

# 基于面向对象 Petri 网的工作流建模及性能分析

孙建召, 曾巧明

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** workflow 技术作为一种过程建模和过程管理的核心技术, 在计算机应用领域获得了迅速的发展。介绍了 workflow 技术; 提出了将面向对象建模技术融入 Petri 网模型所形成的面向对象 Petri 网, 并讨论了建立基于面向对象 Petri 网的工作流模型的步骤; 运用面向对象 Petri 网建立了某制造企业的产品方案处理流程的工作流模型, 并运用性能等价公式对工作流模型的性能进行了分析。

**关键词:** workflow; 面向对象; Petri 网; 过程建模; 性能分析

**中图分类号:** TP311.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2007)10-0073-03

## Workflow Modeling and Performance Analysis Based on Object-Oriented Petri Nets

SUN Jian-zhao, ZENG Qiao-ming

(School of Information Science & Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** As a core technology in process modeling and process management, workflow technology has acquired a rapid development in computer application. In this paper, workflow technology is introduced firstly. After that, object-oriented Petri nets, which can be established by applying the object-oriented modeling, is proposed, and then the approach of setting up workflow model based on object-oriented Petri nets is discussed. Finally, a workflow model of product scenario process in a manufacturing enterprise is developed, and the performance of workflow is analyzed by means of performance equivalence equations.

**Key words:** workflow; object-oriented; Petri nets; process modeling; performance analysis

## 0 引言

workflow 技术已被广泛地应用于企业的过程建模, 这是实现流程执行和控制管理的一条有效途径。

实现 workflow 技术的关键环节在于建立 workflow 的概念模型, 而 Petri 网<sup>[1]</sup>以其严格的数学基础、成熟的分析方法和图形化表示成为描述和研究具有并行、异步分布式和随机性等特性的复杂系统的强有力的手段。然而, 由于基本 Petri 网建立的模型非常复杂<sup>[1]</sup>, 故在描述系统时一般多采用扩展的高级 Petri 网, 如有色 Petri 网<sup>[2]</sup>、时间 Petri 网<sup>[3]</sup>等。但由于它们是非模块化设计, 软件可维护性差, 缺少重用性。而将面向对象建模技术融入到 Petri 网模型中的面向对象 Petri 网, 结合了面向对象和 Petri 网的优点, 借鉴了面向对象技术中的封装特性和继承特性, 增强了 Petri 网模型的模块化、易扩充和可重用等特性, 更适合描述复杂 workflow 模

型系统。

## 1 workflow 技术

workflow 的概念起源于制造业和办公自动化领域中的过程思想<sup>[4]</sup>, 这种过程的思想自工业化生产以来就已经存在, 主要侧重于工作中的各项活动的流程性方面, 通过改进流程以提高效率。进入 20 世纪 90 年代后, 随着计算机网络技术的发展, 现代组织的信息资源越来越呈现出一种异构、分布、松散耦合的特点, 组织物理上的分散性、各项业务活动的分散性、各级领导对日常业务活动详尽信息的需求, 加上客户/服务器体系结构的普遍应用、分布式处理技术 (WWW, CORBA, Java) 的日益成熟, 使得实现大规模异构分布式执行环境并使相互关联的任务能够高效执行成为可能, 同时也使得 workflow 技术得到了突飞猛进的发展。workflow 技术的标准化组织—workflow 管理联盟 (Workflow Management Coalition) 于 1993 年成立, 标志着 workflow 技术在计算机应用领域之中被明确地划分出了自己的一席之地, 相应的概念与术语也得到了人们的承认。在全

收稿日期: 2006-12-09

作者简介: 孙建召 (1981-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向为 workflow; 曾巧明, 教授, 研究方向为企业资源计划、计算机图形学。

球范围内,对工作流的技术研究以及相关的产品开发进入了更为繁荣的阶段。

工作流技术是实现企业业务过程建模、业务过程仿真分析、业务过程优化、业务过程管理与集成,从而最终实现业务过程的自动化的核心技术。利用工作流方法对企业进行业务过程建模和深入分析,不仅可以规范企业的业务流程,发现业务流程中不合理的环节,进而对企业的业务过程进行优化重组,而且建立的业务过程模型本身就是企业非常重要的知识库和规则库。

近年来,工作流技术作为一种过程建模和过程管理的核心技术,它逐渐被应用到了社会生活的许多方面:制造业、办公自动化、通讯、政府部门、银行业等等。

## 2 面向对象思想的引入

面向对象技术从组织结构上模拟客观世界,通过对构成客观世界的对象的抽象,给不同的对象赋予不同的属性和操作,把对象在系统中的活动特点描述出来,并将其映射到计算机系统中,通过抽象出来的对象之间的消息传递描述对象之间的相互作用,使模拟系统与模拟系统具有相同或相似的运动规律,以完成对客观世界的模拟。

将系统看作是一些相互作用的对象构成的集合,而 Petri 网用来描述集合中对象的行为或操作,通过缩小问题空间的方法将状态的数量限制在可以接收的范围内。

面向对象技术与 Petri 网模型能够有机地结合,其原因为<sup>[5,6]</sup>:

(1) Petri 网在描述系统时,把数据流与控制流结合在一起,具有面向对象方法中数据和操作结合的特征;

(2) 用 Petri 网建立的系统模型能逐步细化或高层次抽象,具有较好的模块性;

(3) Petri 网的 token(标记)运行驱动机制与面向对象的消息机制十分相似,都是基于事件的驱动方式;

(4) Petri 网中的位置节点与对象的状态、条件或者某些数据相对应,而转移节点与对象的动作对应。

## 3 面向对象 Petri 网(OPN)

### 3.1 OPN 的定义

在一个 OPN 模型中,一个系统描述为可相互通信的物理对象和它们之间的联系,用数学工具可以作如下定义:

定义 1  $S = (O, R)$

其中,  $O = \{O_i, 1 = 1, 2, \dots, I, I \in \mathbb{N}\}$ ,  $O_i$  为物理对象

的 OPN, 即  $OPN_i$ ,  $O$  为系统中所有物理对象( $OPN_i$ )的集合。

$R = \{R_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, I, i \neq j, I \in \mathbb{N}\}$ ,  $R$  为物理对象( $OPN_i$ )间消息传送关系的集合。

定义 2  $O_i = (SP_i, T_i, MP_i, F_i, C_i, M_0)$

其中,  $SP_i$  为  $O_i$  中的状态库所,  $T_i$  为活动变迁集,  $MP_i$  为  $O_i$  中消息库所,  $F_i$  为  $O_i$  中活动变迁与状态/消息库所之间的输入/输出关系。

$C(SP_i)$ : 所有  $O_i$  状态库所的颜色集;

$C(T_i)$ : 所有  $O_i$  活动变迁的颜色集;

$C(MP_i)$ :  $O_i$  所有消息库所的颜色集;

$M_0$  为初始标识。

在一个 OPN 模型中,不同对象间的通信是通过消息库所来实现的,如消息发送对象  $O_i$ , 消息接收对象  $O_j$  之间的通信用互连关系  $R_{ij}(i \neq j)$  表示, 定义为  $R_{ij} = \{(MP_i, G_{ij}, MP_j)\}$ , 其中  $G_{ij}$  是一种特殊类型的变迁, 成为门(Gate)。

OPN 模型中的物理对象  $O_j$  内部的行为变迁用状态库所和活动变迁来描述。描述特定活动方法的队列由  $F_j$  决定,  $F_j$  限定了  $O_j$  中的  $SP_j, T_j, MP_j$  间的输入/输出关系。当在消息库所中有一托肯或由外部指定控制规则时  $G_{ij}$  被点火, 一个消息库所  $MP_j$  可以接受一个消息的条件是消息发送对象  $MP_i$  中有托肯且  $G_{ij}$  可被点火。

### 3.2 OPN 建模步骤

当对一个系统进行建模时,应建立在功能需求分析的基础上,采用面向对象的方法,包括面向对象的分析(OOA)、设计(OOD)和实现(OOP)。建模的过程也就是从 OOA 到 OOD 的过程。在建模过程中,忽略对象之间的复杂关系和约束,只考虑对象之间最基本的消息传递,这样可以简化建模过程的复杂性,同时提高对象的重用性。具体建模步骤如下:

(1) 将工作流中的元素细化为对象类,并确定对象属性和状态变量;

(2) 确定对象的行为或方法,即确定每个对象可以发生的动作,这些动作是整个系统运行的组成部分;

(3) 建立对象的外部接口,即确定每个对象的输入/输出消息;

(4) 实现对象,即用面向对象 Petri 网描述每个对象;

(5) 形成完整的工作流模型,模型的运行引起库所中令牌分布情况的不断变化,令牌的分布决定了变迁的使能,变迁的激发又将改变令牌的分布,令牌的流动反映了工作流的运行状态。

## 4 基于 OPN 的工作流建模实例

为了示例如何使用面向对象 Petri 网模拟业务流程,这里给出某制造企业的产品方案处理流程:产品信息处理类产生产品需求方案,并将需求传给产品研发部,研发部接到产品请求处理信息,产生方案组成立需求,并送至人员配备类,该类接到信息,根据当前可用人员,进行人员配备,将配备信息返给产品方案处理部门,处理部门进行方案的处理,处理完毕后,将处理信息送到人员配备类,该类进行方案组的撤销,撤销完毕后,产品研发部将研发方案送给生产厂长进行审批,生产部接到审批信息后进行生产安排,同时将审批完毕信息及生产安排的计划回送到产品信息处理部。

根据 OPN 建模的步骤,相应的面向对象 Petri 网模型如图 1 所示。

## 5 性能分析

文中工作流模型的描述是基于 OPN 的,且通常都假设工作流模型的变迁延时是服从指数分布函数的<sup>[7]</sup>。工作流主要由 4 种基本模型组成,即串联模型、并联模型、选择模型、循环模型<sup>[8]</sup>。下面给出工作流 4 种基本结构的性能等价公式<sup>[9]</sup>。

定理 1 由  $n$  个变迁串联组成一个系统,设这  $n$  个串联变迁的延时时间为  $n$  个相互独立的随机变量,且分别服从参数为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  的指数分布函数,即  $n$  个变迁的平均延时时间分别为  $\frac{1}{\lambda_1}, \frac{1}{\lambda_2}, \dots, \frac{1}{\lambda_n}$ , 则这  $n$  个变迁总的等价延时时间为:

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \quad (1)$$

定理 2 设  $n$  个并联变迁的延时时间为  $n$  个相互独立的顺序统计量  $X_1, X_2, \dots, X_n$  且分别服从参数为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  的指数分布函数,则这  $n$  个并联变迁总的平均等价延时时间为:

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j} + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \frac{1}{\lambda_i + \lambda_j + \lambda_k} - \dots + (-1)^{n-1} \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2)$$

定理 3 设  $n$  个选择变迁  $t_1, t_2, \dots, t_n$  的延时时间为  $n$  个相互独立的随机变量,且分别服从参数为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  的指数分布函数,并设执行变迁  $t_i$  的概率为  $\alpha_i, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ , 则这  $n$  个变迁总的平均等价延时时间为:

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{\lambda_i} \quad (3)$$

定理 4 设两个选择变迁  $t_1, t_2$  的延时时间为两个相互独立的随机变量  $\alpha_1, \alpha_2$ , 且分别服从参数为  $\lambda_1, \lambda_2$  的指数分布函数,并设执行变迁  $t_1$  后,返回循环执行变迁  $t_2$  的概率为  $\alpha$ , 则这两个变迁总的平均等价延时时间为:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\alpha \lambda_1 + \lambda_2}{(1 - \alpha) \lambda_1 \lambda_2} \quad (4)$$

这样,使用 4 种模型的性能等价公式不断地对模型进行等价化简,最终求出了整个系统的性能等价时间。求出性能等价时间之后,就可以求出其他的性能

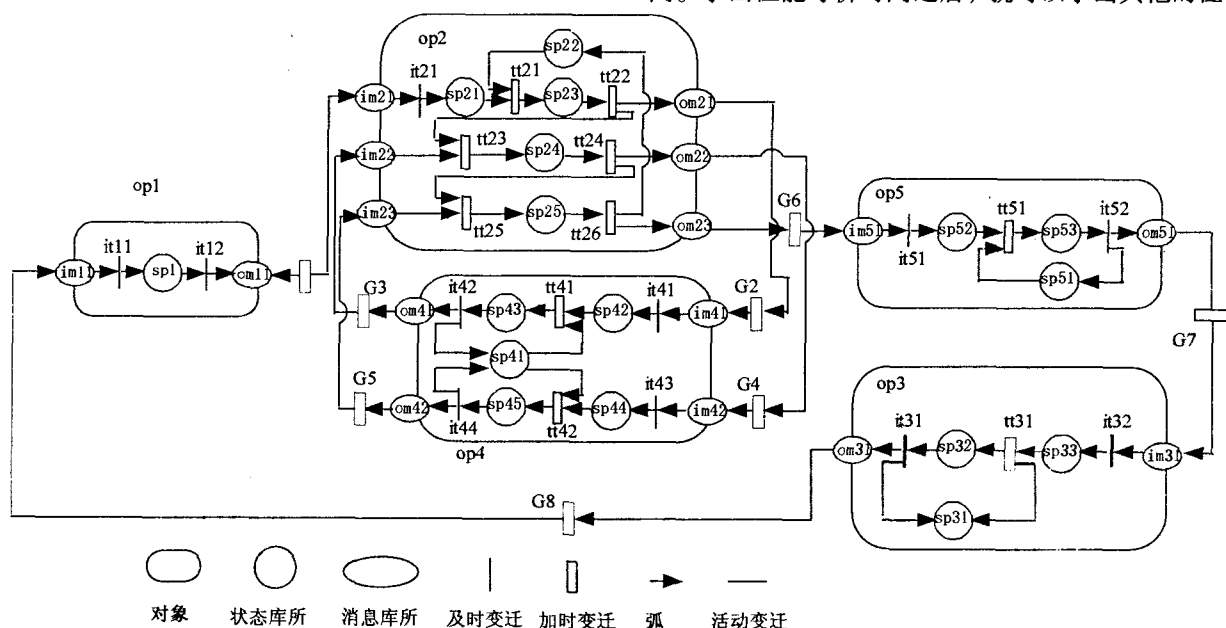


图 1 产品信息对象 Petri 网模型

⑤ 求  $C(a_i)$  所覆盖的点的重心,并将其映射到球面上,设投影点为  $a_i'$ ,按 ④ 中公式计算其阈值  $\theta'$ ,得球形领域  $C(a_i')$ 。

⑥ 若  $C(a_i')$  覆盖的点数大于  $C(a_i)$  所覆盖的点数,则令  $a_i' \rightarrow a_i$ ,  $\theta' \rightarrow \theta$ ,返回 ⑤,否则,转 ⑦。

⑦ 求  $a_i'$  的平移点  $a_i''$ ,并求对应的球形领域  $C(a_i'')$ ,若  $C(a_i'')$  覆盖的点数大于  $C(a_i')$  所覆盖的点数,转 ⑤,否则,得  $C(i)$  的一个覆盖;若  $i < k$ ,则  $i + 1 \rightarrow i$ ,转 ③,否则,转 ⑧。

⑧ 训练结束。

将训练好的神经网络用于识别和检验时,采取以下步骤进行识别与检验。将待识别的样本投影到中心在原点、半径为  $r$  的球面上:

对每一个样本  $x$ ,计算:

$$d(x, C(i)) = \max_{c \in C(i)} \{f(x, c)\}$$

其中,  $f(x, C) = \{< \omega, x > - \theta\}$

求  $\max_{c \in C(i)} (x, C(i))$  所对应的  $i$ ,确定样本  $x$  类别。

## 5 英文和数字识别

用交叉覆盖算法对英文和数字进行识别。

## 6 分析及结论

交叉覆盖神经网络算法对车牌汉字具有很高的识

别准确率,但一般由于汉字识别数据量大,造成识别效率不高。笔者提出先利用汉字的特征投影对汉字进行大致的分类,这样对每个神经网络来说,其网络规模大大减小,计算量大大减小,提高了识别效率,同时也保证了识别的准确率。基于投影和交叉覆盖神经网络的车牌识别很好地解决了汉字识别准确率和识别效率的问题。

### 参考文献:

- [1] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [2] 陈轩飞,陈志刚. 车牌字符的预处理研究[J]. 现代电子技术, 2005(2):63-65.
- [3] 刘国峰,辛晓辉. 车牌定位常见技术介绍与分析[J]. 电脑知识与技术, 2006(8):105-107.
- [4] 芮挺,沈春林,张金林. 车牌识别中倾斜牌照的快速矫正算法[J]. 计算机工程, 2004(7):122-124.
- [5] 崔江,王友仁. 车牌自动识别方法中的关键技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2003(11):260-262.
- [6] 赵春明,石跃祥. 利用投影特征高速识别车牌中的汉字[J]. 计算机工程与应用, 2005(19):207-209.
- [7] 张铃,张钱,殷海风. 多层前向网络的交叉覆盖设计算法[J]. 软件学报, 1999(7):737-742.
- [8] 段震,鲁杰,张铃. 基于交叉覆盖神经网络的车牌识别研究[J]. 安徽大学学报, 2004(9):11-14.

(上接第 75 页)

参数,如吞吐率、系统中平均任务数等。

## 6 结 论

面向对象的 Petri 网,不但有 Petri 网的形式化和图形化的优点,而且有面向对象的模块化、可重用性和可维护性等优点,能降低建模的复杂度,提高建模的效率,更好地适应系统地开放性、动态资源重组等功能。因此,面向对象的 Petri 网成为复杂 workflow 模型建模的重要工具。而 workflow 模型的性能分析也是 workflow 系统的一个非常重要的问题。利用文中给出的工作流的 4 种基本结构的性能等价公式,可对 workflow 模型逐步进行性能的等价化简,最终求出整个模型的性能参数。

### 参考文献:

- [1] Murata T. Petri nets: properties, analysis and application[J]. proceeding of the IEEE, 1989, 77(4):541-580.
- [2] Jensen K. An introduction to the theoretical aspects of coloured Petri nets[J]. Lecture Notes in computer science, 1994, 803:230-272.
- [3] Reddy G B, Murty S S N, Ghosh K. Timed Petri nets: an expeditions tool for modeling and analysis of manufacturing systems[J]. Math computer modeling, 1993, 18(9):17-30.
- [4] Georgakopoulos D, Homick M. An Overview of Workflow Management: From Process Modeling to Workflow Automation Infrastructure[J]. Distribute and Parallel Databases, 1995 (3):119-153.
- [5] Englist S L. Coloured Petri nets for object-oriented modeling [D]. Brighton: Univ. of Brighton, 1993.
- [6] Kgv K Y, Joo P S. OP Nets: an object-oriented high-level Petri nets modeling for real-time system modeling[J]. Journal of System Software, 1993, 20(1):69-86.
- [7] 卡耐基梅隆大学软件工程研究所. 能力成熟度模型 (CM-M): 软件过程改进指南[M]. 刘孟仁译. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [8] Fan Yu-shun. The basis of Workflow Technology[M]. Beijing: Tsinghua University press, 2001:140-144.
- [9] 林闯,田立勤. 工作流系统模型的性能等价分析[J]. 软件学报, 2002, 13(8):1472-1480.