

语义 Web 服务组合综述

崔 华¹ 应 时¹ 袁文杰¹ 胡罗凯^{1,2}

(武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)¹ (湖北第二师范学院计算机学院 武汉 430205)²

摘 要 语义 Web 服务的目标是,利用语义 Web 技术将 Web 服务的静态描述和动态行为与功能有机地结合起来,解决 Web 服务的自动发现、组合和执行等问题。语义 Web 服务组合是服务资源重用的一种重要方式,也是语义 Web 服务研究领域的一个重要内容,它以现有的语义 Web 服务资源为基础,通过服务组合为基于 Internet 的大规模复杂应用提供新的、更多的可用资源。首先对语义 Web 服务相关的基本概念进行归纳和总结,概述语义 Web 服务组合的研究内容和目标,然后根据语义 Web 服务组合中使用的方法学对其进行分类并分析这些方法的实现过程和特点,最后总结全文,指出下一步的研究方向。

关键词 组合方法,语义 Web 服务,本体,语义推理

Review of Semantic Web Service Composition

CUI Hua¹ YING Shi¹ YUAN Wen-jie¹ HU Luo-kai^{1,2}

(The State Key Lab of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)¹

(Computer School, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)²

Abstract Semantic Web Service is designed to achieve effective automation of Web Service discovery, composition, and execution. As Semantic Web technology maturing and Web Services proliferating in internet, Semantic Web Service composition (SWSC) becomes a feasible and practicable way to enable software developers to create applications and systems rapidly. We gave some basic notions and recent research of SWSC, and then classified SWSC approaches according to the methodology they used. Furthermore, we analysed every approach's motivation and its shortages, as well as outlined the essential problems of SWSC. Finally, we concluded and discussed the developing trends.

Keywords Composition approaches, Semantic Web Service, Ontology, Semantic reasoning

1 引言

随着 Web 服务相关标准的持续改进和完善,越来越多的企业都将其业务功能和流程封装成标准的 Web 服务发布出去,为基于 Internet 的应用开发提供了丰富的资源^[1]。在应用领域,企业的 IT 系统为了能够应对复杂多变的应用环境,大都将系统构建在面向服务的架构(Service-Oriented Architecture, SOA)基础之上,进而根据环境的变化快速地调整应用,以适应业务需要,企业应用系统的开发也可以通过日益成熟的 Web 服务技术构建^[2]。但是传统的 Web 服务协议栈没有为服务发现、组合和执行提供通用的机制,因而无法支持 Web 服务之间的动态交互和组合^[3]。语义 Web 和 Web 服务的结合,使这一问题的解决成为可能。在语义 Web 服务出现后,学术界和工业界围绕如何利用语义 Web 技术,通过服务组合重用现有的、丰富的 Web 服务资源,快速生成新的、能够满足复杂应用的服务资源进行了深入的研究,提出了一系列语义 Web 服务组合方法。

本文第 2 节根据当前语义 Web 服务研究的成果,给出语

义 Web 服务和语义 Web 服务组合的定义;第 3 节根据语义 Web 服务组合中使用的方法学对其进行分类,并指出它们的局限性;第 4 节给出语义 Web 服务组合的研究内容和关键问题;最后总结全文,展望未来的工作。

2 基本概念

2.1 语义 Web 服务

Web 服务利用广泛使用的 Internet 协议在分布节点之间传递消息,基于任何平台和编程语言的应用都可以通过标准的技术和协议方便地对其进行访问,为编程语言、操作系统和平台异构的软件系统之间的交互与协同提供了物理上的互操作基础。近年来,网络上 Web 服务数量急剧增长,人工从 Internet 上发现一个满足需要的服务变得困难而耗时^[4]。为了让 Web 服务成为计算机可理解的软件实体,人们将语义 Web 技术引入 Web 服务,形成了能够在语义层面支持 Web 服务之间互操作的语义 Web 服务,让基于 Web 服务的应用更为灵活、智能^[5]。

当前对语义 Web 服务的定义已经很多。我们在综合已

到稿日期:2009-06-26 返修日期:2009-09-10 本文受国家重点基础研究发展规划(973)(2007CB7310800),国家自然科学基金(60773006),高等学校博士学科点专项科研基金(20060486045)资助。

崔 华(1977—),男,博士生,主要研究方向为面向服务的软件开发、形式化方法, E-mail: cuihua_com@126.com; 应 时(1965—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为面向服务的软件工程方法、基于组件的软件工程方法、软件体系结构和模式、软件的可重用性与互操作性等。

有研究成果的基础上^[2,4,6,7],将语义 Web 服务定义为:语义 Web 服务是由良定的、具有丰富语义信息的描述语言描述的 Web 服务,基于 Web 的软件系统和应用终端能够通过语义推理实现服务发现、选择、组合以及执行的智能化和自动化。

2.2 语义 Web 服务组合

Web 服务组合是通过组合基本 Web 服务提供增值服务的能力^[7]。服务组合既是服务资源重用的一种重要方式,也是构建基于 Web 的复杂应用系统和软件的一种新的途径^[8]。一方面,Web 服务标准的不断成熟和与各种基础设施的不断完善,促进了基于 Web 服务的应用开发的发展;另一方面,Web 服务是由不同的服务提供者开发的,因此在开发语言、运行平台等方面具有异构性,这就使得传统的基于语法的服务匹配难以适应复杂网络环境下的应用需求。在这种环境下,如何利用语义 Web 技术描述 Web 服务,实现语义 Web 服务组合的智能化与自动化,成为 SOA 的一个研究重点。

本文在 Web 服务组合综述文献的基础上^[2,9,10],结合语义 Web 服务组合的研究对象与目标,将语义 Web 服务组合定义为:语义 Web 服务组合是以语义 Web 服务为研究对象,充分利用 Web 服务语义描述文档提供的静态知识和服务的能力,使用语义推理技术查找能够以给定参数为输入,执行后可以产生期待输出的 Web 服务集,并将它们有机地组织起来,以形成粒度更大、功能更强、新的增值服务或者系统的过程。

3 研究现状

语义 Web 服务组合的研究目标是充分利用语义 Web 中本体提供的静态知识和 Web 服务能力,通过语义 Web 服务推理技术实现 Web 服务资源管理的智能化,解决 Web 服务资源在语义 Web 中的自动发现、组合和执行问题^[11]。本节首先对语义 Web 服务组合方法进行分类,然后对这些方法进行分析,阐述各种方法的特点和局限性。

3.1 语义 Web 服务组合方法

在语义 Web 服务研究领域,围绕语义 Web 服务组合,已经有大量的研究机构 and 研究人员对其进行了广泛和深入的研究,并取得了一些阶段性的成果。本文根据语义 Web 服务组合使用的方法学将其分为 3 类^[2,9,10]:基于工作流的语义 Web 服务组合、基于人工智能的语义 Web 服务组合以及基于其他方法的语义 Web 服务组合。

3.1.1 基于工作流的语义 Web 服务组合

基于工作流的 Web 服务组合源于对工作流管理系统的研究^[9,10],它利用 Web 服务组合与过程模型的相似性,以工作流建模语言为核心,使用过程建模语言和工具建模业务过程,定义组合框架,然后通过服务发现,利用具体服务“替换”相应活动,进而获得有效的、可执行的服务组合方案。当前 BPEL4WS 已经成为基于 Web 服务开发可执行业务过程的业界标准。在语义 Web 服务出现后,如何将基于工作流的服务组合技术应用到语义 Web 服务组合中,是语义 Web 服务研究领域的一个重要内容。

基于工作流的语义 Web 服务组合通过业务流程建模组合过程,不仅能够直观地表达用户需求,而且组合系统相对容易实现,因而得到产业界和学术界高度重视。根据服务组合的动态性、灵活性和组合方案的生成方式的不同,基于工作流

的语义 Web 服务组合可以通过 3 种不同的方式实现,即基于服务模板^[12,13]、基于工作流本体^[14,15]以及基于 MDA 的语义 Web 服务组合^[16]。

基于服务模板的语义 Web 服务组合为服务组合者提供了服务模板,通过服务模板,可以设置服务的功能、输入、输出以及 QoS 等语义信息,进而描述目标服务,定义组合流程,生成组合方案^[9,10]。使用这种方法产生的组合方案,在执行时需要通过服务发现和动态绑定将抽象的服务组合方案转换成静态的组合流程。基于模板的语义 Web 服务组合可以追溯到美国佐治亚大学计算机系 LSDIS 实验室的研究项目 MET-ERO-S^[12]。METERO-S 将服务组合划分为描述标注和发布、抽象过程生成、服务发现和编排 4 个阶段,利用语义信息表示 Web 服务之间的复杂交互关系,将语义的使用贯穿服务组合的整个生命周期。国内,胡海涛等人也提出了一种基于服务模板的大粒度服务组合方法 TROLL^[13]和业务段服务组合语言 VINCA^[5]。该方法面向业务用户,通过服务模板规约组合目标,以 Web 服务为服务组合的操作对象,利用消息链接定义 Web 服务之间的逻辑关系,直观地描述组合服务。该方法不仅能够业务层透明地构造大粒度的组合服务,而且能够利用业务过程中的多约束参数进行求解,为大粒度的服务组合提供了一种简单、易用的手段。

基于工作流本体的语义 Web 服务组合,利用业务过程本体定义领域中通用的业务过程,进而能够在服务组合时通过语义推理,识别服务之间的业务逻辑关系,构建能够满足服务组合者需要的组合服务。文献^[14]提出了建立领域任务本体,以动态生成工作流的服务组合方法。文献^[13]提出了一种基于工作流本体的语义 Web 服务组合方法,该方法通过构建能够表达业务过程和服务关系的本体体系,利用本体中服务的层次关系和语义概念间的相似性,在形式化推理技术的支持下实现语义 Web 服务的自动组合。

基于 MDA 的语义 Web 服务组合利用模型检验的思想,从服务消息序列和消息参数类型的角度来产生满足查询的组合服务。文献^[16]提出了一种利用 MDA 方法学设计和开发基于 WSMO 标准的语义 Web 服务应用系统以及相关组件,该方法以现有的业务过程建模方法和 Web 工程模型为基础,能够半自动地抽取语义描述,不仅能够屏蔽语义处理的复杂性,而且能够有效地提高系统设计的质量,为跨企业复杂应用系统的开发提供指导。

3.1.2 基于人工智能的语义 Web 服务组合

基于人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 的语义 Web 服务组合^[17-20]将 Web 服务作为人工智能中的动作,通过 IOPEs (input, output, precondition 和 effect) 描述 Web 服务的功能和行为,在组合时将其映射为动作的形式化描述,最后使用形式化推理和公理产生满足需求的组合服务。本文根据服务组合算法的理论基础将其分为 3 类:基于规划方法、基于情景演算以及基于规则的语义 Web 服务组合。

基于 AI 规划方法的语义 Web 服务组合是当前服务组合研究中的一个热点,它将组合问题转换为人工智能领域中的规划问题^[17]。在早期研究中,基于 AI 规划的服务组合主要是基于层次任务网络 (Hierarchy Task Network, HTN) 的服务组合^[17,18]。2003 年马里兰大学的 J. Hendle 等人开发了 SHOP2^[18],成功地将 HTN 技术用于 Web 服务组合,随后 D.

Nau 对其进行了扩充和发展^[19,20],提高了该方法的实用性。

情景演算是由美国斯坦福大学人工智能实验室麦卡锡在 1964 年提出来的用于表示动作和变化的理论。文献[21]通过对基于情景演算的逻辑编程语言——Golog 进行扩展,提出了一种基于 DAML-S 和 Agent 的自动组方法。该方法在服务组合时,首先利用 OWL-S 从操作、数据和服务等层面对 Web 服务进行语义描述,然后用情境演算中活动的前提条件描述每一个原子流程的前提条件,将 Web 服务的语义描述模型转换成情境演算下的公理,从而将服务组合问题转换为一个满足目标属性的程序执行问题而求解^[21]。

基于规则的语义 Web 服务组合划分为组合请求规约、服务匹配、选择优化以及组合方案生成 4 个阶段^[22]。Medjahed 在 2003 年提出了一个多层的、基于规则的组合模型^[6],它利用预定义的规则计算不同服务之间的语义相容性,利用组合请求规约语言描述组合需求,能够在语义 Web 中利用规则和服务模板组合 Web 服务,并将其成功地应用到电子政务领域。文献[23]提出一种最小执行代价的基于规则的服务组合方法,该方法采用规则对 Web 服务进行建模,使用参数本体来消除语义冲突,同时定义了一个演绎网络,使用后向演绎方法进行服务发现,进行服务组合,产生最优方案。

3.1.3 基于形式化方法的语义 Web 服务组合

语义 Web 服务通过本体(Ontology)中的概念和关系来表达语义信息^[11],因而学术界利用语义 Web 提供的服务推理功能,借助数学方法和形式化工具研究语义 Web 服务自动组合,形成了基于状态演算^[24-26]、基于进程代数^[27-29]以及基于描述逻辑^[11,30,31]的语义 Web 服务组合方法。

基于状态演算的语义 Web 服务组合有两类:基于 Petri 网的语义 Web 服务组合和基于自动机的语义服务组合。文献[24]提出了一个面向消息的基于 Petri 网的 Web 服务组合方法,该方法以元消息作为消息传递的基本单位,利用消息的状态描述服务内部的状态,通过提供一系列的操作使 Web 服务具有消息处理能力。文献[25]将 Web 服务转化为一组 Horn 子句规则,用户请求中的输入、输出转换为 Horn 子句中的事实和目标,从而将用户请求的可满足问题转换为 Horn 子句的逻辑推理问题,最后通过 Petri 网为 Horn 子句建模,并使用 T-不变量技术判断用户请求的可满足性。文献[27]使用状态转换系统建模 Web 服务,将语义 Web 服务组合转换为具有依赖关系的 Web 服务的笛卡尔积的构建问题。

进程代数是使用代数方法研究通信并发系统的理论的泛称,它包括 π 演算(π -Calculus)、通信系统演算 CCS(Calculus of Communication Systems)。进程代数能够描述和分析并发、异步、非确定的分布式系统的行为,对动态实体进行建模,因而将进程代数引入语义 Web 服务组合,能够为其提供严密的形式化语义。文献[28,29]利用 π 演算对 Web 服务及其组合进行形式化描述和建模,并且通过形式化工具对生成的组合服务进行了正确性验证。在侯丽珊等人的研究中也把 π 演算用于服务组合的需求可满足性验证^[30]。

动态描述逻辑(Dynamic Description Logic, DDL)将静态的知识表示和动态的推理相结合,形成一种统一的形式化框架,具有清晰的语义特征,既提供了可判定的推理服务,又能有效地对动态过程和运行机制进行表示和推理^[11,21]。中科院史忠植研究员在传统的描述逻辑基础上构建了能够描述

Web 服务动态行为的动态描述逻辑,并以此为基础,提出了基于主体的语义 Web 服务组合^[30]。该方法将语义 Web 服务形式化为智能主体的动作,进而能够在知识库的支持下,建模语义 Web 服务,利用主体的目标驱动性、自治性和推理性,为语义 Web 服务的自动发现和组合提供有效的支持,实现语义 Web 服务的自动组合。文献[31]采用描述逻辑公理来刻画服务的 IOPE,在扩展基于动态描述逻辑的规划方法的基础上,提出了一种将语义 Web 服务组合转化为描述逻辑推理问题的方法,进而利用描述逻辑在语义 Web 中实现服务组合。

3.2 研究现状分析

当前,语义 Web 服务组合研究的基本思想是通过建立一个能够在多个层面上描述 Web 服务的描述模型,为服务组合提供更为精确和通用的语义信息,然后以此为基础,利用语义推理技术实现服务发现、选择、组合和执行的智能化、自动化。根据语义 Web 服务组合中服务组合关注点^[4,31]的不同,可以将其划分为功能层面(Function Level Composition, FLC)和过程层面(Process Level Composition, PLC)的语义 Web 服务组合^[4,5,32]。FLC 将 Web 服务看作是由 IOPEs 描述,以 request-response 方式异步执行的原子组件,而 PLC 将 Web 服务看作是内部由顺序、迭代和同步等复杂协议构成的有状态的过程,涉及到与服务交互时使用的消息协议^[4,5]。FLC 忽略服务的内部结构,通过语义相似性函数^[6]预先计算不同服务之间的语义相似度,将服务组合限定在由输出、输入参数之间语义关联的 Web 服务集中,进而在确定的搜索空间中利用规划算法进行服务查找,能够提高服务组合的效率。PLC 面向服务的行为使用状态转换系统^[31,32]建模 Web 服务,利用模型检验的思想和服务间的行为依赖关系,从服务消息序列和消息参数类型等方面进行服务匹配,产生满足查询的组合服务。表 1 从研究的角度、方法学等方面对当前几种主流的语义 Web 服务组合方法进行了比较。

表 1 语义 Web 服务组合方法概览

方法	基于工作流	基于 AI 方法	基于形式化方法
内容			
关注点	过程和结构	功能和过程	功能和过程
核心技术	业务流程建模	AI 规划、公理证明	数学推理和证明
动态程度	低	高	高
关键问题	减少人工参与,降低服务组合的复杂度	提高组合方法的适用性和可操作性	提高组合算法的效率,形成通用的组合方法
研究重点	交互式组合系统的开发	智能算法的设计	组合方案的有效性、正确性验证

基于工作流的语义 Web 服务在 BP4WS 的基础上,利用本体概念定义具有语义的抽象过程,建模业务流程,形成组合方案,在执行时使用语义 Web 提供的推理服务进行服务动态发现和绑定,进而将抽象流程转换为可执行流程。基于服务模板的语义 Web 服务与基于工作流本体的语义 Web 服务组合的主要区别是组合方案的构建方式不同;前者需要服务组合者的参与,涉及到程序级别的实现细节;后者能够在工作流本体的支持下,自动生成满足组合请求的组合方案,但该方法需要有区别的知识库支持,服务组合系统的设计和实现相对困难,且难以解决所有的组合问题。

利用 AI 方法进行语义 Web 服务组合,将服务组合问题转换为 AI 规划问题,通过形式化推理构建组合序列。基于 AI 规划的语义 Web 服务组合使用层次任务分解,而基于主

体的语义 Web 服务组合则是通过主体和 Web 服务的相似性,将 Web 服务转换为主体的动作,通过主体的特性和研究成果进行服务组合。由于服务组合具有不确定性^[32],因此传统的规划算法往往难以满足语义 Web 服务组合的需要,而主体自身研究中有诸多待解决的问题,也使得基于主体的语义 Web 服务仍处于研究阶段。基于情景演算的语义 Web 服务组合,将语义 Web 服务组合转换为满足目标属性的程序的执行问题,进而能够通过公理和证明实现服务组合。但它包含了复杂的形式化规约与转换,因而难以面向最终的业务用户。

基于形式化方法的语义 Web 服务组合借助语义 Web 提供的形式化语义和推理功能,在形式化工具的支持下,为服务组合的进形式化描述和验证提供工具和方法,但作为组合方法来说,在实用性和通用性方面还有待提高。

除了上述几种主流的语义 Web 服务组合外,还有以业务流程建模为核心,利用语义推理进行服务推荐,通过交互式的服务组合系统进行的半自动语义 Web 服务组合方法,它结合了上述各种方法的优点,具有较好的可实现性和实用性。

4 语义 Web 服务组合的研究内容和关键问题

目前,国内外在语义 Web 服务研究方面主要着眼于两个方面^[3]:一是创建一种计算机之间能够理解的、同时能够充分表示 Web 服务的行为、功能、属性和约束的描述语言;二是在 Web 服务描述语言的基础上提出一种支持服务自动发现、组合和执行的模型或体系结构。

4.1 语义 Web 服务的描述模型

使用语义技术描述 Web 服务的一个关键问题是如何表示 Web 服务的语义信息,它是进行语义推理,实现语义 Web 服务自动发现、组合和执行的基础。当前 Web 服务的语义信息有 3 种定义方式^[33]:

(1)基于已有的本体描述语言开发 Web 服务的语义描述语言,例如 OWL-S;⁽²⁾建立全新的语义 Web 服务描述框架,并提供相应的基础设施,以支持对语义的使用和基于 Web 的应用开发,例如 WSMO;⁽³⁾在已有的 Web 服务描述标准基础上,通过语义标注,为 Web 服务添加语义信息,如 SAWSDL。表 2 中给出了当前几种主流语义 Web 服务描述规范的相关信息。

表 2 3 种主流语义 Web 服务描述规范的比较

名称	项目介绍	形式化基础
OWL-S	由美国卡内基梅隆大学、斯坦福大学、麻省理工学院等大学及 NOKIA 联合提出;使用 OWL 作为本体描述语言定义顶层本体。	描述逻辑
WSMO	由欧洲的一些大学和 Oracle 共同提出;使用一阶逻辑表示 Web 服务的概念模型。	一阶逻辑
SAWSDDL	由 W3C 制定;扩充 WSDL,利用本体概念进行语义标注,为 Web 服务提供语义信息。	不确定

目前,大部分 Web 服务的语义描述仅针对服务个体而没有给出服务之间的关系和交互^[14]。因此,如何让语义 Web 服务具有主体的特性,能够在描述服务自身服务能力的同时,显式地给出服务之间交互关系,最大限度地发挥 Web 服务的潜能,是 Web 服务语义描述模型和描述语言待解决的一个关键问题。

4.2 服务查询和匹配

语义 Web 服务组合的关键是使用语义匹配和推理技术,

自动处理服务的查询和匹配。因此,如何针对当前服务发现后继服务,产生满足要求的组合序列,是语义 Web 服务组合算法要解决的核心问题。

从服务匹配过程中使用的语义信息来看,目前基于接口的语义匹配方法在语义 Web 服务组合中有较多的应用。该方法以利用本体提供的推理功能,利用本体中的上下位关系(包含关系)判断不同服务之间输出、输入参数之间的语义相似性,计算 Web 服务之间的语义可组合性,进而从一个服务推出另一个服务,或者从一个服务推出和它相关的服务^[25,31]。基于动态语义的服务匹配^[6,14,31]方法,通过服务的行为语义和执行语义获取服务组合者关注的内容,利用 P2P 的匹配算法进行服务匹配,提高了服务发现的质量。文献^[6]提出了一种多级组合模型,该方法在服务社区和语义相似性函数的支持下通过服务的语义可组合性进行服务匹配,为语义 Web 下服务的组合提供了一个可行的方法。另外,由于主体和 Web 服务具有一定的相似性,因此主体匹配的研究成果也被应用到语义 Web 服务组合中^[30]。表 3 列出主要的服务匹配方法。

表 3 主要的服务匹配方法

方法	基于接口	基于动态语义	混合方法
内容	接口语义	服务的功能语义、行为语义	服务的接口语义、功能语义和行为语义
语义信息	接口语义	服务的功能语义、行为语义	服务的接口语义、功能语义和行为语义
核心思想	利用本体的上下位关系描述服务间的关系	利用不同类型的语义关联关系描述服务间的关系	定义服务语义可组合性规则,判断服务间可组合性
特点	易于实现,但结果不准确	使用 P2P 的匹配算法,匹配效率高	从不同层面进行服务匹配,适用性强

服务相似性度量是服务匹配实现的关键。当前,服务匹配中的相似性度量通常采用语义距离来表达,语义距离的大小决定了两个概念间的匹配程度。由于语义距离是在构建本体时人工定义的,具有很大的主观性,因此为不同概念间的语义相似性计算提供一套有效的处理机制仍然是服务匹配中有待深入研究的一个关键问题。

4.3 服务组合的形式化描述与验证

服务组合是一个复杂易错的过程,因而语义 Web 服务及其组合的形式化描述和验证是语义 Web 服务中一个重要的研究方向^[25,26,29]。由于语义 Web 服务组合具有良好的形式化基础,因此语义 Web 服务能够借助一阶逻辑、线性逻辑、进程代数以及状态演算等形式化方法建模组合过程,利用公理、定理和规则通过形式化推理检查组合模型的正确性和有效性,从而保证组合服务的顺利执行。

语义 Web 服务组合的正确性是指组合结构安全、有界;有效性是指组合结构中的每一个节点都是可达的^[27-31],并且在给定的输入下,执行后能够提供期待的输出。Petri 网作为一种基于状态的形式化建模方法,具有直观、形象且有严格语义和数学分析等优点^[25],因而 Petri 网被广泛应用到语义 Web 服务组合的形式化描述与验证中^[28]。以 π 演算为代表的进程代数方法能够刻画服务的动态行为,分析服务交互行为等价性,因而 π 演算也成为语义 Web 服务组合和验证的又一重要工具^[27]。因此,Petri 网主要用于验证组合方案的有效性和可行性,但难以处理服务组合的动态特性;而 π 演算适合刻画服务组合的动态行为,但缺乏直观、图形化的工具支持。

结束语 当前,对语义 Web 服务组合的研究,工业界侧

重于业务过程的研究,通过构建描述 Web 服务组合的语言,开发相关编辑工具和执行引擎,实现交互式的服务组合系统;学术界则从人工智能规划和形式化方法等方面研究以语义推理为核心的 Web 服务的自动组合。从应用上来看,工业界提出的技术方法等具有较好的工程可实施性,但组合过程复杂且容易出错,开发出的应用系统灵活性、可扩展性相对较差;而学术界的方法虽然具有一定自动程度,但它包含了形式化的描述和转换,因而组合系统的开发和实现相对较难,真正实用还存在距离。综上所述,如何构建具有自治性、主动性和推理性的 Web 服务,利用语义技术实现服务查询和匹配的自动化,开发通用的、智能化的 Web 服务组合系统,仍然是语义 Web 服务走向应用过程中要考虑的关键问题。

参 考 文 献

- [1] Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The Semantic Web[J]. Scientific American, 2001, 279(5): 34-43
- [2] 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
- [3] 杨文军, 马路, 丁峰, 等. 从“自动化”到“智能化”—智能 Web 服务在信息处理中的应用[EB/OL]. http://166.111.68.66/papers_4.pdf
- [4] Lecue F. Formal Model for Semantic Web Service Composition [C]// The 5th International Semantic Web Conference, 2006: 385-398
- [5] 俞坚, 韩燕波. 面向服务的计算-原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [6] Weise T, Bleul S. Different Approaches to Semantic Web Service Composition[C]// The Third International Conference on Internet and Web Applications and Services, 2008
- [7] Pires P F, Benevides M R F, Mattoso M. Building Reliable Web Services Compositions[C]// Web Databases and Web Services 2002, 2003: 59-72
- [8] Medjahed B, Bouguettaya A. A Multilevel Composability Model for Semantic Web Services[C]// IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2005
- [9] Charif Y, Sabouret N. An Overview of Semantic Web Services Composition Approaches[J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2006: 33-41
- [10] 温嘉佳. Web 服务组合及其相关技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2006
- [11] 史忠植, 常亮. 基于动态描述逻辑的语义 Web 服务推理[J]. 计算机学报, 2008, 31(9): 1599-1611
- [12] Rohit, Aggawal, Kunal, et al. Dynamic Web Service Composition in METEOR-S[EB/OL]. <http://ladis.cs.edu/lib/download/ieee-sci-2004.pdf>, 2004
- [13] 胡海涛, 李刚, 韩燕波. 一种面向业务用户的大粒度服务组合方法[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 694-703
- [14] Chun S, Atluri V, Adam N. Domain Knowledge-based automatic Workflow Generation[C]// Processing of the 13th International Conference on Database and Expert Systems Applications, 2002: 81-92
- [15] 徐萌, 陈俊亮, 等. 基于服务关系的服务生成[J]. 软件学报, 2007, 19(4): 545-556
- [16] Brambilla M, Ceri S, et al. Model-driven Design and Development of Semantic Web Service Applications[J]. ACM Transactions on Internet Technology, 2007, 8(1)
- [17] Russell S, Norvig P. Artificial Intelligence-A Modern Approach [M]. Prentice Hall, Englewood, 2004
- [18] Nau D, Au Tsz-Chiu, et al. SHOP2: An HTN Planning System [J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2003: 379-404
- [19] Sirina E, Parsia B, et al. HTN planning for Web Service composition using SHOP2[C]// International Semantic Web Conference 2003, 2003, 1(4)
- [20] Wu Dan, Parsiam B, et al. Automating DAML-S Web Services Composition Using SHOP2[C]// Proceedings of 2nd International Semantic Web Conference, 2003
- [21] Mellraith S, Son T. Adapting Golog for Composition of Semantic Web Services[C]// Proceedings of the 8th International Conference on Knowledge Representation and Reasoning, 2002
- [22] Narayanan S, McIlraith S A. Simulation, Verification and Automated Composition of Web Services[C]// Proceedings of the 11th international on World Wide Web, 2002: 77-88
- [23] Liu Jiamao, Chen Huifan, Ning Gu. Web services automatic composition with minimal execution Price Web Services[C]// IEEE International Conference 2005, 2005
- [24] 钱柱中, 陆桑璐, 谢立. 基于 Petri 网的 Web 服务自动组合研究[J]. 计算机学报, 2006, 29(7): 1057-1066
- [25] 汤宪飞, 蒋昌俊, 等. 基于 Petri 网的语义 Web 服务自动组合方法[J]. 软件学报, 2007, 18(12): 2991-2998
- [26] Ceri S, Daniel F, Lecue F, et al. Towards the Composition of Stateful and Independent Semantic Web Service[C]// ACM Symposium on Applied Computing 2008, 2008
- [27] 廖军, 谭浩, 刘锦德. 基于 Pi 演算的 Web 服务组合的描述和验证[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 635-643
- [28] 邓水光. Web 服务自动组合与形式化验证的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007
- [29] 侯丽珊, 金芝, 吴步丹. 需求驱动的 Web 服务建模及其验证: 一个基于本体的方法[J]. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2006, 36(10)
- [30] 邱莉榕, 史忠植, 等. 基于主体的语义 Web 服务自动组合研究[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(4)
- [31] 王杰生, 李舟军, 李梦军. 用描述逻辑进行语义 Web 服务组合[J]. 软件学报, 2008, 4(19): 967-980
- [32] Broy M, Kruger I H, et al. A Formal Model of Service[J]. ACM Transactions Software Engineering and Methodology, 2007, 16(1)
- [33] 张韬. 语义 Web 服务资源组合方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2008