

地下矿山开拓运输 VR 仿真系统研究^①

Study on VR Simulation System of Development and Transportation for Underground Mine

周科平 郭明明 杨念哥 陈庆发 (中南大学 资源与安全工程学院 湖南 长沙 410083)

摘要: 采用虚拟现实技术构建虚拟矿山,辅助进行矿山规划与设计,是一种管理上的创新。详细介绍了虚拟矿山场景的建模流程和井下矿车运输系统的调度仿真,以 OpenGL 和 VS2005 为平台,开发了云锡区域矿山开拓运输 VR 仿真系统。系统分为数据管理、场景建模、虚拟场景和立体表现四个功能模块,成功地将矿山的地表、地层、矿体赋存情况、开拓运输系统和井下矿车运输调度过程等三维立体表现出来,并可对场景漫游和运输调度系统实时交互。系统的开发对云锡区域矿山三大平台的优化管理取得了良好的效果。

关键词: 虚拟现实 开拓运输系统 建模 仿真 立体表现

1 引言

虚拟现实(Virtual Reality,简称VR)技术被认为是21世纪三大最有前景的技术之一,具有沉浸感、交互性和想象性三个特征^[1]。VR技术能为用户提供一种逼真的矿山虚拟操作环境,使用户不仅可以沉浸在虚拟矿山场景中,而且可以与其进行实时交互,这是传统的二维CAD设计图和预渲染回放的三维动画所无法达到的。虚拟现实技术在许多领域已取得了广泛应用并取得了令人瞩目的成就,如虚拟城市、军事仿真、航空航天等。利用其来辅助矿山规划与设计,在矿山领域是一种创新。

目前,VR技术在我国矿山仿真系统的应用研究发展迅速^[2-6],但针对地下矿山开拓运输VR仿真系统的研究甚少。开拓运输系统是地下矿山系统的主体框架,对矿山的生产和管理意义重大。基于VR技术的开拓运输仿真系统可以使用户以动态的、交互的和实时的方式对虚拟矿区进行身临其境的全方位的审视,同时对于矿山运输系统的调度管理、矿工的安全教育培训、矿井设计和技术方案论证等有着积极的意义。本文以云锡区域矿山开拓运输VR仿真系统为例对系统开发过程做详细论述。

2 矿山开拓运输 VR 仿真系统总体设计

云锡区域矿山是六大矿山的资源、生产系统等的整合和优化,其开拓运输系统具有涉及区域面积大,随机性、模糊性、不确定的因素多,矿石的流向复杂等特点。对于这样复杂的大系统的优化,传统的方法已很难解决问题。因此,开发云锡区域矿山开拓运输VR仿真系统对区域矿山生产系统的管理和优化具有重大意义。

2.1 系统分析

由虚拟现实技术的特征和云锡区域矿山目前的需求情况,该VR仿真系统主要来实现用户在虚拟矿山空间环境的高度沉浸感和与虚拟矿山空间对象的强大交互性功能,使用户可以在虚拟矿山中随意漫游和对运输调度系统进行实时交互。因此,VR仿真系统总体设计分为两个部分:矿山虚拟场景的构建和运输系统调度的仿真。

(1) 矿山虚拟场景的构建

开拓运输VR仿真系统场景的构建实质就是整个

① 基金项目:云南省科技强省计划(2007AD004)

矿山虚拟场景的构建。云锡区域矿山开拓方式主要为平硐—溜井、辅助盲竖井和盲斜井联合开拓。因此,虚拟场景中需要建立的模型有地表、花岗岩地层、矿体、竖井、斜井、平硐、溜井、巷道、矿山设备等。场景要求逼真,使用户有身临其境的感觉。

(2) 运输系统调度的仿真

主要是模拟矿车的工作状态和整个矿山运输系统的调度。调度规则由计算机编程实现,同时,当调度出现问题时,可人为的对矿车进行暂停、倒车和改变路径等操作,即要求用户可以对运输调度系统进行实时交互。

2.2 系统特点

该系统属于矿业 VR 系统,其特点有:

(1) 区域矿山是个巨大系统,因而场景的构建相当复杂;

(2) 场景中的许多模型巨大、复杂,对其精细度要求不高,满足工程要求和视觉感官要求即可;

(3) 场景中模型的尺寸差别太大,为满足视觉要求需对尺寸小的模型适当放大;

(4) 运输调度系统仿真对人机交互能力要求较高。

因此,对该虚拟现实仿真系统的实时交互能力和场景更新能力要求较高。

2.3 系统开发环境

硬件环境:图形工作站、三通道 120 度弧幕被动立体显示系统、单通道主动立体显示系统和立体声音响设备。

软件环境:Windows XP Professional sp2 操作系统、矿山大型工程软件 Surpac Vision V5. 2、传统 CAD 建模软件、OpenGL 和 VS2005 开发工具。

网络环境:千兆局域网。

2.4 系统开发流程

开拓运输 VR 仿真系统的开发流程如图 1 所示。

系统开发采用模块化设计的思想,开拓运输 VR 仿真系统分为以下四个功能模块:

(1) 数据管理模块

主要功能是收集矿山各种数据和输入数据,包括地质数据、属性数据、图像数据和音频数据等。

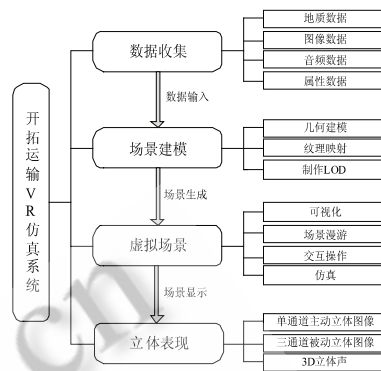


图 1 开拓运输 VR 仿真系统开发流程图

(2) 场景建模模块

主要功能是创建实体模型,并对模型进行纹理映射和制作细节层次(LOD)模型等。

(3) 虚拟场景模块

主要功能是通过实现场景可视化、场景漫游、对虚拟场景中的空间对象进行交互操作和工艺仿真等。

(4) 立体表现模块

主要功能是把虚拟矿山场景三维立体表现出来,以“三通道被动立体图像+3D 立体声”模式输出和“单通道主动立体图像+3D 立体声”模式输出。

3 矿山开拓运输 VR 仿真系统开发过程

3.1 数据管理

数据管理是为整个虚拟场景的构建做准备,是仿真系统开发的基础。主要数据包括地形数据、矿体数据、井巷数据、设备数据、图像数据、声音数据和属性数据等。

其中,地形数据、矿体数据、井巷数据和设备数据为矿山地形、矿体、井巷和设备的建模来提供依据,主要来源于矿山现有二维 CAD 设计图,包括地表等高线图、矿体剖面线图、开拓系统平面图和设备的结构图等。图像数据包括地表、岩石和设备的纹理图片,由高分辨率卫星拍照和数码相机实地拍照来实现,并通过图片处理软件来纠正处理,将图片转换成 JPEG 和 RGBA 格式,长宽像素设为 2 的整次幂,用于矿山三维几何模型的纹理映射。声音数据包括矿山设备工作的立体声音和矿山环境立体声音等,主要来源是录音设备现场录制,并进行声音剪辑。将其添加到矿山对象的活动中,能使得对象在虚拟矿山场景中表现的更为

真实可信。属性数据包括矿山三大平台开拓工程地理坐标和名称、矿石性质和品位、设备运行位置和状况、巷道断面形状和尺寸等,主要为虚拟矿山构建和调度系统运输仿真提供依据。

3.2 场景建模

场景建模是整个系统建立的关键步骤,关乎 VR 仿真系统的成败。虚拟场景中的对象分为两大类:动态的和静态的。系统中,静态模型包括地表模型、矿体模型和开拓运输系统井巷模型等不规则模型。动态模型为采矿设备模型,包括矿车模型、箕斗模型和罐笼模型等。场景建模包括几何建模、纹理映射和制作 LOD 模型等。

开拓运输 VR 仿真系统的建模流程如图 2 所示。

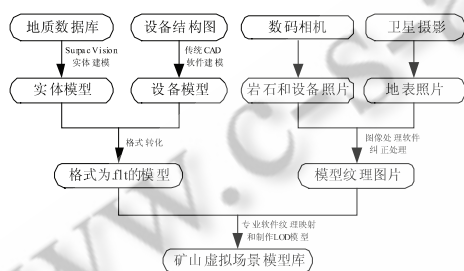


图 2 开拓运输 VR 仿真系统建模流程图

3.2.1 几何建模

主要利用现有的一些商业建模软件来建模。在建立矿床模型方面,矿山大型工程软件 Surpac Vision 提供了基于地质数据库的强大建模工具及模块^[7]。在 Surpac Vision 软件中,地表模型可由地表等高线直接生成 DTM 模型,矿体模型可通过剖面线的连接形成,巷道模型、竖井模型和斜井模型可根据巷道中线生成。传统的 CAD 软件具有可操作性强、直观、方便易学、制作模型逼真、质感强等特点,因此用其制作精细、逼真的采矿设备模型。最后,所有模型要转换成 .flt 格式,以方便在虚拟现实专业软件中对模型纹理映射和制作 LOD 模型。

3.2.2 纹理映射

纹理映射^[8]是把二维的图像位图上的像素值映射到三维实体模型的对应顶点上,以增强实体模型的真实感,降低模型的复杂度。系统采用了如下几种纹理映射技术。

(1) 投影纹理映射

将纹理图像直接投影到三维模型的几何表面来获取模型表面的纹理坐标,矿车和电机车等矿山设备模型的纹理映射采用此方法。

(2) 不透明单面纹理映射

主要用来天空球的制作和地表纹理映射。

(3) 纹理拼接

先采集一小块有代表性的、可重复拼接的纹理单元作为基本拼接单元,然后用基本拼接单元不断重复拼接,最后拼接出一幅大图像的效果。巷道和花岗岩地层的纹理映射用纹理拼接实现。

3.2.3 制作 LOD 模型

细节层次技术既保证了场景的视觉效果,又提高了场景的帧绘制速度,实时地改变场景的复杂度。当视点由远及近接近物体时,该物体的模型也由简单变为复杂,以满足真实性要求,为了减少细节等级之间的突变,还加入平滑技术。在系统开发中,对简单的矿山设备模型,通过采用了不断逼近的相似几何体来模拟的方法制作 LOD 模型。但对复杂且不规则的矿山地表、矿体和开拓系统井巷等模型,由于模型简化后会严重变形,所以一般采用降低纹理分辨率制作 LOD 模型。

3.3 虚拟场景

虚拟场景是真个 VR 仿真系统的核心,是系统所有可视化对象的集合。在虚拟现实技术支持下,场景可视化和交互操作负责构建具有高度沉浸感和交互能力虚拟矿山场景。虚拟场景的生成主要是通过程序设计来实现的,虚拟矿山是一个相当复杂的系统,因此 VR 仿真系统基于 VS2005 和 OpenGL 平台,采用面向对象的程序设计方法开发。

3.3.1 可视化

可视化负责构建高度沉浸感的虚拟矿山环境,其主要完成光照材质、透明显示、视点附着和几何变化等。虚拟场景中要正确设置光照和材质。透明显示可以提供给用户一个同时观察多个物体的增强手段,如可以使巷道半透明化,即可表示巷道的存在,也可展示运输系统电机车的调度情况。视点附着使用户与车辆一同在巷道中漫游,有驾驶车的逼真感觉。几何变化包括空间对象的平移、旋转、缩放等几何操作。

3.3.2 场景漫游

场景漫游可以使用户对生成的虚拟矿山场景进行交互式的浏览活动,漫游过程的实质就是不断移动视

点或改变视线方向而产生三维动画的过程。VR 仿真系统采用的漫游方式有两种：

(1) 手动漫游

采用了鼠标和键盘来控制视点的位置、视向和参考方向。设置“Alt + 鼠标左键”操作为视点的左右移动漫游；“Alt + 鼠标右键”操作为控制视点的前后移动漫游；“Alt + 鼠标中键”操作为控制视点的旋转漫游。同时，根据漫游的结果来设置漫游的步距，适当的增加或减小平移步距和转动步距。

(2) 自动漫游

为用户给定固定的漫游路径来展示虚拟矿山场景。记录路径到记事本文件并对路径信息进行插值，然后进行路径回放。具体操作为：首先记录下初始的视点、观察点、视线绕 Z 轴旋转的角度、仰角等，然后对每种连续的键盘操作命令按“运动类型、初始位置、运动增量、持续时间和运动加速度”的格式进行记录，目的是将手动漫游的整个过程解释为漫游命令序列，最后从记事本文件中读取上述初始化参数并按照这些参数对系统进行设置，而后读取手动漫游操作命令的序列并调用相应的命令处理函数进行处理^[9]。

3.3.3 交互操作

系统中的交互操作主要是通过鼠标来对运输系统的调度进行人为干涉。在矿车模型管理模块中，可在所选车上调出鼠标右键菜单，进行暂停（开启）、倒车和设置路径等交互操作。同时，也可人为的添加矿车对象，设置矿车名称、车速、矿车节数、行驶路径等交互操作。系统中，通过“Ctrl + 鼠标左键”操作直接在场景中选择轨道来设置矿车路径。

此外，交互包括开发人机交互界面。系统界面设计分为系统主控程序界面和矿山 VR 仿真程序界面。系统主控程序界面用来设置单通道程序和多通道程序两种运行模式，并可对视差、窗口大小、渲染节点数和立体模式等参数进行设置。矿山 VR 仿真程序界面有菜单和面板组成。菜单包括仿真运行、漫游管理、视图和帮助菜单；面板集中了仿真程序的主要操作功能，包括模型管理、视点管理及安全管理面板。

3.3.4 仿真

(1) 调度仿真

该运输系统为单轨运输系统，各采场采出的矿石通过各中段运输平巷进入溜井群下放到各个出矿中段

水平，然后利用铁轨运输运出坑口，废石在坑口位置卸掉，矿石继续经由铁轨到达选厂。运输线路（局部）示意图如图 3 所示。

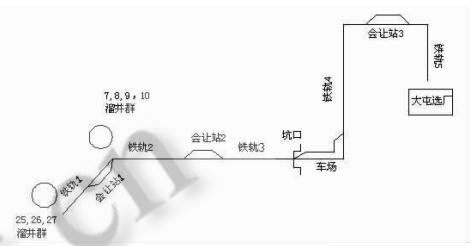


图 3 运输线路(局部)示意图

根据实际情况，在同一时刻，会让站只能停一列车，每段铁轨（两个会让站之间）只能让一列车运行。为了使整条线路畅通运营，不发生碰车事故，等候在会让站列车只有在它要进入的那段铁轨为空闲，并且下一个会让站没有列车时才能进入该段铁轨，否则继续等待^[10]。调度系统为装矿—运矿—卸矿的循环过程，空车在溜井口装矿后变为重车，然后沿轨道运输至选厂卸矿，重车变为空车，空车再沿原路返回。两车相会是常见的现象，两车相会时，先到达会让站的车辆在轨道上等待，来方车辆进入会让站避车。两车相会时的调度逻辑如图 4 所示。

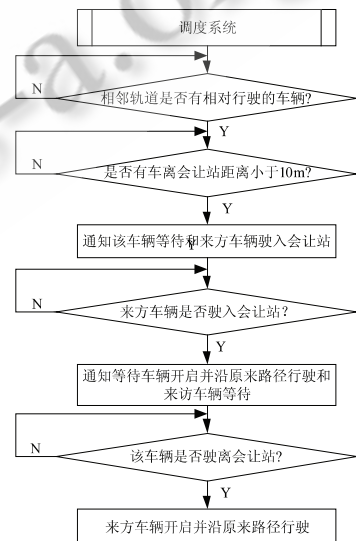


图 4 两车相会时的调度逻辑图

此外，在程序的实际运行中，矿车可能会出现全部等待的现象，这时必须人为的对其交互干涉。

(2) 碰撞检测

为防止虚拟矿山场景中的电机车在运行的过程中发生相互穿透和彼此重叠等不真实的现象,必须对其进行碰撞检测。系统的碰撞检测是基于 AABB 层次包围盒实现的,优化方法是来建立模型的包围盒树,先检测模型的包围盒是否相交,相交的话再检测下一层包围盒。检测到碰撞后,需要对它们做出正确的响应,修改电机车的运动方程,比如:倒车、暂停、开启和改变运行路径等。

3.4 立体表现

立体表现分为立体视觉表现和立体声音表现。立体视觉表现是借助虚拟现实设备(如高端的专业 DLP 投影仪)分别为左、右眼产生两幅视图场景,同通过立体眼镜来实现左右眼分别接收存在视差的左、右眼视频图像,在用户大脑形成三维立体场景。立体声音表现是通过立体声音音响设备把有方位感的立体声与视频图像同步输出,声音的播放速率要与图形图像的刷新率相融合。

4 矿山开拓运输 VR 仿真系统实现

系统成功地将云锡区域矿山的地表、地层、矿体赋存情况、开拓运输系统和井下矿车运输调度过程等三维立体展现出来,并能在单通道主动立体和三通道被动立体模式下显示。虚拟矿山场景给人相当真实的身临其境的沉浸感,用户可以在场景中随意漫游。同时,系统人机交互性良好,实现了运输调度系统的实时人为干预调度,基本上达到了预期要求。图 5-6 为 VR 仿真系统的部分仿真结果。

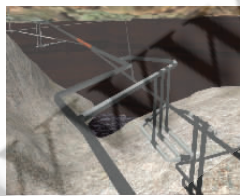


图 5 随矿车在巷道中漫游 图 6 开拓运输系统(局部)

5 结论

通过对地下矿山开拓运输 VR 仿真系统的开发,研究了系统实现的流程和方法,结果证明此思路是合理

可行的。系统具有很强的拓展性,为功能的拓展提供了相应的接口与技术准备。该系统实现了场景漫游和场景交互的功能,但仍有很多待完善的地方,如:系统的交互仅通过鼠标和键盘是不够的,仍需开发虚拟现实专业输入设备(三维鼠标、数据手套和方向盘等)的接口来加强与虚拟矿山场景的交互;系统尚待开发空间三维对象的数据查询、分析和管理功能模块,实现三维 GIS 功能等。随着虚拟现实技术的不断发展,必将对矿山现代化建设产生深远的影响。

参考文献

- 1 吴迪,黄文骞. 虚拟现实技术的发展过程及研究现状. 海洋测绘,2002,22(6):15-17.
- 2 赵建忠,陈鸿章,隋刚. 基于虚拟现实的综采工作面仿真系统的研究. 系统仿真学报,2007,19(18):4164-4167.
- 3 王德永,仵自连,杜卫新. 虚拟现实技术在矿井生产仿真系统中的应用. 煤矿机械,2006,27(10):172-173.
- 4 赵建忠,段康康,胡耀青. OpenGL 技术在虚拟矿山系统中的应用. 太原理工学报,2003,34(1):39-42.
- 5 华臻,范辉,李晋江,刘敬云,靳钟铭. 基于虚拟现实的矿井通风系统的可控可视化研究. 金属矿山,2003,325:53-56.
- 6 于彦,张金山,郑邦东. 基于虚拟现实技术的露天矿生产技术模拟培训系统. 矿业快报,2006,442:31-33.
- 7 周智勇,陈建宏,周科平. Surpac Vision 软件在矿床建模中的应用. 矿业工程,2004,2(4):56-58.
- 8 王瑞玲,陈振明,李际军. 基于场景建模的虚拟漫游系统. 计算机应用与软件,2007,24(7):123-125.
- 9 僧德文,王红霞. 基于 OpenGL 技术的实时漫游系统研究及实现. 浙江水利水电专科学校学报,2007,19(2):63-65.
- 10 杨成林,周科平,杨念哥,邓红卫. 地下矿山运输系统建模与仿真. 数学的实践和认识,2007,37(23):26-30.