

张佩云◎著

分布式环境下 Web服务动态组合研究

FENBUSHI HUANJING XIA Web FUWU DONGTAI ZUHE YANJIU



安徽师范大学出版社

张佩云◎著

分布式环境下 Web服务动态组合研究

FENBUSHI HUANJING XIA Web FUWU DONGTAI ZUHE YANJIU



安徽师范大学出版社

· 芜湖 ·

图书在版编目(CIP)数据

分布式环境下 Web 服务动态组合研究 / 张佩云著. — 芜湖: 安徽师范大学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-5676-3380-3

I. ①分… II. ①张… III. ①Web 服务器—研究 IV. ①TP393.092.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 034776 号

分布式环境下 Web 服务动态组合研究

张佩云◎著

责任编辑: 孔令清

装帧设计: 任 彤

出版发行: 安徽师范大学出版社

芜湖市九华南路 189 号安徽师范大学花津校区

网 址: <http://www.ahnupress.com/>

发 行 部: 0553-3883578 5910327 5910310(传真)

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

版 次: 2018 年 3 月第 1 版

印 次: 2018 年 3 月第 1 次印刷

规 格: 880 mm×1230 mm 1/32

印 张: 5.125

字 数: 120 千字

书 号: ISBN 978-7-5676-3380-3

定 价: 24.60 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与发行部联系调换。

目 录

第一章 绪 论	001
§1.1 问题的提出	001
§1.2 国内外研究现状与分析	007
§1.3 解决问题的思路和方法	022
§1.4 研究内容与创新之处	024
§1.5 本章小结	028
第二章 基于语义的Web服务组合理论基础和系统架构	029
§2.1 引言	029
§2.2 Web服务组合问题描述	029
§2.3 理论基础	030
§2.4 系统架构	037
§2.5 本章小结	042
第三章 基于语义匹配的Web服务混合选择	043
§3.1 引言	043
§3.2 问题描述	044
§3.3 相关研究	045
§3.4 基于语义匹配的Web服务混合选择框架与策略	047
§3.5 仿真实验	064
§3.6 本章小结	068
第四章 QoS全局感知的Web服务组合	069
§4.1 引言	069
§4.2 问题描述	070

§4.3 相关研究	072
§4.4 QoS全局感知的服务组合建模及算法	073
§4.5 仿真实验	090
§4.6 本章小结	096
第五章 基于SLM的抽象服务节点自动合成	097
§5.1 引言	097
§5.2 问题描述	098
§5.3 相关研究	099
§5.4 基于SLM的抽象服务节点合成算法	101
§5.5 仿真实验	114
§5.6 本章小结	118
第六章 基于Petri网的Web服务组合模型验证	119
§6.1 引言	119
§6.2 基于Petri网的Web服务组合	119
§6.3 基于Petri网的Web服务组合实例分析	130
§6.4 仿真实验	133
§6.5 本章小结	134
第七章 结论与展望	136
§7.1 研究结论	136
§7.2 进一步的研究工作	138
参考文献	140
附录 组合流程的树型结构	157

第一章 绪 论

§1.1 问题的提出

1.1.1 研究背景

随着 IT 技术的发展和需求的变化,需要在异构的新型分布式环境下集成独立开发的应用程序,因此产生了一种新的体系结构要求,使得可以通过一组通用的标准协议用于接口定义、方法调用并解决异构面向 Web 的分布式计算等,由此出现了面向服务体系架构 SOA (Services-Oriented Architecture)。正如 Mark Colan 所言,SOA 是一种新兴的企业结构形式,可以用于设计下一代企业应用程序,其本质是用于提供一个整合和监控各种松散耦合服务的平台,并体现了良好的通用软件体系结构原则^[1]。Web 服务作为软件服务的一种实现方式,突破了传统的分布式计算模型在通信、应用范围等方面的限制,允许企业和个人快速、廉价地建立和部署全球性应用,其已成为互联网上的一种重要的资源,并极大地推动了 SOA 的发展与应用。随着 Web 服务技术的发展,面向服务的计算和服务组合的协同正逐渐成为开放异构环境中复杂分布应用的主流计算模型。

至今,Web 服务还没有统一的定义,从专业角度而言,比较典型的定义如下:

1) IBM 公司(International Business Machines Corpordtion)的定义: Web 服务是自包含的、模块化的应用程序, 为商业组织或个人提供一系列的功能, 可以通过 Web 使用标准语言格式访问。

2) Sun 公司定义的 Web 服务具有如下 5 个特征:

- 通过 Web 可被访问;
- 一个 XML (Extensible Markup Language, 可扩展标注语言) 的对外接口;
- 通过注册可以被定位;
- 在 Web 协议的标准上, 使用 XML 消息通信;
- 在系统之间支持松散的耦合。

3) W3C (World Wide Web) 的定义: 一个 Web 服务是通过 URI (Uniform Resource Identifier, 统一资源标识符) 标志的软件系统, 其公共接口用 XML 文档定义, 该定义供其他软件系统使用, 这些系统可使用基于 XML 的消息机制通过 Internet 的传输协议与此 Web 服务进行交互。

综上所述, Web 服务是一种按标准语言描述并通过网络发布、可供发现和调用的软件系统, 具有松散耦合、可重用和互操作的特点, 具体总结如下^[2]:

- 1) 可描述。可以通过一种服务描述语言来描述。
- 2) 可发布。可以在注册中心注册其描述信息并发布。
- 3) 可查找。通过向注册服务器发送查询请求可以找到满足查询条件的服务, 获取服务的绑定信息。
- 4) 可绑定。通过服务的描述信息可以生成可调用的服务实例或服务代理。
- 5) 可调用。使用服务描述信息中的绑定细节可以实现服务的远程调用。

6)可组合。可以与其他服务组合在一起形成新的服务。

随着 Web 服务技术的日益成熟,许多机构竞相将他们的核心业务能力作为一个 Web 服务集合放在 Internet 上,以实现更多的自动化和全球范围访问。典型的 Web 服务应用包括在线旅游预订、客户关系管理、供应链等。尽管越来越多的企业将其商业流程以 Web 服务的形式发布以及越来越多稳定易用的 Web 服务共享在网络上,但单一的 Web 服务所提供的功能毕竟有限,很难满足用户的需求,人们希望通过网络得到更多更复杂的服务,而不仅仅是独立的单一服务。Web 服务组合就是利用 Internet 上分布的现有 Web 服务,根据用户(最终用户或增值服务开发商)总的应用需求(包括功能和非功能属性的要求),在服务组合支撑平台的支持下,选择一系列符合一定规则的单个 Web 服务,组成满足总需求的服务流程,并以一个接口的形式提供给用户或其他服务使用,通过流程中各个服务的协同来最终完成用户的服务请求。其中,Web 服务组合的功能要求是指组合服务在服务组合流程上满足服务间的功能匹配要求,非功能属性要求是指组合服务在服务组合流程上满足服务间的非功能约束(如服务质量)要求。Web 服务组合也被认为是通过 Internet 将分布在不同环境、平台的已存在的 Web 服务,按照一定的规则组装成为一个增值、更大粒度的服务或一个系统以满足用户的复杂需求,并提高软件生产率的一个过程^[3]。Web 服务本身具有的基于标准协议及松散耦合的特点也,为 Web 服务组合提供了技术支持^[4]。

Web 服务组合更充分地利用共享的 Web 服务,可生成满足用户要求的组合服务,提供更为强大的服务功能并加快系统开发的速度。从开发者的视角看,服务组合提供了重用服务的可能性;从用户的视角看,服务组合提供了无缝访问各种复杂服务

的功能。Web 服务组合是解决 B2B (Business-to-Business, 企业对企业之间的营销关系) 应用问题的重要技术, 在工业界和学术界受到了广泛的关注, 基于语义的 Web 服务组合作为实现灵活、快速信息集成的重要方法, 正成为新的研究热点。

1.1.2 Web 服务体系结构

Web 服务体系结构由三种角色和三种基本操作构成^[5], 如图 1.1.1 所示。

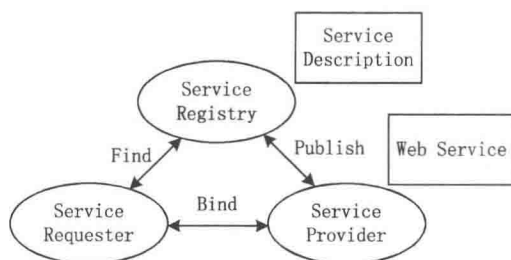


图 1.1.1 Web 服务体系结构

其中, 三种角色包括:

1) 服务请求者 (Service Requester)。它是一个应用程序、一个软件模块或一种服务。它发起对注册中心服务的查询 (Find), 通过传输绑定 (Bind) 服务, 并执行服务功能。

2) 服务提供者 (Service Provider)。它是一个可通过网络寻址的实体, 将服务描述发布 (Publish) 到服务注册中心, 以便服务请求者发现和访问该服务, 并接收和执行来自服务请求者的请求。

3) 服务注册中心 (Service Registry)。它是可搜索的服务描述注册中心, 服务提供者在此发布他们的服务描述 (Service Description), 并允许感兴趣的服务请求者查找服务接口。

在图 1.1.1 中, 三种基本操作分别是:

1) 服务发布。为了使服务可访问,需要服务提供者发布服务描述以使服务请求者发现和调用服务。

2) 服务发现。服务请求者定位服务,查询服务注册中心以找到满足其需求的服务。对于服务请求者,可能会在两个不同的生命周期阶段中牵涉查找操作:在建立时为了程序开发而检索服务的接口描述,在运行时为了调用而检索服务的绑定和位置描述。

3) 服务绑定和调用。服务请求者使用服务描述中的绑定细节来定位、联系和调用服务,从而在运行时调用或启动与服务的交互。

Web 服务体系使用一系列标准和协议来实现相关的功能。近年来,Web 服务技术得到了长远的发展,形成了以服务描述、服务质量(Quality of Service,简称 QoS)和服务流程为主体的 Web 服务协议栈^[6],如图 1.1.2 所示。

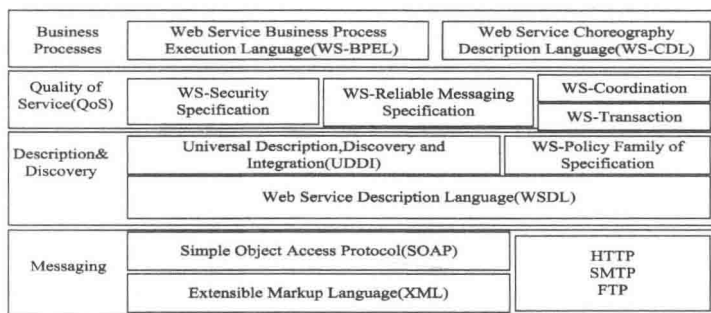


图 1.1.2 Web 服务协议栈

该协议栈根据其发展历程可以分成两个阶段:

第一阶段为 Web 服务基础协议部分:该部分主要关注单个 Web 服务的开发、调用等,使用 WSDL(Web Services Description Language,网络服务描述语言)来描述服务,采用 UDDI(Universal

Description, Discovery and Integration, 通用描述、发现与集成服务) 来发布、查找服务, 使用 SOAP (Simple Object Access Protocol, 简单对象访问服务) 来调用服务。

第二阶段主要侧重于服务之间的交互与协作, 关注服务组合业务流程的安全、事务等。该阶段形成了 WS-BPEL (Web Service Business Process Execution Language, 网络服务业务流程执行语言)^[7], WSCI (Web Service Choreography Interface, 网络服务编排接口)^[8]及 WS-CDL (Web Service Choreography Description Language, 网络服务编排描述语言)^[9]等高层协议。

当前正处于 Web 服务发展的第二阶段, 而服务组合、服务交互和事务等问题成为当前 Web 服务技术发展的关键问题。

面向服务的体系结构并不是一个新概念, 仍是一个基于组件模型的架构。Microsoft 的 DCOM (Distributed Component Object Model, 分布式组件对象模型) 与 OMG (Object Management Group, 对象管理组织) 的 CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构) 技术都可以用于实施面向服务的架构, 但紧密耦合使得计算连接的两端都必须遵循同样 API (Application Program Interface, 应用程序接口) 的约束, 要求客户端必须使用特定的协议访问服务器端的对象。这些面向服务的架构受到厂商的约束, 如 Microsoft 的 DCOM 只能应用于微软的系统平台, 而 CORBA 则把实现对象请求代理 (Object Request Broker, 简称为 ORB) 协议的任务留给了供应商, 由于无法保证进行交互的双方都采用相同的中间件平台, 所以难以满足各个公司协作或扩展业务的需要。Web 服务改进了 DCOM 和 CORBA 的缺点, 它是基于标准以及松散耦合的、被广泛接受的标准 (如 XML,

SOAP, WSDL 和 UDDI), 提供了在各不同厂商解决方案之间的交互性, 而松散耦合将分布计算中的参与者隔离开来, 交互两边某一方的改动并不影响到另一方。

§1.2 国内外研究现状与分析

基于语义的 Web 服务组合是一个新兴的研究领域, 依照组合方案生成方式可将其分为两大类: 静态组合和动态组合。静态组合是在业务流程建模时绑定任务, 即传统的工作流任务绑定形式, 意味着请求者应在组合计划实施之前创建一个抽象的过程模型, 而动态组合在建模时并不与具体的 Web 服务实现绑定, 而是静态绑定任务的功能描述, 在执行时动态绑定任务的实现性描述。

服务组合涉及的内容可以从其生命周期的角度分为两个阶段: 服务组合建立阶段和运行阶段, 如图 1.2.1 所示。



图 1.2.1 服务组合的实施过程

图 1.2.1 中, 服务组合建立阶段主要解决从用户需求到抽象的组合方案的映射问题(即用户需求空间到方案空间的变换问

题)及如何由抽象的组合方案映射到具体服务的问题,以得到可以运行的服务组合实例;服务组合运行阶段主要是实现用户期望的结果,该阶段涉及的问题主要是运行过程中如何运行和监控组合实例。本研究工作重点主要体现在服务组合建立阶段,包括服务匹配、服务选择、抽象服务节点自动合成及抽象的服务组合方案正确性验证等。

针对图 1.2.1 中的服务组合建立阶段而言,按自动化程度对其进行划分,可将目前出现的各种组合方法归纳为两大类:基于工作流的服务组合方法^[3,10-17]和基于人工智能(Artificial Intelligence,简称为 AI)的服务组合方法^[18-21]。前者以流程为中心进行服务的选取,存在较多的人工参与,比较容易实现,多应用于电子商务领域的应用集成以及流程管理;后者围绕问题域进行自动服务组合,人工干预少,实现较难,多应用于规划问题求解^[9]。目前,基于这两类服务组合方法的 Web 服务组合典型应用主要有:美国马里兰大学 Jim Hendler 等研发的 Mindswap 项目,美国佐治亚大学 Kunal Verma 等研发的 METEOR-S,惠普实验室 Fabio Casati 等研发的 eFlow,斯坦福大学 R.Shankar 研发的 SWORD 等。文献[22]结合目前存在的一些组合平台和框架,对 Web 服务组合方法及典型应用进行了分析。

1.2.1 基于工作流的服务组合

基于工作流的服务组合方法是基于流程而提出来的,要求事先知道流程的具体结构以及流程中每个活动要求实现的功能与要达到的目的,因而这种方法多被用于 B2B 应用以及企业间的应用集成和开发上。在明确的过程模型驱动中,商业活动的

协作需要长期的交互,因此,通过商业过程模型,借助适合 Web 服务的商业过程建模语言来捕获一个组合服务的逻辑,将是一个很自然的选择。这种商业过程建模语言主要有 BPEL4WS (Business Process Execution Language for Web Services,网络服务业务流程执行语言),XLANG(结构化构造方法),WSFL(Web Services Flow Language,叙述网络服务流程的语言),BPML(Business Process Modeling Language,业务流程建模语言)和 WSCI。BPEL4WS 作为 Web 服务商业流程执行语言,提供了组合工作流的框架,是结合 IBM 的 WSFL 和 Microsoft 的 XLANG 而形成的、专为整合 Web 服务而制定的一项规范标准。文献[23]给出了这几种组合语言在工作流应用上的区别,并指出 BPEL4WS 比其他的过程建模语言更具有表达能力。

基于工作流的服务组合方法在很多研究文献、原型系统和成型产品中得到应用^[10,16,24-26]。目前,基于工作流的服务组合典型项目有:METEOR-S^[16]与 SELF-SERV^[10]。其中,METEOR-S 侧重于使用语义技术提高服务组合的程度与灵活性,使用语义流程模板描述组合服务,生成多种语言描述的可执行流程,其底层执行机制依赖于早期开发的 METEOR,包括服务发现和服务组合两大模块。该项目首先采用 BPEL4WS 作为工业标准设计抽象的 Web 服务组合过程,包括使用 BPEL4WS 提供的控制流结构来创建过程流,在过程中通过服务模板来表示每个服务需求,指定过程约束以达成优化等;其次,针对给定的过程和服务模板,服务发现引擎将返回和该服务模板匹配的一个服务集合,根据约束关系选择最优的待组合服务;最后,在运行时,将抽象的过程和服务模板转换成一个可执行的 Web 过程,即自动将 Web 服务绑

定到一个抽象的过程,当一个最优集被选中并被执行时,表明实现了Web服务组合过程。该项目的一个关键特性是,在语义Web过程的整个生命周期中使用了语义[即使用OWL-S(Ontology Web Language for Service,网络服务的本体语言)对Web服务语义描述,包括数据语义、功能语义等],以表示语义Web服务中复杂的交互。但是,该项目缺乏对服务组合的有效控制及存在动态性不够的问题。同样,SELF-SERV也存在动态性不够的问题。

根据服务组合的动态性、灵活性等特点将基于工作流的服务组合分为三类,包括预先定义的服务组合、基于模板的服务组合和按需构建的服务组合^[3]:

1)预先定义的服务组合。也称为静态服务组合,容易实现,但动态性差和对异常的应变能力弱。

2)基于模板的服务组合。该方法在动态性和灵活性两方面得到提高,允许服务组合设计者为某些活动设定服务模板(抽象服务),而无须指定具体服务^[10,11]。在模板中对希望的目标服务进行描述,包括目标服务的功能、输入、输出、服务质量等。采用这种方法定制服务组合流程,形成流程定义之后,在执行之前需要一个中间过程将抽象的服务组合定义转变成静态的服务组合流程。这种方法将服务的选取、匹配、绑定交给中间过程自动处理,因此减少了服务组合设计者的工作量,具有较好的动态性和灵活性。目前普遍的做法是将语义、本体论等知识融入服务和模板的描述中^[13,16,27],利用逻辑推理等进行服务之间的匹配和服务查询的自动处理。该方法在服务执行前可以针对整个的抽象服务组合流程实现满足全局约束的最优服务选择。

3)按需构建的服务组合。前面两种基于工作流的服务组合方

法要求组合中的服务绑定在执行之前就完成,如果服务组合流程中有的活动执行的时间较长,由于网络环境是高度动态变化的,因此,后续活动事先绑定的服务有可能在这段时间中变得不可用,或者出现了更佳的服务,从而无法满足服务的实效性。按需构建的服务组合方法^[19]设计时为每一个活动指定一个服务模板,形成服务组合的抽象流程定义,具有很好的动态性和灵活性。在运行阶段,执行引擎根据与当前活动绑定的服务模板进行服务查询匹配,找到当前可用的最佳目标服务进行调用。因此,服务组合中的各成员服务根据用户需求随着服务组合流程的执行逐步绑定,整个服务组合的定义是按需逐步动态演化的。利用该方法不仅能保证每个被选取的服务是当前最佳且最可用的服务,降低了执行异常的出现,而且将抽象流程定义的转换工作分散到各活动的执行阶段,从而降低了引擎在服务查找和绑定时的开销。这种“边构造,边执行”的服务组合方式,可以避免非执行路径上的服务绑定工作,因此加速了整个服务组合的执行效率。相对于基于模板的服务组合而言,该方法只能进行局部最优的服务选择,而不能实现满足全局约束的最优服务选择。

综上所述,这三类基于工作流的服务组合方法在服务绑定、动态性、灵活性、实现的难易程度上各不相同,分析比较如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 三类基于工作流的服务组合方法比较

方法类别	服务绑定	动态性	灵活性	实现难度
预先定义的服务组合	建模时	差	差	易
基于模板的服务组合	执行前	一般	一般	较难
按需构建的服务组合	执行中	很好	好	难

一些比较典型的基于工作流的服务组合文献分析如下。在

文献[28]中, Wang 等人提出了基于动态工作流的建立阶段和运行阶段的服务组合, 解决了运行时过程变化问题, 并且设计了工作流本体, 以在建立阶段实现模块重用, 但该方法的应用范围有限, 没有实现跨企业 Web 服务动态组合。D. J. Mandell 和 S. A. McIlraith 利用 BPEL4WS, 采用自底向上的方法实现 Web 服务的互操作^[29], 通过 BPEL4WS 利用 WSDL 使得服务的动态绑定成为可能, 但没有提供具体方式来选取动态绑定时需要调用的服务, 并且不支持在应用运行时的流程模型的调整。刘必欣等人针对开放环境对大规模服务组合的可伸缩性及自治性的需求, 提出基于角色的分布式动态服务组合方法^[30], 该方法通过将全局定义的流程模型划分为各个角色的本地流程模型, 从而使得组合服务的控制逻辑能够依据执行活动的角色分布到多个节点, 并在服务节点之间直接交换数据。Lerina Aversano 等人^[31]提出了利用已有 Web 服务, 按照预先定义的目标和限制等条件进行服务组合, 它注重某一服务域内的 Web 服务之间的协作并组成一个功能更强的服务, 但是它对不同服务域之间的服务缺少协调, 效率较低。Chintan Patel 等人^[32]提出了已有业务流程中的任务在执行过程中动态绑定具体服务来满足用户需求的方法, 它降低了因服务的动态变化而导致系统执行失败的可能性, 并能高效地利用已有服务, 但是这种方法难以满足即时的用户需求, 降低了系统的灵活性。文献[4]提出了一种具有柔性及自适应性的工作流模型, 建立了通过任务间依赖规范实施合成的方法, 实现了 Web 服务的自动组合, 同时, 服务组合的正确性验证算法及动态补偿机制使得提出的模型易于实用。Budak Arpinar^[21]提出了通过使用本体描述和服务间的关系实现 Web 过程的自动(半自动)