



计算机科学

COMPUTER SCIENCE

RPA流程标准化定义与设计

赖琪, 蔡宇辉, 夏斯琼, 谢晓全, 刘沛, 李肯立

引用本文

赖琪, 蔡宇辉, 夏斯琼, 谢晓全, 刘沛, 李肯立. RPA流程标准化定义与设计[J]. 计算机科学, 2023, 50(12): 82-88.

LAI Qi, CAI Yuhui, XIA Siqiong, XIE Xiaquan, LIU Pei, LI Kenli. [Standardization Definition and Design of Robotic Process Automation](#) [J]. Computer Science, 2023, 50(12): 82-88.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[一种基于带标签时间约束Petri网扩展可达图的数据流通合规性检测](#)

Compliance Check Method for Data Flow Process Based on Extended Reachability Graph with Labeled Timing Constraint Petri Net

计算机科学, 2023, 50(11A): 221000118-12. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.221000118>

[基于图对比学习的多模态交通流量协同预测方法](#)

Co-Forecasting for Multi-modal Traffic Flow Based on Graph Contrastive Learning

计算机科学, 2023, 50(10): 135-145. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.230700127>

[基于多元约束Petri网的水利测绘无人机路径规划](#)

Path Planning of Hydrographic Mapping UAV Based on Multi-constraint Petri Net

计算机科学, 2023, 50(6A): 220700079-7. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220700079>

[基于浏览器扩展的RPA系统跨域DOM拾取与自动化方案](#)

Cross-domain DOM Pickup and Automation Scheme of RPA System Based on Browser Extension

计算机科学, 2023, 50(2): 237-243. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220600203>

[一种用于RPA系统的DOM对象快速搜索与定位算法](#)

Fast DOM Object Search and Location Algorithm for RPA System

计算机科学, 2022, 49(10): 252-257. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210900210>

RPA 流程标准化定义与设计

赖琪¹ 蔡宇辉¹ 夏斯琼¹ 谢晓全² 刘沛² 李肯立¹

1 湖南大学信息科学与工程学院 长沙 410082

2 中电金信软件有限公司 北京 100192

(S2110W0852@hnu.edu.cn)

摘要 为解决机器人流程自动化(Robotic Process Automation,RPA)领域缺乏统一流程描述方法的问题,文中提出了一种用于定义和描述 RPA 流程的规范,主要包括 RPA 流程中的各类对象,可用于分析复杂 RPA 应用场景;同时,为更好地定义与描述 workflow 系统的流程,并解决 RPA 领域暂无流程建模标准而导致的流程脚本不兼容问题,以业务流程模型和符号(Business Process Model and Notation,BPMN)标准为基础,定义了一套 RPA 流程建模符号及标签系统。最后,以一种银行系统的典型业务流程为例,展示了使用该规范定义与描述此业务流程的结果,并使用 Petri 网进行了流程的正确性证明。

关键词: 机器人流程自动化; 业务流程模型和符号; Petri 网

中图分类号 TP312

Standardization Definition and Design of Robotic Process Automation

LAI Qi¹, CAI Yuhui¹, XIA Siqiong¹, XIE Xiaoquan², LIU Pei² and LI Kenli¹

1 School of Computer Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

2 GienTech Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China

Abstract To address the problem of lacking of a standardized method for describing processes in the field of robotic process automation(RPA), this paper proposes a specification for defining RPA processes, including various objects in RPA processes. The specification can be used to analyze complex RPA application scenarios. Additionally, to better define and describe workflow systems and overcome the problem of incompatible process scripts in the RPA field caused by the lack of process modeling standards, a set of RPA process modeling symbols and label systems are defined based on the business process model and notation (BPMN) standard. Finally, it demonstrates the results of defining and describing a typical business process in a banking system using the specification, and verifies the process correctness using Petri nets.

Keywords Robot process automation, Business process model and notation, Petri net

1 引言

机器人流程自动化是以软件机器人为基础的业务流程自动化技术。RPA 机器人按照明确的业务规则执行脚本,重复人的操作,并实现与业务系统的交互^[1]。近几年,RPA 被广泛应用于多个学科领域,如金融、制造和医疗等^[2]。实施 RPA 的基础工作是描述业务流程,而现有的描述方法较多,如 XML、JSON、XPDL、BPEL 和 BPDM 等,导致对于同一个业务流程,A 公司的 RPA 模型无法为 B 公司复用,影响行业的发展。因此,RPA 产品实现兼容的关键是设计产品时遵循统一的流程标准,急需一种面向 RPA 领域的流程描述语言来统一流程描述文件的格式。

对象管理组织(Object Management Group,OMG)在 2011 年推出了业务流程模型和符号(BPMN)2.0 标准^[3],为业务流程的所有参与者提供了一套可理解的标记语言。借助

标记语言,参与者可对流程进行可视化管理。目前,BPMN2.0 已成为流程管理的标准工具^[4]。

本文参照 BPMN2.0 标准,定义并设计了一种用于 RPA 领域的符号及标签,RPA 产品可以使用这些符号和标签对 RPA 流程进行规范性描述。

本文由 3 个部分组成:首先,提出 RPA 领域存在的问题,并借鉴其他领域的处理方式,设计 RPA 领域流程标准;其次,参照 BPMN2.0,设计一种用于 RPA 领域的流程建模符号及标签系统;最后,使用定义的符号对 RPA 流程进行建模,并借助 Petri 网的相关理论对 workflow 模型进行正确性分析。

2 问题提出

2.1 RPA 和 BPMN 的现状

RPA 机器人使许多日常工作自动化,提高了办公效率。而不同的 RPA 机器人,其执行脚本遵循的标准各不相同,

到稿日期:2023-01-03 返修日期:2023-05-24

基金项目:国家重点研发计划(2020YFB2104000)

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China(2020YFB2104000).

通信作者:蔡宇辉(rj_cyh@hnu.edu.cn)

例如:同一个 RPA 流程,在 A 设计器上生成的脚本格式为 xml,在 B 设计器上生成的脚本格式为 json,A 设计器生成的脚本无法直接在 B 设计器上执行,不同种类脚本不兼容。而 xml 脚本转换为 json 脚本需要经历以下步骤:

- 1)A 设计器脚本的元素定位路径转换为 B 设计器脚本的元素定位路径;
- 2)读取 A 设计器脚本并将其转化为字典,截取特定字符串中需要的部分;
- 3)将 A 设计器脚本中的参数转换为 B 设计器的参数;
- 4)将 A 设计器脚本中执行的自动化操作转换为 B 设计器脚本的格式。

脚本格式的差异导致客户换用产品时,过去录制的流程无法复用,须经过上述脚本转换操作或重新制作流程,增加了 RPA 产品的开发难度及行业间的交流难度,降低了 RPA 产品的成本优势和灵活性^[5]。

业务流程标准不统一导致的问题在其他领域也存在,各领域有其特定的解决方式。为解决传统纸质信访件办理进度无法跟踪及督办、办理效率低等问题,Liu 等^[6]设计并提出了基于 BPMN2.0 工作流的高校信访公文管理系统,实现了对信访件全过程的有效管理。Wang 等^[7]针对数控机床的主要耗能子系统即主传动系统,根据其加工过程中能量消耗动态变化且难以规范化描述的特点,提出了一种基于业务流程建模规范 BPMN2.0 的数控机床主传动系统动态能耗建模方法。为有效解决现代公路建设项目管理过程中出现的问题,Wang 等^[8]设计了基于 BPMN 的高速公路建设项目管理系统,用信息化的手段实现了公路建设项目的监控和管理。综合以上几个例子,本文提出了一种基于 BPMN2.0 的 RPA 流程建模符号及标签系统,用于解决目前 RPA 领域没有统一的流程描述方法的问题。

BPM 是业务流程管理(Business Process Management, BPM)系统的建模语言之一,BPM 理论在金融、制造等领域也得到了广泛应用,尤其是在银行的业务、管理等流程中^[9]。同时 RPA 也常用于银行业务流程中。RPA 自动化地执行流程,该流程比 BPM 系统中的流程小,基本上对应 BPM 流程图中的一小段操作流程,使用 BPMN2.0 标准作为 RPA 脚本格式,可以方便地了解之前的流程设计,直接加载存量的 BPM 流程文件,有效利用之前的成果,节省创建新流程的时间和人力物力资源。

2.2 RPA 解决方案

通过借鉴其他行业的处理方式,本文参考 BPMN2.0 标准,提出了一种适用于 RPA 领域的规范,并设计了相应的符号和标签来描述 RPA 业务流程,根据业务的复杂程度建立不同的模型,利用可视化的流程编辑界面使用户只需要与可视化界面进行交互,无须关心部署的细节,并且能在每一次迭代后,基于原流程图进行修改和扩充;这种方式清晰详细地描述了 RPA 流程,也解决了 RPA 领域尚无统一标准的问题。

RPA 流程标准定义将 RPA 的行为和实体规范为流对象、连接对象和数据 3 个类别,其中流对象包括事件、活动和网关;连接对象包括顺序流、消息流和关联;数据包括数据对象和数据存储。第 3 章将详细介绍这 3 个类别。

3 RPA 流程标准定义

BPMN2.0 符号语义丰富、简单直观,能清晰反映不同参与者的业务执行及相互关系。参照 BPMN2.0 的符号及语义,深入分析 RPA 业务流程的细节,针对 RPA 流程的特定需求,设计了一种用于 RPA 领域的元素符号及标签。下文将对这些元素符号及标签进行详细介绍。

3.1 流对象(Flow)

流对象是用于定义 RPA 流程行为的主要图形元素,包括事件、活动和网关。

3.1.1 事件(Events)

1)开始事件(StartEvent)

图形显示为细边空心圆,表示机器人从此处开始执行流程。



定义 1(空开始事件) 内部无图标;表示机器人可随时运行,不受外部因素影响。

定义 2(定时开始事件) 内部图标为时钟;表示机器人在指定的时间启动,可以用于启动一次,也可以在特定时间间隔内启动多次^[10]。

开始事件的元素符号及 xml 定义如表 1 所列。

表 1 开始事件元素符号及 xml 定义

Table 1 StartEvent element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
空开始事件		<startEvent id="Start" name="OneStart" />
定时开始事件		<startEvent id="TimeStart" name="Every-MonthStart"> <timerEventDefinition /> </startEvent>

2)结束事件(EndEvent)



图形显示为粗边空心圆,机器人运行到此处表示流程结束。

定义 3(空结束事件) 内部无图标;表示流程结束时不产生任何指定结果。

定义 4(显式结束事件) 内部图标为大写字母 N;表示流程结束时抛出提示信息:执行是否成功结束,如果有异常则进行错误提示。结束事件的元素符号及 xml 定义如表 2 所列。

表 2 结束事件元素符号及 xml 定义

Table 2 EndEvent element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
空结束事件		<endEvent id="End" name="TheEnd" />
显式结束事件		<endEvent id="InforEnd" name="SomethingInfo"> <infoEventDefinition infoRef="TheInfo" /> </endEvent>

3)中间事件(IntermediateEvent)

图形显示为双层空心圆,描述机器人在执行流程中的状态,常用于异常情况处理。实线表示中断中间事件,虚线表示非中断中间事件。中间事件有两种使用方式:(1)独立存在,

可以作为触发(Throw)或者响应(Catch)事件;(2)附加在活动边界,用于监听活动、限制活动的作用域^[10]。

定义 5(消息中间事件) 内部图标为信件;黑色填充图标表示触发,白色无填充图标表示响应。消息事件使用 messageEventDefinition 元素,每一个消息都有特定的名称和内容,当流程执行到消息触发中间事件时,随即跳转到与之匹配的消息响应中间事件继续执行。

定义 6(错误边界事件) 内部图标为大写字母 N;在子流程上定义错误边界事件,当机器人在运行过程中出现异常时,子流程中止,错误结束事件触发错误边界事件,流程沿着错误边界事件的外出连线继续执行。通常情况下错误边界事件与人机任务连接。

中间事件的元素符号及 xml 定义如表 3 所列。

表 3 中间事件元素符号及 xml 定义

Table 3 Intermediate event element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
消息触发事件		<pre><intermediateThrowEvent id="MessageThrow0"> <messageEventDefinition signalRef="MessageCatch_0"/> </intermediateThrowEvent></pre>
消息响应事件		<pre><intermediateCatchEvent id="MessageCatch_0"> <messageEventDefinition signalRef="MessageThrow_0"/> </intermediateCatchEvent></pre>
错误边界事件		<pre><boundaryEvent id="CatchError" attachedToRef="TheSubProcess"> <errorEventDefinition errorRef="TheError"/> </boundaryEvent></pre>

3.1.2 活动(Activities)

1) 任务(Task)

图形显示为圆角矩形,表示机器人在此处执行一项操作,根据矩形内左上图标可分为点击任务、输入任务、网页任务、人机任务、表格任务、邮件任务、终端任务、文件任务等。

定义 7(点击任务) 内部图标为箭头光标;根据元素路径信息,在网页找到元素位置,移动鼠标进行点击。browser 属性表示浏览器,url 属性表示网页地址,title 属性表示网页标题,selector 属性表示元素的路径信息,clickFlag 属性表示点击的类型,包括单击左键 L1、双击左键 L2、单击右键 R1、双击右键 R2 等。

定义 8(输入任务) 内部图标为键盘;根据元素路径信息,在网页找到元素位置,通过剪切板将文本填入文本框。browser,url,title,selector 属性均与点击任务一致,content 属性表示需填充的文本信息。

定义 9(网页任务) 内部图标为网络;根据 browser 和 url 属性打开一个指定的网页。

定义 10(人机任务) 内部图标为人物;用于定义在机器人运行过程中人工完成的任务。humanPerformer 属性用于指定一个用户,将任务分配给该用户。

定义 11(表格任务) 内部图标为表格;表示机器人对 Excel 表格进行的操作,根据其具体功能可细分为 create, delete, read, write, 可对 table, row, column, cell 进行操作。以 readCell 为例,path 属性表示表格路径,sheet 属性选择工作

表,cell 属性定位单元格。

定义 12(邮件任务) 内部图标为邮件;表示机器人发送或接收邮件。sender 属性表示发送邮箱,password 属性表示发送邮箱密码,receiver 属性表示接收邮箱,subject 属性表示邮件标题,body 属性表示邮件正文。

定义 13(终端任务) 内部图标为小写字母 cmd;根据 path 属性打开指定路径的终端,encoding 属性选择编码方式为 gbk 或 utf-8,command 属性输入指令。

定义 14(文件任务) 内部图标为文件;表示机器人对文件进行的操作,根据其具体功能可细分为 create, delete, move, zip, unzip, read, write 等操作。以 createFile 为例,fileName 属性表示新建文件名,filePath 属性表示新建文件存储路径。

任务的元素符号及 xml 定义如表 4 所列。

表 4 任务元素符号及 xml 定义

Table 4 Task element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
点击任务		<pre><clickTask id="OneClick" name="MouseClickedTask"> </clickTask></pre>
输入任务		<pre><inputTask id="OneInput" name="SetTextTask"> </inputTask></pre>
网页任务		<pre><webTask id="TheWeb" name="OpenWebTask"> </webTask></pre>
人机任务		<pre><cooperateTask id="TheCooperation" name="ManMachineTask"> <taskDescription /> </cooperateTask></pre>
表格任务		<pre><excelTask id="ReadCell" name="ReadByCell"> </excelTask></pre>
邮件任务		<pre><mailTask id="TheMail" name="SendMailTask"> </mailTask></pre>
终端任务		<pre><cmdTask id="TheTerminal" name="TerminalTask"> </cmdTask></pre>
文件任务		<pre><fileTask id="TheFile" name="CreateFileTask"> </fileTask></pre>

2) 子流程(SubProcess)

子流程表示机器人执行的一系列操作。折叠子流程的图形显示为圆角矩形内部有“田”字标记,扩展子流程的图形显示为一个长矩形,内部包含完整的流程。

定义 15 制定子流程前分析各任务的独立性和关联性,将关联紧密的多个节点封装成一个子流程,在子流程上添加边界事件,用于监测子流程的执行情况。

定义 16 子流程只能由空开始事件启动,顺序流不能跨越子流程的边界。

定义 17 子流程可以添加循环属性,多实例并行循环图形显示为“III”^[10]。

子流程的元素符号及 xml 定义如表 5 所列。

表 5 子流程元素符号及 xml 定义

Table 5 SubProcess element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
折叠子流程		<code><subProcess id="TheSubProcess" name="ExampleTask"/></code>
展开子流程		<code>... </subProcess></code>

3.1.3 网关(Gateway)

图形显示为菱形,用于在机器人流程自动化中实现决策功能,表示流程的分支与走向。网关的条件表达式定义在输出流上,不同类型的网关规定了机器人最多可执行的分支条数。

网关的元素符号及 xml 定义如表 6 所列。

表 6 网关元素符号及 xml 定义

Table 6 Gateway element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
排他网关		<code><exclusiveGateway id="Gateway1" name="ChooseOnePath"/> <sequenceFlow id="flow1" name="condition1" sourceRef="Gateway1" targetRef="TheTask1"/> <conditionExpression/> </sequenceFlow> <sequenceFlow id="flow2" name="condition2" sourceRef="Gateway1" targetRef="TheTask2"/> <conditionExpression/> </sequenceFlow></code>
包容网关		<code><inclusiveGateway id="Gateway2" name="ChooseMultiplePaths"/> <sequenceFlow id="flow1" name="condition1" sourceRef="Gateway2" targetRef="TheTask1"/> <conditionExpression/> </sequenceFlow> <sequenceFlow id="flow2" name="condition2" sourceRef="Gateway2" targetRef="TheTask2"/> <conditionExpression/> </sequenceFlow> <sequenceFlow id="flow3" name="condition3" sourceRef="Gateway2" targetRef="TheTask3"/> <conditionExpression/> </sequenceFlow></code>

1)排他网关(ExclusiveGateway)

定义 18 内部图标为“X”,机器人流程执行到排他网关时,逐个计算条件表达式的结果,只执行第一个条件显示为“true”的输出流。

定义 19 内部无图标,默认为排他网关。

2)包容网关(InclusiveGateway)

定义 20 内部图标为“O”,机器人流程执行到包含网关时,计算所有的条件表达式,可以执行结果显示为“true”的多条输出流。

3.2 连接对象(Connection)

连接对象将流对象和其他信息连接在一起,控制着整体流程的顺序。

1)顺序流(SequenceFlow)

图形显示为从起点指向终点的带箭头实线。

定义 21 机器人执行完前一个节点,会沿着节点的所有外出顺序流继续执行。

2)消息流(MessageFlow)

图形显示为从起点指向终点的带箭头虚线。

定义 22 消息流为 RPA 流程建立通信。

3) 关联(Association)

图形显示为虚线,无箭头。

定义 23 关联将不影响 RPA 流程运行的组件链接到流程元素中。

连接对象的元素符号及 xml 定义如表 7 所列。

表 7 连接对象元素符号及 xml 定义

Table 7 Connection element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
顺序流		<code><sequenceFlow id="flow1" sourceRef="TheStart" targetRef="TheTask"/></code>
消息流		<code><messageFlow id="flow2" sourceRef="TheRPA1" targetRef="TheRPA2"/></code>
关联		<code><association id="assoc1" sourceRef="TheTask" targetRef="DataObject"/></code>

3.3 数据(Data)

在流程执行过程中不影响流程运行的数据存储和传输组件。

1)数据对象(DataObject)

图形显示为单个文件,通过关联与流程中的节点连接,表示机器人自动化流程中数据的输入和输出。

定义 24 数据对象仅存在于单个 RPA 流程中或子流程的开始事件和结束事件之间,一旦流程结束,数据对象无法被外部流程引用。

2)数据存储(Database)

图形显示为数据仓库,表示可被多个 RPA 机器人访问的公共数据库。

定义 25 数据存储可以实现不同机器人自动化流程的数据交互。

数据的元素符号及 xml 定义如表 8 所列。

表 8 数据元素符号及 xml 定义

Table 8 Data element symbols and xml definitions

元素名称	元素符号	元素 xml 定义
数据对象		<code><dataObject id="DataObject_0" name="TheFileObject"/></code>
数据存储		<code><dataStore id="DataStore_0" name="TheFileStore"/></code>

4 RPA 流程模型建立与分析

4.1 RPA 标准应用案例

某银行存放在同业的账户较多,依靠人工核对这类账户会耗费大量的时间和精力。为了更好地对同业资金进行管控,提升资金安全,该行建立了 RPA 同业对账系统。以自动下载流水需求为例,RPA 机器人每月月初登录各家网银或外部系统,自动下载所需日期的流水文件,并发送给业务人员。

4.2 基于 RPA 标准的模型构建

使用第 3 章定义的 RPA 流程标准对上述案例进行标准化设计,并结合图 1 和图 2,对使用的元素符号进行详细说明。

1)根据业务需求,每月到对账时间自动启动机器人,使用定时开始事件,在特定时间启动流程或设定时间间隔多次启动流程。

2)使用表格任务按行读取 excel 表格中的信息,包括后续操作需用到的网页信息、账号、密码等;下载流水操作为复杂活动,将其抽离部署为子流程,并使用多实例并行循环,在完整流程图上子流程显示为折叠形式。

3)使用网页任务打开指定的网页;使用键盘任务将账号、密码通过剪切板输入对应框;使用鼠标任务进行模拟鼠标点

击登录。流程执行到第一个排他网关时,登陆结果形成两条分支,计算所有输出流的条件,只执行条件计算结果为 true 的输出流,登录成功,继续沿着顺序流执行下载流水文件操作。

4)RPA 流程若出现错误,需在子流程上添加错误边界事件,以监控机器人的运行状态,并提供失败告警。登陆失败,抛出错误结束事件,触发子流程的错误边界事件,执行人机任务,本轮循环结束,进入下一轮循环。

5)使用点击任务选择流水日期、下载流水;流程执行到第二个排他网关时,下载结果形成两条分支,只执行条件计算结果为 true 的输出流。流水下载失败,抛出错误结束事件,触发子流程的错误边界事件,执行人机任务,进入下一轮循环;流水下载成功,子流程结束,使用邮件任务将流水文件发送给指定人员,主流程结束。

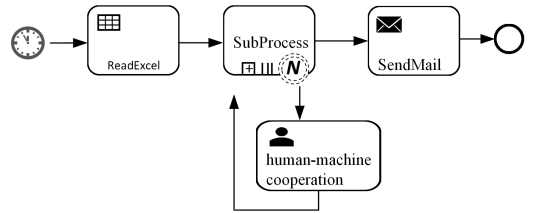


图 1 某银行下载流水完整流程图

Fig. 1 Flow chart of downloading a bank statement

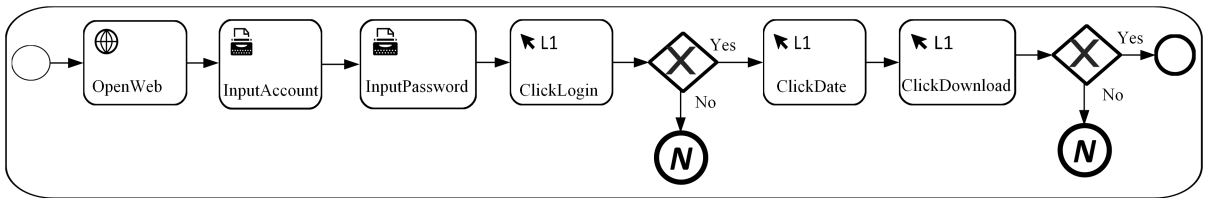


图 2 下载流水子流程展开图

Fig. 2 Expansion diagram of downloading bank statement subprocess

4.3 用 Petri 网证明流程的正确性

网模块规则^[11],如表 9 所列,借助 Petri 网相关理论对上述案例的工作流模型进行正确性分析。

使用 Petri 网进行了建模,将 RPA 标准元素映射为 Petri

表 9 RPA 标准元素映射为 Petri 网模块规则

Table 9 RPA standard elements are mapped to Petri net modular rules

RPA 标准元素	元素符号	Petri 网片段	RPA 标准元素	元素符号	Petri 网片段
开始事件			子流程		
中间事件			多实例并行		
结束事件			排他网关		
序列流			非中断边界事件		
活动					

Petri网是一种图形化的建模工具^[12],由四元组 $\Sigma = (P, T, F, M_0)$ 组成,其中 P 为库所集, T 为变迁集, F 为 P 与 T 间的流关系, M_0 是网的初始标识^[13]。Petri网包含“库所”和“变迁”两种主要元素,同时也包括资源或信息的托肯。在图形表示中,“库所”用小圆圈表示,“变迁”用小正方形表示,两者被有向弧进行连接。Petri网具有以下特性^[14]:

1)可达性

如果初始标识 M_0 ,通过触发规则激发变迁序列,产出了 $M_k(k=0,1,2,3,\dots,k)$,那么就可以称 M_k 是从 M_0 可达的,若所有的标识都符合可达原则,那么此Petri网也是可达的。

2)有界性

若存在一个整数,使得 M_0 的任一可达标识的每个位置中的标记数都不超过 K ,则称Petri网以 K 为界,即Petri网有界。

3)活性

为避免死锁,Petri网模型必须具有活性。当从 M_0 可达的任一标识出发,都可以通过执行某一变迁序列而最终实施任何一个变迁,就称这个Petri网是活的。

Petri网作为一种图形化建模工具,在工作流领域有着广泛的应用。本实验根据RPA标准元素映射的Petri网模块规则,使用库所、变迁等符号将上述RPA标准模型绘制为Petri网模型图,对所建模型的正确性进行验证,即证明模型描述的流程是可达的,不存在无用节点、冲突节点以及死锁,即满足可达性、有界性和活性。将图1某银行下载流水完整流程图根据表9列出的映射关系进行转换,得到的Petri网模型如图3所示。以此为例,通过Petri网死锁定义和定理来验证使用本文定义的RPA规范创建的流程的正确性。

定理1 一个有界Petri网,其关联矩阵为 C ,当存在向量 y 使得 $yC < 0$ 或者 $yC > 0$ 时,该Petri网必存在死锁^[15]。

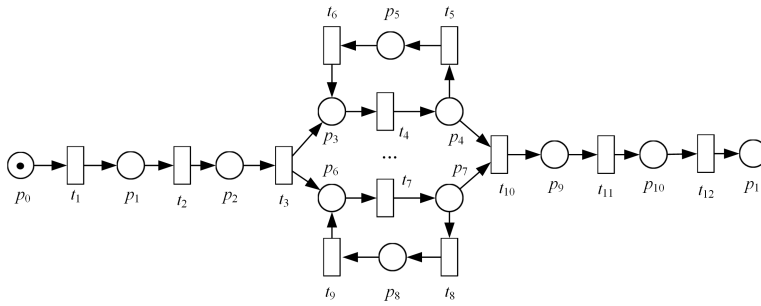


图3 RPA标准流程的Petri网
Fig.3 Petri net of RPA standard process

根据Petri网理论,库所集 $P \times$ 变迁集 T 被称为 Σ 的关联矩阵,结合图3,关联矩阵格式为:

创建的流程是正确的。

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 & t_7 & t_8 & t_9 & t_{10} & t_{11} & t_{12} \end{matrix} \\ \begin{matrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \\ p_9 \\ p_{10} \\ p_{11} \end{matrix} & \begin{bmatrix} & & & & & & & & & & & & \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\left\{ \begin{matrix} -y_1 + y_2 < 0 \\ -y_2 + y_3 < 0 \\ -y_3 + y_4 + y_7 < 0 \\ -y_4 + y_5 < 0 \\ -y_5 + y_6 < 0 \\ y_4 - y_6 < 0 \\ -y_7 + y_8 < 0 \\ -y_8 + y_9 < 0 \\ y_7 - y_9 < 0 \\ -y_5 - y_8 + y_{10} < 0 \\ -y_{10} + y_{11} < 0 \\ -y_{11} + y_{12} < 0 \end{matrix} \right. \quad (1)$$

根据Petri网有界性的描述先判断是否有界。本例对与所有 $M \in [M_0)$,均存在正整数 $k=1$ 使得所有 $p \in P, M(p) \leq 1$,则本例符合有界性。根据定理1结合本例关联矩阵 C 进行计算,设有向量 $y = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12})$ 使得 $yC < 0$,即求解式(1),存在 $y_6 < y_5 < y_4 < y_6$ 显然没有满足条件的解,同理也没有向量 y 使得 $yC > 0$,这说明本例是具有活性且可达的。综上说明,使用本文定义的RPA规范

结束语 RPA领域暂无流程建模标准导致产品难以兼容,BPMN2.0标准缺少适用于RPA领域的流程元素,使得流程的设计和 implement 存在偏差。为解决上述问题,本文首先对RPA应用场景进行了研究,提出了一种基于BPMN2.0的RPA流程标准化定义,设计了RPA流程建模符号及标签系统。RPA产品可以使用这些符号和标签对RPA流程进行规范性描述。其次,依据RPA标准元素映射为Petri网模块规则,借助Petri网的相关理论知识对工作流模型进行了正确性分析。最后,通过银行系统流水

业务验证了本文所提规范的正确性。

未来将针对信号事件、补偿事件、链接事件、泳道和人工信息元素符号及标签未定义问题展开研究,主要包括:1)增加元素符号定义,完善 RPA 流程标准;2)对流程的逻辑性进行优化。

参 考 文 献

- [1] MENG Y, QIN Y C, CAI Y H, et al. Fast DOM Object Search and Location Algorithm for RPA System[J]. Computer Science, 2022, 49(10): 252-257.
- [2] WANG Y S, QIN Y C, CAI Y H, et al. Design and Implementation of RPA System Based on UIA Interface [J]. Computer Science, 2022, 49(8): 225-229.
- [3] CHINOSI M, TROMBETTA A. BPMN: An introduction to the standard[J]. Computer Standards & Interfaces, 2012, 34(1): 124-134.
- [4] DAI F, ZHAO W Z, YANG Y, et al. Formal Semantics and Analysis of BPMN2. 0 Choreographies. [J]. Journal of Software, 2018, 29(4): 1094-1114.
- [5] IVANČIĆ L, SUŠA VUGEC D, BOSILJ VUKŠIĆ V. Robotic process automation: systematic literature review[C]// International Conference on Business Process Management. Cham: Springer, 2019: 280-295.
- [6] LIU Z, ZHANG R, LIU J C, et al. Design and implementation of the college letters and visits document management system based on BPMN2. 0[J]. Electronic Test, 2020(18): 59-61.
- [7] WANG S W, ZHANG H, YAN W, et al. Dynamic energy consumption modeling of main transmission system of CNC machine tools based on BPMN2. 0[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2019(4): 96-104.
- [8] WANG L. Design and implementation of expressway construction project management system based on BPMN[J]. Electronic Design Engineering, 2018, 26(13): 57-60, 65.
- [9] LEI M. Research on the Accounting Information System of Commercial Banks based on BPM theory[J]. Communication of Finance and Accounting, 2019(34): 95-99.
- [10] RADEMAKERS T. Activiti in Action: Executable business processes in BPMN 2. 0[M]. Simon and Schuster, 2012.
- [11] ZHAO Y, ZHAO C, HUANG B, et al. Semantics and Analysis of BPMN2. 0 Process Models. [J]. Computer Science, 2018, 45(S2): 558-563.
- [12] QIAO J L, HUANG X D, YANG Y F, et al. HDFS Data Consistency Modelling and Analysis Based on Colored Petri Net [J]. Journal of Software, 2021, 32(10): 2993-3013.
- [13] HAO Z Y, LU F M. Reverse Unfolding of Petri Nets and its Application in Program Data Race Detection[J]. Journal of Software, 2021, 32(6): 1612-1630.
- [14] VISWANADHAM N, SRINIVASA RAGHAVAN N R. Performance analysis and design of supply chains: a Petri net approach[J]. Journal of the Operational Research Society, 2000, 51(10): 1158-1169.
- [15] ZHANG H, JING X C, XIE W H, et al. Verification Research on Correctness of AADL Model Based on Petri Net[J]. Computer Technology and Development, 2012(9): 91-94.



LAI Qi, born in 1999, postgraduate. Her main research interests include high efficiency computing for big data and artificial intelligence.



CAI Yuhui, born in 1973, associate professor, master. His main research interests include computer network, image processing, artificial intelligence and software engineering.

(责任编辑:喻黎)