

# 一种基于混合智能优化的服务选择模型

陈彦萍<sup>1),2)</sup> 张建科<sup>3),4)</sup> 孙家泽<sup>2)</sup> 郑庆华<sup>1)</sup> 李增智<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(西安交通大学计算机系 西安 710048)

<sup>2)</sup>(西安邮电学院计算机学院 西安 710121)

<sup>3)</sup>(西安电子科技大学理学院 西安 710071)

<sup>4)</sup>(西安邮电学院理学院 西安 710121)

**摘要** 基于 Web 服务功能属性与非功能属性分离的思想,提出了在组合服务流程确定情况下基于非功能属性的组合 Web 服务选择模型.考虑到非功能属性之间的不可公度性和矛盾性,设计了一种基于极大熵函数和社会认知算法的新型混合智能优化算法来解决全局服务选择问题.最后给出了数值实验,实验表明文中的方法可以综合考虑服务组合的非功能要求,从而实现自动的全局服务选择.

**关键词** Web 服务选择;Web 服务组合;服务质量;极大熵;社会认知理论

**中图法分类号** TP311 **DOI号**: 10.3724/SP.J.1016.2010.02116

## A Service Selection Model Using Mixed Intelligent Optimization

CHEN Yan-Ping<sup>1),2)</sup> ZHANG Jian-Ke<sup>3),4)</sup> SUN Jia-Ze<sup>2)</sup> ZHENG Qing-Hua<sup>1)</sup> LI Zheng-Zhi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Computer Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710048)

<sup>2)</sup>(School of Computer Science, Xi'an Institute of Post and Telecommunications, Xi'an 710121)

<sup>3)</sup>(School of Science, Xidian University, Xi'an 710071)

<sup>4)</sup>(Department of Mathematics and Physics, Xi'an Institute of Post and Telecommunications, Xi'an 710121)

**Abstract** Based on the thought of separating non-functional properties from functional properties of Web Service, a composition Web Service selection model based on non-functional properties is put forward, in which executing sequence of the composition service has been given. On account of both incommensurability and confliction among non-functional properties, a new mixed intelligent optimization algorithm making use of both the advantage of Maximum Entropy Method and Social Cognitive Optimization is introduced to achieve the optimal result for the service selection model. Finally, numerical experiments are given, which demonstrate that non-functional requirements can be comprehensive considered for achieving the global automatic service selection.

**Keywords** Web service selection; Web service composition; quality of service; maximum entropy method; social cognitive optimization

## 1 引言

Web 服务组合将 Web 服务视为基本元素,根

据不同的应用需求,将服务组合成了功能更加复杂的组合服务. Web 服务组合大幅度提高了应用的开发速度,为跨企业跨组织的应用合作,实现单个服务无法完成的任务提供了途径,成为企业级服务集成

收稿日期:2010-06-08;最终修改稿收到日期:2010-10-20. 本课题得到国家自然科学基金创新群体项目(60921003)、国家自然科学基金(60825202,60803162)、陕西省自然科学基金(SJ08-ZT15)和中央高校基本科研业务费专项资金(XJJ20100052)资助. 陈彦萍,女,1979年生,博士,副教授,研究方向为网络管理、服务计算. E-mail: chenyanping@xupt.edu.cn; yanping@stu.xjtu.edu.cn. 张建科,男,1978年生,博士研究生,讲师,研究方向为群体智能优化. 孙家泽,男,1980年生,硕士,讲师,研究方向为智能优化算法. 郑庆华,男,1969年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为智能化学习理论、云计算. 李增智,男,1938年生,教授,博士生导师,研究领域为网络管理、服务计算.

的关键技术.因此,Web 服务组合越来越受到学术界和工业界的重视,已经成为了新的研究热点.

在服务组合领域,最具挑战性的问题之一就是面向服务质量(Quality of Service, QoS)的服务组合问题.随着 Web 服务数量逐渐增多,不可避免地出现了许多服务提供者提供相同功能服务的情况,而这些服务往往具有不同的服务质量.对于 Web 服务组合来说非功能属性 QoS 与功能属性同样重要,不满足 QoS 需求的组合服务与不能满足功能需求的组合服务一样无法满足用户要求.因此,在服务组合过程中就需要基于用户的 QoS 要求对具有相同功能的 Web 服务进行选择.判断基于功能需求生成的 Web 组合服务是否满足 QoS 需求,以及从功能相似的 Web 组合服务中选择 QoS 属性较优的组合方案提供给用户十分必要.

面向服务质量的服务组合问题的目标就是在用户 QoS 约束条件下寻找一组服务,组合成一种具有附加价值的复杂服务,在保证服务功能的前提下保证服务质量.

Web 服务组合研究中将功能属性与非功能属性(QoS)分离,使得应用系统中功能和非功能需求分离.这种分离方便了应用的开发和维护,具体表现在以下两点:

(1) 功能性需求和非功能性需求可以独立改变而不互相影响,例如同一个应用运行在不同的资源配置之上的时候,反映给用户的功能是相同的但是用户却能感受到不同的服务质量;

(2) 功能性需求和非功能性需求可以分别由不同的人员开发和管理.

有了这个分离的思想,使得我们考虑服务选择算法的时候就有了一个简单的问题模型.

目前保证组合服务 QoS 的相关研究有以下几个方面:

首先,如何描述服务的 QoS 信息并发布、签署具有确定的 QoS 等级的 Web 服务.

其次,依据 QoS 信息进行服务的选择以支持应用系统组合.在发布了 Web 服务的 QoS 信息后,服务的查找、组合、组合计划的筛选过程就可以利用到 Web 服务的 QoS 信息.

目前针对 Web 服务中 QoS 的研究包括了如何通过原子 Web 服务的 QoS 计算出组合服务 QoS 的方法;如何应用组合服务的 QoS 约束条件到服务选择中,得出满足客户需要的服务执行计划;如何保证在动态环境中的服务优化选择.

本文主要解决服务组合中如何根据用户的 QoS 要求在运行时进行动态的服务选择和组合.在本文的问题中,服务组合过程的功能性流程已经确定,而每个功能都有多个可被选中的候选服务,不同的服务提供商提供的这些原子服务都能满足组合服务的功能要求,但每个原子服务的非功能属性可能不同,因此,存在很多种可能的服务组合方案,这些服务组合方案有的符合用户的 QoS 约束,有的不符合,组合 Web 服务选择的主要工作就是依据 QoS 参数具体化每个任务由哪个 Web 服务来执行.作者给出了基于 QoS 的组合服务选择模型,并把传统的极大熵函数法与社会认知算法相结合,提出了一种新的混合智能优化算法来求解组合服务选择问题.最后通过实验证明了本方法的可行性和先进性.

## 2 基本概念

为了研究 Web 服务中的 QoS,首先给出 ITU-T 在计算机网络中对于 QoS 的定义:“QoS 是一个综合指标,用于衡量使用一个服务的满意程度,描述关于一个服务的某些性能特点”. workflow 中 QoS 的定义为:“QoS 指的是 workflow 应用满足一组初始需求的定性或定量的特征”.文献[1]给出了 Web 服务中的 QoS 属性的定义:“一系列影响到一个 Web 服务提供的质量的非功能属性”.文献[2]中将 QoS 属性分为两类:一类是服务层 QoS 属性,也可以称作内部 QoS 属性,由服务提供商的操作机制决定,比如优先级机制、代理机制;另一类是网络层 QoS 属性也可以称作外部 QoS 属性,不受服务提供商的操作机制影响,比如网络的可用性.按照文献[2]的这种分类方法,本文只涉及服务层 QoS 属性.为了统一概念,方便进行下一步的研究,首先给出如下定义.

**定义 1.** Web 服务的 QoS 属性.

Web 服务 QoS 属性是一组可以量化的参数集合,用来衡量服务请求者和提供者之间的满意程度.

**定义 2.** 服务的描述模型.

Web 服务  $S$  可以表示为  $S = \{Func, QoS\}$ ,其中  $Func$  是描述  $S$  的功能属性的集合;  $QoS$  描述的是  $S$  的 QoS 属性的集合.

功能属性在 WSDL 中用 *portType* 元素来描述,具体地说一个 *portType* 中的 *operation* 就代表了一个功能;而要描述 QoS 属性,则需要对现有

WSDL 标准作扩展. 这个工作我们前期已经完成<sup>[3-4]</sup>.

**定义 3.** 服务类(Service Class).

令  $S$  为注册中心中服务的集合  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_p\}$ ,  $s_p$  是第  $p$  个加入到注册中心的原子服务, 我们将  $S$  按照如下组合服务流程划分成  $m$  个由原子服务组成的集合即服务类  $SC$  (Service Class), 同一个服务类中的服务能够完成类似的功能, 区别在于 QoS 属性. 同一个服务类中的服务叫作候选服务.

本文注重的是如何在流程固定的情况下, 实现根据用户的要求(QoS)从服务类中选择原子服务, 以提高服务的可用性和对用户要求的满足程度. 为了更形象地描述基于 QoS 驱动的 Web 服务选择问题, 图 1 给出了一个简单的流程, 在这个流程中, 组合服务功能被分解为 3 个服务类. 如果 3 个服务类中有任何一个集合为空集(没有满足功能需要的原子服务), 那么组合就无法进行, 需要重新设计流程, 并重新对组合服务的功能进行划分. QoS 驱动的 Web 服务组合中服务组合的主要过程如下: 首先, 服务组合商按照功能将现有的分布的 Web 服务进行功能上的分类, 即划分成一个一个的服务类; 其次, 服务组合商按照客户的需要, 在每一个流程步骤中对服务类中的候选服务按照 QoS 属性进行过滤; 最后, 将组合服务提供给客户, 使得客户可以使用组合的服务. 这个组合过程本身也是基于功能属性与非功能属性分离的思想.

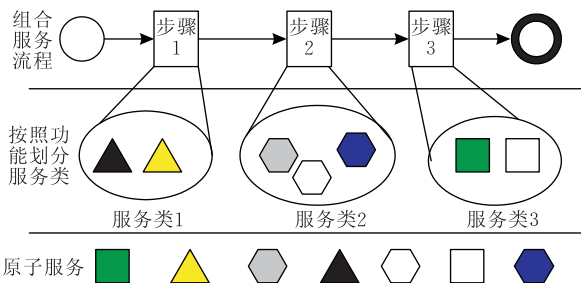


图 1 QoS 驱动的服务选择问题

### 3 组合服务选择模型

令  $CS$  为一个组合服务, 并且 Web 服务组合商已将  $CS$  的执行流程划分为  $L$  个服务类  $\{C_1, C_2, \dots, C_L\}$ , 第  $i$  个服务类  $C_i$  ( $1 \leq i \leq L$ ) 是由原子服务组成的集合  $C_i = \{S_i^1, S_i^2, \dots, S_i^{N_i}\}$ ,  $N_i$  表示  $C_i$  中候选的原子服务的个数. 对于候选服务来说, 它拥有自己的  $m$  个 QoS 属性, 定义为  $q = (q_1, q_2, \dots, q_m)$ . 原子服务 QoS 属性值一般由该原子服务的服务提供商给出.

$Q$  是组合服务  $CS$  的 QoS 属性值,  $Q = (f_1, f_2, \dots, f_m)$  由  $m$  维函数通过对原子服务的 QoS 进行计算而得到的. 现实中这个  $Q$  可以定义为类似(响应时间, 价格,  $\dots$ , 安全等级)的向量.

首先, 我们对基于多维 QoS 服务选择问题建立如下模型:

$$\max f_r(X) = f_r \left[ \sum_{j=1}^{N_1} q_r \times x_{1j}, \sum_{j=1}^{N_2} q_r \times x_{2j}, \sum_{j=1}^{N_3} q_r \times x_{3j}, \dots, \sum_{j=1}^{N_L} q_r \times x_{Lj} \right], \quad r=1, 2, \dots, m \quad (I)$$

$$\text{st. } x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1$$

$$\text{求 } X = (x_{11}, x_{12}, x_{1N_1}, \dots, x_{L1}, x_{L2}, \dots, x_{LN_L})^T.$$

模型(I)中:

(1)  $f_r(X)$  组合函数表示组合方案  $X$  在目标  $q_r$  下的属性值, 也就是说怎么从原子服务的  $q_r$  属性计算出组合服务的 QoS 属性. 我们这里的  $Q(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)]$  表示组合时考虑 QoS 目标有  $m$  个,  $Q = [f_1, f_2, \dots, f_m]$  为目标函数集. 在组合服务选择中, 目标函数的选择依问题或者选择的意图而各不相同, 目标函数的选择不同, 得出的结果也不相同.

(2) 对于 QoS 属性来说, 有些是越大越好, 有些越小越好, 在模型(I)中我们统一求  $\max f_r(X)$ , 因此需要将所有的  $f_r(X)$  都可以标准化为求极大.

利用等价转化, 模型(I)加入约束条件:

$$\begin{cases} x_{ij} \times (1 - x_{ij}) = 0 \\ \forall i = 1, 2, \dots, L, \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} = 1 \end{cases}$$

这样就能保证在第  $i$  个服务类中只能有一个原子服务被选择, 即

$$\max f_r(X) = f_r \left[ \sum_{j=1}^{N_1} q_r \times x_{1j}, \sum_{j=1}^{N_2} q_r \times x_{2j}, \sum_{j=1}^{N_3} q_r \times x_{3j}, \dots, \sum_{j=1}^{N_L} q_r \times x_{Lj} \right], \quad r=1, 2, \dots, m \quad (II)$$

$$\text{st. } \begin{cases} x_{ij} \times (1 - x_{ij}) = 0, \\ \forall i = 1, 2, \dots, L, \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} = 1 \\ x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, L, j = 1, 2, \dots, N_i \end{cases}$$

$$\text{求 } X = (x_{11}, x_{12}, x_{1N_1}, \dots, x_{L1}, x_{L2}, \dots, x_{LN_L})^T.$$

模型(II)中:

(1) 约束  $x_{ij} \times (1 - x_{ij}) = 0$  表明,  $x_{ij}$  的取值只有两种选择,  $x_{ij} = 0$  表示第  $i$  个服务类中的第  $j$  个原子服务没有被选中,  $x_{ij} = 1$  则表示选中. 这样可以把服务选择问题看作非线性 0-1 规划问题, 选取适合

的 0-1 设计变量,使得目标函数值极小(极大).许多 0-1 规划问题,即使是线性问题,都属于 NP 难问题或者 NP 完全问题,在理论上已经被证明求解这类问题不可能存在多项式时间算法. 0-1 规划问题最基本的特点是设计变量只能取 0 或 1,导致优化数学模型中的目标函数和约束函数在其可行集内是不连续的,进而导致问题的不可微性,从而使连续变量优化中许多有效的解析数学方法和优化理论中的各种最优性条件失去了意义. 我们这里通过  $x_{ij} \times (1 - x_{ij}) = 0$  将一个离散问题转化成一个光滑的连续函数进行求解.

(2)  $\forall i=1, 2, \dots, L, \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} = 1$  表示对于任意的服务类每次能且只能被选中一个候选服务.

模型(II)是一个非线性约束多目标连续优化问题,显然模型(I)  $\Leftrightarrow$  模型(II). 这个多约束的服务选择模型中,可选的服务由  $\mathbf{X} = (x_{11}, x_{12}, x_{1N_1}, \dots, x_{L1}, x_{L2}, \dots, x_{LN_L})^T$  给出. 本文就是通过社会认知算法,从  $N_1 \times N_2 \times N_3 \times \dots \times N_L$  种可能组合方案中找到一组原子服务使得组合服务 QoS 是 Pareto 最优解.

## 4 组合服务选择方法设计

### 4.1 极大熵函数法

非线性极大极小问题是一类经常出现在工程设计、电子线路规划、方程组求解、数据拟合以及多目标优化中的一类非光滑优化问题. 由于目标函数的非光滑性,传统的算法难以求解此类问题. 自 1987 年以来,国内外学者基于熵函数法<sup>[5-7]</sup>的思想给出了此类问题的一些有效算法并取得了良好的效果. 通过极大熵函数法,可以把相应优化问题中的多个不等式约束处理成一个等式约束,因此我们只需求解相应的等式约束优化问题即可.

考虑如下的优化问题:

$$\min_x f(x) \equiv \max_{1 \leq i \leq m} \{f_i(x)\} \quad (1)$$

其中各个分量  $f_i(x)$  是变量  $x \in \Omega \subset R^n$  的光滑函数,但是函数  $f(x)$  是一个不可微函数. 所以该问题是一个较为复杂的不可微优化问题.

在以往的 Web 服务选择问题的研究中,通过权重将组合服务的多个 QoS 属性合并为一个参数  $\sum_{i=1}^m Weight_i \times qos_i$  将其作为优化算法的目标函数,我们通过下面的例子说明这种做法的缺点.

令  $m=2, Weight_1=0.8, Weight_2=0.2$ , 服务类有两个候选服务  $S_1^1, S_2^1$ , 其 QoS 属性值分别为  $(2, 100)^T, (20, 28)^T$ , 将这两个候选服务的 QoS 属性值代入服务选择的目标函数  $\sum_{i=1}^m Weight_i \times qos_i$  中结果都是 21.6, 此时  $S_1^1, S_2^1$  是非劣解的关系,不能辨别  $S_1^1, S_2^1$  的好坏. 现实情况中  $S_1^1, S_2^1$  的两个 QoS 属性赋予了不同的权重值,这就说明对于服务请求者来说每个目标的重要性并不是一样的,按照  $Weight_1=0.8$ , 因此  $S_2^1$  应该更符合组合服务请求者的要求.

现有的对目标函数进行优化的服务选择方法忽视了这个问题,通过极大熵函数却能很好地解决这个问题,因为我们首先取多个 QoS 目标中最小的,然后最大化,这就保证了每一个目标都能最大化,用极大熵方法本文在两个候选服务  $S_1^1, S_2^1$  中选的的结果就是  $S_2^1$ .

定义 4<sup>[6]</sup>. 称以下函数

$$F_p(x) = \frac{1}{p} \ln \left\{ \sum_{i=1}^m \exp[p f_i(x)] \right\}$$

为式(1)中  $f(x)$  在  $x \in \Omega \subset R^n$  上的极大熵函数.

定理 1<sup>[6]</sup>. 对任何  $x \in \Omega \subset R^n$ , 函数  $F_p(x)$  都随参数  $p$  的增大单调减少,且当  $p \rightarrow \infty$  时以  $f(x)$  为极限,即

$$F_s(x) \leq F_r(x), \quad s \leq r, \quad \lim_{p \rightarrow \infty} F_p(x) = f(x).$$

上述定理表明只要取足够大的  $p$  就可以用极大熵函数来替代目标函数  $f(x)$ , 从而将原来的非线性极大极小问题转化为一个可微函数的无约束优化问题. 虽然  $p$  取有限值时仅能得到原问题的近似解,但只要  $p$  取得适当大数也能保证很高的精度.

对于本文有约束的非线性极大极小问题:

$$\begin{aligned} \min_x f(x) &\equiv \max_{1 \leq r \leq m} \{f_r(x)\} \\ \text{st. } g_j(x) &\leq 0, \quad 1 \leq j \leq n \end{aligned} \quad (2)$$

其中各个分量  $f_i(x)$  以及各个  $g_j(x)$  是变量  $x \in \Omega \subset R^n$  的光滑函数.

### 4.2 社会认知算法

在过去的几十年中,很多模拟生物智慧开发出的优化算法被相继提出,如蚁群算法、粒子群算法等. 这些都是基于昆虫系统的,从现实上来看,很显然人类社会比昆虫社会有更高的社会性和智能性. 一个人借助观察他人的行为以及行为结果来从中获得学习,人类学习是通过观察别人的行为和别人行为的后果,并将其符号化的过程. 班杜拉将这种通过观察和模仿他人的行为而获得的学习称为观察学习,这种观察学习是发生在社会之中的,所以也叫作

社会学习. 这就是比昆虫系统要智能得多的地方. 社会认知优化算法 (Social Cognitive Optimization, SCO) 由清华大学的谢晓峰在 2002 年首先提出<sup>[8]</sup>.

社会认知优化算法的基本概念包括:

(1) 知识点. 知识点是由知识空间中位置值、水平值的描述构成的点, 通过对知识点的多次更新和选取, 最终获得最优解.

(2) 知识库. 知识库是用来存储知识点的表.

(3) 学习代理. 学习代理是一个行为个体, 用来选取知识库中的知识点参与优化过程.

(4) 领域搜索: 假设有两个知识点  $x_{1,d}$  和  $x_{2,d}$ , 对  $x_{2,d}$  的领域搜索就是以  $x_{1,d}$  作为参考选出一个新的知识点  $x_d^*$ , 由下式得到

$$x_d^* = x_{1,d} + 2 \times \text{Rand}() \times (x_{2,d} - x_{1,d}),$$

这里  $d$  表示知识点的维数,  $\text{Rand}()$  是一个在  $(0, 1)$  的随机值,  $x_{1,d}$  和  $x_{2,d}$  分别定义为搜索的参考点和中心点. 整个优化过程由一系列学习代理来完成.

遗传算法、模拟退火算法、Tabu 搜索算法、人工神经网络法、和谐和搜索法等算法本质上仍然是排列组合, 其共同的致命缺点是结构重分析次数太多, 计算工作量太大, 而且也不能保证所得到的解就是全局最优解. 尽管这类算法都试图通过智能判断, 尽可能地减少一些不必要的计算量, 但是它们在本质上都是基于排列组合的, 在计算机实现上均无法避免由于组合所带来的困难问题. 在求解此类问题时, 计算机所需的时间随设计变量数目呈指数增长, 当设计变量数目有小量增加时, 计算机所需的计算时间和计算量却迅速剧增, 对于大规模的组合优化问题, 即使是使用当前速度最快、容量最大的计算机, 在人们所能接受的时间内, 根本难以得到原问题的解. 社会认知优化算法是一种基于社会认知理论的集群智能优化算法, 它适合于大规模的约束问题的处理, 实验显示, 社会认知算法优于目前的粒子群算法和遗传算法, 该算法已经在非线性规划问题求解中表现出了良好的效果<sup>[9]</sup>.

### 4.3 组合服务选择算法

服务选择问题就是需要计算模型 (II)

$$\max f_r(X) = f_r \left[ \sum_{j=1}^{N_1} q_r \times x_{1j}, \sum_{j=1}^{N_2} q_r \times x_{2j}, \sum_{j=1}^{N_3} q_r \times x_{3j}, \dots, \sum_{j=1}^{N_L} q_r \times x_{Lj} \right],$$

上式可以等价转化为

$$\max \min \{ f_1(X), f_2(X), \dots, f_r(X) \}, \quad r = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

等价于

$$\begin{aligned} \max_x f(x) &\equiv \min_{1 \leq r \leq m} \{ f_r(x) \} \\ \text{st. } g_j(x) &\leq 0, \quad 1 \leq j \leq n \end{aligned} \quad (4)$$

现在还不能直接使用定理 1 的极大熵函数, 式 (3) 是一个极大极小问题, 而前面我们给出的是极大极小问题的极大熵函数, 为了使用极大熵函数, 这里我们可人为地在数学上规定目标函数为形式  $-f_r(X)$ , 这样就可以将求最大值的问题转化为求最小值的问题, 因此式 (3) 变化成式 (5), 且式 (4) 与式 (5) 的最优值相差一个负号:

$$\min [\max \{ -f_1(X), -f_2(X), \dots, -f_r(X) \}] \quad (5)$$

因此, 对于我们的问题极大熵函数为

$$F(X) = \frac{1}{p} \ln \sum_{r=1}^m \exp[-p f_r(x)] \quad (6)$$

这样本文将模型 (II) 中的非线性约束多目标优化问题利用极大熵函数法转换为单目标的约束规划问题. 有了这个适应值函数, 我们就可以用社会认知算法进行求解.

社会认知优化的参数包括  $N_{pop}$ 、 $N_c$  和  $T$ , 其中库中知识点的个数是  $N_{pop}$ , 学习代理的数量是  $N_c$ ,  $T$  是学习循环的循环次数. 具体算法步骤如下:

1. 初始化过程:

1.1. 获得模型 II 中  $X$  中变量的个数, 即参与服务组合优化的原子服务总数, 将其作为社会认知优化算法中优化变量的个数, 根据模型 II 的约束条件生成  $N_{pop}$  个社会认知优化算法中的知识点, 并存储在知识库中;

1.2. 给每个学习代理随机分配库中的一个知识点, 但不允许把一个知识点重复分配给多个学习代理.

2. 替代学习过程: 对每个学习代理:

2.1. 模仿学习. 从库中随机选择两组或者多组知识点 (一般选择两个就可以), 但这些选出的知识点都不能和学习代理自身的知识点重复, 构成两组或多组满足约束条件的组合方案, 然后基于竞争选择的原则在这几组方案之间选出一个好的组合方案 (每组方案的适应值函数  $F(X)$  之间的比较);

2.2. 观察学习. 对比选择出来的组合方案中知识点和代理自身的知识点的水平, 选择水平较好的那个点 (我们这里把所有的属性都转换成越大越好) 作为中心点, 用较差的那个点作为参考点, 然后学习代理基于领域搜索的原则根据这两个点移动到一个新的知识点, 并且将新的知识点储存在库中.

3. 库更新过程. 从库中移去  $N_c$  个具有最差的水平

的知识点.

4. 重复步 2~4 直到满足停止条件 (例如达到预先确定的迭代次数  $T$ ).

组合服务选择必要的说明:

由于  $p$  要求充分大, 在计算中很容易导致  $\exp$

$[pf_r(x)]$ 发生数据溢出,在计算中作如下处理.

设  $M > 0$  使得  $\exp(M)$  小于计算机可存储的最大整数,而  $\exp(M+1)$  发生上溢,记

$$f_K(x) = \max_{1 \leq r \leq m} \{|f_r(x)|\}.$$

(1) 若  $p|f_K(x)| \leq M$ , 则取适应值函数为

$$F_p(X) = \frac{1}{p} \ln \left\{ \sum_{r=1}^m \exp[pf_r(x)] \right\}.$$

(2) 若  $p|f_K(x)| > M$ , 则取适应值函数为

$$F_p(x) = f_K(x).$$

## 5 算法实现

### 5.1 场景设计

当用一集属性去表示完整的多目标决策问题时,这集属性必须具有以下 5 个性质:完全的、可运算的、可分解的、非多余的和最小的.如果一个多目标决策问题的所有重要的方面都能用这集属性去刻画和表示,那么它是完全的;如果这集属性能够有效地用到分析中去,它是可运算的;如果一个决策问题能分解为若干部分,使评价简化,它是可分解的;如果决策问题中没有一方面在属性中被重复考虑,即考虑了两次或更多次,它是非多余的;如果对于一个多目标决策问题没有另外一集属性有更小数目的元素,它是最小的.

被用来指导服务组合中原子服务选择的目标的属性都必须满足两个性质:可理解性和可测性.如果一个目标的属性的值以标定相应的目标达到的程度,则它是可理解的;如果对给定的方案能够按照某种标度对属性赋值,则该属性是可测的.直观上,这两条要求是非常明显和合理的.

基于上面这两个要求,本文首先基于如图 2 所示的组合服务流程进行算法实验.我们按照旅游服务的场景,实现了一个组合服务-旅游服务,这个组合服务多个原子服务组成,如交通服务、住宿服务、观光服务、气象服务等等.虽然两个客户对景点的要

求相同,但各自的支付能力和对交通、住宿的要求可能不同.当用户需要使用旅游服务时,管理中心通过对用户的多个 QoS 目标属性的决策,得到一个最优的执行方案,并将组合结果传给执行环境中进行执行.这样,不同的 QoS 要求的服务都可以在运行中动态满足.

图 2 中服务类个数为 4, 服务类 1 为天气查询服务,其中有 3 个候选服务  $\{S_1^1, S_1^2, S_1^3\}$ , 服务类 2 为火车票预订服务,其中有 2 个候选服务  $\{S_2^1, S_2^2\}$ , 服务类 3 为景点预订服务,其中有 3 个候选服务  $\{S_3^1, S_3^2, S_3^3\}$ , 服务类 4 为酒店预订服务,其中有 2 个候选服务  $\{S_4^1, S_4^2\}$ . 组合服务必须从 4 个服务类的每一个服务类中选出一个原子服务即  $\{S_i^j, S_j^k, S_k^l, S_l^i\}$ ,  $1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq 2, 1 \leq k \leq 3, 1 \leq l \leq 2$ .

### 5.2 QoS 属性

本文定义原子 Web 服务  $S$  的 QoS 属性由下面 5 个分量组成的 5 维向量  $q = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5)$  (每一个分量都有自己的度量单位):

$q_1 = responseTime(S)$  表示原子服务的响应时间;

$q_2 = price(S)$  表示原子服务的价格;

$q_3 = expireTime(S)$  表示原子服务活跃天数;在这个天数之内,服务提供商都可以保证服务的可靠性;

$q_4 = availability(S)$  表示原子服务的可靠性;

$q_5 = securityLevel(S)$  表示原子服务的安全等级.

对于服务组合来说,每一个原子服务的 QoS 参数值  $(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5)$  是已知的.对于图 2 中的一个组合服务  $CS = \{S_1^i, S_2^j, S_3^k, S_4^l\}$  来说,同样具有这些参数值,且代表相同的含义,组合函数  $f_r$  给出如何通过  $\{S_1^i, S_2^j, S_3^k, S_4^l\}$  中每个原子服务的 QoS 属性得到组合服务  $CS$  的 QoS 属性值.不同的 QoS 属性有不同的组合函数  $f_r$ , 具体定义如下:

(1) 组合服务的响应时间,对用户来说这个参数应该越小越好.考虑到组合服务执行流程中包含并发执行的服务;CPA<sup>[10]</sup> 是一个求关键路径算法,也就是说组合服务的响应时间应该为那条关键路径上的原子服务的响应时间之和.也就是说组合函数  $f_r$  为一个 CPA 函数,如下表示:

$$f_1(X) = CPA \left[ \sum_{j=1}^3 q_1 \times x_{1j}, \sum_{j=1}^2 q_1 \times x_{2j}, \sum_{j=1}^3 q_1 \times x_{3j}, \sum_{j=1}^2 q_1 \times x_{4j} \right],$$

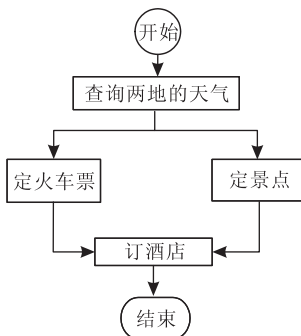


图 2 组合服务实验场景

引入了 CPA 函数之后,我们就不要考虑服务类之间是串行还是并行执行导致组合服务的响应时间变化。

(2) 组合服务的价格为各个原子服务  $\{S_1^i, S_2^j, S_3^k, S_4^l\}$  的价格之和,对用户来说这个参数应该越小越好:

$$f_2(X) = \left[ \sum_{j=1}^3 q_2 \times x_{1j} + \sum_{j=1}^2 q_2 \times x_{2j} + \sum_{j=1}^3 q_2 \times x_{3j} + \sum_{j=1}^2 q_2 \times x_{4j} \right].$$

(3) 组合服务的活跃时间由  $\{S_1^i, S_2^j, S_3^k, S_4^l\}$  中每一个原子服务中的活跃天数的最小值决定,对用户来说这个参数应该越大越好,

$$f_3(X) = \min \left[ \sum_{j=1}^3 q_3 \times x_{1j}, \sum_{j=1}^2 q_3 \times x_{2j}, \sum_{j=1}^3 q_3 \times x_{3j}, \sum_{j=1}^2 q_3 \times x_{4j} \right].$$

(4) 组合服务的可靠性,对用户来说这个参数应该越大越好,定义:

$$f_4(X) = \sum_{j=1}^3 (q_4 \times x_{1j}) \times \min \left[ \sum_{j=1}^2 q_4 \times x_{2j}, \sum_{j=1}^3 q_4 \times x_{3j} \right] \times \sum_{j=1}^2 (q_4 \times x_{4j}).$$

(5) 组合服务的安全等级我们定义为  $\{S_1^i, S_2^j, S_3^k, S_4^l\}$  中的那个原子服务中安全等级最小的,对用户来说这个参数应该越大越好,如下:

$$f_5(X) = \min \left[ \sum_{j=1}^3 q_5 \times x_{1j}, \sum_{j=1}^2 q_5 \times x_{2j}, \sum_{j=1}^3 q_5 \times x_{3j}, \sum_{j=1}^2 q_5 \times x_{4j} \right].$$

这里,

(1) 要评价一个结构设计方案的优劣,必须要有一个评价设计方案的函数,称为目标函数. 目标函数是设计变量的函数,是对设计方案进行比较选择的指标,也就是判断设计方案优劣的标准. 我们取极大熵  $F(X) = \frac{1}{p} \ln \sum_{r=1}^m \exp[-p f_r(x)]$  作为社会认知算法中知识点之间比较优劣的基准.

(2) 在优化设计中,有时我们一般总是要求目标函数  $f_r$  最小. 在某些问题中(如使用寿命、有效载重、安全系数等)要求目标函数  $f_r$  最大. 为统一处理起见,可人为地在数学上规定目标函数为形式  $-f_r(X)$ , 这样就可以将求最大值的问题转化为求最小值的问题.

(3) 为了保证极大熵函数  $F(X)$  的高精度,我们取  $p=10^5$ .

(4) 本实验中  $\mathbf{X} = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{41}, x_{42})^T$ , 如果我们的服务选择算法得到  $\mathbf{X} = (1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1)^T$ , 表示组合服务 CS 由

候选原子服务  $\{S_1^1, S_2^2, S_3^3, S_4^2\}$  组成.

### 5.3 实验结果分析

为了验证本文所提出的方法的有效性,基于我们前期开发的 Web 服务组合管理原型系统 E-WsFrame<sup>[3-4]</sup> 对本文组合服务选择模型和算法进行了测试. 我们使用前期开发个服务组合管理语言 SCML(Service Composition Management Language) 描述服务流程的 QoS 信息. 在 E-WsFrame 中, SCML 可以描述组合服务的各种需要的属性. SCML 的根元素 *tService* 由两个子元素组成. 一个是 *serviceProcess*, 描述了服务的流程,体现了服务的功能属性;另一个是 *serviceConstraints*, 描述了对服务的约束,体现了服务的 QoS 属性. 而在我们常用的 Web 服务流程描述语言 BPEL4WS 中,仅仅只包含了 SCML 中的 *serviceProcess* 元素中的部分信息,这样的流程就仅仅包含了功能方面的内容却没有涉及 QoS 的内容.

首先我们随机给出 4 个服务类中每一个原子服务的 QoS 参数  $(q_1, q_1, \dots, q_5)$  的具体取值,此外本算法中主要参数还包括:知识点的个数  $N_{\text{pop}}$ ,学习代理的个数  $N_c$  以及迭代次数  $T$ . 算法总的运行次数为  $N_c \times T + N_{\text{pop}}$ , 参数选取对算法性能影响较大. 通过实验对比,我们得到如下结论:

(1) 若  $N_{\text{pop}}$  取值较大,虽可以使知识点的分布更加均匀,较容易获得最优解,但是学习代理需要的遍历知识点的时间会增大;

(2) 若  $N_c$  个数较多,会造成知识点重复参与运算,不利于快速获取最优解,个数较少则单个代理的运算次数会增大,导致算法收敛速度变慢;

(3) 若  $T$  较大,则在收敛到最优解后算法仍进行迭代计算,增加了不必要的时间开销,较小会使算法无法收敛到最优解.

综合以上分析,令社会认知算法中  $N_{\text{pop}} = 350$ ,  $N_c = 100$ ,  $T = 1000$ , 独立运行 60 次. 我们得到服务类中候选服务的选中结果如图 3.

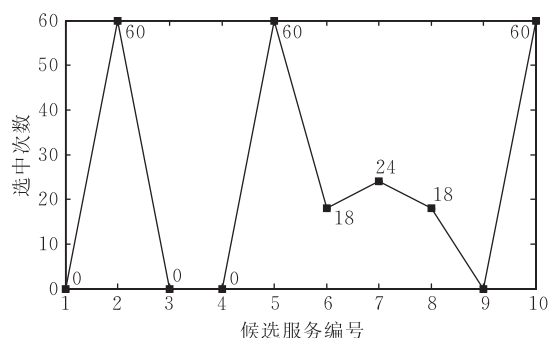


图 3 实验 60 次后每个原子服务选中的次数

实验结果分析如下:

(1) 结合随机给出 4 个服务类中每一个原子服务的( $q_1, q_2, \dots, q_5$ )的具体取值可知,  $S_1^2$  的属性  $q_1, q_2$  的值在服务类 1 中最小; 属性  $q_3, q_4, q_5$  的值在服务类 1 中最大(我们前面定义了组合服务的  $q_1, q_2$  越小越好而属性  $q_3, q_4, q_5$  越大越好), 因此服务类 1 中  $S_1^2$  比其它两个候选服务都要好; 所以在 60 次的计算中, 我们的服务选择算法在服务类 1 中都选择了原子服务  $S_1^2$ . 同理服务类 2 中选择候选原子服务  $S_2^1$ ; 服务类 4 中选择的候选原子服务为  $S_4^2$ .

(2) 服务类 3 中候选原子服务  $S_3^1, S_3^2, S_3^3$  的次数没有明显地偏好, 原因在于这 3 个服务的( $q_1, q_2, \dots, q_5$ )的值之间是非劣的, 即不能判断绝对的好坏.

从图 4 可以看出, 当社会认知算法的迭代次数到达 200 次时, 就已经收敛到了满意解.

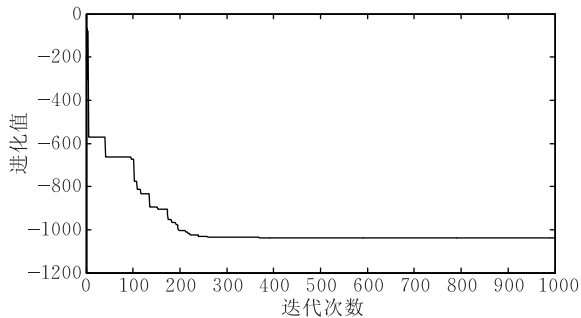


图 4 迭代次数和优化结果的关系

在此基础上, 图 5 给出了本文的服务选择算法的迭代时间与服务类和候选服务个数的关系.

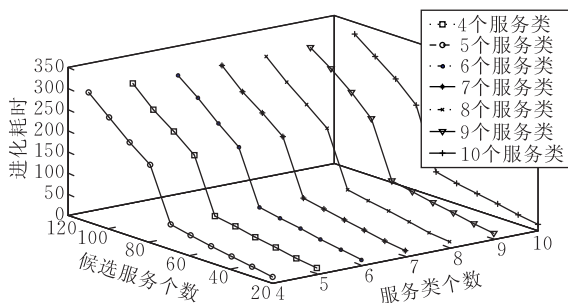


图 5 算法迭代时间与服务类、候选服务的关系

可以清晰地看到: 当服务类中的候选服务个数保持不变, 而服务类个数由 4 个增加到 10 个的过程中总的服务选择算法的迭代时间没有发生较大变化; 当服务类保持不变, 服务类中的候选服务的个数由 20 个增加到 120 个的时候, 服务选择算法的迭代时间发生了较大的增加. 原因在于候选服务的个数的增加导致模型(II)中约束条件的个数大量增加, 从而增加了算法的迭代时间.

## 6 相关工作比较及总结

文献[11]给出了 QoS 属性定义, 并给出了组合 Web 服务 QoS 属性的度量方式, 最后利用线性规划理论给出了最优服务选择的方法. Zeng<sup>[10-11]</sup> 等工作主要集中在当满足全局和局部质量约束和用户喜好时, 对工作流的服务实现进行动态及质量驱动的选择. 文献[12]以网格服务为背景给出利用模拟退火算法的服务优化选择算法, 并将其实验结果与文献[10]中的结果进行了对比. 文献[13-14]以构件化嵌入式操作系统 Liquid 为背景, 给出了一种基于 QoS 的服务构件组合方法, 给出了构件选择的启发和协商算法. 文献[15]提出一种用于 QoS 感知的 Web 服务选择的遗传算法. 文献[16]对现有的基于语义的 Web 服务匹配机制进行了研究和总结. 文献[17]设计了一种基于服务质量的轻量级 Web 服务描述语言 QWSDL, 全方位描述 Web 服务的功能、行为约束以及服务质量并引进相似函数来度量松弛匹配的服务相似程度. 文献[18]利用多目标遗传算法的智能优化原理, 通过同时优化多个目标函数, 最终产生一组满足约束条件的 Pareto 优化服务聚合流程集. 文献[19]将基本服务间的关联度作为衡量组合服务质量的重要指标, 提出了能够全面反映组合服务质量、支持组合服务选取的模型, 并给出了相应的算法. 为了在传统模型中加入了不确定因素用来增强其语义描述能力, 文献[20]提出了一种基于不确定多属性决策理论的全局优化决策算法. 为了更好地在动态运行环境中选择服务, 文献[21]通过有限状态自动机对运行被调用的服务序列建模, 给出了服务选择的策略. 文献[22]关注的是提供自适应的组合方案来提供更好的服务质量.

这些相关研究都聚焦于 Web 服务组合中的 QoS 特性, 目的都是希望 Web 服务能够提供更好的、可控的性能, 从而更方便、更容易地应用到商业系统中. 本文在对组合 Web 服务 QoS 研究的基础上, 提出了一种组合 Web 服务选择模型, 在此基础上引入极大熵函数和社会认知算法, 给出了一种新的混合智能优化算法来求解完全信息下的组合服务选择问题. 本文中的方法在借鉴其它现有 Web 服务组合管理方法的同时在以下几点做出了一些新的尝试:

(1) 从 QoS 全局优化的角度把 Web 服务组合

管理过程中的服务选择问题转化为一个带 QoS 约束的多目标组合优化问题,有效地解决了局部最优方法的不足;本文提出的组合 Web 服务选择模型更具有一般性和广泛意义。

(2) 以往文献中,都通过权重将组合服务的多个 QoS 属性合并为一个目标函数  $\sum_{i=1}^m Weight_i \times qos_i$  进行优化,使得组合服务的  $\sum_{i=1}^m Weight_i \times qos_i$  达到最优并计算出这个参数的值,没明确告诉用户最终选择哪些原子服务。因此,这些方法本质上属于 QoS 优化而不是服务选择方法,而我们的模型目的是告诉用户最终选择哪些原子服务,是真正适合服务组合问题的全局选择方法。

(3) 本文利用极大熵函数将离散的多目标整数规划问题转换为连续的单目标规划问题,而目前解决离散的多目标整数规划方法(如隐枚举法、割平面法、分枝定界法等)属于确定性优化算法,对于小规模问题是有效的,但计算上的困难会随着问题规模的增长而增大<sup>[23-24]</sup>,而实际中的服务选择问题是一个大规模问题,因此这些确定性优化算法对这类实际问题就显的无能为力,而社会认知优化算法是一种性能良好的智能优化算法,文献[8-9]表明 SCO 具有全局的、并行高效的优化性能,鲁棒性、通用性强等优点,通常情况下比粒子群等智能算法效率更高,因此它更适合服务选择问题。此外,本文采用的连续化方法避开了离散变量优化问题的不连续性和组合爆炸问题,只需求解相应的连续变量非线性规划问题就可以求出原问题的满意解,在迭代过程中很快能得到较好精度的全局满意解。

(4) 就国内外的研究现状来看,一般大都是由用户事先给定或采用多目标决策方法计算得到每个属性的权值<sup>[25-27]</sup>。本文取多个 QoS 目标中最小的,然后令其最大化,这就保证每一个目标都能最大化,同时在本文算法运行过程中不需要人为设置各个参数的权值,因此算法适用性比较好。

(5) 采用社会认知算法来解决本文提出的组合 Web 服务选择模型,优点在于社会认知算法对于约束优化问题很有效,而我们将经典的极大熵函数与社会认知算法结合,给出一种新的混合智能算法,这充分发挥了社会认知算法在处理连续优化问题时计算速度快、收敛性好的优点。数值结果表明,本文的服务选择算法收敛快、数值稳定性好,是解决全局服务选择问题的一种有效算法。

## 参 考 文 献

- [1] Ran Shu-Ping. A model for Web services discovery with QoS. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1-10
- [2] Tian M, Gramm A, Naumowicz T, Ritter H, Schiller J. A concept for QoS integration in services//Proceedings of the 4th International Conference on Web Information Systems Engineering Workshops. Rome, Italy, 2003: 140-148
- [3] Chen Yan-Ping, Li Zeng-Zhi. E-Wsframe: A framework support QoS driven Web services composition. Information Technology Journal, 2007, 6(3): 390-395
- [4] Chen Yan-Ping. Study on several key problems in Web service composition management [Ph. D. dissertation]. Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 2007(in Chinese)  
(陈彦萍. Web 服务组合管理中的若干关键问题研究[博士学位论文]. 西安交通大学, 西安, 2007)
- [5] Huang Zhen-Yu, Shen Zu-He. An entropy function method for solving nonlinear minimax problems. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(17): 1550-1554(in Chinese)  
(黄震宇, 沈祖和. 解一类非线性极大极小问题的熵函数方法. 科学通报, 1996, 41(17): 1550-1554)
- [6] Li Xing-Si. An efficient method for a sort of non-differential optimization problem. Science in China, 1994, 24(4): 371-377(in Chinese)  
(李兴斯. 一类不可微优化问题的有效解法. 中国科学(A辑), 1994, 24(4): 371-377)
- [7] Ou Yi-Gui, Deng Mou-Jie, Hong Shi-Huang. Trust region algorithm for solving minimax optimization problem. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2004, 21(8): 41-57(in Chinese)  
(欧宜贵, 邓谋杰, 洪世煌. 一类极大极小优化问题的信赖域算法. 工程数学学报, 2004, 21(8): 41-57)
- [8] Xie X F, Zhang W J, Yang Z L. Social cognitive optimization for nonlinear programming problems//Proceedings of the International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Beijing, China, 2002: 779-783
- [9] Xie X F, Zhang W J. Solving engineering design problems by social cognitive optimization//Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference. 2004: 261-262
- [10] Zeng Liangzhao, Benattallah Boualem, Dumas Marlon. Quality driven Web services composition//Proceedings of the WWW 2003. Budapest, Hungary, 2003: 411-421
- [11] Zeng Liangzhao. Dynamic Web services composition. University of New South Wales, Australia, 2003
- [12] Jin Hai, Chen Han-Hua, Lv Zhi-Peng, Ning Xiao-Min. QoS optimizing model and solving for composite service in CGSP job manager. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 578-588(in Chinese)  
(金海, 陈汉华, 吕志鹏, 宁小敏. CGSP 作业管理器合成服务的 QoS 优化模型及求解. 计算机学报, 2005, 28(4): 578-588)
- [13] Liao Yuan, Tang Lei, Li Ming-Shu. A method of QoS-aware service component components composition. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 627-634(in Chinese)  
(廖渊, 唐磊, 李明树. 一种基于 QoS 的服务构件组合方法. 计算机学报, 2005, 28(4): 627-634)

- [14] Liao Yuan. A method of QoS-aware service components composition for pervasive computing environments [Ph. D. dissertation]. Institute of Software Chinese Academy of Sciences, Beijing, 2005(in Chinese)  
(廖渊. 普适计算环境下一种基于 QoS 的服务构件组合方法 [博士学位论文]. 中国科学院研究生院, 北京, 2005)
- [15] Zhang Cheng-Wen, Su Sen, Chen Jun-Liang. Genetic algorithm on Web services selection supporting QoS. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(7): 1029-1037(in Chinese)  
(张成文, 苏森, 陈俊亮. 基于遗传算法的 QoS 感知的 Web 服务选择. 计算机学报, 2006, 29(7): 1029-1037)
- [16] Zhang Po. The research and implementation of semantic based Web services discovery [Ph. D. dissertation]. Tsinghua University, Beijing, 2005(in Chinese)  
(张钊. 基于语义的网络服务匹配机制的研究与实现 [博士学位论文]. 清华大学, 北京, 2005)
- [17] Hu Jian-Qiang, Zou Peng, Wang Huai-Min, Zhou Bin. Research on Web service description language QWSDL and service matching model. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 505-513(in Chinese)  
(胡建强, 邹鹏, 王怀民, 周斌. Web 服务描述语言 QWSDL 和服务匹配模型研究. 计算机学报, 2005, 28(4): 505-513)
- [18] 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)
- [19] Dai Yu, Yang Lei, Zhang Bin, Gao Yan. QoS for composite Web services and optimizing. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(7): 1167-1178(in Chinese)  
(代钰, 杨雷, 张斌, 高岩. 支持组合服务选取的 QoS 模型及优化求解. 计算机学报, 2006, 29(7): 1167-1178)
- [20] Yang Fang-Chun, Su Sen, Li Zhen. Semantic Web service composition policy of mixed QoS model. Science in China E: Information Science, 2008, 38(10): 1697-1716(in Chinese)  
(杨放春, 苏森, 李祯. 混合 QoS 模型感知的语义 Web 服务组合策略. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2008, 38(10): 1697-1716)
- [21] Hwang San-Yih, Lim Ee-Peng, Lee Chien-Hsiang, Chen Cheng-Hung. Dynamic Web service selection for reliable Web service composition. IEEE Transactions on Services Computing, 2008, 1(2): 104-116
- [22] Canfora G, Di Penta M, Esposito R, Villani M. A framework for QoS-aware binding and re-binding of composite Web services. Journal of Systems and Software, 2008, 81(10): 1754-1769
- [23] Li Duan, Sun Xiao-Ling. Nonlinear Integer Programming. New York: Springer, 2006
- [24] Jiang Zhe-Yuan, Han Jiang-Hong, Wang Zhao. An optimization model for dynamic QoS-aware Web service selection and composition. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(5): 1014-1025(in Chinese)  
(蒋哲远, 韩江红, 王钊. 动态的 QoS 感知 Web 服务选择与组合优化模型. 计算机学报, 2009, 32(5): 1014-1025)
- [25] Ma Shang-Pin, Kuo Jong-Yin. Optimal service selection for composition based on weighted service flow and genetic algorithm // Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Qingdao, China, 2010: 3252-3256
- [26] Li Mu, Deng Ting, Sun Hai-Long, Guo Hui-Peng. GOS: A global optimal selection approach for QoS-aware Web services composition // Proceedings of the 2010 Fifth IEEE International Symposium on Service Oriented System Engineering. 2010: 7-14
- [27] Tang Mao-Lin, Ai Li-Feng. A hybrid genetic algorithm for the optimal constrained Web service selection problem in Web service composition // Proceedings of the 12th IEEE Conference on Commerce and Enterprise Computing. 2010: 1-8



**CHEN Yan-Ping**, born in 1979, Ph. D., associate professor. Her research interests include Web service, service computing and network management.

**ZHANG Jian-Ke**, born in 1978, Ph. D. candidate, lecturer. His research interest is swarm intelligence.

## Background

Established on service oriented architecture (SOA), Web Service composition becomes one of the key technologies of business-level service composition. How to create robust composed service is the next step in Web services, and attracts extensive research. It's meaningful and urgent to find a method to select services according to QoS. However, existing methods have flaws on some aspects. Most of them merged several QoS criteria into one target function and then

**SUN Jia-Ze**, born in 1980, M. S., lecturer. His research interests include intelligence optimization algorithm and swarm intelligence.

**ZHENG Qing-Hua**, born in 1969, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. His research interests include intelligent learning theory, cloud computing.

**LI Zheng-Zhi**, born in 1938, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include network management, service computing.

get Optimal Solutions. In this paper, the authors advocate Web Service composition and the key elements in QoS based service selection, address a new service selection model, and then give a novel Mixed Intelligent Optimization Algorithm, which optimizes service selection with multiple QoS constraints by taking advantage of both Maximum Entropy Method and Social Cognitive Optimization theory. The work done in this paper generates more useful and meaningful results.