

## 基于 Petri 网的办公自动化 workflow 建模

鲁晓锋<sup>1</sup>, 王新房<sup>2</sup>, 李 燕<sup>1</sup>, 李爱民<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048)

(luxiaofeng@xaut.edu.cn)

**摘 要:**基于 Petri 网的建模方法具有坚实的数学基础和直观的图形表示, 是对 workflow 建模和分析的理想工具。通过对办公自动化系统中的发文管理实例的描述, 提出了一个基于 Petri 网办公自动化 workflow 模型, 并对该模型进行了正确性验证, 提高了办公自动化系统的实用和高效性。

**关键词:**Petri 网; workflow; 办公自动化; 建模

**中图分类号:**TP311.52 **文献标识码:**A

## Modeling of petri-net-based office automation workflow

LU Xiao-feng<sup>1</sup>, WANG Xin-fang<sup>2</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, LI Ai-min<sup>1</sup>

(1. School of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi 710048, China;

2. School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** Petri-net is a wise choice to model and analyze workflow for its solid mathematical foundations and explicit structures based on graphic. This paper describes document management in the office automation system, presents a modeling of petri-net-based office automation workflow, tests its correctness, and finally improves the effectiveness and efficiency of office automation system.

**Key words:** petri net; workflow; office automation; modeling

## 0 引言

按照国际 workflow 管理联盟 WfMC (Workflow Management Coalition) 的定义, workflow 是一类能够完全或者部分自动执行的经营过程, 根据一系列过程规则, 文档、信息或任务能够在不同的执行者之间传递、执行<sup>[1]</sup>。workflow 管理就是对这个动态业务过程的优化, 它的具体内容有企业管理过程的建模、管理模型的仿真、动态调整与重组、workflow 的分布与执行、workflow 的跟踪与控制等<sup>[2]</sup>。workflow 建模是将实际 workflow 业务流程抽象表示的过程, 传统 workflow 建模的方法许多种, 如有向图、角色行为图 RAD、面向对象、实体关联建模、事务建模和传统 Petri 网等方法。这些方法对企业业务过程的描述能力和模型本身的灵活性方面各有差异。相比较而言, 基于 Petri 网的过程建模和分析方法不但采用形式化的图形描述, 直观易懂, 而且具有精确的定义和坚实的数学基础, 与其他非形式化的框图技术相比, 避免了模糊性、不确定性和矛盾性, 而且在处理并发和实现多种路由方面有很好的特性。如果对于一些更复杂的系统, 可以在传统 Petri 网的基础上进行诸如颜色、时间和层次的扩展, 并且可以增加人员、消息和时间等触发机制, 来完成复杂系统的建模。采用形式化的体系可以用来对整个过程的反思, 促成了正确性验证和分析技术的使用。

本文提出的基于 Petri 网办公自动化 workflow 建模方法, 是以陕西省某灌区管理局的办公自动化系统为实例, 以传统 Petri 网理论为基础的完全形式化的图形描述方法。结合灌区管理这一行业的特点, 通过引入变迁输入端和输出端符号

来更准确、形象地描述了 workflow 模型路由类别。文中首先引入了基于 Petri 网的工作流建模技术, 通过对具体的 workflow 的描述, 进行了完全形式化的建模。最后, 对所建模型进行了正确性验证。

## 1 基于 Petri 网的工作流建模技术

Petri 网在 1962 年被 Carl Adam Petri 作为一种过程建模和分析的工具提出。

**定义 1** Petri 网  $PN$  是一个三元组  $PN = (P, T, F)$ ; 其中  $P$  是有限个库所的集合,  $T$  是有限个变迁的集合 ( $P \cap T = \emptyset$ ),  $F$  是由一个  $P$  元素和一个  $T$  元素组成的有序偶的集合, 称为  $PN$  的流关系, 库所和变迁分别称为  $P$  元素和  $T$  元素,  $X = P \cup T$  称为  $PN$  的元素集。其充分必要条件是: 1)  $P \cap T = \emptyset$ ; 2)  $P \cup T = X$ ; 3)  $F \subseteq P \times T \cup T \times P$  ( $\times$  为笛卡尔积); 4)  $dom(F) \cup cod(F) = P \cup T$ ; 其中,  $dom(F) = \{x | \exists y: (x, y) \in F\}$ ,  $cod(F) = \{y | \exists x: (x, y) \in F\}$  分别为  $F$  的定义域和值域。

对 workflow 的控制流维度建模的 Petri 网称为 workflow 网 (WF-net)。

**定义 2** Petri 网  $PN = (P, T, F)$  是 WF-net (workflow 网)。当且仅当:

- 1) 存在一个源库所  $i \in P$ , 使得  $\cdot i = \emptyset$ ;
- 2) 存在一个汇结库所  $o \in P$ , 使得  $o \cdot = \emptyset$ ; 而且
- 3) 每一个节点  $x \in P \cup T$  都位于从  $i$  到  $o$  的一条路径上。

WF-net 有如下的性质: Petri 网  $PN = (P, T, F)$  是一个工

作流网<sup>[3]</sup>,则:1) 如果  $PN$  是一个拥有源库所  $i$  的 WF-net,那么对于任何库所  $p \in P: \cdot p \neq \emptyset$  或  $p = i$ ,即  $i$  是唯一的源库所;2) 如果  $PN$  是一个拥有汇结库所  $o$  的 WF-net,那么对于任何库所  $p \in P: p \cdot \neq \emptyset$  或  $p = o$ ,即  $o$  是唯一的汇结库所;3) 如果添加一个变迁  $t^*$  到  $PN$ ,用来连接汇结库所  $o$  和源库所  $i$ (即  $\cdot t^* = \{o\}$  且  $t^* \cdot = \{i\}$ ),那么所得到的 Petri 网是强连接的。

## 2 基于 Petri 网的工作流模型的设计

### 2.1 办公自动化中工作流程的描述

所描述的是陕西省某灌区管理局的办公自动化系统实例。在办公自动化系统中常包括公文流转、资料管理、个人事务、行政事务等模块,其中公文流转是办公自动化系统中的核心部分,论文以发文管理为例进行描述。

如图 1 所示,给出了发文管理的一个完整的实例。从科室 A 秘书起草公文,提交科室 A 领导批阅后,经过一系列领导的会签、批阅和审核,最后回到科室 A 领导处签发公文。其中经相关科室领导会签时是选择路由,由局办公室领导呈交局分管领导批示时是并行路由。

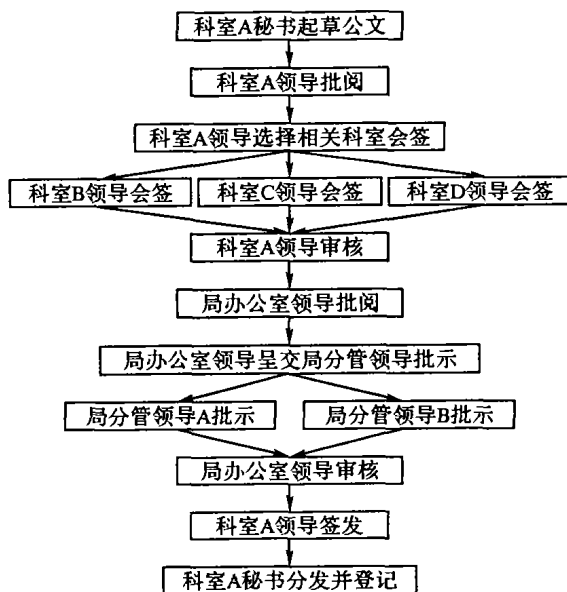


图1 发文管理工作流程

### 2.2 模型设计

当用 WF-net 来描述工作流模型时,库所用圆圈表示,它表示条件,有两方面的作用:1) 确保任务按正确的次序执行;2) 用来表示案例的状态。而变迁节点用矩形表示,它表示工作流任务。库所到变迁或变迁到库所间的弧表示任务和 workflows 的逻辑关联形式。库所包含的标记(Token)用一个黑点表示,它表示工作流执行的状态。变迁只有满足可实施的条件才能实施,也就是说,只有每个输入库所都至少有一个标记,变迁才能够实施。

工作流网的路由结构按企业业务流程可以归纳为四类,主要有顺序路由、并行路由、选择路由和循环路由,在这里不加赘述。在实现时,通过引入下面的符号来描述路由类别,变迁的输出端用符号  $\square$  来表示 AND-split,变迁的输入端用符号  $\square$  来表示 AND-join,变迁的输出端用符号  $\square$  来表示 OR-split,变迁的输入端用符号  $\square$  来表示 OR-join<sup>[5]</sup>。

首先,根据图 1 发文管理工作流程,可以总结出如下的工作流任务: T1: 科室 A 秘书起草公文; T2: 科室 A 领导批阅;

T3: 科室 A 领导选择相关科室会签; T4: 科室 B 领导会签; T5: 科室 C 领导会签; T6: 科室 D 领导会签; T7: 科室 A 领导审核; T8: 局办公室领导批阅; T9: 局办公室领导呈交局分管领导批示; T10: 局分管领导 A 批示; T11: 局分管领导 B 批示; T12: 局办公室领导审核; T13: 科室 A 领导签发; T14: 科室 A 秘书分发并登记; 工作流中相对应的库所用带编号的 P 来表示。如图 2 发文管理工作流模型所示。该工作流模型是个理想状态,也就是在业务流程中所有阶段都能顺利通过,用 WF-net 技术来实现可形成一个可靠和无环的 WF-net。

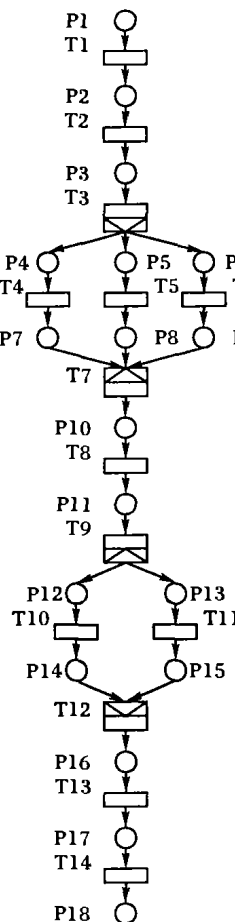


图2 发文管理工作流模型

从发文管理实际的业务流程来看,虽然上面的工作流任务是必须的,但还包括其他的任务和路由。一份公文由科室 A 秘书起草,然后提交给科室 A 领导来批阅,如果批阅不通过,则需返回科室 A 秘书来重新起草。如果科室 A 领导通过批阅,根据公文的重要性,下面有两种情况,第一种是科室 A 领导选择相关部门来会签;第二种是可能不需相关部门的会签直接报局办公室领导批阅。因此变迁 T2 的输出端为 OR-split,并增加两条路由。

公文经相关科室领导会签后,由部门 A 领导重新审核,然后提交局办公室领导批阅。在此有二种情况存在,第一种是经局办公室领导批阅后,公文向下流转;第二种是部门 A 呈批的公文不通过,则需返回科室 A 秘书来重新起草。因此变迁 T8 输出端为 OR-split,并增加一条输出路由。

经局办公室领导批阅后的公文,正常情况是并列呈交局分管领导批示,但有例外情况存在,若不太重要的公文,局办公室领导就能直接签发。因此,在发文管理工作流模型中需增加一个任务 T15: 局办公室领导签发。

最后,局分管领导都批示完毕后,局办公室领导进行审核,如果审核没问题就提交科室 A 领导签发,随后,科室 A 秘书分发并登记发文。如果审核有问题,公文会重新返回到科室 A 秘书处进行起草。

因此,图 2 所示的发文管理工作流模型,经过上述的修改便形成完整的发文管理工作流网,如图 3 所示。需要指出的是对于一些更复杂的工作流实例,在利用 Petri 网技术建模时可以使用颜色扩展、时间扩展、层次扩展等高级 Petri 网技术,并增加人员触发、消息触发和时间触发等机制来实现。

## 3 模型的正确性验证

把工作流程转化为 WF-net 之后,就可以利用 Petri 网强大的数学模型分析能力,验证工作流模型的一些系统特性和结构特性。一般地,如果工作流网络符合合理性要求,则可认为该模型是个有效的工作流模型。对上面所描述的工作流模型,笔者将通过可达性、合理性、自由选择性、良构性和 S 可覆

盖性来进行正确性验证。

Petri 网的初始状态一旦确定,被建模过程的可能行为就是确定的,通常利用模型的可达图(reachability graph)来进行工作流行为的分析。可达图是一种有向图,由节点和有向箭头构成,每个节点表示一种可达状态,每个箭头表示一种可能的状态改变。为了简化说明,对图2进行抽象的层次扩展取其局部,如图4扩展的 Petri 网所示。

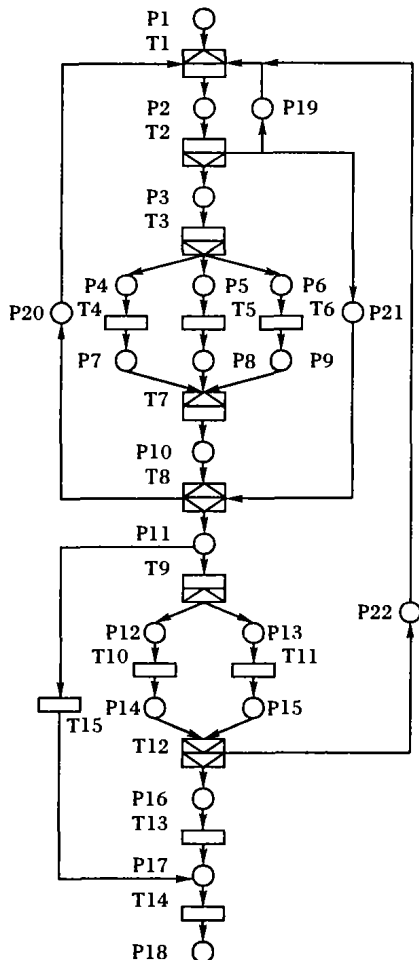


图3 发文管理工作流网

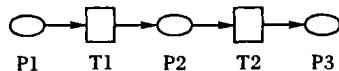


图4 扩展的 Petri 网

对于图4的可达图来说,每个节点用一个三元组 $(a, b, c)$ 组成,其中元素 $a, b, c$ 分别代表库所 $P1, P2, P3$ 中的标记数量。假定初始状态为 $(3, 0, 0)$ ,则图4的可达图如图5所示。

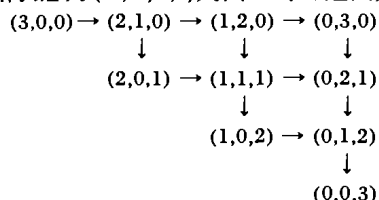


图5 图4扩展 Petri 网的可达图

利用此分析方法对图3发文管理工作流网进行分析,通过构成一个18元组的库所状态可达图,容易得出类似于上面通过层次扩展后的可达图。因此,可以得出所建立的工作流网满足可达性。

定义3 由一个 WF-net  $PN = (P, T, F)$  建模的过程是合理的,当且仅当:

1) 对于每一个从状态 $i$ 可达的状态 $M$ ,存在一个实施序列,从状态 $M$ 通往状态 $o$ ,形式化表示为:  $\forall M(i \rightarrow M) \Rightarrow (M \rightarrow o)$ ;

2) 状态 $o$ 是从状态 $i$ 可达的唯一最终状态,且结束时其中至少会有一个标记,形式化表示为:  $\forall M(i \rightarrow M \wedge M \geq o) \Rightarrow (M = o)$ ;

3) 在 $(PN, i)$ 中没有死变迁,形式化表示为:  $\forall t \in T \exists M, M' (i \rightarrow M \rightarrow M')$ 。

假定上面所建的工作流网  $PN = (P, T, F)$  存在一个初始状态 $M$ ,通过添加一个额外的连接源库所 $P1$ 和汇结库所 $P18$ 的变迁 $t^*$ ,从而构造一个强连接的工作流网  $\underline{PN} = (\underline{P}, \underline{T}, \underline{F})$ ,强连接的工作流网 $\underline{PN}$ 存在一个初始状态 $M'$ ,这里 $\underline{P} = P, \underline{T} = T \cup \{t^*\}, \underline{F} = F \cup \{<P1, t^*>, <t^*, P18>\}$ ,由于 $\underline{PN}$ 中的每一个状态在每一个变迁被实施时均能产生一个新的状态;而且,对从 $P1$ 到 $P18$ 中的所有库所,当任务被实施时,它们中标记的数量是有限的,从而可以得知,工作流网 $\underline{PN}$ 是活的并且是有界的。根据定理:一个工作流网 $PN$ 是合理的,当且仅当,  $(\underline{PN}, M')$  是活的并且是有界的。证明详见文献[6],可以得知,上面所建的工作流网 $PN$ 是合理的。

自由选择性要求对任何共享相同输入的两个变迁,它们的输入集合应该相等。通过图3发文管理工作流网可知,变迁 $T9$ 和 $T15$ 共享一个输入库所 $P11$ ,因此,它们的输入集合显然相等,所以说所构建工作流网满足自由选择的条件。

工作流网的良构性要求在工作流网中具有平衡的 AND-split/AND-join 和 OR-split/OR-join。也就是说一个由 AND-split 初始化的两个并行流不应该由一个 OR-join 来进行汇合;同样,一个由 OR-split 初始化的两个选择流也不应该由一个 AND-join 来进行同步。在图3中,很显然,从 $T3$ 到 $T7$ 完全符合平衡的选择路由,从 $T9$ 到 $T12$ 都完全符合平衡的并行路由,其他的选择路由也都是成对出现的。可见,所构建的工作流网是良构的。根据定理:一个合理的、自由选择的工作流网是S可覆盖的(证明详见文献[7]),所以说,所构建的工作流网也满足S可覆盖性。

综上所述,可以相信所构建的工作流模型通过了正确性验证。

运用该模型,在 Lotus Domino/Notes 平台上成功地地为陕西省某灌区管理局开发了一套实用、高效和安全的办公自动化系统。

#### 参考文献:

- [1] Workflow Management Coalition. Workflow management coalition terminology and glossary (WfMC-TC-1011) [R]. Brussels: Workflow Management coalition, 1996.
- [2] AALST, W M P VAN DER. The application of petri nets to workflow management[J]. The Journal of Circuits Systems and Computers, 1998; 8(1): 21-26.
- [3] AALST, W M P VAR DER. Petri-net-based workflow management software Sheth A eds Proceedings of the NFS Workshop Workflow and Process Automation in Information Systems[C]. Georgia, Athens, 1996: 114-118.
- [4] 叶许红, 颜钢锋. 基于 Petri 网的办公自动化 workflow 建模[J]. 计算机工程与应用, 2003, 6: 228-232.
- [5] (荷) WIL VAN DER ASLST, KEES VAN HEE. 工作流管理: 模型、方法和系统[M]. 王建民, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [6] AZEMA P, BALBO G. Verification of Workflow Nets. In Application and Theory of Petri Nets[J]. 1997, 1248: 407-426.
- [7] DESEL J, ESPARZA J. Free Choice Petri Nets, volume 40 of Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.