

文章编号:1671-251X(2014)09-0010-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.09.003

荆永滨,熊书敏,刘晓明.基于网络的矿山三维巷道建模方法研究[J].工矿自动化,2014,40(9):10-14.

基于网络的矿山三维巷道建模方法研究

荆永滨^{1,2}, 熊书敏³, 刘晓明⁴

(1.河南工程学院 安全工程学院,河南 郑州 451191;

2.河南工程学院 煤矿灾害预防控制实验室河南省高校重点实验室培育基地,河南 郑州 451191;

3.中煤科工集团常州研究院有限公司,江苏 常州 213015;

4.中南大学 资源与安全工程学院,湖南 长沙 410083)

摘要:针对现有巷道三维模型的构建多是基于单机的建模方法,存在网络环境下模型共享困难的问题,研究了一种基于网络三维图形技术的巷道建模实现方法。该方法通过巷道底板中线等特征线和断面参数,经过三维坐标转换得到断面三维线,采用分段建模算法快速建立三角形条带巷道三维模型;采用在网页中嵌入 HOOPS 3D 流控件和三维模型的 HSF 流文件实现巷道三维模型的网络发布,并借助网络三维图形技术实现了通过浏览器对大规模巷道三维模型的访问和交互。

关键词:矿井巷道;三维巷道建模;巷道底板中线;三维断面线;HOOPS 3D;HSF 流文件

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of 3D modeling method for mine roadway based on Web

JING Yongbin^{1,2}, XIONG Shumin³, LIU Xiaoming⁴

(1.School of Safety Engineering, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China;

2.Henan Province Universities Key Laboratory Breeding Base of Coal Mine Disaster Prevention and Control Laboratory, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China;

3.CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;

4.School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract:In view of problem that most of 3D modeling methods for mine roadway are based on stand-alone computer and it is difficult to share the models via Web, the paper discussed an implementation method of roadway modeling applying 3D Web graphics technology. The method gets section 3D line through 3D coordinate transformation of bottom centerlines and section parameters, uses section modeling algorithm to establish triangle strip 3D model of roadway; uses HOOPS 3D flow control embedded in a Web page and HSF stream file of 3D model to achieve network publishing of 3D model of roadway, and achieves access and interaction to large-scale 3D model of roadway with the help of network 3D graphics technology and browser.

Key words: mine roadway; 3D roadway modeling; bottom centerline of roadway; 3D section line; HOOPS 3D; HSF stream file

收稿日期:2014-01-23;修回日期:2014-03-27;责任编辑:张强。

基金项目:河南省教育厅科学技术研究重点项目(13B440925);中国博士后科学基金项目(2012M511417);河南工程学院博士基金项目(D2013021)。

作者简介:荆永滨(1981—),男,河南郑州人,讲师,博士,研究方向为矿山三维模拟、科学计算可视化,E-mail:jingyongbin@gmail.com。

0 引言

采矿工程中,各种开拓方式或者准备方式中巷道布置通常以平面图的形式表示,需要依靠空间想象能力去理解巷道的空间位置以及相互之间的关系。然而,通过二维图形去想象三维图形容易发生一些曲解,甚至错误^[1]。

因此,各种巷道三维建模的方法得以提出。这些方法通常采用巷道底板或顶板中心线和巷道断面建立巷道三维模型。但这些巷道建模方法都是基于单机的三维可视化方法,且建模采用的平台较多,例如 AutoCAD, ArcGIS, 3DMax 以及各种矿业工程软件^[2-3],从而导致巷道模型文件无法实现跨平台的共享。

网络三维图形技术实际上是单机的三维图形技术向互联网的扩展。随着计算机图形学和互联网的发展,通过三维图形技术可实现开拓、采准和回采等巷道的三维模型可视化表达与交互,并通过网络技术实现在网络浏览器上发布三维模型,实施多种便捷的交互操作^[4-5]。

网络三维图形技术有多种解决方案。VRML是最早出现的网络三维图形技术标准,2000年之后VRML转换成X3D,加入XML, JAVA和流技术等先进技术,具有更高效的三维计算能力、渲染质量和传输速度。随后出现诸如Cult3D, Viewpoint, Shout3D和Java3D等网络三维图形技术软件和开发工具包。网络三维图形技术的实现主要包括三维建模、图形显示以及三维场景中的交互技术3个部分^[6-7]。对于采矿工程来说,巷道三维模型的建立是其核心问题。本文利用HOOPS 3D框架构建网络巷道三维模型系统,通过巷道底板中线和经过三维坐标转换得到断面三维线,快速建立三角形条带巷道三维模型,采用网络三维图形技术和HSF流文件实现巷道三维模型的网络发布与交互。利用浏览器访问网页即可随时查看巷道模型的空间形态和布置,并进行交互式操作^[6]。

1 HOOPS 3D 框架

早期的三维应用程序开发直接使用 OpenGL 或 Direct3D 等图形编程接口,如果需要进行高级的图形功能,对图形性能进行优化或对包括 OpenGL, Direct3D 在内的多种硬件驱动提供支持,需要专业

图形开发人员通过大量的开发工作才可能完成。HOOPS 3D 框架是建立在 OpenGL, Direct3D 等图形编程接口之上的更高层次的图形平台,采用保留模式的图形数据库记录图形对象之间的位置和层次关系信息,具有更强的选择、查询和渲染功能,支持对所有主流设备驱动,具有专业的 3D/2D 文字处理支持^[8]。HOOPS 3D 框架包括一整套组件,通过这些组件能够快速开发出高性能的三维图形应用程序。HOOPS 3D 框架的组件主要包括 HOOPS/3dGS, HOOPS/Stream, HOOPS/MVO 和 HOOPS/GUI。

HOOPS/3dGS 封装了一个图形数据库和各种图形优化算法,提供给开发者高层次的面向对象场景图 API。HOOPS/Stream 是 HSF 文件格式的输入输出工具包,通过它可以从 HOOPS/3dGS 场景图或第三方图形系统导入/导出自定义的 HSF 文件或数据流。HOOPS/MVO 是一套独立于平台和图形用户界面的 C++ 类,实现了选择、标注和动画等一般程序功能。HOOPS/GUI 提供多种图形用户界面工具包,包括 MFC, ALT, Winforms, WPF, QT 和 Java。

在 HOOPS 3D 框架的基础上,编写代码开发基于 MFC 的桌面应用程序,实现巷道三维模型的建立,然后通过 HOOPS 3D 流控件实现三维模型的网络发布,系统构架如图 1 所示。HOOPS 3D 流控件是在 HOOPS/MVO 类基础上开发的基于 ATL 创建的 ActiveX 控件,封装了 HOOPS 视图和模型对象,不仅支持 HSF 流文件,还包含多种场景交互方法。在网页中嵌入 HOOPS 3D 流控件,通过 JavaScript 等脚本语言设置控件属性和处理事件,用户在本地系统中安装控件后即可通过 IE 内核浏

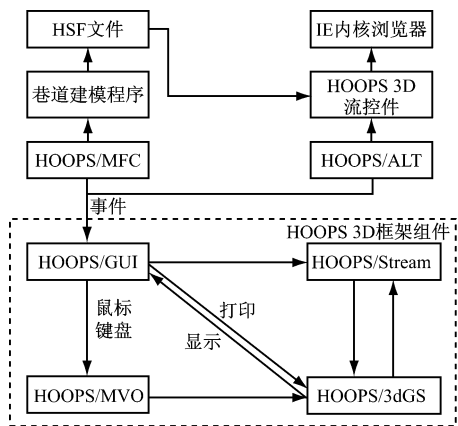


图 1 网络巷道三维模型系统构架示意

览器对三维模型进行浏览与交互。

2 HSF 流文件

三维模型文件格式有很多种,本文采用 HSF 流文件作为巷道三维模型的文件存储格式,因为 HSF 是在 OpenHSF 中心的倡议下,全行业努力建立的一种通用开放格式,用于不同应用程序之间的可视化数据交换。通过支持 HSF 格式,应用程序能够与其他支持 HSF 的应用程序交换 2D/3D 模型^[9]。

使用 HSF 格式作为巷道三维模型的文件格式,其优势主要表现在丰富性、高压缩性、稳定性及开放性和扩展性。HSF 规范支持一套完整的 2D、3D、光栅和文本基元,还支持用于流式传输的多分辨率对象和大型模型的可视化。HSF 支持文件范围和特定几何形状的压缩机制,能够减少文件的大小和互联网传输时间,从而使其更加易于流传输。HSF 随着时间的推移保持相对不变,因为其独立于应用程序并且具有内置的可扩展性。HSF 的可扩展性通过使用语法扩展机制和一套 .hsf 文件读取规则提供,未知的语法扩展会被忽略。例如,在 .hsf 文件中添加的新操作码,会被旧版本 HSF 读取程序忽略。

3 巷道三维模型建模方法

巷道三维模型的建立有很多方法,主要包括两大类:一类是分段建模,通过表示巷道的一条线,例如底板中线或腰线等,在线的不同位置计算得到三维的巷道断面线,然后通过三角化得到巷道三维模型^[10-11]。另一类是分层建模,通过巷道底板中线或者实测边界线与巷道断面得到一组表示巷道边界的闭合轮廓线,然后通过三角化的方法逐层建模生成设计或实测的连通巷道三维模型^[12]。

本文采用巷道底板中线,通过巷道断面参数计算二维的断面线,然后根据断面所在空间位置利用一系列坐标转换得到三维断面线,最后通过三维表面重建算法建立巷道三维模型。

3.1 巷道断面三维坐标转换

用于巷道建模的底板中线和断面线需要用多段线表示,多段线由线段连接而成,包括一系列点的空间坐标。巷道底板中线从原始的 CAD 文件中经过重采样转换为多段线。巷道断面则根据相应的参数直接计算出表示断面的二维多段线,然后计算底板

中线上的每个点所在位置断面的三维多段线,这一过程通过三维坐标转换实现。

3.1.1 巷道断面设计

巷道断面通过参数化方式进行设计,首先确定巷道断面形状,如梯形、矩形、直墙拱形、圆形和自定义形状,然后提供相应的参数,如巷道宽度和墙高、拱高等。根据以上参数计算断面的二维多段线,图 2 为以拱形断面为例计算二维多段线的示意图。断面直线部分取线段端点,圆弧部分则通过折线进行拟合。对于巷道三维建模,圆弧表示的拱分成 8 段以上可以满足三维模型的精度要求。

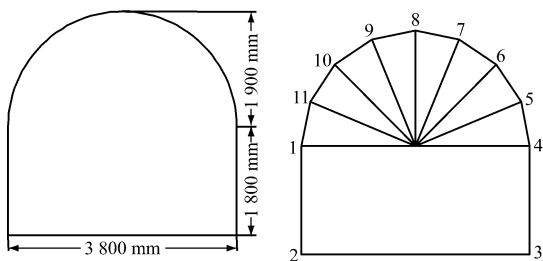


图 2 巷道断面二维多段线

3.1.2 断面三维坐标转换

设计出来的巷道断面是垂直于巷道底板的平面切割巷道得到的二维多段线,多段线的点坐标是局部坐标。而用于建立巷道三维模型的断面是处于空间的三维多段线,在巷道转弯处断面宽度发生变化,并且断面始终垂直于底板中线,如图 3 所示。

二维断面线转换为三维断面线的步骤如下。

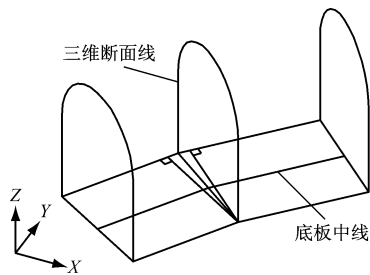


图 3 巷道断面坐标转换

(1) 将断面从 XY 平面转换至 XZ 平面。

(2) 根据两相邻线段的平均向量,计算断面与 XY 平面的夹角,将断面绕 X 轴旋转该角度,确保断面垂直于底板中线。

(3) 计算两相邻线段的夹角,计算该角度一半的正弦值的倒数,将断面在 X 轴方向放大。

(4) 根据底板中线起始段和结束段分别计算断面的法线向量,计算起点和终点处断面与 XZ 平面

的夹角,将断面绕Z轴旋转该角度。

(5) 计算底板中线线段连接处断面的法线向量,计算断面与XZ平面的夹角,将断面绕Z轴旋转该角度。

(6) 以断面底板中点为基点移动断面至底板中线上。

3.2 巷道三维模型

通过巷道断面的三维多段线建立三维模型的核心是在断面线之间形成一系列三角形。

巷道底板中线上各个位置的断面都是在同一个设计断面的基础上经过坐标转换而得到的,它们具有相似的几何形状和相同的顶点个数,因此,巷道三维模型可以采用三角形条带作为数据结构,图4(a)为三角形条带数据结构。三角形条带是一组相互连接的三角形,相邻的2个三角形有一条公用边,因为不用重复存储三角形顶点,三角形条带比三角形列表要节省内存且效率更高。

巷道模型的生成按照断面三维多段线的分段数生成多个三角形条带,图4(b)为巷道三维模型,顶点(0,1,15,16,30,31)形成的是模型的其中一个三角形条带。如果需要巷道模型两端封闭,则根据起点和终点处断面上的点分别生成三角形条带。井下巷道彼此相连,因此,巷道模型在交汇处需要相互连通,借助HOOPS 3D框架提供三维模型布尔运算实现巷道模型之间的连通。

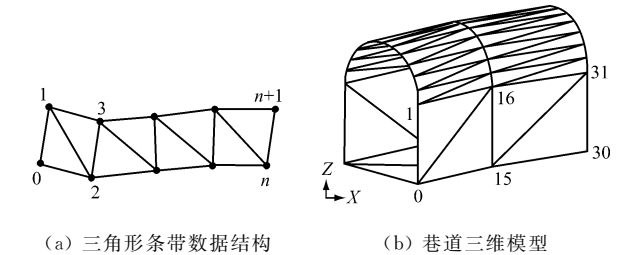


图4 三角形条带(n 个三角形)与巷道三维模型

图5为某矿530水平和535水平采矿巷道的三维模型。

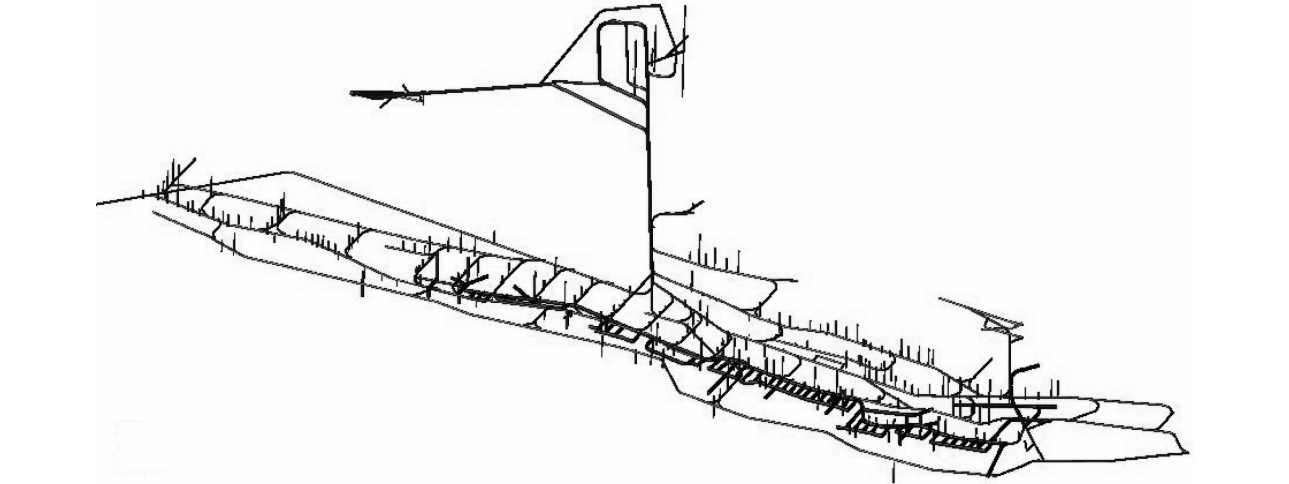


图5 某矿530水平和535水平采矿巷道的三维模型

4 三维模型网络发布

巷道三维模型的网络发布通过在静态网页或动态网页中嵌入HOOPS 3D流控件和三维模型的HSF流文件,并通过JavaScript脚本语言设置相应属性来实现。可以设置的属性包括交互方式、显示对象、选择对象颜色、镜头、渲染以及动画等。其示例代码如下:

```
<HTML> <HEAD><SCRIPT LANGUAGE = "
JavaScript">
function initializeControl(){
if (hoopscontrol.DLinProgress == true) {
```

```
setTimeout("initializeControl()",100)
} else{
hoopscontrol.NoOrbit = false
hoopscontrol.SetOperator("HOpCameraOrbit")
}
}
</SCRIPT></HEAD><BODY>
<OBJECT name = "hoopscontrol" classid = "clsid:
AD5F3C4B-BD73-11D5-838B-0050042DF1E4" width = "
600" Height="500">
<PARAM name="Filename" value="巷道三维模型.
hsf">
</OBJECT><SCRIPT LANGUAGE="JavaScript"
```

```
>
initializeControl()
```

```
</SCRIPT></BODY></HTML>
```

图 6 为通过浏览器查看矿山巷道三维模型的网页。

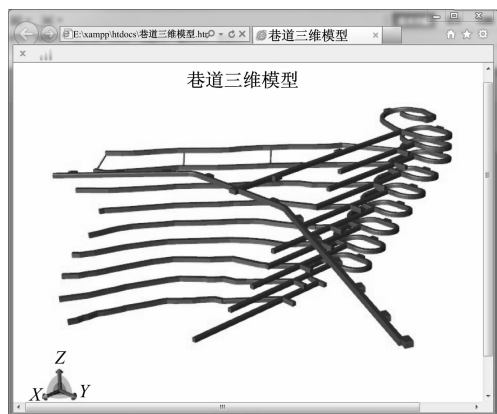


图 6 巷道三维模型的网页

5 结语

基于网络的矿山三维巷道建模方法以 HOOPS 3D 框架为平台构建网络巷道三维模型系统,包括桌面应用程序的巷道三维建模和嵌入 ALT 控件的 IE 内核浏览器。利用巷道底板中线等特征线和断面参数,经过三维坐标转换得到断面三维线,采用分段建模的方法快速建立三角形条带巷道三维模型,简化了建模过程,减小了模型数据量。在网页中嵌入 HOOPS 3D 流控件和三维模型的 HSF 流文件实现巷道三维模型的网络发布,实现了巷道三维模型在网络环境下的共享,提升了采矿工程信息化水平。

参考文献:

- [1] ZANCHI A, DONATIS M D, GIBBS A, *et al.* Imaging geology in 3D [J]. Computers & Geosciences, 2009, 35(1): 1-3.
- [2] 杨帆,李崇贵. 基于 Multipath 的煤矿巷道三维模型构建方法[J]. 工矿自动化, 2012, 38(12): 58-62.
- [3] 王学伟,邵亚琴,汪云甲. 基于 ArcGIS Engine 的矿井巷道三维自动建模方法的研究与实现[J]. 工矿自动化, 2009, 35(5): 22-25.
- [4] 丁伟,刘明举,钱省三,等. 基于 VRML 的虚拟巷道系统[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(15): 39-41.
- [5] 郝秀强,郝晋会,马斌. 基于 Web 的采矿工程三维可视化系统框架[J]. 中国矿业, 2007, 16(5): 92-94.
- [6] 瞿畅,王君泽,曹红蓓. Web3D 技术及其在工程图学教学中的应用[J]. 工程图学学报, 2006, 27(2): 150-154.
- [7] CHITTAROL, RANON R. Web3D technologies in learning, education and training[J]. Computers & Education, 2007, 49(1): 1-2.
- [8] 姚坤,刘希玉,李菲菲. 基于 HOOPS 接口技术的 3D 造型的研究[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(11): 246-248.
- [9] 卫刚,李启炎,赵卫东. 基于 HSF 的数字城市模型 Web 发布[J]. 工程图学学报, 2008, 29(3): 69-73.
- [10] 汪云甲,伏永明. 矿井巷道三维自动建模方法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2006, 31(12): 1097-1100.
- [11] 王凤林,王延斌. 巷道三维建模算法与可视化技术研究[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版, 2009, 24(1): 91-94.
- [12] 谭正华,王李管,熊书敏,等. 基于实测边界线的地下巷道三维建模方法[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2012, 43(2): 626-631.