

# 组合服务交互测试研究综述

余 莹

(中国电子科技集团公司信息化工程总体研究中心, 北京 100083)

**摘 要:** 从组合服务模型检测、组合服务需求监测及测试用例和测试预言生成 3 个方面, 对组合服务交互测试的研究现状进行综述。针对组合服务实现, 如何更多、更准确地发现其中的交互错误, 是组合服务交互测试一个亟待解决的问题。围绕该问题, 研究用于测试分析的形式化组合服务流程、与交互相关的动态测试信息获取和动态测试信息分析方面的内容。

**关键词:** Web 服务; 组合服务; 交互测试; 模型检测; 需求监测; 测试用例生成

## Research Review on Interaction Test of Composite Service

YU Ying

(Center of Information System Architecture Research, China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100083, China)

**【Abstract】** Current research review on interaction test of composite services is given, including model check of composite services, requirements monitoring of composite services, generation of test case, and test oracle. An important research issue is to find more interaction errors in implementation of composite services accurately. About this issue, three areas are focused, including formal flow of composite services for test analysis, obtaining of dynamic test information related to interaction and analysis of dynamic test information.

**【Key words】** Web service; composite service; interaction test; model check; requirements monitoring; test case generation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.05.016

### 1 概述

Web 服务组合是将不同来源的 Web 服务组合在一起, 合理地安排这些服务的执行顺序, 从而形成满足用户需求的新 Web 服务。其中, 用于组合的 Web 服务是已经存在的基本服务, 被称为原子服务, 它们对组合服务的用户是透明的; 组合而成的新 Web 服务被称为组合服务, 是对其他服务的合成, 并以接口形式提供给用户或者其他服务使用。

组合服务按照组合服务流程, 分别与各个原子服务进行直接交互, 通过对原子服务的访问, 实现对细粒度功能的聚合。组合服务与原子服务的交互正确与否, 决定组合服务能否将细粒度的功能正确聚合, 从而获得粗粒度的功能。因此, 组合服务的交互测试是组合服务测试的一个重要方面。目前组合服务交互测试研究中, 针对动态服务组合的研究很少, 大多是针对静态服务组合的研究。本文以静态方式生成的组合服务作为研究对象, 分析组合服务交互测试的研究现状, 并针对目前存在的一些问题展开研究。

### 2 组合服务交互测试研究现状

目前组合服务交互测试的研究, 依据研究内容的不同,

可分为组合服务模型检测、组合服务需求监测、测试用例和测试预言生成 3 类。其中, 第 1 类是针对组合服务设计的测试, 后 2 类则是针对组合服务实现的测试。下面分别对其研究现状进行阐述。

#### 2.1 组合服务模型检测

组合服务模型检测(Model Checking)指在设计阶段对组合服务模型所描述的交互过程进行验证, 验证内容包括: 验证模型是否具有期望的性质, 即某些特定的需求特性、安全特性等, 如组合服务在与预订机票原子服务交互之前, 必须已经完成与信用卡检查原子服务的交互; 验证模型是否具有不希望出现的性质, 如死锁、活锁等性质。

组合服务模型检测的相关研究充分结合软件开发中形式化方法的研究成果, 应用形式化规约和形式化验证方法, 对组合服务模型检测展开研究。根据具体研究方法的不同, 可以分为以下 3 类:

(1) 直接用形式化方法对组合服务进行建模, 利用形式化方法已有的分析技术, 分析组合服务模型的性质。常用的形式化方法包括 Petri 网、进程代数和状态机等。

以 Petri 网作为组合服务建模方法的研究<sup>[1-4]</sup>, 采用基本 Petri 网或者 Petri 网的其他形式, 如着色 Petri 网、时间 Petri

**作者简介:** 余 莹(1976 - ), 女, 博士, 主研方向: Web 服务应用, Web 服务测试

**收稿日期:** 2012-04-10 **修回日期:** 2012-07-11 **E-mail:** cdyuying@gmail.com

网等。建模的重点在于描述原子服务以及组合服务流程，通过描述各种控制结构的语义，实现对组合服务流程的描述。以进程代数作为组合服务建模方法的研究<sup>[5-6]</sup>，采用 Pi 演算和 CCS 等形式化方法，建模的侧重点与采用状态机进行组合服务建模的研究<sup>[7-8]</sup>类似，着重建模原子服务以及组合服务与原子服务的消息交互过程。文献[9-10]分别采用时间自动机和扩展的有限自动机建立 Web 服务组合模型后进行分析。

(2)将组合服务描述语言映射到某种形式化方法上，将基于组合服务描述语言描述的组合服务模型转为用形式化方法描述，从而利用形式化方法已有的分析技术，对组合服务模型进行验证。

目前工业界和学术界提出一些组合服务描述语言，如 Web 服务本体语言(Ontology Web Language for Services, OWL-S)、Web 服务业务流程执行语言(Business Process Execution Language for Web Services, BPEL4WS)等，这些描述语言能够描述服务组合，但是缺乏相应的验证机制。因此一些研究以组合服务描述语言为基础，将组合服务描述语言映射到形式化方法上，一方面为这些组合服务描述语言赋予形式化语义，另一方面又可以应用形式化方法已有的分析技术对组合服务模型进行验证。常用的形式化方法有 Petri 网和进程代数等，包括：用 Petri 网描述 OWL-S 的语义<sup>[11-13]</sup>；用 Petri 网描述 BPEL4WS 的语义<sup>[14-16]</sup>；用通信顺序进程(Communicating Sequential Processes, CSP)描述 Web 服务编排描述语言(Web Services Choreography Description Language, WS-CDL)的语义<sup>[17]</sup>。同第(1)类研究类似，描述语义的侧重点因形式化方法不同而有所区别。

(3)结合组合服务描述语言和成熟的模型检测器。这些研究充分利用成熟模型检测器的分析验证能力，将基于组合服务描述语言描述的组合服务模型，转为用模型检测器的输入语言进行描述，并用某种形式化方法(如时态逻辑)描述组合服务的需求特性，然后通过模型检测分析组合服务模型是否具有这些需求特性。

在第(3)类研究中，多以 OWL-S 或 BPEL4WS 作为组合服务描述语言，常用的模型检测器包括 SPIN、NuSMV、BLAST 和 Bogor 等。文献[18-19]分别研究 OWL-S 到 SPIN 和 BLAST2 种模型检测器的输入语言的映射，文献[20-23]则分别研究 BPEL4WS 到 SPIN、Bogor 和 NuSMV 这 3 种模型检测器的输入语言的映射。文献[24]研究编排描述语言(Choreography Description Language, CDL)到 SPIN 的输入语言的映射。文献[25-26]研究业务过程执行语言(Business Process Execution Language, BPEL)到模型检测器 MCTK 的输入语言的映射。

## 2.2 组合服务需求监测

为了验证组合服务实现是否满足某些特定的需求特性，一些研究从需求监测(Requirements Monitoring)的角度对组合服务实现进行交互测试。

需求监测的一般方案是，由系统提供者辨识出要监测的需求特性，用某种形式化语言表达，然后将这些形式化的需求特性提供给监测器(Monitor)，监测器通过检查系统运行时产生的数据，报告系统运行是否违背需求特性。可以通过代码插装，在系统中插入能产生期望数据的代码，获取运行时数据；如果系统具有反射能力，也可以通过查询系统获得运行时数据。

在组合服务需求监测的相关研究中，多数研究以 workflow 方式实现的组合服务作为研究对象，以 BPEL4WS 作为组合服务实现方式，从 BPEL4WS 的执行引擎中获得运行时数据<sup>[27-32]</sup>；少数研究以编程方式实现的组合服务作为研究对象<sup>[33]</sup>，用基于面向方面编程(Aspect-oriented Programming, AOP)的源代码插装方法获得运行时数据。在这些研究中，所验证的需求特性包括与交互顺序相关的时态特性和一些统计特性，需求特性描述方法包括事件演算(Event Calculus)<sup>[27-29]</sup>、断言<sup>[30-31]</sup>和时态逻辑<sup>[32-33]</sup>等。文献[34-35]从框架角度出发，用基于目标的方法描述 Web 服务需求，从中发现需要重点关注的需求，为其分配监测器并监测系统的运行。文献[36-37]则从模式的角度描述服务的交互需求特性，并用有限状态机进行表示，对监测器获得的通讯消息进行分析，验证交互过程是否满足需求特性。

在其他研究中，文献[38]将 LTL 表达的属性描述转换为 XQuery 表达式，在 XQuery 处理器中对运行时获得的消息序列进行分析。文献[39]用断言语言 ALBERT 描述关注的特性，由 Dynamo 进行分析。文献[40]用基于模式的规约描述服务约束，应用服务约束对运行中收集的五种事件进行分析。

## 2.3 测试用例和测试预言生成

基于组合服务模型的交互测试用例生成，依据所采用的方法，可分为基于形式化方法和基于非形式化方法两类。

基于形式化方法的交互测试用例生成，虽然是组合服务交互测试研究的一个分支，但从软件工程的角度来说，可以认为是对组合服务模型检测的阶段性成果的应用。在上文所讨论的组合服务模型检测的研究现状中，多以形式化方法对组合服务模型进行验证，验证结果一方面保证组合服务模型的正确性，另一方面又获得一个清晰、无二义性的形式化组合服务模型。基于形式化方法的交互测试用例生成，正是以这一形式化组合服务模型为基础进行研究的，进一步可以分为基于模型检测的测试用例生成和基于形式化分析技术的测试用例生成。

基于模型检测的测试用例生成方法，将以 OWL-S 或者 BPEL4WS 等描述的组合服务模型转换为某种模型检测器的输入模型，并用某种形式化方法(如时态逻辑)描述组合服务模型应该满足的需求特性，将两者一起作为模型检测器的输入，通过生成反例(Counter Example)的方式实现测试用例的生成。常用的模型检测器有 SPIN、BLAST 和 NuSMV 等。文献[19]将 OWL-S 作为组合服务模型，采用 BLAST

作为模型检测器,用时态逻辑描述组合服务的需求特性,研究测试用例生成。文献[41-43]则将 BPEL4WS 作为组合服务模型,采用 SPIN 作为模型检测器,将测试用例生成的覆盖准则作为需求特性,用时态逻辑进行描述,从而生成满足覆盖准则的测试用例。文献[43]同时还支持以 NuSMV 作为模型检测器。文献[44]将 BPEL4WS 作为组合服务模型,应用 Web 服务概率时间接口自动机,通过反例方式生成测试用例。文献[45]将 BPEL 转换为离散时间标签变迁系统,通过反例方式生成测试用例。

基于形式化分析技术的测试用例生成方法,多将以 OWL-S 或者 BPEL4WS 等描述的组合服务模型用某种形式化方法描述,然后采用该种形式化方法已有的分析技术实现测试用例的生成。其中 Petri 网是常用的形式化方法,文献[14]将 BPEL4WS 描述的组合服务模型,转换成用 Petri 网描述的模型,采用 Petri 网的可达性分析技术生成测试用例。文献[46-48]则将 OWL-S 描述的组合服务模型,转换成用 Petri 网描述的模型,通过分析 Petri 网生成测试用例。文献[49]基于符号变迁系统生成测试用例。文献[50]利用有限状态机模型来构建 Web 服务测试模型,并在得到的测试模型基础上生成 Web 服务的测试用例。文献[51]将 BPEL 转换为 IF 时间自动机,根据测试目的进行测试用例生成。

基于非形式化方法的测试用例生成,部分研究将 BPEL4WS 描述的组合服务模型转换成统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)的活动图<sup>[52-53]</sup>或流程图<sup>[54]</sup>,然后采用图搜索等技术实现测试用例的生成。文献[55]将 BPEL 建模为消息序列图(Message Sequence Graph, MSG),根据消息序列图生成测试消息序列。文献[56]应用变迁覆盖准则,对 BPEL 描述的业务过程采用分散算法自动生成测试用例。文献[57]基于 OWL-S 描述需求模型,并针对需求特性通过搜索技术产生测试用例。

对于组合服务的交互测试,测试用例生成的研究比较多,但对于测试预言生成的研究则比较少,只有文献[46]在研究测试用例生成的同时,研究了与每个测试用例相对应的测试预言的生成。

### 3 组合服务交互测试存在的问题

组合服务交互测试的目的是保证组合服务实现的质量。上述研究从不同角度解决组合服务交互测试所面临的一些问题,但仍存在一个问题亟待解决:针对组合服务实现,如何更多、更准确地发现其中的交互错误。

组合服务模型检测保证模型的正确性,但在实现组合服务的过程中,仍可能会引入新的错误,所以对组合服务实现进行交互测试也很重要。组合服务需求监测是针对组合服务实现的测试,但只关注一些关键的需求特性,所能发现错误的多少与所提供的需求特性相关,如果想发现更多的错误,就需要提供更多的需求特性。事实上,提供一个完整的需求特性集合并不容易<sup>[58]</sup>。在测试过程中,应用

测试用例生成技术可以达到以较少的测试用例覆盖较多的测试场景的目的,减少测试工作量,降低测试成本。但由于对测试预言生成的相关研究较少,缺少对测试用例运行结果的自动评判。如果以人工方式进行测试用例运行结果分析,效率比较低,并且当信息量比较大时,容易引起错误的误判和漏判,影响测试结果的准确性。

组合服务流程完整地描述组合服务与各原子服务的交互顺序,相对于描述一个完整的需求特性集合,描述组合服务流程要容易得多、直观得多<sup>[55]</sup>。如果以组合服务流程作为交互测试参考模型,并结合自动的测试分析方法,动态测试组合服务实现,将有助于更多、更准确地发现组合服务实现的交互错误。围绕这一研究内容,综合国内外研究现状,有以下问题需要进行研究。

#### 3.1 用于测试分析的形式化组合服务流程

在组合服务模型检测和测试用例生成的相关研究中,都有对组合服务模型进行形式化描述的研究,并将其进一步应用于组合服务模型检测和测试用例生成,但将其用于动态测试信息分析的研究却相对较少。文献[59-60]将 BPEL4WS 描述的组合服务模型用 Petri 网进行表示,并基于 Petri 网对组合服务运行的日志记录进行分析,但所采用的分析方法是日志记录在 Petri 网上进行重演,并没有充分利用到 Petri 网的形式化分析技术。

组合服务流程表征组合服务与原子服务的交互顺序,通常由各种控制结构组合而成。当组合服务流程比较复杂时,人工理解交互顺序和根据动态测试信息分析组合服务运行过程,会变得比较困难。如果采用合适的形式化方法描述组合服务流程,一方面可以使组合服务流程清晰、无二义性;另一方面可以应用形式化分析技术,自动分析动态测试信息。

因此,如何用形式化方法描述组合服务流程,使其便于进行动态测试信息分析,是需要解决的一个重要问题。

#### 3.2 与交互相关的动态测试信息获取

动态测试信息的获取方法对于测试过程很重要,高效、准确、完整地获取动态测试信息,有助于提高测试效率,保证测试结果的准确性。在针对组合服务实现的交互测试研究中,大多以 BPEL4WS 的可执行流程作为组合服务的实现方式,与交互相关的动态测试信息从工作流引擎中获取。以编程方式实现的组合服务,作为组合服务实现的另一大类别,其动态测试信息获取方法的研究较少。因此,针对以编程方式实现的组合服务,如何高效、准确、完整地获取动态测试信息,是需要解决的一个重要问题。

对于以编程方式实现的应用系统,传统测试技术在其动态测试信息获取方面积累了丰富的研究成果,包括代码插装和修改底层 API 等。以编程方式实现的组合服务也属于这类系统,因此可以考虑应用这些研究成果。但是,对于以编程方式实现的组合服务,需要获取哪些与交互相关的动态测试信息,现有的动态测试信息获取方法是否足够,



都是需要研究的问题。

### 3.3 动态测试信息分析

对组合服务实现运行过程中所收集到的动态测试信息的分析,当前研究大多集中在分析运行过程是否满足需求特性,而较少关注运行过程与组合服务流程的一致性,组合服务需求监测的研究多属于前者。

在组合服务测试用例生成的研究中,多数研究将重点放在如何生成测试路径和测试数据上,而对于如何评判测试用例运行的结果,即测试预言的问题,却研究得较少。只有文献[46]在研究测试用例生成的同时,给出与测试用例相对应的测试预言的生成,但测试预言的关注点在于对一个原子服务访问完成后,分析相关状态是否正确,而不是分析组合服务实现的运行过程与组合服务流程的一致性。文献[59-60]研究了组合服务实现运行过程与组合服务流程的一致性,所采用的分析方法虽然基于 Petri 网,但却没有充分地利用 Petri 网的形式化分析技术;通过重演的分析方法对日志记录中的事件逐个进行分析,效率相对较低。因此,如何结合形式化的组合服务流程,对动态测试信息进行自动分析,以分析组合服务实现的运行过程与组合服务流程的一致性,也是一个需要研究的重要问题。

## 4 结束语

本文对组合服务交互测试的研究现状进行综述,从组合服务模型检测、组合服务需求监测以及测试用例和测试预言生成 3 个方面进行分析,提出针对组合服务实现,如何更多、更准确地发现其中的交互错误,是组合服务交互测试一个亟待解决的问题。组合服务流程完整地描述了组合服务与原子服务的交互顺序,依据组合服务流程实现的组合服务,只有正确地与原子服务进行交互,才能将细粒度的功能正确聚合,从而获得粗粒度的功能。围绕这一问题,需要研究用于测试分析的形式化组合服务流程、与交互相关的动态测试信息获取和动态测试信息分析 3 方面的内容。

### 参考文献

- [1] 张佩云,黄 波,孙亚民. 基于 Petri 网的 Web 服务组合模型描述和验证[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(12): 2531-2535.
- [2] 陈 琨,韩燕波. 基于 Petri 网的 Web 服务组合时间验证分析[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(20): 156-1501.
- [3] 胡 佳,冯志勇,徐 超,等. 基于 Petri 网的语义 Web 服务流程一致性验证[J]. 计算机工程, 2010, 36(19): 27-30.
- [4] Xiong Pengcheng, Fan Yushun, Zhou Mengchu. A Petri Net Approach to Analysis and Composition of Web Services[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2010, 40(2): 376-387.
- [5] 廖 军,谭 浩,刘锦德. 基于 Pi-演算的 Web 服务组合的描述和验证[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 635-643.
- [6] Li Bao, Zhang Wweishi, Zhang Xiuguo. Describing and Verifying Web Service using CCS[C]//Proc. of International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. [S. 1.]: IEEE Computer Society, 2006.
- [7] Zheng Yongyan, Krause P. Asynchronous Semantics and Anti-patterns for Interacting Web Services[C]//Proc. of International Conference on Quality Software. [S. 1.]: IEEE Computer Society, 2006.
- [8] Lerner B S. Verifying Process Models Built Using Parameterized State Machines[C]//Proc. of International Symposium on Software Testing and Analysis. Boston, USA: ACM Press, 2004.
- [9] 骆翔宇, 轩爱成, 沙宗鲁. 基于时间自动机的 Web 服务模型检测[J]. 计算机科学, 2010, 37(8): 139-143.
- [10] 王 晶,戎 玫,张广泉,等. 基于概率模型检测的 Web 服务组合验证[J]. 计算机科学, 2012, 39(1): 120-123.
- [11] Dai Guilian, Bai Xiaoying, Zhao Chongchong. A Framework for Time Consistency Verification for Web Processes Based on Annotated OWL-S[C]//Proc. of International Conference on Grid and Cooperative Computing. [S. 1.]: IEEE Computer Society, 2007.
- [12] Luo Nan, Yan Junwei, Liu Min. Towards Efficient Verification for Process Composition of Semantic Web Services[C]//Proc. of IEEE International Conference on Services Computing. [S. 1.]: IEEE Computer Society, 2007.
- [13] Narayanan S, McIlraith S A. Simulation, Verification and Automated Composition of Web Services[C]//Proc. of International World Wide Web Conference. Honolulu, USA: ACM Press, 2002.
- [14] Dong Wwenli, Yu Hang, Zhang Yubing. Testing BPEL-based Web Service Composition Using High-level Petri Nets[C]//Proc. of the IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference. Hong Kong, China: IEEE Computer Society, 2006.
- [15] Dai Guilian, Bai Xiaoying, Zhao Chongchong. A Framework for Model Checking Web Service Compositions Based on BPEL4WS[C]//Proc. of IEEE International Conference on e-Business Engineering. Hong Kong, China: IEEE Computer Society, 2007.
- [16] Kang Hui, Yang Xiuli, Yuan S M. Modeling and Verification of Web Services Composition based on CPN[C]//Proc. of International Conference on Network

- and Parallel Computing Workshops. [S. 1.]: IEEE Computer Society, 2007.
- [17] Yeung W L. Mapping WS-CDL and BPEL Into CSP for Behavioural Specification and Verification of Web Services[C]//Proc. of European Conference on Web Services. Zurich, Switzerland: IEEE Computer Society, 2006.
- [18] Ankolekar A, Paolucci M, Sycara K. Towards a Formal Verification of OWL-S Process Models[C]//Proc. of International Semantic Web Conference. Galway, Ireland: Springer-Verlag, 2005.
- [19] Huang H, Tsai W T, Paul R. Automated Model Checking and Testing for Composite Web Services[C]//Proc. of IEEE International Symposium on Object-oriented Real-time Distributed Computing. Seattle, USA: IEEE Computer Society, 2005.
- [20] Fu Xiang, Bultan T, Su Jianwei. Analysis of Interacting BPEL Web Services[C]//Proc. of International Conference on World Wide Web. New York, USA: ACM Press, 2004.
- [21] Cao Honghua, Ying Shi, Du Dehui. Towards Model-based Verification of BPEL with Model Checking[C]//Proc. of IEEE International Conference on Computer and Information Technology. Seoul, Korea: IEEE Computer Society, 2006.
- [22] Bianculli D, Ghezzi C, Spoletini P. A Model Checking Approach to Verify BPEL4WS Workflows[C]//Proc. of IEEE International Conference on Service-oriented Computing and Applications. Newport Beach, USA: IEEE Computer Society, 2007.
- [23] Mongiello M, Castelluccia D. Modelling and Verification of BPEL Business Processes[C]//Proc. of International Workshop on Model-Based Development of Computer-based Systems and Model-based Methodologies for Pervasive and Embedded Software. Potsdam, USA: IEEE Computer Society, 2006.
- [24] Yang Hongli, Zhao Xiangpeng, Cai Chao, et al. Model-checking of Web Services Choreography[C]//Proc. of IEEE International Symposium on Service-oriented System Engineering. [S. 1.]: IEEE Computer Society, 2008.
- [25] 骆翔宇, 陈 艳. Web 服务的形式化验证[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 257-259.
- [26] 骆翔宇, 谭 征, 董荣胜. 一种 Web 服务特征交互自动检测方法[J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 106-110.
- [27] Mahbub K, Spanoudakis G. Run-time Monitoring of Requirements for Systems Composed of Web-Services: Initial Implementation and Evaluation Experience[C]//Proc. of IEEE International Conference on Web Services. Orlando, USA: IEEE Computer Society, 2005.
- [28] Spanoudakis G, Mahbub K. Requirements Monitoring for Service-based Systems: Towards a Framework Based on Event Calculus[C]//Proc. of International Conference on Automated Software Engineering. Linz, Austria: IEEE Computer Society, 2004.
- [29] Rouached M, Gaaloul W, van Der Aalst W M P, et al. Web Service Mining and Verification of Properties: An Approach Based on Event Calculus[C]//Proc. of International Conference on Cooperative Information Systems. Montpellier, France: Springer-Verlag, 2006.
- [30] Baresi L, Ghezzi C, Guinea S. Smart Monitors for Composed Services[C]//Proc. of International Conference on Service Oriented Computing. New York, USA: ACM Press, 2004.
- [31] Baresi L, Guinea S. Towards Dynamic Monitoring of WS-BPEL Processes[C]//Proc. of International Conference of Service-oriented Computing. Amsterdam, Netherlands: Springer-Verlag, 2005.
- [32] Barbon F, Traverso P. Run-time Monitoring of Instances and Classes of Web Service Compositions[C]//Proc. of IEEE International Conference on Web Services. Chicago, USA: IEEE Computer Society, 2006.
- [33] 罗求忠. Web 服务软件交互测试中的数据获取和验证[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2007.
- [34] Robinson W N. Monitoring Web Service Requirements[C]//Proc. of International Requirements Engineering Conference. Monterey, USA: IEEE Computer Society, 2003.
- [35] Robinson W N. Monitoring Web Service Interactions[C]//Proc. of Workshop on Requirements Engineering in Open Systems. Monterey, USA: IEEE Computer Society, 2003.
- [36] Li Zheng, Han Jun, Jin Yan. Pattern-based Specification and Validation of Web Services Interaction Properties[C]//Proc. of International Conference of Service-oriented Computing. Amsterdam, Netherlands: Springer-Verlag, 2005.
- [37] Li Zheng, Yan Jin, Han, Jun. A Runtime Monitoring and Validation Framework for Web Service Interactions[C]//Proc. of Australian Software Engineering Conference. Sydney, Australia: IEEE Computer Society, 2006.
- [38] Halle S, Villemare R. Runtime Monitoring of Web Service Choreographies Using Streaming XML[C]//Proc. of Annual ACM Symposium on Applied Computing. Honolulu, USA: ACM Press, 2009.
- [39] Bianculli D, Ghezzi C. Towards a Methodology for Lifelong Validation of Service Compositions[C]//Proc. of

- International Workshop on Systems Development in SOA Environments. Leipzig, Germany: ACM Press, 2008.
- [40] Wang Qianxiang, Shao Jin, Deng Fang, et al. An Online Monitoring Approach for Web Service Requirements[J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2009, 2(4): 338-351.
- [41] Garcia-Fanjul J, de La Riva C, Tuya J. Generation of Conformance Test Suites for Compositions of Web Services Using Model Checking[C]//Proc. of Testing Academic and Industrial Conference on Practice and Research Techniques. Windsor, Canada: IEEE Computer Society, 2006.
- [42] García-Fanjul J, Tuya J, de La Riva C. Generating Test Cases Specifications for BPEL Compositions of Web Services Using SPIN[C]//Proc. of International Workshop on Web Services Modeling and Testing. Palermo, Italy: [s. n.], 2006.
- [43] Zheng Yongyan, Zhou Jiong, Krause P. A Model Checking Based Test Case Generation Framework for Web Services[C]//Proc. of International Conference on Information Technology. Las Vegas, USA: IEEE Computer Society, 2007.
- [44] Gao Honghao, Li Ying, Generating Quantitative Test Cases for Probabilistic Timed Web Service Composition[C]//Proc. of IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference. Jeju, Korea: IEEE Computer Society, 2011.
- [45] Mateescu R, Rampacek S. Formal Modeling and Discrete-time Analysis of BPEL Web Services[J]. International Journal of Simulation and Process Modeling, 2008, 4(3): 183-194.
- [46] Dai Guilian, Bai Xiaoying, Wang Yongbo, et al. Contract-based Testing for Web Services[C]//Proc. of Annual International Computer Software and Applications Conference. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2007.
- [47] Wang Yongbo, Bai Xiaoying, Li J Z, et al. Ontology-based Test Case Generation for Testing Web Services[C]//Proc. of International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. Sedona, USA: IEEE Computer Society, 2007.
- [48] 蔡菊, 王迪, 李必信. 基于扩展的层次有色 Petri 网的组合服务测试用例生成[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38(4): 598-604.
- [49] Frantzen L, de Las N H, Kiss Z G, et al. On-the-fly Model-based Testing of Web Services with Jambition[J]. Web Services and Formal Methods, 2009, (5387): 143-157.
- [50] 王任. 基于有限状态机的 Web 服务测试用例生成方法[D]. 南昌: 江西财经大学, 2009.
- [51] Lallali M, Zaidi F, Cavalli A, et al. Automatic Timed Test Case Generation for Web Services Composition[C]//Proc. of the 6th IEEE European Conference on Web Services. Dublin, Ireland: IEEE Computer Society, 2008.
- [52] 张峻. 基于 UML2. 0 动态视图的 Web 服务模型测试方法及其应用[D]. 苏州: 苏州大学, 2007.
- [53] Zhang Guoquan, Rong Mei. A Business Process of Web Services Testing Method Based on UML2. 0 Activity Diagram[C]//Proc. of Workshop on Intelligent Information Technology Application. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2007.
- [54] Yuan Yuan, Li Zhongjie, Sun Wei. A Graph-search Based Approach to BPEL4WS Test Generation[C]//Proc. of International Conference on Software Engineering Advances. Papeete, Polynesia: IEEE Computer Society, 2006.
- [55] Hou Shanshan, Zhang Lu, Lan Qian, et al. Generating Effective Test Sequences for BPEL Testing[C]//Proc. of International Conference on Quality Software. Jeju, Korea: IEEE Computer Society, 2009.
- [56] Blanco R, Garcia F J, Tuya J. A First Approach to Test Case Generation for BPEL Compositions of Web Services Using Scatter Search[C]//Proc. of International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops. Denver, USA: IEEE Computer Society, 2009.
- [57] 张晓燕, 黄宁, 余莹. 基于 OWL-S 的测试用例生成[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(3): 327-330.
- [58] van der Aalst W M P, Dumas M, Ouyang C, et al. Choreography Conformance Checking: An Approach Based on BPEL and PetriNets[C]//Proc. of Role of Business Processes in Service Oriented Architectures. Schloss Dagstuhl, Germany: Dagstuhl Research Online Publication Server, 2006.
- [59] van der Aalst W M P, Dumas M, Ouyang C, et al. Conformance Checking of Service Behavior[J]. ACM Transactions on Internet Technology, 2008, 8(3): 1-30.
- [60] van der Aalst W M P, Rozinat A. Conformance Testing-measuring the Alignment Between Event Logs and Process Models[D]. Eindhoven, Holland: Eindhoven University of Technology, 2005.

编辑 索书志