

文章编号: 1000-5862(2012)01-0102-04

基于 Petri 网的工作流系统不确定性时间信息的计算

谢富平

(浙江丽水学院计算机信息工程学院, 浙江 丽水 323000)

摘要: 基于工作流系统对时间管理功能有严格的需求, 针对任务执行时间的不确定性, 提出了基于库所时间 Petri 网的工作流系统建模方法—PT_net. 该方法可以有效计算工作流系统的时间信息, 从而为工作流系统的时间管理和分析提供技术支撑.

关键词: Petri 网; 工作流; 时间计算

中图分类号: TP 301

文献标志码: A

0 引言

workflows 技术的发展促进了企业业务管理模式的改变, 提升了企业的管理效率. 随着市场竞争的加剧和业务环境的不断变化, 业务流程的实时性成为了 workflow 技术的重要因素, 因此 workflow 系统的时间管理是当今 workflow 技术应用的重要问题. 企业的业务流程大多具有时间限制, 时间违反会造成无法弥补的损失, 所以 workflow 系统的应用需要解决其时间管理问题, 保证 workflow 的执行过程满足时间约束. 研究 workflow 系统的时间管理问题无论是在 workflow 理论研究方面, 还是在 workflow 管理系统的应用实施方面都具有重要意义^[1-2].

近些年来, 国内外很多学者都对 workflow 系统的时间管理理论进行了研究^[3-9]. Lin Feng 等^[10]对 WF_net 进行时间扩展, 提出了 TCWFN 网, 以便对 WF_net 进行时间因素的建模. 文献^[11]采用随机 Petri 网对 workflow 系统进行建模并进行时间性能的分析. 刘婷等^[12]通过对时间工作流网的线性推理, 计算出整个 workflow 进程所消耗的总时间. 文献^[13]基于 Petri 网中的出现网, 结合时间和资源约束求取业务流程中的主任务线. 综上所述, 现有的大多数研究都是对 WF_net 进行扩充, 从而对 workflow 系统的时间因素进行建模, 或是对 workflow 系统的时间性能进行评估, 缺乏一种有效的能够分别在工作流建模阶段和实例化阶段进行系统时间管理的策略. 而且这

种扩充会导致时间分配与消耗上的概念模糊, 因为在将 WF_net 用时间 Petri 网(Time Petri net)扩充之后, 表示任务的变迁仍然是瞬时发生的, 这样就无法准确表述任务执行所需要消耗的时间.

针对以上问题, 本文提出了一种新的 workflow 系统时间建模方法—PT_net(Place Timing net), 在 PT_net 中, 库所用来表示任务, 变迁用来表示任务的控制逻辑. 库所上被赋予一个时间区间, 用来表示一个任务的不确定性执行时间, 同时每个任务库所上还有一个全局时间区间用来表示这一任务的开始时间及完成时间. PT_net 将时间因素赋予库所, 这样不但保持了 Petri 网中变迁的原子属性^[13], 还可以方便地对 workflow 的不确定性时间信息进行建模, 避免了 WF_net 中 workflow 语义和 workflow 逻辑的混淆^[14]. 所提出的计算方法分别在模型建立阶段和实例化阶段对相应的时间信息进行计算, 从而实现 workflow 系统的时间管理.

1 PT_net 的定义与结构

定义 1 PT_net 是一个五元组 $\mathcal{E} = (P, T, F, M, f)$, 其中 (P, T, F, M) 是一个原型 Petri 网^[15], f 为时间函数, 即

$$f \rightarrow (Q^+ \cup 0) \times (Q^+ \cup \infty),$$
$$p \rightarrow [P_{\min}, P_{\max}], 0 \leq P_{\min} \leq P_{\max}, p \in P.$$

对于 $p \in P$, 如果 $f(p) = [P_{\min}, P_{\max}]$, 则一个 Token 在 p 中, 至少经过 P_{\min} 个时间单位, 最多经过

收稿日期: 2011-09-22

基金项目: 浙江省新世纪教育教学改革课题(yb090702)资助项目.

作者简介: 谢富平(1977-), 男, 江西吉安人, 讲师, 硕士, 主要从事软件分析和图形图像方面的研究.

P_{max} 个时间单位, p 才具有触发后集变迁的功能.

PT_net 是一种扩展的含时间因素的 Petri 网, 由一些基本结构组成. 在 PT_net 中, 库所表示任务, 库所被赋予的时间区间值用来表示任务的执行时间; 变迁用来体现工作流各个任务之间的逻辑结构关系. PT_net 模型描述所有工作流案例共享的操作路径框架, PT_net 中的一个 Token 用来表示一个工作流实例. 图 1 为工作流的一个活动 p_1 , 中括号里的数值表示该活动的执行至少消耗 2 个时间单位, 最多消耗 3 个时间单位. t_1 、 t_2 分别表示这任务的开始和结束. 库所 p_1 中有一个 Token, 说明该活动正在被执行.

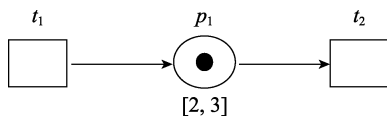


图 1 PT_net 单个任务示意图

遵循工作流管理联盟(WfMC)对工作流模型建立、模型实例化和模型执行方面的要求^[16], 定义了串行、并行、条件选择等常见的模型结构如下.

(i) 若任务 p_1 和 p_2 是先后顺序关系, 则按照图 2 所示的结构建立模型.

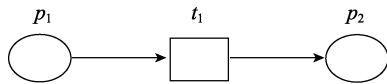


图 2 PT_net 中的串行结构

(ii) 若任务 p_1 后是并行分支结构, 则按照图 3(a) 所示建立模型; 若多个任务并行执行完毕后需汇合成一个任务, 则按照图 3(b) 的结构建立模型.

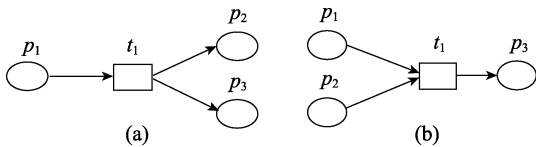


图 3 PT_net 中的并行分支结构与并行汇合结构

(iii) 若任务 p_1 后是条件选择分支结构, 则按照图 4(a)所示建立模型; 多个条件选择任务的汇合结构如图 4(b)所示.

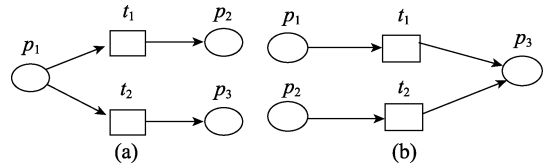


图 4 PT_net 中的条件选择分支结构与条件选择汇合结构

如图5所示, 以典型的保险索赔处理业务为例来说明如何用 PT_net 对一个工作流过程进行建模, 该业务过程包含了串行、并行、选择等结构. 首先, 机构部门刚刚接收到的保险索赔投诉被记录, 这一任务对应库所 p_1 , 所需时间值为[2, 5]. 之后业务部门分别联系投诉的顾客与投诉相关的部门, 对应库所 p_2 和 p_3 , p_2 和 p_3 可以并行执行, 活动 p_2 的执行过程需要的时间值为[15, 20], 活动 p_3 的执行过程需要的时间值为[10, 18]. 然后, 专家根据前续活动所收到的资料进行分析和决策, 该活动对应库所 p_4 , 活动 p_4 的执行过程需要的时间值为[15, 25]. 之后是支付赔偿或者发拒赔信, 对应库所 p_5 和 p_6 , 所需时间值分别为[5, 10]和[9, 18]. 最后, 投诉被归档, 对应库所 p_7 , 所需时间值为[1, 3]. 变迁 t_1, t_2, \dots, t_8 用来对工作流过程进行逻辑控制. 虚任务 i 和 o 是业务流程的开始和结束, 活动 i 和 o 的执行过程需要的时间值都是[0, 0].

2 不确定性时间信息计算方法

工作流系统的时间管理是为了保证工作流系统执行过程中的时间约束性. 因此, 需要在建模阶段进行过程模型的时间计算, 获取业务流程的具体时间信息; 在实例化阶段计算动态时间截止日期, 以避免时间错误和费用增加. 现在的大多数工作流业务执行时间都是不确定的, 在 PT_net 中所以用一个

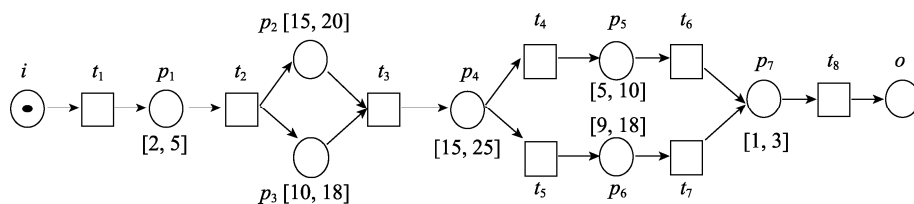


图 5 保险索赔处理业务的 PT_net 模型

时间区间来表示一个任务的不确定性执行时间. PT_{net} 模型中任务活动的执行延时使用抽象的时间值, 由模型设计者分配, 截止期限则是一种相对时间. 在模型建立阶段, 需要根据任务的执行延时计算 PT_{net} 模型的时间信息, 首先定义以下时间概念.

定义 2 在 PT_{net} 中, $\forall p \in P$, 其全局时间区间为 $[(\tau_p)_{\min}, (\tau_p)_{\max}]$, $(\tau_p)_{\min}$ 为任务 p 最早可以完成的时间点, $(\tau_p)_{\max}$ 为任务 p 最晚可以完成的时间点.

基于 PT_{net} 的结构特性, 每一个任务库所的全局时间区间计算方法如下.

如果任务 p 的后续任务是 j , 且 $|(p^{\bullet})^{\bullet}|=1$, $\bullet^{\bullet}(j)=\{p\}$, 则

$$(\tau_j)_{\min} = (\tau_p)_{\min} + j_{\min}, \quad (1)$$

$$(\tau_j)_{\max} = (\tau_p)_{\max} + j_{\max}. \quad (2)$$

如果任务 j 是几个并行执行的任务的汇合任务, 即 $|\bullet^{\bullet}(j)|=1, |\bullet^{\bullet}(j)|>1$, 则

$$(\tau_j)_{\min} = \max\{(\tau_p)_{\min} + j_{\min} \mid p \in \bullet^{\bullet}(j)\}, \quad (3)$$

$$(\tau_j)_{\max} = \max\{(\tau_p)_{\max} + j_{\max} \mid p \in \bullet^{\bullet}(j)\}. \quad (4)$$

如果任务 j 是条件选择结构中的几个任务的汇合任务, 即 $|\bullet^{\bullet}(j)|>1, |\bullet^{\bullet}(j)|>1$, 则

$$(\tau_j)_{\min} = \min\{(\tau_p)_{\min} + j_{\min} \mid p \in \bullet^{\bullet}(j)\}, \quad (5)$$

$$(\tau_j)_{\max} = \max\{(\tau_p)_{\max} + j_{\max} \mid p \in \bullet^{\bullet}(j)\}. \quad (6)$$

利用(1)~(6)式可以计算出每一个任务 $p \in P$ 的完成时间区间, 而其开始时间区间则等于 $[(\tau_p)_{\min} - P_{\max}, (\tau_p)_{\max} - P_{\min}]$.

在工作流中, 活动结束的最迟期限称为截止期限, 截止期限的分配主要是在业务实例化阶段为工作流实例分配一个截止期限, 然后通过相应的计算规则计算出每一个活动的截止期限, 从而指导业务的正确执行, 避免发生时间违反.

定义 3 在 PT_{net} 中, 对某一个工作流实例赋予一个截止期限 μ , 则 $\forall p \in P$, 其截止期限为 θ_p , 其中 $\theta_o = \mu$. θ_p 为任务 p 在满足 μ 约束的情况下最晚必须完成的时间点.

θ_p 的计算同样基于 PT_{net} 的基本结构, 其计算方法为:

(i) 若任务 p 的后续任务是 j , 且 $|(p^{\bullet})^{\bullet}|=1$, $(p^{\bullet})^{\bullet}=\{j\}$, 则

$$\theta_p = \theta_j - j_{\max}. \quad (7)$$

(ii) 若任务 p 之后是几个并行执行的任务或是几个条件选择的任务, 即 $|(p^{\bullet})^{\bullet}|>1, |p^{\bullet}|=1$, 则

$$\theta_p = \min\{\theta_j - j_{\max} \mid j \in (p^{\bullet})^{\bullet}\}. \quad (8)$$

3 投诉处理业务的时间计算与分析

库所 o 是 workflow 模型的终结库所, 所以 $(\tau_o)_{\min}$ 表示整个 workflow 模型的最早完成时间; $(\tau_o)_{\max}$ 表示整个 workflow 模型的最晚完成时间. 这就是说则这个 workflow 模型最快可以用 $(\tau_o)_{\min}$ 个时间单位完成, 最慢可以用 $(\tau_o)_{\max}$ 个时间单位完成, 最快最慢取决于 workflow 实例的路径选择和每个任务实际消耗的时间. 针对图 5 所示的例子, 利用(1)~(6)式计算保险处理业务的不确定性时间信息可得表 1 结果.

表 1 保险索赔处理业务中各个任务的全局时间信息

	i	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	o
$(\tau_p)_{\min}$	0	2	17	12	32	37	41	38	38
$(\tau_p)_{\max}$	0	5	25	23	50	60	68	71	71

从表 1 可以看出, 整个业务流程的完成最少需要 38 个时间单位, 最多需要 71 个时间单位, 即 $(\tau_o)_{\min} = 38, (\tau_o)_{\max} = 71$. 可以判断, 若一个 workflow 实例从相对时间点 0 开始执行, 那么其截止期限的时间值最好大于或等于 71, 否则在实例执行过程中就可能存在时间违反, 无法按照截止期限的约束完成整个 workflow 实例. 各个任务的最早完成时间和最晚完成时间也可以分别得到, 从而对业务流程的整个执行过程的时间信息有个清楚的掌握. 这样在实例执行之前, 就可以对每一个任务的开始时间和结束时间有一个准确的预测. 例如若一个 workflow 实例将在时间点 10 开始, 则对于任务 p_5 , 其完成时间将是 $[10 + (\tau_{p_5})_{\min}, 10 + (\tau_{p_5})_{\max}] = [47, 70]$, 而其开始时间区间则是 $[47 - P_{5_{\max}}, 70 - P_{5_{\min}}] = [37, 60]$.

在某一个业务实例化阶段, 需要为该业务实例分配一个截止期限, 然后回溯计算每一个任务的截止期限, 从而为业务流程的每一个任务的执行指定一个时间约束. 任何一个任务的执行都不能违反这个约束, 否则就有可能导致业务成本的增加, 甚至是业务执行的失败. 对于保险索赔处理业务的例子, 假设某一实例从时间 0 开始执行, 该实例截止期限为 80, 则利用公式(7)和(8)可以计算出每一个任务的截止期限, 如表 2 所示.

表2 保险索赔处理业务实例化阶段各个任务的截止期限

i	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	o
θ_p	9	14	34	34	59	77	77	80

4 总结

本文针对工作流系统对时间管理的需求, 对原 Petri 网进行扩展, 提出了一种新的工作流系统不确定性时间建模方法 PT_net; 并基于 PT_net 的结构特性, 提出了 PT_net 模型的时间信息计算公式, 并分别在模型的建立阶段和实例化阶段对工作流系统进行时间信息的计算与分析. 再通过一个例子阐述了该方法的计算过程. 下一步的研究方向将是结合资源约束, 基于 PT_net 研究工作流系统在资源约束下的时间管理方法.

5 参考文献

- [1] 李慧芳, 范玉顺. 工作流系统时间管理 [J]. 软件学报, 2002, 13(8): 1152-1155.
- [2] Sadiq W, Marjanovic O, Orłowska E. Managing change and time in dynamic workflow Processes [J]. International Journal of Cooperative Information Systems, 2000, 9(1/2): 93-116.
- [3] Seungchul Ha, Hyo-Won Suh. A timed colored Petri nets modeling for dynamic workflow in product development process [J]. Computers in Industry, 2008, 59(2/3): 193-209.
- [4] Liu Sheng, Fan Yushun, Lin Huiping. Dwelling time probability density distribution of instances in a workflow model [J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 57(3): 874-879.
- [5] Chen Jinjun, Yang Yun. Localising temporal constraints in scientific workflows [J]. Journal of Computer and System Sciences, 2010, 76(6): 464-474.
- [6] Li Weiping, Fan Yushun. A time management method in workflow Management System [EB/OL].[2011-06-12].<http://doi.ieee-computer-society.org/10.1109/GPC.2009.18>.
- [7] 石祥滨, 高扬, 鲜宏. 一种工作流时间约束的动态验证方法 [J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(12): 2268-2271.
- [8] 李德芳, 刘鲁, 张朝俊, 等. 基于 ECA 规则的工作流时间约束分析 [J]. 中国管理科学, 2008, 16(5): 110-117.
- [9] 苑迎春, 李小平, 王茜, 等. 成本约束的网格工作流时间优化方法 [J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(2): 194-201.
- [10] Feng Lin, Jiang Hao. Analysis of workflow schedulability based on time constraint petri nets [J]. 计算机技术与发展, 2006(11): 1-5.
- [11] Lin Chuang, Qu Yang, Ren Fengyuan. Performance equivalent analysis of workflow systems based on stochastic Petri net models [M]. New York: Springer Verlag, 2002: 64-79.
- [12] 刘婷, 林闯, 刘卫东. 基于时间 Petri 网的工作流系统模型的线性推理 [J]. 电子学报, 2002, 30 (2): 153-156.
- [13] Wang Huaqing, Zeng Qingtian. Modeling and analysis for workflow constrained by resources and nondetermined time: an approach based on petri Nets [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, 2008, 38(4): 1-32.
- [14] 袁崇义. Petri 网原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [15] 吴哲辉. Petri 网导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [16] WFMC. Interface I: process definition interchange and process model [EB/OL].[2011-07-12]. <http://wenku.baidu.com/view/d9b3cd48c850ad02de804110.html>.

The Calculating for Non-Deterministic Time Information of Workflow Based on Petri Net

XIE Fu-ping

(Computer Information Engineering College, Lishui University, Lishui Zhejiang 323000, China)

Abstract: Based on the actual need of time management in workflow system, as the execution time of tasks are often non-deterministic, the modeling method of workflow which is called PT_net has been proposed based on Petri net that has time factors on places. For some workflow systems requiring high performance of time management, the method can calculate the time information effectively, so as it can provide technical support for time management and analysis of workflow system.

Key words: Petri net; workflow; time calculating

(责任编辑: 冉小晓)