

异构 CAD 系统协同中基于特征的操作命令转换研究

宋效东^{1,2}, 窦万峰^{1,2}

(1. 江苏省信息安全与保密工程研究中心, 江苏 南京 210097
2. 南京师范大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 基于特征的操作转换是同步异构 CAD 协同系统中的核心问题. 分析了异构 CAD 系统协同中基于特征的建模命令转换, 提出了特征建模命令映射集合的构建方法. 给出了 3 种 CAD 系统间拉伸特征操作转换的实例, 分析了构建方法, 为实现和优化异构 CAD 系统协同平台打下良好的基础.

[关键词] 同步协同设计, 建模命令集合, 操作命令转换

[中图分类号] TP391.72 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2010)01-0067-05

Research of Operation Command Transformation Based on Features in Heterogeneous Cooperative CAD System

Song Xiaodong^{1,2}, Dou Wanfeng^{1,2}

(1. Jiangsu Research Center on Information Security and Confidential Engineering, Nanjing 210097, China
2. School of Computer Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract Operations Transformation based on features is crucial for synchronized cooperative system with heterogeneous CAD application. This paper analyzes the transformation of modeling command based on features of cooperative system with heterogeneous CAD application, and proposes the method of mapping set structure based on features modeling command. With our method, we give our solution to the transformation about extrude feature operation among three different CAD systems. In addition, we analyze the method of structuring in detail which promotes the efficiency of cooperative system with heterogeneous CAD application.

Key words synchronized collaborative design; modeling command set; operation command transformation

由于图形技术的迅速发展, 在计算机上实现用户图形交互已经成为可能. 随着客户对产品的要求不断提高, 企业需要迅速开发出新产品, 这导致了协同 CAD 概念的诞生. 协同 CAD 系统支持不同地域的设计人员通过网络实时地操作同一个 CAD 模型. 实现协同 CAD 的方法一般是借助外部 CAD 应用共享工具. 实现协同 CAD 系统的关键技术之一是对特征建模操作的协同, 即协同多个独立且不同种类的 CAD 系统中的特征操作通过转换, 从而保证 CAD 系统的协同工作, 这也是目前研究的一个重点.

本文提出一种新的方法用以建立特征建模命令映射集合, 阐述了特征操作实时转换、特征语义等关键问题. 通过比较分析李珉等人^[1]设计平台所采用的中性命令集的构建方法, 本文介绍了一种通过采用各个系统间特征命令的交集作为最小特征命令集的构建方法.

1 异构 CAD 系统的协同框架

1.1 特征模型

特征技术研究的萌芽产生于 20 世纪 80 年代初, 并于 80 年代的中后期蓬勃发展起来. STEP 标准中将

收稿日期: 2009-06-08
基金项目: 江苏省高校自然科学基金 (07KJD520112).
通讯联系人: 窦万峰, 博士后, 副教授, 研究方向: 分布协同软件工程. E-mail: douwanfeng@njnu.edu.cn

形状和公差特征等列为产品定义的基本要素,使特征获得了国际标准的法定地位。Dixon 和 Gossard 教授对特征的定义是:特征应该理解成一个专业术语,它兼有形状和功能两种属性,从它的名称和语义可以联想它的特定几何形状、拓扑关系、典型功能、绘图表示方法、制造技术和公差要求^[2]。

特征模型则可分为 3 大类:基本形状特征、辅助形状特征和基准特征。具体建模的中性特征包含 19 个特征子集的最小特征集合:凸台类,肋类,孔类,凹腔类,槽类,倒角,倒圆角,圆角,内/外螺纹,锥螺纹,管螺纹,滚花,内/外花键,齿轮,基准点,基准线,基准面,零件坐标系和自定义类。

异构 CAD 系统产品的建模在高层次上具有趋同性^[3],特征建模方法被大多数主流 CAD 商品软件广泛认同,特别是参数化特征建模已经成为当前特征建模的主要发展趋势。其趋同性主要表现在:

(1) 特征描述方法或定义方法的趋同性,在各个给予特征的 CAD 系统中,参照 STEP 的建议,特征的定义方法越来越趋于一致。

(2) 在不同的 CAD 系统中,零件基于特征的拼装方式亦越来越趋于一致。

1.2 基于特征的操作转换的相关工作

通过对 CAD 系统之间的特点分析,异构 CAD 之间要实现有效的协作必须要跨越底层异构的缺点,同时,如何利用趋同性也成为研究的重点。当前主流的 CAD 系统之间,以及同一种 CAD 系统不同版本之间,由于这些系统内部的核心技术不同,导致这些系统底层的数据结构和信息模型也不尽相同,产品模型的实现存在不一致。这就导致了异构 CAD 系统之间实现协同设计,比实现同构 CAD 系统间的协同设计要更加困难。异构系统之间不能通过传递单一的命令而实现某一特定的功能,必须通过数据交换来实现其他 CAD 系统的参数化建模命令。但是,仅仅用数据交换来实现参数化建模有可能导致特征语义的丢失。因此,基于特征的数据交换就成为了当前异构 CAD 系统进行协同设计的主流方法。

李珉提出了构建以 SMO-to-NMC 转化器和 NMC-to-SMO 转化器为基础的实时异构协同平台,使用面向对象技术,以类和对象的形式来表示中性建模命令。在协同设计过程中,该中性建模命令类实例化为一个对象,便可以调用其对象函数或者访问其对象属性。除此之外,每个中性建模命令对象都可以转化为相应的字符串表示,该字符串表示仅包含对象名称和对象属性,用以在网络上传输。同时,为了保证每个系统建模操作能够比较容易地转换成为相应的中性建模命令,中性建模命令集被设计成为平台中各 CAD 系统的参数化特征建模操作的并集。

在奚妍实现的平台中,首先定义了造型功能映射,包含了现有 CAD 系统支持的造型功能全集,以保证各个 CAD 系统的造型功能就是这个全集的子集。由于一种功能可能包含多种实现方法,所以造型功能和实现方法不是一对一关系^[4]。

杨君提出通过分析各个 CAD 系统中的宏文件,将所有宏命令根据建模操作进行分类,从而构建宏语义命令。为了保证每个系统宏命令组能够比较容易地转换成相应的宏语义命令,宏语义命令被设计成平台中各个 CAD 系统的宏命令组的并集^[5]。

1.3 基于中性建模命令的操作转换

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^[6]。主流 CAD 系统中特征造型的不一致主要有功能上不一致和实现上不一致。功能上不一致是指不同 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。

异构协同 CAD 系统平台中,不同 CAD 系统间特征建模命令的转换大致可分为以下几种:

(1) 一对一:操作命令的映射关系是单步操作对应单步操作。

(2) 一对多:操作命令的映射关系是单步操作对应多步操作。

(3) 多对多:操作命令的映射关系是多步操作对应多步操作。

(4) 多对一:操作命令的映射关系是多步操作对应单步操作。

如果建立异构 CAD 系统的协同设计平台,首先需要定义造型功能的映射集合。在李珉的系统平台中,中性命令集是平台中各 CAD 系统的参数化特征建模操作的并集,也就是说各个 CAD 系统的造型功能是这个映射集合中的一个子集,这样保证了每个系统建模操作能够容易地转化为相应的中性命令。这种映射集合是以中性建模命令为中介,实现异构 CAD 系统建模命令的映射。奚妍和杨君^[3,5]等人均采用定义包含

现有CAD系统支持的造型功能全集作为协同平台的造型功能映射集合.这样能够方便异构CAD系统间实时交换系统建模操作,有效地解决了异构CAD系统在数据结构和建模操作上的差异问题.尽管不同CAD系统中有很多相似的中性建模命令,但是在包含多个CAD系统的异构平台中进行操作转换还是有弊端的,不可避免地造成了特征转换时出现一对多或多对多的问题.此外还存在以下问题:

(1) 各CAD系统中的参数化特征建模命令比较多,且不断地再更新,导致异构协同平台的中性建模命令集非常庞大;

(2) 存在大量的冗余命令,不同的CAD之间通常都有相似或相同的建模操作命令;

(3) 在不同CAD系统进行特征操作转换时,存在多对多或者一对多的转换关系,接收转换操作的CAD系统需要选择具体的命令与之对应.

对此,本文提出一种新的构建中性建模命令集的方法:中性建模命令集是异构CAD系统建模命令的交集,其参数是异构CAD系统中对应建模命令的并集.对于不属于交集的特征命令,本文建立一种一对一的特征建模命令映射集合.

2 特征建模命令映射集合

2.1 基于特征的建模命令映射集合的构建

为详细说明特征建模命令映射集合构建的过程,定义如下:

定义1 假设 $S_1\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$, $S_2\{O_1, O_2, \dots, O_m\}$ 分别为两个不同CAD系统中某个特征的功能实现,如果对于 S_1 中的任一操作 O_i ($1 \leq i \leq n$),在 S_2 中都有相应的操作 O_j ($1 \leq j \leq m$) 与之对应,则 S_2 就是 S_1 的特征功能映射集合.

显然,这种一对一的特征功能映射是单向的.由于不同CAD系统中的特征功能实现具有差异性, S_1 很难找到相应的特征映射集合 S_2 .通过对当前几种主流的CAD软件进行分析,各系统之间存在特征定义上的交集.如UG和PRO/E中根据拉伸的终止方式不同,PRO/E中的给定深度和UG中的按值拉伸方式是相同的.因此只需要对不能直接转换的功能进行转换即可.这就需要在 S_2 中添加相应的转换操作 $\{O_{s1}, O_{s2}, \dots, O_{sn}\}$.

定义2 转换操作是指不同CAD系统中进行间接转换的一个或一组辅助操作.

定义3 公共集合(最小特征集合):假设 F_1, F_2, \dots, F_n 为 n 个CAD系统的设计特征集合,公共集合为这些特征集合的交集,即 $C: \{F_1 \cap F_2 \cap \dots \cap F_n\}$.

基于以上的分析,为了改进特征转换时对应的一对多的关系,本文将不同CAD系统中的基本特征进行功能映射,建立一种一对一的特征映射集合.该特征映射集合满足以下条件:以公共集合为核心进行构建;包含多个CAD系统之间两两建模命令的转换.

在不同的CAD系统上进行协同设计,首先需要定义系统之间的建模命令映射集合.在建模命令映射集合中,建模命令和实现方法是一对多的关系.不同的CAD系统主体框架相同,两者间的转换实质是按照特征序列进行特征转换.特征层面上,特征转换分为 $1:1$ 、 $1:N$ 和 $N:1$ 等类型.其中大多数是 $1:1$ 转换;少数由复杂特征向简单特征分解的转换为 $1:N$ 转换;而 $N:1$ 转换则是由多个简单特征合并为复杂特征,该类转换出现机率较少.数据层面上,模型文件转换表现为特征的属性、参数、约束及布尔关系转换,难点是约束关系转换.约束转换直接关系到目标模型的拓扑结构及可变形能力.约束建立在几何元素基础上,因此需正确标志几何元素,并对其标志进行转换.

2.2 实例分析

以拉伸特征为例.根据终止方式不同,SolidWorks 2004中有8种方法实现拉伸功能:

(S1) 给定深度:从草图的基准面以指定的距离延伸特征;

(S2) 完全贯穿:从草图的基准面拉伸特征直到贯穿所有现有的几何体;

(S3) 成形到一顶点: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;

(S4) 成形到一面:从草图的基准面拉伸特征到所选的曲面以生成特征;

(S5) 到离指定面指定的距离: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:

- (S6) 成形到实体: 从草图的基准面延伸特征至指定的实体;
- (S7) 两侧对称: 从草图基准面向两个方向对称拉伸特征;
- (S8) 成形到下一面: 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。

同样, 在其他不同的 CAD 系统中, 对应的拉伸方式也不尽相同。如 PRO/E Wildfire 3.0 中, 根据拉伸终止方式不同有:

- (P1) 盲孔: 在第一个方向从草绘平面以指定的深度值拉伸;
- (P2) 对称: 在各方向上以指定深度值的一半, 拉伸草绘平面的两侧;
- (P3) 到下一个: 在第一个方向拉伸至下一个曲面;
- (P4) 穿透: 在第一个方向上拉伸至与所有曲面相交;
- (P5) 穿至: 在第一个方向上拉伸以与选定的曲面相交;
- (P6) 到选定的: 拉伸至选定的点、曲线、平面或曲面。

在 UG 5.0 中, 根据拉伸终止方式不同有:

- (U1) 值: 从草图的基准面以指定的距离确定拉伸深度;
- (U2) 对称值: 根据所输入的值从草图基准面向两个方向对称拉伸特征;
- (U3) 直至下一个): 沿着拉伸方向拉伸体可延伸至下一个特征;
- (U4) 直至选定对象: 表示将拉伸体拉伸到选定的对象为止 (沿着拉伸方向选择一个面、基准面或体, 拉伸体可延伸至此);
- (U5) 直到被延伸: 表示将拉伸体从某个特征拉伸到另外某个特征 (当拉伸轮廓线沿着拉伸方向拉伸时, 选择一个面或基准面将拉伸裁剪至此);
- (U6) 贯通: 表示拉伸体通过全部与其相交的特征 (从草图的基准面拉伸特征直到贯穿所有现有的几何体)。

基于以上的总结, 构建具体的拉伸类以描述不同 CAD 系统间的特征命令的一对一转换时的参数。定义以下拉伸类:

```
Class ExtrusionFeature() / 两侧对称拉伸
{
    Operation_ID;
    Feature_Msg / 拉伸特征——中性语义
    CAD_system_type / 本 CAD 系统的种类
    ExtrudeType / 拉伸方式
    RefPlane_m_RefPlane / 参考面
    Sketch_m_Sketch / 拉伸草图
    RefDirection_M_Direction1 / 拉伸方向 1 (草图所在平面的正法矢方向)
    End_condition_extlude_M_EndDirection1 / 在方向 1 上的拉伸终止条件
    DoubleM_Deep1 / 沿拉伸方向 1 上的拉伸距离。(草图所在平面的正法矢方向)
    RefDirection_M_Direction2 / 拉伸方向 2 (草图所在平面的正法矢方向)
    End_condition_extlude_M_EndDirection2 / 在方向 2 上的拉伸终止条件
    DoubleM_Deep2 / 沿拉伸方向 2 上的拉伸距离 (草图所在平面的正法矢方向)
}
```

通过总结以上 3 种 CAD 系统的拉伸特征, 以这 3 种 CAD 系统为基础, 构建协同平台后, 转换的方式如图 1 所示。

以上 3 种 CAD 系统拉伸功能命令的交集是 $C\{C1(\text{值}), C2(\text{对称值}), C3(\text{贯通})\}$ 。因此图 1 中的特征建模命令映射集合包含两大部分: 公共集合和转换操作集合。从 PRO/E 3.0 SolidWorks 2004 和 UG 5.0 三个 CAD 系统中的拉伸命令中, 总结他们具体的拉伸特征建模命令映射集合。很明显, 在该集合中, 是各 CAD 系统拉伸特征两两转换的交集。这里给出在该协同平台中, 进行协同设计时, 各 CAD 系统间不同拉伸命令转换的转换操作如图 2 所示。

如果考虑实现两两之间特征转换,其转换工作量的复杂度是 $O(n \times (n - 1))$. 若考虑采用特征建模命令映射集合的方式进行转换,该数量级将会降到 $O(n)$. 在操作转换时,很容易造成高层语义丢失的问题. 在图 2 所示的转换操作中, $S4 = U1 + d = P5$ 表示 $S4$ 操作转换到 UG 上是间接转换,而转换到 PRO/E 上则是直接转换. 这就需要在传递参数的同时,添加一条特征语义的信息. 在实时的协作过程中,间接转换操作应该在传递操作语义的同时,传递转换操作所需的参数.

如果考虑到 CAD 系统的增多,以及功能命令的更新,交集将会发生改变. 例如 *Inventor* 和 *MDT* 中没有双向拉伸等,所以我们定义不同系统间特征功能命令的交集随着平台支持的 CAD 系统的增多将会变得越来越小,最后可能就只剩下一两个命令.

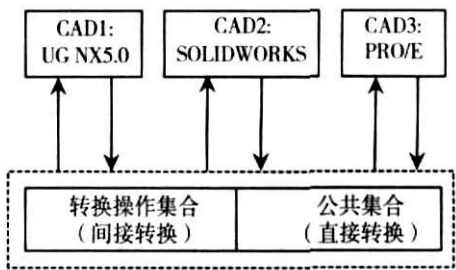


图 1 3 个 CAD 系统用户的特征建模命令映射集合
Fig.1 The mapping set of feature-based modeling operation among three User

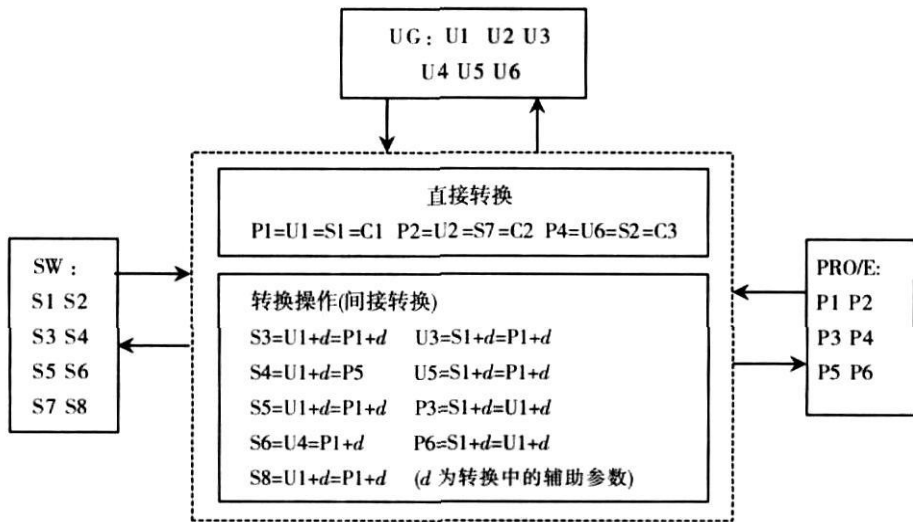


图 2 特征功能映射集合
Fig.2 The mapping set of feature-based modeling operation

3 结语

本文针对已有的异构 CAD 系统协同研究,分析了其系统平台中以并集作为特征功能命令集合的缺点,提出以交集方式建立的特征集合. 该集合有如下优点: 实现实时的一对一转换; 减少冗余操作; 便于管理操作命令直接转换和间接转换. 同样,这种方式也影响了特征集合的扩展性,一旦协同平台中新加入一个 CAD 系统,有可能造成平台中的特征集合不再适用,这将是下一步的研究工作.

[参考文献] (References)

[1] Li M in, Gao Shuming, Wang C L. Real-time collaborative design with heterogeneous CAD systems based on neutral modeling commands[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2007, 7(2): 113-125
[2] 高兆法, 秦绪佳, 欧宗瑛. 面向对象的特征模型研究与实现[J]. 机械科学与技术, 2000, 19(3): 482-484
Gao Zhaofa, Qin Xujia, Ou Zongying. A study on object oriented model based on feature[J]. Mechanical Science and Technology, 2000, 19(3): 482-484 (in Chinese)
[3] 胡玉兵. 支持异构 CAD 协同设计平台技术的研究[D]. 济南: 山东大学机械工程学院, 2006
Hu Yubing. The research of the tool supporting the synchronized collaborative designing between different CAD systems[D]. Jinan: School of Mechanical Engineering, Shandong University, 2006 (in Chinese)

(下转第 84 页)

- cycle-switching cluster-head[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2006, 6(3): 18-22 (in Chinese)
- [5] 陈俊杰, 陈德礼, 林荔. 基于及时反馈和代替路由发现的 DSR 路由维护策略 [J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2008, 23(6): 54-58
Chen Junjie, Chen Delil in Li A novel routemaintenance mechanism forDSR protocolbased on quick-feedback and intermedi-ate-node route discovery[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry: NaturalScience Edition, 2008, 23(6): 54-58 (in Chinese)
- [6] 谷金山, 沈连丰, 苏红平, 等. 蓝牙 Ad Hoc 网络的路由实现及优化 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2005, 35(4): 501-505.
Gu Jinshan, Shen Lianfeng, Su Hongping et al Routing optimization and realization of AdHoc network based on Bluetooth[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2005, 35(4): 501-505. (in Chinese)
- [7] 罗莉琼. DSR 路由协议改进方案分析 [J]. 湖南广播电视大学学报, 2008, 34(2): 71-72
Luo Liqiong Analysis of improve project from the DSR routing protocol[J]. Journal of Hunan Radio and Television University, 2008, 34(2): 71-72 (in Chinese)
- [8] 张祥波, 周子敬. 无线 Ad hoc 网络中 DSR 协议的多路探测和定时算法改进 [J]. 西藏大学学报: 自然科学版, 2008, 23(1): 107-110
Zhang Xiangbo, Zhou Zijing An observation of multi-way and improvement of calculating with setting time of DSR agreement of at wireless Ad Hoc of net[J]. Journal of Tibet University: Natural Science Edition, 2008, 23(1): 107-110 (in Chinese)
- [9] Gavin Holland, Nitin Vaidya. Analysis of TCP performance over mobile Ad Hoc networks[J]. Wireless Networks, 2002, 8(2/3): 275-288
- [10] 姜少杰, 吴江, 吕光宏, 等. 基于移动预测的 DSR 路由缓存管理改进 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2008, 45(2): 311-315.
Jiang Shaojie, Wu Jiang, Lv Guanghong et al Improvement of route cache management in DSR protocol by mobility prediction [J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2008, 45(2): 311-315 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]

(上接第 71 页)

- [4] 奚妍, 彭维, 张三元, 等. 基于特征数据交换的异构 CAD 协同设计 [J]. 农机化研究, 2006(12): 188-191
Xi Yan, Peng Wei, Zhang Sanyuan et al Heterogeneous collaborative design of isomeric CAD based on feature data exchange [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(12): 188-191 (in Chinese)
- [5] Yang Jun, Dou Wanfeng. Synchronized collaborative design with heterogeneous CAD systems based on macro semantics commands[C] // Proceedings of the 12th International Conference on Computer-Supported Collaborative Work in Design, CSCWD, 2008(1): 183-188
- [6] 庄海军, 余湛悦, 安鲁陵, 等. 基于 Web 的 CAD/CAM 系统 WebSupern[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(12): 1557-1560
Zhuang Haijun, Yu Zhanyue, An Luling et al Development of web-based CAD/CAM system[J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2003, 15(12): 1557-1560 (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]