

# 基于 XML 的逆向重建模型与 CAD 系统数据交换研究<sup>\*</sup>

## Research of XML-Based Data Exchange Between Reverse Reconstruction Model and CAD System

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 张勇 张树生 贺强

**[摘要]** 为了实现逆向重建三维模型导入到常规 CAD 系统后生成可参数化驱动模型,对逆向重建模型采用 CSG/B-Rep 混合模式表达,提出了一种基于 XML 描述的数据交换格式,可将 CAD 模型所需的参数信息包含在数据格式中,通过对 CAD 系统进行二次开发,导入 XML 文件,实现了以 CSG/B-Rep 混合模式表达的逆向重建三维模型与常规 CAD 系统的数据交换,扩充了逆向重建模型的重建意义。最后通过逆向重建模型与 CATIA 系统的数据交换实例验证了该方法。

**关键词:** XML 数据交换 CAD 系统二次开发

**[ABSTRACT]** In order to make the reverse reconstruction model be parameter-driven model after being imported into conventional CAD system, CSG/B-Rep hybrid mode is applied to represent the reverse reconstruction model, and a XML-based description of data exchange format is proposed, which contains all required parameter information of CAD model. After second development of CAD system, the XML files can be imported into CAD system, and accomplish the data exchange between reverse reconstruction models which are represented by CSG/B-Rep hybrid expression mode and conventional CAD system, which expands the reconstruction significance of reconstruction model. Finally, the method is verified by an example of data exchange between reverse reconstruction model and CATIA system.

**Keywords:** XML Data exchange Second development of CAD system

实体模型是现代 CAD 系统几何模型的代表基础,重构与现代 CAD 系统兼容的几何模型以便于利用现有 CAD/CAM 系统的功能进行再设计、制造和生产,这也是逆向工程的主要目的。目前商业逆向软件中主要通过曲面拟合后进行交互生成完整的实体几何模型<sup>[1]</sup>,这种重构后的模型无法导入到 CATIA 等 CAD 软件中进行后续创新或者改型设计,是一种低层次的重构<sup>[2]</sup>。针对

这个问题,本文将阐述为:对逆向重建三维模型采用何种表达方式可以实现基于“体”特征的模型重构;如何将逆向重建三维模型数据准确地传递到 CAD 系统中,以保证进行基于特征的高层次模型重构,实现可参数化驱动设计。

许多文献从多角度对异构 CAD 系统中的数据交换提出了新方法:ISO 推出了一个称为“EXPRESS 驱动数据的 XML 表示”,其实质是将 EXPRESS 表示的数据形式映射为 XML 表示的数据形式<sup>[3]</sup>,但常规逆向软件基本是以重构模型的 B-Rep 为目标,这种映射造成了模型“体”层次上信息的损失;文献[8]提出通过建立中间件来实现数据在 XML 与关系数据库间的格式转换和映射,侧重于非实时数据的共享,没有论及设计意图交换的实现<sup>[4]</sup>,最重要的是所有这些异构系统间数据交换技术<sup>[5-8]</sup>,应用在以获得 B-Rep 表达为重构目标的逆向重建系统和 CAD 系统之间后,都使得重建出的模型导入到 CAD 系统后变为不可参数化驱动,失去了重建意义。

本文提出一种基于 XML 的描述 3D 几何模型数据的交换格式,选择了 CSG/B-Rep 混合模式来表达 CAD 模型,并在此基础上以 CATIA 平台为例,重点介绍了逆向重建以 CSG/B-Rep 混合表示的三维模型和 CATIA 系统的数据交换。

### 1 逆向重建模型表达方式

由于常规 CAD/CAM 系统(如 CATIA, UG 等)都是以 CSG/B-Rep 的混合表示作为形体数据表示的基础。CSG 表示法为系统外部模型;B-Rep 表示法为内部模型。以 CSG 法作为用户接口,便于输入数据、定义体素及确定集合运算类型,在计算机内部转化为 B-Rep 的数据模型,以便存储实体更详细的信息,从而实现快速描述和操作实体模型的目的。因此,本研究采用 CSG/B-Rep 作为逆向重建三维 CAD 模型的建模方法。

通过对三角网格进行特征识别、体素分割,得到的体素以及重建顺序构成了逆向重建模型的 CSG 树;重构 CSG 模型后,各个叶子节点是不可再分的体素,体素分类如图 1 所示;然后在此基础上重构体素的 B-Rep 模型。体素的 B-Rep 模型重构同逆向工程中常用的

<sup>\*</sup> 航空科学基金项目(04H53059)资助。

B-Rep 模型重构方法相似,不同的是,由于体素仅仅是一些形状简单的体积元素,其 B-Rep 模型重构要容易得多。

将逆向重建过程的 CSG 树和 CAD 系统建模的 CSG 树相对应;在逆向系统内部对 CSG 树节点所表示的体素采用 B-Rep 表示法进行各种运算等。这为数据交换的完整性和准确性提供了依据。本文中涉及到的数据交换对象是基于逆向重建并以 CSG/B-Rep 混合表达的模型。

## 2 XML 文件格式的设计

### 2.1 XML 文件格式特点

XML 是 W3C 组织定义的计算机文档表示的标准标记元语言。XML 遵循清晰严格的语法,将数据的显示样式与数据本身分离,具有良好的可扩展性。XML 借鉴了 HTML 与数据库、程序语言的优点,将内容与表现分开,不仅使检索更为方便,而且用户之间的数据交换更加方便,可重用性更强。当前的 CAD 应用软件(如 CATIA, IDEAS, Pro/ E) 均可采用特征树来表示产品,XML 非常适合描述此结构的数据,因为 XML 文档本身就可以被看作树型结构。每个 CAD 产品模型都对应一个 XML 树,XML 树则对应一个 XML 文档。

### 2.2 CAD 模型的 XML 文件格式设计

由于逆向重建三维模型采用的是 CSG/B-Rep 混合模式表达的,所以可实现 CSG 树相互对应。在计算机内部,可以根据 B-Rep 模型拟合出体素的参数信息;因此 XML 文件的数据描述规则如下:

Step 1: 记录三维模型的逆向重建过程。逆向重建平台采用 CSG 表示法作为该模型的外部表达方式,通过交互重建方式可以很容易获取构成该模型的体素和特征以及体素重建顺序。三维体素分类如图 1 所示。

Step 2: 将体素映射成 XML 中的一个元素,该元素被称为体元素,体元素中包含属性、文本数据、子元素。布尔运算符、体素标识符 (ID) 和基点位置信息等;形状数据被映射到元素的子元素;二维图元的几何形状的尺寸被映射到元素的文本数据。

Step 3: 从体素中选定一个作为主体素,该体元素成为 XML 的根元素。这个根元素包含其他体素对应的体元素及特征对应的元素,它们对应于 XML 根元素下的子元素。然后按照 CSG 建模方法将构成图形对象的体素及特征表达成 XML 元素。

信息获取者在提取数据之前要对此 XML 文档进行有效性检查,以免在生成 XML 文档时有多余或者欠缺的内容,甚至出现数据类型不对应等情况。XML Schema 解决了这个问题,只要制定出产品的 XML Schema,本地

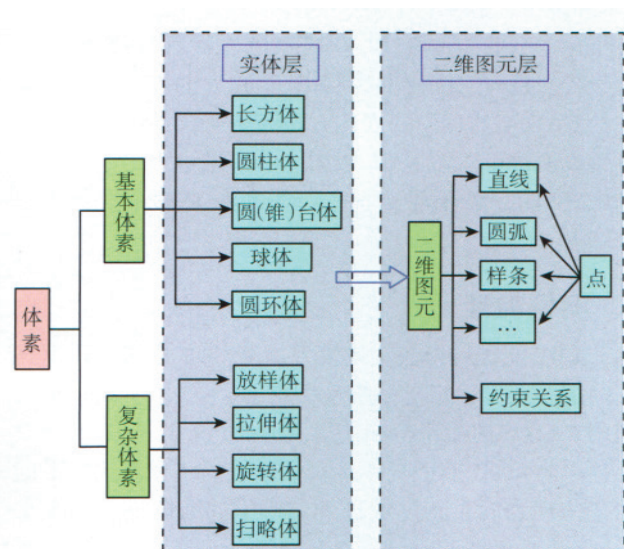


图 1 体素分类

Fig.1 Classification of voxel

解析器会根据产品对应的 XML Schema,检查 XML 产品文档是否在数据结构上与其符合,以检查其有效性。若不相符,则终止数据交换。针对 CAD 重建模型是由体素进行布尔运算而成,只需定义所有可能的体素的数据结构即可满足要求。这样 XML 对 CAD 产品模型的表达更具灵活性。

## 3 CAD 系统造型技术

基于 CAD 系统 Automation 和 XML 解析器作为软件开发包,通过分析 Macro 命令,编写体素建模函数模块,实现描述逆向重建的三维模型的 XML 文件与 CAD 系统的三维模型的转换。所涉及的技术包括 XML 文件解析、图形数据转换和图形生成 3 部分。

### 3.1 XML 文件的解析和处理

XML 数据的解析和处理模块实现如下功能:

(1) 完成解析器初始化,将 XML 文档解析成 DOM 节点树。

(2) 遍历 XML 文件,获得体素的类型,并根据体素的类型调用相应的数据模块。

(3) 将体素的参数发送给 CAD 接口中的相应模块。

XML 数据引擎根据体素类型调用相应的几何体模块获得三维体素的参数信息;再通过数据转换模块的转换后存到图形的数据结构中。

### 3.2 CAD 系统中 CAD 建模

CAD 图形生成系统包含若干个 CAD 接口模块,这些模块的主要工作是:在控制模块的控制下使用 XML 数据引擎发送过来的数据,在 CAD 软件中生成对象的图形。CATIA/UG 系统中,该 CAD 接口分别是使用

CATIA 的 Automation、UG Open/API 二次开发包开发的。由于待交换的三维模型的 CSG/B-Rep 的表达方式与常规的 CAD 实体建模的表达方式完全兼容,所以 CAD 图形生成模块可以将 XML 数据引擎发送过来的数据直接输入 CAD 二次开发编写的造型函数,从而很形象地生成图形。

#### 4 实例验证

XML 文档转换成实体模型是由 CAD 系统平台下开发的图形交换接口子系统来实现的,本文以实例验证了利用 CAITA 建模平台和其提供的 Automation 二次开发工具作为 CAD 模型交换接口子系统的实现方式。根据本文中提到的思路以及过程建模中的数据格式的定义格式,开发出逆向重建系统的前置处理器和 CATIA 系统的后置处理器。前置处理器生成的 XML 文件完整的记录了重建过程和模型几何、位置以及拓扑信息。后置处理器实现了对 XML 文件的解析处理并在 CATIA 系统中完整的重建了该 CAD 模型。其整体数据交换如图 2 所示。

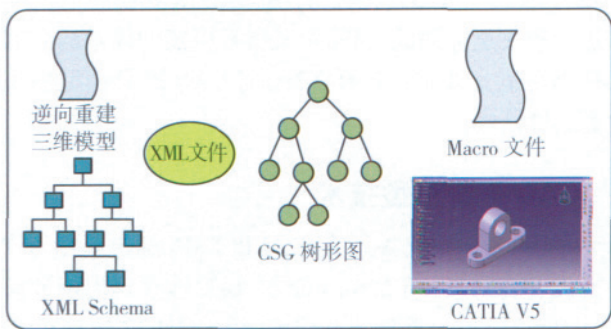


图2 数据交换整体思路  
Fig.2 General thought of data exchange

##### 4.1 逆向重建前置处理器

以图示的模型为例,在逆向系统进行点云分区和体素分割的基础上,可知该模型为 2 长方体和 8 个圆柱体进行布尔运算后得出;将各个体素分别拟合出其参数和位置等信息;然后按照顺序重构体素模型;若该模型的逆向重建模型结果如图 3 所示(模型重构的基础是正确进行体素分割的基础上):体素的位置变换矩阵可以通过 B-Rep 模型进行求出,将这些参数保存在 XML 文件。该模型数据结构如下:

{ 组合体:{2 块状体(底座){长;宽;高;布尔运算符;坐标系转换矩阵};8 圆柱体(孔){半径;高度;布尔运算符;坐标系转换矩阵}} 其中同一类型体素排列顺序按照体素重建顺序排列。

块状体对应的 XML 文件格式为:

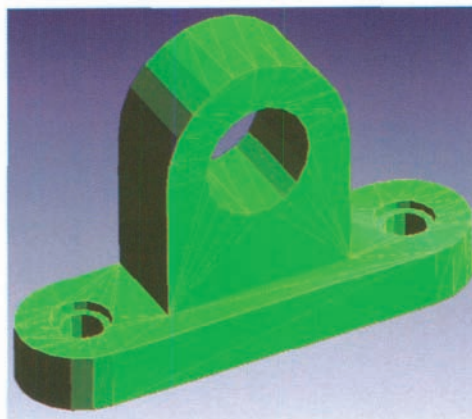


图 3 逆向重建模型  
Fig.3 Reverse reconstruction model

```
<Feature xsi:type="BlockType" feature_id="#010">
  <iLength>120</iLength>
  <iWidth>80</iWidth>
  <iHeight>20</iHeight>
  <Matrix>[0.8,0.6,0,0;...;20,20,10,1]</Matrix>
  <iBoolean id=" #006" >Remove</iBoolean>
</Feature>
```

其中, feature\_id 是该体素的唯一标识符, iLength、iWidth、iHeight 分别表示该体素的长、宽、高,而 4 阶矩阵 Matrix 表示的是该体素的变换矩阵; iBoolean 表示的是该体素的布尔运算符, id 表示的是该体素与哪个体素之间的布尔运算关系。

##### 4.2 CATIA 系统后置处理器

在 CATIA 系统中,从生成的 XML 文件中按照顺序提取体素信息,根据体素特征调用 CATIA 系统相应的建模函数。然后对体素进行平移、旋转等。最后进行体素间布尔运算。最终实现的效果如图 4 所示。

结果表明:在逆向系统中交互重建后的模型的特征

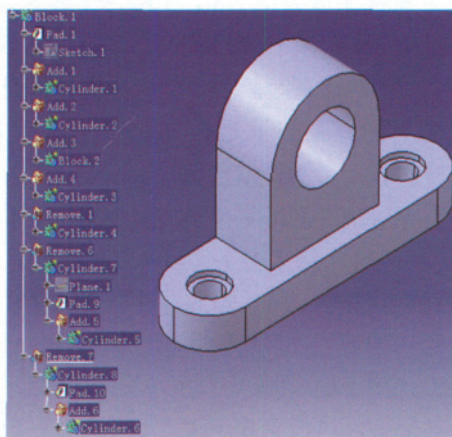


图 4 CATIA 系统中重构系统图  
Fig.4 Reconstruction structure at CATIA system

(下转第 90 页)

表2 永久凹坑计算过程与结果

层板材料	T700/5428		T300/5428	
	冲击能级	4.45	6.67	4.45
$K/(N \cdot m^{-0.5})$	9.00E+08	9.00E+08	1.07E+09	1.07E+09
$f_m/N$	7000	9100	7000	8500
$\alpha_m/mm$	0.392	0.467	0.350	0.398
$\alpha_{cr}/mm$	0.08	0.08	0.08	0.08
$\alpha_\phi/mm$	0.185	0.237	0.156	0.189

表3 计算与试验结果对比

材料	冲击能量/(J·mm <sup>-1</sup> )	计算结果/mm	试验结果/mm	误差/%
T700	4.45	0.185	0.18	2.62
	6.67	0.237	0.24	1.36
T300	4.45	0.156	0.14	11.5
	6.67	0.189	0.56	66.3

通过对比可以看出,在较小损伤时,计算结果与试验结果比较接近;但是一旦出现严重损伤,则误差十分明显,这也是由赫兹接触定律本身的适用范围所决定的。说明这种基于赫兹接触定律建立的永久凹坑的理论分析方法适用于较小冲击损伤情况,预测结果比较准确;对于严重损伤情况不适用。

### 3 结论

通过理论计算与试验验证了这种计算永久凹坑的理论在较小冲击损伤情况下是适用的,对于严重损伤不适用。此方法可以为复合材料低速冲击性能的预测提供一种参考。

### 参考文献

[1] Serge A. Impact on Composite Structures. Cambridge University Press. 1998.

[2] Barber J R. Elasticity. Kluwer Academic Publishes, 1992.

[3] Gladwell G M L. Contact Problems in the Classical Theory of Elasticity. Sijthoff and Noordhoff, Alphen ann den Rijn, Netherlands, 1980.

[4] Johnson K L. Contact Mechanics. Cambridge University Press, 1985.

[5] Timoshenko S P, Goodier J N. Theory of Elasticity. McGraw-Hill, New York, 1970.

[6] Cairns D S. Simple Elasto-Plastic Contact Laws for Composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 1991,10 (4):423-433.

[7] Christoforou A P. On the Contact of a Spherical Indenter and a

Thin Composite Laminate. Composite Structures, 1993,26:77-82.

[8] Christoforou A P, Yigit A S. Normalized Impact Response and Damage in a Thin Composite Laminate Supported by a Rigid Substrate. Journal of Composite Materials, 1994,28:1553-1573.

[9] Yang S H, Sun C T. Indentation Law for Composite Laminates. ASTM STP 787. 1982:425-449.

[10] Crook A W. A Study of Some Impacts Between Metal Bodies by a Piezoelectric Method. Proc. Royal Soc.[C]. Lodon, Series A, 1952,212:377-390.

(责编 小城)

(上接第 86 页)

信息能准确地传递到 CATIA 系统中,并能建立可参数化驱动的 CAD 模型,这为后一步进行改型设计等创造了极大的有利条件。

### 5 结束语

对于逆向重建 CAD 模型,目前的重点主要放在曲面重建上;实体层重建一般需要较多的人工交互或者经验,效率和效果都不是非常理想。本文提出了基于 XML 格式对几何模型的直接描述,将逆向重建模型采用 CSG/B-Rep 混合表达模式表达,并对 CAD 系统进行二次开发后,实现了 CAD 模型“体”层次上的重构,为后续改型设计提供了可能。最后,通过一个简单的实例,准确实现了重建的三维模型导入到 CATIA 系统后生成了可参数化驱动的 CAD 模型。实践证明,这不仅对于逆向重建三维可参数化驱动设计 CAD 模型提供了一种思路,而且对其他基于 XML 的图形数据交换及 CAD 数据的异构传输也提供了很好的参考。

### 参考文献

[1] 罗刚. 基于“体”的逆向工程特征分类技术研究. 硕士学位论文(硕士论文)[D]. 西安:西北工业大学,2007.

[2] 白晓亮. 逆向工程中的混合 CSG/B-Rep 模型重构. 博士学位论文(博士论文)[D]. 西安:西北工业大学,2005.

[3] Kimber W E. XML representation methods for EXPRESS driven data. 1999-11-01 [2007-02-15].http://xml.cover-pages.org/kimberPAPER.Expressdatain XML. pdf.

[4] 王钰,杨国为. 一种含设计意图的 3D 模型数据实时交换格式[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2007,11 (19):1429-1435.

[5] 谢来勇,郝永平,张秉权. 基于 XML 的产品信息模型表示及应用. 计算机集成制造系统.2004,12 (10):1492-1496.

[6] 张旭,段国林,蔡瑾,等. 基于 XML 的夹具图形数据异构平台的研究与应用. 机械设计,2009,5 (26).

[7] 仇晓黎,易红,吴锡英,等. 网络化设计和制造信息共享中的 STEP 和 XML 技术. 成组技术与生产现代化,2001,18 (3):8-10.

[8] 任东锋,方宗德,黄广君. XML 在网络协同设计中的应用. 计算机工程,2003,29 (20):92-94.

(责编 三丰)