

# 一种 Web 服务组合的可信评估方法

唐佳俊 黄志球 王 进

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 210016)

**摘 要** 软件可信性日益成为软件工程研究中的热点问题,作为软件资源主要形态的 Web 服务的可信性也受到了越来越多的关注。目前对于 Web 服务可信性的研究主要集中在单一服务 QoS 属性的可信评价,而针对服务组合的可信性研究较少。提出了一种通用的原子服务可信评估模型,并结合原子服务在服务组合执行时的权重,给出了一种基于结构分析的服务组合可信性的评估方法。最后,结合网络购物实例描述了服务组合可信性评估方法的实验过程。

**关键词** 服务组合,可信评估,评估模型

**中图分类号** TP301 **文献标识码** A

## Approach for Web Service Composition Trustworthiness Evaluation

TANG Jia-jun HUANG Zhi-qiu WANG Jin

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract** As software trustworthiness has become an important aspect in software engineering research, more and more researchers have focused on Web service trustworthiness evaluation while Web service has been the main form in software resource. Current research about Web service trustworthiness has concentrated on QoS attributes evaluation of single service rather than on Web service composition trustworthiness evaluation. This paper presented a general model of atomic service trustworthiness evaluation and an approach for composite service trustworthiness evaluation based on the weight of atomic services executed in composite service and the structure of composite service. Finally, we described the experiment of the approach by using a detailed case in a real online shopping.

**Keywords** Web service composition, Trustworthiness evaluation, Evaluation model

## 1 引言

软件失效和软件故障等问题给人们的生活、工作带来了诸多不便,甚至造成了巨大的损失。软件是否安全及软件系统的行为能否与用户的预期一致,成为了人们日益关注的软件问题。软件开发人员也开始意识到软件可信的重要性<sup>[1]</sup>。

软件可信的概念和内涵是进行软件可信评估的基础。多年来,各国的学者和研究组织主要从用户(主体)和软件(客体)两个不同的角度对软件可信进行了定义。从用户角度出发的软件可信定义侧重用户的主观感受,强调用户对软件行为的信任是否符合用户的期望;从软件角度出发的软件可信定义侧重软件的客观能力,强调软件本身应该具备的获得用户信任的能力。

随着软件越来越多以服务的形态存在以及 SaaS(Software as a Service,软件即为服务)模式的提出,Web 服务以其良好的松耦合性、跨平台性、粗粒度性和互操作性引起了学术界和工业界的广泛兴趣。基于 SOA(Service-Oriented Architecture,面向服务的体系结构)的应用程序必须可靠地运行,并要求能提供多种级别的一致服务,这就提出了 Web 服务可信的概念。Web 服务可信是指服务的动态行为及其结果总是与用户的预期一致,并在受到干扰时仍能提供连续服务的

能力,它包含了服务的可靠性、可用性、安全性、隐私保护等属性。

互联网开发技术不断深入,开发要求不断提高,原子服务所提供的功能相对单一,只有对原子服务进行组合,才能满足用户复杂而多元化的需求。目前的服务组合可信性研究中,研究人员一般将可信度较高的原子服务进行组合,但这并不能保证组合服务的可信度也是优质高效的<sup>[2]</sup>。由于不同的原子服务在组合服务中的重要性不相同,因此,组合服务的可信度量不能简单地将原子服务的可信度进行叠加。本文首先根据软件可信元模型提出一种通用的原子服务可信评估模型,用户可以根据自身需求对该模型进行扩展。在确定原子服务可信评估的基础上,基于组合服务的结构和原子服务在组合服务执行路径中的权重,提出一种服务组合可信评估方法,以便为度量服务组合可信度提供保证。

本文第 2 节阐述软件可信评估、Web 服务可信评估等相关工作;第 3 节介绍原子服务可信评估模型;第 4 节给出服务组合可信评估方法;第 5 节是实例分析;第 6 节对可信评估方法进行适用性讨论。

## 2 相关工作

软件的可信度量已经受到国内外众多专家学者的关注。

到稿日期:2012-05-08 返修日期:2012-07-30

唐佳俊(1985-),男,硕士生,主要研究方向为服务计算和可信评估,E-mail: cztangjiajun@126.com;黄志球(1965-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为软件工程、形式化方法、模型检测和云计算;王 进(1980-),男,博士生,主要研究方向为云计算、隐私分析。

文献[3]提出了一种支持软件资源可信评估的框架,包括证据收集、证据信任管理和可信评估,其通过证据模型定制和证据实例采集描述了证据收集的方法,采用一个三元组对证据信任管理进行建模,通过可信需求模型的建立、定制和证据聚集算法实现可信评估,文中分析了该框架涉及到的技术。文献[4]提出一种软件可信分级模型,定义了软件可信属性模型与软件可信等级,建立了软件可信证据参考模型,并描述了可信属性、可信等级、可信证据以及可信评价指标之间的内在联系。文献[5]提出了一种通用的软件可信评估框架,用一个五元组对一次可信评估过程进行了描述,其中包括评估对象、评估人、属性模型、证据模型和评估指标体系,并结合案例描述了应用该框架实现可信评估的具体过程。文献[6]提出了一种通用的软件可信评估模型,其通过评估指标体系,建立了从证据模型到属性模型的联系,并细化了评估指标体系的内涵,通过开发工具实现了一次软件可信评估。

作为软件资源的一种重要形态,Web 服务可信的研究也随之深入。文献[7]通过收集分析用户反馈,提出了一种面向用户的 Web 服务可信评估方法,该方法综合考虑了评估人员和用户反馈报告上下文的相似度、Web 服务质量属性上的用户反馈和评估人员参考的时效性等,并在 Web 服务资源库中进行了实验。文献[8]提出了一种新的基于 QoS 属性的服务可信评估方法,在该方法中,服务提供商以及服务用户评价的真实性在选择和组合服务的时候被充分考虑,并且该真实性被量化为用户评价的一个矢量。文献[9]设计了一个调解器,其根据原子 Web 服务的不同信任类型推导组合 Web 服务的信任等级,为服务请求者提供了选择最优执行路径的方法。文献[10]提出一个 Web 服务 QoS 可信性评价模型,并给出了两种 Web 服务 QoS 可信性评价方法。文献[11]通过在原有 Web 服务体系架构上增加 QoS 代理和可信模块来确保服务组合的质量和可信,提出了基于 QoS 的可信 Web 服务组合模型。文献[12]提出了一种基于可信证据的 Web 服务可信评估机制,实现了可信证据的 Web 服务调用主动探测、服务器自动反馈和用户反馈收集,同时提出了一种基于用户反馈的上下文敏感可信评估方法,其全面考虑了 Web 服务质量属性的上下文相关性,进一步提高了 Web 服务可信评估的准确性。文献[13]提出了一个合理性保持的演化操作集,以避免复杂的验证过程,使得演化后的组合服务保持结构合理性,在此基础上,通过构造冗余路径的方式给出了一个面向可用性保障的组合服务演化方法,并针对组合服务动态演化过程中运行实例的处理,设计了一个组合服务演化中运行实例在线迁移算法,以为正确实施演化提供支持。

### 3 原子服务可信评估模型

#### 3.1 原子服务可信属性模型

根据软件可信分级规范,通常利用可信属性来描述软件的可信性,本文中利用原子服务的可信属性来描述服务的可信性。

鉴于目前关于软件可信性的几种概念框架和可信属性元模型,本文提出了原子服务可信属性模型。原子服务的可信属性模型是一组服务可信属性的集合,采用一种多层次的树状结构,描述属性及属性之间的层次关系。树中的每个节点都是服务可信属性,并以子属性的形式不断细化,最终分解为可由可信证据进行直接评估的单元。

文中定义的原子服务可信属性模型由运行时可信属性和开发时可信属性组成。运行时可信属性向用户提供数值,并主要与短期内的业务竞争有关。开发时可信属性主要提供了业务数值,并主要与长期的业务竞争相关。运行时可信属性由可用性、符合标准性、可靠性、可访问性、性能、安全性、可伸缩性以及这些属性的子属性构成,开发时可信属性由可维护性、可扩展性、可演化性、可组装型、可复用性以及它们的子属性构成,如图 1 所示。

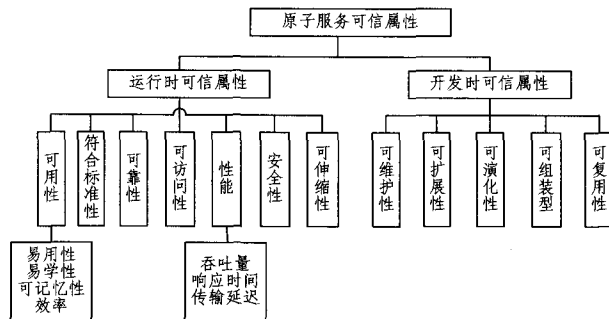


图 1 服务可信属性模型

#### 3.2 原子服务可信证据模型

对于原子服务可信的评估需要相应的证据,即原子服务所具有的能够反映其某种可信属性的数据、文档或其他信息,称之为服务可信证据。

根据原子服务可信属性模型以及软件可信证据元模型,本文提出了原子服务可信证据模型(见图 2)。可信证据模型同样采用一种多层次的树状结构,具体描述了证据、证据类以及它们之间的层次关系。

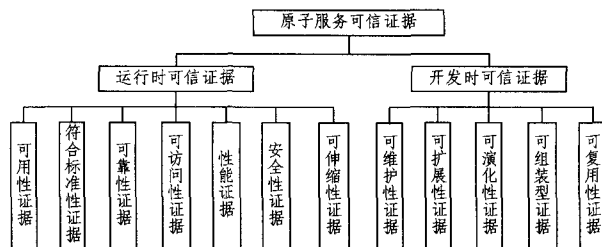


图 2 服务可信证据模型

文中定义的原子服务可信证据模型由运行时可信证据和开发时可信证据组成,其各自子证据类分别与服务可信属性模型中的可信属性相对应,以便借以每个证据类中所包含的证据对相应的叶子节点可信属性进行评估。可信证据来源包括 WSDL 文件描述、工程实验测试以及用户的评价等。

#### 3.3 评估指标体系

为了评估可信证据对于可信属性的满足程度,需要建立评估指标体系。评估指标体系是一组评估指标的集合,评估指标定义了可信属性与可信证据之间的联系。评估指标包含分析模型(analysis model)和评估结果标度(scale)两部分。在软件度量体系中,标度分为标称型、序数型、间隔型、比率型和绝对型,它们的表达能力依次增强。为了方便在服务组合可信评估中采用数值型进行描述,本文采用比率型标度。比率标度可描述实体间的间隔大小以及比率,存在零元素,零元素表示没有,例如长度、重量等。

#### 3.4 评估准则

评估准则是对服务可信属性模型中非叶子节点属性和叶子节点属性之间评价加权关系的描述,其中  $V_{nonleaf}$  表示非叶

子节点属性的评估值,  $V_{sm}$  表示非叶子节点属性的子属性的评估值,  $V_{leaf}$  表示叶子节点属性的评估值,  $V_{\alpha}$  表示评估指标值,  $|V_{\alpha}|$  表示评估指标值的个数。评估准则如下:

1. 所有的评估结果为 0.0~1.0, 评估结果越接近 1.0, 表示评估效果越好。

2. 非叶子节点属性评估准则为:

$$V_{wleaf} = \begin{cases} V_{sm} & , |V_{sm}| = 1 \\ \min\{V_{sm}\} & , |V_{sm}| > 1 \end{cases}$$

3. 叶子节点属性评估准则为:

$$V_{leaf} = \begin{cases} V_{\alpha} & , |V_{\alpha}| = 1 \\ \frac{\sum_{i=1}^n V_{\alpha_i}}{|V_{\alpha}|} & , |V_{\alpha}| > 1 \end{cases}$$

#### 4 服务组合可信评估

通过原子服务可信评估模型可以得到原子服务的可信评估值, 而原子服务可信并不能保证组合服务可信, 组合服务的可信评估也不是简单地将原子服务的可信评估结果进行叠加。本文提出服务组合可信评估方法, 即从 BPEL 中抽取服务组合控制结构, 将工作流程图转化为 DAG 图, 获取各原子服务的拓扑有序序列, 最后根据原子服务在组合服务执行过程中的权重计算出组合服务的可信评估结果。

##### 4.1 应用场景

首先给出服务组合可信评估的应用场景, 这是一个网上购物的场景(如图 3 所示)。在该场景中用户通过客户端(Client)发送订单(PurchaseOrder), 供货商根据订单核查用户的信用额度(Credit)和货品库存(Inventory), 只有两者都满足的前提下, 才能要求装运货品; 然后确定发送货品和账单(Bill), 用户在收到货品和账单以后, 可以根据需要选择现金(Cash)、信用卡(Credit)和礼金券(Ticket)这 3 种方式中的 1 种进行支付(Payment), 供货商在收到支付以后, 发出货品发票(Invoice); 最后用户根据消费体验进行评价(UserRating)。

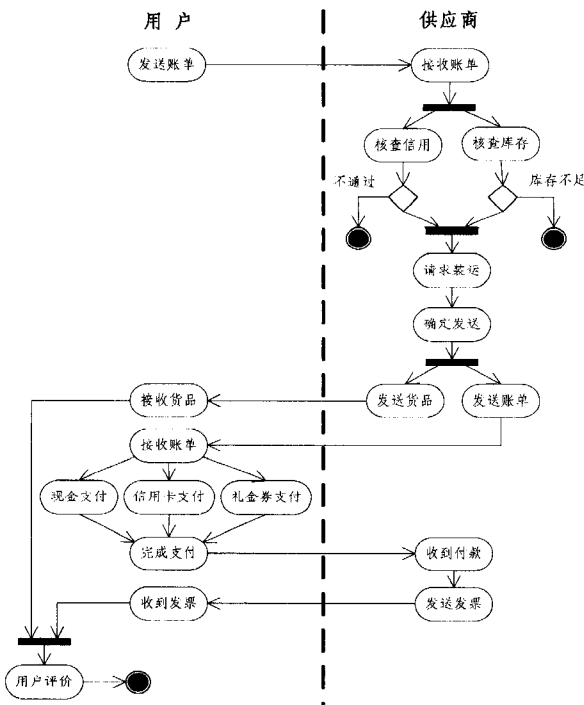


图 3 网络购物服务执行流程

#### 4.2 结构化活动

在目前众多解决 Web 服务组合的方法中, 业务流程执行语言(Business Process Execution Language, BPEL)<sup>[14]</sup> 是一个针对业务流程的形式规范和业务交互协议的、基于 XML 的流语言, 它描述了编配 Web 服务的复杂的业务流程, 并且包含有对建模业务流程的执行控制。

BPEL 包含了基本活动和结构化活动, 如图 4 所示。基本活动是和服务进行交互的最简单形式, 它们操纵交换数据或者处理执行中出现的异常。除了基本活动, BPEL 使用结构化活动来管理整个组合服务的流程控制和活动的执行顺序。结构化活动描述了如何通过基本活动结构化来创建业务流程。

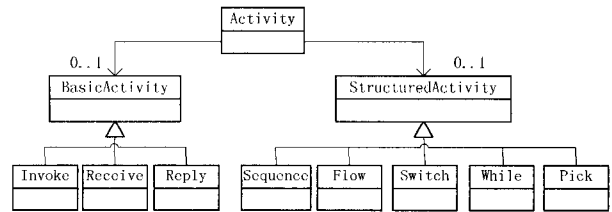


图 4 BPEL 活动的 UML 元模型

以上述网络购物场景为例, 在接收到订单以后, 需要并行调用信用额度核查和库存核查两个原子服务, 当信用额度核查和库存核查都成功以后, 会响应请求装货的服务。此流程包含了 <sequence> 活动和 <flow> 活动。整个流程如图 5 所示。

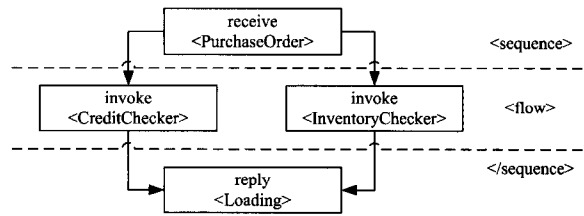


图 5 订单流程的序列化和流活动

##### 4.3 原子服务权重计算

不同的原子服务在服务组合执行过程中所占的权重和其可信程度是不同的, 譬如: 任何一次消费过程中, 3 种支付方式只有其中 1 种会被选择执行到, 相比于其他必须被执行到的原子服务而言, 权重较低。另外, 当用户评价服务发生故障时, 并不影响整个服务组合执行的完整性, 所以该原子服务的权重也相对较低, 这就需要服务提供商设定各原子服务的权重。下面给出原子服务权重的定义和计算方法。

定义 1 原子服务权重系数  $A_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ), 表示原子服务  $P_i$  对应的权重系数,  $A_i \in [0, 1]$ 。

定义 2 原子服务权重  $Q_i = A_i * V_i$ , 其中  $A_i$  表示原子服务  $P_i$  对应的权重系数,  $V_i$  表示  $P_i$  通过原子服务可信评估模型所得到的评估值。

通过上述定义和方法可以得到每个原子服务的权重值, 在将服务组合执行流程转化为 DAG 图的过程中, 原子服务  $P_i$  转化为相应的结点  $C_i$ ,  $P_i$  的权重  $Q_i$  转化为相应结点的  $VexValue_i$ 。

##### 4.4 服务组合可信评估求解算法

在抽取 BPEL 的结构化信息和计算出原子服务在服务组合执行过程中的权重以后, 建立有向无环图(directed acycline graph, DAG 图), 得到服务组合中各原子服务的拓扑有序序列。

为了得到原子服务的拓扑有序序列,采用邻接表作为 DAG 图的存储结构,在头节点中增加一个存放节点入度的数组 InDegree,入度为零的节点即为没有前驱的节点,删除节点及以它为尾的弧的操作,则可换以弧头定点的入度减 1 来实现。为了避免重复检测入度为零的节点,引入临时栈 Stack 暂存所有入度为零的结点。

### 算法 1 服务组合可信评估求解算法

输入:服务组合执行图集 ExecutGraphSet

输出:服务组合可信评估结果集 TrustEvaSet

1. 初始化服务组合执行图集 ExecutGraphSet
2. 初始化入度数组 InDegree,临时栈 Stack,结点值集 VexValueSet
3. For each Vertex in ExecutGraph
  4. If ( ! InDegree[Vertex] ) Push (Stack, Vertex ); //入度为 0 的节点进栈
  5. Count=0; //对输出节点计数
  6. While ( ! StackEmpty(Stack) ) {
    7. Pop ( Stack, Vertex );
    8. Get ( Vertex, VexValue ); //获取节点值
    9. Count++;
    10. Push ( VexValueSet, VexValue );  
//将节点值归入节点值集中
    11. For ( p=ExecutGraph. vertices[Vertex]. firstarc; p; p=p->nextarc ){
      12. k=p->adjvex; //对 Vertex 的每个邻接点的入度减 1
      13. If ( ! ( --InDegree[k] ) ) Push(Stack, p); //若入度为 0,则入栈
      14. } //For
      15. } //While
    16. TrustEvaValue= $\frac{\sum_{i=1}^n VexValue_i}{Count}$ ; //对评估结果进行归一化操作
    17. Push (TrustEvaSet, TrustEvaValue );
    18. Return TrustEvaSet

在算法结束以后,我们得到了关于服务组合所有执行路径的可信评估值。在结构化活动中,必须执行〈sequence〉活动、〈flow〉活动和〈while〉活动,而对〈switch〉活动,每次执行其某一个选项,所以,服务组合可信评估结果集 TrustEvaSet 中的最小值即为该服务组合的最终可信评估结果。

## 5 实例分析

本文以面向网络购物服务的可信评估为实例,说明该服务组合可信评估方法的应用。基于服务可信评估模型,使用 Java 语言通过 MyEclipse 平台构建了一个原子服务可信评估管理系统,并针对网络购物服务可信评估的需求进行定制,采用 XML 文件描述,以便灵活扩展和导入导出。

通过上述系统评估上述应用场景中的原子服务的可信评估值和服务提供商设定的原子服务权重系数如表 1 所列。

从图 5 所示的网络购物执行的流程中可以看到,在接收到订单以后出现〈flow〉结构,需要并行调用信用卡核查和库存核查两个原子服务。在收到账单以后出现〈switch〉结构,可以选择现金、信用卡或者礼金券 3 种支付方式,因此,通过转化得到了该服务组合执行的 DAG 图,如图 6 所示,G1、G2、G3 中的 C11、C12、C13 节点分别代表了 3 种不同的支付方式。

表 1 网络购物服务中各原子服务可信评估值及权重

原子服务	可信评估值	权重系数	服务权重值
发送订单	0.95	0.9	0.855
接收订单	0.93	0.9	0.837
核查信用	0.95	0.9	0.855
核查库存	0.91	0.9	0.819
请求装运	0.98	0.9	0.882
确定发送	0.95	0.9	0.855
发送货品	0.85	0.9	0.765
发送账单	0.92	0.9	0.828
接收货品	0.93	0.9	0.837
接收账单	0.95	0.9	0.855
现金支付	0.99	0.8	0.792
信用卡支付	0.85	0.8	0.68
礼金券支付	0.83	0.8	0.664
完成支付	0.96	0.9	0.864
收到付款	0.99	0.9	0.891
发送发票	0.90	0.8	0.72
接收发票	0.85	0.8	0.68
用户评价	0.71	0.7	0.497

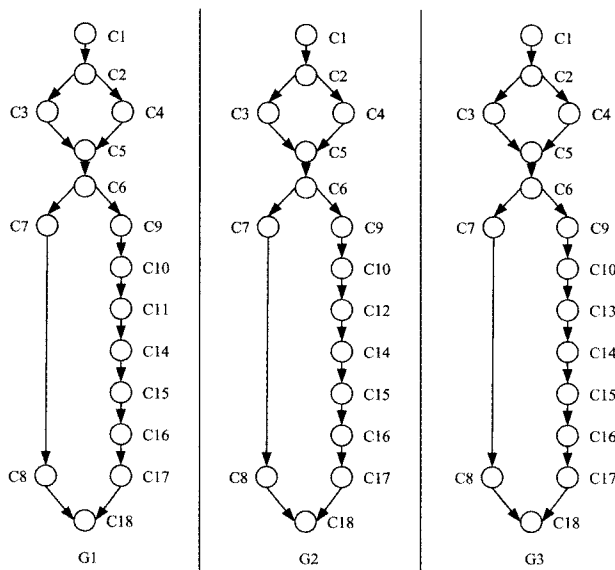


图 6 网络购物服务 DAG 图

通过执行服务组合可信评估求解算法,得到网络购物服务的可信评估结果集,如表 2 所列。

表 2 服务组合可信评估结果集

服务组合执行图	可信评估结果
G1	0.802
G2	0.795
G3	0.794

由表 2 可知,在该网络购物服务中,选择现金支付方式的整个服务组合的可信度最高。

## 6 适用性讨论

随着计算机科学的快速发展,软件工程研究领域也日趋广泛,软件的复杂程度也越来越高。对于全面覆盖的普适的软件可信评估方法的探求,一直以来都是学术界和工业界的研究难点。Web 服务作为一种重要的软件实体,拥有耦合度低、互操作性强的特点,本文参考通用的软件可信评估模型,其可用于对原子服务的可信性进行评估;提出的综合原子服务权重和结构分析的服务组合可信性评估方法,适用于 Web

(下转第 171 页)

development[J]. IEEE Internet Computing, 2008, 12(5): 44-52

[2] Garg N, Weber I. Personalized, interactive tag recommendation for flickr[C]// Proceedings of the 2008 ACM Conference on Recommender Systems. 2008; 67-74

[3] Chirita P A, Costache S, Nejdil W, et al. P-tag: large scale automatic generation of personalized annotation tags for the Web[C]// Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on World Wide Web. 2007; 845-854

[4] Begelman G, Keller P, Smadja F. Automated tag clustering: Improving search and exploration in the tag space[C]// Proc. Collaborative Web Tagging Workshop WWW. Edinburgh, U. K., 2006; 274-288

[5] Xu S, Bao S, Fei B, et al. Exploring folksonomy for personalized search[C]// Proc. 31st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. Singapore, 2008; 155-162

[6] Dong X, Halevy A, Madhavan J, et al. Similarity search for Web services[C]// International Conference on Very Large Data Bases. 2004; 372-383

[7] Nayak R. Data mining in web service discovery and monitoring [J]. International Journal of Web Services Research, 2008, 5(1): 62-80

[8] Hu S, Muthusamy V, Li G, et al. Distributed automatic service composition in large-scale systems[C]// Proc. of Distributed Event-Based Systems Conference. 2008; 233-244

[9] Liu F, Shi Y, Yu J, et al. Measuring similarity of web services based on wsdl[C]// International Conference on Web Services. 2010; 155-162

[10] Li X, Guo L, Zhao Y. Tag-based social interest discovery[C]// Proc. 17th Int. Conf. World Wide Web. Beijing, China, 2008; 675-684

[11] Ramage D, Heymann P, Manning C D, et al. Clustering the tagged Web[C]// Proc. 2nd ACM Int. Conf. Web Search Data Mining. Barcelona, Spain, 2009; 54-63

[12] 潘伟丰, 李兵, 邵波, 等. 基于软件网络的服务自动分类和推荐方法研究[J]. 计算机学报, 2011, 34(12): 2355-2369

[13] 王伟强, 高文. Internet 上的文本数据挖掘[J]. 计算机科学, 2000, 27(4): 32-37

(上接第 166 页)

服务组合领域的可信性评估。相对于嵌入式系统等其他软件实体, 通用的层次型软件评估模型具有良好的适用性, 而本文提出的 Web 服务组合可信评估方法具有一定的局限性。

**结束语** Web 服务可信旨在分析、评估服务本身的质量, 在 Web 服务应用日益广泛的今天, 用户的需求已经不再是单一服务可以满足的, 组合服务的质量和可信度便越来越受到关注。由此, 本文结合软件可信评估规范, 提出一种通用的原子服务可信评估模型; 再从 WS-BPEL 中抽取服务组合的控制结构, 配置原子服务在组合服务中的权重, 通过深度优先搜索遍历服务组合的执行流程, 从而得出组合服务的可信评估结果; 最后针对一个网络购物的实例进行了分析。

与其他 Web 服务可信评估工作相比, 本文工作具有以下特点:

(1) 服务可信评估模型能覆盖 Web 服务的产品、过程、资源等各方面, 而不仅仅针对单一属性。

(2) 原子服务可信评估模型中的评估准则和服务组合可信评估算法适用于以比率型标度进行计算, 使得可信评估结果更为精确。

(3) 设计服务组合可信评估求解算法, 充分考虑原子服务在服务组合执行过程中的权重。

在本文的服务组合可信评估过程中, 单一地考虑了服务组合的控制结构, 对于原子服务之间的消息响应机制、数据传递方式以及隐私保护等因素未予以考虑。在未来的工作中, 将对原子服务之间的数据传递方式和隐私保护等做进一步的研究。

## 参 考 文 献

[1] Zhang J. Trustworthy Web Services: Actions for Now [J]. IT Professional, 2005, 7(1): 32-36

[2] Zaki M, Athman B. Reputation Bootstrapping for Trust Establishment among Web Services [J]. IEEE Internet Computing,

2009, 13(1): 40-47

[3] 蔡斯博, 邹艳珍, 邵凌霜, 等. 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

[4] 郎波, 刘旭东, 王怀民, 等. 一种软件可信分级模型 [J]. 计算机科学与探索, 2010, 4(3): 231-239

[5] 洪宏, 黄志球, 沈国华, 等. 支持软件可信评估的框架及其应用研究 [J]. 计算机科学与探索, 2011, 5(2): 170-178

[6] 沈国华, 黄志球, 钱巨, 等. 软件可信评估模型及其工具实现 [J]. 计算机科学与探索, 2011, 5(6): 553-561

[7] Zhao Wei-nan, Sun Hai-long, Huang Zi-cheng, et al. A User-Oriented Approach to Assessing Web Service Trustworthiness [C]// ATC'10 Proceedings of the 7th International Conference on Autonomous and Trusted Computing. 2010; 195-207

[8] Kalepu S, Krishnaswamy S, Loke SW. Verity A QoS Metric for Selecting Web Services and Providers [C]// Proceedings of the 4th International Conference on Web Information Systems Engineering. ROME; Fourth International Conference on Web Information Systems Engineering Workshops. 2003; 131-139

[9] Kim Y, Doh K G. A Trust Type Based Model for Managing QoS in Web Services Composition [C]// Proceedings of the 2007 International Conference on Convergence Information Technology. Washington: IEEE Computer Society, 2007; 438-443

[10] 刘国奇, 朱志良, 王浩, 等. 一种 Web 服务 QoS 可信性评价模型 [J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(11): 2216-2221

[11] 肖文, 张自力, 李伟华. 基于 QoS 的可信 Web 服务组合研究 [J]. 计算机科学, 2011, 38(6): 173-176

[12] 孟琳琳, 赵伟男, 孙海龙, 等. Web 服务可信证据收集与评估机制研究 [J]. 计算机科学与探索, 2011, 5(7): 642-651

[13] 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

[14] OASIS. Business Process Execution Language (BPEL4WS/BPEL) [OL]. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.pdf>, 2007