敏捷制造数据源及其实现技术

乔立红 刘 威

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘 要：为满足产品全生命周期管理对制造数据敏捷性的需求，提出一种敏捷制造数据源的数据管理方法.分析了敏捷制造数据的应用需求，将敏捷数据源定义为一种面向产品生命周期不断变化应用需求的数据定义和管理架构，该架构包括核心对象与本体层、元数据元模型层、服务组件层以及实施层等 4 个层次，对该架构的特点进行了分析.提出了实现敏捷制造数据源的 3 个实现技术，分别是抽象元建模技术、基于规则的数据视图快速生成技术以及基于服务技术的组件重用与快速重构技术.所提出的敏捷制造数据源为支持产品生命周期内制造数据的敏捷管理、应用以及提升应用信息系统敏捷性提供了新的途径.

关 键 词：敏捷制造数据源；服务；元模型；视图生成

中图分类号：TP 311

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)02-0219-04

Architecture and accomplishment techniques of agile manufacturing data source

Qiao Lihong Liu Wei

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: To satisfy the agility requirement of manufacturing data management in product lifecycle management, an approach of agile source of manufacturing data (ASMD) for data management was proposed. Based on the analysis of the application requirement of agile manufacturing data, the ASMD was defined as architecture for manufacturing data definition and management to meet the constant change in application requirement in product lifecycle management. The architecture of ASMD was composed of four layers: core object and ontology layer, meta-data and meta-mode layer, service component layer and implementation layer. The characteristics of the architecture were discussed. Three techniques for ASMD implementation were presented, that is, abstract meta-modeling, fast data view generation based on rules and component reuse and reconfiguration based on service techniques. The ASMD provided a new way to support agile manufacturing data management and its applications in product lifecycle management. It can also be a way to promote the agility of information systems.

Key words: agile manufacturing data source; service; meta-model; view generation

目前制造企业所面临的竞争环境日新月异，制造企业需要提升对环境的适应能力.在制造数据管理方面，要求制造企业建立可适应不断变化的业务需求的应用系统，以提高制造数据的综合应用能力.为达到这一目标，波音公司在上世纪 90 年代推行了飞机构型控制与定义/制造资源管理 (DCAC/MRM, Define and Control of Airplane Configuration /Manufacturing Resource Management)计划，其中一项关键技术就是单一产品数据源(SSPD, Single Source of Product Da-

收稿日期：2008-07-20

基金项目：国家 863 计划资助项目(2006AA04Z155)；国家科技支撑计划资助项目(2006BAF01A43)；北京市教委共建项目资助

作者简介：乔立红(1961—)，女，北京人，教授，lhqiao@buaa.edu.cn.

ta),通过建立产品数据的逻辑联系,将物理上分布的产品数据形成逻辑上的统一整体,为产品数据的访问与操作提供唯一的数据源[1]. SSPD 弥补了 PDM(Product Data Manageneient)模型上的不足,也已得到了进一步研究和应用[2],但由于它并没有解决系统层面的数据应用敏捷性问题,因此,其应用受到了一定的限制.

敏捷制造的需求与发展对制造企业提出了更高的要求,敏捷的内涵不断扩展,并逐渐深入到信息系统与信息模型. 文献[3]对敏捷虚拟企业信息系统的特点进行了分析,给出了适应敏捷制造的企业信息系统体系框架. 文献[4]对敏捷信息系统的开发方法进行了研究. 文献[5]则提出了一种敏捷集成建模语言,以本体为基础来支持多代理系统之间的敏捷集成. 但是,这些研究大多从宏观的角度出发,缺乏将具体领域模型与应用信息系统的构建相结合的分析. 本文从模型底层出发,结合制造数据管理的具体需求,提出一种将数据模型设计与信息系统构建统一考虑的制造数据管理架构,即敏捷制造数据源(ASMD, Agile Source of Manufacturing Data),给出了 ASMD 的结构,并讨论了 3 个实现技术.

1 敏捷制造数据源应用需求

敏捷性是企业在不断变化、不可预测的经营环境中动态灵活地、可重构地、集成地、快速地响应市场变化的能力[6]. 敏捷性需求给企业带来了如下挑战:①企业必须及时、有效、充分地集成各类企业应用系统,以保持企业的核心竞争力. ②企业信息系统必须不断跟上市场环境的变化,即企业信息系统必须是可重用、可重构和可扩充的. ③企业信息系统必须能够跨越企业的边界与外部企业紧密协作以充分利用企业外部资源. ④企业间协作的不确定性、易变性和时效性要求企业信息系统能够动态地集成并有效管理.

制造数据管理涉及多个企业应用系统,覆盖了从产品设计、工艺设计、生产及售后等多个生命周期阶段,为了应对制造数据管理领域的上述挑战,企业需要建立一种既能提高系统敏捷性,又能满足生命周期应用需求的制造数据管理框架.

本文提出的敏捷制造数据源是一种面向产品生命周期不断变化应用需求的制造数据管理架构,其目标是以灵活的手段满足企业的制造数据管理应用需求,以统一制造数据模型为核心,融合了敏捷信息系统概念和技术,能灵活地支持生命周期内的各种应用,并快速实现系统的重构,以支持潜在应用需求.

2 ASMD 的结构与原理

本文提出的 ASMD 结构如图 1 所示. ASMD 由核心对象与概念层、元数据与元模型层、服务组件层以及实施层 4 个层次构成,分别从制造数据概念定义、模型建立、数据管理模式及面向领域的应用 4 个方面,实现具有概念一致、数据一致、组件重用以及业务可配置特点的制造数据管理,达到支持产品生命周期内制造数据敏捷应用的目标.

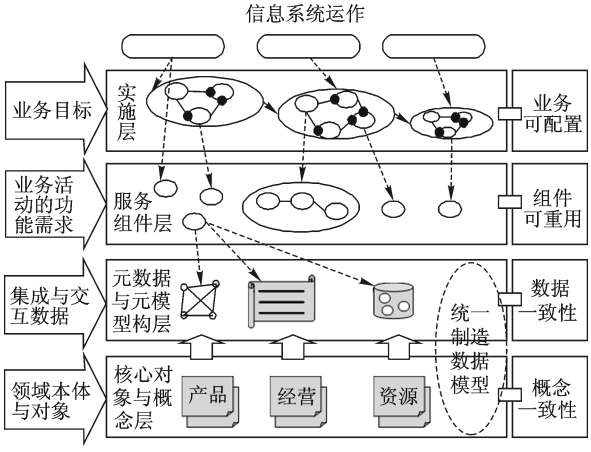

图 1 ASMD 的结构和原理示意

在核心对象与概念层中,从领域本体与对象分析入手,对全生命周期过程中涉及到的信息实体进行整理和分析. 与传统的本体建立方式不同,ASMD 本体更侧重其生命周期概念中的一致性,而非概念本身,只有建立面向所有应用的一致性概念集合,才能在统一一致的模型语义基础上构建统一数据模型与敏捷应用系统.

元数据是规范信息资源的一种有效手段,是描述信息资源或数据等对象的结构化数据,其使用目的在于识别资源、评价资源和追踪资源在使用过程中的变化,以实现信息资源的有效发现、组织、使用和有效管理. 元模型(meta model)用于定义语义模型构造和规则,通常称为定义表达模型的语言. 它描述了如何建立模型、模型之间如何集成和互操作等信息,元模型的抽象程度比模型高,通用性和一致性更好. 在元数据与元模型层,主要采用元建模技术,在本体概念集合的基础上,进行数据的抽象,从而在更高的抽象层次上获得模型特性的一致性. 由于元模型具有更强的表达能力和可扩展性,应用系统可以根据元模型来构造应用逻辑,从而处理所有符合元模型规范的模型数

据.上述两层结构同时也是构成统一制造数据模型的核心.

在模型基础上构建敏捷应用是 ASMD 的最终目标,服务组件层基于面向服务架构(SOA, Service-Oriented Architecture)进行设计,将服务看作企业业务活动实现的最小粒度单元,除了企业服务总线(ESB,Enterprise Service Bus)中提供的各种基础性服务机制之外,服务必须依赖模型来表达和传递数据.每个服务都要实现某个业务活动的功能需求,而且必须在服务中明确定义出其重用的范围与前提等约束条件,以方便服务的重用.实施层的目标是满足业务的可配置性要求,提供 ASMD 的可重构特性,在实施层中通过服务的重组、重编、重用,灵活地满足业务流程中新的需求,支持企业的信息系统运作.

ASMD 的结构具有如下特点:①以本体、元数据和元模型为核心构造统一数据模型,以保证模型概念和表达结构的一致性.②以服务为中心,服务架构体系和建模体系相互渗透,通过服务将模型与应用实现有机的融合.③将服务组件与服务组件的重用进行分离,使得模型与具体应用信息系统实现解耦.

3　实现技术

3.1　抽象元建模技术

为完整统一地表达制造数据及其逻辑,需要对产品全生命周期领域内与制造数据相关的基本元素及其关系在更高的层面上进行全面地抽象.本文提出采用独立于执行视图的抽象元建模技术.

在制造数据元建模中,使用数据对象(DO, Data Object)、对象关联(OR,Object Relation)及对象组合(OC,Object Combination)来描述制造数据的数据组成元素及其结构.使用规则对象来描述模型元素的行为和处理规则,规则对象包括数据对象规则(DOR,Data Object Rule)、对象管理规则(ORR,Object Relation Rule)以及对象组合规则(OCR,Object Combination Rule).

数据对象 DO 重点描述的是制造数据的核心继承结构,如图 2 所示.在对象的继承体系中,通过继承关系将一致的规则与行为赋予不同层次的对象,通过抽象,在更高的层次上获得更多的一致特性,使得规则和行为的实现具有更加广泛的适应性和可重用性.对象关联 OR 用于构造对象结构关系,它既可以描述对象类之间的关系,也可以描述多个对象实例之间的关系,前者给出了对象关系的合理性及具体的应用规则,后者则给出了对象关系的实际含义与应用说明.对象组合 OC 通常包括 3 种形态,列表对象组合(LOC)、树形对象组合(TOC)以及图形对象组合(GOC),分别描述数据管理中的 3 种核心数据结构.GOC 的实质是制造数据的过程化视图,在独立于执行视图的元模型中,GOC 具有基础性地位.它可以描述为一个三元组 GOC = {Node(DO), Relation(OR), OCR},其中 Node 表示 GOC 的节点,该节点通过不同类型 GOC 的封装规则封装了唯一一个 DO,Relation 表示的是 GOC 内部 Node 之间的关系,Relation = {OR, $Context_{GOC}$},OR 代表 Relation 封装的 OR 对象,$Context_{GOC}$ 则表示 OR 在 GOC 中的上下文定义信息.GOC 元模型的实体关系如图 3 所示.

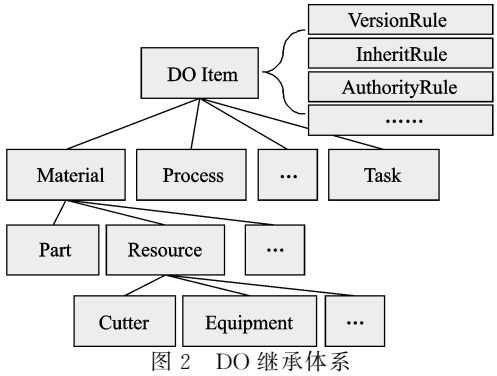

图 2　DO 继承体系

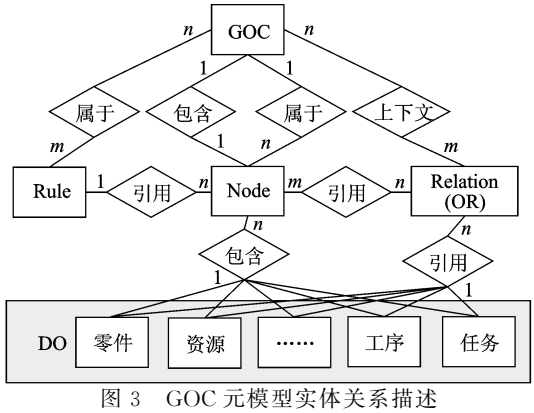

图 3　GOC 元模型实体关系描述

3.2　基于规则的数据视图快速生成技术

视图本质上是一种数据的组织形式,视图由本源数据产生,是对本源数据的呈现.基于规则的数据视图快速生成的目标就是要在元建模基础上,利用规则快速地提取所需的数据,同时,将对数据视图的操作映射到本源数据模型上,从而消除由多视图引起的各种数据不一致问题,并提高视图应用的敏捷性.

数据视图(V)的生成可以看作是一组规则作

用于过程数据源的结果，描述为 $V=f(S)$，S 代表过程数据源，V 主要由数据内容(Cont)、数据展现形式(Form)以及视图定义的操作命令(Comm)组成，即 $V=\{\text{Cont}, \text{Form}, \text{Comm}\}$，$f$ 是规则的集合. f 主要包括内容的提取与过滤规则、数据的排列显示规则以及数据的可操作性规则. Comm 是过程数据源可支持操作的子集，所有对视图的操作都通过规则传递给过程数据源，过程数据源更改之后重新应用视图规则，从而刷新视图的显示. 在此模式下，系统无需存储视图的内容，只需要存储并处理规则即可，而重构视图和新建视图则是规则的重新构建或组合操作，从而能够简化应用的复杂性，提高系统的敏捷性. 基于规则的数据视图生成过程如图 4 所示. 图中，虚线框代表规则，实线框代表数据.

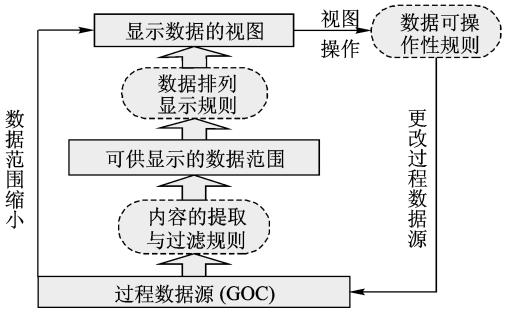

图 4 基于规则的数据视图生成过程

3.3 基于服务技术的组件重用与快速重构技术

不断发展的信息技术是推动敏捷信息系统发展的重要力量，特别是在企业级应用领域，服务及以服务为核心的 SOA 逐渐成为敏捷应用系统的核心支撑技术. 在 ASMD 中，服务技术是重要使能技术，拥有足够可重用的服务组件是 ASMD 敏捷性的主要来源和保证.

面向服务架构将企业的服务组件分为基本服务、中介服务、以流程为中心的服务以及公共服务等 4 种类型，针对不同类型的服务，采取不同的重用和重构技术，将模型与基本服务、流程服务进行前期绑定，通过设置模型配置参数，并在服务实现中预留相关的机制，使得服务的重构简化为模型的重构，对于中介服务和公共服务，将一些对全局有重大影响的模块或处理逻辑单独提取出来，通过封装屏蔽其更改可能对周围环境造成的影响.

组件重用与重构的重要手段是依赖全局运行环境，将服务的基础性功能，例如消息、通讯、日志、负载等进行统一的实现，通过采用企业服务总线 ESB 技术可以实现这一目标. ESB 提供了粗粒度的 XML(eXtensible Markup Language)通信协议，将 SOA 的所有参与者相互连接在一起，并提供连接性、技术一致性、通信异质性和技术服务等功能. 基于 ESB 的服务运行环境减小了服务重用和重构的难度，是组件可重用和业务可配置的关键.

4 结束语

ASMD 的基本思想是通过运用本体、元建模、服务等不同层面的思想、技术和工具构建一个满足产品全生命周期对制造数据应用需求的综合数据管理环境. 在该环境中，应用系统具有高度的敏捷性，同时，数据模型也能灵活地支持应用系统的不断升级. 基于 AMSD 的敏捷制造数据管理系统仍在研究与开发中，主要工作包括建立基于元模型的统一制造信息模型，构建服务架构的制造数据管理系统等，通过不断深化对 ASMD 理念和内涵的挖掘，完善其实现技术与系统.

参考文献 (References)

[1] 蒋辉，范玉青. 基于单一产品数据源的 BOM 管理 [J]. 北京航空航天大学学报，2003，29(5)：447－450
Jiang Hui, Fan Yuqin. BOM management base on single source of product data [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003, 29(5): 447－450(in Chinese)

[2] 魏志强，王先逵，吴丹，等. 基于单一数据源的产品 BOM 多视图映射技术[J]. 清华大学学报(自然科学版)，2002，42(6)：802－805
Wei Zhiqiang, Wang Xiankui, Wu Dan, et al. BOM multi-view mapping of product based on a single data source[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2002, 42(6): 802－805(in Chinese)

[3] Pankaj. An analysis and exploration of the construct of information systems agility [D]. Illinois: Department of Management, Southern Illinois University, 2005: 21－52

[4] Aydin M N, Harmsen F, Van S K, et al. On the adaptation of an agile information systems development method[J]. Journal of Database Management, 2005, 16(4): 24－40

[5] Zhang H, Kishore R, Sharman R, et al. Agile integration modeling language (AIML): a conceptual modeling grammar for agile integrative business information systems [J]. Decision Support Systems, 2007, 44(1): 266－284

[6] 赵捧未. 基于敏捷制造模式的制造信息系统的研究 [D]. 西安：西安电子科技大学机械制造及自动化系，2004：23－24
Zhao Pengwei. Research on manufacturing information system base on agile manufacturing mode [D]. Xi'an: School of Mechanical Manufacturing and Automation, Xidian University, 2004: 23－24(in Chinese)