

# 对等模式下语义 Web 服务发布与发现技术综述

司华友<sup>1,2,3</sup> 倪宇林<sup>4</sup> 陈 钟<sup>1,2,4</sup> 郁 莲<sup>4</sup>

(北京大学信息科学技术学院 北京 100871)<sup>1</sup> (高可信软件技术教育部重点实验室 北京 100871)<sup>2</sup>  
(浙江农林大学信息工程学院 杭州 311300)<sup>3</sup> (北京大学软件与微电子学院 北京 102600)<sup>4</sup>

**摘要** 在面向服务的计算中,服务发现是关键。服务发现是在因特网范围内 Web 服务自动组合、应用即时构造的基础,近年来被学术和工业界广泛关注,相关技术层出不穷。针对 Web 服务发布发现技术当前研究成果,进行了系统的归纳分类。重点从关键字匹配和语义特征发布两个角度,对对等环境下 Web 服务发布发现技术的主要研究工作进行了论述。最后归纳出对等环境下语义 Web 服务发布的一般特征,以及未来对等环境下 Web 服务发布发现的主要研究目标、研究问题和挑战。

**关键词** Web 服务,语义 Web 服务,对等网,服务发现

**中图分类号** TP301 **文献标识码** A

## Survey of Semantic Web Services Publication and Discovery Technology Based on P2P Network

SI Hua-you<sup>1,2,3</sup> NI Yu-lin<sup>4</sup> CHEN Zhong<sup>1,2,4</sup> YU Lian<sup>4</sup>

(School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)<sup>1</sup>

(Key Laboratory of High Confidence Software Technologies, Ministry of Education, Beijing 100871, China)<sup>2</sup>

(School of Information Engineering, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China)<sup>3</sup>

(School of Software and Microelectronics, Peking University, Beijing 102600, China)<sup>4</sup>

**Abstract** In service-oriented computing, service discovery is the key. Service discovery technology is the basis of Web services composition and real-time construction of application. In recent years it has obtained the academic and industry's attention, related technology after another. We firstly analyzed the current research results of Web Service Publication and Discovery technology and carried out a systematic classification. Next, focusing on the perspective of semantic feature publication, we discussed current major research results of WSPD in P2P system in detail. Finally we concluded the general characteristics of current SWS publication and discovery based on P2P network, as well as the major research objectives, research questions and challenges in the future research.

**Keywords** Web services, Semantic Web services(SWS), Peer-to-Peer(P2P), Services discovery

## 1 引言

面向服务的计算(SOC, Service-Oriented Computing)是一种通过对分布式计算能力的发布、发现、静态或动态协同,来实现业务应用的软件方法<sup>[1]</sup>。通常在网络计算平台及互操作协议的基础上,通过服务复用来实现应用的即时生成。SOC本质上是以服务及其组合为基础构造应用的开发模式<sup>[2]</sup>,它的基本思想是软件服务化、动态协同与服务组装和重用<sup>[1]</sup>。

Web 服务及其规范是服务计算的一种技术平台。本质上 Web 服务是一种自包含、自描述、可以通过网络发布、定位以及远程调用的软件模块<sup>[3]</sup>。Web 服务之间的动态交互可以使得业务流程以一种自动、高效的方式被执行。复杂的服务通过几个简单服务及其交互规则组合而成,实现相应的业务应用。服务组合技术的产生旨在跨越技术和组织的边界,

无缝集成分布于因特网上的各种服务,构造增值的业务应用<sup>[4]</sup>。它已经成为面向服务的计算模式下应用构造的主要方式,应用程序的开发就是一个业务应用建模、查找、择优并组合服务、集成应用并进行测试的反复迭代过程。具体而言,面向服务的分析和设计工作以服务为中心,根据业务需求识别服务、描述服务并设计业务服务的技术规范;服务组合依据业务服务的技术规范,规划业务服务模板,检索(发现)现有服务来实现该业务服务。

可见,发现符合用户需求的服务是实现服务复用、组合的重要前提,尤其在一个开放的环境下(如因特网),服务发现是关键,服务发现是服务组合的基础。Web 服务发现是指用户以某种方式在许多已发布的 Web 服务中查找到所想要的服务,组合到其应用中,或直接执行来完成某一计算任务<sup>[5]</sup>。但是,随着服务的数量迅速增长,作为一种特殊的 Web 资源,Web 服务对实现因特网范围内的服务自动组合、应用的即时

到稿日期:2010-05-29 返修日期:2010-11-14 本文受国家自然科学基金(60773163)资助。

司华友(1978—),男,博士生,讲师,主要研究领域为服务计算、语义网和对等网;倪宇林(1984—),男,硕士生,主要研究领域为服务计算和对等网;陈 钟(1963—),男,博士,教授,主要研究领域为软件工程、信息安全和科学服务科学等;郁 莲(1963—),女,博士,副教授,主要研究领域为现代服务科学与工程、软件工程、质量保证与测试等。

构造以及对其发现的准确性等方面有特殊的要求。如何准确、高效地从庞大的 Web 服务群中发现并定位所需的服务是 Web 服务技术面临的巨大挑战,因此近年来被学术和工业界广泛关注,相关技术层出不穷。

结合相关 Web 资源发现技术,本文针对 Web 服务发布发现技术当前研究成果,进行了系统的归纳分类,重点从关键字匹配和语义特征发布两个角度,对对等环境下 Web 服务发布发现技术目前主要研究工作进行了论述。最后归纳出对等环境下语义 Web 服务发布的一般特征,以及未来对等环境下 Web 服务发布发现的主要研究目标、研究问题和挑战。

本文第 2 节介绍服务发现的基本概念、服务发现技术基本类型,以及基于注册中心的服务发现技术特点;第 3 节论述对等模式及其服务发布的基本特征;第 4 节从基于关键字匹配和语义特征发布的角度,分别重点综述了对等环境下服务发布发现技术的研究现状,尤其对基于语义特征的对等环境下服务发布发现技术的一般过程进行了分析;第 5 节对对等环境下服务发现预期研究目标和关键问题进行了归纳;最后为本文结束语。

## 2 Web 服务发布技术分类及有中心结构的技术特点

### 2.1 Web 服务发布发现技术分类

服务发布是服务发现的前提,它是把所部署服务的描述信息(也称之为服务合约)注册到有关设备,以备用户检索。从近年的研究和实践来看,依据是否采用中心注册结构,Web 服务的发布与发现技术可分为有注册中心的服务发布发现方法和无注册中心的服务发布发现方法。依据是否采用语义技术对服务进行描述和发布,又可以把服务发布技术分为基于关键字的服务发布与匹配方法和基于语义的服务发布发现方法,如表 1 所列。

表 1 当前 Web 服务发布发现技术分类

分类依据	关键字发布技术	语义发布技术
中心结构	UDDI 等技术	基于 UDDI 的扩展 语义注册代理
对等结构	结构化对等环境下基于通配符和区间范围的资源发布与匹配	非结构化对等环境下的方法 结构化对等环境下的方法 多层对等结构下的方法

基于关键字匹配的服务发布发现方法是根据服务的相关信息,如服务名称、提供者、类别、质量属性等,或从服务的合约中抽取若干服务属性值作为关键字,发布到服务注册中心或对等网络环境中,以备应用检索。基于关键字的服务发布发现方法很难做到准确的服务匹配,无法实现服务的自动发现与服务自动组合。随着语义网技术的产生和语义 Web 服务的提出,近年来基于语义的服务发布发现技术得到了广泛的关注。

另外,在有中心注册结构下,基于语义的服务发布技术又可分为基于 UDDI 扩展技术和语义注册代理技术;在对等环境下,基于语义 Web 服务发布发现方法又可分为基于非结构化、结构化和多层对等环境的服务发布与发现技术。

### 2.2 有注册中心结构的服务发布发现方法

采用有注册中心结构的方法,Web 服务体系结构通常由 3 部分组成:服务提供者,创建并发布服务;服务代理,提供服务注册机制,维护服务发布信息,支持服务查询;服务使用者,能够向服务注册机制查询所需要的服务,绑定并使用满足需求的服务。逻辑集中式的服务发布发现技术作为该类方法的

代表,如 UDDI(Universal Description, Discovery and Integration),是当前主流的 Web 服务注册、发现方法,是 W3C 推出的服务发布发现技术的标准。作为服务代理,UDDI 提供了基本的服务描述与注册平台,允许 Web 服务使用者发现满足需求的服务并集成到业务应用中。在该模式下,服务提供者向某个 UDDI 服务注册中心的操作站点提交所创建的服务描述信息,UDDI 服务注册中心的操作站点保存并管理服务描述信息,以备服务使用者查询。其结构如图 1 所示。

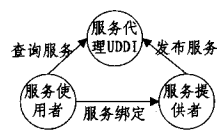


图 1 有中心结构的服务代理(UDDI)

但是 UDDI 作为一种集中式架构,其注册中心操作站点容易受到诸如 DoS(Denial of Service,即拒绝服务)等非法攻击,并且随着服务发布和检索数量的不断增加,其操作站点性能瓶颈凸显,容易造成整个系统的单点失效,从而影响整个 Web 服务架构的效率<sup>[6-8]</sup>。一些 IT 厂商(如 Microsoft, IBM, HP 等)利用集群技术和故障恢复技术来解决单点故障,但是维护费用昂贵。此外,逻辑集中式注册中心的复制协议和一致性维护等也给系统负载带来了一定的问题。

另外,作为标准 UDDI 注册中心仅仅支持通过关键字和分类法对服务进行匹配,缺乏对 Web 服务语义描述的支持,无法满足服务自动发现与组合的要求<sup>[9,10]</sup>。单就语义 Web 服务技术引入而言,可以分为两类,一类是对 UDDI 进行扩展,使其支持 Web 服务语义信息的发布与使用,见文献[11-19]。但是随着对语义信息的支持,UDDI 瓶颈、单点失效等问题会进一步恶化。另一类方法抛开 UDDI,重新设计基于语义处理的服务注册代理,见文献[20-22],不过这并不能完全摆脱有中心结构本身的弱点。

总体看来,自从 2000 年 9 月份 UDDI 被提出以来,基于逻辑集中式注册中心的服务发布发现技术日趋成熟,但是与其结构伴生的问题却日显突出,因此当前服务发布发现研究工作更多地集中于对等环境下。所以本文在了解有注册中心结构的服务分布技术的基础上,主要关注于无注册中心——对等环境下——服务发布发现方法的研究状况、进展以及当前主要研究成果和预期的目标与挑战。

## 3 对等网及其对等环境下基于关键字的服务发布技术

### 3.1 对等网络技术

对等网(P2P, Peer-to-Peer)是分布式系统与计算机网络相结合的产物,是采用对等模式工作的计算机网络<sup>[23]</sup>,是计算机系统结构从传统的集中式发展为分布式计算的新模式。P2P 系统中各节点松散耦合地分布在网络上,节点之间可以直接相互连接,并进行信息交换,它的核心机制是在应用层建立逻辑覆盖网络,使得网络工作模式走向分布式。它充分利用了网络带宽,提高了网络工作效率;同时使得网络具有高度可扩展性和良好的容错性。P2P 系统很好地解决了集中式系统的技术缺陷,是一种可扩展的高性能服务共享架构。

根据实现技术,对等网可以分为结构化对等网和非结构化对等网。非结构化 P2P 网络没有固定、严格的拓扑结构,是一个随机生成、松散组织的网络,它的结点享有高度的自治

性,主要代表有 Gnutella<sup>[24]</sup>,Freenet<sup>[25]</sup>和 KaZaA<sup>[26]</sup>等。无结构对等网络通常系统拓扑结构简单,开发和实现难度小,具有高容错性和良好的自适应性。然而,无结构对等网络的路由效率通常不高,可扩展性也较低。结构化 P2P 网络是为了克服无结构化方法的路由效率低、可扩展性差等问题而提出来的,它通常采用散列表技术(DHT,Distributed Hash Table)维护一个严谨的网络结构,能够大大提高查找效率,可以高效地定位节点和数据。它的主要代表有 Chord<sup>[27,28]</sup>,CAN<sup>[29]</sup>, Tapestry<sup>[30,31]</sup>, Pastry<sup>[32]</sup>, Kademlia<sup>[33]</sup>, Viceroy<sup>[34]</sup>和 Koorde<sup>[35]</sup>等。

### 3.2 对等环境下基于关键字的服务发布发现技术

目前,P2P 技术已广泛应用于文件共享、多媒体传输、实施通信、协同工作、分布式存储和计算等诸多领域。其实作为一种特殊的计算资源,Web 服务可以直接应用对等技术进行服务的发布与发现。特别是服务计算领域的研究人员为了避免有中心的服务发布发现的不足,根据 Web 服务这一资源的特点提出了多种对等网下适合 Web 服务的检索方案<sup>[7-9,36-39]</sup>,它融合了 Web 服务、语义网和 P2P 计算等技术,为服务发布与发现提供了新的思路和方法。

但是,通常最直接的做法是根据资源或服务描述,提取出服务的若干属性及其属性值,作为发布关键字,在不同的结构化对等机制下,采用 DHT 技术把该关键字散列到对等网上,从而实现在对等网上进行服务的发布,以备检索。其检索过程是使用同样的散列技术把资源使用者所提供的资源特征描述作为检索关键字,并映射到对等网相应位置,在该位置进一步确定所发布的符合条件的资源。

传统散列函数仅仅支持精确匹配查找,并不适合范围查找等复杂查询,因为哈希过程破坏了数据的内在顺序,实现复杂的查询比较困难。为此,研究人员提出了多种能够支持范围查找和通配符匹配等的检索方案,尤其在网格计算领域中,提出了多种对等环境下多重属性在区间范围内的资源查找方案,这些方法都可直接用于 Web 服务的发布与发现。它们可分为如下几类:一是采用改进的散列函数<sup>[40-42]</sup>,使相近关键字保持局部性以达到支持模糊匹配的目的;二是采用 SFC(Space Filling Curve)技术<sup>[7,43-45]</sup>将 Web 服务的多维属性映射到一维空间进行发布;三是采用支持模糊匹配的数据结构构造对等网,如跳表结构<sup>[46,47]</sup>、树形结构<sup>[48-56]</sup>。

## 4 语义 Web 服务及其在对等环境下的发布与发现技术

对等技术很好地解决了集中式系统的技术缺陷,对等环境下基于服务特征关键字的检索通常采用散列技术,可以实现较高的检索效率。然而,如果服务描述是基于语义的,那么从服务描述中抽取的特征关键字将丧失服务描述中的语义成分,这一点会限制服务发布发现的能力,尤其不适合在语义网和语义 Web 服务背景下使用。

### 4.1 语义 Web 服务及其研究工作

Tim Berners-Lee 在 1998 年首次提出了语义 Web 的概念,其基本思想就是使得互联网不再“以人为中心”,在语义 Web 下远程主机可以以有意义的方式进行交谈。语义 Web 研究内容是如何把信息表示为计算机能够理解和处理的形式,即带有语义,使得计算机能够理解和处理的。

作为 Web 上的一种资源,Web 服务是语义网上语义描述

的一部分,不过现有的 Web 服务技术缺少明显的语义,因而不能实现 Web 服务发现、组合和执行的自动化。因此,Web 服务与语义 Web 的结合产生了语义 Web 服务(SWS,Semantic Web Services)。语义 Web 和语义 Web 服务的共同目标都是通过利用 Web 上人和机器都能够理解的内容,创建智能的自动化服务基础设施。从当前的研究工作来看,SWS 能够确保 Web 服务核心任务——服务发现、服务选择、服务组合与服务执行——的自动化,从而实现无缝的系统交互,使得用户干预降到最低程度。因此,SWS 研究工作在过去的几年里得到了越来越多的关注。

当前,围绕着 SWS 技术的研究和开发工作主要集中在 OWL-S(Web Ontology Language for Services)<sup>[58]</sup>和 WSMO(Web Service Modeling Ontology)<sup>[59]</sup>。但是,SWS 技术远未成熟,还没有得到有效的应用。文献[60]采用综合的 Delphi 研究法,对 SWS 未来挑战和关键技术做了系统的调查研究。这份调查研究表明,从学术的角度看到 2012 年预期能够实现的技术突破主要有:服务发现能力的提高、适用的集成化方法的实现、本体推理能力的提高等。可见基于语义的 Web 服务发现已经作为 Web 服务关键技术提上研究日程。

### 4.2 对等模式下语义 Web 服务发布发现的主要技术

对等环境下的语义 Web 服务发布时,所采用的对等结构对于 SWS 的语义发布能力,以及语义发现效率,有着极其重要的影响。因为不同的对等环境和结构,根据自身特点往往支持不同的语义发布发现方式和技术。因此本节从语义发布的对等环境及其结构的角度,把 SWS 的发布发现方法分成 3 类,分别是:非结构化对等环境下的服务发布方法、结构化对等环境下的服务发布方法和多层对等环境下服务发布方法。这 3 类划分涵盖了当前对等环境下主要的 SWS 发布发现的主要技术。

#### (1)非结构化对等环境下的服务发布方法

Sapkota 等人在文献[61]假设每个节点都有服务的语义发布和检索的功能,每个节点中的服务使用一个或多个特定领域的本体进行描述。若一个节点的部分服务使用本体 O1 进行描述,则采用本体的相似度计算方法,如文献[61]采用了文献[64]提供的方法,不过该方法仅适用于分类法本体(Category Ontology)的相似度计算,判断与另外一个节点的服务描述本体 O2 之间的相似度。若相似度到达某个给定值(阈值),则在这两个节点之间建立联系。两个本体相似度达到某一阈值,说明这两个本体从不同的角度描述了某一特定领域,或两个相关领域;因此它们所描述的服务应属于某一特定领域或相关领域,进一步说明了这两个节点都提供了面向某一特定领域或相关领域的服务。

这些节点之间的连接关系,构成了非结构化对等网,由于这些连接表达了一定的语义关系,它往往被称为语义覆盖网。在文献[61]中,服务查询被分解成两层,首先分解检索,判定查询所属的领域并查找对应领域的节点;其次分别在各个对应节点上查找相应的服务资源。在节点上的语义检索可以使用更为复杂灵活的检索机制,如基于描述逻辑的推理等。在这一过程中多领域节点起到了关键作用,它使得领域查找路由得以实现。该方法提供了一种语义覆盖机制,具备一定的服务语义检索功能和效率。

文献[63,64]等中也存在类似的方法,文献[65]提出了 METEOR-S Web 服务发现结构,它采用基于本体的方法把

服务注册中心划分为不同领域,并对服务进行基于领域的分类,每个注册中心支持特定领域服务的语义发布与检索。服务注册中心根据其支持的领域语义关系建立联系,以支持领域查询的路由。该方法是在多个不同领域的服务注册机器上形成对等结构,以实现大范围内的服务查询工作。由于多个注册中心分工协作,该方法能够有效提高服务的发布查询能力。

不同于文献[63],类似于文献[65],文献[64]不是在注册中心级别上实现对等结构,它依旧以每个服务的发布节点作为对等节点,优化并使用<sup>[65]</sup>所提出的基于特定知识的模型(expertise-based model)来计算每一个需要发布服务节点的领域知识特征(expertise),进而比较与其它节点的相似度来建立节点之间的关系。

文献[66,67]类似于文献[65],通过计算每一个需要发布服务节点的领域知识特征,来建立节点之间的关联,不同的是文献[66,67]利用超节点技术,每个超节点负责一个领域,普通节点依附于一个超级点,语义请求在超节点间被路由。

### (2)结构化对等环境下的服务发布方法

文献[68]采用一个分类法本体来描述服务分类的语义特征,并把该分类法本体中的概念通过对等机制所采用的散列(DHT)方式映射到对等网的节点上。针对要发布的服务,根据其在分类法本体中所对应的概念,把服务发布到该概念所映射的对等网的节点上。查询过程是使用服务所对应的分类概念,找到负责该概念的节点,然后获取该概念在该节点上所保存的服务描述。虽然文献[68]对该方法进行局部优化,但是该方法所能体现的语义检索特征仅仅体现在单一的服务分类法本体上,语义特征有限。

有别于文献[68],文献[69]所描述的环境是:每个节点用分类法描述资源的 T-BOX(概念集)和 A-BOX(实例集),共同构成自己的本地本体。节点加入结构化对等网时,向网络发布 T-BOX 中的概念,并在该概念下附属该概念的父概念,如此过程在结构化对等网上构成一个分布式本体,同时发布自己的 A-BOX,即有关本节点要标注的 Web 服务或资源,但是资源不仅发布到所对应概念的节点上,而且发布到所有父概念所在的位置上。由此所形成的基于结构化对等网的分布式本体及其资源描述,也被称为语义覆盖网。它可进行简单的基于概念的资源检索和基于概念构造符——如交、差、并、补关系——构成概念的资源检索。该方法需要面对多本体映射的挑战,但是存在诸多问题,如不同节点中本体具有的不一致性等。另外,每一个本体所标注的实例附属于所在类及其所有父类上,造成了资源实例发布的大量的冗余。

文献[70]仅关注于语义 Web 服务的类别概念、输入概念、输出概念等描述信息,并以类别概念、输入概念子集、输出概念子集交叉组合的任一组合元素作为关键字,在结构化对等网上发布服务。使用者通过给出服务类型、输入概念集、输出概念集,来构造关键字,查询相关服务。该方法简单高效,对描述服务的语义使用能力有效;并且往往针对一个服务发布数据量过大。

在文献[71,72]中我们设计了一种方法,大体而言该方法首先在结构化对等网上发布服务的描述概念;服务使用者提供预期服务的有关概念时,发现代理根据这些概念从其所定义的本体中推理出所有相关概念,采用这些概念所描述的服务都可能是用户预期的服务;然后发现代理通过这些概念在

对等环境下查找所有满足需求的服务。该方法基于结构化对等网的服务发布,并不影响基于推理的服务发现,不过并未对领域本体映射做进一步的研究,因此服务发现者必须给出确切的概念定义。

### (3)多层对等环境下的服务发布方法

文献[73]同样采用一个分类法本体,首先把分类本体的类别概念以关键字的形式分别发布到结构化对等网上,该对等网上的节点称为超级节点。再对需要发布的 Web 服务进行分类,根据类别信息在分类对等网上找到负责该分类的超级节点。之后,再构造一个二级结构化对等网,根据在该分类下的 Web 服务描述的其他语义概念特征,同样以提取特征关键字的形式在该二级对等网上发布对应服务。检索 Web 服务过程是:首先根据 Web 服务在分类本体的类别中找到服务潜在的二级对等网,然后再根据其他特征描述,在二级对等网上找到符合条件的服务。如此两层对等网及其路由信息构成了一个语义覆盖网,但是其语义发布检索特征有限,仅仅体现在 Web 服务的分类本体上,实际上更多地采用服务描述关键字实现整个功能。

类似的方法由文献[74]给出,在该文献中服务发布发现的语义覆盖网也采用类似的双层对等结构,上层如文献[17],在基于 DHT 的结构化对等网上,采用服务分类本体实现领域分类功能;然后,在特定领域内,构造非结构化对等环境,以实现语义检索服务。在服务的发布过程中,首先根据服务的领域特征,将定位到结构化对等网上的一个超级节点作为发布节点;其次,根据服务描述中的其它语义特征,围绕该超级节点构造非结构化对等网,实现该 Web 服务的其它语义信息发布。自然服务的发现过程也分为两个阶段:1)基于领域关键字的匹配,在领域分类 DHT 网上定位服务所在的节点;该阶段的工作缩小了服务查找匹配的范围。2)在围绕该节点所形成的非结构化网上,使用语义相似度比较或逻辑推理技术,查找该网上节点的服务。比起文献[73]方法,该方法在第二层对等环境下能够实现更多机制的语义检索能力,除了需要一个统一的服务分类法外,并不需要本体的集成或映射。

文献[75]推出了一种基于本体社区的双层非结构化对等环境,用于服务的语义发布。一般情况下一个完整的本体都是由多个较小的本体组成,本体社区以这些本体为基础,负责管理基于此本体表示的所有服务的描述<sup>[76]</sup>。所以社区内不存在本体和服务描述的异构问题。文献[75]所设计的每个本体社区由一个本体社区代理来代表。在开放环境下,多个本体共存是一种必然,因此,多个本体社区的共存也是一种必然。所以本体社区代理既是社区内注册中心与其他社区交互的中介,也是其他社区访问该社区的入口。社区之间形成第一层非结构化对等环境。社区之间的连接关系借助相应的本体映射算法建立,并且可以在服务发现过程中不断进行修正。本体社区的引入可以很好地解决服务发现中的语义异构以及跨本体的服务发现问题。同样,在单个本体社区内,为了缓解物理集中的注册中心瓶颈问题,回避逻辑集中式注册中心的复制协议和一致性维护等问题,也采取了分布的非结构化 P2P 环境来组织社区内的多个注册中心,每个注册中心根据特定的规则只负责某一部分服务的注册。在社区内部,由于社区本体是由一组概念以及概念之间的关系组成的,采用模块化本体的思想将本体根据概念之间关系耦合的紧密性分为若干个模块,每个注册中心负责一个或几个模块,并基于模块

之间的依赖图建立注册中心之间的连接关系。每个注册中心将负责与该本体模块紧密相关的服务的注册与发现。

### 4.3 方法类的特征分析与比较

综上所述,可见非结构化对等环境下的语义服务发布方法通常应用节点所描述服务的整体语义特征来建立接点之间的关系,实现服务的发布。服务查找过程根据服务的领域特征和节点之间的关系,找到最有可能满足需求服务的潜在节点,在该节点上语义请求能够根据语义相似度比较,甚至进行基于推理的服务发现。所以该类方法提供了具有丰富语义特征的服务发现。但是非结构化对等环境本身的特性限制了其应用规模和效率。

而结构化对等环境下的服务发布方法在基于单一服务分类法的情况下,并不能提供一种有效的语义发布与检索机制,并且统一分类法也只能在一定范围内使用。本质上该方法是基于关键字的发布与检索过程。基于多重分类法的服务描述本体的提出正视了网络环境下 Web 服务或资源描述的不一致性,但是本体映射与分布式本体是其无法回避的关键研究问题。另外,本体及其标注的 Web 服务或资源本身的发布与发现机制有待更深入的研究。当前的研究成果也不能实现有效的语义发布发现功能。

多层对等环境下的服务发布方法,使用服务的领域或社区概念,通过双层查找过程,减少了潜在的匹配节点范围,不失为一种有效的服务发布机制。尤其在双层混合对等环境下,第二层采用非结构化的环境,能够提供灵活的语义匹配或推理机制。但是当前的研究成果还不能实现有效的基于描述逻辑的语义推理机制。尤其是双层均为结构化对等技术的方法,本质上主要是基于关键字发布发现技术;双层混合对等环境下的发布方法也无法实现全局的语义推理机制。

综上所述,表 2 从多个角度,对这几类环境下的 SWS 发布发现特征进行了定性的归纳比较。

表 2 几种对等环境下语义发布方法比较

方法\特征	语义发布方法	语义发布能力	语义使用方法	语义使用强度	规模性能
非结构化对等环境	节点语义特征相似度比较	弱	基于节点相似度的领域路由	较强	差
结构化对等环境	概念作为关键字发布	非常弱	领域定位	弱	好
双层对等环境	概念发布与节点语义特征比较	弱	领域定位或领域路由	可以较强	较好

其实,近年来在对等模式下的语义 Web 服务发布与发现提出后,已经取得了初步的研究成果。该类研究多是在对等环境下构造语义覆盖网,实现基于语义覆盖网的语义发布与发现,其概念结构如图 2 所示。

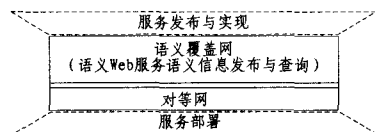


图 2 语义覆盖网基本概念结构

语义覆盖网在文献[61, 77-78]中均被论述,结合其在各自文献中应用的含义,可以做如下归纳:通常语义覆盖网所指的是在对等环境下实现概念与概念、本体与本体、本体与概念、概念与实体之间关系的表示与描述。这些语义对象(概

念、本体、实体等)及其之间的关系表达的潜在语义在对等网上的实现,尤其在非结构化对等网上的实现,往往是通过这些对象之间的关系来构造节点之间的连接——它构成了对等网本身,使得非结构化对等网间的关系表达了一定的语义特征,因此被称为语义覆盖网。它为 Web 资源或 Web 服务的语义检索提供了语义路由的可能。而在结构化对等网上,通过结构化对等网的发布机制所实现的概念及其关系的发布,并不构成对等环境的一部分,但是发布于每个节点上的语义对象及其关系总和,形成了潜在的语义关系网,往往也被称之为语义覆盖网。它同样为语义资源检索提供了支撑机制。这些语义对象和关系,多出自于一个或多个相关的本体以及使用它们所进行的资源标注信息。

就整体而言,现有研究工作的主要特点可归纳如下:

1)在对等环境下,通过节点本身的语义特征建立节点之间的连接,或者发布服务的语义描述概念,尽力构造一个语义覆盖网,以便于服务的发现。不过,当前的文献所指的语义覆盖网多是基于对等节点的语义相似度来实现节点之间的连接,建立一个非结构化对等网,以便路由语义请求。

2)就标注服务的本体而言,多使用分类法描述对等节点内的资源或服务。通过计算不同节点之间的分类法本体相似度,或以分类法本体中的概念作为关键字发布,来建立用于服务发现的语义覆盖网。

3)在当前的研究范围内,比较有效的方法是:若有一个节点产生语义请求,请求根据节点之间的关系或请求的语义概念,找到最有可能具有该服务的节点,基于该节点实现服务发现。

所以,一般看来,现有的发布发现过程,无论是否采用多层次的对等环境,当前研究成果多是两层结构:

第一层工作,是找到可能满足请求的节点或节点子网(也称为领域节点)。

第二层工作,是在对应节点、领域节点内中查询所需要的服务。

主要采用的领域区分方法有:

1)采用通用的领域描述本体来描述领域与领域之间的关系,多用于结构化对等环境下领域概念的发布。

2)一个本体及其标注的 Web 服务或资源构成一个领域。

3)通过本体相似度计算划分领域(把多个本体划归到一个领域中),多用于非结构化对等环境下节点之间关系的建立。

在如何获取查询请求中的领域特征这一问题上,当前研究往往采用如下方法:

1)查询请求中解析领域相关信息。

2)查询中指明特定领域。

3)查询语义与领域本体相似度分析。

当前多采用如下方法,描述领域间结构和如何把请求路由到特定领域:

1)采用具备领域目录服务功能的超级节点(中心节点),它提供基于领域的对等环境的入口。

2)使用多领域节点,该类节点具备多个领域的资源和服,因此隶属于多个领域,可充当领域网桥使用。

3)根据领域特征关键字,在结构化对等模式下,将准确定位到代表领域的节点。

如上所述,在具体的实现中,各方法均存在不足,通常表

现为 Web 服务资源描述本体简单,描述能力有限;不能实现基于语义推理的资源发现。

## 5 未来主要研究目标与挑战

### 5.1 进一步研究目标和思路

SOC 是在传统的面向对象、基于构件的开发、分布式对象计算及 Web 技术的基础上,提出的一种新的软件开发、部署和集成模式。其目的是有效解决在分布、动态、异构环境下数据、应用和系统集成的问题。SOC 倡导以服务及其组合为基础、以重用为中心、松散耦合、可动态优化和扩展的分布式应用的构造和运行维护模式。广义上讲,SOC 方法学贯穿于 IT 生命周期的各个阶段。从技术角度,根据 SOC 特征,将来一个理想的应用场景应具有如下特点:

1. 系统分析员采用 SOAD(Service-Oriented Analysis and Design,面向服务的分析与设计)技术与领域本体,对应用需求进行分析、建模,描述出若干领域服务。

2. 把服务描述提交给“服务构造代理”,该构造代理解析每一个服务描述,生成服务的构造特征以及若干子服务查询请求,并把该请求提交给“服务发现代理”。

3. “发现代理”在企业 Intranet 或 Internet 范围内,检索或推理出符合条件的子服务,反馈给“构造代理”。

4. “构造代理”测试择优,通过每个服务的构造特征和服务组合技术自动实现每个领域服务,提供给用户使用。

5. 用户使用领域服务实现业务目标。

结合该场景,该领域进一步的研究目标是实现如上场景中提到的“服务发现代理”和“服务构造代理”。针对“服务发现代理”,具体而言,是为开放环境下的 Web 服务发现问题,探索并提供一种自动、准确、高效地发现 Web 服务的技术模型。为实现该这一目标,可采用 SWS 和结构化对等网技术,首先设计面向服务发现的服务描述本体作为 SWS 逻辑注册中心,进而研究该本体在结构化对等网上的动态、协同维护及其推理问题,最后实现基于该推理方案的服务发现技术模型。

在该技术模型下,提供 Web 服务的节点,一旦接入对等网,即把本地注册代理上所注册 Web 服务的语义信息发布出去,大量 Web 服务的语义信息在对等网上形成一个良构的分布式服务描述本体。若服务用户提出语义查询请求,本地请求代理采用分布式本体推理技术,获取符合条件的 Web 服务集,反馈给服务请求者。

### 5.2 预期的核心问题与挑战

根据如上语义 Web 服务发现技术的研究目标和思路,可归纳出进一步的研究工作的核心问题与挑战如下:

(1)本体的逻辑结构在结构化对等网上的物理实现

基于现有的有中心结构的本体管理与推理技术无法满足网络本身分布式特征的要求<sup>[49,69]</sup>,随着语义网技术研究工作的深入,近年来,分布式本体及其推理问题已经成为当前语义 Web 技术应用主要的瓶颈和关键研究问题之一。针对该问题,需要力图在结构化对等网上实现服务描述本体的逻辑结构,即,采用结构化对等网负载服务描述本体逻辑结构,形成一个有序的、动态的、自组织的分布式本体。本质上,是通过结构化对等网的资源管理技术构造一个全局的、动态的、分布式的知识库。其动态性,主要体现在一个开放的环境中,服务发布设备(同时作为对等节点)随进随出,由其伴随的对等网

结构和服务描述本体中所描述的服务不断变化。这一点有别于现有的分布式本体技术所面临的问题。

#### (2)分布式本体的逻辑推理

本体的逻辑结构在分布式环境上的物理实现,必然伴随着本体的逻辑推理问题。这一问题同分布式本体的物理实现问题一样,也是语义网领域当前的主要研究难点之一。事实上,分布式本体的逻辑推理主要依赖于本体的分布式实现逻辑和结构;分布式本体的实现结构不同,其逻辑推理方案也各不相同。因此,需要针对于结构化对等网上服务描述本体的实现技术,研究相应的分布式本体的推理方案用于服务的发现。

#### (3)领域概念映射

本体能够解决特定应用中的知识共享问题。但是,事实上不可能构建出一个覆盖一切的统一本体,这不是世界知识的无限性以及本体构建所具有的主观性和分布性特征所决定的。实际上,不同的用户和团体根据不同的应用需求和应用领域来构建或选用合适的本体,甚至同一领域内也存在着大量的本体。这些本体往往相互重叠或关联。因此,解决本体异构、消除应用系统间的互操作障碍,是基于语义的应用所面临的关键问题。解决本体异构、实现本体互操作的通用方法是本体集成与本体映射。为了准确地为用户的查询请求最大化地推理出符合条件的服务,需要对领域概念之间的映射关系做进一步研究。

**结束语** 随着网络信息资源过载问题的突现,基于因特网的资源发布与发现越来越受到学术界和工业界的普遍关注,资源发布与发现问题的研究有其现实的价值和意义。Web 服务是因特网上的一种特殊资源,为实现网络范围内服务的自动组合和应用的即时构造,对服务发现的准确性有着特殊的要求。结合因特网 Web 资源发现技术,本文对 Web 服务发布发现技术当前的主要研究成果,从是否具有逻辑注册中心结构和是否具备语义发布特征两个方面进行了系统归纳和交叉分类。着重论述了对等环境下语义 Web 服务发布发现技术当前的主要研究工作,并对语义 Web 服务在非结构化、结构化和多层对等环境下的发布实现进行了论述。最后,归纳出对等环境下语义发布的一般特征,以及未来对等环境下 Web 服务发布发现的主要研究目标、研究问题和挑战,希望能够为有兴趣的研究者提供一些思路。

限于阅读和研究范围,在该领域本文的归纳论述或许还有未尽的地方,后续的工作将会进一步完善。

## 参考文献

- [1] 蔡维德,白晓颖,陈以农. 浅谈深析面向服务的软件工程[M]. 北京:清华大学出版社,2008:6-7
- [2] 韩燕波. 面向服务的计算专辑介绍[J]. 计算机学报,2006,29(7)
- [3] Rao Jing-hai,Su Xiao-meng. A Survey of Automated Web Service Composition Methods[C]// SWSWPC 2004. LNCS 3387. 2005:43-54
- [4] 闫淑英,张利永,赵卓峰,等. 支持最终用户编程的服务组合方法[J]. 信息技术快报,2006,4(3)
- [5] alandun. 基于语义的 Web 服务自动化技术[EB/OL]. <http://blogger.org.cn/blog/more.asp?name=alandun&id=12201>, 2006-3-3
- [6] Emekci F,Sahin O D,Agrawal D et al. A peer-to-peer framework for Web service discovery with ranking[C]// Web Services, 2004. Proceedings. IEEE International Conference on.

- [7] Schmidt C, Parashar M. A Peer-to-Peer Approach to Web Service Discovery[C]// World Wide Web; Internet and Web Information Systems, 2004, 7:211-229
- [8] 赵培欣, 沈洁, 张亮, 等. PWSO: 一种基于 P2P 架构的两段式 Web 服务发布和发现方法[J]. 计算机科学, 2007, 34(10):12-14
- [9] Gotze J, Hillenbrand M, Muller P. Web services directory based on peer-to-peer technology[C]// The 32nd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, 2006: 364-370
- [10] Li Yong, Su Sen, Yang Fang-chun. A Peer-to-Peer Approach to Semantic Web Services Discovery[C]// ICCS 2006. Part IV, LNCS 3994, 2006:73-80
- [11] Cardoso J. Discovering Semantic Web Services with and without a Common Ontology Commitment[C]// Services Computing Workshops, 2006. SCW '06. IEEE, 2006:183-190
- [12] Klusch M, Fries B, Khalid M, et al. OWLS-MX: Hybrid OWL-S service matchmaking AAAI Fall Symposium [R]. FS-05-01. 2005:77-84
- [13] Liu Zhi-zhong, Wang Huai-min, Zhou B. A scalable mechanism for semantic service discovery in multi-ontology environment[C]// Lecture Notes in Computer Science, 4459 LNCS. Springer Verlag, 2007:136-145
- [14] Ranjan R, Harwood A, Buyya R. Peer-to-peer-based resource discovery in global grids; a tutorial[J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2008, 10:6-33
- [15] Trunfio P, Talia D, Papadakis H, et al. Peer-to-Peer resource discovery in Grids; Models and systems[J]. Future Generation Computer Systems, 2007, 23:864-878
- [16] Qiu T, Li P. Web service discovery based on semantic matchmaking with UDDI[C]// Proceedings of the 9th International Conference for Young Computer Scientists, ICYCS 2008, 2008: 1229-1234
- [17] Aguilera U, Abaitua J, Diaz J, et al. A Semantic Matching Algorithm for Discovery in UDDI[C]// International Conference on Semantic Computing, 2007:751-758
- [18] Kourtis D, Paraskakis I. Combining SAWSDL, OWL-DL and UDDI for Semantically Enhanced Web Service Discovery[C]// Lecture Notes in Computer Science, The Semantic Web: Research and Applications, Volume 5021, 2008:614-628
- [19] Luo J, Montrose B, Kim A, et al. Adding OWL-S Support to the Existing UDDI Infrastructure[C]// International Conference on Web Services 2006(ICWS '06), 2006:153-162
- [20] Domingue J, Cabral L, Galizia S, et al. IRS-III: A broker-based approach to semantic Web services[J]. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 2008, 6:109-132
- [21] Klusch M, Fries B, Sycara K. OWLS-MX: A hybrid Semantic Web service matchmaker for OWL-S services[J]. Web Semantics, 2009, 7:121-133
- [22] Erdem S I, Sam A B B. Semantic Advanced Matchmaker[J]. Studies in Computational Intelligence, Evolution of the Web in Artificial Intelligence Environments, 2008, 130:163-190
- [23] 陈贵海, 李振海. 对等网络: 结构、应用与设计(中国计算机学会学术著作丛书)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007
- [24] Gnutella development forum, the Gnutella v0. 6 protocol[EB/OL]. [http://groups.yahoo.com/group/the\\_gdf/files/](http://groups.yahoo.com/group/the_gdf/files/)
- [25] Clarke I, et al. Freenet: A Distributed Anonymous Information Storage and Retrieval System[EB/OL]. <http://freenetproject.org/freenet.pdf>, 1999
- [26] Liang Jian, Kumar R, Ross K W. The kazaa overlay: A measurement study[J]. Computer Networks, 2005, 50(6):842-858
- [27] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: Ascalable peer-to-peer lookup service for internet applications[C]// Proceedings of SIGCOMM2001, San Deigo, CA, August 2001:149-160
- [28] Stoica I, Morris R, Liben-Nowell D, et al. Chord: Ascalable peer-to-peer lookup protocol for internet applications[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11:17-32
- [29] Ratnasamy T S, Francis P, Handley M, et al. A scalable content-addressable network[C]// Proceedings of ACM SIGCOMM. San Diego, California, USA, 2001:161-172
- [30] Zhao B Y, Kubiawicz J, Joseph A D. Tapestry: An infrastructure for fault-tolerant wide-area location and routing[R]. UCB/CSD-01-1141. Computer Science Division, University of California, April 2001
- [31] Zhao B Y, Huang Ling, Stribling J, et al. Tapestry: Aresilient global-scale overlay for service deployment[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(1):41-53
- [32] Rowstron A, Druschel P. Pastry: Scalable, decentralized object location and routing for large scale peer-to-peer systems[C]// Proceedings of IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms, Heidelberg, Germany, 2001:329-350
- [33] Maymounkov P, Mazières D. Kademlia: A peer-to-peer information system based on the xor metric[C]// Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems. Cambridge, MA, USA, March 2002:53-65
- [34] Malkhi D, Naor M, Ratajczak D. Viceroy: A scalable and dynamic emulation of the butterfly[C]// Proceedings of the 21st annual ACM symposium on Principles of distributed computing. Monterey, California, USA, 2002:183-192
- [35] Kaashoek M, Karger D. Koorde: A Simple Degree-Optimal Distributed Hash Table[C]// Proceedings of 2nd International Workshop on Peer-to-peer Systems, 2003:98-107
- [36] 周玉娇. P2P 网络环境下的 Web 服务发现技术研究[J]. 广西大学, 2008(6)
- [37] Koskela T, Julkunen J, Korhonen J, et al. Leveraging collaboration of peer-to-peer and Web services[C]// The 2nd International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, 2008:496-501
- [38] Forster F, de Meer H. Discovery of Web Services with a P2P Network[C]// ICCS 2004. LNCS 3038, 2004:90-97
- [39] Li R, Zhang Z, Wang Z, et al. WebPeer: A P2P-based System for Publishing and Discovering Web Services[J]. International Conference on Services Computing. Orlando, USA, July 2005:11-15
- [40] Shen H, Xu C, Chen G. Cycloid: A constant-degree and lookup-efficient P2P overlay network[C]// Proceedings-International Parallel and Distributed Processing Symposium. IPDPS 2004 (Abstracts and CD-ROM). 2004, 18:343-352
- [41] Cai M, Frank M, Chen J, et al. Maan: A Multi-attribute addressable network for grid information services[C]// Proceedings of the Fourth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing, 2003:184-191
- [42] Gupta A, Agrawal D, Abbadi A E. Approximate Range Selection Queries in Peer-to-Peer[C]// Proceedings of the First Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, 2003
- [43] Andrzejak A, Xu Z. Scalable, Efficient Range Queries for Grid Information Services[C]// Proceedings of the Second International Conference on Peer-to-Peer Computing, IEEE Computer Society, 2002:33-40

- [44] Schmidt C, Parashar M. Flexible information discovery in decentralized distributed systems High Performance Distributed Computing[C]// Proceedings 12th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing. 2003;226-235
- [45] Ganesan P, Yang B, Garcia-Molina H. One torus to rule them all; multi-dimensional queries in p2p systems[C]// Proceedings of the 7th International Workshop on the Web and Databases. New York, NY, USA, 2004;19-24
- [46] Aspnes J, Shah G. Skip graphs[C]// Proceedings of the Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. 2003;384-393
- [47] Harvey N J A, Jones M B, Saroiu S, et al. SkipNet; a scalable overlay network with practical locality properties USITS'03[C]// Proceedings of the 4th conference on USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems. USENIX Association, 2003
- [48] Crainiceanu A, Linga P, Gehrke J, et al. Querying peer-to-peer networks using P-Trees[C]// Proceedings of the 7th International Workshop on the Web and Databases. 2004;25-30
- [49] Liao C Y, Ng W S, Shu Y, et al. Efficient range queries and fast lookup services for scalable p2p networks[C]// Proceedings of 2nd International Workshop on Databases, Information Systems and Peer-to-Peer Computing. 2004;78-92
- [50] Gao J, Steenkiste P. An adaptive protocol for efficient support of range queries in dht-based systems[C]// Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society, 2004;239-250
- [51] Jagadish H V, Ooi B C, Vu Q H. Baton; A balanced tree structure for peer-to-peer networks[C]// Proceedings of the 31st International Conference on Very Large Data Bases. 2005;661-672
- [52] Kaporis A, Makris C H, Sioutas S, et al. Dynamic Interpolation Search Revisited[C]// ICALP 2006, Part I. LNCS 4051. 2006;382-394
- [53] Jagadish H, Ooi B C, Vu Q H, et al. VBI-Tree; A peer-to-peer framework for supporting multi-dimensional indexing schemes [C]// Proceedings-International Conference on Data Engineering. 2006
- [54] Makris C, Sakkopoulos E, Sioutas S, et al. Nippers; Network of interpolated peers for Web service discovery[C]// Proceedings of the International Conference on Information Technology, Coding and Computing, volume 2, April 2005;193-198
- [55] Yu J, Chen R, Su H, et al. Web services publishing and discovery on peer-to-peer overlay[C]// Proceedings of 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing. APSCC, 2006;329-334
- [56] Tanin E, Harwood A, Samet H. Using a distributed quadtree index in peer-to-peer networks[J]. VLDB Journal, 2007; 16(2): 165-178
- [57] McIlraith S A, Son T C, Zeng H. Semantic Web services [J]. IEEE Intelligent Systems, 2001, 16(2);46-52
- [58] Martin D, Paolucci M, McIlraith S, et al. Bringing semantics to web services; The OWL-S approach[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3387;26-42
- [59] Feier C, Polleres A, Dumitru R, et al. Towards intelligent Web services; The Web service modeling ontology (WSMO)[C]// International Conference on Intelligent Computing (ICIC). 2005
- [60] Bachlechner D. Toward a Semantic Web service technology roadmap Research[C]// Second International Conference on Challenges in Information Science. 2008;17-28
- [61] Sapkota B, Nazir S, Vitvar T, et al. Semantic overlay for scalable service discovery[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, CollaborateCom 2007. 2007;387-391
- [62] Maguitman A G, Menczer F, Roinestad H, et al. Algorithmic Detection of Semantic Similarity[C]// Proce. of 14th International Conference on World Wide Web. 2005;107-116
- [63] Verma K, Sivashanmugam K, Sheth A, et al. METEORS WSDI; A scalable P2P infrastructure of registries for semantic publication and discovery of web services[J]. Inf. Tech. and Management, 2005, 6(1);17-39
- [64] Wu H, Jin H, Chen H. Semantic-Overlay-Driven Web Services Discovery[C]// First International Conference on Semantics, Knowledge and Grid. 2005;9-9
- [65] Haase P, Siebes R, van Harmelen F. Peer Selection in Peer-to-Peer Networks with Semantic Topologies[C]// ICSNW 2004. LNCS 3226. 2004;108-125
- [66] Bisignano M, Modica D G, Tomarchio O. JaxSON; A Semantic P2P Overlay Network for Web Service Discovery[C]// World Conference. 2009;438-445
- [67] Bisignano M, Modica D G, Tomarchio O. A Semantic P2P Overlay Network for Web Service Discovery Network-Based Information Systems [C] // NBIS '09. International Conference. 2009;60-66
- [68] Li Yong, Su Sen, Yang Fang-chun. A Peer-to-Peer Approach to Semantic Web Services Discovery[C]// ICCS 2006. 2006;73-80
- [69] Heine F, Hovestadt M, Kao O. Towards ontology-driven P2P Grid resource discovery[C]// Proceedings-IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing. 2004;76-83
- [70] Wang X, Liu C, Yang Z. An efficient Semantic Web Service discovery algorithm in DHT-based P2P network[C]// First International Conference on Future Information Networks. 2009;188-193
- [71] Si Hua-you, Zhao Yun, Qi Heng-nian, et al. An Approach to Distributed Semantic Web Services Publication and Discovery Based on Chord[C]// Proceedings of the 3rd International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID2010). Hangzhou, China, 2010
- [72] Zhao Yun, Si Hua-you, Qi Heng-nian, et al. An Approach to Discover Semantic Web Services in Distributed Environment Based on Chord[C]// The 2010 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering. Hangzhou, China, 2010
- [73] Yu Shou-jian, Liu Jian-wei, Le Jia-jin. Decentralized Web Service Organization Combining Semantic Web and Peer to Peer Computing[C]// ECOWS 2004. LNCS 3250. 2004;116-127
- [74] Wang Z, Hu Y. An Approach for Semantic Web Service Discovery Based on P2P Network[C]// Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th International Conference. 2008;1-4
- [75] 刘志忠, 王怀民, 周斌. 一种双层 P2P 结构的语义服务发现模型 [J]. 软件学报, 2007, 18(8), 1922-1932
- [76] Liu Z Z, Wang H M, Zhou B. A scalable mechanism of semantic service discovery in multi-ontology environment[C]// The GPC 2007. LNCS 4459. Herdenberg; Springer-Verlag, 2007;136-146
- [77] Anceaume E, Gradinariu M, Datta A, et al. A Semantic Overlay for Self-Peer-to-Peer Publish/Subscribe Distributed Computing Systems [C] // ICDCS 2006. 26th IEEE International Conference. 2006;22-22
- [78] Comito C, Patarin S, Talia D. A semantic overlay network for P2P schema-based data integration[C]// Proceedings-International Symposium on Computers and Communications. 2006;88-93