

基于 P-PROCE 模型的工作流仿真研究^{*}

傅 谦 张申生 张晓光

(上海交通大学计算机集成技术开放实验室 上海200030)

Study on Workflow Simulation Based on P-PROCE Model

FU Qian ZHANG Shen-Sheng ZHANG Xiao-Guang

(CIT Laboratory, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, P. R. China)

Abstract Workflow simulation plays an important role in business process reengineering and concurrent engineering. It is a practical approach to analyze and optimize a workflow model. This paper introduces a workflow model driven by ECA rule first. It is based on an integrated multi-view model named P-PROCE reference model. The architecture of workflow simulation environment and workflow evaluating parameter are hot spot in workflow simulation. They are deeply discussed in two sections and related examples are also explained. At last, a conclusion is given and future researches are presented.

Keywords Workflow, Simulation, Evaluation, ECA

1. 引言

workflow 管理技术经过近十年左右的发展,已经日益成熟并且渗透到各个应用领域。企业经营过程重组、并行工程等研究已经把工作流作为一种重要的使能技术来对待。它提供过程建模、模型分析和过程管理的功能。其中与模型分析相关的技术有静态校验和动态仿真。模型验证在图论和 Petri 网理论的基础上,已经进行了相当深入的研究,并开发出相对成熟的产品;而模型仿真却还是一个比较薄弱的环节,其难点主要在于:仿真的性能指标不好确定,仿真的内容较为复杂等^[1]。国内外对此的研究也就是近两三年的事情,在离散事件系统仿真背景下,结合管理科学知识,侧重于两个方面:一是工作仿真性能指标,二是工作仿真机制及体系结构。前者主要是提出性能指标及其相关的分析方法,常用的指标有:完成时间、活动成本和资源利用率等,分析方法有:时间(成本)关键路

径、计划评审技术、ABC 成本分析法等。后者探讨如何建立工作流仿真系统,可归纳为“借鸡生蛋”和“白手起家”两种思路。“借鸡生蛋”就是结合已有的工作流建模工具和商业化的离散系统仿真分析工具(如 WITNESS、SIMAN),通过模型映射,建立新的工作流仿真系统^[2,3];“白手起家”顾名思义就是建立一个完全自主的工作流仿真系统,包括仿真模型、仿真引擎以及分析工具^[4,5]。两者各有利弊,前者虽然省时省力,但是局限于现有系统的能力,模型转换常常采取一些折中的办法,使仿真的可信度打了一定的折扣;后者虽然可以按照实际需求来仿真业务流程,但是常常局限于某些类型的工作流模型或业务领域,通用性非常有限。下文将分别介绍工作流仿真建模、工作流仿真环境的体系结构和工作流的评价指标。

2. 工作流仿真建模

2.1 P-PROCE 参考模型

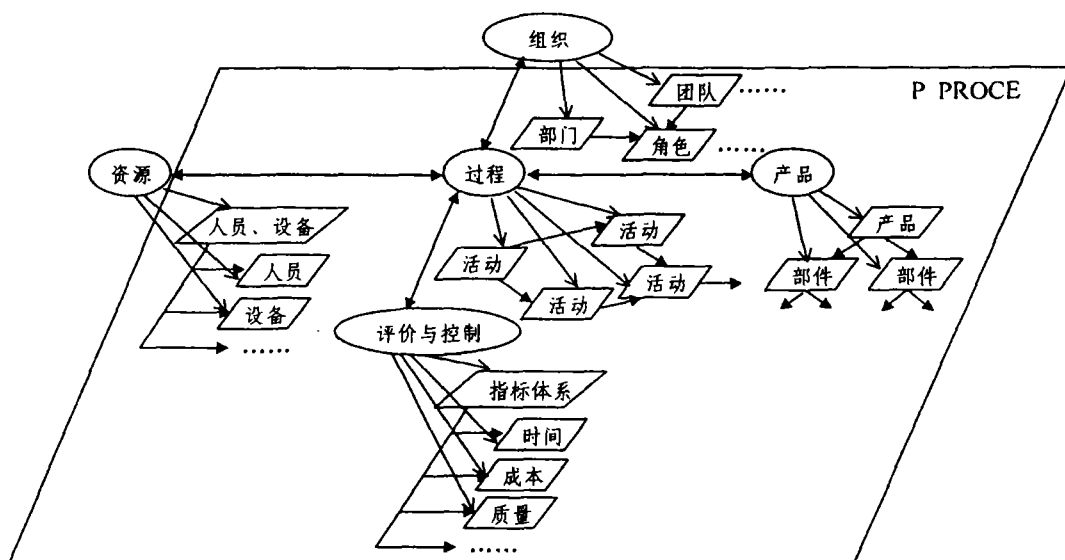


图1 P-PROCE 参考模型

^{*} 本课题得到国家自然科学基金项目“基于软件多代理的工作流管理系统及其相关技术研究”(编号:60073035)资助。傅 谦 博士生,研究方向为并行工程和工作流,张申生 博士生导师,研究方向为敏捷供应链、工作流、并行工程等。张晓光 博士生,研究方向为工作流和软件工程。

在并行工程的研究过程中,为了描述产品开发过程中所涉及的各个要素之间的复杂关系,我们提出了 P-PROCE (Process, Product, Resource, Organizatiution, Control & E-valuation)参考模型^[6],如图1所示。事实上,它已经成为我们 workflow 建模的理论基础。P-PROCE 模型是一个集成化的多视图模型,它以产品开发过程为核心,对产品、资源和组织进行综合评价和控制,并以评价和控制的结果指导产品开发过程的重组,达到产品开发过程的优化运行和管理。后来随着研究领域的扩展,该模型也进行了相应的扩充。如在软件工程领

域,我们已经用它来对软件开发过程进行了诠释,使其可以继续作为 workflow 管理系统的模型基础,下节介绍的工作流模型就是应用于领域的一个典型例子。

2.2 ECA 规则驱动的工作流模型

目前 workflow 模型的表示方法常用的有网络图、脚本语言、逻辑语言、代数方法和 ECA 规则等。网络图表示形式非常直观,这也是上百种 workflow 产品中的流行方式。ECA 规则中的事件、条件、动作(或活动)集合非常适合流程逻辑的描述。结合这两方面,我们就得到如图2所示的工作流模型。

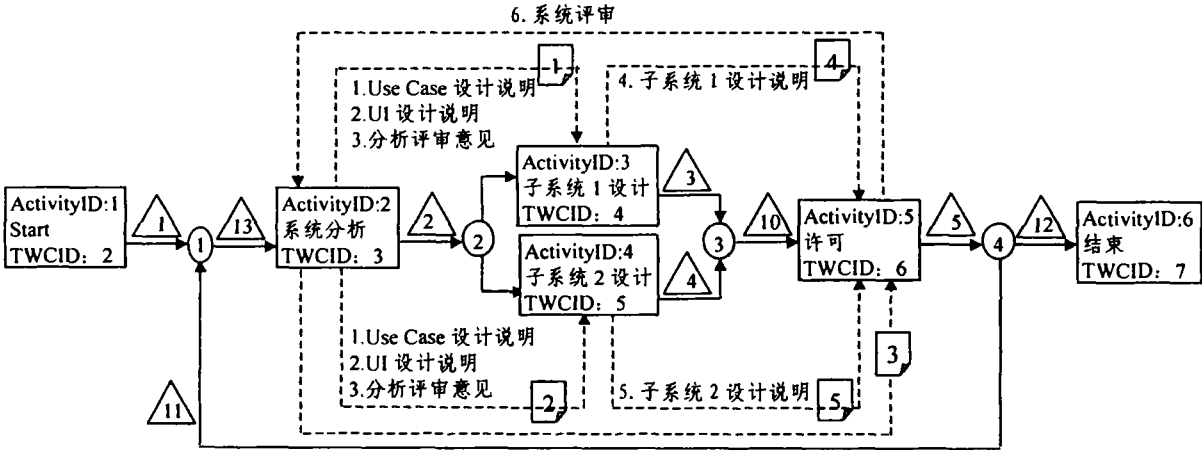


图2 基于 ECA 规则的工作流模型

它依据参考模型所描述的各要素间的关系,建立起一个具体的模型。这是一个简单的软件开发过程的描述,其中包括两类结点和两类关系。两类结点是活动(矩形表示)和规则(圆形表示);两类关系是控制流(实线表示)和数据流(虚线表示)。事件(三角形表示)是结点和关系的联系纽带。有阴影的活动是父活动,它还有下层子活动。参考模型中的产品、资源、组织和评价信息均以属性的形式构造于各个活动当中。该模型的特点如下:表示具体行为的活动结点和表示逻辑的规则结点相分离;控制流和数据流相分离。就软件开发过程而言,数据流里主要包括文档和代码对象,我们把其状态(分为 active 和 inactive)也作为一种控制条件,结合常规的活动状态(waiting、ready、running 和 end)来一起控制流程的运行。

3. workflow 仿真环境体系结构

借鉴 Windows DNA 三层结构,workflow 仿真环境的体系结构如图3所示,它分为用户界面层、业务逻辑层和数据库层:

·用户界面层 主要包括仿真环境的设置、仿真动画的显示和仿真报表的生成,这些功能对于一个流程仿真系统来说,是比较基本的。系统的仿真环境设置不仅仅包含仿真参数的定义,还包括仿真策略的选择,这便于从多角度分析流程。就 workflow 仿真而言,既有确定性仿真、也有随机仿真。随机仿真主要是由输入数据的不确定性(如任务到达间隔时间)、流程模型结构的不确定性(分支概率)和流程对象属性的不确定性(如活动执行时间)共同形成的。这些随机分布情况均是仿真参数的定义内容。仿真策略类似于离散系统仿真的调度、分配策略,主要是为了更好地协调任务和资源间的关系。

·业务逻辑层 主要是仿真引擎,它是系统的核心部分。图3中仿真引擎所包含的部件分成两种,一种包含底色,一种无底色(数据库层也有类似表示)。为了解决 workflow 研究中执行引擎和仿真引擎独立开发、“各自为政”的问题,我们使两种

引擎合二为一,从执行逻辑上保证系统的可靠性。无底色的部件是 workflow 执行引擎中所固有的,而有底色的部件是仿真引擎所必须扩充的。也就是说 workflow 执行引擎是基础,仿真引擎是扩展。workflow 仿真也是一种事件安排/时间推进的仿真机制。其中 ECA 规则解释器是关键部件,它主要包括事件控制器、数据流控制器和状态控制器。上一节已经提到,活动的激活是由活动状态和数据流对象状态共同决定的。这两种状态是由事件控制器和数据流控制器改变的,其中事件的发生会影响相应的数据流的变化,同时活动状态的变化也会导致相应事件的产生。workflow 就是在事件和状态的相互作用下推进的。任务表管理器和资源管理器是比较常规的,前者用于生成和处理项目人员的工作列表,后者负责资源的动态调度和分配。至于随机数生成器、仿真时钟、数据采集分析器和动画控制器就更是多数离散事件仿真系统所必备的部件。

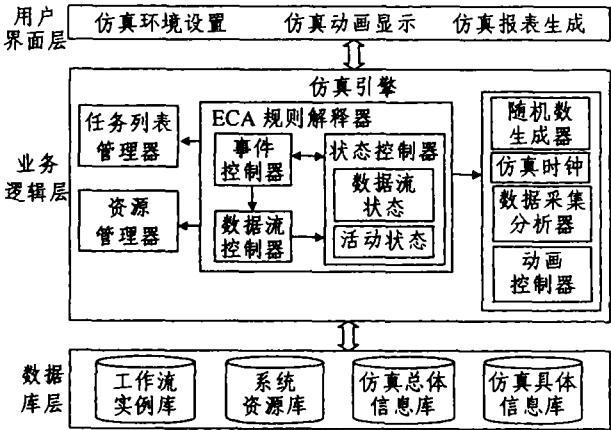


图3 workflow 仿真环境体系结构

·数据库层 主要包括 workflow 实例库、workflow 资源库、仿真总体信息库和仿真具体信息库。同仿真引擎类似,前两个数

数据库是与 workflow 执行引擎所共用的,后两个专为仿真服务。workflow 实例库存放 workflow 模型实例化后的信息。我们把 workflow 模型分为两大类,一类是重复型,另一类是项目型。前者可以作为流程模板反复使用,如订单处理流程,公文审批流程,银行业务流程等,这种模型可多次实例化;后者主要是针对某个项目制定的独特流程,一般重复性较少,如某个新产品的开发流程,某种软件的开发过程等,图2就是一个软件开发过程的例子,这种模型一般就实例化一次。系统资源库存放人员、资源、组织和数据流对象等信息。仿真信息分为总体信息和具体信息,分两个库存放。总体信息包括各次仿真环境的设置内容、某个流程多次仿真后的综合统计信息,这是仿真报表的主要数据来源,图2活动结点中的 TWCID 就是各活动时间、负荷、成本记录的索引号;具体信息包括每次仿真环境设置后,某个流程多次运行的记录,它一般尚未进行统计,仅是原始数据。

图4是一段用 VB 描述的模拟用户与仿真引擎交互的算法。该算法中除仿真时钟 gSimTime 和随机数生成器 RandTime() 是仿真所特有的部件以外,其余函数如 GetTaskList() 和 ProcessEvent() 均已在 workflow 执行引擎中进行了定义。仿真主要就是模拟各项目人员登录系统、提取任务、打开任务和提交任务的过程。利用基于 ECA 规则的 workflow 执行引擎,添加少量仿真部件,并配以合适的仿真策略,就可以完成 workflow 仿真。

```
Do
  For Each lngPersonID In GeneralTeam '依次模拟各项目人员登录系统
    If gSimTime>=StopTime or Process.state="End"Then '如果仿真时钟超过终止时间,或流程状态为
      blnEndConditon=False 'End,则仿真结束
      Exit For
    End If
    GetTaskList(lngPersonID,"Ready") '筛选当前人员的任务,生成工作列表
  For Each lngTaskID In TaskList '依次选取任务
    gSimTime=gSimTime+RandTime() '仿真时钟推进到任务的开始时间
    ProcessEvent (lngCaseType, lngCaseID, lngTaskID, 'Open', lngPersonID,gSimTime) '模拟任务的开始
    gSimTime=gSimTime+RandTime() '仿真时钟推进到任务的完成时间
    ProcessEvent (lngCaseType, lngCaseID, lngTaskID, 'Submit', lngPersonID,gSimTime) '模拟任务的提交
  Next
Next
Loop Until blnEndConditon=False '退出外层循环,仿真结束
```

图4 模拟用户与引擎交互的算法

4. workflow 仿真评价指标

workflow 仿真的主要目的就是定义的流程进行分析和评价。它通过动态运行、结合评价指标体系,分析仿真数据,从而发现问题、改进或优化流程。我们提出的仿真评价指标如表1所示,它也是仿真报表的统计内容。主要是从过程、活动、人员和资源的角度统计时间、成本和负荷等内容。活动的负荷以

表1 workflow 仿真报表统计内容

	时间	成本	负荷	其它
活动	·执行时间 ·最早(最晚、最可能)开始(结束)时间 ·活动执行时间占过程时间的百分比	·总成本 ·人力成本 ·资源成本 ·活动成本占过程成本的百分比	·总负荷 ·活动负荷占过程负荷的百分比	·重复次数 ·各角色人数 ·各资源数量
过程	·执行时间 ·最早(最晚、最可能)开始(结束)时间	·总成本 ·人力成本 ·资源成本	·总负荷	·各角色人数 ·各资源数量
人员	·工作时间 ·利用率	·参与各活动成本 ·参与过程成本		·参与活动总数
资源	·工作时间 ·利用率	·参与各活动成本 ·参与过程成本		·参与活动总数

人·小时(或人·天)为单位,活动的时间和成本均与负荷的大小有关。

仿真结果主要以报表和图形两种方式显示,图形分曲线图和直方图。图5是一个图形显示的例子。曲线图显示的是项目时间、成本、负荷的分布。对2.2节的流程进行了100次仿真后,把取值范围分为20个区间,计算仿真结果落在各区间的频率。随着仿真次数的增加,显示结果会逐渐趋于准确。从图中可以看出项目时间(小时)落在第8个区间(394.9,442.6)的次数是15,由此知道了最可能的时间分布范围。直方图对各个活动的时间、成本、负荷进行了比较。由于采用的是差值归一显示的方式((X-Min)/(Max-Min)),因此时间值最小的活动“分析评审”显示的是0,而时间值最大的活动“设计评审”显示的是1,成本、负荷的显示也是如此。活动的具体时间值也可以从图中得到,如“设计评审”的具体时间值是119。

结论 本文介绍了 ECA 规则驱动的 workflow 模型,以及它的理论基础,即集成化的多视图 P-PROCE 参考模型;并就当前 workflow 仿真的研究重点,分两部分介绍了 workflow 仿真环境

的体系结构和 workflow 仿真的评价指标,同时给出了相关的实例。由于 workflow 仿真属于较新的研究领域,因此还有大量的工作需要做。就仿真机制而言,仿真结果最好可直接反馈到 workflow 建模系统,从而可以调整优化模型;一旦仿真结果获得认可,模型就可以在已建立好的仿真环境的基础上正式执行,不需要用户重新建模。就性能评价指标而言,最好可以对以活动为联系纽带的时间、成本、负荷等指标进行集成化控制,建立各指标间的内在关联,体现各指标对流程的综合影响,而不是仅考虑单一因素。就历史数据而言,最好有挖掘分析的功能,从中得到仿真环境的参考设置,增加仿真实验的可信度。

参考文献

1 罗海滨,范玉顺,吴澄. workflow 技术综述[J]. 软件学报,2000,11(7):899~907
2 Martinez-Garcia A I. A Process Model Simulation Tool-Mapping from Process Models to Discrete Event Simulation[A]. In: R. Zobel, D. Moeller, eds. Proc. 12th European Simulation Conf. [C], SCS Europe, June, pp. 849-853, ISBN 1-56555-148-6

(下转第136页)

参考文献

1 Internet Engineering Task Force. Simple Public Key Infrastructure (spki). Available at: <http://www.ietf.org/html.charters/spki-charter.html>. , 1997

2 Rivest R L. Cryptography and Information Security Group Research Project: A Simple Distributed Security Infrastructure (SDSI). Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~cis/sdsi.html>. , 1996

3 Ellison C, Frantz B, Lampson B, Rivest R, Thomas B, Ylonen T. SPKI Certificate Theory, Request For Comments 2693, Internet Engineering Task Force, Sep. 1999

4 Ellison C. SPKI Requirements, Request For Comments 2692, Internet Engineering Task Force, Sep. 1999

5 Ellison C M, Frantz B, Lampson B, et al. SPKI Examples. The Internet Society, March 1998. Available at: <http://world.std.com/~cme/examples.txt>; This is draft-ietf-spki-cert-examples-01.txt

6 Ellison C M, Frantz B, Lampson B, et al. SPKI Structure. The Internet Society, March 1998. Available at: <http://world.std.com/~cme/spki.txt>; This is draft-ietf-spki-cert-structure-05.txt

7 Rivest R L, Lampson B. SDSI-a simple distributed security infrastructure. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~rivest/sdsi10.ps>. , Aug. 1996

8 Recommendation X. 509, The Directory - Authentication Framework, volume VIII of CCITT Blue Book, CCITT, 1988. 48~81

9 Ellison C M. SPKI/SDSI certificate documentation. Available at: <http://world.std.com/~cme/html/spki.html>. , 2001

10 Elien J-E. Certificate Discovery Using SPKI/SDSI 2.0 Certificates. Master's thesis, EECS Dept. , Massachusetts Institute of Technology, May, 1998. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~cis/theses/elien-masters.pdf>

11 Clarke D, et al. Certificate Chain Discovery in SPKI/SDSI. To appear in Journal of Computer Security. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~rivest/ClarkeElieFrMoRi-CertificateChainDiscoveryInSPKISDSI2.ps>

12 Burnside M, Clarke D, Devadas S, Rivest R. Integrating Resource Discovery and Communication with SPKI/SDSI Security. In preparation for submission to a conference

13 Maywah A. An Implementation of a Secure Web Client Using SPKI/SDSI Certificates. Master's thesis, EECS Dept. , Massachusetts Institute of Technology, June 2000. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~cis/theses/maywah-masters.ps>

14 Elcock G. Web-based user interface for a Simple Distributed Security Infrastructure (SDSI). Master's thesis, EECS Dept. , Massachusetts Institute of Technology, June 1997. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~cis/theses/elcock-masters.ps>

15 Fredette M H. An implementation of SDSI - the Simple Distributed Security Infrastructure. Master's thesis, EECS Dept. , Massachusetts Institute of Technology, May 1997. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~cis/theses/fredette-masters.ps>

16 Morcos A. A Java implementation of Simple Distributed Security Infrastructure. Master's thesis, EECS Dept. , Massachusetts Institute of Technology, May 1998. Available at: <http://theory.lcs.mit.edu/~cis/theses/morcos-masters.ps>

17 Hewlett-Packard. e-Speak. Available at: <http://www.e-speak.hp.com>

18 Intel. Intel Common Data Security Architecture. Available at: <http://developer.intel.com/ial/security>

19 UC Berkeley. The OceanStore Project: Providing Global-Scale Persistent Data. Available at: <http://oceanstore.cs.berkeley.edu>

20 Banavar G, et al. Challenges: An Application Model for Pervasive Computing. In: Proc. ACM MOBICOM, Aug. 2000

21 Dertouzos M. The Future of Computing. Scientific American, Aug. 1999

22 Oaks S. Java (tm) Security, First edition, O'Reilly Press, May 1998

23 Arnold K, et al. The Jini Specification. Addison - Wesley, June 1999

(上接第160页)

3 Bae J-S, Jeong S-C, Seo Y, et al. Integration of Workflow Management and Simulation [J]. Computers & Industrial Engineering, 1999, 37: 203~206

4 张莉, 王雷. 过程模拟技术及其支持环境 PMSE [J]. 软件学报, 1997, 6(增刊): 565~575

5 林慧苹, 范玉顺, 吴澄. 支持企业经营过程重组的工作流仿真技术研究 [J]. 信息与控制, 2001, 30(1): 11~15

6 刘敬军, 张申生, 全春来, 陈加栋. 面向并行工程的集成多视图产品开发模型及管理研究 [J]. 中国机械工程, 1998, 9(9): 33~35

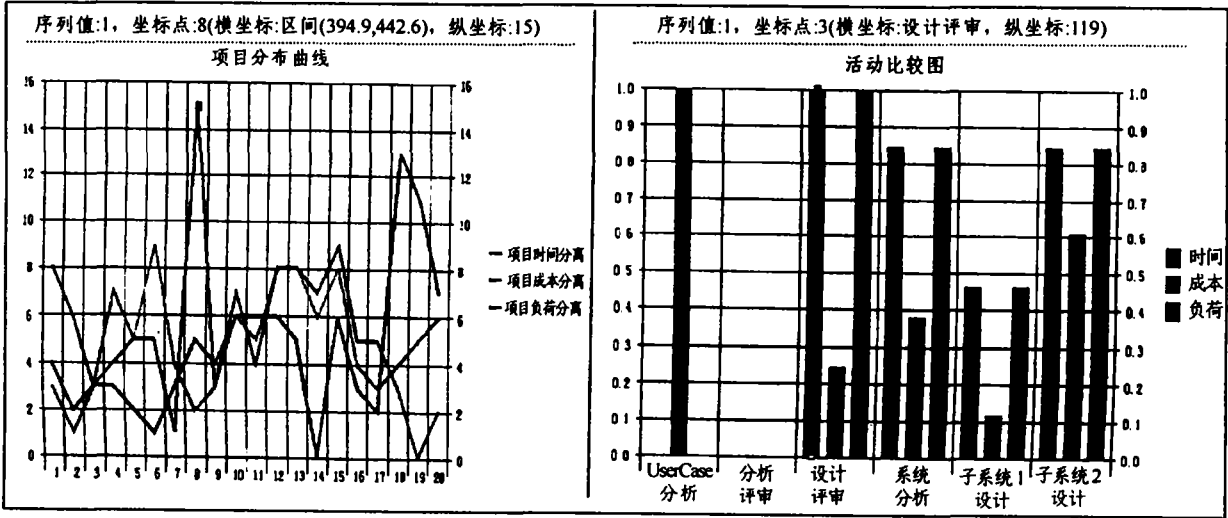


图5 仿真结果曲线图和直方图