

# 基于 DirectX SDK 开发平台的碰撞检测

王玉增, 顾英妮

( 济南大学机械工程学院, 山东 济南 250022 )

**摘 要:** 针对各企业采用的软件类型差异, 提出了基于 DirectX SDK 的远程协同设计模型, 用 X 文件作为统一的数据交换格式。根据 X 文件对三维模型数据的存储方式并结合 AABB 包围盒的检测算法原理, 建立了以轴向投影节点为单元的包围盒二叉排序树, 用中序遍历的方法, 产生轴向检测表, 提高了检测速度。在精确判断过程中, 提出了以坐标系变换的方式, 把三角形的空间求交问题简化为平面问题, 简化了算法并提高了检测速度。

**关 键 词:** 计算机应用; 碰撞检测; 包围盒; 二叉树; 三角形求交

**中图分类号:** TP 391.9; TP 391.72

**文献标识码:** A **文 章 编 号:** 1003-0158(2006)03-0025-04

## Collision Detection in Virtual Assembly Based on DirectX SDK Platform

WANG Yu-zeng, GU Ying-ni

( School of Mechanical Engineering, Jinan University, Jinan Shandong 250022, China )

**Abstract:** For the difference of software used in enterprises, a remote cooperative design model has been put forward based on DirectX SDK with X-file as the data exchange format in virtual assembly. According to the data format of three-dimensional model in X-file and the detection algorithm principle of AABB bounding box, a bounding box binary sort tree with the axial projection node as unit has been built. By using the method of inorder traversing, an axial detection table is established to raise the speed of detection. In the accurate judging process, the solution for triangle intersection in the space becomes to a problem solved in the plane through transformation of coordinates system, thus the algorithm has been simplified and the detection speed has been raised.

**Key words:** computer applications; collision detection; bounding box; binary tree; triangle intersection

建模软件发展到现在已经很成熟, 机械设计行业广泛使用 AutoCAD、3DMAX、Maye、UG、SolidEdge 等建模软件。在进行远程协同设计中,

由于各单位采用的软件的差异给协同设计带来了一些困难。为了解决这个问题, 开发一个适用于远程协同设计的平台, 在这个平台中采用统一

收稿日期: 2006-01-20

作者简介: 王玉增 ( 1963- ), 男, 河南台前人, 副教授, 在读博士, 主要研究方向为计算机辅助设计、计算机图形图像、虚拟现实技术等。

的数据交换格式。成熟的软件都有外部接口或者提供二次开发的接口,如 3DMAX 提供了 VC++ 的二次开发的接口函数库,可以生成 3DMAX 的插件 (plug-in),在需要的时候利用这些插件把三维模型数据转换成统一的三维模型数据格式。DirectX SDK 是微软公司提供的三维图形开发平台,其强大的三维图形处理和渲染功能能满足机械产品的远程协同设计的要求,其支持的三维模型数据格式 X 文件包含了三维模型所需要的大部分属性,并且还可以进行扩充,使之更加完善。基于 DirectX SDK 的远程协同设计平台的模型如图 1 所示。

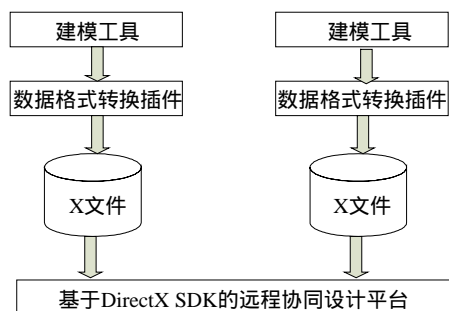


图 1 基于 DirectX SDK 的远程协同设计平台模型

## 1 基于 DiectX SDK 的碰撞检测原理

在精确的碰撞检测中,分两步完成碰撞检测过程:基于 AABB 包围盒的碰撞检测,快速剔除不可能相交的部分;基于基本几何形体(三角形)的相交测试,对可能碰撞的部分进行精确判断。

AABB(axis-aligned bounding boxes)包围盒的算法的原理可概括为:每个物体的包围盒为长方体,长方体的面与坐标轴平行,然后将长方体投影到每个坐标轴上,得到一个区间:分别对 3 个坐标轴上所有物体的投影区间排序,只有当两个物体在 3 个坐标轴上的投影同时重叠时才有可能在空间发生碰撞<sup>[1], [2]</sup>。

在 DirectX SDK 中,存储三维模型数据文件按照 X 文件的定义分成 3 级,第 1 级是模型的封闭曲面;第 2 级是构成曲面的曲面片,按照零部件的表面特性进行分类;第 3 级是构成曲面片的基本几何形体,在 Direct SDK 中基本几何形体是三角形。如一个圆柱三维模型是由一个封闭的曲

面(表面)构成,而整个曲面由 3 个曲面片(左右轴端和圆柱面)构成,轴端的曲面片由在轴心共点的一组三角形组成。

按照 AABB 包围盒原理并结合 DirectX SDK 存储三维模型分成 3 级的特点,设计了两个模型 A、B 的碰撞检测步骤。

(1) 建立 A、B 两个模型的包围盒  $SA$ 、 $SB$ ,并判断是否相交,若不相交则两个模型不会发生碰撞,检测结束。

(2) 建立 A、B 两个模型各个子集(曲面片)的包围盒  $SA_i(i=1\sim n, n$  为 A 模型的子集数)、 $SB_j(j=1\sim m, m$  为 B 模型的子集数),两个包围盒集合的相交检测(算法见 3.2),若结果为空,表明两个模型不会发生碰撞,检测结束。

(3) 包围盒  $SA_i$  和  $SB_j$  所包围的曲面片是由一组三角形所构成。因此,要对曲面片里的三角形建立包围盒  $SA_{ik}(k=1\sim p, p$  为  $SA_i$  包围的曲面片中三角形的数量)、 $SB_{jl}(l=1\sim q, q$  为  $SB_j$  包围的曲面片中三角形的数量)。仿照步骤(2)进行检测,若结果为空,表明两个模型不会发生碰撞,检测结束。

(4) 对  $SA_{ik}$  和  $SB_{jl}$  相交的包围盒需进行精确检测(算法见 3.3),若检测结果为空表明两个模型不会发生碰撞,否则就是产生了碰撞。包围盒所包围的是一个三角形,因此,精确判断的问题就变成了检测两个三维空间中三角形是否相交的问题。

## 2 基于 AABB 包围盒的碰撞检测算法

对于每个包围盒建立  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴投影的 3 个投影节点信息,如表 1、表 2、表 3 所示。表中的代号意义:AB——包围盒的归属, No——包围盒的序号,  $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$ 、 $y_{\min}$ 、 $y_{\max}$ 、 $z_{\min}$ 、 $z_{\max}$  分别代表包围盒在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴上投影的最小值和最大值,  $LC$ 、 $RC$ ——代表链表的左右指针。

表 1  $x$  轴向投影节点

AB	No	$x_{\min}$	$x_{\max}$	LC	RC
----	----	------------	------------	----	----

表 2  $y$  轴向投影节点

AB	No	$y_{\min}$	$y_{\max}$	LC	RC
----	----	------------	------------	----	----

表3 z轴向投影节点

AB	No	$z_{\min}$	$z_{\max}$	LC	RC
----	----	------------	------------	----	----

### 2.1 建立包围盒二叉排序树

对  $A, B$  两个实体模型的包围盒进行合并, 并分别沿  $x, y, z$  轴向进行投影, 根据每个包围盒在坐标轴上投影的最小值按照递增的规律建立包围盒排序二叉树(按中序遍历二叉树)。这样的排序树共有 3 棵。建立二叉排序树的基本算法:

设有一个序列  $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$

(1) 令  $t_1$  为二叉树的根结点;

(2) 以  $t_i$  与二叉树的根结点作比较: 若  $t_i$  小于根结点, 则将  $t_i$  插入到左子树中; 否则插入到右子树中;

(3) 对  $t_i (i = 2, 3, \dots, n)$  递归处理, 重复步骤 (2) 即可。

### 2.2 包围盒二叉排序树的遍历与碰撞检测

遍历二叉树并进行碰撞检测的目的是判断包围盒是否相交。在遍历与检测过程中, 建立 3 个坐标轴方向的轴向检测表。如图 2 所示。其表达的意思是在某个坐标轴方向的投影中,  $A$  模型中的第 1、第 2 和第  $n$  个包围盒不与  $B$  模型中的包围盒相交, 第  $i$  个包围盒与  $B$  模型中的第  $j$  和第  $k$  个包围盒在投影方向上有重叠。遍历上面提到的 3 棵排序二叉树就可得到  $x$  轴检测表、 $y$  轴检测表和  $z$  轴检测表。

按照中序遍历二叉树, 就可根据最小值递增的规律检索包围盒。在遍历过程中以属于  $A$  模型的包围盒为基准, 判断是否有属于  $B$  模型的包围盒在坐标轴上的投影有重合部分。即: 假设有属于  $A$  模型的轴向投影节点  $NodeA_i$  和属于  $B$  模型的节点  $NodeB_j$ , 当满足条件  $(NodeA_i \rightarrow x_{\min} < NodeB_j \rightarrow x_{\min})$  并且  $(NodeA_i \rightarrow x_{\max} > NodeB_j \rightarrow x_{\min})$  时, 表示两个节点有重合部分。当重合发生时, 增加一个轴向检测节点, 节点的包围盒序号等于  $NodeB_j$  中的包围盒序号。

对  $x, y, z$  轴向投影的 3 棵包围盒排序二叉树进行遍历和检测得到 3 个轴向检测表, 对 3 个轴向检测表按照  $A$  模型包围盒的序号  $AN_i$  (纵坐标) 顺序检查轴向检测节点, 当一个节点  $BN_j$  被 3 个轴向检测表同时包含时表示包围盒  $AN_i$  和

$BN_j$  相交。否则就是不相交。

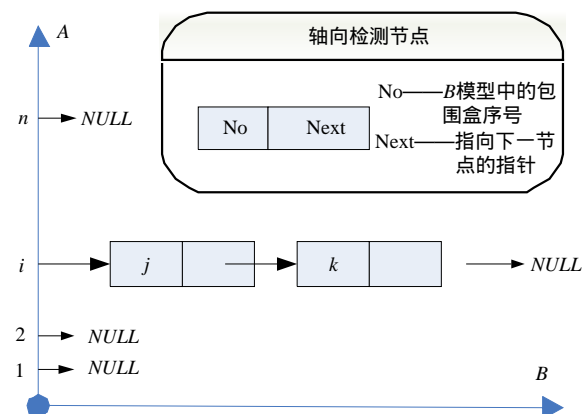


图2 轴向检测表

## 3 基于三角形基本集合形体的精确判断

在  $X$  文件中三角形 3 个顶点是有序排列的, 统一按照右手规则, 拇指指向和三角形平面的法向量  $UP (UP_x, UP_y, UP_z)$  方向一致 (图 3)。

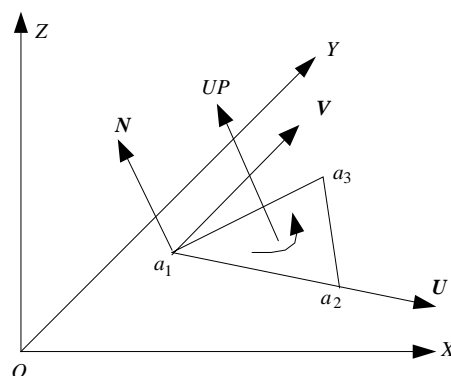


图3 三角形及局部坐标系

设有两个三维空间的三角形  $A(P_1, P_2, P_3)$ 、 $B(Q_1, Q_2, Q_3)$ , 其碰撞检测算法步骤为:

为了避免在空间中建立平面方程和空间求交点判断等复杂的计算, 首先建立局部坐标系, 然后进行坐标系的变换。使检测过程变成平面计算问题。

(1) 以三角形  $A$  的第 1 个顶点为坐标原点, 用点  $P_0$  表示坐标原点, 则  $P_0 = P_1$ 。

(2) 局部坐标的  $X$  方向, 为一个矢量, 与从第一个顶点到第 2 个顶点的连线重合。用  $U(u_x, u_y, u_z)$  表示  $X$  轴的单位矢量, 则  $U = (P_2 - P_1) /$

$\|P_2 - P_1\|$ 。

(3) 局部坐标的  $Z$  轴与法向量重平行, 用  $N(n_x, n_y, n_z)$  表示  $Z$  轴的单位矢量, 则  $N = UP$ 。

(4) 局部坐标的  $Y$  方向, 由右手坐标系确定  $Y$  方向, 它是矢量  $N$  和矢量  $U$  叉乘的结果。用  $V(v_x, v_y, v_z)$  表示  $Y$  轴的单位矢量, 则  $V = (N \times U) / \|N \times U\|$ 。

上述参数确定后, 以  $P_0$  为坐标原点,  $U$ 、 $V$ 、 $N$  分别代表局部坐标系中的 3 个坐标轴, 构成局部坐标系。

从世界空间转换到局部空间系。这个变换过程包含坐标原点的平移变换  $T_{\text{平移}}(-P_{0x}, -P_{0y}, -P_{0z})$  和坐标系之间的正交变换  $T_{\text{正交}}$ , 则变换矩阵  $T$  为

$$T = T_{\text{平移}} * T_{\text{正交}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -P_{0x} & -P_{0y} & -P_{0z} & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ n_x & n_y & n_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ n_x & n_y & n_z & 0 \\ -U^T * P_0 & -V^T * P_0 & -N^T * P_0 & 1 \end{bmatrix}$$

对  $A$ 、 $B$  三角形实施  $T$  变换, 结果如图 4 所示。

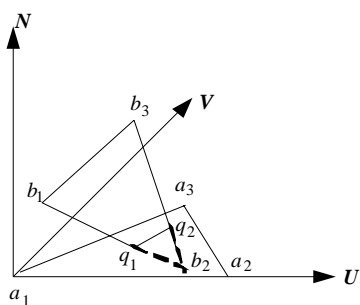


图 4 坐标系变换及求交判断

判断 1 如果  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  的  $z$  坐标全大于等于 0 或者全小于等于 0, 两个三角形不相交。

若两个三角形相交, 则  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  中应当只有一个顶点的  $z$  坐标大于 0 或者只有一个顶点的  $z$  坐标小于 0, 取与这个顶点共点的两条边, 并求这两条边与  $xoy$  平面的交点  $q_1$ 、 $q_2$ 。

判断 2 如果  $q_1q_2$  和三角形的边有交点, 则两个三角形相交。

判断 3 如果  $q_1q_2$  和三角形的边无交点, 则  $q_1q_2$  完全在三角形外部或者内部。可以利用三角形的凸多边形的特性进行判断, 即用  $a_1$  和  $q_1$  连线, 若  $a_1q_1$  的延长线和三角形的边  $a_2a_3$  相交, 则证明  $q_1q_2$  在三角形内部, 两个三角形相交, 否则不相交。

## 4 结 论

针对各企业采用的软件类型差异, 作者提出了基于 DirectX SDK 的远程协同设计模型, 用 X 文件作为虚拟装配统一的数据交换格式。与采用 VRML 格式作为交换数据文件<sup>[3]</sup>相比, X 文件的可操作性和开放性更强, 并且得到了 DirectX SDK 提供的开放性原代码的支持。根据 X 文件对三维模型数据的存储方式并结合目前广泛采用的 AABB 包围盒的检测算法原理, 建立了以轴向投影节点为单元的包围盒二叉排序树, 用中序遍历的方法, 产生轴向检测表, 提高了检测速度。在精确判断过程中, 提出了以坐标系变换的方式, 把三角形的空间求交问题简化为平面问题求解。与直接在三维空间中进行求交算法<sup>[3]~[6]</sup>相比, 本算法简化了算法并提高了检测速度。

## 参 考 资 料

- [1] 申玉斌, 蔡 勇, 华才健. 虚拟环境中的碰撞检测技术的研究与应用[J]. 交通与计算机, 2005, 23(1): 74-78.
- [2] 陈定方, 罗亚波. 虚拟设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 108-110.
- [3] 顾文望, 陈一民. 碰撞检测在虚拟仿真系统中的应用[J]. 计算机工程, 2005, 31(4): 186-188.
- [4] 郑 轶, 宁汝新, 刘检华, 等. 虚拟装配环境下快速碰撞检测方法的研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(9): 2167-2170.
- [5] 刘检华, 姚 璐, 宁汝新. 基于虚拟装配的碰撞检测算法研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1775-1777.
- [6] Moler T. A fast triangle-triangle intersection test [J]. Journal of Graphics Tools, 1997, 2(2): 25-30.