

多目标建模技术及煤矿充填开采场景仿真

张国英, 梁旭, 张智跃

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 矿山信息化建设是煤矿企业实现现代化发展的必然趋势。煤矿充填开采是一个复杂的过程, 为了解决实现采煤充填过程最优化的问题, 对开采场景进行仿真是一个直观而有效的解决方法。煤矿充填开采场景仿真不仅让人们更加深刻地了解开采实际生产环境, 而且方便指导现场生产以及矿工安全培训, 实现煤矿信息化、数字化。由于煤矿充填系统场景复杂、设备繁多、数据量大, 实时仿真的技术难度较大。设计了场景树组织模型, 有效组织充填开采场景要素。提出了基于设备组件分析及分层的复杂设备建模方法, 以液压支架为例阐述了设备建模过程。提出了基于场景树的场景装配方法, 包括场景环境生成、设备资源组织, 用相对坐标方法进行资源装配, 实现了充填开采的场景仿真。

关键词: 充填开采; 场景树; 建模方法; 场景组织; 仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)11-0177-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.11.035

Multi-objective Modeling and Simulation of Mining Backfill Scene

ZHANG Guo-ying, LIANG Xu, ZHANG Zhi-yue

(School of Electro Mechanical and Information Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Mine informationization is an inevitable trend to realize the modernization of coal mine enterprises. Mine filling mining is a complex process, in order to solve the problem to realize the optimization of the filling process of coal mining, the mining scene simulation is an effective method. Simulation of mining backfill scene not only makes people more understanding the actual mining environment of exploiting, but also easily guides on-site production and miners training, to realize informationization and digitization of coal mine. Because of complex scenes, large volumes of equipment and data in mine filling system, the work of scene simulation is heavy, especially for real-time simulation technology. Design scene tree of filling mining, effectively organizing scene elements of filling. Complex device modeling method was presented in this paper, which includes the equipment's components analysis and layer, with hydraulic support as an example to discuss the equipment modeling processing. Scene's assembly method was proposed based on scene tree, including scene's environment generation and equipment resources organization, use relative coordinate method for resource assembly, realizing the simulation of filling mining scene.

Key words: filling mining; scene's tree; approach of modeling; scenes' organization; simulation

1 概述

矿山信息化建设是煤矿企业实现现代化发展的必然趋势^[1]。煤矿充填开采是一个复杂的过程, 涉及矿区的地面与地下的工艺流程、设备的选型和运行、充填开采操作控制等方面, 目前煤矿提供的资料多为 Auto-CAD 等工具绘制的设备与工程图纸。如何设计及安排充填设备和管路的工作空间, 减少空间冲突, 降低人力、设备等资源的占用率, 实现采煤充填过程最优化,

场景仿真是一个直观而有效的解决方法。

虚拟现实技术是指利用人工智能、计算机图形学、人机接口、多媒体、计算机网络及电子、机械、视听等高新技术, 模拟人在特定环境中的视、听、动等行为的高级人机交互技术。其技术特征主要表现在四个方面: 多感知性 (multi-sensory), 存在感、临境感 (immersion), 交互感 (interaction), 自主性 (autonomy)。简言之, 虚拟现实是由多种媒体构成的三维信息空间, 其基

收稿日期: 2015-02-14

修回日期: 2015-05-22

网络出版时间: 2015-11-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2009BAB48B02)

作者简介: 张国英 (1968-), 女, 教授, 博导, 研究方向为领域图像处理、虚拟现实和智能系统; 梁旭 (1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向为虚拟现实。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20151104.0953.070.html>

本特征包括交互性和临场感。

煤矿充填开采场景中设备繁多,流程复杂,而场景中资源及其关键组件分析对仿真至关重要,组件被 3ds Max 等软件单独建模,能加快场景的组装且便于操纵。场景中大量的设备和相关数据,很少用图形化建模方法设计模型。V. R. Kamat^[2]、Yingchao Zhang^[3]、郭明明^[4]等分别在建筑工程、校园场景、地下矿山开采过程仿真中使用了场景图技术,简化仿真前期工作,加快了场景仿真的过程。

由于煤矿充填系统中地表模型和井巷模型数据量较大,模型形态各异、类型众多、场景复杂,煤矿充填系统及充填开采过程形象仿真技术难度较大。煤矿充填开采场景主要包括轨道、管道、液压支架、采煤机、刮板输送机等设备,其中很多设备组成复杂,对设备的抽象和描述需要建模方法。Chen Shineng 等^[5]利用 3ds Max 对场景仿真中的复杂物体建模,Mohamed Al-Hussein 等^[6]利用 3ds Max 实现整合塔式起重机操作的三维可视化。基于 OpenGL 对复杂机械设备建模的工程量很大,上述文献未提出实体建模的具体方法。

煤矿充填开采场景模型繁多,虚拟场景搭建复杂,有效的场景装配技术能够保证场景仿真效果的实时性和逼真性。许志^[7]、泮斌峰^[8]、闫晓东^[9]等在飞行仿真系统中提出了场景装配方法,该方法简化了程序,增强了灵活性。

煤矿充填开采的形象化能够提供辅助决策,对于煤矿安全生产、矿工安全保护和系统优化设计等工作具有重要的实用价值。煤矿安全虚拟现实仿真系统是三维可视化模拟技术和虚拟现实技术的高级体现与实际应用,为煤矿生产管理、日常安全管理和事故应急救援与决策提供技术支持,为实现数字矿山提供核心解决方案。因此,该项研究既具有理论意义,又具有较强的实践应用价值。

文中重点研究多目标复杂场景的系统建模以及场景仿真方法,包括树状场景组织模型、复杂设备建模方法和基于树状场景装配方法。通过对充填系统场景的三维可视化,仿真井下充填的真实环境。

2 树状场景组织模型

虚拟场景主要有两部分内容,场景资源和场景资源的空间关系。场景资源的空间关系是指局部坐标系、世界坐标系及相互转换关系。例如,场景中每个设备由其自身的若干元件构成,局部坐标系以设备中心为坐标原点,是为便于构造场景及设备元件而定义的坐标系。设备在自身的局部坐标系中易于建模及进行元件装配,易于实现元件平移、缩放和旋转等运动。

世界坐标系用于定义和计算场景中所有定义为图

形对象的各资源(包括设备、环境等)的空间位置,显示场景中所有资源的空间关系及三维形态。

2.1 场景树模型

虚拟场景是场景仿真系统的基础和核心,集成了系统的所有可视化对象。场景涉及多种异构数据和大量三维模型,其空间关系复杂,场景仿真的工作量和难度较大^[10]。创建场景有两种方式^[2],单独创建场景和场景元素装配。

单独创建一个场景,是在建模设计环境中,使用内置工具在合适的位置、方向上创建和放置场景资源模型,形成静态场景,主要应用于组件装配、检测复杂大数据集的结构布局、可视化和渲染等。

场景元素装配允许在场景中动态修改部件的位置、方向及比例,方便场景动画控制。具体场景元素可以由各种建模软件独立建模,或从其他软件中进行模型导入。场景树技术能加快创建进度,方便场景装配和操纵^[2]。

场景树的概念提出和发展^[11-13]用于加快场景组织速度,灵活呈现虚拟三维世界,场景树中各节点由统一的场景元素数据结构^[14]描述。场景树的每个节点是一个完整的图形对象或者图形对象的一部分,每个节点能够执行特定功能或方法。用户创建场景或多个子场景,将它们附加在虚拟场景空间中。场景树的内容如图 1 所示。

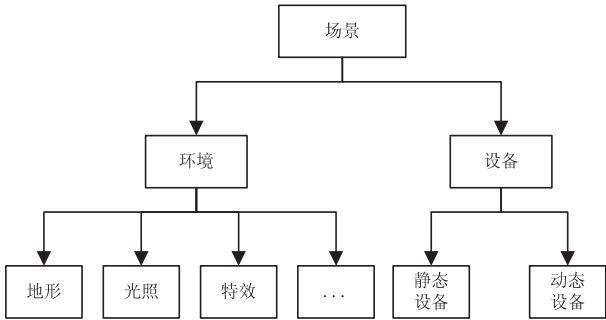


图 1 场景树

2.2 建模数据预处理

如果要想建立一个和真实煤矿充填开采现场一模一样的虚拟场景,就必须要有煤矿充填开采现场中各实体各环境物体的分布图和具体的平面图。还必须要掌握现场各部分的大概高度,最低点,最高点等地形信息。

原始数据主要有办公楼、车间、仓库、机械设备等建筑设计图纸、地形图文件、煤矿生产区规划的工程图纸文件和部分实物照片。为保证虚拟煤矿充填开采场景的真实显示和空间分析的正确,对于纹理数据主要采用自己拍摄并绘制的方式。首先用数码相机将现场各处建筑物的各个侧面进行拍照,然后传入计算机,运用 Photoshop 软件进行斜切、扭曲等调整及切割原始图

像、调整对比度、部分颜色填充的改动等纠正处理后,以 JPG、TGA 等格式存储,作为模型的贴图库。

场景中各种资源的位置关系主要来自实体建筑图 and 设计规划图等,充填采煤场景中,液压支架、刮板输送机 and 采煤机等设备数据主要来自设备图 or 零件图,包括平面图、立面图 and 侧面图等。而采煤设备的纹理主要来自实地拍摄照片 and 纹理素材库,某些特殊的纹理需要在 Photoshop 或者其他图形软件中绘制。

首先去掉上述采集的冗余及噪声数据,然后对数据进行转换、编辑及存储。在 3ds Max 相关软件中,将采集数据转换为 3ds Max 接受的数据格式。拍摄图片经扫描、图形定向及色彩校正后,转换成系统支持的图像格式,形成场景纹理图片。

场景仿真的基本数据是以场景数据库的方式进行管理和组织,在数据库中将整个场景设计为一个母表,表中记录设备及环境等资源信息,及它们的空间位置关系。例如,液压支架等设备均设计成相应的子表,子表中记录设备的元件、元件尺寸等参数。煤矿充填开采仿真过程需要对母表或各个子表进行查找、插入、修改及删除等操作。将场景元素和场景元素空间关系、场景元素参数分别存储到数据库相关的表中。

3 复杂设备建模方法

设计虚拟煤矿充填开采场景的最基础工作是运用三维场景建模技术在计算机中生成一个逼真的与现实场景非常相似的虚拟世界。由于人对环境最直观的反应主要来源于眼睛,所以如果煤矿充填开采场景在计算机中的虚拟场景再现不够真实,与现实差别太大的话,就会严重影响到虚拟场景特性中的沉浸性,从而影响到用户身临其境的感觉。因此,虚拟场景模型的创建是整个虚拟煤矿充填开采场景中最基础也是非常重要的。为了能够利用最方便和快捷的方法创建出最理想、最接近于现实煤矿充填开采场景的模型,就需要选择一种合适的建模工具,寻找最优化的建模方法。

充填场景设备建模之前,首先全面收集并分析设备等资源信息,将设备等资源进行关键元件分解,将相似或一致的元件进行归类,作为一个组件统一建模。为便于设备就场景装配,进行层次结构分解,把所有的组件模型进行整合,统一整理成为设备模型。

3.1 液压支架组件分析

科学的复杂设备建模方法是场景仿真的关键技术,首先将设备拆解成多个元件。把设备元件按照形态、功能等抽象成组件模型。拆解过程应粒度适宜,不能把有效的设备拆解成元件,也不能把功能各异的不同元件作为同一元件。

充填液压支架是充填场景的关键设备,主要由底

座、推移千斤顶、活动伸缩立柱、固定伸缩立柱、前伸缩梁、顶梁、后伸缩梁、护帮板、可伸缩隔离装置组成,各元件的几何形态分为长方体和圆柱体,通过对液压支架元件分析,抽象得到的组件模型见表 1。

表 1 充填液压支架元件、组件关系表

序号	组件形态	元件名称
1	长方体	护帮板
		前伸缩梁
		顶梁
		后伸缩梁
		可伸缩隔离装置
2	圆柱体	推移千斤顶(推 1)
		固定伸缩立柱
		固定立柱(方 1、2)
		底座
		前活动伸缩立柱
		前活动立柱(圆 1、4)
		后活动伸缩立柱
		后活动立柱(圆 2、3)

为装配充填液压支架模型,需要确定液压支架的元件层次关系。底层包括底座、推移千斤顶、活动伸缩立柱 and 固定伸缩立柱四种元件,其中底座、推移千斤顶 and 固定伸缩立柱模型是通过长方体及相应的变形操作建立;活动伸缩立柱模型是通过圆柱体及相应的变形操作建立。

顶层包括前伸缩梁、顶梁 and 后伸缩梁,前伸缩梁连接护帮板,后伸缩梁连接可伸缩隔离装置。可伸缩隔离装置又可以细分为更小的部件。

按照所确定的模型层次结构和分解出的元件组件关系,在 3ds Max 中依次建立长方体、圆柱体模型,并进行参数设置。

3.2 设备建模过程

液压支架模型复杂,部件繁多,分层建模既能简化模型,又能方便运动控制。以充填液压支架为例,其建模过程分为底层和顶层两部分,步骤如下:

1) 充填液压支架底层建模。

液压支架底层俯视图 and 前视图如图 2(a) and (b) 所示。

圆 1、2、3 及 4 是四个圆柱型立柱,安装在底座四角。方 1 和 2 是两个方形立柱,安装在底座中部。推 1 为推移千斤顶,安装在底座左侧中部。

在世界坐标系中,基于 3ds Max 工具,依次建立底座、四个圆形立柱、两个方形立柱 and 推移千斤顶模型。

(1) 坐标(0,0,0)处,建一个长 L 、宽 W 、高 H 的长方体底座。

(2) 以 $(L_2 - L/2, W/2 - W_2, H_1/2)$ 为圆心,建立圆柱体圆 1,计算出圆 1 与 2、3、4 之间的距离,用 3ds Max 自带的镜像功能在 x, y 轴 and xy 平面上复制出圆

2、4 和 3;使用复制、缩放、移动命令,建好圆形活动立柱 1、2、3、4。将圆 1 与圆形活动立柱 1、圆 4 与圆形活动立柱 4 分别添加成组命令,使用旋转功能将上述两组圆柱倾斜 θ 角。

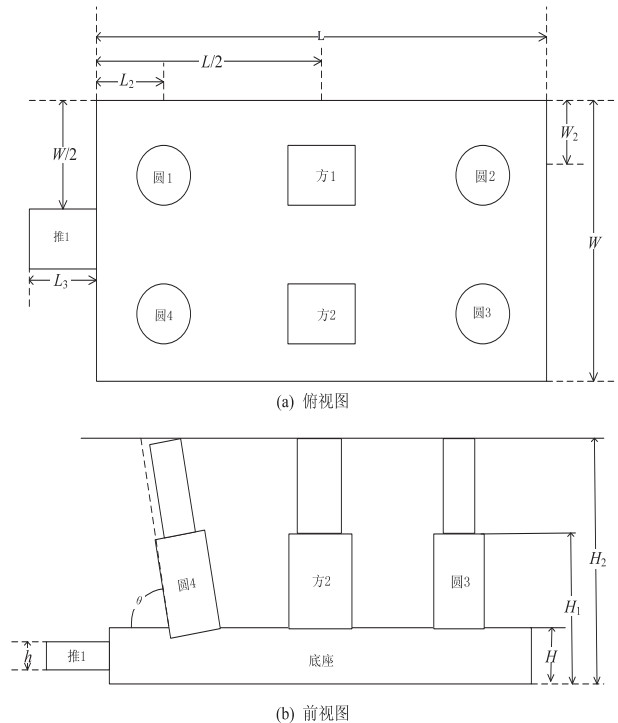


图 2 充填液压支架底层俯视图和前视图

(3)以 $(0, W/2 - W_2, H_1/2)$ 为中心,建立长方体方 1,按上述方法建方形活动立柱 1 和 2。

(4)以 $(-L/2 - L_3/2, 0, H/2)$ 为中心,建一个长方体,命名为推移千斤顶。

液压支架底层模型如图 3 所示。

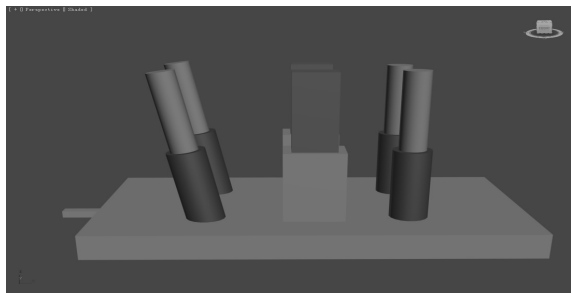


图 3 充填液压支架底层三维图

2) 液压支架顶层建模。

顶层建模方法与底层类似。通过顶层俯视图和前视图,获取护帮板、前伸缩梁、顶梁、后伸缩梁、可伸缩隔离装置之间的位置关系以及各自的尺寸。首先建顶梁模型,前伸缩梁的坐标位置根据顶梁位置及自身尺寸确定。护帮板、后伸缩梁和可伸缩隔离装置的模型位置由同样方法确定。

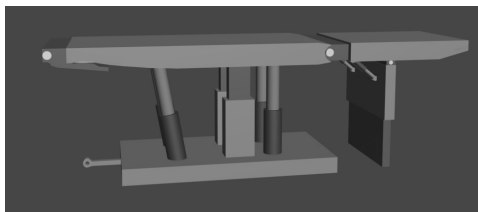
3.3 模型细化和优化

上述液压支架模型只确定各元件基本形态及位置,顶梁、护帮板、推移千斤顶和可伸缩隔离装置不是

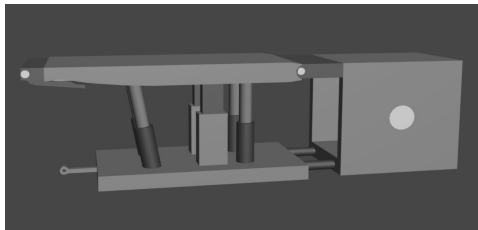
规则的长方体,使用多边形、布尔运算等命令进行细化,形成了弧度、倒角及孔等形态特征,并设置了液压支架的各元件相应颜色,细化后的充填液压支架和隔离支架模型如图 4(a) 和(b) 所示。

充填隔离支架与充填液压支架不同的是,前者后伸缩梁连接装置为可伸缩隔离装置,后者为三面封闭结构。隔离支架模型只需将液压支架模型导入 3ds Max,对后伸缩梁连接部分进行修改。采煤机和刮板输送机的建模方法与液压支架类似,结果如图 4(c) 及(d) 所示。

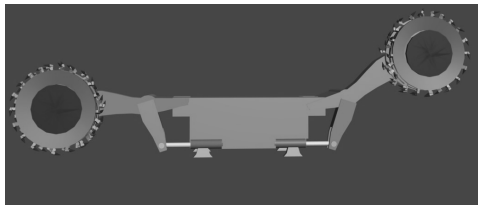
由于虚拟煤矿充填开采场景复杂,模型众多,为了能够让用户在浏览时达到顺畅的效果,需要对场景模型进行优化。对于 3ds Max 创建的实体模型的优化原则主要是要减少模型的面数,这样会减少 UV(纹理坐标通常具有 U 和 V 两个坐标轴,因此称之为 UV 坐标)的线数,也会使贴图绘制更加方便快捷。



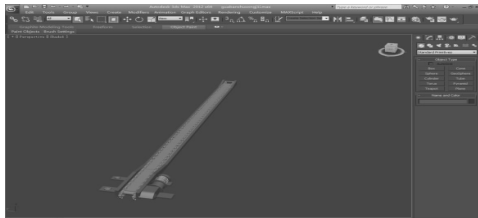
(a) 充填液压支架



(b) 充填隔离支架



(c) 采煤机



(d) 刮板输送机

图 4 机械设备模型

4 基于树状结构的场景装配

根据场景对象要素组织场景时,当场景中的对象位置、尺寸等数据或视点改变时,必须重新组织场景,

这种方式对于场景动态变化及不同的场景通用性差。使用前述的场景树状结构模型进行场景装配,可提供场景装配的通用性。

4.1 资源组织关系及数据结构

以树状结构的形式组织煤矿充填场景资源,形成虚拟煤矿充填开采仿真场景。场景资源包括空间环境和设备模型,空间环境包括煤壁、地形和顶层,设备模型包括采煤机、液压支架、刮板输送机、轨道、管道。场景资源组织关系如图 5(a) 所示。

新建一个煤矿充填开采工程,生成场景根节点和两个子节点,及空间环境和设备模型节点。其中空间环境节点有三个子节点,设备模型节点有五个子节点。将各个场景模型添加到根节点下的相应子节点中,构成清晰分明的三层树状结构。每个叶子节点有统一的数据结构,包括窗口信息、特效、位置信息、数量、视点和三维模型信息等成员,如图 5(b) 所示。

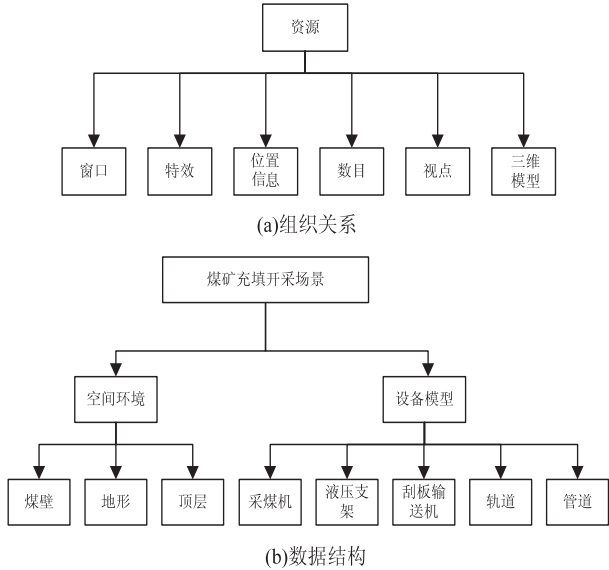


图 5 场景资源组织关系和数据结构

4.2 场景装配方法

基于树状结构装配场景时,首先在应用程序界面的模型面板中新建各种资源,按照要求进行参数配置,然后根据资源名进行装配,实现整个场景。

由于各资源的数据结构、功能各异,加载不同的模型,例如煤壁及设备,根据不同的要求,可以灵活设置模型数据结构中各成员的信息。

煤矿充填开采场景树依照后序遍历方法,先查找左子树叶子资源,当读取完每个叶子资源的信息后,继续查找下一个叶子节点,直到遍历完左子树,然后遍历右子树的叶子节点,直至根节点。

在煤矿充填场景仿真中,多个三维模型经常会出现相互作用,也会独立运动。例如液压支架推动刮板输送机到一个位置后,刮板输送机稳定不动,液压支架单独运动。以前解决的办法,是将两个三维模型在绝

对坐标系下进行装配,每一时刻分别对两个模型赋在绝对坐标系下的位置和姿态的数据进行仿真。这样的装配方式,很难把模型装配到正确位置。

相对坐标的模型装配方法是,不同的三维模型在相互运动的时段内,被动运动的三维模型采用与主动运动一方的相对坐标系来表达。独立运动时,解除相对关系,采用各自局部坐标系来表达运动关系。相对坐标的模型装配方法易于实现精确装配^[8],例如把刮板输送机作为主模型,液压支架作为子模型,装配时只对液压支架赋予相对于刮板输送机坐标系的相对坐标即可,这样在液压支架元件不运动时,只对刮板输送机提供数据驱动即可。当元件运动时,主模型与子模型解除联系,将液压支架转换成绝对坐标系下的数据驱动。

按照上述方法,逐一将叶子节点添加到煤矿充填开采场景中,最终实现了煤矿充填开采工作面的场景,如图 6 所示。

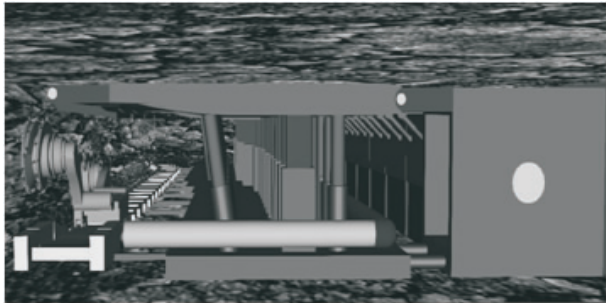


图 6 煤矿充填开采工作面的效果图

5 结束语

文中提出煤矿充填开采场景仿真的一系列便捷处理方法。利用树状场景组织模型组织复杂场景中的元素和数据。提出了基于 3ds Max 复杂设备的建模方法,包括设备的组件分析、分层及设备建模过程,建立了以液压支架为例的设备模型。提出了基于树状结构及相对坐标的场景装配方法,包括生成场景环境和设备等资源的组织关系、设计资源的数据结构、在场景中添加各项资源,采用相对坐标的方法进行场景装配。实现了煤矿充填开采场景仿真,可视化了实际的煤矿充填系统,并与现场物理模型高度相似。

参考文献:

[1] 李春民,李仲学,王云海.“数字矿山”三维可视化研究[J].系统仿真学报,2006,18(z2):515-518.
[2] Kamat V R,Martinez J C. Scene graph and frame update algorithms for smooth and scalable 3D visualization of simulated construction operations[J]. Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering,2002,17:228-245.

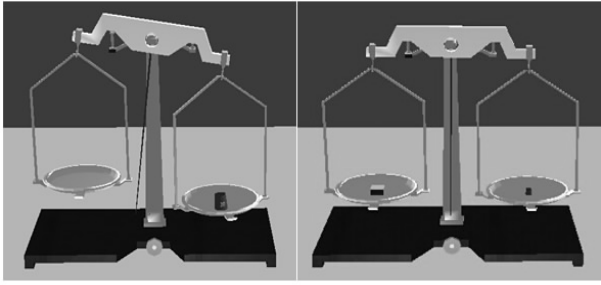


图 6 天平的仿真

3 结束语

与工业虚拟装配系统相比,文中给出的装配过程是一个轻量级,特别适合于 E-learning 系统。文中的方法是在系统中将三维模型作为独立对象添加约束并进行操作,不依赖于特定的三维模型格式及模型约束条件,克服了工业领域虚拟装配模型的依赖性和难重用性,更易于扩展到不同的虚拟环境。

未来的工作主要在于两个方面。第一是继续完善天平仿真,实现准确的物理实验过程,例如移动平衡游码得到准确的质量。第二是开发更广泛的组装方法来支持其他对象,如电缆。

参考文献:

- [1] Yang R D, Fan X M, Wu D L, et al. Virtual assembly technologies based on constraint and DOF analysis[J]. Robotics & Computer-integrated Manufacturing, 2007, 23: 447-456.
- [2] 姚丽丽. 虚拟装配培训系统的研究与实现[D]. 济南: 山东大学, 2010.
- [3] 吴战杰. 大数据时代 E-learning 融合式学习框架—学习的规模效益与个性化的实现途径[J]. 开放教育研究, 2013,

(上接第 181 页)

- [3] Zhang Yingchao, Zou Liping, Liu Jia. Simulation of snow effects in visual simulation of virtual campus based on OSC [C]//Proc of 2011 international conference on multimedia technology. [s. l.]: [s. n.], 2011: 3658-3662.
- [4] 郭明明. 地下矿山开采工程虚拟现实仿真与应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [5] Chen Shineng, Xu Limei, Li Hui. Research on 3D modeling in scene simulation based on creator and 3dsmax [C]//Proceedings of the IEEE international conference on mechatronics & automation. Niagara Falls, Canada: IEEE, 2005: 1736-1740.
- [6] Al-Hussein M, Niaz A M, Yu Haito, et al. Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites[J]. Automation in Construction, 2006, 15(5): 554-562.
- [7] 许志, 唐硕, 闫晓东. 装配式实时飞行视景仿真平台研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(12): 3298-3300.

19(4): 53-59.

- [4] 杨美霞. 基于虚拟现实技术的网络虚拟实验室设计与实现[J]. 现代计算机, 2011(1): 129-131.
- [5] 夏平均, 姚英学. 虚拟装配的研究综述与分析(II)[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(6): 942-947.
- [6] 李长春. 机械产品虚拟装配信息建模的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2004.
- [7] Gupta S K, Paredis C J J, Sinha R, et al. Intelligent assembly modeling and simulation[R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2005.
- [8] 王登科. 针对虚拟装配的碰撞检测技术研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2012.
- [9] 杨润党, 武殿梁, 范秀敏, 等. 基于约束的虚拟装配技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(3): 413-419.
- [10] Zhong Y M, Ma W Y. Incorporating constraints into a virtual reality environment for intuitive and precise solid modelling [C]//Proc of 6th international conference on information visualization. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [11] Zhao H, Zhang Q, Zhu C, et al. Design of virtual assembly operation evaluation system based on EON platform [C]//Proc of ACSA. [s. l.]: [s. n.], 2012: 295-301.
- [12] Deshmukh A, Banerjee A, Gupta S. Content based assembly search a step towards assembly reuse [J]. Computer-aided Design, 2008, 40(2): 244-261.
- [13] 崔进. 船体分段装配顺序自动生成研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [14] 段晓坤, 吴波, 赵秀林. 虚拟装配中的混合设计建模方法研究[J]. 机电工程, 2012, 29(9): 1007-1010.
- [15] Chrysosolouris G, Mavrikios D, Fragos D, et al. A virtual reality-based experimentation environment for the verification of human-related factors in assembly processes [J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 2000, 16(4): 267-276.
- [8] 泮斌峰, 唐硕. 可装配式飞行视景仿真系统的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(4): 768-771.
- [9] 闫晓东. 基于 OSC 的飞行视景仿真平台开发[J]. 计算机仿真, 2008, 25(5): 58-60.
- [10] 伏永明, 汪云甲. 矿山三维场景漫游系统的设计与实现[J]. 现代测绘, 2004, 27(5): 11-14.
- [11] Döllner J, Hinrichs K. A generalized scene graph [C]//Proceedings of the 2000 conference on vision modeling and visualization. Saarbrücken, Germany: [s. n.], 2000: 247-254.
- [12] 罗朔峰, 李雪耀, 熊新平, 等. 高性能面向对象场景图系统[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2): 424-428.
- [13] 童恒建. 三维数字景观中场景图的组织与绘制[J]. 测绘信息与工程, 2005, 30(5): 9-11.
- [14] Yan Guangwei, Guan Zhitao. Scene graph organization and rendering in 3D substation simulation system [C]//Proc of power and energy engineering conference. [s. l.]: [s. n.], 2009.

多目标建模技术及煤矿充填开采场景仿真

作者：[张国英](#)，[梁旭](#)，[张智跃](#)，[ZHANG Guo-ying](#)，[LIANG Xu](#)，[ZHANG Zhi-yue](#)
作者单位：[中国矿业大学\(北京\) 机电与信息工程学院, 北京, 100083](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015, 25 (11)

引用本文格式：[张国英](#). [梁旭](#). [张智跃](#). [ZHANG Guo-ying](#). [LIANG Xu](#). [ZHANG Zhi-yue](#) [多目标建模技术及煤矿充填开采场景仿真](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015 (11)