

导弹飞行视景仿真中的碰撞检测算法^①

孔中武, 石林锁, 王 涛

(第二炮兵工程大学 五系, 西安 710025)

摘 要: 针对导弹飞行视景仿真中碰撞检测实时性与精确性的不足, 提出了一种优化的混合包围盒碰撞检测算法. 该算法在包围盒树的上层使用 Sphere, 下层使用 OBB; 将该算法在导弹飞行视景仿真系统中实现后, 分别与相交矢量碰撞检测算法、OBB 包围盒算法进行对比试验和分析. 结果表明, 这种混合包围盒算法能够有效地提高导弹飞行视景仿真中碰撞检测的实时性与精确性.

关键词: 碰撞检测; Sphere; OBB; 混合包围盒

Collision detection algorithms of Missile Flight Scene Simulation

KONG Zhong-Wu, SHI Lin-Suo, WANG Tao

(5th Dep., Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: According to the timeliness and accuracy of collision detection in missile flight visual simulation, this article puts forward an optimization algorithm for collision detection based on mixed bounding box. This algorithm established bounding box tree beginning with the hierarchical structure. In this bounding box tree, Sphere is used in upper level, and OBB is chosen in the lower level. At the same time, the intermediate buffer layer is removed. Then after the realization of this algorithm in missile flight visual simulation system, its performance is analyzed and especially compared with intersect vector collision detection algorithm and OBB bounding box collision detection algorithm. The analysis and comparison show that, this mixed bounding box algorithm can effectively improve the accuracy and timeliness of collision detection in missile flight visual simulation.

Key words: collision detection; Sphere; OBB; hybrid bounding box

导弹飞行视景仿真场景包含大量实体, 为了增强仿真逼真度和仿真训练效果, 避免物体在运动过程中发生穿透等现象, 必须对各物体的碰撞进行实时检测并作出响应. 在导弹飞行视景仿真碰撞检测中应用比较广泛的算法是相交矢量碰撞检测算法和 OBB 包围盒算法. Vega Prime 采用由若干条独立线段构成的相交矢量进行碰撞检测, 具有碰撞检测方法简单、灵活等优点, 但其检测精度很低, 当飞行器运动速度较快时会发生“穿透”等失真现象. OBB 包围盒法紧密型良好, 满足了系统精度要求, 但其构造较为复杂, 相交测试相对更加耗时, 牺牲了系统性能^[1].

本文提出一种基于 Sphere 和 OBB 包围盒的改进碰撞检测算法, 从分层式结构出发建立包围盒树, 包

围盒树的上层使用 Sphere, 下层使用 OBB, 去除了中间缓冲层, 减少了更新负担. 算法充分利用 Sphere 包围球旋转时包围盒更新计算量小、构造与检测快速和 OBB 包围盒紧密性高等优点. 该算法应用于导弹飞行视景仿真系统中, 能够有效地提高系统碰撞检测的实时性与精确性.

1 视景仿真碰撞检测算法

1.1 相交矢量碰撞检测算法

Vega Prime 是专业的视景仿真软件, 它采用由若干条独立线段构成的相交矢量进行碰撞检测. Vega Prime 中的 Isector 和 Volume 模块负责碰撞检测, 检测机制是在 Isector 对应的检测目标与设定的检测方法所

^① 收稿时间:2014-05-08;收到修改稿时间:2014-06-23

对应的空间范围之间进行相交测试,并使应用程序获取相应的检测结果.使用 Isector 类的基本条件为一个目标物体、一个指定空间范围和相应的碰撞检测掩码.

需要说明的是, Vega Prime 提供的碰撞检测功能跟物理引擎不同, Vega Prime 只能提供是否发生了碰撞,至于碰撞后发生的事件只能由用户通过编写 Api 函数进行控制.通过 Vega Prime 模块的碰撞检测机制可以看出,在对简单、精度要求低的模型进行碰撞检测时非常有效,而对快速运动的飞行器进行碰撞检测时,相交矢量碰撞检测算法远远达不到要求^[2].

1.2 OBB 包围盒法

方向包围盒(OBB)是包含几何对象且相对于坐标轴方向任意的最小长方体^[3]. OBB 的特点是包围紧密型良好和方向灵活性,计算 OBB 包围盒的关键在于找到最佳方向,具体步骤如下:

① 获取均值向量 μ ,如公式(1)所示,累计凸壳上所有顶点的坐标向量.设第 i 个三角形的顶点矢量为 p^i , q^i 和 r^i .

$$\mu = \frac{1}{3n} \sum_{i=0}^n (p^i + q^i + r^i) \quad (1)$$

② 计算协方差矩阵 C ,其中 p, q, r 均为三维空间中的向量, c_{jk} 为协方差矩阵中的元素.如公式(2)所示:

$$c_{jk} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n (\overline{p_j^i p_k^i} + \overline{q_j^i q_k^i} + \overline{r_j^i r_k^i}) \quad (1 \leq j, k \leq 3) \quad (2)$$

③ 求协方差矩阵 C 的特征向量,确定 OBB 包围盒局部坐标的三个轴向(d^0, d^1, d^2).

④ 将凸壳的所有顶点分别向(d^0, d^1, d^2)投影,三个轴向最大最小投影距离差为 OBB 包围盒的大小.

OBB 包围盒基于分离轴理论进行相交测试,两个 OBB 包围盒共有 15 个分离轴,当且仅当一个方向上分离轴投影不重叠,包围盒就不相交^[4].通过其碰撞原理可以看出, OBB 包围盒包围盒法紧密型良好,但其构造较为复杂,相交测试相对更加耗时,牺牲了系统性能.

2 基于 Sphere 和 OBB 包围盒的改进碰撞检测算法

2.1 预处理

2.1.1 包围盒的选择

针对导弹飞行视景仿真对象运动速度快,表面

特征复杂的特点,选择 Sphere 包围球快速排出对象不相交的情况;选择 OBB 包围盒,对于表面特征复杂、形状不规则,具有较突出可活动组件的对象,根据其几何特点进行紧密的包围,减少相交测试的包围盒数目.

2.1.2 构造层次二叉树

传统上、中、下三层包围盒结构存在的问题如下:

① 中间层加重更新负担.由于整个中间层都是由双层包围盒构成,故在更新阶段,中间层节点将需要耗费双倍的工作量.

② 中间层的宽度很难控制.中间层的宽度若过宽,虽然能很好的起到避免上下层直接接触的目的,但是会给更新带来过重的负担;中间层若是过窄,虽然更新上相对节省了时间,但是就起不到很好的避免上下层接触的作用.

介于以上问题,本文提出一种基于 Sphere 和 OBB 包围盒的改进碰撞检测算法,从分层式结构出发建立包围盒树.包围盒树的上层使用 Sphere 包围球,对象发生旋转后不需要更新,可快速排除不可能发生碰撞的情况.下层使用 OBB 包围盒,保证对象发生碰撞时检测的精确度.由于基本都是单层结构,此层次树的构建和更新都相对简单,而且 Sphere 和 OBB 结构因其自身的特点,可以巧妙的避免缓冲层的存在.

2.2 相交测试

首先对不会发生碰撞的物体进行快速排除,然后对可能碰撞的物体进行进一步检测.本文算法首先用上层 Sphere 包围球进行相交测试,快速排除不可能发生碰撞的物体,若包围球相交再进行 Sphere 与 OBB 包围盒和 OBB 包围盒之间的相交测试.

判定两个包围球(d_1, r_1)(d_2, r_2)是否相交,只需判断两球心距离是否小于两球半径之和^[5].若 $|d_1 - d_2| < r_1 + r_2$,则两个包围球相交.为计算简便,公式简化为:

$$(d_1 - d_2)^2 < (r_1 + r_2)^2 \quad (3)$$

1.2.1 Sphere-OBB 相交测试

两个包围盒分别位于包围盒树的不同层次时进行 Sphere-OBB 相交测试,测试算法如下:采用分离轴理论进行相交测试,共有 3 个分离轴, S 为 OBB 中心到 Sphere 圆心的距离, Z 为一个分离轴, r_x 为包围盒 X 在 Z 上的投影半径, r_y 为 S 在球内的部分在 Z 上的投

影, 公式如下:

$$|S \cdot Z| > r_x + r_y \quad (4)$$

若上式成立, 则两包围盒不相交, 否则继续判断包围盒在其他两个分离轴上的投影是否重叠, 若三个投影公式都不成立, 则两个包围盒相交.

2.2.3 OBB 包围盒之间的相交测试

两个包围盒都位于包围盒树的下层时进行 OBB 包围盒之间的相交测试. OBB 包围盒基于分离轴理论进行相交测试, 两个 OBB 包围盒共有 15 个分离轴, 当且仅当一个方向上分离轴投影不重叠, 包围盒就不相交. 两个 OBB 包围盒的相交测试需进行 15 次比较运算、60 次加法运算、81 次乘法运算和 24 次绝对值运算^[6]. T 为 A 包围盒中心到 B 包围盒中心的距离, L 是一个分离轴, r_a 、 r_b 分别是 A、B 在 L 上的投影半径, 公式如下所示:

$$|T \cdot L| > r_a + r_b \quad (5)$$

若上式成立, 则可以判定两个 OBB 不相交, 否则继续判定余下的分离轴, 如果所有分离轴都不能满足这个条件, 那么两个 OBB 相交.

2.3 整体算法流程

空间中两个对象的相交测试是碰撞检测的核心部分, 相交测试从两个对象 A、B 的根结点开始. 首先, 确定两个节点在各自包围盒树里所属的层次, 如果都属于上层, 则执行 Collide_Sphere_Sphere(A,B), 如果都属于下层, 则执行 Collide_Obb_Obb(A,B), 如果属于 A 上层, B 属于下层, 执行 Collide_Sphere_Obb(A,B), 否则执行 Collide_Sphere_Obb(B,A), 如果 A 与 B 不相交, 那么它们的子节点都不相交, 如果 A 和 B 相交, 则判断 A 和 B 是不是叶子节点, 如果不是, 则选择 A 或 B 的孩子节点继续执行上述步骤, 如果 A 和 B 都是叶子结点, 则进行基本几何元素的相交测试, 这里基本几何元素假设为三角形, 则进行三角形的相交测试. 算法的流程如下:

```
Collide_recursive(A,B)
{
    确定 A 和 B 所在层次;
    If(A∈上层且 B∈上层 );
        Collide_Sphere_Sphere(A,B);
    Else if(A∈下层且 B∈下层 )
        Collide_Obb_Obb(A,B);
}
```

```
Else if(A∈上层且 B∈下层 )
    Collide_Sphere_Obb(A,B);
Else Collide_Sphere_Obb(B,A);
If(A 与 B 相交)
{
    If(A 是叶子节点)
    {
        If(B 是叶子节点)
        ReTrun Collide_tri_tri(A,B);
        Else B= 取叶子节点(B);
    }
    Else A= 取叶子节点(A);
}
Collide_recursive(A,B);
}
Else Return False;
```

3 实验结果与分析

本实验平台是基于 Vega Prime/vc8.0 的导弹飞行视景仿真系统, 测试环境为 2.66GHz 的 Core i5 CPU, NVIDIA GeForce 9800GT 显卡, 1GB 显存, 测试内容为时间与是否穿透. 时间是指导弹飞行视景仿真系统完成一次视景仿真所花费的时间, 即导弹从发射、助推、制导, 并最终击毁目标所用的时间. 穿透是指在三维场景中是否有实体相互穿透的现象. 通过多次对比实验, 得到如下数据如表 1.

表 1 新型碰撞检测算法对仿真系统的影响

| 试验次数 | 相交矢量碰撞检测算法 | | OBB 包围盒算法 | | 优化碰撞检测算法 | |
|-------|------------|----|-----------|----|----------|----|
| | 时间/s | 穿透 | 时间/s | 穿透 | 时间/s | 穿透 |
| 第 1 次 | 20.3 | 否 | 24.4 | 否 | 21.6 | 否 |
| 第 2 次 | 21.1 | 是 | 25.2 | 否 | 21.5 | 否 |
| 第 3 次 | 20.4 | 是 | 24.1 | 否 | 21.4 | 否 |
| 第 4 次 | 20.8 | 否 | 24.2 | 否 | 22.1 | 否 |
| 第 5 次 | 21.0 | 是 | 24.8 | 否 | 21.8 | 否 |

通过表中数据可以看出, 使用相交矢量碰撞检测算法时, 导弹飞行视景仿真系统会经常出现“穿透”现象. 运用 OBB 包围盒碰撞检测算法虽未出现“穿透”现象, 但增加了系统仿真时间, 牺牲了系统效能. 而使用本文提出的优化的混合包围盒碰撞检测算法, 系统没有出现“穿透”现象, 并且碰撞检测时间较 OBB 包围盒碰撞检测算法大大减少, 与相交矢量碰撞检测算

法的时间耗费相差不多. 这说明, 本文提出的优化的混合包围盒碰撞检测算法在满足了导弹飞行视景仿真系统精度需求的同时, 还保证了系统效能和仿真速率. 图 1 和图 2 为基于优化的碰撞检测算法在导弹飞行视景仿真系统中的三维效果图.



图 1 导弹拦截飞机的视景仿真效果图



图 2 导弹击毁飞机的碰撞检测效果图

4 结语

本文设计并实现了一种基于 Sphere-OBB 的混合包围盒碰撞检测算法, 该算法既具有 Sphere 包围球旋转时包围盒更新计算量小、构造与检测快速, 又具有 OBB 包围盒紧密性高的优点. 将该算法运用于导弹飞行视景仿真系统, 测试结果表明在精确性和实时性方面都取得良好的效果.

参考文献

- 1 王孝平,董秀成.运动物体仿真中的碰撞检测研究.西华大学学报,2013,32(5):15-17.
- 2 杜星玥,卢昱,陈立云,温媛.视景仿真中的新型高效碰撞检测算法研究.计算机应用与软件,2013,30(7):271-275.
- 3 崔娜.三维场景中碰撞检测的研究[学位论文].北京:燕山大学,2013.
- 4 郑延斌,郭凌云,刘晶晶.运动物体仿真中的碰撞检测研究.计算机工程与科学,2013,35(4):87-92.
- 5 文卫蔚,范利君,白云菲.基于 Sphere 和 OBB 混合的碰撞检测算法.Software,2011,32(5):21-23.
- 6 王伟.虚拟现实中碰撞检测关键技术研究[学位论文].长春:吉林大学,2011.