

# 一种满足马尔可夫性质的不完全信息下的 Web 服务组合方法

陈彦萍 李增智 唐亚哲 郭志胜

(西安交通大学计算机科学与技术系 西安 710049)

**摘 要** 针对满足马尔可夫性质的服务组合过程给出了按照用户服务质量(QoS)要求的服务组合方法. 首先, 提出了一种支持 QoS 属性描述的 Web 服务描述模型, 并实现了对组合服务整个生命周期的 QoS 信息描述. 在此基础上提出了基于多目标决策理论和  $k$  臂赌博机理论的服务选择算法, 与同类方法相比, 该方法可以在不完全信息下根据用户对 QoS 属性的偏好来选择合适的候选服务进行组合. 最后, 给出了 QoS 驱动的服务组合框架 E-WsFrame 和具体实现, 并分析了实验结果. 实验表明 E-WsFrame 可以综合考虑服务组合的功能要求和 QoS 要求, 从而根据服务请求实现服务的自动组合.

**关键词** 面向服务的体系结构; Web 服务; 服务组合; 服务管理; QoS;  $k$  臂赌博机算法  
中图法分类号 TP311

## A Method Satisfying Markov Process of Web Service Composition under Incomplete Constrains

CHEN Yan-Ping LI Zeng-Zhi TANG Ya-Zhe GUO Zhi-Sheng

(Department of Computer Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

**Abstract** A method of Web services composition according to clients' QoS requirements is proposed to solve the problem of the composition process, which satisfies Markov Process. First of all, a Web services description model is proposed to specify the QoS descriptions, and the QoS description of the whole life cycle of composition is implemented. Then a selecting algorithm is given based on the multiple object decision-making theory and  $k$ -armed bandit problem. Compared with existed methods, the algorithm this paper provided can select and compose services by clients' preference for QoS attribute under the condition of incomplete QoS information. Finally, a prototype of E-WsFrame is implemented. Experimental results show that E-WsFrame can satisfy both functional and QoS requirements of composed services when selecting and composing Web services at runtime.

**Keywords** service oriented architecture; Web services; service composition; service management; QoS;  $k$ -armed bandit problem

## 1 引 言

Web 服务组合研究的主要问题就是如何组合

已有的、自治的 Web 服务, 高效灵活地构筑企业服务应用. 随着 Web 服务及其相关技术的迅速发展, 企业级服务集成也逐步过渡到以 Web 服务为基础的面向服务的体系结构之上, 如何在面向服务的体

系结构上实现灵活多变的企业服务集成,成为目前迫切需要解决的一个主要问题.目前服务<sup>①</sup>组合方法按照其动态性可以分为如下 3 类:

(1) 静态服务组合.即在设计一个新服务前就知道用户对服务的需求,组合服务提供商按照一定的策略来选择服务,在服务提供给用户后就不再变化;

(2) 半自动服务组合.它是一个过程或流,用来和服务集合进行交互来完成给定的目标.流程的固定性和执行流程的服务的可变化性体现了半自动特点;

(3) 动态服务组合.根据运行时出现的需求来自动生成组合流程,并能够自动查找、组合,提供服务,体现了整个服务生命周期的动态性.

按照组合服务提供商得到服务信息的多少,本文中组合分为完全信息下的服务组合和不完全信息下的服务组合:

(1) 不完全信息的服务组合.它是指每一次对候选服务进行选择后,只能得到所选服务信息(如收益、满意度等等,本文中用满意度作为衡量指标),其它候选服务的信息对于选择算法来说是不知道.

(2) 完全信息的服务组合.它是指每一步服务选择后,选择算法可以知道所有候选服务在这一步的信息.

本文要解决的就是半自动服务组合中如何根据用户服务质量 QoS(Quality of Service)要求实现在运行时根据不完全信息进行动态服务组合的问题.也就是说,对于那些满足马尔可夫性质<sup>[1]</sup>的组合过程来说,怎么按照用户的 QoS 需要来得到组合服务,并将这个组合服务提供给用户.为此,本文首先提出一种服务描述模型,并通过服务描述语言 EWSDL(Enhanced Web Service Description Language)和组合服务管理语言 SCML(Service Composition Management Language)提供一种对整个服务组合生命周期中的 QoS 信息进行描述的方法.然后,将马尔可夫性质用于服务组合过程,提出基于马尔可夫性质的服务组合模型 MCS(Model of Composed Service),在 MCS 中将全局的组合问题分解为各个服务类的求解非劣服务的问题.针对 MCS 模型,给出具体的服务组合算法,并在  $k$  臂赌博机理论的基础上提出改进的 Hedge\* 和  $E(\alpha, \gamma)$  算法来实现服务组合算法中不完全信息下的服务选择.最后,

从理论上证明 MCS 模型和服务组合算法的合理性,并在原型系统上进行数值实验.

## 2 QoS 驱动的 Web 服务组合

尽管现有的 UDDI+WSDL+WSFL 试图提供一个商业整合的基础,但是由于其中缺乏对服务的精确描述<sup>[2]</sup>,因此并不是十分成功.文献[3]对 Web 服务的支撑技术做了介绍,提出了许多可以研究的问题,可以看出这些问题大都是以服务组合为主线的.文献[4]将 SOA 中的 QoS 按照其约束的功能类型进行了分类.文献[5]提出了 QWSDL 语言但并不完全是为了组合服务.文献[6]针对具体的 QoS 利用 LP 的方法给出了局部和全局的服务选择算法.文献[7]通过增加一个 Web 服务检测者的角色给出了一个扩展的 Web 服务体系结构,但并没给出具体的实现,而且也不是出于提供组合服务的角度.文献[8]虽然提出了一种基于 QoS 的构件组方法,但并没有给出 QoS 的具体内容、计算方法,也没有给出使用其方法的原型系统.文献[9,10]通过对现有的 WSDL 进行扩展,得到 WSOL,但是它并不是主要针对组合服务的 QoS 管理的.

### 2.1 基本概念

为了更清楚的介绍 QoS 驱动的 Web 服务组合,本文首先在借鉴文献[9,10]业务类的思想的基础上给出定义 1~定义 3.

定义 1. 原子服务(element service)和组合服务(composed service).由多个 Web 服务按照一定的组合逻辑组合出的新服务称为组合服务,这个组合服务中包含的 Web 服务称为这个组合服务的原子服务.在本文中,原子服务和组合服务本质上都是 Web 服务,它们的区别仅仅在于粒度的大小.

定义 2. 服务类(service class).令  $X$  是商业流程中 Web 服务的集合,那么按照商业流程的功能属性把这些服务分成多个非空的服务集合,使得  $X$  中的每一个元素都至少属于一个服务集合,而同一个服务集合中的服务的差异在于其 QoS 属性.这样的一个服务集合就叫做服务类.

定义 3. 候选关系(candidate relation).令  $SC$  为一个服务类,定义候选关系  $\infty$  为  $SC$  上的一个二元关系,则对于  $SC$  中的任意两个服务  $Service_a$ ,  $Service_b$  满足:

① 本文中,服务指的是 Web 服务.

$$(1) \bigcup_{i=1}^l \text{function}(\text{Service}_a) \supseteq \bigcup_{i=1}^k \text{function}(\text{Service}_b),$$

$l, k \in N, l \geq k$ , 或

$$(2) \bigcup_{i=1}^k \text{function}(\text{Service}_b) \supseteq \bigcup_{i=1}^l \text{function}(\text{Service}_a),$$

$l, k \in N, k \geq l$ ,

也就是说  $\text{Service}_a, \text{Service}_b$  可以实现公有的功能。这里符号“ $\cup$ ”表示求和。

需要注意的是 QoS 属性之间满足多目标属性间的如下特点<sup>[11]</sup>: 不可公度性, 即没有统一的标准可以度量所有的 QoS 属性; 矛盾性, 即各个 QoS 属性之间并不是独立的, 它们之间有着约束关系。正因为 QoS 属性之间的这些特点, 使得组合服务提供商提供按照用户的多 QoS 要求查找最优的组合服务成为一个比较困难的问题。因为在多目标决策问题中, 一般不存在通常意义下的最优解, 即不存在这样一个解: 在满足约束条件下, 使得各个目标属性分别达到各自的最优值。虽然不存在最优解但是他们仍然有非劣解<sup>[11]</sup>。在本文中, 我们的目标就是查找候选服务中的非劣服务。下面给出非劣服务的定义。

**定义 4.** 非劣服务 (non-inferior service). 设  $s^*$  是服务类  $SC$  的一个候选服务  $s^* \in SC$ , 如果不存在其它的候选服务  $s \in SC, s^* \neq s$ , 使得  $F(s) > F(s^*)$ , 则  $s^*$  为在偏好  $F$  下的服务类  $SC$  的非劣服务。 $F$  为向量 QoS 目标函数, 它有  $n$  个分量  $(f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$ , 分别表示  $n$  个 QoS 的目标函数, 二元关系“ $>$ ”表示优于。

马尔可夫过程<sup>[1]</sup>是一个常用的随机过程, 现实生活中的运动员打靶的过程就是一个马尔可夫过程。在引入马尔可夫过程后, 本文就可以通过局部的非劣服务得到全局的非劣服务。下面举例说明满足马尔可夫性质的组合过程。对于一个包含定车服务和观光服务的旅游服务这个场景来说, 如果观光服务的允许时间为 8:00~15:00, 用车的允许时间为 10:00~18:00。那么我们规划旅游的时候就必须综合考虑观光服务和定车服务的时间限制, 这样定车服务和观光服务之间就不是独立的, 他们会互相影响。这种情况下旅游服务的组合过程就不满足马尔可夫性质。如果, 车什么时候都可以使用, 而且无论什么时候到达都可以进行参观。那么这两个服务就是独立的, 旅游服务的组合过程就满足马尔可夫性。本文要解决的问题就是在 Web 服务框架中如何按照用户的 QoS 要求在不完全信息的条件下, 对满足马尔可夫过程的组合服务中的服务类中的服务进行选择, 并将组合服务提交给用户执行。

## 2.2 Web 服务描述

**定义 5.** Web 服务的描述模型 (service description model). Web 服务的描述模型  $S = \{Function, QoS\}$ , 其中  $Function$  是服务的功能属性集合,  $QoS$  是服务质量的属性集合。

$Function$  是服务请求者判断服务是否满足其功能需求的主要依据,  $QoS$  为服务请求者从一个服务类的多个候选服务中选择合适服务提供了依据。为了描述包含 QoS 信息的服务, 首先我们提出一种增强的 Web 服务描述信息 EWSDL。

在实现中, EWSDL 中的  $Function$  元素和现有的 Web 服务描述语言 WSDL 中的  $portType$  对应, 在  $tport$  元素中加入了  $operationInst$  属性来描述 QoS 信息。使用 EWSDL 的这个结构后, 需要什么 QoS 都可以加入进行扩展。EWSDL 只是描述了服务的 QoS 信息, 我们在此基础上提出组合服务管理语言 SCML 来描述组合服务流程中的 QoS 信息。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, 只包含了 SCML 中的  $serviceProcess$  元素中的部分信息, 这样的流程也就只包含了功能方面的内容却没有涉及 QoS 的内容。通过 EWSDL 和 SCML 可以完成对组合服务的整个生命周期的 QoS 信息的描述。

## 2.3 满足马尔可夫性质的服务组合模型 MCS

我们将满足马尔可夫性质的服务组合问题定义为图 1 所示的模型 MCS。

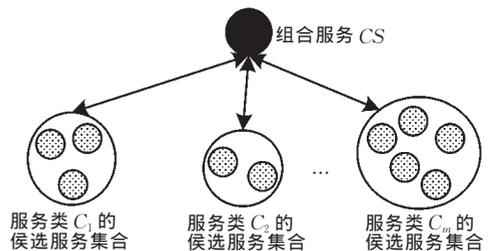


图 1 服务组合模型 MCS

对于某个由  $C_1, C_2, \dots, C_m$  个服务类组成的组合服务  $CS$ , 其中每一个服务类中有  $n$  个候选服务。这个系统具有如下的性质:

(1) 若  $s_i$  是  $C_i$  中满足用户偏好  $F$  的一个解, 则  $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$  是满足用户偏好  $F$  的组合服务  $CS$  的一个解;

(2) 每个服务类的求解过程, 本身就是一个多

目标决策过程；

(3) 各服务类的解之间是相互独立的。

### 3 解决方法

若将组合服务流程中服务类的个数定义为  $m$ ，并且假设每个服务类中都有  $n$  个候选的服务。如果采用穷举所有可能的解方案，组合服务模型的解空间大小是  $n^m$ 。即使对于  $m, n$  较小的情况来说，穷举带来的计算量也大得惊人<sup>[12]</sup>。对于组合深度为  $d$  的组合服务，其复杂度为  $O(n^{n^d})$ ，为了降低组合服务的复杂度并提高服务的性能，提供更好的组合算法就是一个有效的解决办法<sup>[13]</sup>。为了降低组合服务的复杂度并提高服务的性能，下面利用  $k$  臂赌博机技术提出一种服务选择算法。

#### 3.1 $k$ 臂赌博机问题描述

多臂赌博问题最初是由 Robbins 提出的<sup>[14]</sup>。在原始的  $k$  臂赌博机问题中，有一个拥有  $k$  个手臂的投币机器，赌博者必须选择  $k$  条手臂中的一条来赌博。在每一步，他选择机器多条手臂中的一条，可以得到一个奖励或者惩罚（零或负）。赌博者的目的就是在一个实验序列中最大化其总收益。由于每一条手臂都假设有不同的奖励的分布，目标就是尽可能早地发现那个有最好期望的臂，然后一直使用这条手臂进行赌博。现有的服务组合方法<sup>[6,8,12,15,16]</sup>基本上都是完全信息下的服务组合方法，即都是在知道每个候选服务的所有 QoS 参数值的时候，通过某种最优算法得到最优解。选用  $k$  臂赌博机可以很好地解决不完全信息下的 Web 服务组合问题。

#### 3.2 MCS 模型求解算法

根据 MCS 模型，我们将 Web 服务组合中基于 QoS 的服务选择问题转换为对各个服务类的服务选择问题。下面给出 MCS 模型求解步骤。

假设： $CS_T$  表示组合服务流程中第  $T$  个服务类， $M, T, i, Tr, Tr_{\max}, k$  为整数变量。

算法的主要步骤描述如下：

1. 确定组合服务流程中服务类的个数，从而确定服务选择循环的个数  $M$ ；初始化循环次数  $T=1$ ；

2. 对于一个有  $k$  个候选服务的服务类  $CS_T$ ，我们构造一个  $k$  臂赌博机，每一个手臂对应一个候选服务。文献<sup>[17]</sup>中提到了一种无统计假设的算法  $Hedge^*$ ，在此基础上得到改进的  $Hedge^*$  解决服务选择的问题；

3. 判断是否满足对服务类  $CS_T$  中止查找的条件

If  $p > \varphi$  or  $Tr > Tr_{\max}$

Then goto 4 // 满足查找结束的条件

其中  $p$  表示对某个候选服务的选择概率， $\varphi$  表示我们设置的候选服务的选择概率的阈值， $Tr$  表示当前赌博机执行的步数， $Tr_{\max}$  是由组合服务提供商根据需要设定的赌博机要执行的最大步数；

4. 当赌博机满足终止条件时，对结果做出以下处理：

If  $P_{Q_{\max}}^* > \sigma$ , 搜索成功，返回  $i$  所表示的候选服务给组合商

If  $Tr \geq Tr_{\max}$ , and  $P_{Q_{\max}}^* \geq \sigma$ , 搜索成功，返回  $i$  所表示的候选服务给组合商

If  $Tr \geq Tr_{\max}$ , and  $P_{Q_{\max}}^* < \sigma$ , 搜索失败，退出执行，返回 False

其中， $\sigma$  表示服务满意度的阈值， $P_{Q_{\max}}^*$  表示算法中止时候所记录的最大的满意度，具体计算见算法  $Hedge^*(\alpha, n)$ ；

5.  $M=M-1$ ；

If  $M > 0$  then  $T=T+1$ ; goto 2

//对下一个服务类进行查找

Else goto 6;

6. 服务选择结束，组合算法完成。

## 4 算法实现及其分析

### 4.1 算法实现

可以看出上面的服务组合算法中主要步骤就是如何选择服务。算法 1 给出了一种服务选择的算法，算法 1 调用算法 2 和算法 3 共同完成不完全信息下服务选择。算法 2 的  $Hedge^*(\alpha, n)$  给出计算手臂选择概率分布的算法，使得可以按照概率来选择手臂，为了排除由于选择的次序不同而带来的不稳定性，将  $Hedge^*(\alpha, n)$  算法产生的分布与均匀分布叠加得到分布估计算法  $E(\alpha, \gamma)$ ，算法 3 给出计算选中手臂满意度的方法。我们以文献<sup>[17]</sup>中算法 EXP3 为基础给出算法  $E(\alpha, \gamma)$ 。

算法 1. 分布叠加算法  $E(\alpha, \gamma)$ 。

本算法调用  $Hedge^*(\alpha, n)$  算法得到分布向量  $p(n)$ ，然后将其与均匀分布叠加产生新的分布向量  $\hat{p}(n)$ ，以排除这种由于选择的次序不同而带来的不稳定性。并将最终得到的所选择的服务的满意度  $\hat{P}_Q^*$  返回给  $Hedge^*(\alpha, n)$  算法，为下一步的选择做准备。其中参数  $\alpha > 0$  用于  $Hedge^*(\alpha, n)$ ， $\gamma \in [0, 1]$  用于分布叠加。同时要把  $Hedge^*(\alpha, n)$  算法的步 2 中所选服务  $i$  的满意度  $P_{Q_i}^*$  相应地改为从本算法得到满意度  $\hat{P}_{Q_i}^*$ 。

算法的主要步骤描述如下：

For  $n=1, 2, \dots, k$  do

{ 1. 调用  $Hedge^*(\alpha, n)$  算法得到  $p(n)$ ；

2. 通过分布向量  $\hat{p}(n)$  来选择服务  $\hat{p}(n) \leftarrow (1-\gamma) \times$

$p(n) + \gamma/K;$

//参数  $\gamma$  是算法  $E(\alpha, \gamma)$  进行分布叠加的制约因素,  
//4.2 节中给出具体的计算方法.  $\gamma/K$  因子是为了  
//保证  $\hat{P}_{Q_i}^* \in [0, 1]$

- 3. 根据满意度算法, 计算选中手臂的满意度  $P_{Q_i}^*$ ;
- 4. 将  $\hat{P}_{Q_i}^* \leftarrow (\gamma/K) \times (P_{Q_i}^* / \hat{p}_i)$  返回给算法  $Hedge^*(\alpha, n);$

下面, 本文以文献[17]中的算法  $Hedge(\alpha, n)$  为基础给出了算法  $Hedge^*(\alpha, n)$ .  $Hedge^*(\alpha, n)$  算法可以计算服务的选择概率的分布情况.

**算法 2. 分布估算算法  $Hedge^*(\alpha, n)$ .**

本算法以参数  $\alpha > 0$  来确定选择服务的概率分布. 本算法只考虑了第  $n$  步时对服务的选择分布. 其中, 我们用  $S_i(n)$  来表示前  $n-1$  步在服务类  $CS_i$  中进行选择的满意度的累计和.

算法的主要步骤描述如下:

For  $i=1, 2, \dots, k$  do  $S_i(1) \leftarrow 0$

For  $i=1, 2, \dots, k$  do

- {1. 产生这个  $k$  臂赌博机的选择概率分布向量  $p(n)$ , 其中选择候选服务  $i$  的概率  $p_i(n)$  为

$$p_i(n) = \frac{(1+\alpha)^{S_i(n)}}{\sum_{j=1}^k (1+\alpha)^{S_j(n)}}$$

//参数  $\alpha$  是概率分布向量  $p(n)$  的制约因素, 在 4.2 节 //中给出了计算方法

- 2. 根据满意度算法, 计算选中手臂的满意度  $P_{Q_i}^*$ ;
- 3. 产生每个  $S_i$  的满意度累计值:

$$S_i(n+1) \leftarrow S_i(n) + P_{Q_i}^*;$$

- 4. 计算其所选中手臂的满意度  $P_{Q_{Current}}^*$ , 并将其结果按如下规则记入到  $P_{Q_{max}}^*$ ,  $i_{Current}$  ( $i_{Current}$  为选中的那个手臂)

$$P_{Q_{max}}^* = \begin{cases} P_{Q_{max}}^*, & P_{Q_{max}}^* \geq P_{Q_{Current}}^* \\ P_{Q_{Current}}^*, & P_{Q_{Current}}^* > P_{Q_{max}}^* \end{cases};$$

$$i = \begin{cases} i, & P_{Q_{max}}^* \geq P_{Q_{Current}}^* \\ i_{Current}, & P_{Q_{Current}}^* > P_{Q_{max}}^* \end{cases};$$

**算法 3. 满意度算法 (Satisfying Degree Algorithm).**

假设: 对于一个服务我们用参数满意度  $P_Q$  来表示它符合用户要求的程度, 对于每一个 QoS 属性  $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$ , 我们用正态分布来表示  $Q_i$  满意度的分布情况. 这里我们使用正态分布是因为它比较适合表示通常的随机到达事件, 其概率的分布经过适当的调整后, 可以对吻合程度的细微变化产生较大满意度的输出变化, 使得对服务的 QoS 有较强

的区分能力, 同时分布又有一定的连续性<sup>①</sup>.

算法的主要步骤描述如下:

- 1. 从注册中心得到选中服务的 QoS 参数信息;
- 2. 对该服务的每一个 QoS 属性  $Q_i$  作预处理, 也就是说通过平移处理, 将用户对  $Q_i$  的要求  $x^*$  作为正态分布的顶点. 对于  $Q_i$  的任一取值  $y$ , 其满意度公式为

$$P_{Q_i} = 2P(Z \geq y^*), \text{ 这里 } y^* = \begin{cases} y, & y > x^* \\ x^* + |x^* - y|, & y \leq x^* \end{cases},$$

从而得到某个服务相对于用户要求的满意度向量  $P_Q = (P_{Q_1}, P_{Q_2}, \dots, P_{Q_n})$ ;

- 3. 通过下面的公式可以计算出选中的服务的满意度  $P_Q^* = P_Q \times W$ .

根据用户的喜好计算出用户对每一个 QoS 属性  $Q_i$  的权重  $W_i$ . 由于用户的行业知识有限, 所以他并不是一开始就十分清楚每个 QoS 属性应该有多大的权值, 他们往往把 QoS 属性成对地进行比较. 这种比较可能不精确, 也可能不一致. 本文采用本征向量法<sup>[11]</sup>来求每一个 QoS 属性的权值得到权重向量  $W$ .

**4.2 算法理论分析**

算法  $Hedge^*(\alpha, n)$  中, 参数  $\alpha$  是概率分布向量  $p(n)$  的制约因素, 而参数  $\gamma$  是算法  $E(\alpha, \gamma)$  进行分布叠加的制约因素, 所以参数  $\alpha, \gamma$  的选择对算法的性能有重要的影响. 根据文献[17]中的引理 4.2, 给出本文引理 1.

**引理 1.** 设  $f, G$  为正整数,  $f \geq G, G = N \times P_{Q_{best}}^*$ , 其中  $P_{Q_{best}}^*$  是服务类  $SC$  所有候选服务中满意度的最大值;  $N$  是赌博机执行的步数;  $K$  表示赌博机的臂数. 则有

$$\alpha = \sqrt[3]{(4K \ln K)/f},$$

$$\gamma = \min\{1, \sqrt[3]{(K \ln K)/(2f)}\},$$

由于  $P_{Q_{best}}^* \leq 1$ , 所以, 我们可以简单的设  $f = N$ , 进而求得相应的参数  $\alpha, \gamma$ .

由于我们在求选择服务的分布向量时采用如下公式:

$$p_i(n) = \frac{(1+\alpha)^{S_i(n)}}{\sum_{j=1}^k (1+\alpha)^{S_j(n)}}$$

对于有较大的满意度的服务, 其选择概率也较大, 而且随着赌博机运行, 拥有较大满意度的服务的选择

<sup>①</sup> 这里可以根据具体实现者的搜索策略选用不同的分布. 例如我们对于很严格的搜索, 可以使用下面的满意度公式  $q = \begin{cases} 1, & y \in [x^* - x', x^* + x'] \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$ , 但是这样使得对连续空间中的属性值的区分能力下降.

概率将显著地增大,最终算法会显著地收敛于拥有最大的满意度的服务.所以,本算法可以对多个服务进行有效选择.

**定理 1.** 对于由  $m$  个服务类  $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$  构成的组合服务  $CS$  来说,若  $s_{C_i}$  表示服务类  $C_i$  中的一个非劣服务,则由各个服务类的非劣解构成的解集  $S = (s_{C_1}, s_{C_2}, s_{C_i}, \dots, s_{C_m})$  是组合服务  $CS$  的一个非劣服务.

**证明.** 采用反证法.

假设存在一个组合服务  $CS$  的解  $S'$  优于  $S$ ,也就是说存在可行解  $S' = (s'_{C_1}, s'_{C_2}, \dots, s'_{C_m})$ ,使得在偏好函数向量  $F$  下满足  $F(S') > F(S)$ ,那么至少在  $S'$  的一个服务类  $C_j$  中存在  $F(s'_j) > F(s_j)$ ,而这一点与命题中  $S$  是由各个服务类的非劣服务构成的  $CS$  的非劣服务相矛盾.因此,假设不成立. 证毕.

#### 4.3 算法实验分析

为了验证本文所提出的方法的有效性,基于本课题组前期开发的 Web 服务组合管理原型系统 E-WsFrame<sup>[16,18]</sup> 对本文的服务组合方法进行了测试. E-WsFrame 系统主要包括以下五部分装置:组合管理装置、数据库装置、系统入口装置、SCML2EP 装置、执行环境装置.

在实验 1 中,随机生成不同的服务类,并按照一定范围随机生成服务类中的候选服务.对候选服务的数量为 10, 20, 40, 60, ..., 200 的服务类分别循环查找了 10 次, 20 次, 30 次, 40 次, 50 次. 停机条件:当某一个手臂的选择概率大于 99% 时.为了减少实验误差,取平均查找时间作为服务查找时间,得到图 2.

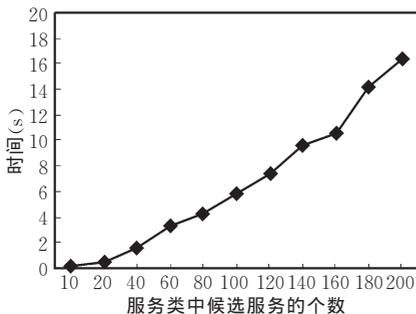


图 2 服务类中候选服务的个数与服务查找时间之间的关系

实验 1 将查找时间作为评价指标,这是现在文献中普遍使用的评价指标<sup>[6,8,12,15]</sup>.由于实验环境对实验结果的影响,并不能将本文中的实验结果和其它文献<sup>[6,8,12,15]</sup> 实验结果进行直接比较.为了解决这个问题,本文进行了实验 2,将命中率作为算法评价

指标,本文将命中率定义为在候选服务中存在满足用户要求原子服务的条件下查找算法找到服务的概率和在候选服务中不存在满足用户要求原子服务的条件下查找算法没有找到服务的概率之和.命中率和手臂数量无关和实验平台无关,而与随机数产生算法和停机条件有关,用这个指标可以对多种服务选择方法进行直观的比较.这样就降低了实验中的偶然性对实验结果的影响.

实验 2 中首先随机生成候选服务的数量为 10, 20, 40, 60, ..., 200 的服务类.由于命中率和满意度的阈值有关,本文分别针对不同满意度阈值进行了实验.实验 2(1)停机条件:当某一个手臂的选择概率大于 99% 或所选手臂满意度大于 90%. 实验 2(2)停机条件:当某一个手臂的选择概率大于 99% 或所选手臂满意度大于 80%.

结果表明:算法命中率开始会随着手臂数目的变化而从 1 降低到一个稳定值附近,此后,命中率不会随着手臂数目的变化有明显的增减,基本上在该稳定值附近上下波动.实验 2(1)和实验 2(2)的命中率基本稳定在 70% 和 90% 左右,如图 3 所示.实验表明,算法的命中率与满意度和选择手臂的概率有关,即命中率会随着对满意度和手臂的概率的要求的降低而增加.这是由于  $k$  臂赌博机算法并不是查找最优服务的算法,它是查找满足一定概率(满意度和手臂选择概率)的算法,而最优的服务并不一定能够满足满意度和手臂选择概率的要求,因此,本文中  $k$  臂赌博机服务选择算法在对满意度和手臂的选择概率较高的情况下的查找命中率不可能达到 100%.

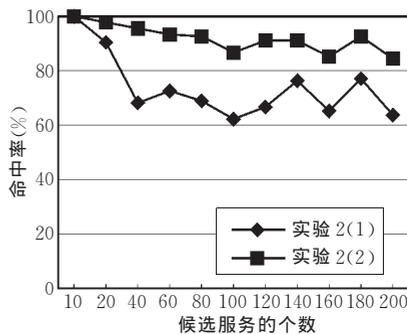


图 3 命中率实验

## 5 总结及展望

本文在对 Web 服务 QoS 研究的基础上,通过增加对服务的 QoS 属性的描述,提出了一种 Web

服务的描述模型,在此基础上提出了满足马尔可夫性质的服务组合数学模型 MCS 和服务组合算法,将  $k$  臂赌博机问题的求解技术应用到不完全 QoS 信息下的 Web 服务组合方法中的服务选择问题中.对不完全信息下的 Web 服务组合问题进行了尝试.实验表明我们的方法能够有效地解决满足马尔可夫性质下的不完全信息的 Web 服务组合问题.下一步,我们将对算法性能进行更深入的分析和改进,并研究马尔可夫组合过程验证方法.

## 参 考 文 献

- Sheng Zhou, Xie Shi-Qian, Pan Cheng-Yi. Probability and Statistic. 2nd Edition. Beijing: Higher Education Press, 1997 (in Chinese)  
(盛 骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1997)
- O'sullivan J.. What's in a service? Towards accurate description of non-functional service properties. Distributed and Parallel Databases, 2002, 12(2/3): 117~133
- Yue Kun, Wang Xiao-Ling, Zhou Ao-Ying. Underlying techniques for Web services: A survey. Journal of Software, 2004, 15(3): 428~442 (in Chinese)  
(岳 昆, 王晓玲, 周傲英. Web 服务核心支撑技术: 综述. 软件学报, 2004, 15(3): 428~442)
- Ran Shu-Ping. A model for Web services discovery with QoS. TACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1~10
- 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)
- Zeng Liang-Zhao, Benatallah B., Dumas M., Kalagnanam J., Sheng Q. Z.. Quality driven Web services composition. In: Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web, Budapest, Hungary, 2003, 411~421
- Singhera Z. U.. Extended Web services framework to meet non-functional requirements. In: Proceedings of the International Symposium on Applications and the Internet Workshops, Tokyo, Japan, 2004, 334~341
- Liao Yuan, Tang Lei, Li Ming-Shu. A method of QoS-Aware service component composition. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 627~634 (in Chinese)  
(廖 渊, 唐 磊, 李明书. 一种基于 QoS 的服务构件组合法. 计算机学报, 2005, 28(4): 627~634)
- Tosic V., Patel K., Paginek B.. WSOL—Web service offerings language. In: Proceedings of the Workshop on Web Services, E-Business, and the Semantic Web, Toronto, Canada, 2002, 57~67
- Tosic V.. Service offerings for XML Web services and their management applications [Ph. D. dissertation]. Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University, Ottawa, Canada, 2004
- Chen Ting. Programming Analysis. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese)  
(陈 珽. 决策分析. 北京: 科学出版社, 1987)
- Jin Hai, Chen Han-Wen, Lu Zhi-Peng, Ning Xiao-Ming. QoS optimizing model and solving for composition service in CGSP job manager. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 578~588 (in Chinese)  
(金 海, 陈汉文, 吕志鹏, 宁小敏. CGSP 作业管理器合成服务的 QoS 优化模型及其求解. 计算机学报, 2005, 28(4): 578~588)
- Rao Yuan. Web service reuse and composition mechanism based on the service-oriented architecture [Ph. D. dissertation]. Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 2005 (in Chinese)  
(饶 元. 基于软件体系结构的 Web 服务重用与合成策略以及集成框架研究 [博士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 2005)
- Robbins H.. Some aspects of the sequential design of experiments. Bulletin American Mathematical Society, 1952, 55: 527~535
- Zhao Jun-Feng, Xie Bing, Zhang Lu, Yang Fu-Qing. A Web services composition method supporting domain feature. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 731~738 (in Chinese)  
(赵俊峰, 谢 冰, 张 路, 杨芙清. 一种支持领域特性的 Web 服务组装方法. 计算机学报, 2005, 28(4): 731~738)
- Chen Yan-Ping, Li Zeng-Zhi, Jin Qin-Xue, Wang Chuang. Study on QoS driven Web services composition. In: Proceedings of the 8th Asia Pacific Web Conference, Harbin, China, 2006, 702~707
- Auer P., Cesa-Bianchi N., Freund Y., Schapire R. E.. Gambling in a rigged casino: The adversarial multi-armed bandit problem. In: Proceedings of the 36th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Los Alamitos, CA, 1995, 322~331
- Jing Qin-Xue. Research on QoS driven workflow based Web services composition [M. S. dissertation]. Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 2006 (in Chinese)  
(晋勤学. QoS 驱动的基于工作流的 Web 服务组合技术研究 [硕士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 2006)
- Benatallah B., Dumas M., Sheng Quan Z., Ngu Anne H. H.. Declarative composition and peer-to-peer provisioning of dynamic Web services. In: Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering, San Jose, CA, USA, 2002, 297~308
- Yang Sheng-Wen, Shi Mei-Lin. A model for Web service discovery with QoS constrains. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 589~594 (in Chinese)  
(杨胜文, 史美林. 一种支持 QoS 约束的 Web 服务发现模型. 计算机学报, 2005, 28(4): 589~594)



**CHEN Yan-Ping**, born in 1979, Ph. D. candidate. Her research interests include network architecture, service oriented architecture and service management.

**LI Zeng-Zhi**, born in 1938, professor, Ph. D. supervi-

sor. His research interests include architecture of computer network and network management.

**TANG Ya-Zhe**, born in 1970, Ph. D., associate professor. His research interests include network management and distributed system management.

**GUO Zhi-Sheng**, born in 1978, M. S. candidate. His research interests focus on computer network software and optimization.

## Background

This research belongs to the project of “The Study of Service Oriented Network Management Key Technology for Next Generation Network” which is supported by the National Natural Science Foundation of China (NSFC) under grant No. 90304006.

The traditional network management system, which takes network devices as its management object already cannot satisfy the requirements of service management in the next generation network. The research group proposed service oriented network management reference model. They are going to investigate deeply on some key problems, such as service modeling, architecture of service management, quality of service, application level agreement for service management and fusion between service management and traditional network management as well as integration of current network management resources. The final aim is to develop integrated service oriented network management experimental system. To sum up, this project has certain significance on fully exerting the performance of broadband IP network, im-

proving the quality of network services and promoting the development of network management technology.

Web service is becoming a hotspot on service oriented architecture. The service management group of Institute of Computer Architecture & Network in Xi'an Jiaotong University provides practical ways to the management of Web services. The group has already gained some fruits on the network management of syntactic and semantic Web services managements. Thirty-one academic papers are published and a patent was applied

This paper absorbs the thought of service oriented management and adopts Web services as one of specific network services to study service managements. Furthermore, the QoS attributes are added into service description during the whole life cycle of composition process. The service selection algorithm under incomplete information is thoroughly investigated, and a prototype for service composition are also realized.