

文章编号:1007-130X(2010)04-0059-03

基于 ABB 包围盒的碰撞检测算法的研究^{*}

Research of Collision Detection Algorithms Based on ABB

王晓荣,王 萌,李春贵

WANG Xiao-rong, WANG Meng, LI Chun-gui

(广西工学院计算机工程系,广西 柳州 545006)

(Department of Computer Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)

摘 要:利用虚拟空间中对象运动的特性和 ABB 包围盒的构造特性,改进了基于 ABB 层次包围盒的碰撞检测算法。传统的该类算法分为两个检测过程,在初步检测过程中,基于运动对象碰撞行为的局部性,改进了原来的排序方法,采用希尔排序。为了提高检测效率,在相交测试之前将检测对象细分,划分测试区域,避免了不必要的相交测试;在对可能相交的对象进行精确检测过程中,基于 ABB 包围盒的构造特性,对可能碰撞对象的层次包围盒树进行压缩存储,通过减少算法的存储空间来提高算法的检测速度。对算法的两个检测过程同时进行改进,实验表明在检测对象较多的情况下减少了算法所需的执行时间。

Abstract: An improved collision detection algorithm based on ABB is presented. Collision is a local behavior, during the sorting procedure, each axis is cut into a series of segments containing the same number of projection intervals. This will avoid needless intersecting test of ABB. And Shell sorting is adopted. Then the storage of the ABB tree is compressed. This way can save a large amount of space and speed up the algorithm.

关键词:碰撞检测;包围盒树;相交测试;希尔排序;压缩存储

Key words: collision detection; bounding-box tree; intersecting test; Shell sorting; memory-optimized

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2010.04.017

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

1 引言

快速而精确的碰撞检测是虚拟现实的一项关键技术。虚拟环境和虚拟对象的几何复杂度及实时性要求使得碰撞检测的计算复杂度大大提高,碰撞检测模块需要占用相对多的存储空间和处理时间。在保证要求的精确性的情况下,碰撞检测算法采用了一系列方法来提高检测速度。例如,层次包围盒方法利用近似的几何体代替原物体,可以很快排除不相交的物体,只有当包围盒发生碰撞时才检测两个物体之间的几何元素之间的碰撞情况,提高了检测速度。

包围盒类型的选择是层次包围盒方法的关键,对于碰撞检测的包围盒一般受简单性和紧密性的约束^[1]。常用的包围盒类型有轴对齐包围盒 ABB (Axis-Aligned Boun-

ding Box,简称 ABB)、球包围盒 (Sphere)、方向包围盒 OBB (Oriented Bounding Box,简称 OBB) 和 k-Dops (Discrete Orientation Polytopes,简称 Dops)。

ABB 包围盒在碰撞检测的研究历史中使用得最久最广泛。它平行于空间坐标,构造简单,同时适用于刚体和软体的碰撞检测。基于 ABB 的层次包围盒碰撞检测算法的执行速度主要受三个方面的影响: ABB 包围盒间的相交测试、ABB 树的遍历和基本几何元素的相交测试。为了提高算法的执行速度,潘振宽等^[2]对 ABB 包围盒进行了压缩存储,减少了存储 ABB 树所需的内存空间;Li C F 等^[3]对 ABB 的相交测试进行了优化。本文将结合上述改进方法来优化传统的基于 ABB 层次包围盒的碰撞检测算法,减少算法所需的内存空间,提高检测速度。

^{*} 收稿日期:2009-03-26;修订日期:2009-06-19

基金项目:广西教育厅科研项目(200808LX341,200808LX338);广西工学院基金项目(院科硕 0816219,院科自 08104202)

作者简介:王晓荣(1978-),女,湖北当阳人,硕士,讲师,研究方向为虚拟现实和遗传算法;王萌,硕士,讲师,研究方向为自然语言处理、人工智能和数据库;李春贵,博士,副教授,研究方向为机器学习和智能系统。

通讯地址:545006 广西柳州市广西工学院计算机工程系;Tel:13407869066;E-mail:ccnuxnxs@163.com

Address:Department of Computer Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou, Guangxi 545006, P. R. China

2 改进算法

2.1 算法描述

假设虚拟场景中有 n 个对象,由于包围盒间的相交测试比对象间的相交测试简单,所以为每个对象构造其 AABB 包围盒,通过包围盒间的相交测试快速排除不可能相交的对象对;再对可能相交的对象采用自上而下的方法构造其层次包围盒即 AABB 包围盒树,通过遍历包围盒树找到可能相交的叶节点,对叶节点包含的几何元素进行精确的相交测试,从而判断对象对是否发生碰撞。AABB 包围盒的相交测试速度决定了算法在初步检测阶段的时间耗费,本文基于对象运动的时空相关性改进了 AABB 相交测试的方法,同时基于 AABB 包围盒的数学特性,算法在精确检测阶段根据包围盒树的构造方法来压缩存储包围盒树,减少算法所需内存,提高算法的检测速度。

2.2 AABB 的相交测试改进

在全局搜索阶段,用 AABB 包围盒来近似每个对象,通过对 AABB 包围盒间的相交测试可以快速确定可能相交的对象对。两个 AABB 包围盒相交当且仅当它们在三个坐标轴上的投影区段都有重叠,所以这里将 AABB 包围盒的相交测试转化到一维空间来解决,通过对 AABB 包围盒在 x 、 y 、 z 三个坐标轴上的投影排序来确定相交的 AABB 包围盒。传统算法如 F-Collide 算法中对投影序列采用的是插入排序法,本文采用希尔排序并对排序过程进行了改进。

在排序过程中先将每个坐标轴划分为一系列包含相同数目投影区间的子段。当每个坐标轴上的投影区间数不能等值划分时,使得最后一个子段的投影区间数小于前面的子段含有的投影区间数。例如,在某个坐标轴上有 70 个投影区间,需要划分为 4 个子段,则前 3 个子段含有 20 个投影区间,第 4 个子段含有 10 个投影区间。一般来说,坐标轴划分得越细,算法的执行速度将越快。但是,不能无限制地划分下去,在一个方向上一个 AABB 包围盒只能被划分一次。图 1 中对象 N 被划分了两次,则中间斜线阴影部分将不会参与碰撞检测。而且在实际应用中,一般也不需要通过细分坐标轴来提高算法的执行性能。如果在应用中碰到了体积非常大的对象,在执行碰撞检测之前算法也会通过预处理过程将对象划分为一些体积较小的部分,以方便算法的执行。进行坐标轴划分后,重叠测试将被限制在每个子段里进行,这样相距较远的对象之间就不会互相影响,从而减少了需要进一步进行碰撞检测的对象对数。

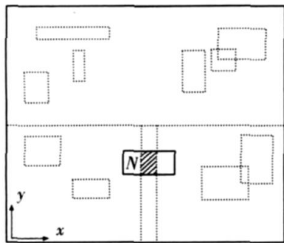


图 1 轴划分的限制

但是,需要注意的是,坐标轴划分方法虽然被认为是一个相等划分策略,但却不同于空间划分方法。传统的空间划分方法划分一个仿真空间为相等大小的单元,然而对所有的虚拟空间而言无法选择一个最好的划分尺寸。坐标轴划分考虑的是对象而不是空间。

2.3 AABB 树的存储改进

2.3.1 建立平衡的 AABB 树

将对象的整体 AABB 包围盒作为其平衡二叉树的根节点,此节点包含了组成该对象的所有三边形。采用如下方法递归地对每个节点操作,直到叶节点只包含规定数目的三角形:(1)采用基于分裂平面^[4]的方法将根节点的 AABB 包围盒划分成左右两个子节点。(2)分裂平面的选择是使 AABB 包围盒树平衡的关键,首先确定分裂轴,使用最长轴方法,即选择的方向轴是 AABB 在此方向上最长的;而后确定分裂点,选择根节点集合中所有基本几何元素的中心点在分裂轴上的投影,以最小点和最大点为两个中心点,按距离将所有投影点分为两组。将距离中心点等距的点归入含投影点少的一组。建立平衡的 AABB 树提高了遍历 AABB 树的效率。

2.3.2 叶节点的压缩存储

文献[2]对 AABB 树中的内部节点进行了存储压缩,减少了存储 AABB 树所需的字节数。本文在此基础上进一步对 AABB 树的叶节点进行压缩存储,减少算法的执行时间和存储空间。

AABB 树叶节点的常规存储结构包括 AABB 包围盒信息和三角形索引两个域。应用 Möller^[5,6]提出的快速三角形与三角形相交测试和快速三角形与包围盒相交测试算法,两个测试对象的 AABB 树重叠测试过程中涉及到叶节点的重叠测试都可以不用到包围盒信息而直接用三角形进行测试,这样就可以从叶节点的存储结构中删去包围盒信息。叶节点的存储结构中只有三角形的索引信息,此时就不必再用一个独立的节点表示叶节点。将三角形索引存放到父节点中,从包围盒树的存储空间中删除叶节点。叶节点的三角形索引在父节点中存放时不需要为父节点分配额外的存储空间,直接替换父节点的孩子索引域为孩子叶节点的三角形索引信息。此时,叶节点的父节点结构如表 1 所示。表 1 中标志位的最后两位取值为 1,表示其左右孩子节点均为叶节点。

表 1 叶节点的父节点结构

范围值(12 个字节)									
左子节点 三角形索引 (4 个字节)	右子节点 三角形索引 (4 个字节)	标志位(1 个字节)							
								1	1

一棵含有 N 个叶节点的完全 AABB 树共有 $2 * N - 1$ 个节点,存储 AABB 树时不需要为叶节点分配存储空间,则相当于从包围盒树的节点中删掉了一半的节点。这样大大节省了存储空间,减少了一半的内存需求。

3 实验结果

我们在 PC 机上进行了实验,输入数据是包含不同数

量的模型。对应该类检测算法的两个阶段分别用常用算法和改进的算法进行测试。初步检测阶段对 AABB 包围盒的相交测试实验对比结果如图 2 所示,精确检测阶段对 AABB 树的遍历实验对比结果如图 3 所示。

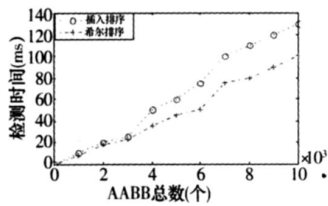


图2 AABB排序方法的比较

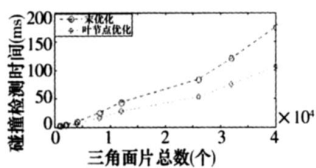


图3 叶节点存储优化前后算法性能比较

从图 2 可以看出,使用改进后的排序方法能提高 AABB 相交测试的速度。由于对象运动的时空相关性,对下一个时间采样点而言,当前时间采样点得到的排序序列可以认为是几乎排好序的序列,即 AABB 的一维投影排序列表在两个时间采样点的改变是微小的。而希尔排序对一个近乎排好序的输入,能够达到 $O(N)$ 的速度,同时也比插入排序要强健。排序前坐标轴的划分也避免了对不必要对象

的相交测试。从图 3 可以看出,在为对象构造包围盒树进行精确检测时,压缩存储内部节点的同时对叶节点进行存储优化,加快了对树的遍历,节省了存储空间,且没有增加额外的时间消耗,提高了算法的执行速度。当检测对象较少时,改进方法所需的检测时间并无明显的减少,但当检测对象或者说对象所包含的基本几何元素(三角面片)较多时,改进方法所需的检测时间明显减少。

4 结束语

本文改进了基于 AABB 层次包围盒的碰撞检测算法。利用改进的排序方法可以快速对对象的 AABB 包围盒进行相交测试,从大量对象中筛选出可能相交的对象对;在此基础上,对可能相交的对象构造平衡的 AABB 树,一定程度上减少遍历 AABB 树所需的时间,然后对 AABB 树的节点进行压缩存储,减少了算法所需的内存空间,同时也加快了算法的执行速度。

参考文献:

[1] 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):1056-1063.
[2] 潘振宽,李建波.基于压缩的AABB树的碰撞检测算法[J].计算机科学,2005,33(2):213-215.
[3] Li C F, Feng Y T, Owen D R J. SMB: Collision Detection Based on Temporal Coherence[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2006, 195 (19-22): 2252-2269.

[4] 泥宗涛,余英林.基于分层包围盒的连续碰撞检测加速算法[J].计算机工程与应用,2000,36(10):24-26.
[5] Tomas M. A Fast Triangle-Triangle Intersection Test[J]. Journal of Graphics Tools, 1997, 2(2): 25-30.
[6] Tomas M. Fast 3D Triangle-Box Overlap Testing[J]. Journal of Graphics Tools, 2002, 6(1): 29-33.

(上接第 54 页)

7 结束语

本文给出了一类可调控的三次多项式曲线,该曲线具有如下特点:

- (1) 是二次 Bézier 曲线的扩展,具有诸多与二次 Bézier 曲线相似的性质。
- (2) 当两个形状参数在取值范围内取不同值时,可得到一组形状不同的曲线,方便设计不同形状的曲线。
- (3) 在控制顶点不变时,可通过修改两个形状参数对整条拼接的曲线进行局部或全局调节,从而使曲线具有了更强的表现能力,为自由曲线设计提供了一种有效的方法。
- (4) 由于带有两个形状参数,使得在设计曲线时更方便、更自由。

与二次 Bézier 曲面类似,可构造张量积曲面,该曲面是双二次 Bézier 曲面的扩展,它不仅具有双二次 Bézier 曲面类似的性质,而且其形状是可调的,限于篇幅,将另文讨论。

参考文献:

[1] Bézier P. The Mathematical Basis of the UNISURF CAD System[M]. England: Butterworths, 1986: 11-72.
[2] Pottmann H, Wangner M G. Helix Splines as an Example of Affine Tchebycheffian Splines[J]. Advances in Computational Mathematics, 1994, 2(1): 123-142.
[3] Piegl L, Triller M. The NURBS Book [M]. 2nd ed. Berlin: Springer, 1997: 141-188.
[4] Marnar E, Peña J M, Sánchez-Reyes J. Shape Preserving Alternatives to the Rational Bézier Model[J]. Computer Aided Geometric Design, 2001, 18(1): 37-60.
[5] 齐从谦,郭弘毅.一类可调控 Bézier 曲线及其逼近性[J].湖南大学学报(自然科学版), 1996, 19(1): 15-19.
[6] 殷明,刘丽,陈国琪.一类可调控的 G^1 连续分段三次多项式曲线[J].安徽农业大学学报, 2005, 32(2): 258-262.
[7] 韩旭里,刘圣军.二次 Bézier 曲线的扩展[J].中南工业大学学报(自然科学版), 2003, 34(2): 214-217.
[8] 吴晓勤,韩旭里.三次 Bézier 曲线的扩展[J].工程图学学报, 2005, 26(6): 98-102.
[9] 吴晓勤.带形状参数的 Bézier 曲线[J].中国图象图形学报, 2006, 11(2): 269-274.
[10] 胡钢,秦新强,刘哲,等. Bézier 曲线的新扩展[J].计算机工程, 2008, 34(12): 64-66.
[11] 莫蓉,常智勇.计算机辅助几何造型技术[M].北京:科学出版社, 2004.