

柔性织物曲面的碰撞检测*

聂 卉

(中山大学信息与科学技术学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 碰撞检测是计算机动画领域中的瓶颈问题之一, 对该问题的解决直接影响到动画的实时效果。本文针对柔性曲面碰撞检测的特点, 提出了一种基于二叉树剖分技术, 融合层次包围盒技术的碰撞检测方法。该算法, 化完整曲面为独立且相关的子区域进行碰撞检测, 并构建碰撞体的层次包围盒, 采用递归的方法快速定位碰撞区域, 再进行精确碰撞检测。算法在做精确检测之前排除了大部分不产生碰撞的元素, 并且无需耗时更新层次结构, 从而提高了碰撞检测的整体效率。

关键词: 碰撞检测; 层次包围盒法; 二叉树剖分技术; 质子-弹簧模型

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 01-0112-03

虚拟场景中运动着的物体常发生彼此碰撞, 接触等形式的相互作用。计算机动画系统必须能够检测出这种作用, 并适当响应, 才能避免产生物体间相互穿透重叠的不真实现象。织物动态模拟涉及织物-虚拟场景, 织物-织物间的复杂碰撞, 由于碰撞检测的基本算法是判断构成碰撞物的几何元素(通常复杂曲面表示为一系列三角面片)间的相交问题, 检测计算非常耗时。尤其当碰撞对象造型复杂(虚拟人模可由多达上万个小的三角面构成), 耗费在碰撞检测上的时间将极大地影响动画的实时效果。

层次包围盒和空间剖分技术是目前较为广泛采用的两种提高碰撞检测效率的方法。层次包围盒技术^[1-4]以形状简单的包围盒包裹碰撞元素, 其求交相对简单, 因而可以用较小的代价快速剔除不发生碰撞的元素, 提高碰撞检测的效率。空间剖分技术^[1,5]将碰撞空间分割为具有层次结构的互不交叠的子空间, 以空间网格标识碰撞物方位。检测时, 依据运动着的碰撞元素所跨越的子空间来确定最终的碰撞面。由于子空间在空间排列的有序性和相关性, 从而可以大大减少求交计算的几何元素, 提高检测效率。对高度形变曲面的碰撞检测问题, Volino^[6]提出了层次分割曲面的概念, 并利用简化求解邻近区域的三角形表面曲率的方法, 有效解决曲面的自交测试问题。受层次分割曲面概念的启发, 本文以织物-虚拟人模之间的碰撞为例, 展开对织物碰撞检测问题的研究。

1 柔性织物曲面的描述

本文采用经典的质子-弹簧模型描述织物(见

图1)。织物曲面离散为网格形式, 交点为质点, 连接质点的边及对角边为弹簧, 形成规则的三角网格系^[7], 为进行碰撞检测的织物模型。

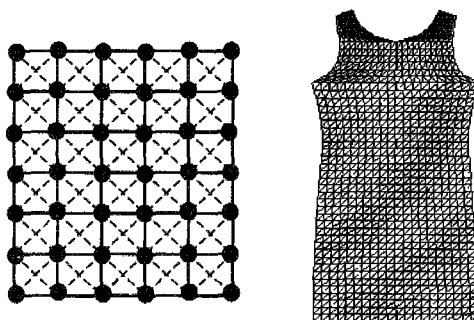


图1 质子-弹簧模型及曲面的三角部分

Fig.1 Mass-spring model and triangular mesh

2 柔性织物的碰撞检测

对织物-虚拟人模之间的碰撞, 本文提出一种基于层次剖分技术并融合包围盒检测特点的方法。其基本思路为, 对织物曲面进行层次区域分割, 同时对碰撞对象(人模)采用二叉剖分技术, 建立起基于层次包围盒技术的 AABBs 树 (Axis-aligned bounding boxes tree)^[4]。

在检测过程中, 记录子区域的空间位置, 生成不同时间点上的子区域包围盒, 并同人模的 AABBs 树进行递归求交。找到人模上对应的碰撞子树后, 子域内的基本元素再与对应子树进一步递归求交, 得出碰撞的精确结果。

2.1 曲面的层次区域分割 本文采用空间二叉树剖分技术, 自顶向下对平面织物实行递归分割。分割中, 笔者注意到, 区域的分割精度和剖分深度同

* 收稿日期: 2003-03-10

作者简介: 聂卉 (1971年生), 女, 博士, 讲师; E-mail: longnie@public.guangzhou.gd.cn

原始三角面的个数以及初始设定的精度阈值密切相关。分割精度越高, 阈值越小, 包围盒求交计算量越大, 精确计算涉及的元素越少; 反之, 区域分割精度越低, 包围盒的测试计算量减少, 精确计算的三角面个数增加。实验系统中, 将其设为变参, 可根据具体情况自适应调整, 以达到最优效果。

织物曲面在形变过程中, 拓扑信息不变, 因此层次区域分割作为初始化操作只执行一次。但织物形变使基本元素的空间位置发生变化, 因而几何信息需要及时更新。

2.2 AABBs 树和基于层次包围盒的碰撞检测 层次包围盒技术是快速检测复杂物体间碰撞的有力工具, 本文采用的 AABBs 沿层次模型局部坐标系的轴向 (X, Y, Z) 构造包围盒, 因此层次模型中的所有包围盒都具有相同的方向。AABBs 树是基于 AABBs 的二叉树, 按照由上至下的递归细分方式生成。在每一次递归过程中, 求取最小的 AABB, 沿所选择的剖分面将其分为正负两部分, 并将对应的原始几何元素 (如三角面) 归属其中。包围盒间的交叠判断采用 SAT (separating axes test)^[4] 法。SAT 无需求交计算, 依据包围盒在轴向上投影的交叠情况, 即可得出交叠测试结果。

2.3 基于 AABBs 树的碰撞检测算法 以下给出基于 AABB 树, 针对于层次分割曲面同虚拟人模的碰撞检测算法。

算法 1 曲面子域同 AABBs 树节点子树的递归求交测试算法

SubSurface—织物曲面的子域 (叶子节点)

NODE—AABBs 树的非叶子节点

bool IntersectCheck (SubSurface, NODE)

```
{ if (SubSurface 的包围盒与 NODE 的包围盒有交)
```

```
{if (SubSurface 的包围盒的体积 < NODE 的包围盒的体积)
```

```
{IntersectCheck (SubSurface, NODE 的 Child0);
```

```
IntersectCheck (SubSurface, NODE 的 Child1);}
```

```
else
```

```
{for (SubSurface 的所有原始基本元素 Element (i))
```

```
// SubSurface 中的基本元素同 NODE 精确
```

```
求交
```

```
if (PreIntersectCheck (Element (i), NODE))
```

```
return true;
```

```
else return false;}
```

```
return false;}
```

算法 2 原始基本元素同 AABB 树节点子树的递归

求交测试算法

Element—原始基本元素 (三角面)

NODE—AABBs 树的非叶子节点

bool PreIntersectCheck (Element, NODE)

```
{if (Element 的包围盒与 NODE 的包围盒有交)
```

```
{if (NODE 为叶子节点)
```

```
{Element 同 NODE 精确求交;
```

```
若有交点, 记录交点信息和其他相关信息;
```

```
};
```

```
return true;}
```

```
else { PreIntersect (Element, NODE 的 Child0);
```

```
PreIntersect (Element, NODE 的 Child1);}
```

```
return false;}
```

算法中 2 次采用了递归方法。首先构建人模的层次包围盒, 递归求交找出分割曲面所对应的碰撞人模子域, 以小代价排除大部分非碰撞区域。然后针对分割曲面的原始基本元素, 再次递归确定对应子域内精确碰撞的元素。二叉剖分生成的 AABBs 树具有设计简单、内存耗费小, 结构平衡的特点, 是实现快速碰撞检测算法的最优选择。

3 实验效果及结论

本文在实现虚拟服装缝合的动画过程中, 人模的复杂细致, 严重影响到整个动态模拟过程的实时性。采用上述算法, 碰撞检测的效率得以大幅度提高, 且效果真实逼真 (见图 2)。

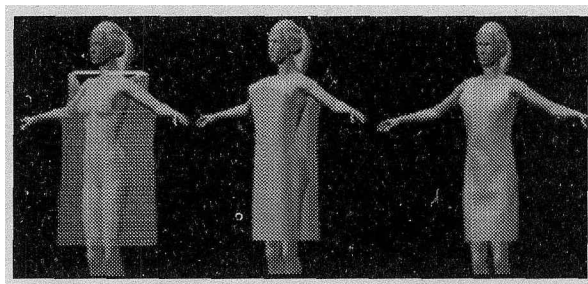


图 2 虚拟服装的缝合动画

Fig.2 Virtual clothing stitching

实验证明, 以本文提出的算法解决由大量小三角面构成的变形曲面同静态物体之间的碰撞检测, 是行之有效的。算法从以下几方面提高检测效率:

(1) 完整曲面包含的三角面片的数量巨大且形变复杂, 每一运动时间段重新构造其层次包围盒耗费大量的计算时间和内存。将其区域化后, 区域间的拓扑信息不变, 几何形变微小, 所以无需重新构建其层次结构, 只需自底向上刷新层次树, 减轻了精确求交前的预处理计算。

(2) 将 SAT 法应用于 AABBs 的粗略判断, 计算

简单。

(3) 碰撞检测过程采用递归算法, 充分利用二叉树简单平衡内耗小的特点, 迅速确定碰撞子域。子域中所含的三角面大大减少, 相应减少了精确求交的几何元素, 进一步提高了求交效率。

(4) 在对织物曲面进行区域分割时, 引入了层次化概念, 利用文献[6]提出的简化求解邻近区域的三角形表面曲率的方法, 排除大部分不可能自交的情况, 有效提高织物曲面的自碰撞检测效率。

参考文献:

- [1] 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 149-200.
- [2] BARQUET G, CHAZELLE B, GUIBAS L, et al. Hierarchical representation for surfaces in 3D[J]. Proceedings Eurographics'96, 1996, 15(3): 387-396, 484.
- [3] PALMER I J, GRIMSDALE R. Collision detection for animation using sphere-trees[J]. Computer Graphics Forum, 1995, 14(2): 105-116.
- [4] GINO van den B. Efficient collision detection of complex deformable models using AABB trees[J]. J Graphics Tools, 1997, 2(4): 1-14.
- [5] MOORE M, WILHELMS J. Collision detection and response for computer animation [C]. Computer Graphics (SIGGRAPH'88 Proceedings), 1988: 289-298.
- [6] VOLINO P, MAGNENAT T N. Efficient self-collision detection on smoothly discretized surface animations using geometrical shape regularity[J]. Computer Graphics Forum, 1994, 13: 155-166.
- [7] PPROVOT X. Deformation constraints in a mass-spring model to describe rigid cloth behavior[M]. Graphics Interface, 1995: 147-154.

Collision Detection & Response of Flexible Surface

NIE Hui

(School of Information Science & Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Collision detection is one of the bottleneck problems in computer animation field. The solving of the problem affects the real-time effects of the animation. An advanced algorithm based on binary space partition and bounding box technique according to the characters of flexible surface is presented. In this arithmetic, the surface is subdivided into several independent and associated parts. And a hierarchical bounding box tree for the collision object is constructed. Using the recursion method, the collision field can be located quickly and accurate collisions are detected eventually. Most geometric elements that won't be collided are culled out before accurate detection, heavy hierarchy updating work is avoided, and the efficiency of collision detection is highly improved.

Key words: collision detection; hierarchical bounding boxes; binary space partitioning; mass-spring model

(上接第111页)

参考文献:

- [1] FALCONER K. Fractal geometry-mathematical foundations and applications[M]. New York: John & Sons, 1990.
- [2] FALCONER K. The geometry of fractal set[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

An Application of Potential Theory in Estimating the Hausdorff Dimension

JIA Bao-guo¹, ZHANG Qian-sheng¹, LI Pei-xing¹, XU Zhi-ting²

(1. School of Mathematics and Computational Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Mathematics, South China Normal University, Guangzhou 510631)

Abstract: By means of the potential theory, the lower bounds of the Hausdorff dimensions of some non-similar sets on a line are obtained. Finally, an example shows that this method is effective.

Key words: Hausdorff dimension; s -potential; s -energy