

虚拟视景交互漫游系统的实时碰撞检测方法研究

刘惠义¹ 邱 云² 张春红²

(1. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 宁通高速公路管理处, 江苏 泰兴 225400)

摘要 探讨虚拟视景交互漫游过程中实时碰撞检测的技术问题, 针对碰撞检测系统开销很大的问题, 提出了预碰撞检测与精碰撞检测相结合的解决方法, 并通过对视点的运动参数估计, 避免了许多不必要的碰撞预检测, 加快了碰撞检测的速度, 提高了实时性能。

关键词 虚拟视景 碰撞检测 漫游

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2005)03-0339-04

在虚拟视景中, 由于用户的交互和物体的运动, 物体间经常发生碰撞, 为保持视景的真实感, 需要及时检测到这些碰撞, 并作出相应的反应。否则, 物体间会发生穿透现象, 破坏虚拟视景的真实性和用户的沉浸感。碰撞检测的基本方法大致可分为两类^[1]: 空间分割法和层次包围盒方法。前者是将整个虚拟空间划分成体积相等的网格单元, 视景中的每个物体对应到一个或多个单元中, 如果两个物体占据不同的网格单元, 则说明两个物体没有相交, 否则, 要对两个物体做进一步的相交测试。常用的空间分割法有 k-d 树、八叉树和 BSP 树法等。层次包围盒方法的核心思想是用一个简单的包围盒将复杂的几何形体围住, 当对两个物体做碰撞检测时, 首先检测两者的包围盒是否相交, 若不相交, 则说明两个物体未相交, 否则再进一步对两个物体做检测。比较典型的包围盒类型有沿坐标轴的包围盒 AABB^[2]、包围球^[3]、方向包围盒 OBB^[4]、固定方向凸包 FDH^[5]等。这两类算法都使用了层次结构模型, 其目标都是尽可能地减少需进行相交测试的几何物体对的数目。

虚拟视景是一种人能与之实时交互的计算机生成环境, 虚拟视景中物体之间的碰撞检测必须能够实时完成。但是, 碰撞检测是一项系统开销很大的工作, 所以对于简单的虚拟视景, 实时碰撞检测一般可以实现, 而对于比较复杂的虚拟视景实时碰撞检测却难以实现。目前, 大部分碰撞检测算法是针对虚拟视景的运动物体展开研究的, 其实时性和精确性难以得到统一。

本文结合望虞河虚拟视景系统的具体情况, 从虚拟视景漫游的角度出发, 研究运动中的视点与静态的虚拟视景之间的实时碰撞检测问题。

1 视景漫游系统碰撞检测的基本思想

在虚拟视景漫游系统中, 可以将视点简化为一个球体, 将虚拟视景中的物体表面剖分成三角形。这样, 虚拟视景漫游中的碰撞检测就转化为球体与三角形之间的碰撞检测问题。如果当前未发生碰撞, 那么根据用户的操作, 移动视点的位置, 若有碰撞发生, 则将视点回移到移动前的位置, 避免了它穿越被碰撞物。基于上述思想, 在视点移动时加入碰撞检测功能是实现碰撞检测的基本方法。其基本循环流程如下:

```
onKEYDOWN( msg ){
    ViewBall.原位置 := ViewBall.当前位置 ;//更新视点球的位置
    if collisionDetect( ViewBall )= = true //有碰撞
        then ViewBall.当前位置 := ViewBall.原位置 ;
    渲染场景 ;
}
collisionDetect( ViewBall )
```

```
for 对每一个虚拟视景中的物体  $O_i$ 
    if 相交预检测( ViewBall , $O_i$  )= = true
        then if 相交精检测( ViewBall , $O_i$  )= = true
            then return true ;
            else return false ;
}
```

当检测到物体发生碰撞时,可以通过将视点移回原来的起始位置来消除碰撞.因为在移动前的物体位置是“安全”的位置,那么移动后,它也可能仍处于“安全”位置.

2 漫游系统的碰撞检测

由于根据视点的位置、运动方向和速度,视景中很多物体根本不可能与视点球碰撞,为此采用一定的预检测方法,将视景中与视点球根本不可能碰撞的物体排除在碰撞检测的范围之外,而只对有可能与视点球碰撞的物体进行检测,从而避免不必要的运算,提高运行速度.

2.1 碰撞的预检测

空间分割法是一种很有效的碰撞预检测方法,该方法将整个虚拟视景所在的三维空间分割成均匀的单元,并组成八叉树模型^[6].视景中的每个物体对应到一个或多个单元中,相交检测只对与视点球处在同一个单元中的物体进行.如图1所示,视点球B与物体A处在同一个单元中,它们将进行相交检测.

由于在视景分割过程中,很难选择一个最优的剖分尺寸,若选择不当,会导致空间耗费大,计算效率低,因此,需要对视景分割过程进行控制.笔者按以下规则^[7]对视景分割过程进行控制 (a)如果一个单元结点所包含物体的三角形数量小于所定义的最少三角形数量,则对该结点不再进行细分 (b)如果单元结点的总数超过了所定义的最大结点数量,则停止分割.

2.2 碰撞的精检测

对于单元结点细分到一定程度后与视点球处在同一个单元物体所包含的所有三角形,进行与球体的求交运算.如果球体与三角形所在的平面相交,求出球体与平面的交点,并检查该交点是否位于三角形的内部,如果该交点在三角形范围之内,则球体与三角形相交,即进行球体与三角形三条边的碰撞检测.

a. 求球心到三角形所在平面的距离.如图2所示,平面 $P_0P_1P_2$ 的外法线向量为 N ,球心位置为 $V_c(x_c, y_c, z_c)$,球体半径为 r .

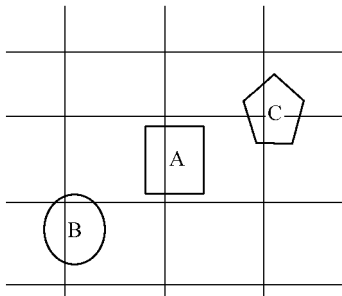


图1 碰撞预检测
Fig.1 Pre-collision detection

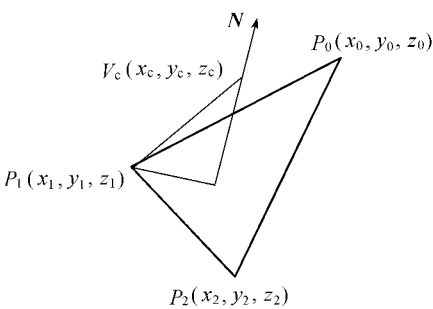


图2 球心到平面的距离
Fig.2 Distance from spherical center to plane

$$N = P_1P_0 \cdot P_1P_2 = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \\ x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \end{vmatrix}$$
$$N_x = \begin{vmatrix} y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \\ y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \end{vmatrix}$$

$$N_y = \begin{vmatrix} z_3 - z_2 & x_3 - x_2 \\ z_1 - z_2 & x_1 - x_2 \end{vmatrix}$$
$$N_z = \begin{vmatrix} x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \\ x_1 - x_2 & y_1 - y_2 \end{vmatrix}$$

球心到平面的距离

$$d = \frac{|P_1V_c \cdot N|}{|N|} \tag{1}$$

如果 $d \geq r$,则球体与该平面无碰撞发生 ,否则球体与该平面相交 ,需求出交点.

b. 计算球体与平面的交点. 如图 3 所示 ,球体与平面相交 ,则

$$V_i = V_c - dN \tag{2}$$

如果交点 V_i 在三角形外部 ,则球体与三角形不发生碰撞 ,否则球体与三角形相交.

c. 判断交点是否位于三角形的内部. 判断一个点是否在三角形内部 ,可以采用非常简单的方法 ,即如果交点与三角形三个顶点的夹角 α , β 和 γ 之和等于 360° ,则该点位于三角形的内部 ;否则 ,该点位于三角形的外部或在三角形的三条边上.

如图 4 所示 ,夹角 α , β 和 γ 的值可通过计算两个矢量的方向余弦得到 :

$$\cos \alpha = \frac{PA \cdot PB}{|PA| \cdot |PB|} \quad \cos \beta = \frac{PA \cdot PC}{|PA| \cdot |PC|}$$
$$\cos \gamma = \frac{PB \cdot PC}{|PB| \cdot |PC|} \tag{3}$$

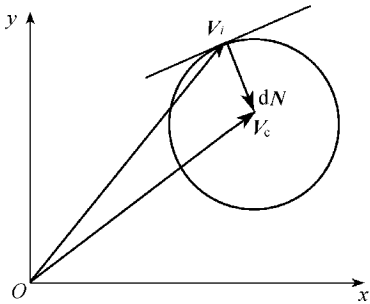


图 3 球体与平面相交

Fig.3 Sphere and plane intersection

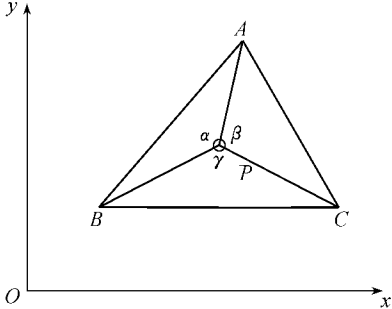


图 4 交点在三角形内部的判断

Fig.4 Judgement of the intersection located in the triangle

3 碰撞检测的加速

视点球在某一运动时段与视景中的某些物体根本不可能发生碰撞 ,因此 ,本文研究碰撞检测加速的目的是在视点球运动过程中避免不必要的碰撞预检测.对于预设路径的漫游系统其视点的运动参数如速度或加速度是已知的 ,视点与物体未来碰撞的位置可以预知 ,由此可以避免多余的运动时段预检测.而交互漫游系统一般实时交互性很强 ,很难预先假设视点的运动形式.针对上述情况 ,本文引入限速思想 ,对视点的运动速度限定一个最大值 ,并认为视点就以该速度最大值运动 ,给视点未来的位置一个保守的估计值.根据视点与某个物体之间的距离 ,可以得到视点运动过程与该物体最早可能发生碰撞的时刻 ,在这一时刻到来之前 ,不必对视点球与物体进行碰撞预检测 ;当这一时刻到达时 ,就要预检测视点球与物体的碰撞 ,若视点球与物体不处在同一单元说明它们无碰撞 ,粗估阶段就是它们计算新的可能发生碰撞的时间 ;若视点球与物体处在同一单元 ,则称粗估阶段在最粗略情况下找到了它们的碰撞.此时 ,算法转到碰撞的精检测.

4 结束语

碰撞检测在计算机动画、虚拟现实和仿真等领域中均属基本而关键的问题.本文针对望虞河虚拟视景交互漫游系统的实时碰撞检测的要求 ,提出了快速碰撞检测方法.该方法将碰撞检测过程分成预检测与精检测

两个阶段,避免了许多明显的不干涉的碰撞检测,加快了检测速度.同时,通过对视点的运动参数估计,减少了许多不必要的检测计算,提高了实时性能.

参考文献:

- [1] 石教英.虚拟现实基础及实用算法[M].北京:科学出版社,2002.216—218.
- [2] Van der BERGEN G. Efficient collision detection of complex deformable models using AABB trees[J]. Journal of Graphics Tools, 1997, 2(4): 1—13.
- [3] HUBBARD P M. Collision detection for interactive graphics application[J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 1995, 1(3): 218—230.
- [4] GOTTSCHALK S, LIN M C, MANOCHA D. OBB-Tree: a hierarchical structure for rapid interference detection[J]. Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '96), 1996, 30(8): 171—180.
- [5] 魏迎梅,王涌,吴泉源,等.碰撞检测中的固定方向凸包包围盒的研究[J].软件学报,2001,12(7):156—163.
- [6] MOORE M, WILHELMS J. Collision detection and response for computer animation[J]. Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPH '88), 1988, 22(4): 289—298.
- [7] 熊伟,毛善君,马蔼乃.基于观察者的碰撞检测技术在虚拟环境漫游中的应用[J].计算机应用,2002,22(11):6—10.

Real-time collision detection method for virtual scene interactive wandering system

LIU Hui-yi¹, QIU Yun², ZHANG Chun-hong²

(1. College of Computer and Information Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Ningtong Expressway Administration, Taixing 225400, China)

Abstract A pre-collision detection and accurate collision detection combined method was proposed to solve the problem of great system resource consumption in collision detection. By estimation of the movement parameter for viewpoints, the method avoids a lot of unnecessary pre-collision detection, accelerates the collision detection, and improves its real-time performance.

Key words virtual scene; collision detection; wandering