

虚拟海洋环境中碰撞检测的研究与实现

周志永, 韩 勇, 李文庆, 马纯永, 陈 戈
(中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

摘 要:碰撞检测是虚拟现实系统的一个重要组成部分,它对虚拟场景漫游及动态元素表达的真实性起着至关重要的作用。但同时它也会占用的较多的系统资源;降低实时渲染效率。分析比较了几种常用的碰撞检测算法,并根据虚拟海洋环境自身的特点,采用基于高度图的地形碰撞检测法、包围球法、沿坐标轴的包围盒法相结合的方法对虚拟海洋平台的碰撞检测功能进行了实现。同时对碰撞发生后的碰撞反应进行了研究。在保证实时渲染的要求下有效地提高了虚拟海洋环境的真实感和用户的沉浸感。

关键词:虚拟现实;虚拟海洋环境;碰撞检测;碰撞反应

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)04-0025-04

Research and Implementation of Collision Detection in Virtual Marine Environment

ZHOU Zhi-yong, HAN Yong, LI Wen-qing, MA Chun-yong, CHEN Ge
(College of Information Science & Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Collision detection is an important component of virtual reality system. It plays a vital role in the reality of the virtual navigation and expression of dynamic elements. But it will also take up more system resources and reduce the efficiency of real-time rendering. Compared several commonly used collision detection algorithms. And then according to characteristics of virtual marine environment itself, the collision detection function of VR-Ocean platform was achieved by combining a variety of collision detection algorithm. These algorithms included terrain collision detection algorithm based elevation map, Bounding Sphere algorithm and Axis-Aligned Bounding Box algorithm. At the same time, the collision reaction was studied. The results show that this method effectively improved the realism and user immersion of the virtual marine environment in the request to real-time rendering.

Key words: virtual reality; virtual marine environment; collision detection; collision reaction

0 引 言

碰撞检测(Collision Detection)也称为干涉检测或者接触检测^[1],它在虚拟现实领域有着悠久的历史和研究意义。在虚拟现实环境中,由于用户的交互和物体的运动,物体间会经常因发生碰撞而出现相互穿透、重叠等影响仿真效果的现象。为了保持虚拟现实环境的真实性,需要及时、准确地检测到这些碰撞,并避免碰撞发生^[2]。交互式虚拟海洋环境与生命仿真平台(VR-Ocean)是一个虚拟海洋场景快速编辑平台。其重点和核心是对海洋环境和海洋生命进行仿真,建立起逼真的可以与用户进行实时交互的虚拟

海洋生态环境^[3]。建立这样的虚拟环境必然要对碰撞检测功能进行实现。因此在满足虚拟海洋环境复杂场景实时性的要求下完成对大量物体间的碰撞检测以提高虚拟海洋环境的真实感是笔者主要研究目标。

1 国内外研究

在过去的几十年中,许多学者在虚拟现实的碰撞检测方面进行了广泛、深入的研究,并提出了许多较为成熟的算法。现有的检测算法主要为两大类:空间分解法和包围盒法。空间分解法是将整个虚拟场景划分成相等体积的单元格,只对占据同一单元格或相邻单元格的几何对象进行相交测试。比较典型的方法有K-D树、八叉树和BSP树、四面体网、规则网等^[4]。该类算法适用于稀疏的环境中分布着比较均匀的几何对象的碰撞检测。包围盒法是利用体积略大而几何特征简单的包围盒来近似地描述几何对象,通过判断两包围盒不碰撞,迅速排除不可能碰撞的物体^[5]。比较典

收稿日期:2010-08-31;修回日期:2010-11-20

基金项目:国家“863”科技支撑计划专项基金(2008AA12Z3475788, 2008AA 09A404)

作者简介:周志永(1985-),男,河北唐山人,硕士研究生,研究方向为计算机图形学、虚拟现实技术;韩 勇,教授,研究方向为海洋地理信息系统、虚拟现实技术。

型的包围盒类型有包围球、沿坐标轴的包围盒(AABB)、方向包围盒(OBB)、固定方向包围盒(FDH)等^[6]。该类算法适用于复杂环境中的碰撞检测,它也是目前较为常用的检测方法。Hubbard 利用包围球构建物体的包围盒层次树,可以比较快捷地进行结点与结点之间的检测^[7]。北卡罗莱纳州大学的 Gottschalk 等人开发研制了基于 OBB 包围盒层次树的 RAPID 系统,声称是最快速的碰撞检测算法,曾一度作为评价碰撞检测算法的标准^[8]。

2 虚拟海洋环境中碰撞检测的实现

虚拟海洋环境中既包括静态的环境对象,如海底地形、礁石、海岸植物等,也包括动态的环境对象,主要是海洋鱼类。因此按照检测主体的不同可将碰撞检测分为两类:一类是用户漫游时相机与地形、静态环境对象和鱼类间的碰撞检测,其流程图如图 1 所示;另一类是鱼类在运动过程中与地形、相机和其它运动的鱼类间的碰撞检测,其流程图如图 2 所示。目前还没有一种碰撞检测算法既能很好地适用于静态的环境对象,又能很好地适用于动态的环境对象。因此文中采用了基于高度图^[9]的地形碰撞检测、包围球和轴向包围盒三种碰撞检测方法进行实现。

2.1 相机、鱼类与地形的碰撞检测

虚拟海洋环境中的地形,采用了基于高度图配合层次细节(LOD)算法的方法进行仿真。高度图是一张记录高度信息的灰度图片,每个像素的色彩索引代表该点的地形高度^[9]。采用这一技术生成的地形是一

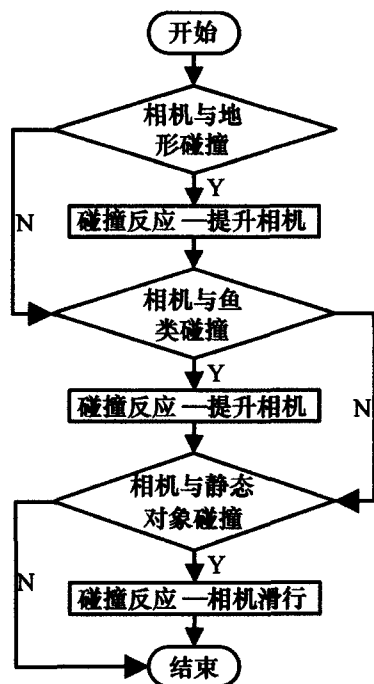


图 1 相机碰撞检测流程图

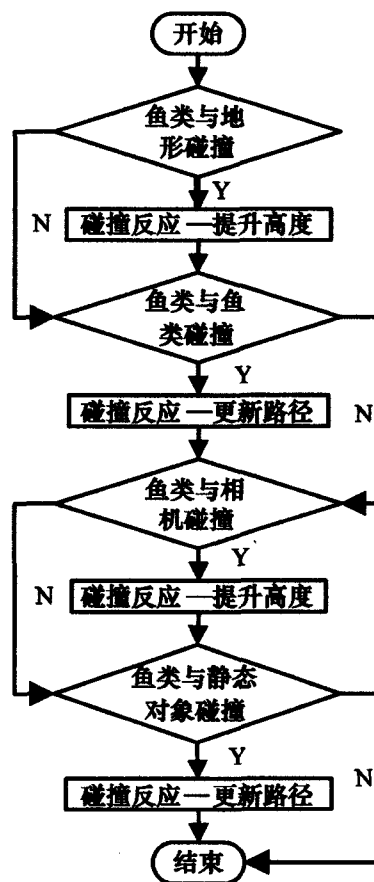


图 2 鱼类碰撞检测流程图

个规则的网格数据,可以方便地查询任意网格点的地形高度。因此对地形的碰撞检测十分简单,只要比较在某一位置碰撞主体(这里是指相机和鱼类)的高度值 H_{subject} 和地形的高度值 H_{terrain} 的大小即可。当 $H_{\text{subject}} - H_{\text{terrain}} \leq R_{\text{subject}}$ 时发生碰撞,对于碰撞反应仅需要将碰撞主体的球心高度值增加 $R_{\text{subject}} - H_{\text{difference}}$ 的差值。

对于相机的包围球,半径取为单位长度 1(详见 2.2);对于鱼类的包围球,采用 Ritter 提出的“快速的包围球建立方法”进行构建。其主要思想是首先找到 X 、 Y 、 Z 三条坐标轴上的六个最值点,然后从这三组顶点中找出距离最大的一组顶点,取该两点的中点坐为球心 c ,取该两点的距离的一半作为球的半径 r 。接着,再遍历一次所有顶点,检查顶点到球心的距离 d ,如果这个顶点在球体以外,那么就将球心朝着这个顶点的方向移动 $(d - r)/2$,同时将半径大小改成 $(d + r)/2$ 。

2.2 相机与静态环境对象的碰撞检测

该类碰撞检测是虚拟海洋环境碰撞检测中最主要的部分,占用系统的计算时间也最多。它是在用户与系统进行交互时发生的,对于提高用户的体验感起着重要的作用。文中用三个坐标轴方向长度都为 1 的 AABB 和半径为长度 1 的包围球共同表示相机。在检测过程中首先用相机 AABB 与静态环境对象的 AABB

进行相交测试,当检测到发生碰撞后再根据系统精度要求用相机包围球与环境对象的 AABB 或环境对象的三角面进行精确检测。

算法流程图如图 3 所示。

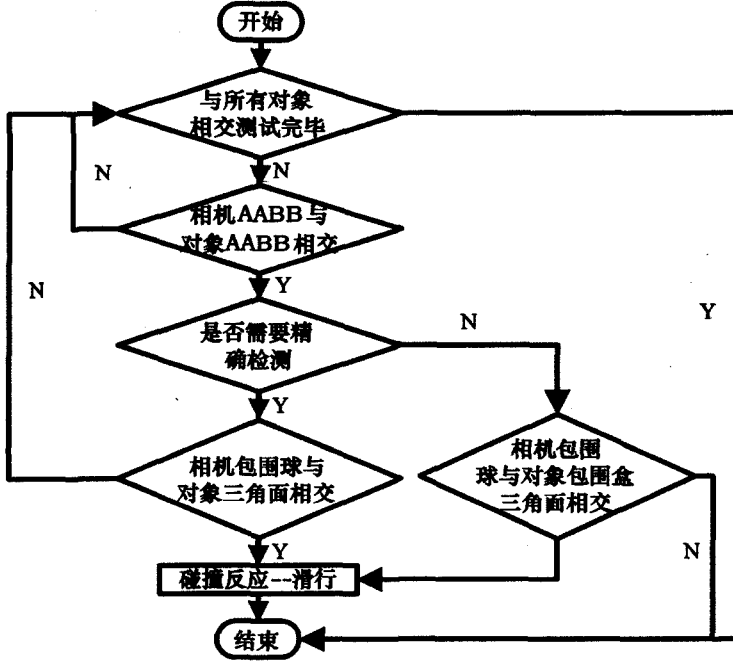


图3 相机与静态对象碰撞检测算法流程图

下面对流程的每一步检测进行详细的算法分析:

第一步:相机 AABB 与环境对象的 AABB 相交测试。

AABB 间的相交测试是十分简单的,当且仅当两个 AABB 在三个坐标轴上的投影区间均重叠时它们相交。在三个坐标轴上分别对两个 AABB 的最值进行比较判断,如果相机 AABB 在某一坐标轴的最小值大于环境对象 AABB 在同一坐标轴的最大值或相机 AABB 在某一坐标轴的最大值小于环境对象在 AABB 同一坐标轴的最小值则二者相交,否则不相交。

第二步:根据检测精度,进行精确检测,并记录碰撞点的坐标和碰撞距离^[10]。

在这一步中,如果需要精确检测,则要对环境对象的每一个三角面进行相交测试;如果不需要精确检测,则对对象的 AABB 的 12 个三角面进行相交测试,通过这样的精度控制也起到了节省效率的作用。

首先用式(1)来表示相机包围球在时刻 t 的位置 $C(t)$ 。其中 $basePoint$ 为球心坐标, $velocity$ 为相机的运动速度,是一个带有方向的矢量, t 取值范围为 $[0, 1]$, $t = 1$ 时包围球将位于下一帧的位置。

$$C(t) = basePoint + t * velocity \quad t \in [0, 1] \quad (1)$$

然后用式(2)来表示任一点 p 到三个定点确定的平面方程的距离 $Distance(p)$ 。其中 N 为归一化的平面法线向量, C_p 为常量。

$$Distance(p) = N \cdot p + C_p \quad (2)$$

当球与平面发生相交时,球心到平面的距离必为球体的半径大小,也就是说下面方程有解。

$$Distance(C(t)) = 1 \quad (3)$$

解方程求得两根 t_0, t_1 。

$$t_0 = [1 - \text{distance}(basePoint)] / (N \cdot \text{velocity})$$

$$t_1 = [-1 - \text{distance}(basePoint)] / (N \cdot \text{velocity})$$

通过对 t_0 和 t_1 进行简单分析就可判断相机的包围球与平面是否相交。如果 t_0 和 t_1 都不在 $[0, 1]$ 的范围内则说明球与平面不相交,否则相交。且 t_0 和 t_1 两个时刻中较小的一个是要找的碰撞时刻。但这里还有一种特殊情况就是 $N \cdot \text{velocity} = 0$ 。这种情况在相机运动方向平行于平面时发生,此时将会有两种可能:一种是球心到平面的距离小于等于 1,这时球与平面永远相交;另一种是球心到平面的距离大于 1,这时球与平面永远不相交。

现在已经找到相机包围球与平面发生相交的两个时刻 t_0 和 t_1 ,但仍需检测交点是否位于三角形内部或是三个顶点上还是边上。

(1) 检测是否在三角形内部。

包围球与平面的交点由式(4)给出, $basePoint + t * \text{velocity}$ 表示在碰撞发生的时刻球心的位置, N 为归一化的平面法线向量。

$$\text{IntersectPoint} = basePoint + t * \text{velocity} - N \quad (4)$$

所需要做的就是检测点 IntersectPoint 是否在三角形内部,如果交点在三角形内部则无需进行(2)的检测因为在三角形内部的点不可能与三角形的顶点或边相交。这里采用的算法的主要思想是,沿着三角形的边按顺时针方向走,判断点 IntersectPoint 是否在每条边的右侧,若是则点在三角形内部,否则点在三角形外部。

(2) 检测交点是否为三角顶点或落在三角形的三条边上。

当且仅当三角形的顶点与球心的距离为 1 时,球与三角的交点为三角形的该顶点。如式(5)所示,其中 $point$ 为三角形的顶点, t 的有效取值范围为 $[0, 1]$ 。

$$(C(t) - point) * (C(t) - point) = 1 \quad (5)$$

检测完三个顶点后仍需检测交点是否落在三角形的三条边上,因为可能会存在时间 t 在球与三角形顶点相交前球已经与边相交。如式(6)所示,其中 N 为边的法线向量, t 的有效取值范围为 $[0, 1]$ 。

$$[(N \cdot C(t) * N \cdot C(t))]/(N \cdot N) = 1^2 \quad (6)$$

第三步:构造相机的滑行平面,使相机沿滑行平面滑行。

为了使相机的包围球可以沿着碰撞平面滑行,只需将让相机的速度矢量与平面平行即可。如图 4 所示。P1 为碰撞点,C2 为相机球心新的位置,C3 = base-Point+velocity,P2 是 C3 在平面上的投影点。所以 newVelocity = P2 - P1。

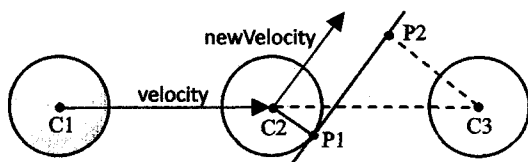


图 4 碰撞反应示意图

2.3 鱼类与静态环境对象的碰撞检测

鱼类在虚拟海洋场景中的表达是通过对位置、旋转、缩放及动作的调用来实现,在每一帧的渲染中根据设定的运动速度,不断改变鱼类的位置、方向和序列动作即可展示鱼类活生生的运动状态^[11]。对于鱼类的运动路径,VR-Ocean 平台采用了以鱼自身的运动方向确定其运动路线的方法。即对每个鱼类对象都保存两个旋转角度摆角 α 和俯仰角 β 。每一帧鱼都向着自身的前方移动单位速度大小的距离。如果当前帧鱼的位置用 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 表示,下一帧的新位置用 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 表示。则 P_0 与 P_1 满足式(7)的关系。

$$\begin{cases} x_1 = x_0 + v * \cos\beta * \cos\alpha \\ y_1 = y_0 + v * \cos\beta * \sin\alpha \\ z_1 = z_0 - v * \sin\beta \end{cases} \quad (7)$$

鱼类的碰撞检测,并不需要像相机那样精确,只要鱼类在运动过程中不发生穿透现象就可满足要求。通过研究发现鱼类在运动的过程中相对自身而言主要是鱼头、鱼尾和鱼鳍的摆动。用包围球来近似表示鱼类,鱼的摆动变形结果并不会超出它的包围球,因此鱼在运动过程中不需要进行包围球更新,大大节省了运算效率^[12]。而静态对象按 AABB 包围盒的最大距离构造包围球,这样检测两个球体是否相交则较简单,即判断两球心距离小于等两球半径之和,当检测到碰撞发生后,鱼类的运动方向发生改变,以避免碰撞发生。这里将鱼类方向反转 180 度角,即让它朝着原方向的反方向运动。

2.4 相机与鱼类、鱼类与相机、鱼类对鱼类之间的碰撞检测

在这三种碰撞检测过程中,相机和鱼类都用包围球来表示,其检测原理与 2.3 中所用相同。但是三者发生碰撞后的碰撞反应确是不同的,当相机作为碰撞

主体与鱼类发生碰撞后,将增加相机的高度值;当鱼作为碰撞主体与相机发生碰撞后,将增加鱼类的高度值,这样保持相机不动使得仿真效果更加真实;而当鱼类和鱼类发生碰撞时,将改变两个发生碰撞的鱼类的运动方向,即让它们各自以原运动方向的反方向运动。

3 结束语

在虚拟场景中实现有效的碰撞检测是当今虚拟现实领域研究的一个重点和热点。以虚拟海洋环境为应用背景,采用多种碰撞检测方法相合的办法实现了多个动态物体与静态物体、动态物体与动态物体间的实时碰撞检测,增强了虚拟海洋环境的真实性与实时性。通过在实验室自主研发的虚拟海洋平台(VR-Ocean)上的测试表明文中采用的方法能够以较高的检测效率完成检测功能,完全满足了平台实时性和真实性的需要。

参考文献:

- [1] 黄海芳,余宇华. 3D 游戏中碰撞检测的应用[J]. 中国西部科技,2008,7(5):26-27.
- [2] Hubbard P M. Collision detection for interactive graphics applications[J]. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics,1995,1(3):218-230.
- [3] 陈戈,李文庆,李小宁. 交互式 VR-Ocean 虚拟海洋环境与生命仿真平台的设计与实现[J]. 中国海洋大学学报,2009,39(5):1037-1041.
- [4] 边美玲,任建平. 包围盒碰撞检测技术的研究[J]. 机械管理开发,2008,24(2):27-28.
- [5] 何伟,李勇,苏虎. 碰撞检测中的包围盒方法[J]. 重庆工学院学报(自然科学),2007,21(12):148-149.
- [6] 钟帅. 谈虚拟现实中的碰撞检测问题[J]. 河南机电高等专科学校学报,2009(6):108-109.
- [7] 徐岚. 虚拟场景中碰撞检测技术研究[J]. 福建电脑,2008(5):42-43.
- [8] Hubbard P M. Real-time collision detection and time-critical computing[J]. Workshop on Simulation and Interaction in Virtual Environment,1995(1):92-96.
- [9] 吴兰. 基于高度图的实时地形渲染算法研究与改进[J]. 忻州师范学院学报,2008,24(5):38-40.
- [10] Fauerby K. Improved Collision detection and Response[EB/OL]. 2003. <http://www.peroxide.dk>.
- [11] 韩逸晨,杨克俭. 基于骨骼的 3D 角色的碰撞检测[J]. 计算机与现代化,2010(5):53-55.
- [12] Zhang Xinyu, Kim Y J. Interactive Collision Detection for Deformable Models Using Streaming AABBs[J]. IEEE Computer Society,2007,13(2):318-329.