

文章编号:1673-5005(2006)04-0140-05

基于着色 Petri 网的电子商务 workflow 建模

朱连章, 张红霞

(中国石油大学 计算机与通信工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:用基本 Petri 网对电子商务 workflow 建模, 往往会因为细节过多而使其图形复杂。提出了一种基于着色 Petri 网的模型, 给出了针对电子商务中网上购物系统的建模过程并进行了结构合理性的论证。应用结果表明, 通过着色 Petri 网建模可以使得库所和变迁的数量都大为减少, 使图形更加简约。

关键词: workflow; 电子商务; 网上购物; 着色 Petri 网

中图分类号: TP 391 **文献标识码:** A

Modeling in electronic business workflow based on colored Petri nets

ZHU Lian-zhang, ZHANG Hong-xia

(College of Computer and Communication Engineering in China University of Petroleum,
Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: Modeling in electronic business workflow by ordinary Petri nets makes graph complex because of too much details. A novel model based on colored Petri net (CPN) was developed. By this modeling method, a modeling of network shopping in the electronic business was given and the justification of the structure was verified. The application results show that the number of places and transitions can be greatly reduced and the graph is made simpler by the modeling method in CPN.

Key words: workflow; electronic business; network shopping; colored Petri net

现代电子商务 workflow 系统中一次完整的商务活动涉及到供应商、制造商、客户等多个机构, 在用普通 Petri 网描述时, 往往由于图幅规模过大、细节过多、表示复杂, 使其难于理解, 卢朝霞等^[1]虽提出了分层 Petri 网, 消除了图幅过大的缺陷, 但却没有消除细节过多的缺陷。为此, 笔者提出一种基于着色 Petri 网 (CPN) 对电子商务系统进行建模的方法, 通过归并一些库所和变迁, 使库所和变迁的数量大为减少, 图形更加简约, 并对模型的结构合理性进行论证。

1 CPN 及 workflow 定义

1.1 CPN 的定义

CPN 是具有层次性的高级 Petri 网, 它扩展了普通 Petri 网的特性。相对普通 Petri 网来说, CPN

多了一个要素——声明。声明可以用语言 CPN ML 来描述, 在声明中定义了颜色集 (类型)、函数、运算和变量。着色 Petri 网的着色主要是针对 token 和库所而言。通过对 token 着色, 从而在用着色 Petri 网建立的模型中表现出不同的资源 (如不同的人员、不同处理对象等), 使得库所和变迁的数量都大为减少, 图形更加简约; 对库所的着色实际上是赋给库所一个颜色集, 该颜色集限定了该库所中 token 所能取的颜色范围。而声明中定义的函数则可以用来反映出对不同色的 token 进行不同的业务流程处理。

CPN 定义^[2] CPN 可以表示成九元组形式, 即

$$CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I).$$

式中, Σ 为颜色 (Color) 的非空有限集合; P 为描述系统库所 (Place) 的有限集合; T 为变迁 (Transition) 的有限集合; A 为弧 (Arc) 的有限集合, 满足 $P \cap T$

收稿日期: 2005-08-01

基金项目: 中国石油大学研究生创新基金资助项目 (2003-23)

作者简介: 朱连章 (1965-), 男 (汉族), 山东昌邑人, 教授, 博士, 研究方向为软件工程和数据挖掘。

$= P \cap A = A \cap T = \emptyset; N: A \rightarrow (P \times T \cup T \times P)$ 为节点(Node)函数; $C: (P \cup T) \rightarrow \Sigma_s$ 为颜色函数,其中 Σ_s 为 Σ 的有限子集; $G: T \rightarrow$ 表达式为 T 的守卫函数,即 $\forall t \in T, [Type(G(t)) = B \wedge Type(Var(G(t))) \subseteq \Sigma]$, 其中 $Type(v)$ 表示变量 v 的类型, $Var(expr)$ 表示表达式 $expr$ 中的变量集合; $E: A \rightarrow$ 表达式是弧表达式函数,形如 $\forall a \in A, [Type(E(a)) = C(P(a))_{ms} \wedge Type(Var(E(a))) \subseteq \Sigma]$; I 为 $P \rightarrow$ 表达式的初始标识,形如 $\forall p \in P, [Type(I(p)) = C(P)_{ms}]$ 。

CPN 的使能机制 步骤(step)在 Y 标识 M 下使能,当且仅当

$$\forall p \in P: \sum_{(t,b) \in Y} E(p,t) \langle b \rangle \leq M(p),$$

即在标识 M 下,变迁 t 在赋值 b 的情况下使能所需要的 token 数小于库所 p 拥有的 token 数。

CPN 的触发机制 步骤(step) Y 在标识 M_1 下使能变迁 t 的触发将产生新标识 M_2 ,当且仅当

$$\forall p \in P: M_2(p) = (M_1(p) - \sum_{(t,b) \in Y} E(p,t) \langle b \rangle) + \sum_{(t,b) \in Y} E(t,p) \langle b \rangle,$$

式中, $(M_1(p) - \sum_{(t,b) \in Y} E(p,t) \langle b \rangle)$ 为触发时消耗的 token 数; $\sum_{(t,b) \in Y} E(t,p) \langle b \rangle$ 为触发时产生的 token 数; M_2 是在 Y 发生的情况下从 M_1 直接可达的,表示为 $M_1[Y > M_2]$ 。

1.2 CPN 的特点

CPN 与普通 Petri 网有两个最基本和重要的区别。一是 CPN 的着色类型的标定表示系统中不同类型的资源,同时每个库所都与特定的颜色集绑定,表示该库所中只能存放相应颜色的 token。在弧上和变迁上存在着条件表达式和函数,说明弧的权值和颜色属性以及变迁触发的约束条件。标记的颜色可以是任意复杂的数据,从而大大简化了系统的复杂度。二是具有层次结构,这可以从整体到局部,由粗到精把系统分页,逐步细化,突出重点。通过层次的使用,使得 CPN 成为处理大型应用的功能强大的建模工具。同时,它又是少有的能同时用于验证系统功能/逻辑的正确性和评估系统性能的建模语言^[3]。但由于 token 的引入使得模型的可读性降低。

1.3 着色工作流网的相关概念

将 CPN 的理论引入工作流中,从而得出了另一种工作流网 CPWF net。

CPWF net 的定义 一个 CPN $(\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$ 是 CPWF net,当且仅当

(1) CPN 中存在 P 的两个子集 IN 和 OUT , 即 $IN, OUT \subseteq P$, 且 $|IN| = 1, |OUT| \geq 1, \forall i \in IN, \cdot i = \Phi, \forall o \in OUT, o \cdot = \Phi$;

(2) $\forall x \in P \cup T \wedge x \in IN \wedge x \in OUT, x$ 至少在一条从 $i \in IN$ 到 $o \in OUT$ 的路径上;

(3) 将变迁 t 分为 5 类: 自动类,人工类,消息类,时钟类,哑变类。用 T_c 表示 t 的分类,则 $t \in T: [Type(T_c(t)) \subseteq TT]$, 其中, $TT = \{自动类,人工类,消息类,时钟类,哑变类\}$ 。

根据 CPN 的使能和触发机制可以很容易得到 CPWF net 的使能触发机制,在此不作重复。

工作流的正确性、有效性及性能对于电子商务处理过程是十分重要的。因此,在工作流建模阶段,保证其正确性是非常重要的。这就对工作流模型的分析技术提出了更高的要求。

工作流网合理性的定义 一个工作流网是合理的,当且仅当

(1) 对于初始标记 M_i (库所 i 包含 1 个 token 的标志)可达的每一个标志 M , 存在一个启动顺序,使得标志 M 可达标志 M_0 , 即 $\forall M(M_i[* > M]) = M[* > M_0]$;

(2) 标志 M_0 (库所 o 包含 1 个 token 的标志)是从初始标志可达的,则 M_0 是惟一满足库所 o 至少包含一个库所的标志,即

$$\forall M(M_i[* > M \wedge M \geq M]) \Rightarrow (M = M_0);$$

(3) 在 (W, M_i) 中不存在死的转移,即 $\forall t \in T, \exists M, M', M_i[* > M[t > M']$ 。

该定义中的(1)描述的是从初始标志 M_i 开始,总能达到终止标志 M_0 ; (2)指的是当库所 o 中存在一个 token 时,其他库所应该为空; (3)描述的是在初始标志中不存在死的转移。同时,工作流的合理性与 Petri 网的活性和有界性是密切相关的,可以通过验证工作流网的结构特性获得它的合理性。

定理 1 工作流网络 W 是合理的,当且仅当该网系统 (W, M_i) 是活的并且是有界的。

2 基于 CPN 的电子商务模型

2.1 模型阐述及建模思路

现代电子商务工作流系统中,一次完整的商务活动涉及到供应商、制造商、分销网络、客户等多个机构,所以必须有效地安排企业的产、供、销活动^[4]。在此以网上购物系统为主要原型进行问题的说明。

建立该模型的主要思路是:首先对整个购物系统的总体进行设计,此时不用考虑各个机构内部的详细活动,利用 CPN 的分层特性,建立顶层的 CPN 模型。在此基础上再对各个机构内部的详细活动进行建模。由于供应商和生产商的工作流程是相似或相近的,所以考虑用一个子 CPN 模型来建立,通过颜色集来区分各个机构,从而使库所和变迁的数量大为减少,使图形更加简约。

对于一次网上购物活动,根据不同的机构或个人的参与活动进行描述。首先用户通过电子商城选购到自己想要的商品,然后向电子商城提出申请,通过网上银行进行支付,银行通过验证的时候将信息发送给网上商城,商城通过验证之后开始处理用户订单。根据用户所定商品的类型和数量来通知供货商,如果供货商有足够的商品,则将商品发送给物流中心,否则将向生产商发出商品请求,然后再供给物流中心,最后由物流将商品发送给用户,用户最终得到订购的商品。

根据这个粗略的描述以及 CPN 的理论得到的一个顶层的 CPN 模型如图 1 所示。

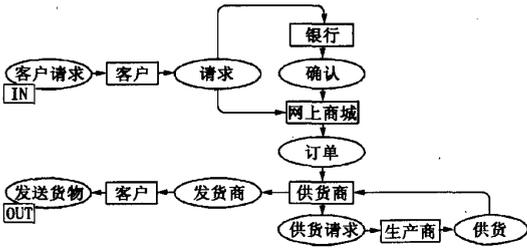


图 1 顶层的 CPN 模型

2.2 全局变量声明

在实际的电子商务系统中一般考虑各种因素,例如价格、送货时间、商品数量以及消耗的资源等。然而用着色 Petri 网对其进行分析时,只需考虑商品数量和商品种类两个因素。用语言 CPN ML 来描述模型中的声明,模型中用到的颜色集,变量和一些参数的定义如下:

▼Declarations

- ▼color INT
color INT = int;
- ▼color Role
color Role = with p|q;
- ▼color Type
color Type = string;
- ▼color Pro
color Pro = product INT * Type * Role;

- ▼color E
color E = with e;
- ▼var n m N
var n, m, N: INT;
- ▼var t
var t: Type;
- ▼var r
var r: Role;
- ▼fun delivery
fun delivery(i, j) = if (i ≥ j) then i - j else 0;
- ▼fun order
fun order(i, j) = if (j ≥ i) then 0 else i + i - j;

从上述声明中可以看出,为了用 CPN 描述网上购物系统,定义了颜色集 Role;用于描述 workflow 中的机构。同时可以看出,通过这些颜色的增加,可以加强模型的解释能力,使模型含义更丰富,增加对工作流活动和状态转移建模的需求。由于颜色参数还可以根据不同的模型适当增加,因此模型也具有很强的可扩展性。

函数 $delivery(i, j)$ 描述了被购买商品传送过程。变量 i 表示订单需求数量,变量 j 表示商品库存数量。函数 $delivery(i, j)$ 的结果是:如果库存数量满足订单要求,则传送订单商品,返回值为 0;如果库存商品不满足订单,则返回值 $i - j$ 表示没有传送的商品数量。

函数 $order(i, j)$ 描述了根据订单要求向其他机构重新发出订购要求的行为。函数 $order(i, j)$ 的行为如下:如果库存有足够的商品,则不订购任何商品,返回值为 0;如果库存商品缺乏,则 $i - j$ 的商品会被先订购,同时向其他机构发出新的订单请求,要求订购商品的数量为 $i + i - j$,使库存量变为 i 。

2.3 CPN 子页结构

当用户要求购某商品 n 件时网上商城将会根据银行的认证和自己的验证来确定用户的合法性,如果确定用户合法,则把用户的要求发送给供货商,由供货商来提供商品。

当供货商(假设供货商目前的库存量为 N)收到来自网上商城的订单 (x, n) 时,首先检查自己是否有 n 件商品,如果有,则将 n 件商品传给物流商,同时更改库存量为 $N - n$,由物流商发送商品。如果库存量小于 n 件,就先向物流提供 N 件商品,然后向生产商要求补给 $n + n - N$ 件商品,使供货商的库存商品数量随着实际的变化而变化。

图 2 给出了商品提供者的流程。由于颜色集的

0,0,2)

$$M_1 = (1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (10, "a"), 1 \cdot (8, "a"), 0, 0, 0, 1)$$

$$M_2 = (1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (2, "a"), 0, 1 \cdot (8, "a"), 0, 0, 1)$$

$$M_3 = (1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (2, "a"), 0, 0, 0, 1 \cdot (8, "a"), 2)$$

$$M_4 = (1 \cdot (8, "a"), 1 \cdot (10, "a"), 1 \cdot (5, "b"), 0, 1 \cdot (10, "b"), 0, 1)$$

$$M_5 = (1 \cdot (8, "a"), 1 \cdot (10, "a") + 1 \cdot (10, "b"), 0, 0, 0, 0, 1)$$

$$M_6 = (1 \cdot (8, "a"), 1 \cdot (10, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 1)$$

$$M_7 = (1 \cdot (8, "a"), 1 \cdot (10, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 0, 1 \cdot (5, "b"), 2)$$

$$M_8 = (0, 1 \cdot (8, "a"), 1 \cdot (8, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 1 \cdot (10, "b"), 0, 0)$$

$$M_9 = (0, 1 \cdot (2, "a"), 1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (8, "a"), 0, 1 \cdot (10, "b"), 0, 0)$$

$$M_{10} = (0, 1 \cdot (2, "a"), 1 \cdot (5, "b"), 0, 1 \cdot (10, "b"), 1 \cdot (8, "a"), 1)$$

$$M_{11} = (0, 1 \cdot (10, "a") + 1 \cdot (10, "b"), 1 \cdot (8, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 0, 0)$$

$$M_{12} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (10, "b"), 1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (8, "a"), 0, 0, 0)$$

$$M_{13} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (10, "b"), 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 1 \cdot (8, "a"), 1)$$

$$M_{14} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (10, "b"), 0, 1 \cdot (5, "b") + 1 \cdot (8, "a"), 0, 0, 0)$$

$$M_{15} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 1 \cdot (8, "a"), 1)$$

$$M_{16} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 0, 1 \cdot (8, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 2)$$

$$M_{17} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 0, 1 \cdot (8, "a"), 0, 1 \cdot (5, "b"), 1)$$

$$M_{18} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (8, "a"), 1 \cdot (5, "b"), 0, 0, 0)$$

$$M_{19} = (0, 1 \cdot (2, "a") + 1 \cdot (5, "b"), 1 \cdot (8, "a"), 0, 0, 1 \cdot (5, "b"), 1)$$

通过该图可以得出:

(1)从初始标志 M_0 开始,总能达到终止标志 M_{16} ,模型具有可达性;

(2)可达图的任何节点中都没有 n 出现,从而得出该模型是有界的;

(3)可达图中不存在死锁,所以该模型具有活性;

(4)可达图可以覆盖模型中的每个状态,所以该模型具有可覆盖性。

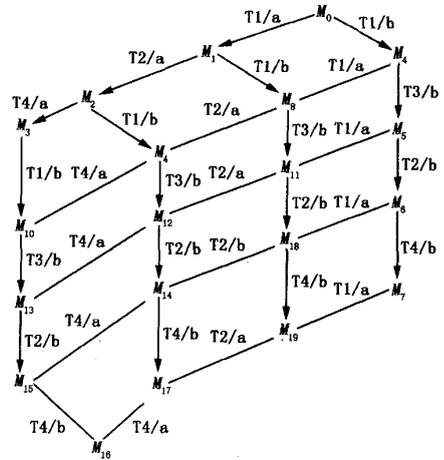


图4 可达树

4 结束语

基于着色 Petri 网进行工作流建模,解决了利用普通 Petri 网建立的电子商务系统模型图形过于复杂的缺陷,利用 CPN 对电子商务中网上购物系统建模的过程证明了这种技术可操作性强,并分析了模型的合理性,证明了 CPN 建模可以有效地降低模型的复杂性,图形更加简约.因此 CPN 在对复杂的业务过程建立过程模型方面有着很大的优越性.但是,由于颜色集的引入,使得模型的可读性降低.同时,在建模的过程中未引入时间的因素,使得模型不够精确,以至未进行模型的性能分析,这都是今后需要改进的地方。

参考文献:

[1] 卢朝霞,曾广周. Petri 网在商务工作流建模中的应用研究[J]. 计算机工程与应用,2003(19):199-202.
 LU Zhao-xia, ZENG Guang-zhou. Applying Petri nets in modeling business workflow[J]. Computer Engineering and Applications, 2003(19):199-202.

[2] JENSEN K. Colored Petri nets-basic concepts, analysis methods and practical use[M]. New York: Springer, 1997.

(下转第 148 页)

[8] CAO J. Global stability analysis in delayed cellular neural networks[J]. Phys Rev, 1999, 59(5):5940-5944.

[9] ZENG Z, WANG J, LIAO X. Stability analysis of delayed cellular neural networks described using cloning templates[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 2004, 51(11):2313-2324.

[10] LIAO X, YU J. Robust stability criteria for interval Hopfield neural networks with time delay[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1998(9):1042-1046.

[11] SALAMON D. Control and observation of neutral systems[M]. Boston: Pitman Advanced Pub Program, 1984.

[12] ZHANG Y M, SHEN Y, LIAO X X. Robust stability of neutral stochastic interval systems [J]. Journal of Control Theory and Applications, 2004, 2(1): 82-84.

[13] ZHANG Y M, GUO L, WU L, et al. On stochastic neutral neural networks [C]//Advances in Computer Science, LNCS 3496. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, c2005:69-74.

[14] ZHANG Y M, GUO L, FENG C B. Stability analysis on a neutral neural network model[C]//ICIC2005, Part I, LNCS 3644. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, c2005:697-706.

(编辑 修荣荣)

(上接第 144 页)

[3] 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.
CHEN Xiang, XIA Guo-ping. Workflow modeling based on colored Petri nets and its soundness analysis[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(4): 381-387.

[4] 王刊良. 基于分类的企业电子商务模式创新方法[J]. 系统工程理论与实践, 2003(3):18-23.
WANG Kan-liang. Taxonomy-based innovation method of E-commerce business models[J]. System Engineering—Theory & Practice, 2003(3):18-23.

[5] MICHEL Beaudouin-lafon, WENDY E Mackay, PETER Andersen, et al. CPN/tools: a post-WIMP interface for editing and simulating colored Petri nets[C]//COLOM J-M, KOUTNY M. Application and Theory of Petri Nets 2001. Proceedings of the 22nd International Petri Net Conference (ICATPN 2001), June 2001, Newcastle upon Tyne England. Lecture Notes in Computer Science, 2075:71-80.

[6] KURT Jensen. Colored Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use (Volume 1) [M]. Berlin: Springer, 1992:69-78.

(编辑 修荣荣)

下 期 要 目

乔文孝,等	基于圆弧阵的多极子声波测井辐射器
楚泽涵,等	关于平面声波在平行分界面上反射和折射的理论计算
黄朋,等	冲绳海槽火山岩同位素特征及铀系组份法年龄测定
孙钰,等	松辽盆地南部坳陷期层序地层研究
路慎强,等	陆相碎屑岩地层中震积岩岩心识别标志研究
程远方,等	岩屑声波法地层压力监测技术研究与应用
李根生,等	水力射孔对地层破裂压力的影响研究
张吉昌,等	裂缝各向异性油藏孔隙度和渗透率计算方法
畅元江,等	导向架隔水管在波流联合作用下的非线性动力响应
吴学兵,等	海洋勘探水听器二次定位新技术研究
邓化凌,等	465 t/h 循环流化床锅炉 2 级过热器材失效分析
孙长宇,等	注 CO ₂ 油气藏流体系油/水和油气界面张力实验研究
胡松青,等	1,3-丁二烯环氧化反应理论研究
宋春敏,等	由碱处理的 ZSM-5 沸石合成 MCM-41 型结构复合分子筛研究
项玉芝,等	脱除轻质油品中硫化氢的不同固体碱性能研究
郑艳梅,等	修正 HS 共轭梯度算法的全局收敛性