

基于 OSG 的虚拟场景中包围盒碰撞检测的研究

杨 晓¹, 廉静静², 张新宇²

(1. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026;

2. 大连海事大学 航海动态仿真与控制重点实验室, 辽宁 大连 116026)

摘 要:碰撞检测是虚拟场景的核心技术,其效果的好坏直接影响整个虚拟场景的真实感。基于 OSG(OpenSceneGraph)三维场景渲染引擎和 Multigen Creator 三维可视化仿真建模软件,采用包围盒碰撞检测算法,实现了多个静态物体与动态物体的碰撞检测,通过使用射线检测算法可以很好地解决静态物体与地面以及动态物体与地面的碰撞检测。为了满足实时性的要求,提出了多个静态物体与动态物体的碰撞检测优化算法的数学模型。结果表明,算法具有很好的有效性和快速性,能够满足要求。

关键词:OSG;虚拟现实;包围盒;碰撞检测

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)09-0032-03

Research on Bounding Box Collision Detection in Virtual Reality Based on OSG

YANG Xiao¹, LIAN Jing-jing², ZHANG Xin-yu²

(1. Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. Key Lab. of Marine Simulation & Control, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Collision detection is the core technique of virtual reality, the effect of it impacts on realism of virtual scene directly. Based on OSG three-dimensional scene rendering engine and Multigen Creator three-dimensional modeling software, achieved collision detection of a number of static and dynamic objects by using the bounding box collision detection. Ray detection algorithm was proposed to realize collision detection of many static objects and ground as well as dynamic objects and ground. In order to meet the requirements of real-time, the optimization model was put forward for a number of static and dynamic objects in the collision detection algorithm. The result shows the algorithm can meet requirements with validity and rapidity.

Key words: OSG; virtual reality; bounding box; collision detection

0 引 言

虚拟现实是计算机生成的给人提供视觉、听觉、触觉、嗅觉以及味觉等多种感官刺激的虚拟世界,是一种高级的人机交互系统^[1]。

碰撞检测是虚拟场景中一个必不可少的部分,碰撞检测的实时性和精确性直接关系到虚拟场景的真实感和用户的沉浸感,而这两者之间是矛盾的,需要结合问题的需要考虑两个之间的平衡关系。

三维渲染引擎 OSG(OpenSceneGraph)最早诞生于1990年,当时只是一个基于Linux开发的场景图形支持库,由于它是开源的、可跨平台,使用可移植的

ANSI C++编写^[2],并使用已成为工业标准的 OpenGL 底层渲染 API,适用于多种硬件平台,同时可以在多种不同的图形硬件上进行高效的、实时的渲染,具有可扩展的、灵活的系统特性,使其能够自适应不同时期的应用需求和设计,因此,三维渲染引擎 OSG 受到了越来越多编程爱好者的青睐^[3]。

实时可视化三维建模软件系统 Multigen Creator^[4]是 Multigen-Paradigm 公司专门针对可视化仿真行业应用特点推出的,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,可以最大限度的满足不同的应用需求,同时可以进行模型数据库优化技术,提高在特定的实时仿真系统中运行的速度和流程性,获得更高的仿真运行效率。

文中研究了基于 OSG 的包围盒碰撞检测算法,并在多个静态物体与动态物体的虚拟视景仿真系统中得以应用,实时性和逼真性都达到了预期的效果。

收稿日期:2010-08-30;修回日期:2010-12-04

基金项目:中央高校基本科研业务专项资金(2009QN012)

作者简介:杨 晓(1983-),男,河南人,助教,研究方向为交通信息工程及控制系统;廉静静,博士,研究方向为仿真技术,虚拟现实。

1 包围盒碰撞检测

在虚拟场景中,物体可能与周围的环境发生碰撞^[5],为此为保持环境的真实性,需要及时检测到这些碰撞,并计算出相应的碰撞反应,更新绘制结果,否则物体间会发生穿透现象或者飞出地面,破坏虚拟场景的沉浸感(Immersion)和交互性(Interaction)。在光线跟踪和求交运算^[6]的加速中包围盒的方法被广泛地运用,包围盒层次法^[7,8]主要的思想是用一个简单的包围盒将复杂的几何体围起来,当对两个物体作碰撞检测时,首先检测两者的包围盒是否发生碰撞,若不相交,则说明两个物体未相交,否则再进一步对两物体作检测。为了提高碰撞检测的精度,有时候需要进行复合层次包围盒^[9]的碰撞检测。

对于不同的包围盒类型,评价其优劣的标准可以借助一个耗费函数来分析:

$$T = N_v \times C_v + N_p \times C_p + N_u \times C_u$$

其中: T 是碰撞检测的总耗费。

N_v 是参与重叠检测的包围盒的对数, C_v 是为一对包围盒做重叠测试的耗费。

N_p 是参与求交测试的几何元的对数, C_p 是为一对几何元做求交测试的耗费。

N_u 是物体运动后其包围盒层次中需要修改的结点的个数, C_u 是修改一个结点的耗费。

1.1 包围球(球状包围盒)

包围球^[10]是一种易于做重叠测试和结点修改的包围盒球状算法,可以减小重叠检测的耗费 C_v 和修改结点的耗费 C_u ,但是同时可能增加了参与求交测试的几何元的对数 N_p 。

1.2 轴向包围盒 AABB

轴向包围盒的各个轴的方向与坐标轴的方向一致,一般是长方形的包围盒。包围盒的构建很简单,但是紧密性较差,这表明了包围盒的简单性和紧密性两者是自相矛盾的,轴向包围盒 AABB (axis-aligned bounding boxes) 与包围球相似,可以减小重叠检测的耗费 C_v 和修改结点的耗费 C_u ,但是同时可能增加了参与求交测试的几何元的对数 N_p 。

1.3 方向包围盒 OBB

方向包围盒是三维空间中的一个任意方向的长方体包围盒,可以提供非常紧凑的逼近效果,与轴向包围盒相比,构建较复杂,紧密性较好。该算法的实质是检测两个包围盒是否相交采用一个“分割轴”方法,该方法大大加速了包围盒测试过程,从整体上降低了算法使用的时间。对一个物体来说,创建方向包围盒 OBB (Oriented Bounding Box) 的过程可以分成两个步骤,首先将物体表面三角片,即将所有多于三条边的多边形分割成三角片,对构成物体的所有三角片的顶点采用

一阶和二阶方法进行统计,求得均值和协方差。然后,采用自底向上或自顶向下方法创建包围盒层次结构。

1.4 离散方向多面体 K-dop

离散方向多面体^[11]是一种凸多面体,它的面由一些半空间所确定,这些半空间的外法线向是从 k 个固定的方向中选取的。与轴向包围盒相比,K-dop (Discrete orientation polytopes) 对物体的逼近程度较好,与轴向包围盒相比,K-dop 的重叠测试和节点修改耗费相对较低。对于参数 K 值,方向包围盒 OBB 的重叠测试耗费 C_v 比 K-dop 包围盒的重叠测试耗费 C_v 多一个数量级。

2 碰撞检测算法

多个静态物体(树)和动态物体(坦克、汽车)的碰撞检测与地面的碰撞时采用射线检测算法,得到多个静态物体(树)与动态物体(坦克、汽车)的地面相交的高程;多个静态物体(树)与动态物体(坦克、汽车)的两者之间的碰撞检测采用了球包围盒算法,主要是得到包围球的中心和半径。通过计算两个包围球间的距离是否大于两个包围球的半径之和,来判断两个包围盒是否发生碰撞,倘若发生碰撞,则做出碰撞响应,否则说明两个物体没有碰撞,不做碰撞响应。

2.1 射线检测算法

静态物体与地面的碰撞检测以及动态物体与地面的碰撞检测均采用射线检测算法(见图1,图2)。通过由该对象发出一条射线,通过这条射线来检测是否与地面发生碰撞。如果发生了碰撞,则将读取碰撞点的高程值赋值给该物体,作为物体的高程值。在 OSG 场景管理软件中,提供了 osgUtil 库函数,通过该库函数来获得正确的静态物体和动态物体的高度值。场景中的射线是交集测试的基础,线段类提供了一种定义射线的方法,当交集测试被触发时,它将检测射线的相交情况并执行相应的操作。交点类提供了一条射线与场景中几何体相交的状态信息,它将提供碰撞交点的局部和世界坐标的位置及法线数据。

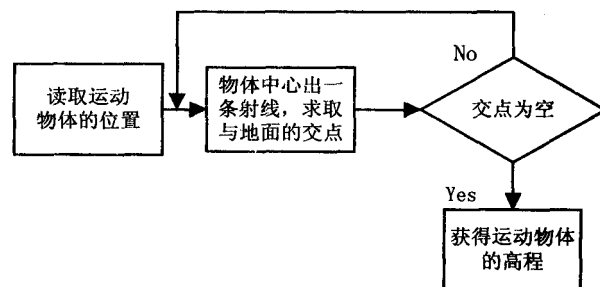


图1 射线检测算法示意图

2.2 球包围盒的碰撞检测算法

静态物体与动态物体的碰撞检测是两个刚体之间

的碰撞,三维渲染引擎 OSC 场景管理软件中提供了两种类型的包围体,即包围球(Bounding Sphere)和轴向包围盒(Bounding Box)。假如树和坦克的中心位置分别为 C_1 、 C_2 ,包围球的半径分别为 R_1 、 R_2 ,倘若 $(C_1 - C_2)^2 \leq (R_1 + R_2)^2$,这说明两个刚体之间发生了碰撞;倘若 $(C_1 - C_2)^2 > (R_1 + R_2)^2$,则可以认为两个刚体之间没有碰撞。

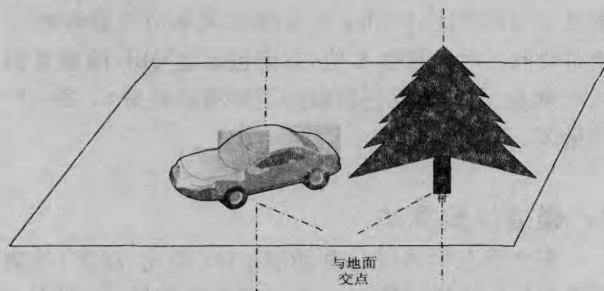


图 2 射线检测算法的原理图

3 碰撞响应

碰撞响应是指两个物体发生碰撞的时候,物体做出如何的反应。当动态物体碰撞静态物体时,碰撞方向不同,静态物体跌倒的方向也不会相同,这与静态物体的受力情况有很大的关系。若从静态物体受到的碰撞力来计算静态物体跌倒的方向,往往过于复杂,可以通过另一种思路来避免这个复杂的问题。动态物体和静态物体位置之间的联系会存在一个斜率问题。利用两个垂直线段斜率之间的关系等于-1,通过这个关系来计算树木跌倒的方向是相当容易的。另一种方法是直接计算动态物体与静态物体之间的斜率,并将该值作为静态物体跌倒的方向斜率值。如图3左边是动态物体与静态物体还没有发生碰撞,右边是动态物体和静态物体之间发生了碰撞,可以看出该图根据动态物体(坦克)与静态物体(树木)碰撞的位置不相同,跌倒的方向也不相同。



图 3 碰撞检测前后效果图

为了实现静态物体的动画效果,使得视景仿真会更加的逼真生动,在对其建模时,采用 DOF 技术。通过使用 DOF 技术,不仅可以使模型对象具有活动的能力,而且可以控制它的 DOF 子节点按照设置的自由度范围进行移动或者旋转,这样做的目的是当动态物体(坦克)撞击树木时,通过查询 DOF 节点,使得静态物

体(树)做出相应的碰撞反应的动作,可以使静态物体分开(树木与树桩),随着动态物体撞击方向的不同,产生不同的碰撞反应。同时,在对静态物体(树)建模,在 MultiGen Creator 采用 billboard 的思想。图4中的三幅图分别是静态物体(树)在 MultiGen Creator 中正立、右摔倒、左摔倒的姿态图。图5是静态物体动态跌倒的过程图。

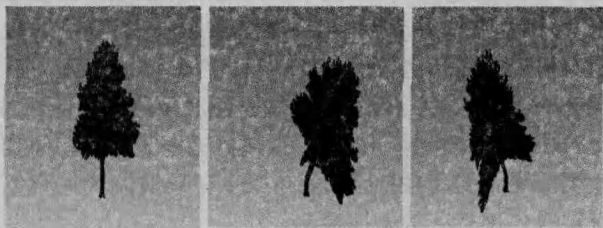


图 4 采用 DOF 技术建模

通过编程,设置简单路径动画以便实现动画效果。但是,问题随之而来,需要实时的更新动态物体(坦克)的位置,当动态物体与静态物体(坦克与树木)碰撞时,该动画效果也只能在回调函数中实现,而两次回调函数不能同时使用,该思路是走不通的。

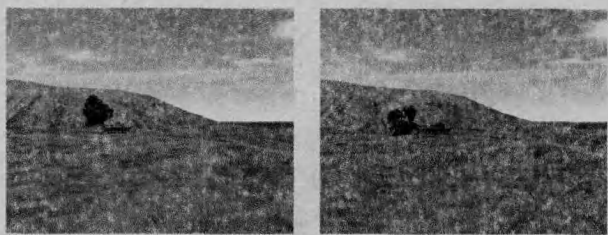


图 5 静态物体动态跌倒的过程

回调函数是程序在执行时,由系统自己自动调用的,每一帧都在变化。可以利用更新回调函数自身的特点,在回调函数中定义一个变量,使该值在每一帧刷新时都发生变化,并将该值赋给树木跌倒的方向即可。

4 算法优化数学模型

为了满足实时性的要求,特提出如下的算法优化模型:假设虚拟场景中有 n 个静态物体 a_1, a_2, \dots, a_n , 可以获取它们的位置分别为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)$, 动态物体 d , 某一时刻获取它的位置为 (x_d, y_d, z_d) , 某时刻动态物体与 n 个静态物体之间的距离为 $c_1(t), c_2(t), \dots, c_n(t)$, 为了提高效率,可以从 n 个静态物体跳出 m 个物体 ($m < n$), 记为 $f(t)$, $f(t) = c_1(t) + c_2(t) + \dots + c_m(t)$, 求得 f 的极小值, $f(t)$ 为目标函数。

优化算法的数学模型如下:

$$\begin{cases} \min f(t) \\ \text{s. t. } c_i(t) = \sqrt{(x_i - x_d)^2 + (y_i - y_d)^2} \end{cases}$$

(下转第 38 页)

计了一个算法,实验证明该算法具有较好的健壮性。

CURE 算法涉及的实际参数如样本大小、正常簇的聚类数目、收缩因子 α 、簇增长阈值 ε 以及判别临界异常簇的 σ 都需要技术人员手工输入,不同的输入对聚类结果和异常点收集产生不同影响。

CURE 聚类得到的用户行为为正常行为,对正常用户行为后续的工作是通过关联规则和序列模式分析等手段挖掘其行为模式及预测用户的行为。预测用户行为能够提前感知网络的异常行为^[13],及时阻断危害性网络连接^[14]。

对于异常行为,根据不同危害级别,可以采取相应的管理方法,如对于严重级别的,可以报警通知网络管理员强制查封用户的 MAC 和 IP。

参考文献:

- [1] 吴勇. 网络环境下用户行为研究与实现[D]. 南京:南京理工大学,2007.
- [2] 梅震琨. 基于用户行为的园区网网络管理模型[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [3] Han Jiawei, Kambe M. 数据挖掘概念与技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [4] 江伟,陈龙,王国胤. 用户行为异常检测在安全审计系统中的应用[J]. 计算机应用,2006,26(7):1637-1639.
- [5] 张锋军,牟其林,江泓. 用行为分析技术来增强网络管理的能力[J]. 信息安全与通信保密,2009(6):72-77.

(上接第 34 页)

其中 $i = 1, 2, \dots, m$

从数学意义上说,该优化算法是一个等式约束最优化算法的问题^[12],通过该优化算法可以大大提高仿真系统的效率。大量静态与动态物体发生碰撞,碰撞的效率是必须考虑的问题。同时也可以利用已知物体运动参数,如速度和加速度,来预知物体未来碰撞的位置,提高仿真系统的实时性。

5 结束语

文中在 OSG (OpenSceneGraph) 场景管理软件中,对碰撞检测进行了初步的研究,通过 VS2008 编程,实现了多个静态物体(树)与动态物体(坦克)的碰撞检测,提出了大量静态物体与动态物体碰撞优化算法的数学模型,满足了实时性要求,取得了不错的效果。

参考文献:

- [1] 石教英. 虚拟现实基础以实用算法[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [2] OpenSceneGraph [EB/OL]. 2008. <http://www.openscenegraph.org>.

- [6] 刘璇,张凤荔,叶李. 基于 Netflow 的用户行为挖掘算法设计[J]. 计算机应用研究,2009,26(2):713-715.
- [7] 李崇东,肖晓强,李达,等. 基于参数测量的园区网可靠性分析系统的实现[J]. 计算机技术与发展,2010,20(10):21-25.
- [8] Tao Qin, Xiao Hongguan, Yi Long. Users' Behavior Character Analysis and Classification Approaches in Enterprise Networks [C]//2009 Eighth IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science. [s. l.]: [s. n.], 2009: 323-328.
- [9] 董富强. 网络用户行为分析及其应用[D]. 西安:西安电子科技大学,2005.
- [10] 杨铮. 基于流量识别的网络用户行为分析[D]. 重庆:重庆大学,2009.
- [11] 曹文平. 基于聚类的孤立点集探测算法[J]. 现代计算机,2008,297:35-37.
- [12] 冯兴杰,黄亚楼. 增量式 CURE 聚类算法研究[J]. 小型微型计算机系统,2004,25(10):1847-1849.
- [13] Li Wen, Ping Lingdi, Lu Kuijun, et al. Trust Model of Users' Behavior in Trustworthy Internet [C]//2009 WASE International Conference on Information Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2009.
- [14] Wu Hanching, Huang S S. User Behavior Analysis in Masquerade Detection Using Principal Component Analysis [C]//8th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. [s. l.]: [s. n.], 2009.

- [3] Martz P. OpenSceneGraph [EB/OL]. 2007. http://www.osg-books.com/books/osg_qs.html.
- [4] The MultiGen Creator Desktop Tutor [M]. [s. l.]: MultiGen-Paradigm, Inc, 2003.
- [5] 王志强. 碰撞检测问题研究综述[J]. 软件学报,1999,10(5):545-551.
- [6] 高军峰,徐凯声,崔劲,等. 一个基于包围盒技术提高光线与物体求交效率的算法[J]. 交通与计算机,2004,22(6):65-68.
- [7] 喻家龙,姜太平,汪光阳. 在 GPU 上基于物体空间的碰撞检测[J]. 计算机技术与发展,2009,19(9):83-86.
- [8] 周之平,吴介一,白伟冬,等. 基于矩形包围盒的多边形碰撞检测算法[J]. 中国图象图形学报,2004,9(11):1294-1303.
- [9] 朱元峰,孟军,谢光华,等. 基于复合层次包围盒的实时碰撞检测研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(2):372-377.
- [10] Hubbard P M. Approximating Polyhedra with Spheres for time-critical collision detection[J]. ACM Transactions on Graphics, 1996,15(3):179-210.
- [11] 马登武,叶文,李瑛,等. 基于包围盒的碰撞检测算法综述[J]. 系统仿真学报,2006,18(4):1059-1064.
- [12] 唐焕文,秦学志. 实用最优化方法[M]. 大连:大连理工大学出版社,2004.