

基于虚拟现实技术的油田生产仿真系统的设计与实现

Designing and implementing of Oil Field Security Operation Simulation System Based on Virtual Reality technology

赵凤芝 俞莲莲 (大庆石油学院计算机与信息技术学院 黑龙江 大庆 163318)

摘要:介绍了虚拟现实技术应用于油田安全操作培训中的优越性,设计并开发了基于桌面系统的油田安全操作仿真系统。介绍了系统的软硬件环境,以抽油机安全操作仿真子系统为例,着重阐述了利用 MultiGen Creator 建模来形成三维场景,采用实例技术,细节层次技术和纹理映射技术优化场景的生成与显示,最后详细讨论了使用 Visual C++ 6.0 和 OpenGVS 实现三维引擎的设计。

关键词:虚拟现实 三维建模 LOD OpenGVS 三维物体运动模拟

基于虚拟现实技术的培训(简称虚拟培训)近几年已经在国内石油化工行业迅速发展起来。虚拟培训对真实环境进行视觉和听觉上的模拟,建立逼真的虚拟环境,以达到克服实际工作环境的限制,为在短期内培训合格的操作人员提供了捷径,并在督促熟练工人严格认真执行操作规程上起到了良好作用,这无疑对装置降低能耗,提高产品质量和安全运行提供了保障。本文提出了一种将虚拟现实技术应用到石油工业安全操作仿真系统中。

1 系统的软硬件环境

交互性和沉浸感是虚拟现实技术最重要的两个特征,根据虚拟现实所倾向的特征不同,可将目前的虚拟现实系统划分为四个层次:桌面式、增强式、沉浸式和网络分布式虚拟现实。虚拟培训的目标是建立逼真的虚拟环境,沉浸式虚拟现实主要利用各种高档工作站、高性能图形加速卡和交互设备,通过声音、力与触觉等方式,并且有效地屏蔽周围现实环境(如利用头盔显示器、3面或6面投影墙),使参与者完全沉浸在虚拟世界中,但是它的系统设备非常昂贵,在目前的科技状况下不利于普及,而桌面式虚拟现实就是利用普通的PC机,计算机屏幕是参与者观察虚拟环境的窗口,成本较低^[1]。

本系统以PC机为硬件平台,构建虚拟环境模型采用的软件是MultiGen-Paradigm公司的Creator建模平台,MultiGen Creator是所有实时三维建模软件中的

佼佼者,它是一个功能强大、交互的三维建模工具,提供了所见即所得(WYSIWYG)的建模环境,它的数据库格式OpenFlight已成为仿真领域事实上的业界标准,它在专业市场的占有率高达80%以上,是虚拟现实/仿真业界的首选产品。引擎开发过程中则是采用了Visual C++ 6.0和OpenGVS软件包。OpenGVS是Quantum3D公司的产品,用于场景图形的视景仿真的实时开发,易用性和重用性好,有良好的模块性、巨大的编程灵活性和可移植特性。OpenGVS提供了各种软件资源,利用资源自身提供的API,可以很好地以接近自然和面向对象的方式组织视景诸元,进行编程来模拟视景仿真的各个要素^[2]。

2 系统实现的关键技术

2.1 总体设计

系统主要包括抽油机安全操作仿真演练系统、高压变电所安全操作仿真演练系统、井下作业操作仿真系统、注聚操作仿真演练系统、联合站安全操作仿真演练系统、工业锅炉安全操作仿真演练系统、配置站安全操作仿真演练系统等七个子系统,系统组成框图如图1所示。

2.2 三维模型的创建

油田安全操作仿真系统是基于油田真实三维场景的演练系统,三维场景建造质量的高低直接关系到仿真系统逼真度和沉浸感,因此,三维场景的建造是整个

仿真系统的基础,它主要包括几何建模和物理建模。也就是说,不仅要求模型的几何形状要符合实际,而且要包含实际物体的物理特性和运动特征,使模型能够“以假乱真”,达到设计目的。建模过程充分运用现代技术,在现有的技术条件下,可将三维物体的几何实际

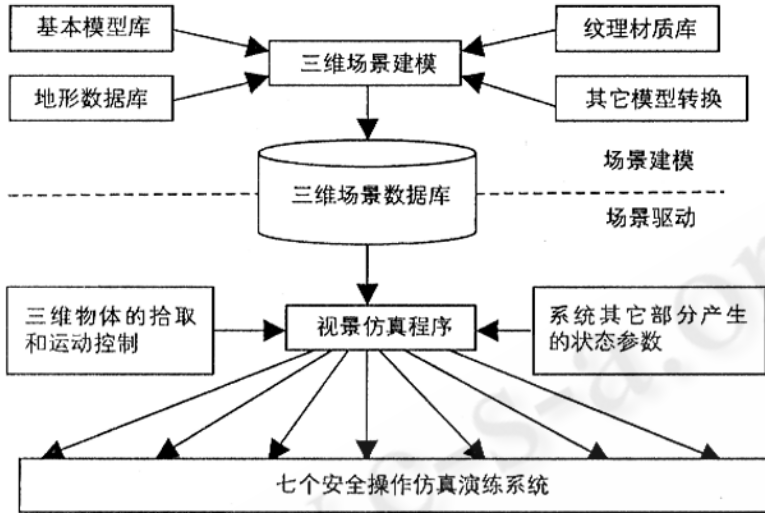


图 1 油田安全操作仿真系统组成框图

尺寸、纹理视拍照片等作为原始数据,用 MultiGen Creator 实时三维建模软件提供的点、线、面、体创建和修改工具,对几何模型进行创建,构建模型数据库。也可以转换输入其他实用软件所做的模型,如 AutoCAD, 3DS max。在这个过程中要充分考虑到系统的具体要求及其对细节等级的需要。模型细节要求不高的部位场景的真实感尽量要靠纹理来体现;必须大量手工对冗余多边形数据进行清除,尽可能使模型所含的面数最少;多边形数据库结构必须手工组织并且结构化,以达到优化的目的。这样才能尽可能高效率地构造三维模型,提高系统的实时性。

2.3 场景生成与显示的优化策略

作为仿真演练系统,最主要的是要有较高的实时性和仿真性才能满足人员训练的要求,实时性要求屏幕的刷新频率较高,仿真性则要求系统的三维几何模型的逼真度较高。而抽油机仿真演练系统平台的应用目标是普通 PC 机,其硬件加速器的图形处理能力是有限的。所以在系统的开发中我们使用了一些三维场景实时生成与显示的优化策略,以控制场景的复杂度,从而达到实时性与仿真性两者兼顾的目的。

2.3.1 实例技术

实例技术在实时场景绘制中是十分重要的。当三维复杂模型中具有多个几何形状相同但是位置、大小、方向不同的物体时就可以采用实例技术。如抽油机仿真子系统的操作中有一些工具要重复使用,同样的工具之间的差别仅在于所处的位置、方向、大小不一样,如果把每次使用的工具都放入内存,将造成极大的浪费。所以我们采用实例的方法,即相同的工具只在内存中存放一份实例,将一个工具进行平移、旋转、放缩之后得到所有相同结构的工具,从而大大地节约了内存空间。

2.3.2 多细节层次 (Level of Detail, LOD) 技术

多细节层次 (Level of Detail, LOD) 技术是在不影响画面视觉效果的前提下,通过逐次简化景物的表面细节来减少场景的几何复杂性,从而提高绘制算法的效率^[3]。为物体提供不同的 LOD 描述是控制场景复杂度的一个有效方法。根据人的视觉特征,物体离视点较远时,用精度较低的模型;物体离视点较近时,用精度较高的模型^[4]。LOD 技术对于场景绘制的优化非常重要,不但删除了对视觉无影响的多边形、提高了计算速度,也更符合真实世界中的视觉习惯。MultiGen 提供了自动和手工两种方法实现 LOD。前者按照一定的百分比简化模型,后者将经过手工删减后的模型指定为某一等级的模型,为 LOD 模型分别设置可见距离,并据此在不同细节的模型之间切换显示。

2.3.3 纹理映射技术

纹理映射技术是另一个用来简化复杂几何体的有效方法。纹理映射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。它本质上是一个二维纹理平面到三维景物表面的一个映射,可以用下式描述:

$$E(u, v) = F(x, y, z)$$

其中 (u, v) 、 (x, y, z) 分别是纹理空间和物体空间中的点。例如:将一纹理映射到一高为 h , 半径为 r 的圆柱面可用下面的参数形式表达:

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta, z = h \Phi$$

$$\text{其中 } 0 \leq \theta < 2\pi, 0 \leq \Phi < 1.$$

通过下列线性变换将纹理空间 $[0, 1] \times [0, 1]$ 与参数空间 $[0, 2\pi] \times [0, 1]$ 等同起来:

$$u = \theta / 2\pi, v = \Phi$$

如此就由该圆柱面的参数表达式得到了从景物空间到纹理空间的纹理映射表达式^[5]。这种技术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。因此,每一幅参与映射的纹理都有自己的一个映射的坐标地址,并用文件的形式保存起来。程序运行时,只要找到纹理的映射地址就可以准确地把相应的纹理映射到三维视景中。这样不仅增加模型的细节水平及景物的真实感,而且大大减少了环境模型的多边形数目,提高图形显示的刷新频率。纹理包括不透明纹理和透明纹理。用图像处理软件对数字化相片进行处理,以 Rgb、Rgba 等格式存储,作为模型纹理库。同时需要注意的是,硬件可用的纹理量是有限的,超过后刷新速率会急剧下降,所以我们在使用纹理技术简化场景,提高系统的实时性时要尽量减少纹理量:降低纹理的分辨率或重复覆盖同一纹理,以及设置纹理的 LOD。纹理的 LOD 是和模型的 LOD 相对应的,MultiGen 设置了自动 LOD,不需人工过多的干预即能完成细节等级平滑过渡^[6]。

2.4 三维引擎的设计

上面建立的模型都是静态的、相对孤立的,彼此之间没有实现真正意义上的联系,为了给用户提供一个“真实”的环境,实现与虚拟环境之间的互动,必须开发一个三维引擎,以实现模型的调用、显示和控制。油田安全操作仿真系统的三维引擎是在 Visual C++ 6.0 环境下结合 OpenGVS API 进行程序设计来开发的。下面以抽油机安全操作仿真演练子系统为例来介绍一下三维引擎的设计。

2.4.1 OpenGVS 与 MFC 的整合

为了提供更优秀的窗口布局和集成度,直接使用 Windows 窗口的消息处理机制,以实现更便捷的控制和操作。通常的 OpenGVS 程序使用自己的图形显示窗口。这样做的优点是实现简单,结构清晰。本系统包含 MFC 窗口控制和 OpenGVS 图形显示两个线程。其中,前一个线程是主线程,后一个线程是在前一个线程的基础上产生。两个线程之间通过引用外部变量的方式传递控制信息。MFC 线程负责创建窗口、管理窗口、接收键盘和鼠标的输入消息,并给 OpenGVS 线程传递信息。OpenGVS 线程负责三维图形显示的初始化、模型的读入、图形的显示,并且根据 MFC 线程传递的信息调整场景数据以实现实时控制。在 MFC 主框

架的 OnDraw() 函数下,通过使用线程开启函数 AfxBeginThread(gvs_thread_proc, NULL, THREAD_PRIORITY_BELOW_NORMAL) 启动 OpenGVS 线程。

为了使 OpenGVS 图形显示通道与 MFC 窗口整合在一起,可以使用窗口句柄传递的方法。在 CMfcView 类中,定义一个全局变量 HWND hWnd,并给窗口句柄赋值 hWnd = m_hWnd; 定义外部变量 extern HWND hWnd,在 GV_user_init() 中,在创建场景的通道 channel 之后,调用函数 GVW_chn_set_window_id(channel, GV_CHN_WL_NORMAL, hWnd)。整合并加载三维场景后的效果如图 2 所示。

2.4.2 三维物体的拾取与运动

三维物体拾取是在三维场景中实现查询功能的关键技术,其效率直接影响到与场景的交互的实时性。最简单、最直观的方法莫过于直接用鼠标在屏幕上点取物体,从而获取该物体的属性并做出响应的动作,这就涉及到如何实现鼠标的三维屏幕拾取的问题。但由于鼠标是二维设备,所以在三维场景中只能得到鼠标的二维坐标信息而不能得到其三维坐标信息。在本系统中的屏幕拾取功能是通过射线探测的碰撞检测方法来实现的,所以必须通过一系列的反变换实现此功能。实现步骤如下:

(1) 利用 OpenGVS 提供的函数 GV_chn_inq_cursor_position(chnhdl, &ChnCursor) 取得鼠标的二维坐标。

(2) 获得当前通道的世界坐标系统的透视变换矩阵,并且应用鼠标的二维坐标计算出观察坐标系的方向向量。

$$\text{DirVecEye.x} = (\text{ChnCursor.x} / \text{tmatp}[0][0]) + \text{tmatp}[2][0];$$

$$\text{DirVecEye.y} = (\text{ChnCursor.y} / \text{tmatp}[1][1]) + \text{tmatp}[2][1];$$

$$\text{DirVecEye.z} = -1.0;$$

其中,DirVecEye 为表示指向屏幕内部的视线方向的三维向量;ChnCursor 为鼠标在当前通道上的二维坐标向量,它的 x 和 y 分量的取值均在 -1 到 1 之间;tmatp 为 4×4 的透视变换矩阵。

(3) 将这个方向向量加入到世界坐标系中,并计算与鼠标位置对应的视点位置 P0。

(4) 以 P0 为起点,向 DirVecEye 的方向作一条射线。

(5) 检查射线与场景中要拾取的三维物体是否相

交,如相交则拾取成功,得到此物体的句柄之后就可以对此物体进行随意的控制。

与发展[J],计算机仿真,2003,20(7):1-4。

2 谢薇、郭齐胜、郑长伟、马亚龙,基于 OpenGVS 的视



图 2 OpenGVS 图形显示通道与 MFC 窗口整合后的效果图

最后利用 OpenGVS 的模型导入模块在三维场景中显示图片动画,达到形象逼真的效果。

3 结束语

本文提出的基于桌面系统的油田安全仿真演练系统,具有成本低、实用性强、操作简单等特点,将繁琐危险的操作变成轻松的娱乐式教学,在实际应用中得到良好效果,已经受到了广泛关注。操作人员通过鼠标与虚拟场景进行交互,并可反复的进行演练,从而达到熟悉掌握操作步骤的目的,是油田安全生产培训的好助手,可为油田节省大量的培训资金。这种技术的应用在石油工业中具有广阔的应用前景和推广价值。

参考文献

1 周前祥、姜世忠、姜国华,虚拟现实技术的研究现状

景仿真的关键技术研究[J],计算机仿真,2001,18(6):26。

3 张国宣、韦穗,虚拟现实中的 LOD 技术,微机发展,2001,(1):13。

4 徐志高、关正西,某导弹虚拟训练系统地形建模技术研究,计算机工程与设计,2005,26(10):2703~2704。

5 张茂军,虚拟现实系统[M],北京:科学出版社,2001。

6 段学军,虚拟城市:技术方案与应用[J].测绘通报,2001,(12):1-3。

7 Donald Hearn, M. Pauline Baker. Computer Graphics[M]. 北京:电子工业出版社,1998:128-134。