

基于多源数据融合的三维实景建模与可视化系统的设计与应用

何奇兵¹

HE Qibing

摘要

快速进行三维实景建模与可视化呈现的需求越来越大。以城市园区为应用示例,利用“空-地”融合构建高精度的三维实景模型;采用在 Web 端进行可视化三维平台系统开发;分析了三维园区地形构建时存在的问题及解决方法,实现了三维园区环境可视化系统。实践验证,系统不仅能够展示更直观、更真实的园区信息,还可以对园区的资源优化与创新发展提供决策支持,有效地提升工作效率,降低工时成本,具有可行性。

关键词

“空-地”数据融合;三维实景建模与可视化;设计与开发

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.07.012

0 引言

当前三维实景建模方法较多,传统的手工建模尽管能够较好地控制模型精度,但是存在人工用量比较满、创作耗费不低、不能直观映射出实际环境等弱点。凭借倾斜摄影测量技术建模,由于遮挡等原因,建筑物底部纹理结构比较拉花。三维激光扫描构建三维实景模型,也存在小高层建筑顶部扫描漏洞、相机拍摄角度不理想等^[1]不足。为此,基于 Smart3D 超强的空三运算能力,完成多源数据的融合和三维地形建模,以某园区为应用实例,检验了模型的可靠性和有效性;在完成的结果上,生成基于 Web 的流式数据处理结构,采用三层结构模式,运用 HTML5、JavaScript、Cesium 等进行园区场境可视化平台的搭建,实现了三维园区场境可视化应用系统开发。

1 多源数据的采集

针对倾斜摄影测量技术,采用“地-空”融合的多源数据采集方法,解决了构建精细三维地形数据不足的问题^[2]。采集的数据涵盖:基于 RTK(实时运动定位)的控制点和查验点的地理数据、无人机航摄影像数据、RTK-数码相机精确的地表纹理数据^[3]。

(1) 外控点数据采集

为采集更精确的实景三维地理信息模型,必须在覆盖研究区域范围内布置适量的像控点,并在无人机进行倾斜航摄影飞行前测量出外部控制点的大地坐标。布点方案采用航带网法即按照航线来布设。外业像控点的大地坐标,通过选用 GPS-RTK 方式实测来获取。

(2) 校验点的选取

依据误差检验,通过比对实测检测点测量量值与模型中量取的数值,评估两者之间的置信区间,以验证场景地模的准确置信度和适用性。根据合理有效的方法,通过选取一些布设的外控点中的点,作为三维模型的平面精度与高程精度的测量精度测点。

(3) 空中影像数据的采集

选用红鹏微型无人机倾斜摄像系统,包括五镜头多视角倾斜相机 AP5600 和电动六旋翼无人机 AC1200,进行采集地上建筑场景影像数据。基于地形与地貌,完成航路的圈定、无人机航摄和 POS 数据的取得。

航测地面数据采集前,先运用地面站软件进行依据需求的航路策划和计算航高。对测区范围,选取六旋翼无人机 M300 搭载五镜头倾斜相机 102S 实行“井”字形航拍。航测使用 120 m 飞行高度,航向重叠度 80% 以上,旁向重叠度为 70% 以上,设置的参数符合航摄系统规范。对于获得的影像数据,需要检查是否有漏拍或单镜头照片数量不足;对于不清晰的影像数据,应重新采集,直至符合要求。

(4) 地表纹理数据的精确采集

在航采大场景影像数据全程中,源于近地物交替遮蔽等摄影盲区,易酿成地形模型局部纹理模糊不清、画面拉花、明显的空洞等缺陷。所以,针对地表上被测目标表面纹理数据的精准采集,不妨应用手机、单反相机、云台设备相机等展开地表近景摄影。

2 数据融合与模型分析

2.1 多源数据融合

运用瞰景 Smart3D 融合多源数据,评估模型精度,确定

1. 信阳航空职业学院信息技术学院 河南信阳 464000

模型在特定应用场景上的性能和有效性，是否真实表达真实感场景。并且，聚焦 3D Tiles 结构展开解析，为园区场景可视化系统开发奠定基础。基于瞰景 Smart 3D 处理多源数据时，应厘清下述三点要求。

第一，多源的影像数据须保持统一的时空基准作参考，以期实现“空-地”数据的时空配准融合。

第二，航摄相邻像片同一地表影像部分，应满足一定的重叠，以方便在空三阶段易于精细纹理进行特征点的提取，利于实景模型的精确构建。

第三，在同一坐标系下，要实现无人机大场景的空三点云与地面精确纹理的点云数据融合^[4]。空三点云越密集，构造的模型数据越精细。

具体多源数据融合建模流程如图 1 所示。

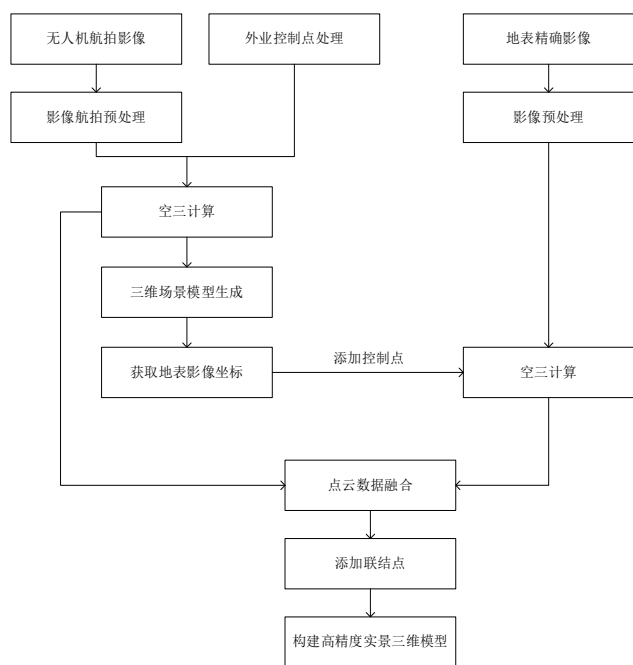


图 1 多源数据融合建模流程

实景三维建模的数据源采集，囊括了无人机航拍影像数据、精确地表属性和纹理数据以及外业像控点数据。无人机大场景航测数据加入地理位置信息（POS 点）的处理，先进行筛选分类后，再将前、后、左、右、正摄影像数据，分别分门别类地将 POS 数据批量加入拍摄的影像中。其次，对外业控制测量数据进行校正并统一空间坐标。同时，筛选并剔除瑕疵或朦胧模糊的地面纹理像片。

运用瞰景 Smart3D 处理“空-地”数据融合，涉及两个核心过程，一个是空三点云构建过程，一个是点云数据瓦片构建过程。

（1）融合无人机拍摄图像与自然地面控制点的数据

率先选择地面测量外控点坐标，用作空间数据融合标准的地理坐标参照，生成三维实景的精细模型，意在从构建的

三维实景模型中得到近地物表面精确纹理特征的空间坐标信息。在添加控制点之前，需要根据影像本身的空间坐标进行空三运算，完成“空三”之后得到精确的点云数据。

“空三”是倾斜实景三维构模中重中之重的环节，航摄影像的重叠度及影像分辨率都直接影响生成的空三点云数据的完整度和精度。完成了空三计算后，在 Smart3D 中可以直接解算出点云的位置密集度、整个航带的飞行空域位置、每张像片空间相对位置和拍摄的姿态角度等信息。如果点云数据整体偏移或存在相对偏差的点云时，要对因果链展开梳理，而后采用相应的改正举措，然后提交重新空三计算，直到达到应用要求。

（2）三维场景模型坐标和近地面像片坐标标准的融合

通过仔细观察生成的实景模型细节特征，鉴定有无存在模型分层或歪斜等缺陷。经确定无误后，将地表物的近地坐标从模型中提取出来，并应用此坐标规范近地影像位置的坐标标准。这样，地表点云数据与代表场景的无人机“空三”点云数据，保持在空间坐标上一致，实现了近地影像位置坐标与三维场景模型坐标的“空地融合”。

（3）空三运算的点云数据融合

刺完外业采集的每个像控点特征匹配点后，重新进行空三计算。仔细观察生成的“空三”点云数据，如果没有整体偏离或相对位置没有呈现偏向，那么就可以将点云数据进行融合，合并无人机航飞影像“空三”数据与地面点“空三”数据，实现点云级别的数据拼接融合。空三点云结果如图 2 所示。

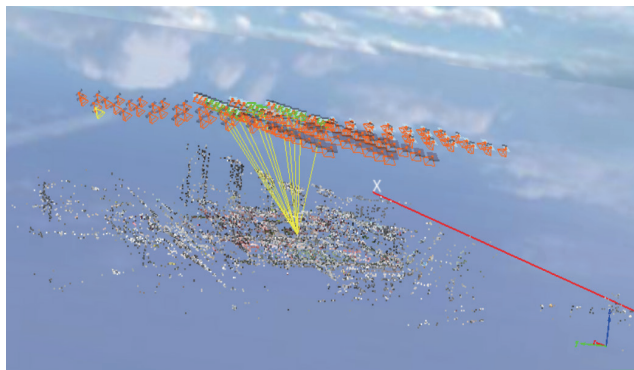


图 2 空三点云结果

2.2 模型的评价

精度指标是评价三维地形模型质量的主要评价参数。为了验证模型的可用性，须依据地模的纹理、几何、地理坐标三个精度要求展开评估。一是地模纹理的精度，有无满足呈现出逼真感的视觉效果；二是地模几何精度，用以评价地形干扰效应对作业装备的影响大小；三是地理标注的误差范围，有无满足模型地理坐标精度应用需求。

对于模型精度的度量，是通过地形的野外实测的检验点的坐标与地模中取得的坐标点的精度对比得出。由于人为在地模上获取了地物模型坐标，所以存在一定的相对偏差区间。

(1) 地模纹理的精度特征分析

纹理特征参数是度量纹理精度的关键，表现为实景三维模型具有更锐利的边缘、更少的瑕疵表现，地物细节纹理信息更加清晰可见，色调统一且明暗度适宜，外观完整匀称，相对方位与实地方位保持一致。通过“地-空”数据融合，解决了地物遮挡引起的模型边缘模糊、拉花等问题。

(2) 模型几何精度的分析

对高度精度而言，可选取诸如车辆、果皮箱等常见实物进行丈量，然后比对测算得出的实际尺寸与三维模型中量取的目标高度数值，从而实现了模型的高度精度分析。

对长度精度而言，在整个测区内，选择测量若干条具有典型性长度的尺寸，然后同三维模型中测算的数值展开比较。

通过对比分析生成的园区地形模型的几何精度，一方面，说明了生成的三维地形数据与地表近地物尺寸基本贴近；另一方面，也体现了地形几何特征对作业装备干涉效应的存在性。

(3) 地模中地理精度的检查分析

精度分析旨在评定测绘数据与实际地表实体之间的偏差，平面精度决定了地模数据的地理精确率，可选取测区范围多个检查点对三维地模进行平面精度测量。而高程精度则影响地表的垂直量测准确度，可随机遴选多个高程检查点进行高程差计算，计算出地模中高程值与地表实际高程之间的差异。基于平面和高程两个维度检查分析，是确保地模中地理精度数据可靠性的关键指标。

综上三个方面，对实景地形模型进行了评价和分析。分析结果表明，基于多源数据融合衍生的实景模型，不仅真实地表现了地物建筑的质感纹理，而且满足了真实场景仿真对模型的几何结构和地理精度的价值需求，验证了模型的可用性。

2.3 基于 3DTiles 进行功能开发的数据结构分析

完成三维地形模型分析后，以实际的结果为基础，派生出基于 Cesium 规范的 3DTiles 流式数据，其可以加载各种不同的 3D 模型数据，为开发基于 Web 端的三维可视化平台奠定基础。

3D Tiles 是一种可存储、可展开的大规模 3D 数据的开发标准结构，使用 TileSets(瓦片集)来组织和管理三维模型数据，一个瓦片集至少包含一个用于描述瓦片集的 JSON 文件和瓦片数据(B3DM 格式)，每个 Tiles 包含多个 Tile，最底层的 Tile 可包含具体的 3D 模型数据。JSON 是描述全部三维瓦片

数据集，包含瓦片空间数据结构以及记录瓦片集的属性“元数据”等。B3DM 则是一种批量存储单个瓦片内所有三维模型与属性数据的格式，包括带纹理的地形表面、三维几何信息、相关属性信息等。

3 系统设计与应用

3.1 三维可视化系统设计

系统以 Cesium 三维可视化引擎技术为基础，采用基于 HTML5+WebGL 标准下的 B/S 结构，客户端采用支持 WebGL 的微软 Edge、QQ 等浏览器；系统后端选用轻量级的容器 Tomcat，前端则以 Vue 和 Cesium 为基础，完成实景三维模型数据的可视化展示、多源数据集成、模型数据交互等^[5]。当程序处于运行时，客户端发送一个请求命令从服务器提取瓦片数据；服务器接收请求并将瓦片数据返回给客户端来响应；用户对瓦片数据加载解析，并且在过程中调用 WebGL 上下文和绘制命令将其即时地渲染在页面上，从而在可视化平台上展现了三维交互。系统总体的技术设计架构如图 3 所示。

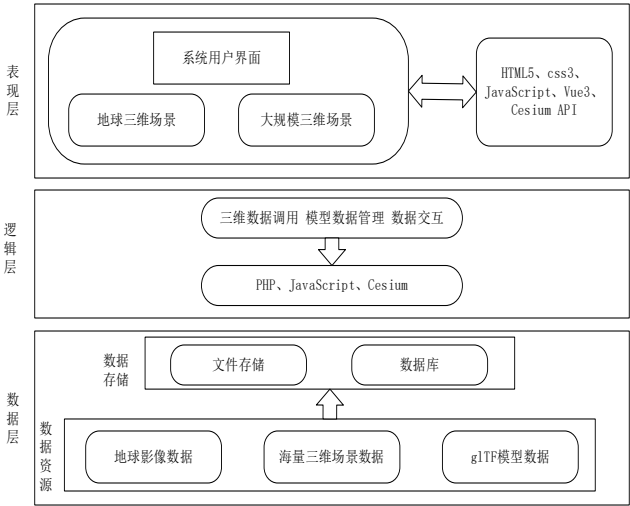


图 3 系统技术架构

表示层处于 Web 应用的前台，提供了与用户交互的接口，它将经过了绘制和渲染的 3D 场景通过浏览器呈现给用户。3D 场景通过 Cesium API 实现，交互界面是凭借 H5+CSS3+ES6 和 Vue3 软件设计与开发的。

业务逻辑层完成平台各种业务逻辑的实现。表示层的一系列呈现，离不开调用逻辑层中提供的各种方法。业务逻辑功能是通过 JavaScript 脚本语言、PHP 以及 Cesium API 代码编写实现的。

数据层将访问数据资源的各种操作进行了封装，提供给逻辑层使用，当数据层的实现策略产生更改时，并不会对业务对象的实现代码有影响。数据资源包括：地理底图数据、三维地形数据以及图表数据。

3.2 系统功能设计与实现

(1) 系统开发及运行环境

本可视化管理平台，在运行时须加载大量的 3D 地形地理信息，以便于数据以视觉形式来丰富展示。为了保证系统的高效开发，2D 和 3D 模型对象的绘制以及渲染的技术规范，软硬件部署和合理的配置，需要满足应用操作的正常性要求。具体的系统开发与运行环境，如表 1 所示。

表 1 开发环境配置

平台说明		型号
硬件	显卡	独立 4 GB 显存及以上
	内存	32 GB 内存及以上
	CPU	Intel(R) Core i7，支持图形硬件加速
	硬盘	硬盘存储量为 1 TB
软件	操作系统	Win7 或以上
	Web 服务器	采用 XAMPP 集成包
	数据库	MySQL8.5
	软件实现	JavaScript、HTML5、CSS3、PHP8
	源码编辑工具	WebStorm，VSCode

(2) 系统功能设计

根据应用场景需求，智慧园区可视化交互管理平台功能，包含有系统管理、目标可视化展示、模型管理与驱动、空间测距以及三维辅助分析等模块^[6]。若干个单独的子组件集成一个复杂的模块，执行特定的功能。三维可视化园区平台系统功能结构如图 4 所示。

(3) 系统功能实现

可视化展示模块是系统数据展示的核心模块，加载后的数据能在三维地球上进行叠加显示。可视化模块包括视图切换子模块和图层管理子模块，包含图层切换、标注标记、图例显示等。该模块方便用户能够从不同角度，对园区环境进行总体分析和细节观察；视图间的切换，使用户能够从多个视角、多个方面对数据进行观察，增强了自然而直观的视觉体验。

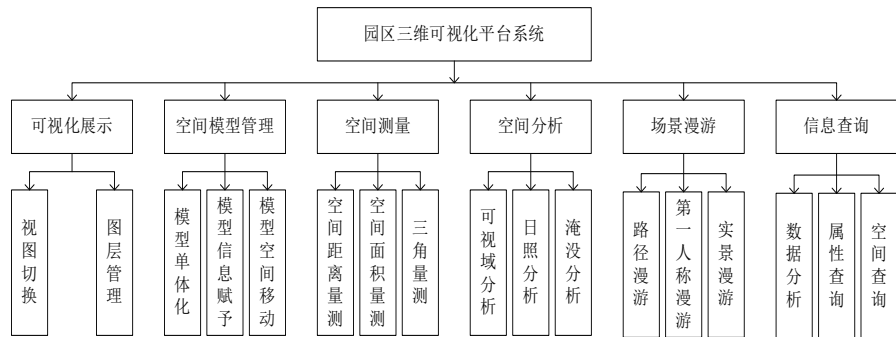


图 4 系统功能结构

三维模型“单体化”，是面向应用的实景模型管理的功能体现。具体有赋予地理信息、点击模型高亮、路径图绘制、模型的 LOD 管理、动态切换、交互操作以及完成模型空间移动等功能，从而很好地实现动态的园区环境。

“单体化”是将三维模型转化为单体化数据的过程，只有具备了“单体化”的能力，模型才能应用平台上被单独管理。

本系统基于 Cesium 平台，通过动态批量叠加配套矢量面数据，并通过矢量面挂接属性信息，实现实景模型“单体化”。在同一场景中，加载倾斜摄影对象和与之配套二维矢量面（地物边界），在模型数据渲染时，将矢量面动态叠加到倾斜摄影三维模型和点云表面，对矢量面的色彩、透明度和高亮进行设置，从而凭借重叠矢量对象实现了可单独选中地物的功效。

模型“单体化”处理和模型交互操作的核心代码如下：

```
// 将多个模型合并为单体
const tileset = Viewer.scene.primitives.add(
    new Cesium.Cesium3DTileset({
        url: 'path/to/tileset.json'
    })
);

const features = tileset.createFeatureTable();
const mergedModel = features.createMergedModel();
viewer.scene.primitives.add(mergedModel);

// 点击高亮模型
const handler = new Cesium.ScreenSpaceEventHandler(viewer.canvas);

handler.setInputAction(function(movement) {
    const pickedObject = viewer.scene.pick(movement.position);

    if (Cesium.defined(pickedObject) && Cesium.defined(pickedObject.id)) {
        pickedObject.id.color = Cesium.Color.RED;
    }
}, Cesium.ScreenSpaceEventType.LEFT_CLICK);
```

空间测量模块实现了针对场景中的点实行空间量测。量测功能包括空间距离、空间面积以及三角量测、高度测量、坡度测量等。

空间分析模块主要实现可视域分

析、日照分析和淹没分析、交通流分析、人流分析等功能，并运用将空间地理数据和3D模型数据进行关联分析的方式，预测出空间层面目标的潜藏信息。

场景漫游模块主要包括路径漫游子模块、实景漫游子模块以及第一人称漫游等功能。

路径漫游的主要实现原理为：第一，定义一系列3D坐标点作为路径节点；第二，根据路径节点计算出相机的飞行轨迹；第三，使用Cesium提供的相机飞行API，让相机沿着计算好的轨迹进行平滑过渡；第四，可以设置飞行时长、视角方向等参数来控制相机的飞行行为。核心代码实现如下：

```
// 定义路径节点
const path = [
    Cesium.Cartesian3.fromDegrees(lng1, lat1, height1),
    Cesium.Cartesian3.fromDegrees(lng2, lat2, height2),
    Cesium.Cartesian3.fromDegrees(lng3, lat3, height3)
];
// 计算相机飞行轨迹
viewer.camera.flyPath(path, 10.0);
```

其中，Cesium.Cartesian3.fromDegrees(lng, lat, height)用于根据经纬度和高度创建3D坐标点。

viewer.camera.flyPath(path, 10.0)是Cesium提供的相机飞行API。其中，path是一个Cesium.Cartesian3类型的数组，存储了路径节点的3D坐标；10.0是飞行持续时间，单位为秒；Cesium会根据路径节点自动计算出相机的飞行轨迹，并在指定时间内让相机沿着该轨迹进行平滑过渡。

此外，还可以设置其他参数来控制相机的飞行行为，代码如下：

```
viewer.camera.flyPath(path, 10.0, {
    orientation: {
        heading: Cesium.Math.toRadians(heading),
        pitch: Cesium.Math.toRadians(pitch),
        roll: 0.0
    },
    complete: function() {
        console.log('Fly path complete');
    },
    cancel: function() {
        console.log('Fly path canceled');
    }
});
```

其中，orientation用于设置相机在飞行过程中的朝向，complete和cancel分别是飞行结束和被中断时的回调函数。

信息查询模块主要包括属性查询子模块和空间查询子模块，实现对建筑信息、POI数据等内容进行信息查询。当用户点击地图上的图标时，如果该处有被定义的信息，那么将通过弹出框显示该地性的具体相关信息。

此外，系统集成与管理模块负责整个系统的配置管理、数据源对接、权限控制等功能。同时，根据需求的不同，三维可视化系统还可以添加数据融合模块、时间序列分析模块、主题分析模块、AR/VR交互模块等功能模块，通过功能扩展，三维可视化系统能够更好地满足不同行业和场景的需求。

4 结论

本文以某园区作为应用示例，以Cesium开源框架为基础，结合GIS和Web前端技术，在浏览器端实现了可视化多源数据三维实景的在线展示，呈现给用户实感与沉浸的地图体验，也为实景三维构建、动态渲染展示、智慧城市服务提供了可行的技术基础方法。通过多源、多尺度的复杂场景三维建模与单体化建模，为智慧城市提供时空地理数据底座，对于提升城市精细化管理治理能力有一定的指导意义。

参考文献：

[1] 张平. 倾斜摄影和激光扫描技术在城市三维建模中的融合应用研究[J]. 城市勘测, 2018(4):99-103.

[2] 季晓菲, 苟彦梅, 张福. 多源数据融合实现“空地联合”在校园三维建模中的应用[J]. 黑龙江科学, 2022,13(10):32-36+40.

[3] 朱勇. 基于无人机倾斜摄影测量的建筑物三维模型重建精度评价[J]. 测绘标准化, 2022,38(3):47-51.

[4] 卢涛. 基于多源数据融合精细提取三维结构纹理[J]. 地理空间信息, 2022,20(10):65-67+78.

[5] 张建中. 基于Web3D技术的煤矿BIM模型集成及可视化研究[J]. 煤炭工程, 2020,52(7):161-168.

[6] 金和平, 潘军, 韦昌辉, 等. 城市新区三维可视化平台设计及应用实践[J]. 电脑知识与技术, 2020,16(17):22-24.

【作者简介】

何奇兵（1968—），男，安徽合肥人，博士，教授，研究方向：智能信息融合与智慧系统、服务管理与治理创新。

（收稿日期：2024-05-07）