

文章编号:1006-5911(2013)09-2123-08

集成电路装备集成化研发平台

武园浩⁺, 田 凌

(清华大学 精密仪器与机械学系, 北京 100084)

摘 要:针对集成电路装备研发中的数据集成、应用集成与知识集成问题,设计了集成电路装备集成化研发平台。该平台遵循一切皆为服务的设计原则,使用服务构建应用系统,对产品数据的访问也被封装为统一的数据访问服务供外界调用。给出了集成电路装备集成化产品组件数据视图,并融合数据空间技术完成了异构数据的形式化数据资源建模。给出了基于本体的知识项统一描述方式,在此基础上实现了基于知识推送的知识应用模式。介绍了自主开发的集成电路装备集成化研发平台,并结合 PECVD 设备中喷淋头的设计,验证了平台的有效性。

关键词:集成电路装备;集成平台;服务;数据空间;知识描述

中图分类号:TP391.7;TP29

文献标志码:A

Integrated development platform of integrated circuit equipment

WU Yuan-hao⁺, TIAN Ling

(Dept. of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To solve the problems of data integration, application integration and knowledge integration in the research process of Integrated Circuit (IC) equipment, an integrated research and development platform was proposed. Based on the principle of Everything Is Service (EIS), the application system was established and the access of product data was encapsulated as unified data for external calls. An integrated product component data view for IC equipment was presented. With the technology of data space, formal data resource modeling of heterogeneous data was realized. The method to describe heterogeneous knowledge was put forward, and knowledge application mode based on knowledge push was also implemented. The self-developed integrated platform oriented to research and development of IC equipment was introduced and its effectiveness was verified by example of the showerhead design in PECVD equipment.

Key words: integrated circuit equipment; integrated platform; service; data space; knowledge description

0 引言

集成电路(Integrated Circuit, IC)装备是指生产集成电路芯片、半导体元器件等产品的一类专用生产设备。作为一类典型的知识密集型产品,IC装备具有非常高的产品附加值,已经成为一个国家科技发展的制高点之一。大量非常复杂的科学计算与仿真工作是IC装备研发中重要的一环,如反应腔室内多物理场、等离子体、化学反应、传热等的仿真,而

这些计算工作往往由不同领域的设计人员,使用各种异构的计算仿真环境完成。构建一个集成化的研发环境,维护庞杂的工程数据,使设计者无差别地集成调用各种应用程序,并能够在设计过程中完成知识的积累,对于国内正在快速发展的IC装备产业,已经成为一项重要的研究内容与工程需求。

近年来,国内外对集成化设计平台已有不少研究。在数据管理方面,已有的产品数据管理(Product Data Managemet, PDM)产品能够对传统设计中

收稿日期:2012-08-17;修订日期:2012-12-12。Received 17 Aug. 2012; accepted 12 Dec. 2012.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175287);国家科技部重大专项资助项目(2011ZX02403)。**Foundation items:** Project supported by the National Natural Science Foundation, China (No. 51175287), and the National Science and Technology Major Project, China (No. 2011ZX02403).

的计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)数据、产品变更、配置等方面进行完善的管理,但在对大量科学计算数据的管理方面还处于发展阶段。Ansys 公司推出的工程知识管理(Engineer Knowledge Management, EKM)平台能够对 Ansys 旗下软件产生的仿真数据进行管理,Optimus 和 Isight 能够集成调用不少仿真程序,但这些商业软件在通用集成机制、架构开放性方面也有较大的局限性。学术界对集成化设计平台的研究则多偏重于多学科协同仿真,包括仿真软件的集成架构研究,如基于高层体系结构(High-Level Architecture, HLA)的集成架构^[1-2]、基于 Web 服务的集成架构^[3-5]等,以及多学科优化算法、仿真计算加速算法^[6]等特定技术问题。孙建勋等设计了一个面向飞行器的多学科集成设计平台框架^[7],并重点研究了使用基于设计结构矩阵(Design Structure Matrix, DSM)的遗传算法进行设计流程优化等方法;邓家提等构建了一个复杂工程系统的多学科设计优化环境^[8],提出了智能产品模型的概念与层次化的工程系统多学科优化方法。这些研究侧重于多学科优化技术,在统一数据模型及其实现技术、通用应用集成技术方面阐述较少,对设计过程中的知识支持研究也不足。目前大部分学者开发的原型系统还处于初步阶段。在 IC 装备领域,目前多针对装备具体的设计问题进行研究,缺少集成化设计平台的研究与实现。而在企业实践中,由于国内的 IC 企业尚处于起步发展阶段,产品设计信息化建设也刚刚开始,仍在使用低端的 PDM 产品,像 Solidworks Workgroup PDM 来实现对 CAD 文件的管理和共享。

本文首先对 IC 装备研发的特点进行分析,在此基础上设计面向集成电路装备研发的集成化设计平台系统结构,该系统基于“一切皆为服务”的原则,实现异构应用程序的通用集成,并使用服务总线对服务间的调用与协议转换进行管理。阐述了集成平台中的集成化数据管理和知识管理等两项关键技术。最后介绍了自主开发的平台原型系统,以某 PECVD 设备研发中的案例对原型系统进行了验证。

1 IC 装备研发的特点

IC 装备的研发具有特殊性,这些特点对集成平台的建设提出了特殊的需求,具体体现在:

首先,IC 装备的研发过程包括许多非常复杂的科学计算与仿真工作。这是因为 IC 装备的研发不仅包含机械结构的设计,而且包含工艺配方(指芯片加工工序中所使用的工艺条件,如反应气体、加载电磁场等条件)的设计。IC 装备机械结构设计主要是对关键参数的改进设计,从概念原理上进行设计的较少。工艺配方的设计主要来自于计算机仿真与物

理实验,而且计算与仿真工作往往非常复杂。无论是计算机仿真还是物理实验,产生的数据往往是非结构化或半结构化的数据,因此集成平台应首先能够集成不同的数据源提供的模式丰富的数据,形成一个统一的数据视图供设计人员使用。

其次,使用大量多学科异构工具是 IC 装备研发的特点,针对某具体的设计问题往往需要融合使用多种设计仿真软件,这些软件可能比较小众化,甚至是专门针对 IC 装备开发的专家软件。如果将从安装到管理的工作分发给每个设计人员,则是一项繁琐而低效的工作。因此,集成平台具有开放的架构形式,提供统一的集成机制来完成所有软件的集成,使设计者与开发人员能够透明地调用异构工具,完成设计工作或者构建专门的设计系统。

最后,IC 装备本身具有极高的知识附加值,企业在研发过程中积累了大量的设计文档、实验数据、仿真程序和分析结论等资料。这些资料对企业而言都是宝贵的知识。而到目前为止,消除设计过程的重复实验也一直是一个非常困难的问题。因此集成平台不仅应该对这些知识进行统一描述和高效管理,同时应该帮助设计人员在面临设计任务时更容易发现有用知识,提高知识的使用率,最大程度地减少重复工作。

2 面向 IC 装备研发的集成化设计平台体系结构

面向 IC 装备研发的集成化设计平台的体系结构如图 1 所示。平台分为数据层、服务层、应用层和界面层四部分。

平台的设计遵循“一切皆为服务”的指导原则,对工程数据的访问也被封装成统一的数据访问接口供外界调用。通过将数据访问服务化,实现了数据与应用层系统的分离,应用只需关心数据的逻辑视图和服务接口即可,而不必关心数据的具体物理形式与数据来源。此外,由于 Web 服务技术为跨平台异构系统之间的数据共享与互操作问题提供了一系列标准化解决方案,包括基于可扩展标记语言(eXtended Markup Language, XML)的简单对象访问协议(Simple Object Access Protocol, SOAP)以及 Web 服务描述语言(Web Service Description Language, WSDL),计算程序和仿真软件可以统一被包装为服务发布,这些服务统称为应用服务。通过服务技术屏蔽应用的实现细节,降低了使用者与应用系统开发者的难度,同时可以实现计算程序和软件的重用。平台在知识支持技术方面的程序也被包装为 Web 服务的形式发布中,这些服务统称为知识服务。知识服务独立于上述两种服务类型,需要完成知识项的统一表示、知识项标注、知识检索与推送等

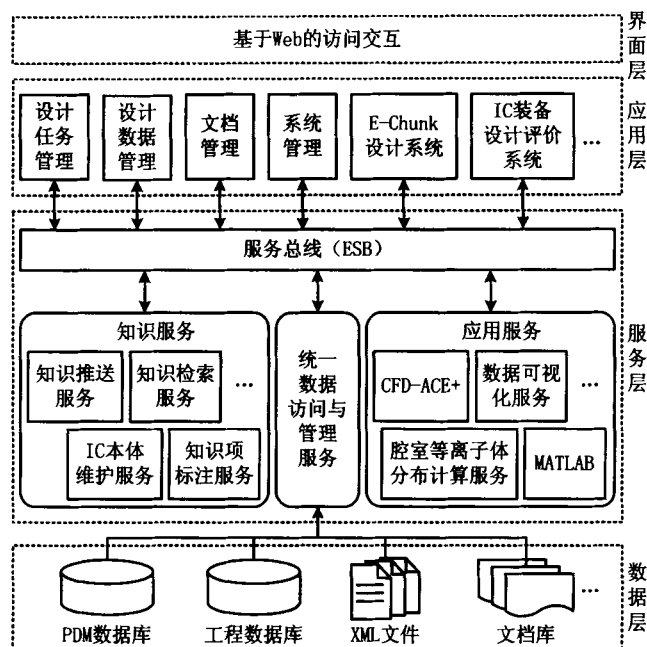


图1 IC装备多学科协同设计平台体系结构

功能,所有的知识服务通过数据访问接口服务得到所需的产品数据。

基于服务构建的系统还需要解决如何管理这些服务的问题,即服务的注册、维护、消息路由等,应用系统在调用某项服务时,可以直接定位该服务并发送消息调用该服务,但当这项服务的物理地址发生变更时,应用系统需要重新修订。为了避免应用层的修改,在以服务为中心的系统中,系统应包含一个服务池的管理者。本平台使用企业服务总线(Enterprise Service Bus, ESB)来管理所有的服务。ESB能够提供服务管理、消息路由、事件驱动等基础功能,并能够提供如协议转换、服务匹配等应用模式。平台所有的服务均挂载至服务总线上,应用系统以及各服务之间通过服务总线中间层完成数据交换与相互调用。

以上为平台的服务层,也是平台架构的核心层。此外,平台的数据层包含如PDM数据库、多学科工程数据库、文件型数据以及文档库等多种数据存储源。不同的数据源被统一数据管理与访问服务整理成为一个统一的数据逻辑视图,供外部程序访问。PDM数据库保存了产品结构与CAD模型;多学科工程数据库存储多学科设计所需要的非产品相关数据,如原子量数据、不同物质的热传导率数据等;文件型数据指半结构化文本数据,包含轻量级的数据或配置数据等;文档库存储研发中产生的所有文档。

平台应用层根据IC装备的研发需求,构建各种应用系统供用户使用。应用层包括通用管理系统与领域设计应用系统两类应用系统。前者包括设计任

务管理、设计数据管理、文档管理、系统管理等;后者则是为了解决IC装备研发中的一些关键问题而开发的应用设计系统,如多学科建模系统、静电卡盘(E-Chunk)设计系统、关键部件设计评价系统等。应用层通过服务总线对服务进行编排和调用,具有良好的开发敏捷性与动态扩展性。

平台界面层为设计者、管理人员等提供设计平台交互接口。设计人员可以通过浏览器、客户端等多种类型终端访问平台。

3 平台关键技术

3.1 融合数据空间技术的产品数据集成

3.1.1 IC装备集成化产品组件数据视图

平台需要统一维护IC装备研发过程中产生的各种工程数据,保证数据的完整性与一致性,使研发人员能够准确便捷地找到所需数据。平台使用图2左侧所示的IC装备集成化产品组件数据视图,对IC装备的研发数据进行维护。所有的研发数据关联在其相关组件之上,所有的组件具有类似的相关数据结构,包括组件的属性数据、CAD模型、技术要求、参数化主模型、仿真数据、实验数据以及物料清单(Bill of Material, BOM)数据等。在IC装备研发过程中,用于仿真的几何模型往往并不直接采用CAD模型,而是采用一种参数化的简化模型。将其提取出来称之为参数化主模型,包括参数驱动的几何模型以及智能参数文件。在进行不同学科的仿真时,可以通过对参数化驱动主模型建模来获得所需的仿真几何模型。

在上述产品组件数据视图中,与产品组件相关的研发数据来源于不同的数据源,例如产品组件的属性数据、CAD模型、BOM数据等来自于PDM数据库,参数化主模型来自于主模型建模系统,仿真数据来自于不同的仿真软件。同时,工程数据具有不同的物理形式,例如组件属性数据、BOM数据具有关系数据的形式,参数化主模型的智能参数存放在半结构化XML文件中,一些仿真数据如配置文件为XML文件,也有文本数据、Excel表格、图像、二进制文件等形式。

现有的PDM软件的基础设计理念均将数据封装为对象,通过建立对象的关联来维护与组件相关的数据。然而,对象对数据的封装粒度受到限制。例如对于一次包含化学反应的仿真案例而言,其配置文件为某种固定格式的文本文件,文本中包括该仿真案例涉及到的化学反应。如果将该配置文件封装为一个文件对象,如Teamcenter的Dataset类型,则在产品的数据视图中无法看到配置文件的内部语义。用户如果查找包含某反应方程的仿真案例时,除非对产品数据进行基于内容的全文检索,否则

在对象层面上不能找到所需内容。同时,一般的数据管理系统是根据既有的数据模式来维护各种数据对象的,对数据和关系的类型有良好的预定义,即一种模式优先的数据管理方式。然而 IC 装备研发产生的工程数据具有较强的动态性,使用现有的管理方式需要进行较多的配置与二次开发工作。文献[8]提出了一个智能产品模型,指出智能产品模型的特点是可以随着产品的生命周期不断发育,但未给出智能产品模型的具体实现技术。

因此,为了实现对数据集成、细粒度数据管理以及自适应的数据增长,本文提出使用数据空间技术

实现如图2所示的 IC 装备集成化产品组件数据视图。数据空间的概念由 Google 的学者 Halevy 等^[9-10]提出,数据空间是与主体相关的数据与关联的集合,该集合能够融合所有数据类型。装备的每一个组件在研发中产生的各种数据构成该组件的数据空间。不同的数据源通过包装器包装为统一描述的数据资源,包装器可以根据需要对不同的数据类型进行不同粒度的包装,同时,数据空间支持从“数据到模式”的构建形式,数据资源及其关系可以动态增长,以实现数据的适应性与自生长。

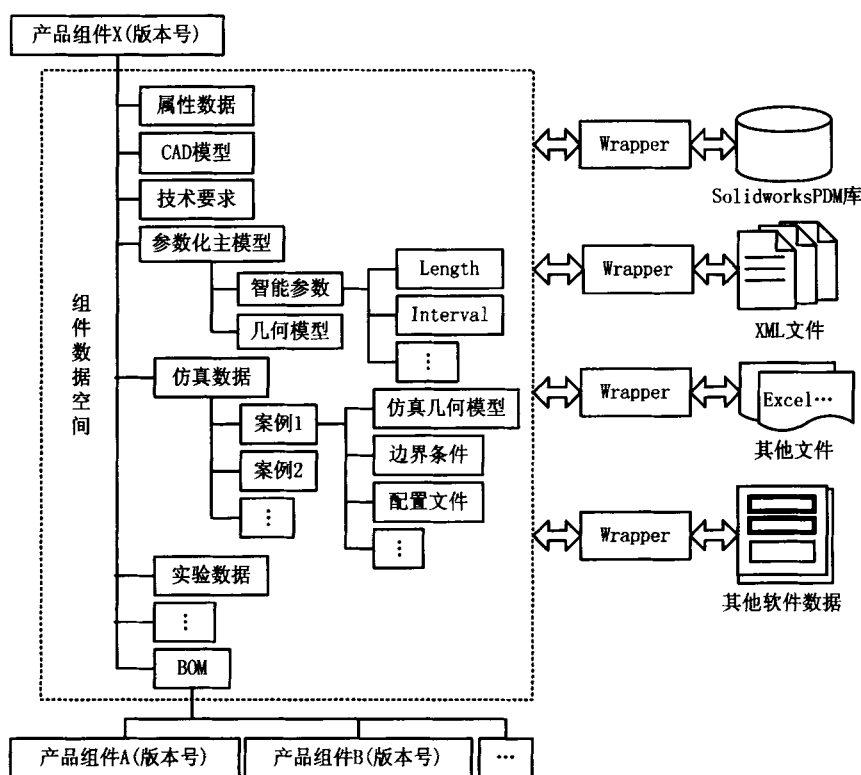


图2 IC装备集成化产品组件数据视图

3.1.2 组件数据空间中的数据资源模型

产品组件的数据空间为与该组件相关的所有数据资源的集合。研发中产生的任何一项数据,都可以被统一描述为数据资源。借鉴文献[11]提出的数据模型,构建了产品组件数据空间的数据资源模型。数据资源的定义如下:

定义1 数据资源。数据资源 DR 是一个四元组,它是对任何格式的数据的抽象,可以描述为

$$DR = \langle I, M, C, R \rangle. \quad (1)$$

式中:

I 为数据资源 DR 的标志组件, $I = \langle ID, Name \rangle$; ID 表示数据资源的唯一标志, $Name$ 表示数据资源 DR 的名称; ID 与 $Name$ 均为一个有限字符串。

M 为数据资源 DR 的元数据组件, $M = \langle Schema, Value \rangle$; $Schema$ 为元数据项的模式定义, $Value$ 表示与 $Schema$ 相同维度的元数据项取值多元组; $Schema = \langle (Att_i, Domain_i) \rangle, i = 1, \dots, m$, Att 表示元数据名称, $Domain$ 表示元数据的值域; $Value = \langle V_i \rangle, i = 1, \dots, m$, V_i 表示每项元数据的取值。

C 为数据资源 DR 的内容组件, C 为一有限字符串或一个链接。

R 为数据资源 DR 的关联组件, $R = \langle (S_k, DR_k) \rangle, k = 1, \dots, p$; S_k 表示关联语义, 为一个有限字符串, DR_k 表示其他数据资源。对于某个给定的数据资源 DR , 如果其 R 不为空, 则对于 R 中的每一项 (S_k, DR_k) , 表示 DR 通过语义 S_k 与 DR_k 关联, 记做 $DP \xrightarrow{S_k} DR_k$ 。

通过包装器,可以将不同类型的数据包装为如上形式的数据资源,数据包装的粒度由包装器控制,一般而言,对于固定结构的文本文件,数据资源的包装定义可以深入其内部语义。由于关联组件可以对任何两个数据资源进行关联定义,数据资源在数据空间中将会构成一个网状模型,与关系模型相比,网状模型可以支持更加丰富的关联语义。

图 3 所示为使用数据资源对不同类型数据进行统一描述的例子。图 3a 中,设计人员使用 Solidworks workgroup PDM 进行协同设计与管理,其产品结构数据以特定结构的文本文件(reference.pdmw)存放在 Vault 库中,如左侧所示。图右侧即为数据资源描述,这里略去 BOM 型数据资源的元数据组件的详细内容。数据资源符号 DR 的上标字母表示数据资源的类型。 DR^{comp} 表示组件型数据资源, DR^{BOM} 表示 BOM 型数据资源,其内容组件为

空,关联组件包含组成关联,客体为组件型数据资源,表示该 BOM 中包含的子部件。图 3b 的左侧为一次仿真案例示意,其内容为 E-chunk 温度分布均匀性计算,图中只显示了仿真配置相关的部分内容。图 3b 右侧即为使用数据资源对左侧的原始数据的描述,这里略去了各类型数据资源的元数据组件的详细内容。 $DR^{simcase}$ 表示仿真案例型数据资源, DR^{folder} 表示文件夹型数据资源, DR^{config} 表示配置文件型数据资源, DR^{tuple} 表示名值对型数据资源。前三者按照数据的原有组织形式在数据空间中构成树状结构,名值对型数据资源包装的是配置文件的内容,体现出数据资源对数据细粒度的描述。名值对型数据资源的核心是其元数据组件,其内容组件与关联组件为空集。配置文件对应的数据资源通过内容关联建立与该名值对数据资源的关联关系。

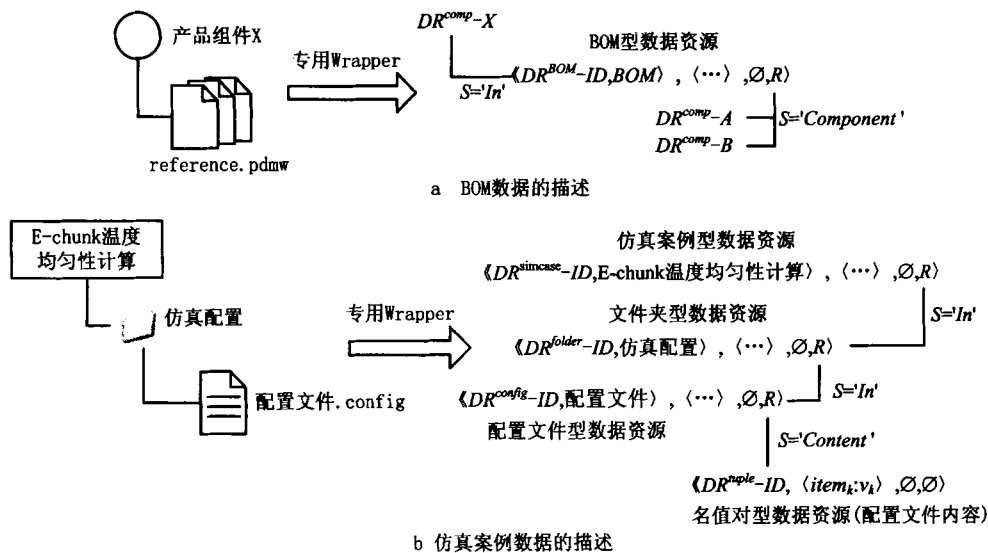


图3 数据资源对异构数据的统一描述示例

图 3 所示数据资源对异构数据的统一描述体现了数据资源类型的概念,数据资源类型通过对四元组 $\langle I, M, C, R \rangle$ 的取值约束建立。图 3 中包括的 5 种数据资源类型的取值约束如表 1 所示,表 1 还包括一般的文件类型数据资源的定义。名值对型数据资源的元数据由文件内容制定,其他类型数据资源

的元数据组件的详细内容予以省略。需要注意的是,虽然数据资源类型对数据资源进行了取值约束,但所有的数据资源仍具有统一的表达形式,包装器可以根据需要定义并产生不同类型的数据资源,共同构建成一个产品组件的数据空间。

表 1 文件夹数据资源类的定义

数据资源类型	I	M	C	R	
				S	DR
DR^{comp}	' $DR^{comp} - ID$ '	\emptyset	\emptyset	无约束	无约束
DR^{BOM}	' $DR^{BOM} - ID$ '	$\langle number \dots \rangle$	\emptyset	$\{Component\}$	$\{DR^{comp}\}$
$DR^{simcase}$	' $DR^{simcase} - ID$ '	$\langle createTime \dots \rangle$	\emptyset	$\{In\}$	$\{DR^{file}, DR^{folder} \dots\}$
DR^{folder}	' $DR^{folder} - ID$ '	$\langle createTime \dots \rangle$	\emptyset	$\{In\}$	$\{DR^{file}, DR^{folder} \dots\}$

续表 1

DR^{file}	$'DR^{file} - ID'$	$\langle createTime \cdots \rangle$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
DR^{config}	$'DR^{config} - ID'$	$\langle createTime \cdots \rangle$	\emptyset	$\{Content\}$	$\{DR^{tuple}\}$
DR^{tuple}	$'DR^{tuple} - ID'$	$\langle item_i: value_i \rangle$	\emptyset	\emptyset	\emptyset

3.2 基于知识推送的知识应用模式

3.2.1 知识分类

对知识的分类已有很多研究,如显性知识和隐性知识的分类等,本文将 IC 装备研发中工程师用到的知识按照其形式分为两类:

(1)程序型知识。程序型知识是设计人员在研发过程中开发的、针对解决某个特定问题的计算方法,并以各种类型的程序代码的形式保留下来。例如针对步进电机的选型方法、针对某特定问题的计算方法等,它们的具体表现形式为一段可执行的代码,如 M 文件、Excel 宏文件等。这些知识凝炼了设计人员大量的智力成果,当设计人员遇到相同或类似问题时,平台能够发现企业中已有的可以解决该问题的程序,并能使设计人员方便地重用该程序,具有很大的实际意义。

(2)数据型知识。数据型知识是指以各种形式数据存在的知识,包括各种设计标准、专利文件以及已有的设计案例等。数据型知识依存的文件可以具有多种格式,如表格、图形、三维模型和工程图纸等。与程序型知识相比,数据型知识虽然针对性与可重用性较弱,但知识源更加丰富,对设计人员具有很强的参考意义。

3.2.2 知识项统一描述

尽管知识在表现形式上千差万别,但作为一条知识,总是对解决设计研发中的某些问题有所帮助,每一条知识项都有其相关的对象、要完成的目标和实现手段,即知识的“know what”、“know why”以

及“know how”属性。因此本文使用如下六元组统一描述知识项:

$Knowledge\ Item = \langle ID, type, what, why, how, link \rangle.$ (2)

其中:ID 是知识项的标志码, type 是知识的类型, what, why 和 how 分别体现了该知识项的相关对象、既定目标和实现手段, link 是对知识项物理地址的链接。无论是一段程序还是一个专利文档,亦或是一个仿真案例,在经过上述六元组的描述后,都可以在知识库中建立知识条目,并供设计人员使用。

式(2)提供了知识描述的统一语法,在实际使用中还存在描述的语义异构问题,例如对于同样的知识类型,设计对象不同的设计人员可能有不同的表述方式,这不利于知识的检索与共享。引入本体可以消除语义的歧义,并有利于知识的检索与发现。本体是对一个领域中的概念的准确唯一的描述,在一些发达国家的 IC 行业中,已使用本体对 IC 装备涉及到的知识进行系统化建模,并在企业得到了广泛应用^[12]。针对式(2)对知识项的描述,本文需要建立面向 IC 装备领域的四类本体,即知识类型本体、设计对象本体、设计目标本体和设计手段本体,使用本体库的概念对知识项进行实例化。

图 4 为两个条知识项的描述示例。图中左下方为知识类型本体库的部分示意,知识类型分为两大类,分别是数据型和程序型,而每一大类又有细分。在对知识项的描述中, type 的取值应源于该本体库。图 4 包含两个知识项,分别是步进电机选型相关的程序型知识和静电卡盘传热仿真的一次仿真案

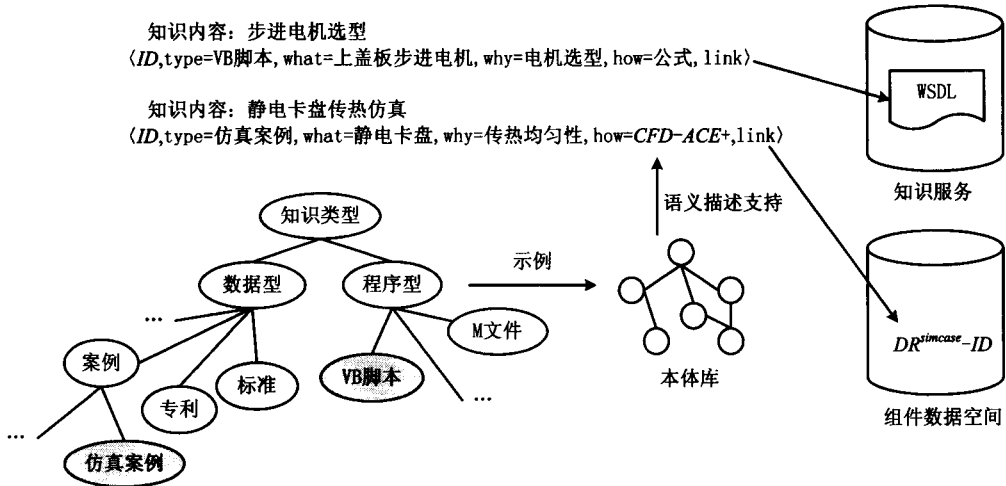


图4 IC知识项描述示例

例,它们对应的知识描述各项取值如图 4 中所示。两个知识项的 link 分别指向知识项存在的物理地址,分别是一项 Web 服务与组件数据空间的一项数据资源。

3.2.2 知识封装与推送

程序型知识的表现形式为应用程序,其实现方式多种多样,设计人员不仅应该能够找到所需知识,也应该能够方便地调用这些已有程序。因此平台将这些程序模板打包成知识服务,使用服务技术屏蔽实现细节,只对外暴露服务接口,形成服务知识库,供设计人员使用。数据型知识的表现形式亦多种多样,但是平台使用数据资源对所有的数据进行了统一封装,因此数据型知识的链接指向均为一项数据资源。

平台则使用基于设计任务的知识推送模式,减少设计人员不必要的时间浪费,同时提高知识应用的效率。基于设计任务的知识推送包括两个关键步骤:①基于本体的任务语义分析。对设计人员当前的设计任务描述进行关键字分词,并针对每个关键字从系统的四个本体库进行本体匹配,形成输入检索本体。②根据得到的任务本体描述,平台自动从知识项索引中检索匹配相关的可用知识项,并自动推送给设计人员使用。在相关的知识检索中,由于对知识项的描述和对任务的描述均是基于同样的本体库,故可以实现知识的语义检索,以提高查全率和查准率。

4 IC 装备集成化设计平台实施与应用

IC 装备多学科协同设计平台采用 Java 2 平台企业版 (Java 2 Platform Enterprise Edition, J2EE) 框架构建了分布式体系架构。平台采用浏览器/服务器 (Browser/Server, B/S)、客户机/服务器 (Client/Server, C/S) 的混合模式, 较为复杂的专用应用系统采用客户端结构, 通用管理平台与较为简单的应用系统采用浏览器结构。ESB 选择开源的 Mule 总线, 平台使用 Mysql 作为数据库, Tomcat7 作为应用服务器, 开发环境采用 Eclipse。

图 5 所示为 PECVD 设备的集成化信息视图。PECVD 设备是一种典型的集成电路装备,其功能是实现晶圆上的薄膜沉积。PECVD 设备的结构设计由 Solidworks 完成,故图 5 中 PECVD 设备的产品结构数据、编号及版本属性来自于 Solidworks PDM 库的 reference. pdmw 文件,图中还显示了 showerhead 的相关数据资源,包括设计要求、设计参数、主模型和仿真案例等。对于每一个组件,都可以在该视图中加载数据资源项,也可以进入其完整的组件数据空间,查看该组件所有的相关数据。

图 6 为 IC 装备研发中知识推送的一个实例。

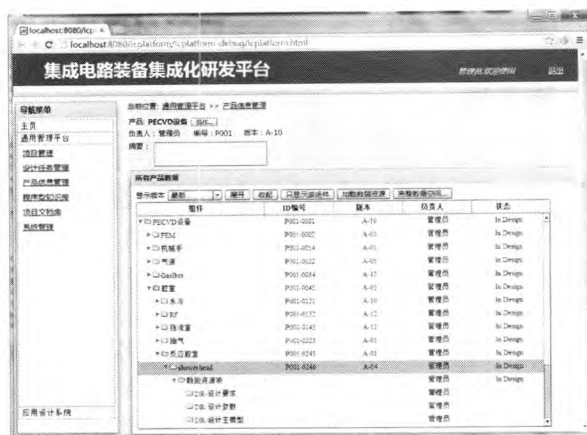


图5 PECVD设备的集成化信息视图



图6 F活性原子通过率计算模板知识服务调用界面引擎

在 PECVD 设备的清洗工艺中,反应等离子体由远程等离子源产生,然后通过管道输送经过喷淋头(Showerhead)进入反应腔室。在到达 Showerhead 之前,带电离子几乎全部被金属壁面吸收,或相互之间再次结合成分子而死亡,F 活性原子虽然相比于带电离子稳定,但通过 Showerhead 时,会发生剧烈的碰撞,仍有很大的死亡率。因此需要合理设计 Showerhead 的通过孔,减少 F 活性原子的死亡。在平台实施的某 IC 装备研发企业中,工程师在工作过程中逐渐提炼出了计算 F 活性原子通过 Showerhead 时的存活率的方法,并以 M 文件的形式保存下来。在平台实施前,企业其他设计人员很难知道和获取该类知识,平台实施后该计算方法被保存为程序型知识,并建立了该知识项的相关描述与索引。图 6 中设计人员收到 Showerhead 的优化设计任务后,平台根据该任务在知识库中检索到两条相关知识项,分别是该程序型知识与一次 Showerhead 的气流仿真案例。设计人员可以查看系统推送的知识,并以服务的形式重用该程序。图 6 中显示了该知识服务的调用界面,用户需要按照参数列表的要求提交相应的参数。本例中,需要提交 4 个参数: Showerhead 模型文件、温度场文件、粒子平均自由

程与粒子数量,平台根据提交的参数,在计算完成后通过消息通知设计人员,进而帮助其完成设计任务。

5 结束语

IC 装备研发的重要特点是需要进行许多复杂的科学计算与仿真工作,这些仿真工作比较复杂,不仅是一般机械产品中常见的静力学或动力学计算,而且很多是针对反应腔室内流场、等离子体、化学反应、传热等问题的综合仿真。这就带来如下问题:如何管理来自不同数据源的类型丰富的各种工程数据;如何让设计者方便地使用各种异构的计算工具甚至是专家软件;如何集成化管理异构的知识,提高知识的重用与共享。

本文针对上述问题设计了 IC 装备集成化研发平台体系架构,平台遵循“一切皆为服务”的设计原则,数据访问也被封装为统一的服务供外界调用,通过服务构建面向用户的应用系统。通过构建 IC 装备的统一产品数据视图并融合数据空间技术,完成了异构数据的统一封装与集成,即所有数据均使用数据资源模型进行形式化描述。通过建立基于本体与知识属性的知识项的统一描述,实现了不同类型知识的统一检索与推送。最后介绍了本文自主开发的平台原型系统,并结合 PECVD 设备中喷淋头的设计案例,展示了平台的知识管理功能与集成框架。本文构建的原型系统尚处于开发测试中,未来将进一步重点研究数据空间中的数据检索、知识项的精确匹配与基于总线的集成框架等关键技术点。

参考文献:

- [1] FAN Miaomiao. Research on HLA-based multidisciplinary collaborative simulation technology [D]. Beijing: Tsinghua University, 2009 (in Chinese). [范苗苗. 基于 HLA 的多学科协同仿真技术及其应用研究[D]. 北京:清华大学,2009.]
- [2] WANG Hongwei, ZHANG Heming. Design and implementation for a collaborative simulation platform in wide area network environment [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(1): 12-20 (in Chinese). [王宏伟, 张和明. 面向广域网环境的协同仿真平台的设计与实现[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(1): 12-20.]
- [3] HU Yi, ZHOU Xionghui, LI Congxing. Internet-based intelligent service-oriented system architecture for collaborative product development [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2010, 23(2): 113-125.
- [4] FAN L, JAGDISH B N, KUMAR A S, et al. Collaborative fixture design and analysis using service oriented architecture [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2010, 7(3): 617-629.
- [5] YANG X, BRUIN R P, DOVE M T, et al. A service-oriented framework for running quantum mechanical simulations of material properties in a grid environment [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews, 2010, 40(4): 485-490.
- [6] GAO Zhenxiao, XIAO Tianyuan, FAN Wenhui. Distributed simulation based optimization for complex product design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(3): 497-501 (in Chinese). [邵震霄, 肖田元, 范文慧. 面向复杂产品设计的分布式仿真优化技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 497-501.]
- [7] SUN Jianxun, ZHANG Liqiang, CHEN Jianjiang, et al. Integrated design platform of conceptual multidisciplinary for aircraft [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(1): 1-8 (in Chinese). [孙建勋, 张立强, 陈建江, 等. 飞行器总体多学科集成设计平台[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(1): 1-8.]
- [8] HAN Minghong, DENG Jiati. Study on integrated framework of multidisciplinary design optimization for complex engineering system [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(9): 101-105 (in Chinese). [韩明红, 邓家祺. 复杂工程系统多学科设计优化集成环境研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(9): 101-105.]
- [9] FRANKLIN M, HALEVY A, MAIER D. From databases to dataspace: a new abstraction for information management [J]. ACM SIGMOD Record, 2005, 34(4): 27-33.
- [10] LI Yukun, MENG Xiaofeng, ZHANG Xiangyu, et al. Research on dataspace [J]. Journal of Software, 2008, 19(8): 2018-2031 (in Chinese). [李玉坤, 孟小峰, 张相於, 等. 数据空间技术研究[J]. 软件学报, 2008, 19(8): 2018-2031.]
- [11] DITTRICH J P, SALLES M A V, ZURICH E. iDM: a unified and versatile data model for personal dataspace management [C]// Proceedings of International Conference on Very Large DataBases. New York, N. Y., USA: ACM, 2006, 32(1): 367-379.
- [12] KITAMURA Y, KASHIWASE M, FUSE M, et al. Deployment of an ontological framework of functional design knowledge [J]. Advanced Engineering Informatics, 2004, 18(2): 115-127.

作者简介:

+武园浩(1987—),男,河北藁城人,博士研究生,研究方向:产品数据管理、集成技术、概念设计等,通信作者,E-mail: wyh35071208@126.com;

田凌(1963—),女,辽宁铁岭人,教授,博士,博士生导师,研究方向:产品数据管理、网络化协同设计、概念创新设计、现代 CAD 技术等,E-mail: tianling@tsinghua.edu.cn.