

文章编号: 1001 - 2486(2011)04 - 0140 - 06

虚拟 PDM 环境下基于特征增长的协同设计*

梁科山, 范大鹏, 尚建忠, 唐力, 曹玉君

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 协同设计目前已经成为解决复杂产品设计问题的关键技术之一。在分析了现有协同设计问题的基础上, 提出通过构建虚拟 PDM (VPDM, Virtual PDM), 应用交换特征增长数据的方法, 来解决企业间异构 PDM、CAD 应用系统的协同设计问题。给出了虚拟 PDM 的定义, 并介绍了基于虚拟 PDM 进行协同设计的基本原理。建立了基于虚拟 PDM 的协同设计框架, 分析了虚拟 PDM 系统的各组成部分。描述了 Express 表达的操作模型、统一特征模型, 并将其映射到数据库。描述了虚拟 PDM 环境下基于特征增长的协同设计流程。通过系统所述的方法, 研制的原型系统初步实现了两类 CAD 和 PDM 软件之间的协同设计。

关键词: 协同设计; 特征增长; 虚拟 PDM; 数据库

中图分类号: TP391.72 文献标识码: A

Collaborative Design Based on Feature-Adding in VPDM

LIANG Ke-shan, FAN Da-peng, SHANG Jian-zhong, TANG Li, CAO Yu-jun

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Collaborative Design has currently become one of key technologies to solve complex product design problems. Based on new problems of existing collaborative design, the study puts forward a method of building VPDM, and uses an exchanging method of feature-adding data to resolve problems of heterogeneous PDM and CAD systems among enterprises. Firstly, a definition of VPDM was presented, and the basic principle of VPDM-based collaborative design was introduced. Secondly, the framework of VPDM-based collaborative design was proposed and each components of VPDM were analyzed. Then, the operation model and the unified feature model represented by Express-G were built and mapped into database. Finally, the feature-adding collaborative design sequence diagram was described in VPDM environment. By using the above method, the prototype system developed in the study enables the collaborative design in two kinds of CAD and PDM software in principle.

Key words: collaborative design; feature-adding; virtual product design problem; database

随着信息技术的快速发展, 现代企业的产品开发方式发生了巨大的变化, 复杂的产品设计任务往往由分布在不同地域的企业协作完成^[1]。以某设备为例, 其设计过程如图 1 所示, 产品设计不仅在企业内部跨部门进行, 而且还需要将设计结果提交制造企业进行工艺性审查。这些企业间既密切合作, 又相互独立。即, 企业间既要能相互利用协作企业的设计成果, 又要能防止企业的其他敏感数据外泄。

时下企业都引入了产品数据管理(PDM)系统, 以其作为产品协同设计的支持工具^[2-3]。PDM 在一定程度上帮助企业缩短了产品开发周期, 但是 PDM 只能实现系统内数据的安全保存与管理, 其协同设计模式针对上述的跨企业、跨设计

阶段的协同设计还难以解决以下问题^[4-6]:

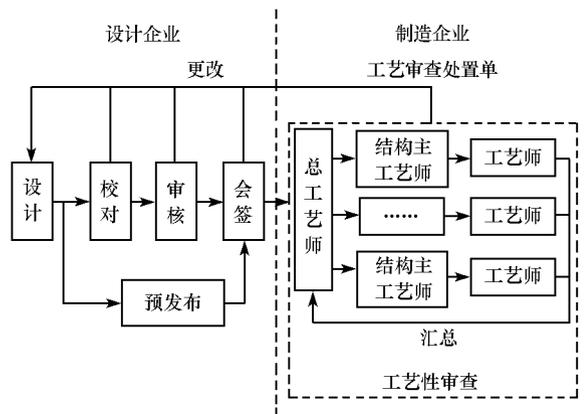


图 1 某设备的设计过程

Fig.1 Design process of an equipment

* 收稿日期: 2011 - 03 - 29

基金项目: 国家部委资助项目(D0420060521); 航天支撑技术基金项目

作者简介: 梁科山(1974—), 男, 博士生。

(1)为安全起见,企业与企业间的工作网通过各自设置的防火墙严格隔离,协作双方无法直接参与到对方的设计阶段任务中。

(2)各协作方之间未引入流程监控功能,设计总负责部门无法监管协作方的工作情况。

(3)以模型文件作为设计交换数据,由于协作双方设计工具的异构性,数据无法直接使用。

(4)以中性格式文件作为设计交换数据,由于不包含特征信息,丢失了设计意图,且中性格式文件模型无法修改。同时,中性文件通常是海量的,不利于网络传输。

(5)数据在网络中传输有失密危险。

目前的协同设计过程较多应用了特征技术^[1,7-8],但都集中在协同建模过程中使用,而保存设计结果仍以模型文件或中性格式文件等粗粒度的形式,故上述的问题在这些协同设计中仍然无法解决。文献[7]提出了应用面向特征的产品数据库来支持协同式产品设计,在数据库中将特征(几何信息和非几何信息)以数据颗粒的形式存储,支持协同设计所需。但是其主要考虑的是单个系统内的应用,而未考虑在多个系统间数据的保存与共享问题。

本文中提出了一种基于虚拟 PDM 的协同特征设计框架,集成了现行 PDM 系统,利用特征增长的方式,建立了异步协同设计平台,支持异构的 CAD 和 PDM 环境下的协同设计。该方法可减少数据失密风险,降低数据的网络传输量,支持设计数据的复用。

1 虚拟 PDM 环境下基于特征增长的协同设计

1.1 虚拟 PDM 简介

虚拟 PDM 是一种构建于通用 PDM 之上的

PDM 系统,其将多个企业、客户、供应商和环境集于一体,在系统思想指导下,用整体优化的观点,充分利用企业已有的各种资源,在较短的周期内完成复杂产品的设计与制造任务^[9]。比较虚拟 PDM 与通用 PDM,其具有以下特点:

(1)虚拟 PDM 构架于通用 PDM 之上,在设定的权限内可管理、操作通用 PDM。

(2)虚拟 PDM 中的数据多来自各通用 PDM 系统,其自身可存储所需数据,而不用存储所有数据。

(3)虚拟 PDM 拥有自己的元数据,可解释来自底层通用 PDM 系统的数据。

(4)虚拟 PDM 具有广义上的流程控制功能,其活动、应用者、对象范围较广。即,虚拟 PDM 可将其大工作流程中的活动(子任务)置入其他 PDM 中,其他 PDM 将子任务细化为子工作流程并在其内部执行,完成后反馈给虚拟 PDM。

(5)为了支持多个应用系统,设计数据多以统一模型、易被多个应用系统识别的自定义中性格式保存于虚拟 PDM 中。

1.2 基于特征增长的协同设计的基本原理

所谓特征增长就是以特征数据为核心,以构架于虚拟 PDM 中的流程为驱动,在协作双方传递的是基于特征的建模操作,且每一次新传递都是上一次传递数据的累进,即

$$M = \{f_{ij}, \neg g_{ij}\}$$

其中, $i:1 \rightarrow m$, 表示了参与设计的企业数目; $j:0 \rightarrow n$, 表示了每个设计在产品模型设计中添加的特征操作数量; f , 表示了特征操作; $\neg g$, 表示了特征的非形状信息。

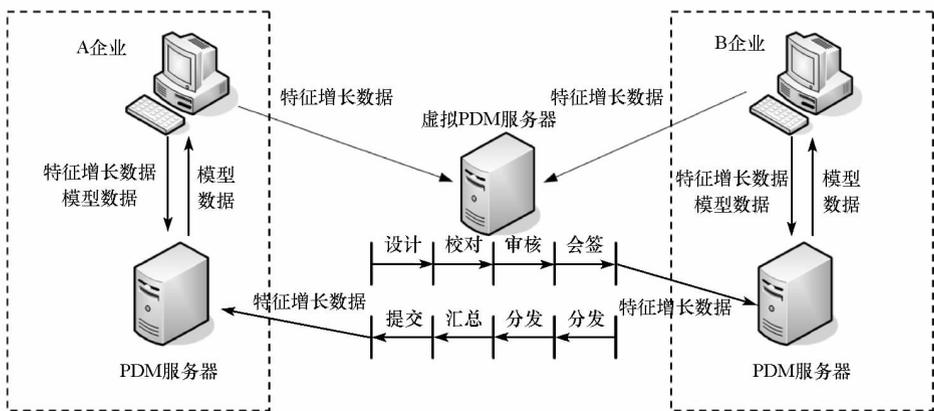


图2 基本原理
Fig.2 Basic principle

基于特征增长的协同设计基本原理如图 2 所示,在协作企业都信任的单位部署虚拟 PDM 服务器,其具有保存特征增长数据和 workflow 驱动的功能。在 A 企业进行产品设计时,其设计数据除了 CAD 产生的模型数据外,还有部署于该台计算机上开发的组件记录了以特征为核心的操作过程数据。保存时,在 A 企业的 PDM 中既保存了模型数据,又保存有特征增长数据。同时该部分数据(指特征增长数据)还将保存入虚拟 PDM 服务器。虚拟 PDM 服务器根据最初设置的流程动作,自动将特征增长数据传输给 B 企业的 PDM 服务器中,由 B 企业的设计人员根据提取到的特征增长数据和模型数据生成新的模型,并将其保存入 PDM 数据库中。

从上述过程可以看出,这种构架于虚拟 PDM 上基于特征增长的协同设计,有以下优点:

(1)每次传递的都是特征数据且是设计模型的部分数据,避免了因传递数据失密而造成了企业机密信息泄露的问题;

(2)由于描述特征的数据较小,大幅度减低了网络传输量;

(3)以特征数据作为描述设计结果,避免了设计意图丢失问题;且通过开发 CAD 接口,可实现设计模型在异构 CAX 中复用,减少冗余工作量;

(4)以流程控制数据传递,减少人员手工干预,安全准确。

1.3 基于虚拟 PDM 的协同设计框架

在虚拟 PDM 中,保存了企业、产品的基本信息,能根据用户需求,按照规定的搜索条件,寻找相关的数据。通过虚拟 PDM,各通用 PDM 之间可实现数据的异步协同,还可创建基于全局(跨企业)的工作流程。

基于虚拟 PDM 的协同设计框架如图 3 所示,分别由客户层、虚拟 PDM 层和数据层三层组成。

基于虚拟 PDM 的协同设计客户端有两类:一类是 web 浏览器,属于一种类似 Applet 的轻量级客户端,使用时通过浏览器自动从 Web 服务器上下载,其主要功能是通过集成浏览软件(如 AutoVue 等)实现对产品模型的浏览。虚拟 PDM 会根据用户对象的身份,自动连接相关 PDM 搜索模型对象提供给用户;另一类客户端是各类通用的 CAD 系统和开发的内置于其中的适配器(Adapter)。适配器是客户层的重要构件,其完成的工作有:(1)将 CAD 设计模型数据映射为一系列统一特征模型,并将其发送到虚拟 PDM 及本地 PDM 中;(2)将从虚拟 PDM 中接收的统一特征模

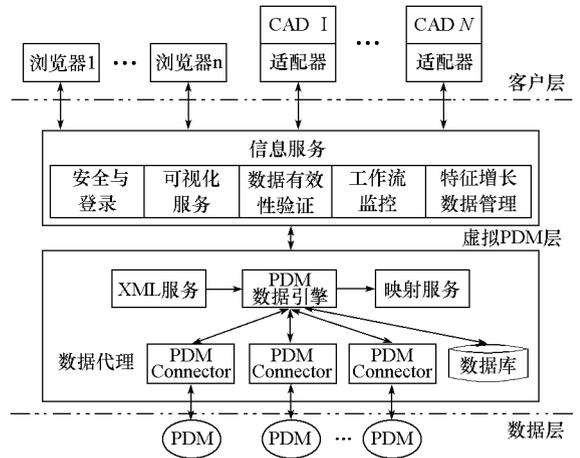


图 3 基本虚拟 PDM 的协同设计框架
Fig.3 A frame of VPDM-based collaborative design

型转换为本地 CAD 特征,结合本地 PDM 中已有模型数据,还原出新设计模型来。适配器结构如图 4 所示,由以下几部分组成:(1)中性格式解析器,将传入的带有特征增长数据的 XML 文件解析为一系列统一特征数据;(2)统一特征模型将解析过的统一特征数据利用操作应用映射库,映射为各应用 CAD 的应用特征模型,提交给 CAD 应用软件。

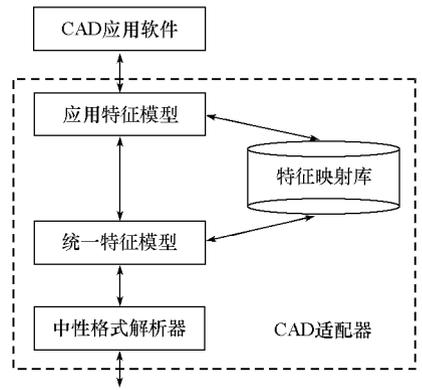


图 4 CAD 适配器
Fig.4 CAD adapter

虚拟 PDM 层是一个支持 J2EE 的应用,该层中又分为信息服务和数据代理。其中,信息服务提供了类似于 PDM 的功能,包括安全与登录、可视化服务、数据有效性验证、工作流监控,特征增长数据管理等功能。特征增长数据管理的功能:(1)将包含有特征增长数据的 XML 文件解析、映射为数据库模式,并将其存入虚拟 PDM 的数据库中;(2)在流程驱动下,将特征增长数据从数据库中检出,映射为基于 XML 的文件,将其发送给其他 PDM 系统。

数据代理主要由以下几个组件构成:第一个组件是 PDM Connector,其作用是连接不同的 PDM 系统,屏蔽了异构 PDM 系统之间的差异,并从中

取出产品结构的相关;第二个组件是 XML 服务,将取得的数据转换为基于 XML 文件;第三个组件是映射服务,将客户的产品数据请求映射到具体的 PDM 服务器,并将其提交给 PDM 数据引擎;第四个组件是 PDM 数据引擎,负责相应请求、接受和发送数据。

数据层由各个企业的 PDM 系统组成,提供各类数据源。

1.4 特征的描述

对于协同设计而言,设计数据交换始终是核心问题^[7]。在基于虚拟 PDM 的协同设计中,其数据交换分三个层次,从低到高依次为特征数据交

换、产品结构数据交换、流程数据交换。最基础的则是基于特征的设计数据交换。文献[10]提出一种为在不同的 CAX 系统之间的高层特征信息共享而构建的一种统一特征建模方法,本文也采用了该种统一建模特征的思想。

首先将综合 CAD 系统中的操作进行建模^[11],如图 5 所示。在操作的模型中,定义了时间戳(Time_stamp)属性,用以描述该特征操作的执行时间,这是特征增长的判断阈;定义了执行者(Operator)属性,用以描述特征最初的创建者;定义了工具(Tool)属性,用以描述创建特征最初应用的工具软件。

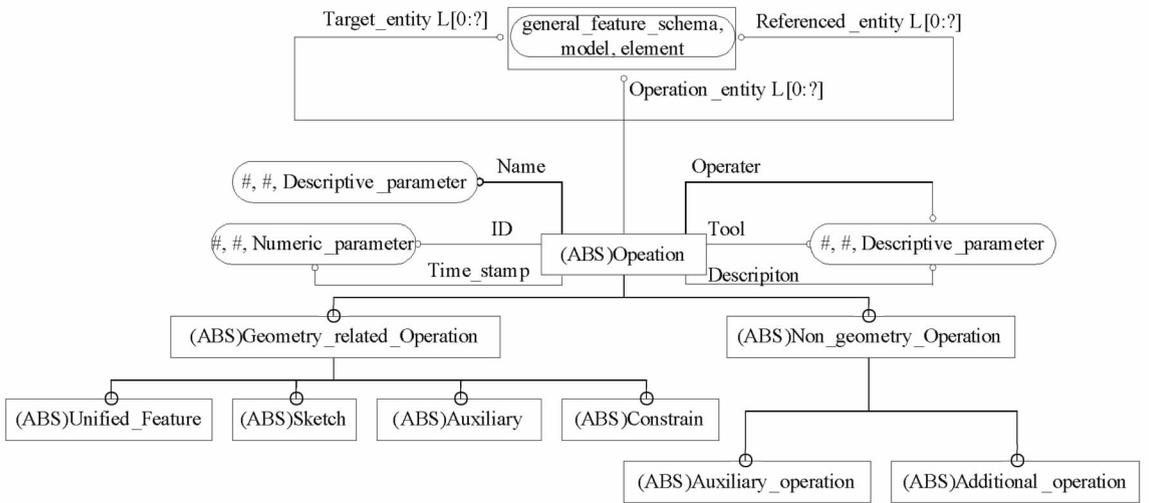


图 5 利用 Express-G 描述的操作
Fig.5 Operation described by Express-G

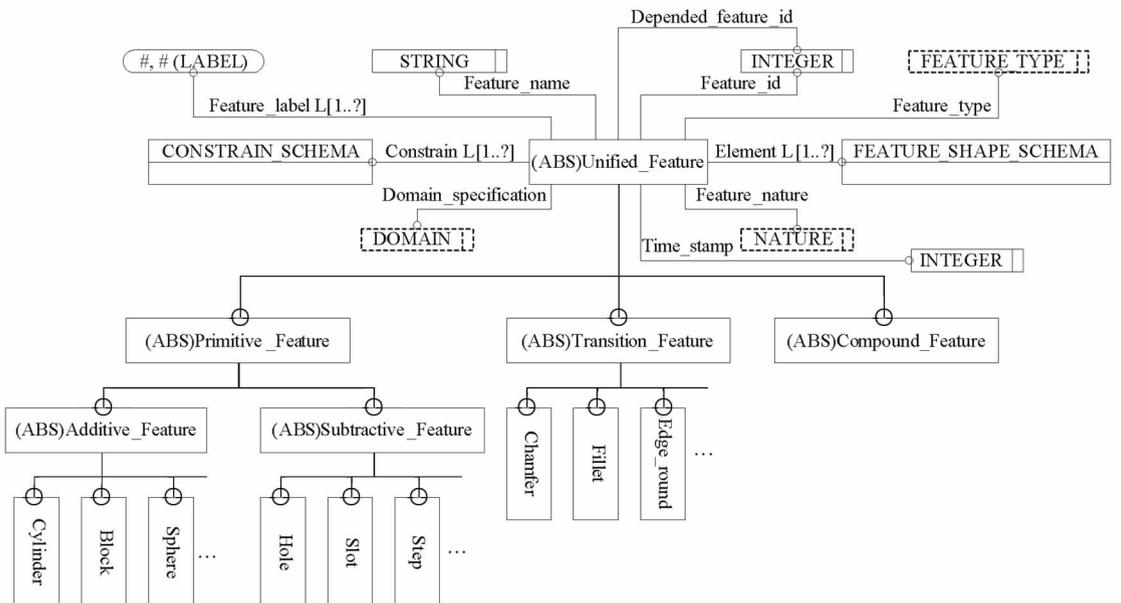


图 6 利用 Express-G 描述的特征
Fig.6 Feature described by Express-G

继承于操作模型而建立的统一特征模型如图 6 所示。其中,Constrain 是该特征需要满足的约

束,Feature_type 用于描述特征的类型,Label 用于描述与每个特征相关的面。Domain_Specification

用于描述该特征的应用范围,如设计、制造、装配等。Feature_nature 用于描述该特征是使零件体积增加还是使零件体积减小。

虚拟 PDM 下的协同设计,将设计过程的特征增长数据保存于虚拟 PDM 的数据库中,其优点在于:(1)易于维护数据的一致性,(2)易于维护数据的安全性,(3)可实现数据的异构应用环境下的复用。为了将特征增长数据保存到数据库中,还需将该类特征的 Express 描述模型映射到数据库中^[11],映射后的保存设计特征增长数据的数据库表由于篇幅关系不在此介绍。

1.5 特征操作集的构建

操作应用映射库是操作统一模型与操作应用模型之间映射的纽带,根据不同的 CAD 应用软件,将产生不同 CAD 软件的建模命令。目前已有商用 CAD 软件,其建模命令、参数虽稍有差异,但都基本类似^[1],故在操作应用映射库中保留了常用商用 CAD 特征操作的并集。

在该库中,存在两类 1→n 的映射关系:第一类,是统一特征模型到各应用的特征操作的 1→n 映射关系;第二类,是扩展统一特征模型到简单的应用特征操作中 1→n 映射关系。如对拉伸命令,所有的商用 CAD 软件都有向单个方向的拉伸

操作,但 Pro/E、SolidWorks 等 CAD 软件还具有双向拉伸的功能。当映射的 CAD 应用软件(或某些早期版本)不存在双向拉伸操作时,适配器将其映射为依次朝两个方向的单项拉伸操作。

2 实现

2.1 基于特征增长的协同过程

图 7 和图 8 描述了基于特征增长的协同设计过程。选择两个参与协同设计的 CAD 应用系统(异构、同构均可),CAD-1(PTC 公司的 Pro/E wildfire2.0)受 PDM-1(PTC 公司的 Windchill V8)管理和 CAD-2(UGS 公司的 SolidEdge17)受 PDM-2(IBM 公司的 SmarTeam)管理。

图 7 描述的是协作单位 1 在设计完成后将特征数据保存入虚拟 PDM 的过程。CAD-1 首先登录虚拟 PDM,虚拟 PDM 服务器根据登录信息在 PDM(Windchill)中验证身份信息。验证成功后,CAD-1 从 PDM 中检索 CAD 模型文件(首次设计则检索不到)后对其建模修改,而适配器则记录操作过程,建立列表。当 CAD-1 保存数据时,则在本地 PDM 中既保存 CAD 模型数据又保存特征增长数据,而在虚拟 PDM 中则只保存特征增长数据。

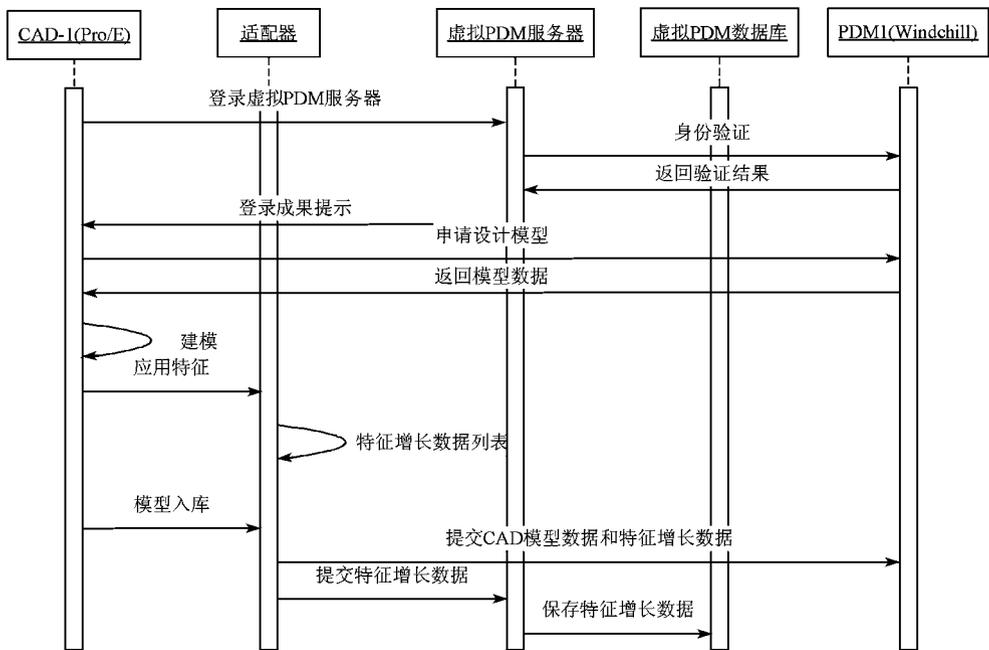


图 7 特征增长数据保存
Fig.7 Saving of feature-adding data

图 8 描述的是协作单位 2 接收特征增长数据并还原为 CAD 模型数据的过程。受虚拟 PDM 流程的驱动,当进入 CAD-2 的工作阶段时,若 CAD-2 登录虚拟 PDM,则虚拟 PDM 会提醒 CAD-2 接收特征增长数据。此时,CAD-2 首先从本地

PDM(SmarTeam)中检索 CAD 模型数据,而适配器接收虚拟 PDM 发送来的特征增长数据,并将其转换为 SolidEdge 的特征操作命令,在原有模型基础上生成新模型,再将新模型与特征增长数据保存入本地 PDM 中。

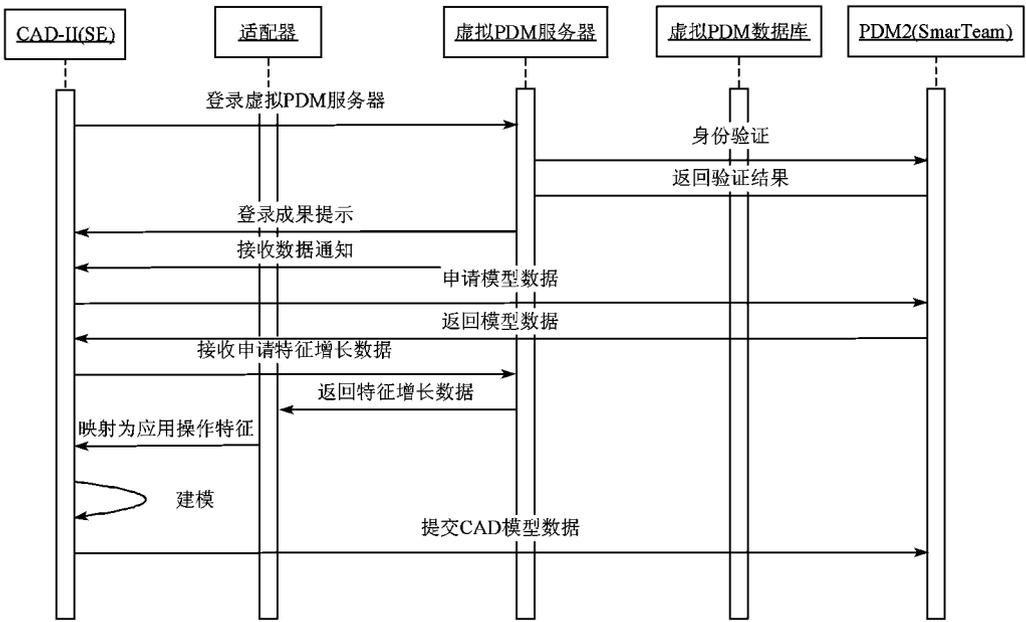


图 8 接收数据和还原模型
Fig.8 Receiving data and reducing model

2.2 部分操作的映射表

在图 9 中列出了 Pro/E 和 SolidEdge 对应的部分特征操作的映射表。利用特征映射库中保存的这些映射关系以及定义的统一特征模型,可实现 Pro/E 的数据在 SolidEdge 中的复用。

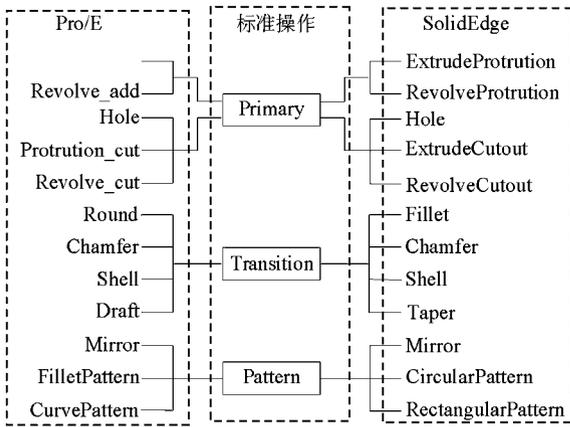


图 9 部分操作的映射表
Fig.9 Partial operation mapping table

3 总结

在当今的制造业中,产品开发过程广泛存在这分布、协同的特点,协同设计已经成为企业解决市场竞争压力和产品快速变化问题的关键技术之一。

本文基于虚拟 PDM,构建了跨 PDM 平台的协同设计框架,通过基于特征增长的方式,应用细粒度的数据交换方法解决了数据复用、数据安全和少量传输的问题,初步实现了异构 PDM 和 CAD 环境下的异步协同设计。

致谢

在本文的写作过程中,得到了加拿大 Alberta 大学 Ma 博士在特征模型描述上的指导,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Li M, et al. Real-time Collaborative Design with Heterogeneous CAD Systems Based on Neutral Modeling Commands [J]. Computing and Information Science in Engineering, 2007, 7(6): 113 - 125.
- [2] Eynard B, et al. PDM System Implementation Based on UML[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2006, 70:330 - 342.
- [3] Xu X, et al. A Web-enabled PDM System in a Collaborative Design Environment [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2003, 19:315 - 328.
- [4] Shen W M, et al. Computer Supported Collaborative Design: Retrospective and Perspective[J]. Computers in Industry, 2008, 59:855 - 862.
- [5] 李伟平,等. 支持产品协同设计的隐式特征表达[J]. 中国机械工程, 2006,17(6): 2233 - 2237.
- [6] Zhang Y P, et al. An Internet Based STEP Data Exchange Framework for Virtual Enterprises [J]. Computers in Industry, 2000, 41:51 - 63.
- [7] Ma Y S, et al. Collaborative Feature-based Design Via Operations with a Fine-grain Product Database[J]. Computers in Industry, 2009, 60:381 - 391.
- [8] Li W D, et al. Feature-based Design in a Distributed and Collaborative Environment [J]. Computer-Aided Design, 2004, 36: 775 - 797.
- [9] Liang K S, et al. VPDM-Based Product Structure Data Exchange[C]// Proc. of 2010 International Conference on Computer Design and Applications, IEEE, QingHuangDao, China, 2010,7:408 - 411.
- [10] Chen G, et al. Unified Feature Modeling Scheme for the Integration of CAD and CAx[J]. Computer-aided Design & Applications, 2004 (1):595 - 602.
- [11] Ma Y S, et al. A Fine-grain and Feature-oriented Product Database for Collaborative Engineering[M]. Collaborative Product Design & Manufacturing Methodologies and Applications, Springer, England, 2007.