

文章编号:1001-9081(2009)06-1502-04

网络计算环境下 QoS 偏好的处理策略及其应用

梁 泉¹, 王元卓²

(1. 福建工程学院 计算机与信息科学系, 福州 350014; 2. 清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084)

(liangquanlq@126.com)

摘 要:为保障用户按需服务的需求,较深入研究了用户 QoS 需求偏好信息的处理策略。基于多属性决策理论,首先提出了 QoS 偏好信息的三种描述方式:序关系向量、AHP 矩阵和语言评价集合,并给出了相应的转化和计算方法。随后,把 QoS 偏好的处理策略应用于服务选择,提出一个相对最优服务的确定方法,该方法可以反映用户的 QoS 偏好,满足用户按需服务的需求。具体实例表明所提出的 QoS 偏好信息的处理策略是切实可行的。

关键词: 网格环境; 服务质量; QoS 偏好信息

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Treatment strategy and its application for QoS preference in network computing environment

LIANG Quan¹, WANG Yuan-zhuo²

(1. Department of Computer and Information Science, Fujian University of Technology, Fuzhou Fujian 350014, China;

2. Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: To ensure users' requirements for service on demand, the paper went deep into the treatment strategy of Quality of Service (QoS) preference information. Three ways were first put forward to describe QoS preference information based on the theory of multiple-attribute decision, which were orders vector, AHP matrix and language valuation collection, and the concrete methods of conversion and computation were given out. Afterward, the treatment strategy of QoS preference was applied to service selection, and a decision method of the optimal service was presented, which could reflect users' QoS preference and meet users' requirements for service on demand. The specific example with analysis indicates that the treatment strategy of QoS preference in the paper is feasible.

Key words: grid environment; Quality of Service (QoS); QoS preference information

0 引言

保障服务质量(Quality of Service, QoS)从系统的角度看,就是改善物理资源的管理方式和策略,为上层网络应用构筑一致性的、可靠的服务平台,保证端到端服务质量。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]。

本文针对用户关心的 QoS 需求,设法为之提供可靠的保障策略。在实际应用中,研究 QoS 需求偏好,满足用户按需服务的需求具有重要意义。

1 相关研究

网络服务 QoS 参数的定义和计算方法,能反映网络技术与 Web 应用、P2P 及传统分布式应用的不同。文献[2]对网络服务的描述,突出了网络服务是具有生命期(Time-to-Live, TTL)、“有状态”及能被大规模共享的特点,同时对网络服务的可靠性做了较为深入的分析和计算;文献[3-4]研究了服务价格(Price)的加权计算,基于服务提供者收益最大化的原则,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,可以为网络服务的 QoS 偏好信息表示提供借鉴;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,后者还针对网格服务的选择设计了容错服务,以保证任务执行的可靠性能。以上所述虽然对服务 QoS 表示、计算、优化及相应的服务选择策略做了许多有益工作,但针对用户 QoS 偏好,特别是其表示和计算方法,目前还十分缺乏,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、多属性决策理论^[10],则是用户 QoS 需求偏好的信息表示和计算的理论基础。

2 QoS 属性及用户 QoS 偏好信息的描述

2.1 网络服务 QoS 属性

网络服务具有异构性、动态性和分布的广泛性,同时具有状态和生命周期。QoS 属性集就是一个网络服务的质量标准参数,包括服务价格、响应时间、信誉度、可靠度和可用度等,是上述 QoS 参数的集合,即 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $q_i (i \in (1,$

收稿日期:2008-12-22;修回日期:2009-03-05。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60803123);校科研发展预研基金资助项目(GY-Z0878)。

作者简介:梁泉(1972-),男,湖南洞口人,讲师,博士,主要研究方向:网络计算环境、数据安全、服务质量保障;王元卓(1978-),男,河北秦皇岛人,助理研究员,博士,主要研究方向:网络安全、可信计算。

n) 代表相应的质量标准参数。

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或信誉度表现出更高的关注度^[11-12]。上述两个方面需要综合考虑,针对具体用户,对 QoS 需求的满足程度,最终需要由用户满意度来衡量。而用户对 QoS 属性不同的关注度,就是用户的 QoS 需求偏好。

由于服务存在多个 QoS 属性,需要指出的是,各 QoS 属性之间满足多目标属性的一些特点:譬如“不可公度性”,即没有统一的标准可以度量所有的 QoS 属性;“矛盾性”,即各个 QoS 属性之间并不是相互独立的,它们之间有着约束关系。

2.2 QoS 需求的偏好信息描述

针对 QoS 多属性用户的偏好表示,假设候选的服务集合 $SC = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$,各候选服务所具有的 QoS 属性集为 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$,那么用户 QoS 需求的偏好可以用如下几种形式描述:

1) 序关系向量。通过对 QoS 属性进行排序,来表明用户对它们的关注程度, $\sigma^i = (\sigma_1^i, \sigma_2^i, \dots, \sigma_n^i)$, $\sigma_j^i, j \in (1, n)$ 表示用户对 QoS 属性 q_j 的偏好, σ_j^i 表明在所有 QoS 属性里,用户对它偏好的次序,且 σ_j^i 越小,用户的偏好程度越大。

2) AHP 判断矩阵。通过给出一个 QoS 属性集两两比较的 AHP 判断矩阵, AHP 矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$,式中元素 a_{ij} 可根据 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 A 满足: $a_{ij} > 0, a_{ii} = 1, a_{ij}a_{ji} = 1, \forall i, j \in N$ 。

3) 语言评价集合。可以把用户对 QoS 的偏好程度通过自然语言或模糊语言表达出来,形成语言评价集合 H ,再对 H 做相关处理。

2.3 基于 QoS 偏好的相对最优服务

基于 QoS 的服务选择一般不存在通常意义下的最优解,也即不存在这样的解:在满足 QoS 约束条件下,使得各个目标属性分别达到各自的最优值。虽然找不到这样的最优值,但可以根据 QoS 偏好,来达到相对最优的选择。我们首先定义用户 QoS 需求的偏好函数如下:

定义 1 偏好函数 $F(X)$ 。 F 为 QoS 属性向量的用户偏好函数,反映了用户的偏好信息,它有 n 个分量,即 $F(X) = (f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n))$,分别对应各 QoS 属性的偏好子函数,各分量之间可以用二元关系“ $>$ ”来区分,表示“优于、更关注”等关系。

定义 2 相对最优服务。指在候选服务中,由用户 QoS 偏好所决定的相对最优服务。假设 $s^* \in SC$,是一个候选服务,若不存在任何其他服务 $s \in SC$,使之在用户偏好函数 F 的作用下,有 $F(X^*) > F(X^s)$,则 s^* 为用户在 SC 中基于 QoS 偏好的相对最优服务。

3 用户 QoS 偏好信息的处理策略

3.1 基于 QoS 偏好信息的 AHP 判断矩阵

定义 3 设判断矩阵 $H = (h_{ij})_{n \times m}$,若有 $h_{ij}h_{ji} = 1, h_{ii} =$

$1, h_{ii} > 0, i, j \in N$,则称矩阵 H 为互反判断矩阵。

定义 4 设判断矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times m}$,若有 $b_{ij} + b_{ji} = 1, b_{ii} = 0.5$,则称矩阵 B 是模糊互补判断矩阵。

用户 QoS 偏好可以用一个 AHP 判断矩阵来表示,通过给出一个 QoS 属性集两两比较的 AHP 判断矩阵,来反映用户对 QoS 的偏好。

3.2 QoS 属性 AHP 矩阵的构造

以语言评价所给出的偏好信息为例,首先要能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,对用户 QoS 需求偏好的语言评价集合 H ,不妨将集合 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,假设其隶属函数是梯形隶属函数^[13],如图 1 所示,则可以将 H 转化为可以标度的用户偏好信息形式。

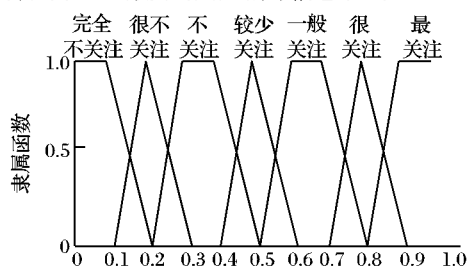


图1 模糊数值的语言评价范围

定义 5 模糊偏好关系。用户 QoS 偏好的属性集 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 中各元素的偏好差异由模糊偏好关系 $R^k \subset Q \times Q$ 来描述,相应的隶属函数为 $\mu_{R^k}: Q \times Q \rightarrow [0, 1]$ 。设 $b^k(q_i, q_j) \in R$ 是 q_i 和 q_j 之间的模糊偏好关系, $q_i, q_j \in Q$,其中 $b^k(q_i, q_j)$ 表示 q_i 优于 q_j 的程度,并且有如下性质: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 6 设 q_i, q_j 是两个模糊数字,模糊偏好关系 $b^k(q_i, q_j)$ 定义为:

$$b^k(q_i, q_j) = \frac{D(q_i, q_j) + D(q_i \cap q_j, 0)}{D(q_i, 0) + D(0, q_j)} \quad (1)$$

其中: $D(q_i, q_j)$ 表示 q_i 控制 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。

用这个办法可以得到模糊互补判断矩阵 $b^k = (b^k(q_i, q_j))_{n \times n}$,将用户的 QoS 偏好信息描述和反映出来。

以互补 AHP 矩阵为例,表 1 列出的两种互补标度方法,它们均满足定义 4。

表 1 两种属性互补标度

0.1 ~ 0.9 五标度	0.1 ~ 0.9 九标度	QoS 属性标度的含义
0.1	0.100	属性 j 极端重要于属性 i
	0.138	属性 j 强烈重要于属性 i
0.3	0.325	属性 j 明显重要于属性 i
	0.439	属性 j 稍微重要于属性 i
0.5	0.500	属性 i 与属性 j 同样重要
	0.561	属性 i 稍微重要于属性 j
0.7	0.675	属性 i 明显重要于属性 j
	0.862	属性 i 强烈重要于属性 j
0.9	0.900	属性 i 极端重要于属性 j

注: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 可取 0.1 ~ 0.9 五标度相邻的判断中值。

3.3 QoS 属性 AHP 矩阵的处理

假设有 QoS 属性值矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$ ($a_{ij} > 0$), 用式(2)或式(3)来进行数据规范化后得到 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_i(a_{ij})}; \quad i \in (1, n), j \in (1, m) \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i(a_{ij})}{a_{ij}}; \quad i \in (1, n), j \in (1, m) \quad (3)$$

下面给出 AHP 矩阵的基本处理方法, 以互反判断矩阵为例: 设由 QoS 偏好构成的互反判断矩阵 $H = (h_{ij})_{n \times m}$, 使用特征向量法进行处理, 其根本问题是计算最大特征根及 λ_{\max} 特征向量。采用一种近似的算法, 即和积法, 具体步骤如下:

1) 矩阵每列规范化:

$$\bar{h}_{ij} = \frac{h_{ij}}{\sum_{k=1}^n h_{kj}}; \quad i \in [1, n], j \in [1, n] \quad (4)$$

2) 矩阵按行相加:

$$\bar{\omega} = \sum_{j=1}^n \bar{h}_{ij}; \quad i \in [1, n], j \in [1, n] \quad (5)$$

3) 对向量 $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_n)^T$ 正规化:

$$\omega = \frac{\bar{\omega}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{\omega}_j}; \quad i \in [1, n], j \in [1, n] \quad (6)$$

$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 即为所求特征向量。

4) 计算 λ_{\max} :

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(H\omega)_i}{n\omega_i} \quad (7)$$

其中 $(H\omega)_i$ 为 $H\omega$ 的第 i 个分量。

3.4 判断矩阵的一致性检验

为了保证判断矩阵排序的可信度和准确性, 有必要对判断质量进行一致性检验

定义 7 若按照互反 1 ~ 9 标度法构造互反判断矩阵 $H = (h_{ij})_{n \times n}$, 并有下列性质:

$$\begin{cases} h_{ij} \in [1/9, 9] \\ h_{ji} = 1/h_{ij} \\ h_{ii} = 1 \\ i, j \in N \end{cases} \quad (8)$$

若 $h_{ij} = h_{ik}h_{kj}$, $i, j, k \in N$, 则称 $H = (h_{ij})_{n \times n}$ 是一致性互反判断矩阵。

定义 8 若按照互补型 0.1 ~ 0.9 五标度进行赋值, 给出模糊互补判断矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times n}$, 并具有如下性质:

$$\begin{cases} b_{ij} \in [0.1, 0.9] \\ b_{ij} + b_{ji} = 1 \\ b_{ii} = 0.5 \\ j \in N \\ i \in N \end{cases} \quad (9)$$

若 $b_{ik}b_{kj} = b_{ji}$, $i, j, k \in N$, 则称 $B = (b_{ij})_{n \times n}$ 是积型模糊一致性互补判断矩阵。

理想的判断矩阵应该满足一致性条件, 互反判断矩阵的一致性指标 (Consistence Index) 为:

$$CI = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \left[a_{ij} \frac{\omega_j}{\omega_i} + a_{ji} \frac{\omega_i}{\omega_j} - 2 \right] \quad (10)$$

检验互反判断矩阵的一致性比率 (Consistence Rate) 为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

RI 为平均随机一致性指标, 如表 2 所示, 一般认为矩阵的阶数不超过 2 时, 是满足一致性条件的; 当 $CR < 0.1$ 时, 则认为相应的互反判断矩阵时一致性可接受的, 由它导出的属性权重向量也是有效的, 否则, 需要重新估计判断矩阵。

表 2 评价随机一致性指标 RI

矩阵阶数	RI	矩阵阶数	RI
3	0.58	7	1.32
4	0.90	8	1.41
5	1.12	9	1.45
6	1.24	10	1.49

同样, 检验模糊互补判断矩阵的一致性, 使用下面的通用公式:

$$\begin{cases} CI = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \left[\frac{b_{ij}}{b_{ji}} \frac{\omega_j}{\omega_i} + \frac{b_{ji}}{b_{ij}} \frac{\omega_i}{\omega_j} - 2 \right] \\ CR = \frac{CI}{RI} \end{cases} \quad (12)$$

也可采用下面的近似计算:

$$\begin{cases} CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \\ CR = \frac{CI}{RI} \end{cases} \quad (13)$$

其中: 当 $CR > 0.1$ 时, 一致性检验不能通过; 当 $CR \leq 0.1$ 时, 一致性检验通过, 则其导出的 QoS 属性权重向量 ω 是有效的。

4 QoS 偏好处理策略的应用

4.1 相对最优服务的确定方法

在有限个服务中, 根据用户的 QoS 偏好, 在经过筛选过程之后, 得到准确反映用户偏好^[14-16]的结果。

综上所述, 构造带有 QoS 偏好的 AHP 判断矩阵, 再求得判断矩阵的排序向量, 即权值向量, 由权重向量进一步求解各候选服务的综合属性值, 据此确定服务的优选次序。设服务集合 $SC = \{s_i | i \in N\}$, QoS 属性集 $Q^i = (q_1^i, q_2^i, \dots, q_m^i)$, Q^i 表示服务 s_i 的 QoS 属性集, 基于 QoS 偏好由以下步骤可确定相对最优服务:

1) QoS 属性原始数据规范化。对效益型数据使用式(14)处理:

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{q_{ij} - q_j^{\min}}{q_j^{\max} - q_j^{\min}}, & q_j^{\max} - q_j^{\min} \neq 0 \\ 1, & q_j^{\max} - q_j^{\min} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

对成本型数据使用式(15)处理:

$$z_{ij} = \begin{cases} \frac{q_j^{\max} - q_{ij}}{q_j^{\max} - q_j^{\min}}, & q_j^{\max} - q_j^{\min} \neq 0 \\ 1, & q_j^{\max} - q_j^{\min} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

最终获得规范化矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

2) 根据用户的偏好信息形式 (或偏好函数 $F(\omega)$), 构造互反或模糊互补判断矩阵 ($H = (h_{ij})_{m \times m}$ 或 $B = (b_{ij})_{m \times m}$)。

3) 矩阵一致性检验, 若检验不通过, 则转到第 2) 步重新估计判断矩阵。

4) 求解排序向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ 。

5) 必要时修正 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ 。

6) 由 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, 计算各候选服务的 QoS 综合属性值 $z_i(\omega) = \sum_{j=1}^m r_{ij} \omega_j$ 。

7) 根据 $z_i(\omega)$ 值对候选服务进行排序,从而确定相对最优服务。

4.2 实例分析

下面将举例说明如何应用 QoS 偏好处理策略来确定相对最优服务。为了减少计算量,实例只考虑 4 个候选服务,每个服务只考虑 4 个 QoS 属性,即:价格 q_c 、响应时间 q_t 、可靠性 q_{rel} 、信誉度 q_{rep} ,以上属性分别对应着 s_i 的 QoS 属性集 $Q^i = \{q_1^i, q_2^i, q_3^i, q_4^i\}$ 。候选服务的情况如下: $Q^1 = \{100, 100, 0.9, 0.88\}$, $Q^2 = \{110, 105, 0.96, 0.9\}$, $Q^3 = \{90, 80, 0.92, 0.86\}$, $Q^4 = \{120, 130, 0.89, 0.95\}$;假设用户的 QoS 偏好用语言评价的方式给出,只重视价格和信誉度两个指标,另外两个指标没有特别关注。据此可理解为如下的语言评价,即用户的偏好为 $Q_{user} = \{\text{很不关注}, \text{不关注}, \text{关注}, \text{很关注}\}$,上述顺序分别对应着服务的四个 QoS 属性,按照前述方法可确定相对最优服务:

首先进行规范化处理,得到规范化矩阵:

$$R = (r_{ij})_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.66 & 0.60 & 0.14 & 0.22 \\ 0.33 & 0.50 & 1 & 0.44 \\ 1 & 1 & 0.42 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

这里根据定义 6 来构造模糊互补判断矩阵:

$$B = (b_{ij})_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.663 & 0.663 & 0.5 \\ 0.346 & 0.5 & 0.5 & 0.346 \\ 0.346 & 0.5 & 0.5 & 0.346 \\ 0.5 & 0.663 & 0.663 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (17)$$

用特征向量法计算 λ_{\max} 和 ω , 得 $\lambda_{\max} = 4.118$, $\omega = (0.2903, 0.2098, 0.2098, 0.2903)$;

利用式(7) 计算一致性指标 $CI = 0.0393$,从而得判断矩阵的一致性比率为:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0393}{0.9} = 0.0436 \quad (18)$$

由于 $CR = 0.0436 < 0.1$,所以判断矩阵一致性检验通过,求得的排序向量是有效的;

最后根据

$$\begin{cases} z_i(\omega) = \sum_{j=1}^m r_{ij}\omega_j \\ \omega = (0.2903, 0.2098, 0.2098, 0.2903) \end{cases} \quad (19)$$

计算每个候选服务的综合 QoS 属性值得: $z_1(\omega) = 0.4108$, $z_2(\omega) = 0.5382$, $z_3(\omega) = 0.5882$, $z_4(\omega) = 0.2903$, 则有 $z_3(\omega) > z_2(\omega) > z_1(\omega) > z_4(\omega)$; 因而服务的优选次序为: $s_3 > s_2 > s_1 > s_4$, 即在候选的 4 个服务中,如果用户很关注所需服务的“价格”和“信誉度”,而不关注其他的两个 QoS 属性,那么应该优先选择服务 s_3 , 可以更好地满足用户的这种 QoS 需求偏好。

相对最优服务的确定,是根据用户 QoS 偏好的一个折中结果,上述方法具有成熟的理论基础。

5 结语

本文基于多属性决策的有关理论,研究用户 QoS 偏好的处理策略,给出了具体的表示、转化及计算方法。重点针对语言偏好信息形式,定义了语义表达的轻重程度,并给出转化为具体数值的过程,从而使之适于计算,该过程有较为严谨的理论论证。随后,利用 QoS 偏好的处理策略,提出在候选服务集中确定相对最优服务的方法,并用实例进行了验证。

用户 QoS 偏好信息的描述、转化和计算,是实现“按需服务”,并保障用户服务质量的重要环节;而具体的描述和计算方法,以及如何减少误差、优化计算结果,对于服务选择的影响很大,值得做更深入的研究。

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[J]. 信息与控制, 2007, 36(4): 401-409.
- [2] DAI Y S, XIE M, POH K L. Reliability of grid service systems [J]. Computers & Industrial Engineering, 2006, 50(1/2): 130-147.
- [3] JOUTSENSALO J, LUOSTARINEN K, SILTANEN J, et al. Adaptive scheduling method for maximizing revenue in flat pricing scenario [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2006, 60(2): 159-167.
- [4] JOUTSENSALO J, VIINIKAINEN A, WIKSTROM M, et al. Pricing based adaptive scheduling method for bandwidth allocation [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2007, 61(2): 118-126.
- [5] LIU Y, NGU A H H, ZENG L. QoS Computation and policing in dynamic Web service selection [C]// Proceedings of the 13th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters. New York, NY: ACM Press, 2004: 66-73.
- [6] AMIN K, von LASZEWSKI G, HATEGAN M, et al. An abstraction model for a Grid execution framework [J]. Journal of System Architecture, 2006, 52(2): 73-87.
- [7] ZENG L Z, BENATALLAH B. QoS-aware middleware for Web service composition [J]. 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[J]. 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 [J]. 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[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 122-190.
- [11] WANG H C, LEE C S, HO T H. Combining subjective and objective QoS factors for personalized Web service selection [J]. Expert Systems with Applications, 2007, 32(2): 571-584.
- [12] DOULAMIS N, DOULAMIS A, LITKE A, et al. Adjusted fair scheduling and non-linear workload prediction for QoS guarantees in grid computing [J]. Computer Communications, 2007, 30(3): 499-515.
- [13] 郭春香,郭辉煌. 属性具有不同形式偏好信息的群决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1): 63-65.
- [14] MALHAN M S, SHAH R N. Dynamic system activity profile forecasting for improved resource selection in quality of service based grid computing model [C]// Proceedings of the 1st International Conference on Communication Systems Software and Middleware. New York: IEEE Press, 2006: 308-312.
- [15] DEORA V, SHAO J, GRAY W A, et al. Supporting QoS based selection in service oriented architecture [C]// Proceedings of International Conference on Next Generation Web Services Practices. New York: IEEE Press, 2006: 117-123.
- [16] LIN M, LIN Z X. A cost-effective critical path approach for service priority selections in grid computing economy [J]. Decision Support Systems, 2006, 4(3): 1628-1640.