

8-7-2020

Development of A Virtual Reality System for Space Planning Simulation

Wenbo Yang

1. Institute of Robotics and Automatic Information System, Nankai University, Tianjin Key Laboratory of Intelligent Robotics, Tianjin 300071, China;;

Yinhao Song

2. Engineering Design and Research Institute of the Second Artillery Corps, Beijing 100011, China;

Zhao Xin

1. Institute of Robotics and Automatic Information System, Nankai University, Tianjin Key Laboratory of Intelligent Robotics, Tianjin 300071, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Development of A Virtual Reality System for Space Planning Simulation

Abstract

Abstract: A virtual reality platform for space simulation was developed to simplify the implementation of weapon and based design. *First, the architecture of the simulation system was described briefly; Second, based on the characteristics of space simulation platform, several key modules were introduced, including terrain real-time generation, analysis of space layout, and closest distance calculation. The terrain generation for space simulation platform was based on database management. The closest distance calculation was based on nearest neighbor k-d tree searching. In addition, a three-dimensional (3-D) model library, containing vehicles, test equipment, plant facilities, and other tools, was established for dynamic loading and planning.* The simulation results show that the virtual reality system is robust, efficient, and realistic, which can meet the requirement of real time simulation of space planning and designing.

Keywords

space simulation platform, terrain create, closest distance calculation, nearest neighbor searching

Recommended Citation

Yang Wenbo, Song Yinhao, Zhao Xin. Development of A Virtual Reality System for Space Planning Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2575-2581.

空间布局仿真虚拟现实系统的设计与实现

杨文博¹, 宋银灏², 赵新¹

(1. 南开大学机器人与信息自动化研究所天津市智能机器人重点实验室 天津 300071;

2. 第二炮兵工程设计研究院, 北京 100011)

摘要: 设计实现了一套面向空间仿真的虚拟现实开发平台, 以简化面向武器装备与阵地设计应用程序的开发。介绍空间仿真平台系统的总体设计结构; 通过分析空间仿真平台的特点, 探索不同地形生成算法, 设计实现了适用于空间仿真平台的实时地形生成子系统; 针对空间仿真平台中三维空间布局问题, 设计实现了基于 K-d 树最近邻搜索算法的欧式空间最小距离实时测量子系统; 设计了基于数据库的装备模型动态加载子系统, 用于创建由多种车辆运输工具、测试设备、工厂等实体模型组成的三维场景。仿真结果表明: 本仿真系统在动态布局、实时测量以及三维可视化方面具有很好的应用前景。

关键词: 空间布局仿真; 地形生成; 最小距离计算; 最近邻搜索

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 10-2575-07

Development of A Virtual Reality System for Space Planning Simulation

Yang Wenbo¹, Song Yin hao², Zhao Xin¹

(1. Institute of Robotics and Automatic Information System, Nankai University, Tianjin Key Laboratory of Intelligent Robotics, Tianjin 300071, China;

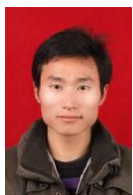
2. Engineering Design and Research Institute of the Second Artillery Corps, Beijing 100011, China)

Abstract: A virtual reality platform for space simulation was developed to simplify the implementation of weapon and based design. First, the architecture of the simulation system was described briefly; Second, based on the characteristics of space simulation platform, several key modules were introduced, including terrain real-time generation, analysis of space layout, and closest distance calculation. The terrain generation for space simulation platform was based on database management. The closest distance calculation was based on nearest neighbor k-d tree searching. In addition, a three-dimensional (3-D) model library, containing vehicles, test equipment, plant facilities, and other tools, was established for dynamic loading and planning. The simulation results show that the virtual reality system is robust, efficient, and realistic, which can meet the requirement of real time simulation of space planning and designing.

Keywords: space simulation platform; terrain create; closest distance calculation; nearest neighbor searching

引言

随着信息技术的不断发展, 以美国为代表的西



收稿日期: 2015-06-12 修回日期: 2015-07-30;
基金项目: 国家高技术研究发展计划(2013AA041102);
作者简介: 杨文博(1991-), 男, 河南南阳, 硕士生,
研究方向为控制理论与工程; 宋银灏(通讯信息
1978-), 男, 河南洛阳, 博士, 研究方向为仿真技术、
虚拟现实技术; 赵新(1968-), 男, 天津, 教授, 研究
方向为微操作机器人与生物建模仿真。

方发达国家最早将虚拟现实仿真计划应用到各自军队的信息化建设当中。这其中又以虚拟装配操作训练、虚拟飞行、驾驶训练以及数字化模拟演习较为热门。因此, 为了适应上述新情况, 就要充分运用现代科技手段, 实现有经验性的定性评估, 向以计算机模拟仿真、定量评估围绕的现代评估模式转变, 就需要综合运用作战使用流程可视化仿真、武器装备与阵地工程数字化建模、虚拟现实等技术,

<http://www.china-simulation.com>

• 2575 •

开展阵地工程作战仿真评估研究。

相比国外, 尽管我国仿真技术起步较晚, 但经过奋起追赶也取得了一系列重大成果。目前, 国家重大项目前期论证与实施过程中普遍都采用计算机数字化仿真技术, 通过在计算机上模拟和预测设计工程未来投入运行前的情况, 对关键指标对比分析从而优化设计方案, 从而避免因认为决策失误带来的损失, 实现了设计方案的科学直观评价和定性定量分析^[1]。例如, 总装工程设计研究院和北京理工大学在北京奥运会开幕式方案设计 & 彩排中, 合作采用基于仿真技术的三维数字化彩排, 确保了开幕式的圆满成功^[2]; 成都飞机制造厂在我国歼-20 隐形战斗机研制中, 全程采用计算机仿真和三维可视化设计技术, 在一年内完成了样机设计与生产^[3]。再例如, 总装工程设计研究院为解决北斗卫星与西昌卫星发射中心适应性问题, 研发了发射场三维数字化仿真合练系统, 评估发射场操作空间的设计和设施设备的布置是否满足操作使用要求, 解决人、运载火箭、卫星飞船装备和发射场工程的适应性, 成功对北斗二号试验卫星发射场和新建海南卫星发射场进行了仿真评估工作^[4]。设计一个成功的虚拟环境是极其复杂的工作, 它对软件开发有极高的要求。有必要提供某种框架或平台, 使得新的应用可以在已有的虚拟环境系统开发工具的基础上进行^[5~7]。这种开发平台的设计要考虑系统的整体开发方法和结构, 特别是要有效地组织虚拟场景中的虚拟对象, 使开发平台既有较好的通用性。同时, 又能在性能上满足仿真应用的要求。

本文实现的空间布局仿真虚拟现实系统是集成了跨平台的游戏引擎 Unity3D、通用地理数据开发包 GDAL、开源数据库管理 MySQL 等资源开发而成, 其特点是: 采用模块化设计, 能满足多种形式的虚拟工程的搭建, 如阵地工程、山洞工程、空间布局规划等; 可操作的实体模型种类多且易于管理和维护; 能够实时动态加载显示 90m 分辨率的标准 DEM 地理信息数据, 并于虚拟场景模型无缝集成; 采用 k-d tree 搜索算法能够实现毫米级精度

的实时最小距离计算。在具体使用中, 根据虚拟工程搭建的需要, 往往需要将大量三维模型会加载和布局, 一次性全部加载会导致系统整体运行效率的下降, 进而导致帧率不能满足实时使用需要。因此, 本文设计实现了优化的动态加载机制, 最大程度减少了系统的资源消耗, 并能根据工程需要实时加载和布置模型资源。

针对大规模复杂多面体模型间最小距离计算问题, 提出一种基于动态自适应优化搜索空间的最近邻快速查询方法。与以往基于模型层次包围盒技术不同, 该方法不需要任何关于表面网格的先验知识, 而能够直接位于模型表面的离散顶点在三维空间中进行实时层次化分割, 并建立适于快速距离查询的空间搜索树结构。这种对模型所处三维空间直接进行划分的方法更加适用于非静态搜索空间的实时最近距离计算, 克服了目前其它最近距离算法仅适用于静态刚性物体的不足。实验结果表明, 该方法搜索时间复杂度为 $O(n \cdot \log n)$, 与主流层次包围盒算法不仅在计算效率上相当, 而且具有更好的算法鲁棒性和通用性。

在地理数据处理方面, 本系统结合 GDAL 动态库, 根据卫星图片的 DEM 数据, 能够实时绘制出三维地形模型, 并能实现三维交互浏览, 为地形的管理和开放性操作提供了极大便利。

最后, 采用 Unity 3D 开发车辆运输工具、工厂、测试设备等组成的实体模型库, 使整套系统在空间布局与工程搭建案例中具有良好的通用性, 具有较好的工程应用前景。

1 系统总体设计

1.1 设计目标

为了使所开发的空间仿真平台系统具有通用性, 方便用户使用, 对该空间仿真平台系统设计提出以下要求: 能动态浏览模型库不同分类模型列表, 根据选择的实体模型, 实现模型动态加载和布局; 提供摄像机角度切换功能, 使用户可以从不同角度观察工程内的实体模型, 并实现对实体模型运

动的实时跟踪, 一个专设的前置相机, 以画中画的效果显示当前运动模型前方视角的情况; 提供有好、易操作的可视化人机界面; 能实时、快速的进行任意两个实体模型之间最小距离的测量, 并能对测量中的主要属性进行改变, 对测量距离也能实时观察和显示; 根据获取的 DEM 数据, 在 Unity3D 中生成地形 mesh 模型, 实现地形的动态创建, 并保证加载速度和显示浏览速度的帧速率在 30 帧以上。

1.2 软件开发工具

该系统运行于 Windows 7 或 Window XP 操作系统的微机平台, 采用 3D Max 作为三维几何模型的建模工具, 以 Unity3D 游戏引擎为平台开发程序流程和用户界面。

1.3 系统结构框图

空间仿真平台的系统结构框图如图 1 所示。

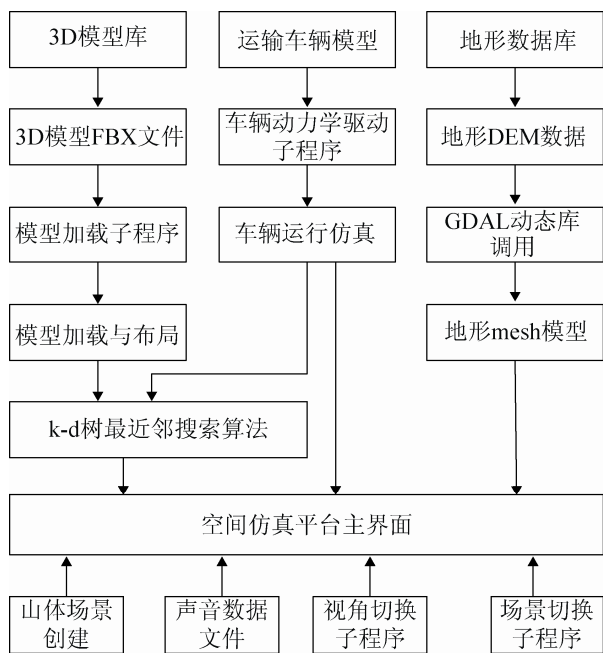


图 1 空间布局仿真系统整体框架

具体模块包括:

- 1) 根据地形数据库, 采用地形生成算法, 将获取的地形数据在 Unity3D 中生成网格(mesh)模型并赋予卫片贴图, 生成 3D 地形模型。
- 2) 根据仿真需要和虚拟工程设计的目标, 模

型加载子程序动态调用模型库里的 3D 模型, 实现 3D 模型在仿真应用中的加载和布局。

3) 运输车辆的动力学运行模拟, 是由车辆动力学驱动子程序完成, 结合车辆运动控制按键, 实现车辆运动的仿真模拟。

4) 结合 k-d tree 的最近邻搜索算法, 在仿真应用中, 实时进行模型之间静态距离测量和运动车辆与模型之间的动态距离测量。

5) 仿真应用中, 结合虚拟山体场景, 加入声音数据, 并加入视角自动切换和场景自动切换子程序。

2 关键技术

2.1 空间仿真平台地形生成技术

在 Windows 开发环境下, 使用地形 DEM 格式的地形文件生成地形的技术中, 主要采用的方法是: Polymesh 算法和 Delaunary 算法。Polymesh 算法是一种矩形网格算法, 即它生成的地形模型是由矩形或梯形多边形组成^[8]。Polymesh 算法的最大优点是生成的速度快, 模型结构简单。但是对于地形起伏较大、海岸线曲折较多的地形, 其精度难以保证。Delaunary 算法是一种三角网格算法。这种算法首先读取地形高程数据文件的矩形网格, 并将矩形网格对角线划分为三角形作为初始网格, 和 Polymesh 网格类似, 根据需要对初始网格中包含的高程数据作进一步的二次采样, 计算出 Dirichlet 网格, 再利用 Bowyer-Watson 算法生成 Delaunary 网格^[9]。该算法虽然提高了精度, 但是执行效率比较低。

由于空间仿真平台中使用地形数据庞大, 为保证所生成地形的精度和执行效率, 本系统采用了一种新的方法。在 Unity3D 的开发平台上, 结合 GDAL 动态库, 根据输入的 DEM 数据可以实现地形的动态创建, 结合人机交互界面, 方便对地形进行浏览。GDAL 是一个在 X/MIT 许可协议下的开源栅格空间转换库。它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式, 它还有一系列命令行工具来

进行数据转换和处理。GDAL 提供对多种栅格数据的支持, 包括 Arc/Info ASCII Grid, GeoTiff, Erdas Imagines, ASCII DEM 等格式。GDAL 使用抽象数据模型来解析它所支持的数据格式。本系统地形的生成是通过动态链接库调用 GDAL 标准库函数来实现地形 DEM 数据的读取, 并将该数据文件转换成 Raw 格式的数组类型。

如图 2 地形动态生成流程图所示, 该系统进行地形生成的过程如下: 获取地形数据, 对地形数据按照 Unity3D 的平台要求, 对数据进行区域分割和层次分割; 对卫星图片进行图片分割和层次分割; 再建立地形数据库, 存储处理后地形数据信息, 根据获取的地形数据在 Unity3D 中生成网格(mesh)模型并赋予卫片贴图; 调用 GDAL 库函数, 通过动态链接库的方式将用户指定数据库中的地形数据和卫星图片读入内存, 并转换为 Unity3D 地形模块可识别的数据类型, 进而绘制出三维地形模型。

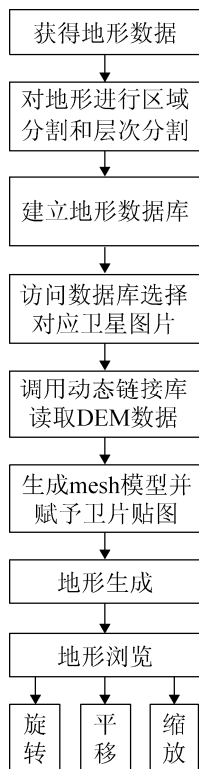


图 2 地形动态生成流程图

如图 3 所示, 本系统采用此方法绘制了两个 100×100 km 的地形模型, 并可以进行地形的浏览。

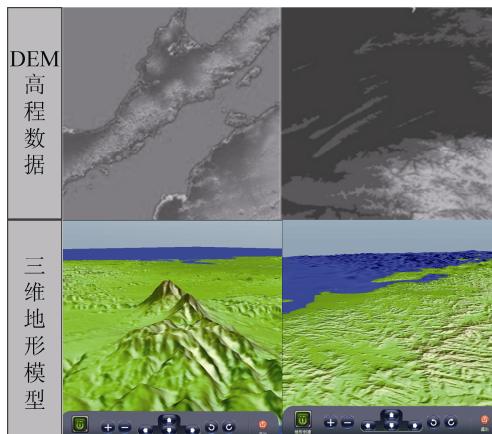


图 3 三维地形生成与浏览

2.2 一种最小距离计算的碰撞检测技术

最近距离计算问题一直以来在机器人碰撞检测和虚拟现实装配等领域有着重要作用^{[10][11]}。如图 4 所示, 该问题的核心是计算两个不相交物体表面轮廓在三维欧式空间中的最小分割距离 (minimum Euclidean separation distance)。

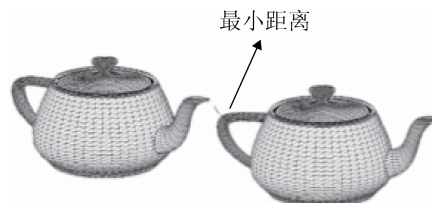


图 4 最小分割距离

其严格数学定义为, 给定两个点集合 A 和 B, A 和 B 的最小分割距离为:

$$dis(A - B) = \min_{a \in A} \min_{b \in B} |a - b| \quad (1)$$

传统的进行两凸面体之间最小距离计算的方法是 GJK 算法^[12]、LC 算法^[13]和 BVH(包围盒)算法。GJK 算法是专门针对凸多面体之间距离计算的迭代方法。LC 算法不仅能够计算凸多面体间距离, 还能够根据相邻特征跟踪最近点。这两种算法运行时间与特征点(点、线、面)成线性关系。GJK 算法的优势是: 通过 support 函数, 从而支持任何凸体形状之间的碰撞检测, GJK 算法可以不通过遍历直接得到最短距离, 但是无法直接给出最近点, 适用于简单凸多面体^[14]。LC 算法是基于泰森多边形,

需要更加复杂的数据结构, 并且不能够处理穿刺多面体的情况面对穿刺情况, 算法会进入死循环^[15]。这类方法虽然准确对较高, 但是都需要很高的时间复杂度 $O(n^{1.5})$ 。BVH 技术主要是针对几何图元, 如三角形、多边形、曲面等, 进行层次化包围。在一个 BVH 实例中, BVs 被储存在树结构的叶节点上。BV 的根节点包含几何图元的所有子图元。典型的 BVH 方法有 sphere-trees, AABB-trees, OBB-trees, k-DOP-trees, convex hull-trees 等。本系统采用 Unity3D 平台, 结合 k-d 树算法, 提出一种最小间距测量的方法, 运行表明, 该方法不仅有较快的处理速度, 对静态和动态距离的测量都有很好的效果。

k-d 树(k-dimensional tree), 是一种分割 k 维数据空间的数据结构。主要应用于多维空间关键数据的搜索如: 范围搜索和最近邻搜索。k-d 树算法可以分为两部分: 一部分是 k-d 树本身数据结构的建立; 另一部分则是在建立的 k-d 树结构上进行最近邻查询。构建 k-d 树的伪码为:

```
function kdtree (list of points pointList, int
depth)
{
    // Select axis based on depth so that axis cycles
through all valid values
    var int axis := depth mod k;
    // Sort point list and choose median as pivot
element
    select median by axis from pointList;
    // Create node and construct subtrees
    var tree_node node;
    node.location := median;
    node.leftChild := kdtree(points in pointList
before median, depth+1);
    node.rightChild := kdtree(points in
pointList after median, depth+1);
    return node;
}
```

如图 5 所示, 本系统提出的最小距离计算流程如下: 利用 CAD 工具(如 3ds max, solid works, ProE 等)建立所需要展示的物体三维模型。所建立模型由 Mesh 网格或者三角面片组成; 将所建立三维模型导出成标准 FBX 格式文件并存储; 将所存储的 FBX 模型作为场景资源加载到 Unity3D 引擎之中, Unity3D 引擎会自动将 FBX 模型转换成其内部基于索引顶点的三角形 Mesh 表示以供后续操作; 采用 Unity3D 内嵌的 C# 脚本语言编写用于最近距离计算的脚本程序, 该程序根据用户输入找到场景中需要进行最近距离计算的物体模型, 获得模型 Mesh 和顶点数据后, 通过调用 C++ 动态链接库(DLL)的方式将 Mesh 和顶点数据传到外部 k-d 树最近邻搜索程序中, 该搜索程序用得到的数据构建出 k-d 树搜索空间; 在找到最近距离及对应的最近点对后, 外部最近邻搜索程序将结果传递回 Unity3D 脚本主程序, 此时主程序负责更新和图形绘制的部分根据传回的结果绘制出测距参考线并标记出最近点对。经过以上步骤, Unity3D 就完成了在某一帧时刻(静态)模型最近距离的计算和显示。为了实现装备动态实时展示和距离测量, Unity3D 引擎将以一定帧率运行, 如 30 fps。在程序运行时, 主程序在每一帧更新时会自动调用并执行上述最近距离计算部分程序, 从而实现动态最近距离计算。

通过对实体模型的距离测量表明, 该方法可以很好地进行静态和动态距离的测量, 不仅具有很高的搜索速度和还具有很好的测量实时性, 图 6 展示了实体模型之间最小距离测量的效果。

2.3 实体模型库的建立和模型动态加载与布局

空间仿真平台参与的模型比较多, 为了适应各种虚拟工程的要求, 需要建立包含多种模型的数据库。本系统根据实际的需要, 建立了一个包含多种运输车辆、测试设备、人物、工程等九大类实体模型库, 并基于 NGUI 进行模型库背包设计, 如图 7 所示。

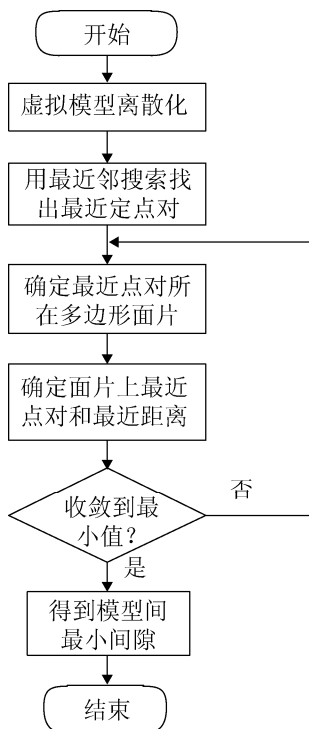


图 5 最小距离计算流程图

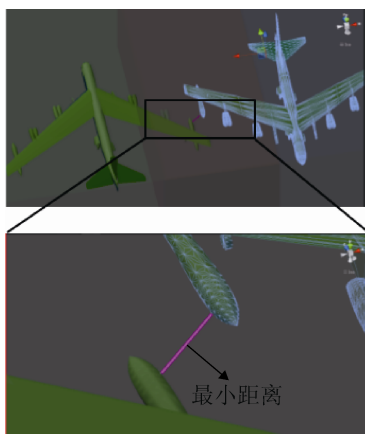


图 6 模型间最小距离测量



图 7 物体模型库

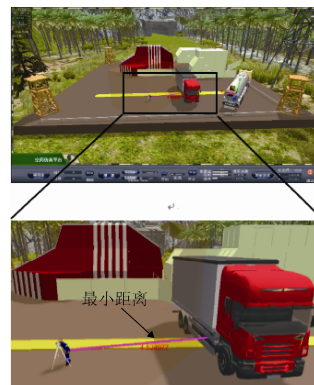


图 8 空间仿真平台演示系统运行主界面

模型库设计具有友好的人机界面窗口,可以通过简单的鼠标点击就可以进行不同分类模型的浏览,根据工程的需求,进行模型的添加。

模型的动态加载,需要兼顾加载的快速性和模型放置的准确性,这里采用射线检测方法来创建一条由摄像机向鼠标当前位置的射线,然后判断射线是否与游戏对象相交。

为便于模型在虚拟工程环境下的局,这里采用 RT Gizmos 控制的方法,为模型添加控制方向轴,实现对模型的移动、旋转和缩放操作,并能实时显示模型当前位置的坐标信息。

3 系统集成

3.1 车辆运行控制和视角切换

车辆动力学控制采用三种控制方式:前进、后退、转向。角度切换以车辆为中心,设定了 8 个跟踪方位,为了方便用户更清楚的观察到角度切换时的位置变化,系统采用鼠标触发的方式,是角度切换可以由一个位置平滑的移动到另一个位置,避免跳变。控制面板中,为主要的功能模块设定了按钮,单击可实现相应的功能,系统还设计了显示功能区,实时显示当前车辆运行状态和最小距离测量信息。

3.2 仿真结果展示

图 8 为空间仿真平台演示系统的运行主界面,窗口下部为模块功能区,主要有四大功能分类。分别为:车辆运动的动力学信息速度和档位显示、模型库加载控制、最小距离测量实现、地形创建切换。

4 结论

该空间仿真平台系统初步完成了 3D 模型库、地形模型库的建造, 基本实现了空间仿真平台的需求。具有人机界面友好、最小距离测量实时性好、帧频高、逼真性好等优点, 具有很好的实际应用空间。

参考文献:

- [1] 郑秩, 宁如新, 刘检华. 虚拟装配关键技术及其发展 [J]. 系统仿真学报, 2006 (3): 649-654.
- [2] 刘检华, 孙连胜, 张旭, 等. 三维数字化设计制造技术内涵及关键问题 [J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(3): 62-67.
- [3] 范玉青. 飞机产品数字化制造过程向 MDB 技术延伸 [J]. 中国制造信息化, 2012, 10: 19-20.
- [4] 孙刚, 万毕乐, 刘检华, 等. 基于三维模型的卫星装配工艺与应用技术 [J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(11): 42-45.
- [5] 汪成为, 高文, 王兴仁. 灵境(虚拟现实)技术理论、实现及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [6] Zhan Shouyi, Yan Bo, Su Hongyi, *et al.* Interactive simulation of 3D scene [J]. Journal of Beijing institute of Technology (in Chinese) (S1009-3370), 1998, 18(6): 741-746.
- [7] Shi Yaobin, Zhang Xuelan. A method of quickly

- constructing and rendering 3D graphic scene [J]. Journal of Beijing institute of Technology (in Chinese) (S1009-3370), 1999, 19(6): 717-720.
- [8] MultiGen Paradigm Inc. Vega programmer's Guide (Version3.7). [Z]. USA: MultiGen Paradigm Inc. 2001.
- [9] 郭吉名, 等. Delaunary 三角网格的快速生成法 [J]. 数值计算与计算机应用, 2001, 4(12): 267-275.
- [10] D Baraff. Curved surfaces and coherence for nonpenetrating rigid body simulation [J]. Comput. Graph. (S0272-1716), 1990, 24(4): 19-28.
- [11] D E Stewart, J C Trinkle. An implicit time-stepping scheme for rigid body dynamics with inelastic collisions and Coulomb friction [J]. Int. J. Numer. Methods Eng. (S0029-5981), 1996, 39: 2673-2691.
- [12] E G Gilbert, D W Johnson, S S Keerthi. A Fast Procedure for Computing the Distance Between Complex Objects in Three Dimensional Space [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation (S1070-9932), 1988, 4(2): 193-203.
- [13] M C Lin, J F Canny. A Fast Algorithm for Incremental Distance Calculation [C]// Proc. of IEEE International Conference on Robotic and Automation. USA: IEEE, 1991, 2: 1008-1014.
- [14] 魏迎梅. 虚拟环境中碰撞检测问题的研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2000.
- [15] 任世军. 机器人路径规划中碰撞检测算法的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2000.

《系统仿真学报》荣获“2014 中国最具国际影响力学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心, 以美国汤森路透 Web of Science 收录的 1.2 万余种期刊为引文统计源, 首次研制发布了 2012《中国学术期刊国际引证年报》(CAJ-IJCR 年报)。第一次给出了我国 5600 余种中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标, 并采用了新的国际影响力综合评价指标 CI 对期刊排序, 发布了“中国最具国际影响力学术期刊”(排序 TOP5%)和“中国国际影响力优秀学术期刊”(排序 TOP5-10%), 在国内外学术界产生了较大反响。之后, 2013 年版年报, 将引文统计源期刊扩展到 1.44 万多种。目前, 2014 版国际、国内年报与 TOP5%和 TOP5-10%期刊的遴选业已完成, 《系统仿真学报》被列入“2014 中国最具国际影响力学术期刊”行列。

我学报连续 2 年被列入 TOP5%国内一流的中国最具国际影响力学术期刊, 走向世界, 进入国际一流, 指日可待!