

网格环境下一个用户偏好的计算方法及应用^①

A Computation Method with Applications for Grid User Preference

梁 泉¹ 王元卓²

(1.福建工程学院 计算机与信息科学系 福建 福州 350014; 2.清华大学 计算机系 北京 100084)

摘 要: 为满足用户的按需服务需求,首先提出用户 QoS 属性判断矩阵来表示用户偏好的方法,同时定义了相应的用户偏好函数和 QoS 满意度。应用用户偏好的矩阵表示和计算方法,提出一个网格服务选择算法,该算法能反映用户的 QoS 偏好,实现按需服务。对该算法的有效性进行了理论分析和测试,结果表明应用了用户偏好的选择算法,能可靠地选择出反映用户 QoS 偏好的相对最优服务,且具有良好的稳定性,该方法可用于在网格环境中进行用户个性化需求的保障。

关键词: 服务质量 按需服务 QoS 偏好 偏好表示 偏好计算 服务选择

在网格计算环境中,如何满足不同用户独有的个性化服务,从而提供按需服务,是用户服务质量保障的一个重要方面。这就要求考虑用户的 QoS 偏好特征,并能行之有效地将其转化为可计算形式。

1 引言

保障用户服务质量(QoS),从应用的角度,需要支持多样化的个性服务,关心具体用户的特定需求,体现“按需服务”(Server on Demand)的特点;另一方面,“按需服务”也可以合理化利用系统资源,优化系统的资源结构,为服务质量保障提供有利条件^[1]。

本文基于面向服务的网格环境,针对用户关心的 QoS 需求,设法为之提供有效的表示和计算方法,并据此提出应用 QoS 偏好计算的网格服务选择算法。

2 相关工作

网格服务 QoS 参数的定义和计算方法,能反映网格技术与 Web 应用、P2P 及传统分布式应用的不同。文献[2,3]分别提出了在面向服务的网格架构下支持 QoS 和基于经济学原理的服务选择策略、方法;文献[4]研究了服务价格的加权计算,建立服务价格模型,并推导出价格权重的计算表达式;文献[5]研究了 Web

服务的通用质量标准,并提出服务 QoS 属性的矩阵表示,以及基于矩阵进行 QoS 计算的方法;文献[6]讨论了在网格环境下任务分解、调度的抽象模型,并分析了相应的 QoS 权重确定策略;文献[7]研究了 Web 服务组合中的 QoS 属性加权计算及其全局优化方法,该方法可以适用于跨平台的网格服务;文献[8,9]则分别提出了针对 Web 服务和网格服务,基于 QoS 组合和优化的服务选择算法。目前,针对用户 QoS 偏好的表示和计算方法十分缺乏,这也正是本文的研究目标和主要的贡献所在。而相应的多目标、多属性决策方法^[10],则是用户 QoS 需求偏好的信息表示和计算的理论基础。

3 用户QoS偏好的矩阵表示和计算

3.1 用户 QoS 偏好的矩阵表示

从用户的角度看,总是希望找到最理想的服务来满足自己的需求,实际应用中,用户对服务的选择常具有两方面的考量:一方面,要满足 QoS 需求,同时又能获得比较好的性价比;另一方面,不同的用户,除了满足基本的 QoS 需求之外,也会表现出对服务 QoS 各属性的不同关注程度,譬如,有些用户对服务价格有特别要求,而有些用户可能对服务的响应时间

① 基金项目:国家自然科学基金(60803123);福建工程学院科研发展预研基金(GY-Z0878)

收稿时间:2009-03-10

或信誉度表现出更高的关注度^[11]。

设各服务所具有的 QoS 属性集为 $Q=\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ ，则用户 QoS 需求的偏好可以用矩阵描述：

定义 1. QoS 偏好矩阵：通过给出一个 QoS 属性集两两比较的 AHP 判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ ，AHP 矩阵，式中元素 a_{ij} 可由根据 Satty 提出的 1-9 标度法给出^[10]，表示用户对 QoS 属性 q_i 和 q_j 的相对偏好程度，矩阵满足： $a_{ij} > 0$ ， $a_{ii} = 1$ ， $a_{ij} a_{ji} = 1$ ， $\forall i, j \in N$ 。

3.2 QoS 偏好矩阵的构造

以自然语言给出的用户偏好为例。首先区分语言评价的等级，然后按等级转化为模糊数字表示的形式。譬如，设用户 QoS 偏好的语言集合 H，将 H 分为 7 个等级，即 $H=\{\text{完全不关注、很不关注、不关注、较少关注、一般关注、很关注、最关注}\}$ ，用一个模糊数字代表一个语言评价，则可以将 H 转化为可以标度的用户偏好信息形式^[12]。

定义 2. 模糊偏好关系：用户 QoS 偏好的差异由模糊偏好关系 $R^k \subset Q \times Q$ 来描述，隶属函数为 $\mu_{R^k}^k: Q \times Q \rightarrow [0,1]$ 。设 $b^k(q_i, q_j) \in R$ 是 $q_i, q_j \in Q$ 之间的模糊偏好关系，表示 q_i 优于 q_j 的程度，且满足：(a)非负性 $b^k(q_i, q_j) \geq 0$ ；(b)闭合性 $b^k(q_i, q_j) + b^k(q_j, q_i) = 1$ ；(c)互补性 $b^k(q_i, q_i) = 0.5$ 。

定义 3. 设 q_i, q_j 是两个模糊数字，模糊偏好关系 $b^k(q_i, q_j) = \frac{D(q_i, q_j) + D(q_i \cap q_j, 0)}{D(q_i, 0) + D(0, q_j)}$ ，式中： $D(q_i, q_j)$ 表示 q_i 影响 q_j 的面积； $D(q_i, 0)$ 表示 q_i 的面积； $D(0, q_j)$ 表示 q_j 的面积； $D(q_i \cap q_j, 0)$ 表示 q_i 和 q_j 的相交面积。

由此可得到 QoS 判断矩阵 $b^k = (b^k(q_i, q_j))_{n \times n}$ ，理想的判断矩阵应该满足一致性条件，分别用一致性指标(Consistence Index, CI)和一致性比率(Consistence Rate, CR)来反映^[10]。一般认为，当 $CR \leq 0.1$ 时，所构造矩阵合理，导出的 QoS 属性权重向量 ω 是有效的。

4 应用用户偏好的网格服务选择算法

4.1 用户 QoS 满意度

由用户 QoS 偏好确定的相对最优服务是否最佳，需要有相应的评价手段。以用户的 QoS 满意度(QoS Satisfaction Degree)为评价标准，本质上是 QoS 需求的吻合程度，以此为依据，建立服务选择算法。

定义 4. 用户 QoS 满意度：期望 QoS 属性值与实

际值的吻合程度，用 QoS 属性值 q 的正态分布概率率表示^[8]，若期望值为 q^* ，则相对于 q^* ，用户 QoS 满意度 D 为：

$$D(q) = P(q^*) = P(Q \geq q^*) \quad , \quad q^* = \begin{cases} q, & q > q^* \\ q^* + |q^* - q|, & q \leq q^* \end{cases} \quad \text{其中有:}$$

$$P(Q \geq q^*) = 1 - P(Q < q^*) = 1 - \int_{-\infty}^{q^*} f(q) d_q \quad , \quad \text{这里, } \mu \text{ 为期望平均值, } \sigma \text{ 为标准差。}$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^{q^*} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2\sigma^2}} d_q$$

4.2 服务选择算法

设候选服务集合为 $SC = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ，QoS 属性 $Q_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{im})$ ，用户 QoS 期望值 $Q_j^* = (q_1^*, q_2^*, \dots, q_m^*)$ 及其 QoS 偏好函数为 $F(\omega)$ 。算法首先根据 $F(\omega)$ ，构造 QoS 矩阵，计算 QoS 偏好向量 $\bar{\omega}$ ；然后对每一个候选服务基于 $\bar{\omega}$ 计算其用户满意度 $\bar{D}(s_i)$ ；最后选择出具有最大满意度的服务。具体算法如下：

算法 1. 基于用户 QoS 偏好的服务选择算法

- 1) 根据 $F(\omega)$ 计算 QoS 偏好向量 $\bar{\omega}$ ；
- 2) 设置 $i=1$ ， $k=0$ ， $D=0$ ，开始对 SC 进行筛选；
- 3) IF $i > 1$ ，则转步骤 7)；
- 4) 计算服务 s_i 的 QoS 满意度 $\bar{D}(s_i)$ ；
- 5) IF $\bar{D}(s_i) > D$ ，则 $D = \bar{D}(s_i)$ ， $k=i$ ；
- 6) $i=i+1$ ，转到步骤 3)；
- 7) IF $k=0$ ，则没有选到任何服务，转步骤 9)；
- 8) 服务 $s = s_k$ 为相对最优服务，返回 s ；
- 9) 退出选择算法。

4.3 算法实现

算法 1 给出了具体过程， $\bar{\omega}$ 和 $\bar{D}(s_i)$ 的计算非常关键，二者分别由算法 $Pr ef(F(\omega), \bar{\omega})$ 和算法 $Satis(Q, \bar{\omega}, \bar{D}(s_i))$ 来实现，而算法 1 在步骤 1)调用 $Pr ef(F(\omega), \bar{\omega})$ 、在步骤 4)调用 $Satis(Q, \bar{\omega}, \bar{D}(s_i))$ 。具体的算法如下：

算法 2. QoS 偏好向量计算 $Pr ef(F(\omega), \bar{\omega})$

- 1) 根据 $F(\omega)$ 构造 QoS 判断矩阵 $H = (h_{ij})_{m \times m}$ ；
 - 2) 先设 $k=0$ ，用来计算累加和；
- For $j=1, 2, \dots, m$ do
- { For $i=1, 2, \dots, m$ do $k=k+h_{ij}$ ；
- $\bar{h}_{ij} = h_{ij}/k$ ；} // 每列规范化；
- 3) For $i=1, 2, \dots, m$ do $\omega_i = 0$ ；

```

For j=1,2,...,m do
For i=1,2,...,m do  $\omega_j = \omega_j + h_{ij}$ ; //按行相加;
4) 先设  $k=0$ , 作为累加和中间变量;
For j=1,2,...,m do  $k = k + \omega_j$ ;
For j=1,2,...,m do  $\bar{\omega}_j = \omega_j / k$ ;
5) 先设最大特征向量  $\lambda_{\max} = 0$ ;
For i=1,2,...,m do  $(H\omega)_i = 0$ ;
For i=1,2,...,m do
For j=1,2,...,m do  $(H\omega)_i = (H\omega)_i + h_{ij} \times \omega_j$ ;
For i=1,2,...,m do  $\lambda_{\max} = \lambda_{\max} + (H\omega)_i / (m \times \bar{\omega}_i)$ ;
6) 一致性检验; IF  $CR > 0.1$ , 则转到步骤 1);
    
```

IF $CR \leq 0.1$, 则返回 $\bar{\omega}$ 并退出算法。

要特别指出的是, 若一致性检验不通过则需要重建矩阵, 重新计算。

算法 3. QoS 满意度计算 $Satis(Q^*, \bar{\omega}, \bar{D}(s_i))$

```

1) For j=1,2,...,m do  $d_{ij} = 0$ ; //  $d_{ij}$  是单个 QoS 属性的满意度
2) For j=1,2,...,m do  $d_{ij} = 2P(q_{ij}^*)$ 
//  $P(q_{ij}^*)$  由定义 4 计算, 由此得到用户对  $s_i$  的 QoS 满意度向量  $D(s_i) = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im})$ ;
3) 计算  $s_i$  综合 QoS 满意度  $\bar{D}(s_i) = D(s_i) \times \bar{\omega}$ , 并返回。
    
```

5 分析和测试

5.1 理论分析

算法 $Satis(Q^*, \bar{\omega}, \bar{D}(s_i))$ 必须有解, 能够返回不为 0 的用户 QoS 满意度 $\bar{D}(s_i)$ 。为贴近真实数据, 不采用标准正态分布, 而根据原始数据确定 μ 和 σ 的值。对任意服务 $s_i \in SC$, 设 $\bar{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$, $\bar{\sigma} = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m)$, 则有

$$\mu_j = E(\bar{\mu}_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{ij}, \quad \sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{ij} - \mu_j)^2}$$

定理 1. 由候选服务 s_i 的规范化数据, 根据定义 4 所计算的用户 QoS 满意度 $\bar{D}(s_i)$ 满足: $0 < \bar{D}(s_i) \leq 1$ 。

证明: 规范化后 QoS 属性数据满足 $0 < q_{ij} \leq 1$, 则有

$$0 < \mu_j, \sigma_j^2 \leq 1, \text{ 从而 } d_{ij} = P(q_{ij}^* \geq q_{ij}) = 1 - \int_{-\infty}^{q_{ij}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(q-\mu_j)^2}{2\sigma_j^2}} d_q, \text{ 其中}$$

$$q_{ij}^* = \begin{cases} q_{ij}, & q_{ij} > q_{ij}^* \\ q_{ij}^* + [q_{ij}^* - q_{ij}], & q_{ij} \leq q_{ij}^* \end{cases}, \text{ 易知:}$$

$$0 < d_{ij} \leq 1 \tag{1}$$

则对任意 $s_i \in SC$, $D(s_i) = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im})$, $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_m)$,

$$\bar{D}(s_i) = D(s_i) \times \bar{\omega} = \sum_{j=1}^m (d_{ij} \times \bar{\omega}_j) \tag{2}$$

但 $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_m)$ 具有如下性质:

$$\forall \bar{\omega}_j, 0 < \bar{\omega}_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \bar{\omega}_j = 1 \tag{3}$$

则由式(1)、式(2)和式(3), 则必有 $0 < \bar{D}(s_i) \leq 1$ 。

定理 1 表明, 若服务集不为空, 由原始数据确定的 μ 、 σ , 可保证 $Satis(Q^*, \bar{\omega}, \bar{D}(s_i))$ 计算的 $\bar{D}(s_i)$ 有效, 从而可保证算法 1 能收敛, 并拥有最高 $\bar{D}(s_i)$ 。

5.2 测试和分析

在算法中, 目前除了判断矩阵的构造受到人为因素的影响较大之外, 其他几个过程都由系统自动完成, 因此只与具体系统有关。在本测试中, 根据已知的用户 QoS 偏好, 考虑 4 个 QoS 属性: 价格 q_c 、响应时间 q_t 、可靠度 q_{rd} 、信誉度 q_{rp} 。

先测试用户所偏好的 QoS 属性项的数目会对算法产生影响。测试结果却没有表现出明显的差异, 如图 1 所示。分析原因, 在于仿真实验剥离了 QoS 矩阵的构造, 而算法在计算偏好向量、满意度向量以及选择过程中, 对是否存在多个 QoS 偏好属性没有太大关系。这说明, 在实际应用中, 如果有可靠的 QoS 矩阵构造算法, 那么面对众多迥异的用户 QoS 偏好, 依然能有效地筛选出满足用户需求的服务。

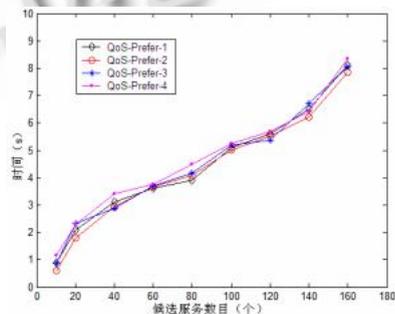


图 1 QoS 偏好项数目不同的比较

接下来的测试将集中关注算法所选择的服务对于用户 QoS 需求的吻合程度, 把最高满意度 (Best Satisfying Degree, BSD) 做为评价指标, 分别进行两次随机实验, 设为 Test1 和 Test2, 其中, Test1、Test2 分别以期望参照值、为基准, 测试结果如图 2

所示。结果表明几点信息：第一，结果很接近，说明算法是稳定的；第二，最高满意度均可保持在75%以上，在实际应用中可以被用户接受；第三，随着候选服务数目的增加，满意度呈现上升趋势，这是因为越多的候选服务，找到用户最满意服务的概率也越大，与实际吻合。

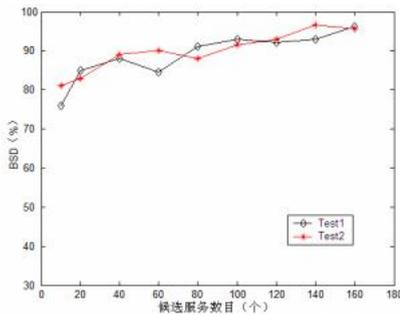


图2 两种 QoS 期望值下的满意度比较

6 结语

基于面向服务的网格环境,本文给出了用户 QoS 需求偏好的矩阵表示和计算方法,并应用于服务选择,从而实现用户按需服务。用户 QoS 偏好信息的表示和计算,是实现“按需服务”的关键,具体方法及如何减少误差、优化计算结果,是值得做更深度研究的课题。

参考文献

- 1 梁泉,杨扬,刘丽.一个具有服务质量保障的面向服务的网格模型.信息与控制, 2007,36(4):401-409.
- 2 Deora V, Shao J, Gray WA, et al. Supporting QoS based selection in service oriented architecture. Proc. of International Conference on Next Generation Web Services Practices, IEEE COMPUTER SOC. 2006.117-123.

- 3 Lin M, Lin ZX. A cost-effective critical path approach for service priority selections in grid computing economy. Decision Support Systems, 2006,4(3):1628-1640.
- 4 Joutsensalo J, Viinikainen A, Wikstrom M, et al. Pricing based adaptive scheduling method for bandwidth allocation. International Journal of Electronics and Communications, 2007,61(2):118-126.
- 5 Liu Y, A Ngu HH, Zeng L. QoS computation and policing in dynamic Web service selection. ACM SIGecom Exchanges, 2004,5(5):66-73.
- 6 Amin K, von Laszewski G, M Hategan, et al. An abstraction model for a Grid execution framework. Journal of System Architecture, 2006,52(2):73-87.
- 7 Zeng LZ, Benattallah B. QoS-aware middleware for Web service composition. IEEE Transactions of Software Engineering, 2004,30(5):311-327.
- 8 陈彦萍,李增智,唐亚哲,等.一种满足马尔可夫性质的不完全信息下的 Web 服务组合方法.计算机学报, 2006,29(7):1076-1084.
- 9 Lee H, Chung K, Chin S, et al. A resource management and fault tolerance services in grid computing. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2005, 65(11):1305-1317.
- 10 徐泽水.不确定多属性决策方法及应用.北京:清华大学出版社, 2004.
- 11 Doulamis N, Doulamis A, Litke A, et al. Adjusted fair scheduling and non-linear workload prediction for QoS guarantees in grid computing. Computer Communications, 2007,30(3):499-515.
- 12 郭春香,郭辉煌.属性具有不同形式偏好信息的群决策方法.系统工程与电子技术, 2005,27(1):63-65.