

基于工作流的企业过程的建模和仿真技术研究*

刘铁铭, 范玉顺

清华大学 自动化系, 北京 100084

文摘 过程集成是提高企业运行效率、增强企业柔性的一种全面集成方式, 企业建模和仿真可以为企
业过程的分析和优化提供依据, 是实现过程集成的重要支持技术。工作流技术和集控 Petri 网方法作为企
业建模和仿真的支撑技术, 各自都有着明显的优点和不足, 而它们二者之间具有很强的互补性, 如果能够将
二者巧妙的结合起来, 将为实现过程集成提供有效的帮助。首先给出了基于工作流的企业过程的建模、仿
真、使能系统的模型和体系结构, 然后介绍了将工作流模型转化为集控 Petri 网来实现企业过程的仿真方法
以及仿真过程中时间和成本等性能参数的计算分析方法。

关键词 经营过程建模; 工作流; Petri 网; 集控 Petri 网

分类号 TP31

CIMS 哲理的关键是集成(I), 过程集成是以过程为核心, 利用计算机软件集成支持工
具高效、实时的实现 CIMS 应用间的数据、资源的共享和应用间的协同工作, 从而将一个
个孤立的应用集成起来形成一个协调的企业 CIMS 运行系统^[1]。实现过程集成后, 就可以
方便的协调各种企业功能, 把人和资源、资金及应用合理的组织在一起, 从而获得最佳的
运行效益。这样, 企业就使客户处于主动地位, 可以按照客户的需求制订过程, 再按照过
程来组织功能和工作组; 另外, 过程集成实现了应用逻辑与过程逻辑的分离及过程建模与
具体数据、功能的分离, 这样就可以在不修改具体功能的情况下, 通过修改过程模型来完
成系统功能的改变, 从而大大的提高企业灵活性和反应能力。

实现过程集成离不开企业建模和对过程的仿真及分析技术的支持。工作流技术, 可以
为实现企业过程的建模和运行管理提供有效的支持。集控 Petri 网方法, 针对制造业生产系
统中存在的特特点, 在有色 Petri 网的基础上扩充了定义, 增强了 Petri 网方法的建模能力,
可以为企业过程的仿真提供有力的支持^[2]。下面先介绍工作流技术和集控 Petri 网方法。

1 工作流技术

一个工作流包括一组活动及它们之间的连接关系, 还包括过程的启动和终止条件, 以
及对每个活动的详细描述, 如活动的执行者、相关的应用程序, 需要和产生的数据等。而
工作流管理系统则是用于定义工作流模型, 建立工作流实例和管理工作流执行的系统。它
通过运行一个或多个叫做工作流机的软件来解释模型定义, 与工作流的参与者(人或应
用)交互, 推进工作流实例的执行, 并监控工作流的运行状态。

为了实现不同工作流系统之间的集成, “工作流管理联盟”(Workflow Management
Coalition: WFMC)提出了一个工作流管理系统的参考模型^[3], 其中规范了有关工作流管理
系统的相关术语, 定义了工作流管理系统的结构及其与应用、管理工具和其它工作流管理
系统之间的应用编程接口(WAPI)。依据该模型可以实现不同工作流管理系统之间的互操
作, 并且可使依据该结构和应用编程接口编制的客户端应用访问不同的工作流机提供的服
务。

收稿日期: 1998-12-25

第一作者: 男, 1973 年生, 硕士研究生

基金项目: 863/CIMS 主题项目(863-511-944-002)

从生产经营的角度, 企业可以被视为由多个相互关联的不同层次的过程所组成的网络, 在 CIM 信息环境下, 这些过程可以被视为多个相关的工作流。工作流的描述语言清晰、自然, 它综合了企业的多个视图, 不仅描述了“做什么”、“怎样做”, 而且还定义了“由谁做”、“用什么做”。同时, 工作流是企业中各种信息流、物流、资金流的载体, 决定了它们的流量和流速。

工作流技术经过多年广泛的实践, 已经进入比较成熟的阶段, 可以为企业的过程集成提供支持。但是, 传统的工作流管理系统要求每个工作流模型在实际运行之前必须进行实例化, 目前的工作流系统管理工具也没有为过程模型的仿真及仿真数据的统计和分析提供手段。为了实现过程集成, 需要对传统的工作流技术加以补充和完善。

2 集控 Petri 网

Petri 网方法是一种用于系统描述和分析的数学工具^[4], 但是, 传统的 Petri 网方法不能解决企业过程中的不确定性、递阶结构、资源共享、信息传递等问题。集控 Petri 网 (Control and Integration Net, 或称控制和集成网) 能够很好的解决上述问题, 可以为描述企业过程提供有力的支持。它针对系统控制和系统集成领域里应用系统的特点, 在有色 Petri 网的基础上扩充了定义, 增加了过程变迁、不确定弧、全局库所, 并赋予每个托肯一个数据结构, 从而增强了 Petri 网方法的建模能力。文[5]详细给出了集控 Petri 网的定义和表示方法。

使用集控 Petri 网来描述过程模型的优势在于其背后强大理论基础的支持。过程模型用 Petri 网表示之后, 对于其任务连接是否存在不一致性、过程是否具有安全性及时间合理性等问题, 可以使用已有的算法给予形式化的证明。而且, 它与工作流不同, 可以在过程模型实例化之前进行仿真运行。但是, 这种描述方法的缺点在于, 集控 Petri 网距离自然语言的描述较远, 因而对使用者的水平要求较高。因此, 集控 Petri 网更适合作为系统在进行过程特性证明和过程模拟时使用的形式化表述格式, 而不适合作为直接提交给用户的描述格式。

通过前面的分析, 不难发现工作流技术和集控 Petri 网具有很强的互补性。因此, 实施过程集成的一个有效方法是利用工作流技术的描述语言和体系结构, 作为系统的主要框架, 在对过程模型进行仿真时, 将工作流模型转化为集控 Petri 网形式, 通过对转化得到的模型进行仿真, 来发现模型中存在的问题, 对不同的模型进行分析和比较, 进而修改和优化企业过程。

3 系统的分析和设计

为了方便与其它工作流系统的交互, 过程集成的建模和仿真系统的设计参照了 WFMC 提出的工作流参考模型。同时, 根据过程集成的具体要求, 参考了其它建模方法^[6], 对传统的工作流模型和体系结构做了改进。

3.1 系统的工作流模型

企业是一个复杂的系统, 用过程的观点来看待企业, 企业的组成元素是过程, 过程的组成元素是活动。过程是指为了完成某个经营目标, 而按某种顺序联结在一起的一系列活动。过程的主要属性有: 触发事件、过程结果、执行规则集。过程的执行规则集用来描述过程内部各活动/子过程之间的控制流程。执行规则集由顺序、并发、选择、与、循环等五种连接关系组成, 通过这五种连接可以完整的描述活动/子过程之间的逻辑关系。连接关系的定义和符号表示请参见文[7]。

活动是指一种变换或操作, 是企业过程的最基本单元。一个活动的属性由功能输入/输出、资源输入/输出、控制输入/输出和活动的描述等组成。功能输入/输出是指活动中要运作/产生的企业对象, 它们描述了企业过程的物流, 所以通常与上级过程的执行规则集有

紧密联系; 资源输入/输出是指活动执行所占用/释放的资源, 包括执行活动所必需的设备、人员等, 它们不仅可以在一定程度上描述不同活动之间的竞争关系, 还可以用于实现对过程的分析 and 优化; 控制输入是指对活动进行控制和限制的信息单位或对象; 控制输出是活动结束状态的信息单位集合; 活动描述是与活动执行有关的具体信息, 如活动的编号、名称、优先级、成本核算单位、开始时间、完成期限、执行者、负责人等。

功能输入、资源输入、控制输入统称为活动的前条件, 前条件对活动的发生有制约作用, 只有所有的前条件都满足了, 活动实例才能进入“活动”状态; 功能输出、资源输出、控制输出统称为活动的后条件, 后条件影响着后续活动实例的发生。

3.2 系统的体系结构

图 1 是我们的系统体系结构, 其中每个模块的功能描述请参见文[7]。结合过程集成的具体要求, 我们的系统体系结构在 WFMC 提出的参考体系结构的基础上做了一定的修改。

首先, 将原来概念比较模糊的工作流相关数据和工作流控制数据做了重新定义: 将原来的工作流控制数据改称为工作流动态数据, 将原来的工作流相关数据分为工作流静态数据和资源数据。其中资源数据不仅记录着企业的资源模型, 在模型定义和实例化的过程中为有关人员提供参考依据, 而且在过程执行的过程中维护着各种资源的状态。将资源数据从工作流相关数据中独立出来, 不仅使概念清晰, 而且有利于考察资源利用率。工作流动态数据负责维护工作流系统和运行着的工作流实例的状态信息。工作流静态数据负责保存过程实例执行前的信息和执行后的记录, 它将为以后对过程的分析、评价提供了支持和依据。在过程集成系统中, 只有工作流机有权修改工作流动态数据和工作流静态数据。

其次, 因为工作流管理工具和用户界面与工作流执行服务的接口功能相似, 所以增强了原任务表管理器的功能, 由它统一负责工作流执行服务与工作流管理工具和用户界面的接口, 并改名为工作流管理器。这样, 减少了工作流执行服务的对外接口, 首先可以减少系统开发和维护的工作量, 更重要的是由于工作流管理器对管理员界面和用户界面都是相同的, 在过程集成系统根据使用者的角色进行系统配置的动态裁剪时, 工作流管理器可以保持不变, 减少了裁剪的难度和工作量, 并增加了系统的稳定性。

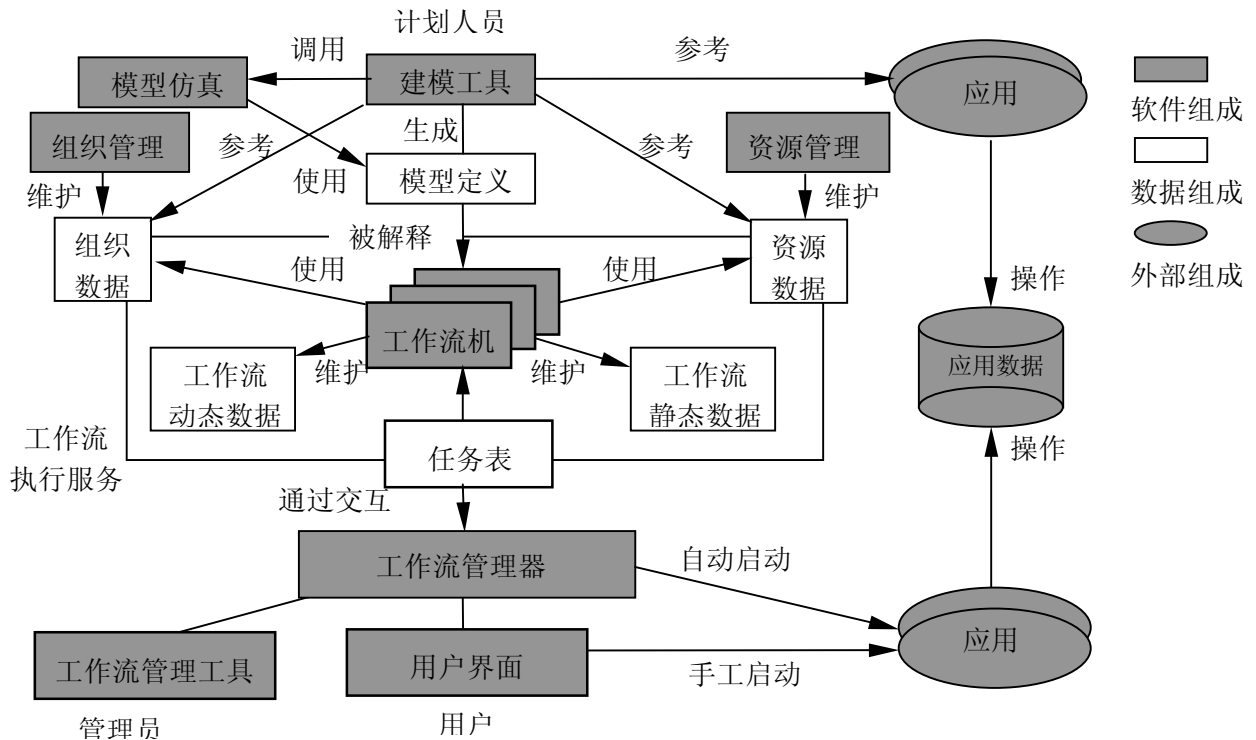


图 1 过程集成系统体系结构

4 workflow模型的集控 Petri 网表示方法

基于workflow的企业过程由活动及活动之间的连接构成, 下面分别给出用集控 Petri 网表示活动和连接的方法。

图 2 给出了几种典型的工作流活动的集控 Petri 网表示方法。在这里, 为了描述清晰, 我们将集控 Petri 网中的普通托肯和有色托肯分别改称为实体托肯和资源托肯。实体托肯通常对应着活动的功能输入/输出对象, 它携带的数据结构描述了实体的名称、时间、成本、优先级等, 其中, 时间表示该实体在此过程中所经历的时间, 成本表示该实体在过程中所花费的成本, 它们通过变迁不断积累和传递下去。资源托肯对应着支持活动的资源, 资源分为人力和物力两种。人力资源托肯携带的数据结构包括人的姓名、角色等有关信息, 物力资源托肯携带的数据结构包括设备的编号、类型等信息。

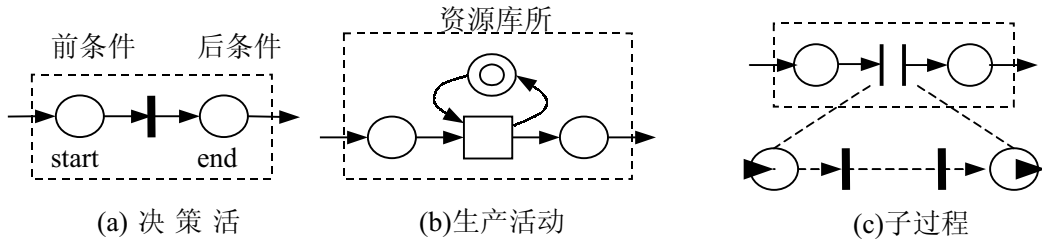


图 2 活动的集控 Petri 网表示方法

从图中可以看出, workflow模型中元素和集控 Petri 网中的元素有很好的对应关系: 每个变迁的输入和输出库所分别对应着每个活动的前条件和后条件; 全局库所代表系统中共享的资源; 立即变迁一般代表一个决策或选择过程; 而时间变迁则用以描述系统中有时间延迟特性的环节, 在一个生产管理系统中, 时间变迁一般代表一个加工或运输过程, 如果这个过程具有不确定性, 则用过程变迁和不确定弧来表示; 子网变迁代表子过程, 子网变迁在使能后, 立即触发, 从输入库所移去相应的托肯, 然后发送一个托肯到对应子网的子网输入库所, 触发就此结束, 等到子网的子网输出库所中有托肯时, 子网变迁接收该托肯, 最后输出相应的托肯到输出库所。

workflow模型的连接关系有五种: 顺序、并发、与、选择、循环。图 3 分别给出了它们对应的集控 Petri 网表示方法。

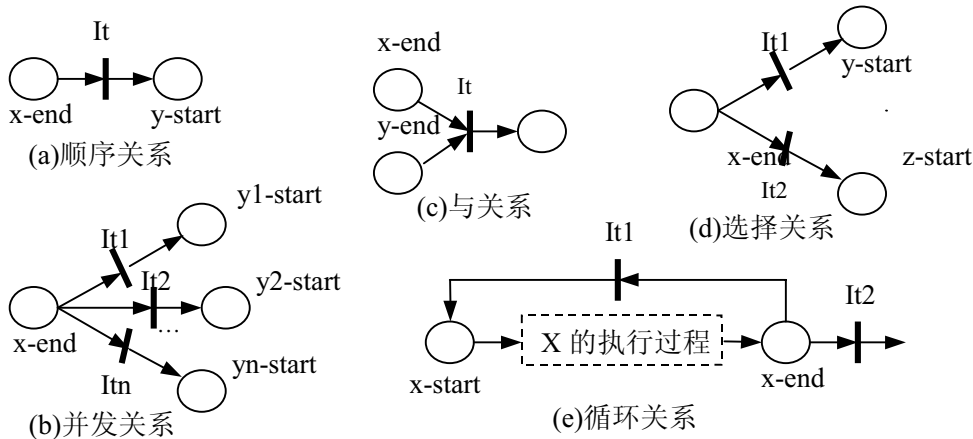


图 3 workflow执行规则集的集控 Petri 网表示方法

明确了workflow模型的活动和连接与集控 Petri 网的对应关系之后, 就可以由底向上的逐步进行转化了。首先将底层的活动转化为集控 Petri 网, 然后转化底层活动之间的连接, 形成子网。子过程转化成子网之后, 再进行上一级过程的转化, 直至把整个workflow模型转化成集控 Petri 网模型。

5 企业过程的仿真和分析

活动的描述除了包括活动的编号、名称、类型、优先级之外, 还要有活动的性能参数等。活动的性能参数通常包括活动的执行时间、成本和质量。在企业过程的仿真运行时, 为了反映其不确定性, 某些活动的某些性能参数需要用随机的方法产生。在仿真之前, 要首先明确那些性能参数是固定的, 那些性能参数是需要随机发生的, 然后确定需要随机发生的性能参数的随机变量模型, 即它的概率分布的类型(如正态分布、均匀分布等)和相关参数。设定了活动的性能参数后, 就可以利用文[8]介绍的基于集控 Petri 网方法的仿真工具, 对企业过程进行仿真运行了。

仿真的目的是为了对企业过程进行分析和评价, 寻找对其进行优化的方案。我们通常通过计算和分析企业过程执行时需要的时间和成本来对其进行评价。

5.1 仿真时间的计算和分析

在激烈的市场竞争中, 产品的上市时间往往被看成评价企业过程的最关键的指标。在集控 Petri 网的仿真执行过程中时间的计算主要依靠实体托肯的数据传递作用来实现, 每个变迁发生时, 根据它输入库所中托肯的时间、等待发生的时间和变迁本身的时间, 决定输出库所中托肯的时间。例如,

生产活动的时间计算: $\text{postActTime} = \text{preActTime} + \text{waitingTime} + \text{actTime};$

并行连接的时间计算: $\text{postActTime} = \max(\text{preActTime});$

其中, preActTime 代表变迁发生之前, 输入库所中托肯的时间数据, preActTime 代表变迁发生之后, 输出库所中托肯的时间数据, waitingTime 是等待变迁发生的时间, actTime 是变迁执行的时间。

时间分析的方法可以用甘特图列出所有活动的执行周期。应该强调的是要按企业过程的不同阶段来进行计算和分析, 如产品设计阶段、制造装配阶段、包装发运阶段等。因为计算出活动所需的时间并不是唯一的目的, 更重要的是反思所花的时间是否必要, 从而使管理人员找出有潜力的、可以进行重组的关键活动。把这些关键活动进行合理化改造, 将明显的提高企业的工作效率。同时, 应用并行工程的概念, 重新安排整个工作流程, 使得尽可能多的过程得以并行进行, 这样就能最大限度的缩短时间。

5.2 成本的计算和分析

成本的划分方法有许多种^[9], 在这里, 我们把成本相对于工作量变化的性态作为分类标准, 将成本分为三类: 变动成本、固定成本和其它成本。变动成本的总额随生产批量正比变化, 通常包括直接消耗的材料、使用的直接劳动等; 固定成本的总额在规定时期内不随工作量变化, 例如房地产税、房屋折旧、设备折旧、行政人员薪金等; 其它成本包括了那些既不属于变动成本, 也不属于固定成本的人力和物力的消耗, 它通常是不可预测的, 例如意外灾害的损失、社会捐赠等。应该说明的是, 根据这个划分标准, 不同企业由于它们的实际情况不同, 得到的划分结果也不相同。例如, 我国许多企业都拥有自己的仓库, 所以库存成本对它们来说是固定成本; 而对于需要租用库房的小型制造企业来说, 库存成本不仅与时间有关, 还与产品数量有关。变动成本和固定成本的关系可能比较复杂, 我们在核算成本时要加以区分: 例如, 存放时间, 通常属于库存成本, 而物料搬运, 则属于变动成本; 又如, 机时费用是变动成本, 但是机器折旧总是要按固定成本计算的。

在分析和比较不同的企业过程时, 人们通常最关心的是变动成本。计算变动成本时涉及到的活动的组成元素包括: 节点号、活动名、成本核算单位和每个单位的成本。成本核算单位是一个导致或者要衡量这一活动需要花钱的主要因素。例如, 用机床切削加工的成本, 主要取决于用了什么样的机床以及使用了多长时间, 因此, 就选“机时”作为活动“机床切削加工”的成本核算单位。任何物料流(产品)通过这一活动, 就要加上相应的成本, 这样一类的简单计算适用于将底层活动作为基本成本中心的做法。文[10]详细介绍了一种计算变动成本的方法——基于活动的成本核算法。这种方法首先计算出低层次活动的成本,

然后逐步集结, 再加上一些必要的高层次协调活动所需要的费用, 计算出高层次活动的成本。

成本分析也应该按企业过程的不同阶段来进行计算和分析。把过程中不同阶段所花费的成本进行比较, 查看每一个阶段所消耗的成本比例, 找出降低成本的关键活动, 针对其中比例较大的阶段考虑减少成本消耗。

上面介绍了时间和成本这两个主要配件指标的计算和分析方法。不同的企业过程, 根据其特点和要求还会有其它一些指标用来评价优劣, 例如, 资源利用率分析可以通过列出特别忙和特别闲的资源, 考虑对资源重新分配, 从而合理利用资源。

6 结论

实现过程集成后, 企业的划分将不再是传统的“面向职能”的陈旧模式, 而改变为“面向客户”、“面向市场”的新的经营结构。企业建模和仿真工具将在这一转变过程中对企业各种过程活动进行描述、分析和再设计, 帮助建立有效的企业运行机制和组织结构, 并能够在以后的发展中, 根据市场变化, 不断改善和重组企业经营过程, 提高企业的竞争能力。

参考文献

1. Wu Cheng (吴澄), Li Bo-hu (李伯虎). From Computer Integrated Manufacturing to Contemporary Integrated Manufacturing—Also About the systematic Character of CIMS in China (从计算机集成制造到现代集成制造——兼谈中国 CIMS 的系统论的特点). Computer Integrated Manufacturing System CIMS (计算机集成制造系统 CIMS), Vol. 4, No. 5, 1998, Oct., page: 1~5
2. Fan YS, Spur G. A control and integration net method for manufacturing systems. Control Theory and Applications (控制理论与应用), Vol. 14, No. 3, 1997, June, page:306~312.
3. Workflow Management Coalition. The Workflow Reference Model. [WfMC1003], 1994. See <http://WWW.Aiim.Org/Wfmc/Standards/Docs.Htm>
4. Peterson J. Petri Net Theory and Modeling of Systems. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-hall, Inc. 1981
5. Fan Yu-shun (范玉顺), Wu (吴澄). Petri Net Representation of CIMOSA Function Model (CIMOSA 功能模型的 Petri 网表示方法). Computer Integrated Manufacturing System CIMS (计算机集成制造系统 CIMS), Vol.3, No. 6, 1997, Oct. page: 9~15
6. Liu Tie-ming (刘铁铭), Fan Yu-shun (范玉顺). The Analysis and Design of Application Coordination Module Based on Workflow Management Method (基于 workflow 管理方式的应用协作模块分析与设计). Computer Engineering and Applications (计算机工程与应用). Vol. 35, No. 2, 1999, Feb., page: 56~59
7. CIM-OSA Association. CIM-OSA Open System Architecture for CIM Technical Baseline, Version 3.0, October, 1994
8. Fan Yu-shun (范玉顺), Ma Quan (马权), Zhang Jun (张军). Object Oriented Modeling and Simulation Tool Based on Control and Integration Petri Net (基于集控 Petri 网方法的面向对象建模和仿真工具). Journal of Tsinghua (Sci. & Tech.) (清华大学学报(自然科学版)), Vol. 38, No. 10, 1998, Oct. page: 89~92
9. Horngren C.T. Cost Accounting: A Managerial Emphasis. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, c1982.
10. Chen Yu-liu (陈禹六). Advanced Manufacturing Operation Pattern (先进制造业运行模式). Beijing: Tsinghua University Publication (北京: 清华大学出版社), 1998.

The Simulation and Modeling of Enterprise Process Based on Workflow

LIU Tieming, FAN Yushun

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, China 100084

Abstract Process integration can improve the flexibility and efficiency of the enterprise, and the modeling and simulation technology, which can provide a measure to analyze and optimize enterprise process, is one of its important supports. Workflow technology and Control and Integration Net method, as the supporting technologies of enterprise modeling and simulation, have their own fortes and deficiencies respectively, and because of their strong complementarity, the combination of them can provide an effective support to enterprise process integration. First, the model and architecture of the enterprise process modeling, simulation, enabling system based on workflow technology are put forward. Then, it is introduced how to change workflow model into the Control and Integration Nets and how to compute and analyze the performance parameters in the simulation process, such as the execution time and the cost.

Key words business process modeling; workflow; Petri Nets; Control and Integration Net