

一种基于时间权重的 Petri Net 工作流过程建模

王亚文, 刘智平

(西安工业大学 计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710032)

摘 要: 为了研究 Petri Net 工作流模型的时间性能, 首先给出了一种基于时间权重的工作流过程模型, 此模型在变迁中引入时间, 然后对此模型进行了时间性能分析, 最后得出结论此模型在工作流的时间性能分析上是可行的。

关键词: 工作流; Petri Net; 时间性能; 过程模型; 路由

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)03-0153-04

Petri Net Workflow Process Modeling Based on Time Cost

WANG Ya-wen, LIU Zhi-ping

(College of Computer Science & Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: In order to research the time capability of the Petri Net workflow model, a workflow process model based on time cost is proposed firstly, the model add the latency time and executive time in the Transition of the workflow. After that the time capability of the model is analyzed. Finally the conclusion is educed that the model is feasible in analyzing the time capability of workflow.

Key words: workflow; Petri Net; time capability; process model; route

1 引言

工作流技术是利用计算机技术使业务流程全部或者部分自动化, 在此过程中, 将文档、信息或任务按照预定的规则传递, 企业人员、已有软件互相之间协调工作, 以实现企业业务的整体目标^[1-2]. 它是实现业务过程的建模、仿真分析、优化、管理与集成, 从而最终实现业务过程自动化的核心技术. 工作流建模技术也一直是一个研究的热点. 经典的建模技术有基于 Petri Net 的建模技术、基于 EPC 的建模技术、事务工作流建模、基于协调理论的建模技术等, 其中基于 Petri Net 的建模技术具有直观的图形表示、形式化的语义、状态和事件的显示表示以及丰富的数学分析技术等特点, 尤其适合工作流程管理领域的建模需求.

目前对基于 Petri Net 的建模技术研究主要集中在以下两个方面: (1) 工作流建模的合理性和正确性的验证^[3]. (2) 工作流建模的化简方法研究^[4]. 而

对工作流的时间性能研究不多. 工作流在执行过程存在一定的延时, 也就是工作流从开始到结束需要一定的时间, 工作流中的时间因素决定着工作流的执行效率, 因此这方面的研究有一定意义.

2 基于 Petri Net 的工作流建模

2.1 经典的 Petri Net

假设 P 为库所 (Place) 节点集合, T 为变迁 (Transition) 节点集合, F 为流关系 (Flow Relation), $\text{dom}(F)$ 为 F 的定义域, 即 $\text{dom}(F) = \{x \mid y: (x, y) \in F\}$, $\text{cod}(F)$ 为 F 的值域, 即 $\text{cod}(F) = \{y \mid x: (x, y) \in F\}$.

定义 1 经典的 Petri Net^[5] 是一个满足如下充分必要条件的三元组 $N = (P, T, F)$:

- (1) $P \cup T \neq \emptyset$ (网非空);
- (2) $P \cap T = \emptyset$ (二元性);
- (3) $F \in (P \times T) \cup (T \times P)$ (流关系仅在 P 和 T 的元素之间);

收稿日期: 2010-03-13; **修回日期:** 2010-05-05

基金项目: 陕西省教育厅自然专项科研项目(09JK490); 西安工业大学校长科研基金项目(XAGDXJJ0819)

(4) $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$ (没有孤立元素).

库所和变迁又称为 P 元素和 T 元素, F 是由一个 P 元素和一个 T 元素组成的有序偶的集合, 称为 N 的流关系.

定义 2 一个 Petri Net 是强连通的当且仅当对任意两个节点 x 和 y , 存在一条从 x 到 y 的路径.

2.2 工作流网(WF-net)

在 Petri Net 的基础上, 文献[6-7]提出了 WF-net. 他使用 $\bullet t$ 表示变迁 t 的所有输入库所的集合, 符号 $t \bullet$ 表示 t 的所有输出库所的集合, $\bullet p$ 与 $p \bullet$ 分别表示库所 p 的输入与输出变迁的集合.

定义 3 Petri Net $PN = (P, T, F)$ 是 WF-net, 当且仅当:

- (1) 存在一个起始库所 $s \in P$, 使得 $\bullet s = \Phi$;
- (2) 存在一个终止库所 $e \in P$, 使得 $e \bullet = \Phi$;
- (3) 如果在 PN 中加入一个新的变迁 t^* , 使 t^* 连接库所 s 和 e , 即: $\bullet t^* = \{s\}$, $t^* \bullet = \{e\}$, 这时所得到的 PN 是强连通的.

2.3 Petri Net 中的基本路由

在 Petri Net 图上, 一般用圆圈“ $\circ$ ”表示库所, 用矩形“ $\square$ ”表示变迁, 从库所到变迁或从变迁到库所的有向弧表示流关系.

2.3.1 顺序路由

指一个工作流程中的各活动是按照固定的顺序串行执行的, 每一个活动的执行都依赖于前一个活动的执行情况, 如图 1(a).

2.3.2 并行路由

指工作流过程中各活动的执行没有严格的顺序, 可同时进行, 如图 1(b).

2.3.3 选择路由

指一个工作流程的执行可以在几个活动中选择, 而不一定将每一个活动都执行, 如图 1(c).

2.3.4 循环路由

指在一个工作流程的执行过程中, 某一活动需要重复执行多次, 才能满足条件继续执行下一个活动, 如图 1(d).

2.4 建模实例

以建筑企业申请资质认定业务流程为例, 其对应的 Petri Net 工作流模型如图 2 所示. 图 2 中各个变迁的描述如下:

t_1 : 申请资质认定的建筑企业在网上提交申请材料; t_2 : 建筑企业资质认定主管部门进行网上初审, 网上初审不合格执行 t_3 , 合格执行 t_4 ; t_3 : 建筑企

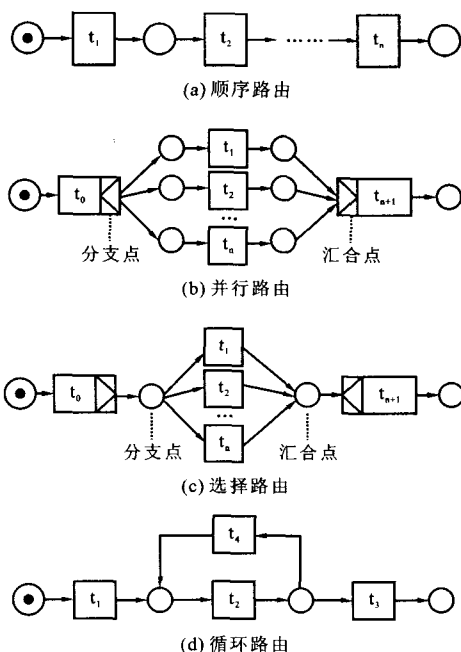


图 1 Petri Net 中的基本路由

业资质认定主管部门不予受理并出具不予受理通知书; t_4 : 建筑企业资质认定主管部门出具受理通知书并通知提交书面材料和认定费用; t_5 : 申请资质认定的建筑企业提交书面材料和认定费用, 材料不完整执行 t_6 , 材料完整执行 t_7 ; t_6 : 申请资质认定的建筑企业补正相关材料; t_7 : 专家初审, 初审不合格执行 t_8 , 合格执行 t_9 ; t_8 : 建筑企业资质认定主管部门对资质认定不予许可, 并退还材料、说明原因; t_9 : 对申请资质认定的建筑企业进行实地考察, 不合格执行 t_{10} , 合格执行 t_{11} ; t_{10} : 建筑企业资质认定主管部门对资质认定不予许可, 并退还材料、说明原因; t_{11} : 建筑企业资质认定主管部门领导签批, 之后同时进行 t_{12}, t_{13} ; t_{12} : 建筑企业资质认定主管部门对申请材料、专家意见等进行存档; t_{13} : 为申请资质认定的建筑企业发证.

3 基于时间权重的工作流过程建模

为了研究 Petri Net 工作流模型的时间性能, 引入一种基于时间权重的 Petri Net 工作流过程模型 (Petri Net Workflow Process Model base on Time Cost, PNWPMTC). PNWPMTC 模型以定义 1~3 为基础. 假设 $\bullet t_i$ 表示变迁 t_i 的所有输入库所的集合, $\bullet f_i$ 表示 $\bullet t_i$ 中库所与 t_i 之间所有流关系的集合, $t_i \bullet$ 表示变迁 t_i 的所有输出库所的集合, $f_i \bullet$ 表示 t_i 与 $t_i \bullet$ 中库所之间所有流关系的集合, k_i 表示从等待 t_i 到 t_i 执行完毕所需要的时间.

定义4 PNWPMTTC是一个满足如下充分必要条件的六元组 $M = (\cdot t_i, \cdot f_i, t_i, f_i \cdot, t_i \cdot, k_i)$:

- (1) $t_i \in T$;
- (2) $\cdot t_i \subseteq P, t_i \cdot \subseteq P$;
- (3) $\cdot f_i \subseteq F, f_i \cdot \subseteq F$;
- (4) $1 \leq i \leq m (m \geq 1)$ 为 Petri Net 中变迁的数目;
- (5) $k_i > 0$.

工作流性能分析是对工作流进行评价和优化的基础,执行时间则是反映工作流性能的一个重要方面. PNWPMTTC 模型可以在保持原有的库所、变迁和流关系不变的情况下,将时间引入工作流模型,从而为 Petri Net 工作流模型的时间性能分析提供了可能.

为了研究 Petri Net 工作流模型时间性能方便起见,可将定义4中的六元组 M 简化得到二元组 $M' = (i, k_i)$. 可以得到图2所示 Petri Net 工作流模型. 对 PNWPMTTC 模型进行化简(图3),得到如图4所示的时间性能图.

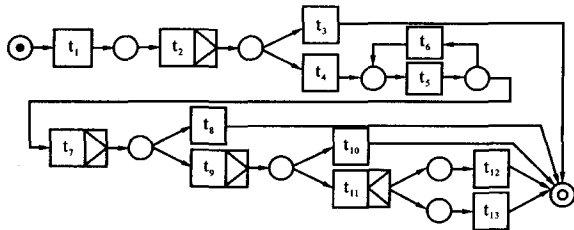


图2 建筑企业申请资质认定的 Petri Net 工作流模型

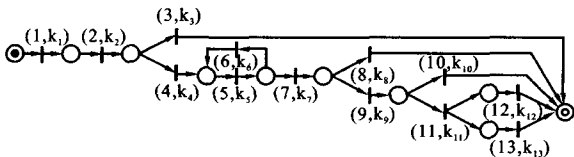


图3 建筑企业申请资质认定的 PNWPMTTC 模型

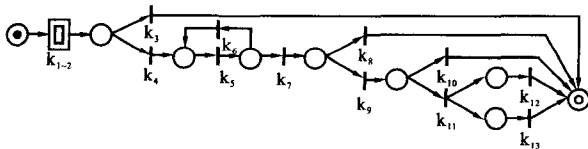


图4 建筑企业申请资质认定的时间性能图

4 时间性能分析

4.1 四种基本路由相关的时间性能^[8-9]

4.1.1 顺序路由

其结构如图1(a)所示.

定理1 由 n 个变迁 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 组成的串联结构中, 设 n 个串联变迁的延时时间为相互独立的随

机变量且服从指数分布, n 个变迁的平均延时时间分别为 $E(X_1), E(X_2), \dots, E(X_n)$, 这 n 个串联变迁总的平均等价延时时间为 $E(Y)$, 则

$$E(Y) = \sum_{i=1}^n E(X_i) \quad (1)$$

4.1.2 并行路由

其结构如图1(b)所示.

定理2 由 n 个变迁 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 组成的并联结构中, 设 n 个并联变迁的延时时间为相互独立的随机变量且服从指数分布, n 个变迁的平均延时时间分别为 $E(X_1), E(X_2), \dots, E(X_n)$, 这 n 个并联变迁总的平均等价延时时间为 $E(Y)$, 则

$$E(Y) = \sum_{i=1}^n E(X_i) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left(\frac{1}{E(X_i)} + \frac{1}{E(X_j)} \right)^{-1} + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \left(\frac{1}{E(X_i)} + \frac{1}{E(X_j)} + \frac{1}{E(X_k)} \right)^{-1} + \dots + (-1)^{n-1} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{E(X_i)} \right)^{-1} \quad (2)$$

4.1.3 选择路由

其结构如图1(c)所示.

定理3 设 n 个选择变迁 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 的延时时间为 n 个相互独立的随机变量且分别服从指数分布, 并设执行变迁 t_i 的概率为 a_i , $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 这 n 个选择变迁总的平均等价延时时间为 $E(Y)$, 则

$$E(Y) = \sum_{i=1}^n a_i E(X_i) \quad (3)$$

4.1.4 循环路由

其结构如图1(d)所示.

这里采用 $M/M/1$ 排队模型进行分析, 设执行完 T_2 后执行 T_3 的概率为 ρ , 循环执行 T_4 的概率为 $1 - \rho$, ϕ 表示单位时间内到达系统的平均实例数, φ_1 表示单位时间内可以处理完的 T_2 的平均实例数, φ_2 表示单位时间内可以处理完的 T_3 的平均实例数, $\beta_1 = \frac{\phi}{\rho\varphi_1}$ 和 $\beta_2 = \frac{(1-\rho)\phi}{\rho\varphi_2}$ 表示系统的服务强度, 反映了处理资源的忙碌或利用的程度, 则循环路由的平均等价延时时间为:

$$E(Y) = \frac{1}{\rho\varphi_1(1-\beta_1)} + \frac{1-\rho}{\rho\varphi_2(1-\beta_2)} = \frac{1}{\rho\varphi_1 - \phi} + \frac{1-\rho}{\rho\varphi_2 + \rho\phi - \phi} \quad (4)$$

4.2 时间计算

对总的平均等价延时时间的分析是从最里层的结构开始着手, 然后自里向外而逐步推算, 最终得出

整个模型的性能. 假设图 2(对照图 3、图 4) 中从等待 t_1 到 t_1 执行完毕需要的时间 k_1 为 1 天, k_2 为 3 天, t_2 之后执行 t_3 的概率是 50%, 执行 t_4 的概率是 50%, k_3 为 2 天, k_4 为 2 天, 单位时间(也就是一天)内到达系统的平均实例数为 10, 单位时间内可以处理完的 t_5 的平均实例数为 15, 单位时间内可以处理完的 t_6 的平均实例数为 3, t_5 之后执行 t_6 的概率是 20%, 执行 t_7 的概率是 80%, k_7 为 4 天, t_7 之后执行 t_8 的概率是 30%, 执行 t_9 的概率是 70%, k_8 为 2 天, k_9 为 3 天, t_9 之后执行 t_{10} 的概率是 40%, 执行 t_{11} 的概率是 60%, k_{10} 为 2 天, k_{11} 为 1 天, k_{12} 为 5 天, k_{13} 为 3 天.

第一步: 时间变迁 k_{12} 、 k_{13} 构成了并行路由, 由式(2)可得其平均等价延时时间为 $K = k_{12} + k_{13} - (k_{12}^{-1} + k_{13}^{-1})^{-1} = 5 + 3 - \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{3}\right)^{-1} = 6.125$.

第二步: 第一步得出的平均等价延时时间 K 与 k_{11} 构成了顺序路由, 由式(1)可得其平均等价延时时间为 $K = 6.125 + 1 = 7.125$.

第三步: 第二步得出的平均等价延时时间 K 与 k_{10} 构成了选择路由, 由式(3)可得其平均等价延时时间为 $K = 0.6 \times 7.125 + 0.4 \times 2 = 5.075$.

第四步: 第三步得出的平均等价延时时间 K 与 k_9 构成了顺序路由, 由式(1)可得其平均等价延时时间为 $K = 5.075 + 3 = 8.075$.

第五步: 第四步得出的平均等价延时时间 K 与 k_8 构成了选择路由, 由式(3)可得其平均等价延时时间为 $K = 0.7 \times 8.075 + 0.3 \times 2 = 6.2525$.

第六步: 第五步得出的平均等价延时时间 K 与 k_7 构成了顺序路由, 由式(1)可得其平均等价延时时间为 $K = 6.2525 + 4 = 10.2525$.

第七步: 时间变迁 k_5 、 k_6 构成了循环路由, 由式(4)可得其平均等价延时时间为 $K' = \frac{1}{0.8 \times 15 - 10} + \frac{1 - 0.8}{0.8 \times 3 - 0.8 \times 10 - 10} = 1$.

第八步: 第六步得到的平均等价延时时间 K 与第七步的平均等价延时时间 K' 构成了顺序结构, 由式(1)可得其平均等价延时时间为 $K = 10.2525 + 1 = 11.2525$.

第九步: 第八步得出的平均等价延时时间 K 与 k_4 构成了顺序路由, 由式(1)可得其平均等价延时时间为 $K = 11.2525 + 2 = 13.2525$.

第十步: 第九步得出的平均等价延时时间 K 与

k_3 构成了选择路由, 由式(3)可得其平均等价延时时间为 $K = 0.5 \times 13.2525 + 0.5 \times 2 = 7.62625$.

第十一步: 第十步得出的平均等价延时时间 K 与 k_2 和 k_1 构成了顺序路由, 由式(1)可得其平均等价延时时间为 $K = 7.62625 + 3 + 1 = 11.62625$.

所以图 2 所示的整个 Petri Net workflow 模型平均执行时间大概需要 11 天半时间.

5 结束语

文中提出了 PNWPMTC 模型, 借助其所含有的时间信息能够对 Petri Net workflow 模型的时间性能进行很好的分析. PNWPMTC 模型的相关的研究如其在复杂资源需求下的定量分析等还需要做大量的工作.

参考文献:

- [1] Workflow Management Coalition. Workflow Reference Model, 1 TC00-1003[S]. Brussels, Belgium: Workflow Management Coalition, 1995.
- [2] 王燕, 陈明, 王智广. 基于工作流的构件和 Web Services 混合组装[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(2): 107-110.
- [3] 郑继川, 胡正国, 杨冬菊, 等. 基于 Petri 网的工作流建模与分析[J]. 计算机工程, 2003, 29(5): 26-27.
- [4] 李建强, 范玉顺. 基于 Petri 网化简方法的工作流模型验证[J]. 信息与控制, 2001, 30(6): 492-497.
- [5] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 32-178.
- [6] Van der Aalst, W M P. Workflow management—models, methods and systems[M]. USA: MIT Press, 2002.
- [7] Van der Aalst, W M P. The application of petri nets to workflow management[J]. Circuits, Systems and Computers, 1998, 8(1): 21-66.
- [8] 陈慧灵, 王宪增, 邹宽城. 基于 Petri 网的工作流过程建模[J]. 计算机工程与科学, 2008, 30(5): 92-94.
- [9] 肖军, 邓海鸿, 高允锋, 等. 基于 Petri 网的工作流建模及时间性能分析[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2009, 27(1): 104-112.

作者简介:

王亚文 男, (1981-), 硕士, 助教. 研究方向为 workflow、计算机网络.

刘智平 男, (1968-), 博士, 高工, 硕士生导师. 研究方向为控制工程.