

Web 服务组合构建与执行的 Petri 网平台研究

孙 强 马炳先 孙华强

(济南大学信息科学与工程学院 济南 250022) (山东省网络环境智能计算技术重点实验室 济南 250022)

摘 要 针对 Petri 网在服务组合中的具体应用问题,尤其是如何构建基于 Petri 网的服务组合软件平台,在服务组合的 Petri 网模型的基础上,首先建立了具体领域中服务的语义功能体系;然后进行原子服务的注册及发布,将各具体服务绑定到语义功能体系中的某一功能;其次实现了基于视图的服务组合构建,用户可在相应视图中通过选择相应的功能进行方便的服务组合构建,并得到相应的服务组合功能流程;最后进一步将相关功能转换为绑定具体服务实例的 Petri 网模型,并交由相应的基于 Petri 网的服务组合执行引擎实现执行。实现了从服务组合构建到执行实现的完整功能流程,为基于 Petri 网的服务组合动态执行相关问题的分析提供了软件平台支撑。

关键词 Web 服务, Petri 网, 服务组合, 平台

中图分类号 TP311 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.11.022

Study on Petri Net Platform for Web Service Composition Construction and Execution

SUN Qiang MA Bing-xian SUN Hua-qiang

(School of Information Science and Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China)

(Shandong Provincial Key Laboratory of Network Based Intelligent Computing, Jinan 250022, China)

Abstract According to the specific application of Petri net in service composition, Petri net based the service composition software platform was constructed in this paper. Firstly, semantic based service function system is established for domain services. And then, atomic service is registered and published, and it is tied to a concrete function in the semantic function system. Secondly, view based service composition construction is realized, and users can select services, construct service composition through related view and get service composition function process. Furtherly, Petri net of service composition can be get and submitted to execution engine, completing the execution of service composition. The work of this paper realized the process from construction to execution for service composition and will provide software support for the use of Petri net within dynamic execution of services composition.

Keywords Web service, Petri net, Service composition, Platform

伴随着信息技术的发展,服务计算的出现极大地满足了用户对互联网中服务的需求,用户可以在网上发现自己喜欢的小说、找到自己喜欢的食物、订购车票、购买车票、预定宾馆等,在互联网上用户几乎可以找到任何想要的服务。但是网络中的 Web 服务大都是单一功能服务,只能满足用户某一方面的需求,当用户的需求比较复杂时,网络中现存的单一服务无法满足用户多方面的需求,此时需要对 Web 服务进行组合。服务分散在不同的平台上,整合十分不方便,需要相应的组合服务平台^[1-4]来整合网络中的 Web 服务,以满足快速构建服务组合的需求。目前已有一些服务供应商拥有自己的组合服务平台,例如文献[5]提到的开源平台 Apache ODE,服务组合的描述使用的是 BPEL;文献[6]提到的微软的 Microsoft BizTalk Server,服务组合的描述使用的是 WS-BPEL 和 XLANG,这些需要先创建相应的服务组合模型,创建过程较为复杂,需要专业的开发人员。基于上述原因,本文提出了

基于 Petri 网的服务组合构建方法,能够通过普通用户简单的交互来捕获用户的需求,动态地构建服务组合的流程,使得服务组合变的简单灵活。本文基于 Petri 网的服务组合执行引擎^[9],首先将网络中的 Web 服务注册到本地平台上,通过对服务功能的语义^[12-14]描述,把功能构建成相应的语义功能体系。在已有原子服务以及功能体系的基础上,用户只需通过简单的交互即可表达相应的需求,即服务组合的功能流程;然后获取流程中功能对应的服务群,通过服务选择得到功能流程对应的服务集合;最后依据功能流程转换为基于 Petri 网描述的绑定具体服务的模型,在用户输入服务组合相应的初始参数后,对服务组合模型进行初始化,交由执行引擎执行。

本文第 1 节对相关知识进行简要介绍;第 2 节简要介绍本文提出的服务组合构建与执行平台架构;第 3 节介绍服务领域功能体系的构建方法;第 4 节对原子服务的本地注册、选择以及服务组合的构建过程进行介绍;第 5 节通过一个具体

到稿日期:2015-07-06 返修日期:2016-02-22 本文受国家自然科学基金(60903099),山东省优秀中青年科学家奖励基金(BS2009DX012),山东省高等学校科技计划项目(J09LG14),山东省高等学校科技计划项目(J13LN21)资助。

孙 强(1989-),男,硕士生,主要研究方向为服务计算, E-mail: ujn_sunqiang@163.com; 马炳先(1977-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为 Petri 网、服务计算;孙华强(1989-),男,硕士生,主要研究方向为服务计算。

的组合服务构建的实例对本文方法进行说明;最后总结全文,并指出下一步工作。

1 相关知识

1.1 Web 服务^[10]

Web 服务指网络中可以提供具体服务的 Web 应用程序,使用 XML 的标准来描述、发现、发布应用程序,由于使用 XML 的标准,因此 Web 服务具有跨平台使用的优点。Web 服务是自描述、构造分布式、模块化应用程序和面向服务应用基础的最新技术和发展趋势。其中 Web 服务有 3 个标准:SOAP(Simple Object Access Protocol)协议、WSDL(Web Services Description Language)文档、UDDI 规范(Universal Description,Discovery and Integration),3 个协议分别描述了服务的具体信息、服务的发布以及服务的整个访问流程,保证了整个流程的畅通。

1.2 服务组合^[7]

服务组合主要是实现不同功能的 Web 服务间的有机合成,通过组合实现更大粒度的服务功能,完成更加复杂的功能需求。目前服务组合方法主要有基于人工智能的方法和基于工作流的方法等^[1],前者主要是基于主要问题进行自动的组合服务,实现过程较难;后者是基于流程的方式进行组合,有人工干预的情况,实现过程较简单。

1.3 服务组合的 Petri 网模型

本文采用服务组合的 Petri 网^[8]模型如下。

定义 1 服务组合对应的 Petri 网是一个四元组 $\Sigma=(P, T;F,M)$ 。其中:

(1) $P=P_1 \cup P_2$ 对应于服务参数集合, P_1 为服务的输入参数,输入参数指用户需求参数集合,用户需求参数集合是用户在调用服务组合时的参数集合; P_2 为输出参数,输出参数为前一服务的输出结果,输出结果输出到辅助库中所。

(2) $\forall t \in T$,变迁 t 绑定具体服务,变迁的激发对应服务的执行。

(3) F 在 Petri 网中代表流关系集合,在本文中代表服务与其输入输出参数的关系集合。

(4) M 称为标识,能够反映服务组合当前的状态,在本文中, $\forall p \in P, M(p)=0$ 或 1,对应服务参数的已就绪和未就绪两种状态。

2 服务组合构建与执行平台架构

服务组合构建与执行平台架构如图 1 所示。

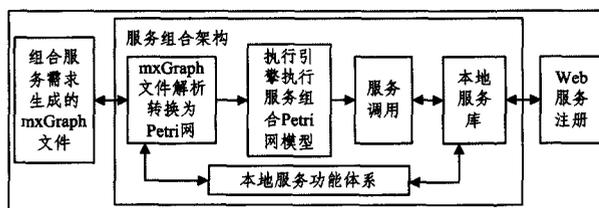


图 1 服务组合构建与执行架构

本文中 Petri 网的服务组合是基于本文中的架构来执行的。该架构首先进行服务领域功能体系的构建,服务领域功能体系主要用来为用户展示某个领域的功能并且供用户选择该领域中相应的功能;然后进行服务注册,即把网路中的 Web 服务注册到本地,并且把具体的 Web 服务绑定到服务领

域中的某个功能;最后进行服务的构建,把组合的服务模型转换为 Petri 网的模型,并交由相应的基于 Petri 网的服务组合执行引擎执行,实现从服务组合构建到执行实现的完整功能流程。

3 服务领域功能体系

进行服务组合的前提是明确其中包括的相应功能,例如行程预订应包含天气、交通、酒店等。

为了把某个领域中所有的功能展示出来提供给用户选择功能进行服务组合,需要建立相应领域的服务功能体系:用户的需求可转换为某一领域的具体功能,而不是具体的某个服务,而具体的功能通过具体的服务来实现。为了使用户的需求转换为具体的服务,本文建立了相应的领域功能体系,将其作为联系用户需求与具体服务的桥梁,使得用户的需求可以对应具体的服务。本文以旅游领域进行领域功能体系的构建。

本文利用 Jena^[15]生成相应的 OWL^[18]文档,从文档中获得 RDF^[19]的资源描述以及资源之间的语义关联。生成对应的 OWL 文件的部分实例如下。

```
<rdf:Description rdf:about="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/car">
  <j.0:hasPart_directly rdf:resource="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/carDriving"/>
  <j.0:hasPart_directly rdf:resource="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/carSpecial"/>
</owl:hasValue>交通功能</owl:hasValue>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/carDriving">
  <owl:hasValue>汽车</owl:hasValue>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/carSpecial">
  <owl:hasValue>火车</owl:hasValue>
</rdf:Description>
```

文档中一些元素的具体描述如表 1 所列。

表 1 文档中相关的元素描述

元素名称	元素描述
<rdf:about>	功能对应资源的唯一标识
<owl:hasValue>	功能的描述
<j.0:hasPart_directly>	描述某个功能的子功能

对于旅游领域中领域功能体系的构建,首先得到旅游领域中相关的功能,然后分析各个功能之间的相互关系。将功能作为资源节点,在某一资源节点中通过属性表达该节点与其他节点之间可存在的整体与部分关系,并利用该关系将旅游领域中的功能进行分层,构建出的部分领域功能体系如图 2 所示。

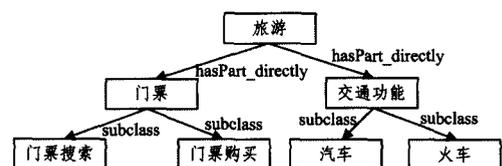


图 2 部分服务领域体系示例

4 Web 服务注册、查询及服务组合构建

在领域功能体系构建完成之后,进一步需要在该服务组合平台上根据领域本体^[11]进行相应的服务的注册,每个 Web 服务绑定相应的功能。

4.1 服务注册

Web 服务在进行访问时以 SOAP 消息的方式进行访问,因而在注册时需要把调用服务需要的相关信息注册到本地。目前,WSDL 已经成为了描述 Web 服务的标准语言,而且 WSDL 描述了 Web 服务的相应的信息,因而在注册 Web 服务时从网络获取服务对应的 WSDL 文档,然后通过解析该文件获取相关的信息。

在进行解析 WSDL 时需要的字段如表 2 所列。

字段名称	字段说明
wsdl	服务对应的 wsdl 地址
method	服务对应的方法名称
namespace	服务的命名空间
soapType	SOAP 版本号
headerParameters	输入参数(请求头参数)
bodyParameters	输入参数(请求体参数)
outputParameters	输出参数(服务相应参数)

算法 1 Web 服务注册

输入:服务的 WSDL 地址

输出:服务注册的状态成功或者失败

- step1 首先根据 WSDL 地址访问网络资源的 WSDL,并且获取资源的 WSDL 文档;
- step2 解析 WSDL 文档,获取 WSDL 中的 operation,operation 对应服务的具体方法;
- step3 解析 WSDL 文档获取 WSDL 中的 targetNamespace, target-namespace 作为资源的唯一标识;
- step4 WSDL 文档中的每个方法都有自己的输入和输出,需要分别解析每个方法对应的输入和输出,即表 2 中的 bodyParameters 和 outPutParameters;
- step5 解析其他相应的参数,然后把解析后所有的参数插入到数据库 MySQL 中,注册结束。

在 Web 服务中主要以 SOAP 协议的方式进行调用服务,而 SOAP 协议是基于 HTTP 协议的,而且 SOAP 消息作为 HTTP 访问的消息体。在进行服务调用时,通过获取某一服务的相关信息,拼接 soap 消息,并发送给服务端进行服务调用。

4.2 服务查询

根据功能查询数据库中对应的服务时,如果服务库中的服务数量比较大,则需要对表进行扫描,将耗费服务器资源。因而在进行服务选择时,需要以功能为索引加快服务的查找,因此本文建立了功能到服务集的倒排索引^[17],倒排索引也常被称为反向索引,是一种索引方法,被用来存储在全文搜索下某个单词在一个文档或者一组文档中的存储位置的映射,通过某一功能,可以快速地获取对应的服务集合,然后再根据指定的服务选择策略从服务集合中选择具体的某个服务。

当在数据库中添加一条服务记录时,该服务的地址会和某领域中相应的功能进行绑定,某个功能可能会对对应着多个相同的服务,在服务进行选择时以功能为索引可以根据不同的选择策略选择具体的服务。当删除某个服务时,直接在该

功能下删除即可,并不会对功能产生影响。

4.3 服务组合功能流程构建

相应服务的功能已经注册完毕之后,服务的领域本体中的功能就有了具体的服务,然后对服务进行组合,以便完成更为复杂的服务功能。

用户根据自己的需求通过相应的视图选取相应的功能。为了提供良好的用户体验,选取了专门在页面中绘制流程图的 Javascript 框架——mxGraph^[16]框架,通过该框架,可以轻松地绘制相关的流程图。当用户提交服务组合请求时,平台会将用户绘制的功能流程转换为相应的流程 mxGraph 文件,该文件为 XML 格式,完整地描述了该功能流程。

使用绘图工具选择的机票服务和酒店服务以及根据绘图的组合服务生成的 mxGraph 文档如图 3、图 4 所示。

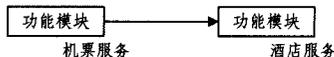


图 3 组合服务实例

```

<mxGraphModel><root>
  <功能模块 领域="travel" 功能="机票服务"
rdf="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/flightTicket" id="2">
  <mxCell vertex="1" parent="1">
    <mxGeometry x="10" y="200" width="60" height="30" as="geometry"/>
  </mxCell>
</功能模块>
<功能模块 领域="travel" 功能="酒店服务"
rdf="http://localhost:8080/TravelDemo/travel/hotel" id="4">
  <mxCell vertex="1" parent="1">
    <mxGeometry x="180" y="200" width="60" height="30" as="geometry"/>
  </mxCell>
</功能模块>
<mxCell id="6" edge="1" parent="1" source="2" target="4">
  <mxGeometry relative="1" as="geometry"/>
</mxCell>
</root>
</mxGraphModel>

```

图 4 组合服务实例对应的 XML 文档

4.4 服务组合的 Petri 网模型生成

在得到组合服务的功能流程之后,为了提交给执行引擎进行执行,需要将其转换为相应的 Petri 网模型。

前端展示的服务领域功能体系中包括某个领域中所有的功能,其中就有可供用户选择的可以完成某个事件的多个相似功能,因而在后期模型设计中不再绘制选择结构,只绘制顺序和并发两种服务组合模型结构。假如用户需要查询济南天气情况、购买到济南的火车票、查询济南火车站到某个景点的线路以及查询旅馆 4 个服务,对 4 个服务构造的服务组合并发结构的功能流程如图 5 所示。

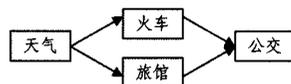


图 5 功能流程

首先将生成的 mxgraph 功能流程文件转换为 Petri 网的功能流程文件,为 Petri 网的功能流程变迁绑定具体的功能,即存储功能的唯一标识信息 rdf:about;增加辅助流程的库所和流关系,用于连接变迁。图 5 示例对应的 Petri 网的功能流程如图 6 所示。

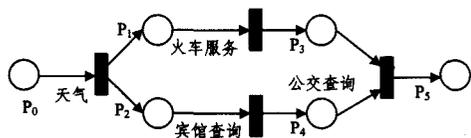


图 6 功能流程对应的 Petri 网

图 6 中的库所为 Petri 网中的辅助库所,用来连接组合的 Web 服务并且存储变迁执行后的结果。

对于功能流程中的每个节点,获取对应的功能,依据该功能进行服务查询和服务选择,得到具体的服务组合,在进行服务选择时可以根据服务质量因素来选择服务,例如当同一个功能有多个服务时,可选择执行时间最少的服务,执行时间可来源于日志中对服务时间的记录。然后将变迁对应的功能替换、绑定为具体的服务,并且根据服务的参数增加相应的参数库所,最终得到服务组合对应的 Petri 网模型的 PNML(Petri Net Markup Language)描述。图 5 对应的带有托肯的 Petri 网的服务组合如图 7 所示。相应算法如算法 2 所示。

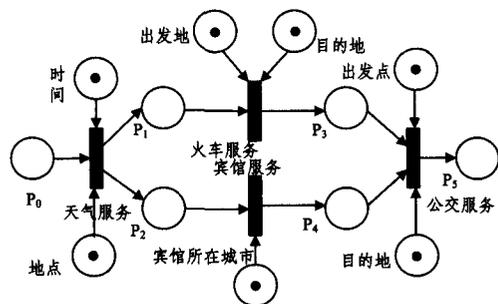


图 7 功能流程对应的 Petri 网

算法 2 把功能流程图转化为相应的 Petri 网功能流程建模图

输入:组合服务流程图

输出:Petri 网流程建模图

- step1 初始化 PNML;
- step2 加载使用绘图工具绘制的服务组合功能流程图;
- step3 获取功能流程中所有的功能模块,即前端选择的服务;
- step4 把功能模块转换为 Petri 网中对应的变迁,其中变迁绑定到相应的服务;
- step5 根据绘制的功能流程在变迁之间添加辅助库所;
- step6 通过数据库查询,检验每个模块输入参数的个数,把参数转换为 Petri 网中变迁的带有托肯的库所;
- step7 对所有的变迁依次添加库所,直到所有的变迁相应库所添加完毕;
- step8 服务执行结束之后,结果输出到变迁的辅助库所;
- step9 得到与功能流程相对应的 Petri 网流程的 PNML 文件,结束。

在得到了功能流程对应的 Petri 网之后,将 Petri 网提交给执行引擎执行,该执行引擎基于 Petri 网中变迁的激发规则^[9]进行各服务的有序调用。

5 例子

本节通过一个实例,简要说明从服务组合到服务组合执

行并返回执行结果的整个过程。服务组合以图 5 服务组合为例,组合之后把相应的服务组合转换为具有标识的 Petri 网,如图 7 所示。

图 5 中的 4 个服务与图 7 中的 id(id 为 Web 服务的唯一标识)间的对应关系为:天气服务(weather, id=232),火车服务(train, id=229)、公交服务(bus, id=231)、旅馆服务(hotel, id=224)。每个服务与其对应的参数之间的对应关系如表 3 所列。

表 3 Web 服务和参数之间的对应关系

Web 服务	服务输入参数
天气服务(id=232)	232city,232date
火车服务(id=229)	229startCity,229arriveCity
公交服务(id=231)	231start,231end
旅馆服务(id=224)	224city

假设(232city:济南,232date:2015/06/23);(229 startCity:上海,229arriveCity:济南);(231start:火车站,231end:大明湖);(224city:济南)。引擎会依次执行服务 weather, train, bus, hotel,最后返回调用 4 个服务的结果。返回结果分别为济南当天的天气状况、从上海到济南当天的火车班次、从火车站到大明湖的公交班次、宾馆的查询情况。

最后服务组合的执行结果为:

济南天气状况:6月23日 多云转阴;

上海到济南当天的火车班次:G132,1462;

火车站到大明湖的公交班次:11路,k91,k98;

宾馆的查询情况:济南明雅千佛山宾馆、济南泉盈大酒店等;

同时可以得到组合服务执行后的日志信息:{"atomServices":["232","229","231","224"],"executedTime":1000,"status":"SUCCESS"}。

信息中相关字段解释如表 4 所列。

表 4 日志字段解释

字段名称	字段解释
atomServices	原子服务执行序列
executedTime	服务序列执行时间
status	服务组合执行的状况

结束语 本文研究、设计并实现了基于 Petri 网的 Web 服务组合平台,包括从服务的注册到服务组合的构建,再到服务调用及执行的整个流程。提出了把图形化界面的组合模型 mxGraph 格式转换为 Petri 网的 PNML 描述的方法,由于这两种模型都是使用 XML 格式来表示数据,因此实现方便的互相转化。本文进一步的工作为通过该平台执行获取各服务组合对应的执行日志、通过分析对各服务执行情况进行评价以及对服务组合流程进行优化。

参考文献

- [1] Jin Yue-Ping. Service composition based on Ontology: Dartflow design and implementation [D]. Hanzhou: Zhejiang University, 2005(in Chinese)
金岳平. 基于本体论的服务组合: Dartflow 的设计和实现[D]. 杭州:浙江大学,2005
- [2] Lu Zhong-yuan. Research and platform design based on SOA for service composition [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011(in Chinese)

(下转第 134 页)

- 陈斌,李有明,郭涛,等.基于子载波配对的多用户协作中继系统资源分配算法[J].电信科学,2014,30(6):73-78
- [7] Yan Long, Qin Tuan-fa, Li Liang-liang, et al. Wireless body area network encoding multi relay cooperative strategy of energy saving technology based on [J]. Telecom, 2014(3):355-360(in Chinese)
- 闫龙,覃团发,李亮亮,等.基于网络编码的无线体域网多中继协作节能策略[J].电讯技术,2014(3):355-360
- [8] Vardhe K, Reynolds D, Valenti M C. The Performance Of Multi-User Cooperative Diversity In An Asynchronous Cdma Uplink [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(5):1930-1940
- [9] Huang W J, Hong Y W P, Kuo C C J. Relay-Assisted Decorrelating Multiuser Detector(RAD-MUD) for Cooperative CDMA Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(3):550-560
- [10] Golbon-Haghighi M H, Mahboobi B, Ardebilipour M. Linear Pre-coding in MIMO-CDMA Relay Networks[J]. Wireless Personal Communications, 2014, 79(2):1321-1341
- [11] Mahboobi B, Ardebilipour M, Kalantari A, et al. Robust Cooperative Relay Beamforming [J]. IEEE Wireless Communication Letters, 2013, 2(4):399-402
- [12] Sturm J F. Using SeDuMi 1. 02, a MATLAB toolbox for optimization over symmetric cones[J]. Optimization Methods & Software, 1999, 11-12(1):625-653
- [13] Chalise B K, Vandendorpe L. Optimization of MIMO Relays for Multipoint-to-Multipoint Communications; Nonrobust and Robust Designs[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(12):6355-6368
- [14] Deng Guo-hui, Shao Yu-bin, Xia Teng-fei. Cooperation Multiplexing: Research on Realizing Higher Spectrum Efficiency in Multi-antenna Relay Network[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2011, 25(12):94-105 (in Chinese)
- 邓国辉,邵玉斌,夏腾飞.协作复用:在多天线中继网中实现更高频谱效率的研究[J].重庆理工大学学报(自然科学),2011,25(12):94-105
-
- (上接第120页)
- 陆中远.基于SOA的服务组合研究与平台设计[D].北京:北京邮电大学,2011
- [3] Zhang Cheng, Han Yan-bo. A context information model for service composition platform [J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4):712-720(in Chinese)
- 张程,韩燕波.一种适用于服务组合平台的语境信息使用模式[J].计算机学报,2005,28(4):712-720
- [4] Tong Yan. Research and algorithm design on platform for semantic Web services dynamic combination [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2006(in Chinese)
- 童艳.语义Web服务动态组合平台的研究与算法设计[D].成都:电子科技大学,2006
- [5] Song Bo, Li Miao-yan. Research and implementation of BPEL based on Web services [J]. Computer Engineering and Design, 2007, 28(9):2212-2214(in Chinese)
- 宋波,李妙妍.面向Web服务的BPEL的研究与实现[J].计算机工程与设计,2007,28(9):2212-2214
- [6] <http://www.microsoft.com/en-us/bizalk/default.aspx>
- [7] Sheng Q Z, Qiao X, Vasilakos A V, et al. Web services composition: A decade's overview[J]. Information Sciences, 2014, 280:218-238
- [8] 吴哲辉. Petri网导论[M].北京:机械工业出版社,2006:1-103
- [9] Xu K, Ma B. A Petri Net Based Execution Engine for Web Service Composition[M]//Web Information Systems Engineering-WISE 2013 Workshops. Springer Berlin Heidelberg, 2014:181-193
- [10] Yue kun, Wang Xiao-ling, Zhou Ao-ying. Web service core support technology: Research Summary [J]. Software Journal, 2004, 15(3):428-442(in Chinese)
- 岳昆,王晓玲,周傲英. Web服务核心支撑技术:研究综述[J].软件学报,2004,15(3):428-442
- [11] Li Shan-ping, Yin Qi-wei, Hu Yu-jie, et al. Overview of ontology research [J]. Journal of Computer Research and Development, 2004, 41(7):1041-1052(in Chinese)
- 李善平,尹奇韡,胡玉杰,等.本体论研究综述[J].计算机研究与发展,2004,41(7):1041-1052
- [12] Berners T L, Hendler J, Lassila O. The Semantic Web[J]. Scientific American, 2003, 284:34-43
- [13] Ma Bing-xian, Xie Neng-fu. From OWL-S to PNML+OWL for Semantic Web Services [C]//2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation. Beijing: IEEE, 2010, 4:326-328
- [14] Liu Bai-song. Semantic Web based knowledge: concepts, techniques and challenges [J]. Chinese Journal of Library, 2003, 29(2):18-21(in Chinese)
- 刘柏嵩.基于知识的语义网:概念、技术及挑战[J].中国图书馆学报,2003,29(2):18-21
- [15] Apache. Reasoners and rule engines: Jena inference support [EB/OL]. [2013-03-31]. <http://jena.apache.org/documentation/inference/#api>
- [16] <http://jgraph.github.io/mxgraph/docs/manual.html>
- [17] Liu Xing-Yu. Research on full text retrieval technology based on inverted index [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004(in Chinese)
- 刘兴宇.基于倒排索引的全文检索技术研究[D].武汉:华中科技大学,2004
- [18] McGuinness D L, van Harmelen F. OWL Web Ontology Language Overview [EB/OL]. (2004-02-10)[2013-03-31]. <http://www.w3.org/TR/owl-features>
- [19] Cheng Bian-ai. Resource Description Framework(RDF)—A very vital metadata tool [J]. Modern Library and Information Technology, 2000(6):62-64(in Chinese)
- 程变爱.试论资源描述框架(RDF)——一种极具生命力的元数据携带工具[J].现代图书情报技术,2000(6):62-64