

# 实景三维建模方法及应用研究

付琼

安徽省第一测绘院

**摘要:** 实景三维中国建设是面向新时期测绘地理信息事业服务经济社会发展和生态文明建设的新定位、新需求,是传统基础测绘的转型升级。我国已经进入高质量发展的新时代,科学技术水平得到进一步发展,面对新的测绘需求,依照实景三维地形级、城市级、部件级的三级分类进行了需求分析。结合相关需求对常用的模型重建方法进行了讨论与分析,探究了多源数据融合建模的可能路线,总结归纳了现有实景三维建设成果,并展望了未来可能的发展趋势与应用前景。

**关键词:** 实景三维; 地形级; 城市级; 部件级; 三维重建; 倾斜摄影; 激光雷达; 多源数据融合

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.10.117

## 引言

实景三维是一种将真实世界的物体和场景以三维形式呈现的技术,它通过捕捉现实世界中的物体和场景,然后利用计算机图形学、图像处理、计算机视觉等技术对其进行建模、渲染和显示,使得用户可以在虚拟环境中感受到真实世界的空间感和立体感。实景三维是国家重要的新型基础设施,可以通过“人机兼容、物联感知、泛在服务”实现数字空间与现实空间的实时互联互通,为数字中国提供统一的空间定位框架和分析基础,是数字政府、数字经济重要的战略性数据资源和生产要素。实景三维中国建设是面向新时期测绘地理信息事业服务经济社会发展和生态文明建设新定位、新需求,对传统基础测绘业务的转型升级,是测绘地理信息服务的发展方向和基本模式,已经纳入“十四五”自然资源保护和利用规划。实景三维建模技术可以突破二维信息表现的束缚,实现国土空间规划各要素从静态到动态的直观展示,还能通过全景分析、智能审查、动态感知、趣味互动等形式,为推动规划科学编制、规划精准实施、规划全程监管以及公众智慧参与提供有效支撑,实现国土空间规划全周期精细化、智慧化管理。

## 一、实景三维建模项目的概念

实景三维模型指利用点云、实景影像等数据源制作的可量测的、具备实景纹理信息的连续三角面片模型。实景三维模型的数据来源分为激光点云数据和实景影像数据两种,根据采集方式的不同可分为主动式和被动式两种。主动式采集应用机载激光扫描仪从空中发射激光,接收返回到机载激光扫描仪的点云数据;被动式采集应用多角度倾斜航摄影从空中获取实景影像数据。激

光扫描作为主动式获取手段,对于光照等无要求,可以进行夜间作业,作业效率极高。被动式获取的实景影像获取受外界环境的制约,受光照、天气条件等不确定因素影响大,进度管理难度较高。本文所研究的实景三维建模项目指以实景影像为数据源的,从空中影像获取到实景三维模型生产的全过程。

## 二、实景三维建模方法及应用研究

### (一) 创建可量测实景图片

实景三维模型处于某一视角对人眼所呈现的是一帧图片,该帧图片由像素组成,当指针对屏幕上的像素进行坐标查询,就需要三维引擎通过三维映射二维的坐标转换对逐个像素进行三维赋值,反馈查询结果。创建可量测实景图片实现的原理就是基于这样的思路。由于二维像素坐标是相对坐标,若想要实现三维地理坐标的量测,需要逐像素建立对应的三维地理绝对坐标。首选需要在三维引擎中对实景三维模型进行渲染,建立通道检测碰撞测量算法模型。三维引擎场景中调整位置和视角到适当位置,从视点像素发出通道检测线条,形成射线逐线扫描屏幕像素进行检测碰撞测量,获取屏幕像素RGB坐标和其对应的三维地理坐标。获取的数据中像素RGB值用于创建图片,三维坐标值用于地理坐标映射文件。一般可量测实景图片由图片(像素坐标文件)和映射文件(地理坐标文件)2个文件组成,也可以整合为单个文件。使用的时候通过二维像素坐标结合地理坐标映射文件,反算三维坐标就可以达到利用可量测实景二维图片实现三维测量,满足测量分析应用目的。

### (二) 元宇宙变革实景三维应用

实景三维应用是对物理世界的补充;元宇宙的初衷是虚实相融,不是虚拟世界辅助物理世界,更不是虚拟世界替代物理世界,而是与物理世界重合产生大量的虚实融合场景。例如,基于实景三维的虚拟实训是将物理世界中的实训场所、设备等转为虚拟世界中的虚拟实训场景,用户可以观看了解虚拟世界中的虚拟实训;基于元宇宙的实训则让用户直接参与虚拟世界中的模拟实训,也可在物理世界中进行虚实结合的实地模拟。这样的场景应用不是简单的应用升级,而是时代的变革。

### (三) 蒙特卡洛模拟技术

蒙特卡洛模拟的基本思想是通过抽样试验来计算参数的统计特征,最后给出求解问题的近似值。首先从假定的数据生成过程中生成随机变量;然后根据指定的函数,将生成的随机变量映射到新的随机变量上,并形成

新的随机变量的分布；最后，反复重复上述步骤N次，从而得到关注的统计量的近似值。蒙特卡洛通过随机抽样的方法模拟出不同场景下的工序持续时间。依据大数定律，随着样本容量的增加，样本均值会依概率收敛到数学期望，可用样本均值近似代表总体的数学期望。蒙特卡洛模拟与传统方法的最大区别在于传统模拟只会计算出一个确定值，而蒙特卡洛模拟可以计算出结果的概率分布。这种方法可以形象表达工序持续时间不确定情况下项目总工期的变化趋势，是项目进度管理中常用的模拟方法，也较适用于不确定因素影响较大的实景三维建模项目。

### （四）道路实体模型生成

当模型生成时，需要结合道路的真实情况与采集图像的像素，进行模型几何表面中关键元素的定位。当检索到目标区域为不规则形状时，需要进行纹理的变形控制处理，通过这种方式，使各个目标区域之间的形状保持一致，从而获得不同节点的纹理坐标。在上述提出内容的基础上，为保证道路模型中的基准面图元与实体结构中的图元构成保持高度一致状态，应将模型中的图元信息进行离散化处理。在该过程中，根据道路模型生成过程中的图元建模工具，进行道路平面中图元信息的匹配。完成上述操作后，汇聚离散点生成三角构网。为保证构建的模型更真实、客观，需要对现有的模型进行纹理映射与细化处理。纹理映射过程是指对空间中二维信息，采用映射的方式，集成到三维实体结构中。

### （五）倾斜摄影三维模型数据

目前，倾斜摄影三维模型大部分以Bentley Context Capture生产和输出的OSGB瓦片集为主，这些模型按照文件名规则定义了多级瓦片索引结构，同时通过XML文件定义空间参考等描述信息。（1）解析和转换OSGB原始数据的整个细节层次树，构建多细节层次组织规则和OGC3DTiles规范构建三维模型瓦片集以满足要求。

（2）对提取的顶层模型进行数据量判断，以解决原始瓦片集顶层细节层次模型过于细分的问题。如果模型的数据量超过了设定的阈值，会按照格网的方式进行合并，将其三维凸包计算出合并后的各块单个模型。采用纹理烘焙工艺压缩纹理，从而获得全新的顶层模型，直到最终顶层模型的数据量低于规定的阈值，得到简化的细节层次模型为止。最终的模型瓦片集是通过上述计算得到的细节层次简明模型与细节层次精细模型的逐步转换合并而成的。倾斜摄影三维模型数据通过切片处理工具进行切片处理，经过模型顶层节点合并以及纹理压缩等轻量化操作，将OSGB格式的倾斜数据处理成.b3dm格式的数据文件，进入MongoDB非关系型数据库进行存储。对符合构建时空索引要求的数据，利用PostGIS创建数据集的时空索引表，构建“服务类型”+“服务名

称”+“文件目录层级”+“时间”+“空间”的时空复合索引。最后将重新构建的新的时空信息tileset瓦片数据集文件的数据文件通过Tomcat发布，地图加载指定时空的B3DM+JSON数据。

### （六）地形图的绘制与完善

立足于大比例尺地图制作的角度进行分析，具体操作中，采集的数据是构建三维模型的关键基础。基于此，技术人员应严格按照规定要求操控无人机，针对测绘区域内的地貌进行采集，还需获取不同标记点及地物的影像数据，一旦在测量区域内出现遮挡物，则无法顺利落实地貌信息的采集，技术人员应单独标注无法进行正常采集的区域，并向外业测量人员进行积极反馈，目的是保证此类数据可以得到及时补录，强化数据信息的完整性。同时，开展线状地物影像数据的采集工作时，技术人员应保证无人机采集方向与线状地物走向的一致性，且技术人员需在不存在数据误差的情况下，利用CASS10.1软件平台进行数据的自动化处理，之后得到被测区域的数字规划图，配合人工操作，做好不同采集点的标注，包含地名、建筑物、水系以及高程等。

#### （1）实景可视性

城市实景三维模型是对城市地形地貌、地上地下人工建筑物等的三维表达，反映对象的空间位置，几何形态、纹理及属性等信息。可以真实反映建筑物体的颜色、质地和图案等。城市风貌规划是城市规划建设的延续与深化，将实景三维应用于城市风貌规划，通过采集数据对三维数据进行三维建模处理，实现三维可视化在城市风貌规划中可以更真实、更直接的利用实景三维场景对建筑进行模拟。能够更鲜明、独特、唯美的表现出城镇形象，可以更好展现区别其他城镇特有的魅力和光彩。通过实景三维分析结合地形测绘、现场访谈、实地踏勘等方式，充分展现城市风貌现状特征和规划思路，更直观的展现风貌规划成果质量，以高质量实景三维可视化成果助力城市规划建设，为提升城市的风貌规划添砖加瓦。

#### （2）真实精确性

实景三维模型在城市风貌规划的应用对城市控制性详细规划、城市设计、历史街区保护规划、景观规划设计其规划管理等具有参考引导作用。可以还原历史风貌、重点保护与合理利用、突出区域特色、营造宜居城市，解决数字空间与虚拟空间联合、融合问题，打造“动态、永续、广覆盖、虚实结合”的同一化场景。进而优化城市品质和城市特色，化被动转为主动，在现状本底的基础上，创造性地调整影响城市风貌的现状和规划，对相关城市公共空间、交通、建筑、景观等进行二次规划和设计。实景三维模型在城市风貌规划的应用对于城市规划管理工作具有积极的促进作用。通过抽象事

物直接转换为具体对象,可以通过模型分析来更加准确地表达出城市未来发展状况及变化规律等。基于实景三维模型,以城市的环境、发展现状和未来趋势为基础,结合当地自然条件对自然环境分析。在城市风貌规划阶段综合考虑各方面因素,合理规划城市风貌中的生态建设问题,提高生态系统服务能力,实现资源利用最大化并使其与社会经济发展保持一致,实现城市景观环境、生态环境以及人居环境之间的协调统一发展。

### (3) 公众可参与性

公众参与规划的方式主要通过规划公示、听证会、问卷调查等,但是这些参与方式专业性较强、直观性较差,导致公众主动参与规划的意识淡薄。为提高公众参与的积极性,可以将城市三维数字地图接入手机APP,让公众能随时随地分享对城市建设管理的建议,实现公众意见实时汇集;可以设置三维沉浸式体验区,以充满科技感的虚拟体验,提高市民对城市规划管理的兴趣;市民还可以通过趣味性的“角色扮演”来体验城市规划的过程,比如从退休老人或学生的角度出发,对社区空地做出规划决策,并以“搭积木”的形式进行模拟设计,系统还会自动对规划方案进行评价。由此拓宽公众参与规划的渠道,践行“人民城市人民建”的理念。

### (七) 三维城市建模

在完成上述工作以后,就可以进行坐标模型的构建,完成三维城市建模。这里技术人员使用BentleyContextCapture工具,完成数据处理和模型建设工作。跟其他工具相比,BentleyContextCapture具有更强的还原度,同时误差率也比较低,能够充分应用航拍数据,构建高质量的三维建模。除此之外,使用这个工具也可以实现影像中微小细节的还原,增强边界处理的平滑性和真实性,使三维城市建模成品更加顺滑与和谐,具有较高的精度。本项目使用BentleyContextCapture工具进行了三维城市建模,最终成品可以一体化展示二维与三维的共同特征需求。特别是三维建模成品,可以多源、多尺度展示全空间要素,并实现三维可视化的无缝衔接与浏览。三维模型优化经过数据采集、处理和初步模型构建后,需要进行模型优化,以更好地反映真实世界的情况。这个过程通常包括以下几个步骤:

(1) 模型精细化:对模型的细节进行修整,包括调整模型的纹理、色彩、透明度等,以使模型更接近实物。对建筑物的细节,如窗户、门、立面等,都需要进行细致的处理。在全三维建模的过程中,由于水面等特殊地物在空三加密时无法匹配到正确的连接点,会导致生成的三维模型出现漏洞,需要对这些模型漏洞进行编辑与修补;(2) 数据融合:除了无人机采集的倾斜摄影数据,还可以引入其他来源的数据,如地面激光扫描数据、卫星遥感数据等,进行数据融合,可以提高模型

的准确性和完整性,同时丰富模型的表现力;(3) 错误修正:任何建模过程都可能产生误差,需要通过各种方法,如交互式修正、算法优化等,来修正模型中的错误,这些错误可能是几何形状的错误,也可能是纹理的错误;(4) 模型简化:对模型进行简化,在保证模型质量的前提下,减少模型的复杂度,可以提高模型的可操作性和可视化效果。优化三维模型是一个反复迭代的过程,需要根据实际情况进行调整。通过不断的优化,我们可以得到更准确、更具有实用价值的城市实景三维模型。

### 结语

元宇宙作为一种新兴技术,可应用于自然源等诸多行业。例如,在城市治理领域,人们利用元宇宙的虚拟城市模型进行交通流量模拟、能源消耗预测和垃圾处理优化等,并通过智能算法进行优化和调度,从而实现城市资源的高效利用和环境的可持续管理。在教育领域,可以真正实现无边界校园与虚拟学习,通过虚实结合解决物理世界中一些复杂设备无法实践的不足。元宇宙还可以在医疗、制造业等领域发挥重要的作用,成为支撑数字经济发展的重要力量。实景三维建设到元宇宙应用的探索充满了机遇和挑战,高精度的实景三维可以为元宇宙提供物理世界的数字化场景,是真实、沉浸式用户体验和时空分析的基础。元宇宙发展将推动实景三维技术的不断创新和提升,以满足元宇宙对虚实融合的需求。当前,元宇宙的应用主要集中在游戏、社交和工业领域,随着元宇宙研究越来越深入和社会需求不断演变,必将为人们带来更加丰富的虚实融合体验,也将产生更多变革性的创新和应用。

### 参考文献

- [1] 于海建,李昂,陈智轩.基于公路技术状况评价模型的某市政道路路面性能状况调查分析及养护决策研究[J].科学技术创新,2023(12):158-161.
- [2] 余佐明,申勇智,宋剑虹,等.利用经典CNN网络方法构建贵阳市道路要素遥感影像自动提取模型[J].测绘通报,2023(4):177-182.
- [3] 苏卫国,王景霄.基于YOLOv3深度学习算法的道路裂缝识别模型研究[J].中外公路,2023,43(2):58-63.
- [4] 许正森,雷相达,管海燕.多尺度局部特征增强Transformer道路裂缝检测模型[J].中国图象图形学报,2023,28(4):1019-1028.
- [5] 陆元晶,张春敏,薛赛红.关于常州市城市三维模型数据标准制定的探讨[C]//江苏省测绘学会,江苏省测绘学会航测与遥感专业委员会.江苏省测绘学会2011年学术年会论文集.《现代测绘》编辑部,2011:193-195.