

虚拟企业业务流程的建模方法研究

方志梅¹, 姚 岩¹, 赵海波²

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 丽水学院 工学院, 浙江 丽水 323000)

摘要: 为设计分析虚拟企业生产运作系统, 针对虚拟企业业务流程的特点, 应用 UML、Petri 网和面向对象技术, 提出了虚拟企业业务流程的建模方法. 该方法分全局业务流程和子业务流程两个层面, 全局业务流程采用 UML 序列图和 Petri 网建模, 表示虚拟企业各成员之间的交互接口关系; 子业务流程采用面向对象的 Petri 网建模, 实现成员企业内部流程的表达、封装和相互之间的业务连接. 仿真验证表明, 所建模型满足合理性要求.

关键词: 虚拟企业; 业务流程; UML; Petri 网; 面向对象技术

中图分类号: TH166

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 05-0001-06

虚拟企业是由多个企业以跨企业制造资源集成为核心而建立的动态联盟, 是当今制造企业实现战略转型、改进制造模式、快速响应市场需求的有效手段. 相比于传统实体企业, 虚拟企业的组织结构具有动态性和时空性, 制造资源表现为离散性和互补性, 运行模式呈现网络化和并行化, 信息交换兼有共享性和私密性, 因此被学界认为是 21 世纪最具竞争力的企业组织模式.

多年来, 有很多学者就虚拟企业的相关问题开展了研究, 文献[1]对 1976~2012 年期间, 在 Web of Science 数据库中的 2 478 篇相关文献进行了分析, 将已有的研究工作归纳为四个方面: 一是虚拟企业的组织构建方法, 包括协作创新、网络技术、战略联盟、合作伙伴选择、Agent、神经网络、复杂网络和模型设计等; 二是虚拟企业的信任问题, 涉及机会主义、信任模型、信任机制、信息沟通等内容; 三是虚拟企业绩效问题, 从合作关系、动态能力、合作结果等角度研究分析合作过程和财务、非财务的绩效; 四是虚拟企业的知识管理, 包括知识管理系统构建、知识管理建模、知识共享等. 考察这些研究工作可知, 大多数的研究涉及虚拟企业构建技术或是宏观战略层面的问题, 对生产运作等微观层面的研究相对欠缺.

业务流程是企业为实现某个经营目标而执行的一系列相互关联活动^[2], 业务流程建模就是利用各种建模工具对企业的业务构成关系及其逻辑步骤进行抽象描述^[3]. 目前业务流程建模已有一些研究, 如文献[4]应用 IDEF0 方法自上向下逐层分解, 建立了虚拟企业生产物流系统各层面的功能模型, 以表达活动之间的纵横联系. 文献[5]应用 ARIS 建模方法建立了农业信息采集平台中工程管理模块的流程模型. 文献[6]构建了海军事械装备分配调拨业务流程的 UML 模型. 文献[7-8]用 Petri 网分别对机械制造企业、复杂装备服务业的业务流程进行建模, 反映流程中的活动、人员角色、资源及其对应关系. 文献[9]用 Petri 网建模验证了业务流程的可靠性. 文献[10]应用着色 CPN 网建立医院诊疗服务流程的 Petri 网模型, 验证模型的正确性并进行仿真分析. 文献[11]对煤炭超市的业务流程建立了顶层模型、子层模型和子层间连接模型, 以表达各层面的业务流程和各对象间的相互关系. 文献[12]对装备保障指挥信息流程建立了面向各单位之间信息流转的主流程模型和反映各单位内部信息流程的子流程模型.

虚拟企业业务流程的建模是设计、分析虚拟企业生产运作系统的基础和核心工作, 而纵观文献

这方面的研究却少有报道. 本文将提出基于 UML 和 Petri 网的虚拟企业业务流程建模方法, 为虚拟企业生产运作系统的构建提供基础.

1 虚拟企业业务流程建模分析

1.1 虚拟企业业务流程的特点分析

虚拟企业由若干成员企业构成, 各个成员企业既有运行目标的一致性, 又保持运行过程的独立性, 因此其业务流程具有既分布又关联、既独立又协同的特点.

(1) 业务流程具有层次性. 虚拟企业的运作依赖于各个成员企业的生产和相互之间的协同, 其业务流程可分为两个层次: 一是全局业务流程, 即虚拟企业整体的运行流程, 具有协调、控制各成员企业运行的作用; 二是子业务流程, 即各成员企业内部的业务流程, 它受控于全局业务流程.

(2) 全局业务流程具有分布性和动态性. 因为虚拟企业各成员企业在地理空间上可以是分散的, 在合作时间上可根据需求的变化调整成员企业及其业务流程.

(3) 子业务流程具有私密性. 成员企业是独立的实体企业, 其在虚拟企业中的主要目标是按期完成合作任务, 通常不愿意也无必要公开其所拥有的商业机密.

1.2 业务流程的建模方法分析

早期的业务流程建模方法有流程图、角色活动图、角色交互图等, 这些图表模型虽直观易懂, 但存在流程界限模糊、不支持层次化描述等问题. 目前业务流程建模方法常用的有 IDEF、ARIS、UML、Petri 网等.

IDEF 为系列方法, 能为业务流程的定义提供清晰的数据流图, 实现功能和数据的结构化分析和设计. 但该模型提供的信息比较有限, 无法准确描述流程的细节和动态性, 适用于规范且须严格执行的业务流程.

ARIS 方法具有基于过程的模型结构, 其通过功能视图、组织视图、数据视图、输出视图的四个视角描述流程的层次关系, 并用控制视图表示各视图的关联关系. 该模型动态适应性稍欠缺, 对于变化的业务流程建模比较困难.

UML 是面向对象的图形化建模语言, 包括例

图、类图、对象图、包图、状态图、活动图、顺序图、协作图、构件图和配置图等, 可分别描述系统中一系列对象的功能、状态、行为、关系. 该模型可读性强, 建模复杂度低, 但仿真和分析能力较差.

Petri 网是基于事件的离散系统建模工具, 兼有图形化和数学化的特点, 具有顺序、并发、冲突和同步过程的分析能力, 适合研究具有并行、异步、分布式和随机性等特征的系统, 广泛用于制造系统业务流程的建模研究及其有效性的验证和仿真优化. 目前, 传统的 Petri 网建模方法已实现了颜色扩展、时间扩展、层次扩展和对象扩展, 可以应对各种复杂过程的建模, 其中面向对象 Petri 网模型在描述系统的对象封装、并发行为、动态特性等方面优势明显. 但 Petri 网建模对研究者的数学要求较高, 可读性稍逊, 操作比较复杂, 且难以表达业务流程中的组织因素.

1.3 业务流程的建模思路

遵循从全局到局部的思维规则, 构建全局业务流程和子业务流程两个层面的模型. 全局业务流程模型表达虚拟企业的整体业务关系和信息交换, 子业务流程表示成员企业内部的业务流程及其与外界的交互, 各子业务流程之间受全局业务流程的约束.

在常用的建模方法中, Petri 网是最适合制造系统业务流程的研究, 但考虑建模的复杂性, 本文提出基于 UML 序列图和面向对象 Petri 网的建模方法. 利用 UML 序列图的可视化描述功能和模型可读性强的特点, 表达虚拟企业整体的交互关系和成员企业的动态分布关系, 便于建模初期理解虚拟企业的业务运行. 然后按照业务流程封装、仿真、分析、验证的需要, 将 UML 序列图转换成 Petri 网模型, 形成虚拟企业的业务流程模型.

2 虚拟企业全局业务流程建模

虚拟企业全局业务流程的建模分两个步骤. 首先采用 UML 序列图建立全局交互模型, 描述客户、成员企业之间业务流程的交互顺序. 其次将 UML 序列图转换成 Petri 网, 建立全局交互接口模型, 以精确表达虚拟企业业务流程的顺序、同步关系, 反映成员企业之间的接口活动.

2.1 全局交互模型的构建

以3个企业组成的虚拟企业为例, 全局交互模型的UML序列如图1所示, 图中水平维度表示参与的交互对象, 从左到右第1个为客户(:Customer), 是市场需求消息的发送方, 其后依次为各成员企业, 一般情况下, 核心企业(:VELeader)在前, 其他成员企业列后, 如:VEPartner1、:VEPartner2. 垂直维度自上而下是生命线, 表示业务流程中消息交互发生的时间序列。

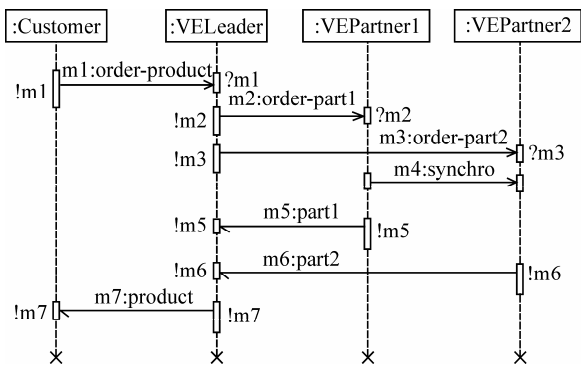


图1 全局交互模型UML序列图

图1中, 各类消息在4个交互对象之间的传递序列如下: (1)客户向核心企业发送需求消息m1(产品订单), 该消息为异步消息; (2)核心企业根据自身能力, 决定联合2家企业组建虚拟企业, 将部件1和部件2交由成员企业1和2制造, 分别发出部件协作的生产订单, 即异步消息m2和m3; (3)由于成员企业1的任务需要成员企业2的协作才能完成, 于是向企业2发送协作要求m4, 该要求由于需要成员企业2的接收应答, 故为同步消息; (4)2家成员企业完成订单后, 分别向核心企业发送异步消息m5和m6, 提交相应的成品; (5)核心企业向客户发送异步消息m7, 表示向市场投放所需产品。

由于虚拟企业协作中, 企业之间的消息传递一般不需要受接收方是否应答的限制, 因此大部分消息是异步消息, 只有少部分涉及企业之间业务衔接的流程如序列(3)需要发送同步消息。

对于有更多成员企业组成的虚拟企业, 仍可以采用图1方法, 建立类似的全局交互模型, 此时水平维度的交互对象增加, 垂直维度的交互序列也将相应改变。

2.2 基于Petri网的全局交互接口建模

Petri模型更便于研究虚拟企业业务流程的顺

序、同步、接口、验证等问题。为此建立UML序列图与Petri网模型的映射关系(表1), 可将图1的UML序列图转换成如图2所示的Petri网全局交互接口模型。

表1 UML序列图与Petri网的映射表

UML 顺序图	Petri 网	Petri 网符号
异步消息	异步消息库所	⊙
异步消息事件	异步消息变迁	■
同步消息	无库所或不用库所表示	无
同步消息事件	同步消息变迁	□
生命线	变迁、库所的连接表示	带箭头连接线

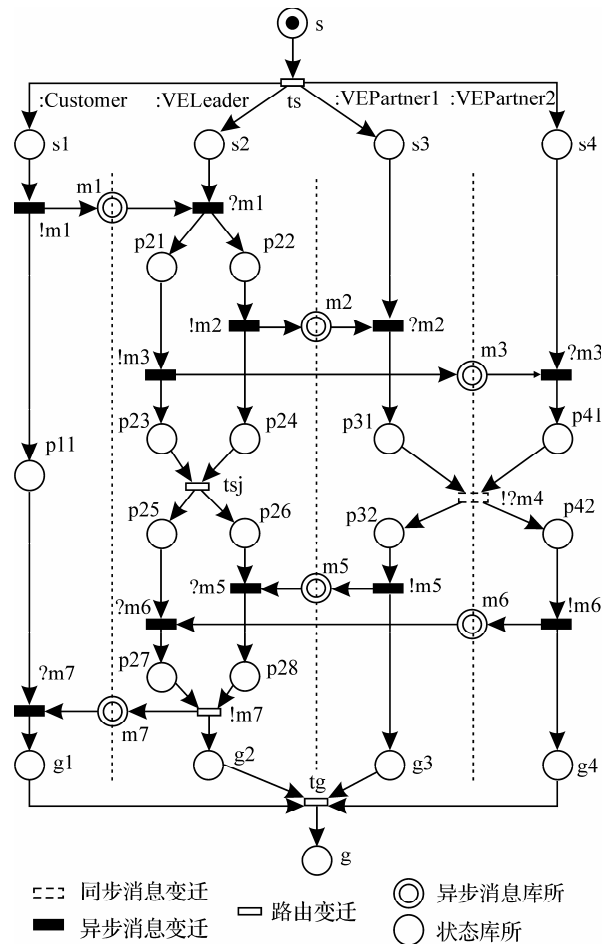


图2 全局业务流程的交互接口Petri网模型

图2中, s1、s2、s3、s4和g1、g2、g3、g4分别表示4个交互对象业务流程的起始库所和目标库所; 各个状态库所如p21的2个数字含义为: 第1个数表示交互对象的序号, 第2个数表示该交互对象中的活动序号; 路由变迁用于描述各活动之间的逻辑关系, 不对应具体的活动。

3 虚拟企业子业务流程建模

在虚拟企业中,子业务流程既要遵循所在企业内部的运行规则,又要保证与相关企业的业务衔接和私密性,须建立面向对象的Petri网模型,为此,首先要建立各个成员企业子业务流程的基本Petri网模型.

3.1 子业务流程的基本Petri网建模

以核心企业(:VELeader)为例,其子业务流程的基本Petri网模型如图3所示,图中Start和Goal表示起始库所和目标库所.

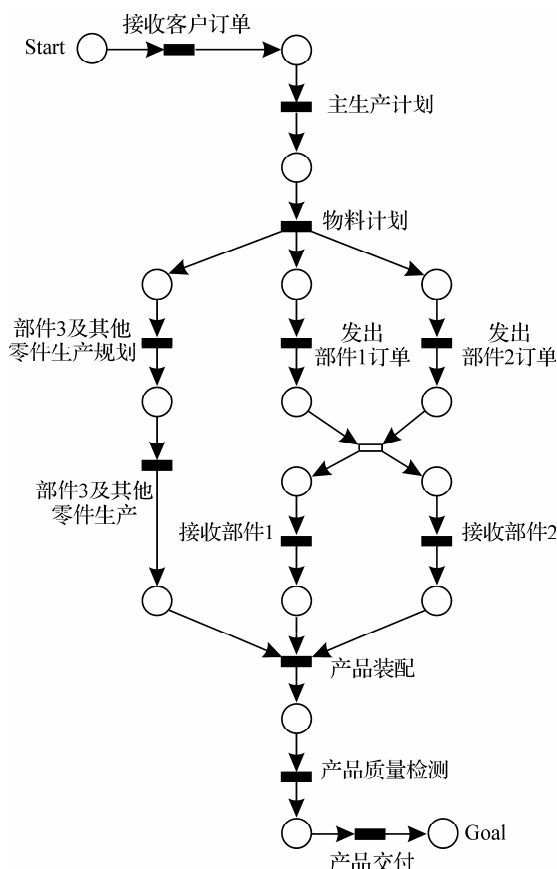


图3 核心企业子业务流程基本Petri网模型

图3表示核心企业承担部件3及其他零部件的制造、产品装配等生产任务,并负责将生产订单分别向成员企业1和2传达以及部件1和2成品的接收、校验.

3.2 子业务流程的面向对象Petri网建模

考虑到子业务流程的私密性,需要对内部业务流程进行封装,而与外界的交互则受控于图2交互接口模型.为此在基本Petri网模型的基础上,建

立面向对象的Petri网(Object-oriented Petri Net, OPN)模型,过程如下:

(1)确定外部接口的库所和变迁.依据交互接口模型,确定成员企业与外界交互的所有输入/输出消息,并转换成输入/输出消息库所,如图2中的 $m_1, m_2, \dots, m_7$.进一步,确定与这些输入/输出消息有直接接收/发送关系的接口活动,形成与之对应的输入/输出接口变迁.这些库所和变迁组成了子业务流程Petri网模型的外部接口,用于成员企业之间的通信交互.

(2)确定封装的类及其层次结构.除外部接口的库所和变迁外,其余就是需要封装的子业务流程内部信息.为此,定义成员企业子业务流程Petri网模型的所有组成元素为一个六元组:

$$ME_i = \{SP_i, MP_i, AT_i, MT_i, RT_i, F_i\}$$

其中, ME_i 表示虚拟企业第 i 个成员企业子业务流程Petri网模型,六元组包含三大类元素,一是库所类 P ,其中 SP_i 表示状态库所的有限集合, MP_i 表示输入/输出消息库所的有限集合;二是变迁类 T ,包括内部活动变迁的有限集合 AT_i ,输入/输出接口活动变迁的有限集合 MT_i 和路由变迁的有限集合 RT_i ;三是流类 F ,表示库所和变迁之间的流关系 F_i .类层次结构如图4所示.

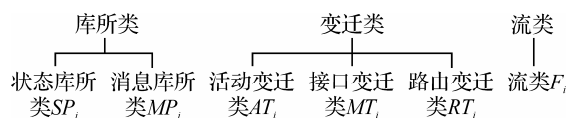


图4 类层次结构图

(3)定义各个类及其属性.如“消息库所类”的定义如下,其他类及其属性的定义可同理得到.

库所类 class place

属性: token-name 库所名称

消息库所类 class idle :: message place

属性: station-no 位置号

station-state 消息状态

操作: get-station-state()获得消息库所状态

set-station-state()设置消息库所属性

(4)封装基本Petri网模型.应用面向对象技术封装成员企业内部业务流程的Petri网,使之不为外界所见,只公开涉及输入/输出的消息库所和接口变迁.图5即为核心企业(:VELeader)子业务流程的面向对象Petri网模型,其中方框内部的业务流

程被封装。

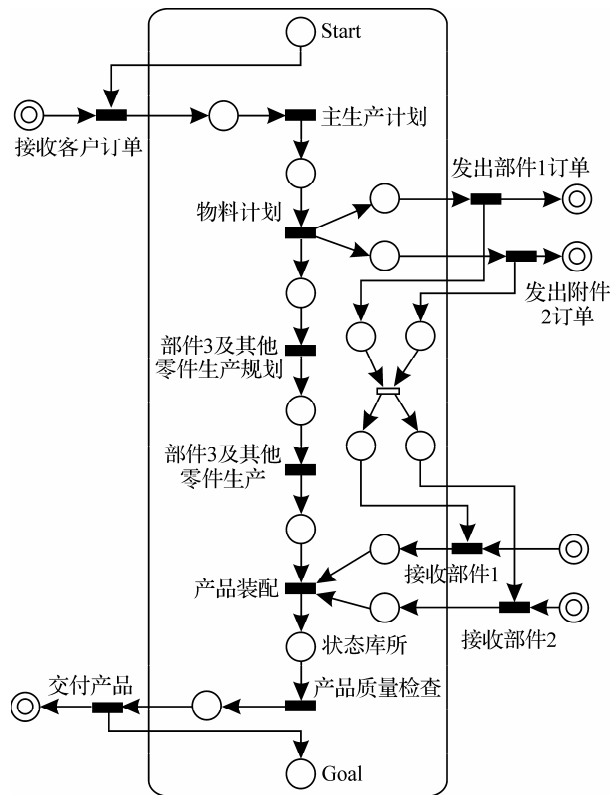


图5 子业务流程的面向对象 Petri 网模型

同理, 建立其他成员企业子业务流程的面向对象 Petri 网模型, 并按照交互接口模型的约束要求连接, 即形成虚拟企业业务流程的面向对象 Petri 网模型。

4 模型合理性的仿真检验

仿真运行是验证 Petri 网模型合理性和有效性最简单的方法。一般来说, 如果 Petri 网模型的仿真结果符合以下两个要求: 一是能够从开始到结束全过程执行 Petri 网模型; 二是执行过程中不出现死锁或死循环, 则模型被认为是合理^[13]。据此, 采用测试版 Petri 网仿真软件 Hpsim 进行仿真验证。

图6为图2的全局业务流程交互接口 Petri 网模型的运行仿真界面。结果显示, 当系统初始状态的起始库所 s 只有1个托肯时, 仿真结束时, 其目标库所 g 也只有1个托肯。此结果表明, Petri 网模型能够全过程运行且没有死锁, 即业务流程运行正常, 证明 Petri 网模型合理。

同样, 对图3的核心企业子业务流程基本 Petri 网模型的仿真结果显示, 当其起始库所 Start 只有1

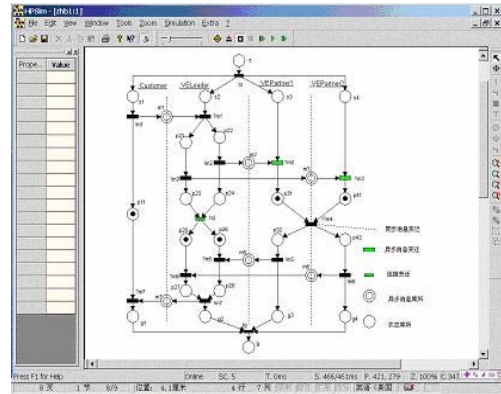


图6 全局业务流程交互接口 Petri 网仿真界面

个托肯时, 运行结束其目标库所 Goal 也只有1个托肯, 即说明所建 Petri 网模型也合理。图7为其基本 Petri 网模型的运行仿真界面。

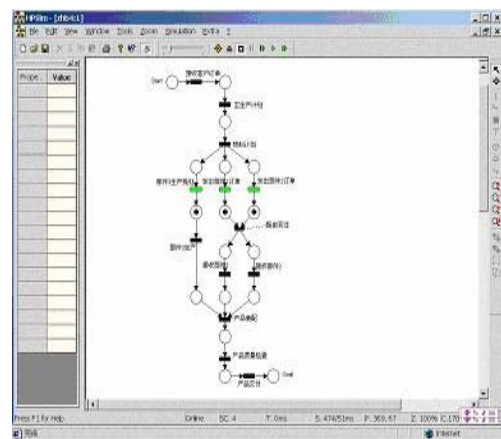


图7 核心企业子业务流程基本 Petri 网仿真界面

据此, 可以验证所建的全局业务流程交互接口 Petri 网模型、核心企业子业务流程基本 Petri 网模型均满足合理性要求。

5 结语

本文根据虚拟企业业务流程的特点, 提出了基于 UML 和 Petri 网的虚拟企业业务流程建模方法。该方法将虚拟企业的业务流程分为全局业务流程和成员企业子业务流程, 全局业务流程的建模分两个步骤, 首先为简捷表达虚拟企业各成员的交互关系, 采用 UML 顺序图建立交互模型; 再将其映射成 Petri 网的全局业务流程交互接口模型, 以精确表达顺序、同步关系并便于验证。子业务流程考虑到成员企业信息和活动的私密性, 基于全局交互接口模型的约束和子业务流程的基本 Petri 网

模型, 建立面向对象的 Petri 网模型, 实现子业务流程的封装和连接. 仿真验证表明, 模型满足合理性要求.

该建模方法由简入深, 从全局到局部, 充分利用了 UML 和 Petri 网建模优势, 表达了虚拟企业各成员企业之间的交互关系, 也保证了各子业务流程的封装和相互之间的业务连接, 为虚拟企业生产运作系统的设计提供了一种可选的方法.

参考文献:

- [1] 魏娟, 徐晓霞. 虚拟企业研究的文献计量及可视化分析[J]. 技术经济与管理研究, 2013(5):58-63.
- [2] WORKFLOW MANAGEMENT COALITION. The workflow management coalition specification terminology and glossary[R]. WPMC-TC-1011, Issue 3.0, 1999.
- [3] 艾萍, 施展. 业务建模技术综述[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(7):127-132.
- [4] 蒋益良, 方志梅, 居磊. 虚拟企业生产物流系统建模仿真[J]. 宁波大学学报(理工版), 2015, 28(2):123-127.
- [5] 徐刚, 陈天恩, 陈立平, 等. 基于 ARIS 的农业信息采集平台需求分析方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8):136-140.
- [6] 兰天, 程继红, 齐玉东. 基于 UML 的军械保障业务流程建模研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(12):209-212.
- [7] WANG L F, ZHANG Y X. Application of object-oriented Petri net in manufacturing system modeling[C]. 2011 International Conference of Information Technology Computer Engineering and Management Sciences, 2011: 61-64.
- [8] 李浩, 密尚华, 罗国富. 基于 Petri 网的复杂装备服务业务流程建模方法[J]. 轻工学报, 2016, 31(3):63-73.
- [9] CLEMPNER J. Verifying soundness of business processes: A decision process Petri net approach[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(11):5030-5040.
- [10] 郑文艳. 基于资源共享的医疗服务流程的建模与仿真分析[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(9):2715-2718.
- [11] 李景峰, 张艳, 张树. 基于面向对象分层 Petri 网的煤炭超市业务流程建模与优化研究[J]. 中国软科学, 2013(9):133-140.
- [12] 于钱, 彭鹏菲, 李启元. 基于 F 综合评判和分层 Petri 网的装备保障指挥信息流程建模与仿真[J]. 计算机与数字工程, 2016(5):890-894.
- [13] VAN DER AALST W, VAN HEE K. 工作流管理——模型、方法和系统[M]. 王建民, 闻立杰, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004:231-239.

A modeling method for virtual enterprise business process

FANG Zhi-mei¹, YAO Yan¹, ZHAO Hai-bo²

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Faculty of Engineering, Lishui College, Lishui 323000, China)

Abstract: In this paper, a modeling method for virtual enterprises business process is proposed by use of Unified Modeling Language (UML), Petri Net and Oriented Object (O-O) technology in order to design and analyze the production operation system of virtual enterprise. The general model consists of sub-models including the model of total business process and some other models of sub-business process based on the characteristic analysis of virtual enterprise business process. The model of total business process is derived from expressing alternating and interface relation among the member enterprises, and it is set up by UML sequence diagram and Petri net. The model of sub-business process is expressed by the Petri Net model of object oriented technology, with which the internal processes in the member enterprises are packaged, and the businesses in between are connected. The simulation results show that the developed models meet the technical requirements with practicality and feasibility.

Key words: virtual enterprises; business process; unified modeling language; Petri net; object oriented technology

(责任编辑 章践立)