

基于多属性群决策服务组合方案选取方法*

高俊¹, 沈才樑¹, 陈暄¹, 李长云²

(1. 浙江工业职业技术学院, 浙江 绍兴 312008; 2. 湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 针对如何快速、准确地得出最符合用户偏好的服务组合方案的问题, 提出一种基于多属性群决策理论的服务组合方案选取方法。该方法根据匹配规则计算子服务 QoS 属性与用户偏好的相似度, 进而依据相似度选取子服务进行组合, 在多个服务组合方案选取中, 将用户各偏好视做决策者, 利用多属性群决策理论对所有方案进行优劣排序, 从而选取最优组合方案。实验结果表明, 该方法所得解方案相对较优, 消耗时间较合理, 进一步证明了该方法的有效性和可行性。

关键词: Web 服务组合; 多属性群决策; QoS 属性; 方案选取

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)05-1764-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.05.043

Approach on selecting composition schema based on multi-attribute group decision

GAO Jun¹, SHEN Cai-liang¹, CHEN Xuan¹, LI Chang-yun²

(1. Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing Zhejiang 312008, China; 2. School of Computer & Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: For quickly searching out service composition schema matching user's preferences as good as possible, in all service composition meeting requirements of users, this paper proposed an approach of selecting service composition schema based on multi-attribute group decision theory. First, calculated distance between sub-service and user's preference with matching rules, and then, selected service to combine in a sequence, subsequently, produced set of service compositions. In the approach, user's multi-preference regard as decision maker, consequently, all the service compositions could be sorted by multi-attribute group decision theory, consequently, obtained the best service composition. Experiment results show that this method can work out good solution with less running time, and confirm the feasibility and validity of the method.

Key words: Web service composition; multi-attribute group decision; QoS attributes; selecting schema

0 引言

为了适应竞争日趋激烈的动态市场环境,越来越多的企业开始在 Internet 上构建他们的商业流程,并将自己的业务发布为 Web 服务提供给客户,但服务提供者在提供大量满足客户需求服务的同时,如何提高客户的满意度,仍是目前研究的热点^[1]。随着相同或相似功能服务的不断增多,如果忽视用户对服务质量的非功能性需求和使用偏好,则求解的服务组合未必最能满足用户。在多个服务或服务组合方案选取问题上, QoS 属性是区分相似服务的重要指标^[2],通过不同的 QoS 属性能为客户选择最优的服务,但利用 QoS 属性选择最优服务组合的方法存在一个问题:子服务的 QoS 属性与客户偏好最匹配,但多个子服务组合的整体 QoS 属性并不一定是最优组合,单纯地穷举子服务势必消耗用户大量的等待时间,而根据子服务的匹配度选取匹配度高的子服务可以减少搜索最优服务组合的时间。针对这些问题,本文提出一种基于 QoS 匹配度多

属性群决策理论的服务选取方法。QoS 匹配度即为子服务的多维 QoS 属性与用户偏好之间的匹配量度,多属性决策体现在依偏好距离选取子服务组成粗粒度服务时,综合考虑和权衡各组合方案,从而得出最优服务组合。

目前对基于 QoS 的服务组合的研究有很多, SWORD 项目^[3]为离线服务组合提供简单有效的机制,但其更关注服务交互并未强调 QoS 问题; E-Flow 项目^[4]支持动态服务选择,但是选择规则基于局部标准并未强调业务过程的整体 QoS 约束问题; SELF-SERV 项目^[5]提出了一个计算 Web 服务质量模型,依据服务质量值选取最优的执行路径,实现 Web 服务的聚合;文献[6]将一些通用的服务质量要素与领域、行业的质量要素结合起来,并引入一些用户反馈要素,力图实现公平、动态的服务选择;文献[7]引入服务器和网络性能参数进行服务质量分析,并实现服务选择;文献[8~10]构建相应的服务质量验证器、工具和中间件,为服务选择提供支持。上述工作大多是基于服务质量参数进行分析和计算,而对于组合方案求解速度,基于组合服务的单个服务选择计算过程,未能充分利用偏

收稿日期: 2011-09-18; **修回日期:** 2011-10-21 **基金项目:** 湖南省自然科学基金资助项目(09JJ6087, 11JJ4050); 中国博士后科学基金资助项目(20080440216); 湖南省教育厅优秀青年项目(11B039); 浙江省教育技术研究规划资助项目(JB036); 绍兴市教育科学规划资助项目(SGJ11061)。

作者简介: 高俊(1984-), 男, 浙江绍兴人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为软件自适应(republic@126.com); 沈才樑(1973-), 男, 副教授, 硕士, 主要研究方向为软件自适应; 陈暄(1978-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为 Web 服务、软件自动化; 李长云(1972-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为可信软件、软件自动化。

好距离优化组合方案的选取,同时对组合方案与用户偏好的合适程度关注不够,因此在灵活性和客观性方面有所欠缺。文献[11]是基于排序距离量度组合方案的优劣,先定义 QoS 属性距离,将群体排序与各个体排序的加权距离最小化,同时将方案的综合排序与各属性下排序的加权距离最小化,即排序距离越近的为最优方案。该方法没有考虑各决策者本身给出的评价信息就已经存在不确定性或者多方面因素混合的情形。

1 问题建模

在普适计算环境下,单一的服务很难满足用户的任务需求,这就需要进行服务的组合^[12]。为了研究 Web 服务组合问题,特别是单个服务的 QoS 属性对多个服务所构成的组合方案选取,本文对待问题建模如下。

定义 1 Web 服务用一个三元组定义: $s = \{B, F, Q\}$ 。其中, B 是服务基本信息, F 是服务功能信息, Q 是服务 QoS 属性信息。

基本信息 $B(S) = \{N, P, D\}$ 。其中, N 、 P 和 D 分别是服务名、服务供应者和服务文本介绍。服务功能信息用二元组 $F(S) = \{I, O\}$ 定义, I 和 O 分别是服务的输入和输出参数,具有多个参数时,分别用 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$, $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ 表示。对于服务功能的描述,通过对 WSDL 文档进行语义标注实现对服务的描述。Web 服务质量属性 $Q(S)$ 用四元组表示为 $Q(S) = \{T, P, R, A\}$,它描述了服务在执行过程中的信息。其中, T (time) 为服务耗时, P (price) 是服务价格, R (reputation) 是服务信任度, A (availability) 是服务的可用性。当然,服务的质量属性肯定不止这些,此处只是为了说明 QoS 属性对服务选取的影响,故暂选择这四个属性。

随着 Internet 上部署 Web 服务逐渐增多,具有相同或相似功能的服务实例越来越多。在服务或者服务组合方案选取问题上,本文只有通过 QoS 属性这一重要指标来作抉择。服务组合 QoS 满足约束要求,多属性决策理论指可以通过不同的 QoS 属性为客户选择最优的服务和服务组合。

定义 2 组合服务的 QoS 用向量 $q(p) = (q_T(p), q_C(p), q_R(p), q_A(p))$ 表示, $q(p)$ 为组合方案 p 的 QoS 值,向量 $cq = (cq_T, cq_C, cq_R, cq_A)$ 为 QoS 约束向量,如果所有属性的 $q(p) \geq cq$,则称方案 p 满足约束 cq 。

在对于多属性决策理论中,服务组合方案 p 用 $n \times m$ 矩阵 X 表示,将矩阵中每个元素视为决策变量,因而有 $n \times m$ 个决策变量。因而可对关心的目标与相关因素的函数关系用目标函数 $F(p)$ 表示,对于组合方案 p 应该遵循的条件,用约束条件 $G(p)$ 表示,定义如下:

目标函数为

$$F(p) = \begin{cases} \max q_A(p) \\ \vdots \\ \min q_A(p) \end{cases}$$

约束为

$$G(p) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i(ss_{ij}) \cdot Q_R(ss_{ij}) \cdot x_{ij} \geq cq_R \\ \min Q_S(ss_{ij}) \cdot x_{ij} \leq cq_S \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_P(ss_{ij}) \cdot x_{ij} \geq cq_P \end{cases}$$

其中, $\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1$ 。

服务 QoS 属性的约束条件 $G(p)$ 由上层粗粒度抽象服务质量属性要求决定,也即用户偏好需求决定,同样地,目标函数的

个数可以根据用户感兴趣的 QoS 选择构建^[12,13]。从 SOA 的角度来看,把粗粒度抽象服务看做是用户需求的描述,抽象服务到具体服务的精化过程中,下层具体服务的组合需要满足上层抽象服务的功能要求和偏好要求,但下层服务通常是多个服务的组合体,需要权衡多个非功能属性来确定下层服务或者下层服务的最优组合方案,因而涉及到服务匹配问题。

2 匹配度和群决策

2.1 匹配规则

多个非功能属性决定服务选取类似于多目标优化问题^[14],但大多数情况下各子目标可能是相互冲突的,某个子目标的改善可能会引起其他子目标性能的降低,即难以同时使多个子目标均达到最优。利用服务与偏好的匹配度对候选服务排序,依次选取服务进行组合,对多个组合群决策,以此来选择最符合用户偏好的服务组合。为此,首先对服务或者组合方案选择中的匹配规则和匹配度进行说明。

定义 3 Web 服务匹配规则有三层,即服务类型匹配、服务功能的输入/输出参数匹配和 QoS 属性匹配。

设有服务请求 S^R 和服务 S , Web 服务三层匹配定义为: $SM(S, S^R) = BM(S, S^R) \wedge FM(S, S^R) \wedge QM(S, S^R)$ 。其中, $BM(S, S^R)$ 、 $FM(S, S^R)$ 、 $QM(S, S^R)$ 分别表示 Web 服务的类型匹配、服务功能匹配(输入和输出参数)、服务质量(QoS)匹配。

服务类型匹配 $BM(S, S^R) = \text{sim}_N(S, S^R) + \text{sim}_P(S, S^R) + \text{sim}_D(S, S^R)$, $\text{sim}_N(S, S^R)$ 、 $\text{sim}_P(S, S^R)$ 、 $\text{sim}_D(S, S^R)$ 分别是采用基于逻辑的服务匹配方式。基于逻辑的服务匹配方式主要采用基于描述逻辑的推论方法,通过比较概念之间的逻辑关系来决定服务的匹配方式,具体匹配计算结果,借用文献[14]提出的 Exact、Plugin、Subsume 和 Mismatch 四种关系表示。

QoS 匹配 $QM(S, S^R) = TM(T^R, x, \overline{s_T}) \times CM(P^R, x, \overline{s_P}) \times RM(R^R, x, \overline{s_R}) \times AM(A^R, x, \overline{s_A}) \times \sum_{i=1}^4 \overline{s_{q_i}} W_i$, $TM(T^R, x, \overline{s_T})$ 表示服务 S 执行时间 T 的量化值, $\overline{s_T}$ 是否在服务 S^R 执行时间 T^R 的约束值 x 限定的区间内,若 $T^R \leq 10 \text{ ms}$, $\overline{s_T} = 9 \text{ ms}$,则 $TM(T^R, x, \overline{s_T}) = 1$;若 $\overline{s_T} = 11 \text{ ms}$,则 $TM(T^R, x, \overline{s_T}) = 0$ 。其他 QoS 属性的匹配计算与服务时间计算相似。

服务输入/输出功能匹配通过本体匹配技术实现,具体在服务输入和输出匹配中,对于提供服务 $\text{Adv}_{\text{service}}$ 的服务输出为 $\text{Adv}_{\text{output}} = \{\text{outS}_1, \text{outS}_2, \dots\}$,请求的服务 $\text{Req}_{\text{output}} = \{\text{outR}_1, \text{outR}_2, \dots\}$,它们之间服务输出类型的匹配除存在 Exact、Plugin、Subsum、Mismatch 四种匹配外,还存在 Intersection 类型匹配。Intersection 匹配: $\exists \text{outX}$,使得 $\text{outX} \in \text{Adv}_{\text{output}} \wedge \text{outX} \in \text{Req}_{\text{output}}$ 。

这里需要另外定义的是可行组合方案集合,用 p_F 表示,它满足上述多目标规划模型中约束条件的组合方案 p 所构成的集合,即 $p_F = \{p \in P \mid q_R(p) \geq cq_R \wedge q_S(p) \geq cq_S \wedge q_P(p) \geq cq_P\}$ 。一般来说, p_F 中的组合方案是无法进行全部排序的,只能基于某个指标进行部分排序,即方案的群体排序与各个体排序的加权距离应该最小,方案的综合排序与其在每个属性下的排序的加权距离也应该达到最小。

定义 4 组合方案之间优劣关系。

如果存在组合方案 $\mu, \nu \in p_F$,假设 $(q_A(\mu) > q_A(\nu)) \wedge (q_D(\mu) < q_D(\nu))$,称方案 μ 优于 ν ,记为 $\mu > \nu$ 。若 $(q_A(\mu) \geq q_A(\nu))$

$(\nu) \wedge (q_D(\mu) \leq q_A(\nu))$, 则称方案 μ 弱优于 ν , 记做 $\mu \geq \nu$, 此处将在 2.3 小节中用到。

2.2 匹配度计算

Web 服务匹配是一个逐步求精的过程, 经由服务功能匹配和服务 QoS 属性与偏好匹配筛选的服务, 再参与服务组合与偏好匹配, 产生的多个服务组合方案依据群决策排序选择。匹配度计算方法分为三个相互独立的匹配层次。计算方法如下定义。

定义 5 匹配度分为服务向量的距离、相关系数和模糊值上下限的匹配度。

服务信息匹配度的计算, 设有 n 个相近的一组服务, 记为 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, 每个服务有 m 个属性, 记为 $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{im}\} (i=1, \dots, n)$, S_{ij} 为 X_i 与 X_j 之间的匹配度, 其计算方法有三种:

a) 计算服务向量的距离匹配度:

$$S_{ij} = \left[\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |X_{ik} - X_{jk}|^r \right]^{1/r} \quad r=1, 2 \quad (1)$$

b) 计算服务向量的相关系数匹配度:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m |X_{ik} - \bar{X}_i| |X_{jk} - \bar{X}_j|}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - \bar{X}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m (X_{jk} - \bar{X}_j)^2}} \quad (2)$$

其中: $\bar{X}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m X_{ik}$, $\bar{X}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m X_{jk}$ 。

c) 计算模糊值的上下限匹配度:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (\min[X_{ik}, X_{jk}])}{\sum_{k=1}^m (\max[X_{ik}, X_{jk}])} \quad (3)$$

其中: $\max[\dots]$, $\min[\dots]$ 表示模糊值的上下限。

由上述三种匹配度计算方法得到的值均为正, 需要对三个匹配度值的三角模糊数去模糊化, 即对模糊数数据求近似值, 对于三角模糊数来说, 重心是最佳解释, 所以, 式(4)将总体可用性数据去模糊化, 得到具体匹配度 R' 值, 其计算方法为

$$R' = \frac{\int_S \mu(x) dx}{\int_S \mu(x) dx} = \frac{\int_{R_L}^R \mu(x) dx + \int_{R^U}^R \mu(x) dx}{\int_{R_L}^R \mu(x) dx + \int_{R^U}^R \mu(x) dx} \quad (4)$$

其中: $\mu(x)$ 表示 R 的隶属度函数, 计算各个服务与用户偏好的匹配值, 将各个子服务进行排序, 它是组合服务前子服务的选取依据。

2.3 组合方案的群决策

在服务组合前满足三层匹配的各服务依据匹配度排序, 在服务组合过程中依次选取各匹配度的服务构成多个组合方案, 因为每个子服务都有多个属性, 如何权衡各子服务的各属性, 避免产生瓶颈效应, 故需要群决策理论综合评估来解决该问题^[11]。多属性群决策在社会、经济、管理及工程系统等各个领域有着广泛的实际背景, 是决策分析的一个重要研究方向^[12]。本文将用户的各个偏好指标视做一个决策者, 如服务组合方案的选取问题转换为经典群决策问题。

定义 6 假设存在候选组合方案集合, 用 $\text{SchemeSet} = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 表示, 每个候选方案由多个服务组合, 每个服务有多个属性, 所有属性用 $\text{AttributeSet} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 表示。其中 $a_i (i=1, \dots, n)$ 为某个服务的各属性集合, 因此 AttributeSet 可以看做一个矩阵, $D = (d_{ij})_{n \times m}$ 是所有组合方案和所有属性组成的决策矩阵, 其中, d_{ij} 为某个候选方案的第 i 个服务的第 j 个属性, 初始矩阵 D 演化为 $\tilde{D} = (\tilde{d}_{ij})_{n \times m}$, 其中仅包含实数型数据

和区间型数据。

为了便于数据的评估和比较, 需要将矩阵 $\tilde{D}$ 中的数据规格化至一个相同的量纲。将 $\tilde{D}$ 中的每个实数型数据看做一个上下界相等的区间数。让 $\tilde{N} = (\tilde{n}_{ij})_{n \times m}$ 表示规格化矩阵。规格化方法如下:

$$\begin{cases} \tilde{n}_{ij} = \tilde{d}_{ij} / \|\tilde{d}_j\| & \text{characteristic} = \text{belief} \\ \tilde{n}_{ij} = \tilde{d}_{ij}^{-1} / \|\tilde{d}_j^{-1}\| & \text{characteristic} = \text{cost} \end{cases} \quad (5)$$

其中: $\|\tilde{d}_j\|$ 为矩阵 $\tilde{D}$ 中第 j 个列向量的欧几里德模, 且

$\|\tilde{d}_j\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \tilde{d}_{ij}^2}$, $\|\tilde{d}_j^{-1}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \tilde{d}_{ij}^{-2}}$ 。根据区间数的运算法则, 式(5)可推导出式(6)和(7)。

$$\begin{cases} n_{ij}^L = d_{ij}^L / \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{ij}^L)^2} \\ n_{ij}^U = d_{ij}^U / \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{ij}^U)^2} \end{cases} \quad (6)$$

其中: $\text{characteristic} = \text{belief}$ 。

$$\begin{cases} n_{ij}^L = (d_{ij}^U)^{-1} / \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{ij}^U)^{-2}} \\ n_{ij}^U = (d_{ij}^L)^{-1} / \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{ij}^L)^{-2}} \end{cases} \quad (7)$$

其中: $\text{characteristic} = \text{cost}$ 。

在矩阵 $\tilde{N}$ 中, i 和 j 满足 $0 \leq n_{ij}^L \leq 1, 0 \leq n_{ij}^U \leq 1$, 且 n_{ij}^L 和 n_{ij}^U 的大小表示质量的优劣。 $\bar{\omega} = \langle \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m \rangle$ 表示客户的偏好向量, 且 $\omega_j \in R, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1, \omega_j \geq 0$ 。规格化加权后的决策矩阵 $\tilde{W} = (\tilde{w}_{ij})_{n \times m}$, 其中, $\tilde{w}_{ij} = \omega_j \tilde{n}_{ij} = [\omega_j n_{ij}^L, \omega_j n_{ij}^U]$ 。考虑属性 AttributeSet_n , 决策者 D_i 对群体组合方案的排序向量记为

$\sqrt{\sum_{n=1}^M (r_{nm}^G - r_{nm}^L)^2}$, 因服务的各属性对于用户来说有重视程度之分, 故而 AttributeSet_n 下决策者对群体组合方案的排序向量

加权为 $\sum_{i=1}^L \lambda_i^L \sqrt{\sum_{n=1}^M (r_{nm}^G - r_{nm}^L)^2}$ 。假设经过三层匹配规则, 已经筛选出 x 个具有相似功能的候选服务, 需要从其中选出具有最高服务质量的服务返回给用户, 从上述分析可知, 群体组合方案个体排序的加权向量最小时, 其为最优组合。其中, 向量最

小即用 $\min_{i=1}^L \lambda_i^L \sqrt{\sum_{n=1}^M (r_{nm}^G - r_{nm}^L)^2}$ 表示。穷举所有组合方案的匹配度并对各组合方案进行排序, 从而选取最优组合方案。随着群体数量的增加势必增加排序计算的复杂度, 但事实上单个服务的某属性性能急剧下降往往造成之前所提出的瓶颈效应, 因而选取个体排序的前几个进行组合即可计算出最优组合方案。

3 实验

1) 有效性实验 以手机选择上网服务的方式为例。比如客户使用手机股票软件, 需要实时更新数据, 则对网络实时性有要求; 又如某客户使用手机下载的量, 则对速度和资费有要求。假设手机联入互联网可以选择 CMWAP、CMNET、梦网代理和 WiFi 无限网络四种方式, 客户 QoS 属性有数据传输速度、上网资费、数据实时性和端口限制程度。如何权衡客户的各个偏好, 从而选择最合适的联网方式, 属于典型的多属性群决策问题。在此, 将四个客户偏好视做 $L=4$ 个决策专家, 根据 $N=4$ 个属性: 数据传输速度、上网资费、数据实时性和端口限制程度, 对 $M=5$ 个候选联网进行评价和选择。

为便于作对比实验比较结果且不失一般性,本实验采用文献中的数据选取 QoS 权重为 $\lambda_n^l = 0.2$,然后再对权重进行修改计算其排序结果。修改后的 QoS 属性权重为 $w_1 = 0.3, w_2 = 0.3, w_3 = 0.4, w_4 = 0.2$,根据定义 6 得到决策矩阵 R_1, R_2, R_3, R_4 如下所示。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 1 & 2 & 4 \\ 4 & 4 & 4 & 3 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 3 & 1 \\ 2 & 3 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 2 & 2 \\ 4 & 2 & 4 & 3 \\ 3 & 3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 3 & 4 \\ 2 & 2 & 1 & 1 \\ 4 & 4 & 4 & 3 \\ 1 & 3 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

根据四个 QoS 需求对五个待选联网服务求解最终优劣排序结果,步骤如下:

a) 求客户四个偏好对候选联网服务在每个属性下的排序;计算 $\lambda_l^1 = 0.2 (l=1,2,3,4)$ 与 R_1 ,并将其代入 fin_{11} ,得到最小排序向量:

$$\min \begin{bmatrix} 0.2 \sqrt{(r_{11}^G - 5)^2 + (r_{12}^G - 2)^2 + (r_{13}^G - 3)^2 + (r_{14}^G - 4)^2} + \\ 0.2 \sqrt{(r_{11}^G - 3)^2 + (r_{12}^G - 2)^2 + (r_{13}^G - 5)^2 + (r_{14}^G - 4)^2} + \\ 0.2 \sqrt{(r_{11}^G - 3)^2 + (r_{12}^G - 1)^2 + (r_{13}^G - 4)^2 + (r_{14}^G - 4)^2} + \\ 0.2 \sqrt{(r_{11}^G - 4)^2 + (r_{12}^G - 2)^2 + (r_{13}^G - 5)^2 + (r_{14}^G - 3)^2} \end{bmatrix}$$

当 $r_{11}^G = 1, r_{11}^G = 2, r_{11}^G = 3, r_{11}^G = 4$ 时,通过仿真编程计算得到在约束条件下目标函数 d 取最小值为 1.352,同理可得, $r_{21}^G = 4, r_{21}^G = 2, r_{21}^G = 1, r_{21}^G = 3, r_{31}^G = 1, r_{31}^G = 2, r_{31}^G = 4, r_{31}^G = 3, r_{41}^G = 3, r_{41}^G = 2, r_{41}^G = 4, r_{41}^G = 1$ 。

b) 确定客户 QoS 偏好对各联网服务的最终综合排序。

将步骤 a) 的计算结果 $r_{mn}^G (n=1,2,3,4; m=1,2,3,4,5)$ 代入 fin_2 可得

$$\min \begin{bmatrix} 0.3 \sqrt{(r_1^G - 1)^2 + (r_2^G - 2)^2 + (r_3^G - 3)^2 + (r_4^G - 4)^2} + \\ 0.3 \sqrt{(r_1^G - 4)^2 + (r_2^G - 2)^2 + (r_3^G - 1)^2 + (r_4^G - 3)^2} + \\ 0.4 \sqrt{(r_1^G - 1)^2 + (r_2^G - 2)^2 + (r_3^G - 4)^2 + (r_4^G - 3)^2} + \\ 0.2 \sqrt{(r_1^G - 3)^2 + (r_2^G - 2)^2 + (r_3^G - 4)^2 + (r_4^G - 1)^2} \end{bmatrix}$$

如上述 $r_1^G = 2, r_2^G = 1, r_3^G = 4, r_4^G = 3$ 时,距离 d 取最小值为 1.187,因此由定义 4 本实例的最终排序为 $s_2 > s_1 > s_4 > s_3$ 。为了比较结果,用文献[14]中提出的方法重新求解上述算例,得到各个 QoS 偏好下各个服务的综合排序,如表 1 所示。

表 1 客户偏好对各服务 QoS 指标综合排序

m	r_m^1	r_m^2	r_m^3	r_m^4	m	r_m^1	r_m^2	r_m^3	r_m^4
1	3	4	3	3	3	3	1	2	1
2	4	3	4	4	4	2	2	1	2

由表 1 可求得客户偏好对各联网服务的最终排序指标值为 $d_1 = 0.284, d_1 = 0.107, d_1 = 0.422, d_1 = 0.483$,因而本文方法与文献[14]中给出的模糊多属性方案优先序的结果相同,进而说明了本方法的有效性。

2) 可行性实验 为了验证本方法的可行性,本文选取 100 MB 局域网,算法运行微机配置为 Pentium IV 双核 3.6 GHz 处理器,2 GB 内存,操作系统为 Windows XP 的实验环境。实验所需服务从 XMethods.com 和 Amazon.com 的服务集中选取 10、15 和 20 个待组合的服务,即服务组合的规模分别为 10、15 和 20。收集实验数据,通过对多属性决策计算匹配度需要花费的时间如图 1 所示,横坐标为候选服务量,很明显,随着候选服务量的增多,纵坐标一路攀升,也就是需要花费的搜索时间随着问题空间的增大而增多。服务组合的规模越大,需要的时间越多,在 400 个候选服务的情况下,本文方法消耗的时间多了 30 ms 左右,在用户容忍范围内。随着网络带宽的增大、光纤通信和计算机硬件配置的提高,应用本文方法消耗的时间应

该会逐渐减小。

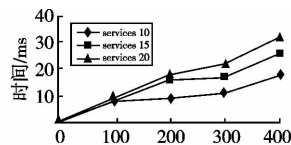


图 1 不同候选服务量、不同组合规模的算法平时执行时间

4 结束语

在相同或相似功能的服务不断增多的前提下,用户对服务的非功能性需求和使用偏好对服务选择起着重要作用。在多个服务或多个服务组合方案选取问题上, QoS 属性是区分相似服务的重要指标,因此,如何依据服务 QoS 属性选择服务组合方案是一个关键问题。针对现有的服务组合方案选择方法的不足,本文提出了基于多属性群决策理论的服务组合方案选取方法,该方法将服务的多维 QoS 属性与客户多维模糊偏好的匹配度统一为 QoS 匹配度,再依据匹配度选取服务构造成服务组合,在得到多个服务组合之后,将用户多维偏好视做多个决策者参与对各组合方案的群决策,权衡各偏好后得出整体最优服务组合。最后通过相同参数的对比实验和方案选取消耗时间的仿真实验,证明了该方法的有效性和可行性。

参考文献:

- [1] 王尚广,孙其博,杨放春. 基于全局 QoS 约束分解的 Web 服务动态选择[J]. 软件学报,2011,22(7):1426-1439.
- [2] 蒋哲远,韩江洪,王钊. 动态的 QoS 感知 Web 服务选择和组合优化模型[J]. 计算机学报,2009,32(5):1014-1025.
- [3] PONNEKANTI S R, FOX A. Sword: a developer toolkit for Web service composition[C]//Proc of the 11th International World Wide Web Conference. New York: ACM,2002:83-107.
- [4] CASATI F, SHAN M. Dynamic and adaptive composition of e-services [J]. Information Systems, 2001,26(3):143-162.
- [5] 刘书雷,刘云翔,张帆,等. 一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法[J]. 软件学报,2007,18(3):646-656.
- [6] 龚小勇,朱庆生,武春岭,等. 支持服务质量全局最优和动态重计划的 Web 服务组合[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(10):2068-2075.
- [7] GUO Feng, ZHAO Li-hong, WANG Yi, et al. Research on the Web services selection problem[C]//Proc of the 2nd International Workshop on Education Technology and Computer Science. 2010:284-287.
- [8] WU Bang-yu, CHI Chu-hua, XU Shi-jie, et al. QoS requirement generation and algorithm selection for composite service based on reference vector[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2009,24(2):357-372.
- [9] VONG C M, LEUNG T P, WONG P K, et al. Case based reasoning and adaptation in hydraulic production machine design [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2002,15(6):567-585.
- [10] BENATALLAH B, DUMAS M, SHENG Q Z. Facilitating the rapid development and scalable orchestration of composite Web services [J]. Distributed and Parallel Databases, 2005,17(11):5-37.
- [11] 徐泽水. 求解不确定型多属性决策问题的一种新方法[J]. 系统工程学报,2002,17(2):177-181.
- [12] ZHANG C W, SU S, CHEN J L. Genetic algorithm on Web services selection supporting QoS [J]. Chinese Journal of Computers, 2006,29(7):1029-1037.
- [13] 宋莉莉. 基于 SOA 的建模与仿真框架及仿真服务发现技术研究 [D]. 长沙:国防科学技术大学,2009.
- [14] 曾玲,曾三云. 给出方案优先序的模糊多属性决策方法[J]. 系统工程理论与实践,2007,27(5):113-118.