

基于 fuzzy TOPSIS 的资源服务优化选择算法*

张倩, 齐德昱

(华南理工大学 计算机系统研究所, 广州 510006)

摘要: 为了提高用户满意度,需要在大量具有相同或相似功能的资源服务中筛选出满足用户需求的最优资源服务,从而实现资源服务的增值。以三角模糊数表达用户对资源服务非功能 QoS 评价为基础,在考虑用户的感知和交易经验的同时,综合考虑了资源服务非功能 QoS 评价合成中的各种因素(如时间、用户信誉度、评价一致性等)的影响,结合模糊(fuzzy)理论以及逼近理想解排序,进而提出了基于 fuzzy TOPSIS 的资源服务优化选择算法。实验结果表明,该算法具有较高的准确度,并可在一定程度上抵制恶意评价对资源服务质量评价的影响。

关键词: 资源服务优化选择; 服务质量; 三角模糊数; 逼近理想解排序

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)12-4522-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.031

Fuzzy TOPSIS-based resource service optimal-selection algorithm

ZHANG Qian, QI De-yu

(Research Institute of Computer Systems, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to improve the satisfaction of users and achieve the appreciation of resource service, it is important to select an optimal resource service, which also satisfies the demand of users, from all candidate resource services which have the characteristic of identical or similar functions. This paper represented all users' evaluations on non-functional QoS assumed that by triangle fuzzy numbers, via integrating the fuzzy set theory and the TOPSIS method, and it proposed a fuzzy TOPSIS-based resource service optimal-selection algorithm. In this algorithm, it took into account not only the user's feeling and transaction experiences, but also many other factors existing in the non-functional QoS evaluation aggregation of resource services (such as time, user reputation, evaluation consistency, etc.). Experimental results reveal that this algorithm has high accuracy, and can prevent the impact from the malicious evaluations at some extent.

Key words: resource service optimal-selection; quality of service (QoS); triangle fuzzy numbers; technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)

0 引言

随着近年来面向服务计算领域的飞速发展,互联网上涌现出大量具有不同 QoS 属性(如可信性、可靠性、安全性等)的可用资源服务。如何从这些具有相同功能属性和不同非功能属性的资源服务中为用户选择出最佳服务,如何高效动态地把现存各种资源服务聚合起来,以形成新的满足不同用户需求的增值的复杂服务,做到真正以用户为中心,从而提供更好的应用和服务体验,已成为服务领域的研究热点^[1]。基于 QoS 的资源服务选择机制是资源服务优化选择和服务组合中的一个关键问题,近年来得到了学术界的广泛关注。

Zhou 等人^[2]指出,Web 服务的 QoS 是由功能属性和非功能属性组成的,其中功能属性主要包括吞吐量、延迟、响应时间等;而非功能属性包括完整性、可靠性、可用性和安全性等。事实上,非功能 QoS 属性在很大程度上依赖于服务提供者和用户群体的主观偏好,并且这些属性由于其自身的复杂性和非结构化特征使其不易被评估和测量^[3]。目前一些研究已经开始应用模糊集理论来解决这一问题。文献[4]利用模糊模型来解决基于 QoS 的 Web 服务选择;文献[5]设计了一个基于语言

变量的用户偏好模型,并应用层次模糊逻辑进行评估;文献[6]采用模糊多目标决策分析方法来有效地捕获用户对服务的评价,并使用模糊几何平均数方法获得 QoS 属性的合成权重;Wang Ping^[3]将用户的模糊感知考虑在内,综合考虑功能属性和非功能 QoS 需求,提出了基于 QoS 直觉模糊集的 Web 服务分析和选择方法;Tao 等人^[7]综合考虑用户感受和经验、时间衰退、专家对 QoS 属性重要程度评估的语义差异性,提出了基于直觉模糊集的资源服务非功能 QoS 评估方法和资源服务优选算法。然而,这些研究仍或多或少地存在以下问题:a)资源服务 QoS 综合评估时,只考虑了资源服务 QoS 属性权重的合成,而没有考虑多个用户对资源服务 QoS 属性性能等级评价的合成,或只是使用简单的几何平均数方法来获得 QoS 属性性能等级的合成评价;b)资源服务 QoS 属性权重的合成中,没有考虑用户的信誉度,以及用户权重和评价一致性的复合作用对权重合成的影响;c)资源服务的 QoS 是随时间和交易结果动态变化的,一般情况下,用户对其交易资源服务 QoS 性能评价的可信程度随时间推移会有一定程度的衰减。除文献[7]外,上述研究在 QoS 属性评价合成时没有考虑时间因素的影响。

收稿日期: 2012-05-11; **修回日期:** 2012-06-23 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61070015);广东省自然科学基金团队资助项目(10351806001000000);广东省中国科学院全面战略合作资助项目(2009B091300069)

作者简介: 张倩(1982-),女,山东淄博人,博士研究生,主要研究方向为云制造(z.qian09@mail.scut.edu.cn);齐德昱(1959-),男,教授,博导,主要研究方向为计算机体系结构、云计算、云制造等。

本文在综合分析以上研究中的优点和不足的基础上,提出了基于 fuzzy TOPSIS 的资源服务优化选择算法。

1 预备知识

资源服务的优化选择可看做是一个多目标决策分析过程。逼近理想解排序 (TOPSIS)^[8] 是多目标综合评价决策分析常用的一种决策方法。但由于资源服务 QoS 的复杂性和不确定性以及用户对 QoS 属性的模糊性,用户难以确切地给出 QoS 属性性能评价和 QoS 属性重要性程度即权重信息,而传统的 TOPSIS 算法是用来解决精确数值问题的,如果评价值是各种类型的模糊数据,则传统的方法将不再适用。近年来,许多研究者尝试在 TOPSIS 中引入 fuzzy set 理论,将 TOPSIS 方法扩展为模糊多目标决策^[9],很好地解决了模糊数据问题。本文用到的一些基本概念包括模糊集、模糊数和相应的运算法则可参考文献[9]。本文采用三角模糊数来表示用户对资源服务非功能 QoS 属性的等级评价和各属性权重的评价,定义的性能评价等级语言变量和权重等级语言变量如表 1、2 所示。

表 1 性能评价等级语言变量

语言变量	三角模糊数	语言变量	三角模糊数
非常差 (VP)	(0,0,1)	较好 (MG)	(5,7,9)
差 (P)	(0,1,3)	好 (G)	(7,9,10)
较差 (MP)	(1,3,5)	非常好 (VG)	(9,10,10)
一般 (F)	(3,5,7)		

表 2 权重评价等级语言变量

语言变量	三角模糊数	语言变量	三角模糊数
非常低 (VL)	(0,0,0.1)	较高 (MH)	(0.5,0.7,0.9)
低 (L)	(0,0.1,0.3)	高 (H)	(0.7,0.9,1.0)
较低 (ML)	(0.1,0.3,0.5)	非常高 (VH)	(0.9,1.0,1.0)
一般 (M)	(0.3,0.5,0.7)		

2 基于 fuzzy TOPSIS 的资源服务选择

针对一个不能再进一步分解的任务 T ,假设系统已经给出 M 个满足条件的候选资源服务 $RS = \{RS^1, RS^2, \dots, RS^i, \dots, RS^M\}$,每个资源服务的非功能 QoS 属性集为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_J\}$,QoS 属性集 C 的权重向量为 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_J\}$ 。本文要解决的问题是,根据不同用户对候选资源服务集合 RS 在属性集 C 上的模糊评价矩阵以及对属性集 C 的权重向量 W 的模糊评价矩阵来选择最佳的资源服务。

本文提出的基于 fuzzy TOPSIS 的资源服务优化选择算法,首先利用一致性合成方法分别对 QoS 属性及其权重的模糊评价矩阵进行合成,然后基于 fuzzy TOPSIS 方法对合成后的候选资源服务进行综合评价,最后根据贴进度选择最优资源服务。

2.1 资源服务 RS^i 的 QoS 属性 c_j 的合成评价

如果资源服务是自发布注册后从未被调用或使用过的资源,即新资源,可采用文献[7]中的方法对资源服务 QoS 属性的评价进行初始化,即将资源服务域中其他资源服务当前时刻 QoS 属性评价之和的平均值,作为该新资源 QoS 属性评价的初始值。本文主要研究被调用过、且用户给予评价的资源服务(即旧资源)的评价合成方法。如果资源服务是一个旧资源,则其 QoS 属性的评价可基于曾与它进行交易的用户评价进行计算。文献[10]中提到,针对一个评价目标,根据用户群体得到初始不确定性值有两种方法:a)用户群体对评价目标作出清晰的评价,然后基于这些用户给出的评价计算其频

率来得到不确定性值;b)用户直接给出其不确定性值(如隶属度、概率等)。文献[7]采用第一种方法,通过分别计算用户群体对资源服务 QoS 各属性正面和反面评价的频率作为该资源服务在某一时间段 QoS 各属性的集成评价,并以直觉模糊集的形式进行表示。本文采用第二种方法,即用户直接给出其对交易资源服务 QoS 各属性性能及各属性权重的不确定性评价。

假设 K 个用户个体组成的用户群体 $U = \{U^1, U^2, \dots, U^k, \dots, U^K\}$,用户 U^k 对与其进行过交易的资源服务 RS^i 在非功能 QoS 属性 c_j 下的性能评价值为 x_{kj}^i ,QoS 属性权重的评价值为 w_{kj} (这里 x_{kj}^i 和 w_{kj} 都为三角模糊数,即 $x_{kj}^i = (x_{kj}^{iL}, x_{kj}^{iM}, x_{kj}^{iR})$, $w_{kj} = (w_{kj}^L, w_{kj}^M, w_{kj}^R)$)。即用户群体对每个资源服务各个非功能 QoS 属性的性能评价以及其对 QoS 属性权重的评价值分别构成三角模糊数决策矩阵 $E_{RS^i} = (x_{kj}^i)_{K \times J}$ 和 $E_W = (w_{kj})_{K \times J}$ ($i = 1, 2, \dots, M$)。

2.1.1 用户评价一致性合成中的权重确定

本文采用线性归一方法将 QoS 各个属性转换到一个可比较的范围,归一化后的模糊决策矩阵为

$$E_{RS^i}^* = (e_{kj}^i)_{K \times J} = \left(\frac{x_{kj}^{iL}}{(x_j^i)^+}, \frac{x_{kj}^{iM}}{(x_j^i)^+}, \frac{x_{kj}^{iR}}{(x_j^i)^+} \right) \quad (x_j^i)^+ = \max_k x_{kj}^{iR} \quad (1)$$

由于本文采用语言变量描述属性评价,因此上式可同时适用于效益型和成本型属性的归一化。

将用户群体评价意见进行合成的常用方法有几何平均法、加权求和法、一致性合成法等。文献[11]的研究表明,用户权重和评价一致性的复合作用对评价合成结果也有一定的影响。因此,本文将用户权重、评价一致性以及用户权重和评价一致性的综合影响进行合成得到用户评价权重。根据文献[11]中提出的方法,用户评价一致性合成中权重确定的过程如下。

1) 用户权重

用户在所有交易中得到的信誉评分的集结值称为该用户的信誉。在对资源服务 RS^i 的 QoS 属性 c_j 性能进行评价中,为了避免部分用户可能给出的恶意评价的不良影响,对不同信誉值的用户应赋予不同的权重。例如,信誉值高的用户,根据文献[12]中给出的评分规则,其评价意见应该比信誉值低的用户更具可信性,则他的权重应该大于信誉值低的用户权重。因此,本文将用户的信誉度作为用户权重,即利用文献[12]中给出的用户信誉值计算方法(即根据用户对先前交易服务的有效评价的数量来计算用户的信誉值),假定各用户的信誉值已经获得并用 $Tu = \{Tu_1, Tu_2, \dots, Tu_k, \dots, Tu_K\}$ 表示,那么用户 U^k 的权重 W_{U^k} 就可表示为

$$W_{U^k} = \frac{Tu_k}{\sum_{i=1}^K Tu_k} \quad (2)$$

2) 评价的一致性

对归一化后的用户评价决策矩阵 $E_{RS^i}^*$ 计算任意两个用户评价 $e_{kj}^i = (e_{kj}^{iL}, e_{kj}^{iM}, e_{kj}^{iR})$ 和 $e_{k^*j}^i = (e_{k^*j}^{iL}, e_{k^*j}^{iM}, e_{k^*j}^{iR})$ 的相似度。鉴于用户评价采用三角模糊数表示,用如下相似度计算公式^[13]:

$$Se_{kj}^i(k, k^*) = 1 - (|e_{kj}^{iL} - e_{k^*j}^{iL}| + |e_{kj}^{iM} - e_{k^*j}^{iM}| + |e_{kj}^{iR} - e_{k^*j}^{iR}|) / 3 \quad (3)$$

计算用户 U^k 关于资源服务 RS^i 在 QoS 属性 c_j 下的评价在用户群体中的平均一致度 Se_{kj}^i ,公式为

$$Se_{kj}^i = \frac{1}{K-1} \sum_{k^*=1, k^* \neq k}^K Se_{kj}^i(k, k^*) \quad (4)$$

并以此计算用户 U^k 评价的相对一致度 Sre_{kj}^i :

$$Sre_{kj}^i = \frac{Se_{kj}^i}{\sum_{k=1}^K Se_{kj}^i} \quad (5)$$

Sre_{kj}^i 反映了用户 U^k 的评价与其他用户评价的一致性程度,其值越大说明 U^k 的评价能够代表大多数的意见。

3) 用户权重和评价一致性的复合

将用户权重 W_{Uk} 和平均一致度 Se_{kj}^i 复合作用的影响进行考虑,计算用户 U^k 评价的平均加权一致度 Ie_{kj}^i 为

$$Ie_{kj}^i = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1, k \neq k^*}^K W_{Uk} \times Se_{kj}^i \quad (6)$$

进而得到用户 U^k 评价的相对加权一致度 Ire_{kj}^i :

$$Ire_{kj}^i = \frac{Ie_{kj}^i}{\sum_{k=1}^K Ie_{kj}^i} \quad (7)$$

Ire_{kj}^i 值越大,说明其与权重大的用户的评价越一致,则他的评价对群体评价的结果具有更大的影响。同时也体现了两个权重较大用户之间的评价一致性程度比两个权重较小用户之间的评价一致性程度对合成结果的影响更大。

4) 用户评价权重的确定

将用户的权重 W_{Uk} 、评价的相对一致度 Sre_{kj}^i 和相对加权一致度 Ire_{kj}^i 三项进行合成得到用户评价的权重。公式为

$$WE_{kj}^i = \alpha W_{Uk} + \beta Sre_{kj}^i + \gamma Ire_{kj}^i \quad (8)$$

其中: $\alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha > \gamma, \beta > \gamma$, 且 $\sum_{k=1}^K WE_{kj}^i = 1$ 。若 $\alpha = 1$, 即只考虑用户信誉的作用而忽略用户评价一致度的影响;若 $\beta = 1$, 即只考虑用户评价一致度的影响;若 $\alpha > \beta$, 即强调用户权重的影响;若 $\beta > \alpha$, 即强调用户评价一致度的影响。

2.1.2 资源服务评价可信程度的衰减

由于资源服务的 QoS 是随时间和交易结果动态变化的,一般情况下,用户对其交易资源服务 QoS 的评价的可信程度随时间推移会有一定程度的衰减^[7]。因此,在资源服务的 QoS 属性评价中引入调整函数,令 $f(t_q)$ 表示资源服务 RS^i 在 t_q 时间段 QoS 属性 c_j 性能评价 $e_{kj}^i(t_q)$ 可信程度的衰减值, $f(t_q)$ 的表达式如下:

$$f(t_q) = e^{-\Delta t_q / \theta} \cdot f(t_q) \in [0, 1] \quad \Delta t_q = t_c - t_q, \theta = N_{\text{date}} / 1.95 \quad (9)$$

其中: t_c 和 t_q 分别表示资源服务交易的当前时刻和早于当前交易 q 个时间段的时刻; N_{date} 表示资源服务 QoS 属性性能评价可信程度从最好衰减到最差所需的时间。

2.1.3 RS^i 的 QoS 属性 c_j 从 t_0 到 t_c 时间段的合成评价

假设资源服务 RS^i 的用户评价在交易的早期时刻 t_0 到当前时刻 t_c 时间段内存在 p 个不同的评价时间段,令 $f(t) = (f(t_1), f(t_2), \dots, f(t_q), \dots, f(t_p))$, 并假定用户 U^k 关于资源服务 RS^i 在非功能 QoS 属性 c_j 下的性能评价 e_{kj}^i 属于 t_q 时间段,综合考虑用户评价一致性合成中的权重和评价可信程度随时间衰减的特性,资源服务 RS^i 非功能 QoS 属性 c_j 从 t_0 到 t_c 时间段的合成评价 $E_j^i = (E_j^{iL}, E_j^{iM}, E_j^{iR})$ 可表示为

$$E_j^i = \sum_{k=1}^K e_{kj}^i \times WE_{kj}^i \times f(t_q) = \left(\sum_{k=1}^K e_{kj}^{iL} \times WE_{kj}^i \times f(t_q), \sum_{k=1}^K e_{kj}^{iM} \times WE_{kj}^i \times f(t_q), \sum_{k=1}^K e_{kj}^{iR} \times WE_{kj}^i \times f(t_q) \right) \quad (10)$$

其中: WE_{kj}^i 和 $f(t_q)$ 越大,说明用户 U^k 的评价 e_{kj}^i 对用户群体评价合成结果的影响越大。

2.2 非功能 QoS 属性权重的合成

本文采用 2.1.1 节中用户评价权重的确定方法来计算用户评价在非功能 QoS 属性权重合成中的权重。步骤如下:

a) 用户 U^k 的权重计算参见式(2)。

b) 对非功能 QoS 属性权重的用户评价决策矩阵 E_w 计算

任意两个用户评价 w_{kj} 和 w_{k^*j} 的相似度:

$$Sw_{kj}(k, k^*) = 1 - (|w_{kj}^L - w_{k^*j}^L| + |w_{kj}^M - w_{k^*j}^M| + |w_{kj}^R - w_{k^*j}^R|) / 3 \quad (11)$$

计算用户 U^k 评价的平均一致度 Sw_{kj} 和相对一致度 Srw_{kj} :

$$Sw_{kj} = \frac{1}{K-1} \sum_{k^*=1, k^* \neq k}^K Sw_{kj}(k, k^*) \quad (12)$$

$$Srw_{kj} = \frac{Sw_{kj}}{\sum_{k=1}^K Sw_{kj}} \quad (13)$$

c) 计算用户 U^k 评价的平均加权一致度 Iw_{kj} 和相对加权一致度 Irw_{kj} :

$$Iw_{kj} = \frac{1}{K-1} \sum_{k^*=1, k^* \neq k}^K w_{Uk} \times Sw_{kj} \quad (14)$$

$$Irw_{kj} = Iw_{kj} / \sum_{k=1}^K Iw_{kj} \quad (15)$$

d) 用户评价权重的确定,公式为

$$Ww_{kj} = \alpha W_{Uk} + \beta Srw_{kj} + \gamma Irw_{kj} \quad (16)$$

其中: $\alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha > \gamma, \beta > \gamma$, 且 $\sum_{k=1}^K Ww_{kj} = 1$ 。

e) 非功能 QoS 属性权重的一致性合成。令 $w_j^* = (w_j^L, w_j^M, w_j^R)$ 表示非功能 QoS 属性 c_j 的一致性合成权重。将用户对非功能 QoS 属性权重的评价 $E_w = (w_{kj})_{K \times J}$ 按照用户评价的权重进行合成,得到非功能 QoS 属性权重的合成评价,公式为

$$W^* = [w_j^*] = [\sum_{k=1}^K w_{kj} \times Ww_{kj}]$$

$$w_j^L = \sum_{k=1}^K w_{kj}^L \times Ww_{kj}, w_j^M = \sum_{k=1}^K w_{kj}^M \times Ww_{kj}, w_j^R = \sum_{k=1}^K w_{kj}^R \times Ww_{kj} \quad (17)$$

其中: Ww_{kj} 反映了用户 U^k 的评价 w_{kj} 影响用户群体评价合成结果的各种因素, Ww_{kj} 越大, w_{kj} 对合成结果的影响越大。

2.3 计算各候选资源服务与理想解的贴近度

考虑到每个非功能 QoS 属性重要性程度的不同,构造候选资源服务 CRSs 的加权评价矩阵 EW_{CRSs} :

$$EW_{\text{CRSs}} = [V_{ij}]_{M \times J} \quad (18)$$

其中: $V_{ij} = w_j^* E_j^i = (w_j^L E_j^{iL}, w_j^M E_j^{iM}, w_j^R E_j^{iR})$

计算正理想解 $E^+ = \{E_1^+, E_2^+, \dots, E_j^+, \dots, E_J^+\}$ 和负理想解 $E^- = \{E_1^-, E_2^-, \dots, E_j^-, \dots, E_J^-\}$, 公式为

$$E_j^+ = (E_j^{+L}, E_j^{+M}, E_j^{+R}) = (\max_{1 \leq i \leq M} V_{ij}^L, \max_{1 \leq i \leq M} V_{ij}^M, \max_{1 \leq i \leq M} V_{ij}^R) \\ E_j^- = (E_j^{-L}, E_j^{-M}, E_j^{-R}) = (\min_{1 \leq i \leq M} V_{ij}^L, \min_{1 \leq i \leq M} V_{ij}^M, \min_{1 \leq i \leq M} V_{ij}^R) \quad (19)$$

则候选资源服务与正、负理想解的距离分别为

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^J d(V_{ij}, E_j^+) \quad i = 1, 2, \dots, M \\ d_i^- = \sum_{j=1}^J d(V_{ij}, E_j^-) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (20)$$

其中: $d(\cdot, \cdot)$ 为两个模糊数之间的距离,采用文献[9]提出的距离计算公式,上式可变为

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^J \sqrt{\frac{1}{3} [(V_{ij}^L - E_j^{+L})^2 + (V_{ij}^M - E_j^{+M})^2 + (V_{ij}^R - E_j^{+R})^2]} \\ d_i^- = \sum_{j=1}^J \sqrt{\frac{1}{3} [(V_{ij}^L - E_j^{-L})^2 + (V_{ij}^M - E_j^{-M})^2 + (V_{ij}^R - E_j^{-R})^2]} \quad (21)$$

进而采用下式计算各候选资源服务 RS^i 与理想解的相对贴近度 RC_i :

$$RC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (22)$$

按照 RC_i 的大小对候选资源服务进行排序。 RC_i 的值越高,表示该资源服务最接近正理想解,而同时又最远离负理想解。因此, RC_i 值最高的资源服务为最佳选择。

3 实验仿真

3.1 应用实例

面向制造业的服务平台可以提供产品设计、制造、实验、管

理等产品全生命周期过程的各类制造服务。参考文献[14],并将本文提出的资源服务优化选择算法融入到该平台,融合后的资源服务选择的机制和架构如图 1 所示。当用户通过该制造服务平台门户网站请求能够完成产品参数化设计的服务时,平台通过资源服务匹配器可能会检索出大量满足用户功能需求的资源服务,如分别由 SolidWorks、Pro/Engineer、CATIA、Unigraphics 等开发的资源服务,可进一步利用本文提出的算法从这些候选资源服务集合中选择最优的资源服务来为用户服务。具体的实验数据、算法步骤和算法性能分析如下。

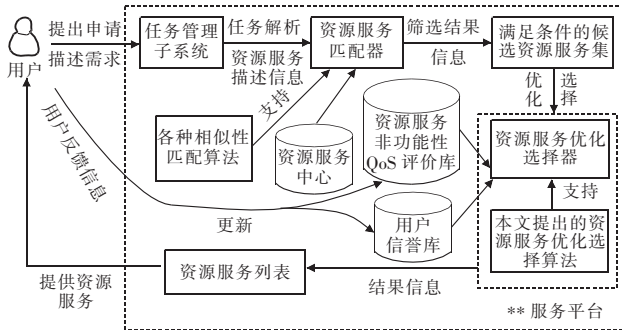


图 1 资源服务选择的机制和架构

3.2 实验数据

假设上述服务平台通过相应的搜索和匹配机制搜索出三个满足用户功能需求的资源服务 RS^1 、 RS^2 、 RS^3 ,可进一步利用本文提出的方法对这三个候选资源服务的非功能 QoS 属性进行评估、排序,进而选择最优的资源服务来为用户服务。

本文参照文献[7],选取六个非功能 QoS 属性 $C = \{\text{可信性,可靠性,可用性,可扩展性,准确性,安全性}\}$ 作为所采用的实验数据。假设五个用户组成的用户群体 $U = \{U^1, U^2, U^3, U^4, U^5\}$ 曾与这三个候选资源服务进行过交易。用户群体利用本文定义的性能评价等级语言变量和权重等级语言变量分别对每个候选资源服务关于各非功能 QoS 属性的性能评价值和 QoS 属性权重的评价值如表 3、4 所示。

表 3 用户群体对候选资源服务在各项 QoS 属性下的评价值

RS_s	U^i	c_j						time period
		c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	
RS^1	U^1	G	G	G	MG	G	G	20120125
	U^2	G	G	G	MG	MG	G	20120225
	U^3	G	G	G	G	MG	G	20120325
	U^4	G	G	G	MG	G	G	20120425
	U^5	G	G	G	G	G	G	20120325
RS^2	U^1	G	G	VG	G	MG	G	20120125
	U^2	MG	MG	G	MG	MG	MG	20120225
	U^3	G	G	G	G	G	MG	20120325
	U^4	G	G	VG	G	G	G	20120425
	U^5	G	G	G	G	G	G	20120325
RS^3	U^1	G	G	VG	G	G	G	20120125
	U^2	G	VG	VG	G	VG	G	20120225
	U^3	G	VG	VG	G	VG	VG	20120325
	U^4	VG	G	G	G	G	G	20120425
	U^5	P	P	P	P	P	P	20120325

表 4 用户群体对候选资源服务各项 QoS 属性权重的评价值

U^i	c_j					
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
U^1	VH	VH	VH	M	H	H
U^2	H	H	VH	H	VH	VH
U^3	VH	VH	H	VH	H	H
U^4	MH	H	VH	ML	VH	VH
U^5	H	H	H	VL	VH	VH

3.3 算法演示

根据前文给出的实验数据,利用本文提出的方法对三个候选资源服务进行排序,具体步骤如下:

a) 根据本文定义的语言等级变量和语言权重变量将这些语言评价值转换为三角模糊数,构造模糊决策矩阵 E_{RS^i} 和 E_w ,并利用式(1)将用户评价决策矩阵 E_{RS^i} 归一化为 $E_{RS^i}^*$ 。

b) 假设五个用户的信誉值为 $Tu = \{0.80, 0.95, 0.88, 0.75, 0.20\}$,令参数 α, β, γ 分别取值为 0.6、0.3、0.1, $N_{date} = 230$,并假设当前的交易时刻 t_c 为 20110425。根据式(2)~(10)计算得到的各候选资源服务 QoS 属性的合成评价如表 5 所示。

表 5 候选资源服务 QoS 属性的合成评价

c_j	RS^1	RS^2	RS^3
可信性 c_1	(0.4999, 0.6428, 0.7142)	(0.4732, 0.6163, 0.7017)	(0.5041, 0.6196, 0.6740)
可靠性 c_2	(0.4999, 0.6428, 0.7142)	(0.4732, 0.6163, 0.7017)	(0.5318, 0.6357, 0.6778)
可用性 c_3	(0.4999, 0.6428, 0.7142)	(0.5606, 0.6731, 0.7142)	(0.5547, 0.6474, 0.6781)
可扩展性 c_4	(0.4093, 0.5521, 0.6686)	(0.4732, 0.6163, 0.7017)	(0.4627, 0.5999, 0.6760)
准确性 c_5	(0.4369, 0.5798, 0.6828)	(0.4526, 0.5957, 0.6913)	(0.5318, 0.6357, 0.6778)
安全性 c_6	(0.4999, 0.6428, 0.7142)	(0.4369, 0.5798, 0.6828)	(0.4992, 0.6182, 0.6760)

c) 根据式(11)~(17)得到 QoS 属性的合成权重

$W^* = \{(0.7490, 0.9048, 0.9803), (0.7875, 0.9438, 1), (0.8319, 0.9660, 1), (0.4596, 0.6189, 0.7411), (0.8125, 0.9562, 1), (0.8125, 0.9562, 1)\}$ 。

d) 利用式(18)计算候选资源服务的加权评价矩阵 EW_{CRSs} ,并根据式(19)分别计算正理想解 E^+ 和负理想解 E^- 。

根据式(20)和(21)计算得到的各候选资源服务与正、负理想解的距离和由式(22)计算得到的各候选资源服务与理想解的相对贴适度如表 6 所示。

表 6 资源服务 RS^1, RS^2, RS^3 的最终评估结果

m	d_i^+	d_i^-	RC_i
1	0.136 2	0.131 6	0.491 3
2	0.143 9	0.118 7	0.452 0
3	0.118 9	0.181 2	0.603 8

e) 根据表 6 中各候选资源服务与理想解的贴适度结果,得到候选资源服务的排序为 $RS^3 > RS^1 > RS^2$ 。因此, RS^3 为最优的资源服务。

由表 6 中给出的各候选资源服务与理想解的贴适度结果,结合表 3 和 4 可以看出,本文方法能够正确地选择出最优的资源服务。

3.4 算法性能分析

3.4.1 算法准确度分析

为了验证本文方法所选出的服务与真实情况的相符程度,以及用户评价一致性合成和 QoS 属性权重一致性合成中的相关参数 α, β, γ 取不同组合值时对最终服务排序结果的影响,本文又对 α, β, γ 取不同数值时的计算结果进行了比较。多次参数取值及实验结果如表 7 所示。

表 7 参数取不同值时候选资源服务的排序

参数取值	RC_1	RC_2	RC_3	排序
$\alpha = 0.6; \beta = 0.3; \gamma = 0.1$	0.491 3	0.452 0	0.603 8	$RS^3 > RS^1 > RS^2$
$\alpha = 1; \beta = 0; \gamma = 0$	0.445 6	0.369 5	0.729 2	$RS^3 > RS^1 > RS^2$
$\alpha = 0; \beta = 1; \gamma = 0$	0.577 4	0.590 1	0.418 9	$RS^2 > RS^1 > RS^3$
$\alpha = 0.3; \beta = 0.6; \gamma = 0.1$	0.533 2	0.520 3	0.509 3	$RS^1 > RS^2 > RS^3$
$\alpha = 0.45; \beta = 0.45; \gamma = 0.1$	0.511 6	0.485 8	0.556 8	$RS^3 > RS^1 > RS^2$

由表 7 中给出的最终候选资源的排序情况,结合表 3 和 4 可以看出,本文方法给出的排序结果与实际情况相符合。进一步分析表 7 的结果,可得到以下结论:

a) 当 $\alpha=0, \beta=1, \gamma=0$ 时, 由式(8)(16)可知用户评价的权重等于用户群体的一致度。信誉值较低的用户 U^5 (恶意评价者) 对资源服务 RS^3 的评价很差, 虽然 RS^3 的服务质量很好, 且大部分用户对其评价很高, 但由于不考虑用户的权重(信誉), 从而导致其排在服务质量低于它的 RS^2, RS^1 之后。

b) 当考虑用户的权重, 且 $\alpha \geq \beta$ (即用户权重占主导地位) 时, 由表3可以看出, 尽管用户 U^5 对资源服务 RS^3 的评价很差, 但因其信誉值很低, 其评价意见在评价一致性合成中占的份量较小, 因此 RS^3 排在前面。

c) 当考虑用户的权重, 且 $\alpha < \beta$ 时, 由表3可知, 虽然将用户的权重考虑在内, 但用户 U^5 对 RS^3 的评价与其他用户的评价相差较大, 而用户群体的一致度占主导地位, 因此 RS^3 排在了后面。

综上所述, 将用户的信誉度考虑在内, 能在一定程度上抵制恶意评价对资源服务质量评价的影响, 从而有利于平台筛选出真正最优的资源服务, 提高方法的精确度。

3.4.2 与现有方法的比较

与文献[7]提出的方法相同, 本文也将用户的感知和时间因素考虑在内。而在计算 QoS 属性集成评价时, 文献[7]是通过分别计算用户群体对资源服务 QoS 各属性正面、负面评价的频率来获得初始评价, 而本文则是将用户群体直接给出的资源服务 QoS 各属性的不确定性值, 经过一系列的一致性合成计算来获得的, 因此, 本文获得的集成评价准确性相对更高; 同时, 为避免部分用户可能给出的恶意评价的不良影响, 在用户评价合成中, 本文将用户的信誉考虑在内, 这能在一定程度上避免这些恶意用户的误导作用, 从而减少恶意评价对资源服务综合评价的影响。

3.4.3 算法效率分析

为了分析本文提出算法的运行效率, 本文在不同规模和评价属性个数的条件下进行了多次实验。实验中参与评价的用户群体个数为15, 候选资源服务 CRSs 的数量 M 以增量500从500变化到5000, 每个资源服务 QoS 属性的数量 J 以增量4从4变化到20; 实验用机配置为主频2.4 GHz、内存2.0 GB、操作系统环境为 Windows 7, 实验软件为 MATLAB R2010a; 实验结果都为独立重复10次实验的平均测试结果。实验结果如图2所示。

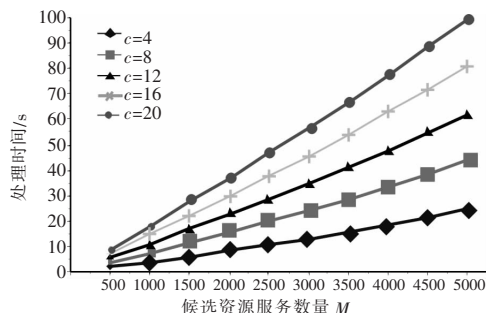


图2 测试数据的数量与处理时间之间的关系

从图2可以看出, 对于给定的任务, 在相同数量候选资源服务条件下, 随着资源服务 QoS 属性数量的增加, 算法运行时间增量较小; 并且当每个任务的候选资源服务数量 M 从500递增到5000时, 算法所需要的运行时间大致呈线性速度增长。例如, 当 $M=500$, QoS 属性数量 $J=20$ 时, 算法整体运行时间约为10 s; 当 $M \leq 5000, J \leq 20$ 时, 运行时间小于100 s。与文献[7]相比, 虽然本文提出的方法运行时间相对较长, 一是因为

两者的数据表示形式不同, 二是本文增加了对用户评价一致性合成的考虑, 但在准确率方面得到了补偿。

4 结束语

本文针对面向服务领域的资源服务优化选择问题进行了研究与讨论, 提出基于 fuzzy TOPSIS 的资源服务优化选择算法。该方法在模糊评价的基础上综合考虑影响评价的各种因素, 在资源服务 QoS 性能评价合成中既能反映多数用户的意见, 又能体现高信誉用户的地位, 同时兼顾了时间因素的影响, 使结果可靠性得到了较大程度的改善, 从而提高了评价精度。此外, 充分考虑了资源服务的动态性, 并通过引入时间衰减函数进一步提高了结果的可信度, 在给定算例上的实验结果验证了本算法的可行性。然而, 由于本算法需要消耗时间计算评价合成阶段中用户评价意见的相似性, 导致其时间复杂度为 $O(M \times N \times K^3)$ 。接下来的工作将考虑如何进一步完善和改进算法, 特别是降低算法的时间复杂度。

参考文献:

- [1] 李金忠, 夏洁武, 唐卫东, 等. 基于 QoS 的 Web 服务选择算法综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(10): 3622-3627, 3638.
- [2] ZHOU Chen, CHIA L T, LEE B S. Semantics in service discovery and QoS measurement[J]. IT Professional, 2005, 7(2): 29-34.
- [3] WANG Ping. QoS-aware Web services selection with intuitionistic fuzzy set under consumer's vague perception[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 4460-4466.
- [4] WANG Ping, CHAO Kuo-ming, LO Chi-chun. On optimal decision for QoS-aware composite service selection[J]. International Journal of Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 440-449.
- [5] ZHANG Yong, ZHANG Shen-sheng, HAN Song-qiao. A new methodology of QoS evaluation and service selection for ubiquitous computing[C]//Proc of the 1st International Conference on Wireless Algorithm, Systems, and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 69-80.
- [6] CHEN Mei-fang, TZENG G H, DING C G. Fuzzy MCDM approach to select service provider[C]//Proc of the 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 2003: 572-577.
- [7] TAO Fei, ZHAO Dong-ming, ZHANG Lin. Resource service optimal-selection based on intuitionistic fuzzy set and non-functionality QoS in manufacturing grid system[J]. Knowledge and Information Systems, 2010, 25(1): 185-208.
- [8] HWANG K L, YOON K. Multiple attribute decision making: methods and applications: a state-of-the-art survey[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- [9] CHEN C T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114(1): 1-9.
- [10] RESCONI G, KOVALERCHUK B. Agents' model of uncertainty[J]. Knowledge and Information Systems, 2009, 18(2): 213-229.
- [11] 赵海燕, 曹健, 张友良. 一种群体评价一致性合成方法[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(7): 52-57.
- [12] WANG Ping, CHAO Kuo-ming, LO Chi-chun, et al. QoS-aware service selection under consumer's reputation[C]//Proc of IEEE International Conference on e-Business Engineering. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008: 627-632.
- [13] CHEN S J, CHEN S M. A new method to measure the similarity between fuzzy numbers[C]//Proc of the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 2001: 1123-1126.
- [14] TAO Fei, HU Ye-fa, ZHAO Dong-ming, et al. Study on resource service match and search in manufacturing grid system[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 43(3-4): 379-399.