

# 基于特征的 CAD 数据交换方法研究<sup>\*</sup>

张晓斌<sup>1</sup>, 叶含笑<sup>2</sup>, 彭 维<sup>1</sup>, 叶修梓<sup>1</sup>

(1. 浙江大学 计算机科学与技术学院, CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江中医学院 计算机科学与技术系, 浙江 杭州 310053)

**摘要:** 分析了现有产品数据交换方法的基本特点并指出其不足之处, 提出了一种基于特征的 CAD 数据交换方法, 这种以定义造型功能映射集合为基础的新方法实现了不同 CAD 系统之间高效的数据交换, 可保存高层设计意图。在 Inventor 和 SolidWorks 上初步实现了拉伸、旋转、扫描、圆角等几种特征数据交换, 验证了方法的可行性。

**关键词:** 特征造型; 数据交换; CAD

中图法分类号: TN919.6<sup>+</sup>5

文献标识码: A

文章编号: 1001-3695(2006)01-0022-03

## Research on Feature-based CAD Data Exchange

ZHANG Xiao-bin<sup>1</sup>, YE Han-xiao<sup>2</sup>, PENG Wei<sup>1</sup>, YE Xiu-zi<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of CAD&CG, College of Computer Science & Technology, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China;

2. Dept. of Computer Science & Technology, Zhejiang College of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou Zhejiang 310053, China)

**Abstract:** By analyzing the basic characteristics and shortages of current product exchange data technologies, this paper puts forward a new approach, called feature-based CAD data exchange. Based on mapping of modeling function set, this new approach ensures efficient data exchange among different CAD systems, and high-level design intent of designer is reserved. Data exchange of some features, such as extrude, revolve, sweep, fillet, are implemented on Inventor and SolidWorks.

**Key words:** Feature-based Modeling; Data Exchange; CAD

在当今经济全球化时代, 企业间竞争日趋激烈。各个企业为了缩短产品的生产、设计周期, 提高产品质量, 增强竞争力, 广泛地应用了 CAD 系统。由于产品的复杂性以及现代制造业分工协作的加强, 不同的企业或同一企业的不同部门围绕产品进行协同开发, 需要在不同 CAD 系统间, 或者同一 CAD 系统的不同版本上进行相互操作, 由此产生了频繁的数据交换。这就迫切需要有高效的数据交换技术。现有的 CAD 数据主要是通过中性文件格式进行交换, 为此制定了多种国际标准和工业标准, 如 IGES, STEP, STL, DXF 等。但这些标准存在很多局限, 数据的交换是在比较低的层次上进行, 丢失了设计人员的高层设计意图。如何高效地交换数据已成为当前研究的重点之一。就这个问题进行探讨, 提出了基于特征的数据交换方法。特征数据交换方法是在产品更高层次——特征模型层上交换数据, 它以定义造型功能映射集合为基础, 在不同 CAD 系统间采用一对一的接口方案实现数据交换。应用该方法实现了从 Inventor 8.0 向 SolidWorks 2004 的特征数据交换。

### 1 现有的交换方式和技术

产品数据交换主要有两种方式: 静态数据交换, 即通过 IGES, STEP 等中性文件格式交换数据, 这种数据是模型某一时刻的“快照”(Snap Shot); 动态编程接口, 如 CAM-I 公司的 AIS。

产品数据交换标准的研发工作由来已久, 已经制定了多种产品数据交换的国际标准和工业标准。早在 1980 年, 第一个较著名的数据交换标准 IGES 第一版公布了, 其后产生了很多标准, 有 STEP, STL, DXF 等。但这些标准存在很多局限: DXF 不能用于三维实体造型, STL 只支持三角网格数据, IGES 不能处理非几何数据, STEP 虽然可以提供产品全生命周期数据的交换, 但不能传递参数, 不能支持基于约束的和基于历史的造型, 丢失了设计人员的高层设计意图。对于丢失的高层语义, 企业需要耗费巨大的人力物力去手工重建, 延长了开发周期, 提高了开发成本。另外, 现有的 IGES, STEP 通过中性文件进行交换, 文件数据量大, 交换效率低, 属于脱机交换方式, 不支持在线实时交换。这些缺陷阻碍了 CAD 系统间的协同开发和设计数据重利用。

动态编程接口则定义 CAD 应用程序接口 (API), 提供实体的造型和几何操作。相关的规范主要有: CAM-I 制定的应用接口规范 (AIS), ISO 10303 制定的 STEP 数据访问接口规范 (SDAI) 等。AIS 是最早 (20 世纪 90 年代初) 制定的 CAD 编程接口, 它是一种过程式调用接口, AIS 2.1 版本没有实现基于特征, 参数和约束的 API。SDAI 是基于 STEP 的数据访问接口, 它只能访问 Express 定义的数据模型。

### 2 基于特征的 CAD 数据交换方法

产品数据模型从高到低可以抽象为四层: 功能模型层、特征模型层、边界模型层和网格模型层, 数据转换可以在不同层次上进行。层次的抽象程度越高, 所要交换的数据量就越少。

收稿日期: 2005-01-23; 修返日期: 2005-09-15

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2003AA4Z3120); 国家自然科学基金资助项目(60273060, 60473106, 60333010)

现在的数据交换主要发生在边界模型层(如 IGES 和 STEP) 和网格模型层(如 STL), 在这两层交换数据会丢失特征等高层语义信息。应该在更高层次上交换数据, 比如在特征模型层交换数据。这时 CAD 系统交换的就不是边界或网格等低层语义, 而是特征、造型历史等高层语义。参与交换的 CAD 系统可利用这些数据在本地机器上通过求值算法重建模型。

虽然主流 CAD 系统都支持基于约束的参数化特征造型, 但是由于特征没有统一的形式化定义, 造成了特征造型的结果不一致。分析了主流 CAD 系统, 发现不同系统的不一致主要有两个方面: 功能的不一致和实现的不一致。功能的不一致是指不同 CAD 系统提供的造型功能不一致。实现的不一致是指不同的 CAD 系统提供了相同的造型功能, 但实现方法不同。

为解决不同系统的不一致问题, 提出的基于特征的数据交换模式包括三个实现环节: 定义造型功能映射集合、多次重试的交换过程、数据交换质量分析。造型功能映射集合是指现有 CAD 系统支持的造型功能全集, 各个 CAD 系统的造型功能是这个全集的子集。因为 CAD 系统的特征实现的不一致性, 将造型功能和实现方法分开。造型功能和实现方法不是一对一关系, 一种功能可能包括多种实现方法。多次重试的交换是指不同 CAD 系统实现的不一致, 基于特征的数据交换可能不能一次完成, 需要进行多次交换。如果交换的特征造型功能在两个系统都能支持, 且实现方法一致, 就调用同样的实现方法实现, 实现后需要经过质量分析, 若不合格, 需要使用这个造型功能对应的另一种实现方法实现。数据交换质量分析是指通过分析特征交换前后两个几何模型的某些特性来判断交换得到的几何模型是否合格。由以上三个实现环节构成的通用特征数据交换模式可以在特征模型层保留 CAD 设计人员的高层设计意图。当然, 由多次重试的交换过程可看出, 这种方法在少数情况仍然失效。采用一对一的接口连接方案, 通过为不同 CAD 系统开发数据转换接口实现数据转换。图 1 是两个系统间单向的数据转换流程。

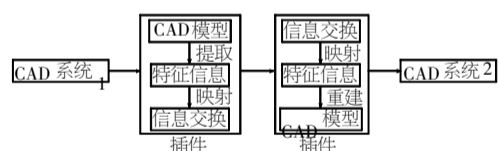


图 1 两个 CAD 系统间单向的数据转换流程

由系统 1 中的 CAD 模型转换为系统 2 的 CAD 模型需要以下五个步骤:

- (1) 系统 1 调用数据转换插件, 访问模型对象信息;
- (2) 通过模型对象, 提取特征造型历史信息 and 每个特征的详细信息;
- (3) 根据造型历史, 将特征信息经映射后存储, 用于信息交换;
- (4) 系统 2 调用插件依次读入存储的信息, 将其映射成系统 2 的特征信息;
- (5) 根据造型历史, 调用系统 2 特征建模 API 重建模型。

### 3 应用实例

应用特征数据交换方法, 分别在 Inventor 8.0 和 SolidWorks 2004 系统上编写数据转换插件, 实现 Inventor 零件向

SolidWorks 的导入。

Inventor API 和 SolidWorks API 都是基于组件对象模型 (COM), 这种接口为大多数的流行语言所支持, 如 VB, VBA, VC++, Java 等。它提供所有语言一致的编程接口, 且可在不同版本间保持代码的兼容性。Inventor API 和 SolidWorks API 均包含产品的大部分功能, 而且是读写访问。插件是一种特殊类型的程序, 有几个特点: 插件在系统启动时可以自动加载。

插件可以创建新的命令。插件可以访问和使用 API。插件可以自动加载对于数据转换程序来说是一个非常有用的功能, 这样转换功能就能够始终为用户获得。

在两个不同的 CAD 系统上交换数据, 首先需要定义两系统的造型功能映射集合。数据转换插件主要实现了圆角特征、倒角特征、拉伸特征、旋转特征和扫描特征的转换, 以考察交换方法的可行性。在造型功能映射集合中, 造型功能和实现方法是一对多的关系。以拉伸特征为例。根据终止方式不同, Inventor 8.0 中有五种方法实现拉伸功能:

- (1) DistanceExtent——根据拉伸长度进行拉伸操作。
- (2) FromToExtent——根据输入的起始面和终止面进行拉伸。
- (3) ThroughAllExtent——将沿指定的拉伸方向拉伸, 以致贯穿零件。
- (4) ToFaceExtent——指定终止面, 将草图拉伸到终止面形成特征。
- (5) ToNextExtent——指会从草图拉伸到指定的另一实体 (Entity) 上。

在 SolidWorks 2004 中创建拉伸特征, 则根据终止条件的不同有八种方法:

- (1) Blind——从草图的基准面以指定的距离延伸特征。
- (2) Through All——从草图的基准面拉伸特征直到贯穿所有现有的几何体。
- (3) Up To Next——从草图的基准面拉伸特征到下一面 (隔断整个轮廓) 以生成特征。(下一面必须在同一零件上)。
- (4) Up To Vertex——从草图基准面拉伸特征到一个平面, 这个平面平行于草图基准面且穿越指定的顶点。
- (5) Up To Surface——从草图的基准面拉伸特征到所选的曲面以生成特征。
- (6) Offset From Surface——从草图的基准面拉伸特征到某面或曲面之特定距离平移处以生成特征。
- (7) Up To Body——从草图的基准面延伸特征至指定的实体。
- (8) Mid Plane——从草图基准面向两个方向对称拉伸特征。

对比这两组方法, 发现 Inventor 的方法 (1) ~ 方法 (5) 分别与 SolidWorks 的方法 (1), 方法 (2), 方法 (5), 方法 (7) 是相同的, 对于 Inventor 的一种方法, 可以直接映射为 SolidWorks 对应的方法。而对于 Inventor 的 FromToExtent 方法, SolidWorks 没有直接对应的方法, 但是可以通过调用两次 Up To Surface 方法实现, 即先将草图成型到起始面, 再将其成型到终止面。有些 SolidWorks 的方法在 Inventor 中没有直接对应的方法, 可以通过其他方法来实现, 如 SolidWorks 中的 Up To Vertex, 可以通过计算点到草图的距离, 并利用 Inventor 中的 DistanceExtent

方法实现。通过上述处理,就建立两系统间的造型功能映射集合。

利用特征数据交换技术实现不同系统间的数据转换,还需要解决如何提取特征信息的问题。在 Inventor 中,访问浏览器中的特征树不能直接得到特征历史信息,需要激活零件,在零件的特征数组中得到特征数据。特征数组中各特征项的排列刚好与特征树的排列顺序是相同的,由此可以同时得到历史信息。对于不同于 Inventor 的系统,也可以通过特征抑制和解除得到特征历史信息。大部分 CAD 系统都提供了特征抑制和解除抑制功能。

对于特征建模参数的记录,由于存在多种实现方法,各种实现方法采用不同的数据,所以非常复杂,采用面向对象的方法进行储存是比较好的解决方案。因此,定义了兼容 Inventor 和 SolidWorks 系统的面向对象结构。面向对象结构对每一特征都提供了详细的记录。在模型转换过程中,Inventor 插件提取的数据通过特征数据处理模块映射成面向对象信息存储,再由 SolidWorks 的插件读入重建。以下是拉伸特征类的定义:

```
Class CNDExtrudeFeature{ //拉伸特征类定义
    Extrude_type ExtrudeType; //拉伸方式
    CNDRefPlane m_RefPlane; //参考面
    CNDSketch m_Sketch; //拉伸草图
    CNDRefDirection m_RefDirection1;
    //拉伸方向 1(草图所在平面的正法矢方向)
    End_condition_extrude EndCondition1;
    //在方向 1 上的拉伸终止条件
    Double m_dDeep1;
    //沿拉伸方向 1 上的拉伸距离(草图所在平面的负法矢方向)
    CNDRefDirection m_RefDirection2; //拉伸方向 2
    End_condition_extrude EndCondition2;
    //在方向 2 上的拉伸终止条件
    Double m_dDeep2; //沿拉伸方向 2 上的拉伸距离
}
```

在这个定义中,Extrude\_type 有两个数据成员:m\_System 和 m\_type,前者指定了实现方法所属的系统类型,后者指定了具体的实现方法类型。其他的草图和参考面等也都有各自的详细定义。

特征间往往有密切联系,如圆角操作的面是拉伸特征生成的终止面,因此当数据导入 SolidWorks 进行特征重建时,要解决特征定位的问题。为了很好地定位,就需要记录尽可能多的特征信息,比如面,不仅要记录面的边的几何信息,还有记录内环、外环以及相邻面等拓扑信息,这样在重建过程中就可以通过查找匹配的实体来进行特征定位。完成了特征定位,Solid-

Works 中的数据导入插件就可以根据特征信息调用 API 重建模型。

图 2 是通过插件转换得到的模型。图 2(a) 是 Inventor 中的零件,图 2(b) 是通过该方法导入到 SolidWorks 得到的零件。

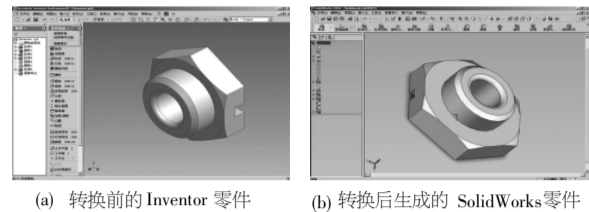


图 2 Inventor 转换成 SolidWorks 的零件例子

## 4 结束语

本文利用特征交换方法实现了 Inventor 模型成功导入 SolidWorks,保留了设计人员的高层设计意图。从转换的效果看,这种方法是可行的。对于特征转换过程中的多次重试和质量分析,本文未做进一步的工作,有待进一步深入研究。综上所述,基于特征的数据交换方法可在特征、历史造型等高层语义上交换数据,有很好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 朱大培,许永安,杨钦,等.基于 STEP 标准的数据交换研究与实现[J].计算机工程与设计,2001,22(4):5-8.
- [2] Guk-Heon Choi, Duhwan Mun, Soonhung Han. Exchange of CAD Part Models Based on the Macro-Parametric Approach[J]. International Journal of CAD/CAM, 2002, 2(1): 13-21.
- [3] Pratt M J, Anderson B D. A Shape Modeling Applications Programming Interface for the STEP Standard[J]. Computer-Aided Design, 2001, 33: 531-543.
- [4] ISO 10303-22, Industrial Automation Systems and Integration-Product Data Representation and Exchange-Part 22. Implementation Method: Standard Data Access Interface Specification[S].
- [5] OMG. CAD Services Specification, version 1. 1[EB/OL]. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal/03-03-63,2003-03>.

### 作者简介:

张晓斌(1978-),男,浙江温州人,硕士研究生,主要研究方向为 CAD、几何造型;叶含笑(1974-),女,浙江东阳人,讲师,主要研究方向为数据库设计、图形图像技术;彭维(1973-),男,湖南株洲人,副研究员,博士,主要研究方向为 CAD、CSCW、人机交互技术等;叶修梓(1966-),男,江西人,长江学者特聘教授,博士生导师,博士,主要研究方向为 CAD、几何造型、图形图像技术、生物信息学、GIS 及数据库应用等。

(上接第 21 页)重构。在这篇文章中有一个问题没有被强调,即分解之后的变换信号若受到噪声的影响,将影响合成阶段的决策过程,这个问题将会在接下来的文献中作较详尽的讨论。

### 参考文献:

- [1] iella G, Heijmans H J A M. An Adaptive Update Lifting Scheme with Perfect Reconstruction[C]. Proceedings of 2001 International Conference on Image Processing, 2001. 190-193.
- [2] Omer Nezh Gerek, Enis Cetin A. Adaptive Polyphase Subband Decomposition Structures for Image Compression[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(10): 1649-1660.
- [3] Roger L Claypoole, Geoffrey M Davis, Wim Sweldens. Nonlinear

Wavelet Transforms for Image Coding via Lifting[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2003, 12(12): 1449-1459.

- [4] 吴渝,刘伯红.基于提升方案的自适应小波变换[J].计算机应用研究,2002,19(6):18-20.
- [5] W Sweldens. The Lifting Scheme: A Custom-design Construction of Biorthogonal Wavelets[J]. Appl. Comput. Harmon. Anal., 1996, 3(2): 186-200.

### 作者简介:

尚玲(1974-),黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为小波理论及应用、视频压缩;陈峰(1971-),辽宁鞍山人,副教授,主要研究方向为图像处理、视频压缩;徐文立(1947-),江苏扬州人,教授,博士生导师,主要研究方向为机器视觉、变频调速、模糊控制等领域。