一种支持工作流模式的扩展工作流网

张 亮 金茂忠 姚淑珍

(北京航空航天大学 计算机学院, 北京 100083)

摘 要: 为了满足企业用户对工作流模型在描述能力和分析能力上的要求,提出了一种支持工作流模式的扩展工作流网 (EWF_net, Extended WorkFlow net). EWF_net是在工作流网 (WF_net, WorkFlow net)的基础上增加一些机制扩展而成的,它改善了 WF_net对于动态工作流模型的描述能力,直接支持所有工作流模式,特别是多实例、取消、高级同步等 WF_net不能直接描述的模式. EWF_net通过引入控制变量来描述工作流模型的相关数据信息;通过引入一类特殊的变迁——传递变迁,来支持模型的动态路由.在 Petri网分析技术的基础上提出 EWF_net的形式化的正确性分析方法.该方法由一致性分析和对应的 WF_net的合理性分析 2部分组成. 最后,通过一个应用实例来说明 EWF_net强大的描述和分析能力.

关 键 词: 工作流模式; 工作流网; 工作流模型; Petri网

中图分类号: TP 301

文献标识码: A 文 章 编 号: 1001-5965(2007) 01-0059-04

New extended workflow net for formalizing workflow patterns

Zhang Liang Jin Maozhong Yao Shuzhen

(School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: To satisfy the enterprise process modeling requirements in the ability of powerful expression and analysis, a new extended workflow net(EWF_net) was proposed for formalizing workflow patterns. EWF_net extended workflow net(WF_net) by adding some mechanisms, and improved the power of describing dynamic workflow model of WF_net. EWF_net was designed for directly describing various complex process, especially multiple instances, cancel activity, advanced parallel and synchronization which were not supported by most Petri net models. Control variable was introduced in EWF_net for describing the relevant data of workflow model. In EWF_net, a special transition, transfer transition was introduced for supporting dynamic routing of the model. A formal correctness analysis method of EWF_net was given based on the analysis techniques of Petri net. The correctness analysis of EWF_net consisted of the analysis of consistent and the analysis of soundness of corresponding WF_net. Finally, an application example was described and analyzed in EWF_net which showed its power of description and analysis.

Key words: workflow patterns; workflow net; workflow model; Petri nets

工作流管理系统是继数据库管理系统和人机界面管理系统之后应用软件的第 3次分离. 对于工作流建模技术,模型的描述能力是其亟待解决的一个关键问题. 文献[1]提出的工作流模式,对目前工作流建模领域遇到的各种描述需求进行了系统的阐述,提出了业务过程建模在描述方面的基本需求,它是衡量工作流模型描述能力的一个很好的尺度. 文献[2]考察了目前主流的商用工作流产品在描述方面对工作流模式的支持情况,指出尚没有一个产品能够直接支持全部模式.

基于 Petri网理论基础的工作流模型,同样存在着对工作流模式支持不够的问题.作者考察了国内外相关研究[2-7],其中以国外的另一种工作流语言[2] (YAWL, Yet Another Workflow Lan-

收稿日期: 2006-01-06

作者简介: 张 亮(1977-),男,江苏南通人,博士生, liang_z@buaa.edu.cn.

guage)和国内的计算网[4] (C_net, Computing net)较有影响. YAWL和本文有相当的模型描述能力. YAWL是类 Petri网的模型, 为了更好地支持工作流模式的描述, 增加了一些机制, 从根本上改变了Petri网的基本性质, 因此, 也就无法利用 Petri网的现有分析技术. 文献[2]指出 YAWL在分析方面还没有很好的解决方案, 将 YAWL模型转化成Petri网模型, 是其今后的一个努力方向. 然而, 这并不是一件易事. C_net是基于 Petri网系统的, 它解决了 WF_net(WorkFlow net)的工作流语义和逻辑含混的问题. 同时, 它提出的 V_元的概念及其相应的机制, 对于解决工作流模式的描述问题具有很大的启发作用. 然而, C_net还存在着一些缺陷, 如 C_net使用库所作为同步器, 改变了 Petri网的性质, 因而无法利用 Petri网的分析技术. 而 C_net提出的畅通性分析技术本身还不完备, 不能作为一般性的模型分析方法来使用. 另外, C_net还难以描述取消和多重选择模式.

1 Petri网工作流模型的局限性

从 20世纪 90年代开始, Petri网以其精确的形式化语义、直观的图形化表示及众多成熟的分析技术等优势, 在工作流建模领域中被广泛应用. 人们提出了大量的基于 Petri网理论的工作流模型. 其中, 文献[3]提出的 WF_net是众多工作流模型中最具影响力, 也是应用最为广泛的一个. 文献[2]考察了包括 WF_net在内的多个有代表性的 Petri网模型对工作流模式的支持情况, 指出基于 Petri网的工作流模型在描述工作流模式时遇到的困难主要存在于: 高级同步类模式、取消类模式及多实例类模式. 这 3大类模式的共性就是, 工作流模型要能够根据运行期知识来动态地路由. 也就是说, 首先模型要具备描述复杂数据结构的能力, 从而才能描述运行期知识; 另外, 模型运行期的路由要能在一定范围内根据相应条件而变化, 从而实现一定程度的动态路由.

而 Petri网的特点决定了它无法满足以上要求. Petri网作为工作流模型时, 变迁表示任务, 库所是状态元素, 它的状态是其所含标识(token)的个数. 库所状态的变化是 token个数的加或减. 如果用库所来表示数据类型, 它的值域是非负整数, 允许的运算只有正整数的加法和减法. 所以, Petri网不具备描述复杂数据结构的能力. 其次, Petri网的结构是静态的, 即任何变迁的前驱集和后继集是固定的, 不可能在运行期动态地变化.

以上分析可知, 要弥补 Petri网模型对上述 3大类模式的支持不足, 可以从 2个方面来扩展 Petri网:

1) 使 Petri网具有处理运行期知识的能力;

2) 使 Petri网中变迁能够根据运行期知识在一定范围内动态选择路由.

2 EWF_net

EWF_net(Extended WorkFlow net)以 WF_net为基网, 借鉴了文献[4]提出的 V_元的相关概念及机制, 在 WF_net定义的基础上进行了一定的扩展. EWF_net在 WF_net的基础上增加了控制变量, 用来记录工作流模型中相关的复杂数据, 并增加了变迁对控制变量的计算和利用控制变量进行通信的机制, 从而使其具有对运行期知识的处理能力. EWF_net定义了传递变迁, 用来支持变迁根据运行期知识来动态路由.

2.1 EWF_net的相关定义

定义 1 六元组 $E_N = (P, V_C, T; F, R_{cv}, W_{cv})$ 称为 EWF_net的条件是:

1) $P \cup V_C \cup T \neq \varnothing \wedge P \cap V_C = \varnothing \wedge P \cap T = \varnothing \wedge V_C \cap T = \varnothing \wedge F \subseteq P \times T \cup T \times P \wedge R_{cv}, W_{cv} \subseteq V_C \times T \wedge \mathrm{dom}(F) \cup \mathrm{cod}(F) = P \cup T \wedge \mathrm{dom}(R_{cv} \cup W_{cv}) = V_C \wedge \mathrm{cod}(R_{cv} \cup W_{cv}) \subseteq T \wedge (\exists\, i \in P, \dot{} i = \varnothing) \wedge (\exists\, o \in P, o\dot{} = \varnothing)$.

2) 每个节点 $x \in P \cup T$ 都位于从 i到 o的一条路径上. P, V_C, T 依次为 E_N 的库所集, 控制变量集, 变迁集; F, R_{cv}, W_{cv}依次为 E_N 的流关系, 读关系, 写关系. 读关系由从控制变量指向变迁的箭头表示, 写关系由从变迁指向控制变量的箭头表示. $\mathrm{dom}(F)$表示 F 的定义域; $\mathrm{cod}(F)$表示 F 的值域.

定义 2 令 $E_N = (P, V_C, T; F, R_{cv}, W_{cv})$, 则

1) $M_P: P \rightarrow \{0, 1\}$称为 E_N 的流标识; $M_{cv}: V_C \rightarrow \{\bigcup_{x \in V_C} t_p(x)\}$为 E_N 的变量标识; 用 $t_p(x)$表示控制变量 x的类型; $M = M_P + M_{cv}$称为 E_N 的标识.

2) T_entry $T \rightarrow$ {布尔表达式}称为 E_N 的变迁入口函数.

3) T_Body $T \rightarrow$ {控制变量赋值语句}称为 E_N 的变迁体函数.

定义 3 传递变迁. 令 $E_N = (P, V_C, T; F, R_{cv}, W_{cv})$, $t_A, t_{A'} \in T$, t_A 对应于具体的任务, $t_{A'}$对应于空任务, 当两者满足以下条件时, 称 $t_{A'}$为 t_A 的传递变迁:

$\dot{} t_A = \dot{} t_{A'} \wedge t_A\dot{} = t_{A'}\dot{} \wedge t_A$. T_entry= $-$ $t_{A'}$. T_entry$\wedge$ $t_{A'}$. T_body= null.

定义 4 如果 $E_N = (P, V_C, T; F, R_{cv}, W_{cv})$为

EWF_net, $M_t = T_entry + T_body$ 为变迁标识, M_0 为初始标识, 则 $\Sigma = (P, V_C, T; F, R_{cv}, W_{cv}, M_t, M_0)$ 称为 EWF_net系统.

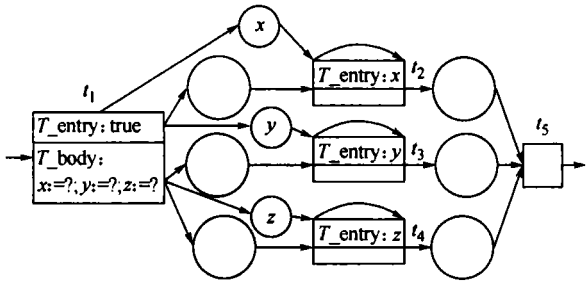
定义 **5**　令 $M = M_P + M_{cv}$ 为 Σ 的标识, M_t 为 Σ 的变迁标识, $t \in T$ 为 Σ 的变迁.

1) t 在 (M, M_t) 有发生权, 即 $(M, M_t)[t> = M_P[t> \wedge (M_{cv}, M_t)[t>$; 其中 $M_P[t>$ 为 Petri网系统定义的发生权, 当且仅当 $M_{cv}(M_t(T_entry(t)))$ 为真时, 有 $(M_{cv}, M_t)[t>$;

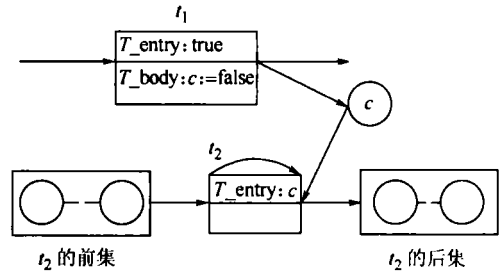
2) $(M, M_t)[t>$ 的后继为 (M', M_t'): $M' = M_P' + M_{cv}'$, M_P' 为 $M_P[t>$ 的后继. $M_{cv}'(x) = f(t)(x)$ ($x \in V_C$ 为任意变量), 其中 $f(t)(x)$ 表示控制变量 x 在执行 t 的变迁体函数后的值; $M_t' = M_t$.

2 2　工作流模式的描述

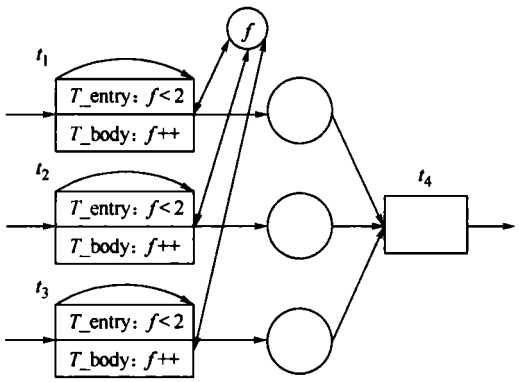
图 1用 EWF_net描述了工作流模式中 WF_net无法描述的几个复杂模式.



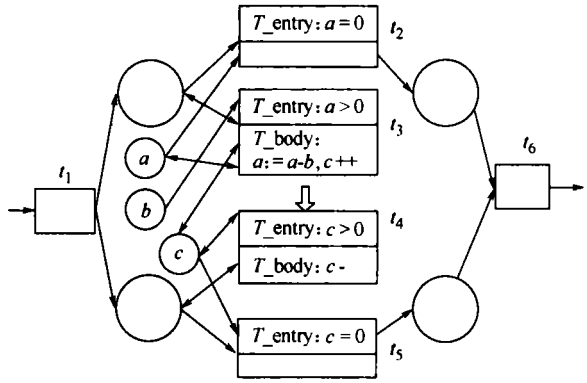
a　多重选择及同步模式



b　取消模式



c　判别者模式



d　无先验运行知识的多实例模式

图 1　几个复杂的工作流模式的 EWF_net 表示

3　分　析

EWF_net的分析分为 2个层次: 语义层的一致性检查和逻辑层的合理性检查. 一致性检查主要是针对 EWF_net在 WF_net基础上的扩展部分进行语义分析. EWF_net的逻辑依赖关系的验证, 通过分析其对应的 WF_net来进行. 而 WF_net的分析则可以充分利用各种已有的 Petri网的活性和有界性分析技术.

3 1　相关定义

EWF_net中的某个冲突能否得到消解取决于与冲突所涉及的任务的入口函数取值情况. 如果对于任意值标识, 某个冲突所涉及的任务中有且仅有一个任务的入口函数值为真, 则此冲突在实际运行时必能得到消解.

定义 **6**　称一个 WF_net(P', T', F') 为 EWF_net$(P, V_C, T; F, R_{cv}, W_{cv})$ 对应的 WF_net的条件: $P = P' \wedge T = T' \wedge F = F'$.

定义 **7**　当一个 EWF_net中的所有冲突都得到了消解, 称该 EWF_net与其对应的 WF_net是一致的.

3 2　分析方法

EWF_net的正确性分析由 2部分组成: 一致性检查和对应的 WF_net合理性分析. 具体的分析过程如图 2所示. 下面介绍一致性检查算法.

令 E_N 为一个 EWF_net, P 为库所集, T 为变迁集, M_{cv} 为 E_N 的一个控制变量标识, P^c 为存在冲突的库所集 (初始时 $P^c = \varnothing$). 算法步骤如下: ①计算 P 中库所数, 若 $|P| > 0$ 则从 P 任取一个库所 p_i, 并将其从 P 中删除; 否则, 跳到步骤 ⑥. ②计算 p_i 的后继变迁数, 若 $|p_i^*| \leqslant 1$, 则回到步骤①; 否则, 求其后继变迁集 T_i, 令 $T_j = T_i$. ③计算 T_j 中变迁数, 若 $|T_j| > 0$, 则从 T_j 中任取一个变迁 t_k, 并且将其从 T_j 中删除; 否则, 返回步骤①. ④求出一个 M_{cv}, 满足在 M_{cv} 下, t_k 的 T_entry 为真. ⑤在 M_{cv} 下, 计算 T_i 中除 t_k 以外的所有变迁的 T_entry 的

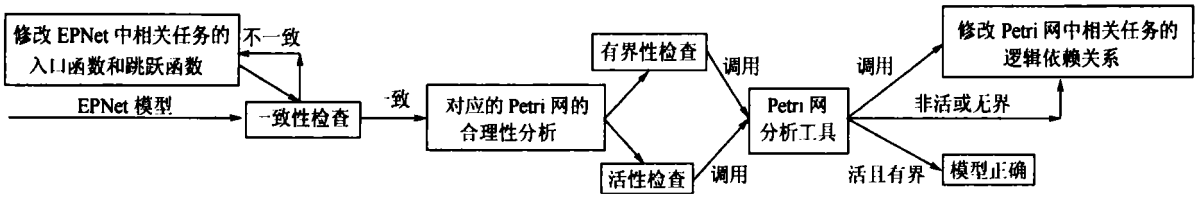


图 2 *EWF_net*分析示意图

值, 若都为假, 则返回 ③; 否则, p_i 处存在冲突, 将 p_i 加入 P^c 中, 并返回步骤①. ⑥若 $|P^c|=0$, 则 E_N 中所有冲突均能被消解; 否则, E_N 中存在不能被消解的冲突, 且不能被消解的冲突存在于 P^c 中的每一个库所处.

4 应用实例

图 3为一个生产全过程的 EWF_net模型, 省略了部分生产环节. 该模型综合了多个复杂的工作流模式. 其中, 产品设计阶段使用了鉴别者及取消模式; 外调原料阶段使用了多实例模式; 样品鉴定阶段使用了多重选择及其同步模式.

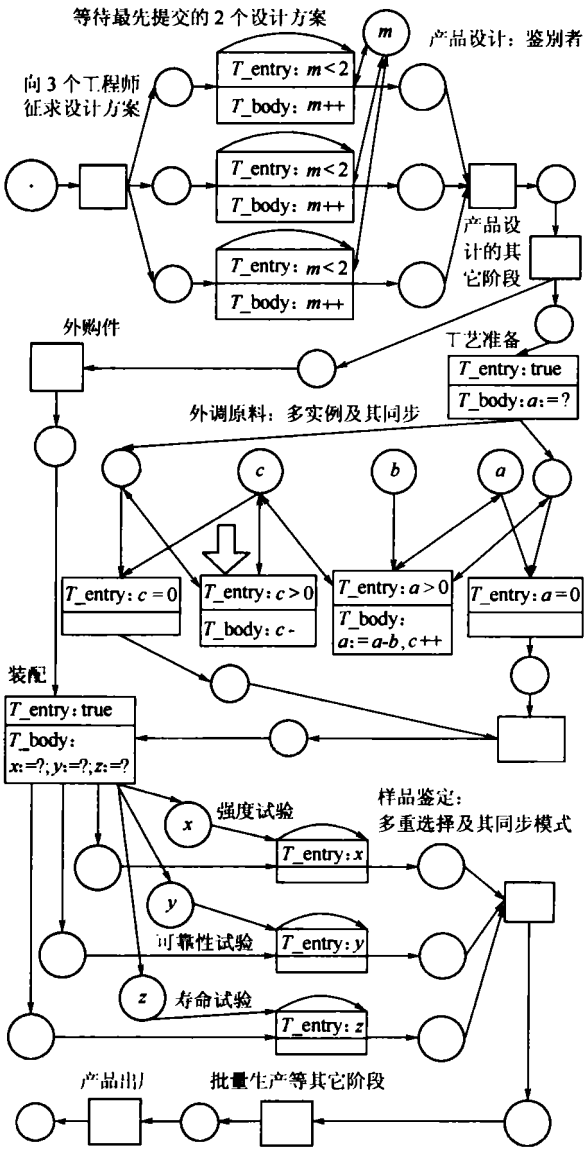


图 3 生产全过程的 *EWF_net*模型

本例的正确性分析可以根据第 3节模型分析中介绍的方法来实施.

5 结束语

本文提出的工作流模型 EWF_net 在 WF_net 的基础上进行了一定的扩展. 由于 EWF_net仍然遵循 Petri网的局部确定性原则, 因此在进行一致性分析后, 就可以充分借助于 Petri网已有分析技术来进行结构性质检查. 本文提出的 EWF_net模型仅描述了工作流模型的控制流维度的信息, 下一步将研究其与数据维度、资源维度的关系, 并进行相应的扩展.

参考文献 (**References**)

[1] Aalst W, Hofstede A, Kiepuszewski B. Workflow patterns[J]. Distributed and Parallel Databases, 2003, 14(1): 121-145

[2] Aalst W, Hofstede A. YAWL: yet another workflow language [J]. Information Systems, 2005, 30(4): 15-32

[3] Aalst W, Hee K. Workflow management: models, methods and systems[M]. Massachusetts: MIT Press, 2002: 208-229

[4] 袁崇义. Petri网原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 213-259
Yuan Chongyi. Petri net theory[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005: 213-259(in Chinese)

[5] 蒋昌俊. Petri网的行为理论及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 157-176
Jiang Changjun. Behavior theory and applications of Petri net [M]. Beijing: Publishing House of Higher Education, 2003: 157-176(in Chinese)

[6] 曾庆田, 段华. 一类含时间因素工作流的建模与时间性能挖掘[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(6): 230-233
Zeng Qingtian, Duan Hua. Modeling and time mining for workflow involving time factors[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(6): 230-233(in Chinese)

[7] 赵海, 马殿富, 怀进鹏, 等. 一种基于 web的工作流系统的设计与实现[J]. 北京航空航天大学学报, 2001, 27(4): 456-460
Zhao Hai, Ma Dianfu, Huai Jinpeng, et al. A web-based workflow system design and implementation[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2001, 27(4): 456-460(in Chinese)

(责任编辑: 文丽芳)