

基于语义特征造型的虚拟装配

丁 博, 孙立镭

(哈尔滨理工大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150080)

摘要: 协同虚拟装配技术是虚拟样机技术与虚拟现实技术相结合所产生的一个新的研究热点。基于细胞元表示的语义特征造型技术, 提出一种统一的协同虚拟装配框架, 在该框架下能够有效支持异构 CAD 系统间零件及装配体的协同装配。网络传输以特征依赖图存储的操作信息, 可降低网络负荷, 提高响应速度。该思想初步应用在自主开发的 HUST-CAIDS 与 UG 间的异构协同设计中, 证明了以上理论的可行性。

关键词: 协同虚拟装配; 细胞元; 语义特征造型; 异构 CAD 系统

Virtual Assembly Based on Semantic Feature Modeling

DING Bo, SUN Li-juan

(College of Computer Science & Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080)

【Abstract】 Collaborative virtual assembly technology, which is on the combination of virtual prototyping and virtual reality, is a new hot research. This paper adopts semantic feature modeling based on cellular model, proposes a uniform cooperative virtual assembly environment, which can realize transmission of parts and components. And because what the network transmits is modeling operation based on FDG, the network has a less load and a faster respond speed. Preliminary applications in the collaborative virtual assembly between HUST-CAIDS and UG are also introduced to prove the feasibility of the theories above.

【Key words】 collaborative virtual assembly; cellular model; semantic feature modeling; heterogeneous CAD system

1 概述

协同虚拟装配的定义是: 利用计算机工具, 而不需产品或支持过程的物理实现, 通过分析、预建模、可视化、数据表示等进行或辅助进行装配相关的工程决策^[1-2]。协同虚拟装配技术将虚拟现实交互技术、装配建模技术、装配过程仿真结合起来, 支持设计者进行产品装配建模。设计者在建立产品装配模型的同时, 实现了对产品装配过程的创建与仿真, 从而有效地确保产品的可装配性, 并且大大缩短了产品的开发周期, 降低了开发成本。

本文提出了一种统一的异构 CAD 系统间实时协同虚拟装配框架。为了有效支持异构 CAD 系统间的虚拟装配, 以中性语义特征转换器作为中转站, 将不同系统的造型信息转换为统一的数据信息格式, 该数据信息采用细胞元表示的语义特征造型技术^[3]中的特征依赖图(FDG)^[4]来表示特征造型信息。特征依赖图是一种可声明的特征造型技术, 能够有效地克服传统造型技术中基于历史构建模型的缺点, 可以方便地描述装配体之间的层次关系, 保留高层次的语义信息, 准确描述设计者的设计意图。该框架能够支持不同 CAD 系统间共同对零件及装配体的协同装配, 且具有良好的可扩展性。

2 相关知识

针对异构 CAD 系统间协同虚拟装配的数据转换问题, 国内外不少学者进行了大量研究。目前的方法主要分为 3 类^[5]: (1)利用图形数据交换标准进行转换, 包括初始图形交换规范(IGES)和产品模型数据交换(STEP)标准。这 2 种标准在使用过程中并不理想, 原因是采取文本格式描述的中间文件格式复杂、组织繁琐、读取困难, 不易提取所需信息。(2)开发中

间数据格式进行转换。利用 CAD 系统将模型的几何信息、装配信息等写入中间数据格式文件。虚拟现实系统读取中间格式文件提取所需信息。这种方式容易产生数据丢失, 通用性较差。(3)以对 CAD 系统进行二次开发的方式建立虚拟装配工艺设计环境, 将 CAD 设计功能与虚拟装配功能结合起来, 两者共享底层数据库。这种方式的最大优点在于一个系统中实现产品的设计和虚拟装配, 无需数据转换。缺点是将过多的精力消耗在建模系统开发上, 与当前主流 CAD 系统的可集成性较差。

本文基于第 2 种方法, 采用基于细胞元表示的语义特征造型方法构建造型, 以装配体的“可装即可拆”性为前提, 通过中性语义特征转换器将不同系统的造型信息转换为统一的数据信息格式, 实现了不同系统间的数据转换。

3 装配体的“可装即可拆”性

本文采用基于细胞元表示的语义特征造型构建模型, 实现了装配体的“可装即可拆”性。在细胞元语义特征模型中, 组成模型的最小单位是细胞, 特征是组成模型的基本单位, 一个特征实体是由一个或者一个以上的细胞元组成的集合。每个细胞元要么完全在形状特征的内部, 要么完全在其外部, 因此, 2 个不同的细胞永远不会发生重叠。

细胞分解是相交驱动的。如对于任何 2 个相交的几何体, 有些细胞在这 2 个几何体的相交处, 而有些细胞只存在于其

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60173055)

作者简介: 丁 博(1983—), 女, 博士研究生, 主研方向: 计算机图形学, CAD; 孙立镭, 教授、博士生导师

收稿日期: 2008-11-22 **E-mail:** dingbo@hrbust.edu.cn

中一个几何体内。对于在相交处的细胞，用细胞模型中的拓扑面进行区分，这个面可以认为是有 2 个“面”。一般来说，位于细胞模型边界上的拓扑面只有一个细胞面。

为了识别和分析细胞元模型表示的特征，每个细胞元和细胞面都有一个所有者列表 COL，用来标识它所属的属性，即它是空心还是实心。空心表示它所属的特征为负特征，实心则为正特征。所有者列表记录了细胞元属于哪些形状特征，细胞面是否在零件的边界上。所有者列表 COL 如图 1 所示。其中，0 表示<block>; 1 表示<block, cornerTopLeft>; 2 表示<block, cornerTopRight>; 3 表示<block, slot>; 4 表示<block, pocketLeft>; 5 表示<block, pocketRight>。

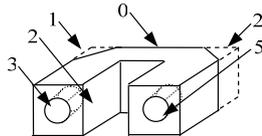


图 1 所有者列表 COL

由于细胞元语义特征模型具有这一智能化的属性机制，因此一旦有新特征被加入，COL 会自动更新，并能有效避免特征相交，使装配体可以进行任意的装配和拆卸。

4 中性语义特征转换器

为了支持异构 CAD 系统间的虚拟装配，以中性语义特征转换器作为中转站，实现了不同系统间的数据转换。在协同虚拟装配过程中，当某一客户端使用本地 CAD 执行了一条本地系统建模命令 LSMC，这条命令被传输到中性语义特征转换器中，中性语义特征转换器根据其具体操作到特征类库中找到与其匹配的特征类，并生成一个中性语义特征转换对象，该对象便可以调用其对象函数或者访问其对象属性。将转换完成的中性语义特征转换命令 NSFT 采用 FDG 来压缩存储特征造型信息，发送给服务器端，经服务器端验证接收成功后，发送接收成功消息给该客户端，并将此 NSFT 命令发送给其他客户端。其他客户端接收到此 NSFT 命令后，便将它传送给中性语义特征转换器，将其转换为本站点可识别的 LSMC 命令，并将 FDG 中存储的造型信息进行解压缩，重构视图。

中性语义特征转换器主要由 toNSFT() 和 toLSMC() 2 个函数组成。其中，转换函数 toNSFT() 有 2 个主要功能：(1) 特征操作，获取本地操作的参数，将其填充到中性语义特征转换对象的属性中去。(2) 模型约束操作，确定新特征与原有特征间的约束关系。toNSFT() 函数将各 CAD 系统不同的数据结构转化为由特征依赖图存储的结构，而转换函数 toLSMC() 的实现过程可以简单地理解为是转换函数 toNSFT() 的实现过程的逆过程。

若执行的是零件或组件传输操作，首先，像特征操作的处理一样，通过中性语义特征转换器，提取零件或组件本身的参数。然后，将零件或组件通过任务分解机制将其分解成若干个基本特征，再把这些基本特征依次转换为相应的中性语义特征转换对象。最后，将中性语义特征转换对象按优先次序排成一个队列，依次传送给其他站点执行。

5 异构 CAD 系统间的虚拟装配

5.1 零件和装配体的相似性

装配体由多个零件组成。有时，由于产品设计过程中多个零件不能直接地装配成一个完整的产品，因此需要先创建一个子装配体，再将多个子装配体合成一个装配体。单个零件和子装配体都属于稳定的实体，它们被统称为组件。

零件和装配体本身具有很多相似之处，例如，两者都可以用模型块及模型块间的相互关系来表示。在单个零件造型中，模型块指的是特征，模型块间的相互关系指的是特征间的约束关系。而在装配体造型中，模型块指的是组件，模型块间的相互关系指的是组件间的连接约束，如图 2 所示。

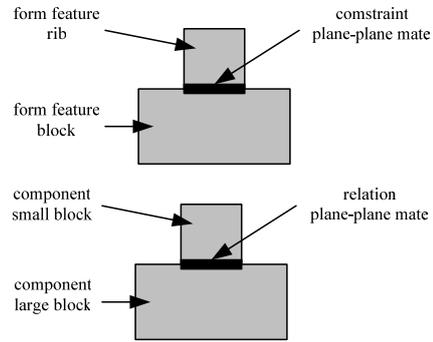


图 2 零件和装配体的相似性

单个零件通过约束关系将特征连接在一起，使特征间形成一个统一的整体，不可再分。而装配体通过连接约束将组件连接在一起，连接约束含有动态属性，可以被设计人员任意地添加、修改和删除。也就是说，2 个不同的组件可以通过添加连接约束形成一个装配体，也可以通过修改连接约束的参数，达到不同的连接效果，还可以通过删除连接约束将一个装配体分成若干个组件。

5.2 统一的协同虚拟装配表示方法

基于上述对单个零件和装配体相似性的分析，提出一种统一的基于中性语义特征转换的异构 CAD 系统间协同虚拟框架，有效地支持了对零件及装配体的转换，如图 3 所示。

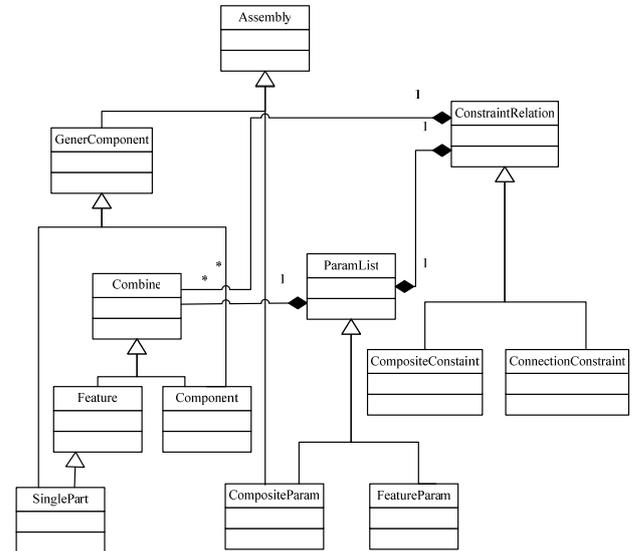


图 3 协同虚拟框架的 UML 视图

框架中各个类的说明如下：

(1) Assembly 几何体基类。描述几何对象的共有属性，如 ID 号、名称、材料、颜色、操作状态、包围盒等，也定义了几何对象的一些公共操作函数。

(2) GenerComponent 高级组件模型类。描述系统中各种类型的几何模型，GenerComponent 类以造型坐标系为基准，对几何模型的造型信息进行描述。

(3) Combine 总体几何体类。Feature 类和 Component 类都继承于它。前者主要包含 FeatureParam 和 CompositeConstraint。

后者主要包含 CompositeParam 和 ConnectionConstraint。

(4)SinglePart 单个零件类。它继承于 Feature 类和 GenerComponent 类。零件由多个基本特征组成,是一个不可再分的统一整体。

(5)ParamList 几何参数类。用来描述中性语义特征转换命令的基本参数化信息。FeatureParam 类和 CompositeParam 类都继承于它。FeatureParam 类用来描述特征操作的中性语义特征转换命令参数信息,它可以进一步扩展为组合特征类。CompositeParam 类则用来描述组件操作的中性语义特征转换命令参数信息,此类亦可以用来进一步扩展。

(6)ConstraintRelation 约束关系类。它是约束关系表示的基类。CompositeConstaint 类和 ConnectionConstraint 类都继承于它。CompositeConstaint 类表示特征间的约束关系。ConnectionConstraint 类表示组件间的约束关系。连接约束在更高的抽象层次上,分层次地表达了组件间的关系。并且在原约束关系类的基础上,可以进一步扩展出一个新类,即组合连接约束类,此类能够通过合并原有的约束关系产生新的组合连接约束。在装配过程中,两组件间应满足相关的约束关系,否则应调整几何特征要素的方位,直到满足相应约束为止。

5.3 协同虚拟装配的数据存储

FDG 是有向无环图,图中的一个节点对应模型中的一个特征,存在有向边连接的 2 个节点表示节点对应的 2 个特征存在直接特征依赖关系,并且有向边的终点(即箭头所指方向)是子特征,始点是父特征。

本系统采用 FDG 存储数据结构。FDG 不基于历程,设计人员可以根据需要任意执行添加、修改、删除特征操作,分别对应特征依赖图的节点插入、修改和删除 3 个基本操作。每当执行一个新的特征操作时,根据其具体操作,特征依赖图被更新一次,而不需重构整个造型。

(1)增加新特征到原模型中。向模型中添加特征就相当于在 FDG 中添加新的特征节点和已有的特征节点间建立一个或多个约束关系。保存新特征的所有参数信息,更新 COL。

(2)修改原模型中特征。修改后的特征被保存在特征依赖图中,由于这一操作,与修改特征相关的约束关系将被重新调整。

(3)删除原模型中特征。该特征被从特征依赖图中删除,同时所有依赖于该特征的子孙特征也均被删除,就是说要自动删除在特征依赖图中以被删除特征对应节点为起点进行遍历所能到达的所有节点及弧边。

6 系统实现

本文采用自主开发的基于细胞元的语义特征造型系统 HUST-CAID 和 UG 系统初步实现了协同虚拟装配。图 4、图 5 为 UG 和 HUSTCAID 协同设计一个 CAD 机械造型的界面,图 6 为服务器运行界面。通过在广域网的 3 台机器上分别配置主服务器端、HUSTCAID 站点和 UG 站点,客户端用户可以只关注于自己本地 CAD 系统的设计工作,服务器端实时地对客户请求进行响应,实现了异构 CAD 协同设计任务。

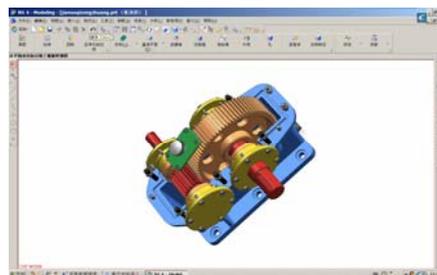


图 4 UG 界面

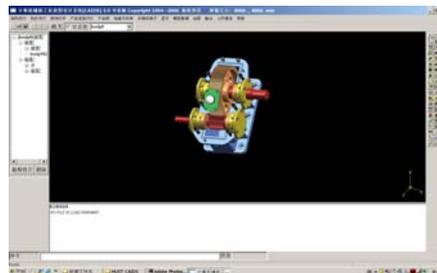


图 5 HUSTCAID 界面



图 6 协同服务器运行界面

7 结束语

本文提出了一种统一的协同虚拟装配框架,采用基于中性语义特征转换的数据转换方法,使用特征依赖图存储数据信息,在进行同步协同开发时,只将必要的高层语义信息在网络上传递,因而大大降低了网络负担,便于维护数据的一致性。通过实验测试,证明了该方法可以有效地完成异构虚拟协同设计。

参考文献

- [1] 赵丽娟,李世勋,胡建华,等. 虚拟样机技术中虚拟装配实现研究[J]. 机械研究与应用, 2007, 20(2): 25-27.
- [2] Tang Min, Chou Shang-Ching, Dong Jinxiang. Collaborative Virtual Environment for Feature Based Modeling[C]//Proc. of the ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry. Singapore: [s. n.], 2004.
- [3] Bidarra R, Neels W J, Bronsvoort W F. Boundary Evaluation for a Cellular Model[C]//Proc. of Computers and Information in Engineering Conference. Chicago, USA: [s. n.], 2003.
- [4] Bidarra R, Bronsvoort W F. Semantic Feature Modeling[J]. Computer Aided Design, 2000, 32(3): 201-225.
- [5] 黄垒,夏平均,姚英学. 虚拟装配工艺设计技术研究与应用[J]. 现代制造工程, 2007, (7): 52-55.

编辑 顾逸斐