基于QoS的可信Web服务组合研究

肖 文 张自力 李伟华
(西南大学智能软件与软件工程重点实验室 重庆 400715)

摘 要 如何合理、高效地选择和组合众多功能相似的服务,为用户提供更优质的服务,是当前SOA领域研究的重点和难点。服务质量QoS(Quality of Service)的引入,在一定程度上保证了服务组合的合理性,但对于如何确保服务组合的可信,目前还没有一个比较完善和可行的方案。因此,提出了可信Web服务组合模型(Trust Web Service Composition Model,TWSCM),并通过在原有Web服务体系架构上增加QoS代理和可信模块来确保服务组合的质量和可信。最后,在语言网格上进行了相关实验,结果表明,该方法能为用户提供高质量、可信的组合服务,从而验证了该方法的合理性和有效性。

关键词 Web服务,服务组合,QoS,可信,语言网格
中图法分类号 TP319 **文献标识码** A

Trustworthy Web Service Composition Approach Based on QoS

XIAO Wen ZHANG Zi-li LI Wei-hua
(Key Laboratory of Intelligent Software and Software Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract How to select and combine the services from available ones with similar functions appropriately and efficiently to provide much better services for users is an important yet difficult issue in SOA. The rationality of service composition is improved to a certain extent with the introduction of Quality of Service(QoS). However, there is still no efficient way to ensure the trustworthiness of the service composition. With such an observation in mind, a Trust Web Service Composition Model(TWSCM) was proposed to enhance the trustworthiness of service composition. This was achieved by adding QoS agents and trust control module to existing typical Web service composition models. Finally, experiments were conducted on the Language Grid (http://langrid.nict.go.jp). The experimental results show that the proposed approach can provide trustworthy composite services with high quality.

Keywords Web service, Service composition, Quality of service, Trustworthy, Language grid

1 引言

Web服务具有高度的互操作性、跨平台性和松耦合的特点,引起了世界范围内学术界和工业界的极大兴趣。它定义了一套标准的调用过程,使得客户端能够调用其服务。Web服务本质上是一个服务组件,其特点是将面向对象的程序进一步封装。它包含了一些粗粒度的接口,可以通过服务描述语言WSDL[1]来描述服务,通过SOAP[2]协议来实现不同厂商之间的Web服务调用,通过UDDI[3]来发布和发现Web服务。Web服务体系架构是基于3个参与者(服务提供者、服务注册中心、服务请求者)和3个基本操作(发布、检索、绑定)构成的。

原子服务提供的功能是有限的,但用户的需求是复杂而多元化的。只有通过对已有的原子服务进行组合,其潜力才能真正发挥出来。随着竞争的加剧,服务提供者有可能提供不可信的服务,无法满足用户的需求。因此,如何合理、高效地组织有效、可信的服务,满足用户复杂的应用需求,成为SOA领域研究的热点问题。随着Web服务数量的剧增,如何从众多功能相似的服务中选择满足用户需求的服务,成为研究重点,因此人们越来越关注服务的非功能属性QoS。QoS的引入为用户选择高质量的原子服务提供保证,但并不能保证组合服务的结果一定可信。组合服务的可信是指组合服务的动态行为及其结果总是符合人们的预期,在受到干扰时仍能提供连续的服务。这里的"干扰"包括环境影响、外部攻击等。因此,在考虑了服务质量之后,人们对服务可信与否越来越关注。

已有服务组合研究中,人们往往优先选择QoS值高的原子服务进行组合。实际上,QoS最优的原子服务组合后并不能保证得到的组合服务的QoS一定是最优的,因此需要有一种机制来为用户选择可信的组合服务提供保证。本文提出了可信Web服务组合模型TWSCM,即通过在原有Web服务体系架构之上增加两个模块——QoS代理和可信模块,并引入可信度这一概念来刻画组合服务的可信,为用户选择可信的组合服务提供保证。QoS代理根据用户请求来选择满足要

到稿日期:2010-07-06 返修日期:2010-11-20 本文受重庆市科委攻关项目CSTC(2009AC2174)资助。
肖 文(1986—),女,硕士生,主要研究方向为Web服务与可信计算,E-mail:xiaowenz@swu.edu.cn;张自力(1964—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为多Agent系统、混合智能系统、可信计算等;李伟华(1985—),女,硕士生,主要研究方向为Web服务与可信计算。

求的可信度高的原子服务。可信模块通过计算组合服务的QoS可信度的稳定度来判定其可信与否，从而为用户推荐高质量的组合服务。

本文第2节回顾Web服务组合和QoS、可信的相关工作；第3节介绍所提出的TWSCM模型，以此来研究组合服务的可信问题；第4节给出基于TWSCM模型的体系结构；第5节为实验及结果分析；最后是结论。

2 相关工作

Web服务组合是目前的一个研究热点[4]。文献[5]中，eFlow用来审核基于用户需求的动态服务选择。服务节点的定义中描述了服务查询语言。若服务节点被调用，则执行搜索方法来选择具体的服务。eFlow重点在优化单任务层次上的服务选择，但没有QoS模型予以支持。Zeng等则重点关注服务组合中的服务选择(通过引入QoS模型和线性规划技术来实现[6])，提出了一种质量驱动的方法来为服务组合选择合适的服务。文献[7]提出了一种以多维QoS属性为约束机制的模型来实现服务的组合。文献[8]提出的模型，主要是在用户和服务提供者之间部署一个QoS代理，跟踪服务器的QoS信息，与服务器协商以获取QoS的协定，为用户选择服务做决策。

QoS的引入在一定程度上保证了所选服务的质量，但是服务到底可信与否还有待研究。目前，已有研究者对服务可信问题进行了一些探索。文献[9]将软件可信表示为一组软件质量属性，如可靠性、安全性、性能、容错性等等的组合，从而使得Web服务的可信是可测量的。在Web服务组合时，需要考虑原子Web服务的可信，以提供高质量的服务，满足服务请求者的需求。文献[10]设计了一个调解器，根据原子Web服务的不同信任类型，推导组合Web服务的信任等级，为服务请求者提供了选择最优执行路径的方法。文献[11]提出了一个以提供者为中心的多Agent模型，并设定信任函数，给提供者更大的自治性来决定是否信任其他提供者，是否参与组合服务，以此来保证组合服务更加可信。文献[9,10]虽然提出了解决方案，但其可操作性不高，无法对其效果进行评估。文献[11]关注的是服务提供者，没有从用户角度出发考虑可信问题。因此，在已有研究的基础上，把QoS与用户反馈结合起来，并引入可信度这一概念来评估组合服务的可信，为用户选择高质量的组合服务提供了保证。

3 可信Web服务组合模型

目前，研究者们从各自不同的角度对Web服务组合进行了研究。借鉴文献[8]提出的方法，提出了可信Web服务组合模型(TWSCM)，即在部署QoS代理的基础上，通过增加可信模块来为用户提供可信的组合服务。基于此，提出的TWSCM可定义为一个四元组：

$$TWSCM=(C,Q,F,St)$$

式中，$C=\{\zeta_1,\zeta_2,\cdots,\zeta_n\}$为候选组合服务的集合，用户将从该集合中选择具体的组合服务来完成其请求。Q为候选组合服务的QoS可信度，用组合服务的QoS值表示。随着原子服务的QoS信息的更新以及用户的反馈，该值将按一定规则进行更新。F为采用模型推荐的组合服务后对该组合服务的评价，该评价对更新规则产生影响。St为QoS可信度的稳定程度，通过该值来判定组合服务的可信，从而为用户推荐高质量的组合服务。

3.1 服务质量QoS

CCITT(ITU-T)给出了QoS的最初定义："QoS是一个综合指标，用于衡量使用一个服务的满意程度"。在RACE(Research into Advanced Communication for Europe)中进一步定义："QoS描述了一个服务的某些性能特点。这些性能特点是用户可见的，并以用户可理解的语言表示为一组参数。这组参数具有客观值或者主观值"[12]。其中，客观值描述了系统的行为性能(如失败概率、吞吐量)，主观值描述了系统的其他服务性能(如安全性、优先级)。

QoS属性的选择是基于QoS的Web服务相关研究中的关键问题。QoS的主要属性有：互操作性、性能、安全、可靠性、可用性。当然，还可以根据不同的服务定义其他的属性，例如准确性、完备性等[13]。

基于以上讨论，选用以下4个属性来刻画Web服务的QoS：

· 可用性 $q_a(s)$　指一段时间内服务可以被访问的概率。其中t为任意时间段，$T(s)$为服务在该时间段内成功运行的时间。

$$q_a(s)=\frac{T(s)}{t} \tag{1}$$

· 可靠性 $q_r(s)$　指在期望的时间里服务被正确请求的概率。其中N_s为服务成功执行的次数，N_t为服务执行的总次数。

$$q_r(s)=\frac{N_s}{N_t} \tag{2}$$

· 服务代价 $q_c(s)$　指服务请求者为了调用服务需要向服务提供者支付的费用。

· 响应时间 $q_t(s)$　指从服务请求者发出请求的时间到收到请求响应的时间差，包括服务执行时间以及服务请求者与服务提供者之间的往返通信时间。其中$T_e(s)$为服务的执行时间，$T_t(s)$为服务在服务请求者和服务提供者之间的往返通信时间。

$$q_t(s)=T_e(s)+T_t(s) \tag{3}$$

QoS各个属性的意义和取值范围不同，因此不能直接计算QoS属性值。为了保证可比性，在计算QoS前需要对QoS的各个属性值进行标准化处理，将原始度量指标数据从其原来的值域线性变换到[0,1]区间上。具体计算方法如下：

$$V'=\begin{cases}\dfrac{v-\min}{\max-\min}, & \max\neq\min\\ 1, & \max=\min\end{cases} \tag{4}$$

$$V'=\begin{cases}\dfrac{\max-v}{\max-\min}, & \max\neq\min\\ 1, & \max=\min\end{cases} \tag{5}$$

如果该度量指标的取值方向为向上，即值越大，表示目标对象的服务质量越好，则按照式(4)标准化；反之，如果该度量指标的取值方向为向下，即值越小，表示目标对象的服务质量越好，则按照式(5)标准化。服务可用性和可靠性按式(4)标准化；响应时间和服务代价按照式(5)标准化。

根据文献[10]，对于组合服务的QoS，本文中给出如下定义。设S为原子服务的集合，假定有一个组合序列为$\zeta=\langle s_1,s_2,\cdots,s_n\rangle$，$s_i\in S,0\leqslant i\leqslant n$，则组合服务的可用性$Q_a(\zeta)$计算如

下：

$$Q_a(\zeta)=W_1\times\exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\ln q_a'(s_i)\right) \tag{6}$$

组合服务的可靠性 $Q_r(\zeta)$计算如下：

$$Q_r(\zeta)=W_2\times\exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\ln q_r'(s_i)\right) \tag{7}$$

组合服务的服务代价 $Q_c(\zeta)$计算如下：

$$Q_c(\zeta)=W_3\times\sum_{i=1}^{n}q_c'(s_i) \tag{8}$$

组合服务的响应时间 $Q_t(\zeta)$计算如下：

$$Q_t(\zeta)=W_4\times\frac{\sum_{i=1}^{n}q_t'(s_i)}{n} \tag{9}$$

式中，W_i 为 QoS 相应度量指标的权重，$\sum_{i=1}^{4}W_i=1$，$0\leqslant W_i\leqslant 1$，$0\leqslant i\leqslant 4$。

则组合服务的 QoS 值计算如下：

$$QoS(\zeta)=Q_a(\zeta)+Q_r(\zeta)+Q_c(\zeta)+Q_t(\zeta) \tag{10}$$

3.2 组合服务的可信评估

服务之间的可信度是 Web 服务在服务组合、业务流等应用领域中进行计价和推广必须考虑的一个问题。目前，因缺乏可信度评价体系，服务提供商往往会提供不符合实际的 QoS 参考值来欺骗用户，而用户也很难选择到一个合适的 Web 服务，最终影响了 Web 服务的推广。因此，对服务的可信评估显得尤为重要。可信度是用户对服务及其 QoS 的评测，通常被看作用户对服务及其 QoS 主观评测的平均值[6]。

基于文献[6,10]等的研究，用 QoS 可信度的稳定程度 St 来判定组合服务的可信，即

$$St=\frac{QoS(\zeta_i)}{\sum_{i=1}^{n}QoS(\zeta_i)} \tag{11}$$

式中，ζ_i 为候选组合服务，$C=\{\zeta_1,\zeta_2,\cdots,\zeta_n\}$ 为候选组合服务的集合。而 QoS 可信度 Q 通过其度量指标计算，即用组合服务的 QoS 值表示，计算公式如下：

$$Q(t+1)=(1-\alpha)\times Q_H+\alpha\times\gamma\times Q_C(t) \tag{11}$$

式中，$Q_H(t)$为 t 时刻组合服务的 QoS 可信度历史值，$Q_C(t)$为 t 时刻组合服务的 QoS 可信度当前值，α、γ 为常量，α 为折扣因子，$0\leqslant\alpha\leqslant 1$，$\gamma$ 为用户反馈 F 对组合服务 QoS 可信度的影响因子，$0\leqslant\gamma\leqslant 1$。根据用户反馈，通过该公式来不断更新组合服务的 QoS 值。

4 可信 Web 服务组合系统

已有研究中，基于 QoS 的 Web 服务模型主要用来解决 QoS 属性描述、监控和管理等，引入 QoS 代理为用户选择服务做决策，没有考虑服务的可信问题。随着人们对服务可信问题的关注，研究者们进行了相关研究，并引入 QoS 来刻画服务的可信。因此，本文考虑把 QoS 和可信结合起来进行研究，给出基于 TWSCM 模型的体系结构，即在原有 Web 服务体系架构基础之上，增加可信模块，同时为 QoS 代理赋予新的意义，体系结构如图 1 所示。扩展后的 QoS 代理重点在服务的可信计算方面，而可信模块的引入则重点关注服务可信的判定。通过二者的共同作用，为用户选择可信的组合服务提供保证。

· QoS 代理

QoS 代理接受来自服务请求者的请求，在可信模块中查找是否存在解决该请求的可信的组合服务。若有，则直接使用；若没有，则将该请求分解成多个子任务，在服务注册中心查找满足要求的原子服务进行组合。然后计算组合服务的 QoS 可信度，向可信模块递交该信息。同时，对服务进行监控并更新服务的 QoS 信息。

· 可信模块

可信模块中，根据 QoS 代理递交的 QoS 可信度和用户对服务执行结果的满意程度的反馈，计算组合服务的初始可信度。然后，对每个组合服务，根据式(12)来更新其可信度。通过查看候选组合服务集合 C 中所有组合服务的 QoS 可信度的稳定程度，来判定服务是否可信。在一个时间段内，若组合服务 QoS 可信度的稳定程度 St 表现平稳或呈上升趋势，则认为该组合服务可信，否则认为不可信。最后，对于可信的 Web 服务组合，在可信模块中存储该信息，以便以后有相同请求时可以直接使用。

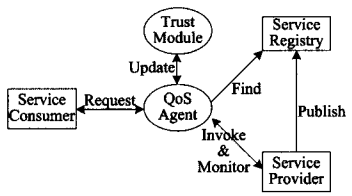

图 1 可信 Web 服务组合系统

5 实验

语言网格[14]实现了多文化合作交流。在语言网格中，其以服务的方式提供大量的语言资源，用户可以根据自己的需求选择相应的服务，或为原子服务，或为原子服务组合而成的组合服务。

为了验证文中所提方法的有效性，本文在语言网格平台上进行了实验。根据文中提出的模型，获取该平台提供的翻译服务，并使用这些翻译服务进行服务组合，同时监控服务的变化，最后验证服务组合的效果。假设用户提出请求将汉语翻译成日语，但直接翻译效果并不理想。因此，选择以英语为支点语言进行翻译，即把请求分解成汉语-英语和英语-日语两个子任务，然后查找语言网格中注册的语言服务。选取满足要求的汉语-英语服务，如 Toshiba English-Chinese Machine Translation[15]，Google Translate[16]等，记为 $S1$，$S2$，$S3$；同理，选取满足要求的英语-日语服务，记为 $S4$，$S5$。接着计算每个原子服务的 4 个属性值，从而得到原子服务的 QoS 参数列表，同时监控并记录其变化。根据 3.1 节中的公式，以 $S1$ 为例，其 QoS 的 4 个属性计算方式如表 1 所列。

表 1 原子服务 $S1$ 的 QoS 属性计算

属性名称	计算方法
可用性 $q_a'(s)$	根据式(1)，式(4)，在 t 时间段内，每间隔 t' 时间查询服务的运行状况，记录成功运行的时间并求和，记为 T(s)。T(s)=44s，t=60s，t'=2s
可靠性 $q_r'(s)$	根据式(2)，式(4)，在 t 时间段内，连续提出服务请求，记录成功执行次数 N_s 和总请求次数 N_t。N_s=73，N_t=118
服务代价 $q_c'(s)$	目前语言网格中提供的服务均为研究之用，属于非盈利性质，根据式(5)，则 $q'_c(s)=1$
响应时间 $q_t'(s)$	语言网格中，设定的服务请求超时时间为 2s，记 t_a 为 t 时间段内服务请求成功执行的响应时间，t_a=0.77s，根据公式(5)，则 $q_t'(s)=(2-t_a)/(2-0)$

同理，其它 4 个原子服务的 QoS 属性以类似方法计算，则 5 个原子服务的初始 QoS 参数如表 2 所列。

表 2　原子服务的初始 QoS 参数表

服务名称	服务类型	可用性	可靠性	服务代价	响应时间
S1	汉语-英语	0.7333	0.6186	1.0000	0.2352
S2	汉语-英语	0.5963	0.6257	1.0000	0.3789
S3	汉语-英语	0.5336	0.5274	1.0000	0.2386
S4	英语-日语	0.8117	0.6871	1.0000	0.2258
S5	英语-日语	0.7381	0.2293	1.0000	0.1295

为了完成用户的请求，组合候选的原子服务，并根据式(10)计算组合服务的 QoS 值。根据前面的定义可知 $C=\{\zeta_1,\zeta_2,\zeta_3,\zeta_4,\zeta_5,\zeta_6\}$，其中 $\zeta_1:S1\rightarrow S4$，$\zeta_2:S1\rightarrow S5$，$\zeta_3:S2\rightarrow S4$，$\zeta_4:S2\rightarrow S5$，$\zeta_5:S3\rightarrow S4$，$\zeta_6:S3\rightarrow S5$。

同时监控服务，根据用户反馈，利用式(12)来更新组合服务的 QoS。再根据式(11)计算其 QoS 可信度的稳定程度 St，并根据 St 的变化来判定组合服务可信与否。

图 2 为原子服务 S1 的 QoS 值变化。经监控并计算可知，原子服务 S1 并不能持续稳定地提供服务，表现为其 QoS 值在 200 到 500 时间段内呈下降趋势，随后又表现为上升趋势，即原子服务处于动态变化过程中。监控服务的变化，根据文中公式，计算组合服务的 QoS 值，并根据用户反馈，通过该 QoS 值的当前值与历史值，利用式(12)不断更新该值。通过记录、计算与统计，得到 QoS 可信度的稳定程度 St 的变化，如图 3 所示。按照传统方法，当给定某一服务请求后，为使服务组合效果更优，往往优先选择 QoS 值较高的原子服务进行组合。据此，由图 3 可知，因组合服务 $S1\rightarrow S4$ 服务质量高于其他组合，则其被推荐的几率较高。而实际上，经监控可知，因 S1 的变化，$S1\rightarrow S4$ 并不能提供稳定的服务。根据本文提出的方法，在已有组合服务中，$S2\rightarrow S4$ 因其 QoS 可信度稳定，被判定为可信的组合服务，最终推荐给用户，由此即可验证方法的有效性。

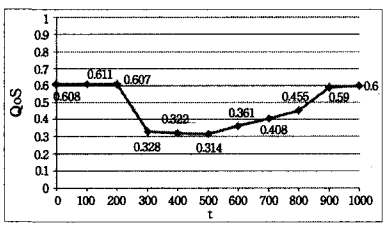

图 2　服务 S1 的 QoS 值变化

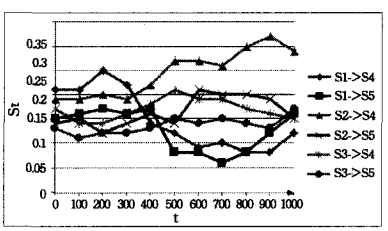

图 3　St 的变化

结束语　目前，可信软件、可信计算已经成为研究的热点问题。同样，在 SOA 领域人们也越来越关注服务的可信问题。本文在已有研究的基础上，提出了可信 Web 服务组合模型 TWSCM，通过在原有 Web 服务体系架构上增加 QoS 代理和可信模块两个部分，并引入可信度这一概念，讨论了 Web 服务组合的可信。在语言网格平台上对支点翻译服务进行了实验。实验结果表明，本文所讨论的方法能够为用户选择可信的组合服务提供参考与保证。

参 考 文 献

[1] Chinnici R, Moreau J, Ryman A, et al. Web Services Description Language[EB/OL]. http://www.w3.org/TR/wsdl, 2010-05-10

[2] Mitra N. SOAP Version 1.2 Part 0: Primer W3C Recommendation[EB/OL]. http://www.w3.org/TR/2003/REC-soap12-part0-20030624/, 2010-05-10

[3] Clement L, Hately A, Riegen C, et al. UDDI Version 3.0.2 UDDI Spec Technical Committee Draft[EB/OL]. http://uddi.org/pubs/uddi-v3.0.2-20041019.htm, 2010-05-10

[4] 宋巍，马晓星，吕健，等. Web 服务组合动态演化的实例可迁移性[J]. 计算机学报，2009，32(9)：124-139

[5] Casati F, Ilnicki S, Jin L J, et al. Adaptive and Dynamic Service Composition in eFlow[C]// Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Information Systems Engineering. London: Springer-Verlag, 2000: 13-31

[6] ZengLZ, BenatallahB, DumasM, etal. Quality-drivenWebServices Composition[C]// Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web. New York: ACM, 2003: 411-421

[7] Feng X Z, Ren Y, Wu J Q, et al. A Model for Services Composition with Multiple QoS Constraints[C]// Proceedings of the International Conference on Computing: Theory and Applications Table of Contents. 2007: 208-213

[8] Chen H A, Yu T, Lin K J, et al. QCWS: An Implementation of QoS-capable Multimedia Web Services[C]// Proceedings of the 5th International Symposium on Multimedia Software Engineering. 2003: 38-45

[9] Zhang J. Trustworthy Web Services: Actions for Now[J]. IT Professional, 2005, 7(1): 32-36

[10] Kim Y, Doh K G. A Trust Type Based Model for Managing QoS in Web Services Composition[C]// Proceedings of the 2007 International Conference on Convergence Information Technology. Washington: IEEE Computer Society, 2007: 38-443

[11] Bourdon J, Vercouter L, Ishida T, et al. A Multiagent Model for Provider-centered Trust in Composite Web Services[C]// Proceedings of the 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems. Heidelberg: Springer Berlin, 2009: 216-228

[12] 邵凌霜，赵俊峰，梅宏，等. 一种 Web Service 的服务质量预测方法[J]. 软件学报，2009，20(8)：62-73

[13] 赵生慧，张三峰，方群，等. SOA 的 QoS 研究综述[J]. 计算机科学，2009，36(4)：22-26

[14] Ishida T. Language Grid: An infrastructure for intercultural collaboration[C]// IEEE/IPSJ Symposium on Applications and the Internet(SAINT-06). 2006: 96-100

[15] Language Grid Project. WSDL[EB/OL]. http://langrid.nict.go.jp/langrid-1.2/wsdl/ToshibaMT, 2010-08-10

[16] Language Grid Project. WSDL[EB/OL]. http://langrid.nict.go.jp/langrid-1.2/wsdl/GoogleTranslate, 2010-08-10

[17] 徐宜会. 可信计算直接匿名验证[J]. 重庆工学报学报：自然科学版，2007，21(10)：136-141