



融合 BIM 和 GIS 的轻量型数字孪生平台 及其在智慧港航中的应用

孟文君¹, 丁越峰², 杨 琪¹

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120; 2. 上海市港航事业发展中心, 上海 201824)

摘要: 数字孪生是通过对物理世界数字化建模和仿真的新兴技术, 作为实现数字化转型和促进智能化升级的重要途径, 为智慧港航的实时监测、效率提升和问题预测提供了新的解决方案。融合 BIM 和 GIS 技术搭建轻量型数字孪生平台“全景盒子”, 该产品具有从 Web 端管理工程及场景搭建等功能, 实现了零代码操作。从系统架构、功能设计方面展开介绍产品的创新性, 并以上海市黄浦江航道项目应用为例, 进一步阐述了该平台在智慧港航领域的优势和创新之处。

关键词: 智慧港航; GIS; BIM; 数字孪生; 全景盒子

中图分类号: U652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0217-06

Lightweight digital twin platform integrating BIM and GIS and its application in smart port and waterway

MENG Wenjun¹, DING Yuefeng², YANG Qi¹

(1. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

2. Shanghai Port and Shipping Business Development Center, Shanghai 201824, China)

Abstract: Digital twin is an emerging technology through digital modeling and simulation of the physical world, and as an important way to realize digital transformation and promote intelligent upgrading, it provides new solutions for real-time monitoring, efficiency improvement and problem prediction of smart port and waterway. In this paper, a lightweight digital twin platform "Panorama Box" is built by integrating BIM and GIS technologies, which has the functions of project management and scene construction from the Web terminal, and realizes zero-code operation. This paper introduces the innovations of the product from the aspects of system architecture and function design, and takes the application of Shanghai Huangpu River waterway project as an example to further elaborate the advantages and innovations of the platform in the field of smart port and waterway.

Keywords: smart port and waterway; GIS; BIM; digital twin; Panoramic Box

随着信息技术的不断进步, 智能化和数字化正深刻地影响着港口和航运领域, 智慧港航的概念逐渐崭露头角^[1], 为这一传统领域带来了全新的视野和可能性。智慧港航指利用先进的信息技术和数字化手段, 对港口和航运领域进行智能化改造和管理, 实现港口设施和船舶的智能化管理和操作, 提高运营效率与安全性^[2]。其中, 数字

孪生技术作为将实际系统与数字模型相结合的创新性手段, 通过虚拟项目实况实现监听和优化, 为项目的成功交付和可持续管理提供了有力支持^[3]。

目前, 基于建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 的数字孪生技术已经在港航领域得到成功应用。孙俊峰等^[4]建立了基于 BIM 的港航

收稿日期: 2023-12-19

作者简介: 孟文君 (1997—), 女, 硕士, 助理工程师, 从事 GIS 开发和激光测深数据处理研究。

工程全生命周期的应用平台, 改进了传统 BIM 技术未覆盖现代港航工程全周期等问题。王天祥等^[5]采用 BIM 技术在港航疏浚工程中创建参数化三维模型, 为港航工程精细化管理提供了有效的技术手段。此外, 基于地理信息系统 (geographic information system, GIS) 的工程管理平台成为当前港航领域信息化技术的发展方向之一。苟大苟^[6]以 GIS 平台为支撑, 搭建辽宁港的规划与资源信息管理平台, 为港航信息化建设提供服务。然而, 目前的港航工程管理平台往往只关注 BIM 或 GIS 技术的单一应用, 缺乏能够有效整合 BIM 和 GIS 技术的综合性解决方案和技术平台, 未能充分发挥两者的协同作用。

本文基于开源的 Cesium 三维可视化引擎设计开发一种轻量型数字孪生平台“全景盒子”。该平台以“大场景+小结构”(GIS+BIM)为设计思路, 仅从 Web 端即可完成工程管理和导入三维场景模型, 实现用户零代码操作, 使设计方能够高效搭建和

自主管理内部项目。同时, 施工方可以通过本平台实时访问项目进展, 从而更好地理解设计意图并提前规划施工流程、解决潜在问题, 提高施工效率和质量。

1 系统架构

“全景盒子”以信息安全体系和 BIM 标准规范为基础, 通过部署私有云服务器, 实现对设计成果的安全存储以及与外部的交流。平台采用 3 层技术框架, 包括前端页面显示层、中间数据交互层和数据存储层。在这一框架下, GIS 技术被应用于支持前端页面显示层, 为用户提供直观、交互式的地图展示功能; 同时, BIM 建模数据被存放在数据存储层, 为数字孪生平台提供丰富而可靠的数据支撑; 两者共同在中间数据交互层产生交互, 实现 BIM 数据与 GIS 功能之间的无缝衔接和协同工作。平台设计逻辑如图 1 所示。

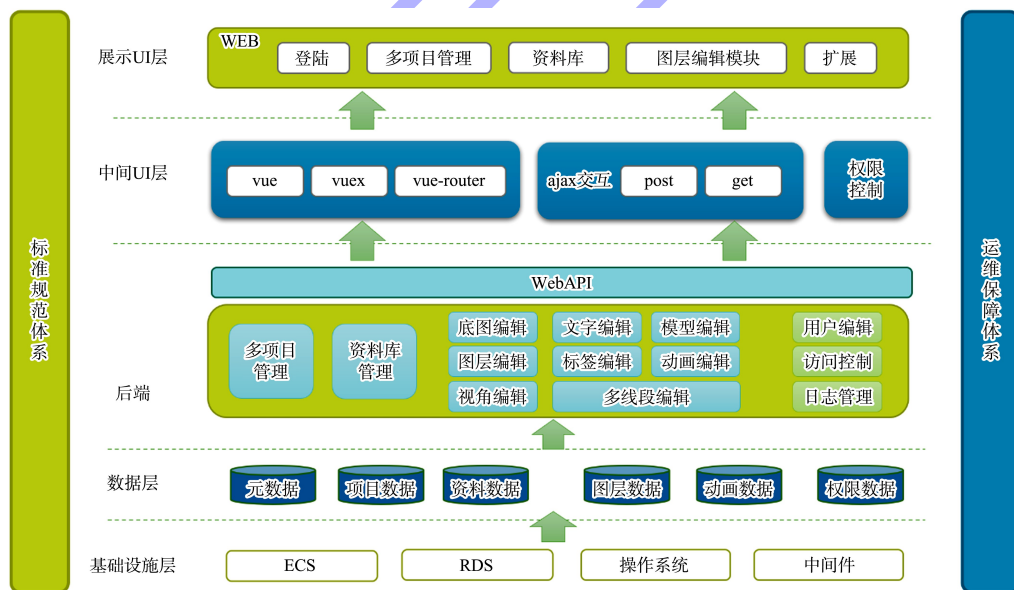


图1 “全景盒子”系统架构

前端页面显示层借助 Vue.js 渐进式开源框架^[7]构建用户界面, 通过直观的可视化界面向用户展示 GIS 底图内容和 BIM 模型, 使用户能够在虚拟环境中直观理解和操作相关信息。通过将复杂业务拆分成多个模块并封装成组件, 便于重组和复用。这样的前端设计不仅使用户体验更加流

畅和直观, 同时也为系统的可扩展性和稳定性提供坚实基础。

中间数据交互层使用开源 ABP 框架, 负责处理前端页面与数据存储层之间的信息传递和交互, 确保用户操作准确映射到数据存储层的 BIM 模型, 同时保证 GIS 功能有效展现。ABP 框架依赖注入

软件设计模式, 提高系统内聚性、增强代码的灵活性和可扩展性, 节省后期维护成本^[8]。

数据存储层作为整个系统的基础, 采用关系型数据库 MySQL^[9], 作为数据存储核心, 承载着海量的 BIM 建模数据。用户可以通过自行建模将 BIM 数据上传至远端服务器, 实现数据的云端存储与管理; 平台还提供丰富的 BIM 族库资源, 用户可以方便地引用这些资源获取所需的 BIM 数据, 为数字孪生平台的应用提供稳定、安全且灵活多样的数据支持。

2 功能设计

“全景盒子”不仅具备 GIS+BIM 管理平台的基本功能, 还采用以 OpenGL 结合 3Dtile 瓦片金字塔模型的方式^[10], 提高加载效率。同时, 平台从设计角度出发, 开发出兼具专业性和实用性的功能。“全景盒子”包括 3 个功能模块, 如图 2 所示, 项目管理模块用于创建、浏览项目信息, 模型管理模块用于上传、管理和分配 BIM 模型, 三维场景模块为用于编辑场景的主要功能模块。

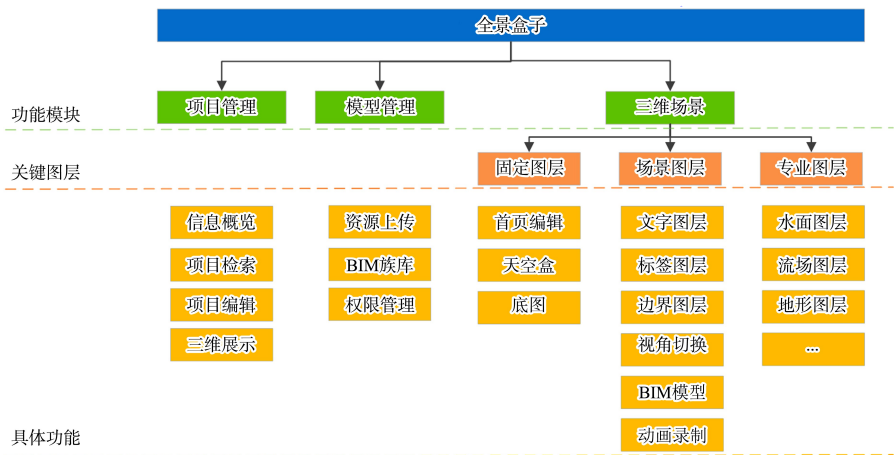


图 2 “全景盒子”功能结构

2.1 项目管理模块

“全景盒子”平台可提供多项目综合管理功能。在项目管理模块, 用户可以浏览、编辑所有项目信息, 快速创建新项目, 并灵活分享项目内容, 以便实现高效的多项目管理和信息共享。

2.2 模型管理模块

模型管理模块是用于有效存储和管理模型类文件的组件。同时, 权限管理机制的加入确保上传的模型成为公共资产, 供内部人员共享使用。

由于不同工程项目之间常常存在相似的模型需求, 平台建立了 BIM 族库的基础结构, 用于更新模型资源, 审核通过的模型可以被直接加载到三维可视化模块中。用户在场景中添加 BIM 模型时, 可以从本地上传模型, 也可以从平台的模型库中进行选择。

模型管理模块帮助用户零代码迅速创建数字孪生工地, 提高了搭建三维场景的效率, 且避免

重复上传, 提高资源的复用率。

2.3 三维场景模块

三维场景模块是平台研发的重点功能模块, 用于提供给用户 3D BIM+GIS 可视化编辑的功能。该模块包含多种图层工具, 供用户编辑及搭建三维工程场景。这里的“图层”是对三维场景中通用和工程常见元素而做的统一命名, 主要分为固定图层、场景图层和专业图层。

固定图层是在窗口中不能被删除的图层类型, 包含首页编辑、天空盒和底图, 此 3 部分是建立场景的基础, 用户只能在界面上进行编辑修改操作, 以调整整体环境的视觉效果。其中, 首页编辑用于编辑发布页面中工程的初始位置、截取并与管理界面同步工程缩略图等功能, 使用户可以定制一个专属的展示界面; 天空盒可以结合工程实际对天气状况进行实时调整, 以展示工程环境所需的最佳效果; 底图部分囊括了天地图、必应、

百度、高德等多种地图,可供用户根据需要选择合适分辨率和时效性的底图环境。

专业图层是为了满足用户特定的专业需求设计的具有修饰效果的图层,包括水面图层、流场图层和地形图层,后续可根据项目需要继续拓展添加其他专业的相关图层。水面图层和流场图层均可根据用户需求框选区域,为目标区域添加水流或流场动画效果,达到仿真的目的,增强用户体验感。在地形图层中,用户可以进行地形编辑,根据需要更改或消除地形。

场景图层用于在三维场景中添加可视化元素,包括文字、标签、边界、视角、BIM 模型、动画演示等。在场景图层中,用户可以拖动实现对模型位置、旋转、缩放的控制;通过地理编码功能实现对点位的查找与标记;同时,平台提供多视角查看及动画演示功能,可以通过调整视角飞行

和物体闪烁联动录制并展示过场动画,以满足用户制作视频素材的需要。

3 应用实例

目前,“全景盒子”平台已在多领域项目中得到应用,本文以上海市黄浦江智慧港航项目为例,进一步说明该平台的可靠性和优越性。

上海市黄浦江智慧港航项目是为了充分响应交通运输部关于加快智慧港口和智慧航道建设^[11]号召而建设的系统工程,可分为陆上建筑、地面影像和水下地形 3 个方面。项目所需的三维场景、桥梁模型及护岸建模全部通过“全景盒子”平台制作,建模成果通过平台的“一键分享”直接迁移应用至整体项目,操作简便快捷,节约人力和时间成本。项目总览如图 3 所示。

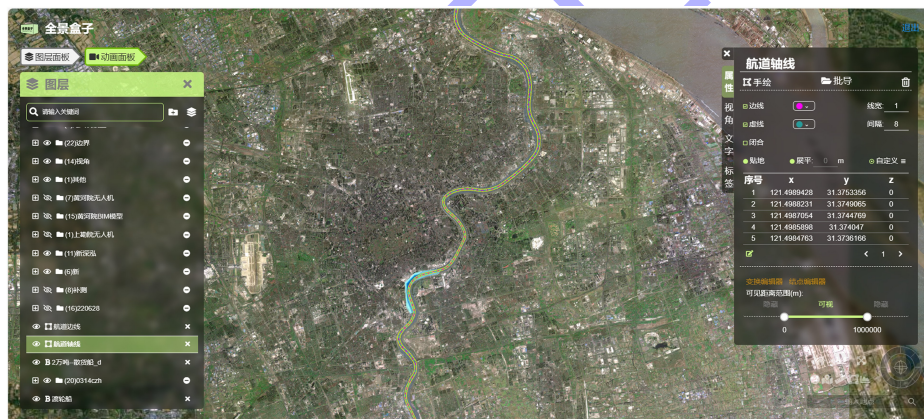


图 3 智慧港航项目总览

在陆上建筑方面,对关键建筑要素如主要桥梁、护岸护坡、地下管线等进行 BIM 建模。在“全景盒子”中,通过 BIM 模型图层导入建筑物三维模型,按实际坐标定位及增加标签标识。用户可通过鼠标拖拽、滚动操作调整显示情况,既可查看地上建筑又可查看地下结构。同时,平台为所构建的各项要素提供样式信息编辑功能,满足用户的实际编辑需要,内容包括编辑要素的缩略图、样式、视角及标注等。

图 4 以横跨黄浦江的某关键桥梁为例,直观

展示了“全景盒子”将 BIM 模型载入平台的场景,针对不便查阅的关键要素信息如地下基桩、地下管线、护岸属性信息等,用户可直接通过将鼠标放置到相应位置进行实时查看。同时,模拟建筑物生长,与无人机倾斜摄影测量得到的三维场景相互补充。通过将模拟建筑物与三维场景结合,补充原有地图的不足,用户可以更直观地了解建筑物与周围环境的关系,识别可能存在的障碍物或潜在风险,更准确地评估施工方案,为施工决策提供便利。



图 4 桥梁 BIM 建模

地面影像方面，“全景盒子”融合了无人机采集的影像数据，通过“三维切片”图层导入各泵站无人机倾斜摄影模型，并实现分级加载渲染，如

图 5 所示。倾斜摄影的加入可更好地还原现场真实场景，以便对照查阅并与实地建设情况相关联，实时查看施工进度，更好地为用户提供实况对比。



图 5 无人机影像数据

水下地形方面，将水下测量采集的相关数据添加到“全景盒子”中，该数据源的加入可使用户直接在河道处绘制切面，直观地查看切面处的水深、水下地形等信息，如图 6 所示。针对可能影响施工过程的浅滩、深洪、地铁、管线等区域，可在“全景盒子”中分别添加图层、划定边界，以便协助施工查看。

“全景盒子”平台作为建设上海市黄浦江智慧港航项目的三维数据底板，充分整理融合多源数据，为项目管理、沟通协作、施工设计等提供便利，不仅实现了陆上建筑、地面影像和水下地形的三维可视化，还结合 BIM 编码，实现数据匹配与绑定，为更深层次的三维业务应用提供基础条件，为通航安全提供可靠的信息基础。

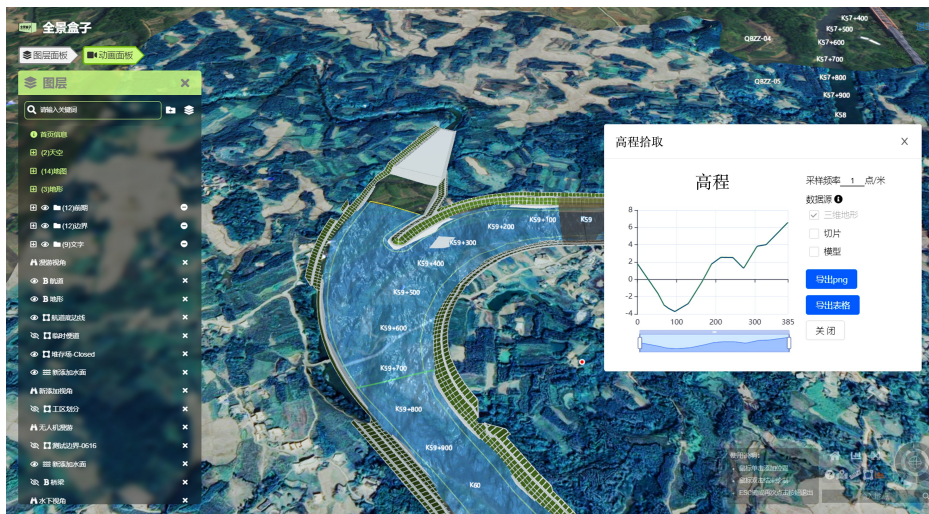


图 6 水下地形模拟

4 结论与展望

1) 本文从设计方视角出发,开发了“全景盒子”平台,可为设计方提供便捷的内部项目管理工具,同时也为施工方实时访问项目进展、更好地理解设计意图提供便利。

2) 首先,该平台融合了项目管理、三维场景和模型管理等功能模块,以“大场景+小结构”为设计理念,通过将 GIS 和 BIM 相融合,实现了大体量 BIM 模型的 Web 轻量化展示。其次,用户能够直接将 BIM 设计上传至云端,进行零代码交互,为设计方提供便捷的内部项目管理工具。平台不仅降低了对专业 BIM 软件的依赖,还减轻了用户的学习负担。此外,平台在智慧港航领域实现了航道和港口基础设施的数字化建模、便于设计方优化港口布局和航道规划。基于数字孪生技术,用户可以通过 GIS 与港口航道 BIM 模型相结合,预测潜在问题并进行优化调整。

3) “全景盒子”平台具备专业性和便捷性,使得各工程参建方可采用更加高效的信息化、可视化方式共享信息,为 BIM 设计成果的交付和管理提供一体化的解决方案。在今后的研究工作中,将进一步调研用户需求、更新完善产品,为用户提供更便捷的使用体验。

参考文献:

- [1] 陈会文. 港航业“智慧化”建设逐步推进[J]. 中国港口, 2018(4): 21-25.
- [2] 周敬祥, 李彦文, 郝田标, 等. 京杭运河济宁段“三改二”工程智慧港航方案设计[J]. 水运工程, 2021(10): 300-304, 309.
- [3] 刘创, 周千帆, 许立山, 等. “智慧、透明、绿色”的数字孪生工地关键技术研究及应用[J]. 施工技术, 2019, 48(1): 4-8.
- [4] 孙俊峰, 王东魁, 魏世桥. 面向港航工程的 BIM 协同共享技术[J]. 港口科技, 2019(8): 24-31.
- [5] 王天祥, 田会静, 李光裕, 等. BIM 技术在港航疏浚设计中的应用[J]. 水运工程, 2020(S1): 191-194, 198.
- [6] 苟大苟. 基于 GIS 的辽宁港口规划与资源信息管理[J]. 北方交通, 2019(6): 91-94.
- [7] 朱二华. 基于 Vue.js 的 Web 前端应用研究[J]. 科技与创新, 2017(20): 119-121.
- [8] 郝树青, 武彤. ABP 框架及其在 WEB 项目开发中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(4): 19-23.
- [9] 苟文博, 于强. 基于 MySQL 的数据管理系统设计与实现[J]. 电子设计工程, 2017, 25(6): 62-65.
- [10] 徐风雪. OpenGL 中三维图形的显示过程[J]. 电子技术与软件工程, 2020(2): 66-68.
- [11] 交通运输部. 交通运输部关于加快智慧港口和智慧航道建设的意见: 交水发[2023]164 号[A]. 北京: 交通运输部, 2023.

(本文编辑 王传瑜)