第 29 卷 第 7 期
2006 年 7 月
计 算 机 学 报
CHINESE JOURNAL OF COMPUTERS
Vol. 29 No. 7
July 2006

支持组合服务选取的 QoS 模型及优化求解

代 钰 杨 雷 张 斌 高 岩
（东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004）

摘 要 提出了一个支持组合服务选取的 QoS 模型的层次结构，包括保证基本服务质量的基本服务 QoS 模型、反映组合服务特性的基本服务间关联 QoS 模型以及全面评价组合服务质量的组合服务 QoS 模型，并在此基础上给出了一个 QoS 驱动的组合服务选取算法. 与同类成果相比，该模型在支持组合服务的动态选取、保证组合服务的整体质量方面具有较好的效果.

关键词 QoS；组合 Web 服务；服务选取；关联度
中图法分类号 TP311

QoS for Composite Web Services and Optimizing

DAI Yu YANG Lei ZHANG Bin GAO Yan
(*School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang* 110004)

Abstract The provision of guaranteed QoS is critical to the success of Web Services in business domains. Thus, how to make the Composite Web Services meet users' QoS requirement becomes a hot issue in the research field. For such reason, this paper proposes a hierarchical structure for Composite Web Service selection oriented QoS including QoS for assuring quality of basic Web services, QoS for evaluating relation degree between services and QoS for measuring the whole quality of Composite Web Services. Based on this, a selection algorithm for QoS-driven Composite Web Services selection is also proposed. The experiment result demonstrates its efficiency.

Keywords QoS; composite Web services; service selection; relation degree

1 引 言

Web 服务是一种自包含、自描述、模块化的程序，它吸取了分布式计算、Grid 计算和 XML 等各种技术的优点，通过采用 WSDL、UDDI 和 SOAP 等基于 XML 的标准和协议，解决了分布式计算以及代码重用等问题，具有高度的互操作性、跨平台性和松耦合等特点，引起了世界范围内学术界和工业界的极大兴趣. 目前随着对 Web 服务应用要求的不断提高，能够提供增值功能的组合 Web 服务已经得到了广泛的重视. 然而，如何能够在大量实现相同功能的 Web 服务中选取出一组服务，使得组合服务具有良好的质量、较高的用户满意度已经成为了一个亟待解决的问题.

目前对组合服务选取的研究不多，组合服务选取还存在很多困难. 首先，组合服务选取需要基于一定的标准，QoS 作为一个可以衡量服务质量的概念，包含了费用、运行时间、可用性、信誉度、可靠性等非功能属性[1]，能够体现服务质量的好坏. 然而，

收稿日期：2006-02-17；修改稿收到日期：2006-04-20. 本课题得到国家“十五”科技攻关项目基金（2004BA721A05）资助. 代 钰，女，1980 年生，博士研究生，研究方向包括面向服务的计算和 Web 服务组合. E-mail：NEU_DaiYu@126.com. 杨 雷，男，1974 年生，博士研究生，助教，研究方向包括面向服务的计算和 Web 服务组合. 张 斌，男，1964 年生，教授，博士生导师，CCF 高级会员，研究领域包括面向服务的计算和信息集成. 高 岩，男，1970 年生，博士研究生，讲师，研究方向包括面向服务的计算和 Web 服务组合.

目前的 QoS 模型都着眼于对一般服务的质量评价，并不能够客观、全面地反映组合服务的质量，因此如何设计一个能够反映组合服务质量的 QoS 模型成为了组合服务选取的首要问题；另外，如何将这样一个模型应用于组合服务选取中是需要解决的另一个重要问题

针对以上问题，通过分析组合服务的特性，本文将基本服务间的关联度作为衡量组合服务质量的重要因素，提出了一个支持组合服务选取的 QoS 模型的层次结构，包括保证基本服务质量的基本服务 QoS、反映组合服务特性的基本服务间关联 QoS 以及全面评价组合服务质量的组合服务 QoS，同时给出了利用本文所提出的 QoS 模型进行组合服务选取的路径剪枝算法. 实验表明，所提出的组合服务 QoS 模型对于保证组合服务的整体质量，实现质量良好的、用户满意度较高的组合服务具有较好的效果.

本文第 2 节介绍国内外对这一问题的研究现状；第 3 节讨论关键问题以及问题的解决思路；第 4 节给出所提出的 QoS 模型；第 5 节给出问题求解的数学模型；第 6 节给出组合服务选取的路径剪枝算法；第 7 节通过实验验证所提出的 QoS 模型及算法的有效性；最后总结全文并简单说明未来的工作.

2 相关工作

目前的 Web 服务工业标准如 UDDI、SOAP、XML、WSDL 等由于缺乏对服务质量的描述，导致了组合过程中组合服务的低质量，这样的组合服务往往由于不能适应动态的 Internet 环境而导致组合的失败. 因而，在随后的许多研究中都提出了有关评价 Web 服务质量的思想，强调服务 QoS 的重要性. 下面是几个典型的有关服务质量评价模型的研究.

文献[2]中著名学者 Cardoso 指导性地给出了服务质量(quality of service)评价模型中应包括的因素，具体包括费用(cost)、时间(time)和可靠性(reliability).

文献[3]中 Aggarwal 提出了一个 QoS 模板的概念，这个模板中服务质量的评价因素包括费用、时间等. 同时这个模板支持用户按需设置各质量因素的权值，具有良好的个性化和可扩展性.

文献[4]中 Zeng 详细地描述了评价 Web 服务质量应考虑的因素，包括：费用(price)、时间(duration)、信誉度(reputation)、可用性(availability)和成功率(successful rate). 并且将这个服务质量模型应用于组合服务选取中. 这个方法利用一个图来表示组合服务的流程，通过全局优化选取算法进行选取使得组合服务具有良好的质量.

但是，上述的 QoS 模型都忽略了组合服务的特性，即需要将组合服务作为一个有机整体向用户提供完整的功能，满足用户对组合服务整体质量的要求，使得所包含的基本服务能够相互协作以完成组合目标. 而目前的研究之所以不能够有效地支持组合服务选取在于只简单地将组合服务看作是一类特殊的服务，利用基本服务的 QoS 模型衡量组合服务的质量，没有考虑到组合服务的特性.

基于这样的原因，本文以文献[4]为基础，吸收了文献[2,3]的优点，考虑了服务间的关联关系对组合服务质量的影响，提出了一个支持组合服务选取而非单个服务选取的 QoS 模型. 该模型是基于 SOA 框架的服务组合平台[5]的重要组成部分，是发现最佳组合服务的关键步骤之一，该模型为构建一个高质量的、用户满意度高的组合服务提供了可靠的保证.

3 关键问题和解决问题的思路

随着 Internet 上 Web 服务数量的增长，基于 QoS 的组合服务选取(指通过对组合服务而不是单个服务的选取向用户提供有保证的组合服务质量)成为了获取质量较好、用户满意度较高的组合服务的重要途径. 组合服务不同于一般的服务，所以组合服务选取所考虑的因素不同于基本服务的选取. 因此，为了获得高质量的组合服务，需要解决以下的关键问题：

(1) 支持组合服务选取的 QoS 模型

设计支持组合服务选取 QoS 模型的目标是要提供能够客观反映组合服务整体质量的评价标准. 为了有效地支持组合服务选取，在对这一模型的设计中要充分考虑组合服务的特性.

(2) 基于 QoS 的组合服务选取方法

组合服务选取的目标是根据基本服务的质量以及用户对组合服务质量的要求，选取出质量良好的组合服务，这就要求将支持组合服务选取的 QoS 模型应用于组合服务的选取中.

以前的服务选取方法之所以不能够很好地支持组合服务选取，是因为以前的 QoS 模型不能够有效评价组合服务的整体质量. 因此要实现组合服务的高质量选取、解决上述的关键问题，需要从以下几个方面入手：

首先，建立评价组合服务内基本服务质量的 QoS 模型，保证基本服务的质量. 基本服务的质量

直接影响组合服务的整体质量，因而解决基本服务的质量评价问题是研究组合服务质量评价的基础.

其次，建立基本服务间的关联 QoS 模型，从而有效支持组合服务的选取. 组合服务是由多个基本服务合成的，它们之间存在数据依赖关系以及服务提供者之间的业务制约关系，这些关联关系影响组合服务质量的好坏、组合服务执行的过程. 因而建立基本服务间的关联 QoS 模型是研究组合服务质量评价模型的重要内容.

再次，建立评价组合服务整体质量的 QoS 模型，用以全面地评价组合服务的质量. 将对基本服务的质量评价和基本服务间关联关系的质量评价统一于对组合服务的质量评价中是研究的一个重点.

最后，建立选取的数学模型，将支持组合服务选取的 QoS 模型应用于组合服务选取中.

总之，为了解决 QoS 驱动的组合服务选取问题，本文提出了由组合服务内基本服务质量的 QoS 模型、基本服务间的关联 QoS 模型、组合服务整体质量的 QoS 模型构成的组合服务 QoS 的层次结构，给出了一套完整的解决方案，包括通过建立基本服务 QoS 模型以保证基本服务的质量，建立基本服务间的关联 QoS 模型以有效地支持组合服务选取，建立组合服务的 QoS 模型以全面地评价组合服务的质量，建立选取的数学模型以选取出令用户满意的组合服务. 通过以上的解决思路，本文以文献[4]中的基本服务 QoS 模型为基础，提出了支持组合服务选取的 QoS 模型和选取方法以实现高质量的组合服务选取.

4　支持组合服务选取的 QoS 模型

4.1　基本 Web 服务的抽象描述和基本 Web 服务的 QoS 模型

Web 服务是一种新型的 Web 应用程序. W3C Web Services Architecture 小组为 Web 服务的定义是："Web 服务是由 URI 标识的软件应用程序，其接口和绑定可以通过 XML 标准进行定义、描述和发现，通过 Internet 协议与其它软件应用程序直接进行交互". 为了有效地研究组合 Web 服务选取问题，假设一个 Web 服务只包含一个操作，按照 W3C 的定义，它可以形式化地定义如下.

定义 1.　Web 服务(WS).

Web 服务可以定义为一个三元组：$WS=\langle S,C,Q\rangle$. 其中，S 是基本描述，即服务名称、服务的商业实体以及服务的文本描述；C 是服务功能描述，即对服务的行为描述，包括服务的接口参数 *Parameter*、前置条件 *PreCondition* 和后置条件 *PostCondition*；Q 是对服务非功能属性的描述. 目前，大多数的 Web 服务描述语言都自发地遵循 $\langle S,C,Q\rangle$，比如 OWL-S[6].

例 1.　Web 服务的例子.

对于一个预定机票服务(BookAirTicketService)，它的基本描述 S 可表示为

ServiceName：BookAirTicketService；

ServiceProvider：Northeastern University；

ServiceDiscription：Ordering air tickets from Flight Company.

它的功能描述 C 可表示为

Parameter，本文将在定义 2 中给出具体的形式；

PreCondition：Money；

PostCondition：BookedTicket.

对它的非功能属性描述 Q，本文将在后面详细讨论.

定义 2.　Web 服务的接口参数(*Parameter*).

Web 服务通过消息进行数据交互和服务调用，根据文献[7～9]对接口参数的定义，本文将服务之间用于交互的消息定义为 Web 服务的接口参数. 它可以定义为一个二元组 $Parameter=\langle I,O\rangle$. 其中，

(1) I 是服务输入参数的集合，$I=\{i_1,i_2,\cdots,i_n\}$；O 是服务输出参数的集合，$O=\{o_1,o_2,\cdots,o_n\}$；

(2) $\forall i_k\in I$，$i_k=\langle M,T,U\rangle$，其中，M 是参数 i_k 的意义，T 是参数 i_k 的类型，U 是参数 i_k 的单位；

(3) $\forall o_k\in O$，$o_k=\langle M,T,U\rangle$，其中，M 是参数 o_k 的意义，T 是参数 o_k 的类型，U 是参数 o_k 的单位.

例 2.　Web 服务接口参数的例子.

例 1 中所提到的 Web 服务，$Parameter=\langle I,O\rangle$，其中

$I=\{i_1,i_2\}$，$O=\{o_1,o_2\}$，

$i_1=\langle Air\text{-}Ticket\text{-}Price,\ Money,\ USDollar\rangle$，

$i_2=\langle Air\text{-}Ticket\text{-}Date,\ Date,\ null\rangle$，

$o_1=\langle Change\text{-}Money,\ Float,\ USDollar\rangle$，

$o_2=\langle Air\text{-}Ticket\text{-}ID,\ String,\ null\rangle$.

根据定义 1 以及目前的 QoS 模型，对于 Web 服务 WS，它的质量模型可以定义为

$$QoS(WS)=\langle QoS_{pr}(WS),QoS_{du}(WS),QoS_{re}(WS),QoS_{av}(WS),QoS_{sr}(WS)\rangle,$$

其中，$QoS(WS)$ 是服务 WS 的 QoS，它描述了服务在执行过程中的一些质量信息，包括服务执行费用

(price)、服务执行时间(duration)、服务的信誉度(reputation)、服务的可用性(availability)和服务执行成功率(successful rate).这些质量的计算公式和说明见表 1.

表 1 Web 服务质量计算公式及说明

质量	说明	计算公式
$QoS_{pr}(WS)$	服务请求者调用服务 WS 所需的费用	执行费用由服务提供者发布
$QoS_{du}(WS)$	衡量一个服务请求从发送到执行完所用的时间	$QoS_{du}(WS)=T_{process}(WS)+T_{trans}(WS)$
$QoS_{re}(WS)$	服务的可信程度,取决于终端用户对服务的使用情况	$QoS_{re}(WS)=\frac{\sum_{i=1}^{m}R_i(WS)}{m}$
$QoS_{av}(WS)$	服务可被调用的可能性	$QoS_{av}(WS)=\frac{T_a(WS)}{\theta}$
$QoS_{sr}(WS)$	服务请求能否在所声明的时间内,被正确地发送、执行并且返回结果	$QoS_{sr}(WS)=\frac{\sum_{i=1}^{n}SR_i(WS)}{n}$

表 1 中,服务传输时间(T_{trans})可以通过该服务执行的历史记录确定,比如可以取几次传输时间的平均值;服务处理时间($T_{process}$)是由服务提供者发布的;n 是过去一段时间内服务被调用的次数;$R_i(WS)$是用户对服务 WS 的评价值;m 是用户对服务的评价次数;T_a是在过去的 θ 秒内服务 WS 可用的时间;$SR_i(WS)$表示服务 WS 在所声明的时间内是否成功调用,若成功调用,$SR_i(WS)=1$,否则,$SR_i(WS)=0$.

4.2 组合服务的抽象描述

组合 Web 服务,是把 Internet 上已有的相对简单的 Web 服务按照一定的业务流程合成起来以构成复杂的复合服务,从而提供更强大更完整的商业功能.为了有效地说明服务组合中的服务选取问题,本文按照以下的方式定义一个组合服务,并且引进初始虚拟基本服务和终止虚拟基本服务——两个逻辑上存在、物理上不存在的服务,标志一个组合服务逻辑上的开始和结束,这里分别用 WS_0和 WS_{n+1}来表示.

定义 3. 组合 Web 服务(CWS).

一个组合服务 CWS 可以形式化的定义为 $CWS=\langle\sum_{WS},\sum_{CR},\sum_{DR}\rangle$,其中

$\sum_{WS}$=服务集合$\{WS_0,WS_1,\cdots,WS_n,WS_{n+1}\}$,且服务间具有控制逻辑关系 CR 和数据逻辑关系 DR,这里将集合中的服务称为基本服务;

$\sum_{CR}$=基本服务间控制逻辑关系的集合,控制逻辑关系的定义见定义 4;

$\sum_{DR}$=基本服务间数据逻辑关系的集合,数据逻辑关系的定义见定义 5.

例 3. 组合 Web 服务的例子.

本文举一个名为"旅行计划"的组合 Web 服务的例子,如图 1.该组合服务是由服务集合$\{WS_0,WS_1,WS_2,WS_3,WS_4,WS_5,WS_6,WS_7\}$中的服务组成,表示在预定机票和订旅馆的同时可以搜索景点,而且可以反复地搜索景点直到找到一个满意的为止;之后,要计算景点和旅店的距离,如果这个距离大于某个值,就雇用出租车,否则雇用自行车.

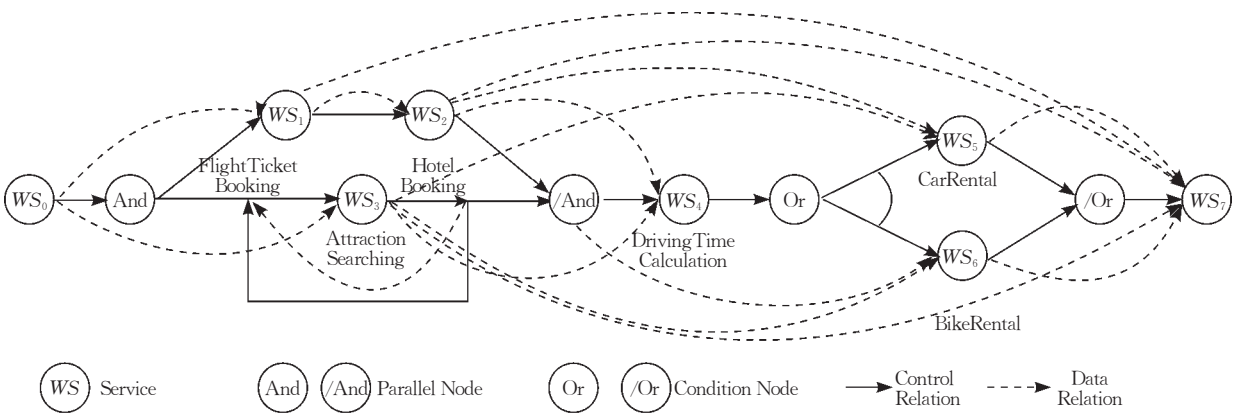


图 1 组合 Web 服务图形表示

定义 4. 基本服务间的控制逻辑关系(CR).

基本服务间的控制逻辑关系是基本服务间的执行逻辑关系.对于组合服务中任意两个基本服务 WS_i 和 WS_j,如果它们之间存在以下 4 种关系,则称 WS_i

和 WS_j 之间具有控制逻辑关系 $ControlRelation(WS_i, WS_j)$：

(1) **顺序关系**(sequence relation). 对于基本服务 WS_i 和 WS_j，如果执行完 WS_i 后就执行 WS_j，则 WS_i 和 WS_j 之间是顺序关系，表示为 $ControlRelation(WS_i; WS_j)$；

(2) **分支关系**(fork relation). 对于基本服务 WS_i 和 WS_j，如果根据前面的执行结果，或者执行 WS_i，或者执行 WS_j，则 WS_i 和 WS_j 之间是分支关系，表示为 $ControlRelation(WS_i + WS_j)$；

(3) **并行关系**(parallel relation). 对于基本服务 WS_i 和 WS_j，WS_i 的执行不依赖于 WS_j，WS_j 的执行不依赖于 WS_i，则 WS_i 和 WS_j 之间是并行关系，表示为 $ControlRelation(WS_i \times WS_j)$；

(4) **自循环关系**(iteration relation). 对于基本服务 WS_i，如果 WS_i 被连续执行多次，则 WS_i 是自循环关系，表示为 $ControlRelation(!WS_i)$.

定义 5.　基本服务间的数据逻辑关系(DR).

基本服务间的数据逻辑关系是服务间数据交互关系，表示为 $DataRelation(WS_j, WS_i, o, i)$，它的含义是：对于组合服务 CWS 中的两个基本服务 WS_i 和 WS_j，如果 WS_j 的输出 o_k 是 WS_i 的输入 i_l，则 WS_i 和 WS_j 之间存在数据逻辑关系 $DataRelation(WS_j, WS_i, WS_j.C.Parameter.O.o_k, WS_i.C.Parameter.I.i_l)$.

为了将组合服务选取问题阐述清楚，本文默认组合服务的基本服务间不存在循环关系. 如果存在循环关系，就通过日志确定循环时服务的平均执行次数，将循环关系变成多个顺序关系. 图 1 经过处理可以变成图 2，这里，日志中 WS_3 循环时的平均执行次数为 1 次.

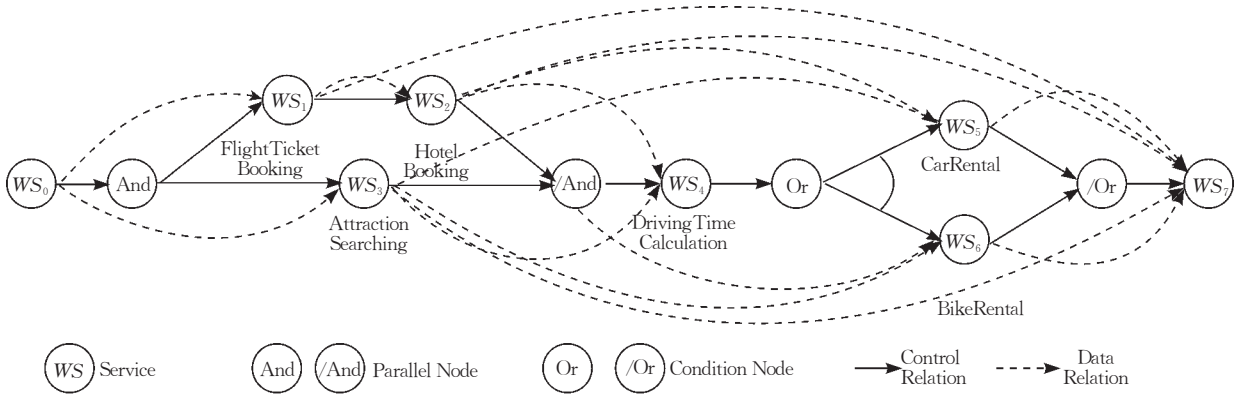


图 2　没有循环关系的组合 Web 服务图形表示

4.3　支持组合服务选取的服务间关联 QoS 模型

组合 Web 服务的特征是要将基本服务有机的结合在一起，使得基本服务能够彼此适应、正确的执行. 在组合 Web 服务中，基本服务间的关联关系有 3 种：可组合关联关系、商业实体关联关系和统计关联关系. 相应地，对于基本服务 WS_i 和 WS_j，用以衡量它们间关联程度的 QoS 模型可以定义为

$$QoS_r(WS_i, WS_j) = \langle QoS_{CoR}(WS_i, WS_j), QoS_{BuR}(WS_i, WS_j), QoS_{StR}(WS_i, WS_j) \rangle,$$

其中，$QoS_{CoR}(WS_i, WS_j)$ 是 WS_i 与 WS_j 间的可组合关联度，$QoS_{BuR}(WS_i, WS_j)$ 是 WS_i 与 WS_j 间的商业实体关联度，$QoS_{StR}(WS_i, WS_j)$ 是 WS_i 与 WS_j 间的统计关联度. 以下本文将给出服务间存在的这三种关联关系和关联度的定义.

首先，组合服务的目标是要协调基本服务间的互操作，使得组合服务能够以正确的方式运行. 例如，一个订票服务，它要求的输入参数是起始地的名称，而它之前的服务只能提供起始地的经纬度信息，这些服务显然无法组合在一起，得到正确的运行结果. 因此，组合服务的选取要求将服务间的可组合关联关系以及可组合关联度作为衡量组合服务的重要性能指标，使得基本服务间具有较好的互操作性、能够正确地执行.

定义 6.　基本服务间的可组合关联关系与可组合关联度.

两个服务间的可组合关联关系是两个存在数据逻辑关系的基本服务能否组合的关系，可组合关联度衡量了这两个基本服务可组合的程度. 本文利用下面的公式计算可组合关联度：

$$QoS_{CoR}(WS_i, WS_j) = \begin{cases} 0, & WS_i \text{ 和 } WS_j \text{ 间不存在数据逻辑关系} \\ \zeta, & \text{存在数据逻辑关系} \end{cases} \tag{1}$$

这里，对于任意的两个服务，如果它们之间不存在数据逻辑关系 $DataRelation(WS_i, WS_j, WS_i.C.Parameter.O.o_k, WS_j.C.Parameter.I.i_l)$，则它们间的可组合关联度为 0；否则为大于 0 的某一数 ζ，ζ 可以

利用式(2)计算.

设有服务WS_i和WS_j,它们之间存在的数据逻辑关系所构成的集合为$DR=\{DataRelation_1(WS_i,WS_j,WS_i.C.Parameter.O.o_{k1},WS_j.C.Parameter.I.i_{l1}),DataRelation_2(WS_i,WS_j,WS_i.C.Parameter.O.o_{k2},WS_j.C.Parameter.I.i_{l2}),\cdots,DataRelation_r(WS_i,WS_j,WS_i.C.Parameter.O.o_{kp},WS_j.C.Parameter.I.i_{lq})\}$,根据文献[10,11]中对可组合性的描述,如果$WS_i$和$WS_j$可组合,则对于$\forall DataRelation_p\in DR$,都有$DataRelation_p.WS_i.C.Parameter.O.o_{ku}.M$是$DataRelation_p.WS_j.C.Parameter.I.i_{ls}.M$的语义子概念且$DataRelation_p.WS_i.C.Parameter.O.o_{ku}.T$是$DataRelation_p.WS_j.C.Parameter.I.i_{ls}.T$的子类型.上述对可组合关联度计算方法的说明可以表示为式(2).

$$\zeta=\prod_{p=1}^{m}(Sem_{\mathrm{sub}}(DataRelation_p)\times Type_{\mathrm{sub}}(DataRelation_p)) \tag{2}$$

这里,m是WS_i和WS_j间存在的数据逻辑关系个数;$DataRelation_p$是集合DR中的任意一个元素;函数$Sem_{\mathrm{sub}}(DataRelation_p)$用来确定概念$WS_i.C.Parameter.O.o_{ku}.M$和$WS_j.C.Parameter.I.i_{ls}.M$是否为被包含关系,它的计算可以通过本体匹配[12]技术实现,比如概念"Temperature"和"Ambient-Temperature"在本体(如WordNet)中,后者是前者的子概念,此时$Sem_{\mathrm{sub}}=1$,否则,$Sem_{\mathrm{sub}}=0$;函数$Type_{\mathrm{sub}}(DataRelation_p)$确定类型$WS_i.C.Parameter.O.o_{ku}.T$是否是$WS_j.C.Parameter.I.i_{ls}.T$的子类型,它的计算可以利用系统所维护的一张类型列表,比如类型"short"是类型"integer"的子类型,此时$Type_{\mathrm{sub}}=1$,否则,$Type_{\mathrm{sub}}=0$.

其次,动态的Web服务组合使得企业级的业务合成成为了现实,是实现企业间商业合作的基础.而企业间商业合作关系的不同会影响组合服务的整体质量.例如,对于"旅游计划"组合服务,如果订票、订旅馆等基本服务能够在具有合作关系的商业实体中进行,无疑将为这些商业实体带来利益,而且这种合作关系通常也会通过费用打折等方式给使用者以优惠.因此,组合服务的选取需要考虑服务间商业实体关联关系对组合服务整体质量的影响.

定义7. 基本服务间的商业实体关联关系及商业实体关联度.

对于两个基本服务提供者——商业实体A和B,如果它们处于一个商业联盟中,具有合作关系或者处于对立的联盟中,具有竞争关系,或者它们所处的商业联盟没有任何关系,则称这两个服务间存在商业实体关联关系;并且用商业实体关联度来衡量基本服务间商业实体关联关系的好坏.本文利用下面的公式给出商业实体关联度的计算方法.

$$\mathrm{QoS}_{\mathrm{BuR}}(WS_i,WS_j)=\begin{cases}2, & WS_i\text{和}WS_j\text{的商业实体间是合作关系}\\1, & WS_i\text{和}WS_j\text{的商业实体间没有关系}\\0.5, & WS_i\text{和}WS_j\text{的商业实体间是竞争关系}\end{cases} \tag{3}$$

这里,服务间存在的商业实体关联关系可以通过WSRL[13]获得;式(3)表示如果两个商业实体间是合作关系,则它们间的实体关联度最大;如果它们间是竞争关系,实体关联度最小.

基本服务间存在的另一个重要的关联关系是服务间的统计关联关系.进行服务组合时,经常在一起绑定使用的两个服务往往可以向服务使用者提供良好的组合效果,在某一程度上,保证了组合服务的正确运行.

定义8. 基本服务间的统计关联关系及统计关联度.

两个基本服务间的统计关联关系是指两个基本服务是否经常绑定在一起执行的关联关系,并且用统计关联度反映基本服务间具有统计关联关系的程度.

$$\mathrm{QoS}_{\mathrm{StR}}(WS_i,WS_j)=\frac{2}{1+\mathrm{e}^{-\gamma}} \tag{4}$$

这里,γ是WS_i和WS_j在历史日志中绑定在一起成功执行的次数;式(4)表示两个基本服务在一起成功执行的次数越多,γ越大,基本服务间的统计关联度越大.

通过上面的分析,可以看出基本服务间的关联关系能够影响组合服务的执行,是衡量组合服务质量的重要因素.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对于保证组合服务的正确运行,向用户提供有保证的组合服务具有重要的研究价值和实用价值.

4.4 支持组合服务选取的组合服务QoS模型

为了全面地评价组合服务质量,需要建立组合服务质量的评价模型.这个模型要基于基本服务的质量评价模型,同时考虑基本服务间存在的关联关系对组合服务质量的影响.这样,对于组合服务$CWS=\{WS_0,WS_1,\cdots,WS_{n+1}\}$,能够反映其质量的QoS模型可以定义为

$$\mathrm{QoS}(CWS)=\langle\mathrm{QoS}_{\mathrm{pr}}(CWS),\mathrm{QoS}_{\mathrm{du}}(CWS),\mathrm{QoS}_{\mathrm{re}}(CWS),\mathrm{QoS}_{\mathrm{av}}(CWS),$$

$$\mathrm{QoS_{sr}}(CWS),\mathrm{QoS_{CoR}}(CWS),\mathrm{QoS_{BuR}}(CWS),\mathrm{QoS_{StR}}(CWS)\rangle,$$

这里，$\mathrm{QoS}(CWS)$是组合服务 CWS 的 QoS，它描述了组合服务在执行过程中的一些质量信息，包括组合服务执行费用(price)、组合服务执行时间(duration)、组合服务的信誉度(reputation)、组合服务的可用性(availability)、组合服务执行成功率(successful rate)、组合服务的可组合关联度(composable relation)、组合服务的商业实体关联度(business entity relation)和组合服务的统计关联度(statistical relation). 可以通过基本服务间存在的控制逻辑关系，基于基本服务的质量计算组合服务的质量.

目前对于如何计算组合服务质量的研究中，多数的研究是将组合服务化简为只具有顺序逻辑关系的组合服务，通过对基本服务质量的简单求和计算得到组合服务的相应质量. 这种做法虽然简化了问题处理的复杂性，却不能客观地反映组合服务的真实质量. 为此，本文提出了新的计算方法，通过分析组合服务中基本服务间的控制逻辑关系，计算组合服务质量. 式(5)～(12)给出了基本服务间只有顺序关系、或者只有并行关系、或者只有分支关系时 QoS 的计算方法.

(1) 执行费用 $\mathrm{QoS_{pr}}(CWS)$为

$$\mathrm{QoS_{pr}}(CWS)=\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{pr}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;WS_1;WS_2;\cdots;WS_n;WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{pr}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1*WS_2*\cdots*WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i*\mathrm{QoS_{pr}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{5}$$

其中，P_i 为分支中基本服务 WS_i 的执行概率且 $\sum P_i=1$，可以通过历史记录确定 P_i 的值.

(2) 执行时间 $\mathrm{QoS_{du}}(CWS)$为

$$\mathrm{QoS_{du}}(CWS)=\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{du}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0,WS_1,WS_2,\cdots,WS_n,WS_{n+1});\\ \max_{i=1}^{n}\{\mathrm{QoS_{du}}(WS_i)\},\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1\times WS_2\times\cdots\times WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i\times\mathrm{QoS_{du}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{6}$$

(3) 组合服务的信誉度 $\mathrm{QoS_{re}}(CWS)$为

$$\mathrm{QoS_{re}}(CWS)=\begin{cases}\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{re}}(WS_i)}{n},\ ControlRelation(WS_0;WS_1,WS_2,\cdots,WS_n,WS_{n+1});\\ \dfrac{\sum_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{re}}(WS_i)}{n},\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1\times WS_2\times\cdots\times WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i\times\mathrm{QoS_{re}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{7}$$

(4) 组合服务的执行的成功率 $\mathrm{QoS_{sr}}(CWS)$为

$$\mathrm{QoS_{sr}}(CWS)=\begin{cases}\prod_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{sr}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;WS_1;WS_2;\cdots;WS_n;WS_{n+1});\\ \min_{i=1}^{n}\{\mathrm{QoS_{sr}}(WS_i)\},\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1*WS_2*\cdots*WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i*\mathrm{QoS_{sr}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{8}$$

(5) 组合服务的可用性 $\mathrm{QoS_{av}}(CWS)$为

$$\mathrm{QoS_{av}}(CWS)=\begin{cases}\prod_{i=1}^{n}\mathrm{QoS_{av}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0,WS_1,WS_2,\cdots,WS_n,WS_{n+1});\\ \min_{i=1}^{n}\{\mathrm{QoS_{av}}(WS_i)\},\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1\times WS_2\times\cdots\times WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i\times\mathrm{QoS_{av}}(WS_i),\ ControlRelation(WS_0;ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{9}$$

(6) 组合服务的可组合关联度 $QoS_{CoR}(CWS)$ 为

$$QoS_{CoR}(CWS)=\begin{cases}\dfrac{\sum_{i=0}^{n}\left(\dfrac{\sum_{j=i+1}^{n+1}QoS_{CoR}(WS_i,WS_j)}{\sum_{j=i+1}^{n+1}D(WS_i,WS_j)}\right)}{n+1}, & ControlRelation(WS_0,WS_1,\cdots,WS_n,WS_{n+1});\\ \min_{i=1}^{n}\left\{\dfrac{QoS_{CoR}(WS_0,WS_i)+QoS_{CoR}(WS_0,WS_{n+1})}{D(WS_0,WS_i)+D(WS_0,WS_{n+1})}+\dfrac{QoS_{CoR}(WS_i,WS_{n+1})}{D(WS_i,WS_{n+1})}\right\}, & ControlRelation(WS_0;\\ & ControlRelation(WS_1\times WS_2\times\cdots\times WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i\times\left(\dfrac{QoS_{CoR}(WS_0,WS_i)+QoS_{CoR}(WS_0,WS_{n+1})}{D(WS_0,WS_i)+D(WS_0,WS_{n+1})}+\dfrac{QoS_{CoR}(WS_i,WS_{n+1})}{D(WS_i,WS_{n+1})}\right), & ControlRelation(WS_0;\\ & ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{10}$$

其中，当 WS_i 和 WS_j 之间存在数据逻辑关系时，$D(WS_i,WS_j)=1$；否则，$D(WS_i,WS_j)=0$.

(7) 组合服务的商业实体关联度 $QoS_{BuR}(CWS)$ 为

$$QoS_{BuR}(CWS)=\begin{cases}\dfrac{\sum_{i=0}^{n}\left(\sum_{j=i+1}^{n+1}QoS_{BuR}(WS_i,WS_j)\Big/\sum_{j=i+1}^{n+1}1\right)}{n}, & ControlRelation(WS_0,WS_1,WS_2,\cdots,WS_n,WS_{n+1});\\ \min_{i=1}^{n}\left\{\dfrac{QoS_{BuR}(WS_0,WS_i)+QoS_{BuR}(WS_0,WS_{n+1})}{2}+QoS_{BuR}(WS_i,WS_{n+1})\right\}, & ControlRelation(WS_0;\\ & ControlRelation(WS_1\times WS_2\times\cdots\times WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i\times\left(\dfrac{QoS_{BuR}(WS_0,WS_i)+QoS_{BuR}(WS_0,WS_{n+1})}{2}+QoS_{BuR}(WS_i,WS_{n+1})\right), & ControlRelation(WS_0;\\ & ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{11}$$

(8) 组合服务的统计关联度 $QoS_{StR}(CWS)$ 为

$$QoS_{StR}(CWS)=\begin{cases}\dfrac{\sum_{i=0}^{n}\left(\sum_{j=i+1}^{n+1}QoS_{StR}(WS_i,WS_j)\Big/\sum_{j=i+1}^{n+1}1\right)}{n}, & ControlRelation(WS_0,WS_1,\cdots,WS_n,WS_{n+1});\\ \min_{i=1}^{n}\left\{\dfrac{QoS_{StR}(WS_0,WS_i)+QoS_{StR}(WS_0,WS_{n+1})}{2}+QoS_{StR}(WS_i,WS_{n+1})\right\}, & \\ & ControlRelation(WS_0;\ ControlRelation(WS_1\times WS_2\times\cdots\times WS_n);WS_{n+1});\\ \sum_{i=1}^{n}P_i\times\left(\dfrac{QoS_{StR}(WS_0,WS_i)+QoS_{StR}(WS_0,WS_{n+1})}{2}+QoS_{StR}(WS_i,WS_{n+1})\right), & \\ & ControlRelation(WS_0;\ ControlRelation(WS_1+WS_2+\cdots+WS_n);WS_{n+1});\end{cases}\tag{12}$$

5 基于 QoS 的组合服务选取问题描述

一个基本服务可以存在多个能够实现其功能的物理服务(图 3)，对于基本服务 WS_i，$WS_{i,pi}$ 是它的一个物理服务. 组合服务选取的最终目标是要为每个基本服务选择一个物理服务使得最终的组合服务质量性能最优.

本文将组合服务表示流程中非虚拟基本服务的个数记为 n，假设基本服务 WS_i 有 p_i 个物理服务提供者，它的第 j 个物理服务记为 $WS_{i,j}$. 为了便于标记，用数字 1～8 对以上定义的组合服务 QoS 模型中的服务质量进行编号，其中 1～8 依次表示执行费用、执行时间、信誉度、可用性、执行成功率、可组合关联度、商业实体关联度和统计关联度. 于是，对于基本服务 WS_i，它的 QoS 信息可以用以下的二维矩阵表示：

$$Q_i^k=(Q_{i,j}^k;\ 1\le j\le p_i,\ 1\le k\le 5)\tag{13}$$

其中，j 表示物理服务的序号，k 表示质量的编号.

在组合服务 QoS 模型中，一些质量是增量型的，即其值越高，质量越高，如 QoS_{re}；一些质量是减量型的，即其值越低，质量越高，如 QoS_{du}. 这样就需要用以下的方法消除组合服务 QoS 模型中各个质量变化趋势的差异性. 增量型的质量用式(14)量化；减量型的质量用式(15)量化.

$$V(Q_{i,j}^k)=\begin{cases}\dfrac{Q_{i,j}^k-\min_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)}{\max_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-\min_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)}, & \max_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-\min_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)\ne 0\\ 1, & \max_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-\min_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)=0\end{cases}\tag{14}$$

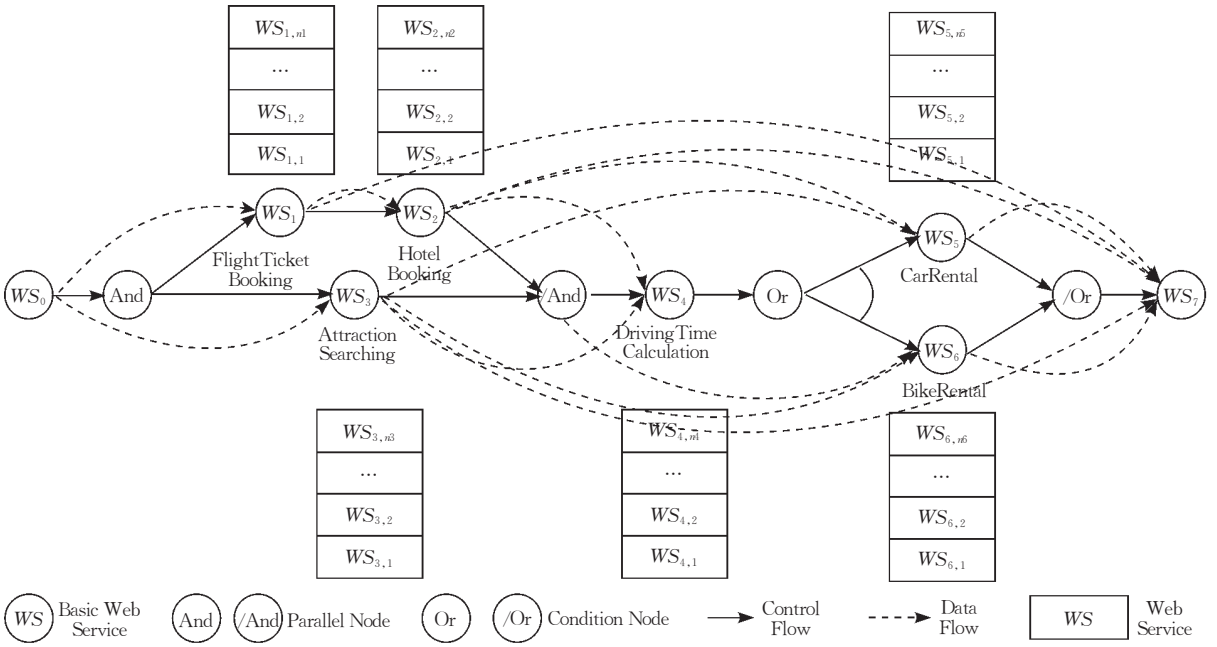


图 3　组合服务表示流程中基本 Web 服务与物理服务的映射

$$V(Q_{i,j}^k)=\begin{cases}\dfrac{\max\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-Q_{i,j}^k}{\max\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-\min\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)}, & \max\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-\min\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)\neq 0\\ 1, & \max\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)-\min\limits_{v=1}^{p_i}(Q_{i,v}^k)=0\end{cases}\tag{15}$$

依据上面的描述，本文建立 QoS 驱动的组合服务选取的数学模型，该模型的主要思想是：在保证用户质量要求的前提下，通过多目标规划[14]使组合服务的质量最优. 用户给定的组合服务质量 Q^k 的取值为 R^k，用户给定的权值向量为 $w=(w_k,1\leq k\leq 8)$. 假设组合服务由 n 个非虚拟基本服务组成，组合服务选取的目标是要为组合服务找到一个解决方案 $W=\{WS_{1,q1},WS_{2,q2},\cdots,WS_{i,qi},\cdots,WS_{n,qn}\}$（其中，$WS_{i,qi}$ 是第 i 个基本服务所对应的一个物理服务），使其满足约束式(17)，并使目标函数(16)最大.

$$\begin{cases}\text{Max}\left(\dfrac{\sum\limits_{k=1}^{8}w_k\times Q^k(CWS)}{\sum\limits_{k=1}^{8}w_k}\right) & (16)\\ \text{s.t.}\quad \forall k,\ Q^k(CWS)\approx R^k & (17)\end{cases}$$

这里，根据式(5)～(12)可以对 $Q^k(CWS)$ 进行计算.

6　基于组合服务 QoS 的组合服务选取算法

由于以前的 QoS 模型在计算组合服务 QoS 质量时，没有考虑具有并行和分支关系的组合服务，因而基于这样的 QoS 所进行的组合服务选取需要对组合服务化简并在选取后进行合并，比如 Zeng 的基于关键路径的方法以及 Yu[15]的基于路径拆分的方法. 这些方法由于增加了化简和合并操作，在时间效率上都不令人满意，同时也往往不能找到令用户满意的组合服务.

基于上述的原因，在利用所提出的 QoS 进行组合服务选取时，由于该模型根据服务之间不同的控制逻辑关系给出不同的质量计算方法，可以不通过化简和合并操作就能够选取出令用户满意的组合服务. 具体的选取算法如算法 1 所示，本文将这个算法称为路径剪枝算法. 它的基本思想是通过不断地剪枝计算组合服务的质量. 这里，根据基本服务间存在的 3 种控制逻辑关系，制定 3 种剪枝规则.

规则 1. 顺序关系剪枝. 对于物理服务 $WS_{i,j}$ 和 $WS_{u,v}$，它们可以通过剪枝形成服务 $WS_{iu,jv}$，$WS_{iu,jv}$ 的 QoS 可以通过式(5)～(12)中服务间存在顺序关系的方法计算；

规则 2. 分支关系剪枝. 对于物理服务 $WS_{i,j}$ 和 $WS_{u,v}$，它们可以通过剪枝形成服务 $WS_{iu,jv}$，$WS_{iu,jv}$ 的 QoS 可以通过式(5)～(12)中服务间存在分支关系的方法计算；

规则 3. 并行关系剪枝. 对于物理服务 $WS_{i,j}$ 和 $WS_{u,v}$，它们可以通过剪枝形成服务 $WS_{iu,jv}$，$WS_{iu,jv}$ 的 QoS 可以通过式(5)～(12)中服务间存在并行关系的方法计算.

通过剪枝能够得到一个服务集合，对于该集合

中的任意一个元素 $WS_{1,2,\cdots,n;q1,q2,\cdots,qn}$，它由物理服务$\{WS_{q1},WS_{q2},\cdots,WS_{qn}\}$组成，通过在剪枝过程中的对具有最大 QoS 且满足约束的元素的记录，可以得到质量最优的组合服务.

算法 1.

输入：组合服务表示流程 RPCWS

输出：组合服务 CWS

Begin

1. For 每个节点 $u\in V[RPCWS]$ do
2. Begin
3. If (u 是基本服务节点)and(!$visited[u]$)then
4. 计算这个基本服务节点对应的各个物理服务的质量；
5. Else if(u 是 And 节点 or u 是 Or 节点)and (!$visited[u]$)then
6. 将 And 和/And 或 Or 和/Or 之间的部分看作子图，Goto 1；
7. Else if(u 是/And 节点 or u 是/Or 节点)and (!$visited[u]$) then
8. 根据规则 2 和规则 3 对 And 和 Or 中的多条路径剪枝；
9. Else if(u 是虚拟终止基本服务节点)and(!$visited[u]$)
10. 返回满足约束的且具有最大QoS的组合服务CWS；
11. End

End

在组合服务有 n 个非虚拟基本服务，从起始虚拟服务到终止虚拟服务有 p 条路径，每个路径有 q 个基本服务，每个基本服务有 m 个物理服务时，这个算法的时间复杂度为 $O(m^n)$. 在利用 Zeng 的关键路径选取方法时，化简的时间复杂度为 $O(n^2)$，利用整数规划算法进行组合服务选取，整数规划[16]是一个 NP 难问题，利用穷举算法进行问题求解的时间复杂度为 $O(m^q)$，对其它非关键路径上的基本服务进行选取的时间复杂度为 $O((p-1)\times q\times m)$，总的时间复杂度为 $O(n^2+m^q+(p-1)\times q\times m)$. 在利用 Yu 的路径拆分选取方法时，化简的时间复杂度为 $O(n^2)$，进行 p 个组合服务选取的时间复杂度为 $O(p\times m^q)$，路径合并的时间复杂度为 $O(p^q)$，总的时间复杂度为 $O(n^2+p\times m^q+p^q)$. 从这个复杂性分析可以看出，基于路径剪枝的算法通过在剪枝过程中的选取，无需对复杂路径组合服务化简和合并，在 n,m 不是很大且 p,q 较大的情况下具有良好的时间效率.

7 实验评价

为了更深入地阐明所提出的 QoS 模型的意义与作用，本文将通过实验验证所提出的 QoS 模型在组合服务选取中的性能. 实验运行在 SDOWSCP(如图 4 所示)服务组合平台中.

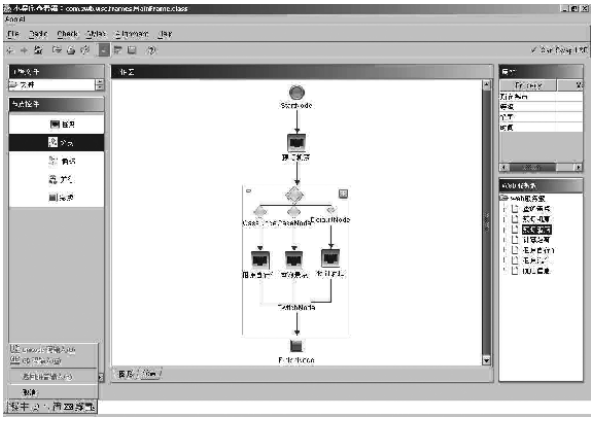


图 4 服务组合系统 SDOWSCP

7.1 实验数据

鉴于目前没有相关的标准平台和标准测试数据集，本文采用随机生成的模拟 Web 服务以及 Web 服务之间的关联关系数据作为测试用例，共生成了 2000 个服务. 下面将通过实验结果，对所提出的支持组合服务选取的 QoS 模型进行评价，目的是要客观真实地反映模型的效用.

7.2 实验结果

在实验 1～4 中，$w_{av}=0.1$，$w_{pr}=0.1$，$w_{du}=0.1$，$w_{sr}=0.1$，$w_{rp}=0.1$，$w_{CoR}=0.3$，$w_{BuR}=0.1$，$w_{StR}=0.1$.

实验 1. 组合服务选取成功率.

在服务总数为 100，300，900，1200，2000 的 5 个数据集上分别使用由例 3 中的基本服务随机生成的 15 个组合服务，比较所提出的 QoS 和 Zeng 的 QoS 在不同规模数据集上进行组合服务选取的成功率. 实验结果如图 5 所示.

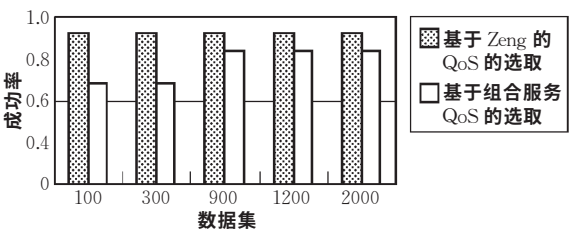


图 5 组合服务选取成功率的比较

实验 2. 组合服务的可组合性.

在本文中，衡量组合服务能否正确执行的标准是基本服务间的可组合关联关系. 在服务总数为 2000 的数据集上对随机生成的 15 个组合服务进行基于 2 种 QoS 的选取，计算选取出的组合服务可组合关联度(见式(10)). 实验结果见表 2，表中第 1 列是服务请求，第 2、3 列依次是基于 Zeng 的 QoS 和

基于支持组合服务选取的 QoS 所选取出的组合服务可组合性，0 表示不可组合，1 表示可组合，－表示没有选取出组合服务.

表 2　组合可组合性的比较

服务请求	Zeng 的 QoS	面向组合服务 QoS
1	0	1
2	0	－
3	0	1
4	0	0
5	1	0
6	0	－
7	1	1
8	0	0
9	0	1
10	0	0
11	0	0
12	0	1
13	0	－
14	0	1
15	1	1

实验 3.　组合服务质量.

对表 2 中选取结果进行 QoS 的计算，计算公式如式(16)所示，并且取 $w_{av}=0.1$，$w_{pr}=0.1$，$w_{du}=0.1$，$w_{sr}=0.1$，$w_{rp}=0.1$，$w_{CoR}=0$，$w_{BuR}=0$，$w_{StR}=0$，针对于服务请求 15，在可组合性得到满足的情况下，利用以前的 QoS 模型选出的组合服务 QoS＝0.67；基于本文所提出的 QoS 模型选取出的组合服务 QoS＝0.81.

实验 4.　基于组合服务 QoS 的组合服务选取算法的效率.

在服务总数为 2000 的数据集上，给出 4 个由例 3 中的基本服务随机产生的组合服务，其中从起始虚拟服务到终止虚拟服务分别有 2，8，16，32 条路径，每个路径上有 6 个基本服务，每个基本服务对应的物理服务数均为 10，取选取时间的平均值，实验结果如图 6 所示.

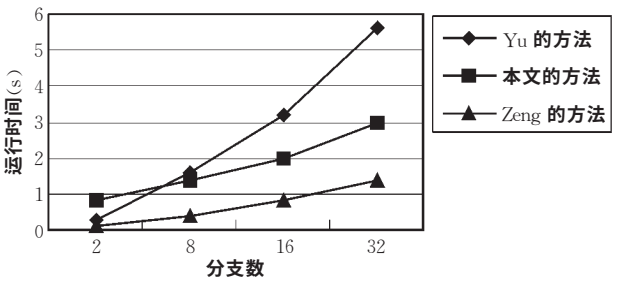


图 6　三种选取方法时间效率与分支数关系的比较

7.3　结果分析

(1) 服务组合成功率.

图 5 是 2 种 QoS 在不同规模的数据集上进行组合服务选取成功率的比较. 基于以前 QoS 和基于支持组合服务选取的 QoS 进行选取的成功率差距很小，说明基于所提出的 QoS 和基于 Zeng 的 QoS 在选取成功率上相差不多，或者可以说是一致的.

(2) 组合服务的可组合性.

由于所提出的支持组合服务选取的 QoS 模型充分考虑到了可组合性对组合服务性能的影响，因此基于这个模型所选取出的组合服务具有较高的可组合性. 从表 2 中可以看出，尽管基于 Zeng 的 QoS 进行服务选取具有很高的组合成功率，但是无法保证组合服务的可组合性，也就是说，所组合出的服务可能无法正确地执行；在很多情况下，基于本文所提出的 QoS 模型的选取可以保证组合服务具有良好的可组合性.

(3) 组合服务质量.

由于所提出的支持组合服务选取的 QoS 模型是根据基本服务间所存在的控制逻辑关系进行组合服务质量的计算，没有对组合服务的质量造成影响，所得到的组合服务 QoS 可以客观地反映组合服务的真实质量.

(4) 选取算法效率.

由于基于路径剪枝的选取算法没有对组合服务的化简和合并，在基本服务数和每个基本服务对应的物理服务数不是很大且起始虚拟服务到终止虚拟服务所含的路径数以及每条路径上的基本服务数较大的情况下时间效率较路径拆分的方法好.

基于上述的分析可以看出，基于 Zeng 的 QoS 的组合服务选取，成功率很高，但是由于它没有考虑服务之间的关联关系对组合服务质量的影响，因而，所选取出的组合服务并不能保证执行的正确性；同时，利用 Zeng 的 QoS 进行的选取在分支数较大且利用 Yu 的路径拆分方法时，选取效率较低. 基于所提出的 QoS 的组合服务选取，充分考虑了基本服务间的关联关系对组合服务的影响，具有较高的选取成功率而且能够保证组合服务的可组合性.

8　结　论

本文针对组合服务选取问题，提出了一种支持组合服务选取的 QoS 模型和基于这个模型的组合服务选取方法，其主要特征有：(1) 提出了组合服务 QoS 的层次结构；(2) 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，从而能够有效地支持组合服务的选取；(3) 提出了能够全面反映组合服务质量、支持组合服务选取的 QoS 模型；(4) 设计了基于所提出的 QoS 进行组合服务选取的路径剪枝算法. 本文所提出的支持组合服务选取的 QoS 模型具有一定的通用性，此模型和基于此模型的选取算法可

以运用到其它面向服务的架构中. 下一步,我们将对选取算法的性能和优度进行更深入的分析和改进.

参 考 文 献

1 Bryson J., Martin D., McIlraith S., Stein L.. Toward behavioral intelligence in the semantic Web. IEEE Computer, 2002, 25(11): 48～54

2 Cardoso J., Sheth A., Miller J., Arnold J., Kochut K.. Quality of service for workflows and Web service processes. Journal of Web Semantic, 2004, 13: 281～308

3 Aggarwal R., Verma K., Miller J., Milnor W.. Constraint driven Web service composition in METEOR-S. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Services Computing, Shanghai, China, 2004, 23～30

4 Zeng L. Z., Benatallah B., Ngu A. H. H., Dumas M., Kalagnanam J., Chang H.. QoS-aware middleware for Web services composition. IEEE Transactions on Software Engineering, 2004, 30(5): 311～327

5 Yang L., Dai Y., Zhang B., Gao Y., Ye L., Na J.. A service oriented Web services composition platform. Journal of Wuhan University, 2006, 11(1): 160～164

6 Gao X., Yang J., Papazoglou M. P.. The capability matching of Web services. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Multimedia Software Engineering, Newport Beach, CA, 2002, 56～63

7 Ponnekanti S. R., Fox A.. SWORD: A developer toolkit for Web service composition. In: Proceedings of the International World Wide Web Conference, Honolulu, Hawaii, USA, 2002, 83～107

8 Zhang R., Arpingar B., Aleman-Meza B.. Automatic composition of semantic Web services. In: Proceedings of the International Conference on Web Services, Las Vegas, USA, 2003, 38～41

9 Cardoso J., Sheth A.. Semantic E-Workflow composition. Journal of Intelligent Information Systems, 2003, 21(3): 191～225

10 Rao J. H., Kungas P., Matskin M.. Application of linear logic to Web service composition. In: Proceedings of the International Conference on Web Services, Las Vegas, USA, 2003, 3～10

11 Medjahed B., Bouguettaya A., Elmagarmid A. K.. Composing Web services on the semantic Web. VLDB Journal, 2002, 12(4): 333～351

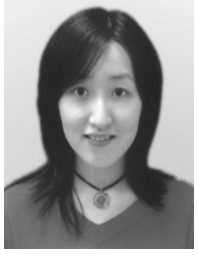
12 David T., Claudio B., Javier G. C.. A semantic Web approach to service description for matchmaking of services. In: Proceedings of the International Semantic Web Working Symposium, California, USA, 2001, 447～461

13 Zhang L. J., Chao T., Chang H., Chung J. Y.. Web services relationships binding for dynamic e-Business integration. In: Proceedings of the International Conference on Internet Computing, Las Vegas, USA, 2002, 561～570

14 H. C.-L, K. Yoon. Multiple criteria decision making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. New York: Springer-Verlag, 1981

15 Yu T., Lin K. J.. Service Selection algorithms for Web services with end-to-end QoS constraints. In: Proceedings of the IEEE International Conference on E-Commerce Technology, California, USA, 2004, 129～136

16 Yuan Ya-Xiang, Sun Wen-Yu. Theory and Methods for Optimization. Beijing: Science Press, 2001(in Chinese)
(袁亚湘,孙文瑜. 最优化理论与方法. 北京:科学出版社, 2001)



DAI Yu, born in 1980, Ph. D. candidate. Her research interests include service-oriented computing and Web services composition.

YANG Lei, born in 1974, Ph. D. candidate, assistant. His research interests include service-oriented computing and Web services composition.

ZHANG Bin, born in 1964, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include service-oriented computing and information integration.

GAO Yan, born in 1970, Ph. D. candidate, lecturer. His research interests include service-oriented computing and Web services composition.

Background

This research work is focused on key techniques of Service-Oriented Computing in the domain ontology supported semantic environment, titled "Service-Oriented Computing Techniques and System", including service discovery, service management, service selection, service composition and measurement of heterogeneity between services. This work is supported by the National Key Technologies Research and Development Programming (2004BA721A05). The research group has developed a platform SDOWSCP to support Web service composition. A lot of research papers of the research group are released, many of which have been indexed by SCI, EI and ISTP. The work of this paper is an important part of the above research project. This paper presents a QoS model for supporting composite service selection.