

一种基于 Petri 网的审批业务 workflow 模型

欧阳俊¹, 杨贯中², 杨柳², 刘美琴¹, 陆绍飞¹

(1. 湖南大学 计算机与通信学院, 湖南 长沙 410082; 2. 湖南大学 软件学院, 湖南 长沙 410082)

(ouyjj@sina.com)

摘要:在给出审批业务形式化定义的基础上, 针对审批动态行为过程提出了一个形式化模型 EABWF-net。与传统的面向过程的建模方式不同, 该模型以审批角色为中心, 以消息为流转机制, 以规则为流程控制逻辑。该模型克服了传统建模方式在审批业务 workflow 建模中缺乏流程柔性和系统灵活性的缺点, 能更加直观、清晰地描述审批业务。

关键词:审批业务; 工作流; Petri 网

中图分类号: TP371.1 **文献标识码:** A

Examination and approval of business workflow model based on Petri net

OUYANG Jun¹, YANG Guan-zhong², YANG Liu², LIU Mei-qin¹, LU Shao-fei¹

(1. College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China;

2. School of Software, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China)

Abstract: After formally defining the examination and approval of business, a formal dynamic behavior model for examining and approving business, called EABWF-net, was established. The model was different from traditional process-oriented model. It centered on the examination and approval role taking the message as roam mechanism and rule as flow logic of business. The model overcame the limitation of traditional modeling method that lacks process suppleness and system flexibility. Furthermore it can explain the examination and approval business clearer and more directly.

Key words: examination and approval of business; workflow; Petri net

审批业务是以审批者为中心, 将电子形式的文档、图像等在有关人员之间进行分发, 以便得到不同人的审阅、审核和审批等处理。随着电子政务和企业信息化进程的推进, 出现了很多审批系统或涉及审批业务的系统。但是目前采用的传统建模方式没有专门针对审批业务的特点来进行建模: 1) 传统建模方式采用面向过程的流程图或角色活动图的分析建模方法, 这些方法在任务和任务之间、任务和角色之间采用紧耦合, 一旦审批流程中某个部分, 或执行中某个环节发生变化, 系统就无法正确处理。2) 传统建模方式没有考虑审批活动的执行者是具有能动性的人, 造成对实际业务进行了过分的简化或过多的限制, 从而使这些模型只便于计算机处理而不具有实际可操作性。3) 传统建模方式将工作流的工作模式明确地分成两个阶段: 建立阶段和运行阶段^[1]。采用这种方式导致在运行阶段动态调整流程模型非常困难。为了克服传统建模方式在审批业务 workflow 建模中缺乏流程柔性和系统适应性的缺点, 本文在给出了审批业务的形式化定义并详细分析审批流程特点后, 针对审批动态行为过程提出了一个形式化模型 EABWF-net (Examination and Approval of Business Workflow net)。与传统建模方式相比, EABWF-net 通过定义审批角色对象和引入消息机制使模型能更加直观、清晰地描述审批业务; 通过引入基于脚本的规则来描述控制逻辑使模型具有动态调整性, 更加灵活。同时 EABWF-net 是建立在 Petri 网之上的, 具有严格的数学基础。

1 审批流程分析

1.1 审批流程定义

审批流程是在功能确定的组织结构中, 能够实现业务目的的相互连接的审批活动集及审批对象在审批者之间的流转逻辑, 它由审批活动和路由规则组成。路由规则主要保证审批对象在正确的时间流转到正确的人。审批活动的主要操作对象是电子形式的文档、图像, 通过它来激活一个审批流程的实例, 使其开始运转, 并记录最终结果。审批活动的执行一般是在人机交互的情况下由审批人来具体完成。本文将审批流程作如下定义:

定义 1 (Examination and Approval of Process)

$EAP = (D, R, O, P)$

其中: D 为审批对象, 如文档等; R 为审批角色; O 为审批角色对审批对象的处理。 P 为审批对象 D 在审批角色 R 之间的流转规则, 且 $P \subseteq R_i \times R_j, i \neq j$ 。

根据该定义, 审批流程可以抽象为审批对象 (D) 按一定的流转规则 (P) 在审批角色 (R) 之间的异步传递及对审批对象的处理 (O)。

1.2 审批流程特点

与其他领域 (如生产制造领域) 的工作流不同, 审批工作流具有两个鲜明的特点: 1) 实际操作中审批流程的“异常”情况非常多, 其原因是流程规则 (P) 具有不确定性; 2) 通过人机交互来推动流程的运行。其流程规则 (P) 的不确定性主要表现在: 首先, 审批流程所处理的对象除少数具有严格流程

规则外,大多数具有不确定性。比如在紧急情况下,费用申请可能只需要总经理批准而不需要部门经理签字就可以直接从财务提款。其次,审批结果具有不确定性。实际操作中,审批结果不仅仅是“同意”或“不同意”。比如在发文管理中,局长在收到发文申请后,认为其中一个统计数据还需要发给某一个科室进行核实。这里的审批结果中的“某一个科室”事先往往无法预料。

流程规则的不确定性可以通过人机交互来解决。如果审批 workflow 模型可以提供一个人机交互来动态决定审批流程的实际执行路径的框架,那么审批角色就可以利用其丰富的业务知识和实际操作经验来处理形形色色的“异常”情况。

2 审批 workflow 模型 EABWF-net

2.1 Petri 网

目前用于建模的方法和工具很多,如 Petri 网、流图、IDEFO、RAD 等。本文采用 Petri 网作为建模工具。Petri 网适合于模拟和分析以资源(物质、数据、信息等)流动为特征的异步并发系统^[2]。Petri 网是一个三元组 (P, T, F) ; P 表示库所的有限集合, T 表示变迁的有限集合, F 是弧的集合;其中 $F \subseteq P \times T \cup T \times P$ 且必须满足 $P \cap T = \emptyset$, $P \cup T \neq \emptyset$, $dom(F) \cup cod(F) = P \cup T$ ^[3]。Petri 网不仅能描述系统的静态结构,也能描述系统的动态行为;它既有易于理解的可视化表达,也有严格的数学基础;基于 Petri 网的流程模型不但可以从理论上对流程定义的正确性、合理性和良构性进行检验^[4],而且还有现成的基于 Petri 网的流程分析工具如 Wil van der Aalst 等开发的 Woflan^[5],所以 Petri 网是一个理想的工作流建模工具。

2.2 工作流动态性相关研究

EABWF-net 中要解决的关键问题是如何保证流程的动态变化性。WFMC 提出的元模型只定义了模型中的元素和元素被使用的时期^[6],没有具体说明如何支持 workflow 模型的动态变化性。文献[7]从体系结构的角度提出一个包含用户层、系统层和功能层的 3 层结构,通过各自层次的灵活模型定义和外部工具来支持动态和自适应性。文献[4]从异常处理的角度,根据 ECA 规则,提出了元类层、类层和实例层对异常事件实施不同的处理措施。文献[8]从模型的操作角度通过提供用户原语或命令操作形式进行人工干预来实现模型的动态变化。这些文献提出来的思路对解决动态变化的工作流都有一定的贡献,但是他们都是试图找到一个通用的解决办法。本文根据审批流程定义及其特点提出的 EABWF-net 模型是从模型的结构上来保证其支持动态变化性。

2.3 EABWF-net 模型

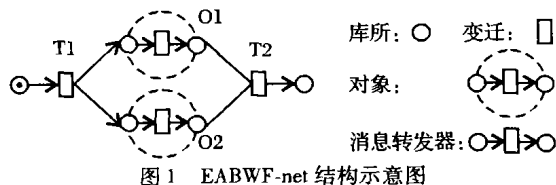


图1 EABWF-net 结构示意图

为了最大限度地模拟定义 1 中定义的审批流程,本文以面向对象 Petri 网思想为基础,结合规则机制和面向对象理论提出了 EABWF-net 模型。EABWF-net 模型由对象、用于对象之间消息转发的消息转发器、描述消息转发策略的规则库和事件库组成。对象可以是一个审批角色也可以是审批子网,审批子网是规模更小的 EABWF-net;对象之间的消息转发通过消息转发器来完成;用规则库来定义消息转发的策略;事件用来表明一个过程的相应的状态到另一个状态的转换;每一

类消息转发用一种事件来描述,规则库中具体规则通过事件来激活;托肯代表审批对象,它是消息的主体;弧代表托肯在对象之间的流动关系;点火条件:消息转发器中有待发消息,而且激活了规则库中的某条规则。在图形化描述中,消息转发器接收端口/发送端口和对象发送端口/接收端口用一个库所表示。EABWF-net 模型的基本结构如图 1 所示。在图 1 中, $O1, O2$ 为审批角色对象, $T1, T2$ 为消息转发器。

定义 2 (EABWF-net: Examination and Approval of Business Workflow net) 审批 workflow 网 = (O, T, R, M, E, F)

其中: O 代表对象集,且 $O = \{RO, SO\}$, RO 为审批角色对象, SO 为审批子网。 $T = \{T_i, i = 1, 2, 3, 4, \dots\}$ 且 $T \cap O = \emptyset$, IM, OM , 代表消息转发器集合,用变迁来表示。 R 为规则库,定义消息转发策略。 M 为对象和消息转发器之间传递的消息。 $E = \{E_i, i = 1, 2, 3, 4, \dots\}$, 代表事件集,描述系统所发生的事件,包括原子事件和复合事件。 F 为连接弧。存在一个开始库所 S ,使得 $\cdot S = \emptyset$ 。存在一个结束库所 E ,使得 $E \cdot = \emptyset$ 。

因为审批子网是规模更小的 EABWF-net,故该定义是一个递归形式的定义。这样可以保证建模时可以采用分层建模方式来降低总体的复杂度。

相关项定义如下:

1) 对象

对象可以描述审批角色,也可以描述审批子网,它包含有自身的属性和方法。对象在 EABWF-net 中用虚线圆来表示。对于审批角色对象,虚线圆内的变迁表示审批操作。每一个对象都有一个消息接收端口 (IM), 一个消息发送端口 (OM) 和一个任务列表。

定义 3 审批角色对象是一个 5 元组,即 $RO = (OM, IM, TaskList, Method, Property)$

其中: IM 代表消息接收端口, OM 代表消息发送端口。对于每个 RO , 只有一个 OM 和 IM 。 $TaskList = \{Todo_TaskList, Done_TaskList\}$ 代表任务列表,有待批任务列表和已批任务列表。 $Method = \{Method_i, i = 1, 2, 3, 4, \dots\}$ 代表方法集合,通过继承机制保证分层实现。 $Property = \{Property_i, i = 1, 2, 3, 4, \dots\}$ 代表对象的属性集。

2) 消息转发器

消息转发器在 EABWF-net 中用变迁来表示。消息转发器负责对象之间的消息转发。每个消息转发器都有一个消息队列、一个消息接收端口 (IM) 和一个消息发送端口 (OM)。消息转发器的消息接收端口和对象的消息发送端口相连,发送端口和对象的接收端口相连。

定义 4 消息转发器是一个 3 元组,即 $T = (OM, IM, MQ)$

其中: IM 代表消息接收端口, OM 代表消息发送端口。对于每个 T , 只有一个 OM 和 IM 。 MQ 代表消息队列,当接收到消息后直接放入到消息队列,然后根据规则库 R 判断该消息转发器是否使能,如果使能就立即发送该消息。当收到对象发送过来的确认消息后就立即从 MQ 中删除该条消息。

3) 消息

定义 5 消息,即 $M = (FO, TO, E, D, EF)$

其中: FO 代表消息发送对象, TO 代表消息接收对象; E 代表发送该消息时所代表的事件; D 代表审批对象,由控制域和非控制域组成; EF 为预留的扩展域,其形式根据不同的事件 E 由消息发送端口和接收端口解析。

消息的主体是审批对象。审批对象由控制域和非控制域

组成。控制域是指该域中的值会影响实例的流转路径,工作流引擎可以访问控制域数据,如费用报销中的金额,超过一万和不超过一万的申请可能走不同的审批路径。非控制域指该域中的值不会影响实例的流转路径,而仅仅是呈现给审批者的信息,它可以以附件的形式出现,工作流引擎不能访问非控制域数据。审批对象以消息内容的形式通过消息转发器实现流转,在图形化表示中审批对象用托肯来描述。

4) 事件和规则

事件是用来表示一个过程的相应的状态到另一个状态的转换,如流程结束事件的发生代表流程从运行状态到结束状态的转化。事件的主要作用是激活规则库中的某条规则。在正常情况下,规则通过条件分支来控制消息的流转;在异常的情况下,通过规则的参数(Par)指定消息的下一步流转方向。

定义 6 规则 $R = (Name, Par, E, C, A)$

其中:Name 代表该规则的名称;Par 代表输入参数,参数可以是 $0 \sim n$ 个;E 定义了规则的触发事件,可以是原子事件也可以是复合事件;C 代表分支条件;A 代表当满足条件 C 时需要执行的活动。

规则 R 采用脚本的方式来描述,其形式如下:

```
Rule 规则名[(Par1, ...)]           //规则命名及参数
ON E1                               //触发事件(或事件集)
IF Exception THEN
  { DO Exception (Par1, ...) }       //处理异常情况
ELSE{
  IF C1 THEN                         //条件分支
    { DO A1 }                       //执行活动(或活动集)
  ELSE {
    IF C2 THEN
      { DO A2 }
    ELSE
      { ... }
  }
END 规则名
```

3 EABWF-net 的建模实例

3.1 问题描述

以常见的请假申请审批流程为例来说明 EABWF-net 的建模方法。请假申请的正常流程如下:申请人首先填写一张请假申请单。请假申请单包括请假人、请假起止时间、请假类型、请假天数、请假理由和多个审批意见栏。其中请假类型包括年假、事假和病假。填好申请单后直接交给主管审批。主管的准假范围是年假且不超过 3 天或病假、事假且不超过 2 天,超出范围则交给部门经理。只有主管审批通过后,部门经理才参与审批。部门经理的准假范围是所有的年假或病假、事假且天数不超过 7 天,超出范围则交给总经理审批。总经理在部门经理审批通过后参与审批,且任何情况下一旦总经理同意则准假。在审批过程中,主管、部门经理、总经理三个环节一旦出现不同意则直接将请假申请单返回给申请人,申请人修改后则重新开始审批,申请人如果放弃则流程结束。

3.2 对请假申请建模

采用先静态后动态的方式建模,步骤如下:

1) 首先确定对象,然后分别对每个对象建模。请假申请中包含四个对象:申请人、主管、部门经理和总经理。

2) 确定审批对象及审批对象的控制域和非控制域。请假申请中的审批对象是请假申请单,其中控制域为请假类型、

请假天数、审批意见,其他均为非控制域。

3) 确定流程中的事件点。请假申请中的事件点有:流程开始事件、申请人申请事件、主管审批结束事件、部门经理审批结束事件、总经理审批结束事件、申请人放弃重新申请事件和流程结束事件。

4) 确定规则。

根据以上步骤,建立了如图 2 所示的请假申请流程模型。图 2 中包含一个起始库所 S 和一个结束库所 E,其他所有的节点都位于 S 到 E 的一条路径上。当我们去掉图 2 中的虚线圆时,它就是一张完全符合 2.1 中定义的 Petri 网。在该实例中,包含了审批角色对象,而没有涉及子网对象。从外部来看,子网对象同于审批角色对象,只是在内部结构上审批子网对象更加复杂,因为它本身就是一个规模更小的 EABWF-net。

由于篇幅限制,本文只给出对应于主管审批结束事件的规则,其他规则可以类推。

```
Rule AfterDirectorCheck (NextO[0..n])
//参数为在异常情况下消息需要发送的目的对象数组
ON E3                               //触发事件为主管审批结束
IF Exception THEN
  { Send Message To NextO[0..n] }    //异常情况处理
ELSE{
  IF Disagree THEN                  //判断主管是否同意
    { Send Message To O1 }           //不同意则将请假申请返回给申请者
  ELSE
    { IF (Type = '年假' and Date ≤ 3) or (Type < > '年假' and Date ≤ 2) THEN
      { Send Approve To T5 }          //准假
    ELSE
      { Send Message To O3 } }       //转发给部门经理审批
  }
END AfterDirectorCheck
```

当请假申请流程出现异常情况时,通过规则中的参数决定消息下一步需要发送的目的地。比如在主管审批结束时,需要跨越部门经理直接提交给总经理审批。在人机交互下,主管指定下一步审批人是总经理。于是 O4 被送到 NextO[0..n] 数组中,系统自动将该消息发送到总经理对象。

从图 2 可以看出,EABWF-net 描述的模型通过定义审批角色对象和引入消息变得更加贴近现实。同时利用基于脚本的规则来控制消息转发策略能更加灵活地适应审批工作流的动态变化性。

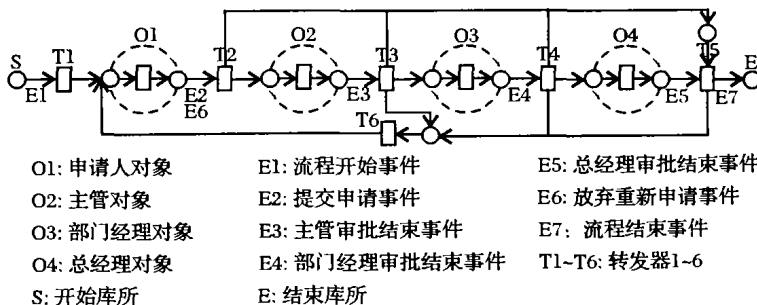


图 2 请假申请的 EABWF-net 表示

4 结语

本文在详细分析审批流程特点后,给出了审批业务的形式化定义,把审批业务抽象为审批对象按一定的规则在审批角色之间的异步传递及对审批对象的处理。并针对审批动态行为过程提出了一个采用以审批角色为中心,以消息为流转

```

End If;
End For;
 $k := k + 1$ ;
End While;
End.

```

输出: $S^k, k = 1, \dots, m$

对每一个用户会话应用该算法就可以生成所有的访问子序列,最终形成所有用户访问子序列。

2.7 会话序列的语义化

正如在传统的商店一样,要理解顾客的意图,必须从他走过的路径、查看过的商品(是否查看价格以及性能等详细资料)以及和店员的交流来进行判断。在电子商务环境下,要理解一个浏览过程所代表的含义,也必须把该用户浏览的页面的内容考虑进去^[2]。

2.7.1 url 的分类

为简化起见,可以将 url 分成 9 个类型,具体分类见表 3。

表 3 url 的分类

简写	类型名称	描述	路径中的关键词(举例)
H	Home	网站首页	/index.asp
A	Account	用户账号页,登录、修改用户信息	Account/, youraccount.asp, signin.asp
R	Search	搜索页	Search.asp
C	Category	目录分类页	/subjects/, /books/, /bargain/, /ebooks/, music/, video/, /boutiques/, /holiday.asp, /style.asp, /collection/, /comingsoon/, /recommended/, /topsell.asp
P	Product	详细产品信息,包括价格、性能、评论等	booksearch/isbninquiry.asp, enews/magazine/, /search/product.asp
I	Information	有关配送、订单状态、广告网页	help/, orderview.asp, review.asp
S	Shopping Cart	有关购物车的操作,如查看、删除等	shop/cart.asp, shop/shipping.asp, shop/payment.asp
O	Order	订单确认页(表示购买)	shop/confirm.asp
E	Enter/Exit	一个 Session 的开始或结束页	任何不包含网站域名或 IP 地址的 URL

2.7.2 根据 url 中的关键词对每一个 url 归类

归类的方法是根据 url 中出现的关键词,将用户会话序列中的 url 项转换为相应的网页类型。如 url:/shop/signin.asp?userid=xxx&mscssid=yyy 就归为类型 Account;而 url:/books/booksearch/isbninquiry.asp?userid=xxx&mscssid=yyy&isbn=0619034971 就归为类型 Product。这样得到的用户会话序列就形如(简化形式): HIPPPPSASSSSOIAAAHCCPCCCCCE。

使用这种会话序列作为挖掘的数据,得到的规则和模式更加有趣。文献[5]运用类似分类方法进行用户聚类,得到 4 种类型的访问者模式:非常爽快的购买者、正在搜集信息的未来购买者、消遣型的浏览者以及单纯的信息获取者。文献[2]使用这样的访问序列,通过构造动态的多元 Probit 模型、层次 Bayesian 方法和隐马尔可夫模型来预测用户购买率。

3 结语

本文对电子商务网站的用户访问模式挖掘中数据预处理阶段所采用的技术做了全面的研究,特别重点介绍了如何清除由搜索引擎 Robot 产生的访问记录的技术、框架网页过滤

技术,以及用户会话子序列和用户会话语义序列的生成方法。下一步的工作是从预处理的得到的数据挖掘出更有意思的用户访问模式,以更好地识别和理解用户的访问行为,从而提高电子商务网站的竞争力。

参考文献:

- [1] SEIGER M, MADSEN MR, LANGSTON J, *et al.* 点击流数据仓库 [M]. 陆昌辉, 张光剑, 陈佐, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] MONTGOMERY AL, LI S, SRINIVASAN K, *et al.* Predicting Online Purchase Conversion Using Web Path Analysis [EB/OL]. <http://gsbwww.uchicago.edu/kilts/research/qme/papers/onlinepurchase.pdf>, 2003.
- [3] COOLEY R, MOBASHER B, SRIVASTAVA J, *et al.* Data preparation for mining world wide Web browsing patterns [J]. Knowledge and Information Systems, 1999, 1 (1): 17-24.
- [4] 王实, 高文, 李锦涛. 基于用户访问事务文法的序列关联规则发现 [J]. 软件学报, 2001, 12(10): 1503-1509.
- [5] MOE WW. Buying, Searching, or Browsing: Differentiating between Online Shoppers Using In-Store Navigational Clickstream [J]. Journal of Consumer Psychology, 2003, 13 (1/2): 29-40.

(上接第 690 页)

机制,以脚本形式的规则为流程控制逻辑的形式化模型 EABWF-net。该模型不但更加直观、清晰地描述审批业务而且更加灵活,更具有动态调整性。同时该模型实现了分层建模,可将系统的复杂问题逐层分解,从而降低系统的复杂度。EABWF-net 中定义的框架不但适合于审批工作流,对于其他以对象为中心的流程同样适用。

参考文献:

- [1] WPMC. WPMC-TC-1003, The Workflow Reference Model [S], 1995.
- [2] MURATA T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580.
- [3] 袁崇义. Petri 网原理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 12-13.

- [4] CHIU DKW, LI Q, KAMALAKAR K. A mata modeling approach to workflow management system supporting exception handling [J]. Information system, 1992, 24(2): 159-184.
- [5] van der AALST W, van HEE K. Workflow Management - Models, Methods and Systems [M]. MIT Press, 2002. 184-186.
- [6] WPMC. WPMC TC-1016-P, Interface 1: Process Definition Interchange Process Model [S], 1999.
- [7] KAMMER PJ, BOLCER GA, TAYLOR RN, *et al.* Techniques for supporting dynamic and adaptive workflow [J]. Computer supported cooperative work, 2000, 9(3/4): 269-292.
- [8] MANFRED R, PETER D. 1997-07, ADEPT flex - supporting dynamic changes of workflows without losing control [R]. University of Ulm, Germany, 1997.