面向性能分析和优化的多业务过程仿真方法研究*

刘 明[1,2†]，董绍华[1]，庞 慧[1]，黄永青[2]
(1. 北京科技大学 机械工程学院，北京 100083；2. 铜陵学院 数学与计算机学院，安徽 铜陵 244061)

摘 要：针对业务过程性能分析和优化多侧重于对已部署的业务过程进行事后的性能监控、管理和数据分析等问题，详细分析了业务过程性能和仿真优化的研究进展，提出了一种与企业模型和工作流模型相兼容的集成化业务过程仿真建模方法(IBPSM)，并设计了支持 IBPSM 的多业务过程仿真工具(MBPST)原型系统。最后给出了一个具体的应用案例。实践表明这种事前的基于多业务过程仿真方法提供了业务过程性能的仿真分析与优化；同时可对优化后的业务过程进行快速部署，有利于业务过程的信息化实现。

关键词：性能分析；性能优化；集成化业务过程仿真建模方法；多业务过程仿真引擎；多业务过程仿真工具
中图分类号：TP391.9 **文献标志码**：A **文章编号**：1001-3695(2014)04-1067-05
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.04.027

Research on business process performance analysis and optimization oriented multi-business process simulation

LIU Ming[1,2†], DONG Shao-hua[1], PANG Hui[1], HUANG Yong-qing[2]
(1. *School of Mechanical Engineering*, *University of Science & Technology Beijing*, *Beijing* 100083, *China*; 2. *School of Math & Computer*, *Tongling University*, *Tongling Anhui* 244061, *China*)

Abstract: Aim at the problem of the performance analysis was emphasized particularly on the afterward methods such as performance monitor, management, and data analysis of the deployed processes, this paper analyzed the state-of-art of business process performance analysis and simulation optimization in detail. Then it proposed an IBPSM method that was compatible to the corresponding enterprise model and workflow model. It also designed a prototype system of the IBPSM-supported MBPST. Finally, it provided an application case. Practice shows that the multi-business process simulation based performance optimization method which is a beforehand method would support: the optimization and simulation of performance of business process; rapid IT implementation of business process after performance optimization.

Key words: performance analysis; performance optimization; integrated business process simulation and modeling(IBPSM) method; multi-business process simulation engine; multi-business process simulation tool(MBPST)

0 引言

如何提高和优化企业的业务过程性能越来越成为管理学者、IT 学者和软件供应商研究和关注的焦点[1]。相关的研究主要包括性能评价和分析以及业务过程性能的仿真分析和优化等方面，包括会计学、运作管理学、市场学、财务学、经济学、心理学和企业信息化工程等领域的众多学者从财务、运作管理、先进制造、质量管理、市场、客户、商标、人力资源、无形资产、战略、IT 技术[2]、信息系统[3]等不同的视角对此进行了广泛的研究，取得了大量的研究成果。

在业务过程性能评价和分析方面，Neely 等人[4]总结并列举了大量的具体行业、部门的性能指标。Suwignjo 等人[5]指出性能指标的选取应与企业战略直接关联，并与具体企业相关，而且同一企业的性能指标还会随着时间的推移而变化；同时还指出性能指标间有直接影响、间接影响和自交互影响三种关系，并采用认知图、因果图、树图等工具来识别指标和进行结构化分层，各指标间的定量关系则采用 AHP 方法计算。Sarkis[6]在 Suwignjo 的基础上定义了指标间的双向影响，指标间的关系构成了一个反馈网络分层模型，可采用分析网络过程(ANP)进行评价。多元统计分析[7]和数据包络分析(DEA)是绩效评价中常用的分析手段。Zapatero 等人则对性能指标计算的五个不同权重计算方法进行了比较。朱家饶等人[8]参考其他指标体系提出了制造企业的性能指标与性能评价方法。Ren 等人[9]则把 ANP 方法融入到所开发的性能管理工具中。肖志娇等人[10]采用解析方法、高海宁等人[11]采用 Petri 网、郑彦翀等人[12]采用仿真方法从时间、资源负载和成本三个方面分析了业务过程的静态和动态性能。Medicke 等人[13]的系列文章详细研究了支持性能战略管理、结合 BI 和过程分析，包括 KPI 配置、数据采集、监视、报告和自动响应的软件支持工具。Jeng 等人[14]研究了 SOA 下的融事件处理、指标生成、状态察觉、问题管理、决策确定、行动(action)管理和行动跟踪为一体的面向服务性能管理系统。Marr[15]详细调研了性能管理工具(包括图

收稿日期：2013-06-09；**修回日期**：2013-08-08 **基金项目**：国家自然科学基金青年基金资助项目(71301008)；国家教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(11YJC630074)

作者简介：刘明(1984-)，男(通信作者)，安徽淮北人，讲师，博士研究生，主要研究方向为工作流、供应链分析和仿真(liuming-infor@163.com)；董绍华(1960-)，男，教授，博导，主要研究方向为物流系统仿真、制造执行系统；庞慧(1986-)，女，博士研究生，主要研究方向为物流系统仿真、制造执行系统；黄永青(1974-)，男，教授，博士，主要研究方向为蚁群算法、进化计算.

标式工具、ERP、性能管理工具包和客户化定制的性能管理应用系统)在企业中的应用范围和应用效果。

在业务过程性能的仿真分析和优化方面,也有着众多的商业仿真应用软件和理论研究成果。常用的商业仿真软件如 Arena、ProModel、AutoModel 等都有自己的仿真模型,可用于分析流程的性能。研究成果方面有谭文安等人[16]将传统的共轭梯度法和禁忌搜索法进行结合和改进,用于企业过程模型参数的仿真分析,该方法在某飞机制造过程分析中的应用取得了较好的计算效率。Han 等人[17]提出了一种基于过程性能度量框架与过程仿真的、宏观分析与微观分析相结合的两阶段过程分析方法对业务过程进行 what-if 分析与性能分析,并基于 Extend 仿真软件进行了具体的案例分析。曾森等人[18]从业务、应用系统和 IT 基础设施三个层次提出了面向服务环境下的业务过程的性能度量指标及基于 AHP 和系统仿真的性能综合评价方法,并通过案例验证了该方法的正确性、可行性以及全面性。文献[1]提出了一个多过程建模框架和建模方法。李海凌等人[19]借助 CPN Tools 仿真平台以某工程项目群实施阶段为例进行了实例建模和仿真。曾森等人[20]建立了多因素、多指标的性能仿真优化模型,并基于 Arena 仿真工具对实例进行了建模和优化。文献[21]研究了面向服务计算环境下的基于交互事件的工作流仿真方法。文献[22]提出了支持业务过程工程的与企业模型相结合的仿真建模方法。

以上的研究也存在以下两点不足:

a)在业务过程性能评价和分析的研究中,业务运行期间对关键性能指标值的采集、监控、报告及其软件实现,和业务运行后对调研数据或历史运行数据进行数据挖掘等性能分析的研究较多,但这些都是事后分析。对新设计或修改后的业务过程在部署前进行事前的仿真优化,可以为企业的正确决策提供可靠的定量依据,但目前的研究和应用还较少。

b)在业务过程性能的仿真分析和优化的研究中,采用 Arena 等仿真软件可以对业务过程性能进行仿真,但这种仿真模型与企业模型和工作流模型脱节,当优化后的业务过程的实现需要 IT 应用系统支持时,该方法缺乏对 IT 实现的支持能力。并且在 SOA 企业软件架构广泛应用的企业环境中,仿真引擎不仅应该支持单业务过程多实例的仿真要求,仿真工具更应能支持多业务过程多实例的仿真,支持多入口建模、支持多业务过程间的交互建模和业务规则的可扩展建模。研究支持性能优化的多业务过程仿真建模方法是实现性能仿真优化的关键所在。

针对以上问题,提出了与企业模型和工作流模型兼容的、能全面支持性能优化的集成化业务过程仿真建模(IBPSM)方法,设计了支持 IBPSM 的多业务过程仿真工具(MBPST)。IBPSM 能够基于企业模型快速、统一描述企业的静态和动态行为,建立仿真模型,并通过 MBPST 的仿真运行得到可量化的决策依据,还能将优化后的业务过程与可执行的工作流模型相结合,大大促进了仿真技术在企业业务过程性能优化实践中的实际应用。

1 集成化业务过程仿真建模方法

支持业务过程性能优化的集成化业务过程仿真模型的建模元素包括企业模型的各个组成部分和仿真运行所特别需要的其他元素。集成化业务过程仿真建模方法(integrated business process simulation and modeling, IBPSM)主要包括以下内容。

1.1 企业建模及模型元素的集成

企业的静态描述主要包括产品/服务、组织、资源、信息、功能和过程六个方面的内容[23]。可以采用相应的集成化的视图对它们进行建模,其中业务过程是其核心。企业建模的主要任务是全面发现企业的各种实体并进行建模,是企业分析、性能仿真、性能管理和信息化建设的基础。在开始建模之前一般需要对企业进行调研,建立企业的部门组织结构图、人员结构图、产品结构图、资源结构图和信息模型,并按照需要设置各个模型元素的性能属性值;然后划分业务功能域,建立企业的功能模型,并按照功能模型组织企业的业务过程;最后将业务过程中的活动与仿真所需要的人员、资源、信息、产品等进行关联,建立业务过程的仿真模型。

1.2 多业务过程关联关系的仿真建模

多业务过程是由多个相互关联的业务过程组成的过程网络。一个业务过程可以包含多个企业活动(或服务)和子过程(由多个企业活动或服务组成),并内嵌了一定的企业功能、过程逻辑(包括过程的方法、程序、时序)、知识(业务规则、异常处理、资源调度规则、事件处理规则)、能力、柔性、时间、成本及其与其他业务过程的依赖关系。多个过程之间以信息、资源、时序和控制逻辑为中介,形成复杂的、不同形式的相互关联关系,如图 1 所示。它们依据企业知识相互作用,协调运作,共同实现不同层级(如业务单元、部门、企业)的业务目标和性能要求。多业务过程仿真应该实现对具有多个入口(如图 1 所示的多业务过程模型中包含 P_1 和 P_2 两个入口)的过程网络进行建模,这样才能实现真正的多业务过程仿真。

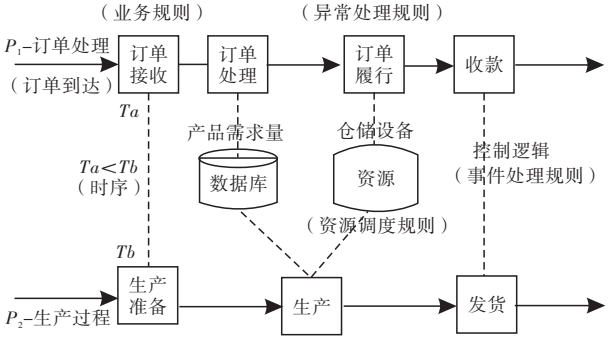

图 1 多业务过程间的相互关联关系

1.3 仿真场景建模

针对仿真的特殊需要,在企业建模的基础上进行仿真场景建模。仿真场景描述企业内、外部同仿真密切相关的总体环境,主要包括事务发生器、工作时间表、组织表和全局资源表。

a)事务发生器用于描述企业外部产生的如“订单或生产任务的到达”等工作流模型的输入事务的规律、数量及其他属性。

b)工作时间表用来描述某一具体企业的作息时间,是关于资源可用、活动可执行或实例可产生的时间条件,即在定义的时间表所选择的时间范围内,资源或活动才可能被激活。

c)组织表描述企业内部组织结构的划分,主要包括组织单元的名称、功能描述及组织单元间的层次关系。

d)全局资源表定义企业内部和过程模型相关的或可以使用的资源,包括定义资源的类型、功能、数量、成本、所属组织单元及其他描述。

通过为每一个业务过程设置一个独立的事务发生器,就实

现了多业务过程仿真的多入口建模,并且每一个事务发生器都可以产生多个实例。这样,多个事务发生器和它们产生的实例将在仿真引擎的统一调度下协调运行,实现真正的多业务过程多实例仿真。

1.4　资源调度规则建模

在多业务过程仿真的动态运行中,多个工作流过程模型之间、单个工作流模型的不同活动之间都可能发生资源冲突。采取什么策略处理这种冲突对工作流模型的性能有很大的影响。由于业务过程和活动的仿真实例化由事务实例的到达触发,因此可以从事务的角度来考察多个业务过程间的资源冲突。这样,不同业务过程或同一业务过程的多个活动之间的资源冲突问题可以描述为某个资源如何确定最先为多种类型的多个事务实例中的哪一个进行服务的问题,当该资源可用时,存在三种可能的事务选择情形:

a)一个事务实例请求一个资源。这种情形下可以把资源分配给该事务实例。

b)同一种类型的事务实例请求一个资源。资源的分配取决于事务实例队列在该资源的排队规则。常用的排队规则有先到先服务(FIFO)(这也是最常用的一种排队规则)、后到先服务(LIFO)、最小值先服务(low value first, LVF)和最大值(value)先服务等。其中 value 可以作为事务的一个属性,在事务实例产生或流动过程中进行赋值,如对每一个进入系统的事务实例给定一个事务完成截止时间的属性值,假设资源所设置的排队规则是 LVF,则实际的排队规则是最小截止时间规则。这就为灵活设置排队规则提供了可行的建模方法。

c)不同类型的多个事务实例请求一个资源。这时,资源调度规则需要综合考虑不同类型事务之间类级别的排序规则和同一类型下的不同实例的实例级别的排队规则,并且规定类级别与实例级别之间的排序。例如,类级别采用优先级规则(数值越小表示级别越高),而实例级别采用 FIFO 规则,并且规定类级别优于实例级别。设 A 类型(优先级为 2)的事务 a 比 B 类型(优先级为 1)的事务 b 先到达(即 $Ta < Tb$),由前面的假定可知,资源应该先分配给事务 b。

2　多业务过程仿真引擎设计

2.1　多业务过程仿真数据统计算法

多业务过程仿真中的过程性能指标包括时间、成本、IT 可靠性等[24]。性能指标算子 φ_k 可以呈现各种非线性形式,为了对其进行分析和简化,本文采用四类基本的性能指标算子,其中 q_i 表示某个活动/服务的性能指标,w_i 表示权重,n 表示多业务过程包含的活动/服务数[23]。

a)线性算子 $L(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \sum_{i=1}^{n} w_i q_i$。线性算子的常见表现形式包括:

(a)求和算子 $L_{\mathrm{sum}}(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \sum_{i=1}^{n} q_i$。常见于多个业务过程/活动间的成本、时间的组合,这里 $w_i = 1, 1 \leqslant i \leqslant n$。

(b)平均算子 $L_{\mathrm{avg}}(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q_i$。常见于多个业务过程/活动间的信用等的组合,这里 $w_i = \frac{1}{n}, 1 \leqslant i \leqslant n$。

(c)概率算子 $L_{\mathrm{psb}}(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \sum_{i=1}^{n} p_i q_i$。常见于多个业务过程/活动间的分支组合方式,这里 $w_i = p_i$ 是分支的执行概率,$1 \leqslant i \leqslant n$。

(d)数乘算子 $L_{\mathrm{tim}}(q) = kq$。常见于多个业务过程/活动间的循环组合方式,而 k 是循环次数。

b)最值算子 $\overline{M}(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \max_{i=1}^{n} q_i$ 或 $\underline{M}(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \min_{i=1}^{n} q_i$。常见于多个业务过程/活动间的并行组合方式。

c)乘积算子 $T(q_1, q_2, \cdots, q_n) = \prod_{i=1}^{n} q_i$。常见于多个业务过程/活动间的顺序组合方式下的可用性等。

d)幂算子 $P(q) = q_1^k$。常见于多个业务过程/活动间的循环组合方式,k 是平均循环次数。

上述四种基本性能指标算子,能够表示大多数常见的多个业务过程/活动间性能计算的组合算子。使用这些基本算子可以表示不同过程控制逻辑结构的组合算子。

2.2　多业务过程仿真引擎调度算法

业务性能分析的仿真执行期间一般没有人为干预,多业务过程仿真引擎按照模型建立(build-time)阶段建立的多业务过程仿真模型(包括资源调度规则的设定)、预设置的仿真运行控制模式(仿真运行次数、速度、动画显示等)、工作时间表、事务发生器的事务产生规律和内置的仿真事件调度算法和仿真数据统计算法自动完成业务逻辑的控制和性能指标值的计算。多业务过程仿真引擎的主体执行流程和调度算法如下:

1)仿真开始,读工作时间表,判定仿真开始时间是否在工作时间表内,直到“真”。

2)根据事务发生器中的事务产生规律生成仿真开始事件,并对事件赋予属性集 transAT = (事务类型 transType_ID,事务实例 transInst_ID,过程 process_ID, 过程实例 processInst_ID),唯一标志某个过程实例的事务实例,写入开始时间表。

3)判断开始事件的类型(包括间隔型、需求型和完成型等,以下步骤以间隔型事件为例,其他类同),判断仿真开始事件是否在工作时间表内,直到“真”。

4)读取活动输入连接弧的属性表,判断连接弧上的条件,直到“真”。

5)触发该活动的执行;读取活动的相关属性表;判断是否在工作时间表内,直到“真”。判断是否为批处理,若“真”,判断是否满足批处理条件,直到“真”;否则转 6.1)。

6.1)判断所需资源 Res_ID 是否可用,直到“真”。

6.2)判断是否满足活动资源需求量,直到“真”。

6.3)根据事务属性集 transAT 确定特定的事务实例trans_id,根据 trans_id 的资源调度规则确定其在 Res_ID 中的队列位置,直到为其分配资源。

6.4)判断是否为决策活动。若“真”转 7);否则根据仿真统计算法计算各性能指标值,修改性能指标统计表,修改活动时间表(增加一条记录),修改资源时间表(增加一条记录),活动执行完毕。

7)读取活动输出连接弧(即下一活动的输入连接弧)的属性表,判断下一个活动是否为终止节点。若“否”转 4);若“真”则删除开始事件表中的第一条记录。

8)判断开始事件表是否为空。若“否”,转 3);若“真”转 9)。

9)若未达到终止条件,转 2)。

10)若达到终止条件,产生仿真统计报表,终止。

上述仿真引擎的执行流程和调度算法能够支持采用 IBPSM 建立的具有多入口的多过程模型的仿真执行。

3　集成化业务过程仿真建模方法

多业务过程仿真工具(MBPST)原型系统提供了支持集成化业务过程仿真建模方法(IBPSM)所需要的全部功能模块。MBPST 的系统结构如图 2 所示。MBPST 从上至下依次包括应用层、业务层和数据层。应用层为用户和系统的交互提供支持,包括:a)组织/资源/过程等视图、知识规则及关联关系的图形化建模工具;b)仿真监视工具;c)数据分析工具。业务层的核心是仿真引擎,通过与模型解析器、规则解析器、随机数发生器和仿真时钟进行交互,实现模型的仿真执行和仿真数据的计算。数据层存储仿真模型、知识规则、仿真实例、日志、仿真执行数据、分析统计数据及其他数据。性能仿真优化作为业务过程性能优化路线图中的一个组成部分,在 MBPST 的设计与应用中融入了性能优化的各种知识、方法和技术。

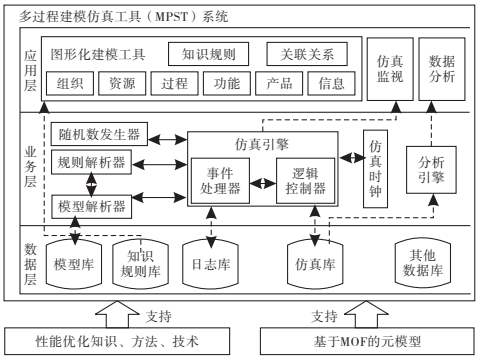

图 2　多业务过程仿真工具系统结构图

另外，MBPST 的实现基础是基于 MOF 的工作流元模型，如图 3 所示。模型元素类 modelElement 是该元模型的顶级父类，所有其他类都直接或间接地继承于该类。企业模型类包括视图模型子类和知识规则子模型类（knowledgeRule）；而知识规则类则派生出业务规则类（businessRule）、资源调度规则类（resourceScheduleRule）、异常处理规则类（excepHandlingRule）和事件处理规则类（eventProcessingRule）等。它们为描述企业这个复杂系统内的各种实体和关联关系提供了丰富的建模概念和建模元素。其中以过程模型类（process）为核心，对企业的活动、活动间的相互依赖关系、企业的知识规则、活动执行所需要的资源、组织和信息等类进行了关联，形成一个统一、完整、集成的企业元模型结构。

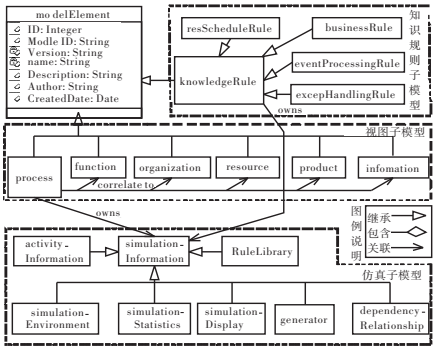

图 3　多业务过程仿真工具元模型

仿真模型类的基类 simulationInformation 描述了对企业模型仿真时所需要的模型信息。该类可以引用企业模型类中的业务过程类（process）和知识规则（knowledgeRule）类，并根据仿真的需要，派生出仿真环境类（simulationEnvironment）、仿真数据统计分析类（simulationStatistics）和展示类（simulation-Display）、过程/活动间的依赖关系类（dependencyRelationship）、知识规则库类（ruleLibrary）和仿真事务发生器类（generator）等。环境设置类、事务发生器类和规则库类的各种实例及其组合为业务过程仿真、过程性能优化提供了对各种场景的描述能力。由于所有模型元素都遵循 WfMC 的 xPDL 规范，通过过程类 process、仿真信息类 simulationInfo 和知识规则类 knowledgeRule 的关联，保证了企业模型、仿真模型和工作流模型之间的一致性。

4　应用案例

某机器厂特种数控刀具中心作为航天总公司下属的特种复杂刀具供应中心，具备先进的设备及必备条件，近年来一直为航天企业生产特种复杂刀具。该企业的生产管理信息系统涵盖产品销售、成本核算、车间生产调度和产品质量管理等方面，但信息系统技术水平稍显落后，不能与当今企业管理现代化的时代相适应。为进一步缩短产品开发研制周期，提高产品质量，降低生产成本，需要利用建模和分析技术对企业管理现状进行分析和优化，以形成完善而且先进的生产管理信息系统。

本文的仿真对象是该机械厂的特种数控刀具分厂的生产过程。该机械厂的刀具分厂主要生产两种类型的刀具：整体全磨制刀具和可转位刀具。仅以可转位刀具为例，其生产过程仿真界面如图 4 所示。

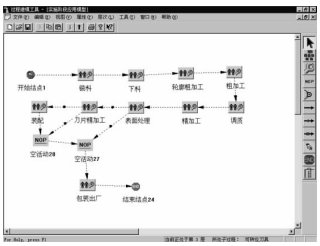

图 4　可转位刀具生产的多业务过程仿真界面图

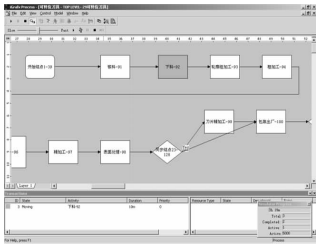

图 5　可转位刀具生产的多业务过程性能分析界面效果图

设置主要仿真参数，以可转位刀具生产过程中的下料活动为例。从数据库中读当前活动的属性，当前活动持续时间为 15 min，所需资源为普通车床、车工段人员，普通车床每小时花费 55 元，车工段人员每小时花费 5 元。定义资源，在现存的资源中选择所需资源，修改资源类型，在下料活动的资源定义中选择普通车床和车工段人员，选择资源类型分别为设备和劳动者。定义资源数量为 5，资源消耗分为工作时间消耗和加班消耗，分别设定普通车床和车工段人员工作时间消耗和加班消耗。业务过程性能分析界面如图 5 所示。

为了对生产过程进行全面的分析评价，在研究生产过程仿真优化时需要对有关时间、成本、资源和队列等主要指标进行仿真。仿真结果如下：

a）时间仿真。处理 10 个事务共消耗 15.75 h。从事务统计表表明，10 个事务平均周期为 94.5 min、平均服务时间为 94.5 min、平均工作时间为 94.5 min、其余如平均资源等待、平均堵塞时间、平均不活动时间、平均等待时间及平均服务时间均为 0。以下料为例总周期为 1.67 h、活动处理的事件数为 10 个、平均周期为 0.17 h，平均服务为 0.17 h，平均工作 0.17 h，平均资源等待、平均堵塞、平均不活动、平均等待及平均服务等待均为 0。

b）成本仿真。成本仿真提供事件统计表、活动统计表和资源统计表。事件统计表提供事件数、平均 VA 成本、平均 BVA 成本、平均 NVA 成本、平均劳动力成本、平均设备成本、平均其他成本及平均超时成本。以下料活动为例的事件数 10 个、总成本 91.67 元、总 VA 成本 91.67 元、总劳动力成本 8.33 元、总设备成本 83.33 元、平均 VA 成本 9.17 元、平均 BVA 成本 9.17 元、平均劳动力成本 0.83 元、平均设备成本 8.33 元，其他如总 BVA 成本、总 NVA 成本、总其他成本、总超时成本、均 NVA 成本、平均其他成本、平均超时成本均为零。

c）资源仿真。资源仿真提供资源利用率表、资源统计表、活动统计表。资源利用率表表明每个资源的使用情况；资源统计表提供资源数、平均繁忙时间、平均不服务时间、平均闲置时间、平均超时时间、平均资源等待时间。以下料活动为例，下料所需资源为普通车床和车工段人员，普通车床和车工段人员的资源利用率分别为 10.58%、6.77%，资源数分别为 1 和 5，平均繁忙时间分别为 1.67 h 和 2.50 h，平均闲置时间分别为 14.68 h 和 15.25 h，其余平均不服务时间、平均超时时间、平均资源等待时间均为 0；总成本为 91.65 元、总劳动力成本为 8.53 元、总设备成本为 85.33 元，其他如总其他成本、总超时成本均为 0。

d）队列仿真。队列仿真提供在资源中事件等待列表、资源统计表、活动统计表。事件等待列表表明在资源中等待处理的事件数。以下料为例，时间等待列表中，等待处理的事件数为 1；资源统计表中，处理的事件数为 10，其余如总事件等待、平均事件等待、最大事件等待、总资源等待、平均资源等待、平均 NT 等待均为 0；活动统计表中，事件数为 10、被使用的最大

能力为 1,其余如总事件等待、平均事件等待、最大事件等待、总事件资源等待、总事件堵塞等待、总资源等待、总资源的堵塞、总不活动时间、平均资源等待、平均资源的堵塞、平均不活动时间为 0。

对可转位刀具的产生制造过程进行仿真方针结果分析得到,各个活动等待事件的时间及事件在资源的堵塞等结果均为 0,表明每个生产活动所花费的时间是均衡的;资源等待时间等结果为 0,表明每个生产活动所需要的资源是得到了充足的供应;资源利用率等结果表明资源利用率不高,需要进一步提高。

5　结束语

在 CIMS 项目、ERP 系统实施、工作流管理系统的开发与部署等信息化项目中都需要对业务过程进行性能分析和仿真,本文提出的集成化业务过程仿真建模方法(IBPSM)和多业务过程仿真工具(MBPST)就是针对多业务过程在实际部署之前的事前分析和仿真,仿真运行结果为企业提供可量化的决策依据。实践应用表明,本文提出的上述方法不仅能够为业务过程优化提供决策依据,还为业务过程的信息化实现(如支持该过程的工作流管理系统的设计与实现)提供了支持。

参考文献:

[1] 曾森,范玉顺,黄双喜. 支持业务过程性能优化的多过程建模方法研究[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(8):1496-1503.

[2] 高俊涛,张莉. 基于时序逻辑的业务过程约束建模及验证[J]. 计算机应用研究,2009,26(4):77-79.

[3] 王宇华,印桂生,何璐,等. KAOS 方法在流程类业务需求建模中的应用[J]. 计算机应用研究,2011,28(4):1418-1421.

[4] NEELY A, GREGORY M, PLATTS K. Performance measurement system designa literature review and research agenda[J]. International Journal of Operodions & Production Management, 1996,15(4):80-116.

[5] SUWIGNJO P, BITITCI U S, CARRIE A S. Quantitative models for performance measurement system [J]. International Journd of Production Economics, 2000, 64(1-3):231-241.

[6] SARKIS J. Quantitative models for performance measurement systems-alternate considerations [J]. International Journd of Production Economics, 2003,86(1):81-90.

[7] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis (DEA)[J]. Management Science, 1984, 30(9):1078-1092.

[8] 朱家饶,刘大成,佟巍,等. 基于流程的制造绩效评价体系研究[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(3):438-445.

[9] REN C R, CHAI Y T, LIU Y. Dynamic performance management system[J]. High Technology Letters, 2006,12(1):51-54.

[10] 肖志娇,常会友,衣杨. 工作流时间性能分析方法[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(8):1284-1287.

[11] 高海宁,李蜀瑜. 基于拓展时间 Petri 网的 Web 服务组合的分析与验证[J]. 计算机应用与软件,2012,29(3):82-85.

[12] 郑彦翀,范玉顺,赵彧. 基于作业成本法的工作流模型性能分析研究[J]. 工业工程与管理,2006,11(2):83-86.

[13] MEDICKE J, HALL B, REED B. Manage business performance [EB/OL]. (2004). http://www-128. ibm. com/developerworks / webservices/ library/i-bpm1/#main#main.

[14] JENG J J. Service-oriented business performance management for real time enterprise[C]//Proc of the 8th IEEE International Conference on E-Commerce Technology. Washington DC:IEEE Computer Society, 2006: 28-35.

[15] MARR B. Business performance management: current state of the art, a survey report[D]. Cranfield:Cranfield School of Management, 2003:11-24.

[16] 谭文安, 周伯生, 李明树,等. 基于模拟的企业过程模型自动化优化技术研究[J]. 软件学报,2002,13 (4):706-712.

[17] HAN K H, KANG J G. Two-stage process analysis using the process-based performance measurement framework and process simulation [C]//Proc of the 5th International Conference on Software Enginee ring Research, Management and Applications. 2007:31-37.

[18] 曾森,黄双喜,范玉顺. 基于 AHP 和系统仿真的面向服务业务过程性能评价[J]. 计算机应用研究,2008, 25(4):991-995.

[19] 李海凌,刘克剑. 基于 HTCPN 的工程项目群工作流建模与仿真[J]. 计算机应用研究,2013, 30(3):792-795.

[20] 曾森,范玉顺,黄双喜. 基于多过程仿真的多级库存系统性能优化[J]. 系统仿真学报,2009,21(23):7622-7628.

[21] ZHENG Yan-chang, FAN Yu-shun, TAN Wei. Interactive-event-based workflow simulation in service oriented computing environment[C]// Proc of the 5th International Conference on GCC. 2006:177-184.

[22] 邓见光,潘晓衡,袁华强. 一种虚拟场景的动态建模与实时仿真方法[J]. 计算机应用与软件,2012,29(4):20-23.

[23] 范玉顺. 集成化企业建模方法与系统[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

[24] 沈益民,范玉顺. 企业协同服务组合的在线选择方法[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(4):799-805.

(上接第 1066 页)

参考文献:

[1] 王淑营,阴艳超. 面向产业链协同 SaaS 平台的事件协同感知技术研究[J]. 计算机应用研究,2012,29(10):3769-3771,3779.

[2] 王淑营. 支撑产业链协同的 SaaS 平台自适应演化技术[J]. 西南交通大学学报,2012,47(1):39-45.

[3] FAGIN R, HAAS L, HERNANDEZ M, *et al*. Clio: schema mapping creation and data exchange[M]//Conceptual Modeling: Foundations and Applications. Berlin:Springer-Verlag, 2009:198-236.

[4] MIAH S J, GAMMACK J. A mashup architecture for Web end-user application designs[C]//Proc of the 2nd IEEE International Confere nce on Digital Ecosystems and Technologies. Washington DC: IEEE Computer Society,2008:532-537.

[5] BENSLIMANE D, DUSTDAR S, SHETH A. Services mashups: the new generation of Web applications[J]. IEEE Internet Computing, 2008,12(5):13-15.

[6] 孙亚东,张旭,宁汝新,等. 面向多学科协同开发领域的集成建模方法[J]. 计算机集成制造系统,2013,19(3):449-460.

[7] 蔡树彬,明仲,李师贤. 基于本体的模型集成[J]. 电子学报,2009,37(4):713-719.

[8] YASSINE A A, SREENIVAS R S, ZHU Jian. Managing the exchange of information in product development[J]. European Journal of Operational Research,2008,184(1):311-326.

[9] 沈凤仙,朱巧明. 基于 JDBC 和 XML 的数据库系统迁移方法[J]. 计算机工程与设计,2008,29(20):5376-5378,5382.

[10] 王淑营. 产业链协同商务平台动态数据交换技术[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(6):1336-1343.

[11] 曾丽明,韩瑞珠. 分布式库存管理系统仿真[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(5):1067-1073.

[12] FREDRIK O. Optimal policies for inventory systems with lateral transshipments[J]. International Journal of Production Economics,2009,118(1):175-184.

[13] CHEN Xin-jun, CAI Wen-tong, TURNER S J, *et al*. SOAr-DSGrid: service-oriented architecture for distributed simulation on the grid [C]//Proc of the 20th Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation. 2006:65-73.

[14] 孙大烈,李建中. 基于 MapReduce 的 Skyline-join 查询算法[J]. 哈尔滨工业大学学报,2012,44(1):103-106.

[15] 骆翔宇,谭征,苏开乐,等. 一种基于认知模型检测的 Web 服务组合验证方法[J]. 计算机学报,2011,34(6):1041-1061.

[16] 邓水光,吴健,李莹,等. 基于回溯树的 Web 服务自动组合[J]. 软件学报,2007,18(8):1896-1910.