

基于 SPA 的 Web 服务选取方法

朱红宁 张 斌

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)

摘 要 提出了基于集对分析的 Web 服务选取方法,包括两个部分:首先,由 Web 服务的非功能约束确定 QoS 指标的同、异、反度量区域;然后,用联系度和集对势共同评价备选 Web 服务。通过实例证明,这是在保证准确率条件下的一个非常简便的 Web 服务选取方法。

关键词 服务选取,度量区域,联系度,集对势

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Method of Web Service Selection Based on SPA

ZHU Hong-ning ZHANG Bin

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract Advanced a method of Web service selection based on SPA. The method includes two parts: one is determining sameness, difference and opposition measure intervals of QoS criteria by non-functional constraint of Web service; the other is evaluating candidate service by connection-degree and set-pair shi. With instance testification, it is a very simple and convenient method of Web service selection on condition that ensures the accuracy.

Keywords Service selection, Measure interval, Connection-degree, Set-pair shi

Web 服务的“发现”是查找“功能属性”相同的 Web 服务的过程,其结果是“备选 Web 服务集”;而 Web 服务的“选取”是在“发现”的基础上,即在“备选 Web 服务集”中筛选出“非功能属性”最优的 Web 服务的过程,其结果是“一个确定的 Web 服务”。

Web 服务的非功能属性描述了服务在完成其功能的过程中表现出的执行特性,如执行时间、可靠性、安全性等,其取值情况直接影响它的服务质量,即 QoS^[1,2] (Quality of Service)。人们一般用 QoS 指标表示对非功能属性进行拆分、合并、量化等处理后的指标,并使用服务的 QoS 来量化地表示其服务质量的优劣。

1 相关研究工作

Web 服务选取的目标是根据用户对服务质量的要求,选取出一组服务,使得最终的组合服务具有良好的用户满意度和服务质量。Web 服务的选取主要有两种方式:基于局部优化的选取方法、基于全局优化的选取方法。

基于局部优化的选取方法的核心是针对组合服务中的每个任务,对能够完成该任务的所有备选 Web 服务进行选取,找到能够实现单个任务的质量最优的服务。这种方法的着眼点仅仅在于组合中的单个任务,而不考虑任务间的联系,所以所选取出的组合服务不一定是全局最优的,而且往往不能够满足用户对组合服务的整体质量约束的要求。因此,目前学术界都强调基于全局优化方法的服务选取,这种方法使得选

取不再仅仅关注于单个服务本身,而是着眼于整个组合服务。

基于全局优化的选取方法将着眼点从单个服务转移到了整个组合服务,从而使得选取出的服务更接近用户对组合服务质量的要求。目前主要有两种选取方法:路径拆分法和非路径拆分法,不论哪种方法,都是先将基于 QoS 的 Web 服务选取的问题转换为某种已知的数学规划问题,再进行问题求解。

基于路径拆分的方法将复杂路径的组合 Web 服务拆分为多个相对简单的路径的组合服务,针对简单路径组合服务进行服务选取,然后将多个简单路径的选取结果进行合并,形成复杂路径组合服务的选取结果。在采用路径拆分法进行服务选取研究中比较著名的有文献[3-5]。文献[3,4]中首先将复杂路径拆分为多个只包含顺序和并行控制逻辑的相对简单的路径,然后将带有全局约束的服务选取问题转换为数学规划中的整数规划^[3]和线性规划^[4]问题进行求解。文献[5]中将复杂路径拆分为多个只包含顺序控制逻辑的单一管道路径,将单约束条件的服务选取问题转换为多选择背包问题(MCKP),并采用动态规划和 Pisinger 算法进行求解。文献[6]中又提出了将多约束条件的服务选取问题转换为多维多选择背包问题(MMKP)进行求解的方法。

文献[7,8]中使用遗传算法对服务进行选取。文献[7]还提出了关联的概念,包括 6 种关联:企业-企业关联、企业-服务关联、服务-服务关联、企业-操作关联、服务-操作关联和操作-操作关联,这些关联将影响到服务质量,但并没有说明关

到稿日期:2008-09-23 返修日期:2009-02-19 本文受国家自然科学基金(60773218)资助。

朱红宁(1968—),男,博士研究生,主要研究方向为 Web 服务 QoS, E-mail: honeyzhu@126.com; 张 斌(1964—),男,博士生导师,主要研究方向为服务行为、演进。

联在服务选取中的具体影响。

上述无论哪种方法都脱离不开从备选服务集中选取满足约束的 Web 服务这个根本问题。本文提出了基于集对分析^[9]的 Web 服务选取方法,从 Web 服务非功能属性的同、异、反 3 个方面,针对约束综合评价备选服务集中的 Web 服务,为服务选取提供依据。

2 基本思路

本文讨论的 QoS 指标集为 $\{T, C, Rel, A, S, Rep\}$, 其中: T 为执行时间 (Time), C 为执行费用 (Cost), Rel 为可靠性 (Reliability), A 为可用性 (Availability), S 为安全性 (Security), Rep 为信誉度 (Reputation)。具体定义如下:

执行时间:表示从请求者发出请求消息开始,直到其接收完 Web 服务的响应为止的这段时间的度量。

执行费用:表示请求者为执行某个 Web 服务中的某个操作而所需要支付的费用的度量。

可靠性:表示请求者调用某个 Web 服务,并能够成功接收到响应的概率大小,因此某些研究中又将可靠性称作成功率。

可用性:表示某个 Web 服务在指定时间段内可访问的概率大小。

安全等级:服务所提供的信息交互安全程度的度量,等级越高代表信息交互安全程度越高,反之则越小。

信誉度:用于衡量 Web 服务的可信度,来自用户的使用经验反馈,其取值通常在范围 $[0, 5]$ 以内,该数值越高则意味着服务的可信度越高,反之则越小。

对于一个组合流程 $flow$ 来说,每一个任务 $task$ 对应一组功能属性相同的备选服务,而每个备选服务 ws_i 又对应一组非功能属性值(执行日志) $V_{NFP} = \{(T_j, C_j, Rel_j, A_j, S_j, Rep_j) | j=1, 2, \dots, n\}$ 。绝大多数选取方法的首要问题是由 V_{NFP} 确定 ws_i 的非功能属性代表值,再与约束比较。一般地,有均值、中位数、聚类等处理方法。这些方法只代表服务非功能属性行为的一种倾向,并不是对其综合的考虑。

一个 Web 服务的非功能属性行为无论怎样变化,与约束之间都存在着同、反两个方面,并且约束有时表现出含混性,抑或无满足约束情况下的次优服务选取,笔者认为用同、异、反 3 个方面来描述 Web 服务非功能属性行为与约束之间的关系更全面。所谓“同”是指完全满足,“反”是指完全不满足,“异”描述的是差异。为了更清晰、准确地描述这种关系,必须确定非功能属性的度量区域,包括:同区间、异区间、反区间,从而确定 Web 服务非功能属性行为与约束之间的同一度、差异度和对立度,并结合集对势更加准确地刻画二者之间的关系,以支持 Web 服务的选取。

3 基于 SPA 的 Web 服务选取方法

3.1 SPA 的基本理论

集对分析是中国学者赵克勤于上世纪 80 年代末提出的,它提出从同、异、反 3 方面表征两集合(集对) $H(A, B)$ 的关系,它主要通过同、异、反联系度来描述。

(1)联系度

$$\mu(w) = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

其中, N 指集对的特性总数, S 指共同具备的特性总数, P 指具有相对立的特性总数, $F = N - S - P$ 指既不对立,又不共同具备的特性总数。

S/N 为两集合在问题 w 下的同一度;

F/N 为两集合在问题 w 下的差异度;

P/N 为两集合在问题 w 下的对立度。

上式中, $i \in [-1, 1]$, j 一般情况下取 -1 , 可简记为: $\mu = a + bi + cj$ 。其中, a, b, c 满足归一化条件: $a + b + c = 1$ 。

(2)集对势

当联系度 $\mu = a + bi + cj$ 中 $c \neq 0$ 时,同一度 a 与对立度 c 的比值 a/c 为所论集对在指定问题背景下的联系势或集对势,用“shi”表示, $shi(H) = \frac{a}{c}$ (2)

$a/c > 1$, 则称 $shi(H)$ 为集对同势; $a/c = 1$, 则称 $shi(H)$ 为集对均势; $a/c < 1$, 则称 $shi(H)$ 为集对反势。

3.2 非功能属性度量区域的确定

Web 服务非功能属性度量区域:是指根据非功能属性约束值划分属性值区间,从而确定 Web 服务非功能属性值的同、异、反性质。它包括:同区间、异区间和反区间。

同区间 (Sameness Interval, SI):是指如果 Web 服务的非功能属性值落在此区间内,则该属性满足约束。

异区间 (Difference Interval, DI):是指如果 Web 服务的非功能属性值落在此区间内,则该属性与约束之间存在差异。

反区间 (Opposition Interval, OI):是指如果 Web 服务的非功能属性值落在此区间内,则该属性不满足约束。

(1)执行时间的度量区域确定方法

对于 Web 服务的非功能属性——执行时间,一般的约束描述为:执行时间在 t 内(如 $t = 10s$)。实际上,尽管有约束的存在,备选服务未必完全满足它,更何况 Web 服务的其它非功能属性也在考察之列,Web 服务的选取是在综合考察非功能属性的前提下进行的。也就是说,在没有满足约束的情况下,在一定范围内超出约束的服务也是可以考虑的,次优是存在的。因此,对于执行时间的度量区域确定方法如下:

$$SI_T = (0, t], DI_T = (t, \lambda t), OI_T = [\lambda t, +\infty) \text{ where } \lambda > 1 \quad (3)$$

式(3)说明:如果执行时间 T 的约束为‘ t 内’,那么,若 $0 < T \leq t$, 则说执行时间满足约束;若 $t < T < \lambda t$, 则说执行时间与约束存在差异;若 $\lambda t \leq T$, 则说执行时间不满足约束。

(2)执行费用的度量区域确定方法

类似于执行时间的度量区域确定方法,有:

$$SI_C = (0, c], DI_C = (c, \lambda c), OI_C = [\lambda c, +\infty) \text{ where } \lambda > 1 \quad (4)$$

式(4)说明:如果执行费用 C 的约束为‘ c 内’,那么,若 $0 < C \leq c$, 则说执行费用满足约束;若 $c < C < \lambda c$, 则说执行费用与约束存在差异;若 $\lambda c \leq C$, 则说执行费用不满足约束。

(3)可靠性的度量区域确定方法

类似于执行时间的度量区域确定方法,有:

$$SI_{Rel} = [rel, 1], DI_{Rel} = (\lambda rel, rel) \quad (5)$$

$$OI_{Rel} = [0, \lambda rel], \text{ where } 0 < \lambda < 1$$

式(5)说明:如果可靠性 Rel 的约束为‘ rel 以上’,那么,若 $rel \leq Rel \leq 1$, 则说可靠性满足约束;若 $\lambda rel < Rel < rel$, 则说可靠性与约束存在差异;若 $0 \leq Rel \leq \lambda rel$, 则说可靠性不满足

足约束。

(4)可用性的度量区域确定方法

类似于可靠性的度量区域确定方法,有:

$$SI_A=[a,1],DI_A=(\lambda a,a),OI_A=[0,\lambda a] \text{ where } 0<\lambda<1 \quad (6)$$

式(6)说明:如果可用性 A 的约束为 ' a 以上',那么,若 $a \leq A \leq 1$,则说可用性满足约束;若 $\lambda a < A < a$,则说可用性与约束存在差异;若 $0 \leq A \leq \lambda a$,则说可用性不满足约束。

(5)安全性的度量区域确定方法

类似于可靠性的度量区域确定方法,有:

$$SI_S=[s,5],DI_S=[\max(s-n,1),s) \quad (7)$$

$$OI_S=[1,\max(s-n,1)), \text{ where } n>1$$

式(7)说明:如果安全性 S 的约束为 ' s 以上',那么,若 $s \leq S \leq 5$,则说安全性满足约束;若 $\max(s-n,1) \leq S < s$,则说安全性与约束存在差异;若 $1 \leq S < \max(s-n,1)$,则说安全性不满足约束。

(6)信誉度的度量区域确定方法

类似于可靠性的度量区域确定方法,有:

$$SI_{Rep}=[rep,5],DI_{Rep}=(\lambda rep,rep) \quad (8)$$

$$OI_{Rep}=[0,\lambda rep], \text{ where } 0<\lambda<1$$

式(8)说明:如果信誉度 Rep 的约束为 ' rep 以上',那么,若 $rep \leq Rep \leq 5$,则说信誉度满足约束;若 $\lambda rep < Rep < rep$,则说信誉度与约束存在差异;若 $0 \leq Rep < \lambda rep$,则说信誉度不满足约束。

综上,Web 服务非功能属性度量区域的确定描述如表 1 所列。

表 1 Web 服务非功能属性度量区域的确定描述

Index	SI	DI	OI
T	$(0,t]$	$(t,\lambda t)$	$[\lambda t,+\infty)$
C	$(0,c]$	$(c,\lambda c)$	$[\lambda c,+\infty)$
Rel	$[rel,1]$	$(\lambda rel,rel)$	$[0,\lambda rel]$
A	$[a,1]$	$(\lambda a,a)$	$[0,\lambda a]$
S	$[s,5]$	$[\max(s-n,1),s)$	$[1,\max(s-n,1))$
Rep	$[rep,5]$	$(\lambda rep,rep)$	$[0,\lambda rep]$

3.3 备选 Web 服务的评价

在 Web 服务非功能属性度量区域确定后,就可以将备选服务集中的每个 Web 服务的非功能属性历史运行数据进行比较处理,具体地:

(1)计算每一个备选 Web 服务的非功能属性历史运行数据关于其约束的联系度 μ :

$$\mu=W_{\mu M}E, \text{ where } E=(1,i,j)^T$$

$$W=(w_T, w_C, w_{Rel}, w_A, w_S, w_{Rep})$$

$$\mu_M = \begin{bmatrix} a_T & a_C & a_{Rel} & a_A & a_S & a_{Rep} \\ b_T & b_C & b_{Rel} & b_A & b_S & b_{Rep} \\ c_T & c_C & c_{Rel} & c_A & c_S & c_{Rep} \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

其中, E 为同、异、反系数矩阵; W 为非功能属性权重向量; μ_M 为联系度矩阵。即有:

$$\mu=a+bi+cj, \text{ where}$$

$$a=w_T a_T + w_C a_C + w_{Rel} a_{Rel} + w_A a_A + w_S a_S + w_{Rep} a_{Rep} \quad (10)$$

$$b=w_T b_T + w_C b_C + w_{Rel} b_{Rel} + w_A b_A + w_S b_S + w_{Rep} b_{Rep}$$

$$c=w_T c_T + w_C c_C + w_{Rel} c_{Rel} + w_A c_A + w_S c_S + w_{Rep} c_{Rep}$$

(2)计算集对势 $H(Index, Constraint)$:

$$H(Index, Constraint)=a/c \quad (11)$$

(3)用联系度 μ 和集对势 H 共同评价备选 Web 服务。

具体的评价步骤如下:

① 确定 Web 服务非功能属性度量区域。

② 计算联系度 μ 和集对势 H 。

③ 比较联系度 μ 中的同一度 a , a 较大的 Web 服务较优;反之较差。

④ a 相同时,比较集对势 H , H 较大的 Web 服务较优;反之较差。

⑤ a, H 均相同时,考察用户的偏好,即用户对同一度 a 和对立度 b 中的成分的关注意度。

4 实例分析

Web 服务是分布在网络中的应用程序,然而由于网络中目前并没有足够多的、可免费调用的满足功能和非功能需求的服务实例,故直接在网络中找服务进行实验是比较困难的。

基于此,首先编写了“旅游计划”组合流程,如图 1 所示。

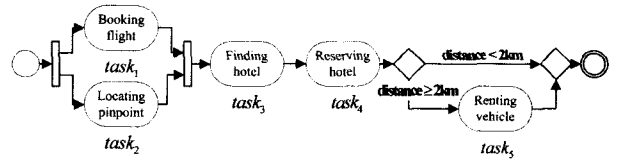


图 1 “旅游计划”的组合流程示例

第二,本文使用 Web 服务模拟生成工具为其中每个任务 $task_i$ 随机生成了 5 个可调用的 Web 服务 $\{ws_{i,1}, ws_{i,2}, \dots, ws_{i,5}\}$,通过服务环境搭建工具再将这些 Web 服务均匀地部署在实验室的 13 台相同配置的计算机上,如表 2 所列。

表 2 服务所在主机的配置

配置项目	配置参数
硬件配置	P4 2.4GHz CPU, 512MB 内存, 80GB 硬盘
软件配置	Microsoft Windows 2003 Server, Apache Tomcat, Apache Axis

第三,在系统中心的扩展 UDDI 中注册了参加测试的该 25 个服务之后,中心执行控制引擎主动对各个服务进行了调用测试,通过对执行日志进行挖掘和统计分析后得到每个服务实例的执行时间、可靠性和可用性;通过查询扩展 UDDI 可以得到每个服务实例的执行费用、安全性和信誉度。每个服务实例的指标值如表 3 所列,其中执行时间单位为秒(s),执行费用单位为元。

表 3 流程中每个任务的备选服务指标值

WS	T	C	Rel	A	S	Rep
ws1.1	2.85	0.11	0.8	0.82	5	3.2
ws1.2	2.60	0.14	0.8	0.81	4	3.4
ws1.3	2.90	0.11	0.85	0.79	4	3.1
ws1.4	3.00	0.10	0.81	0.82	5	3.8
ws1.5	2.70	0.13	0.87	0.9	3	3.6
ws2.1	1.00	0.11	0.81	0.85	3	3.8
ws2.2	1.20	0.13	0.89	0.88	3	3.1
ws2.3	1.30	0.09	0.78	0.83	3	3.5
ws2.4	1.10	0.10	0.84	0.86	3	3.7
ws2.5	1.00	0.12	0.82	0.9	3	3.0
ws3.1	1.30	0.11	0.77	0.85	5	3.7
ws3.2	1.20	0.13	0.84	0.88	4	3.0
ws3.3	1.25	0.12	0.82	0.80	5	3.7
ws3.4	1.00	0.16	0.78	0.92	2	3.7
ws3.5	1.10	0.14	0.82	0.9	3	3.2
ws4.1	1.60	0.10	0.80	0.78	4	3.8
ws4.2	1.30	0.14	0.78	0.80	3	3.1

ws _{4,3}	1.80	0.10	0.80	0.89	4	4.1
ws _{4,4}	1.9	0.10	0.81	0.78	4	3.9
ws _{4,5}	2.00	0.11	0.80	0.85	5	3.4
ws _{5,1}	2.20	0.10	0.80	0.85	5	3.2
ws _{5,2}	2.00	0.11	0.78	0.82	2	3.4
ws _{5,3}	1.80	0.10	0.88	0.86	4	4.1
ws _{5,4}	2.00	0.15	0.92	0.87	2	2.3
ws _{5,5}	1.90	0.11	0.90	0.90	4	3.2

以上环境和服务实例来自文献[10]。

4.1 非功能属性度量区域的确定

表1中 λ 的取值值得探讨,本文采用了一种比较简便的方法:

$$\begin{aligned}
\lambda_i t_i &= 2t_i - \min_j (ws_{i,j}, T) \\
\lambda_i c_i &= 2c_i - \min_j (ws_{i,j}, C) \\
\lambda_i rel_i &= 2rel_i - \max_j (ws_{i,j}, Rel) \\
\lambda_i a_i &= 2a_i - \max_j (ws_{i,j}, A) \\
s_i - n_i &= 2s_i - \max_j (ws_{i,j}, S) \\
\lambda_i rep_i &= 2rep_i - \max_j (ws_{i,j}, Rep)
\end{aligned} \quad (12)$$

对于 $task_1$ 的非功能属性约束为:执行时间 t_1 少于2.8s,执行费用 c_1 少于0.12\$,可靠性 rel_1 超过84%,可用性 a_1 超过85%,安全等级 s_1 为4以上,信誉度 rep_1 为3.5以上。

由式(12)和表3得到: $\lambda_1 t_1 = 3$; $\lambda_1 c_1 = 0.14$; $\lambda_1 rel_1 = 81\%$; $\lambda_1 a_1 = 80\%$; $s_1 - n_1 = 3$, ($n_1 = 1$); $\lambda_1 rep_1 = 3.2$ 。

将上述结果代入表1,得到Web服务非功能属性度量区域,如表4所列。

表4 Web服务非功能属性度量区域的确定描述

Index	SI	DI	OI
T	(0, 2.8]	(2.8, 3)	[2.8, +∞)
C	(0, 0.12]	(0.12, 0.14)	[0.14, +∞)
Rel	[0.84, 1]	(0.81, 0.84)	[0, 0.81]
A	[0.85, 1]	(0.8, 0.85)	[0, 0.8]
S	[4, 5]	[3, 4)	[1, 3)
Rep	[3.5, 5]	(3.2, 3.5)	[0, 3.2]

4.2 计算联系度和集对势

用 $\mu_{i,j}$ 代表 $ws_{i,j}$ 与非功能属性约束之间的联系度, $H_{i,j}$ 代表集对势,则有:

$$\begin{aligned}
\mu_{1,1} &= \frac{1}{3} + \frac{1}{3}i + \frac{1}{3}j; H_{1,1} = 1 \\
\mu_{1,2} &= \frac{1}{3} + \frac{1}{3}i + \frac{1}{3}j; H_{1,2} = 1 \\
\mu_{1,3} &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6}i + \frac{1}{3}j; H_{1,3} = \frac{3}{2} \\
\mu_{1,4} &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6}i + \frac{1}{3}j; H_{1,4} = \frac{3}{2} \\
\mu_{1,5} &= \frac{2}{3} + \frac{1}{6}i + \frac{1}{6}j; H_{1,5} = 4
\end{aligned} \quad (13)$$

以上是均权 $W = (1/6, 1/6, 1/6, 1/6, 1/6)$ 下的计算结果。显然,对于 $task_1$,5个备选服务中 $ws_{1,5}$ 最佳;其次,为 $ws_{1,3}$ 和 $ws_{1,4}$;最差的是 $ws_{1,1}$ 和 $ws_{1,2}$ 。即有5个备选服务的QoS排序:

$$ws_{1,5} > ws_{1,4} = ws_{1,3} > ws_{1,2} = ws_{1,1} \quad (14)$$

考虑到 $task_1$ 是处于一个涉及用户私密信息的“交易类”任务,为此该用户希望其能够有很高的安全性。取 $W = (1/$

7, 1/7, 1/7, 1/7, 2/7, 1/7)来加大安全性的权重,重新计算可得:

$$\mu_{1,1} = \mu_{1,2} = \frac{3}{7} + \frac{2}{7}i + \frac{2}{7}j \quad (15)$$

$$\mu_{1,3} = \mu_{1,4} = \mu_{1,5} = \frac{4}{7} + \frac{1}{7}i + \frac{2}{7}j$$

即有5个备选服务的QoS排序:

$$ws_{1,5} = ws_{1,4} = ws_{1,3} > ws_{1,2} = ws_{1,1} \quad (16)$$

4.3 对比分析

由式(14)可知 $ws_{1,5}$ 最佳,这与文献[10]中提到的单QoS模型的评价一致。

由式(16)可知,在加大安全性权重后, $ws_{1,3}$, $ws_{1,4}$ 和 $ws_{1,5}$ 与非功能属性约束的联系度较大,属于较佳服务。但由于在这3个服务中 $ws_{1,4}$ 的安全等级为5,故 $ws_{1,4}$ 在5个备选服务中最佳。该结果与文献[10]中的研究成果(动态个性化QoS模型)一致。

结束语 通过笔者的研究、实例以及与其它实验^[10]的比较分析表明:本文提出的基于SPA的Web服务选取方法是在保证准确率前提下的一个易于建模、低计算量的Web服务选取方法。

参考文献

- [1] Daniel A. Menasce. QoS Issues in Web Services [J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(6): 72-75
- [2] O'Sullivan J, Edmond D, Hofstede A T. What's in a service [J]. Distributed and Parallel Database, 2002, 12(2): 117-133
- [3] Zeng L Z, Benatallah B, Ngu A H H, et al. QoS-Aware Middleware for Web Services Composition [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2004, 30(5): 311-327
- [4] Zeng L Z, Benatallah B, Dumas M, et al. Quality Driven Web Services Composition [A] // Proceedings of 12th International Conference on World Wide Web (WWW2003) [C]. Budapest, Hungary, May 2003: 411-421
- [5] Yu T, Lin K J. Service Selection Algorithms for Web Services with End-to-end QoS Constraints [C] // 33-IEEE International Conference on E-Commerce Technology (CEC'04). California, 2004: 129-136
- [6] Yu T, Lin K J. Service Selection Algorithms for Composing Complex Services with Multiple QoS Constraints [A] // Proceedings of the International Conference on Service-Oriented Computing [C]. Amsterdam, Netherlands, December 2005: 130-143
- [7] Zhang L J, Li B, Chao T, et al. Requirements Driven Dynamic Services Composition for Web Services and Grid Solutions [J]. Journal of Grid Computing, 2004, 2(2): 121-140
- [8] Canfora G, Penta M D, Esposito R, et al. An approach for QoS-aware service composition based on Genetic Algorithms [A] // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) [C]. Washington DC, USA, June 2005: 1069-1075
- [9] 赵克勤. 集对分析及其应用初探 [M]. 杭州: 浙江科技出版社, 2000
- [10] 史绍伟. 动态个性化组合服务QoS模型的研究 [D]. 东北大学, 2008