

## 一种 QoS 有保障的 Web 服务分布式发现模型<sup>\*</sup>

郭得科<sup>1+</sup>, 任彦<sup>1</sup>, 陈洪辉<sup>1</sup>, 薛群威<sup>2</sup>, 罗雪山<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(国防科学技术大学 信息系统与管理学院 C<sup>4</sup>ISR 技术重点实验室, 湖南 长沙 410073)

<sup>2</sup>(中国地质环境检测院, 北京 100081)

### A QoS-Guaranteed and Distributed Model for Web Service Discovery

GUO De-Ke<sup>1+</sup>, REN Yan<sup>1</sup>, CHEN Hong-Hui<sup>1</sup>, XUE Qun-Wei<sup>2</sup>, LUO Xue-Shan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Key Laboratory of C<sup>4</sup>ISR Technology, School of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

<sup>2</sup>(China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-731-4573578, Fax: +86-731-4573577, E-mail: aeronautic@126.com, <http://www.nudt.edu.cn>

**Guo DK, Ren Y, Chen HH, Xue QW, Luo XS. A QoS-guaranteed and distributed model for Web service discovery. *Journal of Software*, 2006,17(11):2324–2334. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/2324.htm>**

**Abstract:** How to dynamically select, bind and invoke Web service that can best meet the requirements of service consumer is an ongoing research topic in Web services community. In this paper, a QoS-Guaranteed and distributed mechanism of Web service discovery is proposed, which supports Web service discovery with QoS constraints and enhances the QoS of service discovery system. First, a novel three-dimensional QoS model of Web service is introduced, and a Web service-selecting algorithm is proposed based on the novel model. Second, the implementation model of UDDI (universal description, discovery, and integration) specification is improved by integrating the service-selecting algorithm based on QoS constraints. Third, an unstructured peer-to-peer network of UDDI with an informed routing protocol based on Bloom Filters is proposed, and an extended Kautz graph is used as the logical topology of this network. The experimental results show that the new mechanism for Web service discovery possesses higher recall rate, query response rate, and better load balance. Furthermore, the results for QoS of the selected Web service can satisfy the requirements of service consumers.

**Key words:** Web service discovery; quality of service; peer-to-peer network; Kautz digraph; Bloom Filters

**摘要:** 如何动态地选择、绑定并调用最适合用户需求的 Web 服务备受研究领域的关注。提出了一种 QoS 有保障的 Web 服务分布式发现模型, 具体研究基于 QoS 约束的服务发现问题, 以及如何提高服务发现系统的可用性问题。研究 Web 服务的三维 QoS 模型并设计基于 QoS 约束的服务选择算法。提出集成服务选择算法的 UDDI (universal description, discovery, and integration) 兼容扩展模型, 并运用可扩展 Kautz 图和 Bloom Filters 理论, 提出分布式 UDDI 的实现机制。该模型的原型系统在国家地质调查网格中得到应用, 测试结果显示: 扩展 UDDI

\* Supported by the Key Pre-Research Foundation of Military Equipment of China under Grant No.6140538 (武器装备重点预研基金); the Research Foundation for Ph.D. Candidates of National University of Defense Technology of China under Grant No.0615 (国防科学技术大学博士研究生创新基金)

Received 2006-06-09; Accepted 2006-08-07

模型具有很高的查准率、响应率以及较好的负载均衡能力,而模型的分布式实现机制在保障查询性能的前提下,提高了发现系统的有效性和可用性。

关键词: Web 服务发现;服务质量;对等网络;Kautz 图;Floom Filters

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

为了适应 B2B 电子商务的需要,企业 IT 架构正逐步转向面向服务的架构(service-oriented architecture,简称 SOA)。本质上,Web 服务是一种自描述的、模块化的、崭新的分布式计算模型。它采用可扩展标记语言(XML)定义了 Web 服务协议栈,通过 SOAP(simple object access protocol),WSDL(Web services description language),UDDI (universal description, discovery, and integration),WSFL(Web services flow language),BPEL4WS (business process execution language for Web services)等开放协议和标准,提供面向互联网应用的统一服务注册、发现、绑定及集成调用机制。开放标准的采用使 Web 服务具有很好的互操作性及自描述、模块化的特性,允许采用任何编程语言在任何平台上开发松耦合的 Web 服务,并通过适当的服务组合支持面向服务应用的集成和开发。

Kim 等人在文献[1]中研究了 2003 年~2004 年公共 Web 服务的使用情况,其数量并没有明显的增加,只有大约 34%的服务可用,而且每周大约有 16%的已注册可用的 Web 服务已经失效。这就导致从 UDDI 中查找到的服务信息的实际可用性差。究其原因在于:UDDI 规范没有考虑服务过滤和选择的问题,进而不能确保其发现的服务能够满足用户的 QoS 需求。UDDI 规范及其系统都将服务发现之后的过滤和选择工作完全交给用户来完成,而 UDDI 数据模型和应用开发接口规范没有涵盖任何类型的 Web 服务 QoS 模型,导致用户从 UDDI 获得候选服务之后根本无法对其进行过滤和选择,无法实现有效的服务调用。

针对以上问题,本文提出了一种 QoS 有保障的 Web 服务分布式发现模型,从支持基于 QoS 约束的服务发现及提高服务发现系统的 QoS 两个角度来保障用户对 Web 服务的 QoS 需求:首先,提出了 Web 服务的三维 QoS 模型、基于三维 QoS 模型的选择算法;其次,研究了兼容的 UDDI 扩展模型,其集成了基于 QoS 约束的服务选择模型;最后,提出基于扩展 Kautz 图和 Bloom Filters 的服务分布式发现技术。该模型的原型系统已在国家地质调查网格中得到应用,测试结果显示,扩展 UDDI 模型具有很高的查准率、响应率以及较好的负载均衡能力,而且,模型的分布式实现机制提高了发现系统的查询性能和容错能力。

## 1 基于 QoS 约束的服务选择模型

### 1.1 Web 服务的三维 QoS 模型

Web 服务的 QoS 模型从很多方面刻画其非功能特性。它不仅有助于指导 Web 服务的高质量开发,而且用于支持服务的过滤和选择。文献[2-4]对适用于 Web 服务的 QoS 模型进行相关研究,提出了包括响应时间、吞吐量、可靠性、可用性、准确性、安全性等在内的 QoS 属性集。本文从宿主结点、服务以及方法 3 个维度对 Web 服务进行 QoS 建模,提出 Web 服务的三维 QoS 模型,并为随后研究的服务选择算法奠定基础。该模型的 3 个维度之间彼此正交且存在层次关系:宿主结点维是基础维度;服务维是标准维度;而方法维是高层维度。

宿主结点维的主要 QoS 属性包括:网络正常可达概率、最近  $T$  时间段内网络是否正常可达、Web 服务容器可使用的主存上限、最近  $T$  时间段内 Web 服务容器可用主存与最大可用主存的比值、处理器的时钟频率、最近  $T$  时间段内处理器的占有率、最大带宽以及最近  $T$  时间段内带宽占用率等。

服务维的主要 QoS 属性包括:

(1) 可访问性:表示服务接收到客户端的调用请求之后能够对其进行处理的能力,采用当前可接纳的服务请求数目与其容量的比值来度量,比值越大,其可访问性越高。

(2) 可靠性:在规定条件和特定时间内服务能够执行特定功能的能力,可以采用平均无故障时间、平均故障修复时间等指标度量。

(3) 性能:文献[2,3]采用吞吐量(表示一定时间段内可以处理的最大服务请求)、响应时间及其他与时间相

关的指标度量服务性能.本文认为,与时间相关的指标应该是对服务方法性能的度量.

(4) 容量:在保障特定性能的前提下,服务能够同时处理的最大请求数目.通过提高 Web 服务的扩展性能够扩展其容量,例如构建服务池、服务集群.

(5) 鲁棒性:面对无效、不正确的输入能够正确处理的能力,以及异常情况下能够正确处理的能力.

(6) 互操作性:表示服务对各种服务客户端开发环境的支持能力,可以通过严格遵循 Web 服务的标准协议栈提高服务的互操作性.

(7) 可移植性:表示服务与实际物理资源的关联程度,关联程度低表示可移植性强;反之表示可移植性弱.例如,JAVA 开发的 Web 服务移植性强于其他语言开发的 Web 服务,独立可部署的服务比引用其他本地资源的服务具有更强的可移植性.

方法维的主要 QoS 属性包括:

(1) 响应时间:从客户端向服务提交一项方法调用请求到获得方法响应的时间间隔,包括调用消息的等待时间、方法的执行时间以及往返通信时间.

(2) 完整性:表示方法被调用后其所有活动被正确执行的程度,可以使用事务机制提高其完整性.

(3) 安全性:表示方法调用过程的安全水平,可以通过身份验证、消息加密、访问控制等机制提高其安全性.与文献[2-4]中提出的 Web 服务 QoS 模型相比,本文的三维 QoS 模型的科学性和合理性表现在如下方面:

(1) 客户端的服务调用请求抵达远程目标服务进程的过程可以细化为:调用消息通过网络协议正确抵达服务宿主结点,进而抵达其上的 Web 服务容器,最终抵达 Web 服务进程.现有 Web 服务 QoS 模型单纯地从 Web 服务进程的角度研究其 QoS 属性,而忽视了更为基础的服务质量因素,即涵盖服务调用前两个环节的服务质量.而本文的三维 QoS 模型使用宿主结点维实现对这类基础 QoS 因素的刻画和度量.

(2) 在实际中,时间相关指标是对服务方法性能的度量,而且粗粒度 Web 服务的访问控制策略通常针对具体的服务方法.本文的 QoS 模型使用方法维刻画和度量这些 QoS 因素,而现有 Web 服务 QoS 模型没有涵盖这类 QoS 因素或仅在服务层面有一些笼统的表示.

(3) 服务宿主结点与其部署的服务之间存在一对多的对应关系,而服务与其提供的方法之间也存在一对多的对应关系.如果简单地从一个维度对所有 QoS 因素进行刻画,则不能体现这种依赖关系,而且不能体现这些 QoS 因素之间的层次关系.

(4) 本文的模型能够细化用户的 QoS 需求层次,并在单个维度以及多个维度的不同组合条件下,灵活地构造基于 QoS 的服务选择模型.

## 1.2 基于三维QoS模型的服务选择算法

在 Web 服务三维 QoS 模型中,很多 QoS 属性通常采用定性指标度量,如最近  $T$  时间段内网络是否正常可达、鲁棒性、互操作性、可移植性、安全性等属性,本文将它们定义为定性 QoS 属性,与之对应,定义定量 QoS 属性的概念.现有的服务选择算法广泛采用定量 QoS 属性作为约束变量,为了不失一般性,本文在设计服务选择算法时,会同时考虑定性和定量 QoS 属性.由于服务提供者、服务消费者以及第三方对定性 QoS 属性的理解和度量可能不一致,因此需要对其进行量化处理.所谓量化,就是将定性 QoS 属性的有关因素用量的形式表现出来.量可以用数值的形式表示,也可以用逻辑结构来描述,本文采用前一种形式.定性指标量化时,一般采用序标度和区间标度两种成熟的方法,本文对此不再详细介绍.

假设 1. 在运用本文提出的 Web 服务三维 QoS 模型之前,完成如下必要的预处理工作:1) 根据实际需要裁减 QoS 模型中不必要的属性;2) 对定性 QoS 属性进行量化处理.

定义 1. 基于三维 QoS 模型的 Web 服务 QoS 描述向量是  $S = \{(q_{11}, \dots, q_{1m}), (q_{21}, \dots, q_{2n}), (q_{31}, \dots, q_{3o})\}$ , 其 3 个子向量依次由宿主结点维、服务维以及方法维的 QoS 属性构成.该向量支持对各项 Web 服务的实际 QoS 指标的度量,也能表达用户对目标服务 QoS 指标的需求.

定义 2. 约束关系  $r(q, u)$  是一个二元关系,表示  $q$  受到  $u$  的约束.序偶  $\langle q, u \rangle$  的第一分量表示给定 Web 服务 QoS 属性  $q \in S$  的实际指标,第二分量表示用户对目标服务 QoS 属性  $q$  的期望值.其基本约束关系的集合表示为

$$R = \{<, =, >, \leq, \geq, \neq\}.$$

定义 3. 用户对目标服务的 QoS 属性  $q \in S$  的需求表示为  $r(q, u)$ , 其中,  $r \in R$ . 用户根据 QoS 描述向量提出的 QoS 需求向量表示为

$$requ_q = (((r_{11}(q_{11}, u_{11}), \dots, (r_{1m}(q_{1m}, u_{1m})), (r_{21}(q_{21}, u_{21}), \dots, (r_{2n}(q_{2n}, u_{2n})), (r_{31}(q_{31}, u_{31}), \dots, (r_{3o}(q_{3o}, u_{3o}))),$$

其中,  $r \in R, 1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq m$  or  $n$  or  $o$ . 如果用户对某项 QoS 属性不作要求, 则其对应的单元  $r(q, u)$  为空; 如果用户对某个维度的全部 QoS 属性都不作要求, 则对应维度的 QoS 需求子向量为空; 如果用户对服务的 QoS 不作要求, 则 QoS 需求向量为空.

至此, 基于 QoS 约束的服务选择问题可以定义为: 根据定义 1 给出的 QoS 描述向量, 对满足功能性需求及访问控制要求的候选服务进行过滤和选择, 提取出同时满足 3 种类型约束的服务, 并根据特定指标对所提取出的服务进行排序, 并将排序结果输出给用户. 本文对服务排序的具体策略不作深入研究.

算法 1 给出了基于 QoS 约束的服务选择问题的解决方法. 它以用户的 QoS 需求向量和备选服务序列  $S$  为输入条件, 支持基于单个 QoS 维度及其组合的服务选择. 同时, 在用户提供的 QoS 需求向量不完备、不清晰、甚至缺失的情况下, 算法 1 调用并执行缺省的服务选择方法, 从而使其仍然能正确而有效地工作.

算法 1. 基于三维 QoS 模型的 Web 服务选择算法.

```

Algorithm1 SelectbyMultiQoS ( $requ_q, S$ )
1.  $dimension \leftarrow 0$ 
2. if  $requ_q = \text{null}$  then
3.    $S \leftarrow \text{DefaultSelect}(S)$ 
4. else if  $requ_q[0] \neq \text{null}$  then
5.    $S \leftarrow \text{SelectbyQoS}(requ_q, dimension, S)$ 
6. else if  $requ_q[1] \neq \text{null}$  then
7.    $dimension \leftarrow 1$ 
8.    $S \leftarrow \text{SelectbyQoS}(requ_q, dimension, S)$ 
9. else if  $requ_q[2] \neq \text{null}$  then
10.   $dimension \leftarrow 2$ 
11.   $S \leftarrow \text{SelectbyQoS}(requ_q, dimension, S)$ 
12. Return  $\text{DefaultRank}(S)$ 
    
```

```

SelectbyQoS ( $requ_q, dimension, S$ )
1.  $S_{result} \leftarrow \emptyset$ 
2.  $counter \leftarrow 0$ 
3. for  $i = 0$  to  $S.length$  do
4.   for  $j = 0$  to  $requ_q[dimension].length$  do
5.     if  $requ_q[dimension][j]$  is false for
       corresponding
       QoS value of service  $S[i]$  then
6.       break
7.     else
8.        $counter \leftarrow counter + 1$ 
9.     if  $counter = requ_q[dimension].length$  then
10.      Add  $S[i]$  to set  $S_{result}$ 
11.   Return  $S_{result}$ 
    
```

## 2 兼容的扩展 UDDI 模型

### 2.1 一种新模型

UDDI 规范对其实现细节没有进行严格的规定, 也没有提出参考的实现规范. 因此, 在保证与 UDDI 规范兼容的前提下, 可以对其实现规范进行必要的扩展. 目前版本的 UDDI 规范更多地关注于基于功能约束的服务发现问题, 而将服务选择和排序完全交给用户来完成, 同时, 又没有为用户提供完成这些工作所需的足够的 QoS 信息. 为了克服现有 UDDI 模型存在的这些缺点, 本文提出两种可行的扩展模式以及支持这两种扩展模式的一种 UDDI 新模型 (如图 1 所示), 从而对基于 QoS 约束的服务选择给予直接或间接的支持.

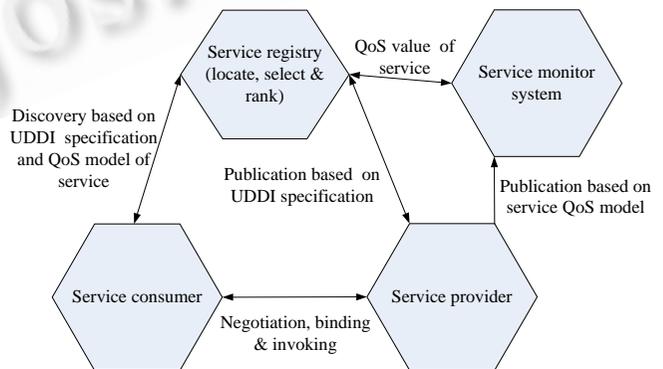


Fig.1 Architecture of Web service publication and discovery

图 1 一种 Web 服务注册和发现模型

有两种扩展模式: 1) 使 UDDI 实现规范具备服务选择功能, 确保输出的服务满足用户的 QoS 需求; 2) 在确

保输出的服务满足最基本的 QoS 需求的前提下,使客户执行服务发现操作后能够获得必要的服务 QoS 信息,进而能够根据本地 QoS 需求对候选服务进行选择操作。

在所提出的 UDDI 新模型中有 4 种基本角色:Web 服务提供者、Web 服务消费者、UDDI 服务注册中心以及服务监控系统。Web 服务提供者在部署好服务之后,向 UDDI 服务注册中心发布符合 UDDI 数据结构规范的服务描述信息;Web 服务消费者会向 UDDI 服务注册中心提出服务发现请求并获得反馈,并且发现请求中可以包含对目标服务 QoS 指标的需求;UDDI 服务注册中心在继承原有功能的基础上,支持基于 QoS 约束的服务选择;服务监控系统作为基础设施负责收集并发布所有在 UDDI 中注册服务的 QoS 指标。

新模型没有对 UDDI 的数据结构规范和应用开发接口规范产生任何修改和影响,其服务发布和发现 API(application programming interface)能够很好地支持遵从 UDDI 规范的各种 UDDI 客户端开发工具,其应用模式与 Web 服务体系结构兼容。新模型在其服务发现应用开发接口规范的实现模型中集成了本文提出的服务选择模型,从而具备基于功能约束、访问控制约束以及 QoS 约束的深度服务发现能力。

## 2.2 Web 服务描述信息的注册与 QoS 指标的获取

新模型下 Web 服务描述信息的注册过程和方法与以往相比并没有发生变化,这确保了服务发布相关的数据结构规范和应用开发接口的兼容性。此外,新模型为了实现基于 QoS 约束对服务进行选择的功能,必须首先根据相应的 QoS 模型获取服务的各项 QoS 指标。

文献[5,6]中采用的服务提供者发布其 QoS 指标的方法只适合于收集相对稳定和静态的 QoS 属性,而服务 QoS 模型的绝大部分属性的指标是动态变化的。如果服务监控系统<sup>[6]</sup>已经作为基础设施被成功部署并正常运行,则可以由其根据确定的服务 QoS 模型获取服务的 QoS 指标,从而在服务选择模型的具体实现过程中,通过标准 API 向其输出候选服务所需的 QoS 指标。对于服务监控系统的体系结构以及如何优化状态更新策略等问题,本文将不展开讨论,细节问题请参见文献[7]。此外,网络监控领域的相关论文中对这些问题已有很多探讨。

## 2.3 用户对服务 QoS 需求信息的表达

众所周知,UDDI 数据结构规范和 API 规范没有对任何类型的 QoS 模型提供支持。新模型要对基于 QoS 约束的服务选择和排序提供支持,则必须要解决用户对服务的 QoS 需求如何规范化表达的问题。为了保持新模型与 UDDI 规范的兼容性,本文不提倡修改或者增设数据结构以支持服务的 QoS 描述信息,虽然必要的改动会带来更大的灵活性和更丰富的功能。

在实际应用系统选定服务的 QoS 模型并对定性 QoS 属性进行量化处理之后,不难对模型中各项属性的基本类型作出判断。例如,本文提出的服务三维 QoS 模型中的主要属性项可以归于效益型和成本型定量指标。用户在表达效益型 QoS 指标的需求时,通常采用约束关系“ $\geq$ ”,而表达成本型 QoS 指标的需求时,通常采用约束关系“ $\leq$ ”。因此,当采用本文提出的服务三维 QoS 模型时,用户对目标服务 QoS 的需求可以仅通过 QoS 属性名称和属性值两部分来描述。定义 2 所必需的约束关系隐含在 QoS 属性的基本类型中,而且用户和扩展的 UDDI 模型对这种关系有共识。

UDDI 数据结构规范中的 CategoryBag 数据类型的基本组成单元,是给定 Tmodel 下成对的属性名称和属性值。这一结构特征与用户对目标服务 QoS 的需求表述类似,而且 CategoryBag 是服务发现应用开发接口规范的可选参数之一,因此,可以借用 CategoryBag 数据类型来表达用户对目标服务 QoS 指标的需求。为了实现这种设想,需要完成下面两项准备工作:

- 1) 为选用的服务 QoS 模型定义 Tmodel,并在 UDDI 服务注册中心完成对这个 Tmodel 的注册。注册过程将为其产生全局唯一的标识符 UUID,并根据 UDDI 提供的 uddi-org:types 分类法将其分类符的 keyValue 部分赋值为“categorization”,从而使其成为 UDDI 规范的内在分类法,且被命名为服务 QoS 分类法。

- 2) 将选用的服务 QoS 模型的具体数据存储到为 UDDI 规范的分分类法设计的关系表中,以对应 Tmodel 的 UUID 来区别分属不同分类法的基本数据。将服务 QoS 模型的文档对外发布,使用户能够获得并对其形成共识。

之后,用户可以开始采用服务 QoS 分类法构造用于表达其对目标服务 QoS 需求的 CategoryBag 数据结构,

并按照服务发现 API 规范的要求,将其追加到整个服务发现数据结构的合适部位.至此,新模型在兼容 UDDI 服务发现 API 规范及其相关数据结构的基础上,实现了对服务 QoS 需求信息的表达.

#### 2.4 服务发现和选择

新模型下服务的发现和选择是 UDDI 服务注册中心的基本职能.其服务发现的作用仍然是基于功能、访问控制以及商业等约束条件的服务查找,而服务选择和排序活动的功用由集成的服务选择模型和用户对目标服务 QoS 需求信息的正确表达来共同实现.如果 UDDI 服务注册中心接收到的服务发现消息中包含基于服务 QoS 分类法的 CategoryBag 数据类型,则算法 1 能够确保输出的服务满足用户的 QoS 需求;相反情况下,算法 1 确保输出的服务能够满足系统设定的最基本的 QoS 需求(使用缺省的服务选择方法).

如上文所述,UDDI 服务注册中心能够代替服务消费者完成服务的深度发现和选择任务,但是,有必要为用户对候选服务进行本地决策的需求提供技术支持.为此,对经过服务选择模型处理后的服务采用服务 QoS 分类法构造代表其 QoS 水平的数据类型 CategoryBag,并将其追加到 get\_serviceDetail 应用开发接口的输出数据结构 BusinessService 中的恰当位置.至此,本文提出的 UDDI 新模型对 UDDI 实现规范的两种扩展模式都提供了足够的支持.

### 3 基于 Kautz 图的分布式 UDDI 实现技术

随着面向服务计算应用的兴起和蓬勃发展,服务发现系统越来越成为这类应用不可或缺的关键的组成部分,其服务质量也成为日益关注的问题;而集中式系统具有潜在的单点失效和并发访问性能瓶颈等缺陷,为此,需要研究本文提出的扩展 UDDI 模型的分布式实现机制,以避免集中式系统的缺陷并提高系统的有效性和可用性.此外,广泛使用的私用服务发现系统之间缺乏互通机制,导致了新的服务孤岛的出现,这种现状也呼唤有效的分布式机制将各个服务孤岛便捷地连接起来.

本文提出基于非结构化对等网络技术的服务分布式发现技术,适用于在完全自治、彼此之间独立的多个 UDDI 系统之上构建分布式服务发现系统,假设这些独立 UDDI 系统遵从本文提出的扩展 UDDI 模型而实现(事实上,本文提出的分布式 UDDI 技术对标准 UDDI 规范和本文提出的扩展 UDDI 规范都能够支持).各个自治 UDDI 系统仅仅管理和维护在其中注册的 Web 服务,基于 QoS 的服务查询请求可以向任何独立的 UDDI 系统发起.如果接收到查询请求的初始 UDDI 系统中没有满足查询条件的服务,则该请求需要向邻居结点转发并被继续处理,直至得到满足查询条件的服务为止.非结构化对等网络的拓扑结构和查询协议是影响查询性能的最基本因素,其中,拓扑结构影响平均查询延迟,而查询协议影响查准率、查全率以及查询成本等指标.本文以文献 [8] 提出的扩展 Kautz 图作为分布式服务发现系统逻辑拓扑结构,替代当前非结构化对等网络广泛采用的随机图拓扑结构,并提出非结构化 UDDI 对等网络的设计方法.

#### 3.1 扩展的 Kautz 图及其属性

定义 5(扩展 Kautz 图<sup>[8]</sup>). 已知整数  $d$  和  $k$ , 扩展 Kautz 图  $E_K(d, k)$  是一种常度数、网络直径接近最优的有向图.图中结点的标识是一个  $d+1$  进制的  $k$  维向量,并被划分为大小为  $q_1, q_2, \dots, q_p$  的  $P$  块,记为

$$(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1q_1})(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2q_2}) \dots (x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pq_p}), 0 \leq x_{ij} \leq d, \sum_{i=1}^p q_i = k \quad (6)$$

并且,向量的每一个分块内相邻位置上的数值不相等.标识为式(6)所示的结点与标识为式(7)的其他结点之间建立有向边.

$$(x_{12}, \dots, x_{1q_1}, a_1)(x_{22}, \dots, x_{2q_2}, a_2) \dots (x_{p2}, \dots, x_{pq_p}, a_p), 0 \leq a_i \leq d, a_i \neq x_{iq_i}, 1 \leq i \leq p \quad (7)$$

当  $p=1$  时,扩展 Kautz 图退化为标准 Kautz 图,其出度和入度为  $d$ ,网络直径为  $k$ .扩展 Kautz 图默认  $p>1$ .

扩展 Kautz 图中的结点数目是  $d^{m-p}(d+1)$ ,有向边数是  $d^m(d+1)^p$ ,任何结点的出度和入度都是  $d^p$ .对于  $d \geq 2$ ,如果结点标识向量的  $p$  块中至少有两块的大小等于  $\max\{q_i\}$  或者有一块的大小等于  $\max\{q_i\}-1$ ,则其网络直径是  $\max\{q_i\}+1$ ;否则,其网络直径是  $\max\{q_i\}$ .对于  $d=1$ ,如果  $p=1$ ,则其网络直径是 1;如果  $p \geq 2$ ,则其网络不是连通图.

定理 1. 给定结点度数  $D$  和结点总数  $N$ ,扩展 Kautz 图的网络直径下界等于

$$\left\lceil \log_D N + (1 - p \times \log_D (\sqrt[p]{D} + 1)) \right\rceil + 1.$$

证明:从扩展 Kautz 图的定义不难推导出其结点的度  $D=d^p$ ,其结点总数  $N=d^{m-p}(d+1)^p$ .据此可得

$$m = p \times \log_D N + p \times (1 - p \times \log_D (\sqrt[p]{D} + 1)) \quad (8)$$

已知扩展 Kautz 图的网络直径为  $\max\{q_i\}+1$  或  $\max\{q_i\}$ ,当对结点标识向量进行  $p$  等分时,可以获得其网络直径的下界为  $\max\{q_i\}+1 = \lceil m/p \rceil + 1 = \left\lceil \log_D N + (1 - p \times \log_D (\sqrt[p]{D} + 1)) \right\rceil + 1$ .

扩展 Kautz 图具备常度数、网络直径接近最优、较大的最小边割集和最小分割集等优良特性,能够从结构上确保基于它的非结构化对等网络的结点存储负载和查询延迟有界,且网络具有很强的连通性和抗毁性.而且,对于给定的结点数  $D$  和结点总数  $N$ ,可以根据需要产生具有不同网络直径的扩展 Kautz 图.

### 3.2 非结构化 UDDI 对等网络的设计方法

为了将扩展 UDDI 模式实现为基于非结构化对等网络的分布式系统,每个 UDDI 服务注册中心需要扩充服务查询存储转发模型,即 UDDI 服务发现 API 在实现过程中需要集成该模型.该模型维护一个关于邻居注册中心的路由表,并配备查询消息路由协议.该协议负责将经过当前结点处理后仍不满足终止条件的查询消息转发给部分或全部邻居结点.

非结构化 UDDI 对等网络的拓扑结构不是随机拓扑,它受扩展 Kautz 图定义的约束.具体而言,每个 UDDI 服务注册中心在加入非结构化对等网络之前,都要被分配一个唯一的结点标识向量,并根据 Kautz 图中有向边的定义建立路由表.当网络中 UDDI 服务注册中心的数目接近或达到扩展 Kautz 图的最大结点数时,扩展 Kautz 图的优势才得以完全发挥,即网络直径近似最优的特点决定了基于它的分布式 UDDI 的平均查询延迟最小.在现实情况下,分布式发现系统对其各个组成部分的稳定性和性能都有很高的要求(毕竟它是面向服务计算基础设施的一部分),因此,本文提出的静态最优拓扑构建方法能够适应实际需求.

### 3.3 基于 Bloom Filters 的有序查询协议

在很多应用背景下,出于数据保密、安全等问题的考虑,常常不允许在 UDDI 注册中心之间进行原始数据复制,而缺乏必要的先验信息,也使得结点不能将服务查询消息向目标 UDDI 注册中心作有效的转发. Bloom Filters 是一种简单易用且存储空间高效压缩的随机数据结构,它使用多个散列函数,将一个数据集合表示为一个二进制位串,并支持基于 Bloom Filters 的集合成员关系判定,使得在不知道原始数据内容的情况下,能够判断一项数据是否属于某个数据集合<sup>[9]</sup>.

本文采用 Bloom Filters 作为各个 UDDI 注册中心中服务描述信息的摘要提取和表示技术,主要将全部注册服务的名称数据集合和所引用 Tmodel 的 UUID 数据集合变换为名称 Bloom Filters 和技术指纹 Bloom Filters,然后采用 Gossip<sup>[10]</sup>协议将各个 UDDI 注册中心产生出的 Bloom Filters 在网络中进行传播和复制,使得每个 UDDI 注册中心获得网络中部分或全部 UDDI 注册中心中注册服务的名称和 Tmodel 的摘要信息,进而可以据此实现有序的查询消息转发,避免盲目转发查询消息造成的巨大额外成本.此外, Bloom Filters 与原始数据集相比,数据量非常小,它在网络中传播和复制产生的额外成本小,并且可以控制在可接受的水平.

## 4 实验和分析

以本文提出的 Web 服务三维 QoS 模型为依据,在空间信息网格项目中开发的 UDDI 系统中集成了基于 QoS 约束的服务选择和排序算法.扩展后的 UDDI 原型系统(ExUDDI)除了支持 UDDI 规范的基本功能之外,能够正确解析追加在服务发现 API 中的 QoS 需求,并根据服务的类型,动态地加载缺省的服务选择和排序方法,在空间信息网格项目的网格监控系统(目前还未能完全支持服务三维 QoS 模型的监控系统)的支持下,向用户输出同时满足功能、访问控制、商业控制以及 QoS 约束的目标服务.即使用户没有对目标服务的 QoS 提出需求,ExUDDI 也会加载缺省的服务选择和排序方法,进而确保输出服务可用且可访问性水平高于系统预设的阈值. ExUDDI 与 UDDI 规范 3.0 版本相兼容,能够支持工业界发布的多种主流 UDDI 客户端开发工具,例如 Microsoft UDDI

SDK2.0 和 IBM UDDI4J.

国家地质调查网格采用面向虚拟服务的架构,设计开发了全国矿产资源评价系统.该系统通过 UDDI 依次动态发现、绑定并调用证据因子先验概率计算服务、证据因子证据权重计算服务以及地质单元后验概率计算服务获得最终的评价结果.这 3 类服务在国家地质调查网格中存在多个副本,而且可以按需动态部署.

#### 4.1 基于 QoS 约束的服务选择模型实验结果分析

此次实验从 Web 服务三维 QoS 模型中选择如下关键指标对多个候选服务进行选择 and 排序:1) 宿主结点维的网络正常可达概率、最近  $T$  时间段内 Web 服务容器可用主存与最大可用主存的比值、处理器的时钟频率、最近  $T$  时间段内处理器的占有率、最大带宽以及最近  $T$  时间段内带宽占用率;2) 服务维的可访问性、性能、可靠性以及鲁棒性;3) 方法维的响应时间及完整性.此外,此次实验采用空间信息网格项目研发的网格监控系统获取如上关键 QoS 指标的监控数据.

服务选择和排序算法的主要目标是更好地为用户找到可用的服务,为了对集成该算法的扩展 UDDI 原型系统进行评估,定义并使用下列度量指标:

- 1) 查准率:服务请求者通过 UDDI 查找符合功能性约束的目标服务,发现一个目标服务并成功调用的个数占服务发现后调用的总数的比例.
- 2) 负载:具备相同功能的多个服务副本在一定时间间隔内接受到的服务访问次数.
- 3) 响应率:服务请求通过 UDDI 查找符合功能约束的目标服务,至少获得一个返回服务的请求个数占总发起请求个数的比例.

根据国家地质调查网格发布的全国矿产资源评价系统测试阶段的日志文件,并以上述 3 种度量参数为标准,对 ExUDDI 以及不考虑服务选择和排序的标准 UDDI 进行 3 组评估.矿产资源评价系统调用的 3 种类型服务对实验结果具有一致的效果,因而下文只以证据因子先验概率计算服务的日志文件为依据.

第 1 组评估的目的是为了说明本文提出的服务选择和排序算法对从 UDDI 上获取的服务信息准确性的影响.在系统测试阶段分别采用了标准 UDDI, ExUDDI(QoS 信息更新周期为 1 小时)以及 ExUDDI(QoS 信息更新周期为 0.5 小时)3 套方案,从运行日志文件中分别提取为期 10 天的统计数据,其发现一个目标服务并成功调用的个数占服务发现后调用的总数的比例如图 2 所示.可以看出:随着时间的流逝,标准 UDDI 的查准率在每个服务维护周期内(每 5 天人工维护系统中部署的服务)整体上体现下降趋势;集成了服务选择和排序的 ExUDDI 比标准 UDDI 的查准率要高,而且服务 QoS 更新周期越短,查准率越高;总体而言,随着时间的消逝,起先运行良好的服务出现各种失效症状的概率越来越高,如果 UDDI 不能及时感知这种变化,则其查准率会越来越低.

第 2 组评估的目的是为了说明本文提出的服务选择和排序算法对多个服务副本的访问负载产生的影响.在系统测试阶段,证据因子先验概率计算服务在国家地质调查网格中部署有多个副本.在一个测试周期内,对采用标准 UDDI 和 ExUDDI(QoS 信息更新周期为 0.5 小时)两种情况下 3 个随机服务副本的访问负载各进行了 3 次随机抽样,其访问负载的分布情况如图 3 所示.可以看出:标准 UDDI 对服务副本的访问负载没有控制,难以实现副本访问负载的平衡(图 3 的前 3 组分布);集成了本文的服务选择和排序算法的 ExUDDI 对服务副本的访问负载进行了控制,提高了其负载均衡水平(图 3 的后 3 组分布).总体而言,服务三维 QoS 模型考虑了服务宿主环境的负载、服务的可访问性、服务的容量等指标,因而服务选择和排序算法具备调节候选服务访问负载的能力.

第 3 组评估的目的是为了说明服务按需动态部署策略对服务选择和排序算法的响应率指标的影响.对于采用 ExUDDI(QoS 信息更新周期为 1 小时), ExUDDI(QoS 信息更新周期为 0.5 小时)以及 ExUDDI(deployment

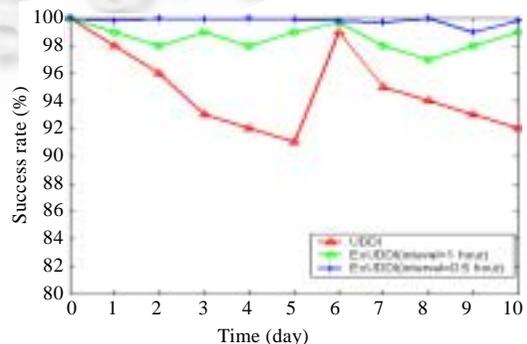


Fig.2 The query precision of UDDI and ExUDDI  
图 2 UDDI 和 ExUDDI 的查准率

on demand)的 3 种方案,从运行日志文件中分别提取为期 10 天的统计数据,响应率分布如图 4 所示.可以看出:服务选择和排序算法辅以服务按需动态部署策略能够保障具有很高的响应率;否则,其响应率在一个维护周期内将整体上体现下降趋势.此外,服务 QoS 信息的更新周期越短,其响应率下降得越快,而查准率则越高.

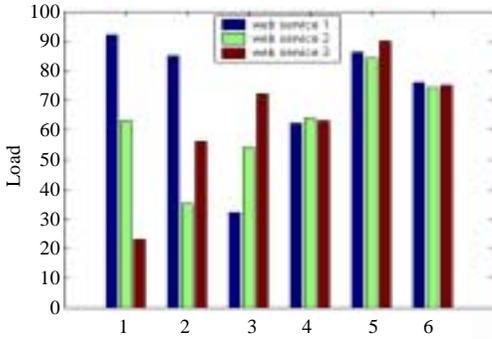


Fig.3 Load of three Web services  
图 3 3 个 Web 服务的负载

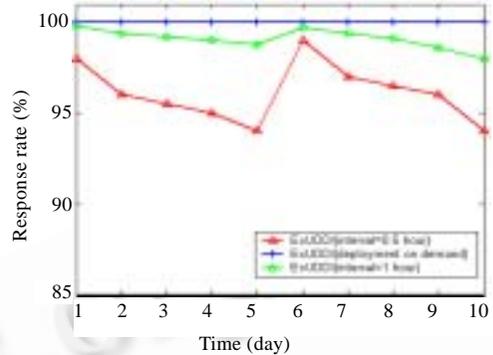


Fig.4 Distribution of response rate of ExUDDI  
图 4 ExUDDI 的响应率分布

从第 1 组和第 2 组评估结果可知,服务副本在一个维护周期中可能会从运行状态转化为失效状态,而且仍然处于运行状态的服务副本的负载可能濒临上界.上述情况会导致服务选择和排序算法的响应率随之降低;如果服务选择和排序算法辅以服务按需动态部署策略,则能够同时保证其响应率和查准率处于很高的水平.具体而言,如果处于运行状态的服务副本数目低于下界或者处于运行状态的服务副本的访问负载整体濒临上界,则在国家地质调查网格内动态部署新的服务副本.

### 4.2 分布式UDDI的仿真结果分析

为了满足国家地质调查网格对分布式多 UDDI 的需求,我们基于扩展 Kautz 图设计并实现了可配置的非结构化 UDDI 对等网络.每个 UDDI 注册中心中都集成了新开发的查询转发模块,模块中内置 Gnutella<sup>[11]</sup>, K-random walkers<sup>[11]</sup>以及基于 Bloom Filters 的有序查询协议.基于 Bloom Filters 的有序查询协议的基本依据是各个 UDDI 服务注册中心中保存的网络中部分或全部结点上服务名称的 Bloom Filters 和服务引用的 Tmodel 的 Bloom Filters.选择服务名称和 Tmodel 的原因在于,它们是基于功能约束的服务发现方法中的关键参数,协议的细节请参见文献[12].为了对这 3 类分布式发现协议的查询性能进行比较,我们在 BISON 项目发布的对等网络仿真框架 PeerSim<sup>[13]</sup>的基础上实现了基于 Bloom Filters 的有序查询协议,并与框架本身提供的 Gnutella0.4 和 K-random walkers 协议在同一个仿真上下文中进行了多次仿真,平均实验结果如图 5 和图 6 所示.

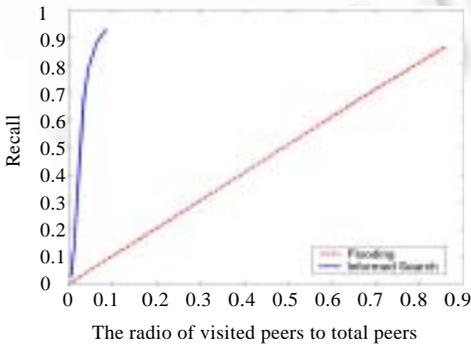


Fig.5 Recall of flooding and informed protocol  
图 5 泛洪和启发式查询协议的查全率比较

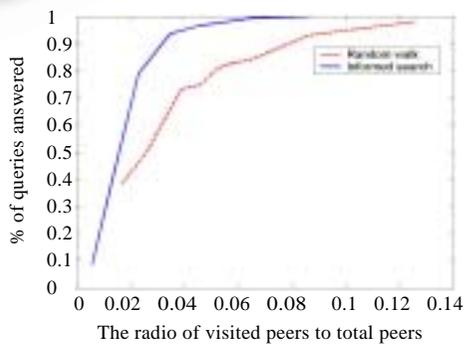


Fig.6 Pr (success) of flooding and informed protocol  
图 6 泛洪和启发式查询协议的查准率比较

在有序查询协议下,只需访问 10%左右的结点就可以获得很高的查全率;而 Gnutella 协议则几乎需要遍历

大部分结点才能获得较高的查全率.在访问相同数目的结点情况下,有序查询协议比 K-random walker 协议能够获得更高的查准率,而且当有序查询协议访问 5%左右的结点时就可以获得很高的查准率.通过分析比较可知,本文的查询协议比其他两种经典的协议性能更优越.

众所周知,非结构化对等网络具有非常好的鲁棒性,任何单个结点的失效不会对整个系统的运行产生根本性的影响,因而基于非结构化对等网络的分布式 UDDI 的有效性和可用性与集中式 UDDI 相比有很大提高.此外,基于 Bloom Filters 的有序查询协议在确保查询性能的前提下,能够避免盲目转发查询带来的巨大查询成本.

## 5 相关工作

文献[2]认为,Web 服务的 QoS 需求主要包括如下 7 个方面:性能、可用性、可访问性、完整性、可靠性、规范性、安全,并探讨了如何优化服务开发方法,进而改善和提高 Web 服务的这些 QoS 属性.文献[3]提出了一种 Web 服务的 QoS 规范,并开发了相应的 QoS 编辑环境.文献[2]在文献[6]的基础上进一步研究了基于 QoS 属性的服务选择算法,重点研究了适用于服务聚合流程的服务选择算法.文献[2]给出了 QoS 属性的归一化方法,并提出基于多个 QoS 属性的属性综合方法,根据综合后的 QoS 属性对具有相同功能属性的服务进行排序,优选出排名高的服务输出给用户.本文的 Web 服务三维 QoS 模型能够细化用户的 QoS 需求层次,在单个维度及不同维度组合条件下灵活设计服务的选择和排序模型.

文献[14]在 UDDI 数据结构规范中增加了一种新的数据结构 qualityInformation,用于描述 Web 服务的 QoS 属性;扩展了 serviceEntity 数据结构,使其包含新增数据结构的信息;扩展了 findService 应用开发接口规范,使其在服务发现过程中考虑到 Web 服务 QoS 属性的约束.另外,定义了一种 QoS 证明者角色,用于对服务所宣称的 QoS 在其向 UDDI 注册之前、之后以及服务被用户发现之后进行验证.在文献[14]的基础上,文献[15]提出了一种支持 QoS 约束的 Web 服务发现模型(Web services discovery model with QoS constraint,简称 WSDM-Q).该模型定义了一组描述 Web 服务 QoS 属性和信誉度的分类 Tmodel,支持携带 QoS 描述信息的服务发布以及基于 QoS 约束的服务发现,通常将信誉度高的服务反馈给用户,但是没有给出服务信誉度的量化方法.文献[6]提出了一种 Web 服务 QoS 架构(QoS-capable Web services,简称 QCWS),在 Web 服务用户和提供者之间增加了 QoS 代理.假设 QoS 代理能够收集到 Web 服务的 QoS 信息,并以此作为服务发现之后进一步过滤和选择服务的依据.

文献[6,14,15]的基本设想是:提升服务发现系统的功能,使其具备服务过滤和选择功能,从而确保输出给客户的服务满足基本的 QoS 需求.文献[14,15]的方法是对 UDDI 规范的扩展,其区别在于:文献[15]的方法兼容现有 UDDI 规范,而文献[14]的方法不兼容.文献[14,15]提出的方法不支持 Web 服务的动态 QoS 属性,其引入的 QoS 证明者和 QoS 认证中心与 UDDI 的角色重复,不仅产生大量额外的操作,而且与 Web 服务体系结构不能兼容.文献[2,6]采用 QoS 代理实现服务发现和选择功能,虽然可以支持 Web 服务的动态 QoS 属性,但是与 Web 服务体系结构不能兼容.

本文提出的扩展 UDDI 模型兼容现有的 UDDI 规范和 Web 服务体系结构,集成基于 QoS 约束的服务选择和排序模型,并在服务监控系统的支持下,能够获得服务选择和排序所需的静态和动态 QoS 指标.

## 6 结论和未来的工作

UDDI 是 SOA 架构中的重要组成部分,但是,UDDI 规范没有考虑服务的过滤和选择问题,不能确保其发现的服务能够满足用户的 QoS 需求.针对这一问题,我们提出了一种 QoS 有保障的 Web 服务分布式发现模型,根据用户的 QoS 需求对满足功能性需求、访问控制要求以及商业需求的候选服务进行过滤和选择,确保用户获得并访问排名最高的服务,提高基于 SOA 架构的网络应用的可用性.实验结果显示,该模型能够有效保障用户对服务的 QoS 需求,具有较高的查准率、响应率以及较好的负载均衡能力.该模型的原型系统已经在国家地质调查网格中得到应用,测试结果显示,扩展 UDDI 模型具有很高的查准率、响应率以及较好的负载均衡能力,而且模型的分布式实现机制提高了发现系统的查询性能和容错能力.

今后,我们将继续研究 Web 服务的 QoS 问题,研究如何提升和确保 Web 服务,以及基于 Web 服务网络应用

系统的服务质量,关注面向虚拟服务架构中 Web 服务的 QoS 问题.

### References:

- [1] Kim SM, Rosu MC. A survey of public Web services. In: Feldman SI, uretsky M, Najork M, Wills CE, eds. Proc. of the 13th Int'l Conf. on World Wide Web (WWW 2004). New York: ACM Press, 2004. 312–313.
- [2] Liu YT, Ngu AHH, Zeng LZ. QoS computation and policing in dynamic Web service selection. In: Feldman SI, uretsky M, Najork M, Wills CE, eds. Proc. of the 13th Int'l Conf. on World Wide Web (WWW 2004). New York: ACM Press, 2004. 66–73.
- [3] Tian M, Gramm A, Ritter H, Schiller J. Efficient selection and monitoring of QoS-aware Web services with the WS-QoS framework. In: Liu J, Cercone N, eds. Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Web Intelligence (WI 2004). New York: IEEE Press, 2004. 152–158.
- [4] Yu T, Lin KJ. Service selection algorithms for Web services with end-to-end QoS constraints. In: Hsu MC, Zhang LJ, eds. Proc. of the IEEE Int'l Conf. on E-Commerce Technology (CEC 2004). New York: IEEE Press, 2004. 129–136.
- [5] Liu SL, Qiu WH. Studies on the basic theories for MADM. Systems Engineering—Theory & Practice, 1998,18(1):38–43 (in Chinese with English abstract).
- [6] Chen HG, Yu T, Lin KJ. QCWS: An implementation of QoS-capable multimedia Web services. In: Ramamoorthy CV, Liu CL, eds. Proc. of the 5th Int'l Symp. on Multimedia Software Engineering. New York: IEEE Press, 2003. 38–45.
- [7] Ambrosi E, Bianchi M, Gaibisso C. Extending the UDDI API for service instance ranking. In: Arabnia HR, ed. Proc. of the 2005 Int'l Symp. on Web Services and Applicatio. Las Vegas: CSREA Press, 2005. 104–110.
- [8] Shibata Y, Gonad Y. Extension of de Bruijn graph and Kautz graph. Computers Mathematic Application, 1995,30(9):51–61.
- [9] Broder A, Mitzenmacher M. Network applications of bloom filters: A survey. Internet Mathematics, 2005,1(4):485–509.
- [10] Boyd S, Ghosh A, Prabhakar B, Shah D. Gossip algorithms: Design, analysis and applications. In: Kia M, Edward K, eds. Proc. of the 24th IEEE Int'l Conf. on Computer Communications (INFOCOM 2005). Boca Raton: IEEE Press, 2005. 1653–1664.
- [11] Wu J. Handbook of Theoretical and Algorithmic Aspects of Ad Hoc, Sensor, and Peer-to-Peer Networks. New York: Auerbach, 2006. 617–642.
- [12] Guo DK, Chen HH, Xie CG. Decentralized grid resource locating protocol based on grid resource space model. In: Zhuge H, Fox GC, eds. Proc of the 4th Int'l Conf. on Grid and Cooperative Computing. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 621–632.
- [13] Caro GD, Ducatelle F, Heegaard P, Jelasy M, Montemanni R, Montresor A. Evaluation of basic services in ahn, p2p and grid networks. 2005. <http://www.cs.unibo.it/bison/deliverables/D07.pdf>
- [14] Ran S. A model for Web services discovery with QoS. ACM SIGCOM Exchanges, 2003,4(1):1–10.
- [15] Yang SW, Shi ML. A model for Web service discovery with QoS constraints. Chinese Journal of Computers, 2005,28(4):589–594 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献:

- [5] 刘树林,邱苑华.多属性决策基础理论研究.系统工程理论与实践,1998,18(1):38–43.
- [15] 杨胜文,史美林.一种支持 QoS 约束的 Web 服务发现模型.计算机学报,2005,28(4):589–594.



郭得科(1980 - ),男,甘肃景泰人,博士生,主要研究领域为网格计算,对等网络,Web 服务.



薛群威(1971 - ),男,工程师,主要研究领域为地理信息系统,数学地质,矿产资源评价,水工环地质信息化.



任彦(1978 - ),女,博士生,主要研究领域为知识网络,知识服务.



罗雪山(1965 - ),男,博士,教授,主要研究领域为 C<sup>4</sup>ISR 技术,军事网格,信息系统.



陈洪辉(1969 - )男,博士生,副教授,主要研究领域为 C<sup>4</sup>ISR 体系结构,军事网格,需求工程.