

文章编号:1001-9081(2005)08-1962-03

基于三维实时渲染技术的虚拟火灾训练系统设计

刘 昆,王广生

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院,北京 100022)

(skinliuk@emails.bjut.edu.cn)

摘 要:基于三维实时渲染技术的火灾训练系统包括:建筑三维地图构造和显示及与用户的交互,火灾的模拟,指导逃生和救援决策。探讨了利用实时三维绘制技术、人工智能和模式识别的相关算法结合火灾的危害模型建立虚拟火灾训练系统的途径。通过研究提出了采用虚拟现实来创建火灾和逃生救援的软件系统的设计方案,以及将 OpenGL 与 DirectX 相结合在 Windows 平台上实现基于 C/S 结构下的虚拟火灾训练系统的技术。

关键词:软件体系结构;三维实时渲染;火灾训练;虚拟现实;人工智能

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Real-time rendering based training system for fire

LIU Kun, WANG Guang-sheng

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: Real-time rendering based training system for fire includes three parts: Modeling and displaying for 3-Dimensional architecture map and interaction with users, fire hazards simulation, supervising for life saving and decision-making for succor. This paper presents approaches to the implementation of virtual training system for fire using some algorithms of real-time rendering, AI and PR, combining with hazards model of fire. On second thoughts, we advance a method, which uses virtual reality method, to implement a software system of fire hazard and training. We combine OpenGL with DirectX to realize C-S based virtual training system for fire in Windows.

Key words: software architecture; real-time rendering; training system for fire; virtual reality; AI

1 系统简介

本文设计的虚拟火灾训练系统主要由三维图形引擎和在引擎下开发的虚拟训练模块组成,是基于 Windows 平台的,与一般商用图形软件有着良好的接口,其实现的原理结构如图 1 所示。

训练系统借助计算机图形学和虚拟现实技术,将火灾现场在计算机中真实再现。通过同实际的建筑物结合,构建出真实的训练场景,让训练者可以对场景进行交互操作:对于一般居民借助训练指导逃生系统确定灾情的最佳逃生方案;对于消防人员对特定的建筑物可以熟悉结构,熟悉各种紧急情况做出正确救火判断,有利于提高消防人员的业务技能,减少救灾过程中的盲目性。甚至可以通过计算机测控技术将火灾现场信息传入虚拟训练指导系统,对救火现场给出参考指导。

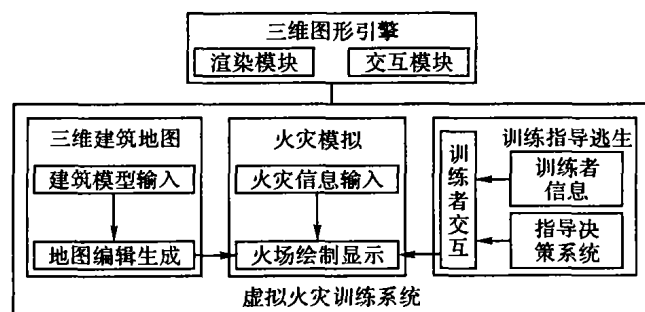


图1 虚拟火灾训练系统总体结构

2 软件组成和应用结构

系统拟采用客户服务器(Client/Server)总体框架。由于训练可能需要多个对象之间的配合,所以必须采用一种适合多用户结构。其中,服务器负责管理和维护场景的一致性,用户的注册和场景地图数据管理,同时监听客户端的连接请求和响应连接。客户端负责场景的显示和更新,客户端和服务器的连接是由通信部件来实现的,通信部件是实现客户端和服务端信息交换的桥梁,其主要内容包括:客户端场景和火灾状态的变化到服务器的数据通讯,同时将服务器端管理的场景数据和系统状态信息通知给各客户端。服务器通过 TCP/IP 协议下的 WIN Socket 机制与每个客户机相连接。结构图如图 2 所示。

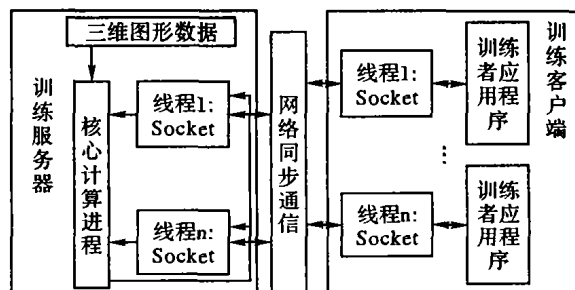


图2 虚拟训练系统体系结构

整个软件系统采用面向对象的设计,在 VC++ 中编程实现。系统框图如图 3 所示。

收稿日期:2005-03-08;修订日期:2005-05-08

作者简介:刘昆(1979-),硕士研究生,主要研究方向:智能系统及应用;王广生(1949-),高级工程师,主要研究方向:智能楼宇、嵌入式系统及应用、虚拟现实。

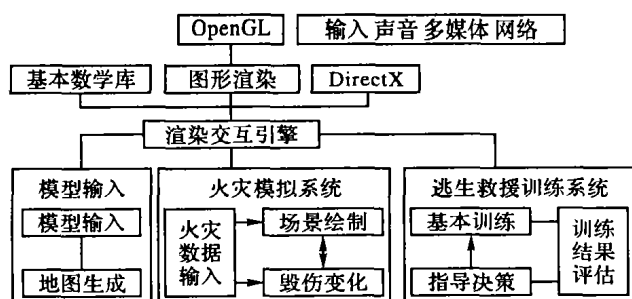


图3 虚拟训练系统模块组成及功能定义

该软件采用插件技术^[7],将三维渲染引擎同训练系统的各个功能模块以动态链接的形式结合在一起,降低了软件的调试的复杂度,有利于利用代码重用,方便进行模块化设计。整个系统功能定义如下:

渲染交互引擎^[6]。它是整个软件的核心,用以完成基本计算机图形学的算法,包括基本数学运算,场景的管理与绘制,真实感算法和实现,动力学系统,输入设备的交互和管理。

模型输入模块。用以同一些基本三位绘图软件之间的通讯,如3DS MAX或AUTO CAD。输出三维模型的顶点数据信息,将其编辑并以引擎需要的文件格式读入到引擎,显示绘制。

基本火灾模拟模块。用以模拟火灾发生的情况,包括地图中的位置,火场的损坏模型,火场的绘制,火灾随时间的增长进化模式。

基本逃生救援训练模块。用以实现逃生和救援指导,包括训练者基本数据模型,逃生通道的数据模型,最优路径的搜索算法。

3 图形交互系统

图形交互系统用于场景的绘制和训练者同场景的交互,由图形渲染引擎和图形输入模块组成,采用OpenGL和DirectX两种接口的结合编程。

由于OpenGL与窗口系统无关,不提供任何交互手段,必须由程序员自己编写所有的交互功能。并且OpenGL的编程接口是低级的C函数,不提供可复用的对象库或者应用程序框架,开发效率不高。为了克服这些困难,我们在图形标准之上再建立更高级的开发工具(3D Toolkit或3D Engine)。DirectX是微软制定的基于Win32的一个游戏标准,采用Com组件技术,将图形,用户界面,交互方式以组件形式给出。它支持鼠标球,游戏杆,键盘等标准输入设备这些刚好可以和OpenGL结合,所以本系统选用OpenGL作为图形渲染接口,运用DirectX作为交互接口。

火灾训练系统主要采用虚拟现实技术对火灾场景进行再现,并通过操作系统提供的交互接口和相关设备,对场景操作。考虑到火灾的三维地图是一些复杂的建筑模型,一般是在专业三维建模软件采用多边形建模完成,通过图形输入模块预处理,后进入三维引擎渲染。大量的数以万计的多边形,要进行实时的绘制显示会对系统性能产生很大的影响,因此需要一种数据结构对场景有效管理,二元空间分割树(BSP树)^[6]是一种对场景有效管理方法。利用BSP树将场景分割成单个多边形,方便实现可见裁减,碰撞检测与反馈,辐射度渲染等工作。

训练系统是对现实的模拟,模拟的视觉真实性将直接影响训练者的感受和训练的效果,因此必须利用计算机图形学中的真实感算法^[1]:阴影技术,纹理映射,特殊效果,环境贴图 and 明暗处理,特别对火场要运用特殊效果进行逼真再现。

模拟训练系统中对场景的交互和反馈是通过动力学系统来实现的,包括基本物理学,重力,摩擦力,刚体,骨骼动画和碰撞测试。渲染交互引擎由三个主要模块组成(见图3):

基本数学库。用以实现计算机图形学中的基本数学运算,包括向量相关算法,矩阵相关算法,四元组的相关算法,基本几何学和内存管理等。

输入及多媒体交互模块。该模块由输入设备管理,声音及多媒体,多用户三部分组成,是由DirectX提供的Com组件实现的,支持包括鼠标键盘游戏杆等多种输入设备,支持各种声音特效和多媒体技术,支持基于套接口的多用户网络通讯功能。

基本渲染模块。包括所有和渲染任务相关的操作和数据结构。使用OpenGL作为图形API,渲染模块包括所有的渲染参数变量,如颜色的深度,可用的纹理单元数目。提供大量的同渲染相关的方法,如设置屏幕模式,在屏幕上显示文本,开启或关闭二维或者三维的绘制方法。可以读入多种图形各式的纹理,并对纹理采取有效的管理。

4 火灾模拟系统

火灾模拟系统是用以模拟火灾在建筑场景中的发生和影响。由于火灾本身的复杂性,使我们只能用相对简化的灾害模型对其建模。

4.1 火灾动态模型

火灾数据模型^[2]是一种相当复杂的模型,这里由于要对其精确再现,必须有一个良好的模拟方式和近似模型。火灾在其生成和进化过程中是按照一定的模式进行的。

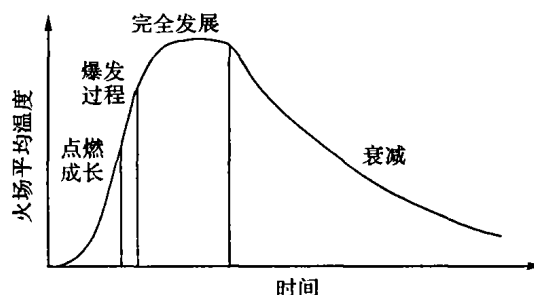


图4 火灾平均温度随时间变化

图4显示了一个房间发生火灾其平均温度随时间函数的变化^[2]。这张图是在一个真实的火灾场景下模拟生成的。由图可以看出这个过程分为五个阶段:

(1)引燃阶段:当热源同燃料在氧气充分的条件下接触,都会触发火灾的生成。火灾是一个动态的过程,物体燃烧产生的热量一部分散发出去一部分继续对物体加热,更重要的它的扩展过程和周围的环境有着很大的关系。

(2)成长过程:随着火灾的成长,三个主要的灾情产生:高温灼热,烟雾和有毒气体。在这些要素之间建立的随机关联已经在CRISP模型^[3]中描述,不同影响相互作用控制着灾情。

(3)爆发过程(Flashover):当屋子里温度到达一定高度时,所有的可燃材料都会燃烧,对这一过程精确定义并不严格,一般是当天花板层的温度到达500℃~600℃地板散热大于20kW每平方米时。

(4)完全发展:温度达最高大约1000℃或更高。

(5)衰减:随着燃料的烧尽,温度将降低。

模拟系统对以上情况加以简化,将各种毁伤因素加以综合得出火灾对消防员和逃生者生命的影响。

4.2 火灾模拟系统设计

火灾相关联的对象是建筑物和训练者,但火灾施加的影响仅限于训练者而不考虑对建筑物的毁坏。火灾系统包括数据输入模块,火场绘制模块和火灾毁伤变化模块。

数据输入模块。火灾模型的数据输入,包括火灾在建筑物中的位置信息,火灾发生的范围,强度及相关的毁伤力等。位置信息和范围有两种方式输入:1)利用程序生成模拟,包括随机模拟和按实际要求输入;2)利用相关传感器通过通讯协议从网络传入模拟系统,借以在计算机中重建灾情。相关强度毁伤力的确定也有两种:1)利用相关研究的结果计算法近似模拟;2)利用相关传感器采集信息生成,介于第二种方法的复杂度较高,系统拟采用近似计算模拟。

火场绘制模块。利用输入参数信息,用三维算计图形学对其进行绘制和描述将火场实时显示于三维地图中,采用基于 OpenGL 的 API 编写绘制程序。火灾仿真绘制有多种方法^[1]:公告牌技术(Billboarding),粒子系统,深度精灵都可对火场进行绘制。由于对火场按强度变化动态绘制,采用粒子系统对绘制对象建模易于控制,并充分利用引擎提供的算法和绘制方法。

火场毁伤变化模块。描述火场的毁伤度以及随外部条件的变化情况,外界对火场的影响(如相关灭火设备),火场对训练者的影响(如训练者生命及受伤情况)借以和训练者的信息相关联。它是用来控制火灾绘制显示和影响的动态变化工具。由于火灾动态变化的复杂性,在虚拟训练时,系统无法采用精确函数模型来表述火灾随时间的变化。因此,我们采用有限状态机模型^[5](FSM)对火灾变化建模,火灾智能体事件—状态表述如下:(1)点燃;(2)成长;(3)爆发;(4)完全发展;(5)复制;(6)衰减;(7)熄灭;(8)状态修改;(9)复位。用这些事件触发火场绘制粒子系统的参数变化。

5 逃生救援训练系统

逃生救援训练系统主要利用人工智能技术对训练者本身进行建模,对训练过程进行指导。

5.1 训练系统相关算法简介

训练对象必须在复杂三维地图中实时漫游,寻找局部或全局的路径,漫游可以由被训练者主动控制,即由训练者控制漫游的方向位置。当训练者不能找到相关的路径,或者在火灾条件下训练者需要最优逃生路径,系统必须给出相应的指导和导航结果。所以必须利用人工智能的相关算法结合场景管理 BSP 结构^[6],实现在 BSP 空间的路径搜索和自主导航。

用于路径规划^[4]的一般算法有 Dijkstra, A* 和 GA (Genetic Algorithms);Dijkstra 算法是一种用于决策距离最短路径的优化算法,完全依赖于局部路径花费值,用以在一个图上寻找节点到节点的最短距离。该算法由宽度优先搜索策略的算法演变而来,是完备的,但和宽度优先搜索算法有着相同的时间复杂度。A* 算法是一种启发式搜索算法,启发式搜索策略利用启发式信息的实际意义在于:1)缩小问题的搜索空间;2)获得问题某种意义上的最优解。A* 算法利用包含问题启发式信息的评价函数对场景树中的节点进行排序,使搜索方向朝着最有可能找到目标并产生最优解的方向。GA 是一种有效的随机搜索算法,它利用自然选择和遗传基因的原理寻找一种最优解决方法。GA 算法最早由 Holland 开发,用于在大量数据的搜索空间去寻找一种全局最优值。通过使用为数很少的基本策略作为积木块,GA 将会构造出全部候

选方案的种群,然后考察他们在解决问题中的表现如何,对一些有效的候选方案进行若干代的逐步进化指导得到满意性能为止。

5.2 逃生救援训练系统设计

逃生救援系统包括基本训练模块,指导决策模块和训练评估模块。其各个部分功能定义如下:

基本训练模块。对不同的训练者包括消防员和一般居民进行数据建模,其内容包括训练者的人工生命系统,对角色的交互控制,相关的骨骼动画,武器系统,即消防人员用以救援使用的工具(包括灭火器,消防栓等)。由于训练系统中需要训练的对象是人,人的动作和行为的复杂性必须要用一种有效的数据结构进行建模,FSM(有限状态机)这种方法已经广泛的用于游戏工业,对于角色的运动防卫和攻击都可以用一系列典型的 FSMs 来表示。采用有限状态机的方法(FSM)对消防员的事件和状态及动作进行关联,并同火灾系统的状态发生相应的联系。

指导决策模块。包括基于 BSP 空间的路径规划和优化,它由一些人工智能的算法构成。用来逃生训练者提供逃生指导,对消防员的决策作相应的参谋。在研究中,我们选取了 A*, GA 和最短路径算法进行比较,由于路径的花费除了距离还有路径的危险系数等其他条件,所以采用 A* 算法比较灵活。

训练评估模块。对训练结果的一个近似的客观估计和评价,即训练效果。最低的评估要求是被训人员的生命值大于零,即活着离开火场。对于几个活着离开场景的对象,可以借助训练时间长短来评价。当然,可以结合决策指导模块的最佳逃生或救援路线,再同以上两条件得出综合评估结果。

6 结语

介绍了基于三维实时渲染的火灾训练系统的设计,并介绍实现的相关方法和技术。将实时计算机图形学同民用的安全领域结合,设计制作出相应的多媒体教育训练软件。三维实时渲染是这一领域的最强有力的工具,它有着二维图形不可比拟的真实感,以及同场景交互的灵活性。结合虚拟现实技术,人工智能技术,计算机测量与控制技术,训练软件让用户与现场之间建立一种真实的联系。在数字社区的安全教育领域有着很广阔的应用前景,对防灾救灾有着很好的指导辅助作用。

参考文献:

- [1] MOLLER T, HAINES E. Real-time Rendering[M]. AK Peters, Ltd, 1999.
- [2] IRVINE DJ, MCCLUSKEY JA, ROBINSON IM. Fire hazards and some common polymers[J]. Polymer Degradation and Stability, 2000, 67: 383 - 396.
- [3] PHILLIPS WGB. SFPE handbook of Fire protection engineering[M]. Section 5. NFPA, 1995.
- [4] SOLTANI AR, TAWFIK H, GOULERMAS JY, et al. Path planning in construction sites: performance evaluation of the Dijkstra, A*, and GA search algorithms[J]. Advanced Engineering Informatics, 2002, 16: 291 - 303.
- [5] An Introduction to Finite State Machines By Nathaniel Meyer [EB/OL]. <http://www.devmaster.net/>, 2005 - 01.
- [6] ABRASH M. 图形程序开发人员指南[M]. 前导工作室译. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [7] LLOPIS N. C++ 游戏编程[M]. 李鹏, 贾传俊, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.