

workflow 建模技术综述及其研究趋势

陈广智 潘 嵘 李 磊

(中山大学信息科学与技术学院 广州 510006)

摘 要 随着 workflow 管理系统(业务流程管理系统)的广泛使用, workflow 技术受到了越来越多的重视;与此相应, workflow 建模技术的研究也受到了人们的重视。由于 workflow 模型在 workflow 技术中的核心地位, workflow 建模技术得到了广泛的研究,出现了各种各样的建模技术。分析和讨论 11 种主流的 workflow 建模技术,并按照提出的分类标准对它们进行分类;对其中的某些建模技术,给出了它们核心的图形化的符号,并利用开源工具画出了它们的工作流模型例子。最后给出了 workflow 建模技术的研究热点和研究趋势。

关键词 业务流程,建模技术, workflow 建模, workflow 模型, workflow 管理系统

中图法分类号 TP311 文献标识码 A

Survey and Research Trends of Workflow Modeling Techniques

CHEN Guang-zhi PAN Rong LI Lei

(School of Information Science and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract With the comprehensive application of Workflow Management System (Business Process Management System), workflow technologies have drawn a great deal of attentions from researchers and practitioners, meanwhile the research of workflow modeling techniques also gets a more attentions. Since the workflow model plays a core role in workflow technologies, the workflow modeling techniques have been broadly researched, and a variety of modeling techniques are emerged. In the paper, we introduced and discussed 11 mainstream workflow modeling techniques, and classified them according to our classification standard which is proposed in the paper. For some of them, we presented their core graphical symbols and utilized the open source tool to draw the workflow model examples of them. Finally, we summarized some research hotspots and research trends for workflow modeling techniques.

Keywords Business process, Modeling techniques, Workflow modeling, Workflow model, Workflow management system

1 引言

随着计算机技术和通信技术的快速发展,越来越多的企业,尤其是涉及到较多业务流程(Business Processes)的企业,比以前更容易使用 workflow 技术来进行业务流程的优化和整合。对企业来说,采用 workflow 技术能够降低成本、节省时间和提高效率,进而使顾客得到较高的满意度;对研究者来说,采用 workflow 技术能够促进与其他研究者的合作,快速地进行数据处理。因此, workflow 技术的关注度越来越高,关于它的研究也越来越多。

一个 workflow [1] 是一组相互协作的任务(Task)的集合,每个任务用于全部或部分地执行自动化的流程,任务的执行者可以是人、设备或者程序。文献 [2] 将 workflow 定义为:一个业务流程根据预先定义的一组规则,全部或部分地在计算机上自动执行,在执行的过程中文档、信息或者任务从一个参与者转移到另一个参与者,从而促进总体业务目标的实现。上述分别从静态和动态两个方面给出了 workflow 的定义和特征,有

助于我们从不同的侧面深入理解 workflow。

有的文献将企业业务流程建模后所得到的 workflow 模型(Workflow Model)称为过程模型(Process Model)。 workflow 模型是 workflow 的表示方式,在其中定义了每个任务的起止时间,任务间执行的先后顺序和循环、判断条件,以及资源约束条件。这里的资源是指 workflow 系统中负责执行某个任务的人、机器(设备)、程序,甚至可能是某个组织单元。资源约束指的是任务与资源之间的对应关系,它由建模人员根据企业组织的实际流程情况刻画出来,或者经过流程优化后得到。任务间执行的先后顺序及循环、分支判断条件也称为任务间依赖。文献 [2] 将任务间依赖分为: AND-Split, AND-Join, OR-Split 和 OR-Join 等。 workflow 模型是整个 workflow 系统的核心和灵魂。

workflow 建模的第一步是获取业务流程信息。业务分析人员首先做出一个如何获取业务流程信息、如何执行的计划,然后执行该计划。尽管存在许多不同的获取业务流程的方法,但直接访问企业的领域专家仍不失为一种有效的方法,也就

本文受国家自然科学基金(61300095)资助。

陈广智(1981—),男,博士生,主要研究领域为 workflow 建模、类比推理等, E-mail: chgzhi@mail2.sysu.edu.cn; 潘 嵘(1976—),男,博士,副教授,主要研究领域为数据挖掘、机器学习等; 李 磊(1951—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机软件、数据库与知识库等。

是说直接询问经理人员和一线的员工,获取相应的领域知识,分析他们处在流程中的哪一点,然后将这些流程整合、优化、联系起来。业务分析人员也要注意资源的角色及其对应的权限分配。某些流程可能是隐藏在企业的更大的流程中,需要分析人员身临其境地参与其中才能将其获取出来。与获取业务流程信息紧密联系的是业务流程再工程(Business Process Re-engineering, BPR)。关于 BPR 的方法、技术和工具的详细讨论,参见文献[3]。另外,Guo 等人[4]开发了一个业务流程抽取工具,其能够从一个电子商务系统中自动发现和抽取出企业的业务流程。

本文的重点不是讨论如何获取业务流程信息,而是在假设已获得这些业务流程信息的情况下,如何描述和表示这些信息,从而得到工作流模型。得到的模型有的可以起到帮助沟通交流的作用,有的直接可以作为工作流引擎的输入语言,促使整个工作流管理系统运转起来。

本文第 2 节在分析相关文献的基础上,给出了一个工作流建模技术的分类标准,根据此分类标准,第 3 节讨论了学术界和工业界经常出现的 11 种建模技术;第 4 节则对第 3 节介绍的各种建模技术做了一个分析对比,指出它们的联系、优势、劣势和应用的广泛程度,最后总结了当前工作流建模技术的研究热点和研究趋势。

2 工作流建模技术分类

业务流程促使企业聚焦于与顾客密切相关的价值链,使企业产出极大化的同时尽可能满足顾客的需要,工作流模型是改善企业产出的核心概念,可以看成是进行工作流系统实施的起点[5]。工作流建模,或者称为业务流程建模(Business Process Modeling),就是将与企业相关的所有业务流程描述出来,一方面有利于业务流程的分析和改进,另一方面有利于工作流技术的运用和工作流管理系统的实施。由于工作流管理系统,或者说流程相关信息系统(Process-aware Information System)的广泛应用以及企业对业务流程建模的重视,使得出现了大量的工作流建模方法和技术,比如 EPC(Event-driven Process Chain), Petri-net 及其变体, BPMN(Business Process Modeling Notation), YAWL(Yet Another Workflow Language), jPDL(jBPM Process Definition Language), BPEL(Business Process Executing Language), XPD(XML Process Definition Language) 等等。

在文献[1,6,7]的分类方法基础上,本文提出以下 3 个对工作流建模技术分类的标准:

· 基于图形符号的,使用便于最终用户理解的图形化的符号建模。EPC 和 Petri-net 就属于这种类型。

· 基于数学的,这类建模技术建立在严格的数学基础之上。它们常常应用于流程分析(Process Analysis)[8]和流程执行(Process execution)[9]上。Petri-net 及其变体属于这种类型,除了它们,我们也将基于逻辑的(Logic-based)、基于事件规则的(Event rule-based)和基于代数规则的(Algebraic-based)建模技术归于这种类型。

· 能被工作流引擎直接执行的,我们将这种建模技术称为工作流语言。利用这种建模技术得到的工作流模型能够被

工作流引擎或相关的执行环境执行,也就是说,工作流引擎能够根据该模型的意图让整个业务流程自动化地运转起来。BPMN 就属于这种类型,它是当前业务流程建模的事实标准并被对象管理组织(OMG, Object Management Group)强调其重要性,但是,它必须首先被转换成其他的过程执行语言,如 BPEL 或 XPD,然后才能被工作流引擎执行,亦即它需要与其他的语言配合使用才能发挥作用。

接下来我们将讨论 11 种工业界和学术界经常出现的建模技术,并根据上面提出的分类标准对它们分类。

3 各种建模技术介绍

3.1 基于图形符号的建模技术

3.1.1 UML AD (Activity Diagram)

UML AD 可以进行业务流程建模[10],可以刻画用例和业务场景的逻辑,能够将业务参与者与业务流程的交互细节描述出来[11]。文献[12]讨论了如何利用 UML AD 来建模 26 种工作流模式(Workflow Pattern)[13]中的 21 种。

2012 年 4 月, UML 2.4.1 被确定为 ISO(International Organization for Standardization)标准,该版本对 AD 进行了细小的调整。

3.1.2 EPC

EPC 是由德国的萨尔兰大学信息系统研究所于 1992 年开发的一个项目,它是一个很直观的图形化业务流程描述语言[5,14]。由于一些产品的推动,例如 SAP R/3 的 ARIS, EPC 已成了一个广泛使用的建模技术。EPC 含有不同类型的图形化符号,有功能(Functions)、事件(Event)和逻辑连接符(Logical Connector)等大类。Aalst[14]指出 EPC 没有良好定义的语法和语义,并且他提出了一种将 EPC 映射到 Petri-net 的方法来解决这些问题。随着上世纪 90 年代 ARIS 工具集的不断演进和变化,基本的 EPC 图形符号也不断扩展用以建模业务流程的方方面面,这样就出现了扩展的 EPC[5]。我们利用建模工具 ARIS Express 2.4¹⁾画了一个 EPC 表示的工作流模型例子,见图 1,每个图形符号的含义参阅文献[5]。

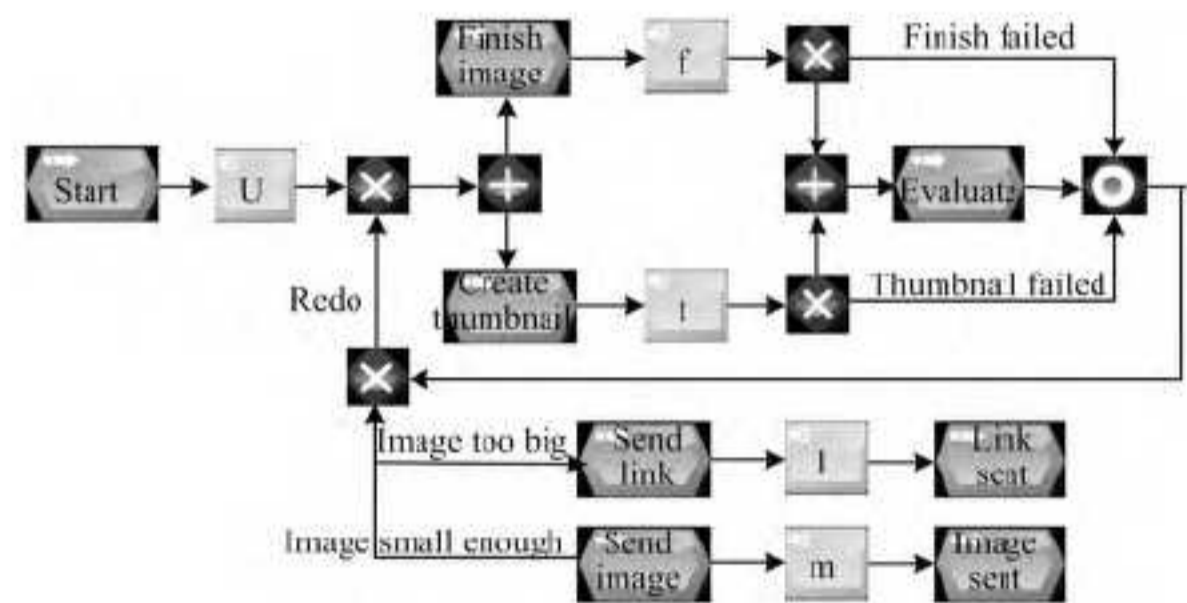


图 1 一个 EPC 表示的工作流模型例子

3.2 基于数学的建模技术

3.2.1 并发事务逻辑(Concurrent Transaction Logic, CTR)

CTR 是对经典谓词逻辑的保守扩充,因为它的证明理论和模型论都被约减为经典逻辑公式,这些公式不会造成状态的转换,仅仅是访问当前的状态[15]。关于事务逻辑(Transaction Logic)各方面详细的介绍,参见文献[16,17]。文献[15,18]采用 CTR 进行工作流的建模、分析和调度。CTR 公式不仅能表示一个工作流的局部和整体性质,而且它的证明理论

¹⁾ <http://www.ariscommunity.com/aris-express>

和语义能帮助进行相关的推理。像其他的逻辑编程系统那样,CTR 的证明理论也是执行工作流的运行时环境^[1]。

3.2.2 过程代数(Process Algebras)

我们可以对过程代数进行扩展,使其用于工作流建模。过程代数虽然在某些情况下用于工作流建模,但其在工作流管理领域的知名度并不高,主要是因为它很不直观且难以理解^[1]。Even 等人^[19]对 LOTOS(Language of Temporal Ordering Specification)进行扩展,使其可以用于工作流建模,而 LOTOS 是建立在过程代数基础之上。

3.2.3 ECA (Event-Condition-Action)规则

顾名思义,一条 ECA 规则由 3 部分组成:事件、条件和动作。当规则中对应的事件发生后,条件就会被评估是否被满足,如果满足,规则中的动作就会执行^[20]。有的工作流管理系统对异常情况的处理就是采用 ECA 规则,即将异常情况的发生、判断和处理方法写成一条条规则,记录在数据库中,当某个事件被激活时,系统根据所记录的规则进行处理^[21]。文献^[22]利用 ECA 规则建模一个工作流管理系统中智能体间的交互和协作。

尽管 ECA 规则可以建模任务间的控制流,但它并不像其他的建模技术那样流行和广泛使用,比如 Petri-net 和 EPC。ECA 的缺点是没有足够的表达能力来描述各种不同的任务间的路由情况,而且,大量的 ECA 规则不易进行处理和验证^[1]。

3.3 基于图形符号的且基于数学的建模技术—Petri-net 及其扩展

Petri-net 在 20 世纪 60 年代就已出现,现在经过扩展产生了带有颜色、时间和结构层次的 Petri-net,从而具有了更强的表达能力^[9]。Petri-net 不仅具有图形化的符号,而且还建立在严格的数学基础之上。Petri-net 及其变体已广泛地应用于工作流建模^[9,23,24]。它是基于状态的,能够直观地将控制流信息展现出来,最适合描述工作流中任务间的局部执行依赖。它不能被工作流引擎直接执行,因此不能称为工作流语言。但是,在某些情况下使用 Petri-net 的理由如下^[9,25]:

- 清晰简洁。能利用较小的 Petri-net 来阐述基本的工作流模式。

- 严格的语义。利用带颜色的 Petri-net (Colored Petri-net, CPN),我们能够形式化 YAWL 和工作流模型。更进一步,使用 CPN 工具,可直接对这些模型进行分析(仿真和进行状态空间扩展)。

- 可进行各种分析。利用 Petri-net 不仅可以进行模型检测,还可以进行线性代数操作,以及马可夫分析、仿真等。

3.4 工作流语言

YAWL、BPMN、jPDL、BPEL 和 XPDL 都是工作流语言,接下来对其加以介绍和讨论。

3.4.1 YAWL

在对现有的工作流管理系统和语言严格分析基础上,并且为了克服 Petri-net 及其他建模技术的缺点,Aalst 和 Hofstede 于 2002 年设计和开发了一个新的工作流语言 YAWL^[26]。尽管受启发于 Petri-net,但 YAWL 却是一种全新的工作流语言,因为它有自己独立的语义。设计和开发 YAWL 的出发点之一是能够直接支持更高级工作流模式的建模^[9]。它能够直接支持对文献^[13]提出的 21 种模式中的

20 种进行建模。在文献^[9]中,Aalst 和 Hofstede 详细介绍和描述了 YAWL,包括它的语法、语义以及可靠性。

YAWL 有以下一些特征:

- 提供了对控制流模式的全方位支持。它在建模控制流依赖方面非常有效。

- 全方位支持建模工作流资源模式(Workflow Resource Pattern)。

- 具有形式化的基础。这使得由 YAWL 建模出的工作流模型无歧义,从而使自动化验证成为可能。

- YAWL 的开发独立于任何商业行为。在开源项目 YAWL 的帮助下,工作流研究者能够进行纯净的、不受任何商业利益驱使的研究。

- 能支持动态工作流(Dynamic Workflow)的建模,从而工作流模型能够随时间不断演化,以满足新的不断变化的需求。

- YAWL 的任务能够映射为人工任务、Web 服务、外部程序或者 Java 类。

图 2 给出了 YAWL 的一些图形化符号,文献^[9,26]中有它们详细的定义。图 3 中给出了一个用 YAWL 语言建模的工作流模型例子,该例子来自文献^[26];该模型由 YAWL 编辑器画出。YAWL 编辑器是 YAWL 系统的一个组成部分,而 YAWL 是一个开源项目。这个例子是说,一个完成中等教育的学生,面临两个选择,要么进入大学完成高等教育,要么进行自学,然后应聘一个工作,开始自己的职业生涯。

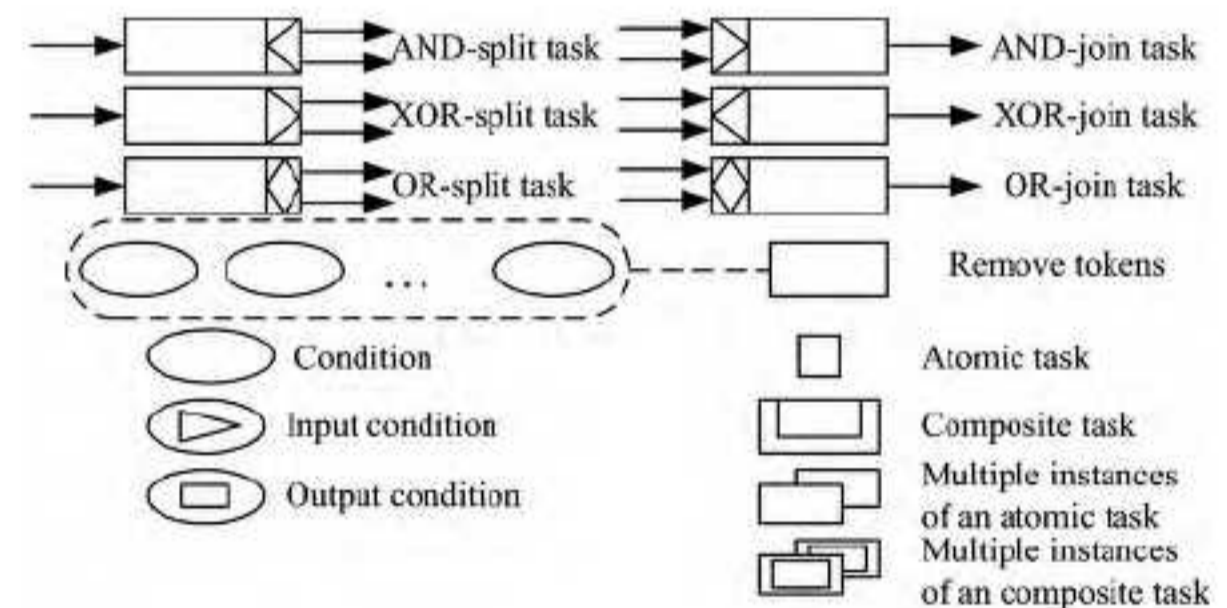
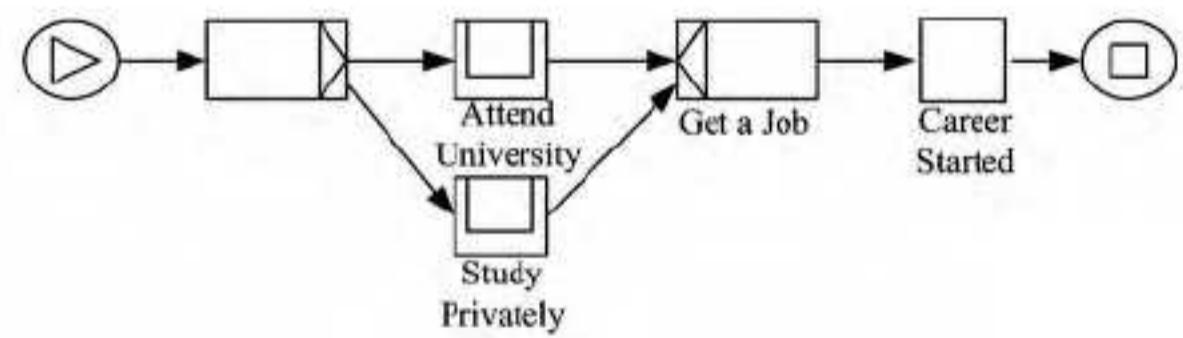
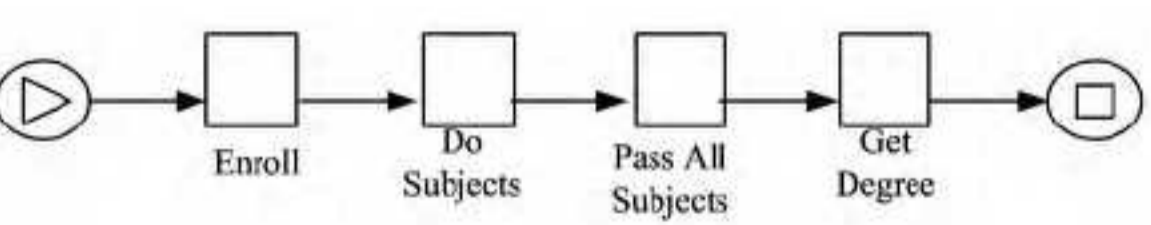


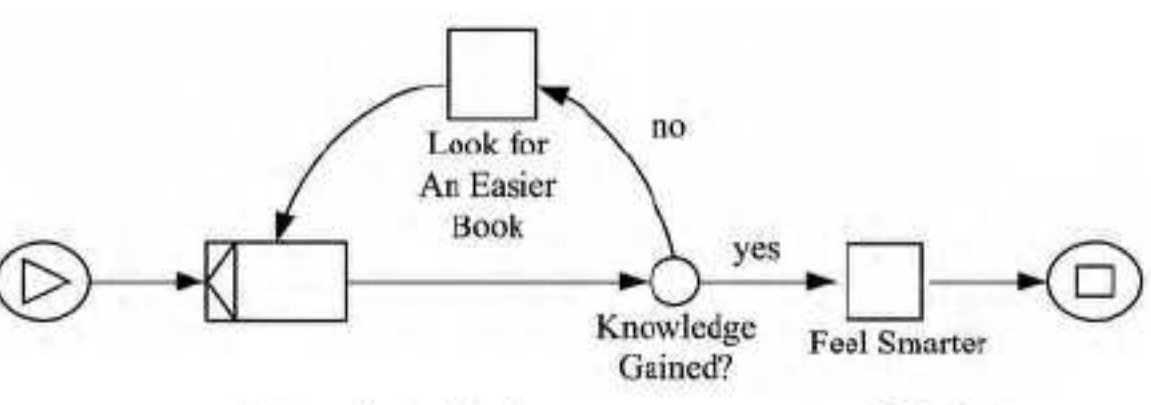
图 2 YAWL 使用的一些图形化符号^[11]



(a) 顶层工作流模型



(b) 子图(a)中复合任务 Attend University 的工作流模型



(c) 子图(a)中复合任务 Study Privately 的工作流模型

图 3 用 YAWL 建模的一个工作流模型例子

3.4.2 BPMN

BPMN 是由业务流程倡议组织 (Business Process Management Initiative) 于 2004 年发布的一种图形化标记建模方法。它的部分图形化标记受 UML AD 启发。随着关于它的研究兴趣的兴起以及越来越多的公司采用它作为建模语言, BPMN 在 2006 年变成了 OMG 标准^[27,28]。结合在 BPMN 以前出现的业务流程标记的合理做法, OMG 设计了新版本的 BPMN, 使其具有易读性、灵活性和可扩展性。

BPMN 以图形化的方式帮助业务相关人员理解企业业务流程的内部机制, 同时也是企业各部门沟通交流的标准格式。它使相关业务人员 (特别是非技术人员) 能够以可视化的方式创建、管理和监控 IT 执行流程。但它的缺点是仅限于进行业务流程建模, 不支持除此之外的其他类型的建模, 比如组织结构图、功能分解图、数据模型图、业务规则模型等。

BPMN 当前的最新版本是 2.0, 其缩写对象也变为 Business Process Model and Notation。BPMN 2.0 标准文档定义了每个图形化符号的含义、业务流程的 XML 序列化, 它可以扩展, 以包括高级的特征。BPMN 2.0 能映射到不止一种平台依赖过程执行语言, 例如, WS-BPEL 2.0。BPMN 包含 5 类基本的图形化符号:

- 流对象 (Flow Objects), 是构建业务流程行为的基本要素。它分为事件 (Events)、活动 (Activities) 和关口 (Gateways)。

- 数据, 刻画业务流程中与数据有关的信息。它分为数据对象 (Data Objects)、数据输入 (Data Inputs)、数据输出 (Data Outputs) 和数据存储 (Data Stores)。

- 连接对象 (Connecting Objects), 提供 4 种不同的方式来连接流对象与流对象、流对象与其他信息, 包括顺序流 (Sequence Flow)、消息流 (Message Flow)、关联 (Association) 和数据关联 (Data Association)。

- 泳道 (Swimlane), 用于对主要的建模元素进行组织和分类, 包括池 (Pool) 和道 (Lane)。

- 器物 (Artifact), 用于提供关于业务流程的额外信息。包括组 (Group) 和文本注释 (Text Annotation), 其中组不影响组内的顺序流对象。

BPMN 支持 3 种基本的过程模型: 流程编制 (Process Orchestration)、编排 (Choreography) 和协作 (Collaborations), 其中流程编制包括私有不可执行的业务流程、私有的可执行的业务流程和公开流程。

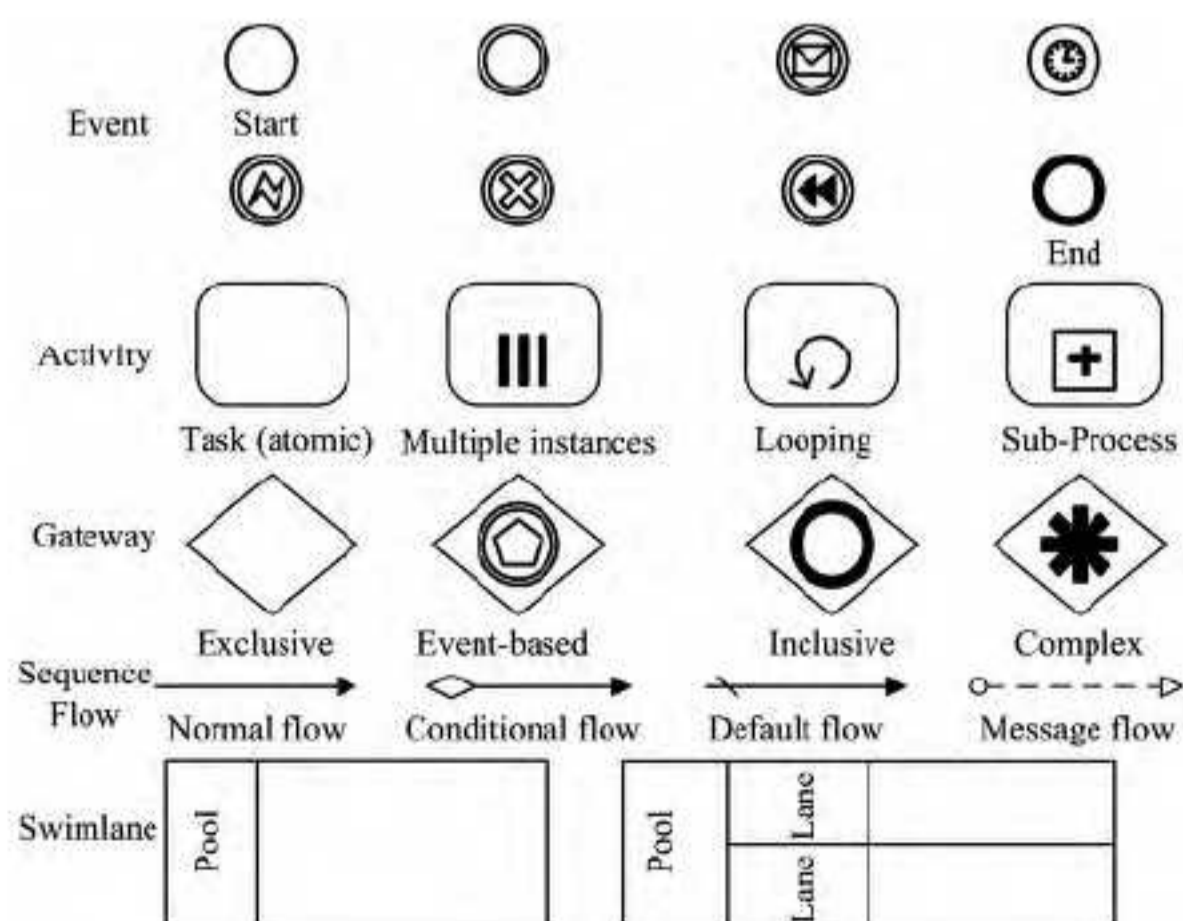


图 4 BPMN 的主要符号

BPMN 2.0 所采用的主要图形符号如图 4 所示, 关于它们的语义参见文献^[29]。产品供应商对 BPMN 的符号可以按符合他们自己要求的方式进行扩展, 例如, 对任务符号使用不同的颜色来表示不同的含义, 使用不同的文本位置, 向图形符号中添加新的标记等等。BPMN 标准允许这样的扩展, 只要不改变相应的图形化符号的形状。

例如, eclipse BPMN modeler 和 ARIS Express 2.4 将开始事件用绿色表示, 而结束事件用红色表示。图 5 是我们利用工具 eclipse BPMN modeler 建模的一个工作流模型例子, 其中使用的是 BPMN 2.0 符号格式。从图中可以看出, 原子任务符号的左上角有一个半身人像, 亦即该产品对 BPMN 2.0 进行它自己风格的扩展。

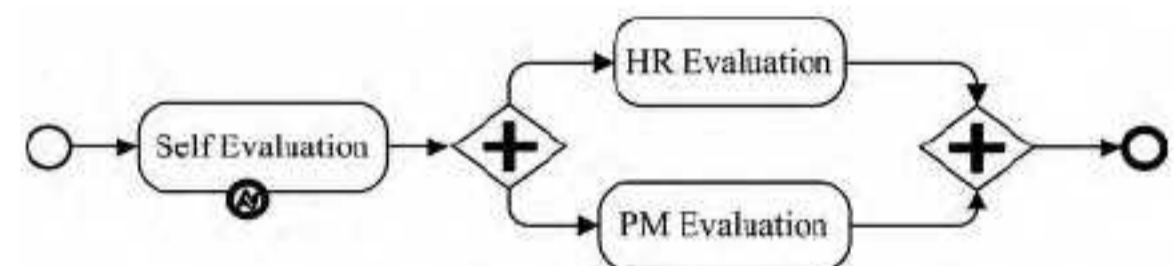


图 5 用 eclipse BPMN modeler 建模的一个工作流模型例子

3.4.3 jPDL

jPDL 是工作流管理系统 jBPM 上使用的工作流语言^[30]。jBPM 提供了一个开源的开发框架、一个工作流的执行环境和一系列改进企业效益的开发实践。

jPDL 需先转换成 XML 格式才能被引擎执行。这种转换工作是通过 IDE (Integrated Development Environment) 工具自动完成的, 例如, 一个 eclipse 插件—jPDL 图形流程编辑器就具有此项功能。jPDL 图形化的建模符号及 IDE 工具的自动转换功能是为方便技术功底不强的业务人员而存在的, 对于技术功底很强的高级用户, 可手工直接写出 XML 格式的工作流模型。jPDL 图形流程编辑器的一个重要特征是它既能支持业务分析人员, 也能支持技术开发人员^[31]。jPDL 的 XML 格式是对业务流程的严格、标准和无歧义表示, 更重要的是, 其他的技术信息可以很容易地添加进去, 以构造具体的运行环境。

jPDL 的图形化符号可分为开始状态、结束状态、状态、分支 (Fork)、合并 (Join) 等等, 一个更完整的图形化符号的分类见图 6。除此之外, jPDL 还包含用于连接模型中不同的节点 (Node) 的过渡符号 (Transition Elements)。这些过渡符号定义了模型中流程的处理方向。

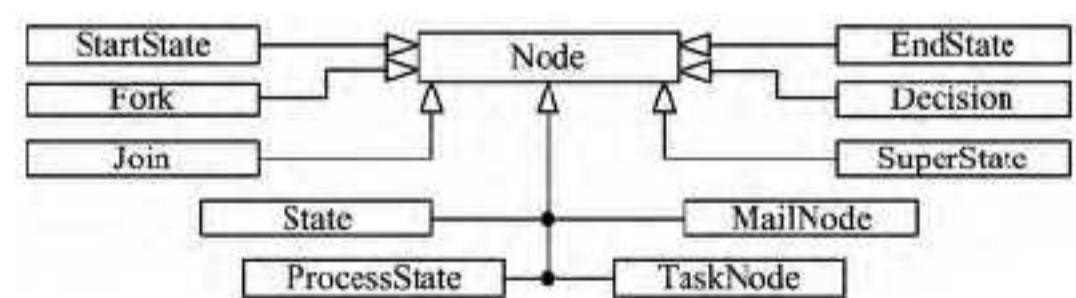


图 6 jPDL 的图形化符号分类

在 jPDL 建模的工作流模型中, 我们可以利用 Java 代码添加个性化的行为, 这些行为称为动作 (action)^[30]。这些动作可以用在当前流程的不同事件或节点中。

3.4.4 BPEL

BPEL 和 XPDL 是两种广泛采用的将 BPMN 模型序列化为 XML 的方案, 下面逐一讨论。

BPEL 是一个基于 XML 的执行语言, 用于编制 Web 服务。它最初由 Microsoft 和 IBM 开发, 现在已成为一个 OASIS 标准。2002 年 BPEL 被提出时的名字为 BPEL4WS (Bus-

Business Process Execution Language for Web Services)。BPEL 的出现归功于一些大公司的努力、Microsoft XLANG、IBM WSFL 以及 BPML 语言^[32]。现在虽然 BPMN 是一个 OMG 标准,但 BPEL 仍然作为一个 OASIS 标准的项目持续发展着,并且它的名字已改为 WS-BPEL(Web Services Business Process Execution Language),以符合 Web 服务标准的命名习惯。

WS-BPEL 是 BPEL4WS 的改进版本,目前它的最新版本是于 2007 年 4 月发布的 WS-BPEL 2.0。WS-BPEL 2.0 规格说明文档^[33]将其定义为一个基于 Web 服务的业务流程编制语言,而不是一个编排语言,因为它允许不同的组织的业务流程以工作流的方式进行沟通合作(可能是异构系统间),所有的这些沟通合作都遵循 Web 服务标准。只不过这些沟通合作仅限于系统间,而不用于人^[30]。WS-BPEL 2.0 方便我们进行企业内部和企业间的流程整合及扩展。

3.4.5 XPD L

XPD L 是由工作流管理联盟(Workflow Management Coalition, WfMC)开发和发布、用于定义工作流和业务流程的语言。它是 WfMC 管理下的一个标准。它提供了流程定义元数据模型(Meta-data Model),在其中定义了流程中常用的实体,利用该元数据模型不同产品商的工作流管理工具所定义的工作流模型通过公共交换格式能够相互转换^[34]。XPD L 有利于不同工作流管理系统间的工作流模型转换,对业务流程的图形化表示和 XML 的表示都可以进行这样的转换。

XPD L 的当前最新版本是于 2012 年 8 月发布的 XPD L 2.2。它不仅能兼容以前的版本,而且能支持 BPMN 2.0。一个工作流模型的 XPD L 表示是以 XML 文件格式存在,方便了不同工具间的流程定义的交换,而它的 BPMN 表示方便了业务人员和技术人员之间的沟通交流。与 BPEL 类似,XPD L 和 BPMN 在工作流建模中扮演不同的角色。

综合以上关于各种工作流建模技术的讨论,我们根据第 2 节的分类标准对它们分类,并将与它们对应的典型参考文献列举出来,如表 1 所列。

表 1 工作流建模技术及其分类

序号	建模技术	分类	参考文献
1	UML AD	基于图形符号的	[10-12]
2	EPC	基于图形符号的	[5,14]
3	Petri-net & its dialects	基于图形符号的,基于数学的	[35-37]
4	CTR	基于数学的	[15,18]
5	Process algebras	基于数学的	[19]
6	ECA rules	基于数学的	[22]
7	YAWL	基于图形符号的,基于数学的,工作流语言	[9]
8	BPMN	同上	[27,28]
9	jPDL	基于图形符号的,工作流语言	[30]
10	BPEL	工作流语言	[33]
11	XPD L	同上	[34]

4 以上建模技术对比分析

工作流建模技术无非具有 3 种不同的应用:纯描述、仿真和执行。以图形化的方式来描述工作流模型不仅直观、易于理解,而且方便人们对模型的检查,比如名字的检查、同义词检查、无限循环的检查、终止条件的检查等等。所以一般用户和领域专家都倾向于使用图形化的建模语言。业务流程专家

和开发者更关注于流程模型的执行。将图形化表示的模型转换成机器能够识别的模型的目的有两种:共享和执行。BPMN 能满足这两种目的。BPMN 本身就是一个非常好的用于描述目的的语言,方便直观;BPMN 与 XPD L 结合起来可以实现流程的仿真效果,就执行来说,WS-BPEL 可以作为将 BPMN 转化为执行语言的选择。由于 BPMN 具有丰富的图形化符号,它的部分符号没有对应的 WS-BPEL 表示。与此情况不同,XPD L 设计出来的初衷是用于流程定义的交换的,不仅针对流程定义中的图形元素,而且也针对语义。XPD L 是当前交换 BPMN 模型的最好的文件格式之一,它是专门被设计用来存储 BPMN 的各种元素。XPD L 广泛地用于交换 BPMN 模型。BPMN 2.0 出现后,XPD L 地位发生了变化,现在主要用于检测 BPMN 模型的正确性和仿真。由于 BPMN 2.0 版本本身也包含一个 XML 串行化规范,使得 BPMN 2.0 成为相对独立的工作流语言。但是 BPMN 1.0 规范没有对图形元素进行精确的语义定义,使得无法对模型的行为正确性进行验证。

Petri-net 主要用于分析流程,也可用于分析其它建模技术的操作语义。比如以 Petri-net 为工具分析 UML AD、EPC 和 YAWL 的操作语义。实际建模中直接用 Petri-net 有一些困难,它没有数据的概念,导致建模出来的模型非常庞大,同时它没有层次结构的概念,不支持模型的嵌套定义。不过这些缺点都被 CPN 克服了。UML AD 虽然也能直观地表示业务流程,但是它并不易被商务人士使用,且需要软件工程背景。

EPC 主要用于项目内的建模,帮助相关人员进行流程的分析和改进。EPC、BPMN 没有建立在形式化的元模型(meta-model)基础之上,而 UML AD 具有形式化的元模型基础。YAWL 语言的语义建立在 Petri-net 基础之上,所以它具有严格的语义定义。YAWL 既是图形化的建模技术,同时又具有严格的数学基础;相比之下,UML AD 和 EPC 仅仅是图形化的建模方式,缺少严格的语义定义,但它们的语义可用 Petri-net 为工具进行分析和定义。YAWL 仅仅是一个研究的原型系统,虽然它直接支持的工作流模式比 XPD L、高级 Petri-net 要多,但它的实际应用效果还需要进一步验证。

相比较基于图形符号的建模技术,ECA 能够描述更多的工作流模式,但它没有基于图形符号的建模技术使用得广泛。BPMN 的表达能力弱于过程代数。ECA、过程代数和 CTR 都没有基于图形符号的建模技术使用得广泛。基于图形化的建模技术较多地用在商业工作流管理系统中,而 CTR、过程代数和 Petri-net 较多地用在学术研究中。

基于图形符号的建模技术缺乏对全局业务规则的建模能力,而过程代数和 CTR 等则能很容易地通过逻辑公式建模出这类知识。

jPDL 受到开源项目 jBPM 的支持,但它不如 BPMN 那样流行。与 YAWL 和 BPMN 类似,jPDL 不仅有图形化符号,而且还有与图形化符号对应的用 XML 表示的清晰的语义。

5 研究热点和研究趋势

本节我们总结了工作流建模技术的研究热点和研究趋势,讨论如下。

5.1 研究热点

5.1.1 比较不同建模技术的建模能力

由 Aalst 等人所倡导的工作流模式的研究^[13,25], 提供了比较不同工作流建模技术建模能力的形式化方法。这方面的研究在学术界和工业界都有很大的影响。在工作流模式的帮助下, 我们可以评判不同工作流产品的建模能力, 进而帮助我们选择和购买合适的工作流管理系统产品。自关于工作流模式的经典文献^[13]出现后, 许多学者开始关注并着手进行比较不同建模技术建模能力的研究, 探讨某种建模技术能够支持多少种工作流模式、支持的都有哪些工作流模式, 等等。

最初的工作流模式是关于控制流的, 后来又扩展出工作流资源模式、工作流数据模式(Workflow data patterns)和异常处理模式, 使利用其分析比较建模技术的能力得到增强。

Zapletal M. 等人^[38]利用工作流模式评估了 Windows 工作流的建模能力及其局限性, 并将它与 BPEL、jBDL 做了对比。Windows Workflow Foundation(WF)是 .NET 框架的一部分, 利用它可以创建工作流。由 WF 创建的工作流称为 Windows 工作流。Peng L. 等人^[39]分析了工作流管理系统 JBoss jBPM 和用在该系统上的工作流语言 jPDL 的特点, 并且评估了 jPDL 的表达力, 对于该语言不直接支持的工作流模式, 作者使用 Java 代码编写的脚本或动作(Action)、动作处理器(ActionHandler)来实现。文献^[40]采用了一种更加直接的方法来分析建模技术的表达力和被人们理解的难易程度, 也就是说, 将业务流程事先用不同的建模技术描述出来, 比如图形化的 BPMN 描述和文本化的描述, 然后将它们分发给一所大学里的一组学生, 最后测试这些学生对业务流程的理解理解力, 由此来判断每种建模技术的表达力和易理解力。

5.1.2 扩展建模技术使其具有更强的表达力和更强的适应性

在这方面的研究中, 一些学者对建模技术进行扩展, 使其不仅能够建模控制流间的依赖关系, 也能够表达出与工作流相关的时间约束和控制约束; 还有学者设计出更加人性化的图形化标记符号来改进现有的图形化建模语言, 以使它们具有更强的易用性和适应性。

Wang J. 提出了一种建模方法, 它能够将任务的执行时间考虑进去以支持急救响应时间线分析^[41]。Wang H. 等人提出了一种针对时间工作流建模的形式化图方法(Formal Diagrammatic Approach)^[42], 该方法扩展了建立在分类理论(Category Theory)和图转换基础上的图谓词框架(Diagram Predicate Framework), 采用谓词 delay 和 duration 再加上关于时间的转换规则来建模时间信息。Senkul P. 等人^[18]提出了一种能够支持资源分配约束的建模技术, 该方法将 CTR 和约束的逻辑编程(Constraint logic programming)结合在一起。

Muehlen M. 等人^[43]使用 Bunge-wand-Weber(BWW)表示理论来比较建模技术的表达能力。他们得出结论, 相对于 BWW 表示模型来说, 没有一种建模技术是完全的, 最好的办法是将不同建模技术结合起来使用。Fernández H. 等人^[11]提出了一类图形化标记符号, 这些符号灵巧、易于学习、易于理解, 并且能够提供关于业务流程的语义信息。他们将这些符号同 BPMN 符号进行了对比。

5.1.3 度量工作流模型间的相似度

比较不同的工作流模型, 并确认它们的异同在一些场合

是非常有用的。当两个部门合并时, 或者当部门需要判断它的工作流模型是否符合企业标准或业界标准时, 就需要进行这样的工作^[44]。

通过度量由 Web 本体语言(Ontology language)建模的工作流模型间的相似度, Ehrig M. 等人^[45]提出了一种自动检测两个模型中同义词和多义词的方法, 用以支持语义流程模型的互联和互操作。文献^[46]利用工作流模型中的语言和行为方面的特征来计算模型间的相似度。而文献^[44]的作者认为比较工作流模型应包含 5 个步骤: 比较任务数量、语法比较、语义比较、任务匹配、比较任务间的转换规则。这些步骤为我们设计新的比较模型提供了一些指导。

5.1.4 利用智能规划技术产生工作流模型

现在 Web 服务已成为实现工作流管理系统, 尤其很少涉及到人工干预的科学工作流管理系统的重要技术。采用这种技术的工作流管理系统, 它的工作流模型就是 Web 服务的组合。就像文献^[47]构造动作模型那样, 我们也可以利用智能规划技术^[48]构造工作流模型。该思想是这样的: 给定一个 Web 服务的集合和一个最终通过服务事项的目标, 将这些服务的组合转换成动作模型, 由动作模型和目标作为输入, 利用规划器规划出一个规划解, 将该规划解反转换成一组 Web 服务的组合, 可将这组 Web 服务组合看成实现该目标的一个工作流模型。

5.2 研究趋势

5.2.1 建模技术向更加智能化的方向发展

这体现在流程辅助建模技术的研究由当初的工作流挖掘、流程检索向流程智能(Business intelligence)的方向推进。流程推荐系统就是流程智能研究的一个代表。它自身拥有一个历史模型库, 利用当前正在建模的不完全模型, 向建模人员推荐出他可能需要的模型列表。建模人员可以直接采用列表中的某个模型, 也可将其稍加变动作为自己最终要建模的模型。推荐系统的推荐算法需要将当前不完全模型与模型库中的模型比较, 这就需要计算模型间的相似度。虽然存在各种各样的相似度计算方法, 但这些方法缺乏一定的智能性, 并不能满足所有的情况, 比如它们没将模型中的迭代结构考虑进去。

5.2.2 建模技术对灵活性的支持更强

当前许多工作流管理系统的做法是, 在模型设计阶段将模型设计得尽可能完全和详细。这种做法虽然能满足绝大部分的应用, 但它有一个致命的局限性, 即不太灵活, 或者说对自适应流程的支持不够。建模技术对灵活性的支持就要求, 将建模阶段不确定的信息后移, 在模型中留空, 模型的运行阶段这些留空的部分能根据运行环境的变化展现出不同流程。这样既能保证对流程控制的支持, 又能保证一定的灵活性, 会给用户带来良好的体验。对灵活性的支持和处理是建模技术研究的一个趋势和难点。

5.2.3 不同技术建模出的模型间的转换

实际中可能需要多种模型间的协调配合才能更加顺畅地促进系统运行, 这就需要不同建模技术建模出的模型间的转换。这种转换必须保持语义等价性。先将 2 个图形化表示的模型转换成各自的 XML 表示, 再利用 XML 格式的转换最终完成模型转换, 这种方法已经很常见了。当前最新颖的转换方法是利用图语法(Graph grammar)。每条图语法实际上就

是 2 个图形化表示的模型间的转换规则,语法的左端是被转换的模型元素,右端是转换成的模型元素。定义图语法首先需要知道待转换的 2 个模型的元模型。这方面的研究还需要更加深入。

5.2.4 将业务规则、权限控制等信息融入到模型中

业务规则是企业运转不可缺少的知识。目前,存在业务规则建模语言、业务规则管理系统等方面的研究,这些研究可方便企业对业务规则的设计和管理。如何在流程模型中融入业务规则信息并用统一的系统来管理和执行这些信息是当前研究的一个趋势。同时,将权限控制信息融入到流程模型中,而不是硬编码到工作流引擎中,使得不同权限的用户执行相应不同类型的任务。

结束语 工作流已变成优化业务流程、提高业务流程执行效率的关键技术。工作流模型是对企业整个业务流程建模后得到的结果,它在工作流技术中处于核心和灵魂的地位。因此,工作流建模技术的研究十分重要和必要。当前存在的多种多样的建模技术就表明了这一点。

本文首先给出了一个工作流建模技术的分类标准,接着依次介绍了当前 11 种主流的建模技术,特别是工作流语言 YAWL 和 BPMN,我们详细介绍了它们的图形化符号,为深入理解它们,我们利用开源工具画出了它们的工作流模型例子,最后我们总结了几个关于工作流建模技术的研究趋势。工作流技术处在不断的研究中,同样,工作流建模技术也处在不断的深入研究中。我们相信学术界和工业界必将对工作流建模技术进行更加深入的研究。

参 考 文 献

- [1] Cicekli N K, Cicekli I. Formalizing the specification and execution of workflows using the event calculus [J]. *Information Sciences*, 2006, 176(15): 2227-2267
- [2] Hollingsworth D. Workflow management coalition the workflow reference model [S/OL]. <http://www.wfmc.org/standards/docs/tc003v11.pdf>, 2012-12-21
- [3] Kettinger W J, Teng J T C. Business process change: A study of methodologies, techniques, and tools [J]. *MIS Quarterly*, 1997, 21(1): 55-80
- [4] Guo J, Foo K, Barbour L, et al. A business process explorer: recovering and visualizing e-commerce business processes [C] // *Proceedings of the International Conference on Software Engineering (ICSE)*. 2008: 871-874
- [5] Scheer A W, Thomas O, Adam O. Process modeling using event-driven process chains [M] // Dumas M, Aalst W M, Hofstede A H. *Process-aware information systems: bridging people and software through process technology*. New York, USA: John Wiley & Sons, 2005: 119-145
- [6] Aguilar-Savén R S. Business process modeling: review and framework [J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 90(2): 129-149
- [7] Vergidis K, Tiwari A, Majeed B. Business process analysis and optimization: beyond reengineering [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 2008, 38(1): 69-82
- [8] Verbeek H, Aalst W, Hofstede Ter A H M. Verifying workflows with cancellation regions and or-joins: an approach based on relaxed soundness and invariants [J]. *The Computer Journal*, 2007, 50(3): 294-314
- [9] Aalst W, Hofstede Ter A H M. YAWL: yet another workflow language [J]. *Information Systems*, 2005, 30(4): 245-275
- [10] Russell N, Aalst W, Hofstede Ter A H M, et al. On the suitability of UML 2.0 activity diagrams for business process modeling [C] // *Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Conference on Conceptual Modeling (APCCM'06)*. Darlinghurst, Australia: Australian Computer Society, Inc., 2006: 95-104
- [11] Fernández H, Palacios-González E, García-Díaz V, et al. SB-PMN—an easier business process modeling notation for business users [J]. *Computer standards & Interfaces*, 2010, 32(1): 18-28
- [12] White S. Process modeling notations and workflow patterns [M] // Fischer L. *Workflow Handbook 2004*. Florida, USA: Future Strategies Inc., 2004: 115-126
- [13] Aalst W M P, Hofstede Ter A H M, Kiepuszewski B, et al. Workflow patterns [J]. *Distributed Parallel Databases*, 2003, 14(1): 5-51
- [14] Aalst W. Formalization and verification of event-driven process chains [J]. *Information and software technology*, 1999, 41(10): 639-650
- [15] Davulcu H, Kifer M, Ramakrishnan C R, et al. Logic based modeling and analysis of workflows [C] // *Proceedings of the 17th ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART symposium on Principles of Database Systems*. 1998: 25-33
- [16] Bonner A J, Kifer M. An overview of transaction logic [J]. *Theoretical Computer Science*, 1994, 133(2): 205-265
- [17] Maher M. Concurrency and Communication in Transaction Logic [C] // *Proceedings of the 1996 Joint International Conference and Symposium on Logic Programming*. 1996: 142-156
- [18] Senkul P, Kifer M, Toroslu I H. A logical framework for scheduling workflows under resource allocation constraints [C] // *Proceedings of the International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*. 2002: 694-705
- [19] Even S J, Faase F J, By R A. Language features for cooperation in an object-oriented database environment [J]. *International Journal of Cooperative Information Systems*, 1996, 5(4): 469-500
- [20] Dayal U, Hsu M, Ladin R. Organizing long-running activities with triggers and transactions [C] // *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*. 1990: 204-214
- [21] 范玉顺, 吴澄. 工作流管理技术研究及产品现状及发展趋势 [J]. *计算机集成制造系统*, 2000, 6(1): 1-7
- [22] Bussler C, Jablonski S. Implementing agent coordination for workflow management systems using active database systems [C] // *Proceedings of the 4th International Workshop on Research Issues in Data Engineering and Active Database Systems*. 1994: 53-59
- [23] Aalst Van Der W, Hee V K. *Workflow Management: Models, Methods, and Systems* [M]. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2004
- [24] Esparza J, Leucker M, Schlund M. Learning workflow Petri-nets [C] // *Proceedings of the 31th International Conference on Applications and Theory of Petri-nets*. 2010: 206-225

(下转第 23 页)

- [34] Fellows M. Blow-ups, win/win's and crown rules: some new directions in FPT [C] // LNCS 2880. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 1-12
- [35] Chlebik M, Chlebikova J. Crown reductions for the Minimum Weighted Vertex cover problem [J]. Electronic Colloquium on Computational Complexity, 2004, 101
- [36] Mathieson L, Prieto E, Shaw P. Packing edge disjoint triangles: A parameterized view [C] // LNCS 3162. 2004: 127-137
- [37] Ning D. Parameterized algorithm for the matching and packing problem [D]. Changsha: Central South University, 2007
- [38] Reed B, Smith K, Vetta A. Finding odd cycle transversals [C] // Operation. Research. Letter, 2004, 32(4): 299-301
- [39] 王建新, 江国红, 李文军, 等. 反馈集问题的研究进展 [J]. Computer Science, 2011, 38(1)
- [40] Guo Jiong, Gramm J, Huffner F, et al. Improved fixed parameter algorithms for two feedback set problems [C] // LNCS 3608, WADS 2005. Berlin: Springer, 2005: 158-168
- [41] Dehne F, Fellows M, Langston M, et al. An fast fpt algorithm for the undirected feedback vertex set problem [J]. Theory Computer System, 2007, 41(3): 479-492
- [42] Liu Y, Lu S, Chen J, et al. Greedy localization and color-coding: improved matching and packing algorithms [C] // Bodlaender H L, Langston M A. eds. Proc. of the 2nd International Workshop on Parameterized and Exact Computation. Berlin: Springer-Verlag, 2006: 84-95
- [43] 冯启龙. packing 和 matching 问题的参数算法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2010
- [44] Alon N, Yuster R, Zwick U. Color-coding [J]. Journal of the ACM, 1995, 42: 844-856
- [45] 王建新, 陈志彪, 陈建二. 最长路径问题研究进展 [J]. 计算机科学, 2009, 36(12)
- [46] Robertson N, Seymour P D. Graph Minors. II. Algorithmic Aspects of Tree-width [J]. Journal of algorithms, 1986, 7(3): 309-322
- [47] 高文字, 李邵华. 图的树分解及其算法应用研究进展. 计算机科学, 2012, 39(3)
- [48] Lu J H, Ling T B, Bao Z F, et al. Extended XML tree matching: theories and algorithms [J]. IEEE Trans on knowledge and data engineering, 2011, 23(3): 402-416
-
- (上接第 17 页)
- [25] Aalst W, Hofstede Ter A H M. Workflow patterns put into context [J]. Software System Model, 2012, 11(3): 319-323
- [26] The YAWL Foundation. YAWL-User Manual Version 2. 3 [R]. 2012
- [27] White S, Miers D. BPMN Modeling and Reference Guide: Understanding and Using BPMN [M]. Lighthouse Point, FL, USA: Future Strategies, 2008
- [28] Chinosi M, Trombetta A. BPMN: an introduction to the standard [J]. Computer Standards & Interfaces, 2012, 34(1): 124-134
- [29] OMG. formal/2011-01-03 Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2. 0 [S]. Needham, MA, USA: Object Management Group, 2011
- [30] Salatino M. jBPM Developer Guide [M]. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2009
- [31] JBoss jBPM jPDL 3. 2 [OL]. <http://docs.jboss.com/jbpm/v3/user-guide/>, 2012
- [32] Chinosi M. Representing business processes: conceptual model and design methodology [D]. Varese, Italy: University of Insubria, 2009
- [33] OASIS. Web services business process execution language [OL]. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>, 2007
- [34] WfMC. WfMC-TC-1025 Process Definition Interface--XML Process definition Language Version 2. 2 [S]. Workflow Management Coalition, 2012
- [35] Murata T. Petri nets: Properties, analysis and applications [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580
- [36] Xiong P, Fan Y, Zhou M. A petri net approach to analysis and composition of web services [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 2010, 40(2): 376-387
- [37] Li Z W, Hu H S, Wang A R. Design of liveness-enforcing supervisors for flexible manufacturing systems using petri nets [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2007, 37(4): 517-526
- [38] Zapletal M, van der Aalst W, Russell N, et al. An analysis of Windows workflow's control-flow expressiveness [C] // Proceedings of the 2009 7th IEEE European Conference on Web Services. 2009: 200-209
- [39] Peng L, Zhou B. Research on workflow patterns based on jBPM and jPDL [C] // Proceedings of the Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, 2008. 2008: 838-843
- [40] Ottensooser A, Fekete A, Reijers H A, et al. Making sense of business process descriptions: an experimental comparison of graphical and textual notations [J]. Journal of Systems and Software, 2012, 85(3): 596-606
- [41] Wang J. Emergency healthcare workflow modeling and timeliness analysis [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 2012, 42(6): 1323-1331
- [42] Wang H, Rutle A, MacCaul W. A formal diagrammatic approach to timed workflow modelling [C] // Proceedings of the 6th International Symposium on Theoretical Aspects of Software Engineering. 2012: 167-174
- [43] Muehlen M, Indulska M. Modeling languages for business processes and business rules: a representational analysis [J]. Information Systems, 2010, 35(4): 379-390
- [44] Tka M, Ghannouchi S A. Comparison of business process models as part of BPR projects [J]. Procedia Technology, 2012, 5: 427-436
- [45] Ehrig M, Koschmider A, Oberweis A. Measuring similarity between semantic business process models [C] // Proceedings of the 4th Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling. 2007: 71-80
- [46] Dongen B, Dijkman R, Mendling J. Measuring similarity between business process models [C] // Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Systems Engineering. 2008: 450-464
- [47] Zhuo H H, Yang qiang, Hu D H, et al. Learning complex action models with quantifiers and logical implications [J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(18): 1540-1569
- [48] Nau D, Ghallab M, Traverso P. Automated Planning: Theory & Practice [M]. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2004