

基于 Web 的数字化协同产品开发平台架构与实现^{*}

Architecture of Web-Based Digital Collaborative Product Development Platform and Its Realization

北京理工大学机械与车辆工程学院 赵博 阎艳 宁汝新
上海沪东中华造船(集团)有限公司 郇仕云

[摘要] 提出了构建基于 Web 的数字化协同产品开发平台需要考虑的关键问题,在此基础上提出平台的体系结构。研究并实现了平台的三项关键技术:协同产品数据管理(CPDM)、细粒度的设计过程集成和协同设计工具。介绍了平台原型系统及应用。

关键词: 协同产品开发 协同产品数据管理 设计过程集成

[ABSTRACT] The key issues about the web-based digital collaborative product development platform are discussed, and the platform's architecture is presented. Three key technologies of platform—collaborative product data management (CPDM), design process integration on the level of fine granularity and the tools for collaborative design are studied and implemented. The prototype system and its applications are introduced.

Keywords: Collaborative product development Collaborative product data management Design process integration

集成和协同是当前企业信息化发展的主旋律^[1]。复杂产品的开发需要企业与企业之间、企业中的各部门之间、产品开发的各个阶段以及各种设计工具之间进行有效的协同工作。因此,在产品的开发过程中,如何保证产品数据的统一和快速传递,以及整个设计过程的组织与协调是迫切需要研究解决的问题。

协同设计的含义可以从狭义和广义两个角度来阐述。狭义的协同是指仅仅在 CAD 三维造型或工程分析的过程中,多人或多个应用系统从不同学科对模型进行评价并提出修改意见;广义的协同是指在整个产品全生命周期中,贯穿于各个设计阶段的设计工具、设计资源与设计人员之间的协调与组织活动。在产品的协同设计与开发领域中,涌现了大量的研究成

果,如面向设计的协同虚拟系统^[2];在协同设计过程中,采用近似同步的数据传输方法^[3],面向网络化制造的协同设计平台^[4],协同设计环境中内嵌基于 Web 的 PDM 系统^[5],基于 Web 的 C/A/S(客户层/应用层/服务器层)三层结构的多学科协同设计与仿真平台^[6],产品开发过程中的 workflow 管理和项目管理^[7]等等。从目前的研究成果来看,为整个产品生命周期提供有效的协同设计工具支持,较为通用的协同设计平台比较少见,而对细粒度的设计过程集成管理的研究更是鲜有提及。因此,本文重点研究了协同产品数据管理(CPDM)、细粒度的设计过程集成、实时的协同设计工具等技术,在此基础上实现了较为通用的面向广义协同设计的数字化协同产品开发平台。

1 协同产品开发平台的体系结构

1.1 构建平台需要考虑的关键问题

数字化协同产品开发平台的构建,旨在提供一个数字化的产品开发环境,不仅能够高效地管理产品全生命周期的数据,而且能够深入到产品开发过程的每一个环节,将分布式的资源、人员进行优化配置,使得异地分布的不同设计人员、应用系统能够基于统一的平台进行协同工作,从而在提高产品质量的同时,降低其成本,缩短其开发时间。因此,平台的构建需要考虑下列问题:

(1) 产品信息的传递与共享。

目前,制造行业大量引进和采用数字化设计与制造技术、先进工艺技术及现代管理技术,极大地提高了工程技术人员的工作效率,提高了生产各环节的自动化程度。但也出现了新问题:各种工程信息的数量急剧膨胀;各自动化单元分别采用不同的数据描述方法和手段,难以实现数据的共享和有效交换,造成大量公共数据的冗余和不一致,降低了企业作为一个协作运行整体的信息传递效率;且随着企业间合作的加强,信息模型的不一致阻碍了它们之间有效通信,直接影响了合作产品的开发效率,严重制约了产品快速

^{*} 国防基础科研项目(K1304020714)。

开发能力的提升。因此,产品信息的有效管理、快速流动与共享是数字化协同产品开发的一个关键问题。

(2) 3种层次的过程集成。

过程集成是在信息集成的基础上,将一个个孤立的应用系统集成起来,通过过程之间的协调,消除过程中和过程间各种冗余和非增值的子过程或活动,清除由人为因素或资源问题造成的影响过程效率的一切障碍,使企业过程总体达到最优。过程集成主要包括两方面内容:一方面是指过程的重构与优化,这主要涉及企业的管理层次;另一方面是各种应用系统、业务过程之间的交互和互操作,主要涉及技术层次。

从宏观到微观可以将产品的开发过程分为项目级、任务级、设计过程级,相应地称之为项目流程、工作流程和设计行为过程。项目流程主要是指项目的审批、立项、任务分配、项目结束等过程。工作流程是将项目流程中设计任务进一步分解为:CAD建模、CAE工程分析、CAPP设计等。而设计行为过程是将工作流程的某一CAX设计过程再进行具体细分,如CAPP设计过程可以分为:从PDM系统获得设计任务和零部件工艺初始信息、检出零部件、人机交互工艺设计、填写属性信息、上传设计结果并检入零部件。这3种过程是层层嵌套,逐步细化的。

其中,项目流程和工作流程多由PDM系统统一管理,而细粒度的设计行为过程目前还缺乏有效的管理。进行设计过程集成不仅可以加速自动化单元之间的信息传递速度,并且可以将企业某些固定的设计过程封装为标准化的“模板”,将企业的知识有效集成,从而提高产品竞争力。因此,迫切需要集成细粒度的设计过程。

(3) 协同开发工具。

无论是企业内部不同部门的协同,还是多个企业间的异地协同,都必须解决分布式资源的协同问题。分布式的资源决定了必须要提供有效的支持协同开发的工具;支持协同设计的工具从时间上来分,可

以分为同步和异步工具;而从地域空间分布状况,可以分为同地和异地,根据这种分类方法可以将协同设计工具划分为如图1所示的几类。

为了支持产品的协同开发,选择合适的协同设计工具,从而整合分布式的资源进行异地的协同工作是一个重要的问题。

1.2 平台体系结构

基于上述关键问题分析,提出了数字化协同产品开发平台的体系结构,如图2所示。

(1) 用户界面层。

主要提供图形化用户界面、人机交互接口和虚拟交互接口等,用于实现设计人员对平台的交互控制和交互输入设计数据等,并且提供统一的基于Web的入口。

(2) 过程控制层。

该层是整个平台结构的核心,将整个产品开发过

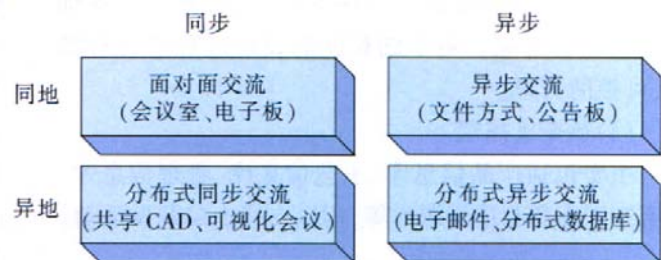


图1 协同设计分类矩阵

Fig.1 Classified matrix of collaborative design

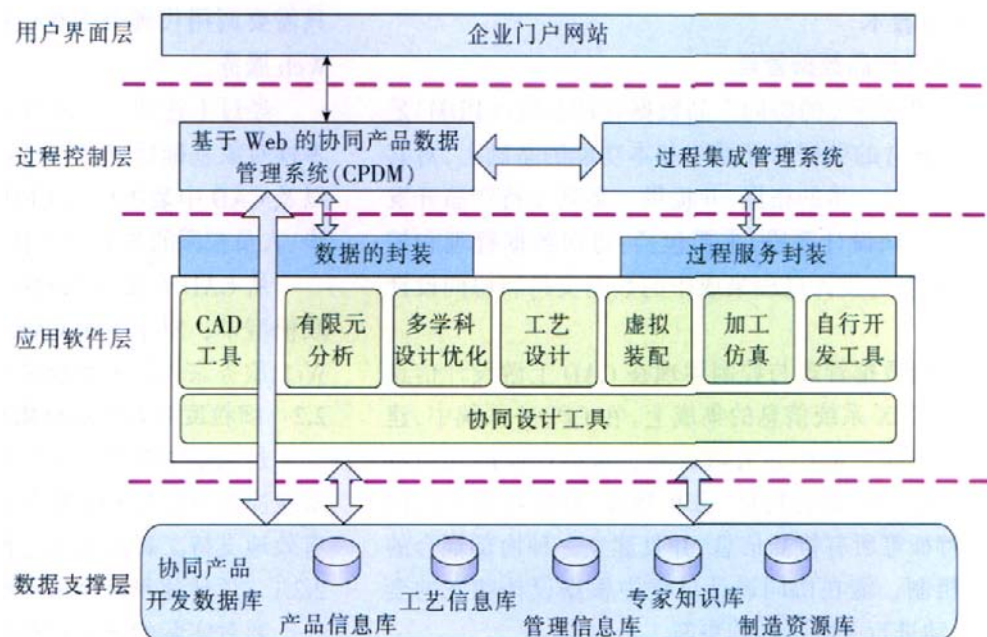


图2 基于Web的数字化协同产品开发平台的体系结构

Fig.2 Architecture of Web-based digital collaborative product development platform

程中的数据及设计过程有机结合在一起。该层包含两个系统: 协同产品数据管理系统和过程集成管理系统。协同产品数据管理系统(CPDM)为整个平台提供数据支持,同时实现大部分的管理功能,主要包括:项目管理、 workflow 管理、产品全生命周期的数据管理、产品结构管理、文档管理、人员组织管理、安全策略管理和协同工具的管理等。过程集成管理系统主要是集成细粒度的设计过程,将 CAX 工具封装为服务对象,其具体设计过程封装为模板,形成标准化的设计过程,统一管理。两个系统分别从数据和过程的角度支持产品的开发,实现了应用系统之间的协同、设计过程的协同、知识的协同和多学科优化协同等协同方法与手段。

(3) 应用软件层。

包括各种 CAX 应用系统: CAD 集成建模、CAE 工程分析、MDO 多学科设计优化、CAPP 工艺设计、VAPP 虚拟装配工艺规划等等,不仅要对其数据进行信息集成,对其功能进行应用集成,而且还要在此基础上实现过程集成,对于细粒度的设计过程进行有效的、可控的管理。

(4) 数据支撑层。

主要包括产品信息库、工艺信息库、管理信息库、专家知识库和制造资源库等,用以支持上层开发活动。

2 关键技术特点及实现

从上述体系结构出发,重点研究并实现了协同产品数据管理、细粒度的设计过程集成和协同设计工具 3 项关键技术。

2.1 协同产品数据管理

本课题研究的协同产品数据管理系统(CPDM)是在实现通常的数据管理系统基本功能的基础上,对其功能进行进一步的拓展,并提供一系列支持产品开发活动的协同设计手段,主要包括:协同数据管理和控制、细粒度的设计过程集成中的数据支持和协同设计等。

协同数据管理与控制体现在 CAD 上游设计信息与下游 CAX 系统信息的集成上。在 CPDM 系统中,建立了一个统一的产品关联模型,包括产品的几何特征、性能特征、设计特征、分析特征、制造特征和协同设计特征等所有特征信息,并且建立一种内部耦合的更新机制,能在协同设计过程中根据设计状态的变更,自动进行关联特征的更新。

在平台系统中实现了各种 CAX 系统之间以及与 CPDM 系统的集成。对于 CAD 系统,由于其处在企业

产品信息流的上游,其与 CPDM 系统的集成程度直接关系到企业信息化的程度与水平。因此,研究实现了基于 Web 服务的 CAD 集成建模系统与 CPDM 系统之间的双向集成^[9]。主要包括以下几个步骤:

(1) Web 服务的开发。CPDM 底层的业务逻辑是现成的,绝大部分功能都可以通过调用已有业务逻辑层功能模块中的方法或对这些方法进行逻辑组合来实现。把 CPDM 中的一些重要的功能,如:检入检出文档,填写、修改、获取、检索文档属性信息等,以 Web 服务的方式进行封装,可以在其他应用程序中直接调用 PDM 的功能,而不必从页面访问。这些 Web 服务在后面的设计过程集成中也将被重用。

(2) Web 服务的注册。利用 Web 服务描述语言 WSDL 来描述服务访问入口,远程调用接口及输入输出,在 UDDI (Universal Description Discovery & Integration) 注册表中注册服务,以供不同企业客户端的 CAD 应用程序和组件能够发现并正确使用服务。

(3) Web 服务代理类创建。Web 服务开发并注册完成后,客户端根据 UDDI 注册表返回的定位信息查找到所需的 Web 服务,向 Web 服务提供者请求并获取描述 Web 服务接口的 WSDL 文件,根据其规定的远程方法名和参数格式调用远程方法,在客户端创建 Web 服务的代理类。

(4) 客户端 CAD 系统及其组件开发。进行 CAD 系统二次开发及组件开发,对于需要调用 Web 服务的模块添加代理类的引用,与 Web 服务进行绑定。之后只需要调用代理类中相应的方法就可以调用对应的 Web 服务。

经过上述开发,实现了 CAD 系统和 CPDM 系统零件对象基础信息、扩展信息、特征级别信息的集成,以及 CAD 中装配树与 CPDM 中产品结构树之间的同步、人员权限管理和个人任务信息的统一。

从 CAD 系统获取的特征信息保存在产品统一关联模型中,对于下游 CAX 系统可以通过调用相应的 Web 服务来获取该系统视图下零部件的某些信息。

2.2 细粒度的设计过程集成

过程集成管理不仅管理细粒度的设计过程,而且实现应用系统与 CPDM 系统间实时的数据交互,从而有效地支持二者数据及过程的协作。

2.2.1 设计过程的细化与半自动化

要对实际的设计过程进行集成,必须首先清楚其具体过程,将其划分为可以由计算机操作的最小逻辑单元。例如,对于 CAPP 某一零部件的工艺设计过程,

可以具体地分为在CPDM中接收到工艺设计任务、任务的前处理(找到并检出零部件、获取其管理属性信息、下载零部件模型、查看零部件模型的同时打开CAPP设计软件并填写零部件的一些属性信息)、人机交互工艺设计、任务的后处理(保存设计结果、关闭相应软件、在CPDM中新建文档并建立内容文件、填写文档信息、上传设计结果、检入零部件)等等。可以看出,其中有一部分是在CPDM的页面中进行交互式操作,事实上,当工艺总师发出工艺设计任务之后,该任务就与某一零部件进行了绑定,利用这种关联,当设计者接受任务后,CPDM系统即可自动通过Web服务接口提供对应的零部件模型文件及其属性信息,而目前缺乏的正是管理这些流程、从CPDM系统获取这些数据的工具。过程集成管理系统能够自动地运行前处理和后处理过程,使得设计人员能够从频繁的软件和页面切换中解放出来,集中精力进行创造性的设计活动。

本课题将设计过程中的每一步操作按功能划分为若干个组件,如:“下载/上传”、“检入/检出”、“Web服务”和“启动应用程序”等。通过对这些组件的不同组合与逻辑控制,构筑了不同的设计过程集成“模板”。

2.2.2 过程数据的管理与控制

过程数据主要分为两类:设计数据与逻辑数据。设计数据主要是指与设计相关的文档、模型以及属性信息等,而逻辑数据主要用来进行流程逻辑控制与判断。过程集成管理系统通过Web服务访问CPDM系统,获取所需的过程数据,进而按照规定的格式读取信息,将信息过滤分离为两种数据,针对不同的情况、不同的设计上下文环境执行不同的设计过程。过程逻辑有以下判断类型:if、if-else、while、for和do-until循环等,根据这些判断即可构建多种设计过程。

2.2.3 CAX系统设计信息的交互

过程集成管理系统不仅可以实现设计过程前处理的自动化,并且可以将部分初始设计信息直接传递给CAX设计系统。主要是通过两种方式来实现:命令行传递参数和配置文件。对于商业CAX系统,大多数支持命令行启动,比较完善的系统还可通过脚本文件(Script)运行。对于自开发的系统,如本项目中的CAPP系统,VAPP虚拟装配工艺规划系统,除了可以利用命令行传递有限的信息以外,还可以在启动时读取相应的配置文件,从而获取更多的信息。

2.3 协同设计工具

2.3.1 三维模型的浏览与批注

三维模型浏览与批注功能是CPDM系统的一个

重要功能模块,实现了在CPDM相应的文档页面直接浏览零部件三维模型,并能够提供多人实时在线对模型进行批注、计算测量以及多角度剖切等操作。在批注过程中,某一用户的批注及测量结果等信息,其余在线用户都可以实时地观察到。该模块所采用的三维模型是一种轻量的*.3D中型文件。目前主流CAD设计软件产生的模型,都可以不可逆地换为这一格式,便于网上传输和在线批注。

协同设计浏览批注工具采用B/S结构,主要提供对产品模型的在线浏览与批注功能,包括客户端浏览器、IIS Web服务器以及操作系统和网络底层支撑等部分。如图3所示。

(1)客户端浏览器部分通过Actify的XView插件对3D模型文件进行在线浏览和批注。客户端采集模型的批注操作命令后,通过负责通信的Java Applet发送给服务器;由服务器转发给所有客户端;客户端再显示相应的批注信息。

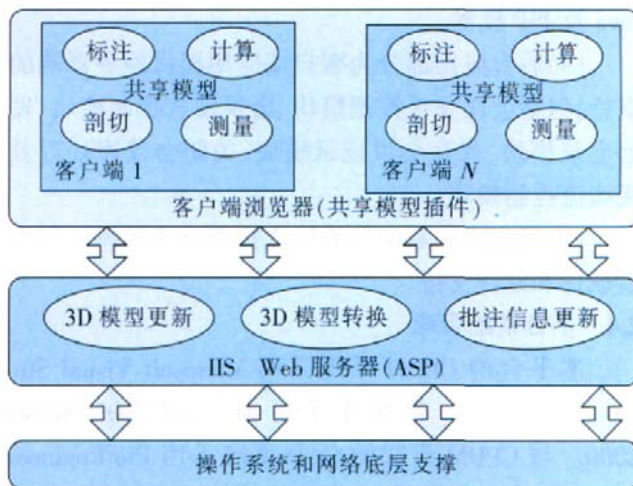


图3 三维模型浏览批注工具体系结构

Fig.3 Architecture of the tool for 3-D model's preview and postil

客户端、服务器通信通过SOCKET机制实现。服务器端首先运行,客户端浏览器打开后主动与服务器建立SOCKET连接,该连接为全双工工作模式,即同时负责客户端信息的发送与接收。

(2)IIS Web服务器部分通过支持ASP技术的Web服务,与客户端浏览器进行交互,提供3D模型的转换、更新以及批注信息的更新等功能,包含3D模型转换模块、3D模型更新模块以及批注信息更新模块。

(3)操作系统和网络底层支撑部分提供基本的软硬件支撑。

2.3.2 视频会议系统

协同设计视频会议系统属于 CPDM 系统的一个子模块，主要通过 Java 多媒体框架 (Java Multimedia Framework, JMF) 结合 Java 技术以浏览器插件的形式实现 B/S 结构：客户端本地视频流的采集、压缩、传送以及远程视频流的接收、解码和重现；服务器端的视频流接收、解码、重现以及转发。

协同视频会议工具系统采用 B/S 模式，分为客户端浏览器、Tomcat Web 服务器、后台应用以及操作系统和网络底层支撑 4 个部分，如图 4 所示。

(1) 客户端浏览器部分主要提供用户参与会议和管理会议的界面，并对视频流进行处理，包括参与会议模块、管理会议模块和视频流发送与接收模块。

(2) Tomcat Web 服务器部分为客户端浏览器和后台应用之间的连接提供 Web 服务，并支持 Java 及 JSP 技术。

(3) 后台应用部分为客户端应用提供服务器端的支持，包括会议登录控制模块、会议发言控制模块、发起会议模块、保存会议记录模块、关闭会议模块以及视频流控制模块。

(4) 操作系统和网络底层支撑部分为系统应用提供软件和硬件支持。

2.4 平台系统实现

本平台的 CPDM 系统采用 Microsoft Visual Studio .NET 开发，数据库采用 Microsoft SQL Server 2000。与 CPDM 集成的 CAD 系统采用 Pro/Engineer (野火版) 进行二次开发。过程集成管理系统基于软件 FIPER 进行二次开发，集成了 CAPP、VAPP、多学科设计优化等设计过程。以 CAPP 设计过程为例，单从时间角度来衡量，原先设计人员手动接受任务、手动切换页面、寻找并下载设计信息、人工上传设计结果再通过页面填写信息，这一过程大约消耗 5min 左右，并且可能产生误操作；而经过细粒度的设计过程集成，执行同样过程时间被压缩为 0.5min 之内，并且保证信息的准确无误。

3 结束语

数字化协同产品开发平台能够整合企业内外的优势资源，集成各种 CAX 设计系统，深入到产品开发过程的每一个环节，为企业提供一个数字化的虚拟协同产品开发环境。该平台已在某研究院进行实施应

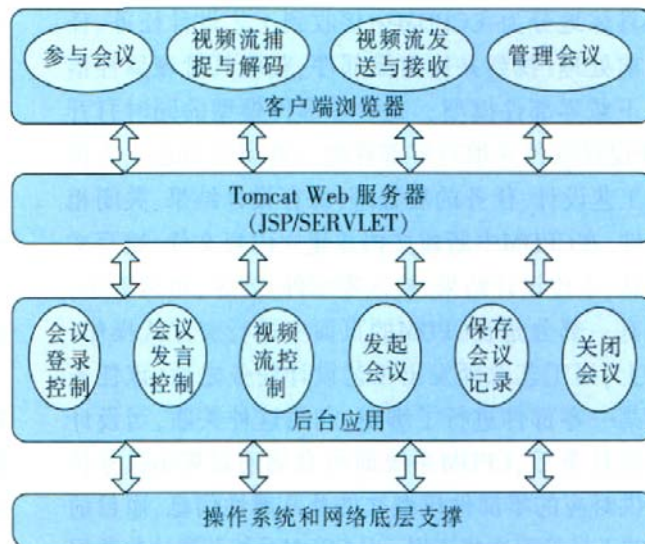


图 4 视频会议工具体系结构

Fig.4 Architecture of multimedia meeting system

用。需要指出的是，本课题研究中过程集成中异常的处理还有不太完善的地方，在今后的工作中需加以改进。

参 考 文 献

- [1] 吴伟仁. 军工制造业数字化. 北京: 原子能出版社, 2005.
- [2] Stone, Christopher, Spalding, et al. Systems frameworks and knowledge capability - The Virtual System Design environment. 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, Jan. 5-8, 2004. AIAA 2004_1 172, A04-10 703 (AH).
- [3] Mann Phebe, Garner Steve. The role of sketches in supporting near-synchronous remote communication in computer supported collaborative design. Computer supported cooperative work in design II: 9th International Conference, CSCWD 2005, Coventry, UK, 2006, 3865:72-81.
- [4] 孙林夫. 面向网络化制造的协同设计技术. 计算机集成制造系统, 2005, 11(1): 1-6.
- [5] Xu X W, Liu T. A web-enabled PDM system in a collaborative design environment. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2003(19): 315-328.
- [6] 张和明, 熊光楞. Web 的多学科协同设计与仿真平台及其关键技术. 计算机集成制造系统—CIMS, 2003, 9(8): 704-709.
- [7] 王宝友. 数字化产品开发过程管理理论、技术与应用研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2004.
- [8] 汪宇跃, 张旭, 王莉娟. 基于 Web 服务的 CAD 与 PDM 动态集成技术研究. 组合机床与自动化加工技术, 2006, 5: 103-106.

(责编 金卯)