架构,使用传统网络和服务器。未来随着智慧城市创新业务拓展延伸和新技术不断发展完善,将会融入5G、MEC边缘云、区块链等前沿技术,使数字建筑数据成果更加安全、便捷、稳定,系统架构也会扩展支持更多专业和更广泛领域。

3 应用场景

基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术,在智慧城市领域应用场景十分广泛,重点支撑智慧城市数据融合、资源汇聚、数据分布式管理、模拟仿真、大数据可视化、数据资源池等方面的建设^[5]。

在智慧城市领域,目前比较成熟的典型应用包括基于数字孪生城市的规建管一体化的城市CIM平台^[6],平台涵盖城市规划、建设、管理三大阶段,充分利用BIM和3DGIS、云计算、大数据、物联网和智能化等先进信息技术,构建统一的CIM城市信息模型,在城市建设之初同步形成与实体城市“孪生”的数字城市。打通规划、建设、管理的数据壁垒,改变传统模式下规划、建设、城市管理脱节的状况,将规划设计、建设管理、竣工移交、市政管理进行有机融合,管理需求在规划、建设阶段就予以落实,积累城市大数据资产,为智慧城市更为广阔的应用领域奠定基础,真正实现智慧城市“一张蓝图绘到底”、“一张蓝图干到底”和“一张蓝图管到底”。

3.1 规划阶段:数字蓝图创新设计协同共享

3.1.1 兼容多专业设计规范,提高设计协同效率

在新型智慧城市建设中,涉及到多个专业、多个参与方,不同设计单位、不同专业在设计环节采用的设计软件不同、形成的设计习惯和设计规范不同,设计协同难度大、问题多。同时,城市级的规划设计协同所涉及的BIM建模工作量大,传统人工建模难以满足新型智慧城市建设的需求。

基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术,一是兼容不同设计单位、不同专业的设计文件,解决不同设计软件互不兼容,以及因设计规范不同导致的识图效率低下等问题,实现了多专业多参与方基于同一元数据模型的协同。二是相对全面且时效性较高地汇聚了管网^[10]、周边建筑物、道路路网等相关元素的设计文件,提高了不同专业设计人员的协同效率;同时便于设计人员及时掌握相关区域的设计内容和设计进度,避免因不了解周边环境而导致设计方案冲突。例如在城市道路路网设计中,由于地域范围大,通常由不同的设计单位完成各自区域的道路设计,存在不同区域的设计标高与市政管网对接的问题。三是由传统的二维图纸转换为三维可视化,一方面更加直观地为设计人员、审核人员等相关人员提供了设计方案的展现工具,便于决策人员快速完成设计方案的比选;另一方面,便于设计方案与市政设施数据相关联,快速融合到城市数字模型中,实现道路水平、垂直方向上与排水、供电、供气等市政设施的对接^[11]。

3.1.2 构建城市三维模型,提高城市规划审批效率

传统的规划审批和管理大多以二维图纸等形式为主,规划审批人员难以有直观的感受。通过基于

AI+BIM融合的建筑快速建模技术构建高精度BIM模型,从控制性详细规划和修建性详细规划2个层次建立基于相同数据结构并且包含了所有规划体系的三维和多维模型^[12]。基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术与城市规划管理平台相结合,一方面给审批管理人员更加直观的感受,另一方面提供了真实的地理空间数据,可以进行空间分析和计算,为城市规划审批和管理提供可量化分析的技术手段。其次,BIM模型为三维模型,审批人员、设计人员可以实时查看三维模型,并在三维城市空间模型中实时检查和修改各项审批参数,提高沟通和审批效率^[13]。最后基于BIM模型可以对方案微环境进行仿真模拟和评估,使得城市设计更加合理。

3.2 建设阶段:数字建设打造新未来

城市建设日新月异,推进城市数字化建设,打造未来美好智慧城市,城市建设阶段建设水平决定着未来智慧城市管理运营的效率 and 成本。城市建设阶段体量庞大、关联方繁杂、专业领域广大、周期跨度长、信息海量,对城市管理者提出了更高的管理和监督要求,如何保证城市建设稳步有序、可管可控、安全高质量,是所有城市管理者面临的一大挑战。

3.2.1 CIM时空大数据打造数字孪生城市建设云

在城市建设阶段,基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术有助于快速构建城市CIM时空大数据,通过高度融合BIM+GIS+IOT等核心前沿技术,将城市建筑物、环境、设备等信息实时关联汇聚,以时空引擎与计算引擎将城市建设管理规则贯穿到城市建设阶段的每一个流程和细节,将海量城市建设数据积累沉淀,最终形成数字孪生城市建设云。通过对城市建设云进行深度挖掘分析与开放共享,赋能整个城市建设管理相关部门核心业务和整个城市建筑产业链。对于建设企业主体,可多快好省地完成工程项目建设审批备案、项目开竣工申请、项目信息变更申报、重大项目施工模拟预演等核心工作流程。对于政府,可提升政府住建管理部门对城市建设项目精细管理的效率和质量,有助于城市住建部门精准把握城市建设进度和环节^[14],提高政府科学施策和精准监管能力,推动城市工程项目建设数字化管理落地,实现数字城市向智慧城市演进。

3.2.2 构建智慧建造管理体系,推进城市数字化进程

基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术可分层分级专业融入到城市智慧建造系统内。系统借助BIM

数据良好的可视化、协调性、模拟性、优化性、可出图性等特性,可实时追踪、记录、呈现工程项目建设过程中实际进度、安全、质量、物资、环境等全要素信息。在项目建设前期完成建筑各专业协调,例如BIM图审、净高分析、碰撞检查、管线综合调整、钢结构/幕墙/市政深化设计、园林景观排布、BIM+AR/VR/MR虚拟质量样板等应用,可避免项目各专业错漏碰撞和变更调整,加快建设进度,提高建设质量和标准;在项目建设中期可完成项目信息汇聚、资源调整、重大决策科学辅助,例如项目重要施工工序模拟、重要工艺三维交底演示、重要工程项目节点推演、新技术新工艺实施模拟仿真等应用,辅助工程项目建设资源优化配置、科学决策模拟推演,避免耽误进度和资源浪费,降低建设安全风险消除隐患;在项目建设后期借助基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术,可实现工程项目竣工验收BIM模型数据与物理实体一致性,辅助工程项目质量检查验收、工程建造变更查询追溯、工程建造过程信息补充录入等,将完整真实有效的高精度城市工程建设项目信息统一移交,真正做到工程项目BIM模型一张图竣工交付^[15],节省项目建设成本和资源,提高建设质量效率,辅助城市建筑业精确数字化转型,推动建筑业朝数字化、智能化发展,助力城市数字化进程。

3.3 运营阶段:AI+BIM助力智慧城市管理运营

3.3.1 基于AI+BIM大数据技术提升交通管理水平

近年来,随着城市交通快速发展,路网规模不断升级,运输服务水平明显提高,交通出行需求急剧增加,运行监管压力不断加大,建设一套能够高效进行路网运行监测和应急处置的运维管理系统,是保障城市交通系统稳定运行的重要手段。通过基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术赋能交通大数据平台,扩展交通领域直接产生的静态和动态数据、公众互动交通状况数据、相关行业数据和重大社会经济活动关联数据,以信息化促进传统行业转型的思维,形成地面公交、出租汽车、轨道交通、路网建设、汽车服务等领域的一体化智能管理。协调发展各种交通元素,构建智慧交通平台,并实现其智能化。例如,基于大数据融合挖掘和基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术,结合交通运行状况,可对未来1h的交通运行状态进行短时预测模拟,提前知悉道路交通变化趋势,实时识别与预测拥堵路段,实时推送拥堵预警信息,为快速、高效的拥堵治理提供支持。通过在BIM系统中接入

道路称重传感器数据,结合道路设计荷载数据、路面病害数据、养护数据,分析判定病害高风险路段,并在BIM平台中综合展示,可根据道路设计参数和养护部门的当前承载能力参数判断是否出现了超重碾压状况,并在BIM平台中按照超重碾压发生的实际道路位置显示超重标记。通过在BIM系统中接入养护部门道路养护数据,包括道路养护时间、养护措施、养护路段范围、道路铺设材料、道路病害情况等,可实现养护数据自动关联至对应的道路模型,点击道路便可查询所选道路的详细养护数据。通过上述措施,可全面提升交通管控和决策水平,实现道路高效有序运行。

3.3.2 基于AI+BIM快速建模技术构建智慧消防

城市中高层建筑、大型综合建筑、地下建筑的数量不断增加,消防安全形势异常严峻。消防安全监督管理部门人员有限,仅仅依靠传统的消防排查和管理手段,无法及时发现、消除、整改重大火灾隐患,而且缺乏三维立体化的手段,着火点位置、被困人员位置、疏散路径以及救援方案等都无法被直观看到,很大程度上制约了消防救援的效率。通过将基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术与智慧消防相结合,可以构建一种先进的消防管理及预警模式,为消防管理提供一个三维可视化的建筑形体和数字化的环境,将火灾发生的位置、人员疏散的路径、被困人员的位置以及消防人员的营救路径都通过三维可视化的方式模拟出来,并与实时的物联网前端数据进行绑定,实现可视化的智慧消防监控及预警工作。例如,通过AI+BIM+物联网将建筑信息进行集成并且融合到一起,高效地收集底层信息,并对其进行感知和传递、监控。BIM对传递过来的异常设备信息进行可视化集成和快速定位展示,对设备维修与维保工作做到了有效协调与管理。通过基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术还可以对火灾紧急疏散进行模拟,一旦火灾发生,根据三维数据模型的呈现,可以快速地计算出人们疏散和逃离的时间、线路,从而有效地配合消防部门指导人们进行疏散,保证人们在最短的时间内逃离火灾现场,减少人员伤亡。对出现的紧急事件,系统会对所拥有的预案进行分析,进而帮助相关人员进行辅助配合救援。因此,将AI+BIM融合的建筑快速建模技术引入到智慧消防中能够很好地解决监控和预警不直观的问题,极大提高消防管理的效率和可视化水平。

3.3.3 基于AI+BIM模型提高社区运营管理水平

在目前的智慧社区运营管理过程中,由于开发商

与运营管理单位相互分离,造成大量的图纸信息流失,给智慧社区运营管理的工作带来诸多不便。若将基于AI+BIM融合的建筑快速建模技术与智慧社区运营管理工作相结合,以BIM模型为载体,将社区建设全过程的信息数据关联到智慧运维系统中,将大大提高工作效率和运营管理水平,降低对人力的依赖。例如,通过将BIM模型与相应传感器构件相关联,可实现对社区内能源消耗情况的自动统计,通过对系统后台收集的信息进行分析,将异常能源使用情况在BIM模型中相关的构件位置等进行注明,便可实现数据多维度追溯分析和异常用能的可视化追根溯源,并及时推送用能报告,帮助社区有重点地、快速、高效地解决能耗问题,实现能源及设备的合理调整,不断提升用能效率。利用摄像头、5G传输等技术将外部信息接入BIM模型,对社区内车辆进出状况、实时数据、属性信息等进行综合展示,实时对社区内车辆的进出情况、停放情况进行监控管理,对违规停放的车辆进行标记,自动提示车主并通知管理人员,进而实现社区车辆管理的无人值守和实时可视化管理,大幅降低人工成本,提高车辆管理效率。利用BIM三维真实场景与视频智能分析技术拼接,形成视频图像镶嵌动态地图,便可实现如越界检测、跨镜头定位追踪、入侵探测报警等功能。结合5G+巡逻机器人,便可实现远程巡逻,一旦视频巡逻发现异常,还可在BIM动态地图中进行实时标记,并及时通知机动岗进行处理,在为社区居民生活提供便利服务,推动社区防护工作的同时,还将有效强化社区安防体系,降低社区安防管理成本。

4 结束语

智慧城市建设在我国已进入爆发增长期,随着数字中国战略推进落地,数字经济发展日渐提升,智慧城市中BIM、CIM、AI作为数字经济发展核心驱动要素,未来发展空间更加广阔,前景更加光明,任务也愈发艰巨。通过积极探索AI和BIM等技术的融合创新,不断深化人工智能机器学习,拓展应用领域场景和边界,在未来积极融入5G/6G、MEC边缘云、物联网、区块链、量子通信等新术,能够真正解决智慧城市建设过程中城市数字化难题,突破核心关键技术瓶颈,创造价值、创新方法、创立典范,必将为智慧城市领域创新发展带来全新的生命力和无限可能,真正做到服务于城市里每个群体,智慧覆盖每个角落,实现智慧城市

一图到底、一键漫游,让智慧城市万物无限广域连接,创造更美好的未来生活空间。

参考文献:

- [1] 管浩. 新型智慧城市的起点:数字孪生城市[J]. 华东科技, 2020(11):58-61.
- [2] 盖彤彤,于德湖,孙宝娣,等. BIM与人工智能融合应用研究进展[J]. 建筑科学, 2020,36(6):119-126.
- [3] HUTTER F, KÉGL B, CARUANA R, et al. Automatic machine learning (AutoML)[C]. ICML 2015 Workshop on Resource-Efficient Machine Learning, 32nd International Conference on Machine Learning, 2015.
- [4] 曹荣龙. 多规合一 空间共管 业务共商——CIM技术行业应用综述[J]. 城乡建设, 2020(3):36-39.
- [5] 胡章杰,张艺. BIM在三维数字城市中的集成与应用研究[J]. 测绘通报, 2015(S1):196-198.
- [6] 张宏,王海宁,刘聪,等. 城市信息模型(CIM)技术应用领域拓展与人居环境智慧化[J]. 建设科技, 2018(23):16-18.
- [7] 李谧,贺晓钢,李博涵,等. 基于BIM+GIS的市政工程规建管一体化应用研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020,16(S2):527-539.
- [8] 赵敬忠. 基于智慧建造的工程项目施工成本精细化管理研究[D]. 兰州:兰州理工大学, 2019.
- [9] 韩军营. 数字化城市管理发展问题探究——以东营市为例[D]. 济南:山东大学, 2016.
- [10] 金波. BIM在城市规划管理中的应用[J]. 魅力中国, 2020(21):387.
- [11] 王琦. 城市道路与管道协同规划设计中BIM技术的应用[J]. 散装水泥, 2019(4):42-43, 71.
- [12] 王金阳,汪旻琦. BIM在城市规划审批中的应用——以上海市杨浦平凉社区0215商办楼为例[J]. 科学与财富, 2020(3):226-227.
- [13] 彭霞锋. 基于“BIM+”的智慧城市建设模式研究[J]. 房地产导刊, 2018(35):237, 239.
- [14] 陈明琪,曹吉昌,李美华. 基于BIM和时空大数据云平台的智慧城市研究与应用[J]. 建设科技, 2020(14):12-15.
- [15] 刘百韬,潘艳艳,李梦培,等. BIM+3D GIS技术在智慧城市基础设施及数字化管线运营系统中的应用与研究[J]. 中国科技纵横, 2019(5):37-41.

作者简介:

郭兴海,毕业于北京理工大学,工程师,硕士,主要从事智慧城市顶层规划咨询、产品开发集成、标准规范编制、CIM/BIM等相关研究和咨询工作;庞晓静,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事智慧城市顶层规划咨询、可研设计、产品开发、标准规范编制等工作;邹俊燕,毕业于北京邮电大学,注册咨询工程师,硕士,主要从事智慧城市、新技术新业务领域的研究与咨询工作;隋泽昱,毕业于河北工业大学,工程师,硕士,主要从事智慧城市顶层规划咨询、政企双碳行动方案规划咨询等工作;黄崇轩,毕业于北京航空航天大学,工程师,硕士,主要从事智慧城市总体规划与顶层设计工作;彭新潮,毕业于大连理工大学,工程师,硕士,主要从事智慧城市、企业数字化等新业务领域研究与咨询工作。