

## 支持企业经营过程重组的工作流仿真技术研究

林慧苹, 范玉顺, 吴澄  
清华大学自动化系, 北京 100084

**摘要:** 企业经营过程的建模、分析和基于模型的企业经营过程重组实施是确保企业成功实现经营过程优化重组的三个重要阶段。工作流管理是一种能够有效的支持这三个阶段的信息技术。至今为止, 工作流模型的仿真还是一个比较薄弱的环节。本文提出了一种基于虚拟运行环境的工作流仿真方法, 通过建立工作流虚拟运行环境, 以仿真引擎模拟活动的执行, 自动处理过程中的半自动化活动或人工活动, 并采用规则与随机变量相结合的方法处理仿真过程中遇到的不确定因素, 从而完成工作流仿真。为了增强仿真的可信度和可视性, 本文将虚拟现实技术引入仿真过程的动画显示。本文介绍了工作流虚拟运行环境的构成, 环境中核心组件(仿真引擎)的工作方式, 并讨论了基于代理的虚拟环境实现。

**关键词:** 经营过程重组, 工作流仿真, 虚拟运行环境, 仿真引擎

### 一、引言

M. Hammer<sup>[1]</sup>于九十年代初期提出了企业经营过程重组(Business Process Reengineering)的概念。它的目标是通过对企业经营过程的描述、分析和重新设计, 以企业经营过程为核心重构企业的关键业务流程, 并建立与其匹配的运行机制和组织结构, 实现对经营过程的有效管理和控制, 使企业具有更好的柔性, 能够在日益激烈的市场竞争中立于不败之地。

企业经营过程重组是一项复杂的系统工程, 它的实施需要利用先进的过程建模和分析手段来描述、分析和评价经营过程<sup>[2]</sup>。目前最常用的过程建模和分析方法有 Petri 网方法、IDEF3 方法和工作流方法。Petri 网方法是一种应用广泛的图形化建模方法, 具有良好的数学背景和分析能力。IDEF3 方法是一种结构化的过程描述方法, 它采用过程流图和对象状态转移网络为描述手段, 能较好的支持数据采集及分析。但是 Petri 网方法和 IDEF3 方法在支持企业经营过程重组方面都存在一定的不足。首先, 这两种方法都没有与之相对应的模型执行系统, 不能直接利用优化后的模型对过程进行有效的控制和管理, 其建模、分析与模型实施相脱离。其次, 这两种方法本身的描述能力还有待进一步的改善, 例如它们难以清楚的描述组织结构, 以及经营过程中大量存在的人机交互行为。

工作流管理是近年来迅速发展起来的广泛应用于过程建模、模型分析和过程管理的一项新兴技术, 它可为企业经营过程重组提供强有力的支持。以工作流技术为基础, 国外多家软件厂商开发了支持企业经营过程重组的软件产品<sup>[3]</sup>。工作流管理具有以下几点优势, :

- 描述方法清晰, 易于理解, 且描述全面: 工作流模型可以综合企业的多个视图, 不仅描述了“做什么”、“怎样做”, 还定义了“由谁做”和“用什么做”<sup>[4]</sup>。
- 实现了过程逻辑与业务逻辑的分离: 同一业务逻辑可以适用于多个过程, 具有更好的柔性。
- 可实施性好: 工作流管理覆盖了过程建模、模型分析和模型执行三个方面, 能够完整的支持整个企业经营过程重组的生命周期。在工作流管理联盟(WfMC)定义的工作流参考模型<sup>[5]</sup>中, 工作流机是工作流模型的使能器, 它能够根据工作流模型管理和控制企业的业务流程, 实现建模与模型实施的紧密结合。另一方面, 工作流机的工作方式决定了它能够调用异构的应用, 能够集成企业中原有的应用

系统，实施灵活性好。因此，对比其它的过程建模和仿真方法， workflow 方法是可实施性最好的一种。

目前，在 workflow 管理的理论和实施技术的研究中，主要包括以下几个方面，它们分别是： workflow 模型与定义语言研究、 workflow 分布实现技术研究、 workflow 的集成与互操作研究、及 workflow 的仿真分析等<sup>[6]</sup>。这些问题的解决，对于提高 workflow 管理系统的性能、推广其在实际系统中的应用具有重要意义。其中与企业经营过程重组应用密切相关的一个关键技术问题是 workflow 模型的仿真分析。就目前情况而言，这还是一个比较薄弱的环节，国内外都还没有提出一个很好的方法。常用的 workflow 模型分析方法有两种：第一种采用“What-if”分析方法，该方法可以较好的解决瓶颈、资源利用率、费用和周期时间等的分析，但如果一个企业的业务过程很复杂，存在多个业务过程的交互和多种不确定因素时，“What-if”方法就显得能力不足。第二种方法是仿真分析方法。如以 Petri 网作为过程描述语言的 workflow 模型，可用 Petri 网的规则作为仿真过程中的约束条件来执行仿真，这种方法的不足在于不能够显式的表达经营条件约束，其仿真过程的显示类似于表示 Petri 网状态的 Token 在不同库所中的转移。

针对当前 workflow 模型仿真方法的不足，本文提出了一种通过建立 workflow 虚拟运行环境执行 workflow 仿真的新思路。在虚拟运行环境中，集中式仿真引擎将模拟分布式 workflow 机的运转，收集整理仿真数据。本文第二节给出了虚拟运行环境的构成；第三节详细讨论仿真引擎的工作方式，以及它对仿真过程中出现的不确定性的处理方式；第四节讨论基于代理的系统实现方案。

## 二、 workflow 虚拟运行环境结构

workflow 管理在企业经营过程重组中的应用可以分为三个阶段：业务过程建模、业务过程模型仿真分析、和基于信息技术手段的业务过程改进实施。业务过程模型的仿真分析是其中重要的一环，它可以评估过程的成本、运行时间、空闲时间、周期时间、和资源利用率等性能指标，分析模型中可能存在的瓶颈、死锁问题，为诊断现有过程、评估可供选择的改进过程提供定性的和定量的分析。企业业务系统是一个复杂的、存在很多不确定因素的系统，因此，几乎不可能找到一种解析的算法对它们进行描述和分析，这种情况下，仿真是一种可行的分析手段。

本文提出了一种通过建立 workflow 虚拟运行环境来执行 workflow 仿真的方法，该方法力求以一种自然的、用户易于理解的方式分析企业经营过程这个复杂的系统。图 1 给出了基于虚拟运行环境的仿真系统结构。

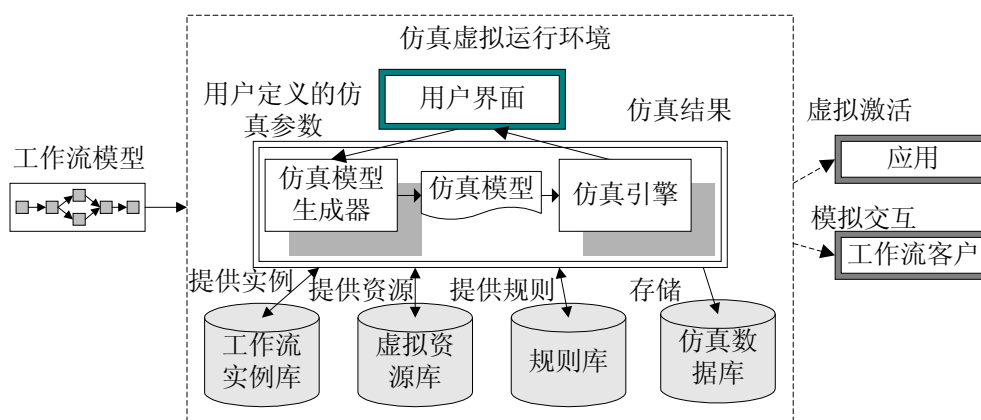


图 1. 仿真虚拟环境结构图

仿真虚拟运行环境由用户界面、仿真模型生成器、仿真引擎、工作流实例库、虚拟资源库、规则库、和仿真数据库组成，其中：

- 用户界面：可供用户自定义仿真参数，设置仿真变量，如选择随机变量的分布类型，定义其参数等；同时，用户界面还提供动画显示仿真过程、输出仿真报表的功能。
- 仿真模型生成器：其功能是从原 workflow 模型中抽取与仿真相关的定义，“滤掉”模型中有关分布性的信息，在此基础上补充进用户定义的仿真参数，生成仿真模型。
- 仿真引擎：虚拟运行环境中的核心部件，其功能是执行 workflow 仿真。仿真过程中，仿真引擎将模拟活动的执行，推进 workflow 实例，收集仿真数据。
- workflow 实例库：为用户提供 workflow 初始化实例，以简化仿真初始化过程。
- 虚拟资源库：提供仿真过程中可使用或调用的资源数据。仿真执行时虚拟资源库的修改变化不会影响 workflow 模型中原有的资源数据。
- 规则库：提供仿真过程中所需的活动规则和经营约束，辅助仿真引擎以“智能”的行为执行半自动活动或人工参与活动，使仿真能顺利进行。
- 仿真数据库：记录、积累仿真轨迹和仿真数据，以进行仿真分析。

虚拟运行环境中，集中式仿真引擎将模拟分布式 workflow 机的运转。分布式 workflow 机是 workflow 管理系统发展的必然趋势。但企业经营过程仿真的焦点是对企业业务过程性能的评价，因此，采用集中式仿真引擎推进 workflow 实例，可以避免过多的考虑 workflow 机的分布性给 workflow 实例执行带来的影响。集中式仿真引擎给执行仿真、读取和存储数据、减少网络中的数据流量带来一系列的便利，且容易实现。

### 三、仿真引擎的工作方式

#### 3.1 仿真引擎的工作过程

仿真引擎是 workflow 虚拟运行环境中的核心组件，它负责解释仿真模型，推动、控制仿真过程的进行。

为了清楚的描述仿真引擎的工作方式，我们先以基于消息的 workflow 机为例介绍 workflow 管理系统中，分布式 workflow 机的工作过程：如图 2 所示，workflow 机读取 workflow 模型，生成工作列表。对于需要由用户参与执行的活动，workflow 机向用户发消息，用户读取自己的工作列表，完成活动，向 workflow 机反馈活动完成信息。workflow 机收到反馈信息后执行下一个活动。而对于需触发的应用，workflow 机通过 API 或其他触发方式直接触发应用，推动 workflow 实例的前进。

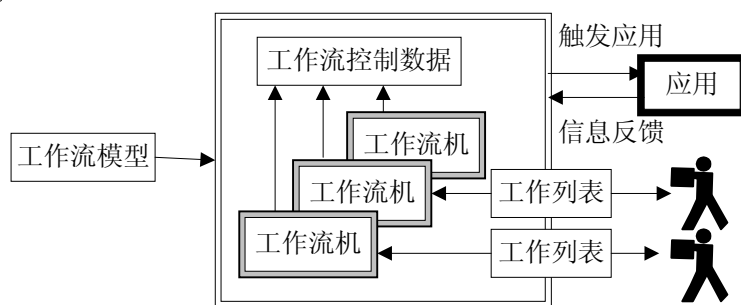


图 2. 分布式 workflow 机的工作方式

而 workflow 模型仿真是一个通过模拟活动的执行推进 workflow 实例的过程，因此仿真引擎的工作方式与 workflow 机的工作方式有一定差别。如图 3 所示，仿真引擎读取仿真模型，定义工作列表。然后活动鉴别器从工作列表中读取活动，判断活动类型，将信息传递给活动处理器。workflow 机对于不同活动的处理方式是不同的，而仿真引擎对不同活动的模拟执行过程基本类似，由活动处理器负责完成，所不同的是对于不同类型的活动，处理不确定性因素的方式不同。活动处理器是仿真引擎中的关键部件，它的主要功能是进行时间累加和状态修改，记录活动完成前后应该发生的时间、资源和状态的变化，一旦修改、记录活动

完成即认为该活动执行完毕，从而取代了工作流机向用户发消息或触发应用、用户完成活动或应用执行的过程。需要注意的是，这里资源和状态的变化，不仅仅限于正在执行活动的状态，还可能涉及到其后序活动的相关状态。仿真控制器将控制仿真时钟，仿真进度等。在虚拟环境中，仿真引擎将不与系统应用及工作流用户发生直接的关联和交互。

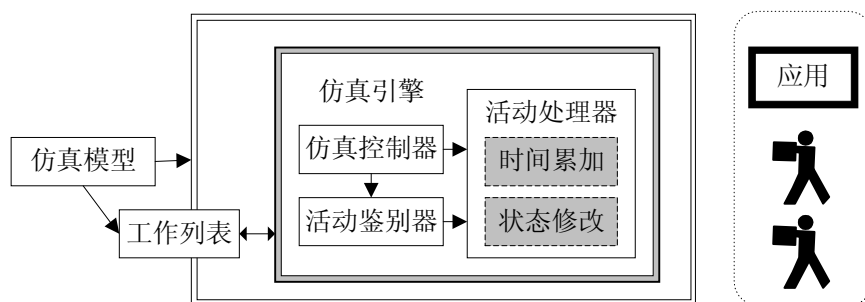


图 3. 仿真引擎的工作方式

工作流仿真执行之前，虚拟资源库由真实数据对其进行初始化；仿真运行过程中仿真引擎可以“调用”其中的资源—即修改虚拟资源库中的数据；仿真结束后，虚拟资源库中的数据将根据实际情况，或进行仿真数据分析，或置为初始状态，或释放。

### 3.2 仿真引擎对不确定性的处理

工作流实例的执行过程中存在许多不确定因素，大致可以分为两类，一类是由过程中的随机事件带来的，例如物流系统中工件的到达、用户呼叫系统中用户电话呼叫等，都是随机发生的事件；而另一类是由于过程中包含半自动化活动、人工参与活动，由人为因素引起的，这类活动的执行有一定规律可寻，但又不完全服从于规律，受人的思维或行为不确定性所控制，如过程中的决策活动。

本仿真方法充分考虑了工作流仿真过程中可能遇到的不确定因素，力求使仿真结果更加可信，更具有说服力。为了解决第一类不确定因素，工作流仿真模型中引入了随机变量模型，认为随机事件的发生概率服从于某种随机分布。如，定义在一段时间内用户打入电话的概率服从于泊松分布。在仿真执行之前需要根据实际情况确定这些随机变量的分布类型及其参数。

对于第二类不确定因素，本仿真方法将引入规则库，采用基于规则的不确定分析与随机变量相结合的方法来解决。这里，规则是与活动绑定在一起的若干一阶谓词逻辑，符合<IF>...<THEN>语法，它反映了活动的执行原则和企业业务过程中的经营约束。规则从原则上约束了半自动化活动和人工参与活动的行为规范，使得仿真引擎可以自动的执行这两类活动，在没有人参与的情况下推进工作流实例。而此处随机变量的作用主要是模拟人的行为或思维不确定性带来的影响。规则与随机变量相结合，能够比较有效的处理人为不确定因素。

## 四、虚拟运行环境的实现

工作流虚拟运行环境的建立是为了能够更加直观、有效的执行工作流模型仿真。仿真过程中，业务过程事件将被转换为计算机能识别并处理的系统事件。如将一个生产活动（持续时间  $t$ ，执行者为  $E_1$ ，消耗  $X$  个单位的资源  $R_1$ ，生成资源  $R_2$ ）的执行转换为一系列系统事件，这些系统事件触发相应的底层操作，包括将时间累加  $t$  个单位，将实体  $R_1$  属性中的数量值减少  $X$  个单位，创建新实体  $R_2$  并初始化其属性表，在进行这一系列操作的同时将  $E_1$  的状态设为不可用，操作完毕之后将  $E_1$  重新置为可用状态。而另一方面，仿真系统还要能够将系统事件转换为人们能够理解的业务过程事件，如数据库中创建新实体的过程在用户界面上实时的表现为新资源的生成。为此，本仿真方法采用基于代理的三层结构来实现工

作流虚拟运行环境，其结构如图 4 所示。

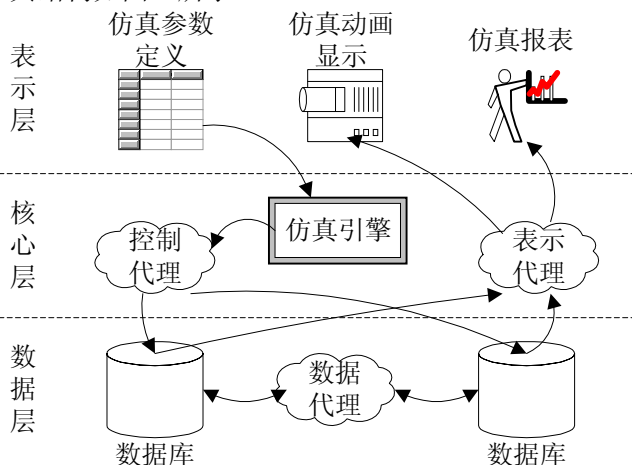


图 4. 基于代理的虚拟环境实现

虚拟环境的实现分为表示层、核心层和数据层。

表示层提供仿真系统与用户交互的界面，包括仿真参数的定义界面、仿真过程的动画显示界面和仿真报表输出界面。这里要特别一提的是仿真过程的动画显示界面。以往的仿真过程动画显示多类似于令牌在可能路径上的流动，用户很难从中直观的了解企业经营过程的运转状况。因此，本仿真方法将把虚拟现实技术引入关键活动（如重要的决策活动）或关键路径的仿真动画显示。虚拟现实技术以实时仿真、对虚拟 3D 世界的描述和交互为特征，为用户提供了一种新的、高质量的描述和交互手段<sup>[7]</sup>。将虚拟现实技术引入关键活动或关键过程的动画显示，可使用户直观真切地感受到企业经营约束对活动的影响。如，假设企业业务过程中存在一个重要的决策活动  $A_{important}$ ，该活动将从三条分支路径中选择一条路径，无论选择哪条路径都将对后来的业务过程结果产生决定性影响。当仿真执行到该活动时，将采用一些简单的虚拟现实技术，如三维图表、经营活动的三维表现等，显示关键决策因素的当前状态，然后再推进仿真过程。这使得用户可以清楚的看到决策因素对决策走向的影响，并有利于发现关键活动中可能存在的不合理的约束或规则。

核心层采用基于代理的实现方式。代理是具有自治性、协同性、反应性和面向目标等特征的实体，多个代理的协调运作可以实现比较复杂的系统行为。核心层引入了两类代理：控制代理和表示代理。控制代理连接核心层和数据层，它的功能是将业务事件转换为系统事件，并完成一系列的数据操作。表示代理则构成了从数据层到表示层的一个数据通道，它负责将数据层中的系统数据转换为具有现实含义的业务数据，并反映到用户界面中。

数据层由多个数据库构成，可以存储模型、规则、和仿真数据。数据层引入数据代理，负责各个数据库之间的通信、数据交互及协调。

## 五、结论

本文提出了一种通过建立 workflow 虚拟运行环境执行 workflow 仿真的方法。它以集中式仿真引擎解释 workflow 仿真模型，模拟活动的执行，处理仿真过程中的不确定性，从而完成 workflow 模型的仿真。同时，在关键活动或关键过程的动画显示上，引入虚拟现实技术，使用户真实感受到业务环境、条件或状态的变化。这种仿真方法具有以下几个优点：1) 仿真思想容易被用户理解，且比较容易实现；2) 以仿真引擎推动 workflow 实例的执行，避免了人工的“what-if”分析容易遗漏、不全面的缺点，对于涉及多个交互过程的复杂的经营过程，本方法的优点尤为突出；3) 充分考虑并处理了仿真过程中可能遇到的不确定因素，增强了仿真结果的可信度；4) 在用户界面中引入虚拟现实技术，为用户提供了更好的三维交互方式。

workflow virtual operating environment's establishment still has many problems waiting for further research, such as, how to combine operating rules with random variables effectively, how to deal with uncertainty as accurately as possible; how to deal with multiple interrelated operating processes simultaneously; how to apply virtual reality technology to what extent is the most reasonable and the most economical, etc. In the subsequent research, we will further explore these problems.

### 参考文献

- [1] Hammer M. Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. Harvard Business Review. 1990, July-August
- [2] G.M. Giaglis, R.J.Paul, It is Time to Re-engineering: Investing the Potential of Simulation Modeling for Business Process Redesign, Bernd Scholz-Reiter, Eberhard Stickel (Eds.), Business Process Modeling, Springer, 1996, P313-332
- [3] 罗海滨, 范玉顺, 吴澄. “一种面向企业用户的工作流模型”, <<计算机集成制造系统—CIMS>>, 已录用
- [4] 范玉顺, 吴澄, “工作流管理技术研究及产品现状及发展趋势”, <<计算机集成制造系统—CIMS>>, 已录用
- [5] D. Hollingsworth, Workflow Management Coalition. The Workflow Reference Model. [WfMC] TC00-1003,1994.
- [6] C. Mohan, Recent Trends in Workflow Management Products, Standards and Research, <http://www.almaden.ibm.com/u/mohan/>
- [7] Fan Dai, “Introduction-Beyond Walkthroughs”, In: Virtual Reality for Industrial Applications Fan Dai (Ed.), Springer, 1997, pp. 1-9

## **Research of Workflow Simulation Technology for Business Process Reengineering**

Huiping Lin, Yushun Fan, Cheng Wu

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, 100084

**Abstract:** Enterprise business process modeling, analyzing, and model-based re-building are three very important stages that ensure the successful implementation of business process reengineering. Workflow management is a valid information technology that covers all these three stages. Up to now, the simulation of workflow model is not so satisfied. In this paper, a new workflow simulation method based on virtual operating environment is proposed. By building up workflow virtual operating environment, the simulating engine impels the workflow instance, dealing with semi-automatic or manual activities automatically. And it deals with the uncertainty happened in simulating process by using rules and stochastic variable together. In order to enhance the reliability and visibility of simulation, virtual reality is introduced to animated show of simulation. In this paper, the structure of workflow virtual operating environment is given. The operation of simulation engine and agent-based realization of virtual environment is discussed.

**Key words:** Business Process Reengineering, Workflow Simulation, Virtual Operating Environment, Simulating engine