

文章编号: 1002-0411(2000)01-001-05

基于有色 Petri 网的经营过程建模

宫世豪 杨吉江 柴跃廷 李美莺 李芳芸

(清华大学自动化系 北京 100084)

摘要: 在经营过程重组(BPR)的过程中,利用仿真工具对经营过程建模与仿真分析,被认为是快速和顺利实施 BPR 的必要手段.目前大多数 BPR 支持工具局限于对过程的仿真,而 Petri 网则因其严格的数学定义和丰富的分析方法,不仅能够仿真过程的性能参数,还可以对过程的结构进行分析,从而在过程诊断和重组方案的设计中发挥重要作用.将有色 Petri 网应用于经营过程建模,可以较好地描述经营过程的不确定性、并发性和资源共享等问题,并解决模型中存在的冲突、死锁等问题,同时避免了普通 Petri 网过于复杂的缺点.

关键词: 经营过程, 经营过程重组, Petri 网, 有色 Petri 网

中图分类号: TP14

文献标识码: B

1 前言

经营过程重组^[1-3]是当前企业管理中的热门话题,国外不少企业借助于过程重组实现了经营业绩的巨大改善,在激烈的市场竞争中取得了优势,中国的企业在向市场经济转变的过程中,也开始探索用 BPR 来改革旧的计划经济体制,建立新的适合市场经济的运营模式.但是,实施过程重组具有很大的风险性,国外实施 BPR 的成功率只有 30%,其中一个重要原因是早期实施 BPR 主要靠人的直观判断,缺乏定量分析和有效的仿真模拟,因而 BPR 的结果难以预料.为了提高实施 BPR 的成功率,在对企业现有经营过程的分析和新方案的设计中,通过计算机对企业过程进行建模和仿真,可以在并未消耗物理资源和作出实际变更之前,离线地分析和比较重组方案,找出问题进行修正和改进.

经营过程建模就是用图形、公式或文字说明的形式描述经营过程的特性,图形化建模方法(如 IDEF,流程图, Petri 网等)^[4-5]因其直观形象的特点而得到了广泛应用.目前大多数仿真软件局限于对过程的仿真,缺少对过程结构的分析,而 Petri 网^[6-7]因其严格的数学定义,以及提供的系统分析和验证方法,在许多领域中,特别是对于一些具有不确定性、并发性和资源共享的系统来说更是一种重要的分析工具.经营过程的复杂性主要表现在不确定性、并发性和资源共享问题上,采用 Petri 网建模可以较好地解决上述问题.

本文从 Petri 网和有色 Petri 网的基本概念入手,介绍经营过程的有色 Petri 网建模方法以及模型的分析方法.

2 Petri 网与有色 Petri 网的基本概念

Petri 网的基本元素就是库所和变迁,两者之间的联系可以用有向弧表示.其中库所表示的是一个对象的状态、存放场所或条件,变迁表示变化或事件,库所中的对象或条件用 token

收稿日期: 1999-01-31

基金项目: 国家自然科学基金项目, 69684007 国家 863/CIMS 资助项目, 863-511-930-003

表示.

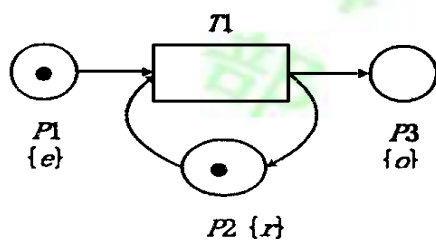
因基本 Petri 网中对个体的变化细节描述过多, 即每一种对象的状态或条件用一个库所表示, 每一种变化或事件用一个变迁表示, 使得实际应用时系统节点过多; 另外 token 的含义比较简单, 不利于对系统的理解. 为了简化系统模型以及丰富模型的表达能力, 人们提出了各种高级 Petri 网, 其中有色 Petri 网就是在基本 Petri 网的基础上引入了颜色的概念, 对同类的个体赋予相同的颜色, 不同类的个体以不同的颜色加以区分, 这样, 一个库所中就可以包含几种对象, 或者表达一个复合条件, 一个变迁也可以表达几种不同的变化. 另外 token 也增加了颜色, 可以描述对象的属性信息. 用这样的有色 Petri 网来描述经营过程, 可以大大降低模型的复杂性, 而又易于理解经营过程.

3 经营过程的有色 Petri 网模型

按照经营过程的定义——产生特定企业输出的一系列逻辑相关的活动^[2]——经营过程的基本要素就是活动以及活动之间的关系, 因此过程建模最主要的任务就是如何描述活动和活动之间的关系. 而活动就是接收某一类型的输入, 在某种规则控制作用下, 利用某种资源, 经过变换或操作转化为输出; 活动之间的关系则是通过输入输出以及资源的共享表现出来. 所以建模的基本任务就是活动的建模. 以下就一般活动、不确定性活动和并发活动的建模分别加以介绍.

3.1 一般活动建模

用库所(place)表示活动的输入、输出对象和资源的状态, 库所中的 token 表示对象, token 的颜色表示对象的属性, 变迁(transition)表示操作, 这样我们就得到了活动的 Petri 网模型, 如图 1 所示, 我们用来描述一个合同审批活动, 在合同 e (输入) 到达($p1$ 中有 token e) 和合同审批员 r (资源) 空闲($p2$ 中有 r) 时, 合同审批员对合同进行评审($T1$), $p1$ 中的 e 和 $p2$ 中的 r 都被取走, 表示合同审批正在进行, 合同审批完成后, 产生输出——审批结果 o ($p3$ 中出现 o), 合同审批员又处于空闲状态($p2$ 中又出现 r). 这里的资源是指设备、人力等参与活动的执行而不发生变化的对象, 为了区分它与普通的输入输出对象, 我们把 token 分为普通 token 和资源 token, 相应地把库所分为普通库所、资源库所和全局库所. 全局库所用来表示库所中的资源在多个活动中用到, 在模型层次较多时用于表示不同层次之间的联系.



$T1$: 变迁(操作) $P1, P3$: 普通库所

$P2$: 资源库所 e, o : 普通 token r : 资源 token

图 1 活动的 Petri 网表示

Token 的颜色用来描述对象的属性, 可以分为两个部分: 一部分称为描述信息, 用来区分不同的对象, 如一个合同的合同号、合同类型、最晚完成日期等; 另一部分称为参数信息, 用来记录仿真结果. 普通 token 的参数包括时间(Time)、质量(Quality)、成本(Cost), 其中时间用来记录对象在系统中逗留的总时间——反映过程完成时间, 质量用来记录过程完成的好坏, 如一个过程平均每执行 100 次有 1 次差错, 我们认为该过程的质量为 0.99, 成本用来记录对象在过程的执行中所消耗的人力、物力

资源. 资源 token 的参数用一个占用时间(Busytime)来记录不同资源的忙闲情况.

与 token 的颜色相对应, 我们为变迁的颜色设置三个参数, 即时间、成本和质量. 时间是指该活动执行一次所经历的时间, 成本是指为完成该活动所消耗的人力、物力资源, 质量则是用

来反映活动执行结果的正确性.

活动的执行(变迁的触发)遵循下列原则:

找出变迁对应的输入库中所相应的 token, 若所有 token 数都大于 0, 则该变迁触发, 所有输入 token 数减 1, 经历一段时间(由颜色的时间参数确定)后, 活动结束, 所有输出库中所相应 token 数加 1. 普通 token 的参数发生下列变化:

$$(1) \text{ OutToken. Time} = \text{ InToken. Time} + \text{ color. Time};$$

$$(2) \text{ OutToken. Cost} = \text{ InToken. Cost} + \text{ color. Cost};$$

$$(3) \text{ OutToken. Quality} = 1 (\text{ Rand}(1) < \text{ color. Quality} \ \&\& \ \text{ InToken. Quality} = 1)$$

或: $\text{ OutToken. Quality} = 0$ (其他情况)

$$(4) \text{ OutToken. Quality} = 0 (\text{ Rand}(1) > \text{ color. Quality} \ \&\& \ \text{ InToken. Quality} = 0)$$

或: $\text{ OutToken. Quality} = 1$ (其他情况)

公式(1)、(2)分别表示时间和成本的变化, 公式(3)、(4)分别表示一般活动和纠错活动(如对合同评审时修改不合格的合同)中 token 质量的变化. 其中 $\text{ Rand}(1)$ 表示 0~1 的随机数.

资源 token 的参数变化如下:

$$(5) \text{ Token. Busytime} = \text{ Token. Busytime} + \text{ color. Time}$$

3.2 不确定性活动建模

不确定性活动是指在同一条件下, 一个活动可能产生不同的输出结果. 我们对变迁设置一个新的颜色, 称为概率参数, 用来表示每种情况发生的可能性. 如上例中合同的审批结果可能有两种情况, 合格与不合格, 而后要根据审批结果决定履行合同或修改合同. 我们把 token O (审批结果)分成 2 个 token: $O1$ (审批合格)和 $O2$ (不合格), 于是变迁 $T1$ 的发生有两种情况:

$$a: e + r(O1 + r; \text{ 概率: } p1);$$

$$b: e + r(O2 + r; \text{ 概率: } p2);$$

其中 a 表示合同审批合格的情况, 它的发生概率是 $p1$, b 表示合同审批不合格的情况, 它的发生概率为 $p2$. 两种情况的总的发生概率为 1, 即 $p1 + p2 = 1$. 关于概率的确定可以根据企业的业务统计数据得到或者人为地进行估计.

3.3 并发活动建模

并发活动是指几个活动的发生可能是同时的, 这里主要考虑两种情况:

(1) 一个条件同时触发几个变迁, 如图 2(a)所示对合同的评审过程包括规范性评审 $t2$ 、可行性评审 $t3$ 和商务评审 $t4$ 三个活动, 而这三个活动是可以同时进行的, 条件都是要有合同文本 $e2$. 按照一般情况, 合同签订后只产生一个合同文本, 即 $e2$ 的数量为 1, 于是紧接着的三个活动中只有一个能够执行, 其余两个都无法执行. 这显然不符合实际情况, 实际情况是签订合同后要么复印几个合同副本分送不同部门处理, 要么合同文本存放在数据库中, 相关人员通过网络可以同时读取合同文本进行各自的评审活动. 对前一种情况我们应该在模型中增加一个活动(复印合同文本)如图 2(b)虚框所示, 增加的变迁 $t5$ 表示复印操作, 库所 $p4$ 表示复印的结果, token $e6$ 、 $e7$ 、 $e8$ 分别代表 3 个合同复印件, 变迁 $t2$ 、 $t3$ 、 $t4$ 也要相应改变, 把输入 token 由原来的 $e2$ 分别变为 $e6$ 、 $e7$ 、 $e8$; 对后一种情况模型需要隐式地为所关联的活动进行 token 和变迁的调整, 而这种改变对用户是不可见的.

(2) 一个活动的输入有多个 token, 如图 2 中规范性评审岗位上有 3 名职工 $r1$ ($p5$ 中有三个 token $r1$), 他们都对合同进行规范性评审, 一个合同只需要其中一人处理, 那么该活动一次

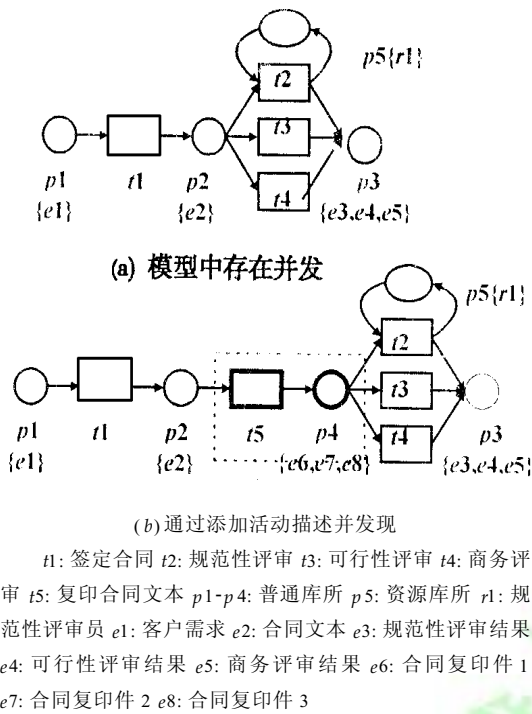


图 2 合同评审的并发控制

最多可以处理 3 个合同,按照 Petri 网的一般触发规则,在不考虑时间的情况下,每个变迁只有在触发完成后才能再次触发,也就是每次只允许一人处理合同,其余两人只能闲着.在考虑时间的情况下,我们允许一个变迁同时触发多次,即三个评审员同时处理不同的合同,方法是选择所有输入库所中最少的 token 数,产生相同数量的变迁实例,分别对每个变迁的实例进行触发.

4 模型的分析

利用 Petri 网建模的优势就在于可以利用 Petri 网的分析方法对模型进行分析,一方面能够正确反映现有系统的特性,另一方面可以在新系统的设计过程中发现潜在的问题,保证新系统能够正确实现.首先 Petri 的定义保证了模型中元素的连接只能是库所与变迁相连,而不会出现库所与库所、变迁与变迁相连的情况,而且模型中不存在孤立的元素(多余或不完整

的信息).其次,还可以利用 Petri 网的语义进行冲突和死锁检测.

冲突的产生是系统中多个活动对有限的共用资源竞争的结果.对冲突的检测只要依次检查资源库所中的 token 是否与多个变迁的输入相联系,消解冲突的办法一是按照实际系统添加相应的信息(增加库所和 token),如增加一个调度活动,另一种办法是设定各个活动的优先级或者采用其他调度算法对过程进行仿真.

死锁是指两个活动分别占用一定的资源不肯释放而又申请对方的资源,从而使它们都无法进行.由于在模型中我们已经区分了资源库所和普通库所,变迁的触发规则保证了这样的死锁不会发生.但是可能存在另一种情况的死锁,考虑图 3 所示的采购过程中,供应商要求客户先付款再给客户开发票,而客户则坚持发票收到后再给供应商付款,显然采购过程无法完成.

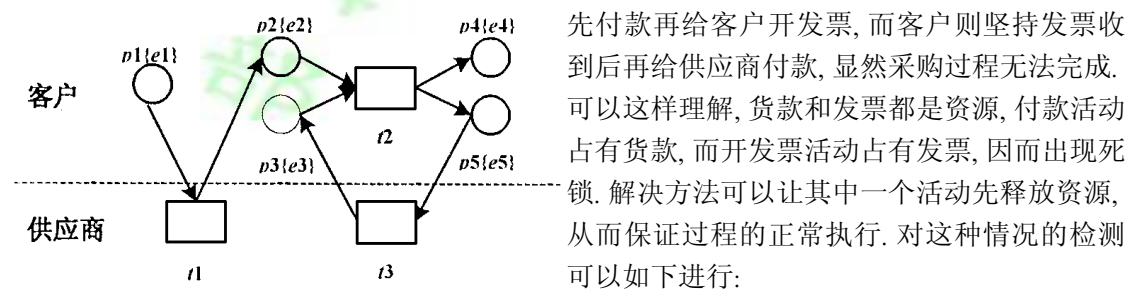


图 3 采购过程死锁示例

可以这样理解,贷款和发票都是资源,付款活动占有贷款,而开发票活动占有发票,因而出现死锁.解决方法可以让其中一个活动先释放资源,从而保证过程的正常执行.对这种情况的检测可以如下进行:

- (1) 检查模型中是否有闭环存在(不考虑资源库所的存在);
- (2) 对每一个闭环检查有无与闭环以外的库所(token)有联系的变迁,若无则出现死锁,否则进行(3);
- (3) 对每一个与闭环以外的库所(token)有联系的变迁检查与环内库所(token)相联系的

变迁的输入是否与环外库所(token)相联系,若有联系则死锁,否则无死锁。

5 小结

利用有色 Petri 网对经营过程建模,一方面可以很好地描述经营过程的不确定性、并发性和资源共享问题,另一方面可以解决模型中的冲突、死锁等问题。另外通过设置 token 和变迁的颜色参数可以对过程模型进行仿真得到经营过程的性能指标,如过程执行一次的平均时间、成本、质量以及资源的利用率等,作为过程重组的评估基准(benchmark)和不同重组方案的选择依据。本文主要是研究了应用有色 Petri 网对经营过程建模的一般方法,并提出了对过程模型进行分析的一些方法。在此基础上如果结合 Petri 网的分析方法和 BPR 的过程优化规则^[3]实现重组方案的自动生成(或启发生成),可以大大减少过程重组的盲目性,降低 BPR 实施的风险。

参 考 文 献

- 1 M Hammer, J Champy. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: Harper Collins, 1993
- 2 T H Davenport, J E Short. The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign. Sloan Management Review, 1990(Summer): 11~ 27
- 3 黄丽华,李芳芸,李美莺等. 企业过程再设计的概念及其实现途径. 计算机集成制造系统, 1997(4): 8~ 12
- 4 R Bhaskar, Ho Soo Lee, Anthony Levas, etc. Analyzing and Reengineering Business Processes Using Simulation. In: J. D. Tew, S. Manivannan, D. A. Sadowski(eds). Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference. Buena Vista, FL, USA: IEEE Piscataway NJ USA, 1994: 1206~ 1214
- 5 Stan Jarzabek, Tok Wang Ling. Model-based Support for Business Re-engineering. Information and Software Technology, 1996 (38): 335~ 374
- 6 袁崇义. Petri 网原理. 北京: 电子工业出版社, 1998
- 7 K Jensen, G Rozenberg. High-level Petri Nets: Theory and Application. New York: Springer-Verlag, 1991

BUSINESS PROCESS MODELING BASED ON COLORED PETRI NETS

GONG Shi-hao YANG Ji-jiang CHAI Yue-ting LI Mei-ying LI Fang-yun

(Automation Department, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: Modeling and simulation are the effective approaches to implementing BPR(Business Process Reengineering) projects. However, most current BPR tools pay too much attention to process simulation while overlooking the structural analysis of business process. Petri Nets, based on rigorous semantics and abundant analysis methods, can satisfy this requirement. Colored Petri Nets (CPN) allows explicitly describing uncertainty, concurrency and resource sharing, which are the basic characteristics of business process. The validating methodology based on it can secure the reliability of the process model, such as deadlock-free, conflict resolution, etc. It also simplifies the specification of business processes, one significant shortcoming of traditional Petri Nets. A business model framework is presented in this work.

Keywords: business process, business process reengineering, petri nets, colored petri nets

作者简介

宫世豪(1970-), 男, 硕士研究生. 研究领域为 BPR 理论、技术与应用等。

杨吉江(1968-), 男, 讲师. 研究领域为管理与决策、BPR 等方面的研究与应用。

柴跃廷(1964-), 男, 副教授. 研究领域为 CIMS 分析与设计、管理与决策、供需链、BPR 等方面的研究、开发与应用。