

# 包围盒碰撞检测算法应用研究

宋强<sup>1,2</sup>, 宋玲芝<sup>3</sup>, 康凤举<sup>1,2</sup>, 谢攀<sup>1,2</sup>

SONG Qiang<sup>1,2</sup>, SONG Ling-zhi<sup>3</sup>, KANG Feng-ju<sup>1,2</sup>, XIE Pan<sup>1,2</sup>

1.西北工业大学 航海学院, 西安 710072

2.水下信息处理与控制国家重点实验室, 西安 710072

3.内蒙古自治区二连浩特市气象局, 内蒙古 二连浩特 011100

1. Marine College, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

2. National Key Laboratory for Underwater Information Processing and Control, Xi'an 710072, China

3. The Weather Bureau of Erenhot City in Inner Mongolia Autonomous Region, Erenhot, Inner Mongolia 011100, China

E-mail: songqiang666@163.com

SONG Qiang, SONG Ling-zhi, KANG Feng-ju, et al. Research and application of bounding box collision detection technique. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(24): 238-240.

**Abstract:** Collision detection is a key technique in application of visual simulation. The bounding box hierarchy arithmetic based on OBBTree is researched and it is applied in visual simulation system. This arithmetic establishes an Oriented Bounding Box (OBB) which closes the object closely and establishes OBB Tree from top to bottom, then uses separating axis way to estimate whether two OBB boxes are intersected. The effect of "Equipment Lay out in Virtual Storehouse System" visual simulation system which uses this arithmetic is favorable in real time character and reality character.

**Key words:** visual simulation; collision detection; bounding box hierarchy; Oriented Bounding Box(OBB)

**摘要:**碰撞检测是视景仿真应用中的关键技术,研究了基于 OBBTree 的包围盒层次碰撞检测算法,并在视景仿真系统中得到实现。该算法首先创建能够紧密包围物体的 OBB(Oriented Bounding Box)包围盒,并自上而下地创建 OBB 树,然后采用“分割轴”(separating axis)方法快速检测两个 OBB 包围盒是否相交。使用该算法进行碰撞检测的“虚拟仓库设备布放系统”在实时性和逼真性方面都取得了很好的效果。

**关键词:**视景仿真;碰撞检测;包围盒层次法;方向包围盒

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.24.072 **文章编号:** 1002-8331(2009)24-0238-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 引言

碰撞检测是视景仿真中的重要研究内容,也是虚拟环境中产生沉浸感的重要手段,它可以使用户以更自然的方式与仿真系统中的场景对象进行交互<sup>[1]</sup>。碰撞检测也是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、计算几何、机器人和自动化、工程分析、计算机图形学等领域中重要课题。

虚拟场景中动态物体与静态物体之间或动态物体与动态物体之间的交互基础就是碰撞检测。精确的碰撞检测对于提高视景仿真系统的逼真度、增强虚拟环境的沉浸感有着至关重要的作用。而虚拟环境自身的复杂性和实时性也对碰撞检测提出了更高的要求。碰撞检测的关键问题是在大量复杂物体的环境下提高检测的实时性和精确性,而这两者是矛盾的,需要结合问题的需要考虑两者之间的平衡关系。

三维视景仿真普遍采用三维视景仿真软件 Vega 作为图形驱动引擎。它是美国 MultiGen-Paradigm 公司推出的一种用于实时仿真及虚拟现实应用的高性能软件环境和工具。Vega 软件提供了碰撞检测的相交矢量方法来帮助用户完成一些简单

碰撞检测和相交测试。Vega 自带的碰撞检测方法(如 BUMP 算法, VOLUME 算法),在场景复杂、运动体很多且对碰撞发生的部位要求很精细的情况下,检测过程将耗费计算机大量的资源,难于保证系统的实时性。

大型仓库内设备的布放是个复杂的系统问题,在保证设备安全性和设备存取、查看方便性的前提下,仓库应该容纳尽可能多的货物。利用人工和实物进行试验以寻求最优化的布放方案,需要花费大量的时间和人力;或者通过建立准确的数学模型以求解最优化方案,但数学模型的建立是十分困难的,且对于设备存取和查看的方便性很难进行量化。而利用虚拟现实技术构建虚拟仓库和设备,由用户在计算机上与系统进行直观且方便地交互,可以取得良好的效果。

研究并设计了基于 OBBTree 的包围盒层次碰撞检测算法,在“虚拟仓库设备布放”视景仿真系统中得以应用,在实时性和逼真性方面都取得了良好效果。

## 2 碰撞检测概述

简单地讲,碰撞检测(Collision Detection)就是检测虚拟场

**作者简介:**宋强(1983-),男,硕士生,研究方向为系统仿真、虚拟现实;宋玲芝(1962-),工程师,研究方向为气象与环境建模。

**收稿日期:**2008-05-08 **修回日期:**2008-07-31

景中不同对象之间是否发生了碰撞。如果直接对物体几何元素之间进行碰撞检测的遍历, 当物体结构很复杂或者物体数量很多时, 计算复杂程度极高, 在计算速度上是不允许的, 达不到虚拟环境中所要求的实时性要求, 也不能做到环境与用户的实时交互。碰撞检测算法的实质就是在实时性和精确性之间达到平衡。目前已有多种碰撞检测的方法, 主要有空间分解法<sup>[1]</sup>和包围盒层次法<sup>[2-3]</sup>两大类。

空间分解法是将虚拟空间分解为体积相等的小单元格, 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。典型的空间分解法有八叉树(Octree)法和二叉空间剖分(Binary Space Partition)法。空间分解法由于存储量大及灵活性不好, 使用不如包围盒层次法广泛。

包围盒层次法是碰撞检测算法中最广泛使用的一种方法, 它曾经在计算机图形学的许多应用领域(如光线跟踪等)中得到深入的研究。包围盒层次法的基本思想是用体积略大而几何特性简单的包围盒来近似地描述复杂的几何对象, 进而通过构造树状层次结构可以越来越逼近对象的几何模型, 直到几乎完全获得对象的几何特性, 在对物体进行碰撞检测时, 先对包围盒求交, 求包围盒的交比求物体的交简单, 因此可以快速排除许多不相交的物体, 若相交则只需对包围盒重叠的部分进行进一步的相交测试, 从而提高了算法的计算速度。显然, 包围盒对于判断两个几何对象不相交是十分有效的。包围盒相交, 并不意味着两个几何对象一定相交, 所以包围盒的选择应该满足既简单又紧密的要求。

假设物体  $A$  和  $B$  要进行碰撞检测, 则首先建立它们的包围盒树。包围盒树中, 根节点为每个物体的包围盒, 叶节点则为构成物体的基本几何元素(如三角片), 而中间节点则为对应于各级子部分的包围盒。包围盒层次法碰撞检测算法的核心就是通过有效地遍历这两棵树, 以确定在当前位置下, 对象  $A$  的某些部分是否与对象  $B$  的某些部分发生碰撞。

包围盒层次中由于包围盒的不同又分为 AABB、OBB、K-DOP 等多种类型。对于不同的包围盒类型, 评价其优劣的标准, 可借助一个耗费函数来分析<sup>[4]</sup>:

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

其中:  $T$  是碰撞检测的总耗费。  $N_v$  是参与重叠测试的包围盒的对数,  $C_v$  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节点的个数,  $C_u$  是修改一个节点的耗费。

对于耗费函数中的最后一项, 有的算法不需要对包围盒层次修改, 因而没有此项耗费, 这是因为这些算法中物体的包围盒是在物体的局部坐标系中计算的, 只是在对包围盒做重叠测试时, 才根据物体的位置和方向将包围盒变换到全局坐标系中, 如 OBBTree 算法。另一些算法则是在全局坐标系中计算物体的包围盒, 因而, 每当物体运动时, 物体的包围盒层次要重新计算, 如 K-DOP 算法。

根据这一耗费函数, 可以推测, 理想的包围盒应满足如下要求:

- (1) 在各层次上紧凑地逼近输入模型及其子部分, 以减少  $N_v$ 、 $N_p$ ;
- (2) 支持快速为一对包围盒做重叠测试, 以减少  $C_v$ ;
- (3) 当物体旋转或平移时, 支持对其包围盒层次中节点的快速修改, 以减少  $C_u$ 。

### 3 基于 OBBTree 的包围盒层次碰撞检测算法及其实现

OBB(Oriented Bounding Box)是三维空间中的任意方向的长方体包围盒, 如图 1 所示。

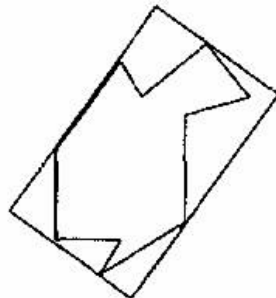


图 1 OBB 包围盒

OBBTree 算法采用向性包围盒(OBB)作为物体及其子部分的包围盒, 组成 OBB 树。算法的主要特点是采用了一个“分割轴”方法来检测两个包围盒是否相交, 此方法大大加速了包围盒测试过程, 从而从整体上加速了算法。此外, 该算法力图使包围盒与物体很紧凑, 以提高包围盒检测命中效率。

#### 3.1 构建 OBB 包围盒

首先将所有多于三条边的多边形分割成三角片, 即把物体表面三角化。然后采用一阶和二阶方法对构成物体的所有三角片的顶点进行统计, 分别求得均值  $U$  和协方差矩阵  $C$ 。设第  $i$  个三角片的顶点是  $p^i$ 、 $q^i$ 、 $r^i$ , 则有

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

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

其中,  $n$  是三角片个数,  $\overline{p} = p - \mu$ ,  $\overline{q} = q - \mu$ ,  $\overline{r} = r - \mu$  每一个都是  $3 \times 1$  矩阵。

$C$  是一个对称矩阵, 而对称矩阵的特征根是正交的。将  $C$  的 3 个特征根归一化, 作为一个基。沿基的每个轴向, 找到轴向的极点顶点, 根据各轴向上的极点顶点来规定 OBB 的大小, 将基的轴向作为 OBB 的方向, 使 OBB 包围各轴上的极点顶点。因为这 3 个特征向量中有两个分别表示了最大和最小的方差方向, 所以, 这样构造出的 OBB 将沿着这些方向, 使之与物体很紧凑。

#### 3.2 组成 OBB 树状结构

创建包围盒层次结构的方法通常有两种: 自底向上和自顶向下。自底向上方法首先为组成物体的每个三角形分别计算包围盒, 然后将它们逐渐合并成更大的包围盒, 直到构成一棵树。自顶向下方法首先为整个物体计算一个包围盒, 然后递归地对物体进行剖分, 直到所有叶节点不可再分。

OBB Tree 采用了自顶向下方法。其剖分规则是: 首先将包围盒的最长轴用一个垂直于该轴的平面来剖分, 剖分的位置选为包围盒中所有顶点的均值位置。然后根据多边形型的中点在平面的哪一边来对包围盒中所有的多边形分类。采用此规则, 如果最长轴无法剖分, 则选用次长轴, 若次长轴仍无法剖分, 则选用最短轴, 如果仍然无法剖分, 则包围盒中的形体定义为不可分的, 作为 OBB 树中的叶节点。

若选用中值中点为剖分位置, 则生成的 OBB 树为平衡树,

在作碰撞检测时可得到最坏情况下的优化结果。但很难评估树的平均情况下的结果,它与特定场景有关,没有一个简单的算法可在任意情况下都获得优化结果。

创建 OBBTree 的算法伪代码如下:

```
Build_hierarchy(triangles) //设输入 n 个三角形
{
  for(每个三角形){计算其面积、均值点和协方差分量,并保存;
    利用统计公式得到所有三角形的总面积,总均值点 m 和协方差矩阵;
    计算协方差矩阵的 3 个特征根向量,即 OBB 方向轴,排序保存在矩阵 E;
    for (i=0;i<n;i++) t[i]=i; //初始化三角形索引数组 t;
    为 OBBTree 的 2n 个 OBB 结构分配数组空间 boxes[2n],boxes[0] 作为根节点;
    Box_counter=1;
    Split_recursive(box[0],E,m,t,n); //调用递归剖分算法
  }
}
```

给定一个有  $n$  个三角片的模型,为其创建 OBB 树的时间为:若使用凸包为  $O(nlg^2n)$ ,若不使用凸包为  $O(nlgn)$ 。

### 3.3 OBB 的相交测试

给定两个物体的 OBB 树,判断两个 OBB 是否相交,该算法采用了一种“分割轴”(separating axis)方法:将包围盒投影到某一轴线上(不必是坐标轴),称为轴线投影,在此轴线上,每个包围盒有一个区段,若这些区段都不重叠,则此轴线称为一个分割轴,此时,这些包围盒必然不相交;若区段有重叠,则需做进一步检测,以确定包围盒是否相交。

可以证明<sup>[4]</sup>,若三维空间中两个多面体不相交,可以找到这样的一个将它们分开的平面:该平面或者与一多面体的一个面平行,或者分别与两多面体的各一条边平行。因而,两个凸多面体不相交的充要条件是:存在一个分割轴,该轴或者垂直于一多面体的一个面,或者垂直于两多面体的各一条边。每个 OBB 有 3 个面方向,3 个边方向,因而最多只需测试 15 种可能的轴就可以判断出两个 OBB 是否不相交:即一个 OBB 的 3 个面,另一个 OBB 的 3 个面,以及两个 OBB 的各 3 条边的 9 种组合。如果两 OBB 不相交,则 15 种可能的轴中必然有一个是分割轴;若两 OBB 相交,则 15 种可能的轴中必然没有分割轴。

## 4 OBBTree 算法在视景仿真系统中的应用

基于 Creator3.0 和 Vega 1.8,设计实现了“虚拟仓库设备布放系统”,在虚拟场景中进行设备的布放,从而为仓库内存放设备的管理和布放安排服务。整个场景中共有 300 多个 3D 模

型,若使用 Vega 自带的碰撞检测方法(如 BUMP 算法 VOL-UME 算法),则将耗费计算机大量的资源,难于保证系统的实时性。

因此,该系统在 Vega 中嵌入自己编写的基于 OBBTree 的碰撞检测算法实现碰撞检测。采用基于 OBBTree 的碰撞检测算法后,该视景仿真系统完全达到了实时性(刷新频率为 30 帧/s)和逼真性方面的要求,取得了很好的效果。如图 2 所示,在虚拟仓库中布放汽车,红线框所示的包围盒保证在该车的布放过程中不会与其他车发生碰撞。



图2 在虚拟仓库中布放汽车

## 5 结束语

碰撞检测是视景仿真应用中的关键技术。设计实现了一种基于 OBBTree 的包围盒碰撞检测算法,并在“虚拟仓库设备布放”视景仿真系统中得以应用,取得良好的效果。必须说明,仿真场景的高度复杂性和仿真要求的不同,处理场景中物体间碰撞的方式也不尽相同,许多情况下需要多种方法结合使用。因此,灵活地选取不同地碰撞算法或其组合,才能取得较好地仿真效果。

## 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.
- [2] Hubbard P M.Approximating polyhedral with sphere for time-critical collision detection[J].ACM Transaction on Graphics,1996,15(3):179-210.
- [3] Martinez Salvador B,del Pobol A P,Perez-Francisco M.Very fast collision detection for practical motion planning[C]/IEEE International Conference on Robotics and Automation,1998,1(5):624-629.
- [4] 周云波,闫清东,李宏才.虚拟环境中碰撞检测算法分析[J].系统仿真学报,2006,18(8):103-107.
- [5] 吴明华,余永翔,周济.采用空间分割技术的八叉树干涉检验算法[J].计算机学报,1997,20(9):849-854.

(上接 224 页)

论了基于三角模糊数的专家群判断体的共识性的分析方法,构造出决策者权威性和决策群体意见共识性的综合集结模型;采用三角函数可能度的方法得到了科研基金立项评估顺序。这种方法综合考虑了信息的模糊性、专家群体的共识性和决策者的专业权威性,结果表明,该方法使评价结果更接近客观现实。

## 参考文献:

- [1] Olcer A I,Odabasi A Y.A new fuzzy attributive group decision making methodology and its application to propulsion/manoeuvring

system selection problem[J].Journal of Operational Research,2005,166:93-114.

- [2] 陈晓红,阳熹.一种基于三角模糊数的多属性群决策方法[J].系统工程与电子技术,2007,30(2):278-282.
- [3] 张尧,樊治平.具有部分指标权重信息的语言多指标决策方法[J].系统工程与电子技术,2006,28(12):1826-1829.
- [4] 李勇平.ASP.NET(C#)基础教程[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [5] 王雄,吴庆田.基于模糊语言的科研基金项目立项评估研究[J].科技进步与对策,2007,24(9):61-63.
- [6] 王成,陈中文.科研基金项目评审的模糊群决策方法[J].武汉理工大学学报,2006,28(1):124-126.