

基于受约束半环的服务可信性质评价方法

符 宁^{1,2},周兴社¹,詹 涛¹

(1.西北工业大学计算机学院,陕西西安 710072;2.解放军西安政治学院,陕西西安 710068)

摘 要: 引入受约束半环作为服务可信性质的描述域,提出原子服务可信特征的度量方法,依据结构化流程模型给出服务组合的可信性质计算方法.在可信特征归一化的问题上采用效用函数对不同维度可信性质进行归一化计算,并基于模糊矩阵确定将多维可信度向一维可信值规约的权重.具体的描述实例和实验说明所提出的方法能有效对服务可信性质进行描述和评价.

关键词: 半环; 服务; 可信性

中图分类号: TP31 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 04-0928-06

A Constraint Semiring Based Method for Service's Trustworthiness Evaluation

FU Ning^{1,2}, ZHOU Xing-she¹, ZHAN Tao¹

(1. School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China;

2. PLA Xi'an Institute of Politics, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

Abstract: By introducing constraint semiring as description domain, a trustworthiness evaluation method for atom and composite service is proposed. The evaluation method for the multiple trustworthy dimensions of atom services is put forward, followed by the criteria that evaluate the trustworthiness of composite services based on structured process model. We use utility functions to compute the normalized value and compute the weights based on fuzzy matrix that computes the overall trustworthiness score of a service with weighted sum. Demonstrative examples reveal the effectiveness of the proposed methods.

Key words: semiring; service; trustworthiness

1 引言

服务计算是指以服务及其组合为基础构造应用这一新开发范型相关的理论、方法、技术、规范和支撑环境.随着相关研究与应用的不断深化,越来越多的应用不但要求计算系统具备优良的服务特性,同时强调服务具有“可信性”.可信计算组织(TCG)将可信定义为“一个实体在实现给定目标时,若其行为总是如同预期,则该实现是可信的”^[1].从可信计算的定义及相关研究^[2]可看出可信计算关注的是系统非功能特性的指标体系,包含实时性、可靠性、可用性、安全性等多个方面的内涵.有必要研究服务可信性的建模和评价方法,解决服务及其组合可信性度量标准和评估问题,并提供量化评价指标.

现有的相关研究多集中在对 Web 服务及其组合的非功能特征的建模与预测方面^[3~5].在服务可信特征的描述方面,可信特征究竟存在一个什么样的空间上?元组之间是否具有一些基本的运算关系?元组之间的优劣关系该如何描述?等问题都是已有研究所没有涉及的问题.在服务可信特征的归一化计算问题上,已有的研

究多采用简单的线性归一方法,其合理性缺乏理论根据.在将多个维度的可信特征向单一可信值的规约问题上,对应当如何设置权重和权重的合理性问题缺乏深入研究.

受约束半环 $\langle A, +, \times, 0, 1 \rangle$ 是定义在其载体集合 A 上的代数结构^[6].其优点在于能够对具有多个维度特征的性质进行统一表达.本文基于受约束半环的代数结构,提出一种可扩展的服务可信性质评价方法.

首先引入受约束半环作为服务可信性的描述域,提出原子服务在各维度可信特征的度量方法.依据结构化流程模型给出了组合服务的可信性质计算方法.进一步研究了不同维度可信值的归一化计算问题,提出采用效用函数对不同维度可信性质进行归一化计算.在通过加权求和将多维可信度规约到一维可信值的问题上提出基于模糊矩阵的方法来确定权重.具体的实例描述说明引入受约束半环能够有效的对服务的可信性质进行描述.实验数据说明本文所提出的度量方法在对组合服务可信特征进行预测时,具有较低的预测误差率和较好的预测准确度.

2 受约束半环及其性质

首先给出受约束半环的定义及性质^[6]:

定义 1 受约束半环是代数结构 $S = \langle A, +, \times, 0, 1 \rangle$, 其中 A 是一个集合并且 $0, 1 \in A$, $+$ 和 \times 是 A 上的二元运算, 并且该代数结构满足如下性质:

(1) $+$ 运算可交换、可结合并且是幂等的, 0 是 $+$ 运算的幺元, 1 是 $+$ 运算的零元

(2) \times 运算可交换、可结合并且对 $+$ 运算是可分配的, 1 是 \times 运算的幺元, 0 是 \times 运算的零元

称 $+$ 为加法操作符, \times 为乘法操作符, A 称作受约束半环 S 的载体集合. $+$ 运算可理解为“选择”操作, $a + b$ 意味着选择 a 和 b 中较优的元素. 可基于 $+$ 运算定义 A 上的偏序关系, 该关系描述出 A 中元素之间的“优劣”关系.

定理 1 对于受约束半环 $S = \langle A, +, \times, 0, 1 \rangle$, \leq_s 是定义在 A 上的关系, $a \leq_s b$ 当且仅当 $a + b = b$, 则 \leq_s 是一个偏序关系^[6].

定理 2 对于受约束半环 $S = \langle A, +, \times, 0, 1 \rangle$, 考虑 A 上的关系 \leq_s , 若 $a, b \in A$ 则 $a \times b \leq_s a$.

定理 2 说明两个元素的合成不优于其中任何一个.

在实际应用中可定义具体的受约束半环来描述服务的不同可信维度. 例如 $S_r = \langle R, +, \min, +, +\infty, 0 \rangle$ 可用于描述服务的实时性. 服务执行某个操作的实时性可以定义为 R 上的一个实数, $+\infty$ 是该集合上最差的度量值, 而 0 是该集合上最好的度量值. \min 运算描述了当两个执行时间做比较时认为较短的一个为优. $+$ 运算表示当两个服务进行顺序合成时其组合服务的执行时间为各自执行时间之和.

受约束半环的一个重要性质是其笛卡尔乘积仍然是受约束半环.

定义 2 n 个受约束半环 $S_i = \langle A_i, +_i, \times_i, 0_i, 1_i \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 的合成定义为 $Comp(S_1, S_2, \dots, S_n) = \langle \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle, +, \times, \langle 0_1, 0_2, \dots, 0_n \rangle, \langle 1_1, 1_2, \dots, 1_n \rangle \rangle$. 对于任意的 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ 和 $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle (a_i, b_i \in A_i; i = 1, 2, \dots, n)$, $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle + \langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle = \langle a_1 +_1 b_1, a_2 +_2 b_2, \dots, a_n +_n b_n \rangle$, $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle \times \langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle = \langle a_1 \times_1 b_1, a_2 \times_2 b_2, \dots, a_n \times_n b_n \rangle$.

定理 3 n 个受约束半环 $S_i = \langle A_i, +_i, \times_i, 0_i, 1_i \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 的合成 $Comp(S_1, S_2, \dots, S_n) = \langle \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle, +, \times, \langle 0_1, 0_2, \dots, 0_n \rangle, \langle 1_1, 1_2, \dots, 1_n \rangle \rangle$ 仍然是受约束半环^[6].

3 原子服务的可信性质描述

原子服务指不依赖其他服务存在且能够独立提供功能单元的服务实体. 我们将原子服务的可信性质区

分成多个方面^[7], 引入不同的受约束半环作为其描述域, 并定义各维度可信特征的度量方法.

(1) 实时性 指服务完成服务请求者所请求服务的时长. 实时性可以用从客户端访问服务的请求的发出, 到请求结果返回的时间来度量. 考虑受约束半环 $S_r = \langle R, +, \min, +, +\infty, 0 \rangle$, 原子服务 s 的实时性定义为 S_r 载体集合 R 上的一个元素. 并采用如下方法进行度量: $q_r(s) = T_{process}(s) + T_{trans}(s)$, 即 s 的实时性定义为其操作执行时间与消息传输时间之和. 其中传输时间

可以采用如下公式进行估计 $T_{trans}(s) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i(s)}{n}$, 其中 n 表示历史上对该服务执行的观测次数, 而 $T_i(s)$ 是历史上观测到的传输时间.

(2) 成功执行率 指在最大预期时间内对该服务的请求能够被正确响应的概率. 所谓正确响应是指在可预期的时间内请求消息能够被正确处理, 且处理的结果消息能够正确返回服务请求者. 成功率维度可以用受约束半环 $S_{rat} = \langle [0, 1], \max, \cdot, 0, 1 \rangle$ 来进行描述. 使用如下的度量方法: 定义服务 s 的成功率 $q_{rat}(s) = N_c(s)/K$, 其中 $N_c(s)$ 指在可允许的时间限度内服务调用能够正确完成的次数. K 指服务在历史上被调用的总次数.

(3) 可用性 可用性描述服务能够被正确访问的概率. 引入受约束半环 $S_{av} = \langle [0, 1], \max, \cdot, 0, 1 \rangle$ 作为服务可用性的描述域, 服务 s 的可用性 $q_{av}(s)$ 定义为 $[0, 1]$ 上的一个实数. 度量方法为 $q_{av}(s) = T_a(s)/\theta$. θ 是一个以秒为单位的时间常数, $T_a(s)$ 是在过去 θ 秒内该服务能够被正确访问的时间.

(4) 代价 指因服务请求者使用服务实例所提供的服务而产生的费用. 引入受约束半环 $S_{pr} = \langle I, +, \min, +, +\infty, 0 \rangle$ 作为服务代价的描述域, 将服务代价定义为 I 上的一个元素. 在实际应用中服务代价由服务的提供者给出.

(5) 信誉度 描述服务可信赖的程度. 采用分级的方法将信誉度定义为 0 到 m 之间的一个整数. 其中 0 表示不可信, m 表示最高级别可信度. 信誉度可基于历史上用户对其的反馈信息来进行度量. 引入受约束半环 $S_{rep} = \langle [0, 1, \dots, m], \max, \min, 0, m \rangle$ 作为描述域, 服

务的信誉度定义为 $q_{rep} = \left\lfloor \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \right\rfloor$. n 表示历史上用户对该服务信誉度评价的反馈次数.

服务可信特征并非多个可信维度特征的简单叠加, 而是有机统一的整体特征. 由定理 3 可考虑将多个维度的受约束半环进行合成作为服务综合可信特征的

描述域.

定义 3 服务可信特征综合描述域 S_T 定义为多个受约束半环的合成, 即 $S_T = Comp(S_n, S_{rat}, S_{av}, S_{pr}, S_{rep})$.

其中:

- $S_T = \langle \langle R+, [0, 1], [0, 1], I+, \{0, 1, \dots, m\} \rangle, +, \times, \langle +\infty, 0, 0, +\infty, 0 \rangle, \langle 0, 1, 1, 0, m \rangle \rangle$. $\langle R+, [0, 1], [0, 1], I+, \{0, 1, \dots, m\} \rangle$ 是所列集合的笛卡尔乘积的集合, 是 S_T 的载体集合, 用 A_{ST} 表示.

- (+ 运算) 对任意的 $\langle a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 \rangle$ 和 $\langle b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 \rangle \in A_{ST}$, 有 $\langle a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 \rangle + \langle b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 \rangle = \langle (a_1 \min b_1), (a_2 \max b_2), (a_3 \max b_3), (a_4 \min b_4), (a_5 \max b_5) \rangle$;

- (\times 运算) 对任意的 $\langle a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 \rangle$ 和 $\langle b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 \rangle \in A_{ST}$, 有 $\langle a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 \rangle \times \langle b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 \rangle = \langle (a_1 +_R b_1), (a_2 \cdot b_2), (a_3 \cdot b_3), (a_4 +_I b_4), (a_5 \min b_5) \rangle$.

服务 s 的可信性质可以用多维元组来定义. 如: $q(s) = \langle q_n(s), q_{av}(s), q_{rat}(s), q_{pr}(s), q_{rep}(s) \rangle$. 其中 $q(s) \in A_{ST}$ 是 S_T 载体集合上的一个元素.

4 组合服务的可信性质描述方法

组合服务的可信特征由构成组合服务的成员服务的可信特征及其组合方式决定. 我们针对具有结构化流程模型的组合服务讨论可信特征的聚合方法^[8]. 结

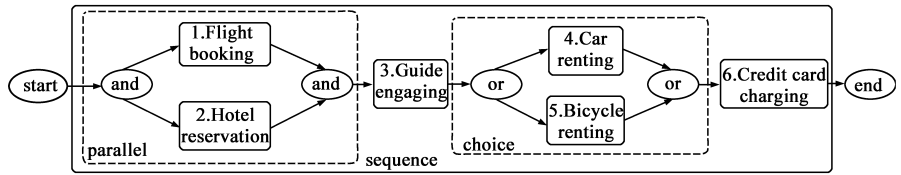


图1 旅行代理服务的流程模型

构化流程模型将原子活动定义为最基本的“结构”, 进一步定义了若干流程组合模式, 结构之间可以嵌套的形式逐步聚合成复杂的业务过程. 对于嵌套结构, 子结构可视为父结构中的活动节点. 如图 1 所示的旅行代理服务的组合服务模型是一个结构化流程.

组合服务模型中存在直到运行时刻才能确定的路径选择(如选择结构和循环结构). 仅考察单次执行的过程不足以体现出服务的可信特征, 需要考察统计意义上的运行时各个路径的执行概率. 我们通过统计流程执行过程中子结构相对于父结构的“相对执行率”的作为路径执行概率的近似值^[9].

定义 4 组合服务 S 中结构 C 的相对执行率定义为 C 的父结构每执行一次时 C 的统计平均执行次数, 若 C 没有父结构, 则其相对执行率为 1. 如果在统计期间, C 的父结构执行了 n 次, 而 C 执行了 m 次, 那么 C 的相对执行率为 m/n .

可信特征度量的内在物理含义决定了它们在不同结构下具有不同的叠加意义. 表 1 给出了在已知组合结构和子结构可信特征的前提下, 父结构的可信特征的计算方法. 其中 C 表示父结构, 其子结构表示为 A_1, A_2, \dots, A_n . $\rho(A)$ 表示子结构 A 的相对执行率.

表 1 流程结构的可信特征聚合函数

| 可信属性 | 顺序(Sequence) | 选择(Switch) | 并行(Flow) | 循环(Loop) |
|------|---|---|---|---------------------------------------|
| 实时性 | $q_n(C) = \sum_{i=1}^n q_n(A_i)$ | $q_n(C) = \sum_{i=1}^n (q_n(A_i) \cdot \rho(A_i))$ | $q_n(C) = \max(q_n(A_i))$ | $q_n(C) = q_n(A) \cdot \rho(A)$ |
| 成功率 | $q_{rat}(C) = \prod_{i=1}^n q_{rat}(A_i)$ | $q_{rat}(C) = \sum_{i=1}^n (q_{rat}(A_i) \cdot \rho(A_i))$ | $q_{rat}(C) = \prod_{i=1}^n q_{rat}(A_i)$ | $q_{rat}(C) = (q_{rat}(A))^{\rho(A)}$ |
| 可用性 | $q_{av}(C) = \prod_{i=1}^n q_{av}(A_i)$ | $q_{av}(C) = \sum_{i=1}^n (q_{av}(A_i) \cdot \rho(A_i))$ | $q_{av}(C) = \prod_{i=1}^n q_{av}(A_i)$ | $q_{av}(C) = (q_{av}(A))^{\rho(A)}$ |
| 价格 | $q_{pr}(C) = \sum_{i=1}^n q_{pr}(A_i)$ | $q_{pr}(C) = \sum_{i=1}^n (q_{pr}(A_i) \cdot \rho(A_i))$ | $q_{pr}(C) = \sum_{i=1}^n q_{pr}(A_i)$ | $q_{pr}(C) = q_{pr}(A) \cdot \rho(A)$ |
| 信誉度 | $q_{rep}(C) = \min(q_{rep}(A_i))$ | $q_{rep}(C) = \left \sum_{i=1}^n q_{rep}(A_i) \cdot \rho(A_i) \right $ | $q_{rep}(C) = \min(q_{rep}(A_i))$ | $q_{rep}(C) = q_{rep}(A)$ |

根据结构化流程的归纳定义, 可以将组合服务模型等价的表示为一颗树, 用叶子节点来表示原子活动, 中间节点表示结构, 根节点表示整个流程. 称表示组合服务的流程结构、附着了组合服务执行统计信息的树为归

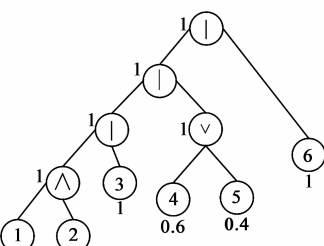


图2 规约树示例

约树^[9]. 图 2 描述出图 1 流程所对应的规约树实例, 其中“|”“∨”“∧”“□”分别表示顺序结构选择结构、并行结构和循环结构.

规约树包含了组合服务的静态模型结构信息以及动态执行统计信息, 可基于规约树计算组合服务的可信特征. 令规约树的每个节点附着一个可信特征向量表示子结构的聚合后的可信特征. 可从叶节点开始, 后序遍历规约树, 依次计算非叶节点的可信向量, 最终可得到组合服务可信特征.

5 可信度的规约

在实际应用中,常有将多维可信度规约到综合可信值的需求,有必要研究这种规约方法.首先需要考虑将各个维度的可信指标映射到同一取值区间内.我们基于“效用理论”^[10]对各指标按照其产生的效用作为尺度来对各指标进行统一量化,并以此为基础对可信特征进行综合评价.表 2 给出了各可信维度的效用函数.

表 2 效用函数

| | 效用函数 |
|-----|--|
| 实时性 | $U(t) = \begin{cases} U_0, & 0 < t < t_0' \\ (t - t_0)^2, & 0 < t < t_0' \\ 0, & t > t_0 \end{cases}, U_0 = (t_0 - t_0')^2$ |
| 成功率 | $U(s) = \begin{cases} 0, & 0 < s < s_0 \\ \sqrt{s - s_0}, & s_0 < s < 1 \end{cases}, U_0 = \sqrt{(1 - s_0)}$ |
| 可用性 | $U(a) = \begin{cases} 0, & 0 < a < a_0 \\ \sqrt{a - a_0}, & a_0 < a < 1 \end{cases}, U_0 = \sqrt{(1 - a_0)}$ |
| 价格 | $U(p) = \begin{cases} U_0, & 0 < p < p_0' \\ U_0 - \sqrt{(p - p_0')}, & p_0' < p < p_0 \\ 0, & p > p_0 \end{cases}, U_0 = \sqrt{(p - p_0')}$ |
| 信誉度 | $U(r) = \begin{cases} 0, & 0 < r < r_0 \\ \sqrt{r - r_0}, & r_0 < r < 1 \end{cases}, U_0 = \sqrt{(1 - r_0)}$ |

以实时性维度为例对效用函数的含义进行解释.其中 U_0 为最大效用值(由用户自行定义), t_0 为用户可以接受的最大响应时间, t_0' 为用户能感知的业务体验变化临界点.当响应时间小于 t_0' 时,用户认为效用最优,且无论时间具体值是多少可视为效用无区别.当响应时间大于 t_0' 时随着响应时间的变长用户感受到的效用逐渐降低,当响应时间大于用户可以接受的最大时间时,无论响应时间的具体值是多少都认为其效用为零.其他可信特征指标定义中参数的含义与此类似.进一步用公式 $Score(t) = Utility(t)/U_0$ 将各可信特征规约为 $[0, 1]$ 之间的一个实数.

我们应用层次分析模型对服务的可信性进行综合评价.首先使用模糊判断矩阵建立层次分析法中的成对比较矩阵.设元素 a_1, a_2, \dots, a_n 两两比较重要程度的模糊判断矩阵 R 表示为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

元素 a_1, a_2, \dots, a_n 的权重分别为 $w_1, w_2, \dots, w_n, r_{ik}$ 的大小是元素 a_i 比 a_k 重要程度的度量, $r_{ik} = f(w_i - w_k)$; 当 $i = k$ 时, $r_{ii} = 0.5$. 有 $r_{ki} = 1 - r_{ik}$, 即 R 是模糊互

补矩阵.

文献 [11] 指出 $f(x)$ 应当是连续的, 并依据 Weirstrassd 定理使用多项式对 $f(x)$ 进行了拟合, 给出形如

$$r_{ik} = 0.5 + \alpha(w_i - w_k) \quad (1)$$

的表达形式. 我们采用式 1 定义的 r_{ik} , 当模糊判断矩阵 R 不是一致的时候, 式(1)中等号不严格成立, 这时可采用最小二乘法求权重向量 W , 即求解如下的非线性规划问题:

$$\begin{cases} \min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [0.5 + \alpha(w_i - w_j) - r_{ij}]^2 \\ s. t. \sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, (1 \leq i \leq n) \end{cases} \quad (2)$$

由拉格朗日乘子法知, 式(2)所示的约束规划问题等价于式(3)所示的无约束规划问题.

$$\min L(w, \lambda) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [0.5 + \alpha(w_i - w_j) - r_{ij}]^2 + 2\lambda(\sum_{i=1}^n w_i - 1) \quad (3)$$

其中 λ 是 Lagrange 乘子. 将 $L(w, \lambda)$ 关于 $w_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 求偏导数, 并令其为零, 得 n 个代数方程组成的方程组:

$$\begin{cases} \alpha \sum_{j=1}^n [0.5 + \alpha(w_i - w_j) - r_{ij}] - \alpha \sum_{k=1}^n [0.5 + \alpha(w_k - w_i - r_{ki})] + \lambda = 0, (i = 1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^n [2\alpha^2(w_i - w_j) + \alpha(r_{ji} - r_{ij})] + \lambda = 0, (i = 1, 2, \dots, n) \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \end{cases}$$

解此方程组即可求得权重向量 $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$.

6 实例描述

实验 1 根据以上方法, 对服务可信性质评价实例进行描述. 如上给出的受约束半环 $S_n, S_{rat}, S_{av}, S_{pr}, S_{rep}$ 及其合成 $Comp(S_n, S_{rat}, S_{av}, S_{pr}, S_{rep})$, 表 3 中服务的可信元组实例是其载体集合 A_{comp} 上的元素.

可基于 + 法运算描述元组的优劣关系. 考察 $a_2 = \langle 0.53, 0.94, 0.95, 0.51, 7 \rangle$ 和 $a_7 = \langle 0.21, 0.99, 0.99, 0.25, 7 \rangle$, 在实时性方面基于 $S_n = \langle R +, \min, +, +\infty, 0 \rangle$ 考察第一个分量, S_n 中的加法运算 $0.53 \min 0.21 = 0.21$, 因此在此分量上 0.21 是比 0.53 更优的可信特征. 基于代数结构 $Comp(S_n, S_{rat}, S_{av}, S_{pr}, S_{rep})$ 考察 $a_2 + a_7$, 有 $0.53 \min 0.21 = 0.21; 0.94 \max 0.99 = 0.99; 0.95 \max 0.99 = 0.99; 0.51 \min 0.25 = 0.25; 7 \max 7 = 7$. 即 $a_2 + a_7 = a_7$, 所以 $a_2 <_{Comp} a_7$, 说明 a_7 是比 a_2 更优的可信向量, 这与我们的直观感觉相符.

× 运算描述了两个可信元组的顺序合成关系. 若组合服务 b 为 a_2 与 a_3 串行组合, 则在实时性方面的合

成表现为时间之合,因此的实时性维度值为 1.58;成功率为两者之积为 0.8554;即有 $b = a_2 \times a_3$. 进一步观察

有 $b + a_1 = a_1, b + a_2 = a_2$, 所以 $b <_{Comp} a_1, b <_{Comp} a_2$, 说明组合服务的可信度不优于构成其的原子服务.

表 3 可信元组实例

| 服务名 | 实时性 | | 成功率 | | 可用性 | | 代价 | | 信誉度 | | 综合值 |
|---------------------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|
| a_1 | 0.21 | 1 | 0.99 | 0.987 | 0.99 | 0.987 | 0.25 | 1 | 6 | 0.447 | 0.884 |
| a_2 | 0.53 | 1 | 0.94 | 0.922 | 0.95 | 0.935 | 0.51 | 1 | 7 | 0.632 | 0.898 |
| a_3 | 1.05 | 0.989 | 0.91 | 0.880 | 0.92 | 0.894 | 1.51 | 0.928 | 8 | 0.775 | 0.893 |
| a_4 | 1.54 | 0.884 | 0.89 | 0.851 | 0.9 | 0.866 | 2.1 | 0.895 | 9 | 0.894 | 0.878 |
| a_5 | 2.16 | 0.759 | 0.83 | 0.758 | 0.84 | 0.775 | 2.55 | 0.875 | 10 | 1 | 0.833 |
| a_6 | 2.58 | 0.680 | 0.81 | 0.725 | 0.82 | 0.742 | 3.35 | 0.846 | 10 | 1 | 0.798 |
| a_7 | 0.21 | 1 | 0.99 | 0.987 | 0.99 | 0.987 | 0.25 | 1 | 7 | 0.632 | 0.921 |
| a_8 | 0.53 | 1 | 0.94 | 0.922 | 0.95 | 0.935 | 0.51 | 1 | 8 | 0.775 | 0.926 |
| a_9 | 1.05 | 0.989 | 0.91 | 0.88 | 0.92 | 0.894 | 1.51 | 0.928 | 9 | 0.894 | 0.917 |
| a_{10} | 1.54 | 0.884 | 0.89 | 0.851 | 0.9 | 0.866 | 2.1 | 0.895 | 10 | 1 | 0.899 |
| a_{11} | 2.16 | 0.759 | 0.83 | 0.758 | 0.84 | 0.775 | 2.55 | 0.875 | 10 | 1 | 0.833 |
| a_{12} | 0.56 | 1 | 0.93 | 0.908 | 0.94 | 0.922 | 0.72 | 1 | 6 | 0.447 | 0.855 |
| a_{13} | 1.58 | 0.875 | 0.9 | 0.866 | 0.91 | 0.88 | 2.02 | 0.898 | 7 | 0.632 | 0.831 |
| a_{14} | 1.87 | 0.816 | 0.88 | 0.837 | 0.88 | 0.837 | 2.34 | 0.884 | 7 | 0.632 | 0.801 |
| a_{15} | 2.31 | 0.730 | 0.82 | 0.742 | 0.82 | 0.742 | 2.85 | 0.863 | 8 | 0.775 | 0.77 |
| a_{16} | 2.81 | 0.638 | 0.79 | 0.689 | 0.81 | 0.725 | 4.12 | 0.822 | 9 | 0.894 | 0.754 |
| $\langle 1 \rangle$ | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10 | 1 | 1 |
| $\langle 0 \rangle$ | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| s_1 | 6.01 | 0.197 | 0.59 | 0 | 0.62 | 0.224 | 7.95 | 0.735 | 7 | 0.632 | 0.358 |
| s_2 | 8.59 | 0.025 | 0.48 | 0 | 0.5 | 0 | 11.92 | 0.668 | 6 | 0.447 | 0.228 |

图 3 以哈斯图的形式描述表 3 中可信元组在载体集合空间中的偏序关系. $\langle 0, 1, 1, 0, m \rangle$ 是加法运算的幺元, 是最优的可信元组, $\langle +\infty, 0, 0, +\infty, 0 \rangle$ 是加法运算的零元, 是可信度最低的可信元组. 元素之间的连接线描述了元素之间的偏序关系. 每个可信元组可用通过规约的方法映射到 $[0, 1]$ 之间的一个实数. 按照第 5 节给出的方法, 取 $w_{rt} = w_{rat} = w_{av} = w_{pr} = w_{rep} = 0.2$, 可将可信元组映射为 $[0, 1]$ 之间的一个实数. 可以看出, 在映射过程中元素之间的偏序关系得到了保持. 对于元素 $a_i, a_j \in A_{comp}$ 若 $a_i \leq_{comp} a_j$ 则有 $f(a_i) \leq f(a_j)$.

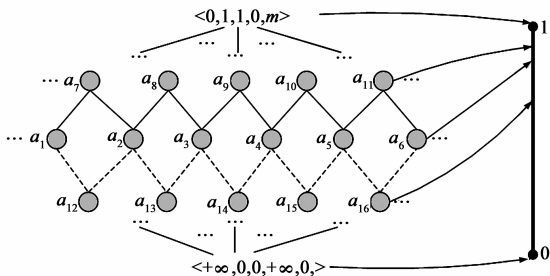


图 3 可信元组偏序关系哈斯图

通过实验 2 检验本文所提出可信特征度量方法的可行性和准确度. 考察图 1 给出的组合服务流程. 取该业务流程实验中 200 次执行的起止时间日志数据, 计算出各基本活动的真实响应时间. 根据统计数据可得流程在 200 次执行中的实时性均值为 18.41s. 触发组合服务业务流程执行的消息由实验者生成, 在 200 次执行过程中, 100 次生成了 Car renting 消息, 其余 100 次生成 Bicycle renting 消息. 即 switch 活动分支执行概率相等均为

50%, 与统计得到的概率相同. 采用本文提出的组合服务可信特征聚合方法计算组合服务的实时性属性为 17.222s. 进一步计算流程执行时间的实测值与预测值的误差率:

$$\eta = \frac{|V_e - V_a|}{V_a} = \frac{|17.222 - 18.41|}{18.41} \approx 6.5\%$$

其中 V_e 和 V_a 分别表示预测值和实际值. 计算可得所提预测方法对该流程执行时间的预测误差率为 6.5%. 说明所提出的度量方法在对组合服务可信特征进行预测时, 具有较低的预测误差率和较好的预测准确度.

7 相关工作

在 Web 服务的非功能质量模型方面, 文献[12]对服务应当包含的各种非功能属性进行了详细的论述. 文献[7]从多个维度定义了服务及其组合的服务质量模型和计算方法. 文献[13]明确定义了 QoS 作为评估 Web 服务性能的一个度量标准, 得到广泛的认同. 文献[14]强调在访问 Web 服务时应考虑服务质量的问题, 并提出了 SLA (Service Level Agreement, 服务水平协议) 的概念.

在服务及其组合 QoS 特征的建模与评测方面, Cardoso^[3]使用节点 QoS 属性值和转移概率计算目标任务节点 QoS 属性值, 在化简的过程中逐步计算工作流的 QoS 预测值. Jaeger 对 Web 服务流程中的组合模式进行分析, 给出这些模式下服务非功能属性的评测方法与聚合公式, 根据流程组合方式对服务工作流的 QoS 进行建模和预测^[4]. 清华大学的杨文军等提出了一种基

于语义和 QoS 的 Web 服务评价模型^[15]. 北京邮电大学吴江霞等提出一种基于组合服务流程工作流建模的 QoS 属性预测方法^[5].

与相关研究比较, 本文工作的区别在于: (1) 将服务可信性的描述做为重点进行研究. 引入了受约束半环的代数结构作为服务可信特征的描述域, 用受约束半环加法运算所定义的偏序关系描述可信性元组之间的优劣关系. (2) 本文提出的评价方法在可信特征归一化的问题上采用效用函数对不同维度可信性质进行归一化计算, 并基于模糊矩阵的方法来确定多维可信度到一维可信值规约的权重. 与文献[7, 16]等采用线性归一化对多维 QoS 属性值进行处理的方法相比较, 采用效用函数来对各指标值进行归一化的方法更能体现指标的物理意义. 基于模糊矩阵的权重确定方法通过比较矩阵来将消除性质不同的要素相互比较的困难, 是一种更加合理的权重确定方法.

8 总结

本文结合受约束半环的代数结构提出服务及其组合的可信特征的评价方法. 在可信特征归一化的问题上采用效用函数对不同维度可信性质进行归一化计算的方法; 在通过加权求和将多维可信度规约到一维可信值的问题上使用基于模糊矩阵的方法来确定权重. 具体的描述实例和实验表明该方法能有效的服务及其组合的可信性质进行描述和评价.

下一步的工作是借鉴受约束半环代数结构的相关研究成果进一步深化对服务可信性质的描述和评价方法的研究. 结合具体应用背景凝练具体应用评价参数, 开发相关评价工具.

参考文献

- [1] Trusted Computing Group. TCG Specification Architecture Overview[S]. TCG, 2007.
- [2] 刘克, 单志广, 等. “可信软件基础研究”重大研究计划综述[J]. 中国科学基金, 2008(3): 145 - 151.
- [3] Jorge Cardoso, et al. Quality of service for workflows and web service processes[J]. Journal of Web Semantics, 2004, 1(3): 281 - 308.
- [4] Jaeger M C, et al. QoS aggregation for service composition using workflow patterns[A]. Proc of International Enterprise Distributed Object Computing Conference[C]. IEEE CS, 2004. 149 - 159.
- [5] 吴江霞. Web 组合服务 QoS 属性预测方法研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2007.
- [6] Bistarelli Stefano, et al. Semiring-based constraint satisfaction and optimization[J]. Journal of the ACM, 1997, 44(2): 201 - 236.

- [7] Zeng L Z, et al. QoS-aware middleware for web services composition[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2004, 30(5): 311 - 327.
- [8] Bartosz Kiepuszewski. Expressiveness and Suitability of Languages for Control Flow Modelling in Workflows[D]. Queensland: Queensland University of Technology, 2002.
- [9] 刘必欣. 动态 Web 服务组合关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2005.
Liu Bixin. The Research on Key Technologies of Dynamic Web Service Composition[D]. Changsha: NUDT, 2005. (in Chinese)
- [10] Pan ping. Resource Reservation for IP-based Multimedia Communication[D]. New York: Columbia, 2002.
- [11] 张吉军. 模糊层次分析法[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80 - 88.
Zhang Jijun. Fuzzy analytical hierarchy process[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2000, 14(2): 80 - 88. (in Chinese)
- [12] Justin O'Sullivan, et al. What's in a Service? [J]. Distributed and Parallel Databases, 2002, 12(2): 117 - 133.
- [13] Mourad Ouzzani, et al. Efficient access to web services[J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(2): 34 - 44.
- [14] Daniel A Menasc. QoS issues in Web services[J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(6): 72 - 75.
- [15] 杨文军, 李涓子, 等. 领域自适应的 Web 服务评价模型[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 514 - 523.
Yang Wenjun, et al. Domain adaptive service evaluation model[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 514 - 523. (in Chinese)
- [16] 周明辉, 梅宏, 等. 基于中间件的定制信任管理框架[J]. 电子学报, 2005, 15(05): 820 - 826.
Zhou Minghui, Mei Hong, et al. A customizable trust management framework based on middleware[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 15(05): 820 - 826. (in Chinese)

作者简介



符宁 男, 1976 年生于陕西兴平, 博士, 主要研究方向为可信软件、形式化方法、服务计算.
E-mail: funingde@gmail.com

周兴社 男, 1955 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为可信计算、服务计算、普适计算. E-mail: zhoux@s.nwpu.edu.cn

詹涛 女, 1975 年生, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为可信软件、服务计算. E-mail: zhantaoster@gmail.com

