

基于 Web 的复杂产品虚拟样机支撑平台 工具集研究与实现

Research and Implementation of Tools for Web-based Supporting Platform of Complex Product Virtual Prototype

国防科技大学航天与材料工程学院 解红雨 张为华 李晓斌
中国航天科工集团六院 41 所 陶迎秋 冯 筠

[摘要] 针对复杂产品虚拟样机开发对分布协同、集成、仿真和管理的功能需求,建立了基于 Web 的分布式虚拟样机支撑平台体系结构,介绍了集成在平台中的系统管理、协同设计和性能仿真工具集,给出了工具集设计与实现方法,并基于 J2EE 技术开发了软件原型系统。

关键词: 复杂产品 虚拟样机 支撑平台 协同设计

[ABSTRACT] In light of the functional requirements of distributing collaboration, integration, simulation and management for complex product virtual prototype development, a Web-based distributed architecture of supporting platform is built, and tools of system management, collaborative design and performance simulation which integrated in platform are introduced. The design and implementation method of the tools are presented, and a prototype software system is developed based on J2EE.

Keywords: Complex product Virtual prototype Supporting platform Collaborative design

虚拟样机技术是以并行工程思想为指导,以 CAX/DFX 技术为基础,以协同仿真技术为核心的先进数字化设计方法^[1]。近年来虚拟样机技术在航空航天、机械、船舶、电子等领域得到广泛应用,复杂产品的虚拟样机技术已经构成一个系统工程^[2]。

典型的复杂产品虚拟样机开发是一个由分布的设计团队或多学科团队协同工作的过程,建立一个便捷、高效、实用的虚拟样机支撑平台是成功实施产品虚拟开发的关键。虚拟样机支撑平台应该支持:异地分布团队的协同工作;多学科设计仿真工具的集成;产品设计信息集成与过程集成;高效管理产品开发过程、产品、

资源、组织等信息。要实现上述功能,必须开发一组支持虚拟样机开发的工具集。

图 1 是本文提出的一个支持虚拟样机开发的体系结构。该体系机构底层的信息集成层和技术支撑层由网络、数据库、模型库和协议(包括 Web、HTTP、XML、JDBC 等)构成,集成工具层由协同设计工具集、性能仿真工具集和系统管理工具集构成,为产品开发平台提供协同设计、仿真、集成和管理等支撑服务,顶层为面向特定领域的用户界面。为支持实现灵活、动态配置产品设计问题解决策略,集成在平台之上的、面向产品设

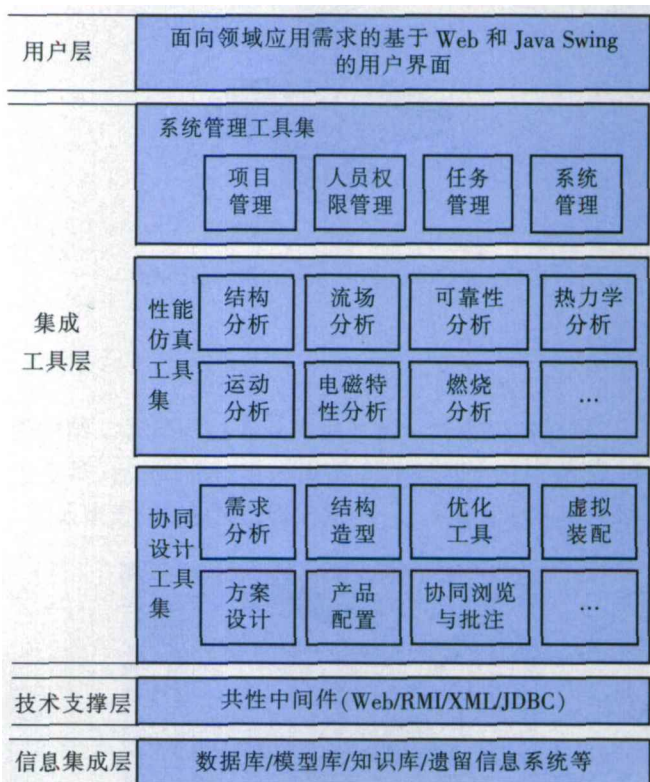


图 1 虚拟样机支撑平台体系结构

Fig.1 Architecture of supporting platform for virtual prototype

计需求的集成工具集功能独立,并为上层用户提供功能服务,特定领域的应用可根据需求对虚拟样机支撑平台工具集进行扩充和裁剪。因此,整个系统具有开放性和柔性。

1 系统管理工具集

系统管理工具集为虚拟样机开发提供项目管理、人员/权限管理、过程管理、系统管理等服务。

1.1 项目管理工具

通常复杂产品设计过程以项目为组织管理形式,项目管理作为一条主线始终贯穿于产品的开发过程中,项目管理工具定义项目名称、项目起始时间、项目负责人、项目进度安排等属性,并可以进行任务分解和任务属性定义,任务属性包括名称、开始结束时间、任务优先级、任务 WBS 编码等。

项目管理工具与 Microsoft Project 集成,在项目管理工具中生成的项目信息根据项目模板保存为 XML 文档,该 XML 文档与 Microsoft Project 文档采用相同的模板,因此该文档也可以由 Microsoft Project 打开,通过 Microsoft Project 提供的可视化界面进行项目管理。下面摘录的是项目模板 DTD 的片断:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<! ELEMENT Calendar (UID, Name, IsBaseCalendar,
  BaseCalendarUID, ...)>
<! ELEMENT CalendarUID (#PCDATA)>
<! ELEMENT Calendars (Calendar)>
...
<! ELEMENT Project (Name, Company, Author,
  CreationDate, LastSaved, StartDate, FinishDate,
  ... Tasks, Resources)>
<! ATTLIST Project
  xmlns:xsi CDATA #REQUIRED
...
>
<! ELEMENT ProjectExternallyEdited (#PCDATA)>
<! ELEMENT Recurring (#PCDATA)>
...
<! ELEMENT RemoveFileProperties (#PCDATA)>
<! ELEMENT Resource (UID, ID, Type, IsNull,
  ... CreationDate)>
<! ELEMENT ResourceUID (#PCDATA)>
<! ELEMENT Resources (Resource)>
```

```
...
<! ELEMENT Summary (#PCDATA)>
<! ELEMENT Task (UID, ID, Name, Type, IsNull,
  CreateDate, WBS, ...)>
<! ELEMENT TaskUID (#PCDATA)>
<! ELEMENT TaskUpdatesResource (#PCDATA)>
...
```

1.2 基于工作流的过程管理

项目管理工具对整个产品开发进行监控和管理,但只关注所分解的任务完成的结果和任务是否按时完成,而任务的执行和监控则需要 workflow 管理工具。Workflow 管理工具面向产品开发过程中的管理和协作,基于 workflow 管理联盟制定的工作流过程定义元模型(process definition meta-model)以及工作流过程定义语言(Workflow Process Definition Language, WPDL)开发,通过定义任务中活动及活动执行顺序,远程调用应用程序,自动进行设计人员信息交流,自动生成设计任务进程报表等功能,实现任务执行与监控。过程管理工具功能构成如图 2 所示。

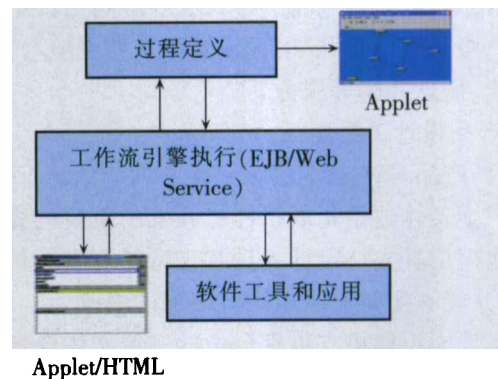


图 2 过程管理工具功能构成

Fig.2 Function composition of process management tool

1.3 人员/权限管理工具

人员/权限管理工具定义参与产品开发人员和角色信息,并赋予角色一定的权限,具有相应权限的用户可以登陆虚拟样机支撑平台进行相应操作。

1.4 系统工具

系统工具可以对虚拟样机支撑平台中数据库、系统日志等进行管理,包括数据库备份与恢复、系统日志察看与删除等。

系统管理工具面向产品开发早期,与传统 PDM 管理工具相比,其管理的粒度更细,如 workflow 管理中的活

动节点可以细化到一个具体的算法执行,如设计优化、三维实体建模等,其人员角色和权限的管理也面向产品设计,如人员角色可以分为项目负责人、总体设计师、分系统设计师等。基于 J2EE 技术,采用 JSP+Servlet+JavaBean+EJB+数据库的模式实现开发基于 Web 的系统管理工具,其中 workflow 管理工具采用 Struts 框架,基于 Web 浏览器的用户界面使得系统管理服务可以根据领域需求进行定制。

2 协同设计工具集

分布式虚拟样机开发中参与协同的主要有 3 个主体:分布式的设计团队、数据资源和各种设计与仿真工具。协同设计工具集应能支持人员和工具对分布异构数据的透明访问、人员之间的协作交流、人员操作分布的远程工具及工具与工具之间的互操作。

协同设计工具集由产品设计工具集和多用户设计协同工具集构成,支持分布式的多学科设计团队协同工作,共同构建产品虚拟样机。其中产品设计工具集面向设计问题求解,为产品设计提供需求分析、产品配置、三维造型、优化等服务;多用户协同工具集面向网络用户协同和信息共享,提供网络文档浏览与批注、信息交流、信息共享等服务。

2.1 产品设计工具集

(1) 产品三维实体建模工具。

三维实体建模是虚拟样机开发的重要内容,三维实体建模工具支持设计人员基于特征和参数构造三维模型,并能够实时显示用户对模型的修改。

实现虚拟样机支撑平台中的三维实体建模工具主要有 3 种解决策略:集成商业软件;采用 Java 3D 或 VRML 技术;在协同设计模块中集成几何造型内核。3 种方法都可以很好地解决三维实体建模需求,第一种方法与商业软件无法实现无缝集成,由于商业软件运行速度较慢,无法实现实时显示;第二种方法能够实现实时显示,但 Java 3D 和 VRML 所建模型只是示意性的;第三种方法可以实现实时显示,所建模型是数字化的,包含特征和参数等信息,可以导出一些常用格式,如 IGES 和 STEP 等。本课题采用 OpenCascade 内核开发了三维实体建模工具,OpenCascade 是一个开放源代码的三维实体造型内核,它所提供的 VC++ 和 Java JNI 接口可以实现与虚拟样机支撑平台无缝集成。

(2) 产品设计优化工具。

复杂产品设计过程是一个在多个设计方案之间权

衡和优选的过程,优化对于加速设计进程、提高设计质量具有重要作用。产品设计优化工具包含多种优化算法,用户可以根据需求选择优化算法,包括传统优化算法(如 Powell 法、共轭梯度法、可变容差法等)和现代优化算法(如遗传算法、模拟退火算法等)。为支持复杂计算模型优化,加速优化过程,集成了元模型建模工具,包括基于试验设计的多项式响应面模型和基于计算机仿真试验设计与分析的 Kriging 近似模型,采用简单的元模型替代计算复杂数值模型(如计算流体力学和有限元分析数值模型),使得即使采用蒙特卡罗仿真,其计算量也会在可接受的范围以内。

(3) 产品设计质量控制工具。

产品设计过程中,由于设计问题求解模型、设计参数和设计过程的不确定性,采用产品设计优化工具提供的优化算法进行优化,得到的最优结果不一定是稳健解,因而开发了质量工程工具以保证设计结果的稳健性。常用的质量工程方法包括蒙特卡罗仿真、不确定性设计与优化等。基于产品设计质量控制工具可以进行产品设计不确定性分类、建模、管理和基于不确定性的优化^[9],通过充分考虑产品设计中的不确定性因素,同时优化性能均值和减少性能方差,保证设计结果的稳健性。笔者在开发的固体火箭发动机虚拟样机支撑平台中,采用产品设计质量控制工具对某发动机装药几何参数进行不确定性设计,采用拉丁超立方取样 1 000 次,进行蒙特卡罗仿真,对装药参数确定性优化设计结果和不确定性优化设计结果进行比较,如表 1 所示。

表 1 固体火箭发动机装药优化设计结果

系统响应		确定性优化	不确定性优化
初始燃面/m ²	均值/m ²	4.055 3	4.007 1
	方差/m ⁴	0.060 4	0.043 9
概率(3.9≤初始燃面≤4.8)/%		75	97.3
最大燃面/m ²	均值/m ²	4.684 9	4.720 3
	方差/m ⁴	0.036 9	0.016 7
概率(最大燃面≤4.8)/%		99.9	99.9
装药质量/kg	均值/kg	1 299.98	1 306.64
	方差/kg ²	8.73	8.82
概率(装药质量>1 295)/%		70.6	90.8
优化时间/min		70	1 850

2.2 多用户设计协同工具集

(1) 协同浏览与批注工具。

对复杂产品而言,异地进行3D模型和各种格式文档的交流是不可避免的,针对复杂产品异地交流和协同的需求,开发了协同浏览与批注工具。该工具使用户可以从不同角度浏览3D模型,并可以对装配件进行拆装,可以浏览模型多个剖面,进入模型内部进行浏览;可以对模型某一点或某一部分进行批注和浏览批注意见;可以对异地产生的各种格式文档(DOC、XLS、PDF等)进行浏览与批注,格式涵盖了产品开发中涉及到的各种文件。

协同浏览与批注工具采用Java开发,并部署为JavaBean,用户可以将其作为一个独立工具使用,也可以集成到桌面应用程序或Web应用程序中。协同浏览与批注工具工作界面如图3所示。

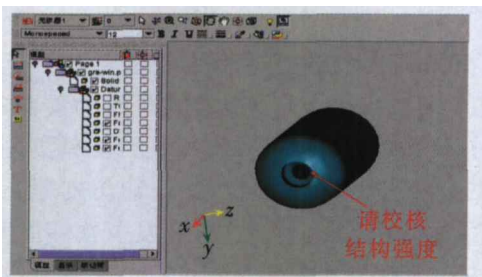


图3 协同浏览与批注工具

Fig.3 Collaborative browse and annotating tool

(2) 协同消息管理工具。

在多用户协同设计环境中,信息交互、消息发布、邮件等交流手段是必需的,协同消息管理工具支持在线消息等待、邮件发送等操作,提供协同交流和协同信息的自动感知能力。该工具采用Java Mail技术和Java MessageBean技术开发,可方便地集成到基于Web的应用程序中。

(3) 协同信息共享工具。

多用户协同的复杂产品设计环境中存在多个异构数据源,协同用户和分布式程序需要共享产品设计信息,包括产品结构信息、设计参数信息等。如果每需要共享一个数据时,都进行远程数据库读取操作,则软件执行效率会大大降低,也会增加数据库服务器的负担。

XML是W3C组织定义的可扩展标记语言,在信息集成领域得到了广泛应用^[4]。采用关系数据库与XML相结合的方式实现信息共享与交互,首先分析协同用户和分布式程序需要共享和交互的数据,建立信息共享模型,相当于制定一个共享信息协议,基于此模型将共享信息模型定义为XML模式。这样,各客户端

或应用程序可以获得自己感兴趣数据的XML文档,通过解析文档即可获得数据。协同信息共享工具提供XML模式到数据库的映射和XML文档解析功能。协同信息共享工具功能框架如图4所示。

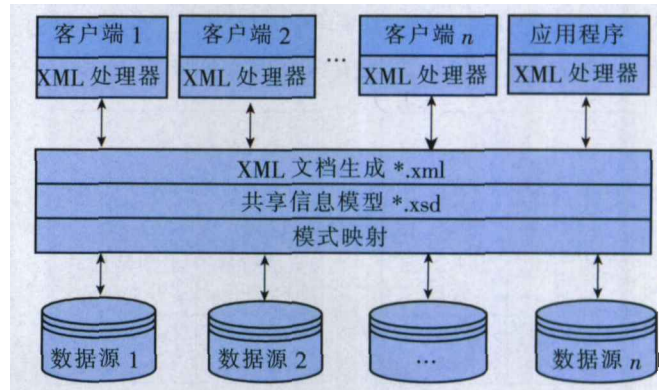


图4 协同信息共享工具功能框架

Fig.4 Function frame of collaborative information sharing tool

3 仿真工具集

在复杂产品分布式设计环境中,协同设计工具支持分布式设计团队协同建立产品设计方案,构造行为模型。仿真工具集获取协同设计工具集产生的行为模型,构造仿真模型,进行仿真,并将仿真结果反馈给设计人员进行评估分析,如果不满足要求则反馈给协同设计人员进行设计修改。然后将新设计结果重新提交到仿真模块,再次进行仿真验证,如此进行仿真验证,指导设计出满意的结果。在这个过程中,设计人员间可以借助虚拟样机支撑平台方便地参与到对方的工作中,相互帮助改进工作,减少错误和返工次数。仿真也从单纯的验证融入到产品设计-验证-决策的过程中。

(1) 仿真建模工具。

仿真建模工具支持建模人员透明获取可用于仿真的模型,主要是各种商用仿真软件模型,并定义仿真模型信息,如模型名称、精度、版本、使用条件等。仿真建模工具还支持将仿真结果发布为VRML、JPG、XML格式等,并定义仿真结果的相关信息,包括名称、结果类型、结果版本等,网络协同用户可以基于Web浏览器察看仿真结果。仿真建模工具已经集成的商用软件包括Pro/E、Ansys和Fluent,其他软件如Nastran、Adams等正在进一步开发中。

(2) 仿真管理工具。

仿真项目管理工具定义仿真任务和仿真人员团

队; 仿真模型管理工具则支持建模人员透明地获取仿真模型及相关信息, 并定义仿真模型的相关信息, 如模型版本、模型创建者、模型相关文档等; 仿真过程管理工具定义仿真 workflow; 仿真运行管理工具定义仿真输入模型、边界条件、输出结果等, 运行仿真 workflow, 进行仿真过程监控。仿真工具集功能框架如图 5 所示。

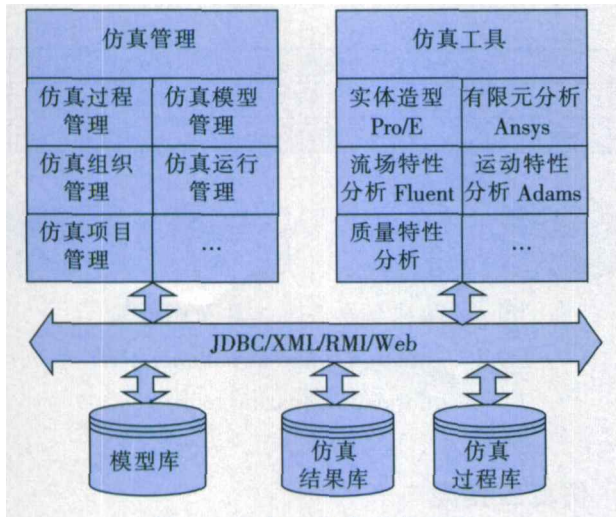


图 5 仿真工具集功能框架

Fig.5 Function frame of simulating tools

仿真工具集是一个独立运行的工具集, 基于 J2EE 技术开发, 用户交互界面为 Java Swing 和 Web 浏览

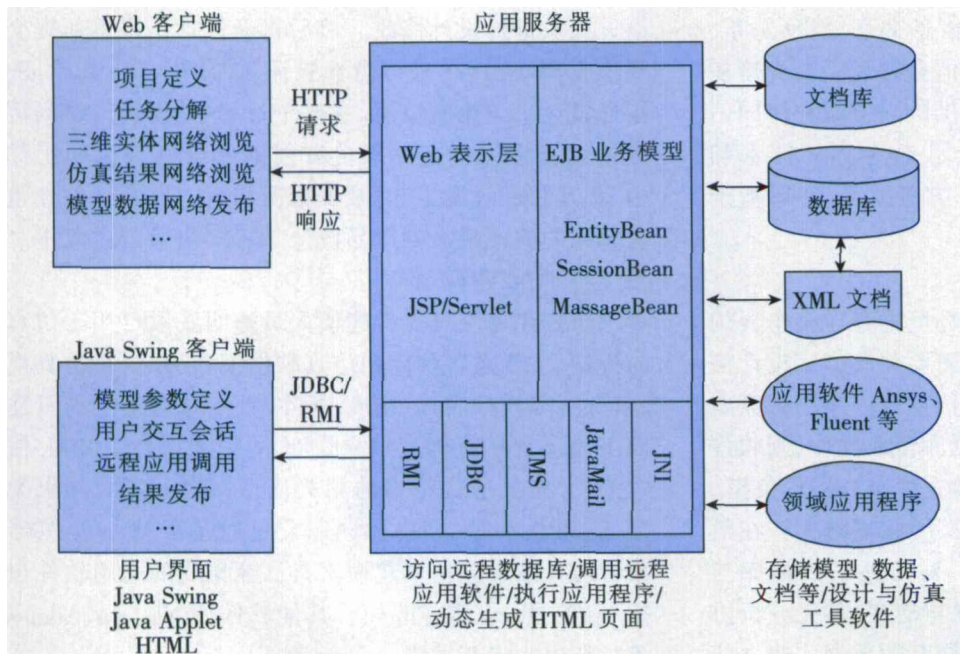


图 6 基于 J2EE 的软件实现

Fig.6 Software implementation based on J2EE

器, Java Swing 界面进行仿真管理、仿真运行等操作, Web 浏览器实现仿真结果浏览, 仿真工具和仿真管理算法被封装为 JavaBean 发布在应用服务器上。

4 工具集软件实现

虚拟样机支撑平台采用 J2EE 架构, 开发环境为 JBuilderX, 应用服务器为 BEA Weblogic Server, 数据库采用 Oracle9.i。采用 Java Swing 客户端+JavaBean+EJB+数据库的模式开发协同设计工具集和性能仿真工具集, 采用 JSP+Servlet+JavaBean+EJB+数据库的模式开发系统管理工具集。Web 运行环境为 JDK1.4.2 和 IE6.0。软件实现架构如图 6 所示。

5 结束语

虚拟样机技术已经越来越多地应用于产品设计中, 虚拟样机支撑平台是虚拟样机开发的重要内容, 本文对复杂产品虚拟样机开发支撑平台工具集进行了研究, 给出了系统管理、协同设计、性能仿真等工具集的定义与实现方法, 并基于 J2EE 开发了软件原型系统。虚拟样机支撑平台工具集弥补了产品早期阶段综合设计手段的不足, 为产品方案设计提供了强有力的手段。基于该工具集开发的固体火箭发动机集成设计平台已在工程中得到应用, 进一步的工作包括实现协同仿真算法和工具集、完善产品结构与管理工具以及设计与实现产品多学科优化算法工具集等。

参 考 文 献

- [1] 熊光楞, 郭斌, 陈晓波, 等. 协同仿真与虚拟样机技术. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 李伯虎, 柴旭东. 复杂产品虚拟样机工程. 计算机集成制造系统—CIMS, 2002, 8(9): 678-683.
- [3] 张为华, 李晓斌. 飞行器多学科不确定性设计理论概述. 宇航学报, 2004, 25(6): 702-705.
- [4] 苟凌怡, 熊光楞, 谢金崇, 等. 基于 XML 的产品信息集成关键技术研究. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(2): 105-110.

(责编 七丁)