

# 一种用于评价语义 Web 服务质量的多属性关系建模方法

曲 明,刘淑芬,包 铁

(吉林大学计算机科学与技术学院,吉林长春 130012)

**摘 要:** 针对语义 Web 服务的处理能力空闲、服务请求过载和功能失效的服务质量评价问题,提出一种用于评价语义 Web 服务质量的多属性关系建模方法,从技术层面和社会层面上选取一组服务质量评价指标并定义其属性计算模型,分析出各评价指标之间的属性关系并证明其一致性,利用现有样本进行实验验证并给出性能分析。

**关键词:** 语义 Web 服务;服务质量评价;多属性关系

**中图分类号:** TP311.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2012) 08-1591-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.08.015

## Modeling the Relationships Between Multi-attributes for Evaluating the Quality of Semantic Web Service

QU Ming, LIU Shu-fen, BAO Tie

(College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

**Abstract:** To the qualitative problem of capability idle, request overload and function invalidation of the semantic web service, we proposed a method to model the relationships between multi-attributes for evaluating the quality of the semantic web service. We chose a set of evaluation indexes which are both on the aspects of technology and society, and defined their attributes' computing models, made the analysis on potential relationships between the attributes and proved consistency, and utilized an existing swatch to do experiment for the capability analysis and effect validation of this proposed method.

**Key words:** semantic web service; quality evaluation of service; multi-attribute relationships

### 1 研究背景

语义 Web 服务作为从软件到服务的实现技术,能够被分布于网络环境中的服务代理系统(Service Broker)一致的理解。所谓理解是指软件开发者利用服务代理系统来自动的处理用户所提交的业务请求,实现以语义 Web 服务的发现、选取、调用、组合等服务计算方式来代替传统的软件设计开发方式<sup>[1]</sup>,服务代理系统类似于一个开发、运行、监控和管理语义 Web 服务的“操作系统”,在多个语义 Web 服务的交互过程中<sup>[2]</sup>,每个语义 Web 服务都通过各自所属的服务代理系统来处理用户提交的服务请求。由于软件设计缺陷、网络运行环境等诸多原因,语义 Web 服务在与用户进行交互的时候往往会出现诸如处理能力空闲、服务请求过载和功能失效等难以避免的问题<sup>[3]</sup>,而用户在选择使用一个语义 Web

服务之前也通常会考虑其所提供的真实的服务质量是否与其在服务描述中所承诺的服务质量相一致<sup>[4]</sup>。因此,服务代理系统在为用户选取服务之前,应当预先对语义 Web 服务的服务质量进行分析和评价,再根据评价结果来执行语义 Web 服务的选取操作,从而避免因某些语义 Web 服务出现服务质量问题而导致用户满意度和服务声誉度的降低。

语义 Web 服务的服务质量是一个较宽泛的概念,既包括用户请求数量、响应时间、网络过载率等技术指标<sup>[5]</sup>,又涵盖了用户满意度、服务声誉度等社会指标<sup>[6]</sup>。而对于服务质量的评价往往是通过结合用户的使用反馈和语义 Web 服务自身的性能度量来对其实际运行效果进行量化分析<sup>[7]</sup>。相关研究工作大多集中于服务质量评价指标的属性计算模型及其性能的定量分析,以及在定量分析的基础上通过定性分析解决服务选取问题<sup>[8]</sup>,

具体有:基于声誉度的服务质量评估方法<sup>[9]</sup>,基于近似概念搜寻的语义匹配机制<sup>[10]</sup>,基于分级索引的用户满意度的一致度和不一致度的证明<sup>[11]</sup>,均以服务质量的属性评估作为要素,然而,多个属性之间不一定是彼此独立的关系,当一个语义 Web 服务在功能方面具有良好的声誉度时,用户的需求量会很大,但是随着服务请求数量的不断增加,有可能出现处理能力不足甚至功能失效的情况(如网络访问过载),造成用户满意度的下降,进而导致其声誉度的降低,而声誉度的降低反过来也会导致需求量的降低.由此可见,服务质量评价指标之间可能存在着某种属性关系.为了分析和证明这类属性关系的合理性和有效性,并将其应用于评价语义 Web 服务的服务质量,我们选取一组服务质量评价指标:请求量、处理能力、需求量、满意度和声誉度,在分别定义其属性概念及其计算模型的基础上,实现了多属性关系模型建立、服务质量评价场景分析和多属性关系证明,利用现有服务代理系统、语义 Web 服务及其服务质量的属性样本验证了多属性关系建模方法在语义 Web 服务质量评价中的效果,最后总结全文并展望了下一步的工作.

## 2 多属性关系建模

### 2.1 基本概念和计算模型

**定义 1 请求量 (Request)** 表示为  $Req_i(t)$ ,反映了一个语义 Web 服务  $i$  在时间  $t$  接收到的服务请求的数量,由于单位时间内其属性值可能会不同,设  $\lambda_i(t)$  表示语义 Web 服务  $i$  在某时间段  $T$  中的某个时间  $t(t \subseteq T)$  接收到的请求量的变化率,请求量的属性计算公式为:

$$Req_i(t) = \int_1^T \lambda_i(t) dt \quad (1)$$

由于泊松分布假定当前事件的发生时间与相邻事件的发生时间无关,可以用来表示在固定时间内一组事件发生的离散概率分布.因此,请求量属性可以建模成一个离散事件形态下遵循泊松分布的随机变量,其属性值为  $n$  的事件发生概率  $p(n)$  的计算公式为:

$$p(n) = \frac{(Req_i(t))^n}{e^{(Req_i(t))} \times n!} \quad (2)$$

**定义 2 处理能力 (Capability)** 表示为  $Cap_i(t)$ ,反映了语义 Web 服务  $i$  对其在时间  $t$  接收到的请求量的处理能力.当对于服务请求的处理成功时,  $Cap_i(t) \geq Req_i(t)$ ; 当对于服务请求的处理失败时,  $Cap_i(t) = 0$ .

**定义 3 需求量 (Demand)** 表示为  $Dem_i(t)$ .反映了用户对语义 Web 服务  $i$  的兴趣,即与服务代理系统中功能相似的语义 Web 服务相比,语义 Web 服务  $i$  在时间  $t$  接收到的服务请求的数量较大.设一个服务代理

系统所管理的数量为  $N$  的语义 Web 服务在时间  $t$  接收到的全部请求量为  $REQ_t$ ,需求量的属性计算公式为:

$$Dem_i(t) = \frac{Req_i(t)}{REQ_t}, \quad (3)$$

$$REQ_t = \sum_{j=1}^N Req_j(t)$$

**定义 4 满意度 (Satisfaction)** 表示为  $Sat_i(t)$ ,反映了用户对语义 Web 服务的处理能力的满意程度,当语义 Web 服务  $i$  在时间  $t$  接收到的请求量的属性值小于其处理能力的属性值时,就能够为用户提供正常的服务质量.满意度的属性计算公式为:

$$Sat_i(t) = \begin{cases} 1, & Cap_i(t) \geq Req_i(t) \\ \frac{Cap_i(t)}{Req_i(t)}, & Cap_i(t) < Req_i(t) \\ 0, & Cap_i(t) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

**定义 5 声誉度 (Reputation)** 表示为  $Rep_i(t)$ ,反映了语义 Web 服务  $i$  所获得的用户认可的程度<sup>[7]</sup>,即用户所认同的具备可以完成某个特定任务的能力.设定一个参数  $\mu$ ,其含义是:语义 Web 服务  $i$  在时间  $t+1$  的声誉度的属性值与其在时间  $t$  的需求量和满意度的属性值密切相关,当需求量属性对于声誉度的属性取值的加权系数为  $\mu$  时,此时满意度属性对于声誉度的属性取值的加权系数为  $(1-\mu)$ ,  $\mu \in (0,1)$ .声誉度的属性计算公式为:

$$Rep_i(t+1) = \mu Dem_i(t) + (1-\mu) Sat_i(t) \quad (5)$$

### 2.2 多属性关系分析

根据定义 1,请求量的变化率  $\lambda_i(t)$  可以反映出在同一服务代理系统中语义 Web 服务  $i$  和与其功能相似的语义 Web 服务之间的声誉度差异.设  $REP_T$  表示在整个度量时间  $T$  内同一服务代理系统中数量为  $N$  的语义 Web 服务的声誉度的属性值的总和,  $\lambda_i(t)$  的计算公式为:

$$\lambda_i(t) = \frac{Rep_i(t)}{REP_T} REQ_t \quad (6)$$

$$REP_T = \sum_{i=0}^T \sum_{j=1}^N Rep_j(t+1)$$

式(6)反映出声誉度和请求量之间的属性关系,  $\frac{Rep_i(t)}{REP_T}$  为常量,利用式(1)可得:

$$Req_i(t) = \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt \quad (7)$$

利用式(2)和式(7)可得:

$$p(n) = \frac{\left( \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt \right)^n}{e^{\left( \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt \right)} \times n!} \quad (8)$$

由式(8)可得,语义 Web 服务  $i$  在时间  $t$  所接收到

的请求量的期望值 $[Req_i(t)]$ 为:

$$[Req_i(t)] = \left( \sum_{n=1}^{REQ} p(n) \right) \times n$$

$$= \sum_{n=1}^{REQ} \frac{n}{n!} \frac{\left( \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt \right)^n}{e^{\left( \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt \right)}} \quad (9)$$

利用式(3),对于整个度量时间 $T$ ,通过计算语义 Web 服务 $i$ 的请求量期望值与同一服务代理系统中所有语义 Web 服务所接收到的全部请求量的比率,可以得到语义 Web 服务 $i$ 在时间 $t$ 的需求量的期望值 $[Dem_i(t)]$ 为:

$$[Dem_i(t)] = \frac{[Req_i(t)]}{REQ_T} \quad (10)$$

$$REQ_T = \sum_{t=0}^T REQ_t = \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^N Req_j(t)$$

当用户对于一个语义 Web 服务的满意度较高时,也可能继续寻找其他功能相似并且服务质量更好的语义 Web 服务,利用式(4)可得,语义 Web 服务 $i$ 在时间 $t$ 的满意度的期望值 $[Sat_i(t)]$ 为:

$$[Sat_i(t)] = \begin{cases} 1, & Cap_i(t) \geq [Req_i(t)] \\ \frac{Cap_i(t)}{[Req_i(t)]}, & Cap_i(t) < [Req_i(t)] \\ 0, & Cap_i(t) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

根据式(5),利用式(10)和式(11)可得,语义 Web 服务 $i$ 在时间 $t+1$ 的声誉度的期望值 $[Rep_i(t+1)]$ 为:

$$[Rep_i(t+1)] = \begin{cases} \mu \frac{[Req_i(t)]}{REQ_T} + (1-\mu), & Cap_i(t) \geq [Req_i(t)] \\ \mu \frac{[Req_i(t)]}{REQ_T} + (1-\mu) \frac{Cap_i(t)}{[Req_i(t)]}, & Cap_i(t) < [Req_i(t)] \\ \mu \frac{[Req_i(t)]}{REQ_T}, & Cap_i(t) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

多属性关系的分析反映出:技术评价指标(请求量和处理能力)的度量结果可用于实现社会评价指标(需求量、满意度和声誉度)的量化分析和一致性证明。

### 3 多属性关系证明

由式(4)可归纳出三类特殊场景:(1)当 $Cap_i(t) > Req_i(t)$ 时,语义 Web 服务 $i$ 可能处于处理能力空闲的状态,会造成处理能力的资源浪费;(2)当 $Cap_i(t) < Req_i(t)$ 时,语义 Web 服务 $i$ 可能会发生服务请求过载的情况,服务请求过载即语义 Web 服务 $i$ 在某时间所接收到请求量远远大于其处理能力;(3)当 $Cap_i(t) = 0$

时,语义 Web 服务 $i$ 处于功能失效的状态。

**命题 1** 对于场景(1),当一个语义 Web 服务接收到的请求量小于其实际处理能力时,这个语义 Web 服务就处于处理能力空闲的状态。

**证明** 当 $Cap_i(t) > [Req_i(t)]$ 时,利用式(12),对时间 $t$ 求导可得语义 Web 服务 $i$ 的声誉度属性的期望值在时间 $t+1$ 的变化率为:

$$\frac{d[Rep_i(t+1)]}{dt} = \left( \frac{\mu}{REQ_T} \right) \frac{d[Req_i(t)]}{dt}$$

声誉度属性的期望值取决于 $\frac{d[Req_i(t)]}{dt}$ 的取值变化情况, $\forall Cap_i(t) > [Req_i(t)], [Sat_i(t)] = 1$ ,由式(11)可知,此时语义 Web 服务 $i$ 处于处理能力空闲的状态.证毕。

**命题 2** 当语义 Web 服务 $i$ 在时间 $t$ 处于处理能力空闲的状态时,如果其声誉度属性的取值在时间 $t$ 为递增,那么在时间 $t+1$ 其声誉度属性的取值也为递增。

**证明** 由命题 1 可知,语义 Web 服务 $i$ 的请求量属性的期望值在时间 $t$ 的变化率 $\frac{d[Req_i(t)]}{dt}$ 反映了其声誉度属性的取值在时间 $t+1$ 的变化趋势.利用式(9)可得:

$$\frac{d[Req_i(t)]}{dt} = \frac{d[X][Y]}{dt}$$

$$X = \frac{n - \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt}{\left( \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_t dt \right)^{1-n}},$$

$$Y = \frac{\frac{dRep_i(t)}{dt}}{Rep_i(t)} + \frac{REQ_T}{\int_0^T REQ_t dt}$$

$$\text{由 } X \text{ 和 } Y \text{ 可知,当 } \left| \frac{dRep_i(t)}{dt} \right| > \frac{REQ_T Rep_i(t)}{\int_0^T REQ_t dt} \text{ 时,}$$

$\frac{d[Req_i(t)]}{dt}$ 的取值为递增,此时 $\frac{d[Rep_i(t+1)]}{dt}$ 的取值同样为递增.证毕。

**命题 3** 对于场景(2),当一个语义 Web 服务接收到的请求量超出其实际处理能力的范围时,无法处理那些过载的服务请求,这个语义 Web 服务就处于服务请求过载的状态。

**证明** 根据式(11),此时语义 Web 服务 $i$ 的满意度属性的期望值为 $[Sat_i(t)] = \frac{Cap_i(t)}{[Req_i(t)]}$ ,利用式(12)可得,当 $Cap_i(t) < [Req_i(t)]$ 时,声誉度属性的期望值的变化率为:

$$\frac{d[Rep_i(t+1)]}{dt} = \left( \frac{\mu}{REQ_T} - \frac{(1-\mu) Cap_i(t)}{[Req_i(t)]^2} \right) [Z],$$

其中,  $Z = \frac{d(Rep_i(t))}{dt}$ , 此时声誉度属性的期望值的变化率的取值为负, 由此可得:

$$\begin{aligned} \frac{\mu}{REQ_T} - \frac{(1-\mu)Cap_i(t)}{[Rep_i(t)]^2} < 0 \\ \Rightarrow REQ_T > \left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) \frac{[Rep_i(t)]^2}{Cap_i(t)} \end{aligned}$$

由于  $REQ_T$  的取值为递减, 当其取值到达负向边界时, 声誉度和请求量的属性变化率的取值是反向变化的趋势. 因此, 当请求量大于处理能力时, 请求量的进一步增加会导致声誉度的降低. 证毕.

**命题 4** 当语义 Web 服务  $i$  处于服务请求过载的状态时, 如果其声誉度的属性变化率的取值在时间  $t$  为递增, 那么, 在时间  $t+1$  其声誉度的属性变化率的取值为递减.

**证明** 由命题 3 可知, 语义 Web 服务  $i$  的请求量属性的期望值  $[Rep_i(t)]$  的取值的正向递增将导致其声誉度属性取值的变化趋势为负向递减, 因此, 需要证明  $\frac{d[Rep_i(t)]}{dt}$  是正向递增的. 由  $X$  可知, 当  $n < \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_i dt$  时,  $[n - \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_i dt]$  的取值为负. 因此, 只有当  $n$  的取值范围在 1 和  $REQ_T$  之间时,  $[n - \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_i dt]$  的取值为正. 由于当  $[n - \frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_i dt]$  取负值时并不会影响  $\frac{d[Rep_i(t)]}{dt}$  的取值, 因此, 只需要考虑  $[(\frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_i dt)^{1-n}]$ . 由于声誉度的属性变化率的取值在时间  $t$  为递增变化, 而此时  $[(\frac{Rep_i(t)}{REP_T} \int_0^T REQ_i dt)^{1-n}]$  的取值同样也为递增, 因此,  $[Rep_i(t)]$  的变化率  $\frac{d[Rep_i(t)]}{dt}$  的取值为递增, 这就使得声誉度的属性变化率的取值在时间  $t+1$  为递减. 证毕.

**命题 5** 当语义 Web 服务  $i$  处于服务请求过载的状态时, 如果其声誉度的属性变化率的取值在时间  $t$  为递减, 那么, 在时间  $t+1$  其声誉度的属性变化率的取值仍为递减.

**证明** 针对命题 4 的不一致度, 即当  $\frac{dRep_i(t)}{dt}$  的取值为负时,  $\int_0^T REQ_i dt$  的取值仍为正. 由  $Y$  可得到请求量属性的一个新的取值边界  $n'$ : 当  $n' < \frac{REQ_T Rep_i(t)}{\int_0^T REQ_i dt}$  并

且  $\frac{REQ_T Rep_i(t)}{\int_0^T REQ_i dt}$  的取值趋近于 1 时, 声誉度属性变化率

在时间  $t$  的值决定了其在时间  $t+1$  的取值, 当  $n' < \left|\frac{dRep_i(t)}{dt}\right|$  时, 尽管请求量属性期望值的变化率的取值为递减, 在时间  $t+1$  声誉度的属性变化率的取值为递增. 因此, 声誉度属性变化率的一致度和不一致度之间的约束关系为: 当  $REQ_T > \left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) \frac{[Rep_i(t)]^2}{Cap_i(t)}$  时,  $Rep_i(t+1)$  的取值变化趋势仍为递减. 证毕.

**命题 6** 对于场景(3), 当一个语义 Web 服务不能提供有效的服务请求处理能力时, 这个语义 Web 服务就处于功能失效的状态, 其用户的满意度和声誉度的属性的函数取值都为 0.

**证明**  $\forall Cap_i(t) = 0$ , 根据式(3)和式(12),  $\exists Sat_i(t) = 0 \Rightarrow Rep_i(t+1) = 0$ , 此时语义 Web 服务  $i$  处于功能失效的状态. 证毕.

#### 4 实验与性能分析

本文所选取的实验场景设定为: 网络上随机分布大量的服务代理系统, 这些服务代理系统能够对其管理的语义 Web 服务的服务请求数量和用户提交的满意度反馈结果进行统计, 针对不同用户请求来选择不同的处理策略. 表 1 给出了一个在相同实验场景中实现的服务代理系统对语义 Web 服务及其服务质量评价指标属性的离散化统计样本.

表 1 语义 Web 服务及其服务质量评价指标的属性样本

| 服务代理系统       | 语义 Web 服务     | 请求量        | 处理能力       | 声誉度       |
|--------------|---------------|------------|------------|-----------|
| $N(200, 20)$ | $N(2000, 20)$ | $Pois(10)$ | $N(10, 5)$ | $N(5, 5)$ |

图 1 展示了一个根据表 1 中请求量和声誉度的属性样本所给出的性能分析, 根据图 1 可推断出: 当一个语义 Web 服务的声誉度的属性值在 0.51 和 0.67 之间时, 其所接收到的服务请求的数量(请求量的属性值)比较大.

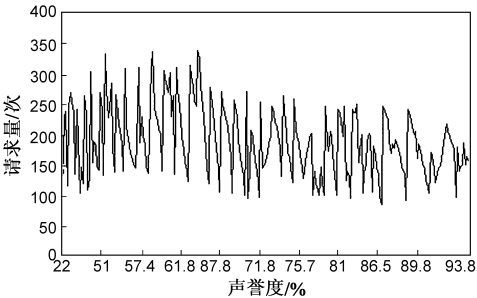


图 1 声誉度与请求量的属性样本性能分析

请求量、处理能力和声誉度的属性样本的性能分

析如图 2 所示:在  $T_1$  时间段,语义 Web 服务的处理能力可满足当前时间的请求量,语义 Web 服务的服务质量评价问题与场景 1(命题 2)的描述是一致的,随着语义 Web 服务的声誉度的持续提升,请求量迅速增大,此时语义 Web 服务的服务质量评价问题符合场景 2(命题 4 和命题 5),由此导致处理能力和请求量之间属性值的差异逐渐增大,进而出现了语义 Web 服务的声誉度降低的情况,在  $T_2$  时间段,由于声誉度的持续降低,导致了请求量大幅度的减少。

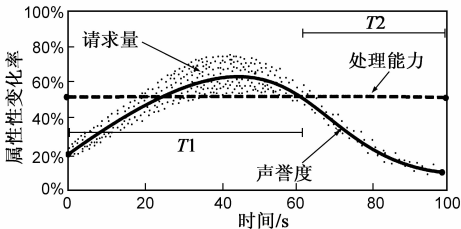


图2 声誉度与请求量和处理能力的多属性关系性能分析

利用多属性关系及其证明的计算模型,得出语义 Web 服务的请求量、处理能力和声誉度的属性变化率,如图 3 所示,在相同的度量时间段内,由于提高了语义 Web 服务的处理能力,从而使其接收到的请求量明显增加并且保持稳定,随着请求量的不断增加,尽管在请求量到达峰值之后语义 Web 服务的声誉度仍处于递减的状态,但通过与图 2 进行对比可知:在相同度量时间内,语义 Web 服务的请求量和处理能力保持稳定的递增状态,并且其声誉度的降幅明显减小。

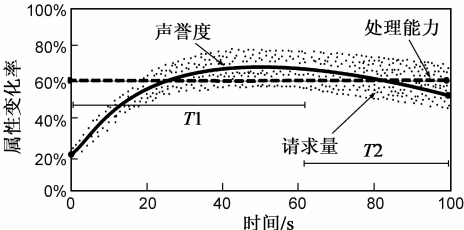


图3 声誉度与请求量和处理能力的多属性关系实验结果

利用相同样本,对语义 Web 服务的需求量、满意度和声誉度的属性变化率进行性能分析,如图 4 所示,随着处理能力的提高和请求量的增加,当满意度出现降低的趋势之后,声誉度也开始出现下降的趋势,这意味着语义 Web 服务的用户数量开始由稳定趋于分化。

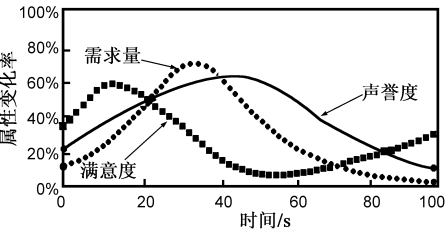


图4 声誉度与需求量和满意度的多属性关系性能分析

针对由于请求量和声誉度的降低而导致需求量下降的问题,在请求量、处理能力与声誉度之间的多属性关系分析的基础上,重新计算需求量、满意度与声誉度的属性变化率,如图 5 所示,通过与图 4 进行对比可知:在相同的度量时间内,随着声誉度的提高,语义 Web 服务的需求量处于一个稳定增长的状态,用户对语义 Web 服务的满意度得到了明显的提升。

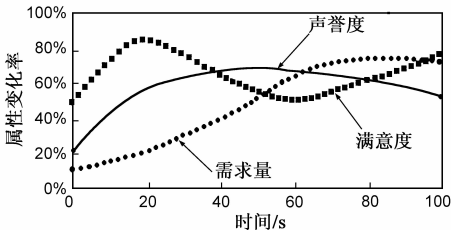


图5 声誉度与需求量和满意度的多属性关系实验结果

实验结果表明:在相同的度量时间内,语义 Web 服务的请求量在时间段  $T_1$  保持了比较稳定的状态,在时间段  $T_2$  有了较大幅度的增大,如表 2 所示,在整个度量时间内,语义 Web 服务的处理能力提高了 13.2%,请求量和声誉度的负向变化率分别下降了 11.9% 和 65.5%,满意度提高了 34.3%。

表 2 多属性关系方法的验证效果统计

| 属性变化率 | 服务样本 | 实验结果 | 验证效果  |
|-------|------|------|-------|
| 请求量   | 17%  | 43%  | 153%  |
| 处理能力  | 53%  | 60%  | 13.2% |
| 需求量   | 67%  | 59%  | 11.9% |
| 满意度   | 35%  | 47%  | 34.3% |
| 声誉度   | 55%  | 19%  | 65.5% |

5 结论

本文所提出的多属性关系建模方法可应用于服务代理系统对其所管理的语义 Web 服务的服务质量进行预先分析与评价,其特点是:通过场景分析发掘出所选取的服务质量评价指标之间的多属性关系,并且给出各评价指标及其属性关系的度量方式和性能分析.其优势在于:通过发掘出描述服务质量的各评价指标之间在语义层面上的潜在约束关系,不仅可以度量各评价指标属性的一致度,还可以证明一致度和不一致度之间的约束关系.语义 Web 服务的服务质量评价范围不仅局限于本文所选取的评价指标,如何在多属性关系建模过程中涵盖更多的服务质量评价指标、以及验证基于多属性关系的服务质量评价方法在语义 Web 服务的按质选取与自动组合过程中进一步的实用化是下一步研究工作的重点。

参考文献

[1] Mick Kerrigan, Adrian Mocan, Elena Simperl, Dieter Fensel.

- Modeling semantic web services with the web service modeling toolkit [J]. Journal of Network and Systems Management, 2009, 17(3): 326 – 342.
- [2] WANG Shu-chao, SONG Jing-yu, ZHONG Hua, LI Jing. A selection model for interactive web services and its implementation in portal [J]. Chinese Journal of Electronics, 2008, 17(1): 115 – 122.
- [3] LI Zhen, YANG Fang-chun, SU Sen. QoS-aware semantic web service composition with uncertainties [J]. Chinese Journal of Electronics, 2008, 17(4): 703 – 709.
- [4] 殷昱煜, 李莹, 邓水光, 尹建伟. Web 服务行为一致性和相容性判定 [J]. 电子学报, 2009, 37(3): 433 – 437.  
YIN Yu-yu, LI Ying, DENG Shui-guang, YIN Jian-wei. Determining on consistency and compatibility of web services behavior [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(3): 433 – 437. (in Chinese)
- [5] Eduardo Gonçalves da Silva, Luis Ferreira Pires, Marten van Sinderen. Towards runtime discovery, selection and composition of semantic services [J]. Computer Communications, 2011, 34(2): 159 – 168.
- [6] Hassina Nacer Talantikite, Djamil Aissani, Nacer Boudjlida. Semantic annotations for web services discovery and composition [J]. Computer Standards & Interfaces, 2009, 31(6): 1108 – 1117.
- [7] Matthias Kluscha, Benedikt Fries, Katia Sycara. OWLS-MX: A hybrid semantic web service matchmaker for OWL-S services [J]. Journal of Web Semantics, 2009, 7(2): 121 – 133.
- [8] 周宁, 谢俊元. 基于定性多用户偏好的 Web 服务选择 [J]. 电子学报, 2011, 39(4): 1 – 8.  
ZHOU Ning, XIE Jun-yuan. Select Web services based on qualitative multi-users preferences [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(4): 1 – 8. (in Chinese)
- [9] 潘静, 徐锋, 吕建. 面向可信服务选取的基于声誉的推荐者发现方法 [J]. 软件学报, 2010, 21(2): 388 – 400.  
PAN Jing, XU Feng, Lü Jian. Reputation-based recommender discovery approach for service selection [J]. Journal of Software, 2010, 21(2): 388 – 400. (in Chinese)
- [10] 邱田, 胡晓慧, 李鹏飞, 马恒太. 基于 OWL-S 的服务发现语义匹配机制 [J]. 电子学报, 2010, 38(1): 43 – 47.  
QIU Tian, HU Xiao-hui, LI Peng-fei, MA Heng-tai. A semantic matchmaking system mechanism for Web service discovery based on the OWL-S [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(1): 43 – 47. (in Chinese)
- [11] Ping Wang. QoS-aware web services selection with intuitionistic fuzzy set under consumer's vague perception [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 4460 – 4466.

## 作者简介



曲 明 男, 1981 年出生于吉林长春, 博士研究生. 研究方向为计算机支持协同工作技术、服务计算技术、网络管理技术.  
E-mail: quming08@gmail.com



刘淑芬 (通信作者) 女, 1950 年出生, 教授, 博士生导师. 研究方向为计算机支持协同工作、软件体系结构、基于模型驱动的软件编程方法、网络管理技术.  
E-mail: liusf@mail.jlu.edu.cn



包 铁 男, 1978 年出生于吉林四平, 博士, 讲师. 研究方向为可信软件、网络数据采集处理、形式化描述.  
E-mail: apche@126.com