

文章编号:1671-251X(2017)11-0070-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.11.014

基于 WebGL 的三维矿山巷道系统研究

李昀¹, 苏小东², 董加岩³, 黄乐⁴

- (1. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400799; 2. 江西省基础测绘院, 江西 南昌 330200;
3. 黑龙江省地质矿产测试应用研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036;
4. 中国核工业集团公司 二七〇研究所, 江西 南昌 330299)

摘要:介绍了基于 WebGL 的三维矿山巷道系统的架构,研究了数据源处理、巷道拓扑网络构建、巷道模型构建等基础问题,分析了数据预处理与清洗、规则建模、数据格式转换、二三维视图对应、路径分析等关键技术。该系统实现了三维巷道可视化并维持了三维巷道的拓扑关系。

关键词:数字矿山; 三维巷道; 巷道空间拓扑关系; WebGL; 数据清洗; 路径分析

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2017-10-27 09:17

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20171027.0917.014.html>

Research on three-dimensional mine roadway system based on WebGL

LI Yun¹, SU Xiaodong², DONG Jiayan³, HUANG Le⁴

- (1. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400799, China; 2. Basic Surveying and Mapping Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330200, China; 3. Heilongjiang Provincial Geology and Mineral Resources Test and Application Institute, Harbin 150036, China;
4. Research Institute No.270, China National Nuclear Corporation, Nanchang 330200, China)

Abstract: Architecture of three-dimensional mine roadway system based on WebGL was introduced, basic problems of data source processing, roadway topology network construction and roadway model construction were studied, and data preprocessing and cleaning, rule modeling, data format conversion, two-dimensional and three-dimensional view correspondence, path analysis and other key technologies were analyzed. The system achieves three-dimensional roadway visualization and maintains three-dimensional roadway topological relations.

Key words: digital mine; three-dimensional roadway; topology relationship of roadway space; WebGL; data cleaning; path analysis

0 引言

三维矿山巷道系统一般有桌面端和 Web 端 2 种形式。桌面端三维矿山巷道系统的实现方式可分为基于基础图形接口和基于图形软件框架 2 种。

如文献[1-3]基于 OpenGL 底层函数类库实现三维矿山巷道系统,文献[4]基于 DirectX 底层函数库实现三维矿山巷道系统,文献[5]基于底层为 DirectX 的 Ogre 图形渲染框架实现三维矿山巷道系统。在 HTML5 WebGL 规范出现前,Web 端三维矿山巷

收稿日期:2017-06-08;修回日期:2017-08-18;责任编辑:胡娴。

基金项目:中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2014MS032);中煤科工集团重庆研究院青年创新基金资助项目(2014QNJ06)。

作者简介:李昀(1986—),男,重庆人,助理工程师,从事信息系统研发工作,主要研究方向为矿山应急管理信息化,E-mail:2014030@qqcteg.com。

引用格式:李昀,苏小东,董加岩,等.基于 WebGL 的三维矿山巷道系统研究[J].工矿自动化,2017,43(11):70-74.

LI Yun, SU Xiaodong, DONG Jiayan, et al. Research on three-dimensional mine roadway system based on WebGL[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(11): 70-74.

道系统只能通过插件方式实现。插件可分为特种建模语言插件和通用图形插件,前者如 O3D 建模语言插件^[6]和 VRML 建模语言插件^[7],后者如 Applet 通用图形插件^[8-10]。Web 端图形技术 WebGL 的开放性、可移植性、可用性、安全性、负载能力均优于插件,目前基于 WebGL 的各类应用系统已逐步出现^[11-15],但尚未见基于 WebGL 的三维矿山巷道系统的相关研究。

三维矿山巷道系统除必须解决可视化问题之外,还要维持巷道空间拓扑关系,这是实现矿山巷道系统应用功能的基础。本文研究了数据源处理、巷道拓扑网络构建、巷道模型构建等基础问题,确保矿山巷道数据的三维可视化;设计实现了二三维一体显示和路径分析应用功能,以验证三维巷道应具备的空间拓扑关系。

1 系统架构

基于 WebGL 的三维矿山巷道系统使用 JavaScript 为主要开发语言, Tomcat 作为 Web 服务器,各种数据均以文件形式存储,系统架构如图 1 所示。

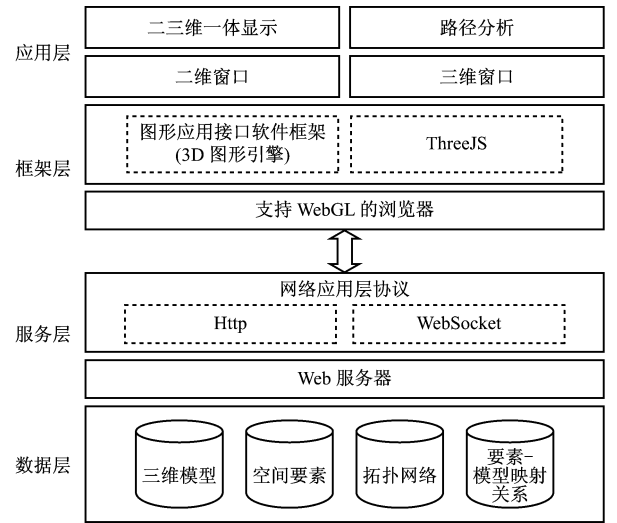


图 1 基于 WebGL 的三维矿山巷道系统架构
Fig. 1 Structure of three-dimensional mine roadway system based on WebGL

数据层:将巷道数据从 CAD 格式转换为地理空间格式,再转换为三维模型。
服务层:完成巷道数据的 Web 发布。
框架层:实现三维矿山巷道的可视化。
应用层:实现二维、三维一体显示,验证三维巷道具备空间拓扑关系。

1.1 数据源处理

将数据从 CAD 格式转换为地理空间格式:目前大多数矿井巷道的图形数据为 CAD 格式,且缺乏三维值的记录。一般巷道图形采用形式化的双线绘制,并不具备拓扑关系,这导致无法实现任何空间分析,无法进行规则建模。因此,必须通过数据预处理与清洗技术对 CAD 数据进行处理,使其成为具备拓扑关系并包含空间定位信息和属性信息的实体要素数据。

将数据从地理空间格式转换为三维模型:实际巷道线数据通过纯人工建模的工作量巨大,因此,必须通过规则建模技术来实现半自动化甚至自动化建模,将空间数据转换为巷道三维模型数据。为保证巷道三维模型数据具备空间拓扑关系,应在规则建模的同时记录实体要素与三维模型之间的映射。规则建模首要工作是进行规则程序的编写和调试,同时规则建模要求实体要素具备规则所需的属性,可能会产生对地理空间数据的二次加工过程。

1.2 Web 发布与展示

三维模型发布到 Web 端常用的格式有 STL, VRXM 等,这些格式的规范均较复杂,因此,需要专门设计一种轻量化的明码数据格式。要实现三维矿山巷道的可视化,在 WebGL 的基础上,还需要大量绘制、渲染程序,一般会选用一些成熟的基于 WebGL 的图形引擎框架来完成。选择框架等应考虑场景模式的封装程度、坐标系接口的完善性、相关文档能否降低学习成本等因素。本文选择的是 ThreeJS 框架。

1.3 拓扑关系验证

为方便查看比较三维模型的拓扑关系,系统应设计二维显示、三维显示 2 个窗口。但这样会带来二维和三维显示窗口之间的视图一致问题,需要专门设计一种功能来平衡维度缺失。基于拓扑关系计算最优路径,实现路径分析功能,可以证明巷道模型具备空间拓扑关系。

2 关键技术

2.1 数据预处理与清洗

矿井 CAD 数据一般具备高斯平面坐标系,而不具备 Z 轴坐标,矿图一般标注部分巷道口点的标高和设备名称,巷道以双线形式绘制,巷宽不均匀。本文使用 FME 软件来完成格式转换与语义清洗,数据处理步骤:① 将标注的高程值都转换为点要素,设备标注同理。② 将双线融合成单线,并对单

线赋予巷宽值,该过程会产生一些拓扑错误和赋值错误,需人工干预清理。③ 利用空间插值对巷道线要素进行高程插值,插值结果也需人工干预清洗。④ 建立要素间的拓扑关系,注意此时坐标点已具备XYZ三个维度。⑤ 将巷道线要素数据及其拓扑关系数据转换为符合 Web 使用习惯的 GeoJSON 格式和 TopJSON 格式。

2.2 规则建模

建模逻辑是先通过中心线建造巷道地面,再根据地面搭建巷壁和巷顶,最后贴图上色。建模使用的参数包括巷宽、巷高、中心偏移值、拐点精度、截面类型、基色等。建模逻辑可设计为建模规则,规则可以通过特定开发语言代码来描述。本文使用 CityEngine 软件进行规则建模。

在规则建模的同时要记录实体要素与三维模型之间的映射,输出二维要素与三维模型映射关系数据:① 坐标系映射参数:WebGL 默认使用右手坐标系,而地理空间数据一般都使用世界坐标系,需要计算出 2 类坐标系的变换参数。② 要素-模型映射列表:列表包括要素线与巷道体模型的映射及要素点与巷道岔口点模型、巷道拐弯模型的映射。

2.3 数据格式转换

为使模型数据适用于 Web 端的发布、传输、转换等应用,将三维模型数据转换为 JSON 格式的明码文本数据,数据格式结构如图 2 所示。JSON 属于半结构化数据,三维模型数据也可以通过构建数据表存入关系型数据库,本文不做深入讨论。

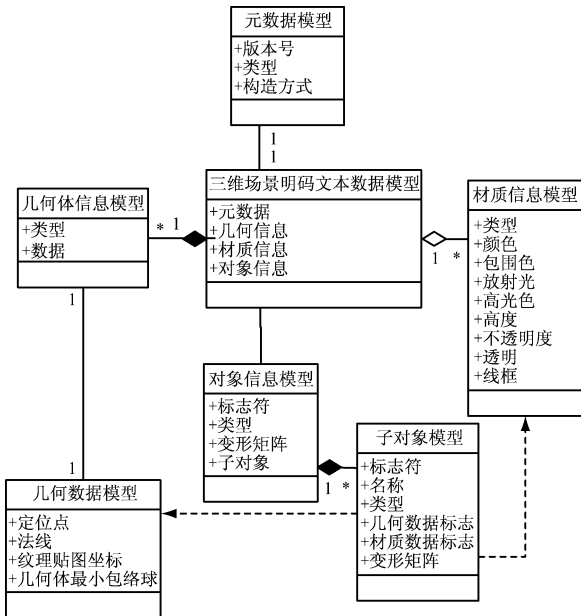


图 2 三维模型明码格式结构

Fig. 2 Clear format structure of three-dimensional model

2.4 二三维视图对应

二维与三维视图的一致问题可转化为双方的中心点一致问题来处理。在三维场景中使相机始终对着一个视图中心点,使三维视图中心点的二维坐标与二维视图中心点的坐标一致,三维视图中心点的 Z 值最好等于场景中所有物体的平均高度。二维视图的比例尺与三维视图中相机和中心点的距离存在一种换算机制。设二维视图窗口为边长为 A 的正方形,比例尺为 1:C;三维视图相机与中心点的距离为 D,相机采用透视投影,透视长度无限,视场角度 FOV 为 α ,则对应关系为

$$AC = 2D \tan \frac{\alpha}{2} \tag{1}$$

2.5 路径分析

路径分析功能运行过程如图 3 所示。常用的路径搜索分析算法包括 Dijkstra, A-Star, Floyd-Warshall 等,本文使用 Dijkstra 算法。

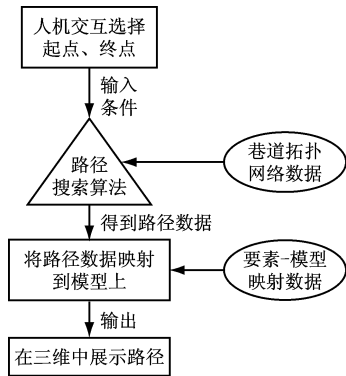


Fig. 3 Running process of path analysis function

3 系统实现与验证

在能支持 WebGL 的 Chrome 浏览器上调试三维巷道,如图 4 所示,从下方调试面板可以看到 Canvas 标签,证明图形是通过 WebGL 渲染的。

视图对应关系如图 5 所示。三维窗口的相机在 Z 轴方向倾斜面向视图中心点,二维窗口中心点显示正确,可以证明二维、三维视图一致。图 5 中线段 MN 是分析出的一条路径,点 G 沿路径方向移动,可以证明三维巷道也具备拓扑关系。

4 结论

(1) 介绍了基于 WebGL 的三维矿山巷道系统的架构和关键技术,实现了三维巷道可视化并维持了三维巷道的拓扑关系,达到了研究目标。

(2) 该系统存在以下不足:① 数据处理过程未

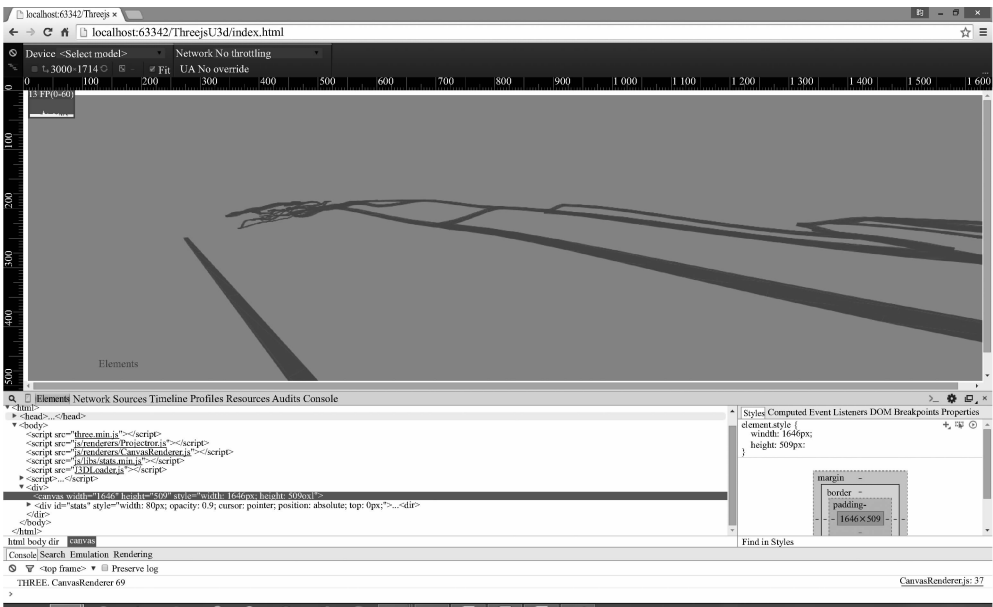


图 4 三维巷道调试界面

Fig. 4 Debugging interface of three-dimensional roadway

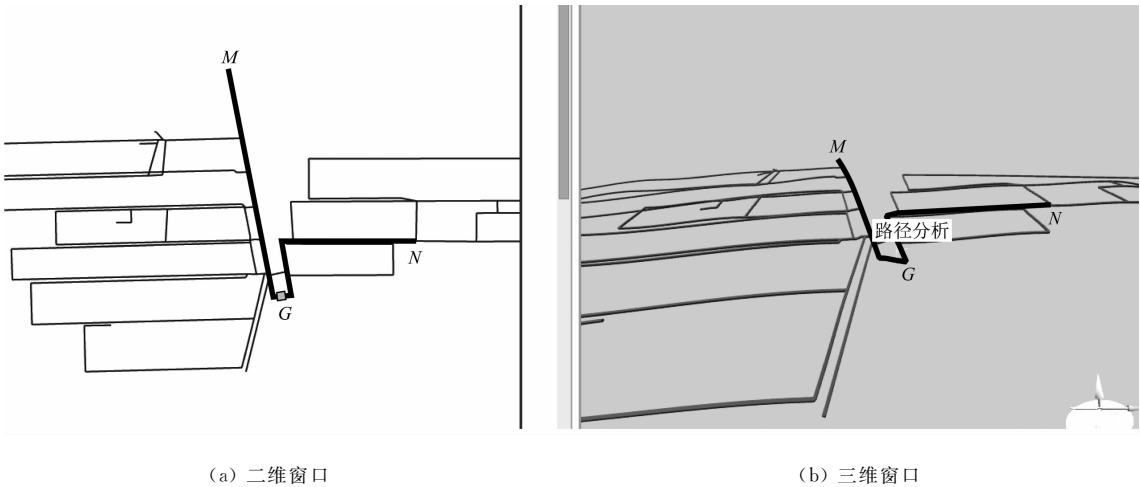


图 5 视图对应关系

Fig. 5 View correspondence

实现全自动化,针对该问题,可将涉及的多种软件集成为一体,并针对整个过程制定数据规范,有效控制各阶段数据的质量,实现整个数据处理过程自动化。

② 系统三维交互能力不足,本文实现的路径分析功能是在二维环境下通过人机交互启动的,下一步可研究三维环境下的人机交互功能。

参考文献 (References):

[1] 张志华. 矿山巷道三维网络模型的构建及其路径分析方法研究[D]. 西安:西安科技大学,2010.

[2] 鲍艳. 矿山信息系统中巷道的三维矢量数据结构与可视化[D]. 西安:西安科技大学,2003.

[3] 王建民. 三维巷道建模及其应用研究[D]. 太原:太原

理工大学,2005.

[4] 唐敏. 矿山巷道三维漫游研究及实现[J]. 黑龙江科技信息,2010(4):38.

[5] 黄峰. 矿山三维巷道建模关键技术研究[D]. 长沙:中南大学,2014.

[6] 刘辉. 基于 O3D 矿图巷道三维转换 Web 化的设计与实现[D]. 沈阳:东北大学,2010.

[7] 陈莉娟. 三维巷道模型生成系统的研究与开发[D]. 淮南:安徽理工大学,2009.

[8] 章冲. 网络环境下煤矿三维建模及可视化关键技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2010.

[9] 欧阳洪原,孙敬杰. 基于 HTML5 的三维地理信息平台环境搭建技术探讨[J]. 测绘,2013,36(3):102-103.

OUYANG Hongyuan, SUN Jingjie. Technical

- discussion on environment construction in HTML5-based three dimensional geographical information platform[J]. Surveying and Mapping, 2013, 36(3): 102-103.
- [10] 周阳, 余江峰, 唐一鸣. 基于 WebGL 的三维数字水利展示系统研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(3): 44-48.
- ZHOU Yang, SHE Jiangfeng, TANG Yiming. WebGL-based research on three-dimensional display system of digital water conservancy[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2014, 37(3): 44-48.
- [11] 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.
- ZUO Zheng, HU Yu, DUAN Yunling, et al. Scientific visualization of arch dam projects based on HTML 5 standards[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2014, 26(4): 590-596.
- [12] 张玲. 基于 WebGL 技术和 Oak3D 引擎的交互式三维地球模型研究[J]. 软件导刊, 2014(2): 153-155.
- ZHANG Ling. Simulation research on interactive three-dimensional earth model based on WebGL technology and Oak 3D engine[J]. Software Guide, 2014(2): 153-155.
- [13] 龙云. 基于 HTML5 的 WebGIS 研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2013.
- [14] 徐新山. 基于 WebGL 的地质体信息三维可视化[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
- [15] 花利忠, 王赵兵, 邹丽妹, 等. 基于 CityEngine 与 ArcGIS Flex API 的校园 WebGIS 系统——以厦门理工学院为例[J]. 厦门理工学院学报, 2013, 21(4): 57-61.
- HUA Lizhong, WANG Zhaobing, ZOU Limei, et al. XMUT: a use-case realization of a digital campus WebGIS on cityengine and ArcGIS Flex API[J]. Journal of Xiamen University of Technology, 2013, 21(4): 57-61.