



21世纪高等学校虚拟仿真技术系列教材

Creator

可视化仿真建模技术

王 乘 周均清 李利军 编著

华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>



中国高等院校计算机基础教育课程体系规划教材
CAIA 计算机应用系列教材

Creator

可视化仿真建模技术

主 编 廖卫华 副主编 廖卫华 廖卫华 廖卫华



清华大学出版社
Tsinghua University Press

21 世纪高等学校虚拟仿真技术系列教材

Creator 可视化仿真建模技术

王 乘 周均清 李利军 编著

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

Creator 可视化仿真建模技术/王 乘 周均清 李利军 编著
武汉:华中科技大学出版社,2005 年 3 月
ISBN 7-5609-3330-0

- I. C…
II. ①王… ②周… ③李…
III. 系统仿真
IV. TP391.9

Creator 可视化仿真建模技术

王 乘 周均清 李利军 编著

责任编辑:万亚军
责任校对:陈 骏

封面设计:潘 群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心
印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16
版次:2005 年 3 月第 1 版
ISBN 7-5609-3330-0/TP·552

印张:24.25
印次:2005 年 3 月第 1 次印刷

字数:574 000
定价:29.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书根据 Multigen-Paradigm 公司专门针对可视化仿真行业应用特点开发的实时可视化三维建模软件系统——Multigen Creator 系列软件应用的经验编著而成，系统地介绍了 Multigen Creator 的软件功能及基本可视化仿真建模技术与方法。全书分上、下两篇，共 17 章，涵盖了可视化仿真技术的基本知识、Creator 软件基本使用技巧、建模工具箱的具体使用方法、基本三维可视化仿真建模技术及技巧、高级建模技术及应用、模型数据库优化技术以及针对大场景仿真应用的地形仿真建模技术等内容。

本书将三维视景仿真的理论与方法与 Creator 软件功能使用融为一体，可以作为高等院校学生学习虚拟现实技术的基础教材，也可以作为 Creator 软件用户的使用指南，对从事虚拟仿真技术应用研究的专业技术人员也有参考价值。

前 言

随着信息技术的飞速发展,三维可视化仿真技术的应用越来越广泛,三维视景仿真软件如雨后春笋般不断涌现。在众多的三维视景仿真软件中,由 Multigen-Paradigm 公司专门针对可视化仿真行业应用特点开发的实时可视化三维建模软件系统——Multigen Creator 系列软件以其强大的建模功能受到了众多用户的青睐,越来越多的科研单位和科技人员应用该软件作为三维可视化仿真应用和开发的基础。与此形成明显对比的是,目前国内关于 Multigen Creator 的中文书籍很少,给广大用户学习软件、应用软件和从事研究工作造成了诸多不便。

针对上述情况,在华中科技大学数字化工程中心的大力支持下,我们根据多年来仿真技术应用研究和 Multigen Creator 软件的应用经验,于 2002 年开始着手组织编写虚拟仿真技术系列讲义,经过反复修改和完善,形成本书。本书将三维视景仿真的理论与方法与 Creator 软件功能使用融为一体,可以作为大专院校学生虚拟现实技术的基础教材,也可以作为 Creator 软件用户的使用指南,对从事虚拟仿真技术应用研究的专业技术人员也有参考价值。

全书分上、下两篇,共 17 章,涵盖了可视化仿真技术的基本知识、Creator 软件基本使用技巧、建模工具箱的具体使用方法、基本三维可视化仿真建模技术及技巧、高级建模技术及应用、模型数据库优化以及针对大场景仿真应用的地形仿真建模技术等内容。

本书由华中科技大学数字化工程中心数字城市与规划设计研究所以及科学可视化仿真技术研究所通力合作完成,其中第一稿由王乘、周均清统筹编写,第二稿由李利军、陈大炜负责修订,第三稿由王乘、周均清、李利军负责完成统稿编辑工作。

在本书的编写过程中,得到诸多方面的支持与帮助,在此一并表示诚挚的谢意!其中,博士生陈大炜负责了前期原始材料的翻译整理与统筹工作,硕士生杨建国、李晓锋、徐萱、廖威、吕小彪、郭雷等在前期英文资料翻译工作中做了大量的工作,吕小彪对于三稿的修改校对付出了辛苦的劳动。同时也非常感谢华中科技大学出版社的大力支持与辛勤工作!

由于作者水平有限,书中难免出现缺点和错误,真诚希望读者批评指正。

作 者

2004 年 7 月于华中科技大学

目 录

第 1 篇 仿真建模基础

第 1 章 可视化仿真建模概论.....	(3)
1.1 可视化仿真的基本概念.....	(3)
1.2 可视化仿真建模的特点.....	(6)
1.3 可视化仿真建模工具包.....	(8)
第 2 章 Multigen Creator 使用入门.....	(11)
2.1 应用界面介绍.....	(11)
2.2 基本操作指南.....	(13)
2.3 视图面板纵览.....	(19)
第 3 章 创建一个仿真模型.....	(25)
3.1 设置模型数据库参数.....	(25)
3.2 制作房屋地基.....	(26)
3.3 制作房屋主体.....	(27)
3.4 制作屋顶.....	(29)
3.5 制作前廊.....	(32)
3.6 清除参考点.....	(37)
3.7 保存模型数据库.....	(38)
第 4 章 OpenFlight 模型数据库.....	(39)
4.1 OpenFlight 格式初探.....	(39)
4.2 基本节点类型.....	(40)
4.3 正确选择模式.....	(44)
4.4 合理组织节点.....	(44)
第 5 章 建模工具箱的使用方法.....	(48)
5.1 平面图形工具箱.....	(48)
5.2 几何体工具箱.....	(50)
5.3 操作工具箱.....	(63)
5.4 复制工具箱.....	(70)
5.5 几何体修改工具箱.....	(76)
5.6 多边形修改工具.....	(84)
5.7 顶点修改工具箱.....	(89)
5.8 属性工具箱.....	(91)

5.9	参考线工具箱	(93)
5.10	参考点工具箱	(99)
5.11	自定义工具箱	(102)
第 6 章	基本建模技术	(104)
6.1	设置参考网格	(104)
6.2	选择模型对象	(110)
6.3	使用颜色	(115)
6.4	使用材质	(122)
6.5	使用纹理	(126)
6.6	使用灯光	(152)
第 7 章	常用建模技巧	(164)
7.1	使用图形缓存	(164)
7.2	模型对象置中	(167)
7.3	使用鼠标中键	(168)
7.4	使用快捷调板	(169)
7.5	参考背景图像	(170)
7.6	使用局部坐标系	(172)
7.7	模型对象实例化	(173)
7.8	外部引用模型数据库	(174)
7.9	使用公告牌	(178)
7.10	使用面片	(179)
7.11	使用节点	(181)
第 8 章	高级建模技术	(184)
8.1	LOD 技术	(184)
8.2	DOF 技术	(192)
8.3	动画序列技术	(202)
8.4	声音建模技术	(207)
8.5	光点建模技术	(210)
8.6	仪表建模技术	(219)
8.7	使用 Clip 节点	(238)
8.8	使用 Text 节点	(241)
第 9 章	模型数据库优化技术	(243)
9.1	调整数据库层级结构	(243)
9.2	减少多边形数量	(251)
9.3	使用边界体	(255)
9.4	活用裁剪面	(256)

第 2 篇 地形仿真建模

第 10 章 地形可视化仿真概述	(261)
10.1 地形可视化的基本概念	(261)
10.2 地形仿真基本原理	(264)
第 11 章 规划地形数据库	(266)
11.1 地形数据库需求	(266)
11.2 组织数据库文件	(267)
第 12 章 转换原始地形数据	(270)
12.1 数字高程数据	(270)
12.2 地形数据转换工具	(273)
第 13 章 创建测试地形模型	(281)
13.1 导入地形高程数据	(281)
13.2 选择地形目标区域	(283)
13.3 创建地形细节层次	(285)
13.4 设置地图投影类型	(286)
13.5 选择地形转换算法	(288)
13.6 检查地形模型	(298)
13.7 地形模型生成实例	(300)
13.8 Delaunay 地形修正	(304)
第 14 章 应用地形纹理	(309)
14.1 地形纹理概述	(309)
14.2 使用地形纹理	(312)
14.3 使用间接纹理	(318)
第 15 章 应用地形特征	(321)
15.1 导入地形特征数据	(321)
15.2 创建地形特征数据	(324)
15.3 修整地形特征数据	(331)
15.4 映射地形特征数据	(335)
第 16 章 批处理地形转换	(346)
16.1 批处理转换基础	(346)
16.2 批处理转换实例	(349)
第 17 章 标准道路建模	(357)
17.1 道路设计概述	(357)
17.2 使用道路构造工具	(358)
17.3 使用道路配置工具	(367)

第 1 篇 仿真建模基础

- 可视化仿真建模概论
- Multigen Creator 使用入门
- 创建一个仿真模型
- OpenFlight 模型数据库
- 建模工具箱的使用方法
- 基本建模技术
- 常用建模技巧
- 高级建模技术
- 模型数据库优化技术

第 1 章 可视化仿真建模概论

1.1 可视化仿真的基本概念

在回答什么是可视化仿真(visual simulation)之前,先分别简单讨论一下仿真(simulation)和可视化(visualization)的问题。例如,绝大多数读者都有在孩提时代参与各种互动游戏(也就是现在所谓的“角色扮演”)的经验,通过跟其他人或物(常常还借助各式各样的工具)进行交互,借以学习和认识周围的世界。实际上,这种类似“角色扮演”的活动就可以看做是一种简单的“仿真”,即通过模拟来认识世界。

一般来说,要通过仿真来认识某个系统,首先需要建立一个可以尽可能逼真模拟该系统的模型(注意,这里的“模型”指的是数学模型),然后通过分析反复运行该模型获取的各种数据和结果来认识该系统。考虑到真实世界的复杂性,尽管“仿真”不是认识世界的惟一途径,但是对于那些具有很多不确定因素和随机性的系统(特别是系统各影响因子之间是非线性的关系)来说,应用计算机仿真技术可以更好地达到认知的目的。现在使用的各种训练系统,诸如飞行模拟、单兵作战、船舶导航等都是典型的仿真应用,人们通过在代表真实世界情况的虚拟环境中进行模拟训练以达到或者近似达到进行真正实际训练时的效果。

仿真技术从其诞生之日起就与可视化技术结下了不解之缘。从生理和心理的角度来说,人类所能接受的各种信息中有百分之八十都来自视觉,人们在很早之前就开始自觉或不自觉地使用“可视化”技术了,最简单的如通过使用表格、曲线、图例等手段来表述各种统计数据,用形象的示意图来表达抽象的概念,等等。从概念上来说,可视化就是一种用图形或图像来表征数据的计算方法,即利用计算机图形图像技术将一维数据转化为可观察的二维或三维几何表示,从而达到增强人们对抽象信息认知的目的。

可视化技术的应用领域非常广,大体上可以分为科学计算的可视化和空间信息的可视化两类,其中前者多应用于科学和工程计算,以数学模型为中心实现计算过程的可视化和计算结果的可视化。而本书将要讨论的可视化仿真属于后者,具体而言就是实现三维空间信息的可视化,也常把这种可视化仿真称为“视景仿真”,目标是使用户能够与真实三维世界的可视化模型(注意,这里的“模型”指的是三维形体模型)进行实时的可控制的交互,即在虚拟环境中体验真实世界。这里强调是三维模型,是因为我们生活的物质世界本身是三维的,所以使用三维图形会比使用二维图形具有更高的真实感,这样既可以在三维模型内外随意地进行漫游,又可以在虚拟三维空间中充分发挥想像,从而可以获得真实世界中都不易甚至无法获得的各种体验。

1.1.1 可视化仿真与计算机动画技术的区别

与可视化仿真(特别是视景仿真)有很多相似之处的另一项计算机图形图像技术是计算

机动画(特别是三维动画),这两者之间从表面上看有许多共同点,比如都使用三维模型表现虚拟环境,都通过渲染技术来再现真实世界等。实际上,它们之间有着本质的区别,弄清这些,可以让我们更好地理解可视化仿真的以下特点。

(1) 仿真的画面是“实时”生成的,而三维动画的画面是预先渲染好的,尽管它们最终在屏幕上显示出来的效果都是连续的画面。因为仿真过程中有许多不确定性的因素,所以所有的画面都是根据仿真的执行状态在十几甚至几十分之一秒的时间内即时渲染出来的;而三维动画不存在这个问题,它可以设置用几个小时来渲染一帧画面。

(2) 仿真具有高度的交互性,用户可以主动参与到仿真的过程中,仿真系统还可以对用户的各种输入进行实时的响应;而三维动画因为只是连续播放渲染好的画面帧序列,所以不具备任何的交互性,用户只能被动参与或者欣赏。

(3) 仿真的帧频率(即每秒钟的显示帧数)一般是变化的,从每秒 15 帧(低于这个帧频率时,视觉上就会感到不连贯)到每秒几十帧甚至上百帧不等,这跟仿真运行过程中的画面复杂度有直接的关系;而三维动画的帧频率是事先设定好的,画面始终保持设定的帧频率,通常为每秒 25 帧或每秒 30 帧。

(4) 可视化仿真强调的是实时的交互性,而三维动画强调的是视觉效果。所以三维动画主要用于电影特效、电视广告和各种效果演示中,而可视化仿真多应用于模拟训练系统、三维游戏和各种交互展示中。值得注意的是,并不是说可视化仿真,特别是视景仿真不强调真实性和视觉感受,这种真实感必须建立在能够保证实时渲染的前提之上,这里就牵涉到了虚拟现实(virtual reality)的问题。实际上,可视化仿真是虚拟现实的重要组成部分,而虚拟现实更强调通过技术对人的生理感受进行模拟,如沉浸感(immersive)和想像力(imagination)。

1.1.2 可视化仿真技术的独特作用

特别是在商业和军事、突发和不确定性事件领域,在开发一些新技术和研究新策略的过程中,通常需要人类亲自参与检测和进行可行性评估。如果在真实世界中进行上述实践,不但会耗费大量的财力和物力,而且还可能会因为设计上的缺陷造成不可预料的后果,有时甚至要付出生命的代价。对于上述的问题,可视化仿真可以说是一个十分廉价和安全的代替方案,下面所列的一些情况下就特别适合使用可视化仿真来实现。

(1) 进行商业和军事事件的排练和演习模拟,如飞行训练仿真(见图 1-1)。

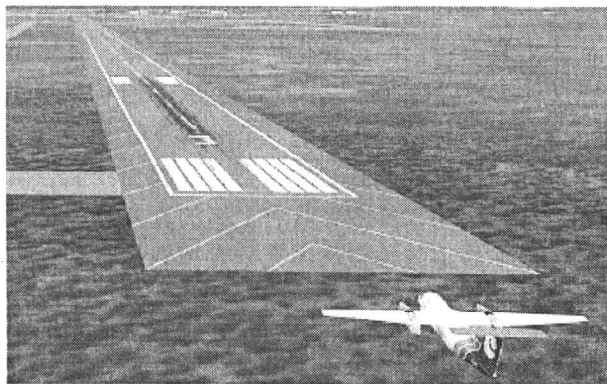


图 1-1 飞行训练仿真

(2) 对复杂事件进行深入直观的再现, 如交通救护仿真(见图 1-2)。

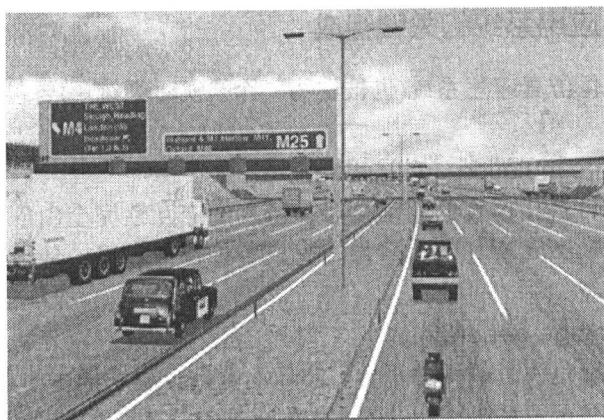


图 1-2 交通救护仿真

(3) 需要对突发事故进行预排和演练, 如消防救灾仿真(见图 1-3)。

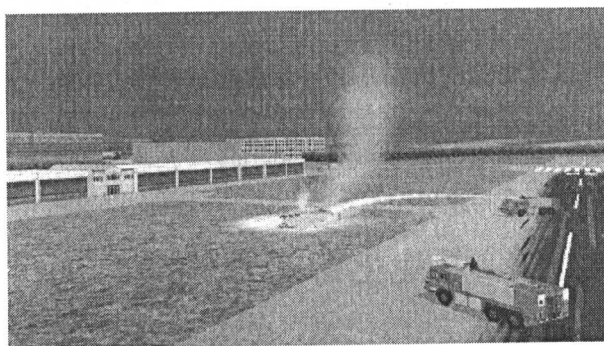


图 1-3 消防救灾仿真

(4) 交互式三维视频游戏仿真, 如图 1-4 所示。

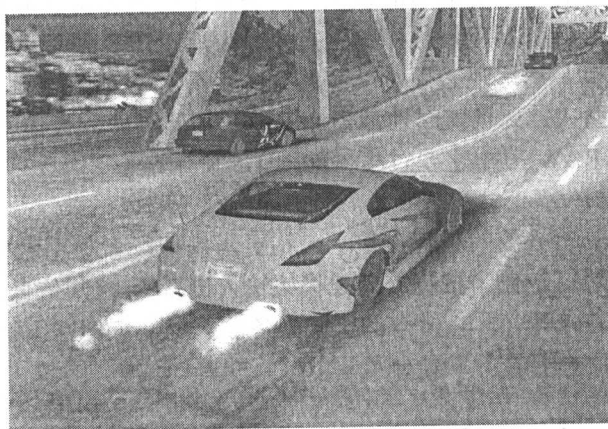


图 1-4 交互式三维视频游戏仿真

(5) 对不确定事件进行预览。

1.1.3 可视化仿真应用系统的关键组成

一个典型的可视化仿真应用系统(也被称为一个“实时系统”)要包含下面三个关键的部分。

1. 仿真应用程序(simulation application)

仿真应用程序是可视化仿真的驱动核心,仿真的交互性完全由应用程序决定,它不仅要控制虚拟场景中的动态元素和随机事件、完成各种特殊效果,还要能够处理用户的输入事件并做出适当的响应。

2. 图像生成器(image generator)

图像生成器是可视化仿真的硬件平台,实际上就是绘制场景所使用的计算机硬件设备,这里主要指计算机的显示子系统。标准的图像生成器包括 SGI 的渲染效果(indigo impacts)、虚拟现实引擎(reality engines)和完全虚拟现实效果(infinite realities),还可以是 PC 机系统或其他控制平台。应注意,图像生成器的性能是由每帧所能绘制的多边形数量来衡量的,而不是每秒所能绘制的多边形数量,它完全依赖于渲染图像、CPU 和图像生成器硬件平台的带宽。

3. 可视化数据库(visual database)

可视化数据库是可视化仿真的数据基础,也就是用来描述虚拟场景的三维模型数据库。可视化仿真过程中的绘制过程实际上就是对三维模型数据库的动态调用和实时渲染,本书的主要内容就是围绕着如何高效创建实时三维模型数据库这个主题而展开的。

1.2 可视化仿真建模的特点

1.2.1 仿真模型的渲染过程

如果能够深入了解一个实时系统是如何处理模型数据的,那么就会对怎样高效地设计可视化仿真模型数据库有一个更清晰的认识。因为对于可视化仿真应用系统而言,很多性能都会在不同程度上影响仿真应用程序的运行质量,所以仿真模型数据库首先必须满足特定实时系统的操作规范,然后还必须对模型数据库进行有针对性的性能优化处理。可视化仿真模型数据库从模型数据到被实时地渲染成一帧一帧的画面,大体上要经历应用(APP)、剔除(CULL)和绘制(DRAW)三个主要过程,如图 1-5 所示。

1. 应用阶段

进行仿真要进行一些必要的处理操作,包括更新虚拟场景模型数据库的数据,读取输入设备(如鼠标、操纵杆、控制台按钮或其他模拟输入设备)的控制信息,计算视点和模型在虚拟场景中的位置和方向等,并将所有的这些必备的数据信息储存为场景图(scene graph),从而在进入图形管道后进行剔除和绘制处理。

2. 剔除阶段

首先明确两个概念:① 边界体(bounding volume),用于限定模型边界范围的立方体、球体、圆柱体等闭合几何体;② 观测体(viewing volume),用于表示虚拟场景中的观察者视

线范围的假想几何体。



图 1-5 仿真模型的渲染过程

剔除阶段遍历场景图，通过判断场景模型元素的边界体是否与观测体相交，来确定场景中哪些节点对当前视点而言是可见的，剔除场景图中在当前视点视线范围内不可见的视图节点。通常系统会把需要绘制的场景状态信息和渲染指令以类似显示列表的形式储存在内存中，为绘制场景图像做好准备。

3. 绘制阶段

根据显示列表中储存的场景状态信息和渲染指令，将场景数据库中的相关数据(如模型多边形、纹理等)渲染至帧缓存，进而将场景图像数据绘制到显示终端屏幕的指定位置上(如窗口、通道等)，然后进入下一帧的渲染循环。注意，剔除阶段生成的显示列表是一次性的，即有效期只有一帧，在进入下一帧的渲染循环前即被清除。

1.2.2 可视化仿真系统三维模型数据库的特点

可视化仿真实时性和交互性的本质特征和实时渲染的底层实现过程，决定了用于可视化仿真系统的三维模型数据库需要具有不同于传统三维模型数据库的一些特点，例如：

- 模型的多边形数量要尽可能少；
- 模型数据的构造要尽可能简单；
- 模型数据库的结构要便于进行遍历操作；
- 模型数据库要能够被应用程序快速读取；
- 模型数据库可以包含各种约束限制信息。

而传统的三维模型数据库(通常表现为某种数据格式的模型文件，比如常见的 DFX 格式、3DS 格式、OBJ 格式等)由于应用目的的限制，常常都不能很好地满足上述的一些特点。以 CAD 模型为例，制作 CAD 模型是完全按照工程学的标准建立的、精确完整的数据模型，目的是为了工程制图和生成静态图像，通常还含有精确的材质说明和大量的属性数据等。虽然这种模型数据也可以在可视化仿真应用中使用，但在实际应用中不但操作起来比较麻烦，而且仿真运行的效率也会非常低。一般来说，将 CAD 模型导入仿真系统之前，都要进行大量的修改工作，包括删掉不必要的多边形、去除多余的属性数据、对一些面进行必要的重组等等。

使用传统三维图形建模软件包，比如 MAYA、3DStudio MAX、SoftImage、LightWave3D

等都可以方便地创建各种各样的三维模型,然而这些模型都不适用于可视化仿真应用。这些软件以视觉效果为第一建模目标,不用考虑其模型的渲染效率;这些软件可以轻易实现炫目的光影效果、复杂的材质效果、逼真的光线追踪效果、惟妙惟肖的人物动画,进而渲染出质感极强的画面效果;这种以艺术标准指导建模的结果通常是,一个优雅精细的模型包含了成千上万个多边形和不计其数的曲线曲面,以及纷繁复杂的材质贴图设定,结果渲染这样一帧画面可能需要几十分钟甚至更长时间,这显然不能满足对模型进行实时渲染的要求。

Multigen Creator 软件包正是在这种背景下诞生的,它从软件设计理念上完全针对可视化仿真应用,集成了多边形建模、矢量建模和地形生成等多种高级功能,所以可以在满足实时仿真要求的前提下,高效地创建大面积虚拟场景模型数据库。Multigen Creator 建模软件区别于传统三维建模软件包的主要特点,并不在于它强大的多边形建模功能,而在于它独创的用于描述三维虚拟场景的层次化数据结构——OpenFlight 数据结构。OpenFlight 数据结构区别于传统的三维模型数据组织形式,在于它采取一种节点式的分层结构,可以快捷方便地对场景内的任意元素进行直接的编辑、修改和控制,特别适合图像生成器对其进行实时的渲染操作。此外,它还提供了诸如多层次细节(LOD)、自由度控制(DOF)、光点系统等高级实时功能,同时还支持逻辑筛选、分离面裁剪、纹理动画序列、公告牌(billboard)渲染等多种高级渲染功能,使得其成为视景仿真领域使用范围最广的数据格式。目前,Multigen Creator 软件所使用的 OpenFlight 格式已经成为事实上的业界标准数据格式。

1.3 可视化仿真建模工具包

Multigen Creator 系列软件是 Multigen-Paradigm 公司专门针对可视化仿真行业应用特点推出的实时可视化三维建模软件系统,它提供了分别运行于高端 SGI 工作站和低端 PC 平台的不同版本,可以最大限度地满足不同的应用需求。在 SGI 工作站的 SGI IRIX 操作系统上运行时,Multigen 软件包可以充分利用 SGI 工作站超强的图形功能,最大限度地利用多个处理器的强大计算功能,可以支持多线程和丰富的图形音频编程接口等。在 PC 平台下,Multigen 也可以借助各种专业 3D 图形加速卡,给用户提供一个“所见即所得”的交互式可视化建模软件环境,如图 1-6 所示。

基于对实时应用优化的 OpenFlight 数据格式,Multigen 提供了强大的多边形建模、矢量建模以及大面积地形精确生成等功能,配合多种专业可选模块及插件,用户能够高效地生成实时三维模型数据库,并与后续的实时仿真软件紧密结合。这些特点使得 Multigen 系列软件在视景仿真、模拟训练、城市仿真、交互式游戏及工程应用、科学可视化等实时可视化仿真领域都有着广泛的应用。

Multigen 可视化建模软件包将 OpenFlight 格式模型数据库的层级视图无缝地与建模环境集成在一起,使得用户可以在创建虚拟三维模型的同时关注模型数据库的结构与状态,可以实时地对模型进行观察、检查和修改。用户还可以直接对模型数据库进行操作,通过简单的移动和调整就可以达到优化 OpenFlight 模型数据库的目的。为了保证软件良好的可