

基于 QoS 和声誉的 Web 服务信任度评估方法

陈丽洁¹, 张迎周^{1,2}, 符 炜¹

(1. 南京邮电大学计算机学院, 江苏 南京 210003)

(2. 桂林电子科技大学广西可信软件重点实验室, 广西 桂林 541004)

[摘要] Web 服务的可信性往往对面向服务的应用起决定性作用. 由于服务的信任信息来源很多, 整合多种来源的服务信任信息, 准确地评估服务的可信性是一个挑战. 针对这一挑战, 提出了一种基于 QoS 和声誉的服务信任度评估方法. 与其他服务信任度评估模型相比, 本模型融合了多个信任信息来源, 在直接信任度中综合了 QoS 和用户对服务的历史信任, 并加入时间衰减因子, 逐渐削弱历史信任对直接信任度的影响, 提高直接信任度的可靠性; 在推荐信任度中引入推荐者声誉概念, 建立用户之间的信任评估机制, 从而将推荐信任分为熟人推荐信任和陌生人推荐信任两类, 使推荐信任的评估更加完整、准确. 此外, 本方法在时间和空间复杂度方面, 也存在诸多优势. 实例分析表明, 本文提出的评估方法可以用来解决 Web 服务选择的可信问题, 并且能够提高服务信任度评估的准确性.

[关键词] QoS, Web 服务, 信任度, 声誉, 推荐信任, 偏好

[中图分类号] TP393 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2014)01-0022-08

A Method of Web Service Reliability Assessment Based on QoS and Reputation

Chen Lijie¹, Zhang Yingzhou^{1,2}, Fu Wei¹

(1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

(2. Key Laboratory of Trusted Software, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The credibility of web service often plays an important role for service-oriented applications. Integrating and assessing different sources of trust is a challenge. In this paper, we present a method of web service reliability assessment based on QoS and reputation. We not only incorporate many sources of trust, but also assess the web service' trust. Firstly, we integrate direct trust with multi-QoS of web services and the historical trust of the users and services. At the same time, the reliability of direct trust is improved through the addition of the attenuation factor to weaken the influence of the historical trust to the direct trust. Secondly, we present the concept of reputation and establish trust assess mechanism between users. Then recommended trust is divided into acquaintances' indirect recommendation trust and strangers' direct recommendation trust, so as to make the recommendation trust value more comprehensive and credible. The method is proved to be better than other service's trust model in time and space complexity. The result of example indicates that the proposed method can be used to solve the trusted web service selection, and guarantee the accuracy of the trust.

Key words: QoS, web service, reliability, reputation, recommended trust, preferences

Web 服务作为一种构建面向服务架构(Service Oriented Architecture, SOA)^[1]的新兴分布式计算技术, 应用日益广泛. 而在服务资源飞速增长的今天, 出现了大量功能相同或者相近的服务, 导致对服务的选择越来越困难, 甚至在使用服务的过程中给用户带来风险^[2]. 如何从海量服务中挑选出满足用户需求且最优质的 Web 服务, 成为当前服务选择领域的主要课题之一.

收稿日期: 2013-11-20.

基金项目: 国家自然科学基金(61100135、61300054)、江苏省普通高校研究生科研创新计划项目基金(CX10B_195Z)、广西可信软件重点实验室开放基金和江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师项目.

通讯联系人: 张迎周, 博士, 教授, 研究方向: 形式化方法、网络信息安全、服务计算、软件分析与程序切片、软件可靠与安全、函数式编程技术等. E-mail: zhangyz@njupt.edu.cn

服务质量的优劣可以用信任度的高低来衡量。“可信(Trust)”的概念,在 1994 年由 Marsh 首次在计算机领域内提出。所谓“可信”,就是用户对服务本身的信任,是其在参与或者使用服务的过程中形成的一种主观感受^[3]。然而,主观感受是很难被客观描述的,同一服务的不同使用者,由于自身对服务的需求及评价准则不同,使用感受也不尽相同。因此,需要一个综合的服务信任度评估模型来整合不同来源的服务信任信息。信任度是评价服务质量的重要指标,即被选择的服务除了满足常规的 QoS 需求(如开销、响应时间)外,还要满足用户对服务信任度的额外要求^[4-6]。所以在开放的 Web 服务环境下,研究一种综合、准确的服务信任度评估方法具有重要的现实意义。

近几年,也有许多学者提出基于服务信任的评估模型。Kritikos K 等人提出了基于语义 QoS 感知的 Web 服务发现方法^[7],根据 QoS 属性在服务管理中扮演的角色对信任度进行划分,并给出信任度的计算方法,但是由于没有考虑用户反馈等级的客观性和真实性,导致服务信任度与实际值偏离较大。Conner W 提出了一个面向开放分布式服务环境的基于信任度的服务可信管理框架 TMS^[8],该框架支持多种信任度评估方法,比文献^[7]中由反馈等级直接计算获得的信任度更准确、合理,但是对用户反馈中包含的主观因素(例如:用户偏好)却没有处理,从而导致信任度的准确性下降。Weiliang Zhao 等人提出基于贝叶斯网的服务可信性模型^[9],综合了用户的直接信任、推荐者的推荐信任等,并给出基于贝叶斯网的信任度计算方法。但该模型是直接信任是基于用户与服务的多次历史交互计算的,若无交互历史则直接信任值为 0,假如此时也没有其他用户推荐该服务,那么即使该服务的 QoS 属性符合用户的偏好,且可靠性高,用户对该服务的选择概率也很低。并且随着候选服务规模增大,基于贝叶斯网的信任度评估会变得更加繁琐,条件概率表 CPT 的维护更加复杂。因此,本文提出一种基于 QoS 和声誉的信任度评估方法,包含了不同的信任信息来源,将主观信任和客观信任高度融合,使可信计算模型更加完整,服务的信任值更具有参考意义,同时在时间和空间复杂度上也体现了优势。

1 信任度评估模型

为了能在服务选择时从候选服务中挑选出符合服务请求者需求且可信性高的 Web 服务,需要建立相应的信任度评估模型对候选服务的可信性进行评估和排名。着重考虑以下几个方面进行建模:服务提供商提供的 QoS 属性,服务请求者的 QoS 偏好,与服务请求者偏好相似的推荐者对服务的推荐信任以及服务推荐者的可信度。由此建立基于 QoS 和声誉的服务信任度评估模型。

1.1 相关概念

综合主观和客观的信任来源,将服务的信任度细化为三类:直接信任度、推荐信任度和服务提供商的可信度。

定义 1(直接信任度) 指服务请求者(以下称作用户)对候选服务的直接信任评价。包括基于用户 QoS 偏好的服务质量的可信性,以及用户与该候选服务的历史交互信任。

我们知道,不同服务领域对 Web 服务的 QoS 属性具有不同的偏向性,而不同用户对 QoS 属性的期待也不相同。因此在进行服务选择的时候,用户期望选择与自己偏好相近的 Web 服务。例如,在进行网上银行交易的时候,相对于服务响应时间,用户更关注服务的可靠性。因此,直接信任度中对服务 QoS 属性的计算需要考虑用户偏好。另外,如果用户与服务有过历史交互,那么直接信任度中也应考虑用户对服务的直接信任评价。将用户对候选服务 i 的直接信任度记为 T_d^i 。

定义 2(推荐信任度) 本文从服务请求者的角度考虑服务推荐者对候选服务推荐的可信程度,将其称为服务的推荐信任度。将用户对候选服务 i 的推荐信任度记为 T_r^i 。

定义 3(声誉) 声誉是指一个主体被另一个主体群所广泛认同的可以完成某个特定任务的能力,这里特指推荐能力^[10]。

假定用户群 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ 对用户 A 有推荐历史。则将用户 A 对某推荐者 B_j 的推荐评价称为 B_j 相对于用户 A 的推荐声誉 $T_{B_j}^A$,用下式计算:

表 1 声誉级别分类

Table 1 Reputation levels

声誉级别	表示
E	好,完全满足
G	一般,基本满足
B	差,部分不满足需求

$$T_{Bj}^A = \frac{N_E(Bj) + N_G(Bj)}{N(Bj)} \tag{1}$$

其中 $N_E(Bj)$ 为 A 对 Bj 评价为 E 的次数, $N_G(Bj)$ 为 A 对 Bj 评价为 G 的次数, $N(Bj)$ 为评价的总次数.

定义 4 (推荐声誉) 指用户使用服务推荐者推荐的服务后,对推荐者做出的信任评价.

为了使推荐信任度更具有参考性,着重考虑用户对推荐者的历史信任评价,在评估模型中引入推荐者声誉评价机制,细化推荐信任. 该机制在用户使用了推荐者推荐的服务后,将根据使用感受对推荐者进行评价,以此建立用户与推荐者之间的信任关系. 将这个评价称为推荐者的推荐声誉,存储在用户的本地数据库中,每次对该推荐者有新的评价时进行更新.

基于推荐声誉评价机制,将推荐关系划分两类:(1) 来自熟人的推荐,如图 1(a) 所示,用户 A 的数据库中存储有推荐者 B 的推荐声誉,即 A 与 B 之间存在信任关系,那么 B 可以看作是 A 的熟人推荐者,在 B 向 A 进行服务推荐时,考虑 A 对 B 的信任度. (2) 来自陌生人的推荐,如图 1(b) 所示, A 中不存在推荐者 C 的推荐声誉,那么将 C 看作 A 的陌生推荐者,若 C 与 A 的偏好相似,且 C 对服务 i 具有可信性评价,这类推荐也是需要考虑的.

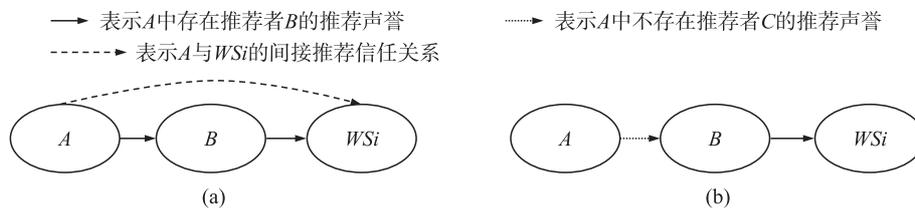


图 1 推荐信任关系

Fig. 1 Recommended relationship between users

定义 5 (熟人推荐信任) 指用户 A 与熟人推荐者 B 之间存在推荐声誉评价,那么 A 可以通过 B 的推荐获得对服务 i 的信任度,这种信任称为熟人推荐信任,如图 1(a) 所示.

定义 6 (陌生人推荐信任) 指用户 A 中不存在陌生推荐者 C 的推荐声誉,则 A 由推荐者 C 的推荐得到的对服务 i 的信任度,称为陌生人推荐信任,如图 1(b) 所示.

定义 7 (偏好相似度) 指用户与服务推荐者对某服务 QoS 属性偏好的相似度.

由于只有当推荐者的偏好和用户偏好相似的时候,推荐信息才具有参考价值,因此,在评估模型中加入该参数,以保证推荐信任度的可信性.

这里采用余弦相似度(cosine similarity)的方法计算用户与推荐者之间的偏好相似度. 用户 A 与服务推荐者 Bj 的偏好相似度 $\text{Sim}(A, Bj)$, 计算如下:

$$\text{Sim}(A, Bj) = \frac{\sum_{k=1}^n [w_k(A) \cdot w_k(Bj)]}{\sqrt{\sum_{k=1}^n w_k^2(A) \cdot \sum_{k=1}^n w_k^2(Bj)}} \tag{2}$$

其中 $w_k(A), w_k(Bj)$ 分别为用户 A 和 Bj 的第 k 个 QoS 偏好值.

定义 8 (服务提供商可信度): 用户对服务提供商的信任程度, 本文用服务提供商提供的 QoS 值与服务实际 QoS 值的差异度高低来衡量服务提供商的可信性. 将服务 i 的服务提供商可信度记为 T_{Gi} .

1.2 参考模型

综合信任的不同来源,通过分析不同信任信息的获取方式,进行信任度评估模型设计,其组成结构如图 2 所示.

本评估模型在原有 SOA 框架基础上扩展了本地数据库和信任评估中心(TAC). 引入推荐者声誉评价机制,将评价结果保存在用户的本地数据库中,以便信任评估时调用,调用关系如图 2 所示. 综合信任度的评估在 TAC 内完成,包括三大信任度来源:直接信任度、推荐信任度和服务提供商可信度. 其中直接信任度中包括基于服务多 QoS 属性的用户偏好信任和用户对服务的历史信任;推荐信任度中推荐的途径有两种,一种是来自熟人推荐的信任,由传递的推荐信任关系得到,另一种是与用户没有历史交互但 QoS 偏好相似的陌生人推荐的信任;服务提供商可信度即服务提供商提供的 QoS 值和实际运行时监控到的 QoS 值

的差异度. 因此综合信任度的计算模型可以表示为:

$$\text{综合信任度} = \gamma_1 \times \text{直接信任度} + \gamma_2 \times \text{间接推荐信任度} + \gamma_3 \times \text{服务提供商可信度}$$

其中, γ_i 为信任度的权重, $\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 1$.

本文的信任度计算模型在推荐机制中引入推荐者声誉的概念,即用户根据对服务的使用感受对推荐者的评分. 随着网络中不同用户和服务的交互次数增加,每个用户会建立一定的声誉,当其向其他用户进行服务推荐的时候,其他用户则可以根据该用户的推荐声誉来决定是否接受推荐. 另外,在单个服务的直接信任计算中,引入了时间衰减因子,在指定时间间隔内,如果信任值没有更新,则衰减其在推荐信任度以及综合信任度中的计算比重,进而可以保证服务综合信任度的可信性.

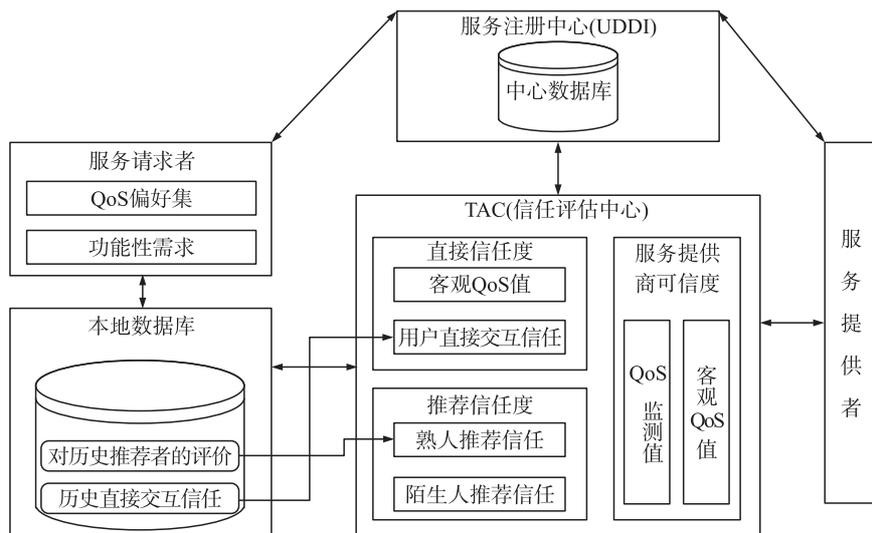


图2 信任度评估模型

Fig.2 Trust assessment model

2 服务信任度评估算法

根据服务信任度评估模型,设计相应的信任评估流程,如图3所示.

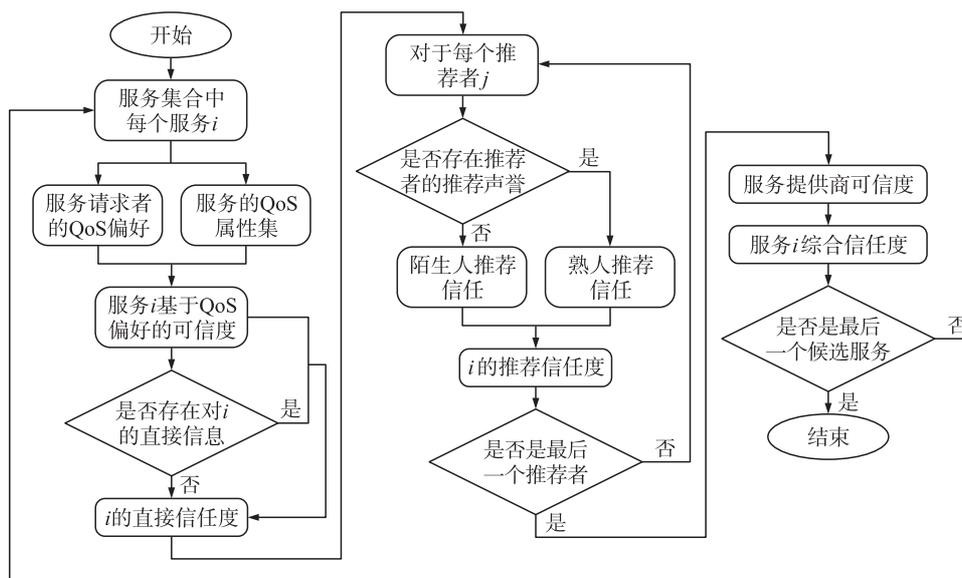


图3 信任评估流程图

Fig.3 Flow chat of trust assessment

从候选服务集中依次取出服务 i , 根据用户的 QoS 偏好, 分别计算直接信任度、推荐信任度以及服务提供商可信度, 最终求出每个候选服务的综合信任度并得到排名以供服务选择时参考.

2.1 直接信任度

假定服务提供商提供的 QoS 属性集为: $Q = \{q_1, q_2 \dots q_n\}$, 用户的 QoS 偏好集为: $U_p = \{w_1, w_2 \dots w_n\}$, 为了便于评估计算, 我们在本文统一将 q_i 的值进行数据归一化处理, 偏好 w_i 权值也都设定在 $[0-1]$, 那么基于 QoS 偏好的服务 i 的信任度用下式计算:

$$T_i^{esp} = \sum_{j=1}^n w_j q_j. \tag{3}$$

假如用户与服务 i 之间有过历史交互, 那么计算直接信任度时需要考虑用户对服务 i 的信任评价. 将用户 A 对服务 i 的历史交互信任记为: T_i^A .

考虑到用户对服务的评价具有时效性, 较早时间的交互信任值不具有参考性, 因此, 这里引入时间衰减函数:

$$g(t) = \frac{1}{(t_{\text{当前时间}} - t_{\text{上次交互时间}}) / \sigma}. \tag{4}$$

$g(t)$ 为时间衰减函数, σ 表示时间衰减间隔(单位:h). 例如当 $\sigma=2$ 时, 表示信任值每隔 2 h 对直接信任度的影响衰减一次. 那么, 用户对服务 i 的直接信任度记为:

$$T_D^i = \alpha \times T_i^{esp} + (1-\alpha) \times g(t) \times T_i^A \quad (0 < \alpha < 1; T_i^A \text{ 不存在时, } \alpha = 1). \tag{5}$$

在直接信任度的计算中, 采取了 2 个措施保证其可信性: (1) 加入用户偏好因素来综合服务提供商的 QoS 属性值. (2) 引入时间衰减因子, 使用户与服务在以往交互的过程中建立的信任随时间的累积对综合信任度的影响降低. 由于推荐信任度以及综合信任度的计算都涉及了直接信任度, 因此, 保证直接信任度的可信性是必要的.

2.2 推荐信任度

(1) 熟人推荐信任(recommend of friend)

假定熟人推荐者 B 的个数为 n , 那么服务 i 来自熟人推荐者 B_j 的信任值记为:

$$T_{Rfri} = \frac{\sum_{j=1}^n [T_{B_j}^A \cdot T_i^{B_j} \cdot \text{Sim}(A, B_j)]}{n}. \tag{6}$$

其中 T_{Rfri} 表示熟人推荐信任值, $T_{B_j}^A$ 表示 A 对第 j 个熟人推荐者的信任值, $T_i^{B_j}$ 表示第 j 个熟人推荐者对服务 i 的历史信任值.

(2) 陌生人推荐信任(recommend of stranger)

假定陌生推荐者 C 的个数为 n , 那么服务 i 来自陌生人推荐的信任值记为:

$$T_{Rstr} = \frac{\sum_{j=1}^n [T_i^{C_j} \cdot \text{Sim}(A, C_j)]}{n}. \tag{7}$$

其中 T_{Rstr} 表示陌生人推荐信任值, $T_i^{C_j}$ 表示第 j 个陌生推荐者 C 对服务 i 的历史信任, 实际上就是 C_j 对服务 i 的直接信任度, 计算方法如上节所述, 由于直接信任度是保证可信的, 因此该推荐信任度也可以保证其可信性.

综合以上 2 种推荐信任可以得出服务 i 的推荐信任度为:

$$T_R^i = \beta \cdot T_{Rfri} + (1-\beta) \cdot T_{Rstr} \quad (0 < \beta < 1; T_{Rfri} \text{ 不存在时, } \beta \text{ 取 } 0). \tag{8}$$

2.3 服务提供商的可信度

为了验证调用服务时服务的 QoS 属性值是否可以达到服务提供商提供的值, 启用 QoS 监控机制, 记录每次调用时服务的 QoS 值, 并计算服务提供商提供的 QoS 值与监控获取的 QoS 值的一致性, 以此作为服务提供商的可信度值.

假定服务 i 初始的 QoS 集为 $\{q_{p1}, q_{p2} \dots q_{pn}\}$, 监控获取到的 QoS 集为 $\{q_{d1}, q_{d2} \dots q_{dn}\}$, 服务提供商的可信度可以用服务 i 调用时和初始时 QoS 值的差异度来度量, 计算公式如下:

$$T_{Ci} = 1 - \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{|q_{dj} - q_{pj}|}{q_{pj}}. \tag{9}$$

每次交互后将计算的服务提供商的可信度更新到 T_{Ci} 中,以便评估综合信任度时调用。

2.4 综合信任度

由直接信任度、推荐信任度(分别来自熟人和陌生人推荐)和服务提供商可信度的计算,给出服务 i 的综合信任度计算公式:

$$T_i = \gamma_1 \cdot T_D^i + \gamma_2 \cdot T_R^i + \gamma_3 \cdot T_{Ci} \quad (\text{其中 } \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 1). \quad (10)$$

综上所述,由于信任度评估模型中分别采取一定措施保证直接信任度、推荐信任度的有效性和可信性,使得综合信任度评估的准确性进一步提高。

2.5 服务信任度评估算法

由服务信任度评估模型及评估方法,给出基于 QoS 和声誉的服务信任度评估的伪代码:

算法 1. 服务信任度评估算法(WS Trust Assessment)

输入: U_i : 用户 QoS 偏好集; Q_i : 候选服务 i 的 QoS 集; $T_i(A)$: 用户 A 对服务 i 的直接信任度; $T_{Bj}(A)$: 用户 A 本地存储的对推荐者 B_j 的推荐声誉。

输出: 满足用户 A 的候选服务基于信任度的排名。

1. set $T_i(D) = 0, T_i(R) = 0, T_{Ci} = 0, T_{fri} = 0, T_{rst} = 0$
2. for each $WS_i \in WS = \{WS_1, WS_2, \dots, WS_n\}$
3. get $Q_i = \{q_{p1}, q_{p2}, \dots, q_{pn}\}$
4. get $U_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$
5. calculate $g(t) = 1 / [(t_2 - t_1) / \sigma] // t_2$ 表示当前时间, t_1 表示上次的评价时间;
6. calculate $T_i(usp) = \sum (w_i \times q_{pi}) //$ 计算服务提供商提供服务 i 的信任度;
7. if $T_i(A) \neq 0 //$ 综合计算 A 对服务 i 的直接信任度;
8. $T_i(D) = \alpha \times T_i(usp) + (1 - \alpha) \times g(t) \times T_i(A) //$ 将 $T_i(D)$ 的值更新到 A 的本地数据库 $T_i(A)$ 中;
9. else
10. $\alpha = 1$
11. $T_i(D) = T_i(usp)$
12. get $T_i(B_j), T_i(C_j)$ from 1 to $n //$ 获取所有推荐者 B_j 和 C_j 对服务 i 的直接信任度;
13. for each B_j, C_j from 1 to $n //$ 分别计算 B_j 和 C_j 与 A 的偏好相似度及推荐声誉;
14. calculate $T_{Bj}(A) = [N_e(B_j) + N_g(B_j)] / N(B_j) //$ 计算 A 对 B_j 的推荐声誉,并存储到 A 的本地数据库;
15. calculate $\text{sim}(A, B_j) = (\sum (w_k(A) \times w_k(B_j))) / \sqrt{\sum [w_k(A) \times w_k(A) + w_k(B_j) \times w_k(B_j)]}$
16. calculate $\text{sim}(A, C_j) = (\sum (w_k(A) \times w_k(C_j))) / \sqrt{\sum [w_k(A) \times w_k(A) + w_k(C_j) \times w_k(C_j)]}$
17. $T_{fri} = (\sum T_{Bj}(A) \times T_i(B_j) \times \text{sim}(A, B_j)) / n //$ 存在 A 对 B_j 的历史推荐信任,因此 B_j 作为熟人推荐者;
18. $T_{rst} = (\sum T_i(C_j) \times \text{sim}(A, C_j)) / n //$ 不存在 A 对 C_j 的历史推荐信任,因此 C_j 作为陌生推荐者;
19. if $T_{fri} \neq 0$
20. $T_i(R) = \beta \times T_{fri} + (1 - \beta) \times T_{rst} //$ 计算用户 A 对服务 i 的推荐声誉;
21. else
22. $\beta = 0$
23. $T_i(R) = T_{rst}$
24. calculate $T_{Ci} = \sum (|q_{di} - q_{pi}| / q_{pi}) //$ 计算服务提供商的可信度;
25. calculate $T_i = \gamma_1 \times T_i(D) + \gamma_2 \times T_i(R) + \gamma_3 \times T_{Ci} //$ 计算用户 A 对服务 i 的综合信任度;
26. order by the value of $T_i //$ 输出候选服务集中服务按综合信任度的顺序排名。

算法复杂度分析:

通过将本算法与文献[9]的算法相比较可知,文献[9]的算法是基于贝叶斯网进行计算的,在最坏的情况下要进行超过 $n(n+n(n+2n)+2n)$ 次的运算(n 代表候选服务/推荐者的个数,下同),即时间复杂度为 $O(n^4)$,空间存储需要 $n(n+n+3n \times 2+2n)$,约 $10n^2$,空间复杂度为 $O(n^2)$;而本文信任度计算方法的时间复杂度约为 $O(n^2)$,空间存储大约需要 $n(n+2n+n)$,约 $4n^2$,空间复杂度为 $O(n^2)$ 。从以上分析可见,本文算法在时间复杂度和空间复杂度方面均有明显提高。下面通过实例进一步验证本文算法的可行性和准确性。

3 实例分析

相对于仅将用户评价作为信任度的评估方法^[10],本文提出的计算模型很好地综合了几大信任值的来

源,并引入推荐声誉评估机制,使推荐信任值更加可靠.文献[9]的服务信任度是基于贝叶斯网来实现的,而当服务规模较大的情况下,贝叶斯网的构造比较复杂,条件概率表 CPT 的数据维护工作量很大.本文提出的计算模型可以克服这一问题,并且能得到相同的效果.首先通过实例分析一下本文提出的计算模型的可行性.

3.1 服务信任度计算实例

假定当前 3 个用户 $U1, U2, U3$ 的 QoS 偏好如表 2 所示.这里只考虑 QoS 信息中的响应时间(qr)、可用性(qa)和开销(qc)3 个重要属性,取值区间 $[0-1]$. T_{Bj}^A 表示用户 Bj 相对用户 A 的推荐声誉.假定系统已经记录了 3 个用户的历史推荐信息,并已计算出每个用户相对其他用户的推荐声誉.

表 3 中提供了能够满足用户 $U1$ 功能的候选服务集 $\{ws1, ws2, ws3, ws4, ws5\}$ 的 QoS 属性值,值域区间 $[0-100]$,对于用户来说,响应时间和开销越低越好,而可用性则越高越好,因此需要先将数据归一化处理,以便后期计算.归一化的方法很多,这里不做讨论.归一化后的值列在原值后面.表 4 统计了用户和候选服务的历史交互信息.

假定用户 $U1$ 为服务请求者, $U2, U3$ 为服务推荐者,那么现在需要从服务候选集中得到满足 $U1$ QoS 偏好的服务信任度排名.根据上面图表中信息进行计算:

(1) 直接信任度

根据式(3),由表 1、2 中 $U1$ 的偏好集以及服务初始 QoS 值计算 T_i^{wsp} ,如表 5 所示.

式(4)中假定当前时间与上次交互时间差值为 6 h, $\sigma = 4$,则衰减因子 $g(t) = 2/3$.令式(3)中的权重 $\alpha = 0.6$,根据式(5)可以计算出 $U1$ 对 5 个候选服务的直接信任度,如 T_i 矩阵的第 1 列所示.

(2) 推荐信任度

首先计算 $U1$ 与推荐者 $U2, U3$ 的偏好相似度.由式(2)得:

$$\text{Sim}(U1, U2) = \frac{0.5 \times 0.25 + 0.25 \times 0.5 + 0.25 \times 0.25}{\sqrt{(0.5^2 + 0.25^2 + 0.25^2)(0.25^2 + 0.5^2 + 0.25^2)}} \approx 0.83 = \text{Sim}(U1, U3).$$

由于 $T_{U2}^{U1} = 0.8, T_{U3}^{U1} = 0$,则 $U2$ 可以看作熟人推荐, $U3$ 则是陌生人推荐.根据式(6)、(7)分别计算 T_{Rfri} 和 T_{Rstr} 的值,计算结果如表 6 所示.

根据式(8)计算推荐信任度的值如 T_i 矩阵的第 2 列所示($\beta = 0.6$).

(3) 服务提供商可信度与综合信任度

在系统模块中已根据式(9)计算出结果如 T_i 矩阵第 3 列所示,那么根据以上信息及式(10)可以计算出综合信任度($\gamma_1 = 0.4, \gamma_2 = 0.25, \gamma_3 = 0.35$):

$$T_1 = \gamma_1 \times T_d^1 + \gamma_2 \times T_R^1 + \gamma_3 \times T_{Cl}^1 = 0.4 \times 0.44 + 0.25 \times 0.58 + 0.35 \times 0.17 = 0.38.$$

其余计算类似,结果如矩阵 T_i 所示,基于文献[9]的评估方法计算结果如矩阵 T_i' 所示:

$$T_i = \begin{pmatrix} 0.44 & 0.58 & 0.17 \\ 0.46 & 0.40 & 0.17 \\ 0.53 & 0.43 & 0.46 \\ 0.48 & 0.47 & 0.33 \\ 0.67 & 0.75 & 0.33 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.38 \\ 0.34 \\ 0.48 \\ 0.42 \\ 0.57 \end{pmatrix} \Rightarrow \text{对于用户 } U1 \text{ 来说,候选服务的排名情况为: } \{ws5, ws3, ws4, ws1, ws2\}.$$

表 2 用户信息

Table 2 Users' profiles

	qr	qa	qc	T_{Bj}^A
$U1$	0.5	0.25	0.25	$T_{U2}^{U1} = 0.8$
$U2$	0.25	0.5	0.25	$T_{U1}^{U2} = 0.8$
$U3$	0.25	0.25	0.5	

表 3 服务信息

Table 3 Web services' profiles

	qpr	qpa	qpc
$ws1$	35\0.67	50\0	20\1
$ws2$	65\0	90\1	30\0.8
$ws3$	40\0.56	90\1	70\0
$ws4$	50\0.33	60\0.25	20\1
$ws5$	20\1	70\0.5	40\0.6

表 4 用户与服务交互的历史信息

Table 4 Trust history between users and services

	$ws1$	$ws2$	$ws3$	$ws4$	$ws5$
$U1$	0.5	0.7			0.9
$U2$		0.5	0.4	0.7	
$U3$	0.7	0.6	0.8		0.9

表 5 T_i^{wsp} 计算结果

Table 5 Result of T_i^{wsp}

	$ws1$	$ws2$	$ws3$	$ws4$	$ws5$
T_i^{wsp}	0.59	0.45	0.53	0.48	0.78

表 6 T_{Rfri} 和 T_{Rstr} 计算结果

Table 6 Result of T_{Rfri} and T_{Rstr}

	$ws1$	$ws2$	$ws3$	$ws4$	$ws5$
T_{Rfri}	0	0.4	0.32	0.56	0
T_{Rstr}	0.7	0.6	0.8	0	0.9

$$T'_i = \begin{pmatrix} 0 & 0.33 & 0.17 \\ \text{NA} & 0.146 & 0.17 \\ 0.33 & 0.39 & 0.463 \\ \text{NA} & 0.33 & 0.33 \\ 0.67 & 0.33 & 0.33 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.142 \\ 0.095 \\ 0.393 \\ 0.200 \\ 0.467 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \text{对于用户 } U1 \text{ 来说,候选服务的排名情况为:} \\ \{ws5, ws3, ws4, ws1, ws2\}.$$

3.2 相关工作比较分析

上一节建立了一个实例模型,运用本文与文献[9]的可信度评估方法,分别得到相对用户 $U1$, 候选服务的信任度集合 T_i 与 T'_i , 由最终结果可以看出候选服务信任度的排名一致,验证了本文信任度评估方法的可行性.同时,我们发现本文的信任度值略高于文献[9],原因是文献[9]在直接信任计算中加入了提前设定的交互因子,使直接信任度整体降低,而推荐信任的计算与推荐者和服务的直接信任相关,因此也相应降低了推荐信任的值.

再重新关注一下候选服务的质量属性数据,以 $WS2$ 和 $WS3$ 为例,显然响应时间 $WS3$ 比 $WS2$ 高了 25, 可用性相同,而服务花费 $WS3$ 比 $WS2$ 高 40, 结合用户 $U1$ 的偏好 $(0.5, 0.25, 0.25)$, 即响应时间的比重是服务花费的 2 倍,由于属性值域为 $[0-100]$, 则根据计算: $(25 \times 2 - 40) / 100 = 0.1$, 可以看出 $WS3$ 比 $WS2$ 质量属性值高出约 0.1, 并且由于用户 $U1$ 与 $WS2$ 有过历史交互,且信任值较高,考虑这些相关因素会进一步缩短 $WS2$ 和 $WS3$ 相对于 $U1$ 的信任度差距.因此从原始数据的比对中可见候选服务 $WS2$ 和 $WS3$ 相对于用户 $U1$ 来说 $WS3$ 略好些,但是差距并不大.而比较 T_i 和 T'_i 的值,发现本文得到的 2 个服务信任度差值为 0.08, 文献[9]得到的差值近 0.3, 可见其信任度计算方法远远拉大了 2 个服务的差距,与事实情况不符,因此本文信任度计算结果更贴近实际.

另外文献[9]中信任度是基于贝叶斯网络计算的,随着服务规模的增大,贝叶斯网络构建更加复杂, CPT 表的维护开销也较大,而本文评估模型的数据维护相对容易,且算法的时间和空间复杂度更占优势.同时本评估模型还加入了时间衰减因子,服务的直接信任每超过一个时间间隔 σ 信任值就会衰减一次.由于服务的直接信任度和推荐信任度都是基于单个服务的直接信任度计算的,这也保证了服务综合信任度的时效性和可信性.

4 小结

随着互联网中 Web 服务数量的增多,服务的信任度成为用户在选择服务时重要的参考指标.目前关于服务信任度评估方法的研究很多,但是仍然没有相对完善的评估模型来整合多种来源的服务信任信息,基于此本文提出了一种基于 QoS 和声誉的服务信任度评估方法,综合考虑了服务基于用户偏好的直接信任度、来自熟人和陌生人的推荐信任度以及服务提供商可信度.同时本评估方法也能很好保证服务综合信任度的可信性:在直接信任度中加入时间衰减因子,使用户与服务的历史交互信任随时间累积而衰减;同时为了考虑推荐者本身的可信性,引入推荐者声誉评价机制,以此来削弱声誉较差的推荐者的推荐信任对服务综合信任度的影响,通过评估推荐者的声誉建立服务使用者间的直接信任关系,因此在考虑推荐信任的时候需要对推荐者进行两类划分,这也促使推荐信任度的完整性、准确性更高.

下一步的工作是将该信任度评估方法应用到可信的服务组合当中,并在真实的网络环境中测试.同时,通过不断优化评估模型使其能够在服务数目较大的情况下,仍能更迅速计算出候选服务的信任度和排名,并不断提高服务信任度评估的有效性和准确性.

[参考文献]

- [1] Yin R. Study of composing web service based on SOA[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Green Communications and Networks. Berlin Heidelberg: Springer, 2013: 209-214.
- [2] Gorbenko A, Kharchenko V, Popov P, et al. Development of Dependable Web Services Out of Undependable Web Components[M]. Newcastle: Computing Science, University of Newcastle upon Tyne, 2004.

(下转第 46 页)

- [4] 戴峻峰,付丽辉,曹洁.小波变换增强在医学图像边缘增强中的应用[J].计算机应用与软件,2008,25(12):135-137.
- [5] 阿布力江·艾力米努,阿布都克力木·吐尔洪江,奥斯曼·阿卜杜如苏力.反对称双正交小波应用于医学图像增强的研究[J].传感器与微系统,2013(1):66-68.
- [6] 张海英,吐尔洪江·阿布都克力木.基于二进小波的医学图像增强[J].计算机应用与软件,2011(6):59-62.
- [7] 张玲.医学图像处理中的小波变换应用[J].中国医学影像技术,2010(2):372-374.
- [8] Abdulkirim T,Takano S,Nijjim K. A construction of spline dyadic wavelet filters[J]. Research Report on Information Science and Electrical Engineering of Kyushu University,2002,7(1):1-6.
- [9] 谷海凝.医学图像增强系统设计与实现[D].山东:山东大学计算机科学与技术学院,2006:30-42.
- [10] 徐鑫,田逢春,姬艳丽,等.基于小波系数层间相关性的图像噪声方差估计[J].计算机应用,2009(10):2 674-2 679.

[责任编辑:顾晓天]

(上接第29页)

- [3] Wang H M,Tang Y B,Yin G, et al. Trustworthiness of internet-based software[J]. Science in China Series F: Information Sciences,2006,49(6):759-773.
- [4] Limam N,Boutaba R. Assessing software service quality and trustworthiness at selection time[J]. IEEE Trans on Software Engineering,2010,36(4):559-574.
- [5] Bansal S K,Bansal A. Reputation-based web service selection for composition[C]//IEEE World Congress on Services(SERVICES). Hawaii,USA;IEEE,2011:95-96.
- [6] Zheng Z B,Lyu M R. QoS-Aware Selection Framework for Web Services[M]//QoS Management of Web Services. Berlin Heidelberg:Springer,2013:119-144.
- [7] Kritikos K,Plexousakis D. Requirements for QoS-based web service description and discovery[J]. IEEE Trans on Service Computing,2009,2(4):320-337.
- [8] Conner W,Iyengar A,Mikalsen T, et al. A trust management framework for service-oriented environments[C]//Proceedings of the 18th International Conference on World Wide Web. Madrid,Spain;ACM,2009:891-900.
- [9] Nguyen H T,Zhao W L,Yang J, et al. A trust and reputation model based on ayesian network for web services[C]//IEEE International Conference on Web Services. Miami,Florida;IEEE,2010:251-258.
- [10] Pan J,Xu F,Lü J. Reputation-based recommender discovery approach for service selection[J]. Journal of Software,2010,21(2):388-400.

[责任编辑:黄敏]