

工作流过程模型研究

汤双权,金可音,余青,徐利谋,阳辉
(湖南工业大学 计算机与通信学院,湖南 株洲 412008)

摘 要:工作流过程模型是 workflow 管理系统的基础,对工作流过程模型的研究对于提高我国企业的信息化程度、运行效率以及竞争能力都有重要的意义。文中介绍了工作流过程模型,主要包括 WfMC 定义的工作流元模型、工作流过程模型的实质、工作流过程模型的建模工具。同时分析了目前工作流过程模型中存在的问题以及未来工作流过程模型的发展方向。

关键词:工作流过程模型; workflow 管理系统; 元模型

中图分类号: TP311.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)12-0044-04

An Overview of Workflow Process Models

TANG Shuang-quan, JIN Ke-yin, SHE Qing, XU Li-mou, YANG Hui

(School of Computer Science and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China)

Abstract: Workflow models are essentially computerized process models, laying foundations for WfMS (Workflow Management Systems). The research of workflow process models is very important for enhancing the information degree, the operating efficiency and competition for our enterprise. In this paper, the current situation of research workflow process models is first explained, including the workflow meta-model of WfMC, the essence of workflow process model, the modeling tools of workflow process models. And introduce limitations of current workflow process models along with the development of workflow process models.

Key words: workflow process models; workflow management systems; meta-models

0 引言

工作流技术作为计算机支持的协同工作(Computer Supported Cooperative Work, CSCW)领域的一项重要应用,在企业过程管理中发挥了重大作用。工作流过程模型(过程定义)是 workflow 管理系统的一个核心问题,描述一个特定业务的工作流程,这种描述必须符合一定的规范和规则。随着经济的全球化和竞争的加剧,企业的管理模式和组织结构出现了许多新的情况,工作流过程模型的质量直接影响了整个 workflow 管理系统 WfMS(Workflow Management System)的应用范围和对变化的适应能力。研究表明,工作流过程模型是 workflow 管理系统中最重要、也是没有很好解决的重要问题之一。工作流过程模型的好坏直接关系到对实际业务的描述能力、正确性、分析、验证和优化改良等各个方面。

收稿日期:2007-03-15

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(05JJ30122);湖南高校科研项目(04C720)

作者简介:汤双权(1982-),男,湖北孝感人,硕士研究生,研究方向为工作流技术、Web 服务;金可音,教授,研究方向为分布式计算。

1 工作流过程模型的研究现状

1.1 工作流管理联盟(WfMC)定义的元模型

WfMC 提出工作流过程定义元模型是为了实现不同工作流产品之间的互操作,方便与其他应用系统的集成。该元模型是一个基于活动的元模型,图 1 为工作流管理联盟定义的过程定义元模型,在该模型中包含以下几个基本实体。

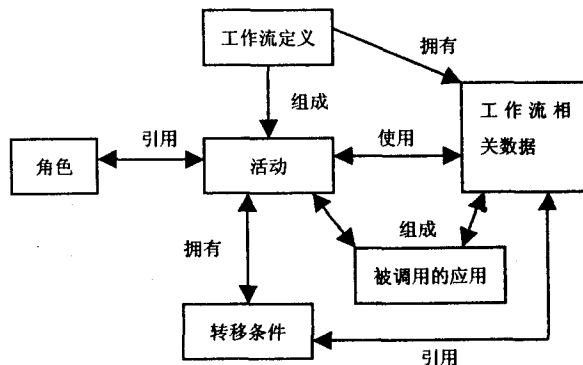


图 1 过程定义元模型

1) 活动。完成工作流的一个逻辑步骤,重要属性包括活动名称、活动类型、前/后活动条件、其他调度约束等。

2)转移条件。从当前活动到下一活动流转或状态转移的规则,主要参数包括过程条件、执行条件、通知条件等。

3)工作流相关数据。被工作流管理系统用作决定一个工作流实例状态转移的数据,重要属性包括数据名称或路径、数据类型等。

4)角色。把参与者与一系列活动相联系的机制,重要属性包括名称、组织实体等。

5)被调应用。应用主要描述用于完成业务过程所采用的工具和手段,重要属性包括类型或名称、执行参数、位置或存取路径等^[1]。

1.2 工作流过程模型的实质

根据工作流管理联盟(Workflow Management Coalition, WfMC)定义,工作流是多个参与者之间按照某种预定义的规则传递文档、信息或任务的过程自动进行,从而实现某个预期的业务目标^[2]。可见 WfMS 的功能是将现实业务过程模型转化成计算机化的形式,并在此基础上完成工作流的运行和管理(其中包含过程模型的仿真和优化)。作为整个管理系统的基础,工作流过程模型的实质是可以在计算机上执行并从中分析其性能优劣的过程模型。工作流过程模型包括一些离散的活动模型、相关的资源、信息和角色描述以及反映上述元素关系的管理规则。对活动及其路由的描述是工作流过程模型的主要内容,因为过程最终都可分解为原子活动、路由等节点。模型能否方便、全面地描述过程,并便于过程的分析优化,依赖于节点的类型和语义。节点语义的丰富性,将直接影响模型的表达能力。从面向对象观点看,过程实例是工作流过程模型类的一个具体对象。工作流在过程实例的执行过程中,工作流引擎将生成有关的活动实例并根据工作流过程模型中的控制规则协调这些活动实例之间的顺序关系,同时根据数据流动关系的定义完成活动实例之间的数据传送。

工作流过程模型描述方法有两种:形式化描述和非形式化描述。非形式化工具采用图形符号表示活动和活动之间的约束关系。这种方法简单直观,在用户建模、浏览时,提供图形用户界面是必要的,大多数工作流产品都支持图形化用户界面描述业务过程。形式化描述采用工作流描述语言,即使用某种语言符号来表示过程模型中的各种元素:活动和业务处理规则。工作流过程模型形式化的描述方式主要有两种:

(1)用类似解释程序的计算机语言描述活动、数据和逻辑关系,这种工作流过程模型描述可以直接被工作流引擎解释执行或被转化为其他形式再执行。

(2)采用面向对象技术分析活动及其逻辑关系,

确定对应的对象属性和方法。通常把活动和关系都视为对象。工作流非形式化模型向形式化模型的转化,可以弥补前者分析能力的不足。两者的结合,是许多工作流过程模型的选择^[3]。

1.3 工作流过程建模工具

工作流建模理论还很不成熟,现有的工作流过程模型主要有:流程图、状态图、活动网络图、IDEF 系列、EPC 模型、有向无环图和条件化有向图、规则和约束模型、事务模型、Petri 网。下面介绍几种典型的工作流过程建模工具,它们分别来自不同的研究项目,在一定程度上代表几个不同的方向。目前比较成熟的可支持过程管理的建模工具主要有:IDEF 系列方法,Petri 网模型,ECA, EPC 等。

基于流程图,与计算机程序流程图使用规则和方法基本相同,有顺序、选择、循环三种结构。基于状态图,用状态反映工作流的运行情况,有四种状态:就绪、运行、阻塞、挂起。基于网络活动图,一个完整的经营过程有一个无自环有向图描述,该有向图用节点和有向弧表示。节点表示任务,有向弧表示控制流和数据流。

IDEF 系列方法^[4],包括功能建模 IDEF0、信息建模 IDEF1/IDEF1X、动态行为建模 IDEF2、过程建模 IDEF3、面向对象建模方法 IDEF4 等。IDEF 族的方法基本上是静态建模,缺少动态的功能,在表达复杂的逻辑关系和非确定的信息方面有所欠缺。

基于事件驱动的过程链模型(Event Driven Process Chain, EPC),简称 EPC 模型^[5],其构件可以描述为:事件、过程、分支和等待。EPC 模型中功能被事件触发,功能也能产生相应的事件,由交替出现的功能和事件彼此连接构成业务过程的控制流,通过逻辑操作符来表达控制流的分支选择、汇合连接和并发等。扩展的事件驱动过程链(Extended Event Process Chain, EEPC)在 EPC 的基础上考虑了与过程模型相关的动态因素,包括事件、过程、流、等待和分支^[6]。EEPC 方法兼顾了模型描述能力与模型易理解性两个方面,适合用于与未受专门训练的普通用户讨论业务过程的场合,Thomas Allweyer 把 EPC 与 UML 结合,用于面向对象的业务过程建模^[7]。

基于有向无环图(Directed Acycline Graph, DAG)^[8]和条件化有向图(Conditional Directed Graph, CDG)的工作流模型^[9]中,节点表示任务活动或逻辑控制,有向弧表示节点间的时序依赖关系。这种基于有向图的模型比较直观,容易理解,许多工作流产品都采用这一类模型。

基于规则或约束的模型。在基于规则或约束的模

型中, workflow 模型的结构和数据流是使用路径规则或约束来表示, 路径常分类成条件、规则或并发。如 Davulcu H. 等人提出了用于 workflow 定义、分析和调度的并发事务逻辑 (Concurrent Transaction Logic, CTR)^[10,11], CTR 模型由控制流图、触发器和时间约束集合组成, CTR 模型在运行中只执行满足时间约束集合的运行路线, 所以支持全局约束, 可以找出冗余的约束。而胡锦涛等在 WfMC 元模型基础上提出了一种基于 ECA(Event Condition Action) 规则和活动分解的 workflow 模型^[12]。ECA 规则反映了活动之间的执行依赖关系, 通过重写办法把 ECA 模型变为触发器形式的模型能很好地支持层次化项目管理。

基于事务的 workflow 模型是在数据库事务模型的基础上提出的, 包括嵌套事务模型、多层事务模型和柔性事务模型等高级事务模型。Amit Sheth 在对这些高级事务模型进行研究的基础上, 提出了事务 workflow (Transactional Workflow) 的概念^[13], 他完全从 workflow 的角度提出了任务的结构化定义以及基于任务间依赖关系的 workflow 定义。而 Joeris 及高军等人提出了面向对象的模型^[14,15], 由参与者、活动和数据组成, 模型包含 workflow 子模型、资源子模型、组织结构子模型、文档子模型等。基于反演型对象知识模型 (Reflective Object Knowledge, ROK)^[16], 将模型分为状态、使能、任务、行为和映射。此外, 还有基于语言-行为的模型^[17]和基于文法的模型, 如通用过程结构文法 GPSG^[18]采用上下文无关方法表示过程模型, 过程实例就是符合此文法规则的一个句子。GPSG 允许根据 workflow 的变化或采取优化措施对定义好的 workflow 过程模型进行修改, 使之与现实过程相符合。

基于 Petri 网的 workflow 模型。Petri 网作为一种图形化、数学化的建模工具, 为描述和研究具有并行、分布式和随机性等特征的复杂系统提供了强有力的手段。Petri 网由表示活动的变迁、活动使能条件的库所和托肯、控制流的有向弧组成, 所以 Petri 网非常适用于 workflow 建模, Aalst 甚至预言: “最终所有的 workflow 管理系统将会基于 Petri 网理论来为过程进行建模。”基于 Petri 网的 workflow 建模型主要有两类: Ellis 和 Nutt 提出了信息控制网 ICN (Information Control Nets) 模型^[19]和 Aalst 定义了 workflow 网 (Workflow Nets)^[20]。基于 Petri 网的 workflow 模型兼顾了严格语言和图形语言两个方面, 拥有丰富的分析技术, 但其模型节点数目众多、模型复杂、缺少时间控制, 为了改进 Petri 网模型的复杂性, 不断有专家对 Petri 网进行扩充, 提出了许多改进的模型, 如着色 Petri 网^[21,22]、时间 Petri 网^[23]等。

2 workflow 过程模型的不足

目前, 关于 workflow 过程模型的研究还很不成熟, 各种研究机构和工作流管理系统的开发机构从不同领域出发, 为了研究不同的问题提出了各种各样的 workflow 过程模型。这些模型有各自的适应领域, 总体上讲大多数 workflow 过程模型在形式化语义、可视化、易修改性和描述的全面性等方面难以均衡, 健壮性和柔性不足。下面对它们进行分类评述:

第一种是正文方式的、有相应语法和语义解释的 workflow 过程模型。它主要用于解决 workflow 产品之间方便地交换 workflow 定义和互操作等问题。它的缺点是过程工程师不容易直接使用。另外, 它的语义解释是非形式化的, 不仅容易产生歧义, 而且也不便于分析和验证。这类模型的典型代表有 WfMC 的 WPD, IBM FlowMark 的 FDL, Meteor2 的 WIL 和 NIST 的 PSL 等。

第二种是用一个特定的图形形式描述 workflow 的流程, workflow 的语义留给领域相关的过程工程师定义和解释, 如: 流程图、状态图、活动网络图等。它们的缺点是它们的表达能力有限、形式化方面欠佳。

第三种是基于语言行为理论 (Speech - Action Theory) 的对话式 workflow 过程模型, 它通过客户方与服务方之间的对话来描写 workflow 流程。它的缺点是对以定制流程成为主要特征的 workflow 管理系统不是很适用。

3 workflow 过程模型的发展

3.1 基于 Web Services 的 workflow 过程模型

Web Services 体系架构基于 XML 及其定义于其上的 SOAP 协议, 使得定义和实现 workflow 变得非常自然而方便。理想的建模方法应该简单, 易于使用, 又有丰富的表达能力, 结构严谨, 不会出现模糊不清或二义性。Web Services 中的 WSFL 规范满足这些条件。WSFL 是一种 XML 语言, 与其它描述业务流程逻辑的方法比起来, 结构清晰、严谨 (由 WSFL schema 保证, 容易实现正确性检查 (有专门的解析器)), 可同时被人和机器理解。过程模型主要由节点、链接弧、条件 3 个元素组成。在 WSFL 中, 定义了丰富的元素和语义结构来对这 3 部分进行描述。文献 [24] 提出将 workflow 过程模型描述的活动规范中包含一个或多个 Web 服务请求, 通过引入 Web 服务和 Web 服务请求的定义和约束, 在活动实例的执行过程中实现 Web 服务请求与最佳 Web 服务提供企业动态的服务绑定和调用。

3.2 基于复合的 workflow 过程建模

基于事件的建模方法是指以各活动之间关系为基

础建立的工作流模型,其优点是用户界面友好,易于理解,其缺点是模型本身缺少形式化的验证工具,不利于模型分析。基于 Petri 网的工作流过程模型具有十分清晰与严格的定义,足够丰富的表达能力,完全支持 WfMC 定义的六种工作流原语^[25]。但其缺点在于建模过程比较复杂,要求建模人员具有深厚的 Petri 网理论知识,而实际应用中,建模人员通常往往对业务过程比较了解,而对建模技术却有所不足。基于事件的建模方法与基于 Petri 网的建模方法优缺点具有互补性,两者结合能兼顾用户使用的方便与形式化的语义,这将是以后值得深入研究的内容。

3.3 基于 agent 的工作流过程模型

工作流过程模型的柔性差、适用范围窄、扩展能力不足等导致目前的工作流管理系统在实际应用中缺乏自组织、自学习和协同工作的能力。agent 智能体具有高度的自主性、智能性、协作性、交互性、适应性等特点,因此将 agent 技术结合到工作流过程模型中,将很好地解决上述不足^[26]。文献[27]中研究了角色、agent 和工作流的关系,给出了一种面向角色的工作流多 agent 管理系统模型。XML 和 agent 的结合提供新的建模方法^[28]。

4 总 结

目前,工作流建模技术还是工作流研究领域的一个热点。关于工作流的建模技术的文章有很多,各个工作者从不同领域,为了研究不同问题而提出,然而工作流建模理论相对滞后,影响了工作流过程模型的标准化。总体来看,工作流过程模型在成熟的理论支持下将会向着标准化、柔性化、智能化发展。

参考文献:

- [1] 范玉顺. 工作流管理技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [2] Workflow Management Coalition. The workflow reference model[S]. WfMC-TC00-1003, 1995.
- [3] ZHAO Wei dong, HUANG Li hua, CAI Bin. Workflow Computation Models: An Overview[J]. Systems Enging - theory Methodology Application, 2002,11(3):212-217.
- [4] 陈禹六. IDEF 建模分析与设计方法[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
- [5] Mendling J, Neumann G, Nuttgens M. Towards Workflow Pattern Support of Event-Driven Process Chains (EPC)[C] // Proceedings of the 2nd GI Workshop XML4BPM - XML Interchange Formats for Business Process Management at 11th GI Conference BTW. Karlsruhe, Germany: [s. n.], 2005.
- [6] 李建中,陈良猷. 扩展事件-过程链建模方法(EEPC)及其在过程管理中的应用[J]. 系统工程,2000,18(1):42-48.
- [7] Loos P, Allweyer T. Process Orientation and Object - Orientation: An Approach for Integrating UML and Event - Driven Process Chains[M]. Saarbrücken: University of Saarbrücken, Publication of the Institut für Wirtschaftsinformatik, 1998.
- [8] Orlowska M E. Analyzing process models using grab reduction techniques[J]. Information systems, 2000, 25(2): 117 - 134.
- [9] 谢玉凤,杨光信,史美林. 基于条件化有向图的工作流过程优化[J]. 计算机学报,2001,24(7):729-735.
- [10] Davulcu H, Kifer M, Ramakrishnan C R, et al. Logic based modeling and analysis of workflows[C] // In Proceedings of the ACM Symposium on Principles of Database Systems. Seattle, WA, USA: [s. n.], 1998:25-33.
- [11] Mukherjee S, Davulcu H, Kifer M, et al. Survey of logic based approaches to workflow modeling[C] // In Chomicki J, van der Meyden R, Saake Springer G. Logics for Emerging Applications of Databases, LNCS. [s. l.]: Springer - Verlag, 2003.
- [12] 胡锦敏,张申生. 基于 ECA 规则和活动分解的工作流模型[J]. 软件学报,2002,13(4):761-767.
- [13] Rusinkiewicz M, Sheth A. Specification and execution of transactional workflows[J]. In Kim W. Modern Database Systems. Reading, MA, USA: Addison - Wesley, 1995.
- [14] 高 军,王海洋. 基于对象模型工作流的失败处理与失败恢复[J]. 软件学报,2001,12(5):776-782.
- [15] Joeris G, Herzog O. Managing evolving workflow specifications[C] // Proceedings of the 3rd IFCIS International Conference on Cooperative Information Systems. New York, USA: IEEE Computer Society, 1998:210-321.
- [16] Edmond D, ter Hofstede A H M. A reflective infrastructure for workflow adaptability[J]. In Data & Knowledge Engineering, 2000,34(3):271-304.
- [17] Medina - Mora R, Winograd T, Flores R, et al. The action workflow approach to workflow management technology[C] // 4th Conference on Computer Supported Cooperative Work. New York, NY, USA: ACM Press, 1992:281-288.
- [18] Glance N S, Pagani D S, Pareschi R. Generalized process structure grammars (GPSG) for flexible representations of work[C] // In: Proc Computer Supported Cooperative Work. Boston: [s. n.], 1996:180-189.
- [19] Ellis C, Nutt G J. Modeling and enactment of workflow system[C] // In: proceedings of the 14th International conference on application and theory of Petri nets. Chicago: [s. n.], 1993:1-16.
- [20] Verbeek H M W, Basten T, Van der Aalst W M P. Diagnosing Workflow Processes Using Woflan[J]. The Computer Journal, 2001,44(4):246-279.

负责实现。

对主动复制算法和 RRR 算法进行了性能对比测试。测试在由若干台相同配置的主机组成的局域网上进行。主机配置为 Intel Pentium4 2.0GHz 主频、512M 内存、安装了 Windows 2000 操作系统以及 StarWeb-Services2.0 修改版。

首先测试了在服务冗余度为 3 且无失效的情况下,两个算法的平均请求响应时间随请求频度变化的变化情况。测试结果如图 5 所示。从图中可以看出,随着请求频度的增加,每种算法的请求响应时间都相应变长,但 RRR 算法比主动复制算法有更短的响应时间,这和上面的理论分析结果是一致的。

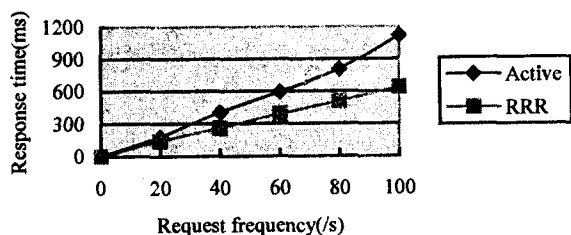


图 5 响应时间随请求频率变化的曲线

对在请求频率为 20/s 且无失效的情况下,各个算法的平均请求响应时间随服务组规模变化的情况进行了测试。测试结果是,随着服务组规模的增加,主动复制算法平均请求响应时间的增加幅度比 RRR 算法大很多。这是因为 RRR 算法总是由处理速度最快的服务返回应答,不需要等待其它成员结束执行请求并对结果做协调后才返回应答。

最后对算法在失效情况下的性能进行了测试,结果表明 RRR 算法的平均请求响应时间几乎不随组成成员失效个数的变化而变化。

4 结束语

介绍了一种基于主动复制的复制算法 RRR。它根据服务的负载情况动态改变执行请求副本数的大

小,请求结果只由处理速度最快的副本返回,在不浪费系统资源的情况下,保证了最短的请求响应时间。理论分析和实验表明,RRR 算法提供较快的请求响应时间。

参考文献:

- [1] Flavin C. Understanding fault-tolerant distributed systems [J]. Comm. of ACM, 1991(2): 57-58.
- [2] Addison W. Distributed Systems [M]. New York: ACM Press, 1993: 169-197, 199-216.
- [3] Chandy M, Lamport L. Distributed snapshots: Determining global states of distributed systems [J]. ACM Transactions on Computing Systems, 1985(1): 63-75.
- [4] Kenichi H, Tomoya E. Nested Invocation Protocol for Object-based Systems [C] // Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing. Japan: [s. n.], 2003.
- [5] Web Services Architecture [EB/OL]. 2003. <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>.
- [6] Powell D. Delta4: a generic architecture for dependable distributed computing [M]. New York: Springer Verlag, 1991.
- [7] Baldoni R, Marchetti C, Tucci Piergiovanni S. Asynchronous Active Replication in Three-tier Distributed Systems [C] // Proceedings of the 2002 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing. Japan: [s. n.], 2002.
- [8] Chandra T, Toueg S. Unreliable Failure Detectors for Reliable Distributed Systems [J]. Journal of the ACM, 1996, 43(2): 225-267.
- [9] Ganesha B, Anish K, Anil G. Fault tolerant objects in distributed systems using hot replication [R]. Technical Report TR-95-023, Department of Computer Science, Texas AM University, 1996: 89-95.
- [10] StarWebServices2.0 [EB/OL]. 2004. <http://www.starmiddleware.net/ws>.
- [11] SOAP1.2 [EB/OL]. 2003. <http://www.w3.org/TR/soap12>.

(上接第 47 页)

- [21] Liu Dongsheng, Wang Jianmin, Chan S C F, et al. Modeling workflow processes with colored Petri nets [J]. Computers in Industry, 2002, 49: 267-281.
- [22] 陈翔, 夏国平. 基于着色 Petri 网的工作流建模和合理性分析 [J]. 计算机集成制造系统 - CIMS, 2004, 10(4): 381-387.
- [23] 李炜, 曾广周, 王晓琳. 一种基于时间 Petri 网的工作流模型 [J]. 软件学报, 2002, 13(8): 1666-1671.
- [24] 周丹晨, 殷国富. 基于 Web 服务面向虚拟企业的柔性工作流管理技术研究 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(4): 427-433.
- [25] Workflow Management Coalition. Workflow Process Definition Interface - XML Process Definition Language Version 1.0 [S]. WfMC - TC1025, 2002.
- [26] 邢建川, 李志蜀, 陈黎. 基于多 Agent 的企业过程建模和仿真技术研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(z1): 242-244.
- [27] 赵卫东, 黄丽华. 面向角色的多 agent 工作流模型研究 [J]. 管理科学学报, 2004, 7(2): 55-61.
- [28] 钟凌燕, 高济. 基于 XML 和 Agent 联邦的工作流建模方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(3): 355-361.