

一种 Web 服务综合描述模型

马于涛^{*①②} 张海粟^③ 刘玉超^④ 陈桂生^①

^①(中国电子设备系统工程公司研究所 北京 100141)

^②(武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)

^③(中国人民解放军理工大学指挥自动化学院 南京 210007)

^④(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

摘要: Web 2.0 时代, 人网交互的便捷赋予了 Web 服务更多的社会化特性(如评分、评论等), 却往往被服务的提供者忽视, 导致难以有效实现基于用户体验的服务推荐。针对不同的用户视角, 该文提出了一种 Web 服务综合描述模型, 以多视图的方式集成 Web 服务的技术属性(如操作、消息等)和社会化特性。首先, 从逻辑设计的角度出发, 给出了其概念模型; 然后, 从工程应用的角度出发, 构造其元模型, 指导具体模型的设计; 最后, 根据一个应用案例, 验证了方法的可行性。该模型和相关工具将为实现服务超市中服务的主动推荐奠定基础。

关键词: Web 服务; 社会化特性; 多视图; 元模型

中图分类号: TP311.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)03-0549-08

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.00784

A Comprehensive Description Model for Web Services

Ma Yu-tao^{①②} Zhang Hai-su^③ Liu Yu-chao^④ Chen Gui-sheng^①

^①(Institute of China Electronic System Engineering Corporation, Beijing 100141, China)

^②(State Key Lab of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

^③(College of Command Automation, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

^④(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In the era of Web 2.0, the convenience of human-network interaction fosters new social characteristics of Web services such as rating, comment, etc., which are often ignored by service providers. So, it is difficult to achieve an efficient User eXperience (UX)-based recommendation of Web services. According to different users' perspectives, this paper presents a comprehensive description model of Web services, and integrates their technical attributes (e.g., operation and message) and social characteristics by means of a multi-view approach. From the viewpoint of logical design, the conceptual model of Web Services Comprehensive Description Model (WSCDM) is given firstly. Then, the meta-model of WSCDM is constructed from the viewpoint of engineering application to guide the design of a specific model. Finally, a case study is shown to verify the feasibility of the presented method. This model and the related tools lay the foundation for active recommendation of Web services in service stores.

Key words: Web service; Social characteristic; Multi-view; Meta-model

1 引言

Web 服务是一种分布式的应用程序, 其接口使用机器可处理的格式描述, 用于支持互联网上可互操作的机-机交互。由于具有语言独立、跨平台、封装良好等特点, Web 服务逐渐成为互联网上一种非常重要的软件资源, 受到研究人员的广泛关注。

“Big” Web 服务和 RESTful Web 服务是目前的两类主流 Web 服务^[1]: 前者依据 WSDL (Web Services Description Language) 标准定义所提供操作的机器可读的描述, 并使用遵循 SOAP (Simple Object Access Protocol) 规范的基于 XML (eXtensible Markup Language) 格式的消息进行通信; 后者基于 REST (Representational State Transfer) 架构^[2], 使用一组统一的“无状态”操作来处理互联网上的资源, 实现更为方便。

为了能让开发者和普通用户更好地理解 and 选择互联网上丰富的 Web 服务资源, 需要一种更加精确

2011-07-29 收到, 2011-11-21 改回

国家 973 计划项目(2007CB310804), 中国博士后科学基金面上项目(20090460107)和中国博士后科学基金特别项目(201003794)资助课题

*通信作者: 马于涛 ytma@whu.edu.cn

的刻画手段,从语义层面对 Web 服务的能力和属性进行描述,便于计算机“了解”其真正含义。OWL-S (Web Ontology Language for Services)和 WSMO (Web Service Modeling Ontology)是目前定义 Web 服务本体(ontology)的两种主要规范,为 Web 服务的提供者 and 使用者构建了“共同理解”的基础。SAWSDL-XMLS (Semantic Annotations for WSDL and XML Schema)^[3]则提供了一种语义标注机制,使用定义好的语义模型(如本体)中的概念来标识已有 WSDL 文档中的构件(如数据元素、操作等),达到消除歧义的目的。类似地,SA-REST (Semantic Annotations for REST)使用元数据丰富互联网上资源的语义信息,便于快速构造“混搭”应用(mashup)^[4]。

另一方面,为了从具有相同或相似功能的 Web 服务集合中筛选出满足需求的高质量服务,有必要对 Web 服务的 QoS(Quality of Service)进行全面客观地描述,即用一种量化的手段来衡量其服务质量的好坏,为自动发现和选择合乎要求的 Web 服务提供依据。研究人员相继提出了各自的“Big” Web 服务 QoS 模型和具体指标及相应的评估方法,W3C (World Wide Web Consortium) 和 OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards)等组织也尝试将其进行标准化,有力地促进了基于 QoS 的“Big” Web 服务动态发现、选择、配置和组合等研究的兴起和快速发展。为了进一步推动面向服务的网络应用走向成熟,与应用领域相关的 Web 服务(包括 RESTful Web 服务)QoS 信息的定制、获取、存储和度量等基础性工作将是今后深入研究的重点^[5]。

上述两方面的研究工作分别从语义理解“能做什么”和质量量化“做得如何”来对 Web 服务(后文不再区分“Big”和 RESTful)进行扩展描述,为实现按需服务奠定了基础。随着 Web 2.0、社会计算等技术的迅猛发展,大众用户(包括开发者和普通用户)借助评分(rating)、标签(tag)、评论(comment)等轻量级方式来表征 Web 服务^[6],反映他们的认知水平、使用体验和协作能力等社会化特征,这赋予了 Web 服务更多的社会化特性。对这类信息的提炼和规范化描述,将有助于实现个性化的 Web 服务搜索和推荐,比如对于符合查询条件的 20 个 Web 服务,使用者往往会优先考虑获得较高用户评价的服务。因此,与传统的对功能和用途的语义理解和质量刻画的 Web 服务描述方法相比,本文的贡献在于从用户(包括大众用户和服务注册中心管理者)不同的视角出发提出一种综合描述模型,以多视图的方

式有机融合 Web 服务的技术特性和社会化特性,辅助服务的个性化搜索和主动推荐,并通过“需求-服务-体验”的反馈模式提升 Web 服务的质量。

本文的结构组织如下:第 2 节介绍 Web 服务综合描述模型的设计思路;第 3 节从逻辑设计的角度构建该模型的概念模型;在此基础上,第 4 节从工程应用的角度给出该模型的元模型;第 5 节给出了一个根据本文所述方法构造的 Web 服务注册库的案例,并与目前主流方法进行了优缺点对比;最后,第 6 节为结束语。

2 设计思路

目前,服务的提供者通常只关注 Web 服务的功能特性(如接口、操作、输入输出参数、消息等)、一些重要的 QoS 属性(如可用性、可靠性等)以及价格等商业特性,却往往忽视了使用者的偏好、体验评价等重要社会化信息,导致其描述信息不够完整,很难针对不同应用领域进行定制和扩展。如何有效发现和充分利用互联网上可用的 Web 服务,即从被动的搜索到主动的推荐,仍然是一个挑战性问题^[7]。仅仅提供描述规范来表征 Web 服务是不够的,应从情境、内容、流程、使用等方面综合考虑,通过语义理解、QoS 量化等手段与大众用户的需求和体验评价进行关联,从而形成一个较为完整的综合性描述模型。

2.1 基本框架

在经典的 SOA (Service Oriented Architecture) 中,服务的提供者、使用者和注册中心的管理者分别从不同的角度审视 Web 服务:对于提供者而言,他们看重的是功能和用途,却往往忽视了使用者的感受和反馈;对于使用者而言,他们看重的是质量和品质,但是在选择时往往会受到其他人的影响;对于注册中心的管理者而言,他们看重的是“各取所需、三方受益”,然而注册、查询和推荐等核心功能的实际效果依赖于 Web 服务特征的刻画程度。三者和 Web 服务的关系类似于 Amazon 的卖家、买家与平台管理者和商品的关系,其成功的大众点评模式不仅有助于实现基于用户体验的服务主动推荐,也有利于提供者改善服务的功能和质量,因为“软件是用出来的”^[8],Web 服务亦是如此。

综合描述模型的基本框架如图 1 所示。服务的提供者从功能和用途的角度出发,给出基本描述信息,包括流程、操作、消息和资源,并发布相应的描述文件(如 WSDL);为方便使用者查询到合适的 Web 服务,注册中心的管理者从语义理解和质量评估的角度出发,在专业的描述信息基础上给出

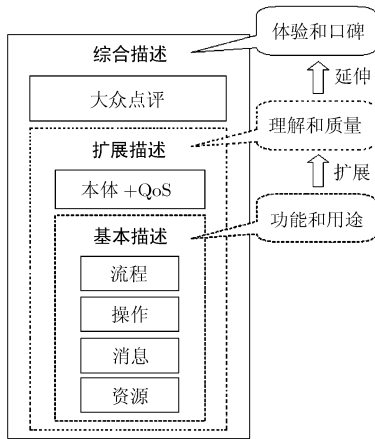


图1 Web 服务综合描述模型的基本框架

语义和 QoS 信息,从而形成扩展描述,如扩展 WSDL 添加 QoS 信息^[9];使用者从体验和口碑的角度出发,给出大众点评信息,将其作为扩展描述的延伸形成综合描述,为提供者改进服务和注册中心的管理者进行服务主动推荐提供依据。针对 SOA,在注册中心的管理者及基础设施的支持下,围绕综合描述模型,服务的使用者和提供者之间形成了一种“需求-服务-体验”的反馈模式,促进 Web 服务的改进和优化。

2.2 多视图组织方式

为了进一步细化图 1 所示的基本框架,本文采用一种轻量级和灵活的方式——多视图来组织 Web 服务综合描述模型的具体内容。每类视图用于刻画与 Web 服务直接相关的提供者、使用者、注册中心的管理者等角色对 Web 服务的不同认识和理解,主要包括如下 5 部分的内容:(1)适用场景,包括针对的问题、描述的侧重点、面向的人群等;(2)主要表达方式,可以是可视化的图形方式,也可以是文本方式,但应存储为通用的机器可处理的 XML 格式文件,借助 XML Schema 规范及相关工具来保证构造的 XML 文档的合法性和完整性;(3)元素目录,包括相关术语、关系和约束条件,对于较为简单的树型目录可采用大类-子类-属性-值的模式进行管理;(4)可变性(variability)指南,即如何根据不同的大众用户需求来配置视图的内容;(5)相关视图信息。

一方面,考虑到大众用户的领域差异和知识背景的不同,在视图中一般会给出相应的术语和缩写词列表及其定义,便于理解;另一方面,为了保证不同视图间的语义一致性(semantic consistency),通常会建立相关的术语映射表,方便沟通。为了实现自动化处理,这两方面的工作可以通过构造领域本体进行语义标识(如 SAWSDL 或 SA-REST 方式)

来完成,如果面向的领域过于宽泛,还可以细分为子领域或更为具体的某类问题^[10]。这样,就形成了以语义理解为基础、以视图模板为核心、面向不同角色的、可配置的 Web 服务综合描述模型。在实际使用中,面向具体的领域,大众用户根据自己的业务需求灵活选择相关视图,配置生成相应的 Web 服务信息。

3 概念模型的设计

根据 Web 服务综合描述模型的设计思路,为了使其具有良好的通用性和可重用性,应首先从逻辑设计的角度出发,为其构造独立于实际设计或实现考虑(如数据结构、存储方式等)的概念模型,以明确描述 Web 服务时需要用到的核心概念及其之间的关系和约束条件。

3.1 顶层概念

图 2 显示的是 Web 服务综合描述模型的主要顶层概念,使用 ER 图(Entity Relationship Diagram)的方式表示。从 SOA 的角度看,有 3 类用户会关注和使用本文提出的综合描述模型,即普通用户、开发者和注册中心的管理者,他们都有自己唯一的标识符和用户名。对于综合描述模型而言,它由一系列视图组成,每个视图用于描述 Web 服务的不同方面,包括轮廓(profile)信息、功能信息、非功能信息、商业信息、社会化信息以及其他信息,提供给不同角色的用户;通过 MDA (Model-Driven Architecture)的方式,综合描述模型可实例化为具体的 Web 服务(描述信息),呈献给用户他们感兴趣的视图内容。

3.2 视图层概念

视图(概念)是 Web 服务综合描述模型的概念模型中的一个重要元素,应对它进行细化分析,视图

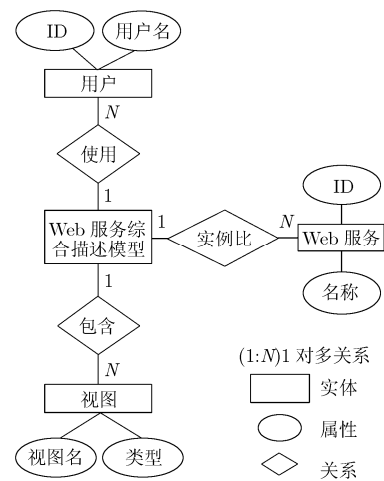


图2 Web 服务综合描述模型的主要顶层概念

层的主要概念如图3(ER图方式)所示。虽然在构造不同视图时会要求其内容尽量不重合,但事实上在服务注册时建立简单的语义关联和基于用户选择的“同现”关联(同一角色的用户在描述时选择的所有视图,两两之间称为同现),会有助于完善服务的描述信息,实施精准推送^[11]。如图3所示,一个视图包含一个视图模板,视图模板的表示形式取决于用户,可视化的图形方式和文本方式均可。为了实现方便,视图中的元素目录可转换为描述项列表,类(如概念“人”)或者属性(如概念“年龄”作为“人”的属性)都可作为一个描述项,具有明确的类型和值,用于规范Web服务的描述信息;描述项之间可以进行关联,构成不同类型的关系,并施加相应的约束条件。此外,可变性指南是根据用户需求调整视图内容的规则,可以通过添加、删除和配置描述项,实现视图内容的动态重配置,方便用户使用。

3.3 视图模板示例

图4给出了一个视图模板及其之间语义关联的例子,其中描述项按<名称:类型>的方式定义。轮廓视图用于描述Web服务的概要性信息,如类型、提供者、可用性、评分等,这些描述项在其他视图也有定义,为了保持语义的一致性,建立对应描述项之间的“等同”(sameAs)关系(本质上也是一种语义关联)。功能视图用于描述Web服务的主要用途和接口细节,如操作的输入输出、采用的协议等,这些信息可以从WSDL或RESTful Web API(Application Programming Interface)描述文件中自动解析获得。对于普通用户而言,他们并不关心功能实现的细节,可以通过标签对Web服务进行标识和分类,便于实现快速搜索。非功能视图用于描述Web服务的质量信息,包括可用性、可靠性、性能(响应时间、吞吐量等)等一些重要非功能属性,建立它们(如图4中所示的可用性)与评论间的语义关联,有助于收集大众用户对Web服务质量的评价,帮助服务的提供者加以改进。商业视图用于描述Web服

务的商业信息,如提供者、信誉、价格、用户满意度等,建立评价数与大众认知度、好评率与用户满意度之间的语义关联,能让服务的提供者更深入地了解大众的反响,从而调整自己的商业策略。社会化信息视图用于描述个性化的大众点评信息,包括评价者、评分、标签、评论等^[12],作为主动推荐或精准推送的依据。此外,如果有无法归为上述5类的描述项,可以统一放置到其他视图中,这里不再赘述。

4 元模型的构建

设计的概念模型,从逻辑上明确了Web服务综合描述模型包含的实体、实体的属性、实体间的关系,以及针对模型元素完整性(integrity)的约束。为了支持MDA的开发方式,有必要进一步对Web服务综合描述模型进行抽象,构造其元模型,即在MOF(Meta-Object Facility)体系下使用UML(Unified Modeling Language)来构建其元模型,并通过UML提供的构造型(stereotype)、标记值(tagged value)和约束(constraint)方式^[13]进行扩展。

图5显示的是使用UML表示的Web服务综合描述模型的元模型。通过继承UML元模型中的命名的元素(NamedElement)类,来构造图2中的用户概念对应的类。对于用户而言,其类型为枚举变量,共有普通用户、开发者和注册中心管理者3种。虽然多个用户可使用相同的Web服务综合描述模型,但由于知识背景和兴趣爱好不同,他们所关注的内容并不一样,表现为不同的视图内容。为了便于管理Web服务综合描述模型的内容,这里通过继承UML元模型中的命名空间(Namespace)类来构造图2中的Web服务综合描述模型概念对应的类。在公共的命名空间中,概念冲突和语义不一致性问题更容易得到解决。

视图是Web服务综合描述模型的重要组成部分,其类型是枚举变量,在本文中共有轮廓视图、功能视图、非功能视图、商业视图、社会化信息视

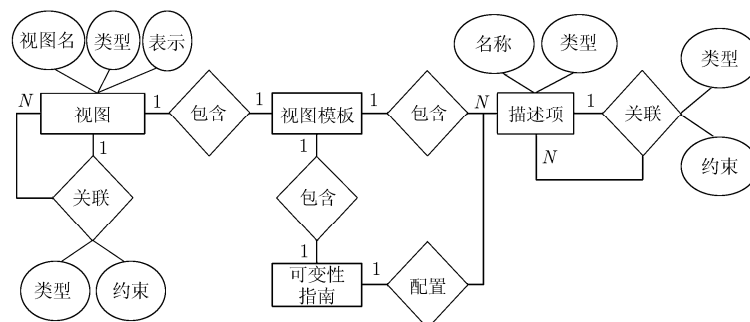


图3 视图层的主要概念

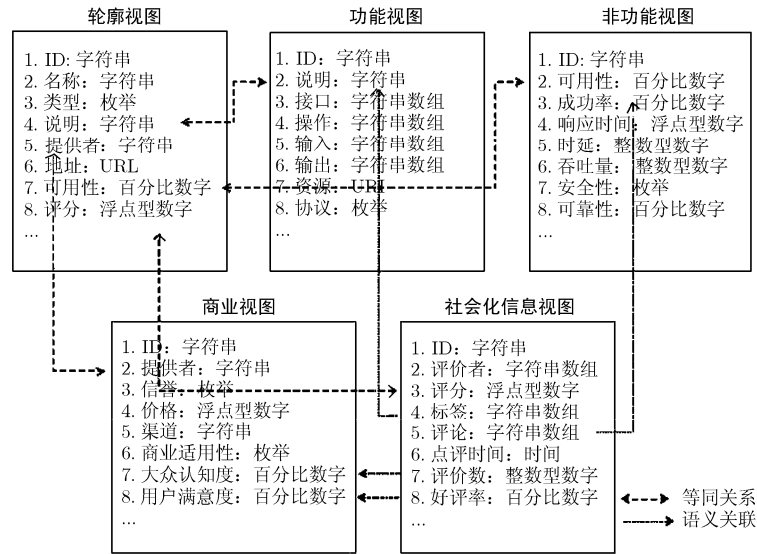


图4 视图模板及其之间的语义关联示例

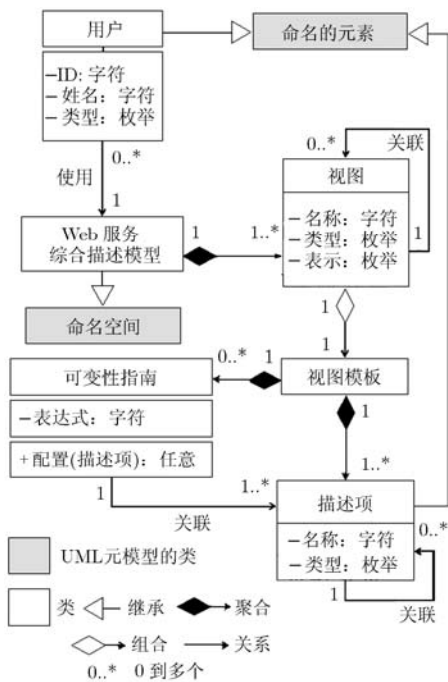


图5 使用 UML 表示的元模型

图和其他视图 6 种，当然用户也可以利用 UML 的扩展机制，自行定义内容尽量不重合的各种视图。此外，视图有图形和文本两种等价的表示方式，为了便于机器处理，建议以基于 XML 的文档为宜。每个视图有一个视图模板，用于描述 Web 服务的各种信息。描述项是视图模板的核心元素，通过继承 UML 元模型中的命名的元素类来构造图 3 中描述项概念对应的类。对于描述项而言，其类型也是枚举变量，对应 RDF (Resource Description Framework) /XML 支持的所有数据类型。同一视图中的描述项

之间往往存在关系，如图 4 中的输入、输出就是操作的属性，它们之间存在“Attribute-of”的关系；类似地，不同视图中的描述项之间有时也存在关系，如图 4 中的语义关联关系，它们将结构上独立的视图串联起来，便于针对用户的查询请求进行语义搜索和推理。

5 应用案例分析

构造 Web 服务综合描述模型，是为了让服务的提供者、使用者和注册中心的管理者对所关注的 Web 服务有更全面的认识，而不仅仅局限于技术性描述和语义理解。集成现有技术和开源工具，开发相应的支撑软件工具，并搭建 Web 服务注册库平台，是非常有必要的。接下来，以一个案例来说明模型的实现过程和应用情况。

5.1 模型的实现

按照 MDA 方式，根据图 5 所示的元模型来构造 Web 服务注册库管理应用程序，有如下两种途径：

(1)按照图 4 所示的视图模板，为每个视图编制具体的描述项，绘制成 UML 类图。该类图是图 5 所示的元模型的实例，即一个具体的 Web 服务综合描述模型。Eclipse 的 EMF (Eclipse Modeling Framework)插件提供了相应的类图工具，支持从类图到 Java 代码的直接生成，并能自动保持代码和类图的一致性。此外，EMF 与 GEF (Graphical Editing Framework)的无缝集成，使得构造这些模型元素的用户界面更为便捷。如果管理的 Web 服务的注册信息量有限，且描述项的类型较为明确，建议采用这种开发方式。

(2)按照图 5 所示的元模型，使用 UML 工具(如



图 6 轮廓视图、功能视图和非功能视图的用户界面

ArgoUML)绘制 UML 类图。目前,大多数的 UML 工具都支持将类图直接转换为 XMI (XML Metadata Interchange)格式文件,使用 XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformations)能够较方便地将 XMI 中的标签映射为 XML Schema 的元素^[14],如:UML: Model 可转换为 xs: schema,将命名空间从模型名导出;UML: Class 可转换为全局 XML 元素声明 xs: element, UML: Attribute 可转换为局部 XML 元素声明 xs: element。在此基础上,借助 JAXB (Java Architecture for XML Binding)工具能够方便地操作和管理 XML 文档与 Java 代码,实现预定的功能。从模型重用和维护的角度讲,这种方法比第 1 种方法好,但在开发的初期阶段花费的代价会更大,如将 UML 元模型映射为 XML Schema 时,能识别的 UML 概念越多,编制 XSLT 的工作量就越大。

5.2 描述一个 Web 服务的注册信息

与武汉大学软件工程国家重点实验室合作,在其构建的软件/服务注册库平台(<http://www.s2r2.org/>)环境中实现了 Web 服务信息注册的主要功能。以一个服务提供者为例,自动生成轮廓视图、功能视图和非功能视图的用户界面,在预先构造的本体支持下,辅助完成各视图中描述项信息的填写

和注册存储,供该平台的其他用户查询和使用。如图 6 所示,服务基本信息、输入输出功能信息和质量属性信息分别源自轮廓视图、功能视图和非功能视图,包含服务名称、输入输出参数、可用性等主要描述项,其中服务名称、输入输出参数和操作描述信息自动从提供的 WSDL 文件中解析生成;依据 ISO/IEC 19763-3(本体注册元模型)标准^[15],构造物流领域本体用于标识输入输出参数中术语的明确含义,如利用本体中供应商的子类概念“订单经理”来定义输入参数中的术语 OrderAdministrator,方便用户进行语义查询。此外,为服务的使用者也提供了社会化信息视图功能,主要包括标签、评分和评论 3 种描述项,即将上线试运行,将为软件/服务注册库平台转型成应用/服务超市(App/Service Store)奠定基础。

目前,Web 服务描述语言规范主要有:IBM 和微软等公司倡导的 WSDL、美国国防部先进研究项目局 DARPA 发起的 OWL-S(类似的有欧盟推行的 WSMO)和欧盟最新发起的 USDL (Unified Service Description Language)^[16,17],Web 服务注册规范主要有 UDDI。本文所提出的 Web 服务综合描述模型(WSCDM)与上述规范的特点对比,如表 1 所示。除了 OWL-S,其余 4 种都需要借助本体或元数据来

表 1 各种规范的特点对比

规范	涉众对象	服务种类	组织方式	使用目的	社会化信息	认可程度
WSDL	D	S	技术视图	系统构造	无	W3C 推荐标准
OWL-S	D	S	技术视图	系统构造	无	W3C 推荐标准
USDL	U, D	S, R	多视图	支持服务推荐	无	W3C 立项研制
UDDI	U, D, M	S	技术视图	系统构造	无	OASIS 推荐标准
WSCDM	U, D, M	S, R	多视图	支持服务推荐	有	ISO 立项研制

进行语义标识^[3,4], 服务质量的信息则需要对基本的描述文件(如 WSDL)进行 QoS 扩展^[9]。从涉众对象(stakeholder)看, WSDL 和 OWL-S 一般只针对开发者(D); UDDI, WSCDM 和 USDL 还考虑注册中心的管理者(M)和普通用户(U)。从支持的服务种类看, WSDL, OWL-S 和 UDDI 一般只针对基于 SOAP 协议(S)的 Web 服务, USDL 和 WSCDM 还可支持基于 REST 架构(R)的 Web 服务。从自身的组织方式看, WSDL, OWL-S 和 UDDI 侧重于单一的技术视图, 因此它们多用于系统的构造, 不包含任何社会化信息; USDL 和 WSCDM 包含多视图, 描述信息更丰富, 适合进行服务推荐, 但前者目前还未包含大众点评等社会化信息。最后, 从规范的认可程度看, WSDL, OWL-S 和 UDDI 已分别是 W3C 和 OASIS 的推荐标准, 而 USDL 和 WSCDM(针对服务注册的元模型, ISO/IEC 19763-7)才分别由 W3C 和 ISO 开始立项研制。

5.3 社会化信息对服务选择的影响

目前, 软件/服务注册库平台中基于上述方法注册的 WSDL 文件超过 3400 个, mashup 应用超过 4500 个。一方面, 以自动解析出的标签作为 Web 服务的索引, 通过与领域本体中的概念进行语义匹配, 提高了关键字查询的准确性^[9]。另一方面, 大众的评分和评注信息能辅助使用者从规模较大的候选集中选择合适的服务, 抽取相关的策略和规则有助于类似的服务注册中心的管理者实现主动推荐。

如果对某个候选 Web 服务感兴趣, 用户一般会查看其详细信息, 因此可以将访问量作为实际选择的近似指标。针对 WSDL 和 mashup, 各随机输入 2 个关键字, 获得相应的候选服务集。使用皮尔逊(Pearson)相关系数来度量社会化信息对服务选择的影响, 如表 2 所示。其中, *和**分别表示 95%和 99%的显著性水平。从表 2 可以发现: 评论数与访问量成较为明显的正相关, 表明用户具有“凑热闹”的猎奇心理, 即用户看到有评论的 Web 服务会倾向于查看其详细信息; 评分和好评率与访问量的正相关性系数更高, 表明用户更倾向于查看大家都认为好的 Web 服务, 体现出富者愈富的“马太效应”。

表 2 实验数据及结果

服务类型	关键词	服务数	评论数-访问量	评分-访问量	好评率-访问量
WSDL	email	165	0.574**	0.627**	0.618**
	weather	46	0.522**	0.585*	0.582*
mashup	map	59	0.531**	0.602**	0.593**
	search	39	0.508**	0.579*	0.582*

进一步地, 以评论数和评分作为指标, 分别将平台中的所有 Web 服务划分为两组, 使用箱线图(box-and-whisker plot)来展示每组 Web 服务的访问量的区别, 如图 7 所示。图中, 6 和 3.9 分别表示论文撰写时所有 Web 服务的评论数(整数型)和评分(浮点型)的均值; “箱”覆盖数据集的第 1 和第 3 四分位数区间, 其中短的粗线表示访问量的中位数, “箱”两端的“须”延伸到数据集的最大值和最小值; p 值表示观察到两组服务的访问量的差异是偶然的期望概率, 使用 Kruskal-Wallis 测试方法计算。两组服务的访问量在整体上的统计差异显著(显著性水平高于 99%), 而且以评分作为指标的分组对应的访问量在整体上区分更为明显, 表明在本实验中用户确实更倾向于查看(并可能进一步选择)大众公认的好服务, 为开发主动推荐和精准推送算法提供了重要的实践依据。

6 结束语

随着互联网的快速发展, Web 服务的作用日益显现。服务的提供者、使用者和注册中心的管理者对 Web 服务的不同认识和需求, 导致其社会化特征越来越明显, 单纯关注技术属性已不能满足服务搜索和推荐的要求。针对上述情况, 本文提出了一种 Web 服务综合描述模型, 面向互联网环境中服务资源的特点, 从情境、内容、流程和使用等方面综合考虑其技术属性和社会化特征, 并使用多视图的方式进行组织, 力图突破传统的对功能和用途的语义理解和质量刻画描述规范, 为服务超市中服务的主动推荐奠定基础。从逻辑设计的角度出发, 首先给出了其概念模型, 明确描述 Web 服务时需要用到

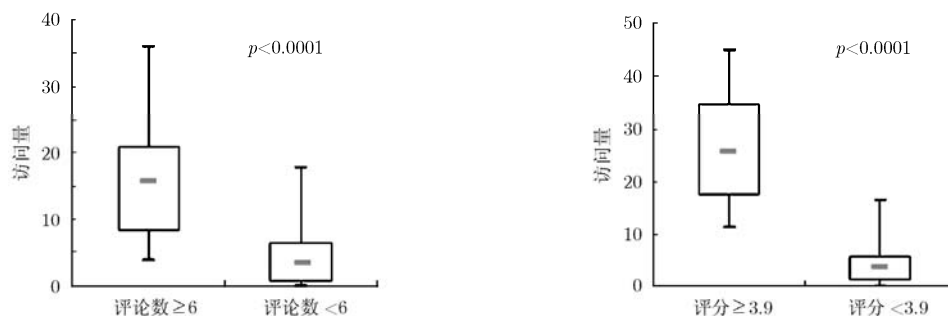


图7 根据评论数和评分分类的访问量的箱线图

的核心概念及其之间的关系和约束条件；然后，从工程应用的角度进一步对Web服务综合描述模型进行抽象，构造其元模型，便于共享和重用；最后，根据一个应用案例，验证了方法的可行性，并与相关主流规范对比，展示各自的特点。

抽象性、通用性和综合性是今后Web服务描述规范应具有的特点，进一步的工作包括：(1)对Web服务综合描述模型进行形式化描述，确保语法和语义的完整性和一致性；(2)以实验平台为基础，收集真实的用户点评信息，研发面向服务超市的主动推荐算法和工具。

致谢 诚挚感谢武汉大学软件工程国家重点实验室的何克清教授、李兵教授、冯在文博士、曾诚博士后对本文工作的大力支持和宝贵建议。

参考文献

- [1] Pautasso C, Zimmermann O, and Leymann F. Restful web services vs. "big" web services: making the right architectural decision [C]. International World Wide Web Conference, Beijing, China, Apr. 21-25, 2008: 805-814.
- [2] Fielding R T. Architectural styles and the design of network-based software architectures [D]. [Ph.D.dissertation] University of California, Irvine, 2000.
- [3] Kopecký J, Vitvar T, Bournez C, et al. SAWSDL: semantic annotations for WSDL and XML schema [J]. *IEEE Internet Computing*, 2007, 11(6): 60-67.
- [4] Lathem J, Gomadam K, and Sheth A P. SA-REST and (S)mashups: adding semantics to RESTful services [C]. IEEE International Conference on Semantic Computing, California, USA, Sept. 17-19, 2007: 469-476.
- [5] D'Mello D A and Ananthanarayana V S. Dynamic selection mechanism for quality of service aware web services [J]. *Enterprise Information Systems*, 2010, 4(1): 23-60.
- [6] Bouillet E, Feblowitz M, Feng H, et al. A folksonomy-based model of web services for discovery and automatic composition [C]. IEEE International Conference on Services Computing, Hawaii, USA, July 8-11, 2008, Vol.1: 389-396.
- [7] Zhao C, Ma C, Zhang J, et al. HyperService: linking and exploring services on the web [C]. IEEE International Conference on Web Services, Florida, USA, July 5-10, 2010: 17-24.
- [8] 李兵, 黄永峰. 按需服务的网络化软件开发[J]. 中国计算机学会通讯, 2009, 5(12): 17-26.
- [9] Li B and Huang Y F. Development of on-demand service of networked software [J]. *Communications of the CCF*, 2009, 5(12): 17-26.
- [9] Tsihrintzis G A, Virvou M, and Jain L C. Multimedia Services in Intelligent Environments: Software Development Challenges and Solutions [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010: 81-103.
- [10] Zeng C, He K, Li B, et al. On ontology management in semantic web service registry [C]. International Conference on Grid and Cloud Computing, Nanjing, China, Nov. 1-5, 2010: 444-449.
- [11] Chen S, Feng Z, Wang H, et al. Building the semantic relations-based web services registry through services mining [C]. IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, Shanghai, China, June. 1-3, 2009: 736-743.
- [12] 李德毅, 张海粟. 超出图灵机的互联网计算[J]. 中国计算机学会通讯, 2009, 5(12): 8-17.
- [12] Li D Y, Zhang H S. Cloud computation beyond Turing machines [J]. *Communications of the CCF*, 2009, 5(12): 8-17.
- [13] Booch G, Rumbaugh J, and Jacobson I. The Unified Modeling Language User Guide [M]. (1st Edition), Addison-Wesley Professional, 1998: 261.
- [14] Kovse J and Härder T. Generic XMI-based UML model transformations [C]. International Conference on Object-Oriented Information Systems, Montpellier, France, Sept. 2-5, 2002: 192-198.
- [15] ISO/IEC 19763-3, Information technology — Meta-model framework for interoperability (MFI) — Part 3: Meta-model for ontology registration [S]. ISO, 2010.
- [16] Cardoso J, Barros A, May N, et al. Towards a unified service description language for the internet of services: requirements and first developments [C]. IEEE International Conference on Services Computing, Miami, USA, July 5-10, 2010: 602-609.
- [17] Charfi A, Schmeling B, Novelli F, et al. An overview of the unified service description language [C]. IEEE European Conference on Web Services, Ayia Napa, Cyprus, Dec. 1-3, 2010: 173-180.
- 马于涛: 男, 1980年生, 博士后, 研究方向为软件工程、服务计算。
- 张海粟: 男, 1982年生, 博士生, 研究方向为数据挖掘、复杂网络。
- 刘玉超: 男, 1981年生, 博士生, 研究方向为人工智能、云计算。