

# 基于 VR-CAD 的碰撞检测方法 在 EAST 三环套装虚拟仿真中的应用

刘松林<sup>1</sup>, 刘晓平<sup>1,2</sup>, 廖祝华<sup>1</sup>

(1. 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031; 2. 合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

**摘 要:** 运动对象间的碰撞检测和碰撞响应一直是可视化虚拟环境中主要的计算瓶颈, 对于大型复杂对象进行精确、实时的装配仿真等工程应用中, 其时间的开销是无法忍受的。笔者提出基于 CAD 的虚拟场景的装配仿真, 是让 CAD 软件在后台做碰撞检测, 通过通讯技术, 在微机上实现前台的虚拟大场景、复杂部件装配仿真的实时可视化, 大大地降低了碰撞检测的时间开销。同时提高了检测的精度, 并在 EAST 三环吊装仿真中得到成功应用。

**关 键 词:** 计算机应用; 实时仿真; 虚拟现实—计算机辅助设计; 碰撞检测; EAST 吊装

中图分类号: TP 391

文献标识码: A 文章编号: 1003-0158(2005)02-0046-04

碰撞检测(Collision Detection)问题是机器人运动规划、计算机动画、计算机环境仿真的基本问题。其目标是当处理的几何对象发生或已经发生碰撞时, 进行干涉点的确定, 自动进行报告, 其有着悠久的历史。如在计算机辅助设计和制造制造中(CAD/CAM)有着成熟的应用, 在一些大型商用 CAD 软件包中, 像 UG, Pro/E 等, 装配件之间的静态公差验证, 工程分析等应用中, 其功能和算法及优化是成熟的, 分析时间上是高效的。近年来, 随着虚拟现实技术和分布交互仿真等技术的兴起, 碰撞检测再一次成为研究的热点。

目前在两个几何模型间的碰撞检测算法大致可分为两类: 空间分解法(space decomposition)和层次包围盒(hierarchical bounding volumes)方法。空间分解法比较典型的例子有 k-d 树, 八叉树, BSP 树, 四面体网和

规则网格等, 空间分解法通常适用于稀疏的环境中分布比较均匀的几何对象间的碰撞检测。层次包围盒方法的关键在于包围盒类型的选择, 现在的研究有沿坐标轴的包围盒 AABB (axis-aligned bounding boxes), 球包围盒 (sphere), 方向包围盒 OBB (oriented bounding box) 等。所有这些算法当两个对象分离较远时, 表现非常好, 然而当两个对象非常接近时, 这些算法使用再分割技术进行大量包围盒对的检查, 在这种情况下, 他们的性能大大降低, 在仿真应用中, 实时碰撞检测和碰撞响应被认为是一个主要的计算瓶颈<sup>[1]-[3]</sup>。

在各种虚拟现实系统中, VRML(virtual reality modeling language)格式的三维计算机模型被大量采用, VRML 为了提高实时交互性, 采用基于多边形的表面描述, 采用 IndexedFaceSet 节点描述面的形状并通过面的拼接实现任意形

状的几何体外观, 所提供的多边形数量越多, 模型越精确, 但数据量越大, 应用这种模型在复杂大场景中, 对复杂部件进行运动仿真时, 碰撞检测的时间开销是无法忍受的。然而同 VRML 模型相比, CAD 模型具有非常精确的描述, 包括用于制造或运算的尺寸描述, 其表面往往用 NURBS 或 Spline 定义, 在 CAD 环境中对这样的模型进行静态干涉检查是高效的<sup>[4]</sup>。

笔者提出的基于 CAD 的虚拟场景的装配仿真, 是让 CAD 软件在后台做碰撞检测, 通过通讯技术, 在微机上实现前台的虚拟大场景的实时仿真, 大大地降低了碰撞检测的时间开销, 并在 EAST(Experimental Advanced Superconducting Tokamak) 三环吊装仿真中得到成功应用。

## 1 系统结构和关键技术

### 1.1 系统结构

图 1 显示了系统的功能框图, CAD 客户端

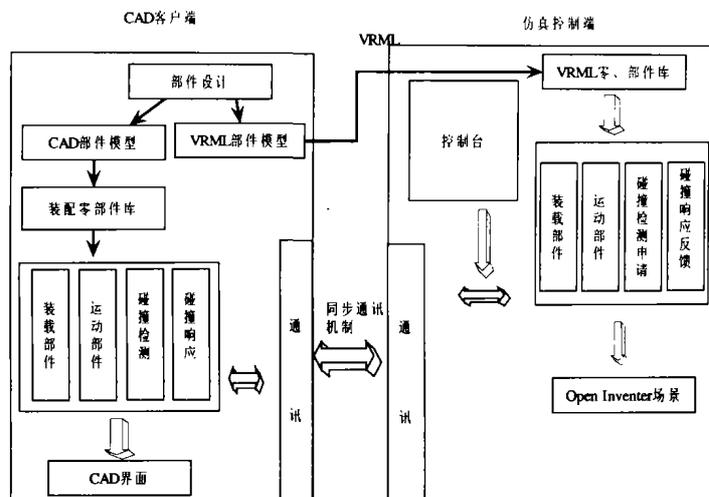


图 1 系统结构框图

### 1.2 仿真控制端与 CAD 端装载部件同步

部件在不同的场景环境中运动, 要保证碰撞检测的正确性, 必须保证不同环境中的部件在装载时初始位置一致, 质心的位置坐标一致。因此, 在仿真控制端装载部件、运动部件时必须将正确的信息传递到 CAD 端。两端通讯结构定义如下:

```
struct COLLDATA
```

```
{
    int ControlID; //1: 装载部件, 2: 移动部件,
    3: 旋转部件
```

产生用于虚拟场景仿真控制端所需的三维 VRML 模型, 和在 CAD 端进行碰撞检测所需的 CAD 部件模型, 保证虚拟装配仿真模型的一致性和碰撞检测的正确性。将虚拟装配仿真的三维显示与仿真运算分离, 即在虚拟场景端和 CAD 端同时装载相同的部件, 运动部件时, 在场景中以一定的时间间隔走一步, 发送该部件移动距离、转动角度等信息给 CAD 端, 在 CAD 端运动相应的部件后, 与其它部件在这一时刻做静态碰撞检测, 将碰撞检测的结果发送到仿真控制端的控制台, 如部件间无碰撞发生, 发送消息给控制台, 让场景中部件继续作下一时间步的行走。反之, 控制台在场景中发出碰撞报警信号。只要时间间隔足够小, 可避免漏掉碰撞干涉情况的, 同时这助于提高大型部件装配仿真的实时性、提高虚拟场景三维交互时式可视化环境的真实性、沉浸感。

```
char prt[100]; //装载部件名
float translate[3]; //部件在虚拟场景中移动的坐标值
float Angle; //部件在虚拟场景中转动的角度
BOOL bIsDC; //是否碰撞响应
int bIsStop; //根据碰撞检测结果, 确定是否停止部件运动
COLLDATA()
{
```

```

ControlID=0;
translate[0] = 0.0f;
translate[1] = 0.0f;
translate[2] = 0.0f;
Angle = 0.0f;
bIsDC = FALSE;
bIsStop = 0;
}

```

};

同时在CAD端的部件移动与虚拟场景中三维对象的运动步调一致, 算法如下:

**Step1** 接收仿真控制端发送来的部件运动后新位置坐标值CollData.translate和角度值angle值。

**Step2** UF\_MTX4\_rotation (translate, axis, angle, rotation\_mtx), 获得运动部件的旋转矩阵。

**Step3** UF\_MTX4\_x\_vec (rotation\_mtx, x\_vec); UF\_MTX4\_y\_vec (rotation\_mtx, y\_vec), 查询旋转矩阵的X向量和Y向量的值,

**Step4** 构造新的位置矩阵 new\_csys\_matrix。

**Step5** UF\_ASSEM\_reposition\_instance (prt, translate, new\_csys\_matrix)移动部件到新位置

### 1.3 CAD端的干涉检测

静态干涉检测的算法已经非常成熟, 在商用CAD软件包中都有在所有部件或部分部件间进行间隙分析/干涉检查的功能, 间隙分析不考虑部件间的运动, 只处理静态问题。其间隙分析可用交互式、批处理方式以及相应API函数编程实现。对上述仿真的碰撞检测问题, 选用CAD软件包的二次开发包API实现。

在UG软件中, 其干涉类型有5种, 不干涉(No Interference)、接触干涉(Touching Interference)、硬干涉(Hard Interference)、软干涉(Soft Interference)、包容干涉(Containment Interference)。在间隙分析中可选择其中一种或所有检查项, 关键是间隙分析数据集(Data Set)的定义, 包括: 被分析的对象列表, 间隙区域的设置, 间隙分析所包含或排除的对象对, 分析模式的参数选择等参数。具体算法如下:

**Step1** UF\_CLEAR\_create\_dataset (assem,

"working dataset", &dataset);创建数据集。

**Step2** UF\_CLEAR\_set\_analysis\_mode (dataset, UF\_CLEAR\_SOLID), 设置间隙分析模式为体分析模式, 利用实体几何体以计算精确的结果。

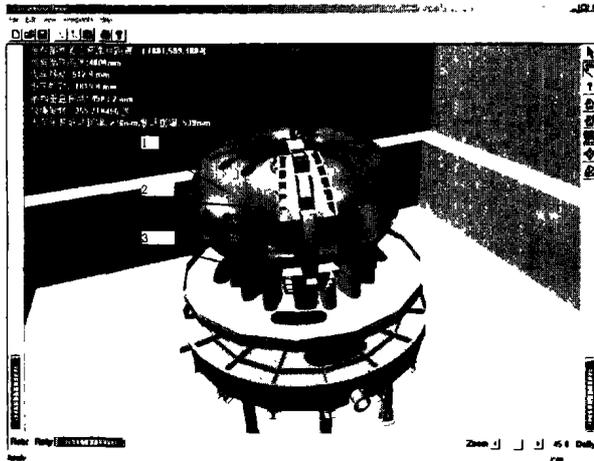
**Step3** UF\_CLEAR\_set\_exclude\_rules (dataset, UF\_CLEAR\_EXCLUDE\_WITHIN\_COMP), 设置间隙分析规则为在所有组件内进行分析, 其它设置为默认值, 如间隙区域等。

**Step4** UF\_CLEAR\_do\_clearance\_analysis (dataset), 执行间隙分析。

**Step5** UF\_CLEAR\_ask\_results (dataset, &summary), 查询间隙分析的结果 summary.new\_n\_hard>0, 存在干涉, return -1, 否则, return 0。

## 2 应用实例

EAST 是科学院等离子体物理研究所在建的重大实验装置。主体是D形的圆环形结构(真空室、内冷屏、纵场线圈), 结构复杂, 三环之间理论最小间隙只有20mm, 安装难度大, 需要通过吊装仿真验证吊装工艺的可行性以及检查真空室、内冷屏、纵场线圈三大部件制造的精度。吊装过程仿真时, 部件的运动必须是流畅的, 且模型及碰撞检测的精度必须得到保证, 整个场景如图2所示。在Open Inventor虚拟场景中, 所有场景模型包括试验大厅、EAST平台、真空室、内冷屏、纵场线圈, 三角形面片数达110129个, 真空室的面片数达63780个, 1/16冷屏的面片数达4990个, 1/16纵场线圈的面片数达4064个, 每隔0.1秒步长时间步, 吊装部件走一时间步长距离, 需要刷新屏幕场景一次, 同时需要与已安装就位的部件(如真空室)作一次碰撞计算。在虚拟的环境中, 由于模型的三角面片量巨大, 对EAST大型部件的吊装, 很难做到部件运动的流畅, 且碰撞检测的时间是无法忍受的。基于VR-CAD的碰撞检测方法很好地解决EAST吊装仿真碰撞检测时间开销问题, 同时解决了仿真精度问题。表1显示在2GHz CPU, 512M内存和NVIDIA QUADRO4 980显卡微机上进行EAST虚拟仿真时不同碰撞检测算法和方法的时间开销比较表。



1——真空室、2——冷屏、3——纵场线圈

图 2 EAST 仿真场景

表 1 几种碰撞检测算法对冷屏套装时花费的时间比较

碰撞检测	静态部件的 三角形个数	运动部件的 三角形个数	平均碰 撞时间
OpenInventor 中的碰撞检 测算法	63780	4990	62s
八叉树碰撞 检测算法	63780	4990	56s
VR-CAD 的 碰撞检测方 法	CAD 模型	CAD 模型	2s

### 3 结束语

在大型、复杂部件的实时精确装配仿真中,

基于 VR-CAD 的碰撞检测方法是一种简便、快捷、高效的方法。它不仅解决了碰撞检测的时间开销,同时满足模型精度要求,提高仿真的准确性,满足工程实际需要。当然,它也有不足,它不能脱离 CAD 环境对装配工艺进行可视化验证,因此,需进一步对运动 VRML 三维模型碰撞检测算法进行深入研究,尤其是对需要消耗大量内存的模型间的碰撞检测。这些研究方面包括并行碰撞算法,外存储碰撞算 (external memory algorithms) 法及动态预处理技术 (dynamic pre-fetching techniques) 等,以满足在虚拟场景中碰撞检测的准确性,时间上的高效。

### 参考文献

- [1] Ming C Lin, Stefan Gottschalk. Collision detection between geometric model: a survey [EB/OL]. [www.engg.uaeu.ac.ae/ejer/issues/y2003/pdf\\_iss2\\_8/1.pdf](http://www.engg.uaeu.ac.ae/ejer/issues/y2003/pdf_iss2_8/1.pdf): 1~5.
- [2] Akgunduz A, Banerjee P, Mehrotra S. Smart collision information processing sensors for fast moving objects [J]. *Smart Materials and Structures*, 2002, (11): 169~174.
- [3] Ming C Lin, Jon Cohen, Stefan Gottschalk. Collision detection: algorithm and applications [EB/OL]. [www.cs.jhu.edu/~cohen/Publications/wafr.pdf](http://www.cs.jhu.edu/~cohen/Publications/wafr.pdf): 1~9.
- [4] 朱正强, 吴介一, 等. 基于 VRML-JAVA 的虚拟现实技术在可视化装配中的应用 [J]. *东南大学学报*, 2002, 32(1): 24~28.

## Collision Detection Methods Based on VR-CAD Applying to EAST Virtual Assembly Simulation

LIU Song-lin<sup>1</sup>, LIU Xiao-ping<sup>1,2</sup>, LIAO Zhu-hua<sup>1</sup>

(1. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China; 2. School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Collision detection and collision response between moving objects is considered a major computational bottleneck in virtual environment, and its time consuming can not accepted in engineering application, for example, assemble simulation witch is accurate and real time between complicated objects. An assemble simulation in virtual environment based on CAD software is put forward in this paper, in other words, collision detection computational is finished in CAD environment of background, by communication technology, real time assemble visualization of complicated component is completed on the stage in PC, time consuming is consumedly reduced and detection accuracy is improved. This method has successfully been applied to EAST assemble simulation.

**Key words:** computer application; real-time simulation; VR-CAD, collision detection; EAST assemble