

# 服务化多工艺设计研究

## Research on Service-Oriented Multiple Process Planning

北京航空航天大学工业与制造系统工程系 程亮 乔立红 张毅柱

**[摘要]** 提出了服务化的多工艺设计方法。建立了基于过程规范语言的完整多工艺信息模型,提供统一的工艺数据访问服务和工艺业务服务调用。最后,给出了服务化多工艺设计平台体系结构,采用开源的面向服务架构技术进行了系统实现。

**关键词:** 多工艺路线 工艺设计 过程规范语言 面向服务架构技术

**[ABSTRACT]** Proposed a service-oriented multiple process planning method. Based on the method, a complete multiple process planning information model is built with process specification language to provide consistent process data access service and service consuming. Finally, based on the proposed software architecture, a service oriented multiple process planning platform is implemented by using service-oriented architecture open source.

**Keywords:** Multiple process routing Process planning Process specification language SOA

工艺设计作为企业产品开发过程中重要的一环,是企业制造信息的中枢。一方面,工艺设计者接收到零部件设计信息后,根据生产纲领、企业资源、工艺规范及产品详细特征等信息,制定零件制造工艺的方案路线及完整的工艺规程;另一方面,工艺设计结果作为任务指令指导车间作业调度与生产加工。在进行车间作业调度时,要达到优化生产和作业控制、提高调度系统柔性的目的,刚性的工艺规程已无法满足生产调度的需求;另外,在企业实施与应用各信息化系统的过程中,工艺信息以分散管理、多点集成的方式在各应用系统间被管理,工艺数据在异构系统间以不同的数据结构、存储及调用方式同时存在。由于企业工艺业务本质上的一致性、整体化的要求,异质的工艺数据需要在各异构系统间进行数据传递、共享与互操作。因此,传统的计算机辅助工艺规划(CAPP)系统在系统开放性、扩展性、集成性等方面均无法满足企业日益复杂的应用环境和多变的业务规则需求。

面向服务架构技术(Service-Oriented Architecture, SOA)将企业现有的应用和资源转变为可共享的标准服务,提高了企业基础结构的灵活性和可重用性,而服务技术也逐渐成为企业信息化建设的一个重要方向<sup>[1]</sup>。目前,服务技术与具体领域结合的研究还比较少,尤其缺乏在多工艺设计领域的结合研究<sup>[2]</sup>。本研究首先分析了制造企业中工艺数据管理现状及对多工艺的需求,制定了服务化的多工艺信息模型,重点阐述了多工艺路线表达、统一工艺数据访问服务、多工艺设计服务平台等方面。最后,通过实例验证了作者开发的服务化的多工艺设计原型系统。

### 1 服务化的多工艺信息模型

#### 1.1 模型范围与建模方法

产品、工艺过程、工厂、资源是工艺设计业务过程中的4个重要组成要素,分别用于定义制造什么、怎么制造、在哪里制造以及用什么制造。其中,工艺过程信息是核心,是工艺数据的组织及维护者。工艺信息模型主要由上述4方面组成,各方面内容如表1所示。

由于工艺信息涉及的范围广、关系复杂,为了准确无歧义地描述工艺信息,将采用本体的思想进行建模。本体是关于可共享概念化的一组协议集,是对领域对

表1 工艺信息模型内容

工艺信息	内容及范围
工艺过程	包括对过程本身、过程活动(子工艺、子业务流程、工序、工步)、活动间的关系以及与活动相关对象间的关系的描述
产品	包括产品BOM及BOM的多视图描述、零组件引用与实例信息、零组件设计与生产制造信息
工厂	包括对静态组织结构,动态的工作组、人员、角色、人员与工作组以及人员与角色间的关系的描述
资源	包括工装、设备、物料信息。主要是对资源的分类信息、基本管理信息、资源能力信息、使用状态信息的描述

象、属性、关系以及行为等各种概念信息的规范表达,能够在多个领域间以通用的术语进行信息表达,以便实现不同领域之间的概念转换以及系统之间的互操作与集成<sup>[3]</sup>。同时,过程规范语言(Process Specification Language, PSL)是基于本体的过程描述语言,其目的是通过一套无歧义的过程描述词汇来实现对过程信息的统一描述,具有强大的过程描述能力,是复杂工艺过程信息描述的理想语言。本研究中工艺信息建模将采用本体表达→本体建模→逻辑建模→物理建模的方法和过程,如图1所示。

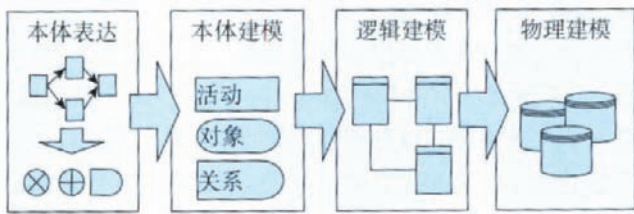


图1 工艺信息建模方法和过程  
Fig.1 Method and procedure of process information modeling

(1) 本体表达:为准确描述工艺信息,对界定范围内的工艺信息进行本体识别和定义,参考相关手册,定义工艺过程、产品、工厂以及资源4方面的语义群本体。

(2) 本体建模:采用PSL丰富的过程语义集对工艺过程中已定义的复杂本体信息进行建模,使定义的语义群本体尤其是工艺过程语义本体能够利用PSL完整地表达,采用统一的过程描述方法对整个工艺过程信息进行建模。

(3) 逻辑建模:识别出PSL工艺过程模型中各个对象以及对象间的关系,采用面向对象的思想,丰富并完善实体属性信息和实体间关系,将PSL过程模型转换成实体关系模型。

(4) 物理建模:在逻辑工艺信息模型的基础上进行必要的抽象,并定义实体属性数据类型与范围,形成可以与各种关系数据库映射的物理模型。

### 1.2 多工艺路线表达

零件工艺路线设计就是在一定的约束条件和有限制造资源下,为获得需要的生产目标而确定出有序工艺活动集合的过程。这一过程中由于存在单特征多加工方法可选、单加工方法多资源可获得以及多特征、多工序活动加工顺序可调等多种工艺设计可能性,使得满足生产目标要求的零件工艺路线通常是一个单向、多分支的有序活动网络,即多工艺路线,而不是线性顺序活动集合。同时,工艺活动作为一项有意义的加工活动,需

要1个或多个输入物料对象,可合并或拆分成中间物料对象。为完整表达多工艺对象,需从过程及过程内部2个层面开展,包括过程层面的工艺关联关系描述和过程内部的工艺过程对象信息、工序物料关系以及工序与资源关系描述。

(1) 工艺过程对象:指工艺过程涉及到的工序活动、输入输出物料、制造资源以及组织4类对象,是工艺过程的主要参与者。

(2) 工艺关联关系:指工艺过程中工序活动间的关系,包括工序间“顺序”关系、“与”关系及“或”关系。“顺序”关系表示工序活动依次顺序执行;“与”关系表示工序活动间的加工顺序无关;“或”关系表示由于加工方法可选而形成的多个工序活动间的可替换关系。

(3) 工序物料关系:指工序活动中输入输出物料的对对应关系,包括合并输入输出物料、分解输入输出物料、同步输入输出物料关系。

(4) 工序资源关系:指工序活动与资源使用关系,包括资源使用关系以及资源替换关系。

本研究采用PSL描述复杂的多工艺过程信息。PSL从过程信息中抽象出4类主要的核心实体:活动、活动发生、对象和时间点,结合工艺过程4类基本对象,将工艺过程中的工序活动映射为PSL中的活动,将物料、资源、组织映射为PSL中定义的对象,并严格按照知识交换格式(Knowledge Interchange Format, KIF)语法对PSL扩展中已定义的过程关系本体进行定义。为完整表达复杂的多工艺过程,对本体进行了进一步扩展(见表2)。作者的前期工作已给出表2中各本体的具体定义及适用性证明<sup>[4]</sup>。

采用PSL对多工艺过程建模后,进行过程抽象以及过程本体与对象实体的识别与映射,将工序活动关系本体中的“ex-and-split”和“ex-xor-split”映射为“AND”和“OR”工序活动实体,分别表示多个工序活动、活动链间的加工顺序可调和加工活动可选,“AND”和“OR”可以相互以及自嵌套;而将“material\_comb”、“material\_split”、“material\_sync”3个工序与物料的关系本体抽象成工序活动的输入输出物料关系表,记录工序活动的每个输入物料与该物料对应的输出物料间的对应关系。经过上述抽象与映射后,模型可以描述复杂的多工艺过程信息和过程内部信息。采用上述描述方法描述的多工艺路线和物料输入输出关系表如图2所示。

工序2与工序3组成的工序活动链、工序4或工序5以及工序6之间无特定执行顺序,其中工序2、3顺序执行,而工序4和5表示这两个工序活动都能完成相同

表 2 多工艺过程关系扩展本体

关系	参数	描述
exfollows	工序 1, 工序 2	定义两个工序活动之间的顺序关联, 工序 2 的发生必然晚于工序 1
ex-and-split	工序 0, 工序 1, ..., 工序 n	工序 1, ..., 工序 n 均为工序 0 的子活动, 它们之间没有顺序上的约束, 即活动间是顺序无关的
ex-xor-split	工序 0, 工序 1, ..., 工序 n	工序 1, ..., 工序 n 都是工序 0 的子活动, 在执行过程中只执行其中 1 个子活动
material_comb	工序, 物料 1, ..., 物料 n	物料与工序是合成输入与合成输出的关系, 即物料 1 是物料 2, ..., 物料 n 合成后的输出物料结果
material_split	工序, 物料 1, ..., 物料 n	物料与工序是分解输入与合成输出的关系, 即物料 1 分解后形成的输出物料为物料 2, ..., 物料 n
material_sync	工序, 物料 1, ..., 物料 n	物料与工序是同步输入与合成输出的关系, 即物料 1, ..., 物料 n 既是输入物料也是输出物料

加工需求, 只需从中选择一项即可。每个工序活动可以与 1 个输入输出关系表关联, 用以表达工序与物料的关系。图 2 中  $R_1$  表示 1 个输入物料 A 分解成 2 个输出物料 B 和 1 个输出物料 C, 一般表示拆分工序的物料关系;  $R_2$  表示各 1 个输入物料 D 和 E, 装配成 1 个输出物料 F, 一般表示装配工序的物料关系;  $R_3$  表示输入物料 G 和 H 同步组合加工, 加工完成后, 没有生成新的物料, 输入物料 G、H 分别对应加工后的输出物料 G、H。

### 1.3 统一工艺数据访问服务

服务数据对象(Service Data Objects, SDO) 是 SOA 中数据应用程序的开发规范, 它定义了统一的方法来访问和操作异构数据源的数据。SDO 的核心是数据对象和数据图。数据对象是业务对象的一般表达, 利用属性保存数据, 既是简单的基本类型, 也是复杂的数据类型(如 C 结构体、对象类、关系表等), 并且不和特殊的持久化存储机制绑定<sup>[5]</sup>; 数据图是一组可以从数据源中分离出来的树形结构的数据对象, 是一系列相关数据对象的集合, 且维护整个数据的更改概要。所有的数据图都有一个单根数据对象, 用户可以纵览整个数据图以访问数据对象, 获取和设置数据对象域以及数据的更改概要。

通过 SDO 可以用统一的抽象模型来创建、检索、更新和删除业务数据, 对于不同来源的数据, 数据使用者

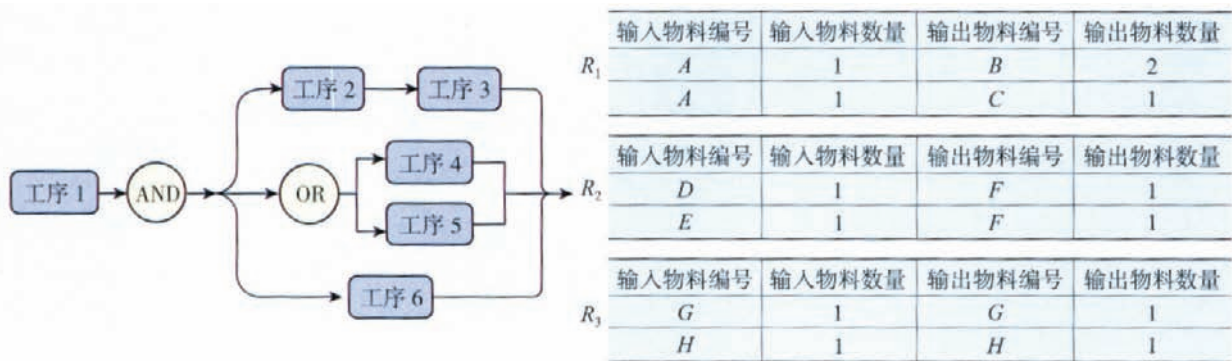


图 2 多工艺路线和物料输入输出关系表

Fig.2 Multiple process routing and relationship table of material input and output

始终面对的是统一格式和操作方式的 SDO, 而不是特定数据源的数据形式。本研究在建立工艺物理数据模型后, 将模型映射到具体的数据库, 以 SDO 的形式对数据进行封装, 而数据表以及表之间的关系构成 SDO 的数据对象和数据图。图 3 为工艺服务数据对象的数据图, 其中, 数据项是图的根数据对象, 记录其他数据对象的公共信息(如版本、权限、创建者等)。通过根对象可以导航到其余的数据对象, 如工序、工艺、工步和物料等。

在以 SDO 方式对数据格式进行封装的基础上, 采

用关系数据库数据访问服务(Relationship Data Base Data Access Service, RDB DAS) 对数据的访问方式进行封装; 根据工艺业务需求, 提供不同粒度的数据访问服务, 包括属性级、对象级和视图级的访问服务。属性级和对象级访问服务提供对对象以及对象属性的操作, 而视图级服务则提供对整个工艺过程及产品结构的创建、更新和删除等服务。不同级别的数据访问服务的输入与输出均为 SDO 的数据图, 用户可以使用 SDO 提供的统一 API 对数据进行操作。数据访问服务在提供业务数据处

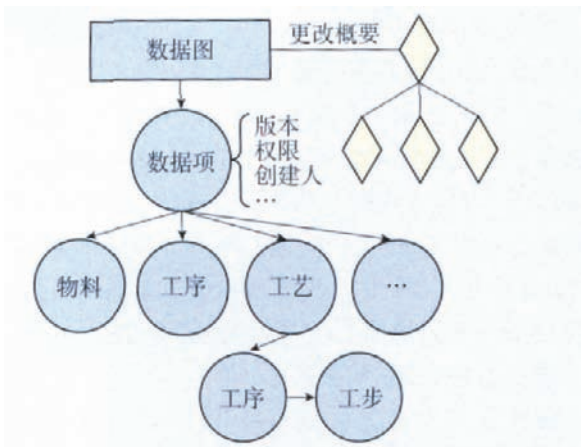


图3 工艺服务数据对象数据图

Fig.3 Data graph of process service data object

理的同时,还提供对数据源的管理服务,如数据库的连接、事务管理等。对数据源尤其是关系数据源的管理服务,一些数据访问服务产品已经成熟地实现,因此,只需关注业务需求即可。图4为工艺数据访问服务示意图。工艺数据访问服务对外提供服务接口,其数据访问客户端和工艺数据访问服务间以规范的SDO单元通信。

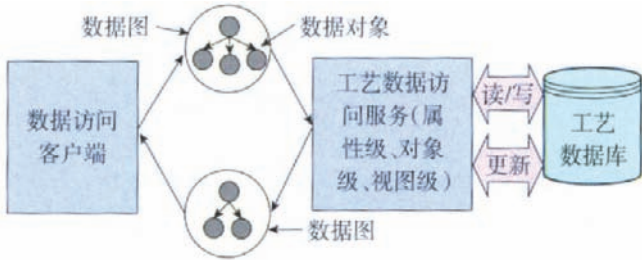


图4 统一工艺数据访问

Fig.4 Unified process data access

## 2 服务化的多工艺设计平台

### 2.1 平台体系结构

采用的面向服务架构技术的多工艺设计平台体系结构如图5所示,包括数据源层、数据访问服务层、组件及服务装配层、流程层以及业务层。整个体系采用面向服务的思想,以工艺业务为核心,各层之间的通信通过与业务相关的服务接口实现。建立的工艺信息模型构成了系统的数据源层,针对工艺数据访问业务需求,通过RDB DAS形成面向数据访问的不同粒度的工艺数据访问服务,可对外提供一致的数据访问接口以及规范的SDO数据,屏蔽底层数据源访问的技术细节,形成数据服务层。组件及服务装配层面向多工艺设计业务,开

发相应的业务组件,并对新开发和已有的组件进行封装和编排,形成工艺服务群,并提供安全、可靠性消息和事务管理等服务。流程层引入流程引擎,通过流程驱动工艺业务执行,直接使用组件及服务装配层暴露的服务接口,其间的通信单元仍然是SDO。通过流程层以及服务装配层,辅以图形用户界面,可以直接形成上层应用,如资源管理和工艺过程设计、产品结构配置管理等。

采用该体系结构的多工艺设计平台各层之间的关系是松耦合关系,层与层之间通过定义良好的服务接口通信,且通信单元为符合标准的SDO,可以采用统一的数据操作方式对数据进行处理。数据源层和数据服务层可解决多工艺信息表达、存储以及一致性访问的问题,是系统的基础。组件及服务装配层将组件提升,装配成与具体实现无关的、可互操作的服务,可实现业务灵活配置。组件及服务装配层与流程层一起,成为构建流程型企业的关键。

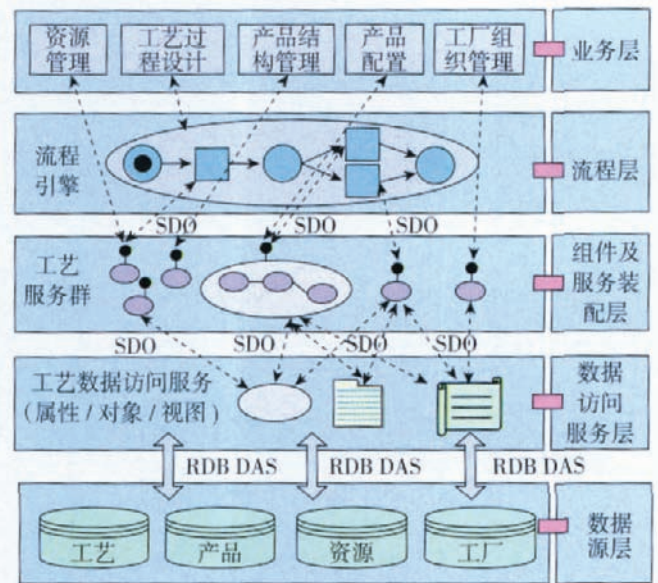


图5 服务化多工艺设计平台体系结构

Fig.5 Architecture of service-oriented multiple process planning platform

### 2.2 服务组件构建与装配

服务组件架构(Service Component Architecture, SCA)是SOA中面向服务的组件规范,其基础思想是将业务功能封装成一系列服务,并将这些服务很好地组装起来。服务组件的实现方式和对组件的连接调用可以使用各种技术。SCA强调隔离关注,将服务接口与服务绑定完全分离,即服务是业务的服务,而绑定则是服务的外在表现和通信协议,与服务本身的逻辑没有交叉。在SCA

服务装配规范中,组件是最基本的组成元素;组合构件由 1 个或多个具有内在业务联系的组件构成;域描述一个完整的运行时配置<sup>[5-6]</sup>。

根据业务需求,将工艺业务按工艺信息模型划分成 4 个领域,对应于 SCA 中的“域”概念。在各自领域开发相应的业务组件,采用 SCA 的组件装配规范,对组件进行装配连接并形成服务,绑定具体的通信协议,对外暴露服务接口。图 6 为一个基于 SCA 的服务装配图。工艺过程服务域中的工序组件通过引用,由同域中的工步组件集合以及资源服务域中的设备组件和工装组件集合装配而成,通过提升组合构件中的工序组件,与特定访问协议绑定后便成为对外可访问的服务。

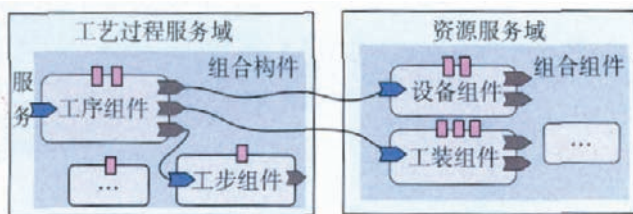


图 6 基于 SCA 的工艺服务装配

Fig.6 Assembly of process services based on service component architecture (SCA)

### 2.3 系统实现与实例验证

系统采用开源 SOA 产品 Tuscany 的 SDO Java、RDB DAS 以及 SCA Assembly Model 模块实现统一数据访问服务以及工艺服务组件的装配,采用 jBPM 工作流引擎实现对工艺流程的控制。开发的服务化多工艺设计系统具有很好的灵活性与开放性。

以齿轮轴多工艺设计业务为例,首先定义工艺设计业务流程,如图 7 所示。齿轮轴物料的基本信息(如物料编码、物料名称、设计文档和轻模型)为流程输入量;工作流引擎解释并执行业务流程。流程执行过程中,不同的工艺业务以任务的形式下发到用户,用户在执行具

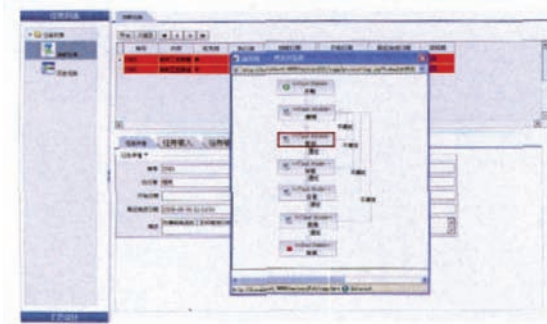


图 7 流程驱动的工艺设计

Fig.7 Process planning driven by workflow

体工艺业务时,通过图形界面调用平台提供的服务(如建立工序时,系统提供的服务有:工序创建、删除、更新服务,创建、删除、更新工步服务,物料查询服务,工序物料关联服务,工时计算服务,工艺加工知识服务,设备分类查询服务,设备能力查询服务,设备状态查询服务,工装查询服务)。流程也可以自动调用系统服务,如在工艺规程建立完成后,流程会自动调用多工艺路线验证服务,验证多工艺路线是否符合逻辑约束。齿轮轴的多工艺路线、工序物料配置以及工艺验证如图 8 所示。

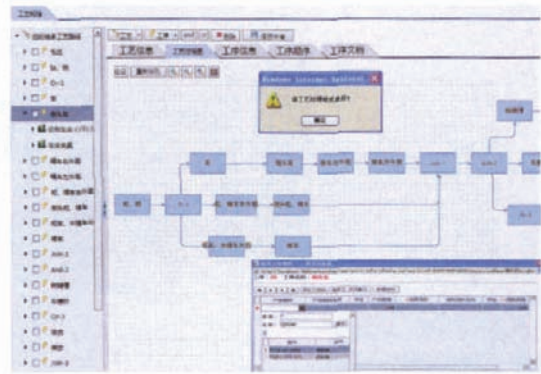


图 8 齿轮轴多工艺路线、工序物料配置及工艺验证

Fig.8 Gear shaft multiple process routing, operation-material configuration and process validation

### 3 结束语

本研究提出的工艺信息建模方法以及基于 PSL 的多工艺表示方法,能够很好地表达复杂的工艺信息。本研究采用 SDO 规范,提供一致的工艺数据访问服务,通过 SCA 对产品、工艺过程、资源以及工厂组织 4 个领域的业务组件进行组装,并以流程来驱动工艺业务过程。实践证明,采用这种方式实现的多工艺设计平台能很好地满足系统一致性、灵活性、可重用性等要求。

### 参 考 文 献

- [1] IDC. 中国企业 SOA 应用现状. 网络世界, [2007-07-09].
- [2] 宋庭新, 黄必清, 邵贝恩. 集团型企业业务集成服务平台的研究与应用. 计算机集成制造系统, 2008, 14(4): 696-703.
- [3] 高磊, 乔立红. 基于过程规范语言的复杂工艺过程模型建立方法. 航空学报, 2008(4): 1 068-1 072.
- [4] 张毅柱. 制造过程中的信息建模与集成方法研究 [D]. 北京:北京航空航天大学, 2009.
- [5] 曾志常. 基于 SCA 模型的应用集成架构研究 [D]. 广州:广东工业大学, 2007.
- [6] Chappell D. Introducing SCA. [2007-07]. www.davidchappell.com/articles/introducing\_sca.pdf. (责编 良辰)