

基于灰色关联分析的直觉模糊多属性 Web 服务选择

李小林^a, 张力娜^b

(咸阳师范学院 a. 信息工程学院 b. 数学与信息科学学院, 陕西 咸阳 712000)

摘 要: Web 服务的性能主要从非功能属性 QoS 来体现. 提出了将 Web 服务 QoS 属性分为精确型、区间型和语言型, 同时基于层次分析法给出了用户对各 QoS 属性的偏好权重. 引入了直觉模糊集理论将 QoS 属性统一转为直觉模糊数, 并定义了两个直觉模糊数的距离. 在服务选择过程中, 根据灰色关联分析的思想, 计算每个方案对于直觉模糊矩阵正、负理想解的灰色关联度, 然后计算各方案对于正理想解的相对关联度, 并依据相对关联度对各方案排序, 相对关联度越大, 对应服务的综合 QoS 性能越优. 最后通过一个实例验证了该方法的有效性.

关键词: Web 服务选择; 灰色关联分析; 直觉模糊集; 层次分析法; 多属性

中图分类号: TP393.07

文献标志码: A

Web 服务已成为工业界和学术界研究和应用的热点问题, 研究者从服务发现和服务组合的角度对 Web 服务进行了大量的研究. 如何从大量的 Web 服务中找出性能符合要求的服务是 Web 服务发现的主要任务. Web 服务的性能主要从非功能属性 QoS(Quality of Service)来体现, 如: 信誉度, 可靠性等. Zeng^[1] 等人将服务的非功能属性分为性能、可用性、可访问性、完整性、完全性、可靠性、规范性和安全性. 文献[2]将 QoS 信息分为实数、区间数和语言型数据进行描述, 采用模糊多属性决策理论对语言型数据去模糊化、异构决策矩阵标准化和 QoS 综合评估. 文献[3]在 Web 服务选择中考虑用户的 QoS 属性优先偏好, 对初选的服务利用主成分分析的思想, 提出一种可行的 Web 服务选择算法. 该方法根据各主成分的贡献率进行加权, 分离 QoS 各维属性之间存在的相关性, 有效地评价服务的综合 QoS. 文献[4]从多属性决策的角度对 Web 服务非功能属性进行了集结, 其采用的方法是 TOPSIS 法, 通过计算不同 QoS 属性类型值到理想解的距离来获得贴近度, 然后通过贴近度的大小对服务进行优劣排序. 本文认为在处理不同 QoS 属性类型值到理想值的距离时, 使用完全不同的计算方法值得商榷. 本文根据 QoS 属性的特点, 将其分为精确型、区间型和语言型, 并引入直觉模糊集理论统一将其转化为直觉模糊数, 然后和灰色关联分析方法结合起来进行了 QoS 多属性的决策分析.

1 背景知识

1.1 灰色关联分析

1982 我国学者邓聚龙教授发表的一篇论文《灰色控制系统》标志着灰色系统这一学科诞生. 灰色关联分析^[5]是灰色系统的一个分支, 是一种多因素统计分析方法, 它是各因素的样本数据为依据用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序的. 如果样本数据列反映出两因素变化的态势(方向、大小、速度等)基本一致, 则它们之间的关联度较大; 反之关联度较小. 灰色关联分析已经应用到工业、农业、社会、经济、能源、地质、石油等众多科学领域, 成功地解决了生产、生活和科学研究中的大量实际问题, 取得了显著成果.

收稿日期: 2014-10-06; 修回日期: 2015-05-17.

基金项目: 陕西省自然科学基金研究计划(2011JE011); 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(13XSYK054; 13XSYK057).

第 1 作者简介(通信作者): 李小林(1976-), 男, 内蒙古五原人, 咸阳师范学院副教授, 研究方向为服务计算, E-mail: ricky_lxl@163.com.

1.2 直觉模糊集

直觉模糊集^[6-7](intuitionistic fuzzy sets, IFS)自1986年被 Atanassov 提出以来,已经在很多领域得到了广泛的应用,如决策分析、医疗诊断和模式识别等.它从隶属度和非隶属度两个方面描述不确定信息,为信息属性的描述提供了更多的选择方式,在处理不确定信息时具有更强的表现能力.

定义1 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为一非空集合,则 X 中有形如 $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) \mid x \in X\}$ 的三重组,则称 A 是 X 上的一个直觉模糊集.其中 $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ 和 $\nu_A: X \rightarrow [0, 1]$ 均为 X 的隶属函数,且 $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$. $\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 为 X 中元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度. $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$, $\pi_A(x)$ 为直觉模糊集 A 中 x 的直觉指数(intuitionistic index),它是 x 对 A 的犹豫程度(hesitancy degree)的一种测度,其中 $0 \leq \pi_A(x) \leq 1, x \in X$.通常称 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha)$ 为直觉模糊数,且 $\mu_\alpha \in [0, 1], \nu_\alpha \in [0, 1], 0 \leq \mu_\alpha + \nu_\alpha \leq 1$.

定义2 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为一非空集合, A, B 为 X 上的直觉模糊集, $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) \mid x \in X\}, B = \{(x, \mu_B(x), \nu_B(x)) \mid x \in X\}, \pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x), \pi_B(x) = 1 - \mu_B(x) - \nu_B(x)$, 则直觉模糊集 A, B 之间的距离定义为: $d(A, B) = |\mu_A - \mu_B| + |\nu_A - \nu_B| + |\pi_A - \pi_B|$.

定义3 设 $\alpha_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1})$ 和 $\alpha_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$ 为两个直觉模糊数, γ 为大于0的实数,则 $\alpha_1 + \alpha_2 = (\mu_{\alpha_1} + \mu_{\alpha_2} - \mu_{\alpha_1}\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_1}\nu_{\alpha_2}), \gamma\alpha = (1 - (1 - \mu_\alpha)^\gamma, \nu_\alpha^\gamma)$.

2 服务 QoS 描述

QoS 代表 Web 服务的服务质量属性,是 Web 服务满足用户需求能力的度量.本文从价格、可用性、可靠性、时延和信誉度5个方面来描述服务质量.这些属性从不同的角度反映了 Web 服务的性能.

1)价格:客户如果要使用 Web 服务必须支付的费用.2)可用性:代表 Web 服务在一段时间内可用的概率.3)可靠性:代表服务能被成功调用的比率,该值等于服务成功调用的次数和总调用次数的比值.4)时延:客户发出服务调用请求到服务返回结果的时间间隔.5)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.

目前基于 QoS 的服务选择算法都假设所有服务质量属性均以实数的形式给出,这种假设已不能满足在商业应用场合对 QoS 描述的需求,许多文献认为这种描述方法会导致丢失大量有用的信息.在高度开放、动态的网络环境中,服务的 QoS 属性应该以各种形式给出,以增强 QoS 的描述能力^[4].本文将 QoS 属性分为精确型、区间型和语言型.

本文将价格和可用性用精确型数值来描述.对于可靠性和时延,由于网络的动态性和执行环境的变换,本文认为这两个属性适宜表示为区间型数值,区间型数值由区间的上限和下限组成.信誉度是用户对服务可信的评价,具有一定的模糊性,适宜表示为语言型数值,本文将其定义为{绝对好,很好,好,较好,中好,一般,中差,较差,差,很差,绝对差}集合中的一个元素.

为了对以上定义的混合型 QoS 属性评价,应将其转化为统一的描述形式.本文统一将其转化为直觉模糊数.

精确型数值转化为直觉模糊数:

$$f_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij}) = (q_{ij}, 1 - q_{ij}, 0). \quad (1)$$

区间型数值转化为直觉模糊数:

$$f_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij}) = (q_{ij}^L, 1 - q_{ij}^U, q_{ij}^U - q_{ij}^L). \quad (2)$$

语言型数值集合转化为直觉模糊数集合^[8]:

$$L = \{(1, 0, 0), (0.9, 0.05, 0.05), (0.8, 0.1, 0.1), (0.7, 0.15, 0.15), (0.6, 0.2, 0.2), (0.5, 0.5, 0), (0.4, 0.4, 0.2), (0.3, 0.55, 0.15), (0.2, 0.7, 0.1), (0.1, 0.85, 0.05), (0, 1, 0)\}. \quad (3)$$

3 QoS 属性权重因子的确定

在互联网环境中用户对 Web 服务 QoS 属性的偏好是不同的,且带有一定的主观模糊性.用户的偏好可

用 QoS 属性的权重来表示. 本文使用层次分析法^[9] (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 通过比较关联 QoS 属性来对用户模糊的 QoS 偏好进行处理.

步骤 1 构建 AHP 矩阵 $T = (t_{ij})_{n \times n}$, 其中 t_{ij} 表示元素 i 和元素 j 相比较的重要程度. 其值采用 1-9 比例标度法, $t_{ij} > 0, t_{ij} = \frac{1}{t_{ji}}, t_{ii} = 1$.

表 1 给出了标度的含义.

步骤 2 由 AHP 矩阵计算元素的相对权重. 利用方根法计算矩阵 T 的特征向量和最大特征根. 特征向量 ω_i 按(4) 式计算, 其值作为各元素的权重因子.

表 1 标度的含义

标度	标度的含义
1	表示两个元素相比, 具有同样重要性
3	表示两个元素相比, 前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比, 前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比, 前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比, 前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	为上述相邻判断的中值

$$\omega_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n t_{ij}} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n t_{ij}} \quad (4)$$

最大特征根则按(5) 式计算:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(T\omega)_i}{n\omega_i} \quad (5)$$

步骤 3 一致性检验

① 计算一致性指标 C_I (consistency index):

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, n \text{ 为判断矩阵阶数.} \quad (6)$$

② 计算平均随机一致性指标 R_I (random index):

下表给出 1 ~ 15 维矩阵重复计算 1000 次的平均随机一致性指标:

表 2 平均随机一致性指标 R_I

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R_I	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

③ 计算一致性比例 C_R (consistency ratio):

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad (7)$$

当 $C_R < 0.1$ 时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的; 否则应该对判断矩阵做适当修正.

当判断矩阵 T 具有一致性, 则将矩阵 T 最大特征值对应的特征向量 ω_i 作为 QoS 属性的权重因子.

4 服务 QoS 性能决策过程

假设在现有 n 个功能相似的服务 $W_s = \{\omega_{s_1}, \omega_{s_2}, \dots, \omega_{s_n}\}$, 为了满足用户 QoS 性能的要求, 需要对 n 个服务的 QoS 性能排序.

步骤 1 根据 QoS 属性构建决策矩阵 $Q = (q_{ij})_{n \times 5}$, 其中 q_{ij} 表示第 i 个服务的第 j 个质量属性的取值. 第 i 个 Web 服务其 QoS 表示为 $Q(W_{s_i}) = (q_{i,p}, q_{i,a}, q_{i,t}, q_{i,r}, q_{i,n})$, 分别代表服务的价格, 可用性, 时延, 可靠性和信誉度.

步骤 2 规范化决策矩阵 Q 为矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times 5}$. QoS 属性分为效益型和成本型, 效益型指标其值越大越好, 如可用性和可靠性; 成本型指标其值越小越好, 如价格和时延.

对于效益型指标可用性和可靠性规范的方法:

(1) 精确型数值

$$r_{ij} = q_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m (q_{ij})^2}; \quad (8)$$

(2) 区间型数值

$$r_{ij}^L = q_{ij}^L / \sqrt{\sum_{i=1}^m (q_{ij}^U)^2}, r_{ij}^U = q_{ij}^U / \sqrt{\sum_{i=1}^m (q_{ij}^L)^2}. \tag{9}$$

对于成本型指标价格和时延规范的方法:

(3) 精确型数值

$$r_{ij} = \frac{1}{q_{ij}} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{q_{ij}}\right)^2}; \tag{10}$$

(4) 区间型数值

$$r_{ij}^L = \frac{1}{q_{ij}^U} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{q_{ij}^L}\right)^2}, r_{ij}^U = \frac{1}{q_{ij}^L} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{q_{ij}^U}\right)^2}. \tag{11}$$

然后利用前文所述公式(1)~(3)统一将精确型、区间型和语言型数值转化为直觉模糊数,构建直觉模糊决策矩阵 $C = (c_{ij})_{n \times 5}$.

步骤 3 确定直觉模糊决策矩阵 C 的正理想解和负理想解.

正理想解为: $A^+ = (c_1^+, c_2^+, \dots, c_5^+)$, 负理想解为: $A^- = (c_1^-, c_2^-, \dots, c_5^-)$, 其中 $c_j^+ = (\mu_j^+, v_j^+) = (\max_j \mu_{ij}, \min_j v_{ij})$, $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 5$, $c_j^- = (\mu_j^-, v_j^-) = (\min_j \mu_{ij}, \max_j v_{ij})$, $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 5$.

步骤 4 计算各方案对于正、负理想解的灰色关联系数.

对于正理想解的灰色关联系数为:

$$\xi_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |c_{ij} - c_j^+| + \rho \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^+|}{|c_{ij} - c_j^+| + \rho \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^+|}. \tag{12}$$

对于负理想解的灰色关联系数为:

$$\xi_{ij}^- = \frac{\min_i \min_j |c_{ij} - c_j^-| + \rho \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^-|}{|c_{ij} - c_j^-| + \rho \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^-|}. \tag{13}$$

依据定义 2, $|c_{ij} - c_j^+| = |\mu_{ij} - \mu_j^+| + |v_{ij} - v_j^+| + |\pi_{ij} - \pi_j^+|$, $|c_{ij} - c_j^-| = |\mu_{ij} - \mu_j^-| + |v_{ij} - v_j^-| + |\pi_{ij} - \pi_j^-|$, ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 一般取 ρ 为 0.5.

步骤 5 计算各方案对于正、负理想解的关联度.

$$\xi_i^+ = \sum_{j=1}^5 \xi_{ij}^+ \omega_j, i = 1, 2, \dots, n; \xi_i^- = \sum_{j=1}^5 \xi_{ij}^- \omega_j, i = 1, 2, \dots, n, \tag{14}$$

其中 ω_j 为第 3 节确定的 QoS 属性的权重因子.

步骤 6 计算各方案对于正理想解的相对关联度,并依据相对关联度对各方案排序,相对关联度越大,对应服务的 QoS 性能越优.

$$\xi_i = \frac{\xi_i^+}{\xi_i^+ + \xi_i^-}, i = 1, 2, \dots, n. \tag{15}$$

5 实例验证

在服务发现过程中,用户得到 4 个功能相似的 Web 服务 $W_{s_1}, W_{s_2}, W_{s_3}$ 和 W_{s_4} . 为了进一步判断其性能的优劣,本文利用直觉模糊集和灰色关联分析方法对其 QoS 属性集结,并决策分析. Web 服务 QoS 属性如表 3 所示.

首先,根据表 3 构建 Web 服务 QoS 属性决策矩阵

$$Q = \begin{Bmatrix} 40 & 0.92 & [65, 115] & [0.95, 0.99] & \text{高} \\ 45 & 0.9 & [60, 110] & [0.94, 0.97] & \text{一般} \\ 50 & 0.85 & [80, 105] & [0.82, 0.88] & \text{一般} \\ 35 & 0.95 & [65, 105] & [0.95, 0.99] & \text{很高} \end{Bmatrix},$$

表 3 Web 服务 QoS 属性值

服务	价格	可用性	时延	可靠性	信誉度
W_{s_1}	40	0.92	[65,115]	[0.95,0.99]	高
W_{s_2}	45	0.9	[60,110]	[0.94,0.97]	一般
W_{s_3}	50	0.85	[80,105]	[0.82,0.88]	一般
W_{s_4}	35	0.95	[65,105]	[0.95,0.99]	很高

然后,依据(8)~(11)式将 QoS 属性值规范为矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} 0.5173 & 0.5079 & [0.2887, 0.8348] & [0.4955, 0.5400] & \text{高} \\ 0.4599 & 0.4968 & [0.3018, 0.9043] & [0.4903, 0.5291] & \text{一般} \\ 0.4139 & 0.4962 & [0.3162, 0.6782] & [0.4277, 0.4800] & \text{一般} \\ 0.5913 & 0.5244 & [0.3162, 0.8348] & [0.4955, 0.5400] & \text{很高} \end{bmatrix}$$

依据(1)~(3)式将矩阵 R 转换为直觉模糊决策矩阵 C

$$C = \begin{bmatrix} (0.5173, 0.4827) & (0.5079, 0.4921) & (0.2887, 0.1652) & (0.4955, 0.4600) & (0.8, 0.1) \\ (0.4599, 0.5401) & (0.4968, 0.5032) & (0.3018, 0.0957) & (0.4903, 0.4709) & (0.5, 0.5) \\ (0.4139, 0.5861) & (0.4962, 0.5038) & (0.3162, 0.3218) & (0.4277, 0.5200) & (0.5, 0.5) \\ (0.5913, 0.4087) & (0.5244, 0.4756) & (0.3162, 0.1652) & (0.4955, 0.4600) & (0.9, 0.05) \end{bmatrix}$$

确定模糊矩阵 C 的正理想解和负理想解

$$A^+ = ((0.5913, 0.4087), (0.5244, 0.4756), (0.3162, 0.0957), (0.4955, 0.4600), (0.9, 0.05)),$$

$$A^- = ((0.4139, 0.5861), (0.4962, 0.5038), (0.2887, 0.3218), (0.4277, 0.5200), (0.5, 0.5)).$$

根据(12)、(13)式计算每个方案相对于正、负理想解的灰色关联系数

$$\begin{aligned} (\xi_{ij}^+) &= \begin{bmatrix} 0.7525 & 0.9317 & 0.7640 & 1.0000 & 0.6923 \\ 0.6313 & 0.8907 & 0.9398 & 0.9538 & 0.3333 \\ 0.5591 & 0.8886 & 0.4988 & 0.7684 & 0.3333 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.7640 & 1.000 & 1.0000 \end{bmatrix}, \\ (\xi_{ij}^-) &= \begin{bmatrix} 0.6851 & 0.9506 & 0.5896 & 0.7684 & 0.3600 \\ 0.8303 & 0.9973 & 0.4988 & 0.7823 & 1.0000 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.8911 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.5591 & 0.8886 & 0.5896 & 0.7684 & 0.3333 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

依据第 3 节知识,利用层次分析法获得用户对 QoS 的偏好权重.假设用户最看重信誉度,其次看重价格,而对响应时间、可靠性、可用性不看重,根据用户的 QoS 偏好,构建 AHP 判断矩阵 T .

$$T = (t_{ij})_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 4 & 3 & 1/2 \\ 1/4 & 1 & 1 & 1/2 & 1/5 \\ 1/4 & 1 & 1 & 1/2 & 1/5 \\ 1/3 & 2 & 2 & 1 & 1/5 \\ 2 & 5 & 5 & 5 & 1 \end{bmatrix}.$$

根据(4)式得用户的 QoS 偏好权重为: $\omega_1 = 0.28, \omega_2 = 0.07, \omega_3 = 0.07, \omega_4 = 0.12, \omega_5 = 0.46$. 根据式(5)

得最大特征根为: $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(T\omega)_i}{n\omega_i} = 5.07$.

根据(6)式得 $C_I = 0.0175$, 从而得 $C_R = 0.016 < 0.1$, 所以判断矩阵 T 具有一致性.

根据(14)式计算各方案对于正、负理想解的关联度

$$\xi_1^+ = 0.7679, \xi_2^+ = 0.5727, \xi_3^+ = 0.4971, \xi_4^+ = 0.9835;$$

$$\xi_1^- = 0.5575, \xi_2^- = 0.8911, \xi_3^- = 0.9924, \xi_4^- = 0.5055.$$

根据(15)式计算相对关联度,依据相对关联度 ξ_i 的大小对 Web 服务综合 QoS 性能排序

$$\xi_1 = 0.5794, \xi_2 = 0.3912, \xi_3 = 0.3337, \xi_4 = 0.6605.$$

因为 $\xi_4 > \xi_1 > \xi_2 > \xi_3$, 可知 4 个 Web 服务 QoS 综合性能排序为: $W_{s_4} > W_{s_1} > W_{s_2} > W_{s_3}$.

6 结束语

随着 Web 服务资源的迅猛增长, 基于 Web 服务的非功能属性进行服务选择^[10-12] 已经成为研究的热点和难点. 本文结合了灰色关联分析和直觉模糊集理论, 提出了一种多种 QoS 类型的 Web 服务选择的过程. 直觉模糊集理论的引入可以将多种 QoS 类型统一为直觉模糊数. 本文也考虑了用户对不同 QoS 属性的权重偏好问题, 更符合实际的应用. 在决策过程中引入灰色关联分析方法, 通过计算每个方案相对正理想解的相对关联度对服务 QoS 性能排序. 最后给出了一个实例验证了该算法的有效性.

参 考 文 献

- [1] Zeng L Z, Benatallah B, Ngu A H H. QoS-Aware middleware for Web services composition[J]. IEEE Transaction on Software Engineering, 2004, 30(5): 311-327.
- [2] 李 桢, 杨放春, 苏 森. 基于模糊多属性决策理论的语义 Web 服务组合算法[J]. 软件学报, 2009, 20(3): 583-595.
- [3] 康国胜, 刘建勋, 唐明董, 等. 考虑 QoS 属性相关性的 Web 服务选择[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(4): 786-790.
- [4] 李小林, 张力娜, 张顺利, 等. 基于混合 QoS 模型的服务选择策略[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(22): 5653-5660.
- [5] Deng J L. Grey System Theory[M]. Wuhan: press of Huazhong University of Science & Technology, 2002.
- [6] Attanassovk. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [7] Attanassovk. More on intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 33(1): 37-46.
- [8] 周晓光, 张 强, 胡望斌. 基于 Vague 集的 TOPSIS 方法及其应用[J]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14(6): 537-541.
- [9] 徐玖平, 吴 巍. 多属性决策的理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [10] 常国锋, 马玉磊. 基于贝叶斯推理的 Web 服务质量评价方法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(2): 152-157.
- [11] 马 友, 王尚广, 孙其博, 等. 一种综合考虑主客观权重的 Web 服务 QoS 度量算法[J]. 软件学报, 2014, 25(4): 2473-2485.
- [12] 何小霞, 谭 良. 基于 Hadoop 的可信 Web 服务多维 QoS 权重最优选择模型[J]. 计算机科学, 2015, 42(4): 51-67.

Intuitionistic Fuzzy Multiple Attribute Web Service Selection Based on Grey Correlation Analysis

LI Xiaolin^a, ZHANG Lin^a

(a. Department of Information Engineering; b. Department of Mathematics and Information Science,
Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

Abstract: Web service non-functional attributes QoS reflect the performance of web services. Web services QoS attributes were divided into the exact type, interval numeric type and linguistic type, and QoS preference of users were calculated by AHP(analytic hierarchy process). In addition, the intuitionistic fuzzy set(IFS) theory was introduced to unify QoS attributes into the intuitionistic fuzzy numbers, and define the distance of two intuitionistic fuzzy Numbers. In the process of service selection, according to the ideas of the grey correlation analysis method, calculate each solution relative to the intuitionistic fuzzy matrix grey correlation degree of the positive and negative ideal solution. And then calculate relative correlation degree of each scheme for the positive ideal solution and relative incidence degree based on the ranking. The example proves that the method is feasible.

Keywords: Web services selection; grey correlation analysis; Intuitionistic fuzzy sets; Analytic hierarchy process; multi-attribute