

DOI: 10.7652/xjtuxb201302022

# 一种服务质量可信的按需服务组合方法

曹步清<sup>1</sup>, 李兵<sup>2</sup>, 刘建勋<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学知识处理与网络化制造湖南省重点实验室, 411201, 湖南湘潭;

2. 武汉大学软件工程国家重点实验室, 430072, 武汉)

**摘要:** 为了解决开放、动态网络环境下的服务可信组合问题,特别是组合服务的可信度计算与评估,以及服务可信组合最优方案选择,提出一种服务质量(QoS)可信的按需服务组合方法。该方法根据单个服务的信任度值以及服务组合图的控制结构,构建基于 QoS 可信的服务组合信任模型,进行服务组合的信任合成与计算;基于该模型设计多约束条件下 QoS 可信的按需服务组合方案,采用粒子群算法进行优化求解,以此选择出可信度高的服务执行计划。面向物流领域配送管理需求实例进行了实证和实验研究,结果表明所提方法在求解多约束的可信服务组合优化上是有效、适用的,能够提高服务组合的可信性和成功率。

**关键词:** 服务质量;信任模型;粒子群算法;服务组合

**中图分类号:** TP301 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)02-0131-08

## An On-Demand Service Composition Method Based on Trustworthy Quality of Service

CAO Buqing<sup>1</sup>, LI Bing<sup>2</sup>, LIU Jianxun<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Knowledge Management and Network-Based Manufacture, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. State Key Laboratory of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** An on-demand service composition method based on reliable service quality is proposed to solve the service credible composition problem in open and dynamic network environment, especially the calculation and evaluation of the composite service credibility, and the optimal selection for credible service composition. The method bases on the trust value of a single service instance and the control structure of service composition diagram to build a service composition trust model based on credible quality of service, and to perform the calculation and synthesization of composition service credibility. Then, the model is used to design on-demand service composition plan with credible QoS under multiple constraints, and the particle swarm algorithm, is used to solve the optimization problem to obtain the service execution plan with the highest credibility. Experiments with an example of distribution management requirement of logistics domain show that the proposed method is effective and applicable to solve the constrained credible service composition optimization problem and can enhance the credibility and success rate of service composition.

**Keywords:** quality of service; trust model; particle swarm algorithm; service composition

收稿日期: 2012-07-02。 作者简介: 曹步清(1979—),男,博士,讲师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272063);湖南省教育厅重点实验室开放基金资助项目(12K105);湖南省自然科学基金资助项目(11JJ1011);湖南省自然科学基金青年人才培养联合基金一般资助项目(12JJB009)。

网络出版时间: 2012-10-29

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20121029.1654.002.html>

随着 Web 服务标准的不断完善和支持 Web 服务的企业级软件 and 平台的不断成熟,越来越多的企业和商业组织参与到软件服务(Software as a Service, SaaS)之中,并将业务功能和组件包装成标准的 Web 服务,以实现快捷寻求合作伙伴、挖掘潜在客户、达到业务增值的目的。目前的网络服务大多结构简单、功能单一,无法满足企业复杂应用的需要<sup>[1]</sup>,也是面向服务的计算(SOC)和面向服务的体系结构(SOA)成功应用和实施的关键所在<sup>[2]</sup>。国内外有关 Web 服务组合尚无统一定义<sup>[3-6]</sup>,涉及内容包括基于流程、智能规划和可信的 Web 服务组合。

有关单个服务的可信研究取得了一系列有价值的研究成果<sup>[7-10]</sup>,但关于将信任概念和相关理论引入到服务组合中,以提高服务组合的可信性和成功率、满足用户复杂需求的研究则比较少。Rajbhandari 指出,引入信任评估方法的目的是对服务组合执行进行优化<sup>[11]</sup>;Milanovic 等认为,组合服务的关键是可信服务与不可信服务组合后所形成的新的组合服务是否可信<sup>[12]</sup>;Li 等提出了一种基于控制结构的组合服务信任合成算法,以及基于蒙特卡罗算法的、带有服务质量(QoS)约束的可信组合服务选择方法<sup>[13-14]</sup>;Liu 构建了一种端到端信任质量约束的最优信任路径选择模型<sup>[15]</sup>;王勇等提出了一种信任感知的组合服务动态选择方法<sup>[16]</sup>;曾晋等设计了一种组合服务演化中运行实例在线迁移算法<sup>[17]</sup>;朱锐等从服务选择的策略、服务组合方案的选择、失效维护开销的极小化处理、服务组合演化的机理以及服务访问的控制等多个方面,系统地研究了可信服务组合技术<sup>[18]</sup>;蔡斯博等建立了一种软件资源可信评估的框架以及框架在软件资源库中的设计决策与实现方案<sup>[19]</sup>;胡春华等提出了一种基于信任关系的工作流 QoS 调度方法<sup>[20]</sup>。

综上所述,开放、动态网络环境下的服务可信组合是一个非常复杂的问题,为此本文提出了一种基于 QoS 可信的按需服务组合框架,以提高服务组合的可信性,高质量地满足用户的需求。

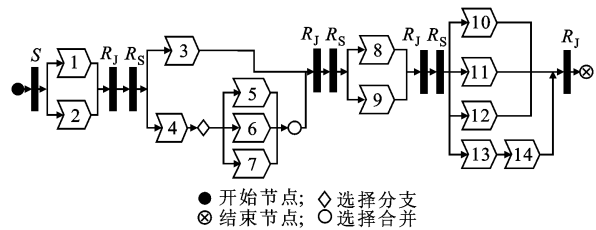
## 1 过程需求与服务组合图

### 1.1 过程需求及其质量期望描述

网络环境下涉众用户的需求是一种多层次、多粒度的,其不但要求能够产生一定的输出结果,还要求能够实现一些操作、建立操作之间的逻辑关系,所以过程需求是针对特定领域用户需求的一种业务实

现过程及其质量期望,通常由具有一定顺序的业务操作流程(包括原子流程和组合流程)构成。原子流程是指一种粒度最小的、不可再分的业务操作实现活动;组合流程是指一种粒度较大的、可细分的、包含控制结构的业务操作实现活动;质量期望是指用户对业务操作流程(原子或组合流程)的质量要求,如对流程在响应时间、可用性、费用等的要求。

基于本体元建模理论与方法,网络化软件的需求元建模框架 RGPS 中的 P 模型(采用 OWL-S 语言描述)从过程的角度对需求及其质量期望进行了建模,定义了流程的输入和输出、前置和后置条件以及相应的质量期望,基于控制结构(顺序、选择、循环、合并和任意顺序)对流程进行了组合<sup>[21]</sup>,所以本文采用 RGPS 的 P 模型对过程需求及其质量期望进行了建模。下面以物流中配送管理需求为例进行流程描述,即:客户在输入订货的时间和地点后,供货商进行订单的整合,并按条件查询路线和司机;供货商在获得可分配任务的司机后选择路线,在对订单进行排序(按接单时间、订单优先级别、订单区域排序)之后按分拣区制定装车计划,按分拣单、配送单和装车单等生成物流配送计划,确定送货司机并短信通知送货。该过程需求模型如图 1 所示。



1~14: 订单整合, 查询路径, 获取可分配任务的司机, 选择路线, 按时间排序订单, 按优先级排序订单, 按区域排序订单, 选择分拣区, 制定装车计划, 生成分拣单, 生成配送单, 生成装车单, 确定送货司机, 短信通知司机送货

图 1 配送管理的过程需求模型

### 1.2 服务组合图

过程需求模型描述的是用户需求的一种业务实现过程,由许多业务操作实现活动按照一定的控制结构复合而成。实际上,每一个业务操作活动可以看成是一个独立的逻辑服务(功能相同或相近的、服务质量不同的一组个体服务实例的抽象描述)。因此,基于逻辑服务及其控制结构能够形成抽象层面上的、完成服务组合功能的服务组合图,相应的定义如下。

**定义 1** 由逻辑服务按照一定的控制结构关系(顺

序、选择、循环、合并和任意顺序)组合起来的有向图(见图 2)为服务组合图 SCG。

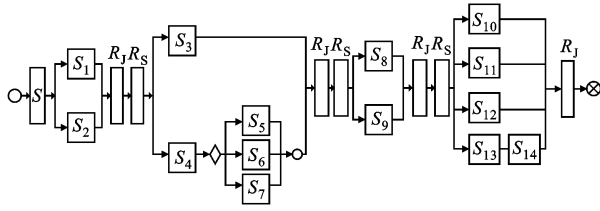


图 2 服务组合图

逻辑服务是指抽象层面上的、包含功能和质量描述的、完成服务组合功能的个体服务单位。为了有效描述和表达服务组合的问题,引入初始虚拟服务和终止虚拟服务(逻辑上存在而物理上并不存在的虚拟服务,对应于过程需求模型的“开始”和“结束”节点)来标志服务组合的逻辑上的开始和结束。实际上,服务组合图就是过程需求模型在逻辑服务层面上的有向图,由三元组  $G=(V, E, R)$  描述,其中: $V$  为有向图的顶点集,是一系列的个体逻辑服务集合,即  $\forall S_i \in V, S_i$  为个体逻辑服务; $E$  为有向边集,是个体逻辑服务之间的一种前后执行关系,即当  $S_i, S_j \in V$ , 且  $S_i$  是  $S_j$  的直接前驱,  $S_j$  是  $S_i$  的直接后继时,  $\forall e=\langle S_i, S_j \rangle \in E$ , 可用符号“ $\rightarrow$ ”表示; $R$  为有向图的关系集,是逻辑服务之间的依赖关系,  $R=\{R_S, R_C, R_L, R_J, R_{AO}\}$ ,  $R_S$  表示顺序关系,  $R_C$  表示选择关系,  $R_L$  表示循环关系,  $R_J$  表示合并关系,  $R_{AO}$  表示任意顺序关系,各类关系的图形符号与图 2 相同。

**定义 2** 服务组合图中从初始虚拟服务到终止虚拟服务的服务组合路径为服务执行路径 SEP。

服务组合图存在着选择分支,由此产生多条服务执行路径,这些路径在服务组合数量、组合顺序上是一样的。3 条服务执行路径分别为:  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_8 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12} \rightarrow S_{13} \rightarrow S_{14}$ ;  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_6 \rightarrow S_8 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12} \rightarrow S_{13} \rightarrow S_{14}$ ;  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12} \rightarrow S_{13} \rightarrow S_{14}$ , 如图 3~图 5 所示。

**定义 3** 服务执行路径中完成  $S_i$  功能、满足质量约束的具体服务实例集合为候选服务集 CSS。

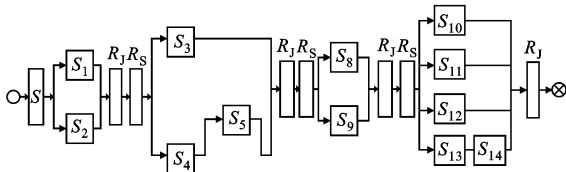


图 3 服务执行路径 1

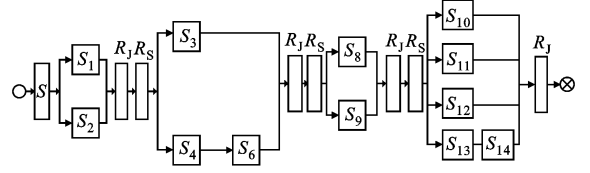


图 4 服务执行路径 2

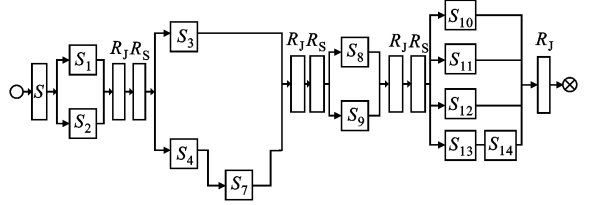


图 5 服务执行路径 3

服务组合过程中会有多个候选的具体服务实例满足一个逻辑服务的要求,而这些具体服务由不同的服务提供者提供,它们的功能相同,但相应的质量有所不同。

**定义 4** 从服务执行路径的每个逻辑服务的候选服务集中选择的、并能完成组合路径功能的一组服务实例组合方案为服务执行计划 EP。

一条服务执行路径包含了多个执行计划,如图 6 所示,每个  $S_i$  对应着一个候选服务集合  $S_{ij}^w, 1 \leq i \leq 14, 1 \leq j \leq N, N$  为满足  $S_i$  功能需求的候选服务个数。

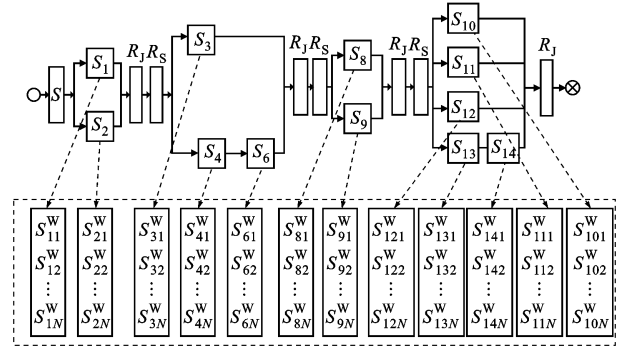


图 6 服务执行计划

### 1.3 服务组合的服务质量

服务组合,特别是基于人工智能的服务组合,目前主要研究焦点是搜索性能的提高和搜索结果的全局 QoS 优化<sup>[22-25]</sup>,都是围绕求取质量最优(近似最优)展开的,涉及到 QoS 的响应时间  $t$ 、可用性  $A$ 、可靠性  $r$  和价格  $c$  这 4 个属性。在 SCG 中,  $S_i$  和 SCG 的 QoS 模型分别为

$$S_{i, \text{QoS}} = (t_{S_i}, A_{S_i}, r_{S_i}, c_{S_i})$$

$$G_{\text{QoS}} = (t_{\text{SCG}}, A_{\text{SCG}}, r_{\text{SCG}}, c_{\text{SCG}})$$

根据服务组合图的不同控制结构(主要考虑  $R_s, R_c, R_l, R_j$  这 4 种关系),服务质量的组合计算方法如表 1 所示。

表 1 服务质量的组合计算方法

| $R$       | $R_s$                   | $R_c$                      | $R_j$                  | $R_l$                   |
|-----------|-------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| $t_{SCG}$ | $\sum_{i=1}^n t_{S_i}$  | $\sum_{i=1}^n P_i t_{S_i}$ | $\max t_{S_i}$         | $K t_{S_i}$             |
| $A_{SCG}$ | $\prod_{i=1}^n A_{S_i}$ | $\sum_{i=1}^n P_i A_{S_i}$ | $\min A_{S_i}$         | $\prod_{i=1}^K A_{S_i}$ |
| $r_{SCG}$ | $\prod_{i=1}^n r_{S_i}$ | $\sum_{i=1}^n P_i r_{S_i}$ | $\min r_{S_i}$         | $\prod_{i=1}^K r_{S_i}$ |
| $c_{SCG}$ | $\sum_{i=1}^n c_{S_i}$  | $\sum_{i=1}^n P_i c_{S_i}$ | $\sum_{i=1}^n c_{S_i}$ | $K c_{S_i}$             |

注: $K$  表示服务组合图中的循环执行的次数; $P_i$  表示服务组合图中不同服务执行路径的选择概率。

## 2 基于 QoS 可信的服务组合信任模型

### 2.1 单个服务的信任度计算

根据服务提供方提供的初始 QoS 信息,服务请求者交互的历史 QoS 信息、服务推荐者反馈的 QoS 信息,建立单个服务实体的量化信任模型,计算候选服务集 CSS 中的单个服务实例的总体信任度。

令:服务提供者  $\rho_{pro}$  提供的个体服务实例为  $S_{ij}^w$ ,其宣称的 QoS 属性集合为  $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,  $a_i$  为服务 QoS 归一化值,  $0 \leq a_i \leq 1, 1 \leq i \leq n, n$  为 QoS 属性个数;服务请求者  $\rho_{Req}$  的偏好集为  $W(W_1, W_2, \dots, W_n)$ ,  $0 \leq W_i \leq 1, 1 \leq i \leq n, \sum_{i=1}^n W_i = 1$ ;服务推荐者为  $\rho_{Reci}, 1 \leq i \leq n', n'$  为服务推荐者个数。

**定义 5** 由服务提供者发布在网络上的、一开始并没有任何交互记录的新个体服务实例的信任度为服务的初始信任度,即

$$T_{init}(\rho_{Req}, S_{ij}^w) = \sum_{i=1}^n W_i a_i \quad (1)$$

**定义 6** 一个服务实体根据直接接触行为的历史记录得出的对另外一个服务实体的信任度为直接信任度,其为服务请求者与所请求的个体服务实例之间经多次历史交互后产生的。

设服务请求者在与个体服务实例的一次历史交互中得到的 QoS 属性集合为  $d(d_1, d_2, \dots, d_n)$ ,  $d_i$  为服务的 QoS 归一化值,  $0 \leq d_i \leq 1, 1 \leq i \leq n$ 。如果服务请求者与个体服务实例进行了一次成功的历史交互,则其奖励信任度记为

$$T_x = 1 - \left( \sum_{i=1}^n W_i (d_i - a_i)^2 / n \right)^{1/2} \quad (2)$$

式中:  $1 \leq x \leq G, G$  为历史交互成功的次数,  $0 \leq T_x \leq 1$ 。反之,则其惩罚信任度记为

$$T_y = -K' T_x, \quad -1 \leq T_y \leq 0, \quad 1 \leq y \leq Q$$

式中:  $K'$  为惩罚因子,  $0 \leq K' \leq 1; Q$  为历史交互失败的次数。可见:  $K'$  越大,惩罚力度越大,信任度下降得越大;反之,信任度下降得越小。

由于信任度随着时间的推移而动态衰减,所以一种以时间间隔与交互次数为参数的衰减函数计算方法应运而生,即  $\lambda(j, t_j) \in [0, 1]$  有

$$\lambda(j, t_j) = \begin{cases} 1, & j = l, \quad t_j = t_l \\ \lambda(j-1, t_{j-1}) = \lambda(j, t_j) - \frac{t_j - t_{j-1}}{t_l - t_1}, & 1 \leq j \leq l, \quad t_1 \leq t_j \leq t_l \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $l$  为历史交互总次数,  $j \in [1, l]; t_j \in [t_1, t_l]$ , 为历史的第  $j$  次交互发生的时间。对于最近发生的交互,衰减函数值为 1;对于逐渐久远的历史交互,衰减函数值逐渐降低,相应的直接信任中的权值更低。

相比于其他模型<sup>[20-22]</sup>,时间间隔与交互次数相结合的信任计算充分反映了信任关系随时间变化的动态特性。因此,充分考虑了历史成功交互、失败交互及时间动态变化等因素后的第  $i$  个推荐者对交互过的个体服务实例的直接信任度计算方法如下

$$T_{dir}(\rho_{Req}, S_{ij}^w) = \begin{cases} \frac{\sum_{x=1}^G [T_x \lambda(x, t_x)] + \sum_{y=1}^Q [T_y \lambda(y, t_y)]}{G + Q}, & G, Q > 0 \\ 0, & G, Q = 0 \end{cases} \quad (4)$$

**定义 7** 服务实体间通过第 3 者的间接推荐形成的信任为推荐信任度,即服务请求者通过服务推荐者的间接推荐而形成的对所请求的个体服务实例的信任程度为

$$T_{rec}(\rho_{Req}, S_{ij}^w) = \begin{cases} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{G'_i}{G'_i + Q'_i} T_{dir}(\rho_{Reci}, S_{ij}^w) \right] / \sum_{i=1}^n \frac{G'_i}{G'_i + Q'_i} \right], & i > 0 \\ 0, & i = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $\rho_{Reci}$  为服务推荐者,  $1 \leq i \leq n; G'_i$  为  $\rho_{Req}$  在接受  $\rho_{Reci}$  推荐  $S_{ij}^w$  的历史中获得成功服务的次数;  $Q'_i$  为  $\rho_{Req}$  在接受  $\rho_{Reci}$  推荐  $S_{ij}^w$  的历史中服务失败的次数;  $G'_i / (G'_i + Q'_i)$  为服务推荐者的推荐信任权重。

**定义 8** 服务请求者对所请求的个体服务实例的总

体信任为总体信任度,由初始、直接和推荐信任组成,即

$$T_{\text{total}}(\rho_{\text{Req}}, S_{ij}^w) = W'_1 T_{\text{init}}(\rho_{\text{Req}}, S_{ij}^w) + W'_2 T_{\text{dir}}(\rho_{\text{Req}}, S_{ij}^w) + W'_3 T_{\text{rec}}(\rho_{\text{Req}}, S_{ij}^w) \quad (6)$$

式中:  $W'_1, W'_2, W'_3 \in (0, 1)$  表示服务请求者对初始、直接和推荐信任度的偏好,  $W'_1 + W'_2 + W'_3 = 1$ 。

综上所述, CSS 中所有个体服务实例的总体信任度均可由式(6)获得。由此, 服务除了具备响应时间、可用性、可靠性和价格等常用的质量属性之外, 还具有基于服务质量的信任属性。本文将采用个体逻辑服务对相应的候选服务的总体信任度作为组合服务中个体服务选择的依据 ( $S_i$  相当于服务请求者, 即  $T_{\text{total}}(S_i, S_{ij}^w) = T_{\text{total}}(\rho_{\text{Req}}, S_{ij}^w)$ ), 来保证每个  $S_i$  能够选取到信任度值大的  $S_{ij}^w$ , 以提高服务组合的可信性和成功率。

## 2.2 服务组合的信任合成与计算

服务组合的可信性和任务完成的成功率不仅与  $S_i$  的总体信任度有关, 还与服务组合的结构相关, 相关关系描述如下。

(1) 顺序关系。若服务之间为  $R_s$ , 则顺序关系的合成信任度为个体服务信任度的积, 即

$$T(R_s) = \prod_{i=1}^n T_{\text{total}}(S_i, S_{ij}^w) \quad (7)$$

式中:  $n$  为组成顺序关系的个体服务数量。

(2) 合并关系。若服务之间为  $R_j$ , 则合并关系的合成信任度为个体服务信任度的调和平均值, 即

$$T(R_j) = n / \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{\text{total}}(S_i, S_{ij}^w)} \quad (8)$$

(3) 选择关系。若服务之间为  $R_c$ , 则选择关系的合成信任度为满足条件而执行的个体服务的信任度, 即

$$T(R_c) = \text{Choice}\{T_{\text{total}}(S_1, S_{ij}^w), \dots, T_{\text{total}}(S_n, S_{ij}^w)\} \quad (9)$$

(4) 循环关系。若服务之间为  $R_L$ , 则循环关系合成信任度为循环体内个体服务信任度之积, 即

$$T(R_L) = \prod_{x=i}^j T(T_x) \quad (10)$$

因此, 由不同控制结构复合而成的 SCG, 其信任度可由式(7)~式(10)得到。令  $T_{\text{SCG}}$  为 SCG 的信任度, 则  $T_{\text{SCG}} = T(R_s) \cup T(R_j) \cup T(R_c) \cup T(R_L)$ 。

## 3 基于 QoS 可信的按需服务组合方法

### 3.1 方法概述

本文采用粒子群(PSO)算法<sup>[26]</sup>对用户允许的

响应时间和执行成本下的服务组合合成信任度进行了最优求解, 以提高服务组合的可信性, 高质量地满足用户的过程需求。

基本 PSO 算法的设计步骤分为 6 步: 确定求解问题的表示方案、确定优化问题的目标函数、选取合适的算法参数、设计粒子的飞行模型、确定算法的终止准则、编写程序并上机调试运行<sup>[25]</sup>。

服务组合的信任度是求解问题的优化目标, 响应时间  $t_{\text{SCG}}$  与执行价格  $c_{\text{SCG}}$  为约束条件。基于 QoS 可信的按需服务组合, 就是要在过程需求对应的 SCG 中找到满足用户约束条件的(响应时间和执行价格)、信任度最大的执行计划, 即

$$\left. \begin{aligned} & s_{\text{max}T_{\text{SCG}}} \\ \text{s. t. } & c_{\text{SCG}}(s_{\text{max}T_{\text{SCG}}}) \leq c_0 \\ & t_{\text{SCG}}(s_{\text{max}T_{\text{SCG}}}) \leq t_0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中:  $s_{\text{max}T_{\text{SCG}}}$  为服务组合信任度的优化函数;  $c_{\text{SCG}}(s_{\text{max}T_{\text{SCG}}})$  为服务组合的执行价格;  $c_0$  为执行价格的上限;  $t_{\text{SCG}}(s_{\text{max}T_{\text{SCG}}})$  为服务组合的响应时间;  $t_0$  为响应时间的上限。

基于 PSO 的可信服务组合算法设计如下。

(1) 编码策略选择。采用整数定长编码的方式将 SCG 中的 EP 映射为粒子在空间中的位置  $\mathbf{X}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}]$ , 即一个粒子对应于一个 EP。粒子的维数  $D$  等于 SCG 中的顶点数(即  $S_i$  的个数); 粒子中的每一维对应于  $S_i$  的 CSS, 其值为 CSS 中的  $S_{ij}^w$  的编号, 如一维对应的服务不在 EP 中, 则取值为 0; 粒子中的第一维和最后一维总是对应着 SCG 的初始虚拟服务和终止虚拟服务, 取值均为 -1。服务实例执行计划为初市虚拟服务  $\rightarrow W_{12} \rightarrow W_{26} \rightarrow W_{37} \rightarrow W_{43} \rightarrow W_{65} \rightarrow W_{83} \rightarrow W_{91} \rightarrow W_{102} \rightarrow W_{114} \rightarrow W_{129} \rightarrow W_{136} \rightarrow W_{148} \rightarrow$  终止虚拟服务, 其对应的粒子编码为  $\mathbf{X}_i = [-1, 2, 6, 7, 3, 0, 5, 0, 3, 1, 2, 4, 9, 6, 8, -1]$ 。

(2) 初始粒子群生成与算法参数设置。初始化粒子群规模, 即粒子群数为  $N$ , 随机生成每个粒子的初始速度  $v_i$  和位置  $\mathbf{X}_i$ , 每个粒子的个体极值为初始位置, 全局极值为所有个体极值中的最优值。由此, 初始粒子群为一组从初始虚拟服务到终止虚拟服务的初始执行计划集。根据相关研究经验,  $N$  的取值为  $[20, 60]$ , 惯性系数  $\alpha = 0.8$ , 加速系数  $\beta_1 = \beta_2 = 2$ , 随机数  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0.5$ 。

(3) 适应度函数的设计和需要满足的约束条件。由前述可知, 求解问题的优化目标为服务组合的信任度  $T_{\text{SCG}}(E)$ , 其约束分别为  $t_{\text{SCG}}(E)$  和  $c_{\text{SCG}}(E)$ 。

因此,粒子的适应度函数及其约束如下

$$\left. \begin{aligned} F(\mathbf{X}_i) &= T_{\text{SCG}}(\mathbf{X}_i) \\ c_{\text{SCG}}(\mathbf{X}_i) &\leq c_0 \\ t_{\text{SCG}}(\mathbf{X}_i) &\leq t_0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

可见,由适应度函数计算出初始粒子群中每个粒子的适应值,由约束条件筛选出符合条件的粒子。

(4)粒子寻优模型设计。在寻优的过程中,粒子需要借助个体极值(局部最优)及群体的全局极值(全局最优)来动态地调整自己的寻优速度和方向,并根据下式

$$\left. \begin{aligned} v_{ij}(t+1) &= \omega v_{ij}(t) + c_1 r_1 [(p_{ij}(t) - x_{ij}(t))] + c_2 r_2 [p_{gj} - x_{ij}(t)] \\ v_{ij}(t+1) &= v_{j,\max}, & v_{ij}(t+1) > v_{j,\max} \\ v_{ij}(t+1) &= -v_{j,\max}, & v_{ij}(t+1) < -v_{j,\max} \\ x_{ij}(t+1) &= x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1), \\ &1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq d \\ x_{ij}(t+1) &= x_{j,\max}, & x_{ij}(t+1) > x_{j,\max} \\ x_{ij}(t+1) &= -x_{j,\max}, & x_{ij}(t+1) < -x_{j,\max} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

不断更新自己的速度和位置,如果更新值优于对应的适应度值,则更新值为粒子当前的个体极值,且为整个粒子群的全局极值。

(5)最优解获取。当算法满足终止条件,即在迭代过程中最优解的适应度误差小于设定阈值,或迭代次数达到了最大允许的迭代次数时,迭代停止,输出最优解集。

### 3.2 实例实证与实验

以图 2 物流中配送管理的需求为例进行了可信服务组合方法的实证与实验。

(1)实验平台与环境设置。面向物流领域开发的 Web 服务组合原型系统(见图 7)实现了 14 个 Web 服务的组合,流程为:整合订单—查询路线及司机状态—选择服务—排序订单—选择分拣区—制定装车计划—生成物流配送计划(生成分拣单、配送单和装车单)—确定送货司机、短信通知司机送货。

实验环境: Dell P8400, Intel(R) Core(TM) 2 Duo 2.26 GHz/1.98 GB, Windows XP Professional 2002, VC6.0+MATLAB7。配送管理服务组合流程中服务分 14 类,用  $S_1 \sim S_{14}$ (见图 2)表示,每个服务类对应的候选服务实例个数设定在  $[1, 15]$  之间,即  $S_{ij}^w, 1 \leq i \leq 14, 1 \leq j \leq 15$ ,各服务实例的 QoS 参数在注册时随机生成并归一化处理(其值在 0 至 1 之间),相应的信任度通过计算事先得到。

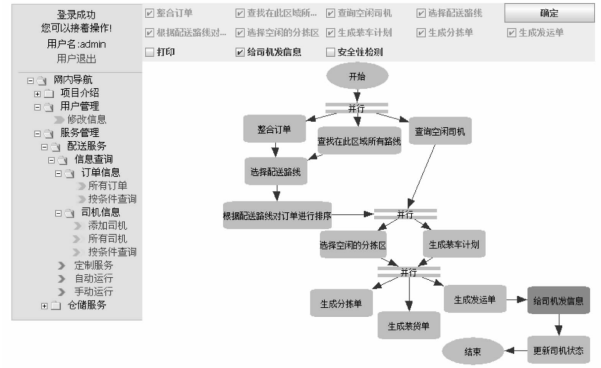


图 7 面向物流的 Web 服务组合原型系统

(2)算法设计。采用整数定长编码的方式将图 3 中的配送管理需求的 EP(见图 7)映射为空间的粒子位置  $\mathbf{X}_i$ ,则编码为  $[-1, \text{num}(S_{1j}^w), \text{num}(S_{2j}^w), \dots, \text{num}(S_{14j}^w), -1]$ ,其中  $\text{num}(S_{ij}^w)$  表示逻辑服务类  $i$  对应所选  $S_{ij}^w$  的编号为  $j, 1 \leq i \leq 14, 1 \leq j \leq 15$ 。

由图 4~图 6 可知,服务执行的路径有 3 条,执行计划有 3 个,计划分别为  $E_1, E_2, E_3$ ,路径经分别为  $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_8 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12} \rightarrow S_{13} \rightarrow S_{14}, S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_6 \rightarrow S_8 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12} \rightarrow S_{13} \rightarrow S_{14}, S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{10} \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12} \rightarrow S_{13} \rightarrow S_{14}$ 。 $E_1$  的适应度函数及约束条件表示如下

$$\left. \begin{aligned} F_{E_1}(\mathbf{X}_i) &= \left( \frac{2}{\sum_{i=1}^2 1/T(S_i)} \right) \cdot \left( \frac{2}{\frac{1}{1/T(S_3) + 1/(T(S_4)T(S_6))}} \right) \left( \frac{2}{\sum_{i=8}^9 1/T(S_i)} \right) \cdot \\ &\quad \left( \frac{2}{\sum_{i=10}^{12} 1/T(S_i) + 1/(T(S_{13})T(S_{14}))} \right) \\ &\quad \left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^4 c_{S_i} + P_2 c_{S_6} + \sum_{i=8}^{14} c_{S_i} &\leq c_0 \\ \max(t_{S_1}, t_{S_2}) + \max[t_{S_3}, (t_{S_4} + P_2 t_{S_6})] + \\ &\quad \max(t_{S_8}, t_{S_9}) + \max(t_{S_{10}}, t_{S_{11}}, t_{S_{12}}, t_{S_{13}} + t_{S_{14}}) \leq t_0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中:  $P_1$  表示服务组合图中选择服务执行路径  $E_1$  的概率。 $E_2$  和  $E_3$  的适应度函数及约束条件与  $E_1$  的相似。

(3)有效性实验。考虑到服务实例的规模分别为 70、140 和 210 ( $S_{ij}^w, 1 \leq i \leq 14, j = 5, 10, 15$ ),以及算法的迭代次数分别为 50、100、200 和 400,算法需

运行 10 次,记录运行时间并取平均值作为实验结果,如图 8 所示。由图 8 可知:当服务实例规模为 70 和 140 时,随着迭代次数的增加,算法运行时间的增长速度较为缓慢;当服务实例规模为 210 时,组合服务所需的个体服务选择时间增加,算法运行时间增长速度提高。总之,随着迭代次数及服务实例的增加,算法的运行时间增加不多,说明本文方法在求解多约束的可信服务组合优化方面是有效、可行的。

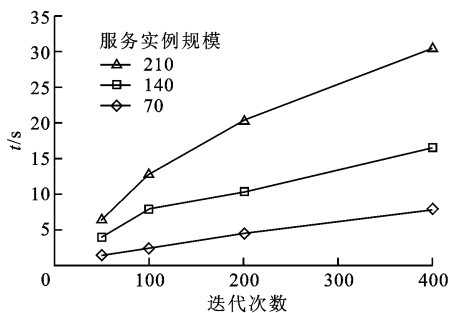


图 8 算法平均运行时间

(4)可靠性实验。当服务实例的规模为 70 ( $S_{ij}^w$ ,  $1 \leq i \leq 14$ ,  $j = 5$ ) 时,采用本文方法、文献[27]方法 (GODSS) 及文献[14]方法 (TOCSS),在恶意服务实例变化情况下进行了服务组合成功率比较,结果如图 9 所示。以增量的形式设定恶意服务节点的数量,恶意服务节点是指刻意提高或降低发布或反馈 QoS 值的服务。本文中总服务实例数为 70,恶意服务占总服务实例的比例分别为 10%、20%、80%。由图 9 可知:当恶意服务占总服务实例的比例较小时,3 种方法的服务组合成功率差别不大;随着恶意服务占总服务实例的比例的增加,本文方法和 TOCSS 已经形成可靠的组合路径,服务组合成功率下降较慢,最终趋近于一个稳定值,服务组合成功率保持在 50% 以上,而 GODSS 的服务组合成功率明显下降,降至 20% 以下。相比 TOCSS,本文方法优势明显,服务组合成功率在 70% 以上,能更有力地抵制由恶意服务实例节点所致的不可信 QoS 数据对服务组合的影响。

## 4 总结与展望

开放、动态网络环境下的服务可信组合是一个非常复杂的问题,其研究进程属起步和探讨阶段。本文提出了一种服务质量可信的按需服务组合方法,根据单个服务的总体信任度及服务组合图的控制结构,构建了 QoS 可信的服务组合信任模型,并

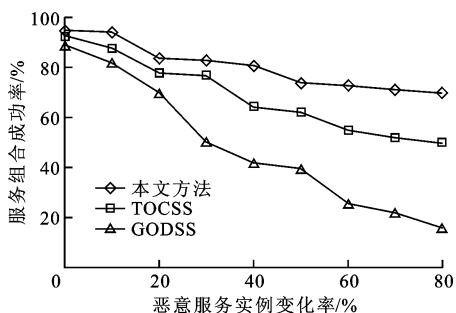


图 9 在各种恶意服务占总服务实例的比例下服务组合成功率比较

进行了服务组合的信任合成与计算。同时,在多约束条件下,设计了 QoS 可信的按需服务组合方案,采用粒子群算法进行了优化求解,由此选择出可信度高的服务执行计划。最后,基于物流中配送管理的需求实例进行了实证与实验研究,结果表明:本文方法在求解多约束的可信服务组合优化方面是有效、可行、可靠的,能够提高服务组合的可信性和成功率。下一步的研究工作将致力于考虑服务交互方式、失效时的恢复手段和补偿代价及各种社会因素对可信服务组合的影响、评估与分析。

## 参考文献:

- [1] 吴朝晖,邓水光,吴健. 服务计算与技术 [M]. 杭州:浙江大学出版社,2009.
- [2] 岳昆,王晓玲,周傲英. Web 服务核心支撑技术:研究综述 [J]. 软件学报,2004,15(3): 428-442.  
YUE Kun, WANG Xiaoling, ZHOU Aoying. Underlying techniques for Web services: a survey [J]. Journal of Software, 2004, 15(3): 428-442.
- [3] PAPAIOGLOU M P, GEORGAKOPOULOS D. Service-oriented computing [J]. Communications of the ACM, 2003, 46(10): 25-28.
- [4] 喻坚,韩燕波. 面向服务的计算:原理和应用 [M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [5] DUSTDAR S, SCHREINER W, SCHREINER W. A survey on web services composition [J]. International Journal of Web and Grid Service, 2005, 1(1): 1-30.
- [6] MILANOVIĆ N, MALEK M. Current solutions for Web services composition [J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(6): 51-59.
- [7] YANG S J H, HSIEH J S, LAN B C, et al. Composition and evaluation of trustworthy web services [J]. International Journal of Web Grid Service, 2006, 2(1): 5-24.
- [8] BILLHARDT H, HERMOSO R, OSSOWSKI S, et

- al. Trust-based service provider selection in open environments [C]//Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Applied Computing. Washington DC, USA: ACM, 2007: 1375-1380.
- [9] 潘静, 徐锋, 吕建. 面向可信服务选取的基于声誉的推荐者发现方法 [J]. 软件学报, 2010, 21(2): 388-400.
- PAN Jing, XU Feng, LÜ Jian. Reputation-based recommender discovery approach for service selection [J]. Journal of Software, 2010, 21(2): 388-400.
- [10] 李研, 周明辉, 李瑞超, 等. 一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法 [J]. 软件学报, 2008, 19(10): 2620-2627.
- LI Yan, ZHOU Minghui, LI Ruichao, et al. Service selection approach considering the trustworthiness of QoS data [J]. Journal of Software, 2008, 19(10): 2620-2627.
- [11] RAJBHANDARI S, RANA O F, WOOTTEN I. A fuzzy model for calculating workflow trust using provenance data [C]//Proceedings of the 15th ACM Mardi Gras Conference. Washington DC, USA: ACM, 2008: 18-24.
- [12] MILANOVIC N, MIROSLAW M. Current solutions for web service composition [J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(6): 51-59.
- [13] LI L, WANG Y. Trust evaluation in composite services selection and discovery [C]//Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Services Computing. Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2009: 482-485.
- [14] LI L, WANG Y. Trust-oriented composite services with QoS constraints [J]. Journal of Universal Computer Science, 2010, 16(13): 1720-1744.
- [15] LIU Guanfeng, WANG Yan, ORGUN M A. A heuristic algorithm for trust-oriented service provider selection in complex social networks [C]//2010 IEEE International Conference on Services Computing. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 130-137.
- [16] 王勇, 代桂平, 侯亚荣. 信任感知的组合服务动态选择方法[J]. 计算机学报, 2009, 32(8): 1668-1675.
- WANG Yong, DAI Guiping, HOU Yarong. Dynamic methods of trust-aware composite service selection [J]. Journal of Computers, 2009, 32(8): 1668-1675.
- [17] 曾晋, 孙海龙, 刘旭东, 等. 基于服务组合的可信软件动态演化机制 [J]. 软件学报, 2010, 21(2): 261-276.
- ZENG Jin, SUN Hailong, LIU Xudong, et al. Dynamic evolution mechanism for trustworthy software based on service composition [J]. Journal of Software, 2010, 21(2): 261-276.
- [18] 朱锐, 王怀民. 可信服务组合若干关键技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
- [19] 蔡斯博, 谢冰. 一种支持软件资源可信评估的框架 [J]. 软件学报, 2010, 21(2): 359-372.
- CAI Sibo, XIE Bing. Framework supporting software assets evaluation on trustworthiness [J]. Journal of Software, 2010, 21(2): 359-372.
- [20] 胡春华, 吴敏. Web 服务工作流中基于信任关系的 QoS 调度 [J]. 计算机学报, 2009, 32(1): 42-53.
- HU Chunhua, WU Min. QoS scheduling based on trust relationship in web service workflow [J]. Chinese Journal of Computer, 2009, 32(1): 42-53.
- [21] WANG J, HE K, BING L, et al. RGPS: a unified requirements meta-modeling frame for networked software [C]//The 30th International Conference on Software Engineering. Berlin, Germany: Springer, 2008: 29-35.
- [22] JIANG W, ZHANG C, HUANG Z, et al. Qsynth: a tool for QoS-aware automatic service composition [C]//2010 IEEE International Conference on Web Services. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 42-49.
- [23] BARTALOS P, BIELIKOVA M. Semantic web service composition framework based on parallel processing [C]//Proceedings of the 11th IEEE Conference on Commerce and Enterprise Computing. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 495-498.
- [24] YAN Y, XU B, GU Z, et al. A QoS-driven approach for semantic service composition [C]//Proceedings of the 11th IEEE Conference on Commerce and Enterprise Computing. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 523-526.
- [25] CEC2009. Web service challenge[EB/OL]. [2010-10-20]. <http://ws-challenge.georgetown.edu/wsc09/>.
- [26] 刘波. 粒子群优化算法及其工程应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [27] 刘书雷, 刘云翔, 张帆, 等. 一种服务聚合中 QoS 全局最优服务动态选择算法[J]. 软件学报, 2007, 18(3): 646-656.
- LIU Shulei, LIU Yunxiang, ZHANG Fan, et al. A dynamic web services selection algorithm with QoS global optimal in web services composition [J]. Journal of Software, 2007, 18(3): 646-656.

(编辑 苗凌 赵大良)