

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.03.008

# 虚拟维修样机几何属性模型的建模方法

王晓光<sup>1</sup>, 苏群星<sup>1</sup>, 谷宏强<sup>2</sup>

(1. 武汉军械士官学校, 湖北 武汉 430075; 2. 军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 针对虚拟维修仿真中单纯几何建模方法存在的局限性, 结合装备维修实际, 提出双向虚拟维修样机几何属性建模方法。给出了多层次几何信息模型和多边形 VR 几何模型具体建模方法, 并以一个建筑模型设置三级 LOD 节点为例, 研究了虚拟维修环境模型的转换。结果表明, 建立的几何模型与实际装备在结构上具有相似性, 在功能和行为上具有一致性, 同时具有开放性和重用性。

**关键词:** 虚拟维修仿真; 虚拟维修样机; 几何建模

**中图分类号:** TP391.9; N945.13 **文献标识码:** A

## Modeling Method for Geometry Attribute Model of Virtual Maintenance Prototype

WANG Xiao-guang<sup>1</sup>, SU Qun-xing<sup>1</sup>, GU Hong-qiang<sup>2</sup>

(1. Wuhan Ordnance Noncommissioned Officer School, Wuhan 430075, China;

2. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** Aiming at the limitation simplicity geometry modeling method in virtual maintenance simulation, according to the equipment maintenance, put forward bidirectional virtual maintenance prototype (VMP) geometry modeling method. Then the multilevel geometry information and polygon VR geometry modeling methods were discussed. Taking a building model setting tertiary LOP node as example, the modeling conversion in virtual maintenance environment was researched. The result shows that the built geometry modeling is similar with reality equipment in instruction, function and behavior. It is opening and reusable.

**Keywords:** Virtual maintenance simulation; Virtual maintenance prototype; Geometry modeling

### 0 引言

采用虚拟现实技术、虚拟样机技术、计算机仿真技术构建适人化的虚拟维修仿真环境, 并代替实际装备进行训练, 可以有效地克服结合实际装备训练带来的受时间和场地限制、训练成本高、易损坏装备等弊端<sup>[1]</sup>。虚拟环境下, 装备的几何属性模型的建立是最基本、也是最重要的一项工作, 是实现虚拟维修仿真的前提和基础, 故对其进行研究。

### 1 双向虚拟维修样机几何属性建模

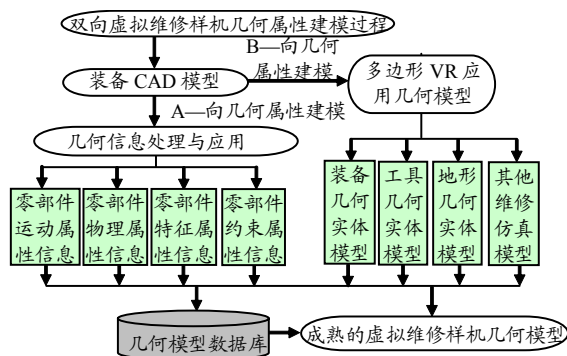


图1 虚拟维修样机几何模型结构及其双向建模流程

根据大型复杂装备的建模特点, 提出双向多层次的虚拟维修样机几何属性模型的建模方法。其中

A-向为几何属性信息模型, 包括三维模型和二维图形等几何元素、派生零部件、特征数据及几何部件间的多种约束关系数据; B-向为多边形 VR 几何模型, 主要用于虚拟维修仿真场景中的实时显示及满足用户沉浸感和交互性的仿真, 其结构如图 1。

#### 1.1 多层次几何属性信息建模

根据部件的信息抽象层次, 将部件信息分为部件层、特征层、几何层, 层与层之间通过数据与约束映射进行关联。

1) 部件层: 以部件为节点。部件节点信息包括部件标识、名称、物理属性、运动属性、方位属性、显示属性。部件层中的部件间的关联体现为各属性间的约束关系。其中物理和运动属性建模各有其建模方法。样机部件的部件层描述为如下 BNF 范式:

```

<部件层属性>::=<部件标识><部件名称><物理属性><运动属性><方位属性><几何约束属性>
<物理属性>::=<质心><质量><惯量><密度>
<运动属性>::=<运动状态><运动自由度><运动速度><运动加速度><运动类型>
<运动状态>::=<静止><运动>
<运动自由度>::=<平移自由度><旋转自由度>
<运动速度>::=<平移速度><旋转速度>

```

收稿日期: 2009-10-15; 修回日期: 2009-12-04

作者简介: 王晓光 (1981-), 男, 黑龙江人, 军械工程学院博士研究生, 从事武器系统建模与仿真研究。

<运动加速度>.: = <平移加速度><旋转加速度>  
 <运动类型>.: = <平移运动><旋转运动>  
 <方位属性>.: <位置><方向><空间坐标矢量>  
 <位置>.: = <x><y><z> //质心坐标  
 <方向>.: = < $\alpha$ >< $\beta$ >< $\delta$ >  
 <几何约束属性>.: = <约束属性><约束关系><从属关系>

2) 特征层: 以特征为节点。特征节点描述信息包括特征的类型、特征的方位以及特征参数。特征节点间的关系主要体现为特征间的父子关系与约束关系。特征间的父子关系直接反映特征的生成历史。特征间的约束关系记录了特征间定位与定形参数的相互依赖性, 可以通过函数或逻辑表达式的形式加以表达。

3) 几何层: 以面为节点。面节点信息包括曲面描述及组成该面的环、边、点等边界信息。面节点体现为几何面间的邻接关系以及几何约束关系。

根据部件信息模型中的数据映射关系, 虚拟维修样机模型可在部件模型的不同层次间进行信息交互并对交互响应, 使得虚拟维修样机模型具有实时性。当维修人员通过虚拟手操作虚拟维修仿真系统中的某部件时, 碰撞检测捕捉到操作部件的 VR 几何模型后, 根据模型与几何层的数据映射, 可确定该部件所在的几何面, 根据几何层与特征层的数据映射, 确定相应的特征, 并确定部件间的约束映射关系, 为虚拟维修仿真中的维修操作确立动作规则。

### 1.2 多边形 VR 几何模型建模

建立 VR 几何属性模型需要在 Creator 中定义成几何模型、数据层次、特性 3 个部分:

- 1) 几何模型由一系列的多边形、边、顶点构成, 在几何视觉上定义了模型的三维尺寸和坐标关系;
- 2) 数据层次由一系列代表几何元素的节点构成树状结构, 用于组织管理几何模型, 使多边形 VR 几何模型变成树状结构的数据库, 方便修改和移动;
- 3) 特性提供色彩、纹理和材料等附加数据, 使整个模型在实时仿真中更加真实。

在整个树状数据库的根目录下包括组 (Group)、物体 (Object)、面 (Fact) 和点 (Vertex) 等节点。在一些关键节点上要附加一些具有特殊性质的节点符号, 使模型能更好地应用于虚拟维修仿真环境中, 比如自由度 (DOF)、层次细节 (LOD) 和光源等。

图 2 为某大型装备发射控制装置的 DOF 设置图, [DOF]符号表示定义了自由度的物体 (Object)。在层次中所定义的自由度具有传递性, 子自由度节点在继承了父自由度的属性后, 又有其特殊属性。

为使模型能满足不同视点的虚拟维修仿真需

求, 还对模型进行 LOD 设置。将一个建筑模型设置三级 LOD 节点为例, 第 1 个 LOD 节点为距离浏览者最近的模型, 该模型也是精度最高的模型, 在其 LOD 属性中设置 Switch Out 为 0, 设置 Switch In 为 300 m, 这样, 这个精度最高的模型就只在距离浏览者 0~300 m 内显示。打开第 2 个 LOD 节点的属性菜单, 设置 Switch Out 为 300, 设置 Switch In 为 1000, 第 2 个精度的模型将在距离浏览者 300~1000 显示出来。第 3 个 LOD 节点的 Switch Out 设置为 1000, Switch In 设置为 4000, 第 3 个精度的模型将在距离浏览者 1000~4000 的位置显示出来。

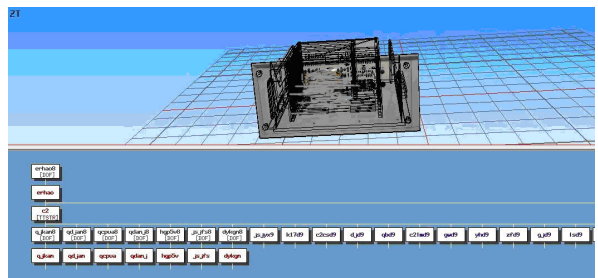


图 2 发射装置 DOF 设置图

## 2 虚拟维修环境模型转换

除了在 CAD 原始文件中进行模型简化以外, 还可以在 VR 模型建模软件中进行数据的简化: 一是在建模时分析装配拆卸相关信息, 简化虚拟维修样机的结构, 如部件内部不可见的结构, 孔、槽、倒边、倒角等可被简化; 二是完成建模后在 Creator 中或在视景仿真软件中简化, 如多边形精简。简化的原则既要减少数据处理量, 又要保证样机外形逼真, 能够支持虚拟维修仿真。

图 3、图 4 为某大型设备的支撑结构, 由于该部件只是负责支撑的作用, 因此, 在建立 VR 几何属性模型时可以尽力精简其数据。其中, 图 3 是直接从 CAD 建立模型中导出的模型, 包含有 472 个面片, 图 4 是简化后的模型, 仅有 130 个面。

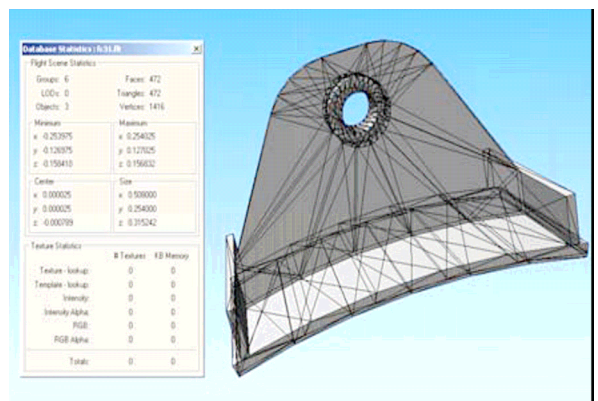


图 3 原始模型图

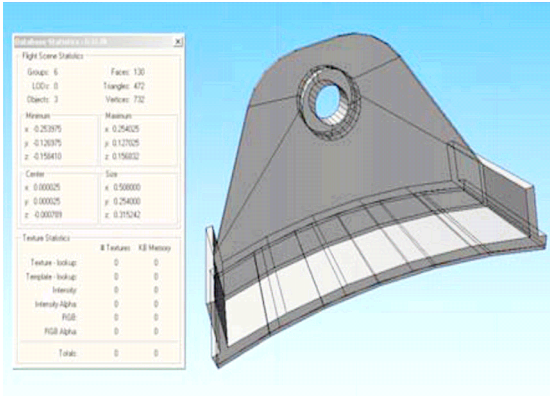


图 4 简化模型图

### 3 结束语

应用建模方法建立大型复杂装备的虚拟维修仿真样机几何模型可满足仿真要求,克服了建立 VR 几何模型过程中信息的丢失与仿真过程模型的复杂

\*\*\*\*\*

(上接第 15 页)

另外, 将它们的调度结果进行了比较, 如表 1。

表 1 不同算法对图 1(b)调度性能比较

算法	NSF 算法	TSA_FHM 算法	TDS 算法
调度长度	25	25	25
处理机个数	5	6	11
算法复杂度	$O(v^2)$	$O(v \log v)$	$O(v^2)$
效率	80%	67%	36%
加速比	4.0	4.0	4.0

3 种算法比较得出: 决定一个调度算法优劣最关键的性能指标是调度长度, 其次是所用的处理机的个数和算法的复杂度。加速比也是一个被广泛采用衡量算法性能的指标, 效率是用来度量在并行计算中整个系统的资源利用率, 其计算公式为:

$$\text{效率} = \frac{\text{加速比}}{\text{处理器个数}}$$

从表 1 中可以看出: NSF 算法综合性能要优于其他算法。3 种算法调度长度都最短, 并且它们的加速比也相同, 但是 NSF 算法采用的处理机的个数比另两种方法少, 其效率也优于另外 2 种算法。

为更全面地评估和比较 NSF 算法与其他算法, 将随机生成的 Fork 任务图作为测试这些算法的负载。通过随机产生的任务计算时间和通信时间, 选取 6 个 Fork 任务图, 将 NSF 算法、TSA\_FHM 算法及 TDS 算法的调度结果进行比较, 如图 3。

从图 3 可以看出: 与 TSA\_FHM 算法和 TDS 算法相比, NSF 算法在保证最优调度长度的前提下, 所用的处理机的个数最少。而且, 任务图中的结点数越多, 本算法越显著优于其他算法。可见, 对 Fork

度和仿真实时性之间的矛盾, 使虚拟维修样机几何模型与实际装备在结构上具有相似性, 在功能和行为上具有一致性, 支持不同的应用重构和重组。

### 参考文献:

- [1] 苏群星, 刘鹏远. 大型复杂装备虚拟维修训练系统设计[J]. 兵工学报, 2006, 27(1): 80-83.
- [2] 王松山. 虚拟维修样机技术研究[R]. 中国国防技术报告 GF-A0065309G, 石家庄: 军械工程学院, 2003.
- [3] 刘鹏远, 张锡恩, 等. 虚拟维修训练中基于知识的操作响应机制研究与实现[J]. 计算机工程, 2003, 29(1): 53-255.
- [4] 杜平安, 于德江, 岳萍. 虚拟样机技术的技术与方法体系研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(15): 3448-3449.
- [5] 王志伟, 马明江. 理论力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] Antonino, Gabriel Zachmann. Virtual Reality as a Tool for Verification of Assembly and Maintenance Processes [J]. Computers&Graphics, 1999, 23(3): 389-403.

任务图, 本算法应用性更强。

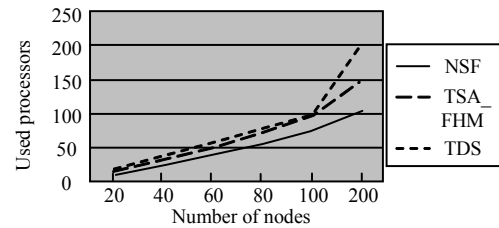


图 3 各种算法所用处理机数目比较

### 4 总结

该算法在保证得到最优调度长度的前提下, 减少了使用处理机的个数。实验结果表明, 该算法综合性能优于其它算法。下一步将研究特殊任务图的有效调度算法, 例如 in-tree、out-tree、fork-join 任务图的调度问题。

### 参考文献:

- [1] K. Yu-Kwong, I. Ahmad, Benchmarking and Comparison of the Task Graph Scheduling Algorithms[J]. Parallel and Distributed Computing, 1999, 59(2): 381-422.
- [2] S. Srinivasan, N. Jha, Safety and Reliability Driven Task Allocation in Distributed Systems[J]. IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems, 1999, 5(10): 56-60.
- [3] S. Darbha, D.P. Agrawal, Optimal Scheduling Algorithm for Distributed-Memory Machines[J]. IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, 1998, 9(1): 87-94.
- [4] Park C I, Choe T Y, An Optimal Scheduling Algorithm Based on Task Duplication[J]. IEEE Trans. Computers, 2002, 51(4): 444-448.
- [5] Zhengying Liu, A New Algorithm for Scheduling Fork-Join Task Graph[J]. Journal of Software, 2002, 13(4): 693-696.