

# 数据模型驱动的复杂产品 虚拟制造\*

## Virtual Manufacturing of Complex Product Driven by Data Model

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 冯涛 张定华 陈冰 李山



冯涛

现代设计与集成制造技术教育部重点实验室研究生。主要研究方向为数字化设计与制造、产品数据管理(PDM)。先后参加国家863项目“复杂产品协同设计仿真平台关键技术研究与应用”等多项重大科研项目。

随着市场竞争的日趋激烈,制造业面临着巨大的挑战,如何利用高速发展的计算机技术和网络技术提高企业核心竞争能力已经成为企业生

存发展的关键。虚拟制造将产品数据模型、真实制造环境及其制造过程通过系统模型映射到计算机及其相关技术所支撑的虚拟环境中,在此环境中模拟仿真产品数据模型、真实制造环境及其相关过程的一切活动和产品全生命周期过程,对产品及其制造系统进行预仿真预测和评价,最终目标是真实制造提供最优化的产品数据模型和产品全生命制造过程模型。

过程复杂、项目管理复杂以及影响因素复杂的一类产品。复杂产品虚拟制造过程是产品生命周期里基于产品模型的反复更新修正迭代的过程,环境中模拟仿真产品数据模型、真实制造环境及其相关过程的一切活动和产品全生命周期过程,因此,对产品及其制造系统进行预仿真预测和评价,最终目标是真实制造提供最优化的产品数据模型和产品全生命制造过程模型。

复杂产品是指客户需求复杂、产品构成复杂、技术原理复杂、制造

过程复杂、项目管理复杂以及影响因素复杂的一类产品。复杂产品虚拟制造过程是产品生命周期里基于产品模型的反复更新修正迭代的过程,

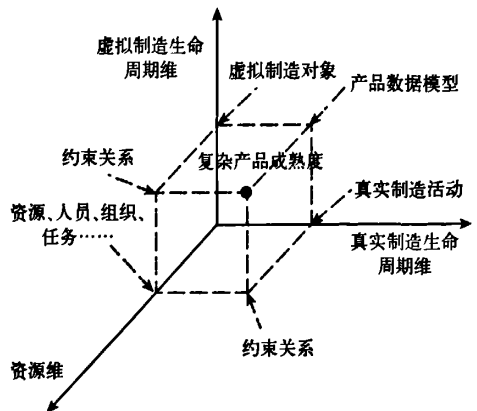


图1 复杂产品全生命周期三维视图

\*863计划(2006AA042161)资助项目。

因此,需要对复杂产品虚拟制造过程以数据模型为驱动,对全生命制造过程中的模型信息、资源信息、知识信息和过程信息进行全生命周期管理。基于以上问题,本课题对复杂产品的虚拟制造技术进行了研究,并提出数据模型驱动的复杂产品虚拟制造,研究了其系统体系结构和实现方法。

## 面向复杂产品全生命周期制造的系统建模

### 1 全生命周期多维视图建模

复杂产品虚拟制造是真实制造全生命周期系统模型和资源的映射。复杂产品的虚拟制造生命周期和真实制造生命周期的映射关系以及资源与两者的作用共同构成了复杂产品的生命周期三维视图,产品成熟度在三维视图的协调下不断提高(见图1)。

真实制造生命周期维、虚拟制造生命周期维和资源维构成了复杂产品全生命周期的三维视图,为复杂产品的全生命虚拟制造提供了同一的协调对象和对应法则。在此基础上,建立起三者之间的映射关系法则,寻找最佳的能使产品成熟度提高的协同途径。它们之间的关系主要包括2方面内容:一是在数据模型的驱动下,建立虚拟制造和真实制造的映射关系和产品数据模型的无缝接口;二是以资源为约束条件寻找提高产品成熟度的最佳途径。

### 2 功能需求

复杂产品数据模型的复杂性导致虚拟制造是分布式的、不同开发工具集成的联合体。在复杂产品的生命周期内,涉及到复杂的制造过程管理,复杂的制造资源管理,大量的仿真和集成的系统协同。

根据复杂产品的全生命制造系统的特点,复杂产品的虚拟制造系统应该具备系统管理、系统协同、系统仿真和数据模型管理等功能(见图2)。数据模型管理对制造过程中

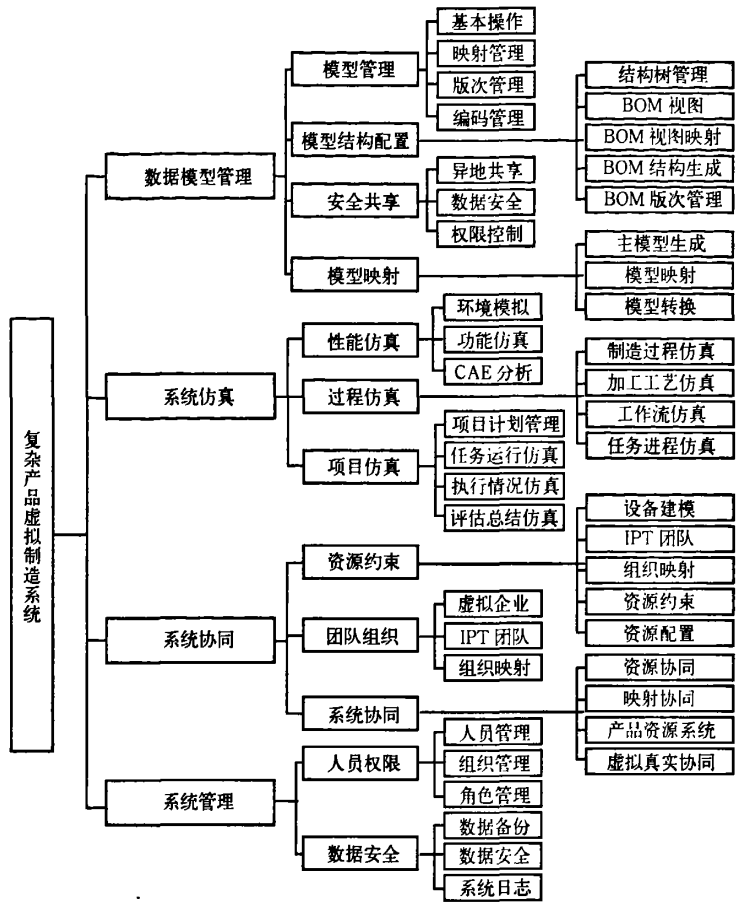


图2 复杂产品虚拟制造系统功能结构树

的产品数据模型进行管理、映射和共享,是复杂产品虚拟制造系统的核心部分。它采用主模型技术,实现生命周期中各个阶段的数据模型的关联映射,保证在产品成熟度提高过程中的模型信息的一致性和关联性。在协同机制和协同环境的支持下,通过数据模型的映射关系,对产品及其制造过程进行仿真,对产品性能和制造过程的仿真进行评价优化,提高产品质量,寻找最佳的产品成熟度提高途径。在系统管理和系统协同的共同支撑下,以数据模型为驱动对产品全生命系统进行仿真,组成复杂产品虚拟制造的功能结构。

## 系统体系结构

### 1 结构分析

数据模型驱动的虚拟制造系统在PLM技术的支持下,必须确切反应真实制造的资源约束、数据模型映射和产品成熟度的提高途径。利用PLM技术为系统支撑技术,以资源为约束条件建立数据模型的映射关系,实现各技术单元内部和单元之间的数据模型关联映射、无缝结构以及信息集成。以数据模型为驱动,提供系统协同的集成功能服务,应用模型映射技术进行产品全生命周期的数据模型关联映射,为系统提供统一的关联数据模型。在集成服务功能的基础之上,采用网络化的服务提供机制,为用户提供分布式、开放、灵活的用户服务端。

### 2 体系结构

为满足复杂产品虚拟制造的功

能要求,在分析以数据模型为驱动的复杂产品虚拟制造系统结构的基础上,提出了一种基于PLM技术、应用Web Service技术、针对复杂产品的数据模型驱动的虚拟制造系统体系结构(见图3)。该体系结构实现了复杂产品虚拟制造单元内部和单元之间数据模型的关联转换以及各种资源、模型、信息、知识和过程的集成,并建立了复杂产品在资源约束下的虚拟制造生命周期维和真实制造生命周期维的映射关系,同时实现了数据模型的无缝接口。

系统层主要是指系统的硬件、数据库、操作系统和网络,它们构成了数据模型驱动复杂产品虚拟制造系统的底层架构。PLM技术对产品全生命周期中的资源模型、数据模型、过程模型和知识模型等进行管理,并形成虚拟制造全生命周期和真实制造全生命周期的映射关系,它们构成了系统的支撑层。系统所实现的数据模型管理、系统仿真、系统协同和系统管理等功能共同组成了系统的服务层。在协同机制的支持下,通过Web Service技术以及面向服务的体系结构实现异构环境的协同集成,构成了系统的集成层。用户层则提供用户进行虚拟交互、产品建模、数据管理和数据浏览的接口。

数据模型驱动的虚拟制造中的关键技术主要有模型映射技术、BOM映射技术和虚拟制造全生命周期管理技术等。

### 案例系统集成及其子系统实现

#### 1 叶片介绍

航空发动机叶片为航空发动机的关键部件,其结构复杂且品种数量较多。发动机叶片型面为空间复杂自由曲面,而且叶片薄、弯扭大、易变形,材料多为钛合金等难加工材料,其工艺设计难度大,NC代码复杂,属于结构复杂、工艺制造过程复杂型

复杂产品。所以叶片设计制造过程极其复杂,同时还有造型困难,可修改性差等弱点。

航空发动机研制需要经过叶型设计、结构设计、气动分析和强度校核等不同技术单元,叶片数据模型在不同技术单元集成共享,以数据模型为驱动来使各技术单元进行协同。叶片冷工艺数控加工中,造型软件是NX/CAD,加工中应用NX/CAM和VERICUT,采用UG/NX中的CAM模块进行刀位轨迹的规划。下面分别介绍数据模型驱动的叶片虚拟制造系统运行结构以及系统中的虚拟加工子系统的实现。

#### 2 系统运行结构

数据模型驱动的分布式叶片虚拟制造系统由拥有虚拟制造单元技术的研究所、虚拟仿真中心、高校虚拟制造中心、项目仿真中心和企业组

成,并在项目机构的统一组织下,进行产品的协同研制。各虚拟制造单元在网络服务器Web Service的支持下,形成了航空发动机叶片的虚拟制造系统。

Web Service技术是一种新型的分布式组件技术,独立的应用程序部件以一种标准的方式发布到Web站点上,其他Web应用程序可以方便地找到并使用它们,从而协同完成某个功能逻辑。Web Service技术是一种部署在Web上的对象组件,具有封装性、开发性、跨平台性和可集成性等特点。以SOAP/WSDL/UDDI为主干的Web服务技术,构成的独特的对象调用体系提供了产品虚拟生命周期管理中松散耦合协同和动态主动集成。其中,SOAP为简单对象访问协议,WSDL为网络服务定义语言,UDDI为同一描述、

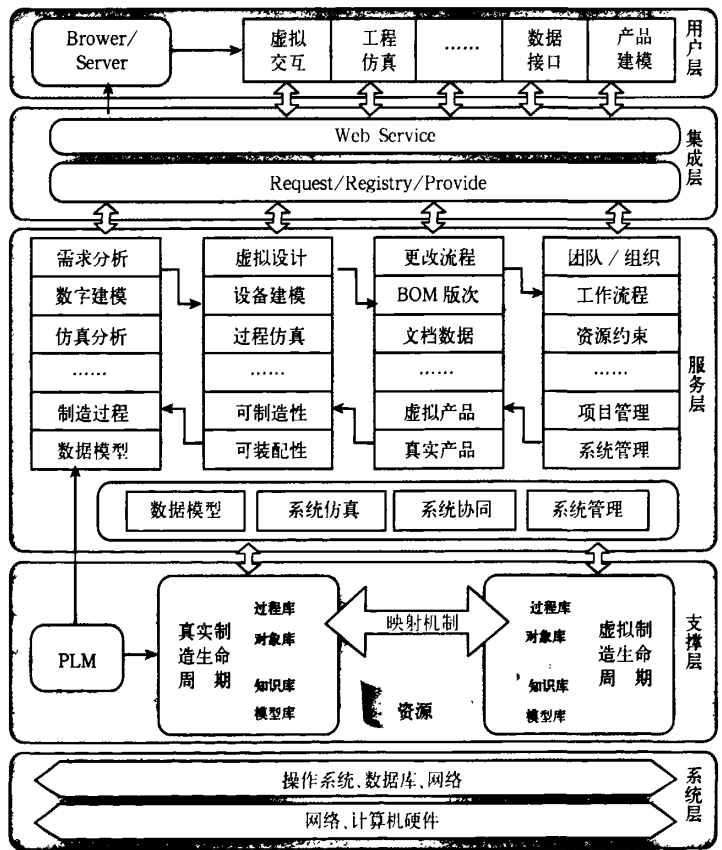


图3 数据模型驱动的虚拟制造系统体系结构

发现集成协议。部署在 Web 上的组件对象提供“软件总线”服务,各虚拟制造单元通过 UDDI 进行服务注册和服务提供、服务请求,实现各个虚拟制造单元在 Web “软件总线”上的即插即用。

数据模型到 Web Service 的映射转换是系统集成的关键。从数据模型生成 WSDL 和 UDDI 文件,将此与服务进行联编,对服务端的应用程序组装和配置。对虚拟制造技术单元进行服务注册和请求,并在数据模型的驱动下完成相应的服务和功能。

### 3 虚拟加工子系统实现

针对航空发动机叶片设计制造模式,采用以 Siemens 公司的 Teamcenter 为支撑的数据管理软件,集成 UG 和 VERICUT 软件,并进行二次开发实现航空发动机叶片虚拟加工子系统。

在 Teamcenter 环境下,集成 UG 和 VERICUT 软件,进行叶片虚拟加工系统的构建。运行 UG 和 Teamcenter 接口程序,进行 Teamcenter 配置,增加数据记录实现集成。

图 4 为叶片虚拟加工系统实现过程及相关实现方式。利用 UG/Modeling 模块进行五坐标机床、夹具等元素的三维建模,生成机床各个部件模型,应用 Assemblies 模块建立虚拟机床,并利用 Motion 模块进行相应二次开发和运动建模,建立叶片虚拟加工环境。应用 Object display 功能实现五坐标机床的真实感显示。在 UG/CAM 和 UG IS&V 模块基础上,进行二次开发,建立叶片虚拟加工的数控驱动器。MID 是 UG/CAM 后处理的延伸和扩展,包含后

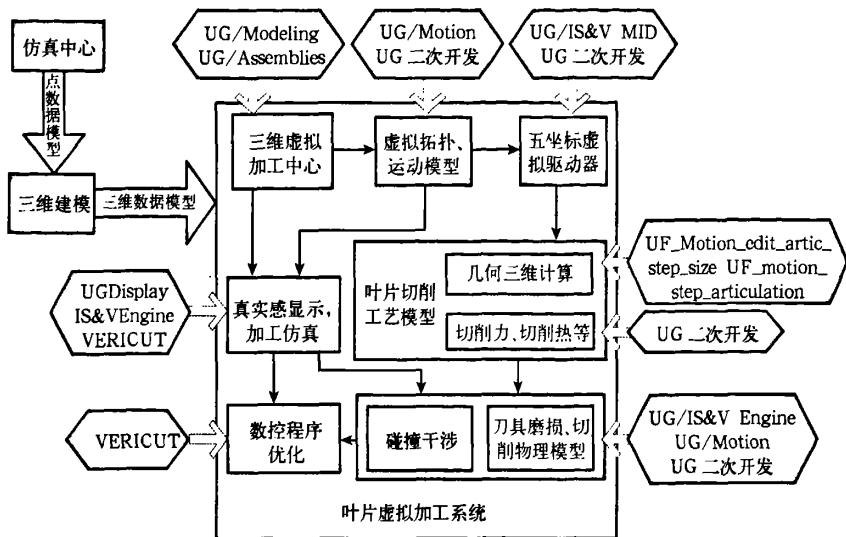


图4 叶片虚拟加工系统实现

处理文件和虚拟 NC 控制器。在此基础上,集成 UG/CAM 刀位轨迹规划功能和 UG/Post Builder 后处理功能,形成独立的叶片虚拟加工数控机床驱动器。利用 UG 接口函数进行三维几何计算钛合金材料的去除过程,同时增加过程物理模型,作为其关联行为,进行 UG 二次开发软件实现。将叶片的虚拟工艺信息和数据传递到 IS&V Engine 模块,进行叶片加工仿真,将仿真结果图形化显示,并反馈数据和结果到 VERICUT,进行数控程序优化。

仿真中心将仿真结果的点数据模型发布,通过三维建模过程得到叶片完整的三维数据模型。在此三维数据模型的驱动下,进入叶片虚拟加工系统。通过虚拟加工系统的工艺分析,建立叶片的切削工艺数据模型,将此模型进行虚拟加工,最终得到最优化的叶片加工模型。如果虚拟加工过程中出现不可加工部位,则需要对模型进行修改,建立参考叶片数据模型,并将此模型反馈到叶片设计部门,进行叶片设计修改。经过如此迭代修改,最终得到了航空发动机叶片最优化的设计制造数据模型,同时建立了叶片加工工艺数据模型。

### 结束语

本课题针对复杂产品虚拟制造生命周期、真实制造生命周期数据模型映射转换难,以及虚拟制造生命周期内模型信息、知识信息和过程信息的管理等问题,分析了生命周期三维视图协调下产品成熟度的提高,总结了复杂产品虚拟制造系统的功能需求。以 PLM 技术为基础,应用 Web Service,构建了数据模型驱动的复杂产品虚拟制造系统结构,实现了虚拟制造单元内部和单元之间各种资源、信息、过程和模型数据的集成,并建立了在数据模型驱动和资源约束下的虚拟制造生命周期和真实制造生命周期的数据模型映射关系。针对航空发动机叶片的研制特点,介绍了叶片虚拟制造系统集成框架。以 Teamcenter 为 PLM 支撑软件,集成 UG 和 VERICUT 实现了叶片虚拟加工子系统,验证了系统的可实现性。

本文有参考文献 6 篇,由于篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。

(责编 玉龙)