

# 基于 WebGL 的三维数字城市的设计与实现

王星捷, 李春花

(成都理工大学 工程技术学院, 四川 乐山 614007)

**摘要:**由于三维 GIS 场景范围广, 加载模型数量大, 数据处理难度较大, 二、三维联动偏移大, 三维空间分析实现难, 造成了三维数字城市技术发展较为缓慢, 特别是 Web 三维数字城市技术更加缓慢。针对上述问题, 提出了一种基于 ArcServer 与 WebGL 的三维数字城市的实现方法。该方法充分利用 WebGL 在 Web 中的三维数据加载、硬件加速和三维处理速度快等优点, 利用 ArcServer 的空间数据管理、空间服务管理、强大的空间分析资源管理的优势, 实现了三维数字城市的各项基本功能, 同时也实现了三维空间分析功能。通过采用实际的数据进行实验分析, 对三维缓冲分析、三维路径分析、三维属性查询等多项功能进行测试, 证明了该方法的可行性和先进性, 为三维数字城市的建设提供了一种新的技术方法。

**关键词:** ArcServer; WebGL; 三维数字城市; 三维空间分析; 三维路径分析

中图分类号: TP319

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2019)04-0139-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.04.028

## Design and Implementation of 3D Digital City Based on WebGL

WANG Xing-jie, LI Chun-hua

(School of Engineering Technology, Chengdu University of Technology, Leshan 614007, China)

**Abstract:** Because of the wide range of 3D GIS scene, the large number of loading models, the difficulty in data processing, the large displacement of 3D linkage and the difficulty in 3D spatial analysis, the development of 3D digital city technology is relatively slow, especially the Web 3D digital city technology. In order to solve the above problems, we put forward a method of 3D digital city implementation based on ArcServer and WebGL. It makes full use of WebGL's advantages of 3D data loading, hardware acceleration and fast 3D processing speed in the Web and ArcServer's advantages of spatial data management, spatial service management and powerful spatial analysis resource management to realize various basic functions of 3D digital city, as well as the functions of 3D spatial analysis. By using the actual data for the experimental analysis, the 3D buffer analysis, 3D path analysis, 3D attribute query and other functions are tested to prove the feasibility and advancement of this method, and a new technical method is provided for the construction of 3D digital city.

**Key words:** ArcServer; WebGL; 3D digital city; 3D spatial analysis; 3D path analysis

## 0 引言

随着信息技术与三维引擎技术的发展, Web 三维 GIS 技术的需求也变得越来越, 在不动产登记中的房产数据涉及到的房产分层分户管控, 需将房产建筑按高程分布来分层展示和分析; 城乡建设中的填挖方计算和洪水淹没分析通过三维可视化来展示实际影响的范围以模拟演算; 环境气象监控不同高程的大气质量分析需要更加直观的三维效果展示。因此三维 GIS 的研究具有重大意义。

WebGL 具有以下优点<sup>[1-2]</sup>: 不用安装额外的插件程序就可以直接在网页中加载和渲染三维场景; 可以直接调用设备的硬件来加速渲染三维场景; 开发 Web

三维场景时调用 Web 的 3D 图形库非常方便。

国内基于 WebGL 技术<sup>[3-4]</sup>实现 Web 三维 GIS 效果较好的产品是超图的 SuperMap 平台的 iClient 产品, 但是它还是借助国外开源的 js 插件库 Cesiumjs 来实现, 实现的 GIS 功能仅仅是属性显示、查询和基本的浏览功能, 目前该技术在国内仍处于研究探索阶段。Cesiumjs 是一个用 JavaScript 编写的基于 WebGL 的三维 GIS 引擎插件库, 专门针对地理信息数据开发, 可以很方便地将影像图和二维地图数据加载到三维地球模型中, 也可加载在线地形数据, 能够很好地实现地理坐标向 WebGL 坐标的转换。但是它仅仅作为一个将 GIS 数据进行三维可视化的插件<sup>[5-6]</sup>, 没有 GIS 分析功

收稿日期: 2018-04-28

修回日期: 2018-08-30

网络出版时间: 2018-12-20

基金项目: 2017 年度四川省教育科研重点项目(17ZA0043)

作者简介: 王星捷(1980-), 男, 副教授, 研究方向为数字城市、智慧城市、三维空间数据处理、大数据应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20181220.1035.028.html>

能,而且目前支持的数据来源有限。

文中结合 WebGL 技术和 ArcServer 平台提出一种三维数字城市的实现方法,实现了二三维同步、定位查询、缓冲分析、三维路径分析等多项功能。

## 1 框架设计

技术框架采用了面向资源服务的模式,以异步通信处理方式设计,分为四层:二维地图服务层、二维业务层、三维业务层和展示层。具体设计如图 1 所示。

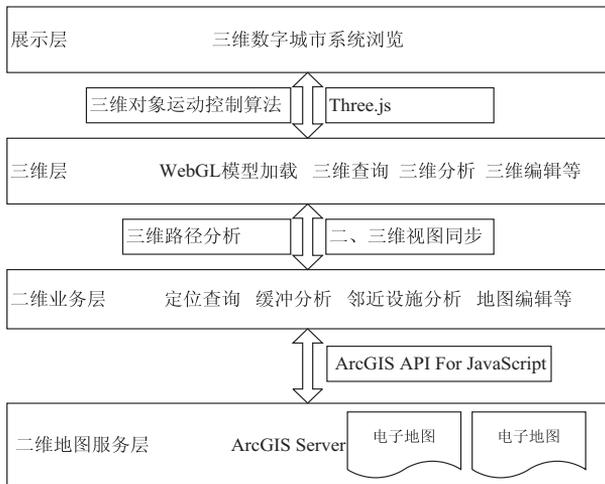


图 1 技术框架

二维地图服务层主要利用 ArcGIS Server 平台,该平台主要是为系统提供二维地图数据服务,将二维电子地图矢量图数据、空间数据信息、网络分析图、地理分析等数据发布为 WebGIS 数据服务。提供了地理查询、缓冲区分析、网络路径分析等 WebGIS 服务,同时提供了可访问的 REST 资源服务,通过 REST 的 URL 方式进行访问,可以实现二维地图的各项功能。

二维业务层主要利用 ArcGIS API For JavaScript 进行二次开发,通过调用 ArcGIS Server 服务中的 REST 资源,实现相关的二维地图基本操作,调用服务中提供的网络分析、缓冲分析等功能实现二维地图的相关的空间分析功能。该层是地图业务实现的基础层,也是二、三维业务实现的基础层。

三维层主要实习三维场景的加载以及二、三维数据的联动。三维场景方面主要是利用 WebGL 提供的标准 JavaScript 库 Three.js 来创建三维场景,通过场景坐标转换和模型 UV 处理,可以让模型和坐标无误地加载到三维场景中。三维数据上的操作处理分为两个部分,第一部分是获取二维地图操作的基本信息,可以通过二维业务层得到;第二部分是让二维信息在三维中进行显示,从而实习三维空间操作的业务功能,需要通过二、三维视图同步处理,将二维的业务无误地联动到三维中,从而实现三维 GIS 功能。在路径分析方面,设计了三维路径分析算法,对二维的路径分析进行了

优化处理,实现了三维路径分析功能。

展示层主要是三维显示和业务操作在三维中的展现,利用 Three.js 技术实现,并且无需任何插件可以浏览三维场景和模型。在没有任何处理的情况下,三维模型、三维漫游和三维场景旋转显得比较生硬,运动轨迹不平滑,需要通过三维对象运动控制算法进行处理。

## 2 三维路径分析算法

文中研究的三维 GIS 平台实现的三维路径分析算法<sup>[7]</sup>是基于 ArcGIS 的最短路径分析完善 A-Star (A\*)算法实现的。A\*算法是一种静态路网中求解最短路径最有效的直接搜索算法,也是在交通网络分析中寻找最优路径用得最多的启发式搜索算法。它的原理是通过从起点开始遍历网络中的每一个节点并计算其到起点和终点所需要的代价直到遍历到终点时,所遍历出的路径就是需要找出的最优路径。A\*算法计算代价的估价函数表达式为:

$$F(n) = G(n) + H(n) \quad (1)$$

其中,  $F(n)$  表示估计经过  $n$  节点所花费的总的代价的估价函数;  $G(n)$  表示起点到  $n$  节点所花费的实际代价;  $H(n)$  表示  $n$  节点到终点的估价值。

以  $D(n)$  表示状态  $n$  到目标状态的距离,那么  $H(n)$  的选取大致有如下三种情况:如果  $H(n) < D(n)$ ,即到目标状态的实际距离,这种情况下,搜索的点数多,搜索范围大,效率低,但能得到最优解;如果  $H(n) = D(n)$ ,即距离估计  $H(n)$  等于最短距离,那么搜索将严格沿着最短路径进行,此时搜索效率最高;如果  $H(n) > D(n)$ ,搜索的点数少,搜索范围小,效率高,但不能保证得到最优解。

从式 1 可以看出  $G(n)$  为已知的,关键在于对  $H(n)$  的设计,  $H(n)$  的取值决定了算法的简化程度。对于  $H(n)$  的设计有多种方法,常见的有曼哈顿距离、欧几里得距离、对角线距离等。其中,欧几里得距离最短,但是运行的时间较长。为了简化查询,提高算法执行的速度,在文中研究的三维 GIS 平台中,结合空间分析的缓冲分析算法,其中  $G(n)$  为起点到  $n$  节点所经过的道路边长度总和,  $H(n)$  为  $n$  节点到终点的直线距离<sup>[8]</sup>。在寻找节点时,结合缓冲分析算法,得出附近的节点,简化遍历搜索的范围。

首先,需要对每一个道路边和节点进行遍历,在制作网络分析数据集时需要将每条道路路线<sup>[9]</sup>进行打断相交线处理,建立网络路径,以保证每个道路节点通畅<sup>[10]</sup>,方便路径分析算法遍历<sup>[11]</sup>。当执行最短路径分析功能时,服务器将从起点开始向周围节点进行启发式搜索,以设定的  $H(n)$  值作为参考,进行缓冲分析,得出附近的节点,遍历节点,估算  $F(n)$ ,得出代价值,

求出最小代价节点。优先遍历估算代价最小道路节点和道路边,并进行标记。通过不断的递归判断,当搜索到终点时,所标记经过的路径即为需要的最优路径,这

时只需要返回将标记过的道路边遍历出来就得到了路径分析的结果。具体的算法过程如图2所示。

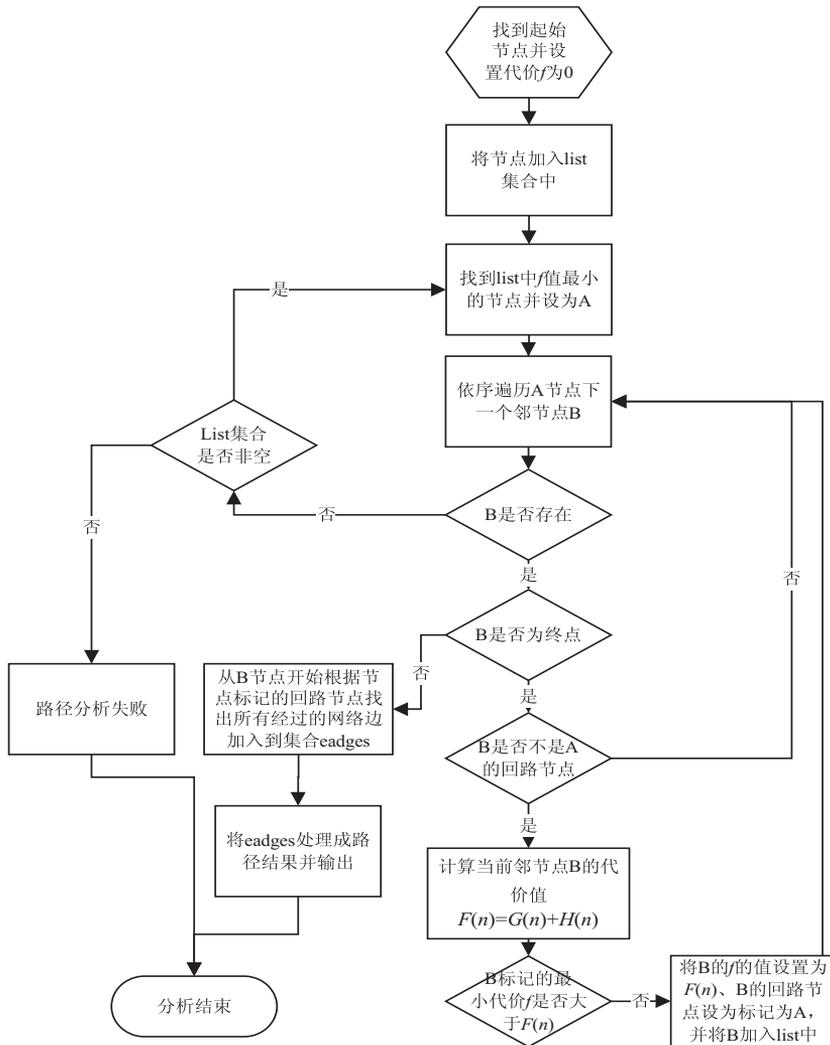


图2 基于 A\* 算法的最优路径分析过程

### 3 系统实现

#### (1) 平台搭建过程。

文中研究的基于 WebGL 搭建的 Web 三维数字城市平台采用 B/S 架构,使用强大的 GIS 数据处理软件进行 GIS 基础数据的制作与处理,使用 3DsMax 进行部分人工建模,利用可靠、安全、高性能的 IIS 服务建立站点,使平台的性能进一步提升。借助 ArcGIS Server 地理信息服务实现强大的地理分析功能,使用 WebGL 技术通过将 ArcGIS Service 的地理信息数据和分析服务在网页进行三维可视化,从而搭建出一个功能强大、安全可靠的 Web 三维 GIS 分析基础平台。

#### (2) 数据发布。

数据发布的工作是将准备好的数据通过服务发布到互联网上,使互联网中的终端设备能够调用到本机(即服务器)发布的服务。主要分为两种:地理信息服

务和基础数据服务。地理信息服务包含 GIS 数据服务和 GIS 分析服务两种。数据服务以及网络分析服务的发布方法比较简单,直接将制作好的基础地图和网络分析地图文档在 ArcMap 或者 ArcCatalog 中的目录树中使用右键的共享为服务功能将地图文档发布到 ArcGIS Server 站点即可,发布参数按 ArcGIS 默认的参数即可满足平台需求。基础数据服务发布包括系统的模型数据、贴图文件以及系统的影像地图数据的发布,这些数据可以直接放在平台对应的 IIS 站点根目录下,待平台调用。

#### (3) 坐标转换。

ArcGIS Server 数据服务提供的矢量数据为 ArcGIS 特有的数据格式,也就是包含基本的点、线、面等信息。这些点、线、面都是由一系列的点集合组成,点、线、面都属于空间信息,空间信息都具有坐标信息的特性,在数据导入和加载时,因空间参考的因素而造成空

间位置的变化和发送偏移,因此需要 Three.js 场景坐标转换算法将这些点集中的每一个点转换为平台场景中的坐标点,以便平台可以利用 Three.js 使用这些矢量数据。

#### (4) 模型创建。

经过坐标转换算法处理后,场景数据与对应的地理要素坐标保持一一对应的关系,三维模型都是利用三维建模软件制作的外部模型,需要针对具体的点位置进行导入和加载,对于点数据可以直接按照属性数据中的模型物理路径字段指定的位置加载模型<sup>[12]</sup>。道路、广场等矢量面数据需要根据具体的位置、宽度进行纹理贴图;粗模建筑矢量面数据需要根据高度字段对其进行拉伸形成立体的建筑,同时按照贴图物理路径字段指向的贴图对模型进行贴图;精细模型则要根据具体的建筑面的长宽,建立尺寸一致的模型,从外部数据中进行导入。

#### (5) 二、三维地图同步。

二、三维同步是实现三维数字城市技术的关键,通过二、三维同步可以将二维数据直接在三维模型中进行实时同步。该技术的实现简化了三维数字城市开发的步骤,降低了开发难度,而且实现的效果好。该系统采用视图同步的方法实现了二、三维地图数据的同步。视图同步实现方法是在二维地图的地图控件的地图范围变化事件中注册三维场景的相机同步控制函数。相机同步控制函数中利用二、三维视图同步算法计算出二维地图当前显示范围场景中相机对应的位置,同时利用三维对象运动控制算法对相机的运动过程进行插值计算。让场景中的相机能够动画过渡到根据二维地图显示范围计算出的相机位置,从而实现视图的同步<sup>[13]</sup>。

#### (6) GIS 服务三维可视化。

利用 ArcGIS Server 发布的 GIS 分析服务来实现平台的三维 GIS 分析功能<sup>[14]</sup>。实现过程如下:平台业务层使用 AJAX 异步请求 ArcGIS Server 的 GIS 分析服务, ArcGIS Server 返回浏览器请求的数据,平台根据结果数据的 ID 映射出三维场景中的建筑或街道等对象,最后将这些对象模型在 Three.js 场景中进行高亮显示,从而实现 GIS 服务的三维可视化。三维路径分析服务返回结果可根据二维数据的三维可视化方法在场景中创建相应的路径对象。

## 4 实验分析

文中研究的数据是来自于某一城市某城镇的数据,范围大小为 10 平方公里。模型数量超过 5 000 个。城市建筑多样,道路情况较为复杂,交通网络图密度大。分别对定位查询、缓冲分析查询和最短路径等

三维功能进行了测试。

三维定位查询功能,针对不同的地址名,在搜索框中输入地名关键字,系统客户端向后台服务器系统发送中执行地址查询关键字,查询结果将通过 JSON 的数据格式返回到客户端,将查询结果同步展示在二维地图和三维场景中,如图 3 所示。

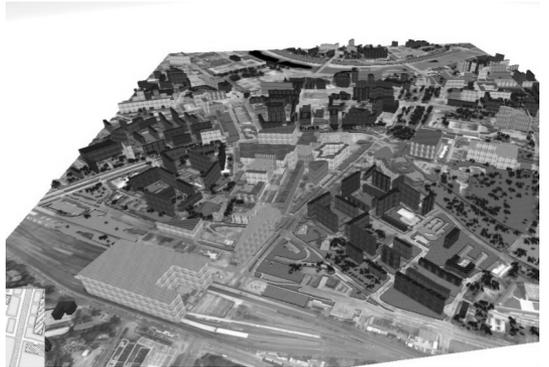


图 3 三维定位查询

缓冲查询主要是通过缓冲分析来实现区域范围内的数据。可在二维地图界面中绘制矢量的点、线、面来设置缓冲参数对建筑物进行缓冲查询,后台服务器接收到数据参数,通过调用几何服务执行几何查询,并生成相应的几何缓冲区域。将缓冲区内范围内的所有目标类型对象查询出来,通过 JSON 的格式返回给客户端,将分析数据在二维地图上进行显示,通过视图同步处理,将二维空间数据同步在三维地图对应的三维模型中显示,如图 4 和图 5 所示。

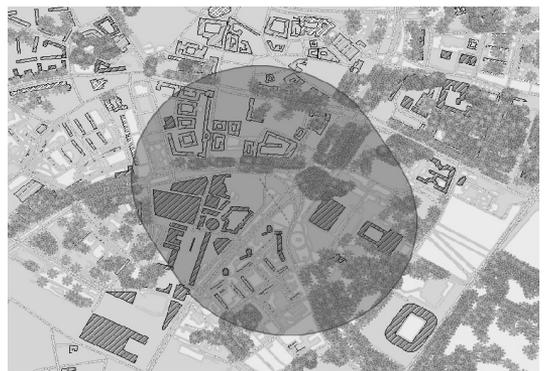


图 4 缓冲查询结果在二维地图中的高亮显示



图 5 缓冲查询结果在三维地图中的高亮显示

三维路径分析的实现是通过 ArcGIS Server 获取二维的网络路径图,将节点和各个节点的联通网络构成矩阵网络,通过文中提出的路径算法进行实现。用户场景中选中一系列需要设置为途径站点的建筑物,然后点击路径分析,分析结果将展示在二维地图和三维场景中。采用 WebGL 技术还可以实现三维的路径漫游,在三维路径分析中,可以设计漫游小车,进行路径模拟。三维场景中的展示效果如图 6 所示。

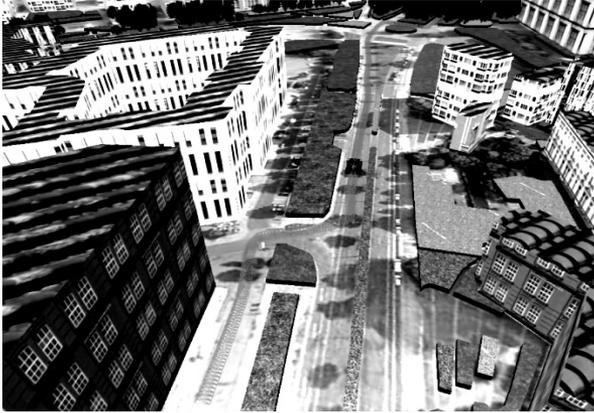


图 6 三维路径分析

## 5 结束语

将 WebGL 与 ArcGIS Server 相结合,以 ArcGIS Server 实现空间数据和空间分析数据的传输,以 WebGL 实现在客户端三维数据的加载和处理,而二者结合实现的三维数字城市系统,很好地实现了空间数据与三维模型的快速加载,二、三维数据联动,三维属性查询,三维缓存分析和三维路径分析等功能。测试数据的三维加载和三维功能实验证明了该技术方案先进、实用、扩展性好、算法完善;实现的三维系统界面友好,功能完备,解决了数据加载和浏览需要额外插件的问题。为基于 Web 的三维数字城市平台的建设,提供了一种新的框架方案和技术参考。

## 参考文献:

[1] 欧阳峰,龚桂荣,何列松.面向 WebGL 的矢量数据三维绘

制技术[J].测绘科学技术学报,2016,33(6):635-638.

- [2] 黄若思,李传荣,冯磊,等.基于几何的 WebGL 矢量数据三维渲染技术研究[J].遥感技术与应用,2014,29(3):463-468.
- [3] 李兴田,张丽萍.基于 WebGL 的工程制图网络虚拟模型库的开发[J].图学学报,2016,37(6):836-841.
- [4] 杨帆,杜凯.基于 WebGL 的三维虚拟地球系统设计与实现[J].地理信息世界,2016,23(2):113-118.
- [5] 左正,胡昱,段云岭,等.基于第 5 代 HTML 标准的拱坝工程三维可视化网络平台[J].计算机辅助设计与图形学学报,2014,26(4):590-596.
- [6] 李海生,刘成,蔡强,等.三维模型网格数据压缩技术研究[J].系统仿真学报,2013,25(9):2150-2156.
- [7] 周静,彭冲.三维复杂场景路径规划仿真系统设计与分析[J].计算机仿真,2015,32(6):364-367.
- [8] 谈心,余江峰.二维矢量线符号在三维地形表面的贴合渲染方法[J].地球信息科学学报,2015,17(12):1483-1489.
- [9] 闫利,费亮.摄影测量成像原理的相机模拟及其在纹理映射中的应用[J].测绘通报,2013(5):28-30.
- [10] 李军成,刘成志,易叶青.带形状因子的  $C^2$  连续五次 Cardinal 样条与 Catmull-Rom 样条[J].计算机辅助设计与图形学学报,2016,28(11):1821-1831.
- [11] 项伟,白征东,汤晓禹.阻尼最小二乘法在任意欧拉角坐标转换中的应用[J].大地测量与地球动力学,2016,36(2):167-170.
- [12] SHENG Q H, SHAO S, XIAO H, et al. Relative orientation dependent on dual quaternions[J]. Photogrammetric Record, 2015, 30(151):300-317.
- [13] KANG S, LEE J. Developing a tile-based rendering method to improve rendering speed of 3D geospatial data with HTML5 and WebGL[J]. Journal of Sensors, 2017, 2017(1):1-11.
- [14] LI P, YU X, WANG J. Progressive compression and transmission of 3D model with WebGL[C]//International conference on audio, language and image processing. Shanghai, China; IEEE, 2017:170-173.