

文章编号: 1001-0920(2001)02-0181-05

基于高级 Petri 网的 BPR 过程建模与仿真

乔 非, 严隽薇, 吴启迪, 高桂花

(同济大学 CIMS 研究中心, 上海 200092)

摘要: 针对 BPR 实施中的过程优化问题, 从实用可行的角度探索基于高级 Petri 网的模型, 运用计算机仿真手段确定 BPR 方案。首先介绍并细化基于高级 Petri 网的面向 BPR 的流程模型 (BPR-PN), 然后设计并探讨自顶而下的 BPR 流程建模方法与步骤, 最后探讨了基于 BPR-PN 的流程仿真方法 仿真过程管理及仿真数据分析。

关键词: BPR; Petri 网; 建模; 仿真

中图分类号: C 93

文献标识码: A

Modeling and Simulation of BPR Process Based on High Level Petri Net

QIAO Fei, YAN Jun-wei, WU Qi-di, GAO Gui-hua

(CIMS Research Center, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Focus on the business process reengineering (BPR), a solution based on high level Petri net model and adopted the simulation method is explored. First, a BPR oriented process model based on the high level Petri net (BPR-PN) is proposed and formally defined. Then, a top-down modeling procedure for the BPR-PN is designed and discussed. For the further simulation of processes, a BPR methodology framework based on simulation is suggested. Simulation process management and simulation result analysis are discussed.

Key words: BPR; Petri net; modeling; simulation

1 引 言

BPR 自 20 世纪 90 年代提出以来, 便在国内外掀起了研究与应用的热潮。我国许多企业为了生存与发展, 也意识到必须转变经营思想, 寻求改革的新方法。于是继 TQM, CIM, CE 等之后, 对 BPR 的研究与应用已成为人们关注的新热点。

经过近十年的应用与实践, 人们对 BPR 的认识

渐趋理智。一方面, BPR 可为企业创造巨大的效益和市场竞争能力; 另一方面, BPR 也伴随着巨大的风险。总之, 作为一项高成本、高风险的复杂系统工程, BPR 的实施必须以系统、科学的方法论作指导方可取得成功^[1], 而探索实用化 BPR 建模与优化方法对 BPR 的实施尤为重要。为此, 本文针对 BPR 过程优化问题, 从实用、可行的角度探索基于 Petri 网的模型, 运用计算机仿真手段确定 BPR 的实施方案。

收稿日期: 1999-12-27; 修回日期: 2000-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(79800008, 79970030); 国家 863 重大成果应用工程项目(863-511-930-008)

作者简介: 乔非(1967—), 女, 陕西西安人, 副教授, 博士, 从事企业流程重组和系统工程等研究; 严隽薇(1946—), 女, 上海人, 教授, 博士生导师, 从事系统工程、人工智能和并行工程等研究。

2 基于高级 Petri 网的 BPR 过程建模

BPR 涉及观念、过程、组织等诸多因素,但其最本质的内容还在于过程,因而需要对过程的描述、分析、再设计及优化等加以研究。而解决这些问题的前提之一便是流程模型和建模方法。关于模型,常见的做法是借用其它领域的现有模型工具,如流程图、角色行为图、IDEF 系列和事件过程链等^[2]。这些模型方法往往只能部分满足对 BPR 过程研究的需要。源自控制和计算机领域的 Petri 网模型,由于其具有较强的严密性、可理解性及抽象能力和计算机化能力,近年来已开始引入 BPR 的研究领域。

2.1 面向 BPR 的高级 Petri 网模型

Petri 网^[3]及其扩展形式已在许多领域得到广泛应用。近年来,相继出现了一些将 Petri 网应用于 BPR 的研究成果^[4]。借鉴这些成果,作者曾在文献[5]中提出一种基于 Petri 网的 BPR 流程模型。本文则在这些工作的基础上进一步加以研究,给出面向 BPR 的 Petri 网(BPR-PN)模型形式化定义,即

$$BPR-PN = \{NET, TOKEN, ATT, LINK\} \quad (1)$$

由式(1)可以看出,BPR-PN 的构成可分为以下 4 个部分:

1) 网结构(NET): 由库所集、变迁集、输入函数、输出函数组成,即

$$NET = \{Pw, Ps, Tn, Ta, I, O\} \quad (2)$$

其中,库所集分为 workflow 节点库所(Pw)和资源库所(Ps)两类;变迁分为普通变迁(Tn)和抽象变迁(Ta)两类,抽象变迁可通过进一步细化引出下层子模型。

2) 托肯类(TOKEN): 由各种类型的托肯构成的集合,即

$$TOKEN = \{TOw, TOs, \dots\} \quad (3)$$

托肯载有丰富的信息,它是流程模型的信息载体。托肯可在网中流动,但必须满足下列约束条件;

1) PN 运行规则: 例如变迁输入库所中的托肯只能流向其输出库所;

o 变迁引发规则: 由变迁属性决定的关于托肯流经该变迁时,托肯信息的变化规则;

» 颜色匹配条件: 变迁输入库所中的托肯,只有当其属性的相关项与变迁引发规则相吻合时,才能有效地引发该变迁;

¼ 库所类型匹配条件: 只有托肯的类型与库所的类型相匹配时,托肯才可进入该库所。

当托肯在网中流动时,其所载信息会依据规则而改变。通过跟踪观察托肯的流动路径及托肯信息的变化情况,便可跟踪整个系统的运行,从而达到流程分析的目的。

3) 属性(ATT): 除抽象变迁之外的模型元素均有属性,即

$$ATT = \{ATT(Tn), ATT(Pw), ATT(Ps), ATT(TOw), ATT(TOs)\} \quad (4)$$

属性的含义有两层,即属性项和属性值。模型元素的属性项和属性值一般只随对象流程的不同而变化,而托肯元素的属性值(即托肯所载信息)则在模型的每一步运行中都动态地变化。

4) 联系(LINK): 联系是抽象变迁到子流程模型的映射,即

$$LINK: Ta \rightarrow BPR-PN \quad (5)$$

它构成了上下层模型之间的关系,是实现层次化建模的关键元素。

用 BPR-PN 所建的某高校后勤系统部分流程的模型如图 1 所示。

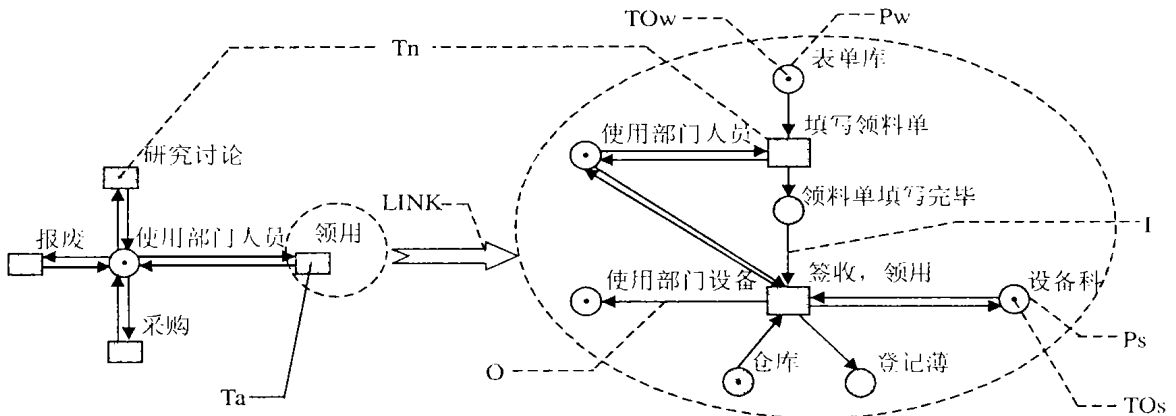


图 1 后勤系统部分流程的 BPR-PN 模型

2.2 基于 BPR-PN 模型的 BPR 建模

1) 定义流程: 基于 BPR-PN 的建模过程应始于对企业流程的认识。分析表明, 对企业流程的认识可从流程要素、结构和效果 3 方面入手(参见表 1)。

表 1 认识企业流程的 3 方面内容

方面	内 容
要素	主要行为、行为作用对象、执行行为的实体
结构	各行为间的关系和由行为与关系构成的流程结构等
效果	整体效果(如总时间、总成本、顾客满意度等) 局部效果(如各行为的执行时间、各资源的占用率等)

2) 建模初始化: 建模初始化主要完成元素(包括托肯、库所和变迁)类型和各类型元素属性项的确定。这需要在对流程的认识和分析的基础上进行。

3) 建立上层 Petri 网: 这是一个总体模型的建立过程。按照 BPR 的全局最优的思维方式, 对流程的认识应由上至下地进行。由于 BPR-PN 支持层次化建模, 因此在对整个流程有了完整的基本认识后, 可先提取其中的主要环节, 构成上层 BPR-PN, 反映流程概貌。

4) 细化下层 Petri 网: 在上层 BPR-PN 模型的基础上, 逐一分析每个变迁, 看是否已是基本单元。若不是, 则构建相应的子模型, 并在上层变迁与此子 BPR-PN 模型之间构造联系。

5) 确定属性值: 根据各类型元素的属性项(已在建模初始化阶段给定), 为各层 BPR-PN 中的各个模型元素(变迁、库所、托肯、输入/输出)定义属性值。

3 基于高级 Petri 网的 BPR 流程仿真

为在 Petri 网模型基础上探索实用有效的 BPR 过程研究方法, 通过比较基于模型的 3 种研究方法(解析模型、仿真模型和实证模型)可知: 对于 BPR 过程优化问题, 可采用低成本、低风险、可重复实验的仿真方法, 并将其在 Petri 网模型的基础上加以运用。

3.1 仿真目的

仿真的主要作用有以下两方面: 1) 在系统诊断阶段, 通过仿真原有流程是如何执行的, 以便发现问题, 找出症结所在; 2) 在系统优化设计阶段, 通过对新创建的业务流程在不实施的情况下, 借助于仿真来分析评价其运行效果, 以辅助选优和最终的优化决策。仿真技术可为 BPR 优化改造提供以下几方面支持:

1) 了解流程系统: 可在不实现系统的情况下, 研究或实验复杂流程系统的相互作用;

2) 测试环境对系统的影响: 可以观察、模拟环境因素的改变及其对系统性能的影响;

3) 识别关键流程: 通过对各流程的仿真及对仿真数据的分析, 可以识别系统中的关键流程;

4) 新流程的测定与评价: 通过对新流程在实施前的实验, 可以辅助流程的评价和决策;

5) 流程运行绩效分析: 借助于仿真运行, 可得到或整理出各种反映流程运行性能的指标。

作为流程分析的主要手段之一, 仿真不仅要有动态模拟系统运行的能力, 而且要求及时、准确地采集运行的信息, 为衡量流程的效果提供可量化的分析数据。

3.2 基于仿真的 BPR 方法

仿真技术及基于仿真的分析决策技术作为较成熟的系统工程方法, 在 BPR 的研究和实践中可比仅靠直觉和经验的方法发挥更有效的作用, 是保证 BPR 实施成功的有效手段。结合仿真一般方法论及 BPR 应用需要, 可设计出一种由建模、仿真、分析和决策等环节构成的基于仿真的 BPR 方法(图 2)。

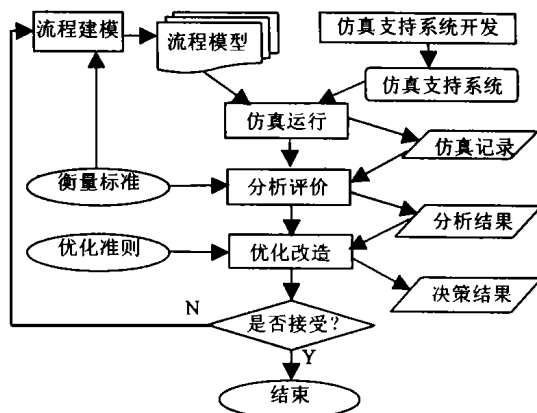


图 2 基于仿真的 BPR 方法过程

1) 流程建模: 将对象流程用选取的流程建模工具(如 BPR-PN)加以模型复现, 所建立的流程模型不仅能准确反映系统研究关注的系统特性, 而且可为仿真运行及仿真结果分析提供必要的量化参数。

2) 仿真运行: 在仿真时钟控制下, 由一系列例行处理构成的序列过程, 通过模拟模型的状态随时间变化的情况, 间接反映实际流程系统的动态变化。

3) 仿真数据的分析与评价: 仿真运行得到的仿真记录需经科学的分析和处理, 方可形成对 BPR 再思考和重设计有价值的信息。仿真数据分析的目的是要获得有助于系统评价的量化值及其变化趋势。

表 2 部分仿真分析指标及其计算方法举例

指 标	含 义	计算方法
流程 a 的第 x 个执行例的通过时间	用于评价某次顾客服务速度	$TT_x = \max_{i=1}^{x_n} \left\{ \sum_{k_i} \text{Time}(t_{a_{ki}})(C_x(t_{a_{ki}})) \right\}$
流程 a 的理论平均通过时间	用于估算新出现例的执行时间	$\bar{TT}_{ave} = \frac{1}{m_a} \sum_{i=1}^{m_a} TT_i$
流程 a 的实际平均通过时间	用于量化该项业务的时间值	$TT_{ave} = \sum_{i=1}^{m_a} G_i \times TT_i$
流程 a 的最大通过时间	用于向顾客预告最大的等待期	$TT_{max} = \max_{1 \leq i \leq m_a} \{TT_i\}$
流程 a 的最小通过时间	用于向顾客预告最小的等待期	$TT_{min} = \min_{1 \leq i \leq m_a} \{TT_i\}$
流程 a 的某个执行例的费用消耗	用于计算流程该例执行的成本	$CC_x = \max_{i=1}^{x_n} \left\{ \sum_{k_i} \text{Cost}(t_{a_{ki}})(C_x(t_{a_{ki}})) \right\}$
流程 a 的理论平均费用消耗	用于估算流程在新出现例情况下的执行成本	$\bar{CC}_{ave} = \frac{1}{m_a} \sum_{i=1}^{m_a} CC_i$
流程 a 的实际平均费用消耗	用于流程的成本统计	$CC_{ave} = \sum_{i=1}^{m_a} G_i \times CC_i$

4) 流程的优化改造: 基于仿真与分析评价的流程优化可有两种操作方法:¹ 参考仿真分析得到的结果, 设计不同的改造方案, 再经过反复仿真、分析、比较, 得到满意的优化方案;⁹ 将 BPR 的优化策略依据所选用的流程模型, 转化成针对模型元素或模型结构的优化规则库, 以此作为支持开发计算机辅助决策系统。

3.3 仿真运行管理

流程的仿真过程由仿真钟驱动, 仿真钟的推进可按固定增量时间推进法或最小下次事件法进行。对于 BPR 流程仿真这样的离散型仿真过程, 由于系统状态在两次事件之间不会发生变化, 因此宜采用下次事件法。这样可跳过两次事件之间系统状态不发生变化的时间区间, 从而节省仿真的时间和费用。

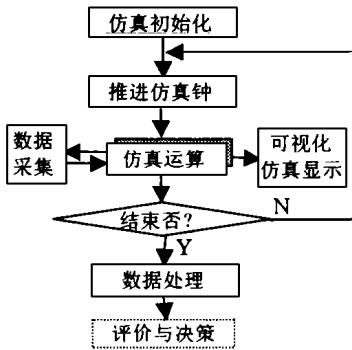


图 3 BPR 流程仿真过程

在每一仿真处理点上, 仿真程序执行例行仿真运算和数据采集, 并根据系统的当前状态更新可视化仿真显示结果。具体流程如图 3 所示。其中, 仿真运算是仿真运行管理的核心, 它执行对全部变迁的

扫描, 判断其是否满足变化条件, 并对需变化的变迁进行运算处理。仿真运算流程如图 4 所示。

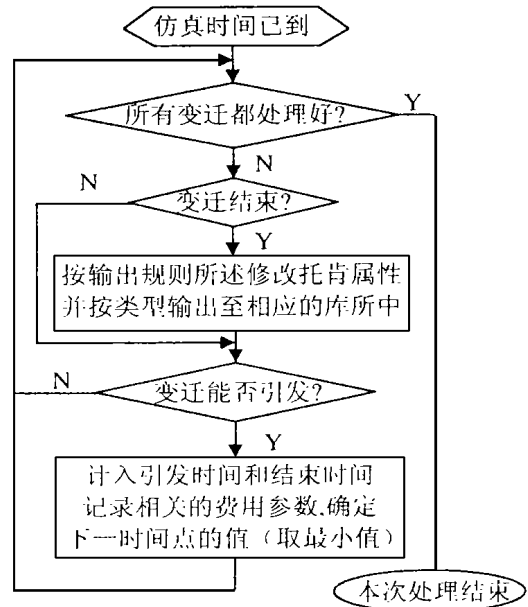


图 4 仿真运算流程

3.4 仿真数据分析

仿真对 BPR 的支持主要体现在通过提供仿真数据辅助模型的分析。模型分析既是模型改造的基础, 也是评价模型改造效果的依据。模型分析对象一般可分为针对内部特性和外部特性。对于支持 BPR 的 BPR-PN 而言, 外部特性分析更为重要。通过将时间、费用等指标由属性引入 BPR-PN 模型, 可满足对流程模型进行外部特性分析的需要。

在上述例子中, 当不同人员处理相同事件时, 所

用时间和费用各不相同。若模型中再引入设备因素, 则不同设备也将有不同的处理时间和费用。

基于上述数据, 可对模型进行时间分析和成本分析(参见表 2)。

表 2 中, x_n 为流程 a 中可能的顺序引发序列的个数, $x_n \geq 1$; a_{ki} 为流程 a 的第 i 个顺序引发序列中第 k 个变迁所对应的变迁序号; $C_x(t_{a_{ki}})$ 为 $t_{a_{ki}}$ 在流程 a 的第 x 个执行例中的出现色; m_a 为流程 a 实际可能的互不相同的执行例个数, $m_a \geq 1$; G 为流程 a 的第 1 个执行例实际出现的比率, $0 < G < 1$, $\sum_{i=1}^{m_a} G = 1$ 。

表 2 列出的各分析指标不同程度地体现了顾客接受服务的速度与质量, 是决定顾客满意度的重要因素。通过对其综合分析评价, 可对流程的优化重组提供有益的改进意见。

4 结 语

面向 BPR 的流程建模和仿真工具及方法是实施 BPR 的关键技术之一。本文提出的 BPR-PN 模型继承了 Petri 网对复杂过程关系的表达能力, 通过引入组织属性, 增强了对组织因素的表达; 通过引入时间和费用等与时间或经济效果有关的参数, 增

强了流程模型对仿真分析与评价的支持能力。针对 BPR-PN 的实际运用, 提出一种自顶而下的流程建模过程, 并探讨了其一般步骤及内容。

关于 BPR-PN 的流程仿真, 本文在基于仿真的 BPR 方法框架的基础上, 针对仿真运行管理和仿真数据分析等关键问题做了具体探讨。

参考文献:

- [1] Xue Huacheng, Hu Jian, Huang Lihu. Business process reengineering: A review[A]. Proc of the 4th Int Conf on Industrial Engineering and Engineering Management [C]. Hong Kong, 1997. 18-22.
- [2] Andrew Kusiak, T Nick Larson, Juite Wang. Reengineering of design and manufacturing processes[J]. Computers Ind Engng, 1994, 26(3): 521-536.
- [3] C A Petri. Kommunikation Mit Automaten. PhD Thesis [D]. Bonn: Institute fuer instrumentelle Mathematik, 1962.
- [4] W M P Van Der Aalst. The application of Petri nets to workflow management[J]. J of Circuits System and Computers, 1998, 8(1): 21-66.
- [5] 乔非, 吴启迪, 沈荣芳. 面向企业过程重建的事务流程模型研究与应用[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(1): 39-46.

(上接第 132 页)

- [14] 韩志刚. 非线性自适应控制系统设计的一种方法[J]. 控制与决策, 1990, 5(6): 39-45.
- [15] 韩志刚. 同参数估计对偶的自适应控制算法[J]. 控制理论与应用, 1992, 9(4): 374-379.
- [16] 韩志刚. 自适应控制系统设计的参数辨识途径[J]. 自动化学报, 1992, 18(6): 712-715.
- [17] 冯利华. 登陆台风的多层递阶预报[J]. 海洋预报, 1999, 16(1): 29-34.
- [18] 聂桂珍, 任崇. 用多层递阶周期分析作西沙海区热带气旋长期预报[J]. 海洋预报, 1997, 14(2): 53-57.
- [19] 周家斌, 黄嘉佑. 近年来中国统计气象学的新进展[J]. 气象学报, 1997, 55(3): 296-303.
- [20] 王博, 马跃先. 月径流序列的多层递阶预报研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, (7): 132-135.
- [21] 卢华友, 郭元裕. 利用多层递阶回归分析制定水库优化调度函数的研究[J]. 水利学报, 1998, (12): 71-77.
- [22] 汪四水, 张孝羲. 多层递阶法在稻纵卷叶螟长期预报中的应用[J]. 西南农业大学学报, 1998, 20(5): 523-527.
- [23] 闫冀楠, 张维. 利用 MLPOM 对上海股市时变 CAPM 的实证研究[J]. 预测, 1998, (2): 60-62.
- [24] 徐纲, 许志英. 汇率波动的预测研究[J]. 上海大学学报(自然科学版), 1999, 5(5): 441-444.
- [25] 郭飞, 朱学愚. 多层递阶非平稳时间序列模型预测矿坑涌水量[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2000, 36(3): 300-304.
- [26] 韩志刚, 蒋爱平. 自适应辨识、预报和控制多层递阶途径[M]. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 1995.