

导弹武器发射环境视景仿真研究

胡令, 关正西

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要: 虚拟某型导弹完整发射过程, 在通用的计算机平台上, 对开发导弹发射环境视景仿真系统进行了研究。系统设计包括场景的生成和功能效果的实现。着重介绍了系统的组成及在 VC++6.0 平台上利用 OpenGL 和 DirectSound 实现子模块的关键技术, 提出了几项优化措施解决图像真实感与实时性的问题, 最后讨论了该视景仿真系统的现实意义。

关键词: 虚拟训练; 视景仿真; 导弹; OpenGL; 建模

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Research of scene simulation on missile-launching circumstance

HU Ling, GUAN Zheng Xi

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: The paper studies the scene simulation system of missile-launching circumstance based on general computer, which virtualizes the whole process of a missile's launching. The scene simulation system includes scene generation and effect implementation. The paper introduces the system composition and key technologies in implementing sub-module with OpenGL and DirectSound on VC++ 6.0, proposes methods of optimization to solve the conflict between "real-time ability" and "fidelity", and also discusses practical significance of the system.

Key words: virtual training; scene simulation; missile; OpenGL; modeling

导弹武器是打击敌纵深目标的重要武器系统, 是现代战争不可缺少的武器装备。而在真实装备上进行操作训练, 耗资太大, 受到场地和气候的影响, 而且有些特殊情况(如灾难后果、紧急自毁等)难以实现。视景仿真^[1]是仿真动画的高级阶段, 也是虚拟现实技术的最重要表现形式, 它产生身临其境的交互式仿真环境, 实现用户与虚拟环境直接进行自然交互。将视景仿真技术应用于导弹武器装备训练, 开发虚拟训练^[2]和演示系统, 能够对作战装备的训练操作给出良好的实时显示, 给人以强烈的视觉冲击, 同时虚拟操作具有可重复操作、经济、高效、安全等优点, 便于操作号手认识导弹、快速掌握各个设备机构的名称与作用、熟悉操作方法和操作规程, 使武器装备的训练既不需要消耗大量的人力、物力、财力资源, 又能克服实装训练受时间、场地、天气因素制约的不足。导弹武器发射环境视景仿真系统, 对于强化操作号手素质、提高部队战斗力具有十

分明显的作用。

1 仿真系统的组成

导弹发射环境是指导弹发射过程及其背景, 根据不同的导弹武器型号发射方式不同。本文设计视景仿真系统模拟导弹部队在接受上级训练任务和发射命令后, 某型陆基车载机动垂直发射导弹从发射车辆占领发射阵地、地面设备展开到导弹按预定程序完成起竖发射全过程。用户通过计算机鼠标、键盘操作, 显示器实时显示输出发射进程, 音响设备输出声音效果。根据导弹发射的实际, 该系统需构建发射场地环境、导弹武器系统和导弹模型、车辆模型运动特征、导弹起竖和发射效果、声音输出等, 具有随发射车行驶自动漫游和多视点观察功能以及良好的实时交互效果。因此, 需要从场景生成和功能效果两个方面进行技术实现。其系统结构框图如图 1 所示。

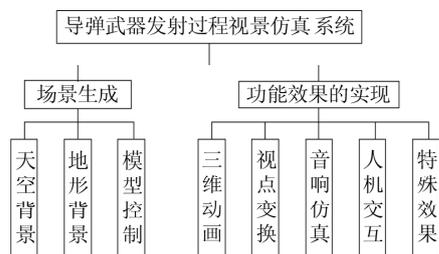


图1 系统结构框图

场景生成是指采用虚拟现实技术产生模拟的背景环境，其中天空和地形是必要的背景元素，模型控制包括武器装备实体模型的建立、导入、转换和显示等；在功能效果的实现方面，三维动画是指在虚拟场景下车辆的行进与停止、地面设备的展开、导弹的起竖发射以及尾罩的侧推等。视点变换实现从多视点、多角度对整个训练过程进行观察，特殊效果主要有爆炸、火焰、烟雾等效果的模拟，音响技术是场景中各种声音的再现技术，人机交互技术是用鼠标和键盘控制操作仿真软件，实现播放和停止、拾取和反馈。

2 实现子模块功能的关键技术^[3]

在 Windows 平台上，该视景系统基于 Visual C++ 6.0 和 OpenGL^[4-5]，并结合 3DS MAX 建模软件、DirectSound 编程设计综合进行。其中，Visual C++6.0 作为功能强大的软件开发工具，MFC 为系统开发提供逻辑结构；作为应用程序编程接口，OpenGL 提供函数库，很容易实现模型控制、视点变换、着色、光照、纹理映射、交互操作和动画等；3DS MAX 建模软件易用性强，渲染方便，尤其表现为建立模型技术能力强(主要包括：细分曲面技术、柔性选择、曲面工具和 NURBS 技术等)；DirectSound 是 DirectX 中用来控制声音的装置以及各音效处理的组件，速度快、可控性强，调用 DirectX 声音处理函数，可以在设计视景系统时产生实时声音效果。

2.1 场景生成

车载机动发射导弹其发射环境是户外露天环境，天空和地形是导弹武器发射仿真系统的必要背景元素，其模型构建是调用 OpenGL 函数库建模；对于导弹及发射车辆等实体，用 3DS MAX 建立其基本模型、OpenGL 加载实体模型的 3DS 文件，建模效率高，并且能够实现人机交互。

2.1.1 天空背景

用 OpenGL 生成天空背景，通常有 3 种方法：(1)用一种接近天空的淡蓝色清除背景；(2)绘制一个立方体并对其进行纹理贴图的“天空盒”(SkyBox)方法；(3)半球形天空模型。对于户外天空背景，用蓝色清除背景的简易天空模型和“天空盒”模型简单而显得真实感不强。地球是球形的，半球形天空模型效果符合真实世界的天空，

能够仿真出符合真实世界的天空效果。因此本文采用半球形天空模型。利用数学中的球面方程：

$$f(K) = x^2 + y^2 + z^2 - r^2 \quad (1)$$

式中， K 为球面上任意一点， x 、 y 、 z 为该点坐标， r 为球的半径。化为参数方程 $F(r, \phi, \theta)$ ：

$$\begin{cases} x = r \sin(\phi) \cos(\theta); & 0 \leq \phi \leq \pi/2; \\ y = r \sin(\phi) \sin(\theta); & 0 \leq \theta \leq 2\pi; \\ z = r \cos(\phi); \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)求得球面上各个点的坐标后，利用 OpenGL 技术中的三角形带(GL_TRIANGLE_STRIP)绘制天空框架。再应用纹理映射技术，映射出具有真实效果的 3D 天空云图。

2.1.2 地形背景

完成地形的生成和不同的地貌特征(如山、平地、公路、场坪等)的生成。地形模型的绘制主要有两种方式：一是根据地形图形数据的精确描述，来进行真实地形的仿真；二是模拟自然场景中的地形。模拟地形既能满足本文设计的需要，同时应用分形理论中点位移方法，用尽量少的数据来实现真实感虚拟地形，既经济又实用。因此该视景系统采用后者，并选用了 D-S 算法。该算法计算简单、运算速度快，可以不断递归生成任意分辨率的细化网格，同时也可以保留已经存在的地形测量数据。在地形模型基础上，映射 2D 纹理图形，用以提升地形的真实性，获得发射环境所需的山、平地、公路、场坪等效果。广告牌技术(Billboard) 实现对树木模拟的快速高效。

2.1.3 模型控制

导弹武器系统、导弹是该视景仿真系统必备的基本实体模型。用 3DS MAX 对其建模后生成的模型导入 OpenGL 程序再对其进行控制是一种比较理想的方法。3DS 文件是由许多块(chunk)构成(大块中嵌套子块)，一个块由块信息和块数据组成。而块信息又由块的 ID 和块的长度组成。完整读取实体模型 3DS 文件，就要读入这些块中包含的模型顶点信息、三角面信息、纹理信息和三角面的材质信息等。在 MFC 工程中建立虚拟模型类，采用递归方式用 OpenGL 命令调用 3DS 文件嵌套的块结构，而返回上一级(子块读完，返回父块)的条件是当前已经读入的块字节数等于块长度，从父块转向读入其子块则可用 switch() 语句实现。

2.2 功能效果的实现

功能效果的实现主要完成静态场景生成，如系统的漫游、不同视角观察、导弹发射车的行驶、导弹起竖和起飞、尾罩侧推以及尾焰的产生等。

(1) 三维动画

在系统场景中, 三维动画主要包括发射车辆沿公路平面行进与停止、地面设备的展开、导弹沿定点起竖到垂直状态和以给定初始速度弹射到一定高度尾罩侧推导弹点火。先调用 `glutInitDisplayMode(...|GLUT_DOUBLE)` 函数, 启用双缓存, 分配两个颜色缓冲区, 前台缓冲区进行图形显示, 后台缓冲区执行绘制命令。场景的绘制命令首先被后台调用, 当完整的画面在后台视频中画出以后, 执行 `SwapBuffers()` 函数, 成为可见视频缓存。通过设定 OpenGL 中的平移命令 `glTranslate()` 和旋转命令 `glRotate()` 命令参数来获得动画效果。这样通过矩阵变换, 完成后台绘制, 前台显示, 两个缓存区不断循环往复, 最后得到连续的画面。

(2) 视点变换

在导弹发射过程中, 单一的视点并不能满足观察者的要求。视点设置有两方面的含义: 一是随着车辆行驶自动漫游, 观察占领阵地过程; 二是从不同的角度观察地面设备展开、导弹起竖弹射。首先, 调用 OpenGL 函数 `gluViewport()` 进行视口设定, 确定视口的位置和大小; 然后用 `gluPerspective()` 函数来定义模型坐标系中可视锥体的大小和远近。`gluPerspective()` 函数具有裁剪功能, 在视区锥体里面的物体被投影, 而不在这个视区锥体里面的都被其视区的 6 个面裁剪掉。然后在取景变换中采用 `gluLookAt()` 函数设置视点变换。起竖发射时系统设计了 2 个相对视点, 通过键盘切换, 分别用以观察导弹起竖发射时的侧视图(发射车右侧)和尾视图(发射车后面)。

(3) 音响仿真

一个完整的仿真系统, 不仅要有图像, 还要有声音, 这样才能产生视听效果, 达到身临其境的感觉。音响仿真提供听觉信息, 利用计算机多媒体技术, 仿真生成导弹在运输、起竖及发射时的逼真音效, 这些音效包括发射车辆声音信息(如发动机的轰鸣声、喇叭声)、导弹起竖的声音、发电机的声音及点火发射时的音效等。音响仿真过程包括数字声音的获取、质量处理和效果回放。通过现场录音, 得到导弹武器发射过程中各种情况下的声音, 再经过采样和滤波处理后, 形成逼真地体现系统声音效果的 wave 文件。调用 DirectSound 提供的强大声音处理 API 函数, 在应用程序中加载声音文件, 并在程序运行的不同时期将声音释放。

(4) 交互技术

本文所设计的导弹武器发射环境视景仿真系统中交互技术包括键盘交互和鼠标交互。键盘交互是指利用 MFC 程序框架提供的消息处理函数接收键盘动作、修改控制变量进行启动、复位、暂停、继续、终止等控制, 在所定义 `TimeFunction()` 函数中, 设置键盘变量实现

动画控制。鼠标交互包括拾取(Pick)和反馈(FeedBack)两个过程, 鼠标左键单击屏幕上武器系统某些重要功能仪器, 屏幕上文字显示该仪器的名称、作用, 以及操作方式。交互技术为软件操作者提供了一个优良的平台, 更加直观地显示了导弹武器发射细节, 完善交互程序代码, 也为下一步开发导弹武器虚拟训练系统提供了借鉴。

(5) 特殊效果

特殊效果包括导弹发射时产生烟雾和尾焰效果。烟雾效果的模拟由一组图片经透明处理后再与背景进行融合, 通过控制图片的位置和融合参数, 可实现烟雾的漂移和淡化效果。尾焰效果的模拟则是采用粒子系统, 通过产生具有独立的生命周期和属性同时集合内部具有相同或相似行为规律的基本粒子实现的。用若干形状简单且赋予了生命的微小粒子作为基本元素, 而把物体定义为众多不规则、随机分布的粒子, 随着时间的推移, 由于每个粒子具有独立的生命周期, 通过粒子参数进行随机过程的控制, 旧的粒子不断消失, 新的粒子不断出现, 并且通过赋予粒子纹理来达到模拟尾焰的效果。用粒子系统实现的尾焰逼真度高。

3 优化措施

整个视景仿真系统搭建起来后, 应用 OpenGL 光照、材质、纹理映射以及特殊效果技术, 生成逼真形象的导弹发射环境。但整个系统需要处理的数据多, 运算量大, 要确保软件在普通 PC 机上流畅运行, 真正达到能够跨平台使用, 采取优化措施解决图像真实感与实时性的问题是很有必要的。具体优化措施如下:

(1) 启用双缓存, 前台管理图形显示, 后台执行绘制命令。

(2) 开启 OpenGL 消隐功能, 不绘制背面和被遮挡的部分。

(3) 调用显示列表依次执行列表中所列的函数语句。显示列表是将一些 OpenGL 的复合操作预处理后存储在内存中, 程序执行过程中直接调用内存中做过预处理的该复合操作, 从而优化程序性能。

(4) 采用层次细节(LOD)技术后, 远处的场景相对模糊, 近处的清晰自然, 符合现实情况, 同时也减少了计算量, 提高了渲染速度。

4 仿真结果

在 3DS MAX 中建立基本实体模型, 在 VC++ 和 OpenGL 开发环境中实现事件流程的仿真控制, 开发周期短, 效率高, 并可以取得较好的仿真效果。根据以上方法生成的虚拟导弹发射环境视景系统, 实现在虚拟环境下导弹以车载方式运送到发射阵地、导弹起竖弹

(下转第 75 页)

技术与方法 Technique and Method

线路继续供电；即使两路电源均出现故障，大功率的UPS电源仍可继续延时供电。通过先进的冗余设计确保系统安全运行。服务器采用了双机热备方式，同时采用了大容量磁盘阵列、磁带机；每半小时对系统数据自动完成备份，同时可实时根据需要进行数据备份。

一卡通是数字化校园的基础工程，是推行数字化校园的有力载体。一卡通的内容将随需求愈加充实，其构成亦愈加丰富。一卡通的功能可以渗透到学校的教学、科研、管理和后勤等多方面应用，并随着科技进步和管理内容的增多而加以深化，具有广阔的发展前景。但是，一卡通涉及的是使用者的多方利益，必须考虑集成中的各种风险，只有慎重考虑，充分平衡各方利益和权力，稳妥实施，才能取得预期的效果。

(收稿日期：2008-11-20)

(上接第68页)

射、尾罩侧推和点火过程仿真，场景真实，符合该导弹发射的实际。同时，效果流畅，人机交互自然，再配以音响产生实时音效，有一种身临其境的感觉，更增加了直观效果。导弹武器发射环境视景仿真系统使得导弹实装操作、训练和观摩简单易行，实施方便。

本文在计算机软硬件平台上，应用虚拟仿真技术，构建了导弹发射环境视景仿真系统。虚拟视景系统具有高效性、可控性、无破坏性、使用灵活性、系统运转费用低等特点，能够突破传统训练方式的局限，既对号手进行导弹操作模拟训练，取代实弹训练中的部分科目和内容，又改变了传统的人教人、师带徒的落后教学方式，提高了训练质量，同时，对下一步导弹虚拟训练系统的开发具有很好的借鉴意义。虚拟导弹训练系统

参考文献

- [1] 张升平. 数字化校园之一卡通的建设. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2008, 24(1).
- [2] 卢璐, 姚水林. 基于校园网的一卡通系统设计和应用. 科技情报开发与经济, 2006, 16(24).
- [3] 段智敏等. 基于一卡通的数字化校园资源整合研究与实现, 计算机工程与科学, 2008, 30(1).
- [4] 裴沛. 基于一卡通模型的数字化校园的构建研究. 金卡工程, 2006(11).
- [5] 林葱, 蔡秀珊. 校园一卡通系统的总体设计和实现, 科技情报开发与经济, 2007, 17(3).

的开发应用为导弹部队提高和掌握导弹武器系统操作、迅速形成战斗力提供了新的方法。

参考文献

- [1] 吴家铸, 刘华峰, 程志全, 等. 视景仿真技术用度应用. 西安: 西安电子科技大学, 2001.
- [2] 刘玉海, 李瑞, 张锡恩. 导弹虚拟操作训练系统的设计与实现. 飞航导弹, 2002, (8).
- [3] 和平鸽工作室. OpenGL高级编程与可视化开发系统开发篇(第2版). 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [4] 吴宾, 毕丽蕴. OpenGL编程实例与技巧. 北京: 人民邮电出版社, 1999.
- [5] WRIGHTR S, LIPCHAK J B. OpenGL 超级宝典(第2版). 徐波, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

(收稿日期：2008-11-21)

(上接第72页)

本文所介绍的方法主要目的是当碰撞检测对数目增加时，在计算碰撞检测的代价和在空间数据结构中的结构更新代价两者之间建立一个折中的方法。实验结果表明，在初步碰撞检测阶段与SH、SP和LO方法相比，本文的方法是很有有效的。虽然在碰撞检测对数目上与QT相似，但与QT相比，文中的方法对静态物体导致的空间分割模拟或者是高度集中的环境中产生太多碰撞的模拟是比较好的。文中各个更新BSP树结构的结构操作和调度策略的设计可以更好地重新利用存储在树中的信息来重新定位分裂面和稳定的执行效率。初步碰撞检测只是这种方法的一个应用，用这种方法来加快其他几何体的碰撞是今后要研究的另一个方面。

参考文献:

- [1] HUBBARD P M. 1995. Collision detection for interactive graphics

applications. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1995, 1(3): 124-133.

- [2] FUCHS H, KEDEM Z M, NAYLOR B F. H1 On visible surface generation by a priori tree structure [J]. Computer Graphics, 1980, 14(3): 124-133.
- [3] AR S, MONTAG G, TAL A. Deferred, self-organizing BSP trees. Computer Graphics Forum, 2002, 21(3): 269-278.
- [4] JAMES D L, PAID K. BD-Tree: Output-sensitive collision detection for reduced deformable models. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 2004, 23(3).

(收稿日期：2008-11-19)