

# 综合智能产品模型研究

## Research on Complex Smart Product Model

北京航空航天大学 720 研究所 王永坡

[摘要] 现在复杂产品的研发需要一个协同的支撑平台,将人员、工具和过程集成起来。对产品以及相关数据的建模是实现协同支撑平台的关键,在分析国内外相关研究的基础上提出了综合智能产品模型(CSPM)的概念。在CSPM基础上,依据J2EE规范建立了综合智能产品数据环境(CSPDE)。

关键词: 产品模型 综合智能产品模型 综合智能产品数据环境

[ABSTRACT] The R&D of complex product requires a collaborative support platform which can integrate personnel, tools and process. The key to implement such support platform is the modeling of product and product related data, the concept of complex smart product model (CSPM) is put forward based on study of related national and international research. Complex smart product data environment (CSPDE) is constructed based on CSPM and J2EE specification.

Keywords: Product model Complex smart product model Complex smart product data environment

现代宇航/武器系统研发的目标不但要降低产品开发的成本,缩短产品开发的周期,同时还要保证第一时间的产品设计质量和产品运行质量。随着现代战争需求的提高,产品自身的复杂性、设计过程和制造过程的复杂性也逐步提高,各种自动化设计工具、分析工具、优化工具能够大大加快相应任务进度,但是对整个设计过程,由于各种自动化工具之间缺乏相应的互操作性,人员是按职能部门组织的,人员之间缺少必要的沟通和协调,从而造成整个设计过程漫长而反复。现代复杂产品系统不但要求各个部门、各个学科实现设计的自动化,提高设计的效率,取得最优的设计结果,而且还要求在整个设计过程中取得系统级的最优设计结果。即在实现了基础信息化以后,需要一个支撑平台将复杂产品设计的人员、工具、过程集成起来,同时将设计过程中产生和使用的数据管理起来,方便人员、工具、过程的使用。本课题提出了综合

智能产品模型的概念,以满足产品数据管理和人员、工具、过程集成的需求,并依据CSPM和J2EE规范建立了综合智能产品数据环境。

### 1 产品模型发展趋势

产品模型经过了以二维模型、三维模型、线框模型、曲面模型、实体模型以及参数化/变量化为代表的产品几何模型,产品特征模型和集成产品模型3个阶段的发展,出现了新的发展趋势。

DD21项目<sup>[1]</sup>中提出了智能产品模型的概念,SPM是军舰系统的数字化描述,包括军舰的产品模型数据、性能特征和行为特征。产品模型数据是由几何数据与描述军舰物理和逻辑配置的非几何工程数据组成的,包括军舰信息结构的各种元素。AEE项目<sup>[2]</sup>中强调了对产品数据的统一表示,通过对XML客户化定制建立了运载工具语言。通过建立统一的数据模型可以大大降低工具之间交互的接口数目,在AEE项目中所有数据的传输和共享都是通过LVL来实现的。FIPER项目<sup>[3]</sup>中的产品数据管理是通过智能产品主模型来实现的,提供了与语境相关的具体主模型视图。FIPER吸收了GE航空发动机的共同几何结构策略—主模型、连接模型环境、自上而下的产品控制结构,并且企图在基于知识的工程系统中获取设计者的知识,建立了智能主模型。

在国内,研究者林兰芬、高鹏和蔡铭等<sup>[4]</sup>提出了融合产品静态特性信息和动态演变信息的集成化产品模型框架,该框架支持数据集成和设计过程集成。王恒和宁汝新<sup>[5]</sup>提出了全语义产品模型,该模型弥补了基于特征设计的几何模型的缺陷,能够提供精度要求、尺寸公差、形位公差、表面粗糙度和装配约束关系等方面精度分析所需的信息,为实现计算机辅助精度分析提供基础模型。

通过对国内外相关项目及文献的分析可以看出,产品模型的发展出现了以下几种趋势:

(1) 产品模型走向集成。产品模型能够表示产品开发的全生命周期、产品各阶段的多学科模型,使其成为产品开发过程中的统一的单一产品数据源。产

品模型的集成还表现在:产品模型不但包括产品本身的模型,它还包括产品相关开发人员的模型、支持工具的模型以及产品相关的环境模型,即将产品模型放到具体的产品设计开发以及运行环境中去。

(2)产品模型走向智能。产品模型的智能性主要是指产品模型与外界环境的智能交互,能够依据外界环境智能地展示产品模型的不同方面。产品模型的智能建立在环境模型和产品模型的集成上,产品模型能够依据外界环境智能地更改自身及其相关的数据;产品模型的智能性也体现在产品模型为外部环境提供了丰富的接口,它为多学科的设计、优化工具、人员、数据支撑工具提供了多种接口。

(3)产品模型强调统一的表示。产品模型在本质上是为了组织产品数据,为不同的学科提供产品数据的支持。产品模型的统一表示能够为不同的学科提供不同的学科术语,同时还可扩展,以满足产品数据自身的动态变化;产品模型的表示同时要方便数据的使用和集成,简化工具的集成。XML 由于其自身的自描述性、可扩展性等优点,为产品模型的表示和应用提供了新的研究方向。

(4)产品模型强调对产品数据的控制。控制可看作附加在产品模型和产品数据中的机制,在产品模型中控制大致分为 2 种:模型本身的控制和模型使用过程中的控制。模型本身的控制是指为了保证模型的一致性、有效性、完整性而对模型施加的约束,这种约束不但施加在模型对象上,还施加在模型对象之间的关系上。模型使用过程中的控制是用来保证产品数据在访问、使用、共享过程的一致性、完整性和有效性,保证产品数据全过程的正确性。

## 2 综合智能产品模型

综合智能产品模型是一个可执行的、集成的、语境相关的和不断演变的产品系统模型,它不但包括产品本身的数据,还包括支持产品开发的相关数据,CSPM 的概念层次模型如图 1 所示。

智能产品核心模型是以产品结构模型为框架,以产品主模型为基础,关联产品行为模型、产品功能模型、产品资源模型的集成产品模型,如图 2 所示。

产品结构模型是指产品构成关系的模型,它反映了产品的层次化分解,是进行产品设计、生产组织的重要依据与标准,并为产品数据的组织提供了大的框架。

产品主模型是实现产品开发过程信息集成的共享模型的集合,由公共模型和应用特征模型组成。公

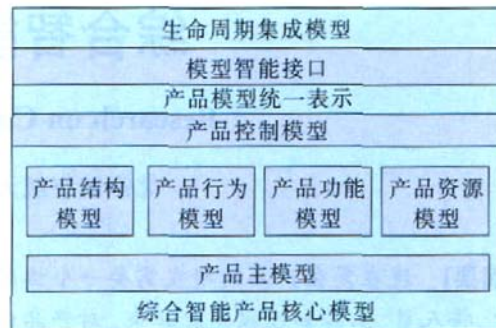


图 1 CSPM 概念层次模型

Fig.1 Concept level model of CSPM

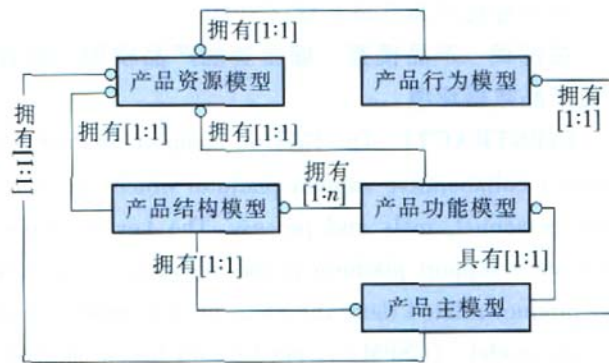


图 2 综合智能产品核心模型

Fig.2 CSPM-Core

共模型是产品几何表达模型集合,主要包括产品定义数据信息,应用特征模型定义了满足产品开发过程的不同应用领域信息需求的应用特征模型集合,具有设计、制造以及产品开发过程其他环节所需的几何属性和工程属性,是实现产品信息集成的基础,如设计特征、工艺特征、工程分析特征等,是在公共模型不同应用视图的基础上结合应用领域知识定义的模型。

产品功能模型是用来描述产品满足用户需求所应该具有的特征,产品功能模型是进行产品体系结构和产品结构分解的基础,同时产品功能特性与产品主模型相关联。

产品行为模型是描述产品在外界环境下所呈现出来的行为特征,行为模型是产品主模型和环境交互的结果,同时产品行为模型要受到产品功能模型的制约,满足产品功能模型所规定的各项约束。

产品资源模型主要是将产品开发过程中的人员、工具等相关支撑环境进行建模,方便人员、工具等对产品数据的访问以及控制。

产品控制模型是在具体语境下对综合智能产品核心模型施加的约束,产品控制模型可以看作附加在

综合智能产品核心模型的机制,它可以保证产品模型及其相关数据的一致性。在产品模型中的控制大致可以分为2种:模型本身的控制机制和模型使用过程中的控制。模型本身的控制机制是指为了保证模型的一致性、有效性、完整性而对模型施加的约束,这种约束不仅施加在模型对象上,还施加在模型对象之间的关系上。模型使用过程中的控制用来保证产品数据在访问、使用、共享过程的一致性、完整性和有效性,保证产品数据全过程的正确性。产品控制模型由产品语境模型、产品结构控制模型、产品功能控制模型、产品行为控制模型、产品资源控制模型以及数据控制模型组成,如图3所示。

产品模型统一表示是对综合智能产品模型以及产品控制模型的统一表示,通过对模型及其控制的表示可以简化相关数据之间的集成,在智能产品环境中各个设计阶段以及各设计阶段与智能产品模型之间的数据交换都是通过这种统一的表示来实现的,这样可以大大降低工具之间以及工具与智能产品环境之间的接口与联系,产品的表示语言应该是开放的,也是易于程序访问使用的。产品模型统一表示可以屏蔽底层产品模型的实现机制,使产品模型实现具有很强的跨平台性。由于XML具有良好的可定制性、可扩展性,同时是一种自描述的文本格式的语言,本文采用定制的XML来对产品模型及其控制模型进行统一表示,定义了综合智能产品模型语言。

模型智能接口是建立在综合智能产品核心模型和产品控制模型的统一表示之上的,模型智能接口包括学科视图层和学科智能接口2部分。模型智能接口首先从综合智能产品核心模型和产品控制模型的统一表示解析出各个学科的数据,形成各个学科视图,在各个学科视图之上建立访问相应的学科智能接口,方便学科专家以及工具对数据的访问。模型智能接口能够依据产品开发生命周期的状态和访问模型的工具以及人员的不同,智能地提供个性化的产品模型以及数据。模型智能接口的运行不但依赖于底层的综合智能产品核心模型,还依赖于对产品开发生命周期、人员以及工具等模型的建立。

生命周期集成模型是人员、工具与综合智能产品模型在产品开发过程的集成,将综合考虑产品数据在开发过程的使用、数据流动等问

题,保证产品数据在产品开发全生命周期过程的有效性和一致性。生命周期集成模型首先通过学科智能接口将学科相关数据配置到相应的设计活动中去,同时将工具和人员集成到相应活动中去,最后将各个设计活动连接起来形成产品开发过程。产品模型表示、智能接口和生命周期集成的关系如图4所示。

### 3 系统实现

依据建立的综合智能产品模型,实现了CSPDE。CSPDE建立在SUN公司的J2EE框架上,充分利用了J2EE在事务管理、安全性等方面的优点。CSPDE的体

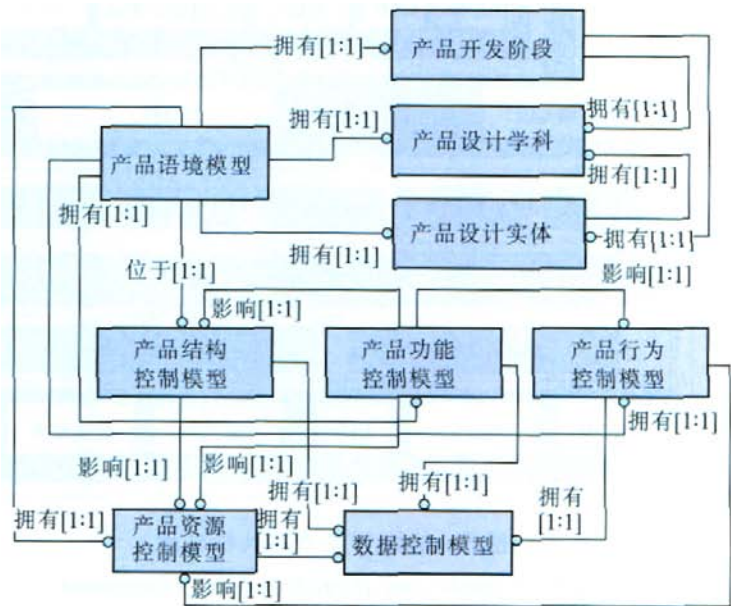


图3 综合智能产品控制模型

Fig.3 CSPM-Control

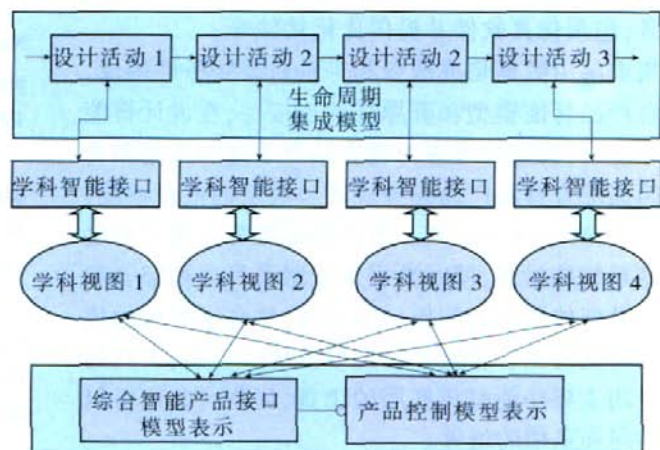


图4 产品模型表示、智能接口和生命周期集成

Fig.4 Product model express, smart interface and lifecycle integration

系结构如图 5 所示。CSPDE 建立在分层体系结构上,分为用户层、业务层、模型层、集成层和资源层。

资源层包括整个智能产品环境的数据,并提供工具支撑服务,智能产品环境中所有数据和一部分工具都由这一层提供,所涉及的信息系统有产品数据管理系统(PDM)、数据库系统(Database)、分布式文件系统(DFS),通过各种信息系统结合起来,可以满足对产品开发过程中不同类型、不同粒度的产品数据的需

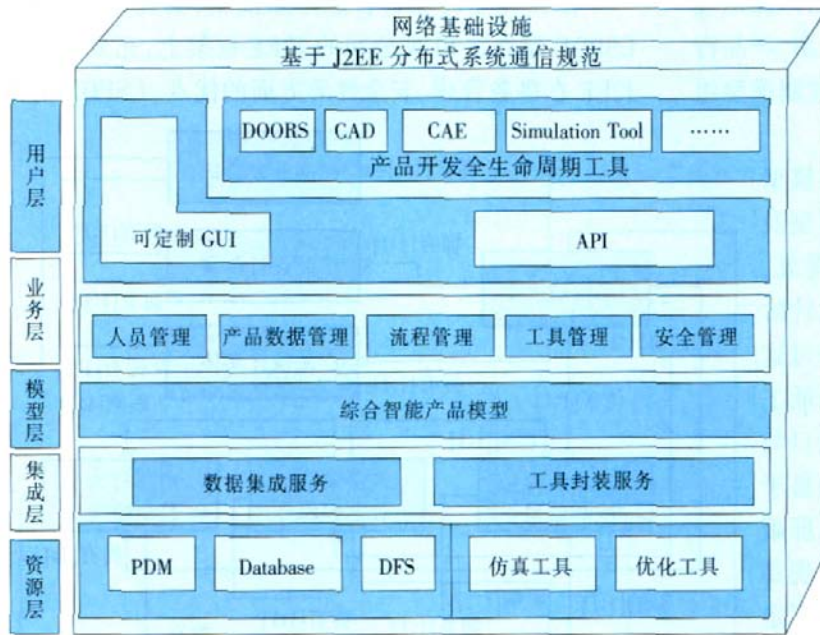


图 5 综合智能产品数据环境

Fig.5 Complex smart product data environment

求;智能产品环境中一部分工具需要安装在相应的工具服务器上,这些工具分散在资源层中并提供工具支撑服务,包括仿真软件并提供优化软件等。

集成层由数据集成服务和工具封装服务层构成,是综合产品智能模型和资源层的连接层,在设计智能产品环境时,要充分考虑对现有信息系统的重用和升级,因而综合智能产品模型应该与底层的信息系统,特别是 PDM 系统相分离。数据集成服务实现了对底层信息系统的封装,同时数据集成服务可以被综合智能产品模型的数据访问接口所访问,将底层异构的信息系统转化为综合智能产品模型的统一表达;工具封装服务的主要功能是将底层的仿真、优化封装成可以远程访问和重用的组件。

模型层是综合智能产品模型的实现,综合智能产品模型层是整个产品智能环境的核心,它将底层分布式的信息系统、工具进行统一表示和访问,形成单一

的数据源和工具服务,保证数据的可用性、一致性和有效性,是整个智能产品环境的中心,智能产品环境的智能性主要表现为产品模型的智能性。

业务层对于复杂产品开发过程的每个阶段所需的功能不同,但有许多功能在整个产品开发过程中都涉及到了,这些服务构成了智能产品环境的核心服务层。业务层所提供的功能有:用户管理、产品数据管理、流程管理、工具管理和安全管理等。

用户层是产品智能环境提供给用户的功能访问接口,产品智能环境中的用户不但包括产品开发人员,还包括各种产品开发生命周期的工具。用户服务层要对这些用户提供灵活的接口,如可定制的图形用户界面和编程可访问的接口(API),通过这些接口满足用户对智能产品环境功能的访问和扩展。

#### 4 结束语

复杂产品系统的研发需要集成的人员、工具和过程的支持,本文在分析国内外相关研究的基础上提出了 CSPM 的概念,将产品研发过程中产品及其相关的数据进行了统一的建模。以综合智能产品模型为核心,依据 J2EE 规范设计了 CSPDE, CSPDE 作为一个协同的复杂产品支撑平台,能够将人员、工具和过程以及相关的数据集成起来。

#### 参 考 文 献

- [1] Fidd S S, Ngo T. Delivering a virtual prototype for the Navy's 21st Century Destroyer. Association of Scientists and Engineers 36th Annual Technical Symposium, Cherry Hill, NJ, 1999.
- [2] Kam J V, Gage P. The launch vehicle language (LVL) data model for evaluating reusable launch vehicle concepts. 41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Moffett Field CA, 2003.
- [3] Bailey M W, VerDuin W H. FIPER: An intelligent system for the optimal design of highly engineered products. NIST Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop, Gaithersburg, MD, 2000.
- [4] 林兰芬,高鹏,蔡铭,等.集成环境下产品建模技术的研究.浙江大学学报(工学版),2005,39(8):1168-1173.
- [5] 王恒,宁汝新.面向精度分析的全语义产品模型研究.计算机集成制造系统,2005,11(7):921-926. (责编 金卯)