

考虑 QoS 偏好的多属性群决策服务选择策略^①

李小林¹, 张力娜²

¹(咸阳师范学院 信息工程学院, 咸阳 712000)

²(咸阳师范学院 数学与信息科学学院, 咸阳 712000)

摘要: 面对多个功能相同或相似的服务, 服务的 QoS 是服务选择中重要的考虑因素. 将 QoS 属性分为精确数型、区间数型和三角模糊数型. 在此基础上, 利用 TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution)条件下的多属性群决策模型给出了服务选择过程, 该过程考虑了多个决策者在决策过程中所占的权重, 以及多个决策者不同的 QoS 偏好权重. 通过一个实例验证了该方法的有效性.

关键词: Web 服务选择; QoS 偏好; 群决策; TOPSIS; 理想解

Service Selection Strategies Based on Multi-Attribute Group Decision-Making Considering QoS Preference

LI Xiao-Lin¹, ZHANG Li-Na²

¹(School of Information Engineering, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

²(School of Mathematics and Information Science, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

Abstract: When facing with multiple Web services with the same or similar functionality, QoS (quality of service) has become an important criterion for users to select the appropriate Web services. We present a QoS model, the QoS attributes are divided into exact numeric type, interval numeric and Triangular fuzzy numeric. We propose a kind of multi-attribute group decision-making model based on TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) to select Web services, which considers weights of multiple decision makers and weights of the QoS preference in the decision process. The example proves that the method is feasible.

Key words: Web service selection; QoS preference; group decision-making; TOPSIS; ideal solution

1 引言

随着 Web 服务技术越来越广泛的应用, 如何在互联网上找到满足客户要求的服务变得越来越重要. SOAP, WSDL 和 UDDI 已经成为 Web 服务的可靠标准, 为服务的注册、发现、绑定和调用奠定了基础. 开放标准的采用使得 Web 服务具有很好的互操作性, 自描述、模块化的特性, 允许采用任何编程语言在任何平台上开发松耦合的应用部件, 并通过适当的服务组合支持面向服务应用的集成和开发^[1]. 当前, 在许多领域如机票订购、音乐下载等领域都存在着大量功能相似或相同但服务质量不同的服务, 这使得服务选择变成一个复杂的问题. 尽管 Web 服务有很大的应用潜力,

但是据研究机构调查, 大部分 Web 服务不能满足用户的个性化需求, 即当用户面对大量功能相同或相似的服务时, 用户在服务选择时无所适从. 所以根据用户个性化 QoS 偏好进行服务选择很重要.

基于 Web 服务个性化 QoS 偏好进行服务发现涌现了大量的研究文献. 文献[2]提出了多用户的 Web 服务选择, 当多个用户的 QoS 偏好信息不完全时, 有可能存在偏好冲突. 文献在 CP-net 基础上, 综合考虑所有用户的偏好, 选出满足大部分用户偏好的服务. 文献[3]构建了三维 QoS 模型, 利用层次分析法对用户的模糊偏好进行处理, 最后利用模糊综合评判对服务进行综合评判. 文献[4]利用三角模糊数来描述 QoS 属性和

^① 基金项目: 陕西省教育厅专项科研基金(2013JK1203); 咸阳师范学院专项科研基金(10XSYK308, 13XSYK054, 13XSYK057)

收稿时间: 2014-04-03; 收到修改稿时间: 2014-05-26

用户偏好权重, 利用权重和法计算每个组合服务的模糊总目标, 并将模糊总目标的比较问题转化为多目标优化问题, 并设计了模糊多目标遗传算法求得 Pareto 最优解, 但计算过程较为繁琐. 文献[5]根据直觉模糊集的知识给出用户 QoS 属性偏好程度的语言描述, 然后通过查找对照表将其换算成各个 QoS 属性的权重系数; 最后使用 QoS 属性值和权重系数进行候选服务的综合评价, 得到最接近满足用户不确定偏好的候选服务. 以往的这些研究只考虑了一位决策专家的 QoS 偏好进行服务选择, 本文将 QoS 属性表示为精确数型、区间数型和三角模糊数型, 然后利用模糊多属性群决策理论, 给出了考虑多个决策者 QoS 偏好的情况下的服务选择策略.

2 相关知识

对区间数和三角模糊数相关知识的说明如下.

定义 1. 设 $\tilde{a} = [a^L, a^H] = \{x | a^L \leq x \leq a^H, a^L, a^H \in \mathbf{R}\}$, 则 \tilde{a} 为一个区间数. 特别地, 若 $a^L = a^H$, 则 \tilde{a} 退化为一个实数.

定义 2. 设 $\tilde{a} = [a^L, a^H], \tilde{b} = [b^L, b^H]$ 为两区间数, 且 \tilde{a}, \tilde{b} 都为非负区间, 则区间数的运算规则为:

$$\tilde{a} + \tilde{b} = [a^L + b^L, a^H + b^H]$$

$$\tilde{a} \times \tilde{b} = [a^L b^L, a^H b^H]$$

$$\lambda \tilde{a} = [\lambda a^L, \lambda a^H]$$

定义 3. 设 $\tilde{a} = [a^L, a^H], \tilde{b} = [b^L, b^H]$ 为两区间数, 区间数 \tilde{a}, \tilde{b} 之间的距离为 $d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{|a^L - b^L|^2 + |a^H - b^H|^2}$

定义 4. 设 $\tilde{a} = [a^L, a^H]$ 为区间数, 其期望值为 $E(\tilde{a}) = 1/2(a^L + a^H)$

定义 5. 设 $Y = (a, b, c)$, 其中 $0 < a < b < c$, 则称 Y 为一个三角模糊数, 其隶属度函数表示为:

$$\mu_Y(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a < x < b \\ (x-c)/(b-c), & b < x < c \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

定义 6. 设 $\zeta = (a_1, b_1, c_1), \eta = (a_2, b_2, c_2)$, 则三角模糊数的运算规则为:

$$\zeta + \eta = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2),$$

$$\zeta \times \eta = (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2),$$

$$\lambda \zeta = (\lambda a_1, \lambda b_1, \lambda c_1)$$

定义 7. 设 $\zeta = (a_1, b_1, c_1), \eta = (a_2, b_2, c_2)$ 为两三角模糊数, 则两三角模糊数 ζ, η 之间的距离为:

$$d(\zeta, \eta) = \sqrt{|a_1 - a_2|^2 + |b_1 - b_2|^2 + |c_1 - c_2|^2}$$

定义 8. 三角模糊数 $Y = (a, b, c)$ 的期望值为:

$$E(Y) = 1/3(a + b + c)$$

3 服务QoS定义

本文给出的 QoS 模型主要包括 5 个属性: price, availability, time, reliability 和 reputation. price 和 availability 采用精确数型来度量, 由于网络环境的动态性特点, 该值会动态变化, 所以将响应时间指定为区间型 $[t^L, t^U]$, $\text{Time} = [\min(t_1, t_2, \dots, t_n), \max(t_1, t_2, \dots, t_n)]$, $\max(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 和 $\min(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 分别代表响应时间的最大值和最小值. 由于网络的动态性, 以及执行环境的不确定性, 该值会动态变化, 所以该值适宜表示为区间型数值, $\text{Reliability} = [r^L, r^U]$, r^L 可靠性的下限, r^U 为可靠性的上限. reputation 代表服务信誉度, 该值为服务使用者使用服务后, 对服务可信程度的反馈评价. 该值适宜表示为语言型数值, 是集合 $S = \{\text{很高, 高, 一般, 低, 很低}\}$ 中的一个元素. 由于语言型变量不宜度量, 而语言型变量和三角模糊数有对应关系, 将其量化为三角模糊数 $\text{Re} = (\text{re}^L, \text{re}^M, \text{re}^H)$. 语言型变量与三角模糊数的转换关系如下^[6]:

表 1 语言型变量与三角模糊数的转换关系

语言变量	三角模糊数
很高	(0.8,0.9,1.0)
高	(0.6,0.7,0.8)
一般	(0.4,0.5,0.6)
低	(0.2,0.3,0.4)
很低	(0.0,1.0,3)

4 采用多属性群决策的服务选择模型

本文在 TOPSIS(technique for order preference by similarity to an ideal solution)^[7]方法基础上采用群决策给出了服务选择模型. 设 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 为候选服务集, $G = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ 为 QoS 的属性集, x_{ij} 为服务集 F 相对于 QoS 属性 G 的值. 设决策矩阵为 $X = (x_{ij})_{n \times m}$, 如 QoS 属性为区间型, 可表示为 $x_{ij} = [a_{ij}, b_{ij}]$; 如果 x_{ij} 为定性评价, 可用三角模糊数表示为 $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$.

设有 s 个决策者记为 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, 在决策中每一个决策者对于不同的 QoS 属性偏好不同, 设 $\omega = (\omega_{ij})_{s \times m}$ 为决策群中 S 个决策者对 QoS 的偏好权重矩阵, 其中 ω_{ij} 表示第 i 个决策者对第 j 个 QoS 属性的偏

好程度. 决策时往往由于决策者地位不同而产生权威性差异, 反映在决策结果中则存在作用差异. 设决策者的权重表示为 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$, $\sum w_i = 1, w_i \in [0, 1]$.

如果 QoS 属性为效益型指标, 当其为单值型时, 规范形式为 $u_{ij}^k = \frac{a_{ij}^k}{\max\{a_{ij}^k\}}$, 当其为区间数型则规范为

$u_{ij}^k = [\frac{a_{ij}^k}{\max\{a_{ij}^k\}}, \frac{b_{ij}^k}{\max\{b_{ij}^k\}}]$, 当其为三角模糊数型时, 则规范为

$u_{ij}^k = (\frac{a_{ij}^k}{\max\{a_{ij}^k\}}, \frac{b_{ij}^k}{\max\{b_{ij}^k\}}, \frac{c_{ij}^k}{\max\{c_{ij}^k\}})$.

如果 QoS 属性为成本型指标, 当其为单值型时, 规范形式为 $u_{ij}^k = \frac{a_{ij}^k}{\min\{a_{ij}^k\}}$, 当其为区间数型则规范为

$u_{ij}^k = [\frac{a_{ij}^k}{\min\{a_{ij}^k\}}, \frac{b_{ij}^k}{\min\{b_{ij}^k\}}]$, 当其为三角模糊数型时, 则规范为

$u_{ij}^k = (\frac{a_{ij}^k}{\min\{a_{ij}^k\}}, \frac{b_{ij}^k}{\min\{b_{ij}^k\}}, \frac{c_{ij}^k}{\min\{c_{ij}^k\}})$.

然后构造加权规范化决策矩阵 U^k .

$$U^k = \begin{bmatrix} u_{11}^k \omega_{11} & \dots & u_{1j}^k \omega_{1j} & \dots & u_{1m}^k \omega_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ u_{i1}^k \omega_{i1} & \dots & u_{ij}^k \omega_{ij} & \dots & u_{im}^k \omega_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ u_{s1}^k \omega_{s1} & \dots & u_{sj}^k \omega_{sj} & \dots & u_{sm}^k \omega_{sm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{11}^k & \dots & u_{1j}^k & \dots & u_{1m}^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ u_{i1}^k & \dots & u_{ij}^k & \dots & u_{im}^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ u_{s1}^k & \dots & u_{sj}^k & \dots & u_{sm}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据决策个体的决策矩阵构造群体决策矩阵

$$U^* = (u_{ij}^*)_{n \times m} \quad u_{ij}^* = \frac{1}{s} [w_1 \times u_{ij}^1 + w_2 \times u_{ij}^2 + \dots + w_s \times u_{ij}^s] \quad (2)$$

在群体决策矩阵确定正理想解 $U^{*+} = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_m^+)$ 和负理想解 $U^{*-} = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_m^-)$.

1)对精确型数值, 令 $u_j^+ = \max_i u_{ij}^*, u_j^- = \min_i u_{ij}^*, j = 1, 2 \quad (3)$

2)对区间型数值和三角模糊型数值, 令 $u_j^+ = \{u_j^+, \max_i E(u_{ij}^*)\}, j = 3, 4, 5 \quad (4)$

$u_j^- = \{u_j^-, \min_i E(u_{ij}^*)\}, j = 3, 4, 5 \quad (5)$

计算各方案与最优方案及最劣方案的距离.

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^m d(u_{ij}^*, u_j^+), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^m d(u_{ij}^*, u_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

最后, 计算每个方案与最优方案的相对贴进度, 贴进度越大, 方案越优.

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

5 实例验证

设现有 4 个功能相似的服务候选集为 $WS = \{ws_1, ws_2, ws_3, ws_4\}$, 表 2 给出了其 QoS 属性集合, 现有 3 个决策者, 采用文献[8]的数据, 决策者对各个 QoS 属性的偏好如表 3. 假设 3 个决策者的权重为 $W = \{0.5, 0.3, 0.2\}$. 采用多属性群决策的服务选择过程如下.

表 2 候选服务集 QoS 属性值

WS	Price	Availability	Time	Reliability	Reputation
WS1	40	0.92	[65,115]	[0.95,0.99]	高
WS2	45	0.9	[60,110]	[0.94,0.97]	一般
WS3	50	0.85	[80,105]	[0.82,0.88]	一般
WS4	35	0.95	[65,105]	[0.95,0.99]	很高

表 3 决策者对 QoS 属性的偏好矩阵

序号/偏好	Price	Availability	Time	Reliability	Reputation
决策者 1	0.36	0.28	0.13	0.08	0.15
决策者 2	0.26	0.47	0.03	0.14	0.10
决策者 3	0.15	0.21	0.43	0.11	0.10

首先根据表 2 构建服务决策矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$.

$$X = \begin{pmatrix} 40 & 0.92 & [65,115] & [0.95,0.99] & (0.6,0.7,0.8) \\ 45 & 0.9 & [60,110] & [0.94,0.97] & (0.4,0.5,0.6) \\ 50 & 0.85 & [80,105] & [0.82,0.88] & (0.4,0.5,0.6) \\ 35 & 0.95 & [65,105] & [0.95,0.99] & (0.8,0.9,1.0) \end{pmatrix}$$

然后对矩阵 X 规范为标准决策矩阵 U.

$$U = \begin{pmatrix} 0.5173 & 0.5079 & [0.8348, 0.2887] & [0.4955, 0.5400] & (0.3906, 0.5217, 0.6963) \\ 0.4599 & 0.4968 & [0.9043, 0.3018] & [0.4903, 0.5291] & (0.2604, 0.3727, 0.5222) \\ 0.4139 & 0.4962 & [0.6782, 0.3162] & [0.4277, 0.4800] & (0.2604, 0.3727, 0.5222) \\ 0.5913 & 0.5244 & [0.8348, 0.3162] & [0.4955, 0.5400] & (0.5208, 0.6708, 0.8704) \end{pmatrix}$$

根据偏好矩阵求加权规范决策矩阵 U^k .

$$U^1 = \begin{pmatrix} 0.186288 & 0.142212 & [0.108524, 0.037531] & [0.03964, 0.0432] & (0.05859, 0.078255, 0.104445) \\ 0.165564 & 0.139104 & [0.117559, 0.039234] & [0.039224, 0.042328] & (0.03906, 0.055905, 0.07833) \\ 0.149004 & 0.138936 & [0.088166, 0.041106] & [0.034216, 0.0384] & (0.03906, 0.055905, 0.07833) \\ 0.212868 & 0.146832 & [0.108524, 0.041106] & [0.03964, 0.0432] & (0.07812, 0.10062, 0.13056) \end{pmatrix}$$

$$U^2 = \begin{pmatrix} 0.134498 & 0.238713 & [0.025044, 0.008661] & [0.06937, 0.0756] & (0.03906, 0.05217, 0.06963) \\ 0.119574 & 0.233496 & [0.027129, 0.009054] & [0.068642, 0.074074] & (0.02604, 0.03727, 0.05222) \\ 0.107614 & 0.233214 & [0.020346, 0.009486] & [0.059878, 0.0672] & (0.02604, 0.03727, 0.05222) \\ 0.153738 & 0.246468 & [0.025044, 0.009486] & [0.06937, 0.0756] & (0.05208, 0.06708, 0.08704) \end{pmatrix}$$

$$U^3 = \begin{pmatrix} 0.77595 & 0.106659 & [0.358964, 0.124141] & [0.054505, 0.0594] & (0.03906, 0.05217, 0.06963) \\ 0.68985 & 0.104328 & [0.388849, 0.129774] & [0.053933, 0.058201] & (0.02604, 0.03727, 0.05222) \\ 0.62085 & 0.104202 & [0.291626, 0.135966] & [0.047047, 0.0528] & (0.02604, 0.03727, 0.05222) \\ 0.88695 & 0.110124 & [0.358964, 0.135966] & [0.054505, 0.0594] & (0.05208, 0.06708, 0.08704) \end{pmatrix}$$

构造群体决策矩阵 U^* .

$$U^* = \begin{pmatrix} 0.049661 & 0.054684 & [0.044523, 0.015397] & [0.017177, 0.01872] & (0.016275, 0.021738, 0.029013) \\ 0.04415 & 0.053489 & [0.048229, 0.016096] & [0.016997, 0.018342] & (0.01085, 0.015529, 0.021758) \\ 0.039734 & 0.053424 & [0.036171, 0.016864] & [0.014827, 0.01664] & (0.01085, 0.015529, 0.021758) \\ 0.056765 & 0.05646 & [0.044523, 0.016864] & [0.017177, 0.01872] & (0.0217, 0.02795, 0.036267) \end{pmatrix}$$

确定决策矩阵的正理想解和负理想解.

$$U^+ = (0.056765, 0.05646, [0.048229, 0.016096], [0.017177, 0.01872], (0.0217, 0.02795, 0.036267))$$

$$U^- = (0.039734, 0.053424, [0.036171, 0.016864], [0.014827, 0.01664], (0.01085, 0.015529, 0.021758))$$

确定各服务的 QoS 属性到理想解的距离.

$$D_1^+ = 0.023635 \quad D_2^+ = 0.037971 \quad D_3^+ = 0.057253 \quad D_4^+ = 0.003785$$

$$D_1^- = 0.033788 \quad D_2^- = 0.019321 \quad D_3^- = 0 \quad D_4^- = 0.053523$$

计算每个方案与最优方案的相对贴近度.

$$C_1^+ = 0.588405 \quad C_2^+ = 0.337237 \quad C_3^+ = 0 \quad C_4^+ = 0.933953$$

对贴近度排序 $C_4^+ > C_1^+ > C_2^+ > C_3^+$, 可知服务 WS4 的 QoS 综合性能最好, 决策者可根据 QoS 的排名选择相应的服务.

6 结语

根据用户 QoS 偏好来选择服务能够满足服务需求者个性化的服务要求. 本文首先分析的目前基于 QoS 偏好服务选择的研究现状, 然后结合实际应用需求将 QoS 属性分为精确数型、区间数型和三角模糊数型. 结

合 TOPSIS 提出了模糊多属性群决策的服务选择方法, 该方法考虑了决策者对 QoS 属性的偏好程度, 体现了按需选择服务的思想.

参考文献

- 1 郭得科,任彦,陈洪辉.一种基于 QoS 约束的 Web 服务选择和排序模型.上海交通大学学报,2007,41(6):870-875.
- 2 周宁,谢俊元.基于定性多用户偏好的 Web 服务选择.电子学报,2011,39(4):729-736.
- 3 熊润群,罗军舟,宋爱波,金嘉晖.云计算环境下 QoS 偏好感知的副本选择策略.通信学报,2011,32(7):93-102.
- 4 冯建周,孔令富.基于模糊 QoS 和偏好权重的 Web 服务组合方法研究.小型微型计算机系统,2012,37(7):1516-1521.
- 5 文俊浩,秦佳,柳玲.一种在用户偏好不确定情况下的 Web 服务选择方法.计算机应用研究,2010,27(6):2147-2149.
- 6 吕翔昊,李登峰.基于模糊信息的群体多目标多维偏好分析决策模型.系统工程与电子技术,2004,26(5):605-607.
- 7 Chen SJ, Huang CL. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York: Springer Verlag, 1992.
- 8 李桢,杨放春,苏森.一种 QoS 感知的语义 Web 服务组合群决策算法.高技术通讯,2009,19(7):693-698.