

基于 Petri 网的应急管理 workflow 模型

葛 丹, 郑会颂, 姚国章

(南京邮电大学 经济管理学院, 江苏 南京 210003)

[摘要] 讨论了由 Petri 网发展起来的工作流网 WF-net 的定义、工作流执行结构及任务触发方法, 引入 WF-net 建立应急管理信息系统工作流模型, 提出了一种基于 Petri 网工作流模型的建模方法及其相关规则. 以一个省级应急管理系统为例, 详细阐述了构建 Petri 网工作流模型的过程, 并利用验证工具对该模型进行了正确合理性分析.

[关键词] 应急管理, Petri 网, 工作流网, 仿真

[中图分类号] TP311 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)01-0064-05

Workflow Model of Emergency Management Based on Petri Nets

Ge Dan, Zheng Huisong, Yao Guozhang

(School of Economics and Management, Nanjing University of Posts and Telecommunication, Nanjing 210003, China)

Abstract In this paper, the definition, workflow structure and task trigger method of WF-net developed from Petri nets are discussed. WF-net is introduced to develop a workflow model of emergency management system, and a modeling approach and relative rules based on the Petri nets are proposed. A case of emergency management system on the level of province was used to demonstrate in detail how to develop the Petri nets workflow model according to the method and rules. Finally, an analysis tool is employed to verify the correctness and rationality of the workflow model.

Key words emergency management, Petri net, WF-net, simulation

在对应急管理研究不断深入后, 有关机构认为, 对于很多灾难管理的需求来说, 结果往往与灾难的类型(自然的或者技术上的)无关, 可以用相同的预案处理这些威胁^[1, 2]. 应急管理大多基于报警、避难所、公共安全、评估等这些必不可少的功能, 如果有一种数学工具对其进行描述, 则可从一般意义上研究它的内在规律. Petri 网是一种可用图形表示的组合模型, 具有直观、易懂和易用的优点, 对描述和分析并发现象有独到的优越之处; Petri 网又是严格定义的数学对象, 借助数学开发的 Petri 网分析方法和技术, 既可用于静态的结构分析, 又可用于动态的行为分析^[3]. 所以, Petri 网自然地成为应急管理的建模工具.

推进不同层次的应急平台建设已成为当务之急. 省级应急平台是全面履行省级行政区应急管理职责的核心载体, 在预防和处置各类突发公共事件方面起着基础性和关键性的作用. 要想高效地实现省级应急平台的建成, 首先应建立相应的应急管理 workflow 模型. 模型是工作流执行的前提和基础, 通过系统模型把所要设计的结构和系统行为连结起来, 并可对系统进行有效的分析、验证与优化, 从而保证系统的性能指标. 目前已有的文献主要是对应急管理概念及体系的介绍, 而对应急管理 workflow 集成的形式化建模及分析的研究较少. 为此, 本文将构建基于 Petri 网的应急管理 workflow 模型.

1 工作流的 Petri 网模型

1.1 扩展的 Petri 网模型

Petri 网是一种强有力的建模工具, 它能自动地表示状态随着时间的变化, 也能对实体间的联系和相互作用建模. Petri 网可以表示为数学形式, 也可以表示为有向图形式, 用图表示串行和并行的语义.

收稿日期: 2008-01-18

基金项目: 江苏省应急指挥系统项目可行性研究与建设方案设计课题 (xxhkt-20051507) 资助项目.

通讯联系人: 郑会颂, 教授, 研究方向: 信息系统与网络的管理、电信网的互联互通问题. E-mail: zhenghs@njupt.edu.cn

1.1.1 传统的 Petri网模型

(1) 一个传统的 Petri网是一个三元组 $PN = (P, T, F)^{[3]}$:

① P 是一个库所集, 用圆圈表示;

② T 是变迁集 ($P \cap T = \Phi$), 用矩形方框表示;

③ F 是流关系 ($F \subseteq P \times T \cup T \times P$), 其中“ \times ”为笛卡儿积, 它是弧集, 用弧线表示;

④ 一个库所 P 为一个变迁 t 的输入库所的充要条件是从该 P 到 t 存在一条直接弧; 一个库所 P 为一个变迁 t 的输出库所的充要条件是从该 t 到 P 存在一条直接弧; $\bullet t$ 表示变迁 t 的输入库所集, 类似的有 $t \bullet P$ 和 $P \bullet$, $P \bullet$ 表示以 p 作为共享输入库所的变迁集;

⑤ 状态 M , 通常称为标识, 是托肯 (tokens, 用黑点表示) 在库所上的分布, $M \in P^{\rightarrow} | N$. 对于任何两个状态 M_1 和 M_2 , $M_1 \leq M_2$ 存在的充要条件是对所有 $p \in P: M_1(p) \leq M_2(p)$;

(2) 变迁是 Petri网中的主动分量, 变迁受触发后会改变网的状态. 变迁的触发条件是:

① 变迁能够发生的充要条件是该变迁的每个输入库所都拥有至少一个托肯;

② 一旦变迁能够发生的充要条件得到满足, 该变迁就可以受触发而发生;

③ 变迁一旦发生, 它消耗每个输入库所一个托肯并为每个输出库所产生一个托肯;

(3) 假如已知一个 Petri网 $PN = (P, T, F)$ 和状态 M_1 , 那么:

① t 在 M_1 可以发生而且变迁发生后标记 M_1 改变为 M_2 , 表示为 $M_1[t > M_2]$;

② 状态从 M_1 改变为 M_n 的充要条件是存在一系列的变迁 $\sigma = t_1 t_2 t_3 \dots t_{n-1} \in T$, 使得 $M_1[t_1 > M_2[t_2 > M_3[t_3 \dots [t_{n-1} \dots > M_n]$, 表示为 $M_1[\sigma > M_n]$, 称为可达状态;

③ Petri网 $PN = (P, T, F)$ 具有 M 状态表示为 (PN, M) ;

④ (PN, M) 是活的充要条件是: 对每一个状态 M 和每一个变迁 t 而言, 只要触发 t M 就到达后继状态 M' ;

(4) 任何一个 Petri网, 都有两个状态: 初始状态 i (源库所), $\bullet i = \Phi$, 终止状态 o (汇库所), $o \bullet = \Phi$ 在库所 o 和 i 之间添加一个变迁 t , (使得 $\bullet t = \{o\}$ 和 $t \bullet = \{i\}$), 所获得的扩充的 Petri网 $PN' = (P', T', F')$, $P' = P$, $T' = T \cup \{t\}$, $F' = F \cup \{ \langle o, t \rangle, \langle t, i \rangle \}$, 此时的 Petri网是强连通的^[3];

(5) 任何一个 Petri网是健全的^[4] 充要条件是:

① 对每一个从初始状态 i 开始的可达状态都存在一个触发序列使得状态到达终止状态 o , $\forall M (i \rightarrow^* M) \Rightarrow (M \rightarrow^* o)$

② 任何情况下过程都会终止, 终止时至少要有有一个托肯在终止状态 o , 而其它库所都为空, $\forall M (i \rightarrow^* M \wedge M \geq o) \Rightarrow (M = o)$;

③ 网中没有死的活动, 也就是说网中的任何一个活动 (PN, i) 都可以通过某条路径获得执行, $\forall t \in T \exists M, M', i \rightarrow^* M \rightarrow t M'$;

1.1.2 扩展的 Petri网模型

虽然用传统的 Petri网建模可以表示状态、活动、事件、资源流动的并行、选择以及循环等语义, 但是它还缺少信息传递互操作的语义, 而且用它来表示复杂的真实过程时会使得模型变得太大、太复杂. 可以对传统的 Petri网模型进行扩展:

(1) 为了表示各角色协同工作, 用多个子网组成 workflow Petri网 (表示为 $WF-PN$). 每一个子网自治, 相互之间同步或异步通信、协同工作. $WF-PN = (PN_1, PN_2, \dots, PN_n, P_m, T_{\text{send}}, T_{\text{receive}})$ 其中:

① n 是子网的数量, 每个子网 PN_k 都有源 i_k 和汇 o_k , $k \in \{1, \dots, n\}$;

② 每一个活动和变迁都必须在从源点到汇点的路径中; 每个子网 PN_k 都必须是强连通的;

③ P 是通信库所集, 表示子网之间传递的信息, 子网中的库所和 P_m 不相交, $P_k \cap P_m = \Phi$;

④ T_{send} 是子网中的一组变迁, 它们在 $m \in P_m$ 产生托肯, T_{receive} 是子网中的一组变迁, 它们消耗从 m 产生的托肯, $T_{\text{send}} = \bigcup_{k \in \{1, \dots, n\}} T_k$, $T_{\text{receive}} = \bigcup_{k \in \{1, \dots, n\}} T_k$;

(2) 扩展面向对象的概念, 使模型表示业务过程的类 (class), 于是库所表示资源的状态有或无, 弧上

的权值为 1, 每一个托肯的出现都表示一个实例, 它必需具有标识, 而变迁的发生则要预先判断是针对哪个托肯发生的. 用 Petri 网的术语来说就是让托肯有色. 初始状态下不同颜色的托肯表示需要处理的不同实例, 于是 $WF-PN = (PN_1, PN_2, \dots, PN_n, P_m, T_{\text{send}}, T_{\text{receive}}, \text{color})$;

(3) 扩展时间因素^[5], 用来表示活动执行的时间段或者活动的延时. $WF-PN = (PN_1, PN_2, \dots, PN_n, P_m, T_{\text{send}}, T_{\text{receive}}, \text{color}, PS, TS)$, 其中 PS 表示活动在库所上执行的时间, TS 表示变迁触发的延迟时间;

(4) 扩展层次的概念^[6], 用来表示上层活动的逐层细化. 有了这个扩展整个模型就可以看成是若干个子网的集合, 而每一层都会显得比较清晰.

1.2 workflow概念到 Petri网的映射

在 Petri 网的基础上, 荷兰 Wil van derAals 提出了工作流网 (Workflow net 简称 WF-net) 的概念^[4,7], 定义工作流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. 在工作流网中, 库所对应过程中的条件, 变迁对应过程中的可执行活动, 库所中的托肯代表一个过程实例的状态.

1.2.1 基本模式

基本模式包括: 顺序路由 (Sequence)、并行分支 (AND-split)、并行同步 (AND-join)、互斥选择 (OR-split) 和简单汇合 (OR-join). 这些基本模式较为简单, 所以只给出相应的 Petri 网描述, 如图 1^[7] 所示.

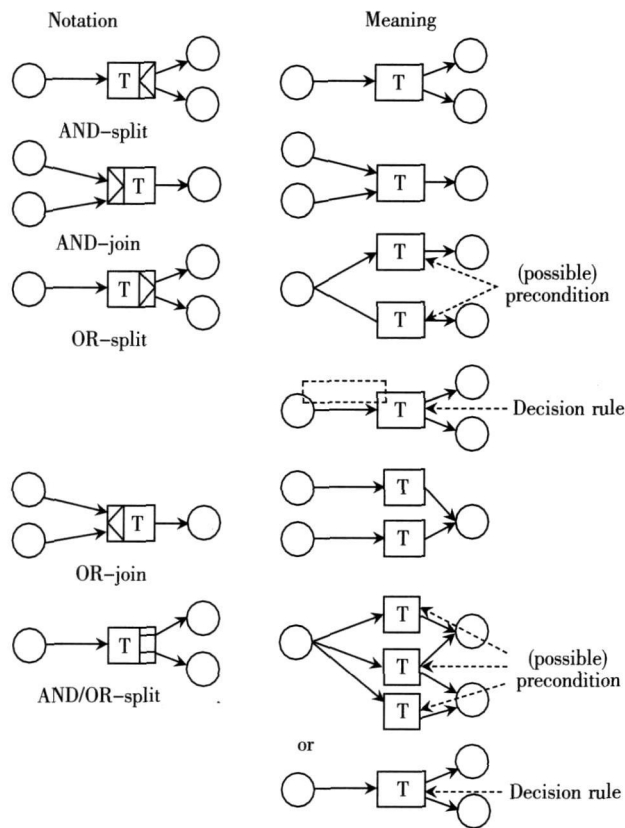


图 1 基本结构表示方法
Fig.1 Expression of basic structure

1.2.2 触发机制

用以上组件所构成的工作流模型中, 被使能的任务能否最终执行取决于该任务上所定义的触发机制. 通常, 有 4 种类型的触发机制, 分别是:

- (1) 自动触发: 活动被使能的同时就开始执行 (程序自动执行, 无需外界干预);
- (2) 人工触发: 活动的执行者通过在属于自己的工作流任务管理器提供的工作流任务列表中选择活动来触发 (能出现在该任务列表中的所有活动都已被使能);

(3) 消息触发: 由系统外部消息 (如用户登录、新邮件到达) 来触发活动使之执行;

(4) 时间触发: 由控制时间的定时器来触发已使能的任

务。

以上触发机制的示意图如图 2 所示。在使用 workflow 网进行 workflow 建模期间, 需要将这些示意符号标注在对应的变迁节点 (表示活动或任务) 上, 以示对应的活动的激活方式。

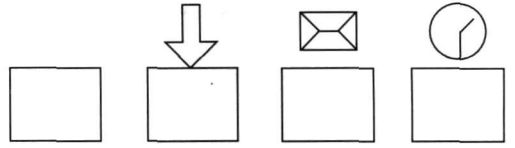


图 2 任务触发机制示意图

Fig.2 Diagrams of task triggered mechanism

2 构建基于 WF-net 应急管理信息系统 workflow 模型

使用 WF-net 设计的省级应急管理信息系统 workflow 模型如图 3 所示。

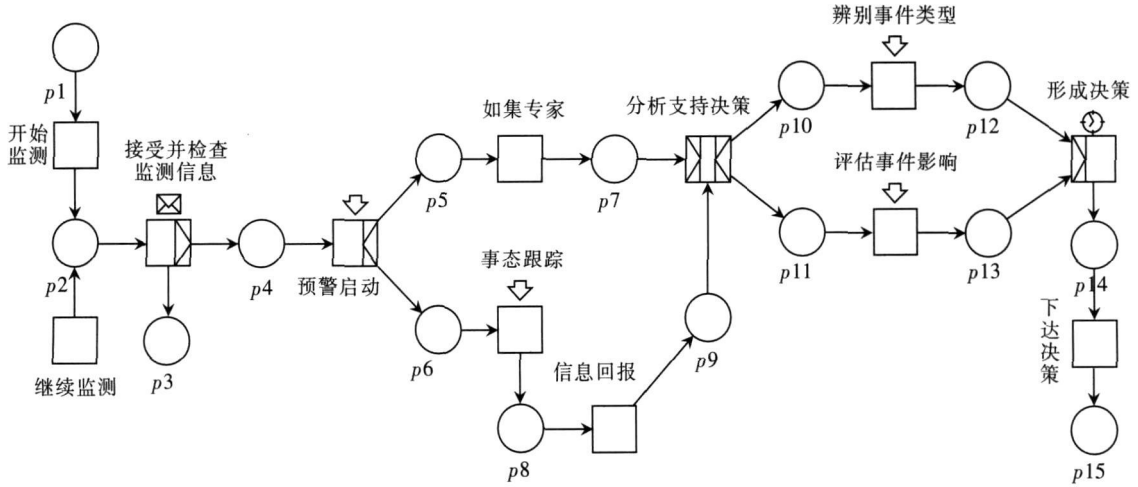


图 3 应急管理信息系统 workflow 模型

Fig.3 A workflow model of emergency management system

按照其 workflow 模型, 应急管理起始于 p_1 位置节点, p_2 工作人员开始检查信息 (由监测预警信息触发任务), 如果不符合预案启动条件, 转至 p_3 然后由相关部门继续监测预警; 如果符合启动条件, 由工作人员启动预案 (p_4) 成立战时管理小组, 流程转至 p_5 和 p_6 流程转至 p_6 后, 对现场事态发展紧密跟踪并将信息回报, 然后流程转至 p_8 流程到达 p_8 后召集专家 (p_7), 流程到 p_7 和 p_9 后, 即可召开分析支持决策会议, 分别由专家对事件类型进行辨别 (p_{10}) 和评估影响 (p_{11}), 接着流程转至 p_{12} 和形成决策 p_{13} 然后下达决策 (p_{14}), 最终下发通告。

3 模型性质与验证

3.1 Petri网建模分析

我们对基于 workflow 网的应急管理系统 workflow 模型进行了初步的分析和验证:

(1) 模拟和仿真: 模拟和仿真系统运行, 求解所有可达状态, 从而对系统的动态特性和运行机理进行深入的了解和理解;

(2) 有效性: 可以测试所设计的工作流是否能够达到预期的目标。

3.2 模型验证

为了更好地支撑系统的建模、分析和验证, 我们利用已开发的 Petri 网验证系统 Woped 来验证该模型的系统性质。

通过系统的 Token game 可以模拟系统可达的状态 (如图 4 所示), 反映了系统的运行全貌, 而且该模型满足安全性和活性性质, 即该模型是满足语义 (Semantical Analysis) 的性质分析。此外有效性分析结果验证了系统消息传输机制的正确性以及工作流的有效性, 表明该 workflow 图的可达树输出结果是正确无误的, 并且能够完成预期的目标。

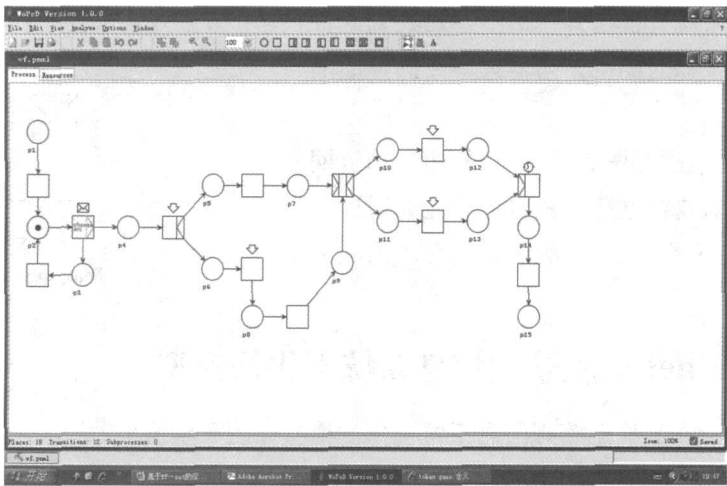


图 4 系统可达的状态模拟

Fig.4 Simulation of system access states by Token game

4 结 语

本文介绍了应急管理的现状,讨论了由 Petri网发展起来的 WF-net的定义、工作流执行结构及任务触发方法,建立了基于 WF-net的应急管理信息系统工作流模型,并利用 Woped系统对该模型进行了分析,验证了所建模型的正确性和合理性.

由于对象系统的复杂性,以后将进一步研究更加规范、细致的应急管理工作流建模与验证问题,从而发挥工作流在应急管理信息系统建设中的支撑作用.

[参考文献] (References)

[1] JenniferW ilson, ArthurOyok-Yemael The evolution of emergency management and the advancement towards a profession in the United States and Florida[J]. Safety Science, 2001, 39: 117-131.

[2] 姚国章. 典型国家突发公共事件应急管理体系及其借鉴 [J]. 南京审计学院学报, 2006 3(2): 5-10
Yao Guozhang. A study on emergency management system to public emergency in typical countries and it's impacts[J]. Journal of Nanjing Audit University, 2006 3(2): 5-10 (in Chinese)

[3] 袁崇义. Petri网原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Yuan Congyi. Principle and Application of Petri Nets[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2005 (in Chinese)

[4] Van DerAalstW. Three good reasons for using a petri-net based workflow management system[C] // Navathe S, Wakayana T. Information and Process Integration in Enterprises 1996. Cambridge Massachusetts, 1996: 179-200

[5] Van DerAalstW. Inter-organizational workflows: an approach based on message sequence charts and petri nets [J]. Systems Analysis Modeling Simulation, 1999 34(3): 335-367

[6] Van DerAalstW. Process-oriented architectures for electronic commerce and inter-organizational workflow[J]. Information Systems, 2000 24(8): 639-671.

[7] Van DerAalst Kees VanHee著. 工作流管理——模型、方法和系统 [M]. 王建民, 闻立杰, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004 43
Van DerAalst Kees VanHee Workflow Management Models, Methods and Systems[M]. Wang Jianmin, Wen Lijie, translated Beijing: Tsinghua University Press, 2004 43 (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]