

基于包围盒和空间分解的碰撞检测算法

宋城虎, 闵 林, 朱 琳, 郭拯危

(河南大学 计算机与信息工程学院, 河南 开封 475002)

摘 要:文中提出一种基于包围盒和空间分解的碰撞检测算法,用以解决软体的碰撞检测。算法使用 AABB 包围盒做初步检测,确定可能发生碰撞的物体。再根据包围盒的重叠情况缩小可能发生碰撞的区域,利用哈希表作为数据储存结构进行空间分解,将物体包围盒重叠区域的基本几何元素的空间网格映射到哈希表中,将碰撞区域缩小到基本几何元素,最后用基元碰撞检测找出具体碰撞点。由于前期 AABB 包围盒的处理减少了空间分解阶段需要映射的基本几何元素数量,该算法具有较高的运算速度。

关键词:碰撞检测;空间分解;AABB;哈希表

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)01-0057-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.015

A Collision Detection Algorithm Based on Bounding Box and Spatial Subdivision

SONG Cheng-hu, MIN Lin, ZHU Lin, GUO Zheng-wei

(College of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng 475002, China)

Abstract: A collision detection algorithm based on the bounding volume and spatial subdivision for the collision detection of deformable objects is proposed. The algorithm does preliminary detection with AABB bounding volume boxes to find the objects which may be collided. Then according to the area of overlap of the bounding box reduce the possible collision, use hash table as a data storage structure for spatial decomposition, the spatial grid of basic geometric elements in the object bounding box overlap area is mapped to a hash table, reducing the collision area to basic geometric elements, with primitive collision detection to find out specific collision point finally. Owing to the detection of AABB to reduce the number of object primitives, so this algorithm has a better performance.

Key words: collision detection; spatial subdivision; AABB; hash table

0 引言

碰撞检测(Collision Detection, CD)也称为干涉检测或者接触检测,是虚拟现实技术、系统仿真等领域中的关键性问题。虚拟现实的应用使得使用者可以进入一个由计算机产生的虚拟世界,为保证虚拟环境的真实性,要求参与者能够身临其境地与它们发生各种交互,这就要求物理对象之间能够实时地进行交互活动。这里有两个关键的问题:

(1)要求虚拟现实技术能够进行实时的碰撞检测;

(2)做出相应的碰撞响应动作,从而避免物体间相互穿透的发生^[1]。

刚体和软体是虚拟环境中对象的基本形态,由于软体的形状会随时间变化,和刚体的碰撞检测相比,软体碰撞检测有许多方面与之不同,这使得该问题的复杂性大大增加。在布料仿真^[2]或手术仿真^[3]中,软体的碰撞检测都是一个必不可少的组成部分。

近几十年来,在碰撞检测领域,国内外研究人员已经做了相当多有意义的工作^[4-5]。层次包围盒^[6]和空间分解^[7]作为两个经典算法被广泛运用,层次包围盒算法设计的重点在于包围和类型的选取,常见的包围盒类型有 spheres, DOPs, AABB^[8], OBB。在刚体的碰撞检测中,包围盒显得十分有效,但在物体的形状发生变化后,某些包围盒树(如 OBB)的更新便成为了问

收稿日期:2013-03-18

修回日期:2013-06-24

网络出版时间:2013-11-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61202098)

作者简介:宋城虎(1986-),男,硕士研究生,研究方向为虚拟现实技术;闵 林,教授,研究方向为无线传感器网络;郭拯危,教授,研究方向为无线传感器网络。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1650.048.html>

题。空间分解法能够有效地解决软体的碰撞问题,并且能够检测出自碰撞。空间分解法往往会消耗较大的内存空间和运算时间,因此数据结构的选取十分重要。文献[9]中,哈希表被证明是十分有效的储存结构。在文献[10-11]中证明了空间分解算法的性能与场景中物体的数量无关,它只取决于场景中基本几何元素的数量以及哈希函数的性能和哈希表长度。

文中提出一种 AABB 包围盒与空间分解法相结合的算法,利用 AABB 包围盒减少每个时间点上需要向哈希表映射的基本几何元素数量,从而提高运算效率。

1 算法概述

当场景中存在多个物体时,在一个时间点上往往只有极少数物体会发生碰撞,文中算法首先使用 AABB 包围盒对物体做初步的检测,快速排除不发生碰撞的物体。如果包围盒发生重叠,则可将检测目标缩小到一对物体上。接下来对局部空间进行分解查找发生碰撞的基本几何元素。由于包围盒大于物体,可以判断物体的碰撞点必然在包围盒的重叠区域中,因此只需对重叠区域进行空间分解即可,可避免掉大量多余的计算,这里称为局部映射。空间分解采用哈希表作为储存结构,将目标物体中需要检测的部分的每个基本几何元素所占用的空间网格映射到哈希表中,如果两个物体的某个基本几何元素映射到了同一个网格中则可将目标缩小到占用该网格的基本几何元素对上,再对这些基本几何元素对进行精确的相交测试最后可得出碰撞信息以及碰撞点。算法流程图如图 1 所示。

2 AABB 包围盒阶段

AABB 包围盒的构建十分简单,只需求出物体所有节点在三个坐标轴上的最大值(X_{\max} , Y_{\max} , Z_{\max})和最小值(X_{\min} , Y_{\min} , Z_{\min})就可以得到所对应的两个点,这两个点就确定了此物体的 AABB 包围盒。包围盒的相交测试为判断两个 AABB 包围盒在三个坐标轴上的投影的重叠情况,当且仅当三个坐标轴上的投影均有重叠时包围盒相交。投影区域可由每个坐标轴上的最大最小值得出,这里最多需要 6 次比较运算。

设物体 A 和物体 B 所占用的空间为 F_a, F_b 。它们的 AABB 包围盒所占用的空间为 C_a, C_b 。包围盒大于物体因此 $F_a \subset C_a, F_b \subset C_b$, 如果 A, B 发生碰撞即 $E = F_a \cap F_b$ 且 $E \neq \emptyset$ 则 $E \subset (C_a \cap C_b)$, 因此在接下来的空间分解中,只需将包围盒的重叠区域中包含的基本几何元素映射到哈希表中即可。此过程在下一部分详细介绍。

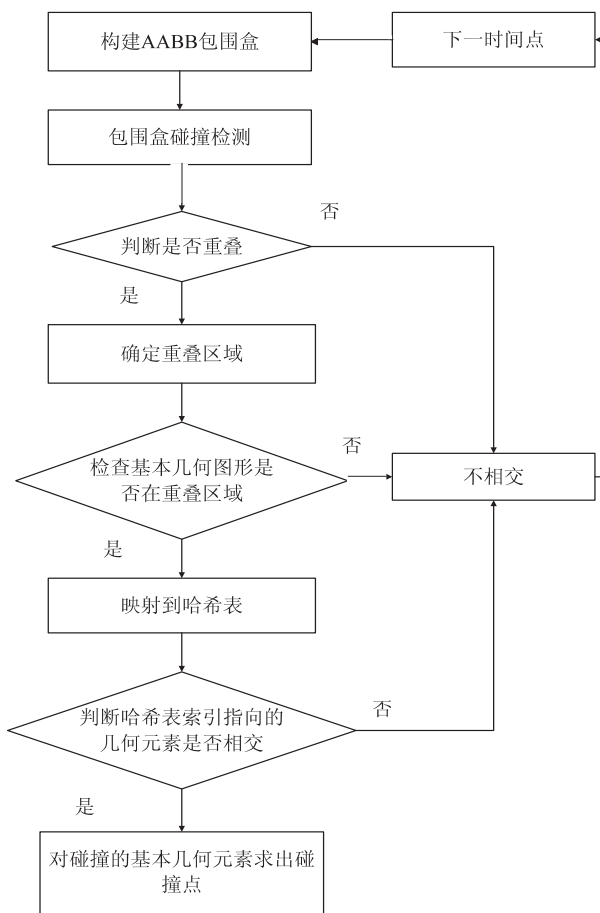


图 1 算法流程图

3 空间分解阶段

3.1 哈希表局部映射

在包围盒的检测阶段,已将检测目标锁定到一对物体上,并且得到了两个 AABB 包围盒的重叠区域,因此这里只对这个重叠区域进行空间分解,用哈希链表做数据的存储结构,储存信息。记此区域为 R ,将 R 分割为边长为 s 的正方体空间网格。 s 的取值在后面单独讨论。对于 R 中的某一个点 $P(x, y, z)$,它所占用的网格可由编号 (i, j, k) 唯一标识,其中, $i = \lfloor x/s \rfloor$, $j = \lfloor y/s \rfloor$, $k = \lfloor z/s \rfloor$ 。对网格的编号是基于整个坐标系的,但在对物体进行映射的时候是局部性的。这里使用三角形作为基本几何元素(四边形、四面体等其他图形也同样可以)。对物体的每个三角形进行一个简单的处理,先对每个三角形创建 AABB,比较三个点各坐标的最大最小值得出包围盒的两个点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$, 先判断一下三角形的包围盒是否与另一个物体的包围盒重叠,如果发生重叠则说明此三角形在两物体包围盒的重叠区域范围内,就需要将它所占用的空间映射到哈希表中。如不相交则排除此三角形。计算出 P_1, P_2 所占用的网格编号为 (i_1, j_1, k_1) , (i_2, j_2, k_2) , 两者之间的连接网络 (i_n, j_n, k_n) 即为此三

角形所占用的空间。用哈希函数 hash 把空间网格(i_n, j_n, k_n) 映射到哈希表索引中去,定义哈希函数:

$$\text{hash} = (m_1 \times i + m_2 \times j + m_3 \times k) \% \text{length}$$

其中, m_1, m_2, m_3 是三个大质数,取值情况影响空间网格在哈希表中的分布情况;len 是哈希表的大小。

哈希表中的每个元素代表了一个空间网格,它指向一个链表,链表中储存占用此网格的三角形信息,之所以是链表是因为同一物体相邻的三角形必然会占用同一网格,因此一个哈希索引中储存着多个三角形信息。当两个三角形占用了同一个网格,不同物体的三角形判断为可能发生碰撞,同一物体的非相邻三角形判断为自碰撞,再对其进行基元碰撞检测^[12]。

3.2 参数分析

空间网格的大小决定了每个三角形占用的空间网格数量,其值太大会使太多三角形映射到同一网格中,太小又会使一个三角形占用过多网格。当网格大小与三角形的 AABB 包围盒尺寸相当时为最优,因此取两物体所有三角形的 AABB 包围盒尺寸的平均值。此时每个三角形所占用的网格数平均为 8。

哈希表的长度影响了哈希冲突的出现几率以及算法的空间复杂度,较短的长度会出现大量哈希冲突,较长的长度会消耗过多的储存空间。为尽可能避免哈希冲突,文中将哈希长度设为两物体三角形总和的 8 倍。

哈希函数中 m_1, m_2, m_3 的取值也影响到了哈希冲突的情况,根据实验 m_1, m_2, m_3 取值不同,哈希冲突出现的位置不同,具体情况还取决于物体的形状与位置,即用到的网格的编号。文中使用三个差值较大的 7 位质数 2 000 689,8 000 981,5 123 693。

3.3 哈希表更新

在对下一个时间点的处理上需考虑场景的特点,第一个是在上一个时间点上被检测的两个物体是否都发生位移;第二个是物体的位移量有多大;再一个是物体的形状变化情况。

在实际应用中,通常并非所有物体都在进行大幅度运动,且变形幅度和范围不会太大。如虚拟手术中一般只有手术刀在做缓慢运动,人体器官只有在与手术刀发生互动以后会有小范围的变形,此类情景下被检测物体在相邻的时间点上对空间网格的占用情况变化很小,因此不需要对整个哈希表进行更新,那样会造成多余的计算量。在下一个时间点计算出基本几何元素的 AABB 包围盒后首先比较该包围盒所占用的空间网格所映射的哈希索引中的信息判断是否一致,如果一致则不作更新,如不一致则把此基本几何元素在上一个时间点中在哈希表中的信息删除后,再将新的信息插入到哈希表中。虽然信息删除需要一些额外运算,但是相对完全更新会减少大量的更新运算。局部

更新的运算量与需要更新的基本几何元素数量相关。

在某些特殊的场景中,可能存在高速运动的物体,物体在相邻时间点间的位移量超过了 $s/2$,或者物体在旋转,大规模地发生变形,这就意味着每个时间点大部分基本几何元素所占用的空间网格发生了变化,此时就不适合做局部更新,在下个时间点重新构造哈希映射即可。

4 实验分析

实验环境为 ADM Athlon(tm)II 2.8 GHz CPU,2 G 内存,NVIDIA GeForce GT 220 显卡。使用 VC6.0,OpenGL 编程实现算法。使用 4 对物体进行碰撞测试,如图 2 所示。

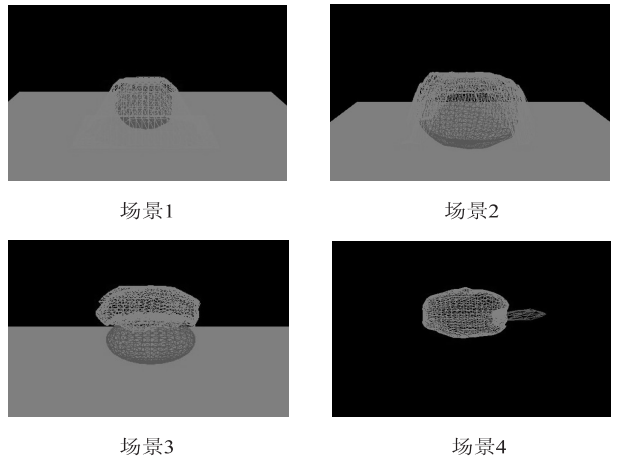


图 2 碰撞测试

场景 1 中采用形状简单的圆球和平面布进行碰撞测试;场景 2 中采用粗糙的石块和褶皱的布进行测试;场景 3 用两个闭合模型进行测试;场景 4 使用面数较少的刚体对大体积软体进行碰撞。前三种情况的哈希表判定为完全更新,第四种情况哈希表判定为局部更新。将文中的算法与对物体所有基本几何元素映射到哈希表的方法进行比较,见表 1。

表 1 测试结果

	物体 A 面数	物体 B 面数	整体映射/ms	局部映射/ms
场景 1	960	1 060	3.914	2.183
场景 2	2 208	3 200	16.157	14.741
场景 3	960	2 208	8.189	5.462
场景 4	96	2 208	0.917	0.132

由实验结果看出,利用 AABB 包围盒的重叠区域减少空间分解时需要映射的三角形数量后,运算速度得到提升。对于两物体接触面以及变形区域较小的情况下运算速度的提升尤为明显。

5 结束语

文中提出一种基于包围盒和空间分解的碰撞检测

算法,用以解决软体的碰撞检测。算法使用 AABB 包围盒做初步检测,快速排除掉不发生碰撞的物体。再对可能发生碰撞的物体在包围盒的重叠范围内进行空间分解,使用哈希表作为数据储存结构,找出可能发生碰撞的基本几何元素对,检测出具体碰撞点。并能够判断是否是自碰撞。对哈希表的更新分两种情况处理。由于大幅度缩小了空间分解的区域,以及有针对性的更新,该算法拥有较高的运算效率。

参考文献:

- [1] Lin M, Gottschalk S. Collision detection between geometric models: A survey [C]//Proceedings of IMA conference on mathematics of surfaces. Birmingham, UK; Eurographics Association, 1998: 37–56.
- [2] Bridson R, Marino S, Fedkiw R. Simulation of clothing with folds and wrinkles [C]//Proc of ACM/Eurographics symposium on computer animation. [s. l.]: ACM Press, 2003: 28–36.
- [3] Waterworth J. Virtual reality in medicine: A survey of the state of the art [R]. Sweden: Umea University, 1998.
- [4] 邹益胜, 丁国富, 许明恒. 实时碰撞检测算法综述 [J]. 计算机应用研究, 2008, 25(1): 8–12.
- [5] Teschner M, Kimmerle S, Heidelberger B, et al. Collision detection for deformable objects [C]//Proc of computer graphics forum. [s. l.]: [s. n.], 2005: 1–21.
- [6] Zachmann G, Langetepe E. Geometric data structures for computer graphics [M]. [s. l.]: [s. n.], 2003: 27–31.
- [7] Gregory A, Lin M, Gottschalk S, et al. H-COLLIDE: A framework for fast and accurate collision detection for haptic interaction [R]. Carolina: University of North Carolina, 1998.
- [8] Larsson T, Akenine-Moller T. Collision detection for continuously deforming bodies [C]//Proc in Eurographics. [s. l.]: [s. n.], 2001: 325–333.
- [9] Teschner M, Heidelberger B, Mueller M, et al. Optimized spatial hashing for collision detection of deformable objects [C]//Proceedings of vision, modeling, visualization. [s. l.]: [s. n.], 2003: 47–54.
- [10] Teschner M, Heidelberger B, Mueller M, et al. A versatile and robust model for geometrically complex deformable solids [C]//Proceedings of CGI'04. [s. l.]: IEEE Computer Society Press, 2004: 312–319.
- [11] Heidelberger B, Teschner M, Keiser R, et al. Consistent penetration depth estimation for deformable collision response [C]//Proceedings of vision, modeling, visualization. Stanford, USA: [s. n.], 2004: 339–346.
- [12] Barton P M, Jeffrey K H, Mark D C. The paradyne parallel performance measurement tool [J]. IEEE computer, 1995, 28(11): 37–46.
- [13] Datta S, Stojmenovic I, Wu J. Internal node and shortcut based routing with guaranteed delivery in wireless networks [J]. Cluster computing, 2002, 5: 169–178.
- [14] Stojmenovic I, Datta S. Power and cost aware localized routing with guaranteed delivery in wireless networks [J]. Journal of wireless communications & mobile computing, 2004, 4: 175–188.
- [15] Li Wenge, Li Taoshen. A Delaunay triangulation based method for optimizing backbone wireless mesh networks [C]//Proc of international conference on computer science and service system. Nanjing: [s. n.], 2011: 959–962.
- [16] 贺鹏, 李建东, 陈彦辉, 等. Ad Hoc 网络中基于方向性天线的分布式拓扑控制算法 [J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1308–1318.
- [17] 卢晓林. 基于定向天线的 Ad Hoc 网络拓扑控制算法研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
- [18] 黄丽莹, 韦岗, 姜胜明. 使用定向天线的骨干无线网络网络容量研究 [J]. 计算机应用, 2007(6): 1306–1309.
- [19] 公维宾, 常义林, 沈中. Ad Hoc 网络中改善拓扑控制性能的移动控制算法 [J]. 软件学报, 2011, 22(10): 2335–2345.
- [20] 印妮. 基于 QoS 的无线 Mesh 网络路由协议及相关技术的研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2012.
- [21] gateway in wireless mesh networks [J]. Computer communications, 2008, 31(7): 1259–1275.
- [22] Filippini I, Cesana M. Topology optimization for hybrid optical/wireless access networks [J]. Ad Hoc networks, 2010, 8: 614–625.
- [23] So A, Liang B. Minimum cost configuration of relay and channel infrastructure in heterogeneous wireless mesh networks [C]//Proc of IFIP networking. Atlanta, GA: [s. n.], 2007: 275–286.
- [24] Hu Ziping, Verma P K. Gateway placement in backbone wireless mesh networks using directional antennas [C]//Proc of 2011 ninth annual conference on communication networks and services research. [s. l.]: [s. n.], 2011: 175–180.
- [25] Kumar A, Tripathi R. Effective resource utilization in wireless mesh networks using smart antenna [C]//Proc of seventh international conference on wireless and optical communications networks. [s. l.]: [s. n.], 2010: 1–5.
- [26] Bose P, Lilorin P, Stojmenovic I, et al. Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless network [J]. ACM/Kluwer wireless networks, 2001, 7: 609–616.
- [27] Karp B, Kung H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]//Proceedings of the 6th annual international conference on mobile computing and networking. Boston, MA, USA: [s. n.], 2002: 243–254.

(上接第 56 页)

基于包围盒和空间分解的碰撞检测算法

作者：[宋城虎](#)，[闵林](#)，[朱琳](#)，[郭拯危](#)，[SONG Cheng-hu](#)，[MIN Lin](#)，[ZHU Lin](#)，[GUO Zheng-wei](#)

作者单位：[河南大学 计算机与信息工程学院, 河南 开封, 475002](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

ISTIC

年，卷(期)：2014(1)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201401015.aspx