

面向航空维修的语义 SOA 框架构建研究*

徐峰, 张树生

(西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室, 西安 710072)

摘要: 以航空维修服务行业为背景, 在分析以往信息技术解决方案应用于航空维修管理系统中弊端的基础上, 结合产品全生命周期管理理念, 构建基于语义面向服务架构的航空维修系统体系结构; 深入研究体系结构中资源层、基础构造层、实现层及应用层的构建, 进而探讨企业间业务流程协同的实现, 以优化航空维修供应链企业间异构平台、系统间的信息集成和知识共享, 提高其企业间业务协同的效率。

关键词: 航空 MRO; 语义 SOA; 本体; 全生命周期管理

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)12-4589-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.049

Semantic SOA framework orient to aviation repair

XU Feng, ZHANG Shu-sheng

(Key Laboratory of Contemporary Design & Integrated Manufacturing Technology for Ministry of Education, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: With the background of the aviation repair service industry, based on the analysis of the disadvantages of the past information technology solutions used in aviation repair management system, combined with the product lifecycle management concept, this paper built an aviation repair system structure based on the semantic service oriented architecture, which included resource layer, basic structure layer, implementation layer and application layer. Finally, it discussed business process collaboration between enterprises.

Key words: aviation MRO; semantic service-oriented architecture; ontology; PLM (product lifecycle management)

0 引言

随着中国经济持续强劲的增长, 对航空业的需求也日益增大, 中国航空业成为全球发展最快的市场。我国的航空运输总量从无到有, 从小到大, 经过二十多年的飞速发展, 已成为仅次于美国的第二大航空运输国。2011年, 南方航空公司第三季度净利润30.41亿元, 同比增长了970.7%; 中国国航第三季度净利润73.71亿元, 同比增长了158.7%; 东方航空三季度净利润60.52亿元, 同比增长了320.6%。航空市场业务需求的急剧扩张, 也为保障飞机安全运行的航空维修业带来了巨大生机, 对航空 MRO (maintenance, repair & overhaul, 维护、维修和大修) 的业务需求不断增加。据估计, 到2015年, 全球飞机 MRO 市场将达到510亿美元, 其中大部分来自中国。

在航空 MRO 业中, 航空维修服务商需要与备件/装备/设备制造商、航空公司及周边业务服务提供商等多种企业角色进行实时沟通和高效合作, 强调通过合作企业间业务流程的迅速配置、执行, 供应链上、下工序企业相关信息的集成、管理及分析, 各企业优势资源的整合, 来提高对航空公司需求的迅速响应能力, 向航空公司共同提供优质的 MRO 服务。

然而, 目前航空维修服务商所使用的相关信息系统并不能很好地支持上述目标。由于系统采用较为封闭的体系结构, 使得企业内信息孤岛间的系统集成, 以及维修服务商与合作企业

间业务协同的实现变得困难。目前一些解决方案采用了面向服务的架构(service oriented architecture, SOA), 它解决了传统集成系统结构复杂且灵活性差、无法适应分布式企业环境下不同企业间的动态业务需求与企业内部业务流程的适时变化等问题, 为新一代的复杂产品先进制造集成系统提供了一个灵活的、易集成、易实现的平台。但其缺乏语义支持的缺陷, 使得解决系统间的异构问题时捉襟见肘, 不能支持航空 MRO 服务链中不同角色企业间迅速的知识共享和业务流程配置与执行。随着语义网技术的不断发展, 相关研究者提出了利用语义 SOA 来解决这个问题。所谓语义 SOA^[1-3], 是以 SOA 为运行空间, 参考语义网技术, 以本体作为领域知识库, 以 Web 本体描述语言(ontology Web language, OWL)为数据的显示语义表达, 以 Web 服务本体描述语言(ontology Web language for services, OWL-S)作为服务的语义描述, 以信息知识级交换和共享为目的的面向服务软件架构。通过利用语义 SOA 作为集成手段, 利用领域本体模型为计算机提供带有语义信息的知识库支持, 使得计算机能够根据业务需求进行智能化服务请求、匹配、组合与调用, 达到服务与数据的知识级共享与重用的目的。一些研究者针对不同应用背景、问题的特殊性, 相应地给出了基于语义 SOA 的框架解决方案, 来支持企业数据、系统及知识的语义集成, 或网络环境下的企业业务流程在语义层的配置、协同等。例如文献[4]设计了面向复杂产品集成制造的语义 SOA 集成框架, 在企业的产品制造过程中, 通过语义操

收稿日期: 2012-05-05; **修回日期:** 2012-06-11 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60573177); 国家“863”计划资助项目(2002AA414210, 2009AA04Z122); 国家博士点基金资助项目(20030699032)

作者简介: 徐峰(1976-), 男, 湖北钟祥人, 博士研究生, 主要研究方向为集成制造与信息化工程管理技术(xf_128941@126.com); 张树生(1956-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为制造业信息化技术、现代集成制造、数字化设计与制造、逆向工程、计算机图形/图像、制造工程中的智能信息处理等。

作达到服务语义化、数据语义交换的目的。文献[5]提出了一种基于语义 Web 的网络化制造模式,从体系结构、语义元数据描述模型、网络化制造本体,以及基于语义 Web 服务的企业集成方面论述了其内涵和特征。文献[6,7]利用语义 Web 服务理论,研究了供应链中物流资源管理与集成、物流服务与业务协作的架构和实现方法。这些相关研究存在的问题是:由于语义 SOA 是技术性架构,对基于这种架构的内容如何整理、组织,并构建相应的本体知识库,需要设计者自己给定。而目前并没有一种标准或理念来指导如何构建、组织这些复杂、庞大的信息。

本文针对航空维修信息解决方案中所存在的问题,首次提出将语义 SOA 应用于航空维修信息支撑技术领域,并提出结合产品全生命周期管理理念来构建基于语义面向服务架构的航空维修系统体系结构。通过语义 SOA 对知识和服务进行组织存储来提供语义基础,对知识库中的语义信息进行推理和应用,以解决系统间语义异构问题,实现航空 MRO 行业中企业的知识共享和业务流程的迅速配置和协同。

1 基于语义 SOA 的航空维修企业知识及业务流程集成框架

航空维修服务商在向航空公司提供飞机 MRO 服务时,需要联合供应链上相关企业(如备件/装备/设备制造商、周边服务提供者等)进行及时合作(如信息集成、备件采购、业务外协、协同设计、故障诊断等),一同为航空公司提供优质的维修服务。

针对航空维修相关企业对业务协同和知识共享的需求,设计了基于语义 SOA 的航空维修企业知识及业务流程集成框架 (framework of enterprise knowledge and business process integration in aviation repair industry based on semantic SOA, ARS-SOA),如图 1 所示。该框架对各企业的软、硬资源进行语义建模表示和服务封装,并进一步使用本体语义知识对服务进行语义标注,使得该框架在语义层上具备支持信息检索、数据共享、服务发现、组合及执行的能力,解决了以往单纯 SOA 平台的弊端,从而能够满足航空维修供应链上相关企业的需求。

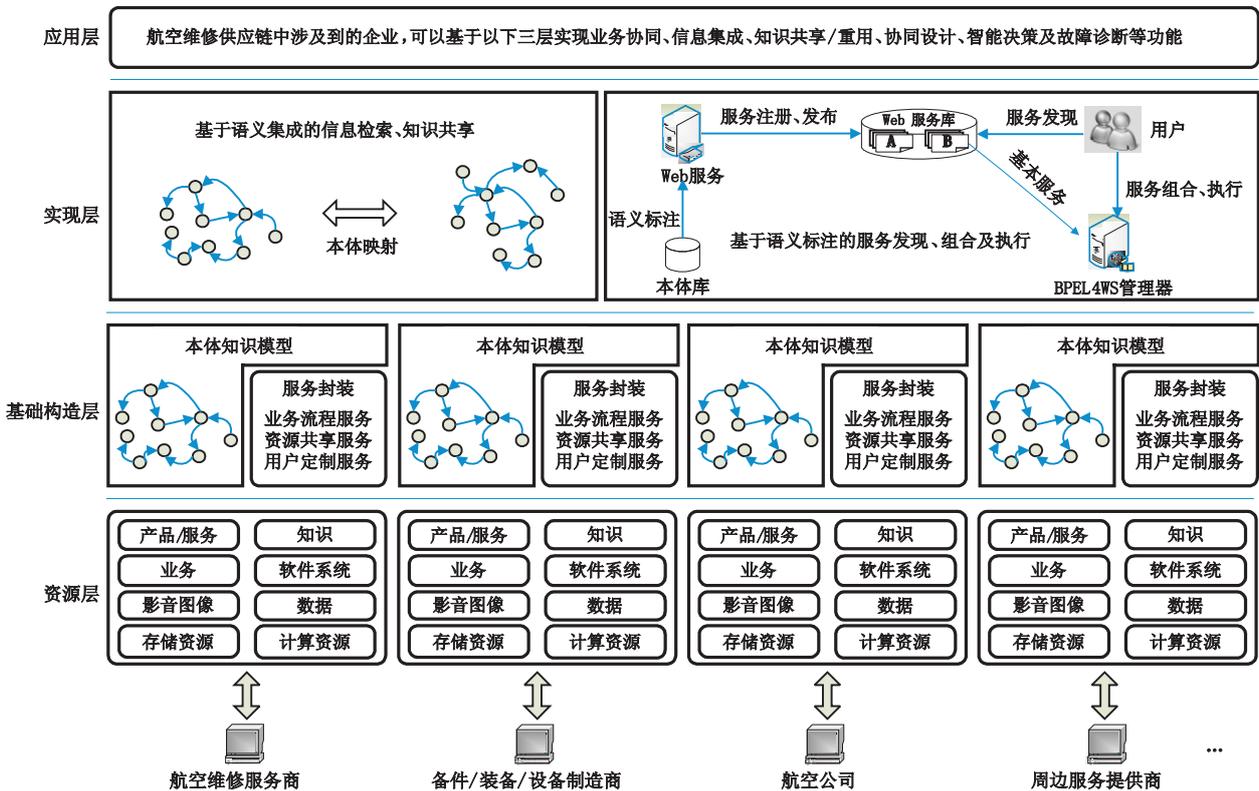


图1 基于语义SOA的航空维修企业知识及业务流程集成框架

该框架结构由以下四层构成:

a)资源层。航空维修供应链上的每个企业都有自己的主营产品(或服务)和优势资源,包括主营产品/服务,专业的知识、业务,企业内信息、数据,影音图像,文件资料,企业所使用的信息管理系统、存储资源和计算资源等,而这些就构成了资源层的主要内容。实际上,企业与企业间的合作也可看做是优势资源的共享、不同主营业务间的整合,从而为航空公司提供优质的飞机维修服务。因此,对于资源层的梳理、采集是非常重要的,相当于整个框架的根,其从各企业提供的分布、异构的资源池中汲取养分,以支持上层的应用。

b)基础构造层。要想让资源层中的资源得到更快、更好的利用,就需要把现有的各种资源进行整理、组织:将一部分资源封装为服务,也可以把现有的服务和资源封装成新的服务,

从而得到面向服务架构中的基本元素——服务;当完成服务创建、服务部署的工作后,服务已经成为可用元素。下一步是如何将服务进行表示,为服务查询和调用提供依据。传统的 WSDL 和 UDDI 模式能在一定程度上满足用户的需求,但仅于语法层次,无法上升到语义层次。对于服务的语义扩展,目前较流行的主要有两种方式:(a)利用 DAML 项目提出的 OWL-S 规范,实现基于 OWL Web 服务本体的服务发现及组合;(b)利用 W3C 提出的 SAWSDL(semantic annotations for WSDL, 语义标注的 WSDL)标准,根据现有的语义模型对 WSDL(Web services description language, Web 服务描述语言)进行语义标注,并将标注后的服务发布到语义 UDDI(universal description discovery and integration, 统一描述、发现和集成)库中,供发现及调用。另外,通过本体对资源层中的资源进行语义建模,对异

构、分布甚至隐性的知识进行表示,以支持资源在语义层的开放共享,为提高信息、知识的共享水平和效率打下基础。相关本体知识库的构建研究将于第 2 章详述。

c)实现层。为支持企业优势资源共享、业务协同,实现层在资源层、基础构造层打好的资源基础和语义基础上,进一步实现了基于语义集成的信息检索、知识共享,以及基于语义标注的服务发现、组合和执行等关键技术^[8,9]。这两种技术的本质都是基于对本体所表达知识进行处理和操作基础上实现的,主要使用了本体映射及本体推理技术。目前的本体映射方法基本上都是将映射问题转换为概念分类匹配问题^[10-12];另外已出现了一些有代表性的本体映射工具、框架,还包括 protégé 插件 PROMPT^[13],以及 KAON 基础上的 MAFRA 映射框架^[14]等。对于本体推理技术,目前已研发出较为成熟的本体推理引擎,如 Jess、Jena、Pellet 及 Racer 等。

d)应用层。基于上述三层提供的企业语义集成及业务协同接口,航空维修供应链中涉及到的企业可以实现业务协同、信息集成、知识共享/重用、协同设计、智能决策及故障诊断等功能。

2 基于 PLM 理念指导的本体知识库构建

2.1 使用 PLM 理念指导构建企业本体知识库

使用本体来构建知识库,可以把异构系统的各种信息提升为语义知识表达,为异构系统间的语义集成提供有效的支持,从而满足日益增长的企业内部门间不同数据结构、专业术语、知识模型、管理系统等的知识共享和信息集成的需求,以及与企业之间信息集成、业务协同的需求。

由于企业内各种信息、知识纷繁复杂,所以需要一种理念、标准来指导如何基于这些庞大内容,全面、合理地组织和构建本体知识库,以支持上述功能的实现。由于产品或服务是企业盈利的具体载体,也是企业业务开展的核心,所以以产品的全生命周期(PLM)为主线来采集、整理和组织企业内各种知识,将能够达到全面、合理地构建企业本体知识库的目标,能够支持企业及企业间的语义集成功能的实现,符合当前不断丰富企业运营链上智能化信息服务要求,包括更迅速的物料供应链、更智能的产品设计链、更高效的企业生产链、更人性化的产品服务链、更全面的信息资源链、更灵活的知识共享链。图 2 对比了企业各信息管理系统(包括了设计生产阶段的 CAD/CAM/CAPP、供应链管理方面的 SCM、客户管理方面的 CRM、企业运营管理方面的 ERP 和产品数据管理方面的 PDM 系统等)与产品生命周期管理的作用范围。可以看出,PLM 像一条线索,完整地组织、管理了产品生命周期过程中的各种产品信息,以支持产品生命周期过程中的协同设计、制造、管理和维修产品。

2.2 基于 PLM 理念指导的 ARSSOA 框架中基础构造层本体知识模型构建

产品生命周期涉及了设计、生产、使用、销售、维修、采购、外协和物流等诸多环节,这里根据上述 PLM 理念,以产品为中心,提出围绕产品的航空维修供应链上企业知识的语义建模。例如,以发动机为例,发动机是某航空设备制造商的产品,这个产品经过其设计、生产若干阶段后,被送往航空公司进行使用,而在需要维修时,通过查询航空维修服务商提供的发动机维修服务的销售知识,获悉某航空维修服务商所提供的维修服务符合条件,并通过物流输送;该航空维修服务商接到订单后,马上

组织采购材料、零配件,并着手对该发动机设计、生产阶段知识、使用阶段知识进行分析,在结合自身总结的故障诊断知识的基础上,对该发动机故障进行定位,设计出维修方案。如果需要外协的,需要通过外协厂家提供的销售知识,获得较为合适的外协合作伙伴,对发动机进行维修。修复好的发动机可以被航空公司再次使用。

图 3 为围绕发动机这一产品所提供的发动机全生命周期的本体知识模型框架。

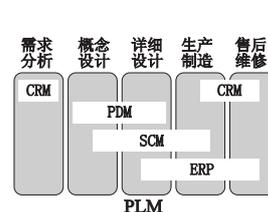


图2 PLM作用范围

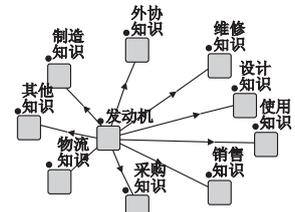


图3 发动机全生命周期的本体知识模型框架

该框架包括了发动机全生命周期各环节的知识:设计知识、制造知识、使用知识、销售知识、维修知识、采购知识、外协知识和物流知识等。其中:设计知识和制造知识由发动机的制造商提供。设计知识包括了产品的设计原理、方法、技术知识,产品的功能设计知识,产品结构设计知识,产品材料设计知识,产品的工艺设计知识等;制造知识包括了产品的 MBOM 表、供应商的知识、材料采购知识、材料加工知识、生产计划安排知识、产品的工艺知识、制造成本知识、检验知识和质量控制知识等。使用知识包括了产品运行期间的操作、过程工况、维护保养、故障现象等知识,由航空公司提供。销售、维修和采购等知识由航空维修服务商提供。销售知识主要为航空维修服务商所提供的维修服务种类、维修服务标准和维修服务费用等知识,另外也包括了发动机零配件供应商提供的零配件型号规格、零配件材料、零配件结构、零配件费用等知识;维修知识包括了故障诊断、维修设计、维修技术、拆装方案、维修质量控制等知识;采购知识包括了航空维修服务商所需发动机零配件的型号规格、零配件材料、零配件结构等知识。外协知识包括了外协服务种类、外协服务标准、外协服务费用等知识,由发动机外协服务商提供。物流知识包括了物流服务种类、物流服务管理、物流服务费用等知识,由物流服务商提供。

围绕发动机的维修这一业务,各方提供商提供并构建自己专业的本体知识,并通过公共词汇表和本体映射、本体融合技术形成领域本体。这样,处于发动机维修供应链中的任一企业,都可以通过自身提供的本体知识来解决企业内部异构系统的语义集成问题;通过形成的领域本体,既可以为供应链上各合作伙伴提供知识共享、信息集成的接口,也可以对自己提供的服务进行语义标注和描述,支持高效、准确的服务发现,以支持供应链上迅速的企业业务流程配置协同,从而提高整条供应链的需求响应水平。

3 基于 ARSSOA 框架的航空维修业务流程协同的实现

这里以航空维修供应链上企业间的业务协同为例,某航空公司为保证发动机正常无故障运行,提供了发动机使用过程中的过程参数采集与监控服务,并以发动机的使用知识本体作为语义基础,对该服务进行语义标注,存入 UDDI 服务注册中心。

如图 4 所示,在实现时,流程服务在注册中心通过使用知

识本体和相关 WSDL 提供服务的全部信息。其中,使用知识本体提供给服务详细的语义信息,如类型、前置条件和后置条件、输入和输出等,而 WSDL 提供 URL 地址、服务中的方法列表和输入参数类型等技术信息。

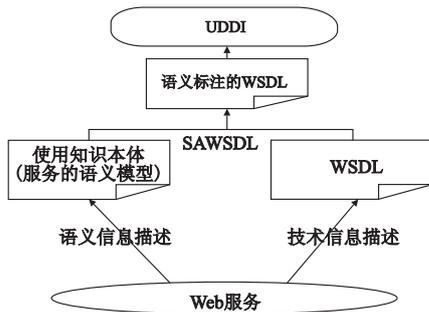


图4 注册中心服务的OWL语义与WSDL技术描述模型

然后,利用 WSDL 的可扩展框架,通过 SAWSDL 引用本体语义来标注 Web 服务,即利用模型引用(modelReference)扩展属性,指定 WSDL 与某些语义模型中概念之间的关联。modelReference 属性的值是空或者一组代表语义概念的 URI (uniform resource identifier,通用资源标志符)。每一个 URI 包含了相应语义模型的地址,并指向语义模型中的一个概念,为标注的 WSDL 提供语义信息。在对服务进行发布时,将 SAWSDL 描述的服务映射到 UDDI 数据结构,如图 5 所示。

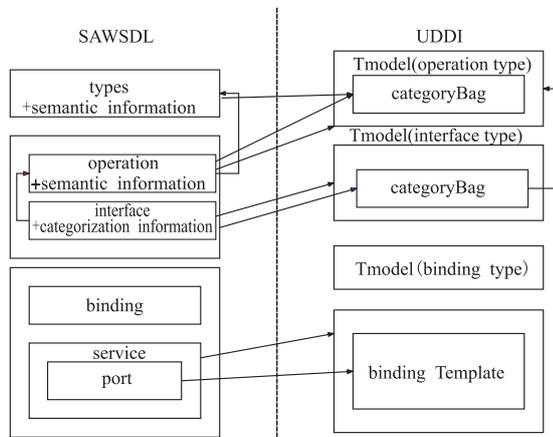


图5 SAWSDL到UDDI的映射

最后,在 UDDI 存储 SAWSDL 中服务与语义概念之间的映射关系。

过程参数采集与监控服务在 UDDI 的数据结构如下:

```

<categoryBag>
  <keyedReferenceGroup>
    tModelKey = " uddi:ubr.uddi.org:categorizationGroup:MAPPING-
GROUP"
  </keyedReferenceGroup>
  <keyedReference>
    tModelKey = " uddi:ubr.uddi.org:categorizationGroup:OPERATION_
CONCEPTS"
    keyName = " Monitoring" keyValue = " Monitoring" </>
  </keyedReference>
  <keyedReference>
    tModelKey = " uddi:ubr.uddi.org:categorizationGroup:INPUT_CON-
CEPTS"
    keyName = " MonRequest" </>
  </keyedReference>
  <keyedReference>
    tModelKey = " uddi:ubr.uddi.org:categorizationGroup:OUTPUT_
CONCEPTS"
    keyName = " MonResponse" </>
  </keyedReferenceGroup>
</categoryBag>

```

其中:tModel 中的 categoryBag 元素是添加本体概念标注的关键部分;categoryBag 中的 keyedReference 具有三个属性,即 tModelKey、keyname、keyValue,tModelKey 代表一种标志系统, keyName 代表被标注的 WSDL 元素,keyValue 代表本体概念。

这样,负责维护、维修该飞机的维修服务商就可以通过输入服务请求信息(包括 Operation 服务操作、Input 服务输入、Output 服务输出)进行服务的语义发现,从而来调用这个服务。并且还可以将其与其他 Web 服务,通过 BPEL(business process execution language,业务流程执行语言)引擎实现业务连接、流程控制,支持对航空公司飞机维修、维护的跨企业的业务流程协同。

4 结束语

本文以航空维修服务行业为应用背景,结合产品全生命周期管理理念,构建了基于语义面向服务架构的航空维修系统体系结构,深入研究构建了该体系结构中的资源层、知识层、服务层、业务逻辑层及应用层,最后探讨了航空维修业务流程协同中若干关键技术的实现。

参考文献:

- [1] ANICI D, BRODIE M, BRUIJN J D, et al. A semantically enabled service oriented architecture[J]. *Service Oriented Computing and Applications*,2007,1(2):129-154.
- [2] DERIAZ M, SERUGENDO G D M. Semantic service oriented architecture[R]. Switzerland: University of Geneva, 2004.
- [3] SABUCEIX L A, RIFON L A. Semantic service oriented architectures for eGovernmem platforms[C]//Proc of the 2nd International Conference on Availability, Reliability and Security. 2007.
- [4] 余朋飞,宋晓,张霖,等.基于语义面向服务架构的信息集成系统体系结构研究[J].*计算机集成制造系统*,2009,15(5):959-967.
- [5] 郭钢,汤华茂,陈国荣,等.基于语义 Web 的网络化制造模式研究[J].*计算机集成制造系统*,2009,15(4):690-697.
- [6] 陈曦,黄必清,宋庭新.网络化物流服务框架中的语义匹配和过程优化[J].*计算机集成制造系统*,2008,14(3):581-587,601.
- [7] 宋庭新,黄必清,魏春梅.基于语义 Web 服务的协同物流与集成技术研究[J].*计算机集成制造系统*,2008,14(3):588-594.
- [8] 崔晓晖,印桂生.基于匹配算法的服务发现本体模型[J].*计算机应用研究*,2011,28(8):3010-3012.
- [9] 冯建周,孔令富.基于语义关系图的 Web 服务自动组合方法的研究[J].*计算机集成制造系统*,2012,18(2):427-436.
- [10] DOAN A H, MADHAVAN J, DOMINGOS P, et al. Learning to map between ontologies on the semantic Web[C]//Proc of the 11th International World Wide Web Conference. New York:ACM Press,2002:662-673.
- [11] 吕刚,郑诚,胡春玲.基于概念分类的多本体映射方法研究[J].*计算机应用研究*,2011,28(9):3335-3337.
- [12] RODRIGUEZ A, EGENHOFER M. Determining semantic similarity among entity classes from diferent ontologies[J]. *IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering*,2003,15(2):442-456.
- [13] HORRIDGE M, KNUBLAUCH H, RECTOR A, et al. A practical guide to building OWL ontology using the protege-OWL plugin and CO-ODE tools[EB/OL]. (2004-08-27). <http://www.citeulike.org/user/taho/article/903984>.
- [14] OBERLE D, VOLZ R, MOTIK B, et al. Handbook on ontologies [M]. Berlin: Springer, 2004.