

集成化产品生命周期模型研究*

黄双喜 范玉顺 (清华大学自动化系 CIMS 中心 100084)

徐志勇 张聚恩 (中航一集团科技部)

孙凯生 杜全文 (航空 625 所)

摘要: 产品生命周期管理的核心是产品模型。本文给出了一个集成化产品生命周期模型的概念, 实现了对产品生命周期范围内不同领域、不同阶段、不同方面产品信息的统一、一致的定义和表达。提出了集成化产品生命周期建模体系, 从生命周期维、视图维和应用领域维对产品生命周期模型的建模方法和内容进行详细描述, 并基于面向对象技术开发了一个产品生命周期模型管理系统, 提供了产品生命模型的对象建模、对象访问、对象管理和对象持久化等操作。

关键词: 产品生命周期 产品模型 对象

Research on the integrated product lifecycle model

Shuangxi Huang Yushun Fan

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Product definition is the core of Product Lifecycle Management (PLM). This paper presented a concept of integrated product lifecycle model to give a unified and coherent product definition for different domains, phases and aspects in product lifecycle. The architecture of the integrated product lifecycle model is proposed and the methodology of how to model product lifecycle information is described from three dimensions, which are lifecycle dimension, view dimension and domain dimension. Finally, an object-oriented product lifecycle model management system is developed to provide the functions of object modeling, accessing, managing and persistence.

Keywords: Product lifecycle, Product model, Object

1、引言

产品模型是产品信息的一种描述和表示, 如我们经常用到的各种产品图纸、产品文档等都是产品模型的一种表现形式。在传统企业信息系统中, 产品模型分散在不同的部门和应用之中, 如 CAD 系统管理和存储产品的几何模型、CAPP 系统主要处理产品工艺模型、CAQ 系统管理产品质量模型等。它们在内容、格式和形态上都存在一定的差异, 在企业内部形成了一个个的信息化孤岛, 造成产品信息, 不同部门、领域以及不同开发阶段之间很难进行交流和协作。因此, 面对快速变化的市场环境, 企业必须建立一套管理产品生命周期各阶段不同信息的机制, 使得产品设计、开发、制造、行销以及售后服务等信息能快速的流动, 并且能有效的加以管理。虽然这些年, PDM、ERP 以及 SCM 等综合应用系统的出现在一定范围内解决了不同产品模型间的集成问题, 但它们大多只关心特定领域的产品工程信息和产品的设计结果信息, 在广度和深度上都不能彻底解决产品生命周期范围内产品信息的共享与交互问题。

而近年来出现的产品生命周期管理 (PLM) 则是一种支持产品生命周期不同阶段、不同领域产品信息共享和交换的一种战略性方法, 它提供了一组业务解决方案来支持在扩展企业内创建、管理、分发和使用覆盖产品从概念到消亡整个生命周期的定义信息^[1]。

在产品生命周期管理概念下, 产品模型应该包括从需求到概念、定义, 到采购、生产、

*国家十五 863 重点项目“航空工业现代集成制造系统”资助(2001AA411010)

服务、维护和报废各个生命周期阶段的相关数据。产品模型也不仅仅是设计结果。完整的产品信息应该包括产品生命周期各阶段的相关数据、过程、资源分配、使用工具等信息以及这些信息之间的有机关联。如何定义一个跨领域、跨阶段的全局产品模型,以及如何管理该模型,是产品生命周期管理的核心和实现基础。

本文提出了一个集成化产品生命周期模型的概念,并基于对象技术开发了一个产品生命周期模型管理系统。集成化产品生命周期模型从三个维度对产品生命周期范围内的不同领域、不同阶段、不同方面的信息进行描述,实现了对产品生命周期信息的统一、一致的表达。而基于对象的产品生命周期模型管理系统通过对集成化产品生命周期模型的统一建模和管理,为产品生命周期的不同应用提供了一个统一的数据操作和管理环境,实现了不同阶段、不同领域信息之间的共享和交互。

2、产品生命周期模型

2.1 产品生命周期模型的定义

国内外对于产品生命周期模型已有不少研究,主要涉及产品生命周期模型的目的、内容和建模方法等。如文献[2]中提出的广义产品模型概念,从产品信息、开发活动、开发组织、开发资源和开发计划五个侧面来对产品进行广义建模,以支持并行和全生命周期的产品开发。文献[3]提出了集成了产品管理模型(Product)、过程数据管理模型(Process)、组织管理模型(Organization)和资源管理模型(Resource)的PPOR模型概念,对各模型的内容和模型之间关联进行了描述,保证了产品生命周期数据的完整性和一致性。文献[4]提出了产品主模型(PMM)的概念和方法,它将整个产品开发活动和过程视为一有机整体,所有活动和过程都围绕一个统一的产品模型来协调进行。文献[5]提出了一种产品的全局建模方法,它通过建立产品模型的统一本体,并将其表现为具有特定属性的对象,采用层次化的对象结构和形式化的符号来建立和描述产品的全局模型。文献[6]给出面向产品生命周期的产品建模的一些基本概念和方法,分析了产品生命周期模型的建立过程,并基于对象技术给出了产品模型的严格的数据结构,支持模型的实现。文献[7]提出了产品的多模型技术(MMT),开发了一个多模型框架(MMS),建立了产品模型的不同层次结构,不同层次包含有不同的产品模型。通过结合对象技术与特征建模技术,可以在系统层和设计层实现对不同产品模型的建模和管理。

虽然产品生命周期模型的研究已经进行了许多年,但是,目前对于产品生命周期模型仍没有一个统一的定义,这主要是因为这些研究可能起源于不同的问题,或有着各自的研究基础,采用不同的技术方法。

本文从产品生命周期管理角度出发,给出如下的产品生命周期模型的定义:**产品生命周期模型是一个综合性的信息模型,是产品信息的一种结构化描述,它定义和描述产品是如何被设计、制造、操作、使用、服务,然后报废和处理,其内容涵盖产品生命周期过程中的产品组成、内容以及相关的过程、资源和组织等信息。其目的是实现产品生命周期过程中不同领域、不同阶段、不同人员之间的信息交互和共享。**

从上述定义我们可以总结出产品生命周期模型的几个基本特点:

- 1、**产品生命周期模型是一个共享信息模型**,它是面向整个产品开发活动和过程,为这些过程和活动之间的数据交换和共享提供一个统一的信息模型。它不是面向具体的应用和过程,为其保存和提供所有的数据。它只包含产品生命周期过程中需要共享和协作的那部分信息。
- 2、**产品生命周期模型是一个综合模型**,它需要定义和描述产品生命周期各阶段的相关数据、过程、资源分配、使用工具等信息以及这些信息之间的有机关联。因此,它是一个多视图的模型,采用不同视图来描述产品生命周期不同侧面的信息,并通过视图间的关

联和映射关系来反映产品生命周期过程中的信息关联情况。

- 3、**产品生命周期模型是一个不断演化的模型**，它是产品演化过程的一个产物。由于产品演化本身是一个不断生长和进化的过程。因此，产品生命周期模型也必定会不断的生长和进化。与产品演化过程相对应，产品生命周期模型的演进也可以分为概念产生、设计、采购、生产、销售和服务等几个阶段。每个阶段的模型都包含有其特定的活动、产生的数据、涉及到相关的人员和部门等信息。

针对产品生命周期模型的上述特点，我们提出了一个集成化的产品生命周期模型体系，它从视图维、生命周期维和应用领域维三个方面来综合描述产品生命周期模型组成、发展和应用情况。

2.2 集成化产品生命周期模型体系

产品生命周期模型将产品生命周期的各种信息经过一系列处理后变成数字形式存于计算机中。产品生命周期极其复杂，一方面人们希望产品生命周期模型包含充足的数据，另一方面又期望从中能方便、快速地选择所需要的数据而撇开其它兴趣不大的数据。这就要求建立一种高效的模型体系，将两方面的要求兼顾，既尽可能地包含信息（包括对未来潜在有用的信息），又要能方便快速选取。

本文提出一种集成化产品生命周期模型体系，它定义了一个由生命周期维、应用领域维和模型视图维所组成的三维模型空间^[8]。产品生命周期中每一个阶段、每一个领域的不同视图模型均可由该空间的一个点来表示。若用 L 代表生命周期维， D 代表应用领域维， V 代表视图模型维，则模型空间 H 可表示为 L 、 D 、 V 的乘积形式： $H=L D V$ 。按照产品生命周期模型的特点， L 、 D 、 V 可分别由一个有限集合来表示。其中 $L=\{\text{概念、设计、采购、生产、销售、售后}\}$ 、 $D=\{\text{设计、工艺、制造、维护、质量、市场}\}$ 、 $V=\{\text{产品、功能、组织、资源、信息}\}$ 。这样，对于我们所研究的产品生命周期模型，就可以表示为一个有限集 S 的形式。这里 $S=\{s|s(l,d,v) \in H\}$ ，其中 $l \in L, d \in D, v \in V$ 。

下面，我们将详细讨论产品生命周期模型空间中每一个维的划分和取值规则，以及每一个维在产品生命周期建模中所起的作用及其所对应的产品生命周期模型的信息特征。

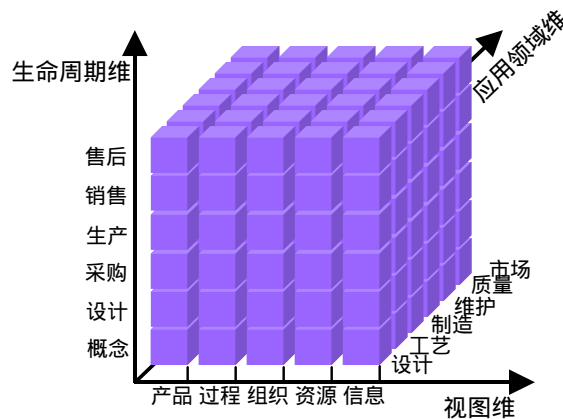


图 1 集成化产品生命周期模型体系

Fig. 1 The architecture of integrated product lifecycle model

2.3.1 生命周期维

产品生命周期包括许多阶段，每一阶段都有不同的任务和结果，需要和产生不同的信息。清晰了解产品生命周期不同阶段的目标、任务和信息分布情况是我们总结和分析产品生命周期的基础^[9]。一般来讲，产品生命周期可以按照产品的演化过程分为概念产生、设计、采购、

生产、销售和服务几个阶段^[10,11]。因此,在产品生命周期维中,我们定义相关的这六个阶段。每个阶段都有其特定的活动、产生相应的信息、涉及到相关的人员和部门。

- 概念产生阶段:该阶段基于市场信息,获得新产品或产品设计改进的概念。该阶段主要任务是对产品的市场预测、产品创意、商业前景预测、客户需求和投资规划等。所涉及到的信息可能包括市场需求信息、产品概念模型、产品开发计划等;
- 设计阶段:在该阶段,产品开发团队将交换和共享产品设计数据和思路,协同完成产品的设计工作。该阶段主要活动包括产品的概念设计、详细设计、设计评估、工程分析、文档管理以及 EBOM 管理等。该阶段主要信息包括产品三维模型、产品工程信息、BOM 信息以及产品工艺、工装设计信息等。
- 采购阶段:该阶段对产品制造所需的器件、材料、部件和设备进行初步分析,确定外构件和自制件计划。并从 ERP、PDM、SCM 等系统中抽取器件/材料的可获得性、报价、潜在供应商、替代器件等信息,提供给采购人员制定相应的计划;
- 生产阶段:该阶段根据研发工程师建立的设计规格,利用所采购的器件和材料进行生产,通过质控/质检或其它过程控制方法来检查生产是否与设计规格一致。该阶段主要涉及 MBOM 的管理、工装计划、生产测试、自制件加工等活动;
- 销售阶段:该阶段主要活动包括市场推广、产品发布、销售战略制定以及客户管理、订单管理等。该阶段负责企业与分销商、客户以及供应商之间的信息协调和管理,保证订单、生产、库存和销售等环节的畅通和一致性。
- 售后服务阶段:主要负责产品维护、服务和维修。将把客户服务信息传递给相关的设计、生产、制造部门,并将相应的处理和解决方案反馈给服务部门和客户,充分利用企业资源提高服务质量和效率。

从上述分析可以看出,产品的演化是一个多阶段、不断完善的过程。产品模型也随着产品生命周期的发展而不断演化。在不同的生命周期阶段,产品模型可能包含不同的信息内容和信息格式,服务于不同的人员和应用。这正是在产品生命周期过程中产品模型动态性的体现。这需要我们采用一种分阶段的建模方法来建立产品生命周期不同阶段的产品模型。而产品生命周期模型则是这些阶段模型的集合。

2.3.2 视图模型维

视图模型维定义五个视图:产品视图、过程视图、组织视图、资源视图和数据视图。我们采用以过程视图模型为核心,其它视图模型为辅助视图来实现集成化产品生命周期建模。不同的视图模型之间构成关联和引用的关系。不同视图模型的创建采用逐步建立与完善的方式进行。

1) 过程视图

过程视图描述产品生命周期过程中包含的活动及这些活动之间的连接关系,执行活动的参与者,执行活动时要激活的应用以及与其它视图之间的关系。同时过程视图还要体现产品生命周期各阶段的目的、范围、深度和各阶段过程视图间的映射规则。过程视图是集成化产品生命周期模型的核心。产品生命周期中的各种人员和资源都是围绕产品过程来组织的,活动的输入/输出构成产品生命周期的主要信息内容,过程的最终执行结果是产品。

2) 产品视图

产品视图的主要目的是描述产品的结构信息和产品相关文档,它由产品结构树模型和产品文档组成,是产品信息的综合体现。产品结构对应于产品物料清单(BoM),它清晰地表示出产品的结构构成和层次关系。产品视图是集成化产品生命周期模型的基础。产品生命周期过程模型和组织、资源和数据模型都会受到所开发产品的约束。

3) 组织视图

描述参与产品生命周期活动的人员和组织情况,包括团队(Team)、角色(Role)及人员(Person)的组织结构和权限等信息。具体包括:组织对象实体及其属性;企业组织实体间的结构隶属关系和企业人事的组织结构;组织实体与过程视图中实体之间的管理企业事务和执行企业任务的职责与权限关系;组织实体与资源视图中实体之间的管理和责任关系等。组织视图的目的是从人和技术的角度来定义产品生命周期的组织模型,并清晰定义人、技术和过程之间的关系。

4) 资源视图

资源视图描述产品整个开发过程中涉及的计算机软硬件资源、加工设备、物料等资源的产生、使用情况。具体包括:资源实体及其属性;资源的分类和配置结构;资源实体之间的分类层次关系;资源实体与过程视图实体之间的在产品生命周期过程中的支持关系;组织实体与资源视图中实体之间的管理和责任关系等。

5) 数据视图

数据视图从信息关系的角度对产品生命周期中各系统的数据结构特征进行细致的描述。数据模型分为逻辑级和物理级两个层次,逻辑级的数据视图定义产品数据对象之间的关系,确定产品信息的逻辑模型;物理级信息视图对应于数据库物理设计的部分,是在对逻辑级的数据视图进行细化和实例化的基础上建立的,直接映射为物理数据库的建设。

6) 视图间的集成策略

集成化产品生命周期模型包括五个视图,它们从不同的侧面描述了产品生命周期的一方面特性。集成化产品生命周期模型并不是这五个视图的简单叠加,而是这些视图的在一定规则和约束条件下的有机耦合。

在集成化产品生命周期建模中,采用以产品视图模型为基础,过程视图模型为核心,其它视图(组织视图、资源视图、数据视图)模型为辅助的方法来实现集成化建模。不同的视图模型之间构成关联和引用的关系。不同视图模型的创建采用逐步建立和完善的方式进行,并通过过程视图作为关键的控制了维护模型之间的一致性问题。图2给出了视图模型之间的集成与关联关系。

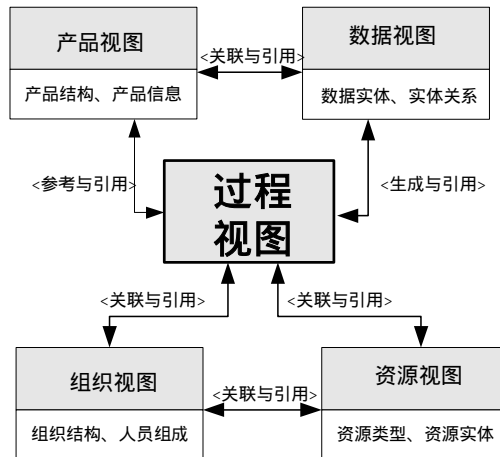


图2 多视图模型间的集成关系

Fig. 2 The association between different view models

从图2可以看出,在集成化产品生命周期建模中,各视图模型存在如下关系:

- 产品模型是其它模型的基础,产品对象的性质、需求以及产品结构树的信息是其它几个视图的建模依据。过程视图和数据视图需要参考和引用产品模型中的数据。
- 过程模型引用组织、资源和产品模型中的数据。过程模型定义活动使用的资源,使用的物料,输出的半成品或产品,活动的执行者等信息;

- 组织和资源模型间相互引用,某种资源是属于一定的组织的,资源和组织有这种隶属关系;
- 数据模型根据过程模型的数据表单生成数据模型的数据库表。过程模型也可引用数据模型中的数据作为活动的输入和输出。

2.3.3 应用领域维

应用领域维针对产品生命周期具体应用,根据应用的实际信息需求,为各应用领域提供专用信息,并以合适的形式组织^[12, 13]。根据产品生命周期中应用领域的分布情况,产品生命周期应用领域可以包含:

- 设计领域:对产品的功能、结构、形状、材料和精度等各种参数进行设计和分析;
- 工艺领域:生成和制定产品工艺阶段的信息,包括工艺路线、工艺方法、工装计划等;
- 制造领域:负责产品的生产和制造阶段;
- 维护领域:负责产品的使用、售后服务、维修等方面的工作
- 质量领域:根据产品质量评价指标及其权值大小、评价方法以及产品质量的优劣等进行产品质量的控制;
- 市场领域:进行产品的推广、销售和客户关系管理等工作。

4、产品生命周期对象模型

产品生命周期模型的目的是为产品生命周期中的不同阶段、不同应用提供一个全局的、统一的产品信息模型,支持并行协同的产品设计与开发。前面我们所提出的产品生命周期模型的体系结构和建模方法只是在方法论层次上给产品生命周期管理提供支持。而产品生命周期模型的具体软件实现和使用,还必须借助于相应的计算机和软件技术。

近年来,面向对象技术在信息系统开发方面的应用越来越普遍。它以对象观点来分析现实世界中的问题。通过对象的封装、继承、聚合、层次化等操作,面向对象技术可以清晰的对复杂现实对象和对象间的关系进行分析和描述。同时,面向对象技术有强大的实现技术支持,目前许多的开发软件和应用工具都支持面向对象技术的分析和编程模式。因此,采用对象技术作为产品生命周期模型分析和实现的重要手段,将会使模型具有很强的抽象、概括等表达能力,同时也使产品生命周期模型的统一表示和实现成为可能。通过对象技术,可以在软件实现层次上建立一个统一的产品生命周期对象模型,为产品生命周期所有活动提供一致的数据映射空间和访问方式,不再需要用户在不同的应用中重新输入、转换、编译数据,避免了数据的重复,保证了数据的一致性。这是实现产品生命周期管理的基础。

根据产品生命周期模型的特点,我们对产品生命周期中的信息进行抽象和归纳,定义了产品、过程、组织、资源和数据五个基本的产品生命周期对象类,按照科德的面向对象系统分析和设计方法论^[14],产品生命周期模型与各对象类之间为整体-部分关系(图3)。过程对象与组织、资源和数据对象之间存在多对多的联结关系。可以用置于连线上方的变量(或常量)来表示对应关系(图4-6类同)。如在图3中,一个过程需要在多个组织、资源和数据对象的支持下才能执行,而组织、资源和数据也可以同时支持多个过程的执行。我们可以分别用 n 、 m 来表示这种关系。同样,过程对象与产品对象之间存在多对一关系,表示过程的目的是设计和制造某一产品,而一个产品的设计制造可能包含多个过程。我们可以用 m 和常量 1 来表示过程对象和产品对象之间的关系。

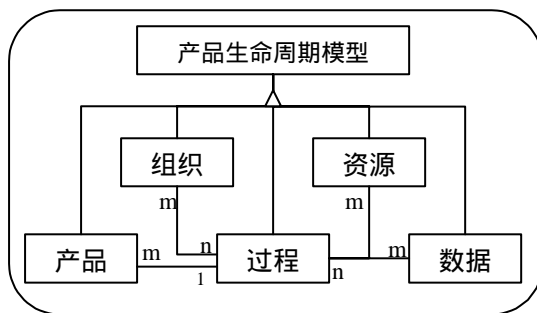


图 3 产品生命周期对象模型
Fig.3 Product lifecycle object model

由于过程对象类是产品生命周期对象模型的核心，我们需要对过程对象类的组成以及过程对象类与其它对象类之间的联结关系进行详细的分析。首先，过程对象类定义产品生命周期过程的基本结构和属性。过程由多个活动组成按照一定的逻辑关系连接而成，可以看作一个有向图，其中结点代表活动，而弧代表活动之间的顺序关系。因此，过程对象类可以包含活动和弧两个子类。活动又可分为原子活动、子过程、逻辑结点三种类型。其中原子活动对应由人员或程序所执行的任务；子过程用来建立可递解分解的过程模型；逻辑结点用来表示活动之间的与、或等逻辑关系。活动是过程模型的基本组成元素，也是连接过程对象与其它对象的桥梁。活动是围绕产品进行的，需要分派角色来执行，活动的执行也需要相应的资源支持，活动需要使用过程的相关数据，而这些产品、角色、资源和过程相关数据信息都来自于其它几个视图。过程定义与活动、过程相关数据之间是一对多的关系，即一个过程定义由多个活动与多个过程相关数据组成。活动、角色、过程相关数据、弧之间都是多对多的对应关系。如一个活动可以引用多个角色、使用多个过程相关数据，同样一个角色可以被多个活动引用，一个过程相关数据可以被多个活动使用。过程对象类的对象模型见图 4 所示。

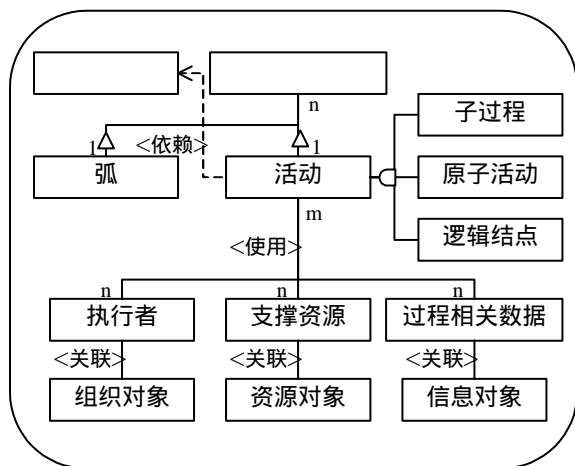


图 4 过程对象类的对象模型
Fig. 4 The object model of process class

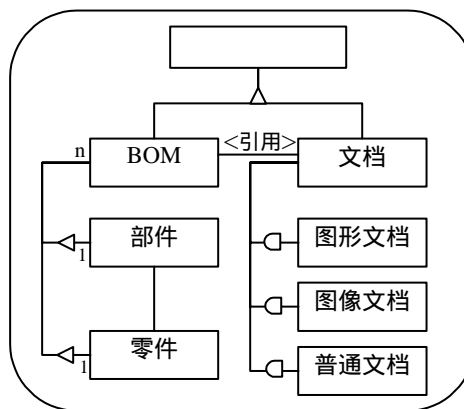
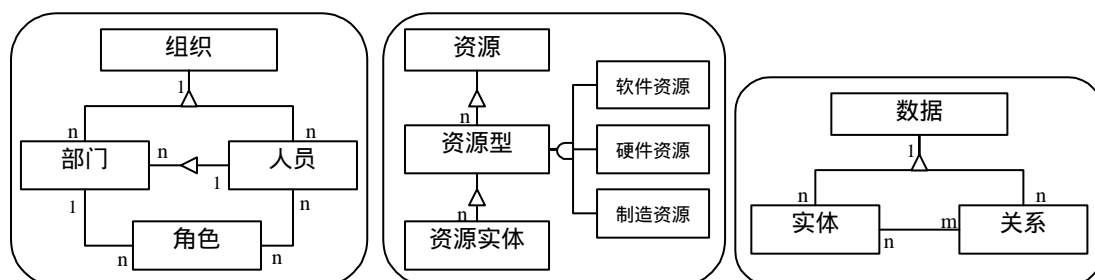


图 5 产品对象类的对象模型
Fig. 5 The object model of product class

对于产品以及组织、资源和数据对象，其对象模型可分别表示为图 5 和图 6。其中，产品对象类由 BOM 对象类和文档对象类组成，BOM 对象是产品对象的组织核心，围绕 BOM 把产品所有信息，包括设计、制造、装配、检测等信息集成起来。在产品对象里，产品信息以文档对象类表达，文档对象类可具体表现为图形文档类、图像文档类和普通文档类；组织

对象类由部门和人员两种对象类组成，用来描述产品生命周期开发团队的构成。部门与人员对象都与角色对象关联，表示部门的岗位配备情况以及什么人负责该岗位；资源对象由资源型和资源实体组成。用来表达产品生命周期资源配备情况。资源型用来表示资源的类型，包括软件资源、硬件资源和制造资源等类型。资源实体代表具体的企业资源；数据对象类



描述产品生命周期中的数据结构特征以及数据间的关系。它由实体和关系对象类组成，采用标准实体/关系（ER）图来表示。

图 6 组织、资源和数据对象类的对象模型

Fig. 6 The object model of organization, resource and data class

利用产品生命周期的产品、过程、组织、资源和数据对象，可以有效地、直观地表达产品生命周期中各种相关信息以及这些信息之间的关系，并以过程对象为核心，最终构建一个集成的产品生命周期对象模型，从而为产品生命周期信息建立了一个统一、一致的模型表达。然而，仅仅只有一个产品生命周期信息的统一表达是不够的。我们还必须在产品生命周期对象模型的基础上建立一个对象模型管理系统，一方面为产品生命周期用户和应用提供一个访问和操作该对象模型的接口，一方面负责产品生命周期过程中对象以及对象关系的创建、持久化、释放以及配置等服务^[15]。

在产品生命周期对象模型的基础上，我们开发了一个产品生命周期对象管理系统（PLOMS）。该系统由对象服务总线、产品生命周期对象建模器、对象容器和产品生命周期对象数据库组成（图 7）。产品生命应用可以通过代理或直接封装成为符合对象规范的对象应用插入到对象服务总线上。一个产品生命周期的对象建模器按照产品生命周期中产品、过程、组织、资源和数据等信息的关系建立起产品生命周期对象模型，通过对象容器所提供的各种对象服务（包括对象的创建、删除、关系建立以及对象间通讯等），产品生命周期中的各种人员和应用可以实现对产品生命周期对象模型的访问和操作。

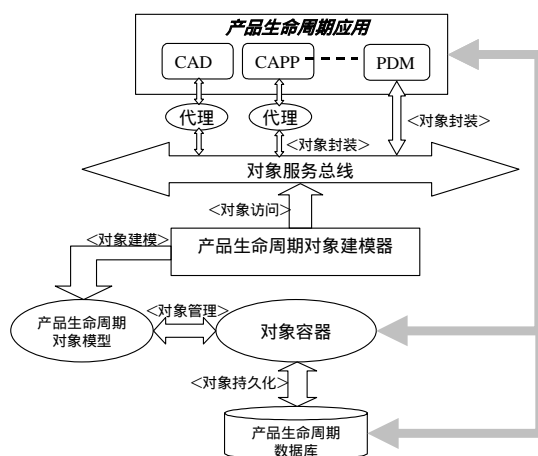


图 7 产品生命周期对象模型管理框架

Fig. 7 The structure of product lifecycle object management system

PLOMS 实际上是提供了一个产品生命周期对象资源的管理平台, 实现产品生命周期对象资源的建模、管理与运行控制。PLOMS 也可以看作是一个集线器 (HUB), 当一个应用插入到 PLOMS 上时, 应用可以通过产品生命周期对象建模器提交一个全生命周期范围一致的配置定义, 其创建的数据将暴露给其他 PLOMS 上的应用。PLOMS 提供了应用间的紧密集成而非松散集成。同时, PLOMS 也可以作为一个核心的产品生命周期数据管理系统, 用来存储和管理产品生命周期中的所有数据。通过 PLMOS 提供的对象持久化服务, 逻辑上的产品生命周期对象模型可以存储为实际的物理数据库, 从而为产品生命周期的应用提供一个单一的数据源, 将产品生命周期中不同生命周期阶段的信息进行统一组织和管理, 保证产品生命周期数据的一致性, 支持产品生命周期信息的统一创建和管理。

5、结论

集成化的产品生命周期模型与面向对象的产品生命周期模型的建模与管理大大降低了产品生命周期过程中信息交换的复杂性, 实现了基于统一产品对象模型和数据库的产品生命周期信息管理。产品生命周期应用只需通过代理或编制相应的接口插入到对象总线上, 就可以实现与其它应用的交互, 并将应用所需的和所产生的数据通过对象建模器加入到集成化产品对象模型中, 实现产品生命周期信息的统一定义与管理。本文在建模方法论和实现框架上对集成化产品生命周期模型进行了探索, 提出了一些指导性的方案。但是对于对于复杂的产品生命周期信息环境, 仅有方案和框架是远远不够的, 还需要针对具体的情况做大量的方案细化和实现工作。

参考文献

- [1] CIMData Inc.. Product Lifecycle Management. CIMData Report. Michigan USA, 2002.10
- [2] 彭毅, 郝力武, 熊光楞. 并行工程产品开发过程的广义模型. 计算机集成制造系统. 1996(3): 13~16
- [3] 周长胜, 王旭海, 赵永顺, 邓家提. 产品数据管理系统中 PPOR 模型研究与实践. 北京航空航天大学学报. 2000, 26(3): 352~356
- [4] 袁清珂, 张道林, 曹岩, 刘宁. 产品主模型技术的研究. 中国机械工程. 1999, 10(1): 12~15
- [5] Veikko J., Pohjola, Paivi Rousu. Using holistic product models to describe industrial production. Resources, Conservation and Recycling. 2002(35): 31~43
- [6] Lars Hvam. A procedure for building product models. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 1999(15): 77~ 87
- [7] X.Y. Xu, Y.Y. Wang. Multi-model technology and its application in the integration of CAD/CAM/CAE. Journal of Materials Processing Technology. 2002(129): 563~567
- [8] 范玉顺, 王刚, 高展. 企业建模理论与方法学导论. 北京:清华大学出版社, 2001
- [9] 黄双喜, 范玉顺. 飞机产品生命周期管理. 航空制造技术. 2003(3)
- [10] PTC Inc. Product Lifecycle Management for Product First Manufacturing Companies. Research Report. PTC Corporate, Needham, MA USA, 2002.10
- [11] 张金隆, 雷文强, 廖俊松等. 基于 Internet 的产品全寿命周期信息模型研究. 软科学. 2002, 16(1): 5~9
- [12] 刘安清. 产品信息模型的演变. 河北工业大学学报. 2002, 31(3): 54~59
- [13] 刘雪梅, 何玉林, 王旭霞等. 全生命周期产品信息模型. 重庆大学学报(自然科学版). 2001, 25(1): 138~140
- [14] 周之英, 肖奔放, 柴洪钧. 面向对象系统分析与设计. 北京:清华大学出版社, 2000

- [15] 黄双喜, 范玉顺. 航空 CIMS 集成支撑平台设计. 航空制造技术. 2002(8): 26~28