

# 基于 Petri 网的非集中式电子商务平台建模与仿真

傅 游,任晓军

(山东科技大学 信息科学与工程学院,山东 青岛 266510)

**摘 要:**随着 Internet 的普及和网络安全性的提高,电子商务得到了迅速的发展。为了更好地满足网络环境下电子交易发展的需求,详细分析了电子商务的业务流程,设计了一个具有交易约束机制的电子商务系统框架。首先,基于 Petri 网这一建模分析工具,建立了电子商务系统业务流程的 Petri 模型,并设计了有界 Petri 网可达树生成算法,用于分析所设计的电子商务系统 Petri 网模型的性质;然后,运用 Petri 网系统动态仿真工具——CPNTools,对所设计的电子商务系统模型进行了仿真运行,并分析了实验结果。从静态和动态两个方面检验了所设计的电子商务平台框架的可行性,该框架可以用来指导下一步的系统开发工作。

**关键词:**Petri 网;电子商务;建模;仿真

**中图分类号:**TP311

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2010)11-0137-04

## Modeling and Simulation of Non-Centralized Electronic Commerce System Based on Petri Net

FU You, REN Xiao-jun

(College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

**Abstract:** With the widespread usage of internet and the improving security of networks, electronic commerce developed rapidly. The business processes of electronic commerce were analyzed in detail according to the requirements of open internet environment. An electronic commerce framework with trading constraint mechanisms was designed according to the requirements of online transactions. The business procedure model is established based on Petri net, and the properties of the model were analyzed as well. Lastly, the system model was emulated with a Petri net simulation system—CPNTools, and the simulation report is analyzed as well. The framework is proved to be valid from both static and dynamic aspects, and can be used as a guider of system development.

**Key words:** Petri net; electronic commerce; modeling; simulation

## 0 引 言

电子商务(Electronic Commerce 简称 EC)是在 Internet 开放环境下完成商品、信息、资金的流动,将传统的、集中式的物理市场交易转变为因特网上的电子交易。在电子商务交易过程中,除了商品提供者和消费者之外,还必须涉及到诸如金融机构、税务机关、认证组织和物资配送机构等其它部门,而且参与电子交易的各方在物理上是互不谋面的。因此,这里提到的“非集中式”是指,电子商务过程是由多个与业务过程相关

的实体共同参与来完成的。电子商务需要一个能够协调多方的、安全性高的综合系统来保障这一交易过程的实现。为了降低系统的开发风险,在系统真正实施之前,通常会为系统建立模型和对模型的性质进行深入分析,及时发现系统的不足,减少系统的设计错误,保证系统的有效性,促进业务流程的优化。

国内外关于电子商务系统形式化模拟和验证技术方法的研究主要分为四大类:一般形式化方法、基于逻辑的方法、基于 Petri 网的方法和基于工作流网的方法<sup>[1-3]</sup>,Grimm 等给出了一个电子合同(electronic contract)的形式化模拟与分析方法,基于形式语言及语言同构的理论研究每个参与方和通信系统的局部行为,分析整个系统的行为性质;Rohm 等应用图的形式来描述电子商务系统安全性和公平性;Bons 等讨论了如何设计可信赖的电子商务交易过程的问题,并给出了若干个设计原则。Hirai 应用命题时序线性逻辑模拟

收稿日期:2010-02-20;修回日期:2010-06-07

基金项目:山东省教育科技计划项目(J08LJ11);青岛市经济技术开发区科技发展计划项目(2008-2-27);山东科技大学春雷计划项目(2009AZZ106)

作者简介:傅 游(1969-),女,山东聊城人,副教授,从事并行计算与高性能计算研究。

验证实时并发系统。而 Petri 网应用于电子商务系统形式模拟与分析的方法很多,如基于时间 Petri 网的方法、基于颜色 Petri 网的方法以及基于时序 Petri 网的方法等<sup>[2]</sup>。 workflow 技术为电子商务系统交易进程提供了计算机支持的模拟、执行、监控和系统重构<sup>[2,4]</sup>。

在很多系统的形式化分析过程中,并不是单一地应用一种形式化技术,而是两种或多种形式化技术的综合应用。

文中通过对电子商务业务流程的分析,设计了一个电子商务平台的框架,综合应用 Petri 网和 workflow 技术,建立了系统的可视化模型。给出了验证 Petri 网模型可达性的算法,并应用 Petri 网模拟分析工具,对系统模型进行了仿真。


## 1 基础知识


在电子商务平台建模分析过程中,要用到 Petri 网、workflow 网、ebXML、认证中心等概念。


### 1.1 Petri 网和 workflow 网

Petri 网在 1962 年由 Carl Adam Petri 作为一种过程建模和分析的工具提出,可对模型的性质作出精确的判断。Petri 网有特定的图形表示,通常用圆圈或椭圆表示库所,用方框(□)或粗杠(┌, ┐)表示变迁,用从  $x$  到  $y$  的箭头表示流关系中的  $(x, y)$ 。

Aalst<sup>[1]</sup>将对 workflow 控制纬度建模的 Petri 网称为 workflow 网(WF-net),它是一种特殊的 Petri 网,加强了建模阶段对业务流程的描述能力。workflow 网准确区分了活动的使能和活动的执行两种状态,被使能的活动要真正的被执行,必须具备相应的触发机制,通常用图形符号表示相应的触发机制:

(1)资源主导触发,用一个空心箭头表示图  (例如一个雇员从他的工作列表选择一个任务);

(2)外部事件触发,用一个信封符号表示  (例如一个 EDI(电子数据交换)消息的到来);

(3)时间信号触发,用一个时钟符号表示  (例如经过时间扩展后一个变迁的触发时间戳等)。

### 1.2 ebXML

ebXML(electronic business XML)是一组支持模块化电子商务框架的规范<sup>[5]</sup>,由联合国(UN/CEFACT, 贸易促进和电子商务中心)和 OASIS(结构化信息标准发展组织)共同倡导、全球参与开发和使用的。ebXML 支持一个全球化的电子市场,它使得任意规模的企业通过交换基于 XML 的信息,不受地域限制地接洽和处理生意。

### 1.3 认证中心

所谓认证中心,是负责向电子商务系统其它所有

参与方发放和验证证书的组织,它是为了确保网络交易资金流动的安全、可信而设立。认证中心是专门提供网络身份认证服务,负责签发和管理数字证书,且具有权威性和公正性的第三方信任机构,同时也起到约束交易双方、代管交易资金的作用(如支付宝、财付通等都起到类似认证中心的作用)<sup>[6,7]</sup>。

## 2 电子商务平台体系结构及业务流程

### 2.1 电子商务平台的体系结构

一个完整的电子商务系统的体系结构由买家、卖家、买家银行、卖家银行、认证中心、物流企业等六部分组成<sup>[8~10]</sup>(如图 1 所示)。假设这个系统采用先付款(交由第三方暂管)后发货的方式进行交易,本电子商务平台的交易步骤为:

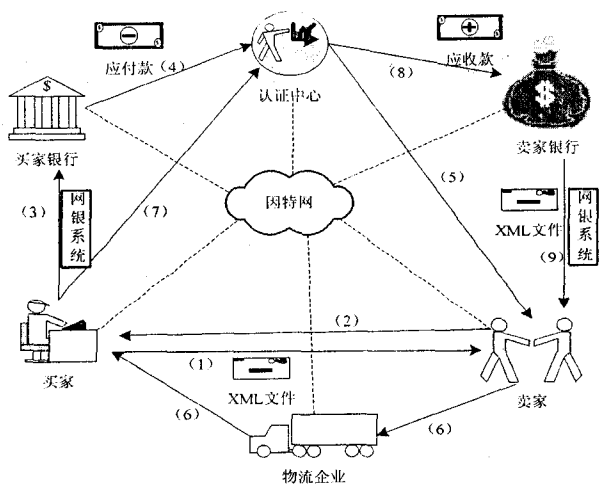


图 1 电子商务平台体系结构

(1)买方向卖方发送订货请求,信息内容包含在一个 XML 文件内,包括买家的个人基本信息(联系方式、地址等)以及选购的商品列表等;

(2)卖家检查买家的订货单,查看商品库存情况。如果库存充足,向买家发送付费请求,否则向买家发送缺货通知;

(3)如果买家收到卖家的付费申请,买家就通知买家存款银行向自己在认证中心的账号划款(前提是用户开通了网上银行);

(4)买家银行根据客户的请求,将指定金额划入客户在认证中心的账号;

(5)认证中心将收款通知发送给卖家;

(6)卖家将售货发票和商品交由物流公司投递;

(7)买家收到货物后通知认证中心付款给卖家;

(8)认证中心将应付款打入卖家银行账户;

(9)卖家存款银行验证付款并向卖家发送通知,该通知包含在一个 XML 文件内,内容包含交易代码、交易日期、交易金额等。

2.2 电子商务平台的业务流程

电子商务系统具有与传统交易市场相同的目的,它们都是最终完成买家和卖家之间的买卖交易<sup>[10]</sup>。图 2 为电子商务平台的业务流程图。

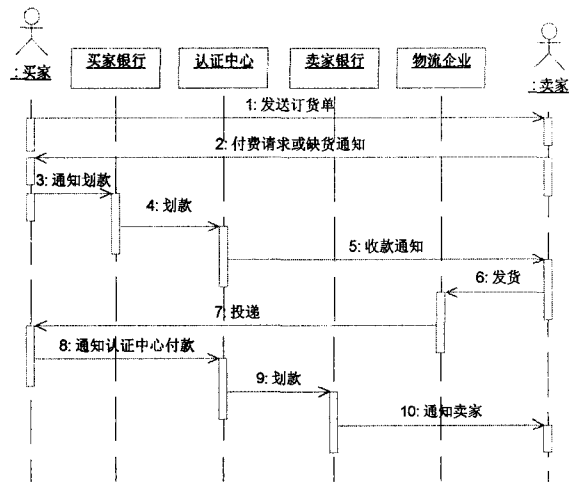


图 2 业务流程时序图

卖家提供产品,买家订购卖家的产品。买家银行负责向卖家支付其订购产品的货款。卖家银行负责接收货款。认证中心负责约束交易双方,并临时管理交易资金。在卖家接到认证中心的收款消息后开始发货,货物交由物流公司投递。买家收到货物后就通知认证中心将款项划入卖家银行。卖家银行负责验证付费并向卖家发送一个付费确认通知。所有电子信息的交换都通过因特网传输。

3 非集中式电子商务平台的 Petri 网建模与分析

为了更好地检验所设计系统的可行性,下面给出系统的 Petri 网模型,以便及时发现系统设计的不足,准确定位设计缺陷的位置,促进业务流程的改进。

3.1 电子商务平台的 Petri 网建模

根据电子商务平台的业务活动流程,基于 Petri 网这一有效工具,建立电子商务平台的 Petri 网模型。为了增强 Petri 网图形的描述能力这里采用了 Aalst<sup>[11]</sup>提出的一些图形符号来描述工作流程,系统的 Petri 网模型如图 3 所示。图形中的库所表示事件发生的前提条件,变迁表示具体事件,P-Start 表示一笔交易的开始,P-End 表示一笔交易的结束。因为变迁在所有前驱库所都含有托肯时才能发生,如果一个变迁已经发生,那么这个条件肯定是满足的,所以,根据实际需要及篇幅所限,在表 1 中仅给出图 3 中所有变迁的含义,认为这些变迁发生时,它们的所有前驱条件都是满足的。

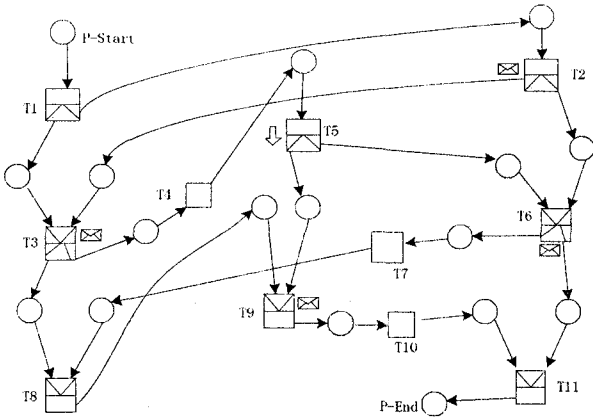


图 3 电子商务业务流程的 Petri 网模型

表 1 变迁表示的意义

变迁	活动含义	变迁	活动含义
T <sub>1</sub>	买家发出购物单	T <sub>2</sub>	卖家检查商品库存
T <sub>3</sub>	通知买家银行划款	T <sub>4</sub>	买家银行划款到认证中心
T <sub>5</sub>	认证中心通知卖家	T <sub>6</sub>	卖家发出商品
T <sub>7</sub>	物流公司投递	T <sub>8</sub>	买家授权认证中心划款
T <sub>9</sub>	认证中心划款到卖家银行	T <sub>10</sub>	卖家银行收款并通知卖家
T <sub>11</sub>	卖家将交易归档		

3.2 Petri 网模型性质分析

Petri 作为图形化的建模工具,经过四十多年的发展,其理论体系日趋完备,有了坚实的数学基础,可以用来对模型性质做出精确的分析。为了能够对任意规模的有界 Petri 网模型(因为任何系统的事务处理能力都是有限的,所以 Petri 网模型应是有界的)都可以分析其活性、可达性等性质,在无界 Petri 网可覆盖性树算法<sup>[12]</sup>基础上,文中提出一个有界 Petri 网的可达性树(Reachable Tree)构造算法。

Algorithm 1:有界 Petri 网可达性树构造算法

```
Input:  $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 
Output:  $RT(\Sigma)$ 

Algorithm Steps:
Step 0:  $M_0$  is root node of  $RT(\Sigma)$ , and mark it with "New";
Step 1: While exist nodes with "New"
Do select one node with "New" and set it to be  $M$ ;
Step2: If there is a node  $M$  on the way from  $M_0$  to  $M$ , then mark  $M$  with "Old", return step1;
Step 3: If  $\forall t \in T : \neg M[t >$  Then mark  $M$  with "End - node", return to Step 1;
Step 4: For every  $t \in T$ , Do
4.1 If  $M[t >$ , find all  $M'$  nodes that satisfy  $M[t > M'$  and these nodes form the set  $R(M)$ ;
4.2: Draw all nodes of  $R(M)$  into  $RT(\Sigma)$ , and mark them with
```

“New”;

4.3: Add directed arcs from  $M$  to every  $M'$  and mark the corresponding  $t$  beside every arc, mark  $M$  with “old”, return to step1.

算法的执行过程大致如下:

(1) 把电子商务平台的 Petri 网模型作为算法的输入;

(2) 把  $M_0$  作为可达树的根节点, 并标示“New”;

(3) 从所有标示为“New”的节点中任意选择一个节点并设为  $M$ , 第一次选择只有  $M_0$  为“New”, 所以只能选  $M_0$ ;

(4) 计算所有满足  $M[t > M']$  的节点  $M'$ , 并将这些  $M'$  节点都标示为“New”;

(5) 把所有的  $M'$  节点都引入到可达树  $RT(\Sigma)$  中;

(6) 从节点  $M$  到每一个  $M'$  节点都引入一条有向弧, 并将  $M$  标示为“Old”第一次循环运行过程中, 即将  $M_0$  与所有的  $M'$  用有向弧连接起来, 并在每条弧旁标注引起状态变化的事件;

(7) 第一轮循环结束, 返回第(3)步继续执行, 直到没有标注为“New”的节点;

(8) 算法结束, 输出电子商务平台有界 Petri 网模型的可达树。

算法分析: 该算法是有界 Petri 网可达树构造方法, 任何规模的有界 Petri 网都可以作为算法的输入, 算法运行结束后, 输出 Petri 网模型的可达状态树。

Petri 网模型可达性树上有两类节点, 一类是普通节点, 一类是叶子节点。普通节点代表电子商务平台在运行过程中可能到达的中间状态, 从  $M_0$  到某个普通节点的路径旁标序列, 代表一笔业务从开始运作到当前状态所经过的事件序列。叶子节点代表电子商务业务流程在运转过程中, 可能进入的死锁状态或者整个流程的结束, 这需要根据引起系统进入当前状态的事件做出判断。因此, 通过应用算法 1, 电子商务平台的设计人员可以得到系统在运行过程中可能达到的所有状态, 了解到达某一状态所经过的业务步骤, 及时发现系统运行过程中可能出现的死锁状态, 促进设计人员对工作流平台进行优化设计。

#### 4 Petri 网模型的仿真实验

为了提高系统 Petri 网模型可行性验证的效率和直观性, 可以应用 Petri 网系统仿真工具对系统模型进行仿真运行。现有的比较成熟的仿真软件有很多, 如 CPNTools, Petrii, PN-applet 等, 文中采用 CPNTools 完成系统模型的仿真运行。

先简要介绍一下 CPNTools 中的各种图形和符号所表示的意义。椭圆或圆形表示库所, 方形表示变迁,

带箭头的连接弧表示活动间的流关系。库所和连接弧旁边的数字代表某类资源的个数。

电子商务平台 Petri 网模型实验仿真步骤如下:

(1) CPNTools 仿真系统主面板中绘制电子商务平台的 Petri 网模型, 并命名为 ECplatform;

(2) 设置所有库所、变迁、连接弧的参数值;

(3) 仿真运行模型;

(4) 生成仿真报告。图 4 给出了仿真实验过程中一个截图, 图中变迁活动的含义和表 1 中相同。图 5 是实验报告, 是仿真实验结束时生成的记事本文件。

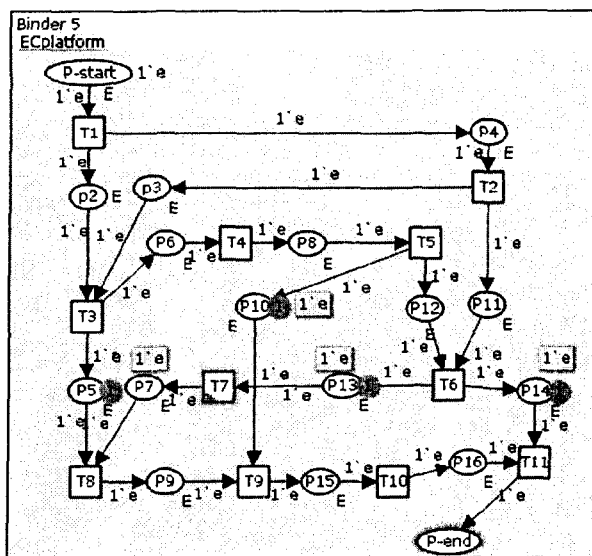


图 4 系统 Petri 网模型仿真实验

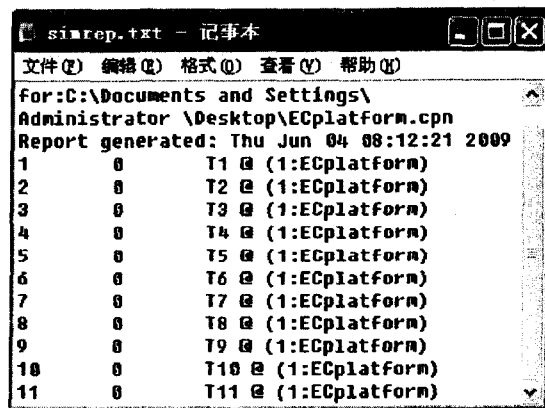


图 5 系统仿真实验报告

通过观察系统模型的仿真实验过程以及对仿真实验报告的分析, 系统运行过程中不存在死锁节点, 业务流程的设计是合理的。仿真实验开始时, 只有库所  $P$ -start 中存在一个托肯而其他库所为空, 仿真实验顺利结束后, 在库所  $P$ -end 中出现一个托肯而其他库所都变为空, 流程中间没有遗留托肯, 这符合一个合理的工作流网的要求。因此, 文中设计的电子商务平台模

(下转第 145 页)

法。该算法通过利用多个网关之间的协作,能够根据源节点到网关节点的跳数信息以及网关节点自身的负载状况,实时对网络负载进行分流,并通过一种快速平滑的网关切换方式对其进行调度,从而有效地缓解拥塞网关节点的负载压力,提高 WMN 的 Internet 接入性能。下一步工作将针对网关选取与切换策略如何更好的提供 QoS 保证作深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 董超,陈贵海,王海.无线网状的 QoS 研究[J].软件学报,2009,21(6):1539-1552.
- [2] 姜永,郑明春,李国强. IEEE802.16 中的无线 Mesh 网络研究[J].计算机技术与发展,2008,18(5):234-237.
- [3] 无线 Mesh 网络关键技术[EB/OL]. 2008-04. <http://www.cctime.com/html/2008-4-24/20084241157120415-4.htm>.
- [4] Sun Y, Belding-Royer E M, Perkins C E. Internet connectivity for Ad hoc mobile networks[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2002, 9(2): 75-88.
- [5] Hofmann P, Bettstetter C, Prehofer C. Performance impact of multihop handovers in an IP-based multihop radio access network[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2006, 10(2): 13-25.
- [6] 陈锦源,魏文红.多信道无线 Mesh 网络负载均衡路由算法研究[J].计算机工程与应用,2009,45(19):98-100.
- [7] Shin J, Lee H, Na J, et al. Load balancing among internet gateways in Ad hoc networks[C]//Proceedings of 2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conference (VTS'05). Dallas, Texas, USA: [s. n.], 2005: 1677-1680.
- [8] Fu Yi, Chan Kwang-Mien, Tan Kean-Soon, et al. Multi-metric gateway discovery for MANET[C]//Proceedings of 2006 IEEE 63rd Vehicular Technology Conference (VTS'06). Melbourne, Australia: [s. n.], 2006: 777-781.
- [9] Ammari H, Ei-Rewini H. Using hybrid selection schemes to support QoS when providing multihop wireless internet access to mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2004: 148-155.
- [10] Park B, Lee C. QoS-aware internet access schemes for wireless mobile Ad hoc networks[J]. Elsevier Computer Communications, 2007, 30(2): 369-384.
- [11] 曾锋,陈志刚,赵明,等.无线 Mesh 网中实现网关负载均衡部署的混合算法[J].系统仿真学报,2009,21(10): 3029-3034.
- [12] 张凯捷,向勇,史美林.移动自组网与 Internet 的多网关互连[J].清华大学学报(自然科学版),2007,47(1):100-103.

(上接第 140 页)

型可以用来指导接下来的系统开发。

## 5 结束语

文中根据电子交易的特点、社会环境、技术需求等,提出了一个具有交易约束机制的电子商务平台模型。文中基于 Petri 网这一有效工具,建立了电子商务平台的 Petri 网系统模型,并设计了检验 Petri 网模型活性的可达树生成算法,最后应用 Petri 网仿真工具,对设计的电子商务模型进行了实验仿真,并分析了实验结果。根据实验结果,可以定位系统设计中的缺陷,引导设计人员优化业务流程。文中提出的电子商务平台建模方法和前言中介绍的各种已有的电子商务建模方法相比,更具有直观性,更有利于运用计算机分析系统模型的活性、可达性等重要性质等。

#### 参考文献:

- [1] van der Aalst W M P. The application of Petri nets to workflow management[J]. The Journal of Circuit, System and Computers, 1998(8): 21-66.
- [2] 杜玉越.电子商务系统的 Petri 网建模理论与分析技术研究[D].上海:同济大学,2003.
- [3] 严慧芳,刘丹,胡艳蓉.一种电子商务中的非集中式 P2P 信任模型[J].武汉生物工程学院学报,2008,4(1):19-23.
- [4] van der Aalst W M P, Basten T. Inheritance of workflows: an approach to tackling problems related to change[J]. Theoretical Computer Science, 2002, 270(1-2): 125-203.
- [5] ebXML Technical Architecture Specification[EB/OL]. 2001-02-16. <http://www.ebxml.org/specs/ebTA.pdf>.
- [6] 韦丽娜,何冰.电子商务扩展标准语言研究[J].计算机技术与发展,2009,19(1):128-130.
- [7] 何培鹏,魏凤.基于 RosettaNet 的第三方电子商务交换平台[J].计算机技术与发展,2006,16(3):139-141.
- [8] 王凤洲,周琦萍.电子商务物流系统的建模与仿真[J].系统科学学报,2007,15(4):86-89.
- [9] 王晓洁,朱清新.基于 XML/Web 服务的分布式电子商务系统的研究[J].计算机技术与发展,2006,16(3):194-199.
- [10] 张大强,殷世民.基于 Web Service 的电子商务体系结构[J].计算机技术与发展,2006,16(7):23-25.
- [11] van Aalst W, van Hee K. Workflow Management—Models, Methods, and Systems[M]. 王建民,译.北京:清华大学出版社,2004.
- [12] 吴哲辉. Petri 网导论[M].北京:机械工业出版社,2006.