

## 一种基于多 QoS 注册中心和模型异构的 WEB 服务选择算法

张龙昌\* 邹 华 杨放春

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876)

**摘 要:** 多 QoS 注册中心并且 QoS 模型异构给服务选择带来巨大困难。借鉴多属性群决策(MAGDM)理论的基本思想, 该文提出一种解决上述难题的多注册中心和模型异构的 Web 服务选择算法(MRHQ\_WSSA)。MRHQ\_WSSA 算法能综合评估各 QoS 注册中心的 QoS 信息, 从而获得 QoS 综合最优的服务组合计划。MRHQ\_WSSA 算法包括 5 个步骤: 用户偏好规格化、群偏好确定、加权规格化决策矩阵、确定群理想方案、计算群贴进度。最后通过实验验证算法的优势和有效性。

**关键词:** Web 服务; 服务选择; 多属性群决策(MAGDM)理论; 服务质量; QoS 注册中心

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2011)01-0168-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2010.00298

## A Web Service Selection Algorithm Based on Multiple QoS Registration Centers and Heterogeneous QoS Model

Zhang Long-chang Zou Hua Yang Fang-chun

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology,

Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Web service selection based on QoS is still challenging because the multiple QoS registration centers and heterogeneous QoS models make decision-making hard. Based on Multi-Attribute Group Decision-Making (MAGDM) theory, this paper presents a novel Multiple Registration centers and Heterogeneous QoS model's Web Service Selection Algorithm (MRHQ\_WSSA) to solve the above difficulties for the first time. Through evaluating the QoS information of all QoS registration centers, MRHQ\_WSSA can obtain the synthetically optimal composition plan. It includes five main steps: normalizing the user's QoS preference, calculating the group preference, weighting normalized decision-matrix, determining group ideal solution and calculating the relative closeness to the group ideal solution. And a set of experiments demonstrate the benefits and effectiveness of the approach.

**Key words:** Web service; Service selection; Multi-Attribute Group Decision Making (MAGDM) theory; Quality of Service (QoS); QoS registration centers

### 1 引言

在分布式环境中, 不可避免地出现大量功能相同而服务质量(QoS)不同的 Web 服务。因此, 基于 QoS 的 Web 服务选择仍然是一个具有挑战的热点研究问题。目前, 基于 QoS 的 Web 服务选择算法可以分成集中式的算法<sup>[1,2]</sup>和分布式算法<sup>[3]</sup>。前者基于独立的集中式的 QoS 注册中心, 后者基于多个 QoS 注册中心。QoS 注册中心管理具有多种属性的服务 QoS, 如价格(price)、可用性(availability)、响应时间(response time)、可靠性(reliability)、声誉

(reputation)。QoS 模型定义主要基于实数<sup>[2,4]</sup>、区间数、三角模糊数、直觉模糊数<sup>[5]</sup>, 也有混合数据类型的 QoS<sup>[1]</sup>(支持实数、区间数、三角模糊数)。因此, 可以合理地假设互联网上广泛分布着 QoS 注册中心<sup>[3]</sup>并且管理的 QoS 模型异构(即注册中心 A 的 QoS 模型支持实数, 注册中心 B 的 QoS 模型支持直觉模糊数)。

就我们的认知而言, 目前存在的服务组合计划优选算法可以分为 3 类。第 1 类, QoS 计算。文献[4]介绍了一种在动态服务选择中的 QoS 计算算法(基于简单的加权平均)并且建立了一个开放、公平的算法框架来评估候选服务的 QoS。第 2 类, 数学规划。文献[1]介绍了一种支持异构数据决策的多属性决策算法。文献[2]介绍一种 QoS 感知的中间件平

2010-03-26 收到, 2010-08-25 改回

核高基国家科技重大专项(2009ZX01039-001-002-01)和国家 973 计划项目(2009CB320406)资助课题

\*通信作者: 张龙昌 zlc\_771206@sohu.com

台并用简单加权法选择最优组合服务计划。文献[5]基于直觉模糊集描述的 QoS, 改进逼近理想解算法求解最优组合服务计划。第 3 类, 启发式算法。文献[6]讨论了遗传算法在 Web 服务选择中的应用。文献[7]讨论了粒子群算法在服务选择中的应用。文献[3]提出了一种分布式的服务组合优选算法, 能够支持多个 QoS 注册中心。

然而, 上述算法都不能评估基于多注册中心并且表示方法异构的 QoS 信息。因此, 本文首次提出一种基于多属性群决策理论<sup>[8]</sup>的服务组合决策算法 (MRHQ\_WSSA), 填补了基于多注册中心并且 QoS 模型异构的服务选择领域的空白。MRHQ\_WSSA 算法与其它方法相比, 有以下几方面贡献: 首先, 标准化各个注册中心的 QoS 模型; 然后, 提出基于标准化 QoS 模型的服务组合优选算法; 另外, 算法充分考虑了用户偏好和群偏好的表达方式(实数、区间数、三角模糊数、直觉模糊数); 最后, 通过实验证明了 MRHQ\_WSSA 算法的优势和有效性。

## 2 标准化 QoS 模型

QoS 模型异构主要体现在两个方面: (1)表示 QoS 属性单位不同(这种 QoS 属性一般是实数或区间数)。如 QoS 属性响应时间在模型 A 中的单位是秒, 而在模型 B 中的单位是毫秒; (2)表示 QoS 属性的数据类型不同。如响应时间在模型 A 中用区间数表示, 而在模型 B 中用直觉模糊数表示。本节介绍异构 QoS 模型标准化方法。

### 2.1 数据区间化

实数区间化: 设  $r \in R$ , 根据区间数的定义<sup>[9]</sup>得式(1), 其中  $\tilde{r}$  为  $r$  转换后的区间数。

$$\tilde{r} = [r, r] \quad (1)$$

三角模糊数区间化: 文献[10]总结的应用在多属性决策领域中的去模糊化方法都是将三角模糊数转换成精确实数。三角模糊数转换成精确实数后难以体现其模糊性。例如, 语言集合(高(very high), 较高(high), 一般(normal), 较低(low), 低(very low)), 对应的三角模糊数集合为  $([0,0,2],[1,3,4],[3,5,6],[5,7,9],[8,10,10])$ 。当语言短语为低( $[0,0,2]$ )时, 模糊积分法得到的精确实数为 1。而实际情况应当是在 0-1 间变动, 当取值为 0 时完全符合该语言短语的概率为 1, 当取值为 1 时完全符合该语言短语的概率为 0.5。我们认为符合语言短语的概率为 0.5 应当是最低条件。因此, 我们将三角模糊数转换成区间数。

设  $t = [a_i^l, a_i^m, a_i^u] \in \text{TFNs}$ , 转换成区间数公式为

$$\tilde{t} = \left[ (a_i^l + a_i^m)/2, (a_i^m + a_i^u)/2 \right] \quad (2)$$

直觉模糊数区间化: 文献[11]定义  $\langle u_A(x),$

$v_A(x) \rangle$  为直觉模糊数(IFNs)。例如  $\langle 0.5, 0.4 \rangle$  表示隶属度  $u_A = 0.5$ , 非隶属度  $v_A = 0.4$ , 犹豫度  $\pi_A = 0.1$ 。本文定义描述 QoS 属性的语言集合(高(very high), 较高(high), 一般(normal), 较低(low), 低(very low))及对应的直觉模糊数为  $(\langle 0.9, 0.1 - \pi \rangle, \langle 0.7, 0.3 - \pi \rangle, \langle 0.5, 0.5 - \pi \rangle, \langle 0.3, 0.7 - \pi \rangle, \langle 0.1, 0.9 - \pi \rangle)$ 。  $\pi$  表示犹豫度, 因此可以用  $VH(\pi)$  表示 QoS 属性的评分。设 Atanassov 算子  $p \in [0, 1]$ , 若  $A \in \text{IFNs}$ , 则  $\tilde{A} = u_A(x) + p \cdot \pi_A(x)$ , 因此直觉模糊数区间化为

$$\tilde{A} = [u_A(x), u_A(x) + \pi_A(x)] \quad (3)$$

### 2.2 标准化

实数标准化: 设  $\bar{a}$  是实数表示的 QoS 属性  $a$  的标准区间数,  $k$  是单位换算系数且用实数表示的属性的最大值和最小值分别为  $L_a$  和  $U_a$  (所有注册中心中的最大和最小值并且为标准单位, 最大最小值通常是公认的值)。由式(1)得标准化公式为

$$\bar{a} = \left[ (a \times k - L_a)/(U_a - L_a), (a \times k - L_a)/(U_a - L_a) \right] \quad (4)$$

区间数标准化: 设  $\bar{a}$  是区间数表示的任意 QoS 属性  $a = [a^l, a^u]$  的标准区间数,  $k^l$  和  $k^u$  是  $a^l$  和  $a^u$  单位换算系数, 且用实数表示的属性的最大值和最小值分别为  $L_a$  和  $U_a$  (所有注册中心中的最大和最小值并且为标准单位, 是区间数上下限共同的最大最小值)。标准化公式为

$$\bar{a} = \left[ (a \times k^l - L_a)/(U_a - L_a), (a \times k^u - L_a)/(U_a - L_a) \right] \quad (5)$$

三角模糊数标准化: 设  $\bar{a}$  是三角模糊数表示任意 QoS 属性  $a = [a^l, a^m, a^u]$  的标准区间数, 且  $L_a$  和  $U_a$  分别为三角模糊集的下限和上限(下限为 0 上限为 10)。由式(2)得标准化公式为

$$\bar{a} = \left[ (a^l + a^m - L_a)/2(U_a - L_a), (a^m + a^u - L_a)/2(U_a - L_a) \right] \quad (6)$$

直觉模糊数标准化: 根据直觉模糊数的定义, 直觉模糊数不存在单位不同问题。设  $\bar{a}$  是直觉模糊数表示的任意 QoS 属性  $a = \langle u_a(x), v_a(x) \rangle$  的标准区间数, 由式(3)得标准化公式:

$$\bar{a} = [u_a(x), u_a(x) + \pi_a(x)] \quad (7)$$

## 3 多注册中心和模型异构的服务选择算法 (MRHQ\_WSSA)

本节介绍一种能够综合考虑各个 QoS 注册中心 (QoS 注册中心对应为群决策中的决策者) QoS 信息的服务选择算法。多属性群决策理论<sup>[8]</sup>是求解基于多个决策者且有多个属性最优方案的基本方法。因此, 本文借鉴其核心思想提出了适应多决策者和标准化

QoS模型的综合最优服务选择算法(MRHQ\_WSSA)。设某决策者的备选服务(组合计划)经标准化(见标准化QoS模型)后的标准化多属性决策矩阵 $\bar{D} = (\bar{d}_{ij})_{m \times n}$ ,  $\bar{d}_{ij}$ 为*i*备选服务*j*属性值。下面介绍MRHQ\_WSSA算法评估备选服务的具体步骤。

### 3.1 用户偏好规格化

用户偏好表示也可能是4种数据类型的一种, 本文将4种数据类型转换为区间数。首先给出区间数用户偏好定义和满足归一化定理。

**定义1** 设用户QoS偏好向量为 $\tilde{\omega} = (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \dots, \tilde{\omega}_n)$ , 其中 $\forall j \in N$ 有 $\tilde{\omega}_j = [\omega_j^L, \omega_j^U]$ 并且 $1 \geq \omega_j^U \geq \omega_j^L \geq 0$ ,  $0 \leq \sum_{j=1}^n \omega_j^L \leq 1$ 和 $1 \leq \sum_{j=1}^n \omega_j^U \leq n$ ; 并且当 $\omega_j^L = \omega_j^U$ 时 $\tilde{\omega}_j$ 为精确实数。

**定理1** 设 $\tilde{\omega} = (\tilde{\omega}_1, \tilde{\omega}_2, \dots, \tilde{\omega}_n)$ 为符合定义1条件的用户QoS偏好向量,  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 是 $\tilde{\omega}$ 的任意精确实数向量, 则至少存在一组精确实数向量满足归一化, 并称区间数向量 $\tilde{\omega}$ 满足归一化。

**证明** 任意向量 $\omega$ 中元素的和值 $\sum_{i=1}^n \omega_i = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n$ 。因为 $\omega_i^L \leq \omega_i \leq \omega_i^U$ ; 所以 $\sum_{i=1}^n \omega_i^L \leq \sum_{i=1}^n \omega_i \leq \sum_{i=1}^n \omega_i^U$ 。假设所有向量 $\omega$ 都不满足归一化, 那么有 $\sum_{i=1}^n \omega_i > 1$ 或 $\sum_{i=1}^n \omega_i < 1$ ; 当 $\sum_{i=1}^n \omega_i > 1$ 则只有 $\sum_{i=1}^n \omega_i^L > 1$ 时才成立, 与定义1中的 $0 \leq \sum_{j=1}^n \omega_j^L \leq 1$ 矛盾; 当 $\sum_{i=1}^n \omega_i < 1$ 则只有 $\sum_{i=1}^n \omega_i^U < 1$ 时才成立, 与定义1中的 $1 \leq \sum_{j=1}^n \omega_j^U \leq n$ 矛盾。证毕

定义1中用户偏好定义, 有时会产生某些实例不符合归一化条件。例如:  $\tilde{\omega}_1 = [0.4, 0.6]$ ,  $\tilde{\omega}_2 = [0.3, 0.6]$ ,  $\tilde{\omega}_3 = [0.2, 0.8]$ 是3个属性的权重并且要求满足归一化; 设 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 是3个区间数的实例取值; 当 $\omega_1 \geq 0.4$ 且 $\omega_2 \geq 0.3$ 有 $\omega_3 \leq 0.3$ , 因此 $\omega_3$ 不会达到0.8(称不可达), 下面是用户偏好规格化方法。

设 $N = \left\{ \mathbf{X} = (x_1, \dots, x_n) \mid \omega_i^L \leq x_i \leq \omega_i^U, i = 1, \dots, n, \sum_{i=1}^n x_i = 1 \right\}$ 区间数用户偏好向量实例集合, 则区间数用户偏好规格化满足两个条件<sup>[12]</sup>: (1)至少存在一组用户偏好向量实例 $\mathbf{X} = (x_1, \dots, x_n) \in N$ ; (2)对于任意 $i = 1, \dots, n$ ,  $\omega_j^L, \omega_j^U$ 是可达的。由定理1可知, 本文的用户偏好向量定义满足条件(1), 然而不一定满足条件(2)。因此引用文献[12]的区间数用户偏好向量规格化公式, 设 $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_n)$ 是规格化用户偏好向量, 则有

$$\bar{\omega}_i^L = \max \left\{ \omega_i^L, 1 - \sum_{j \neq i} \omega_j^U \right\}, \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\bar{\omega}_i^U = \min \left\{ \omega_i^U, 1 - \sum_{j \neq i} \omega_j^L \right\}, \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

三角模糊数、直觉模糊数权重向量转换成规格化区间数用户偏好向量方法: (1)用式(2)、式(3)对其区间化, 设区间化后向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ ; (2)使用下式

$$\tilde{\omega}_j = \omega_j / \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (10)$$

转化成区间数偏好向量, 其中有 $\omega_j^L = \omega_j^L / \sum_{i=1}^n \omega_i^U$ 和 $\omega_j^U = \omega_j^U / \sum_{i=1}^n \omega_i^L$ (区间数的四则运算参考文献[13]); (3)用式(8)、式(9)规格化偏好向量。

### 3.2 群偏好确定

在群决策中, 另一个重要的参数是决策者个体在群体中重要程度称群体偏好。决策者个体在群体中的重要程度受到各种因素影响较大, 个体所处环境、地位、个体能力、群体内其他决策者对其认可度等很多复杂因素。因此, 我们认为群体偏好的表达也可能是上述4种数据类型的一种, 其计算方法与用户偏好规格化方法相同。

### 3.3 加权规格化决策矩阵

QoS属性类型有效益型(B)和成本型(C)。效益型是属性值越大越好(如可用性、可靠性、声誉); 成本型是属性值越小越好(如价格)。为了消除不同物理量纲对决策结果的影响, 需要给出规格化决策矩阵的公式。文献[14]基于向量规格法给出了区间数规格公式, 规格化公式为

$$\bar{d}_{ij}^L = \tilde{d}_{ij}^L / \sqrt{\sum_{i=1}^m [(\tilde{d}_{ij}^L)^2 + (\tilde{d}_{ij}^U)^2]} \quad (11)$$

$$\bar{d}_{ij}^U = \tilde{d}_{ij}^U / \sqrt{\sum_{i=1}^m [(\tilde{d}_{ij}^L)^2 + (\tilde{d}_{ij}^U)^2]}$$

其中 $j = 1, \dots, n$ 。

设 $\bar{D}$ 经式(11)规格化后的规格化决策矩阵为 $\bar{D} = (\bar{d}_{ij})_{m \times n}$ , 设经规格化的用户偏好向量 $\bar{\omega} = (\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_n)$ , 则有加权规格化决策矩阵 $\hat{D} = (\hat{d}_{ij})_{m \times n} = \bar{\omega}^T \times \bar{D}$ , 其中 $\hat{d}_{ij} = \bar{\omega}_j \times \bar{d}_{ij}$ 。由文献[13]定义的区间数乘运算定义得 $\hat{d}_{ij} = \bar{\omega}_j \times \bar{d}_{ij} = [\bar{\omega}_j^L \times \bar{d}_{ij}^L, \bar{\omega}_j^U \times \bar{d}_{ij}^U]$ 。

### 3.4 确定群理想方案

**定义2** 正理想方案( $\bar{s}^+ = (\bar{s}_1^+, \bar{s}_2^+, \dots, \bar{s}_n^+)$ )和负理想方案( $\bar{s}^- = (\bar{s}_1^-, \bar{s}_2^-, \dots, \bar{s}_n^-)$ )为

$$\bar{s}_j^+ = \left[ \max_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^L), \max_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^U) \right] \text{(效益型) 或}$$

$$\bar{s}_j^- = \left[ \min_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^L), \min_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^U) \right] \text{(成本型)} \quad (12)$$

$$\begin{aligned}\tilde{s}_j^- &= \left[ \min_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^L), \min_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^U) \right] \text{(效益型) 或} \\ \tilde{s}_j^- &= \left[ \max_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^L), \max_{1 \leq i \leq m} (\hat{d}_{ij}^U) \right] \text{(成本型)}\end{aligned}\quad (13)$$

在加权规格化决策矩阵  $\hat{D}$  中, 正理想方案为理想最优方案; 负理想方案为理想最劣方案。设由所有决策者正理想方案构成的矩阵  $S_g^+ = (\tilde{s}_{ij}^+)_{g \times n}$  和负理想方案构成的矩阵  $S_g^- = (\tilde{s}_{ij}^-)_{g \times n}$ ,  $g$  为决策者个数,  $n$  为 QoS 属性个数。则从  $S_g^+$  中获得群正理想方案 ( $\tilde{g}^+ = (\tilde{g}_1^+, \tilde{g}_2^+, \dots, \tilde{g}_n^+)$ ), 从  $S_g^-$  中获得群负理想方案 ( $\tilde{g}^- = (\tilde{g}_1^-, \tilde{g}_2^-, \dots, \tilde{g}_n^-)$ ), 计算方法与定义 2 相同。同样有群体正理想方案为群体理想最优方案, 群体负理想方案为群体理想最劣方案。

### 3.5 计算群贴近度

首先介绍备选方案到群体正理想方案的距离测度方法。文献[8]总结了距离测度方法, 本文使用常用的欧氏距离为区间数的距离测度方法。设

$$d(\hat{a}_i, \tilde{g}^+) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{d}_{ij} - \tilde{g}_j^+)^2} / \sqrt{2n} \quad (14)$$

$$d(\hat{a}_i, \tilde{g}^-) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{d}_{ij} - \tilde{g}_j^-)^2} / \sqrt{2n} \quad (15)$$

为方案  $i$  到群体正理想和群体负理想方案的距离, 其中  $(\hat{d}_{ij} - \tilde{g}_j^*)^2 = (\hat{d}_{ij}^L - \tilde{g}_j^{L*})^2 + (\hat{d}_{ij}^U - \tilde{g}_j^{U*})^2$ ,  $\tilde{g}^* = \tilde{g}^+$  或  $\tilde{g}^-$ 。依据式(14)和式(15)定义方案  $i$  在加权规格化决策矩阵中的贴近度(也称优良度, 是备选方案相对于群体最优方案的综合得分)计算函数(也称优良度函数)  $f(\hat{a}_i, \tilde{g}^-, \tilde{g}^+)$ 。

$$\begin{aligned}f(\hat{a}_i, \tilde{g}^-, \tilde{g}^+) &= \frac{d(\hat{a}_i, \tilde{g}^-)}{d(\hat{a}_i, \tilde{g}^-) + d(\hat{a}_i, \tilde{g}^+)} \\ &= \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{d}_{ij} - \tilde{g}_j^-)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{d}_{ij} - \tilde{g}_j^-)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{d}_{ij} - \tilde{g}_j^+)^2}}\end{aligned}\quad (16)$$

函数  $f(\hat{a}_i, \tilde{g}^-, \tilde{g}^+)$  计算服务组合计划  $i$  到群正理想的贴近度, 显然有函数值越大该组合计划越优。设群体贴近度函数  $f_g(\hat{a}_i) = \sum_{k=1}^g f_k(\hat{a}_{ki}, \tilde{g}^-, \tilde{g}^+) / g$ , 其中  $f_g(\hat{a}_i)$  为方案  $\hat{a}_i$  的群体贴近度,  $\hat{a}_{ki}$  为  $k$  决策者的加权规格化决策矩阵  $i$  方案到群体正理想方案的贴近度, 并且  $\tilde{g}^+$  和  $\tilde{g}^-$  分别代表群正负理想方案, 则  $\max(f_g(\hat{a}_i))$  为群体最优服务组合计划。

## 4 实验分析

本实验分成 3 个部分: 首先介绍本文的实验场景和实验数据; 然后与其它算法进行比较, 验证本算法能够获得综合最优服务; 最后分析算法的性能。

### 4.1 实验初始设置

在一个旅游服务组合场景中包括飞机订票任务、宾馆订票任务两个串行任务(每个任务有 4 个原子服务)。4 个 QoS 注册中心分别负责 4 种数据类型的组合服务 QoS 信息监控, 表 1 是 4 个注册中心提供的 10 个组合计划的 QoS 信息。用三角模糊数表示的群体偏好转化为规格化偏好向量相对其它 3 种数据类型表示的群体偏好复杂。因此, 设群体偏好为:  $w_1=(高, 一般, 一般, 较低)$ ,  $w_2=(一般, 高, 一般, 较低)$ ,  $w_3=(一般, 一般, 高, 较低)$ ,  $w_4=(较低, 一般, 一般, 高)$ , 这 4 组群体偏好体现了注册中心监控的 QoS 的重要程度变化情况。另外, 语言集合(高, 较高, 一般, 较低, 低)对应的三角模糊数集合为  $([0,0,2],[1,3,4],[3,5,6],[5,7,9],[8,10,10])$ 。

### 4.2 算法比较

UMC<sup>[1]</sup>能评估区间数和三角模糊数以及支持实数、区间数、三角模糊数的混合 QoS; 因此用 UMC 算法评估注册中心 1, 注册中心 2 和注册中心 3 提供的 QoS。文献[5]能够评估直觉模糊数表示的 QoS, 因此用该算法评估注册中心 4 提供的 QoS(称其为 Ping 算法; 另外该算法是基于多决策者, 本文简化为一个决策者)。设直觉模糊数表示的用户偏好为  $(N(0), N(0), N(0), N(0), N(0))$ (用做 Ping 算法的用户偏好); 经用户偏好规格化后得  $([0.2,0.2],[0.2,0.2],[0.2,0.2],[0.2,0.2], [0.2,0.2])$ (用做本文算法的用户偏好); 是一个上下限都相同的区间数向量, 因此得实数向量为  $(0.2,0.2,0.2,0.2,0.2)$ (用做 UMC 算法的用户偏好)。另外, 设置实数和区间数组合计划 QoS 模型各属性最大值向量  $(160,1.0,300,1.0,1.0)$  和最小值向量  $(100,0.8,180,0.1,0.1)$ ; 三角模糊数 QoS 模型的最大值向量  $(10,10,10,10,10)$  和最小值向量  $(0,0,0,0,0)$ 。

假设组合计划排名第 1 位的打 10 分, 排名第 10 位的打 1 分。在群偏好为  $w_1$ (即图 1(a))情况下, MRHQ\_WSSA 算法选择的最优组合计划是 8, 在其它算法中的排名得分为 7 分、8 分、7 分和 8 分, 得平均分为 7.5 分。单独考虑 UMC\_R、UMC\_Intervals、UMC\_TFNs 和 Ping\_IFNs 算法得出的最优组合计划平均分分别为 5.75, 5.75, 3.75, 5.75。其它群偏好情况与  $w_1$  相同。显然, MRHQ\_WSSA 算法得出的组合计划综合优于其它算法。

### 4.3 时间复杂度

首先分析本文提出方法的时间复杂度, 设  $g$  为决策者个数, 输入的候选计划数量为  $m$ , QoS 属性的种类为  $n$ 。模型标准化的时间复杂度为  $O(g \times m \times n)$ , 用户偏好规格化的时间复杂度为  $O(3n)$ , 群偏好确定时间复杂度为  $O(3g)$ , 加权规格化决策

表1 组合计划备选集

	序号	价格	可用性	响应时间	可靠性	声誉
实数(D1)	1	120	0.97	275	0.93	0.4
	2	130	0.97	200	0.71	0.91
	3	150	0.98	225	0.92	0.5
	4	140	0.93	235	0.53	0.4
	5	120	0.98	280	0.8	0.8
	6	110	0.98	265	0.95	0.97
	7	135	0.97	215	0.5	0.8
	8	100	0.96	250	0.75	0.6
	9	115	0.95	260	0.85	0.65
	10	125	0.94	265	0.7	0.4
区间数(D2)	1	[110,110]	[0.96,0.98]	[200,300]	[0.9,0.92]	[0.3,0.4]
	2	[150,150]	[0.95,0.97]	[200,300]	[0.8,0.9]	[0.9,0.92]
	3	[120,120]	[0.94,0.96]	[280,310]	[0.9,0.95]	[0.3,0.5]
	4	[105,105]	[0.93,0.95]	[250,320]	[0.5,0.7]	[0.7,0.8]
	5	[135,135]	[0.85,0.88]	[190,340]	[0.3,0.4]	[0.8,0.9]
	6	[120,120]	[0.90,0.94]	[210,260]	[0.3,0.6]	[0.4,0.6]
	7	[115,115]	[0.95,0.96]	[220,260]	[0.7,0.9]	[0.5,0.8]
	8	[100,100]	[0.96,0.97]	[250,270]	[0.75,0.9]	[0.5,0.7]
	9	[115,115]	[0.95,0.97]	[250,260]	[0.8,0.9]	[0.6,0.7]
	10	[125,125]	[0.98,0.99]	[280,300]	[0.9,0.95]	[0.9,0.97]
三角模糊数(D3)	1	[1,3,4]	[3,5,6]	[5,7,9]	[8,10,10]	[5,7,9]
	2	[8,10,10]	[5,7,9]	[3,5,6]	[5,7,9]	[1,3,4]
	3	[0,0,2]	[8,10,10]	[5,7,9]	[1,3,4]	[5,7,9]
	4	[3,5,6]	[5,7,9]	[8,10,10]	[0,0,2]	[8,10,10]
	5	[5,7,9]	[8,10,10]	[1,3,4]	[8,10,10]	[5,7,9]
	6	[5,7,9]	[3,5,6]	[3,5,6]	[5,7,9]	[3,5,6]
	7	[3,5,6]	[5,7,9]	[8,10,10]	[1,3,4]	[8,10,10]
	8	[1,3,4]	[3,5,6]	[0,0,2]	[3,5,6]	[0,0,2]
	9	[0,0,2]	[1,3,4]	[3,5,6]	[0,0,2]	[0,0,2]
	10	[8,10, 10]	[0,0,2]	[0,0,2]	[8,10,10]	[3,5,6]
直觉模糊数(D4)	1	VH(0.03)	L(0.1)	VH(0.05)	N(0.1)	VL(0.5)
	2	H(0.1)	VH(0.01)	VH(0.01)	H(0.2)	VH(0.05)
	3	VH(0.02)	L(0.2)	N(0.1)	N(0.2)	N(0.2)
	4	H(0.1)	H(0.1)	L(0.1)	VH(0.01)	H(0.3)
	5	V(0.2)	N(0.2)	H(0.2)	L(0.2)	H(0.2)
	6	N(0.3)	L(0.1)	N(0.1)	H(0.1)	N(0.3)
	7	H(0.1)	N(0.3)	L(0.3)	N(0.3)	H(0.3)
	8	L(0.2)	N(0.2)	VL(0.3)	N(0.2)	VL(0.2)
	9	VL(0.1)	VL(0.2)	N(0.1)	VL(0.3)	VL(0.4)
	10	VH(0.05)	VH(0.07)	H(0.07)	VL(0.2)	L(0.1)

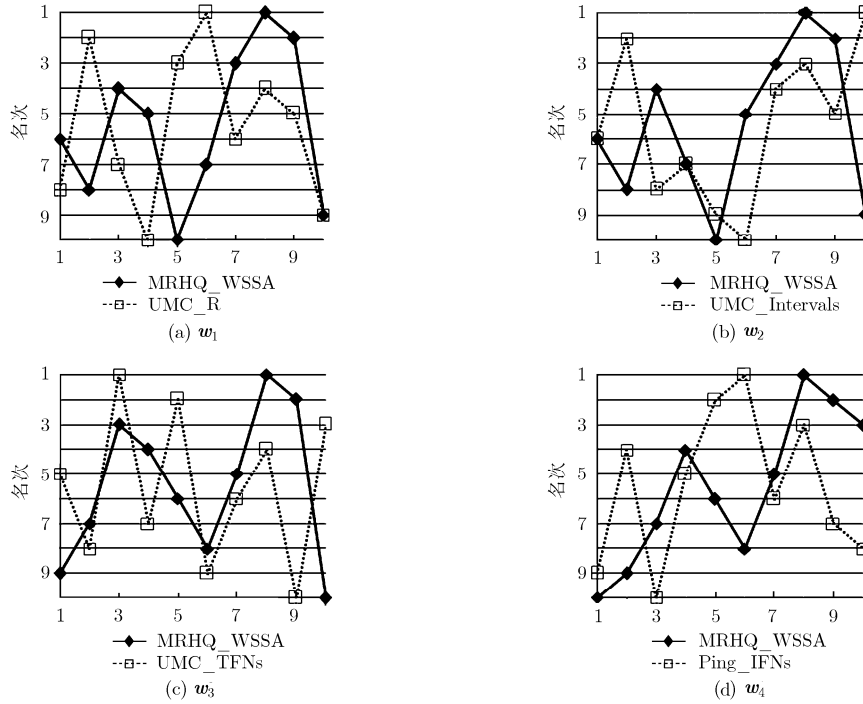


图 1 算法比较

矩阵的时间复杂度为  $O(2 \times m \times n)$ ，确定群理想方案的时间复杂度为  $O(2 \times g \times m \times n)$ ，计算群贴近度的时间复杂度为  $O(g \times m \times n)$ 。所以总时间复杂度为  $O(g \times m \times n + 3 \times (n + g) + 2 \times m \times n)$ ，其中 QoS 的个数  $n$  和决策者个数  $g$  可以看成常数，因此算法具有线性复杂度，具有很高的执行效率。

影响算法性能有组合服务计划数、决策者个数以及 QoS 属性个数，图 2 是在一台配置是 2 GHz 的 Intel Core 2 处理器和 2G 内存的 PC 机上执行算法 100 次得到的时间平均值。图 2(a)中的组合计划备选集见表 1；图 2(b)中的决策者为 4 个。结果显示线性执行时间具有较高效率。

### 5 结束语

多 QoS 注册中心并且 QoS 模型异构对于选择综

合最优的服务造成了极大困难，目前这方面的算法还处于空白。本文提出了一种支持异构 QoS 模型和多注册中心的服务组合优选算法。首先标准化异构的 QoS 模型，然后提出一个基于标准化 QoS 模型的服务选择算法 (MRHQ\_WSSA)。该算法不仅能够处理实数、区间数、三角模糊集和直觉模糊集的用户偏好和群体偏好，还能获得基于多决策者评价的综合最优服务组合计划。最后通过实验比较分析了算法的优势和有效性。

决策者数量和组合服务数量较大时会严重影响 MRHQ\_WSSA 算法的性能，因此在大量决策者和大量组合服务计划情况下提高 MRHQ\_WSSA 算法的性能是我们未来的一项研究计划。群体活动在社会生活中非常广泛，面向群体用户的服务组合是我们另外一项研究计划。

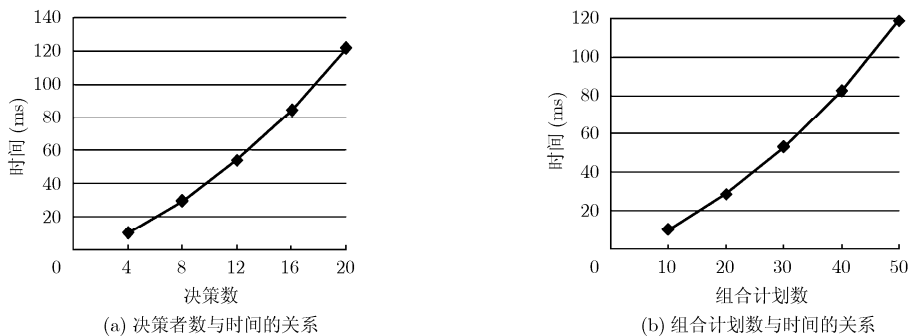


图 2 算法性能

## 参 考 文 献

- [1] Yang F C, Su S, and Li Z. Hybrid QoS-aware semantic web service composition strategies. *Science in China Series F-information Sciences*, 2008, 51(11): 1822-1840.
- [2] Zeng L Z, Benatallah B, and Ngu A H H. QoS-Aware middleware for Web services composition. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2004, 30(5): 311-327.
- [3] Su S, Li F, and Yang F C. Iterative selection algorithm for service composition in distributed environments. *Science in China Series F-information Sciences*, 2008, 51(11): 1841-1856.
- [4] Liu Y, Ngu A H H, and Zeng L Z. QoS computation and policing in dynamic Web service selection. Proceedings of the WWW 2004. New York, ACM Press, 2004: 42-53.
- [5] Wang Ping. QoS-aware web services selection with intuitionistic fuzzy set under consumer's vague perception. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3): 4460-4466.
- [6] Ma Yue and Zhang Cheng Wen. Quick convergence of genetic algorithm for QoS-driven web service selection. *Computer Networks*, 2008, 52(5): 1093-1104.
- [7] Tao Fei, Zhao Dong-ming, and Hu Ye-fa, *et al.* Correlation-aware resource service composition and optimal-selection in manufacturing grid. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(1): 129-143.
- [8] Shih Hsu-shih, Shyr Huan-jyh, and Lee E S. An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modeling*, 2007, 45(7-8): 801-813.
- [9] Stradi B and Haven E. Optimal investment strategy via interval arithmetic. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 2005, 8(2): 185-205.
- [10] Chang W. Ranking of fuzzy utilities with triangular membership functions. Proceedings of International Conference on Policy Analysis and Systems, 1981: 263-272.
- [11] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 20(1): 87-96.
- [12] Wang Ying-ming and Elhag T M S. On the normalization of interval and fuzzy weights. *Fuzzy Sets and Systems*, 2006, 157(18): 2456-2471.
- [13] Kulisch U W. Numerical validation in current hardware architectures. International Dagstuhl Seminar, Dagstuhl Castle, Germany, 2009: 9-20.
- [14] Jahanshahloo G R, Hosseinzadeh Lotfi F, and Davoodi A R. Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency. *Mathematical and Computer Modeling*, 2009, 49(5-6): 1137-1142.
- 张龙昌: 男, 1978 年生, 博士生, 研究方向为网络服务与网络智能.
- 邹 华: 女, 1969 年生, 教授, 研究方向为网络服务与网络智能.
- 杨放春: 男, 1957 年生, 教授, 研究方向为下一代互联网、下一代电信网.