

workflow 系统时间管理*

李慧芳, 范玉顺

(清华大学 自动化系 国家 CIMS 工程研究中心,北京 100084)

E-mail: hfli@cims.tsinghua.edu.cn

http://www.tsinghua.edu.cn

摘要: 时间管理是 workflow 管理软件系统的关键部分,也是 workflow 技术实施复杂企业应用的严重局限.开展时间管理研究,对于增强 workflow 管理软件系统的柔性、确保 workflow 计划的高效执行和提高企业的竞争力具有重要意义.时间管理的关键在于时间信息的有效建模.首先介绍了 workflow 管理系统的时间问题.其次,综述了时间建模与分析的研究现状,包括时间约束的建模、时序一致性验证与时间违反的处理.最后,基于对现有研究方法的分析与评价,指出了 workflow 系统时间管理的发展方向.时间管理的支持对于开发灵活性和实用性的 workflow 管理系统具有重要的指导意义.

关键词: workflow 系统;时间建模;时间约束;一致性;验证

中图法分类号: TP311 文献标识码: A

随着 workflow 技术的飞速发展,涌现出了各种各样的 workflow 管理系统产品^[1,2].然而,激烈的市场竞争和业务环境的动态变化,会引起业务管理的低效和不一致性,甚或 workflow 的灾难性破坏^[3],而现存的工作流产品缺乏对动态变化所必须的柔性支持^[3~6],远远不能满足企业的应用需求,时间管理已经成为困扰当今 workflow 应用实施的重大难题.实际业务过程大多具有时间限制,时间违反将增加业务成本(如违约金)^[7].所以,实施 workflow 管理需要处理时间问题,确保 workflow 执行满足过程的时间约束.可见,研究 workflow 时间管理,对于增强 workflow 管理功能、丰富 workflow 建模理论以及推动 workflow 管理软件的实际应用具有重要意义.

workflow 时间管理是研究 workflow 执行的时间维计划,估计不同的活动执行延迟、避免活动/过程违反时间约束以及时间违反的异常处理,以提高过程管理的效率.时间管理的关键在于时间信息的有效建模,这是一个最具挑战性的研究课题,国外已经开展了相关的研究^[4,5,7~17],国内的研究^[18~22]主要着重于 workflow 建模方法与系统实现技术,对业务过程的时间管理尚未进行专门的讨论.王海洋^[18]通过指定活动延迟上界,可在一定程度上弥补因任务执行拖延而引起全局的时间损失,但是所考虑的时间约束相对比较简单,缺乏时间有关的验证,应用局限性较大.本文立足于 workflow 系统对时间管理功能的实际需求,对 workflow 时间管理问题进行了初步探讨.首先系统地综述了时间管理的研究现状以及 workflow 相关的时间问题,然后介绍了几种不同的时间建模方法;通过对现有的时间建模方法的比较、分析与评价,指出了 workflow 时间管理研究的新方向.

1 时间管理的研究现状

时间管理在项目管理、车间调度、人工智能、时序数据库与实时软件工程学科已经研究多年^[12,13].可是,workflow 建模与实例化的复杂性使上述领域的时间建模与管理技术都不适用于 workflow 时间管理.现有的 workflow

* 收稿日期: 2002-03-11; 修改日期: 2002-06-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2001AA415340)

作者简介: 李慧芳(1965 -),女,陕西周至人,博士,讲师,主要研究领域为 Petri 网建模与分析,网络化制造,workflow 管理;范玉顺(1962 -),男,江苏扬州人,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为企业建模与分析,workflow 建模与仿真实施技术,系统集成与集成平台,面向对象与柔性软件系统, Petri 网建模与分析,信息安全系统,人工智能与多媒体技术.

时间管理功能局限于过程仿真、指定活动的截止期限以及当错过(miss)期限时间时触发异常处理^[7],忽略了时间约束的一致性以及时间违反所带来的损失.在快速变化的业务环境中,企业赢得竞争的一个重要因素在于它是否有能力控制业务流信息实时地流经企业.所以,工作流管理系统应能提供过程与时间的必要信息:

- 在模型建立阶段,定义工作流控制逻辑与业务过程的时间信息,并检测它们的可行性;
- 在实例执行阶段,通过时间监控与仿真,识别与预测可能的时间问题^[12];
- 支持工作流时间计划的临时调整(如扩展期限约束),并提供超前(pro-active)机制以警告潜在的时间违反;
- 对于不可预测的紧急事件或组织延迟,时间仿真可以寻找工作流执行的替换路径,以减小/弥补时间延迟;
- 工作流参与者需要任务紧急程度的信息,以便按照全局目标管理个人的工作计划;
- 一但出现时间违反,工作流系统应该触发异常处理以重新获得实例执行的一致状态^[8].

2 工作流的时间问题

在全球分布式、时序业务环境中,过程活动可能属于不同的地理时区,工作流控制逻辑应该考虑活动执行延迟、时序和时差以及活动导航时传递文档、信息流的延迟^[23].工作流系统中的时间因素主要包括:

(1) 相对与绝对时间:相对时间基于某一参考点,绝对时间用日期表示.过程建模时常用一定粒度的相对时间值表示活动延迟(如 20 分钟);工作流执行时常用绝对时间值表示活动的开始/结束时间,例如某任务在 9 月 1 日上午 8:30 启动,并在当日下午 4:00 结束.

(2) 时序约束(temporal constraints).表示活动执行的时间层约束(如时间顺序),常根据法律法规、业务策略来定义.时间约束强调活动/过程本身的时间限制(如执行延迟),时序约束更注重活动之间的时间依赖(如活动 B 应在活动 A 开始 1 天后启动),它们从不同的角度描述工作流系统的时间约束.在时间管理研究中,时间约束与时序约束之间没有严格的界限.

(3) 时序一致性(temporal consistency).

定义 1. 一个时序约束与某一给定的工作流模型是一致的,当且仅当基于工作流模型语义与工作流任务的最大/最小执行延迟,该时序约束是满足的.

一个工作流模型,即使具有正确的控制流逻辑,它也可能含有不一致的时序约束.如果在工作流模型中,任务 i, j 的时间距离约束为 2 天,则由 i, j 属于不同的工作流实例可知,该时序约束与工作流模型不一致.

定义 2. 一个时序约束集与某一给定的工作流模型是一致的,当且仅当基于工作流模型语义和工作流活动的最大/最小执行延迟,该集合所包含的所有时序约束是满足的.

3 工作流时间约束的分类

根据时间约束的产生,工作流时间约束分为隐式时间约束和显式时间约束^[8].隐式时间约束是由工作流控制结构与活动延迟而导出,如一个活动必须在其所有的前序活动执行完毕才可启动,包括活动延迟与截止期限约束.在过程建模时不明确定义隐式时间约束,而在实例运行时总是不自觉地满足它.显式时间约束是由组织法规、法律而衍生,常由过程设计者指定,如事件之间的时序关系、事件与某个日期集绑定.无论隐式或显式时序约束,在工作流执行时都要转化为工作流活动/过程的时间属性,所以总的的时间约束有 5 类:

- (1) 基本时序约束(或延迟约束):限制工作流模型中某一任务的期望延迟时间,具有强制性.它可用相对时间值 d_i 精确表示,也可用一个时间对表示它的最大/最小期望延迟 $[m(i), M(i)]$;
- (2) 流延迟和时差:在地理分布的业务流程中,工作流延迟包括活动执行延迟和活动导航时的信息流延迟;
- (3) 有限延迟约束(limited duration):限制工作流模型所表示的过程延迟,适用于过程所有的实例类;
- (4) 截止期限(或期限时间):限制实例执行中活动/过程的开始/结束时间,即活动/过程的最大容许执行时间.在过程建立时,相对于过程开始来指定;在过程实例化时,将所有的相对期限约束转化为绝对时间点;

(5) 时间距离约束(或相互依赖时序约束):限制同一 workflow 模型中两个任务之间的时间距离,用相对时间值表示,即源事件结束 $e(i)$ 和目的事件开始 $b(j)$ 之间的时间间隔,有上/下界两种约束;

(6) 固定日期约束(fixed-date):限制活动只能在指定的日期执行, $fdc(a,T)$ 表示活动 a 与日期 $T(T$ 是时间段,如星期二的 0:00~24:00)绑定.

4 workflow 系统时间建模与分析

4.1 时间信息的表示

workflow 管理联盟旨在建立 workflow 术语使用与规范之间的一致性,不包含时间约束建模的规范.在已有的时间约束建模与分析文献中,时间建模是在 workflow 模型中嵌入时间信息、扩展 workflow 模型使其包含时间因素或者为活动增加时间属性,对于全球分布式 workflow 系统,时间建模还应考虑活动导航的流延迟和时差转换.

4.1.1 基于 workflow 图的方法

Eder^[7,8]基于赋时活动图,建立包含活动时间属性的 workflow 模型,如活动执行延迟、截止期限、固定日期以及时间距离约束,并将所有的时间约束换算为活动执行结束的时间点.图 1 所示的赋时活动节点 $n,n.d/n.E/n.L$ 分别表示 n 的执行延迟/最早完成时间/最晚完成时间.图 2 是由图 1 的节点构成的赋时 workflow 图.

Activity name n	Activity duration $n.d$
Earliest finish time $n.E$	Latest finish time $n.L$

活动标识 n , 活动延迟 $n.d$, 最早完成时间 $n.E$, 最晚完成时间 $n.L$.

Fig.1 Activity node of a timed workflow graph

图1 赋时 workflow 图的活动节点

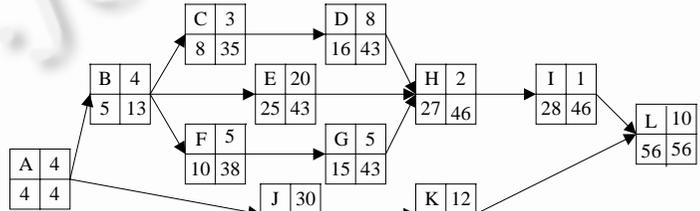


Fig.2 Example timed workflow graph

图2 一个赋时 workflow 图例

Marjanovic^[12,13]基于好结构的(well structured) workflow 图模型^[1,24],利用延迟间隔描述活动执行延迟的不确定性,定义了有限延迟约束、截止期限约束、时间距离约束,并引入延迟空间对不同的时间约束进行可视化描述.任务 i 的延迟约束 $d(i)=[m(i),M(i)]$, $m(i)/M(i)$ 表示 i 的最大/最小延迟时间.显然, $m(i) \leq M(i)$, $m(i)=M(i)$ 表示 i 具有精确延迟.Kafeza^[9]着重于活动间的相对同步关系,将活动间的时序依赖转化为统一的二元时序约束,通过为 workflow 图的有向边增加时间标签来包含业务过程的时间信息.时间管理的关键在于活动的时序协调,考虑到活动延迟与截止期限约束,用活动开始/完成事件发生的顺序来表示 workflow 的时序约束.如果将活动 a_i 以 $[a_i(t_{start}),a_i(t_{complete})]$ 时间间隔表示, $a_i(t_{start})/a_i(t_{complete})$ 表示 a_i 的开始/完成时刻,则活动间的时序关系可归纳为之前、汇合、重叠、同时开始、覆盖、同时完成与相等 7 种,表 1 给出了活动时序关系及其相应的约束.

Table 1 Temporal relations and corresponding constraints between activity a_i and a_j

表 1 活动 a_i 与 a_j 的时序关系及约束

Relation	Meaning	Constraint
a_i before a_j		$a_i(t_{start}) < a_i(t_{complete}) < a_j(t_{start}) < a_j(t_{complete})$
a_i meets a_j		$a_i(t_{start}) < a_i(t_{complete}) = a_j(t_{start}) < a_j(t_{complete})$
a_i overlaps a_j		$a_i(t_{start}) < a_j(t_{start}) < a_i(t_{complete}) < a_j(t_{complete})$
a_i start a_j		$a_i(t_{start}) = a_j(t_{start}) < a_j(t_{complete}) < a_i(t_{complete})$
a_i covers a_j		$a_i(t_{start}) < a_j(t_{start}) < a_j(t_{complete}) < a_i(t_{complete})$
a_i finishes a_j		$a_i(t_{start}) < a_j(t_{start}) < a_i(t_{complete}) = a_j(t_{complete})$
a_i equals a_j		$a_i(t_{start}) = a_j(t_{start}) < a_i(t_{complete}) = a_j(t_{complete})$

之前, 汇合, 重叠, 同时开始, 覆盖, 同时完成, 相等.

4.1.2 基于 Petri 网的方法

Petri 网利用触发延迟、保持延迟和使能延迟^[25~27]等时间表示形式描述不同语义的实时系统,例如为库所/变迁扩展时间参数对,为 token 赋予时间戳(time-stamp)表示业务实例的全局生命时间^[17].Ling^[10,11]通过扩展基

本网系统包含业务过程的时间因素,提出了时间工作流网,并将活动执行时间映射为工作流网^[24]的变迁时间对,修改工作流网的分析方法,如活性、安全性和合理性来分析时间约束工作流的行为性质。Adam^[28]以 Petri 网为建模分析工具,基于“操作-元语”语义框架,将任务划分为操作集和任务元语集,全面描述任务在整个工作流执行中所遍历的 5 种状态——初始态、执行态、完成态、提交态与退出态;并借助于库所/变迁时间对以及 token 时间戳来建模任务间的时序依赖约束,包括业务实例的到达时间和任务可执行时间范围等。

4.2 时间有关的计算

为了验证时序一致性,需要进行时间计算。例如计算活动执行时间与过程延迟、修改截止期限以及将相对时间转化为绝对时间。不同的时间建模方法所考虑的时间约束不同,时间计算取决于具体的场景。Eder^[7,8]将时间计算分为 3 个阶段:在过程建立阶段,将固定日期约束转化为下界时间距离约束,求得活动的最早/最晚完成时间;在过程实例化阶段,将相对时间值转化为绝对时间点;在实例执行阶段,监控前序活动的结束时间,重新计算后续活动的完成时间,以尽早发现时间错误。与 Eder 不同,Marjanovic^[12,13]基于活动延迟 $d(i)$ 、顺序活动延迟 $d(i-j)=[m(i)+m(j),M(i)+M(j)]$ 、并行活动延迟 $d(i-j)=[\max\{m(i),m(j)\},\max\{M(i),M(j)\}]$,求得基本工作流组件(OR-split,AND-split,OR-join,And-join)的等价延迟,并导出延迟算法来计算过程延迟。基于 Petri 网的方法^[10,11,28],根据网的运行规则,通过计算某状态业务实例的到达时间来估算子过程延迟。

4.3 时序一致性验证

为了实现时间约束工作流的可靠执行,需要验证过程模型的正确性以及过程/活动的时序一致性,即验证时间约束与工作流模型的一致性以及工作流实例执行中的时间约束满足性,有以下 3 种方法:

(1) 静态验证。这是一种事前的验证方法,基于所建立的工作流模型结构,检查过程模型与时间约束的可能冲突,修改或松弛不一致的时间约束,为工作流设计者进行时间约束的合理设定与有效建模提供帮助。Eder 旨在模型建立时确定不一致的时间约束,并反复修改赋时工作流图以确保时间约束的静态一致;Marjanovic 通过计算活动之间的最长/最短时间距离,给出了有限延迟、时间距离和截止期限约束的一致性验证规则。

(2) 动态验证。这是在实例执行过程中,基于实例的当前状态、绝对时间与关键路径,通过计算关键路径的执行延迟估算尚未调度活动的预期执行时间,判断时序一致性。随着实例执行进程的推进,即便一致的期限约束,也无法保证它在将来的工作流执行中仍然满足。为此,需要对时间约束进行动态或多次验证。Eder^[7,8]利用过程定义所描述的时间信息,适时调度活动以寻找最优的工作流执行资源;Marjanovic^[12,13]引入控制点集合 C ,通过 C 中元素的动态增减,动态检测潜在的时序约束违反,但它以正确的工作流模型为前提。

(3) 模型验证。这是验证集成时间约束的工作流模型的合理性、有界性与活性等,为工作流的安全、可靠执行奠定理论基础。Ling^[10,11]和 Adam^[28]立足于工作流执行的每一步骤对时序约束的影响,修改或扩展已有的工作流分析方法以分析时间约束工作流模型。Ling^[10,11]引入关联情形(contact situation),精确定义了活动的时间安全性,提供了形式化方法以检测模型错误及资源冲突。Adam^[28]考虑了任务之间的控制流、价值流与时序依赖,利用 Petri 网的结构性质识别不一致的任务依赖说明,检验工作流的安全性,并验证工作流在特定时序约束下的执行可行性。其缺点是对于稍微复杂的业务过程会遇到计算复杂性问题。

4.4 工作流执行时间监控

时间管理旨在确保工作流执行的时间约束满足性,动态的业务流程或不确定的活动执行时间常常会破坏一致的时序约束。因此,需要对实例运行过程进行时间监控与仿真,尽早预测可能的时间违反;结合已有的时间表示知识与管理经验,适当调整工作流时间维计划(提前/拖期调度关键活动、修改业务路由),以避免时间错误和费用增加。Kafeza^[9]的 3 种活动调度策略:FIFO(先到先服务)、EDF(优先调度截止期限最早的活动)和 SJB(优先调度延迟最短的活动),适用于不同实例场景的时序协调,可在一定程度上弥补时间损失。

4.5 时间约束违反的处理

如果出现时间违反,应采取适当的措施弥补时间损失或尽量减小这种影响的传播,力求获得工作流执行的一致状态。时间违反源于活动执行延迟的变化,并直接影响后续活动的时序一致性,例如活动实际执行时间的波

动会引起后续活动松弛时间的变化^[29].Eder^[7,8]在 workflow 模型中引入选择活动和替换活动,当违反截止期限时,可采取如下措施:(1) 扩展期限约束或缩短后续活动的调度周期;(2) 改变后续替换活动的选择策略;(3) 删除后续的选择性活动;(4) 触发异常处理或请求人的干预.通过人与 workflow 系统的交互,动态调整 workflow 计划、提高活动优先权、缩短后续活动调度周期、重新商讨截止期限等,以重新获得有效的工作流状态.

4.6 其他时间有关的研究方法

Son^[15]通过为关键活动提供足够的处理能力,并估算关键活动所需要的最少副本服务器,使满足期限约束的工作流实例数最大.Suans^[30]利用知识组件进行时间的表示与推理,借助于时序关系知识解决工作流活动的时序协调;通过预报可能出现的延迟或时序冲突,提高过程管理的效率.

5 workflow 时间管理的不足

(1) 缺乏统一的时间建模规范与标准.时间建模是一个最新的研究领域,workflow 管理联盟尚未制定时间建模的规范与标准.已有的时间建模与分析方法,主要基于 workflow 图模型,所考虑的时间约束也不同,具有很大的局限性.由于 workflow 时间层次的性能分析是在逻辑层之后,有了过程模型,才能进行时间建模与分析,因此可探索基于其他 workflow 模型的时间管理方法.为了描述 workflow 系统中复杂的时间约束,需要一个统一的建模框架,以支持时间约束的规范表示与形式化验证,确保时序约束 workflow 实例的协调和有序执行,时序表示与推理技术在工作流管理系统中的应用研究有待深入;

(2) 建模与分析的复杂性.workflow 系统应用实施的复杂性和特殊性限制了时间管理的充分发展.现有的 workflow 模型时间分析方法,要么侧重于过程模型验证,要么侧重于时序一致性验证.全面的工作流控制描述,应在过程定义和运行管理中考虑 workflow 不同实施阶段活动延迟间的关系、活动逻辑顺序与时间顺序间的关系以及流延迟与时差等,确保过程模型与时间约束的一致性.过程建模是时间管理的基础,合理、有效的过程模型直接影响时间管理的成功实施.为此,迫切需要一种集成化的 workflow 建模方法体系,既能全面描述业务流程及其相关的时间因素,又能支持过程模型验证与时序一致性验证;

(3) 实现的复杂性.为了捕获业务流程功能、时序与组织方面的动态变化,需要提供柔性的 workflow 建模方法,但是足够灵活的过程定义机制,又会使实例运行时的协调与控制难度相应增加.workflow 模型固定不变的刚性结构将扼杀企业在竞争环境中生存所必需的动态性和适应性,如何在精确定义和柔性定义之间取得适当的平衡非常困难;同时,支持时间管理的工作流应用的开发相对于无时间约束的工作流系统要复杂得多,因为不仅要提供过程定义和时序一致性验证工具,还要提供有关时间违反的处理策略.

6 未来的发展

workflow 时间管理旨在提供简单、有效的机制,以帮助用户改善过程效率与效能.时间管理不仅能提供 workflow 时间计划、估计过程延迟、避免时间违反,而且能估计过程瓶颈、减小时间错误.本文从实际业务过程对时间管理的需求出发,对 workflow 系统的时间问题及其建模方法进行综述,未来的研究将从以下几方面展开:

(1) 现有的时间建模方法,从不同的角度、针对特定的应用场景研究 workflow 时间管理问题,取得了有价值的成果.将已有的方法有机地融合起来,利用学科交叉的优势,探索时间管理的通用方法,将是未来的方向;

(2) 支持模型修改的柔性建模方法,根据实际业务过程的变化实时修改模型定义,支持模型的动态演进.企业赢得竞争力的关键在于它能否及时响应经营过程的动态变化,通过适当修改企业 workflow 执行路径来捕捉新的异常情况,避免/减小因时间错误而引起的损失,提高 workflow 模型的适应性.可见,借助于模型的动态修改,适当地处理时间违反是一条有希望的途径;

(3) 基于 Petri 网的时间建模方法,通过为模型元素扩展时间属性进行时间定义,利用 Petri 网的分析技术验证 workflow 模型的正确性.可是,它们基于经典 Petri 网建模,难于摆脱状态爆炸问题,同时对业务过程时间约束的描述有很大的局限性.为了降低模型规模,全面描述时间约束,具有广义时间约束的面向对象 Petri 网有望获得应用;研究过程模型的动态仿真方法,并在实例执行中进行期限约束的动态验证;

(4) workflow 管理系统成功实施的根本在于活动的协调与控制,包括逻辑和时间两个层次.为了解决动态业务环境中因活动执行时间变化而引起的后续活动复杂的协调问题,需要结合实例场景的柔性活动调度方法,实现活动的有序、协调执行.研究活动的智能调度方法,借助于代理的协作机制与自学习能力,结合积累的时间知识与管理经验,建立活动时序协调规则库,自适应性地调整活动选择策略;

(5) 基于人工智能的时序推理方法,将事件之间的时序关系划分为定性关系、定量关系与模糊关系,既可规范时序组件,又可实现时序约束的标准化表示.在规范 workflow 时间建模方面,时序推理与人工智能技术的结合将为 workflow 的形式化建模开辟新的研究思路,并为逻辑和时序层的模型验证提供良好的支持.

时间管理离不开相应的软件支持,开发灵活、高效的 workflow 时间管理软件利于推动时间管理的实际应用.

References:

- [1] Fan, Yu-shun. *Fundamentals of Workflow Management Technology*. Beijing: Tsinghua University Press/Springer-Verlag, 2001 (in Chinese).
- [2] Salimifard, K., Wright, M. Petri net-based modeling of workflow systems: an overview. *European Journal of Operational Research*, 2001,134:664~676.
- [3] Ellis, S., Keddara, K., Rozenberg, G. Dynamic changes within workflow systems. In: *Proceedings of the ACM Conference Organizational Computing Systems (COCS'95)*. 1995. 10~21.
- [4] Sadiq, S.W., Marjanovic, O., Orłowska, M.E. Managing change and time in dynamic workflow processes. *International Journal of Cooperative Information Systems*, 2000,9(1,2):93~116.
- [5] Sadiq, S.W. Handling dynamic schema change in process models. In: *Proceedings of the 11th Australian Database Conference*. 2000. 120~126.
- [6] van der Aalst, W.M.P. Generic workflow models: how to handle dynamic change and capture management information? In: *Proceedings of the 1999 IFICIS International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS'99)*. 1999. 115~126.
- [7] Eder, J., Panagos, E., Pozewaunig, H., *et al.* Time management in workflow systems. In: Abramowicz, W., Orłowska, M.E., eds. *Proceedings of the 3rd International Conference on Business Information Systems*. Heidelberg, London, Berlin: Springer-Verlag, 1999. 265~280.
- [8] Eder, J., Panagos, E., Rabinovich, M. Time constraints in workflow systems. In: *Proceedings of the 11th Conference on Advanced Information Systems Engineering (CaiSE'99)*. Heidelberg, 1999. 1~14.
- [9] Kafza, E., Kamalakar, K. Temporally constrained workflows. In: *Internet Applications. Lecture Notes in Computer Sciences 1749*, Springer-Verlag, 1999. 246~265.
- [10] Ling, S., Schmidt, H. Time Petri nets for workflow modeling and analysis. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*. 2000,4:3039~3044.
- [11] Ling, S., Schmidt, H. A concept of time for workflow modeling and analysis. *Technique Report TR-72*, Victoria, Australia: School of Computer Science and Software Engineering, Monash University, 2000. 1~20.
- [12] Marjanovic, O., Orłowska, M.E. On modeling and verification of temporal constraints in production workflows. *Knowledge and Information Systems*, 1999,1:157~192.
- [13] Marjanovic, O. Dynamic verification of temporal constraints in production workflows. In: *Proceedings of the 11th Australian Database Conference*. 2000. 74~81.
- [14] Bricon-souf, N., Renard, J.-M., Beuscart, R. Dynamic workflow model for complex activity in intensive care unit. *International Journal of Medical Informatics*, 1999,53:143~150.
- [15] Son, J.H., Kim, M.H. Improving the performance of time-constrained workflow processing. *The International Journal of Systems and Software*, 2001,58:211~219.
- [16] Pani, A.K., Bhattacharjee, G.P. Temporal representation and reasoning in artificial intelligence: a review. *Mathematical and Computer Modeling*, 2001,34:55~80.
- [17] Robert, V., Brigitte, P.-C. Time Petri nets for modeling civil litigation. *Information and Communications Technology Law*, 1998,7(3):269~281.
- [18] Wang, Hai-yang, Lin, Zong-kai, Lin, Shou-xun. A workflow description method and its time-controlling problem based on extended model. *Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics*, 1999,11(3):253~255 (in Chinese).
- [19] Shi, Mei-lin, Yang, guang-xin, Xiang, yong, *et al.* WfMS: workflow management systems. *Chinese Journal of Computers*, 1999, 22(3):321~334 (in Chinese).
- [20] Dou, Wan-chun, Li, Dong-bo, Zhang, Shi-qi. Study of workflow oriented behavior models of interoperability among objects and instances. *Chinese Journal of Computers*, 2001,24(2):197~201 (in Chinese).
- [21] Niu, Jun-yu, Zhao, Da-zhe, Zhao, Hong. Workflow management system based on WWW. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2000,21(1):22~25 (in Chinese).

- [22] Li, Feng, Guo, Yu-chai, Lin, Zong-kai. Research on techniques of collaborative modeling in workflow. *Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics*, 1999,12(11):810~812 (in Chinese).
- [23] Zhuge, H., Cheung, T., Pung, H. A timed workflow process model. *The Journal of Systems and Software*, 2001,55:231~243.
- [24] van der Aalst, W.M.P. The application of Petri nets to workflow management. *The Journal of Circuits, Systems and Computers*, 1998,8(1):21~66.
- [25] Bowden, F.D.J. A brief survey and synthesis of the roles of time in Petri nets. *Mathematical and Computer Modeling*, 2001,31:55~86.
- [26] Serthomieu, B., Diaz, M. Modeling and verification of time dependent systems using time Petri nets. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1991,17(3):259~273.
- [27] Tsai, J.J.P., Yang, S.J. Timing constraint Petri nets and their application to schedulability analysis of real-time system specifications. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1995,21(1):32~49.
- [28] Adam, N.R., Atluri, V., Huang, W.-K. Modeling and analysis of workflow using Petri nets. *Journal of Intelligent Information Systems*, 1998,10(2):131~158.
- [29] Eder, J., Liebhart, W. Workflow recovery. In: *Proceedings of the 1st IFICS International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS'96)*. Brussels: IEEE Computer Society Press, 1996. 124~134.
- [30] Suans, J.C., Gregory, R.M. Temporal representation and reasoning for workflow in engineering design change review. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2000,47(4):485~492.

附中中文参考文献:

- [1] 范玉顺. 工作流管理技术基础——实现企业业务过程重组. 过程管理与业务过程自动化的核心技术. 北京: 清华大学出版社/施普林格出版社, 2001. 110~169.
- [18] 王海洋, 林宗楷, 林守勋. 基于扩展模型的工作流描述方法和最大时间控制问题. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1999, 11(3): 253~255.
- [19] 史美林, 杨光信, 向勇, 等. WfMS: 工作流管理系统. *计算机学报*, 1999, 22(3): 321~334.
- [20] 窦万春, 李东波, 张世琪. 基于对象和实例互操作行为模型的工作流研究. *计算机学报*, 2001, 24(2): 197~201.
- [21] 牛军钰, 赵大哲, 赵宏. 一个基于 WWW 的工作流管理系统. *东北大学学报*, 2000, 21(1): 22~25.
- [22] 李峰, 郭玉钊, 林宗楷. 工作流管理系统中协同建模技术研究. *计算机辅助设计与图形学学报*, 1999, 12(11): 810~812.

Overview on Managing Time in Workflow Systems*

LI Hui-fang, FAN Yu-shun

(National CIMS Engineering Research Center, Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

E-mail: hfli@cims.tsinghua.edu.cn

http://www.tsinghua.edu.cn

Abstract: Time management is a crucial part of workflow management software systems, and is also a serious limitation in applying workflow technologies to complex enterprises. Doing researches for time modeling is important to enhance the flexibility of workflow management software systems, to guarantee workflow plan to be efficiently executed and to make enterprises more competitive. The key of time management lies in whether time information is effectively modeled. This paper first introduces the time issues in workflow systems, then surveys the actual status of time modeling and analysis, which involve how time constraints to be modeled and analyzed, how temporal consistency to be verified and time violations to be handled. Based on the evaluation of existing research methods, we indicate the developing trends of time management in workflow systems. Supporting for time management provides a good guidance for developing high flexible and practical workflow management systems.

Key words: workflow systems; time modeling; time constraints; consistency; verification

* Received March 11, 2002; accepted June 5, 2002

Supported by the National High Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA415340