

# 一种基于多维服务质量的局部最优服务选择模型

胡建强<sup>1),2),3)</sup> 李涓子<sup>2)</sup> 廖桂平<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(湖南农业大学信息学院 长沙 410128)

<sup>2)</sup>(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

<sup>3)</sup>(武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)

**摘 要** 全局最优和局部最优是服务选择的两种策略. 现有的全局最优服务选择算法提供端到端约束下最优单解而非可接受的多解,既无法充分体现用户偏好和服务个性,也不利于激励服务提供者优化服务质量. 首先,在引入序数效用函数作为局部服务排序的数值尺度的基础上,提出一种基于多维服务质量的局部最优服务选择模型 MLOMSS(Multi-QoS based Local Optimal Model of Service Selection),为自动选取优质服务提供重要依据. 然后,构造客观赋权模式、主观赋权模式和主客观赋权模式来确定各服务质量属性的权重,既体现用户偏好和服务质量的客观性,又有助于快速生成聚合服务链. 最后,通过语义 Web 服务集成平台 SEWSIP(Semantic Enable Web Service Integration Platform)证明 MLOMSS 模型的有效性和灵活性.

**关键词** 局部最优服务选择模型;序数效用函数;主客观赋权模式

**中图法分类号** TP393 **DOI 号:** 10.3724/SP.J.1016.2010.00526

## A Multi-QoS Based Local Optimal Model of Service Selection

HU Jian-Qiang LI Juan-Zi LIAO Gui-Ping

<sup>1)</sup>(School of Information Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

<sup>2)</sup>(Department of Computer Science & Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

<sup>3)</sup>(State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072)

**Abstract** Global optimal and local optimal are two strategies of service selection. The current global optimal algorithms of service selection provide single optimal solution instead of multi-acceptable solutions under end-to-end constraints, which cannot fully reflect users' preference and service personality, and is not conducive to encourage service provider to optimize the service quality. In this paper, an ordinary utility function is used as a numerical scale of ordering local services, and meanwhile a Multi-QoS based Local Optimal Model of Service Selection (MLOMSS) is proposed firstly to provide important grounds to choose the best service. Then, subjective weight mode, objective weight mode, and subject-objective weight mode are constructed to determine the weight of each QoS property, which not only shows users' preference and the objectivity of service quality but also helps to generate service composition chains. At last, experimental results indicate the flexibility and effectiveness of this model based on SEWSIP (Semantic Enable Web Service Integration Platform).

**Keywords** local optimal model of service selection; ordinary utility function; subject-objective weight mode

## 1 引言

开放的网络化应用和“软件作为服务”的理念必将导致基于 Internet 环境下软件系统的主要形态、运行方式、生产方式和使用方式发生巨大的变化。未来网络软件的一种趋势表现为构造若干服务动态聚合、渐趋稳定的软件应用系统<sup>[1]</sup>。随着服务数量的爆炸性成长,存在大量的服务功能相同、非功能特性各异的服务,这一类服务称为服务本体<sup>[2]</sup>。服务聚合过程实现由服务本体到具体服务的绑定,其中,服务选择直接关系到服务聚合的全局质量以及绑定关系是否需要动态调整。服务质量作为非功能特性的重要组成部分,基于服务质量的服务选择问题倍受学术界和工业界的关注。

服务聚合主要有两种服务选择策略:全局最优策略和局部最优策略。以基于流程的服务聚合为例,全局最优策略只是关注服务聚合后服务质量的全局优化效果,不强调局部服务的优劣;局部最优策略以活动为粒度,基于局部最优原则从服务本体中选择合适的局部服务。

### (1) 全局最优策略

其在端对端的服务质量的约束下,通常将服务选择的全局服务质量优化问题转化为整数规划、多选择背包算法和模拟退火等数学求解问题。文献[3-4]定义了五维的服务质量模型,基于整数规划论提出了满足全局最优的服务选择算法;文献[5]在综合考虑系统负载和代价的基础上,定义了效用函数来选择服务使得服务聚合的端对端响应时间的效用最大化;面向服务网络的模拟退火算法<sup>[6]</sup>、基于信任感知的蚁群系统优化算法<sup>[2]</sup>和基于多目标遗传算法 GODSS<sup>[7]</sup>都针对全局最优选择服务,并且求解效率会制约服务动态绑定的性能。这类方法构造的聚合服务链是满足约束条件的目标最优单解而非可接受的多解,用户无法根据偏好选择聚合服务链,不能充分体现服务个性和激励服务提供者优化服务质量。

### (2) 局部最优策略

其基于局部最优原则对候选服务的服务质量加权 and 打分,为每个活动选择得分最优的局部服务,其中如何确定评价因子和权重是关键。文献[8]提出由领域专家根据领域经验定制评价因子(包括服务质量属性和服务业务属性),利用先验知识采用机器学习算法计算权重;文献[9]提出基于动态偏好的服务选择算法,针对每次服务配置的最大请求效用来确定权重,并结合声明式逻辑匹配来克服随机选择服

务的不足;文献[10]提出面向分布式环境的迭代选择算法聚合局部最优服务以适应网络环境变化。这类方法未能有效保证服务个性和用户偏好的平衡,更重视服务选择的理论研究而在实用性和通用性方面略显不足。

针对上述问题,我们在引入真实度作为附加属性来增强多维服务质量模型的合理性和公正性的基础上,提出了一个基于多维服务质量的局部最优服务选择模型 MLOMSS (Multi-QoS based Local Optimal Model of Service Selection),为自动选取优质服务提供重要依据。主要工作包括:引入序数效用函数作为服务排序的数值尺度;构造客观赋权模式、主观赋权模式和主客观赋权模式来确定各服务质量属性的权重;构造实验证明 MLOMSS 模型的有效性和灵活性。

本文第 2 节建立了多维服务质量模型,在引入序数效用函数的基础上给出局部最优服务选择模型;第 3 节将线性局部最优服务选择模型的权重确定问题建模为多属性决策问题,设计了客观赋权模式、主观赋权模式和主客观赋权模式;第 4 节构造相关实验证明模型的方法的灵活性和有效性,说明服务局部优先选择算法能有效缩小全局最优服务选择的求解空间;最后对全文的内容进行总结。

## 2 局部最优服务选择模型

### 2.1 多维服务质量模型

服务质量的建模对刻画服务聚合的质量需求和系统质量评估至关重要。当前对服务质量的建模呈现出一些特点:

(1) 针对不同应用需求,服务质量属性集合的组成存在差异性。

文献[11]只定义四维通用的服务质量属性,包括执行代价、执行时间、可靠性和可用性;文献[4]认为服务质量属性应包括可用性、可靠性、费用、吞吐量、精确性和声誉等;文献[12]定义了五维服务质量属性,包括执行代价、执行时间、可靠性、可用性和声誉;文献[13]将服务质量属性分为通用属性(包括执行代价、执行时间和声誉等)和业务相关属性(事务、补偿率和惩罚率)。

(2) 注重服务整体服务质量的真实性,但没有度量各个服务质量属性的可信程度。

目前获取服务质量信息主要采用探针法和客户收集法<sup>[14]</sup>。文献[12]使用客户收集法收集服务质量信息;文献[13,15]通过探针法收集信息并采用自动

化的计算服务质量信息,从而保证服务质量的真实性;文献[16]基于 Web 服务服务质量的管理体系结构对 UDDI 中的服务质量信息进行检测和自动更新.由于服务的自治和分布等特点,实际应用中存在很大局限性.很多服务提供商直接将服务质量信息直接扩展到服务描述中,但容易存在主观的和非公正的因素,通常采用声誉度<sup>[16]</sup>或信任度来度量整个服务的可信程度.

针对上述问题,可构造一种多维服务质量模型来提高应用的通用性,并引入真实度作为附加属性来增强服务质量属性的合理性和公正性.

**定义 1.** 多维服务质量模型是一个  $n$  维可扩充的向量:  $Qos = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ .

**定义 2(真实度 fidelity).** 设服务  $s$  的真实度  $q_{fid}(s)$  是用户对  $n$  维服务质量属性的评价,即  $q_{fid}(s) = \{fid_1(s), fid_2(s), \dots, fid_n(s)\}$ , 其中

$fid_i(s) = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} r_{ij}(s)}{m_i}$  表示用户对第  $i$  个服务质量属性的评价,  $r_{ij}(s)$  表示第  $i$  个服务质量属性被第  $j$  次访问给出的评价,  $m_i$  表示第  $i$  个服务属性被评价的总次数.

一个包括执行代价  $q_{cost}(s)$ 、执行时间  $q_{time}(s)$ 、可靠性  $q_{rel}(s)$  和可用性  $q_{av}(s)$ , 并以真实度为附加属性的四维服务质量模型可记为

$$Qos = \{q_{cost}(s), q_{time}(s), q_{rel}(s), q_{av}(s)\} \cup \{q_{fid}(s)\} \quad (1)$$

多维服务质量模型的主要优点:

(a) 良好的开放性和可扩充性: 主要表现在应用可灵活定制或加入新的服务质量属性而无需改变模型结构.

(b) 具有合理性和公共性: 针对当前服务选择算法中假定服务质量整体可信的不足, 利用真实度增强每个服务质量属性的公正性, 可以更合理地指导和监督服务聚合.

(c) 具有适应服务质量动态变化的能力: 受网络环境和服务升级等影响, 服务质量可能发生变化, 真实度能及时反映服务质量的变化趋势, 促进服务提供者提高服务质量.

## 2.2 多维服务质量属性的规范化处理

由于多维服务质量属性有不同类型的取值范围, 需要对服务质量数据进行规范化处理, 将所有服务质量属性的值域调整到统一的区间. 由于多数服务质量属性的效用评估与它的值域具有线性变化的特点, 因此可采用最小-最大规范化方法<sup>[17]</sup>来规范

化评价数据.

假设待评估的服务本体存在多个服务实例,  $max(v_i)$  是服务质量属性  $q_i(s)$  取值的最大值,  $min(v_i)$  是服务质量属性  $q_i(s)$  取值的最小值. 如果  $v_i$  的取值越大时服务质量越好, 例如服务的可靠性, 则采用式(2)进行规范化:

$$v'_i = \begin{cases} \frac{max(v_i) - v_i}{max(v_i) - min(v_i)}, & max(v_i) - min(v_i) \neq 0 \\ 1, & max(v_i) - min(v_i) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

如果  $v_i$  的取值越小时服务质量越好, 例如服务的响应时间, 则根据式(3)进行规范化:

$$v'_i = \begin{cases} \frac{v_i - min(v_i)}{max(v_i) - min(v_i)}, & max(v_i) - min(v_i) \neq 0 \\ 1, & max(v_i) - min(v_i) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

经过数据规格化后, 每个服务质量属性  $q_i(s)$  的取值范围由原来  $[min(v_i), max(v_i)]$  区间转换到  $[0, 1]$  区间.

需要说明的是, 对于枚举字符串类型数据, 需要领域专家同时给出每种枚举字符串的质量评分映射表, 根据这张映射表来完成服务质量属性从枚举型到数值型的转换过程; 对于语言化表示的数据采用去模糊化<sup>[10]</sup>转化为实值.

## 2.3 序数效用函数

序数效用函数是微观经济学的重要概念, 按实值大小给出候选服务的“弱序关系”, 促进理性消费服务.

**定义 3.** 若服务本体  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  满足弱序关系“ $\triangleright$ ”, 则具有以下性质:

(1) 连通性.  $\forall s_i, s_j \in S, s_i \triangleright s_j$  或  $s_j \triangleright s_i$  或两者都满足;

(2) 传递性.  $\forall s_i, s_j, s_k \in S$ , 若  $s_i \triangleright s_j$  且  $s_j \triangleright s_k$ , 则  $s_i \triangleright s_k$ ;

(3) 无差异性.  $s_i \cong s_k$  当且仅当  $s_i \triangleright s_j$  且  $s_j \triangleright s_i$ .

**定理 1.** 设“ $\triangleright$ ”是服务本体  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  上的弱序关系, 则存在实值的序数效用函数  $f, \forall s_i, s_j \in S$  有<sup>[18]</sup>

$$f(s_i) \geq f(s_j) \Leftrightarrow s_i \triangleright s_j \quad (4)$$

很容易证明以下两个命题.

**命题 1.** 设  $f$  是服务本体  $S$  上满足式(4)的实值的序数效用函数,  $t$  是  $f$  的严格单调递增价值函数, 即  $\forall s_i, s_j \in S$  有<sup>[18]</sup>

$$t(f(s_i)) \geq t(f(s_j)) \Leftrightarrow s_i \triangleright s_j \quad (5)$$

**命题 2.** 设  $f_1, f_2$  是服务本体  $S$  上的序数效用

函数,则  $f_1, f_2$  的和函数  $f$  为序数效用函数,即  $\forall s_i, s_j \in S$  有

$$f(s_i) \geq f(s_j) \Leftrightarrow s_i \triangleright s_j \quad (6)$$

上述命题表明,计算候选服务的“弱序关系”的效用函数是存在且不是唯一的. 序数效用函数的任何严格单调递增变换后仍是序数效用函数,序数效用函数的和函数仍是序数效用函数. 文献[18]从经济学角度严格证明“弱序关系”和序数效用函数存在性.

相应地,容易得到服务集  $S$  上的序数效用函数.

**命题 3.** 设  $f_1(q_1(s_i)), f_2(q_2(s_i)), \dots, f_n(q_n(s_i))$  分别是  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$  上满足弱序关系“ $\triangleright$ ”的序数效用函数,则单调递增复合函数  $f(S) = f(f_1(q_1(s_i)), f_2(q_2(s_i)), \dots, f_n(q_n(s_i)))$  是服务本体  $S$  上的序数效用函数.

## 2.4 局部最优服务选择模型

序数效用函数作为局部服务排序的数值尺度,刻画出局部服务消费的最优预案,从而促进服务聚合成为一种理性消费服务行为. 结合多维服务质量模型,可建立一般的局部最优服务选择模型.

**定义 4**(基于多维服务质量的局部最优服务选择模型 MLOMSS). 设服务本体  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ ,  $Qos = \{q_1, q_2, \dots, q_n\} \cup \{q_{fid}\}$  为  $n$  维服务质量模型,  $f_1(q_1(s_i)), f_2(q_2(s_i)), \dots, f_n(q_n(s_i))$  分别是  $S$  上满足弱序关系“ $\triangleright$ ”的序数效用函数,则服务本体  $S$  以  $f(S) = f(f_1(q_1(s_i)), f_2(q_2(s_i)), \dots, f_n(q_n(s_i)))$  为排序数值尺度,服务按大小顺序依次选择.

为简单起见,定义第  $j$  维服务质量属性的序数效用函数  $f_j(q_j(s_i)) = \omega_j q_j(s_i)$ .

**定义 5**(线性局部最优服务选择模型 MLOMSS). 设  $A = [a_{ij}]_{m \times n}$  表示服务质量决策矩阵,其中  $a_{ij} = q_i(s_j)$  是服务  $s_j \in S$  在服务质量属性  $q_i \in Qos$  的取值,  $A$  按最小-最大规范化得到标准矩阵  $B = (B_1 \ B_2 \ \dots \ B_m)$ , 选择线性序数效用函数  $f(S) = \sum_{j=1}^n \omega_j q_j(s_i) = B_i w$ , 则  $s_i \triangleright s_j$  当且仅当  $B_i w \geq B_j w$ ,  $w = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)'$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, m$ .

局部最优服务选择模型的主要优点:

(a) 服务消费以最优的预算方案推荐使用,大大提高服务消费的质量. 服务聚合作为一种典型的服务消费场景,每个活动的局部最优更容易满足端对端的服务质量约束.

(b) 易于体现服务个性和用户偏好. 序数效用函数源自经济学消费理论,通过用户参与确定权重,在保证服务效用最大化的同时能充分体现用户

偏好.

(c) 能有效提高预留服务的利用率,有利于调整服务消费者和服务提供者的服务级别协定(Service Level Agreement, SLA),激励服务提供者优化服务质量.

## 3 决策模式

给定序数效用函数为  $f(S) = \sum_{j=1}^n \omega_j q_j(s_i)$ , 其中

$\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$ , 则基于线性局部最优服务选择问题就可转化为多属性决策问题,其中至关重要确定各属性的权重. 根据确定权重的不同方法,主要有 3 种决策模式:主观赋权模式、客观赋权模式、主客观赋权模式. 用户根据确定的权重得到一个有序服务本体  $S_{\text{sort}}$ .

(1) 主观赋权模式

设权重完全由用户偏好确定,按最优权  $\omega_j^* \in w =$

$\{\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n\}$  选择服务.

**定义 6**(主观赋权模式). 设  $\omega_j$  是服务属性  $q_j$  的权重,  $\omega_j^*$  是由加权最小平方方法确定的权值(式(7)), 用户给出属性比较矩阵为  $D = [d_{kj}]_{n \times n}$  (式(8)), 其中  $d_{kj}$  表示  $q_k$  较  $q_j$  的相对重要程度,则有有序服务本体  $S_{\text{sort}}$  满足  $\forall s_i, s_j \in S_{\text{sort}}, s_i \triangleright s_j$  当且仅当  $B_i w^* \geq B_j w^*, w^* = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_n^*)', i, j = 1, 2, \dots, m$ .

$$\begin{cases} \min f_1 = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{kj} \omega_j - \omega_k)^2 \\ \text{subject to } \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ d_{kj} > 0, d_{jk} = 1/d_{kj}, d_{kk} = 1, \end{cases} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^n d_{kj} = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_k}{\omega_j}, \quad i, k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

(2) 客观赋权模式

设权重由客观数据确定,完全不考虑用户偏好,

按最优权  $\omega_j^* \in w = \{\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n\}$  选择服务.

**定义 7**(客观赋权模式). 设  $\omega_j$  是服务属性  $q_j$  的权重,  $\omega_j^*$  由均方差法确定的权值(式(9)), 其中  $b_j^* = \max\{b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{mj}\}$  表示属性  $q_j$  在决策矩阵中的理想值,目标函数  $f_2$  要求理想值与其它候选服务

对应  $q_j$  属性值的方差达到最小, 则有序服务本体  $S_{\text{sort}}$  满足  $\forall s_i, s_j \in S_{\text{sort}}, s_i \triangleright s_j$  当且仅当  $\mathbf{B}_i \mathbf{w}^* \geq \mathbf{B}_j \mathbf{w}^*$ ,  $\mathbf{w}^* = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_n^*)'$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, m$ .

$$\begin{cases} \min f_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 \omega_j^2 \\ \text{subject to } \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (9)$$

### (3) 主客观赋权模式

主观赋权模式和客观赋权模式各有优缺点. 主观赋权模式确定各属性的权重, 虽然体现用户偏好, 但是决策或评价结果具有很大的主观随意性; 客观赋权模式确定各属性间的权重, 虽然决策或评价结果具有较强的数学理论依据, 但是没有体现用户偏好. 因此, 结合主观赋权模式和客观赋权模式两者的长处, 采用主客观赋权模式来确定属性的权重.

设权重由服务质量信息的客观性和用户偏好综合确定, 按最优权  $\omega_j^* \in \mathbf{w} = \{ \sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \}$  选择服务.

**定义 8**(主客观赋权模式). 设  $\omega_j$  是服务属性  $q_j$  的权重,  $\omega_j^* \in \mathbf{w} = \{ \sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \}$  由式(10)确定权值, 则有序服务本体  $S_{\text{sort}}$  满足  $\forall s_i, s_j \in S_{\text{sort}}, s_i \triangleright s_j$  当且仅当  $\mathbf{B}_i \mathbf{w}^* \geq \mathbf{B}_j \mathbf{w}^*$ ,  $\mathbf{w}^* = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_n^*)'$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, m$ .

$$\begin{cases} \min f_1 = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{kj} \omega_j - \omega_k)^2 \\ \min f_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 \omega_j^2 \\ \text{subject to } \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

为求解模型(10), 构造如下多目标规划

$$\begin{cases} \min f_3 = \alpha \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{kj} \omega_j - \omega_k)^2 + \beta \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 \omega_j^2 \\ \text{subject to } \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \\ \omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (11)$$

其中  $\alpha, \beta$  表示主、客观赋权模式相对重要程度, 并且满足

$$\alpha + \beta = 1, \quad 0 < \alpha, \beta < 1 \quad (12)$$

暂不考虑对  $n$  个权重 ( $\omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$ ) 的

非负约束, 构造 Lagrange 函数

$$L = \alpha \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (d_{kj} \omega_j - \omega_k)^2 + \beta \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 \omega_j^2 + 2\lambda \left( \sum_{j=1}^n \omega_j - 1 \right) \quad (13)$$

设  $\frac{\partial L}{\partial \omega_h} = 0, h = 1, 2, \dots, n$ , 则

$$\alpha \left[ \sum_{k=1}^n (d_{kh} \omega_h - \omega_k) d_{kh} - \sum_{j=1}^n (d_{hj} \omega_j - \omega_h) \right] + \beta \sum_{i=1}^m (b_h^* - b_{ih})^2 \omega_h + \lambda = 0 \quad (14)$$

结合约束  $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, n+1$  个等式可以写成矩阵形式

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Z} & \mathbf{e} \\ \mathbf{e}' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{w} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{O} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

其中  $\mathbf{W} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)'$ ,  $\mathbf{Z} = [z_{ij}]_{n \times n}$ ,  $\mathbf{e} = (1, 1, \dots, 1)'$ ,  $\mathbf{O} = (0, 0, \dots, 0)'$ ,  $\mathbf{Z}$  的元素形式

$$\begin{cases} z_{ij} = -\alpha(d_{ij} + d_{ji}), i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, n \\ z_{ii} = \alpha \left( \sum_{k=1}^n d_{ki}^2 + n - 2 \right) + \beta \sum_{k=1}^m (b_i^* - b_{ki})^2, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

求解方程(15), 可得

$$\mathbf{w}^* = \mathbf{Z}^{-1} \mathbf{e} / \mathbf{e}' \mathbf{Z}^{-1} \mathbf{e} \quad (16)$$

$$\lambda = -\frac{1}{\mathbf{e}' \mathbf{Z}^{-1} \mathbf{e}} \quad (17)$$

其中  $\mathbf{w}^*$  就是主客观模式确定的权值.

## 4 实验分析

语义 Web 服务集成平台 SEWSIP (Semantic Enable Web Service Integration Platform)<sup>[19]</sup> 提供一个类似澳大利亚新南威尔士大学 SELF-SERV<sup>[20]</sup> 的快速服务聚合环境, 可通过服务编辑器指定服务聚合的流程模型. 服务聚合引擎支持两种策略: 采用全局最优服务选择算法构造聚合服务链; 采用局部最优选择服务算法和全局最优服务选择算法相结合快速构造聚合服务链, 其中, 服务质量信息主要来自服务描述信息, 并通过服务代理动态收集用户反馈来构造真实度属性以保证服务质量信息的公正性.

旅游业务集成是服务消费的一种典型应用场景, 通过集成分布在互联网上的服务为出行规划提供支持. 容易构建旅游业务集成的有向无环图  $G(E, V)$ , 包括活动: 旅游路线选择  $WS_1$ 、国内飞机预订  $WS_2$ 、国际飞机预订  $WS_3$ 、旅游胜地选取  $WS_4$  和汽车租赁  $WS_5$ <sup>[20]</sup>. 实验环境为 Intel Core(TM) 2 1.86GHz,

RAM 2GB, 硬盘 160GB, 100MB 网络带宽。

### (1) 局部最优服务选择

以  $WS_4$  为例, 生成满足服务功能需求的 10 个候选服务作为服务本体 (见表 1), 并给出四维通用服务质量属性和真实度属性信息, 即执行代价、执行时间、可靠性、可用性存在取值, 真实度作为附加属性对服务质量信息进行自动更新, 缩小服务提供商声明和实际值的差距。用户给出了属性比较阵  $D_1$  和  $D_2$  来反映偏好。

表 1 10 个候选 Web 服务的服务质量信息

	执行代价	执行时间	可靠性	可用性	真实度
$s_1$	0.14	175	0.90	0.92	(0.99, 0.94, 0.90, 0.95)
$s_2$	0.20	150	0.95	0.98	(0.95, 0.89, 0.93, 0.92)
$s_3$	0.10	158	0.92	0.91	(0.95, 0.85, 0.90, 0.91)
$s_4$	0.15	152	0.85	0.95	(0.88, 0.90, 0.90, 0.88)
$s_5$	0.18	165	0.92	0.98	(0.85, 0.90, 0.95, 0.95)
$s_6$	0.20	175	0.90	0.88	(0.99, 0.94, 0.92, 0.90)
$s_7$	0.15	190	0.94	0.92	(0.95, 0.95, 0.92, 0.95)
$s_8$	0.16	155	0.88	0.96	(0.95, 0.88, 0.95, 0.90)
$s_9$	0.18	150	0.92	0.92	(0.92, 0.92, 0.90, 0.95)
$s_{10}$	0.15	145	0.92	0.88	(0.92, 0.90, 0.92, 0.90)

$$D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/4 \\ 3 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 1/2 & 1 & 4/5 \\ 4 & 1/3 & 5/4 & 1 \end{bmatrix}, D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \\ 3 & 2 \\ 3 & 2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

按主观赋权模式、客观赋权模式和主客观赋权模式来选择服务:

#### (a) 主观赋权模式

按照属性比较阵  $D_1$  和式 (7), 利用单纯形法可得权重  $w^* = (0.08, 0.48, 0.24, 0.2)^T$ , 10 个相似服务排序是  $s_2 \triangleright s_9 \triangleright s_{10} \triangleright s_5 \triangleright s_3 \triangleright s_8 \triangleright s_4 \triangleright s_1 \triangleright s_7 \triangleright s_6$ 。如果用户选用属性比较阵  $D_2$ , 则可得权重  $w^* = (0.13, 0.15, 0.33, 0.39)^T$ , 候选服务排序结果为  $s_2 \triangleright s_5 \triangleright s_3 \triangleright s_8 \triangleright s_9 \triangleright s_7 \triangleright s_1 \triangleright s_4 \triangleright s_{10} \triangleright s_6$ 。因此对于不同的属性比较阵, 排序结果变化比较大, 排序结果呈现出较大的随意性。

#### (b) 客观赋权模式

由式 (9), 利用单纯形法可得权重  $w^* = (0.15, 0.35, 0.31, 0.19)^T$ , 则候选服务排序结果为  $s_2 \triangleright s_3 \triangleright s_5 \triangleright s_{10} \triangleright s_9 \triangleright s_8 \triangleright s_4 \triangleright s_1 \triangleright s_7 \triangleright s_6$ , 并且结果与属性比较阵无关。

#### (c) 主客观赋权模式

取  $\alpha = 0.3, \beta = 0.7$  分别为主观决策模式和客观决策模式的相对重要程度以及选用属性比较阵  $D_1$ , 可得权重  $w^* = (0.10, 0.42, 0.27, 0.21)^T$ , 服务排序

$s_2 \triangleright s_9 \triangleright s_5 \triangleright s_{10} \triangleright s_8 \triangleright s_3 \triangleright s_4 \triangleright s_1 \triangleright s_7 \triangleright s_6$ ; 若选用属性比较矩阵  $D_2$ , 可得权重  $w^* = (0.10, 0.42, 0.27, 0.21)^T$ , 服务排序是  $s_2 \triangleright s_9 \triangleright s_5 \triangleright s_{10} \triangleright s_8 \triangleright s_3 \triangleright s_4 \triangleright s_1 \triangleright s_7 \triangleright s_6$ 。

表 2 10 个候选 Web 服务的评价

	效用值		
	主观赋权模式	客观赋权模式	主客观赋权模式
$s_1$	0.3819	0.4105	0.3388
$s_2$	0.7869	0.7400	0.7766
$s_3$	0.5719	0.6012	0.4908
$s_4$	0.5232	0.4490	0.4530
$s_5$	0.6032	0.5872	0.5908
$s_6$	0.2608	0.2523	0.2558
$s_7$	0.3127	0.4001	0.3081
$s_8$	0.5713	0.5217	0.5194
$s_9$	0.6345	0.5813	0.5952
$s_{10}$	0.6234	0.5836	0.5565

选取前 4 个候选服务分别计算执行代价、执行时间、可用性和可靠性来比较 3 种决策模式的优劣, 具体计算结果如图 1 所示。客观赋权模式在执行代价、执行时间和可靠性达到最优, 但可用性不是最佳; 对于主观赋权模式分别在执行代价、执行时间和可用性达到最大, 但可靠性偏低, 用户偏好直接造成服务质量信息的效用实际表现不足; 主客观赋权模式展示良好的中间特性, 既反映了用户偏好又体现服务质量的客观特性, 更具有灵活性。

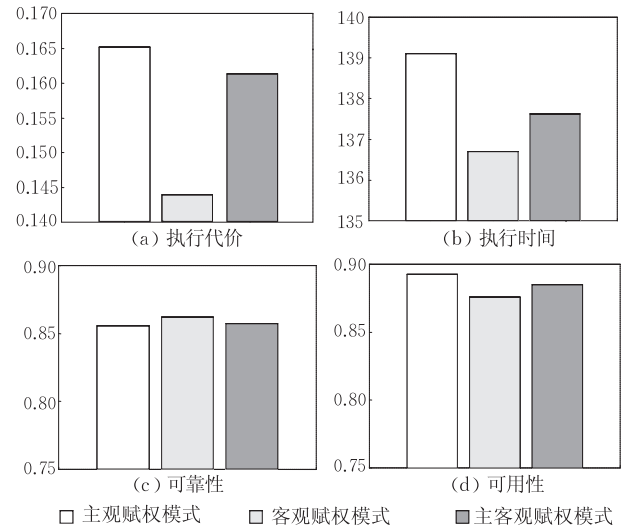


图 1 3 种赋权模式比较

需要说明的是, 局部最优服务选择模型 MLOMSS 存在以下隐含前提假设: 每个服务质量属性的效用是线性的, 任意两个属性都是效用独立的; 每个服务的任一属性的效用无论多差都可用其它属性的价值来补偿。事实上, 属性的效用是线性的以及效用独立性条件很难验证。服务质量属性间的可补偿性通常只能是部分的、有条件的。

(2)局部最优服务选择对全局最优服务选择的影响

基于用户偏好的全局最优服务选择,即在给定的端对端服务质量约束和用户偏好条件下,追求聚合服务综合质量的最大化,其本质仍是 NP-hard 问题. SEWSIP 采用局部最优服务选择和基于整数规划<sup>[4]</sup>的全局最优服务选择算法相结合,解决服务聚合求解空间增大构造聚合服务链的效率问题.

以主客观赋权模式为例,考察局部最优对全局最优服务聚合的影响,在相同业务流程的活动数目的情况下,调整每个活动的候选服务数目对构造服务聚合链的成功率和性能的影响.以旅游业务集成为例,每一活动分别有 10, 20, 30, 40, 50, 60 个候选服务,对于每个活动统一采用或不采用局部最优服务选择,构造服务聚合链的成功率和计算代价.每种情况进行 20 次平均值,随着候选服务数目的变化,构造服务聚合链成功率和时间代价的趋势如图 2、图 3 所示.

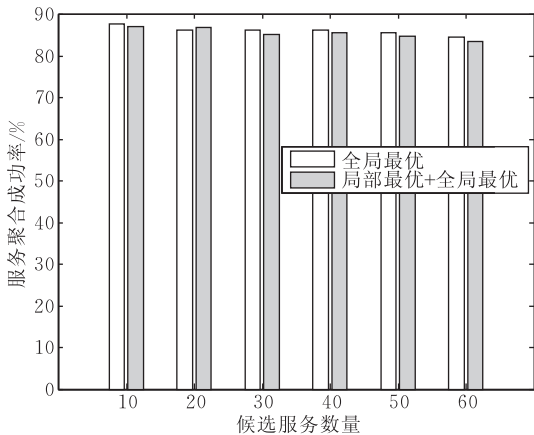


图 2 候选服务数目对服务聚合成功率的影响

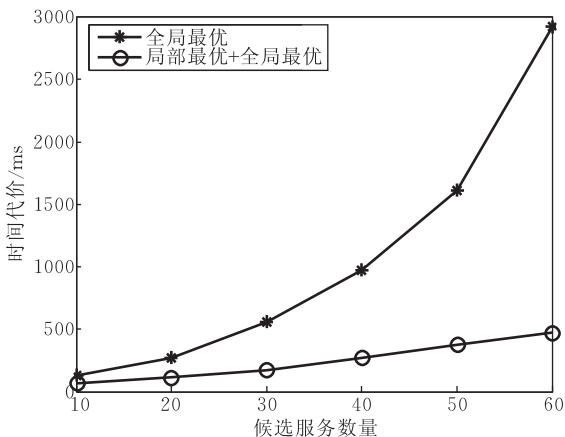


图 3 候选服务数目对构造服务聚合链时间代价的影响

图 2 表明当候选服务数在 10~60 调整时,是否采用局部最优选择算法对构造服务聚合链的成功率

影响不明显.这表明全局最优构造的聚合服务链是由局部最优服务选择的服务组成<sup>[21]</sup>.图 3 采用全局最优服务选择算法构造聚合服务链时随着候选服务数目的增长时间代价极速递增,而先采用局部最优过滤候选服务再由全局最优算法构造服务聚合链的时间代价增长趋势较缓.前者全局最优服务选择算法(整数规划)对服务本体的空间大小敏感,而后者的时间代价增长主要来自局部最优选择算法对候选服务的效用排序.这表明,局部最优选择有助于缩小服务聚合的求解空间并提高构造服务聚合链的效率.

## 5 结 论

服务选择是影响用户对服务聚合体验的关键问题.针对目前全局最优服务选择算法不能充分体现用户偏好,在引入序数效用函数作为局部服务排序的数值尺度的基础上,提出一种基于多维服务质量的局部最优服务选择模型 MLOMSS,为自动选取优质服务提供重要依据,并构造客观赋权模式、主观赋权模式和主客观赋权模式来确定各服务质量属性的权重.通过语义 Web 服务集成平台 SEWSIP 证明 MLOMSS 模型的有效性和灵活性,并证明局部优先服务选择算法能极大缩小全局优先服务选择的求解空间.先采用局部优先服务选择算法对候选服务效用排序,然后采用全局优先服务选择算法快速构造服务聚合链.

MLOMSS 对服务聚合带来以下好处:充分体现用户偏好和服务质量信息的客观性;不要求所有的候选服务的服务质量信息存储在同一注册实体;提高构造服务聚合链的效率以适应网络环境的不确定性和有利于服务提供者优化服务质量;能有效提高预留服务的利用率;适用于服务聚合执行前或执行中等.

除服务聚合应用场景外,本文所设计的基于多维服务质量的局部最优服务选择模型 MLOMSS 可用到一般的服务消费场景中,也同样适用于网络资源和构件的选择问题.

## 参 考 文 献

- [1] Cardoso J, Sheth A, Miller J et al. Quality of service and semantic composition workflows. *Journal of Web Semantics*, 2004, 1(3): 281-308
- [2] Wang Yong, Dai Gui-Ping, Hou Ya-Rong. Dynamic methods of trust-aware composite service selection. *Chinese Journal of Computers*, 2009, 32(8): 1668-1675(in Chinese)

(王勇, 代桂平, 侯亚荣. 信任感知的聚合动态选择方法. 计算机学报, 2009, 32(8): 1668-1675)

- [3] Yu T, Zhang Y, Lin K J. Efficient algorithms for Web services selection with end-to-end QoS constraints. *ACM Transactions on the Web*, 2007, 1(1): Article 6
- [4] Zeng L Z, Benatallah B, Dumas M, Kalagnanam J et al. Quality driven Web services composition//Proceedings of 12th International Conference on World Wide Web(WWW). Budapest, Hungary, 2003: 411-421
- [5] Yu T, Lin K J. Service selection algorithms for Web services with end-to-end QoS constraints. *Journal of Information Systems and E-Business Management*, 2005, 3(2): 103-126
- [6] Jin H, Chen H H, Lu Z P, Ning X M. Q-SAC: Towards QoS optimized service automatic composition//Proceedings of the 5th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Computer and the Grid (CCGRID), 2005, 2: 623-630
- [7] Liu Shu-Lei, Liu Yun-Xiang, Zhang Fan, Tang Gui-Fen, Jing Ning. A dynamic Web services selection algorithm with QoS global optimal in Web services composition. *Journal of Software*, 2007, 18(3): 646-656(in Chinese)  
(刘书雷, 刘云翔, 张帆, 唐桂芬, 景宁. 一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法. 软件学报, 2007, 18(3): 646-656)
- [8] Yang Wen-Jun. Research on Web service composition technology [Ph. D. dissertation]. Department of Computer Science, Tsinghua University, Beijing, 2005(in Chinese)  
(杨文军. Web 服务组装若干关键问题的研究[博士学位论文]. 清华大学, 北京, 2005)
- [9] Lamparter S, Ankolekar A, Studer R et al. Preference-based selection of highly configurable Web services//Proceedings of the 16th International World Wide Web Conference(WWW). Banff, Canada, 2007: 1013-1022
- [10] Su Sen, Li Fei, Yang Fang-Chun. An iterative selection algorithm of service composition in distributed environment. *Science in China Series E: Information Sciences*, 2008, 38(10): 1717-1732(in Chinese)  
(苏森, 李飞, 杨放春. 分布式环境中服务聚合的迭代选择算法. 中国科学 E: 信息科学, 2008, 38(10): 1717-1732)
- [11] Benatallah B, Casati F. Distributed and parallel database//Special Issue on Web Services. Kluwer Academic, 2002
- [12] Sheth A, Cardoso J, Miller J, Kochut K. QoS for service-oriented middleware//Proceedings of the 6th World Multi-conference on Systemics, Cybernetics and In Informations (SCI02). Orlando, FL, 2002, 8: 528-534
- [13] Liu Y T, Anne H H, Zeng L Z. QoS computation and policing in dynamic Web service selection//Proceedings of the 13th International Conference on World Wide Web(WWW). New York, USA, 2004: 66-73
- [14] Xu D, Nahrestedt K. Finding service paths in a media service proxy network//Proceedings of the SPIE/ACM Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN). San Jose, USA, 2002: 171-185
- [15] Maximilien E M, Singh M P. Toward autonomic Web services trust and selection//Proceedings of the 2nd International Conference on Service Oriented Computing (ICSOC). New York, 2004: 212-221
- [16] Fan Xiao-Qin, Jiang Chang-Jun, Wang Jun-Li, Pang Shan-Xi. Random-QoS-aware reliable Web service composition. *Journal of Software*, 2009, 20(3): 546-556(in Chinese)  
(范小芹, 蒋昌俊, 王俊丽, 庞善喜. 随机 QoS 感知的可靠 Web 服务聚合. 软件学报, 2009, 20(3): 546-556)
- [17] Han J W, Kamber M. *Data Mining: Concepts and Techniques*. California USA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc, 2000
- [18] Yue Chao-Yuan. *Decision Theory and Method*. Beijing: Science Press, 2003: 170-188(in Chinese)  
(岳超源. 决策理论与方法. 北京: 科学出版社, 2003: 170-188)
- [19] Yang W J, Li J Z, Wang K H. Interactive service composition in SEWSIP//Proceedings of the IEEE International Workshop on Service-Oriented System Engineering (SOSE). Beijing, China, 2005: 93-98
- [20] Sheng Q Z, Benatallah B, Dumas M et al. SELF-SERV: A platform for rapid composition of Web services in a peer-to-peer environment//Proceedings of the 28th VLDB Conference. Hong Kong, China, 2002: 1051-1054
- [21] Yang Fang-Chun, Su Sen, Li Zhen. Hybrid QoS-aware semantic Web service composition strategies. *Science in China Series E: Information Sciences*, 2008, 38(10): 1697-1716(in Chinese)  
(杨放春, 苏森, 李祯. 混和 QoS 模型感知的语义 Web 服务组合策略. 中国科学 E: 信息科学, 2008, 38(10): 1697-1716)



**HU Jian-Qiang**, born in 1971, Ph.D..

His current research interests include distributed object-oriented technologies, semantic Web services, and software engineering.

**LI Juan-Zi**, born in 1964, professor, Ph. D. supervisor. Her current research interests include Semantic Web and software engineering.

**LIAO Gui-Ping**, born in 1964, professor, Ph. D. supervisor. His current research interests include intelligent information processing, expert system and computer vision.



## Background

This work is supported by the National Nature Science Foundation, National Basic Research Program of China (973 Program) and China Postdoctoral Science Foundation. The project names are “Requirement Engineering: Fundamental Approaches to Software Engineering in Complex System”, “Research on Key Technologies of Semantic-based Web Services Composition”.

Faced with decreasing time-to-market and increasing requirement volatility, software-development processes are increasingly relying on reuse of existing software. The process-driven composition of Web services is gaining a considerable momentum as an approach for the effective integration of

business applications within and across organizational boundaries. A critical step in the process of reusing and integrating existing Web service components is the discovery and selection of best components based on functional and QoS requirements.

The research group has presented a Semantic Enable Web Service Integration Platform called SEWSIP. The major aim of this paper is to find a flexible and effective algorithm of Web service selection, moreover, lay a sound theoretical basis for the further research on framework of semantic-based Web service composition.