

一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法*

李 研, 周明辉⁺, 李瑞超, 曹东刚, 梅 宏

(北京大学 信息科学技术学院 软件研究所 高可信软件技术教育部重点实验室, 北京 100871)

Service Selection Approach Considering the Trustworthiness of QoS Data

LI Yan, ZHOU Ming-Hui⁺, LI Rui-Chao, CAO Dong-Gang, MEI Hong

(Key Laboratory of High Confidence Software Technologies for the Ministry of Education, Institute of Software, School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)

⁺ Corresponding author: E-mail: zhmh@sei.pku.edu.cn

Li Y, Zhou MH, Li RC, Cao DG, Mei H. Service selection approach considering the trustworthiness of QoS data. *Journal of Software*, 2008,19(10):2620–2627. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/2620.htm>

Abstract: As the number of web services with the similar function is increasing, QoS-based service selection at runtime has become an important research topic. The existing QoS-based services selection approaches always assume that the QoS data coming from service providers and users are effective and trustworthy, which is actually impossible in reality. This paper proposes a service selection approach considering the trustworthiness of QoS data, which classifies and computes the QoS attributes according to the source of QoS data. For the QoS attributes whose data come from service providers, the statistics of past runtime data to revise the providers' QoS data are used. For the QoS attributes whose data come from users, feedback similarity to weigh users' QoS data is used. Furthermore, an implementation framework and a set of experiments are given, which show that this approach can effectively weaken the influence of untrustworthy QoS data on the services selection, thus can strengthen the accuracy of the service selection.

Key words: trustworthiness; QoS; service selection

摘 要: 随着 Internet 上功能相似的 Web 服务的逐渐增多,在运行时基于服务质量(QoS)对 Web 服务进行查找和选择已成为研究热点.现有的基于 QoS 的服务选择方法通常假定服务提供者 and 使用者给出的 QoS 数据都是真实可信的,然而这一假设在实际中往往很难保证.为此,提出了一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法.方法从 QoS 数据来源的角度对质量属性进行分类和计算:对于数据来自服务提供者的质量属性,使用以往运行数据统计,对提供者的 QoS 数据进行修正;对于数据来自服务使用者的质量属性,通过计算用户间以往反馈的相似程度权衡不同 QoS 反馈数据的可信程度.对此给出了实现框架,并通过一组模拟实验说明该方法能够有效地削弱不可信的 QoS 数据对服务选择的影响,增强了 Web 服务选择结果的准确性.

关键词: 可信;QoS;服务选择

* Supported by the National Basic Research Program of China under Grant No.2005CB321805 (国家重点基础研究发展计划(973)); the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60603038, 60503029 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant Nos.2007AA01Z133, 2007AA010301 (国家高技术研究发展计划(863))

Received 2007-06-18; Accepted 2008-01-07

中图分类号: TP393 文献标识码: A

Internet 环境下 Web 服务技术的出现为组织间建立一种更加灵活多样的协作关系创造了前所未有的机会^[1]。基于 SOAP、WSDL 和 UDDI 等一组技术标准,用户可以有效地发布、查找和使用 Web 服务,通过在运行时刻对其进行动态选择和组装,构建出灵活的系统流程。

作为 Web 服务选择中的重要考虑因素,服务质量(quality of service,简称 QoS)在文献[2]中被定义为一组非功能属性(文中称为质量属性)的集合,其中每个质量属性表征了 Web 服务某一方面的质量信息,具有一个属性值,例如可用性、响应时间、用户满意度等等。随着 Web 服务技术的广泛应用,Internet 上功能相似的 Web 服务逐渐增多,在运行时刻基于服务质量对 Web 服务进行查找和选择已成为热点研究问题之一。

目前提出的不少基于 QoS 的 Web 服务选择方法^[2-4]大多假定服务提供者 and 使用者给出的 QoS 数据都是真实可信的,因而在对 Web 服务进行排序和选择时,常常直接使用服务提供者发布的 QoS 数据(例如可用性等),同时采用平均值的方法处理服务使用者反馈的 QoS 数据(例如用户评价等)。然而在实际应用中,这一对 QoS 数据真实性的假设往往很难保证:一方面,服务提供者可能出于利益考虑,发布高于服务实际水平的 QoS 数据,以吸引更多的用户使用;另一方面,服务使用者反馈的 QoS 数据,常常受到自身因素的影响,甚至是一些恶意的虚假数据,而平均值的方法缺少能够度量这些质量属性数据有效性的标准^[5]。这些不可信的 QoS 数据将直接影响 QoS 计算的准确性和可靠性,以及最终的 Web 服务选择结果。

为此,本文提出了一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法,从 QoS 数据来源的角度对质量属性进行分类和计算,具体可概括为:

- 对于数据来自服务提供者的质量属性,本文通过监控机制采集 Web 服务的实际运行数据,并基于对以往运行数据的统计,对服务提供者发布的 QoS 数据进行修正;
- 对于数据来自服务使用者的质量属性,本文提出了“反馈相似度”这一概念,通过计算用户间以往反馈的相似程度,权衡不同用户给出的 QoS 反馈数据对于当前服务请求者的可信程度。

实验数据表明,在存在不诚实的服务提供者和使用者的环境下,这种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法能够有效地削弱不可信的 QoS 数据对 QoS 计算的影响,使 Web 服务选择结果更加准确和可信。并且,由于本方法独立于特定的质量属性,不同应用领域可以根据领域需求定制质量属性,具有良好的扩展性。

文章第 1 节介绍本文考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法,第 2 节在给出实现框架的基础上,通过一组模拟实验来验证方法的有效性。第 3 节阐述相关研究工作并与本方法进行比较。第 4 节总结全文并展望下一步工作。

1 考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法

本节将详细介绍本文提出的服务选择方法:第 1.1 节描述本方法中 Web 服务选择的流程;第 1.2 节给出考虑数据可信性的质量属性分类与计算方案;第 1.3 节在前一节的基础上,给出完整的 QoS 计算模型。

1.1 Web 服务选择流程

图 1 描述了本文提出的 Web 服务选择方法对应的流程。当用户的查询请求到达时,服务选择代理首先在注册过的 Web 服务中找出所有满足用户功能需求的 Web 服务。之后,针对服务请求者所关心的每个质量属性,服务选择代理基于已获得的 QoS 相关数据,采用第 1.3 节给出的公式依次计算每个质量属性值。最后,服务选择代理按照服务请求者的期望(某一质量属性或多个质量属性的加权和)对选出的 Web 服务进行排序,并将 QoS 最优的 Web 服务的客户端发送给服务请求者作为响应。与此同时,服务选择代理在该客户端中插入监控机制,采集此次 Web 服务调用中的实际运行数据,例如本次调用是否成功等,这些数据用于对服务提供者发布的 QoS 数据进行修正,其详细内容将在第 1.3.1 节中给出。有关服务选择代理的具体实现将在第 2 节加以介绍。

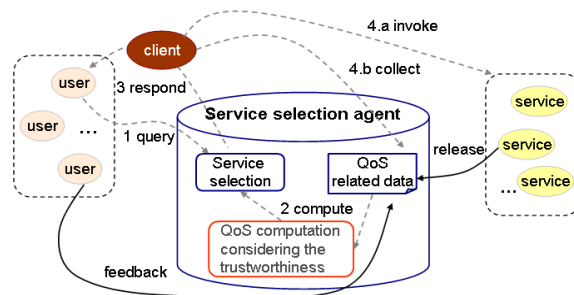


Fig.1 Process of Web service selection

图 1 Web 服务选择流程

1.2 考虑可信性的质量属性分类与计算方案

在 Web 服务选择流程中,不同来源的 QoS 数据存在不同的可信性问题,因此本方法从数据来源的角度,将 QoS 中的质量属性划分为以下两类,并给出对应的计算方案.

数据来自服务提供者的质量属性.在 Web 服务注册时,该 Web 服务的一些质量属性数据会与其功能属性一起由服务提供者发布到服务选择代理.其中,部分质量属性不存在可信问题,例如服务价格等,然而,对于服务可用性、执行时间等质量属性,不诚实的服务提供者可能发布一些高于实际水平的质量属性数据,以吸引更多用户使用.因此,在 QoS 计算中简单地接受服务提供者发布的质量属性数据是不合适的.

对于这类质量属性,本文基于对以往运行数据的统计,对服务提供者发布的质量属性数据加以修正,以增强其可信程度.Web 服务以往的运行数据通过在其客户端中加入监控机制的方式进行采集.在具体实现中,收集数据并发送到服务代理的过程是基于特定协议自动完成的,对于服务使用者完全透明(而且可以做到保密),从而这部分数据可认为是准确可信的.考虑到当采集到的运行数据量不同时,其统计值具有不同的精确度,因此文中此类质量属性的计算由提供者发布的数据与运行数据的统计值加权决定.当采集到的运行数据较少时,统计值准确度较低,此时其修正作用较小,即在计算中所占权重较小;随着运行数据的增多,统计值所占权重逐渐增大,修正作用逐渐明显;当运行数据达到一定规模时,统计值接近质量属性的真实反映,因而所占权重趋近于 1.以服务可用性为例,其在文献[6]中被定义为一段时间内,成功的系统调用次数与总调用次数之比.通常,服务提供者会发布一个可用性值,该值可能存在可信性问题;同时,通过本文中的 Web 服务客户端监控机制,采集每次用户调用是否成功的信息,可以获得一个可用性统计值.随着采集到的数据量的逐渐增加,该统计值在计算中所占比重逐渐增大,最终决定可用性.

数据来自服务使用者(用户)的质量属性.在每次 Web 服务调用后,该 Web 服务的一些质量属性数据由服务使用者反馈给服务选择代理,例如满意度、响应时间等.这些反馈数据常常受到服务使用者自身因素(例如所处环境、主观想法等)的影响,因此不同服务使用者反馈的质量属性数据具有不同的可信性.例如,服务使用者访问 Web 服务的响应时间受到自身所处的位置和所使用的网络条件的影响,从而不同的使用者反馈的响应时间数据有较大差别;又如,就服务满意度而言,宽容与苛刻的服务使用者对同一 Web 服务的评价会是不同的,而一些恶意的服务使用者还可能给出虚假的评价.因此,在 QoS 计算中直接对所有服务使用者反馈的质量属性数据取平均是不合适的.

对于这类质量属性,需要针对当前服务请求者,衡量不同质量属性反馈数据的可信程度.为此,本文引入“反馈相似度”作为不同反馈数据的权重,以它们的加权平均作为最终的质量属性值.所谓“反馈相似度”是指两个服务使用者对使用过的相同 Web 服务所反馈的质量属性数据的相似程度.相同服务请求者相似程度越高的服务使用者,其所反馈的数据在计算中所占的权重也越大.以用户满意度为例,若使用者 u_1 以前反馈过对 Web 服务 A 的满意度,且系统中还存有使用者 u_2, u_3 反馈的对 Web 服务 A, B 的满意度,并且 u_2 对 A 的满意程度与 u_1 相同,而 u_3 对 A 的满意程度与 u_1 差别较大,则对于 u_1 的 Web 服务请求,在计算 Web 服务 B 的用户满意度时, u_2 提供的反馈数据将具有更大的可信性,即更大的权重.而那些与当前服务请求者在以往评价上并不相似的用户(包括评判

标准不同的用户和恶意用户),其反馈数据在计算中所占权重相对较低.

1.3 QoS计算模型

本节结合上一节的计算方案,给出完整的 QoS 计算模型.在计算每个质量属性之前,首先需要对该质量属性的数据进行归一化.本文采用文献[2]中的方法,公式(1)用于处理负属性(取值越大,质量越低,例如响应时间),公式(2)用于正属性(取值越大,质量越高,例如可用性).其中, q_i 和 v_i 分别为某个质量属性数据归一化之前和之后的值, q_{\max} 和 q_{\min} 分别为该质量属性所有数据中的最大、最小值.

$$v_i = \begin{cases} \frac{q_{\max} - q_i}{q_{\max} - q_{\min}}, & \text{if } q_{\max} - q_{\min} \neq 0 \\ 1, & \text{if } q_{\max} - q_{\min} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$v_i = \begin{cases} \frac{q_i - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}, & \text{if } q_{\max} - q_{\min} \neq 0 \\ 1, & \text{if } q_{\max} - q_{\min} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

1.3.1 数据来自服务提供者的质量属性

对于这类质量属性,本文使用公式(3)对服务提供者发布的质量属性数据进行修正,其中 $d_{u_1}, d_{u_2}, \dots, d_{u_n}$ 为 n 次运行中监控机制采集到的数据; f 为以往运行数据统计函数,针对不同的质量属性有不同的形式,就服务可用性而言,为以往成功运行次数与总运行次数的比值; q_p 为服务提供者发布的数据;指数函数 $(1 - e^{-n/N})$ 表达了以往运行数据统计值的修正作用随运行次数 n 的增加而增大,其中给定的常数 N 用于控制统计值所占权重随数据量增长的速度,不难看出,当 $n=6N$ 时, $e^{-n/N} \approx 0.25\%$,质量属性基本由以往运行数据的统计值决定.

$$q = e^{-n/N} \times q_p + (1 - e^{-n/N}) \times f(d_{u_1}, d_{u_2}, \dots, d_{u_n}) \quad (3)$$

另外,需要指出的是,对于无需或无法收集到以往运行数据的质量属性,则 $n=0$,也即服务提供者发布的数据即为该质量属性值.公式(3)简化为

$$q = q_p \quad (4)$$

1.3.2 数据来自服务使用者的质量属性

对于这类质量属性,本文使用公式(5)计算每个服务使用者与服务请求者之间的反馈相似度,进而在公式(6)中以其作为该服务使用者反馈数据的权重,计算该 Web 服务针对当前服务请求者的质量属性值.

反馈相似度的计算公式借鉴了文本分类领域中的向量距离分类法思想,将用户共同使用过的 Web 服务集合视为一个多维空间,用户对这些服务反馈的质量属性数据视作该空间中的一个点,则反馈的相似程度可以通过它们之间的几何距离来度量,距离越近的两个用户相似程度越高.在公式(5)中,设服务请求者 u_r 和服务使用者 u_i 以前共同使用过的服务集合为 $S^i = \{s_1^i, s_2^i, \dots, s_n^i\}$, u_r 和 u_i 反馈的 s_k^i 质量属性数据分别为 $q_{u_r}^k, q_{u_i}^k$,则 u_r 和 u_i 的反馈相似度 fs_i (feedback similarity)定义为

$$fs_i = \begin{cases} 1 - \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{|S^i|} (q_{u_r}^k - q_{u_i}^k)^2}{|S^i|}}, & \text{if } |S^i| \neq 0 \\ 0, & \text{if } |S^i| = 0 \end{cases} \quad (5)$$

在公式(6)中, q 为该 Web 服务对于当前服务请求者的质量属性值, q_{u_i} 为服务使用者 u_i 反馈的质量属性数据, J 为对该 Web 服务提供过质量属性反馈的服务使用者个数, Sum_{fs} 为 u_r 和 u_i 之间反馈相似度之和.

$$q = \sum_{i=1}^J \frac{fs_i}{Sum_{fs}} \times q_{u_i}, \quad Sum_{fs} = \sum_{i=1}^J fs_i \quad (6)$$

进一步地,对所有满足用户功能需求的 Web 服务,在计算出其质量属性之后,考虑不同服务请求者对不同质量属性的侧重程度不同,最终 QoS 采用质量属性加权和方法计算,计算公式如下:

$$QoS = \sum_{i=1}^K w_i \times q_i \quad (7)$$

其中, w_i 为质量属性 q_i 的权值, Web 服务共有 K 个质量属性.

2 实现框架与实验分析

本节首先给出前述 Web 服务选择方法的一个实现框架, 随后的实验模拟了一个存在不可信服务提供者和使用者的系统, 以验证本文所给出的 Web 服务选择方法在不可信环境中的效用.

2.1 实现框架

本文选择在应用服务器 PKUAS(PeKing University application server)^[7]上实现该 Web 服务选择方法, 实现框架如图 2 所示. Web 服务选择(service selection)构件以公共服务的形式可插拔地加载到 PKUAS 之上, PKUAS 为其提供通信、安全等方面的支持. 下面对服务选择中的各模块进行简要介绍.

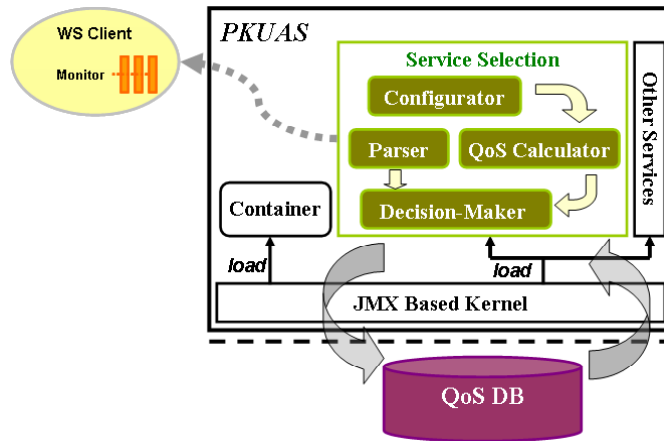


Fig.2 Implementation framework of service selection on PKUAS

图 2 PKUAS 上服务选择的实现框架

Monitor. 客户端监控器. PKUAS 在发送给服务请求者的 Web 服务客户端中, 插入一系列监控器, 收集 Web 服务实际运行数据, 例如本次调用是否成功.

Configurator. 配置器. 配置计算因子, 例如各质量属性权重 w_i , 以及 QoS 模型, 即 QoS 计算中包含的质量属性类别.

Parser. 解析器. 负责解析服务提供者和服务使用者提供的 QoS 数据, 以及服务请求者的功能和非功能需求. 服务提供者在服务注册时发布 QoS 数据, 经解析器解析后, 存入数据库, 并在以后对其进行更新. 服务使用者在完成一次 Web 服务调用后, 提交 QoS 反馈, 同样经解析器解析后, 存入数据库.

QoS calculator. QoS 计算器. 基于配置好的 QoS 模型、计算因子和数据库中的 QoS 数据, 计算 QoS.

Decision-Maker. 决策器. 结合解析器给出的服务请求者需求和 QoS 计算结果, 做出服务选择决策.

QoS DB. QoS 数据库. 存储 QoS 相关数据.

2.2 实验分析

实验中, 我们定义的 QoS 模型包括两个代表性质量属性: 服务可用性与服务满意度, 其分属于数据来自服务提供者的质量属性, 以及数据来自服务使用者的质量属性. 实验结果表明, 本文的计算方法能够在很大程度上消除不可信 QoS 数据的干扰, 保证计算的准确性. 事实上, 这一点也保证了通过计算质量属性加权和所得 QoS 的准确性, 可以使服务选择代理的选择结果更加可信.

2.2.1 对服务可用性的计算

考虑到服务提供者发布的可用性可能不符合该 Web 服务的实际情况, 本文利用以往运行数据统计值对其

发布的质量属性数据进行修正,以确保将其调整到实际值.为了验证这一点,实验中,我们编写了一个 Web 服务,它按照一定的概率响应服务请求,并假定该 Web 服务提供者为了吸引用户,发布了过高的可用性(实验中设该服务实际可用性数值为 40.2%,提供者发布的数值为 74.5%).同时,我们模拟一组服务使用者分别对该 Web 服务进行调用,利用 Web 服务客户端中的监控机制将调用是否成功的信息返还给服务选择代理.服务选择代理按照第 1.3.1 节给出的公式(取 $N=200$)计算该服务的可用性,结果如图 3 所示.从图中可以看出,随着该 Web 服务调用次数的不断增加,服务可用性从服务提供者发布的值逐渐降低,当反馈次数达到 6N 时,服务可用性趋近实际值.

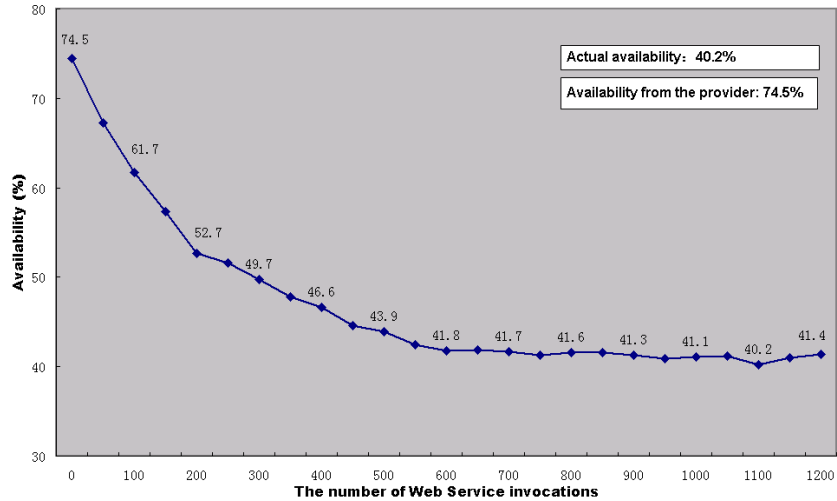


Fig.3 Adjustment of availability got from service provider via statistics of runtime data
图 3 运行数据统计值对服务提供者声明值的修正

2.2.2 对服务满意度的计算

考虑不同使用者的反馈数据通常与其主观因素密切相关,甚至是虚假的,本文以反馈相似度作为反馈数据的权重,计算所有反馈数据的加权和,以削弱无效反馈的影响,使质量属性计算更加准确.为了验证这一点,首先给出如下两个定义:

- 满意度真实值(real satisfaction).对某一 Web 服务所有可信服务使用者给出的满意度平均值.
- 满意度计算误差(satisfaction computation error,简称 SCE).其中 satisfaction 为计算所得满意度.

$$SCE = |satisfaction - realSatisfaction|.$$

实验模拟了一个拥有 1 000 个服务使用者的系统,且不可信服务使用者所占比例为 r .假设不可信服务使用者一般情况下提供不可信数据(偏高或偏低).系统中存在 20 个功能相似的 Web 服务,每个服务使用者任意调用其中 30% 的 Web 服务,并在调用完成后,给出满意度评分(0~100 分).由于不同可信服务使用者对 Web 服务的苛刻程度各不相同,因此我们认为其给出的满意度评分符合正态分布(即虽然不同可信服务使用者给出的满意度评分通常存在差异,但大多数满意度评分集中在某一分值附近);不可信服务使用者给出的满意度可能偏高或偏低,不具有规律性,因此采用随机数的方法产生.随机选择 10 个服务使用者,对于其尚未使用过的 $20 \times (1-30\%) = 14$ 个 Web 服务,基于以往其他服务使用者给出的满意度评分,分别利用第 1.3.2 节中的方法和平均值的方法,计算该 Web 服务的满意度,对这 140 次满意度计算进行统计分析,得到平均满意度计算差异 \overline{SCE} .在不同的不可信服务使用者比率下,重复上一过程,统计结果见表 1.

从表 1 中可以看出,本文方法受系统中不可信服务使用者比例增大的影响很小,基本可以控制在 0~0.5 分以内(满分 100 分).而平均值方法的计算平均误差则随系统中不可信服务使用者比例的增加不断增加,范围从 5~20 分不等.

Table 1 Comparison of average SCE computation**表 1** 平均满意度计算误差比较

SCE <i>r</i> (%)	$\overline{SCE}_{similarity}$	\overline{SCE}_{mean}
20	0.07	5.42
30	0.12	6.67
40	0.10	9.71
60	0.16	12.8
80	0.25	18.3

3 相关工作

随着功能相似的 Web 服务的逐渐增多,基于 QoS 的 Web 服务选择已成为目前的一个研究热点.

文献[8]讨论了可信机制在现有基于 QoS 的 Web 服务选择方法中的应用情况,并指出未来的一些研究方向.文献[3]中提出了一种 QoS 计算模型,该计算模型直接基于已得质量属性数据计算 QoS,并未考虑 QoS 数据的可信性问题.例如,服务信誉被简单地定义为所有服务使用者反馈的平均值.服务提供者为了抬高 QoS,完全可以多次以虚假身份提交很高的信誉评分;而一些具有敌意的服务使用者或者具有竞争关系的服务提供者,也可以多次提交很低的信誉评分,压低他人的 QoS.文献[9]中给出了一个对 UDDI 标准的扩展实现,将基于语义的 Web 服务匹配和推荐系统相结合,提出了一个 Web 服务选择框架.其中基于语义的匹配使用的是服务提供者给出的服务语义描述(包括功能和 QoS 数据),推荐系统基于服务使用者反馈的 QoS 数据,然而方法中同样没有考虑这些 QoS 数据的可信性,而这对于服务选择结果的可信性和准确性是至关重要的.

针对 QoS 数据可信性这一问题,也有不少工作提出了解决方案.文献[5]中引入真实性属性 *verity*,利用质量属性运行中实际值与服务提供者发布值之间差异的变化情况,标识服务提供者持续提供一定 QoS 的能力.然而方法中只考虑了服务提供者发布的 QoS 数据的可信性,并不涉及服务使用者反馈的 QoS 数据的可信性.相反地,文献[10]引入“私有信誉值”和“公共信誉值”来衡量服务使用者反馈的 QoS 数据的可信性,却忽略了服务提供者发布的 QoS 数据的可信性.文献[2,9]中利用可信第三方,收集所有已注册 Web 服务的 QoS 数据,以保证其可信性,然而在实际应用中,这种轮询方式给服务器带来的开销通常是难以接受的^[11].

与这些工作相比,本文的特色在于从 QoS 数据来源的角度给出了质量属性分类,并在考虑了各类质量属性数据可信性的基础上,提出两类质量属性计算方法,在此基础上建立起来的 QoS 计算模型很大程度上保证了 QoS 计算的可信性.同时,本方法并不设定具体的质量属性,因此不同应用领域可以根据领域需求定制 QoS 模型,具有一定的可扩展性.

4 结束语

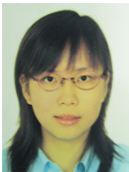
本文对基于 QoS 的 Web 服务选择进行了探讨,提出了一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法.方法的核心思想是在确保质量属性可信的基础上,使 QoS 的计算相对准确,最终使服务选择结果更加可信.本文针对目前 QoS 计算中使用的质量属性过于局限以及缺少确保其可信的计算机制这两个问题,给出了一个解决方案:按照 QoS 数据来源对其进行划分,以支持 QoS 模型的扩展;在分析了 QoS 数据可信性问题的基础上,引入反馈相似度和以往运行数据统计值的方法,计算各类质量属性,很大程度上保证了所得质量属性的可信性.方法的可行性与有效性通过实现框架和一组实验得以证明.

未来的工作中,我们将:(1) 完善选择框架,支持对更多运行时刻数据的采集;(2) 进一步优化 QoS 计算方法,提高算法效率;(3) 在 QoS 计算模型中制定恰当的策略,鼓励服务提供者和服务使用者提交可信的质量属性数据.

References:

- [1] Zeng L, Boualem B, Ngu A, Dumas M, Kalagnanam J, Chang H. QoS-Aware middleware for Web services composition. IEEE Trans. on Software Engineering, 2004,30(5):311-327.

- [2] Ran S. A model for Web services discovery with QoS. ACM SIGEcom Exchanges, 2003,4(1):1-10.
- [3] Liu Y, Ngu A, Zeng L. QoS computation and policing in dynamic Web service selection. In: Proc. of the WWW 2004. New York: ACM Press, 2004. 66-73. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1010444>
- [4] Zeng L, Benatallah B, Dumas M, Kalagnanam J, Sheng QZ. Quality driven Web services composition. In: Proc. of the 12th Int'l Conf. on World Wide Web 2003 (WWW 2003). Budapest: ACM Press, 2003. 411-421. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=775152.775211&type=series>
- [5] Kalepu S, Krishnaswamy S, Loke SW. Verity: A QoS metric for selecting Web services and providers. In: Proc. of the 4th Int'l Conf. on Web Information Systems Engineering Workshops (WISEW 2003). IEEE Computer Society, 2003. 131-139. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1286795
- [6] Vu HL, Hauswirth M, Aberer K. QoS-Based service selection and ranking with trust and reputation management. In: On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE. LNCS 3761, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 466-483. <http://www.springerlink.com/content/2n7k0lyf5x2je0tp/>
- [7] Huang G, Mei H, Yang F. Runtime software architecture based on reflective middleware. Science in China (Series F), 2004,47(5): 555-576.
- [8] Yao W, Julita V. A review on trust and reputation for Web service selection. In: Proc. of the 27th Int'l Conf. on Distributed Computing Systems Workshops 2007 (ICDCSW 2007). Toronto: IEEE Computer Society, 2007. 25. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4279021
- [9] Manikrao US, Prabhakar TV. Dynamic selection of Web services with recommendation system. In: Proc. of the Int'l Conf. on Next Generation Web Services Practices 2005 (NWESP 2005). Washington: IEEE Computer Society, 2005. 117.
- [10] Jie Z, Robin C. Trusting advice from other buyers in e-marketplaces: The problem of unfair ratings. In: Proc. of the 8th Int'l Conf. on Electronic Commerce (ICEC 2006). Fredericton: ACM Press, 2006. 225-234.
- [11] Mikic-Rakic M, Malek S, Medvidovic N. Improving availability in large, distributed, component-based systems via redeployment. In: Proc. of the 3rd Int'l Working Conf. on Component Deployment (CD 2005). LNCS 3798, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 83-98. <http://www.springerlink.com/content/185314141304332g/>



李研(1983-),女,北京人,博士生,主要研究领域为中间件技术,软件工程.



曹东刚(1975-),男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究领域为中间件技术,软件工程.



周明辉(1974-),女,博士,副教授,CCF 会员,主要研究领域为分布计算,软件工程,可信计算.



梅宏(1963-),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为软件工程,软件复用和软件构件技术,分布对象技术.



李瑞超(1982-),男,硕士生,主要研究领域为中间件技术.