

基于 Petri Net 的 BPEL 流程建模与分析验证

窦 浩, 武艳文, 段升强

(西安建筑科技大学信息网络中心, 西安 710055)

摘 要:设计了一个基于 Petri Net 的 Web 服务组合流程建模引擎. 把 BPEL 流程的语法元素按其语义转换为 Petri Net 模板, 通过模板组合来得到整个流程的 Petri Net 模型, 并以 Petri Net 标记语言(Petri Net Markup Language, PNML)文件格式来描述 Petri Net 模型, 从而能够利用现有的支持 PNML 文件的 Petri Net 分析工具对流程进行分析, 通过对 Petri Net 的性质验证来达到对服务流程的验证目的, 以在流程定义阶段发现其存在的问题. 实际结果表明, 采用该工具可以确保服务组合流程设计的正确性, 增加服务组合的可靠性.

关键词:Web 服务组合; BPEL; Petri Net; 正确性验证

中图分类号:TP 393.092

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)02-0295-05

使用 Web 服务技术, 应用程序可以通过与平台和编程语言无关的方式相互通信. Web 服务^[1]是一种通过统一资源指示符(URI)标识的一个软件应用, 其接口及绑定形式可以通过 XML 标准定义、描述和发现, Web 服务能够通过 XML 消息及 Internet 协议完成与其他软件应用的直接交互. 它的目的是让不同的软件应用能够相互操作, 无论它们是用什么语言实现、运行在什么操作平台、基于什么架构技术.

由于 Web 服务的分布性和独立性, 单个的 Web 服务所提供的业务支持能力已经很难满足日益丰富的用户需求, Web 服务组合技术成功地解决了这一问题, Web 服务组合^[2]是指将 Internet 上若干个已经存在的 Web 服务按照一定的规则动态发现, 并组装成一个增值的、更粗粒度的服务或系统以满足用户的复杂的业务需求, 它是支持业务流程逻辑的一组 Web 服务, 其本身既可以是最终的应用, 也可以是新的 Web 服务, 组合是通过确定不同 Web 服务的执行顺序和 Web 服务之间的复杂交互来实现的.

业务流程执行语言(Web Services Business Process Execution Language, WS-BPEL 或 BPEL^[3])是组织和执行 Web 服务的流程定义语言. 它具有服务编制功能, 可用于对已有的 Web 服务进行协同控制以整合出新的 Web 服务, 从而满足实际应用开发中的应用需求.

然而在 BPEL 流程的设计过程中, 无论服务组合的开发者是通过工具设计或是以程序编写的方式来开发 BPEL 流程, 在进行流程的设计时都有可能发生问题, 例如: 死锁、不可达等, 这些问题在设计阶段并不容易被发现, 而在实际执行时却可能产生无法弥补的错误. 因此在 BPEL 流程实际执行前必须先对它的流程设计进行正确性验证. 而对于 BPEL 流程本身的验证, 目前并没有行之有效的方法, 因此本文研究将 BPEL 服务组合流程建模为 Petri Net 模型, 以 Petri Net 模型来模拟 BPEL 流程的运行状态, 通过 Petri Net 模型的分析验证方法来达到验证 BPEL 流程的目的.

1 原理分析

Web 服务组合作为以 Web 服务为基础的信息基础设施和企业业务应用集成之间的桥梁, 将服务模块组合起来成为完整的应用, 为了满足用户需求, 除了必须保证操作层和服务层的正确性外, 由于业务逻辑的复杂性, Web 服务组合还必须保证业务逻辑上的正确性, Web 服务组合很有可能会因为流程结构的设计错误导致流程在实施时产生死锁、不可达和不安全等问题, 为了避免以上的问题影响 Web

收稿日期: 2011-10-22 修改稿日期: 2012-03-30

基金项目: 国家 2008 年下一代互联网业务试商用及设备产业化专项(CNGI2008-060); 国家科技支撑计划资助项目(2008BAH37B05060)

作者简介: 窦 浩(1976-), 男, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要从事网络管理、网络安全工作.

服务组合的执行,则在服务组合定义之后需要对其进行正确性验证,若服务组合流程未通过验证则必须回到定义阶段重新进行设计.

图1为服务组合实施阶段图.

论文提出的设计方法分为以下两个步骤:

(1) 对服务流程进行 Petri Net 建模

Web 服务流程往往无法从表面的设计看出流程设计有什么问题,因此必须通过建模的方式,模拟分析流程的运行状态从而发现流程潜在的死锁、不可达等安全隐患.

Petri Net 是对离散并行系统的数学表示,它适合于描述异步的、并发的计算机系统模型,它既具有非常严格的数学表述方式,也有非常直观的图形表达方式,既有丰富的系统描述手段和系统行为分析技术,也为计算机科学技术提供了非常坚实的概念基础,被认为是流程语言之母,也是目前最常用来建模系统的工具.由于 Petri Net 适合于对 Web 服务这种松散耦合的分布式系统进行建模,论文采用基于 Petri Net 的 BPEL 流程建模方式,以进行验证分析.

(2) Web 服务组合流程正确性验证

将 Web 服务组合流程转换为 Petri Net 模型,针对 Petri Net 的常见性质:死锁、不可达、安全性等,对模型进行分析,如果服务组合流程无法通过验证处理,则说明流程在设计上存在错误或缺陷,需要进行改正或完善.

通过以上两个步骤对流程的验证,如果发现验证结果正确,则该服务流程可以执行,否则指出存在的错误并改正,进而达到分析验证的目的.

2 服务组合正确性验证分析

建模过程的目标是把每一个 BPEL 流程转换为一个 Petri Net 模型[4],这个转换的准则必须遵循 BPEL 的语法构造来进行,在 BPEL 中,一个 process 由多个相嵌语法构造(plugging language construct)组建而成,我们把每一个语法构造转换为对应的 Petri Net 模板,每一个对外都提供一系列接口,在这些语法构造(construct)中,其中有的语法构造还会自己的内部构造,所以这就要求一个语法构造的转换模板必须能够支持任意数量的内部构造,把这些模板(pattern)组织起来也就形成了 BPEL 流程对应的 Petri Net.

将 BPEL 服务组合流程转换为 Petri Net 模型后,就可以运用 Petri Net 的分析技术对 BPEL 流程进行分析.现结合 Petri Net 的三个常见性质 Deadlock、Reachability、Safeness 进行分析,一个 Web 服务组合流程至少必须满足以上三种性质才能被认为是正确的,以下将描述各个性质的 Petri Net 原始定义与 Web 服务组合中的意义进行分析,并探讨在本研究后续的验证中所应该采用的方法.

Safeness:一个 Petri Net 中任何状态下任一 place 所拥有的 token 数不超出有限的整数 K ,我们称此 Petri Net 为 k -bounded,若 $k=1$,则为 1-bounded Petri Net 又称之为 Safe Petri Net.在服务组合流程中,token 代表服务组合流程需要输入的资料,一个 Web 服务组合实例中只有一个起点,在服务流程组合模型中一个 place 应该最多只能拥有一个 token,库所 fault_in 可能获得多个 token,这也是在整个流程建模中唯一一个可能获得多个 token 的 Place,所以在 stop pattern 中引入了重置弧,当一个错误被处理,Scope 被停止,fault_in 中剩余的 token 被移除,所以此处 fault_in 打破了 1-bounded,但是由于 reset 弧的引入使得并没有破坏这种 safeness.所以对于引入 reset 弧的 Petri Net 模型,传统的对 safeness 的方法已经不再使用,而需要在判断 place 中 token 是否大于 1 的同时考虑到 reset 弧存在的情况.

Reachability:一个服务组合流程必须包含一个且只有一个 input place i 和一个 out place o ,在最初的起始状态中只有 input place i 拥有一个 token,其余的 place 皆没有 token,在最后结束状态,token

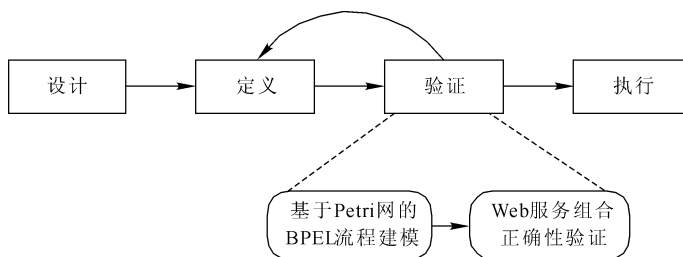


图1 服务组合实施阶段图

Fig. 1 Service composition implementation phase diagram

ken 必须能够到达 out place o,且其他的 place 不能拥有 token.

DeadLock:在一个服务组合中不能发生一个 transition 无法被任何序列激发的,即不能发生 deadlock.

3 架构设计

针对以上基于 Petri Net 的 BPEL 流程的原理与验证分析,完成系统 BPEL2PNet 的设计和实现,整个系统完成以下功能:

- (1) 读取 BPEL 流程文件,并对其进行解析,生成 BPEL 流程对象.
- (2) 根据 BPEL 到 Petri Net 的转换规则,完成建模过程,由 BPEL 流程对象得到 Petri Net 对象.
- (3) 将 Petri Net 对象输出到模型描述文件,以进行后续的验证.
- (4) 通过修改现有的 Petri Net 分析工具读取模型描述文件并进行分析验证.

该系统体系结构风格采用典型的管道—过滤器^[5]风格,图2给出了其体系结构图:



图2 系统体系结构图

Fig. 2 System structure diagram

在图2中,其管道为类型定义管道,明确定义了在每个过滤器之间传递的数据类型.图中管道和过滤器设计意义如下:

管道①:数据为 BPEL 流程文件 *.bpel;

过滤器 BPEL Parse: BPEL Parse 首先将传入的 .bpel 流程文件利用 jdom.jar 工具包进行解析,并借由 BPEL 标准例如:sequence,flow,switch 等的判断可以分析每个活动的设计规则.转换成相应活动的对象,将对应的属性值填入对象中,最终返回 BPEL Process 实体;

管道②:数据为 BPEL Process 对象;

过滤器 Transformer:由 BPEL 实体,利用每一个 BPEL 活动的 Petri net 的 pattern,将 BPEL 实体转换为 Petri net 实体;

管道③:数据为 Petri Net 对象;

过滤器 Petri Net Writer:完成由 Petri Net 到 xml Document 对象的转换,并利用 GeneratePNML.xsl,输出对应的 Petri net 模型描述文件;

管道④:数据为 Petri net 模型描述文件;

过滤器 Analyse tool:读取 Petri net 模型描述文件,分析验证,给出验证结果;

管道⑤:数据为验证结果;

基于以上分析,系统 BPEL2PNet 共划分为四个模块,分别是 BPEL 解析模块、Petri Net 模块、模型转换模块以及分析验证模块.图3给出了系统模块图,与体系结构设计中各个组件一一对应,其中分析验证模块利用对现有 Petri Net 工具修改完成功能.

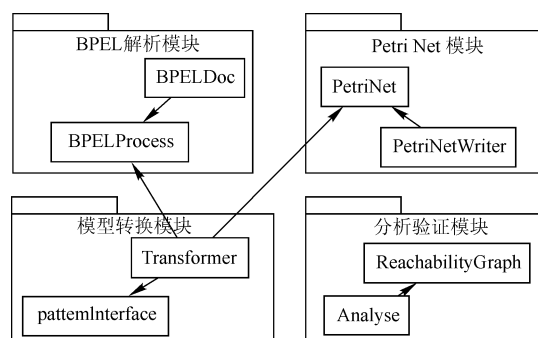


图3 系统模块图

Fig. 3 System block diagram

4 用例测试与分析

活动是 BPEL 流程的核心要素,那么对于 BPEL2PNet 引擎系统而言也主要针对其活动进行,除此以外,还需要测试 Petri Net 工具对 reset Petri Net 的支持,所测试内容包括:基本活动的建模、结构化活动的建模、验证工具对 reset Petri Net 的支持、整个 process 流程的建模状态图分析等.

在对 BPEL 活动建模进行分析的过程中,只输出与活动相关的建模元素.根据架构设计进行实际代码开发后,论文选取结构化活动的建模进行测试分析.表1为 BPEL 流程结构化活动 sequence 实例.

在表1中的BPEL流程中,含有一个结构化活动sequence,活动sequence中有两个顺序执行的活动,receive活动和assign活动,前者接收输入参数,后者完成赋值.建模结果用PIPE^[6]展示为图5所示.

图5为整个sequence的模型图,虚线框①中表示活动receive,虚线框②中表示活动assign.①中节点p2:initial|p1:initial表示该节点既是活动receive的起点,也是整个sequence的起点,①与②交合的节点p3:final|p1:initial表示receive的终点,assign的起点.②中节点p3:final|p2:final表示assign的终点,也是整个sequence的终点.因为sequence要控制每一个活动的进行,所以每个活动中的stop和stopped节点与整个sequence中的stop和stopped节点合并为同一节点,sequence获得控制权.从节点p10:stop|p5:stop|p4:stop和节点p11:stopped|p6:stopped|p5:stopped的名字即可以看出,共同为活动receive、assign和整个sequence共有.①中节点p7:failed和②中的节点p6:failed与整个process中stop部分的fault_in合并为同一节点.

5 结 语

随着Web服务技术的飞速发展,面向服务的体系架构应用越来越广泛,这对Web服务组

合流程的正确性提出了更高的要求,而针对服务流程本身并没有有效的验证方法,论文针对SOA应用集成平台中BPEL流程的设计问题,主要研究基于Petri Net的BPEL流程的建模与验证,并完成了BPEL2PNet引擎的设计和实现,最后通过一个完整的用例验证了架构设计的正确性.

参考文献 References

- [1] W3C Working Group, David Booth, Hugo Hass. Web Services Architecture [EB/OL] [2008-12-12]. <http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>.
- [2] Leymann F, Roller D, Schmidt M T. Web services and business process management. IBM System Journal, 2002,

表1 BPEL 流程结构化活动 sequence 实例

Tab.1 Sequence of structured activities BPEL process instance

```

<process name="While".....>
  <partnerLinks>
    .....
  </partnerLinks>
  <variables>
    .....
  </variables>
  <sequence>
    <receive name="receiveInput" partnerLink="client"
      portType="tns:While"
      operation="initiate" variable="input">
    <assign>
      <copy>
        <from expression="0"/>
        <to variable="request" part="payload" query="/services:value"/>
      </copy>
    </assign>
  </sequence>
</process>

```

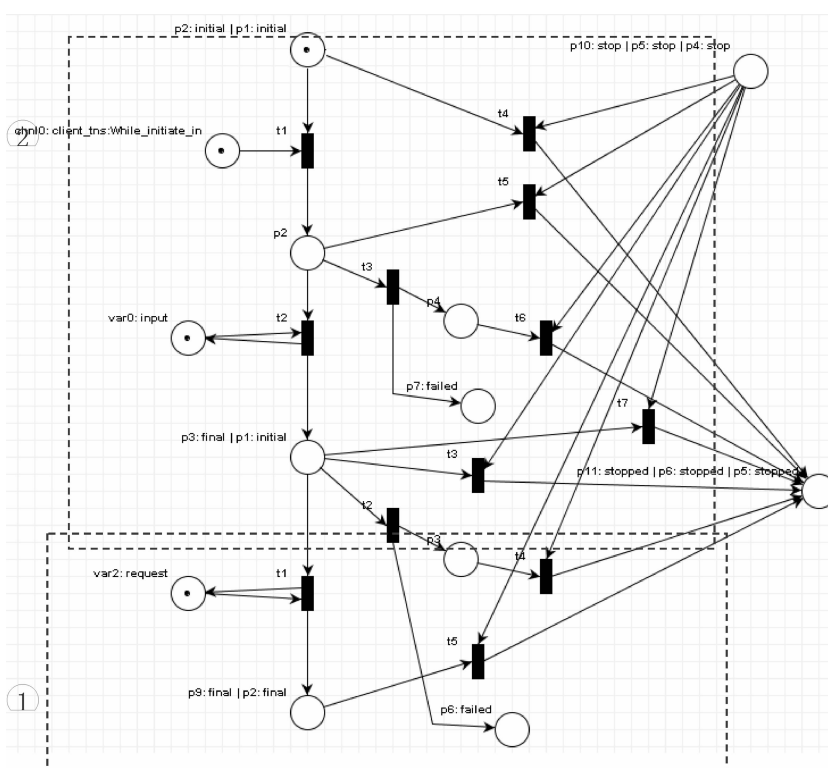


图5 Sequence 活动建模结果

Fig.5 Sequence activity modeling results

- 41(2):198-211.
- [3] Web Services Business Process Execution Language (WS-BPEL). <http://www.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel/>.
- [4] Christian Stahl. A Petri net semantic for BPEL4WS[D]. Diplomarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, 2005.
- [5] 李小龙, 毛文林. 管道—过滤器模式的软件体系结构及其设计. 计算机工程与应用[J]. 2003,39(35):114-115.
LI Xiao-long, MAO Wen-lin. Pipe-Filter Software Architecture and Its Design[J]. Computer Engineering And Applications, 2003,39(35):114-115.
- [6] Platform Independent Petri Net Editor 2(PIPE). <http://pipe2.sourceforge.net/>

Analysis and verification of BPEL process and modelling based on Petri Net

DOU Hao, WU Yan-wen, DUAN Sheng-qiang

(Information and Network Center, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The research presents a Petri Net-based modeling and verification approach for BPEL process. The translation is guided by the syntax of BPEL. Where each is translated into a Petri net pattern and the collection of pattern forms Petri Net semantics for BPEL. After the transformation, Petri Net modeling is saved in PNML document which is the standard interchange format of Petri net. Petri net tools which support PNML file as input can be used to verify the process. And this guarantees that the problems of BPEL process such as unreachable activity can be detected before it is deployed. This research result using the Petri Net-based verification approach for Web services composition can ensure the correctness of Web services composition flow design and enhance the reliability of Web services composition.

Key words: *Web services composition; Petri Net; BPEL; verification*

Biography: DOU Hao, Engineer, Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-29-82205305, E-mail:douhao@xauat.edu.cn

(上接第 294 页)

The design of water cooling system on hydraulic test bench

DENG Ying-hua¹, WANG Ji-sen², LIU Xiong³

(1. Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 3. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: For aircraft hydraulic system attachment strength, airtight, flow, flow resistance, and resistance conversion experiment, a set of comprehensive test platform is designed. In order to ensure the normal operation of test bench, the test process of the hydraulic oil temperature must be controlled in a certain range. According to the hydraulic oil temperature control requirement, the test water cooling system is also designed. On the basis of temperature control index, combined with Xi'an area weather conditions, the water cooling device is designed, and a detailed test platform hydraulic system of heating power calculation, built for hydraulic oil heat calculation, and cooling system equipment selection. The entire device is designed and assembled into good operation. Water cooling system is designed to achieve the whole system using requirements, to produce enormous economic benefits and good social benefits.

Key words: *aviation system; hydraulic test; water cooling system*

Biography: DENG Ying-hua, Engineer, Xi'an 710128, P. R. China, Tel:0086-29-85319451, E-mail:dyh1974@yahoo.com hydraulic