

# 基于 BIM + Cesium 三维可视化校园系统的设计与实现

叶娜, 严昱欣, 张翔, 董丽丽

(西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 西安 710055)

**摘要:** 构建具备“三维可视化”、“信息化”、“数字化”特征的校园平台是智慧校园建设的基础点, 现有校园平台大多使用传统建模工具融合 C/S 架构的 GIS 平台搭建, 缺乏模型信息统一整合、趋于平面化且可视化水平较低、不具备跨平台等问题; BIM 技术因其数据整合模式有效提高了建筑业信息化水平, 文章结合 BIM 技术二三维信息整合及 WebGIS-Cesium 框架免插件、可跨平台的优点, 以本校作为建模原型借助 Revit 软件建模及二次开发、文件流等技术, 基于 B/S 架构开发兼备可视化、信息化及跨平台能力的校园平台, 实现了地图显示模块、建筑物信息查询模块、空间 GIS 模块、地物对应查询模块及其子功能; 通过测试, 设计的系统工作可靠可行, 满足校园平台需求。

**关键词:** 三维校园; BIM; Cesium; 可视化校园

## Design and Implementation of Three-dimensional Visual Campus System Based on BIM + Cesium

Ye Na, Yan Yuxin, Zhang Xiang, Dong Lili

(School of information and control engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Building a campus platform with the characteristics of “3D visualization”, “informatization”, and “digitalization” is the foundation of smart campus construction. Most existing campus platforms used traditional modeling tools and GIS platforms built with C / S architecture. There are problems such as lack of unified integration of model information, tending to be flat, low level of visualization, and lack of cross-platform. BIM technology has effectively improved the level of construction industry informatization because of its data integration model. This paper combines the advantages of BIM technology two- and three-dimensional information integration and WebGIS-Cesium framework plug-in-free, cross-platform advantages, using our school as a prototype for modeling and Revit Secondary development, file streaming and other technologies to develop a campus platform based on B / S architecture mode with both visualization, informatization, and cross-platform capabilities. This System platform designed the map display module, building BIM information query module, and then realize the sub functions of these modules. Through testing, the designed system works reliably and feasible to meet the needs of campus platform.

**Keywords:** 3D campus; BIM; Cesium; visual campus

### 0 引言

为迎合信息化社会发展的趋势, 响应国家建设“数字校园”、“智慧校园”的号召。三维可视化校园作为建设“数字化、智慧化”校园的基础关注点而得到广泛重视, 如清华大学、华中科技大学、长安大学、哈尔滨工业大学等纷纷以本校建筑模型为基础研发了原型校园平台系统。但目前大多可视化校园系统存在以下问题: (1) 展示的内容较单一, 多数系统缺少展示其内部构造和构件属性信息;

(2) 系统缺乏跨平台能力, 硬件要求高; (3) 部分系统欠缺设计适合的地理空间分析, 难以为校园的管理与二次规划提供参考。在建筑信息模型 (BIM)、地理信息系统 (GIS) 发展日益成熟的当前, 测绘地理信息科技发展“十三五”规划中明确提出开展面向社会化应用的 BIM+GIS 融合关键技术研究<sup>[1-4]</sup>。

本文针对上述问题, 整合 BIM+WebGIS-Cesium 技术构建以西安建筑科技大学为样本的原型系统, 该系统能

收稿日期: 2020-05-26; 修回日期: 2020-06-18。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61701388); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2018JM6080); 西安市科技局科技创新引导项目(201805033YD11CG17(1)); 西安市科技局科技创新引导项目(201805033YD11CG17(2))。

作者简介: 叶娜(1979-), 女, 陕西西安人, 硕士生导师, 副教授, 主要从事数据挖掘、Web 应用、云计算等方向的研究。

张翔(1972-), 男, 陕西咸阳人, 硕士生导师, 副教授, 主要从事增强现实、机器学习等方向的研究。

董丽丽(1960-), 女, 福建福州人, 硕士生导师, 教授, 主要从事数据挖掘、机器学习等方向的研究。

引用格式: 叶娜, 严昱欣, 张翔, 等. 基于 BIM+Cesium 三维可视化校园系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(1): 140

同时提供校园内建筑物的模型信息与外部的周边环境信息, 实现三维全景展示、地图切换、建筑构件查询、校园用户兴趣点 (POI) 定位、导航、空间分析等核心功能。在为校内师生提供便利的同时, 尽量满足管理者对建筑物室内外信息一体化的需求, 达到学校对外文化宣传展示的目的。

## 1 整体设计

### 1.1 功能分析

三维校园可视化系统的受众群体为学生、校园管理者、校外访客, 旨在校园内三维场景的浏览器端展示, 其将校园内的建筑物、地理环境、校园资源等信息整合。本系统采用 B/S 结构体系, 经需求分析将系统划分为地图展示模块、BIM 信息模块、空间 GIS 模块与地物对应模块, 根据功能需求分析后设计如下子功能, 如图 1。

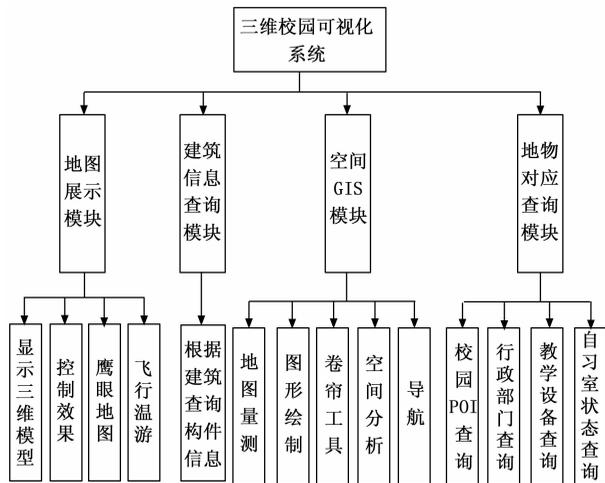


图 1 系统总体功能图

地图展示模块主要负责校园三维模型的显示与多种地图模式的切换, 其主要功能有飞行漫游、鹰眼地图与控制场景展示。

建筑信息查询模块为校内管理员提供辅助分析, 当用户选中建筑物构件时, 显示族名、尺寸等属性信息。

空间 GIS 模块重点体现空间分析效果, 其包含图形绘制、地图量测、通视分析、剖面分析等。

地物对应查询模块用户可在该模块中, 查询学校设施、教学楼、自习室等基本信息。用户可通过地物对应查看建筑物位置与周边环境, 帮助快速定位; 也可通过自习室环境查询功能, 选择合适的自习室。

### 1.2 非功能分析

在性能与效率方面, 本系统从时间与硬件资源特征两方面保证了用户请求系统功能 URI 响应迅速; 在维护性与扩充性方面, 系统采用前后端分离、接口开发的模式, 实现前后台“高内聚、低耦合”; 在易用性与易理解性方面, 系统设计了简洁美观的页面布局; 在移植性与跨平台方面, 本系统选择无插件、可跨平台的 Cesium 框架, 由支持显示三维地球的开源 Javascript 工具库构成<sup>[5-6]</sup>。

### 1.3 软件选型

系统软件开发采用软件类应用如表 1 所示。

表 1 软件环境参数表

软件环境	参数说明
Revit 2016	BIM 模型建模工具
Intellij IDEA	Java 开发平台
Tomcat 8	部署数据及本系统服务
GeoServer 2.10	部署发布地图数据
MySQL 5.7	属性数据库
Visual Studio 2015	Revit 二次开发
Visual Studio Code	前端集成调试工具

## 2 系统实现的关键技术

因数据格式不同, 使用 Revit 所建的 .rvt 模型无法直接应用于 Cesium 引擎, 所支持的文件格式包含 glTF、b3DM 与 3DTiles。glTF 格式是 3DTiles 瓦片内部模型采用的数据格式, 将 glTF 加入层次细节模型 (level of detail, LOD) 构成 3DTiles 瓦片格式<sup>[7-8]</sup>。

### 2.1 Revit 二次开发模型数据提取

本节借助 Revit 二次开发将模型的几何与属性数据解耦, 分别以 .obj 与 .json 文件格式存储。其关键步骤为:

1) 获取模型的几何数据。首先通过构件的几何属性 GeomentryElement 实例, 遍历实例得到几何实体 Solid; 其次获取实体各面, 通过 face.Triangulate () 获取三角网格; 继而使用 List<XYZ> 存放三角形的顶点、计算法线与贴图坐标; 最后以表 2 所示属性拼接写入 .obj 文件。

表 2 几何表属性类型

类型	简介
o	以模型对象划分
v	几何模型顶点坐标
vn	顶点法线坐标
vt	贴图坐标
f	以点数据构成的面数据

2) 获取构件材质。首先利用 Element.GetMaterialIds 获取 ElementId, 转化为 Material 对象获取颜色 color、透明度 Transparency、光泽度 Shininess; 其次设置 Texture 对象, 导出纹理贴图; 接着将 Color.red/blue/green 做归一化处理, 记作散射光 Kd, 1.0-Transparency/100.0 记作渐隐指数 d; 最后以表 3 所示属性拼接写至 .mtl 材质文件。

表 3 材质表属性类型

类型	简介
Newmtl	材质名
Ka	材质的环境光
Kd	散射光
Ks	镜面光
Ni	折射值
Ns	反射指数
d	渐隐指数描述



二进制 glb 数据的长度。② glTF 到 B3DM 的转换, 根据 batchID 进行划分, 判断被切分到哪个切片中。随后将 glTF 的数据对应 B3DM 的属性格式内。③ B3DM 文件的设计及创建, 将 glb 二进制数据划分在各个瓦片中, 设计头文件的各部分对应关系和长度限制, 单位为位。④ 返回 b3DM 切片头文件 header、批处理表 batchTableJson、二进制数据 glb。

### 2.3.3 b3DMTo3DTiles

关键步骤如下: ① 引入前两步转换好的 glTF 和 B3DM 文件, 定义瓦片集的规则。② 根据每一个瓦片的数据和属性, 计算每层瓦片的几何误差、转换方法、包围盒等。其中在 3DTiles 这种 HLOD 的结构中, 根节点为最粗糙模型, 其几何误差最大, 叶子节点为原模型, 其几何误差为 0; 本设计选择标准的长方体 AABB 包围盒的 box, 3DTiles 中用一个有 12 个元素的数组来表示包围盒, 前三个元素为包围盒中心坐标, 后面每三个元素组成包围盒  $x, y, z$  轴的方向及半轴的长度 (这个长度用向量的长度来表示)。transform 属性是一个以列主序存储的  $4 \times 4$  矩阵, 通过此属性, Tile 的坐标就可为其局部坐标系内坐标, 最后通过自身 transform 矩阵变换到父节点的坐标系内。属性信息通过 batchTable 的 id 关联到 3DTiles 的 tileset.json 中。③ 将计算结果, 按照官方文档定义的顺序, 写入 tileset.json。

## 3 三维可视化校园系统设计与实现

本系统通过人工收集校园的三维空间数据、纹理数据与属性数据, 根据数据特征采用诸如尺寸批处理、格式转换等预处理方法。基于此, 完成校园地表建模, 并将校园场景分类为点状、面状、线状和体状元素, 使用 Revit 参数化建模特性完成建模工作。最后, 结合真实场景给出 BIM 信息携带量、内外观相似度等评价指标, 衡量建模效果。其整体建模效果如图 4, 部分内部场景如图 5。

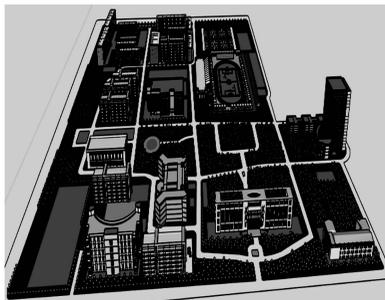


图 4 整体校园建模效果

### 3.1 地图展示模块

该模块满足用户可通过多角度、多方位浏览校园全景的需要, 其中包括三维校园可视化场景的浏览和控制、鹰眼地图与飞行漫游。

#### 3.1.1 校园场景的浏览和控制

用户可通过鼠标操作地图, 对地图模型进行拖拽、缩

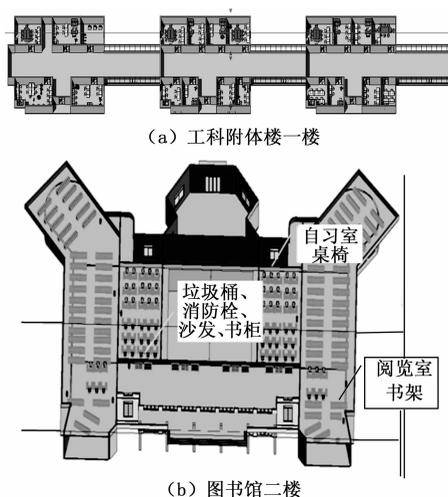


图 5 内部场景建模效果

放、旋转、点击等操作, 借助 Cesium 中 API, 加载地球并控制相机视角。

#### 3.1.2 鹰眼地图

其功能为主视图与鹰眼视图相互控制, 各视图内地图数据保持一致, 方便用户快速定位; 主视图中显示当前地图范围, 而鹰眼视图以“红框”框选出其范围; 用户也可操作红框位置, 改变主视图中地图范围, 实现效果如图 6 右下角。



图 6 三维校园可视化系统展示图

#### 3.1.3 飞行漫游

在校园场景中, 用户可随时调整相机视角查看模型细节, 故在此制作了一种飞行漫游的方式, 可通过绘制不同的飞行路线和角度, 俯瞰可视化场景。其实现步骤为初始化定义界面监听函数 InitEvent(), 漫游列表函数 loadData(); 结合相机视角函数定义高度、倾斜、旋转角度、位置、线条、飞行坐标队列等元素定义漫游路径; 定义开始、暂停、结束等飞行状态。

### 3.2 建筑信息查询模块

该模块实现了两个子功能, 分别为经纬度查询与 BIM 建筑构件信息查询。以“综合楼”为例, 将子功能显示于图 8。左上角查询了该建筑空间的经纬度, 中间方框处显示出该构件的属性, 如“综合楼—F2—F5—240mm—外墙”。

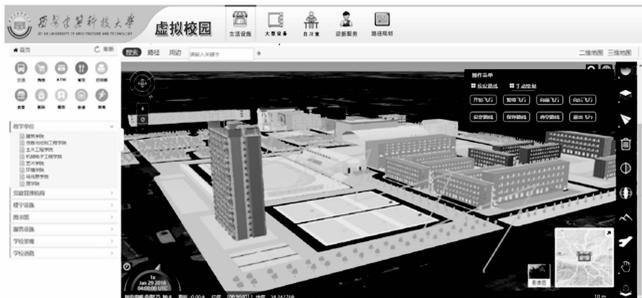


图 7 飞机漫游展示效果图



图 8 建筑物 BIM 信息查询效果图

### 3.3 空间 GIS 模块

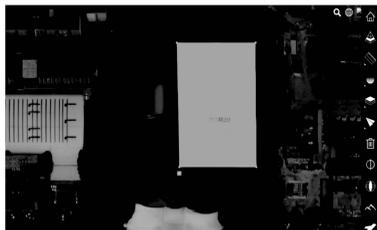
空间 GIS 模块由四个子功能构成，分别为地图量测、图形绘制、卷帘地图和空间分析。

#### 3.3.1 地图量测

地图量测实现了测距与侧面，为校园规划提供辅助<sup>[10]</sup>。其核心实现步骤为：①定义鼠标移动事件、单击事件和双击事件；②完成鼠标事件代码编写，其中包括拾取点、转换坐标系、定义单位和换算方法等；③通过两点间距离公式计算两点间距离（公里）与微元法计算测量区域面积（平方公里）。图 9 为测量整个校园边界长度（去掉三维模型后）。



(a) 测量整个校园边界长度



(b) 测量学校体育场的面积

图 9 地图量测实现

#### 3.3.2 图形绘制

图形绘制为地图的量算与分析提供素材，本系统定义

Draw.js 方法来实现绘制坐标点、线段、正方形、圆形与五边形，实现效果如图 10。

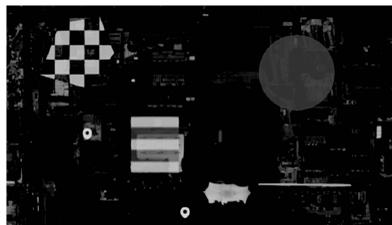


图 10 图形绘制效果图

#### 3.3.3 卷帘地图

卷帘地图旨在地图视口中构建一个卷帘，以天地图影像（可更改）与原地图场景左右两侧分布，用户通过鼠标拖动滑块重新绘制 canvas 渲染地图范围，从而改变左右图层的显示尺寸，该功能方便用户进行二三维地图对比，如图 11。



图 11 卷帘地图效果图

#### 3.3.4 空间分析

空间分析实现了透视分析与剖面分析，在本系统采用射线法来判别两点之间是否有其他物体遮挡（如实体 Entity、基元 Primitive、地形 Terrain、3DTiles 等元素），所需调用的接口 API 中支持 Cesium.Ray、Cesium.Cesium3DTileset、Cesium.Scene、Cesium.Cartesian3 方法。

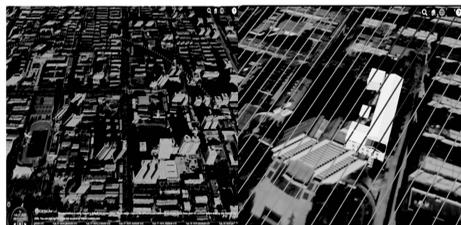


图 12 透视分析效果图

裁剪分析是指在三维场景内，可模拟动态的裁剪模型效果，浏览模型在某一剖面下的内部细节。本系统仅实现了基于 3DTiles 模型的裁剪效果，所使用的关键接口为 ClippingPlaneCollection、ClippingPlane、Plane、Cesium3DTileset、CallbackProperty。

#### 3.3.5 导航

本系统引入百度地图 api，获取浏览器位置来确定当前实时定位的方法制作二维导航，其效果如图 14。

图 15 为将路线显示于地图中，本示例为查找 6 号宿舍

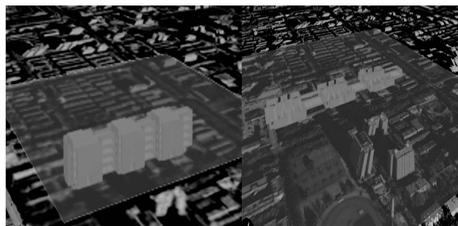


图 13 裁剪分析效果图



图 14 导航功能效果图

楼到体育馆的路线。

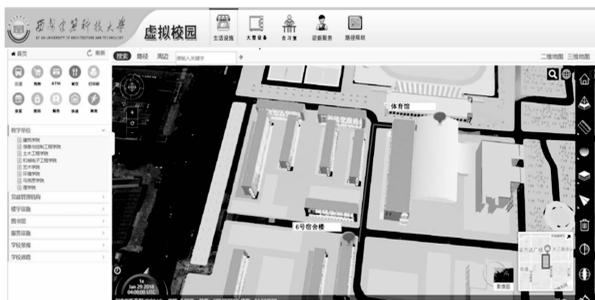


图 15 三维导航功能效果图

### 3.4 地物对应查询模块

用户可在地物对应查询模块中, 查询学校设施和教学楼的基本信息, 其中包括校园 POI 查询、行政部门查询、教学设备查询与自习室查询。

#### 3.4.1 校园 POI 查询

通过前端的 Ajax 和 JavaScript 技术, 将每个查询点的经纬度传入三维地球中与之定位。其实现的效果见图 16。



图 16 超市 POI 查询效果图

#### 3.4.2 自习室环境数据监测

自习室环境数据查询的主要流程为: 单片机通过串口

发送数据, 电脑端用串口调试软件接收数据; 使用 Socket 通信将数据发送至后台接口, 使用 ID 与自习室关联, 通过 insert 方法插入到数据库中, 将上一时刻的数据覆盖, 只保留最新数据。用户点击查询时, 后台返回最新数据显示于前端界面。自习室环境数据查询结果, 搜索图书馆查询当前人数、温湿度和噪音, 如图 17。

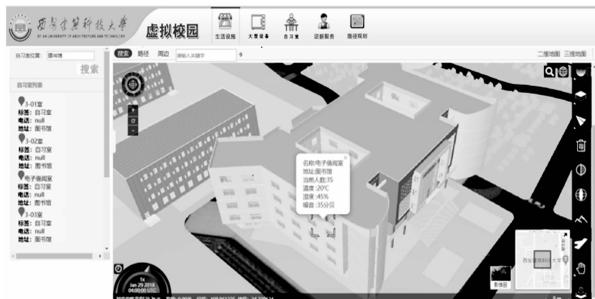


图 17 自习室查询结果图

## 4 结束语

本文的工作及创新点为结合 BIM+WebGIS 技术构建以本校为原型的三维校园可视化系统, 通过将局部的建筑模型信息与宏观的空间地理信息相结合, 尽量满足管理者对建筑物室内外信息一体化的需求。在 BIM 至 WebGIS 平台转换过程中, 研究了 Revit 二次开发将模型的几何与属性分离, 以及 Obj 至 3DTiles 格式的转换方法, 保证其几何与属性数据的正确保留; 最后结合三维可视化、空间分析、信息查询三个方面设计并实现浏览器端三维校园可视化系统, 为校内外师生的生活学习提供帮助。

### 参考文献:

- [1] 黄伟航, 王星捷. 三维智慧校园系统的研究与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2020, 30 (3): 167-171.
- [2] 张会霞, 马神兵, 张亦弛. 基于三维 GIS 的虚拟校园环境研究 [J]. 测绘通报, 2017 (6): 118-121.
- [3] 刘卫军, 张献伟. 一种建立三维数字校园模型的方法探讨 [J]. 测绘地理信息, 2020, 45 (2): 69-71.
- [4] 谢爱萍. 基于 ArcGIS 的三维数字校园数据库系统建设与应用的研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42 (10): 39-41.
- [5] 蔡周平. 基于 Cesium 的三维智慧社区开发 [J]. 北京测绘, 2020, 34 (2): 190-193.
- [6] 马洪成, 张玉驹, 刘为民. 基于开源 Cesium 框架的智慧街道三维可视化平台的研究与应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42 (8): 121-123.
- [7] 吕 婧, 金浩然, 谭 军, 等. glTF 在 BIM 模型轻量化中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2020 (6): 174-176.
- [8] 王占军, 王 鹏, 吕 婧, 等. 浅析基于 3DTiles 的 BIM 模型网络共享方案 [J]. 科学技术创新, 2020 (8): 91-93.
- [9] 张 茹, 胡世昌. 三角网格模型简化算法的研究现状 [J]. 数字技术与应用, 2018, 36 (1): 128-129.
- [10] 李菁文, 左凌霄, 吴迪晟, 等. 校园控制测量与智慧校园建设 [J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42 (6): 73-75.