

一种基于 RGPS 着色的 C-net 模型及其应用

黄贻望^{1,2} 何克清¹ 冯在文¹ 黄颖^{1,3} 谢芳^{1,4}

¹(软件工程国家重点实验室(武汉大学计算机学院) 武汉 430072)

²(铜仁学院数学与计算机科学系 贵州铜仁 554300)

³(赣南师范学院数学与计算机学院 江西赣州 341000)

⁴(湖北工业大学计算机学院 武汉 430068)

(hywcxq-1@163.com)

A Colored C-net Model Based on RGPS and Its Application

Huang Yiwang^{1,2}, He Keqing¹, Feng Zaiwen¹, Huang Ying^{1,3}, and Xie Fang^{1,4}

¹(State Key Laboratory of Software Engineering (School of Computer, Wuhan University), Wuhan 430072)

²(Department of Mathematics and Computer Science, Tongren College, Tongren, Guizhou 554300)

³(College of Mathematics and Computer Science, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 341000)

⁴(School of Computer, Hubei University of Technology, Wuhan 430068)

Abstract Configurable business process model describes the family of the similar process model for particular domain; it can derive the individual process model meeting the particular users' requirement by some configuration operations. This paper provides a configurable business process model with the constraints of role and goal, which is obtained by add role and goal to the core model element—the activity of the causal nets (C-net). Then it guides the execution sequence of the activities of business process through the constraint rules and relationship along the role-goal-process-service of the RGPS requirement meta-model framework, so that it enables the model to reflect the behavior of business process efficiently. Finally, it sets the label function of configuration operation label to the input/output binding ports of activity, thus the individual process is formed by assigning the concrete configuration operation label to the ports. In this paper, the formal definitions of the proposed model are given and its application in the configuration on the business process is analyzed, so that it can be utilized to guiding the configuration management of business process.

Key words configurable business process; activity; colored C-net; RGPS; configuration

摘要 可配置业务流程模型描述面向领域的相似流程模型家簇,这种模型能够通过配置操作获取满足特定用户需求的个性化流程模型.提出一个在角色和目标约束下以流程为中心的可配置业务流程模型,首先对因果网模型(C-net)进行扩展,将该模型中的活动元素增加角色和目标两个约束关系,从而利用RGPS需求元模型框架中对角色(R)、目标(G)、流程(P)、服务(S)之间的约束规则和关联关系去约束业

收稿日期:2013-04-20;修回日期:2014-03-06

基金项目:国家“九七三”重点基础研究发展计划基金项目(2014CB340404);国家自然科学基金项目(61373037,61100017,61202031);国家科技支撑计划基金项目(2012BAH07B01);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2012211020201);贵州省科学技术厅、铜仁市科学技术局、铜仁学院联合基金项目(黔科合J字LKT[2012]04号)

通信作者:冯在文(zwfeng@whu.edu.cn)

务流程活动之间的执行序列,使得模型有效反映了业务流程活动中的实际行为;然后将活动的输入绑定和输出绑定端口设置配置操作标记,通过对端口配置标记的操作形成个性化流程;最后,给出了模型的形式化定义并分析模型在业务流程配置中的应用,使得能够指导业务流程的配置等管理操作。

关键词 可配置业务流程;活动;着色 C-net;RGPS;配置

中图法分类号 TP311.5

云计算技术的快速发展促使业务流程管理^[1-3]发生巨大变化,越来越多的组织或用户将共享公共的业务流程通过对公共业务流程的个性化操作获取特定流程。跨组织业务流程是运行在云架构中特定的相似流程变体,它们的共同点是:一方面这些组织共享一个云架构(业务流程、数据库等);另一方面可以根据需求对公共的流程模型进行个性化操作获取流程变体^[4]。可配置业务流程模型使得不同组织以可控的方式去共享公共流程成为可能,这种模型表示一个流程模型簇(多个普通流程的集合)^[5-7],其可以根据用户特定需求进行相应的配置操作,从而约束用户行为以满足特定用户或组织的需求。因此,可配置业务流程模型的研究成为云计算中的一个热点问题。

当前可配置业务流程模型研究集中在传统参考模型的基础上,将模型中可变点添加相应的配置操作而形成的业务流程模型家族。参考模型^[1-3]是通过手工或依赖于设计分析人员经验积累的方式设计而成的,而在实际应用过程中不同的流程变体应该在参考流程模型中得以体现,而且是可以灵活选择的。然而传统的参考流程模型和相应的模型语言如 EPC, BPML, YAWL 等都未能提供这种流程变体中的可变特征的支持。因此,参考流程模型集中于业务流程的公共特征而缺少可变点的选择和配置决策。可配置业务流程模型就是为了解决参考模型对可变特征的支持不足而提出的,研究的关键是在传统建模语言的基础上根据领域中个性化需求找出模型中的可变点^[8-9];然后对可变点作一个配置操作函数,从而使得在流程配置时会根据用户特定需求和指导对可变点指派一个具体的配置操作值。

现有的可配置业务流程建模语言主要是通过增加表达可变点的选择和配置决策的能力来表示可配置业务流程模型,这些研究的形式化语义基础都是基于局部确定性的,因此对业务流程的全局语义支持存在一定的不足。荷兰学者 Wil 等人^[5-7]提出了一种反映业务流程中活动之间的因果依赖关系的流程

模型 C-net,由于 C-net 模型表示了活动之间的因果依赖关系,从而使得流程的执行语义表现为全局依赖。但由于 C-net 模型仅从控制流的角度考虑业务流程的行为,而未能考虑业务流程中的数据、资源、需求等因素,而这些因素对业务流程所表达的语义行为又是非常重要的。为解决这个问题,本文在基于 C-net 模型的基础上,以 RGPS^[10-12]需求元模型框架为指导,提出一个在角色和目标约束下的可配置业务流程模型,用表单记录每个活动所处的角色和目标状态(表现为业务流程的需求角度),该表单称为 *form*,因此 *form* 可以在 RGPS 框架的指导下对 C-net 模型中活动的执行加以约束,用以指导业务流程配置等管理操作。

1 基础知识

C-net 是 Wil 等人为可配置业务流程而提出的一种图形化的数学模型^[5],反映了流程活动间的因果依赖关系。其组成要素是结点-活动(事件)、弧(结点之间的连接),每个结点都有一个输入和输出绑定集合(因果依赖关系),起始结点是输入绑定为空的结点,终止结点是输出绑定为空的结点。C-net 中的路由逻辑是由输入和输出绑定关系来表示的,绑定序列有效当且仅当活动在绑定关系上满足因果依赖关系,整个流程模型 C-net 中存在多个有效序列集,即存在多条相应的执行行为。C-net 与其他模型语义不同之处:通过有效的绑定去限制可能的行为,因此消除了业务流程模型中各种异常行为,减少了模型的状态空间。有关 C-net 详细的语法和语义请参考文献^[5-7]。

在互联网服务资源极其复杂的情形下,全面反映用户的需求是极为重要的课题。武汉大学软件工程国家重点实验室提出 RGPS 需求元建模框架^[10-12],用来指导将混乱无序的需求信息整理成协同有序的结构化需求规格, RGPS 是根据网络式软件用户需求的特点进行构造的,包括角色(R)、目标(G)、过程

(P)、服务(S)4个层次,分别构造了这4个层次的元模型,同时建立了4个层次之间的关联关系.在RGPS需求元建模框架的基础上,可以支持用户的个性化需求从不同的层次以不同的粒度提出,同时有助于建立规范化的需求规格表示方式.

在C-net模型和RGPS需求元模型框架的基础上,图1(小图中的RGPS模型请参考文献[13-14])给出了在RGPS需求元模型指导下的基于R&G约

束可配置业务流程模型框架.该框架是在RGPS需求元模型框架的基础上,通过对特定领域问题进行建模分析,抽取领域R&G之间的依赖关系和关联规则,使用表单form记录R&G之间依赖关系和关联规则的状态信息.该表单作为C-net中活动的一部分去约束活动的执行,得到一个C_{form}-net,然后通过用户个性化配置操作派生出满足用户需求的普通业务流程,最后通过流程实例化运行.

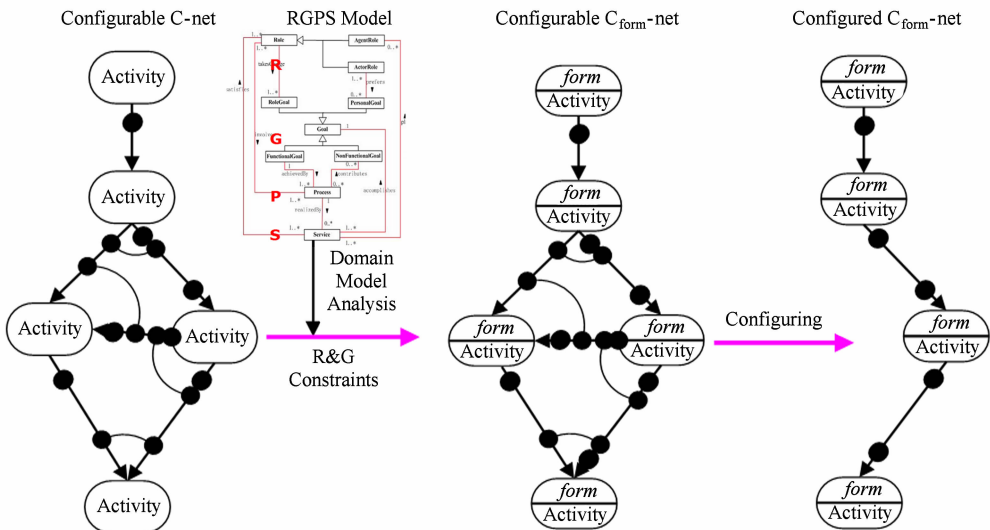


Fig. 1 Framework of the configurable business process model with R&G constraints.

图1 R&G约束的可配置业务流程模型框架

2 基于 R&G 约束的可配置业务流程模型

2.1 场景说明

图2是用C-net表示旅游申请审批的业务流程模型,在这个业务流程模型中,每个活动的输入输出绑定依赖关系都用绑定符——实心圆圈表示(如果只有1个输入或输出活动依赖的情形其绑定符省略),模型中有一个明确的起始活动和终止活动.在图2中,每个活动都有一个简化的符号表示,如活动“旅游申请”用 a_1 来表示,其他活动都有类似的表示.在该模型中,每个活动都有需要完成的目标和执行此活动的角色,包括3个要素:活动、角色和目标,如活动“国内旅游查询(a_3)”,其活动的目标是国内旅游,完成这个目标的角色是系统管理员,其他活动类似,表1为图2模型中每个活动所关联的角色和目标.

在这个业务流程模型中,首先在执行活动 a_1 会有两个不同的目标请求,即国际旅游或国内旅游,它

们的申请流程复杂程度不同,视为是旅游申请中由于目标引起的两个流程变体,即由活动序列 $t_1 = \{a_i, a_1, a_3, a_9, a_o\}$ 组成一个国内旅游需求的流程变体,或由活动序列 $t_2 = \{a_i, a_1, a_2, a_4, a_5, a_8, a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{17}, a_o\}$ 组成一个国际旅游需求的流程变体;当国际旅游申请子流程中在执行活动 a_4 或 a_5 时,在填写旅游表格时由于填写申请单的角色不同也会导致两种不同流程变体,因此,可将这种可配置业务流程模型看作是角色(R)和目标(G)约束下的业务流程模型簇(后面一律用R&G表示角色和目标约束),通过这个可配置模型进行角色和目标个性化得到一个可执行的普通业务流程模型.在业务流程每项活动的执行过程中都有其相应的前驱活动完成的输出信号,把这些输出信号抽象为R&G两个要素,实质上活动之间传递的就是R&G信息的转换.将活动所关联的R&G的信息统一使用前述的form进行记录,某项活动执行完成后的R&G状态反映在form为填写相应表格内容或是标明完成情况,因此,每项活动的执行完成都会对form进行相应操

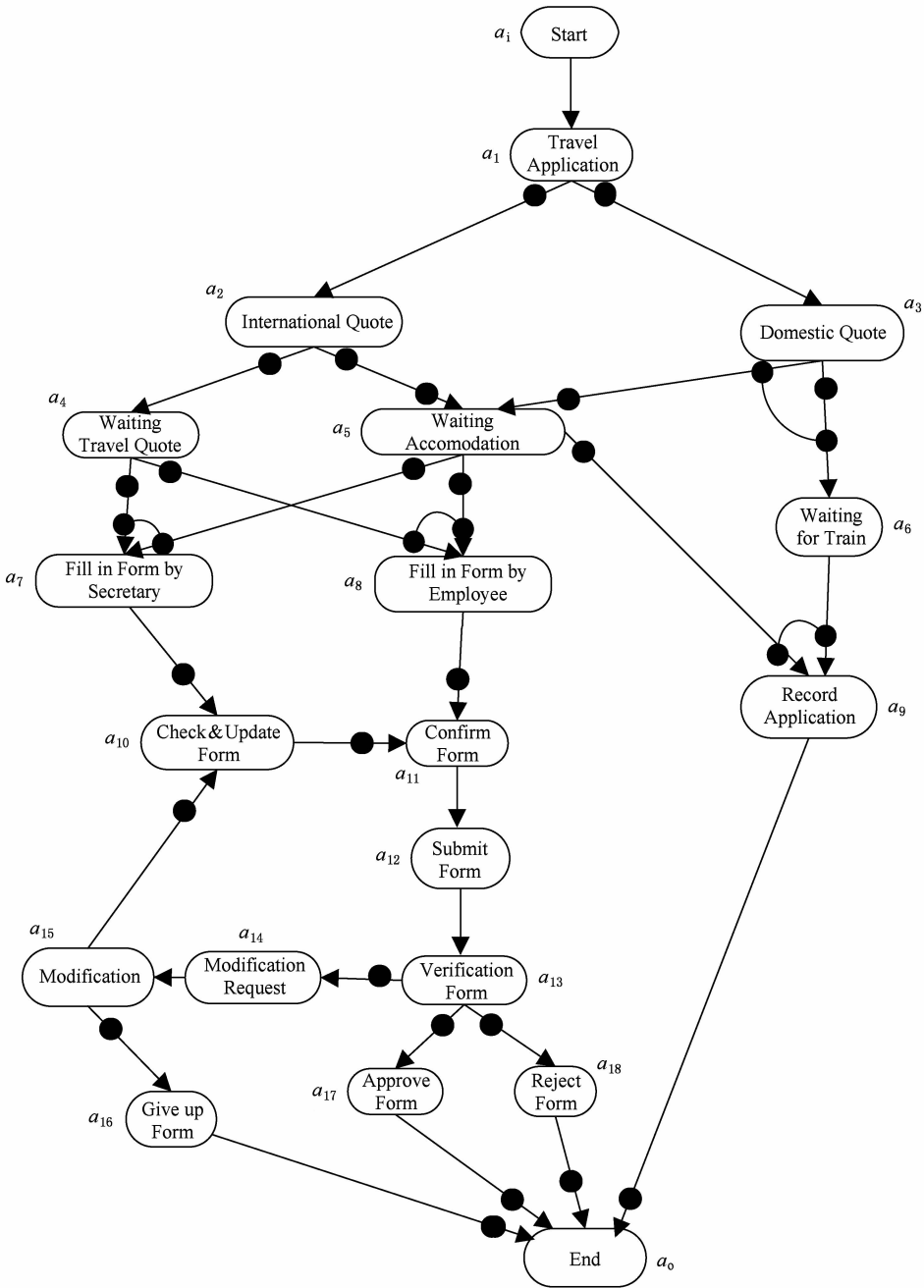


Fig. 2 The travel C-net model of business process model.
图 2 旅游申请的业务流程 C-net 模型

作,改变 *form* 的状态,留下执行的轨迹,以保证最后表单的完成情况. 可将 *form* 表示为活动或任务完成信号的载体,每项活动是改变 *form* 状态的一个映射 $f: form \rightarrow form$. 通过这个表单中的 R&G 两个要素中的层次关系和要素之间的依赖关系确定可变点,可以约束业务流程的配置等操作.

图 3 所示为一个可配置业务流程在 R&G 约束下的部分个性化过程,执行旅游申请活动 a_1 时,如果旅游目标表达式 $form_2$. Goal=“International travel”

为真,则活动流程执行左边分支部分(如图 3 所示),否则执行右边部分,只标出表单的目标部分. 对于角色的情形相类似,在国际旅游的表格填写时,可以由两种不同的角色来完成:秘书和职员,如果 $(form_5$. Role=“employee”) $\wedge$ $(form_6$. Role=“employee”) 为真,表示由职员完成表格的填写,则可直接确认表格;否则,还需职员的验证,然后是表格的确认. 因此,可以由两种不同的流程变体来完成表格的填写,由图 3 所示的 C-net 称为 C_{form} -net.

Table 1 The Corresponding Role and Goal of Activities in C-net

表 1 C-net 活动所关联的角色和目标

Activity Name	Sign	Corresponding Goal	Corresponding Role	Activity Name	Sign	Corresponding Goal	Corresponding Role
Start	a_i	g_i (Travel)	App (applicant)	Check&-Update Form	a_{10}	g_{12} (Check&-update)	Emp (employee)
Travel Application	a_1	g_1 (Application)	App (applicant)	Confirm Form	a_{11}	g_{13} (Confirmation)	Emp (employee)
International Quote	a_2	g_2 (International)	Quo (query)	Submit Form	a_{12}	g_{14} (Submittal)	Emp (employee)
Domestic Quote	a_3	g_3 (Domestic)	Quo (query)	Verification Form	a_{13}	g_{15} (Verification)	Adm (administrator)
Waiting Travel Quote	a_4	g_6 (Travel Quote)	App (applicant)	Modification Request	a_{14}	g_{16} (Form's Dispose)	Emp (employee)
Waiting Accommodation	a_5	g_7 (Accommodation)	App (applicant)	Modification	a_{15}	g_{16} (Modification)	Emp (employee)
Waiting for Train	a_6	g_8 (Train Quote)	App (applicant)	Give up Form	a_{16}	g_{19} (Abandonment)	Emp (employee)
Fill in Form by Secretary	a_7	g_{10} (Fill in by Secretary)	Sec (secretary)	Approve	a_{17}	g_{17} (Approval)	Emp (employee)
Fill in Form by Employee	a_8	g_{11} (Fill in by Employee)	Emp (employee)	Reject	a_{18}	g_{18} (Rejection)	Emp (employee)
Record Application	a_9	g_9 (Record)	Emp (employee)	End	a_o	g_{19} (Accomplishment)	Emp (employee)

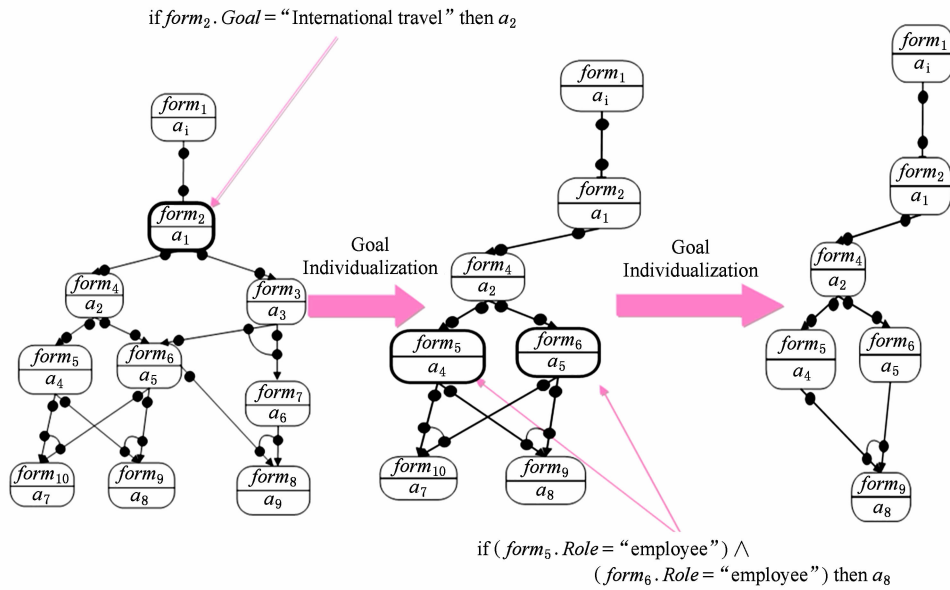


Fig. 3 Individual procedure of configurable business process model.

图 3 可配置业务流程的个性化过程

2.2 C_{form}-net 的配置操作

基于流程行为继承理论^[9-13,15-16],通过捕获参考模型中所有流程变体行为的方法,将多个流程变体合并成包含所有流程变体共性和可变性的可配置业务流程模型,在该模型中,可变点是由可配置的结

点或路由网关表示的.通过配置这些可变点,参考流程模型的行为能够在给定情景下进行个性化定制.本文采用行为继承理论对 C_{form}-net 中核心模型元素活动的输入和输出端口行为进行 3 种配置操作的设置:enabled,hidden,blocked.配置操作的含义:

blocked——后继活动将不被执行,则后继状态也不可达;hidden——表示当前活动的执行不可观察,而后继动作需要继续执行,相应状态可达,当前活动称为哑活动;enabled——作为常规的执行活动.图4表示活动的输入和输出绑定端口的配置方法:

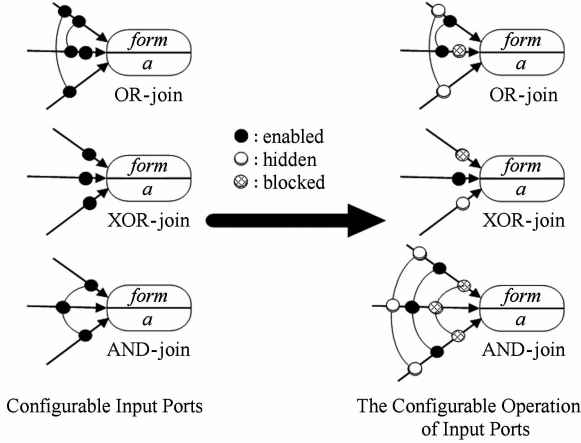


Fig. 4 The binding sequences configuration of input port of configurable activity.

图4 可配置活动输入端口绑定序列的配置

图4表示活动输入端口流的配置操作,假定活动 a 的3个前驱活动从上到下依次是 b, c, d ,当活动 a 的输入绑定模型为OR-join时,活动 a 有3种输入绑定活动序列: bd, bc 或 c .针对每个绑定活动序列都有3种配置操作:enable(实心绑定符),hidden(空心绑定符)或blocked(交叉绑定符).当活动 a 的输入绑定序列为 bc 时,由图4可知,如该绑定序列被设置为enabled,则该活动正常执行,然后根据其输出绑定端口执行后继活动;当输入绑定序列为 bd 时,图中设置为hidden,则活动 a 的执行是不可观察的,即它的执行既不消耗资源(无需输入),也不产生资源(无输出),该活动对其他活动是透明的,但此活动的后继活动需要正常执行,实质上是相当于跳过活动 a ,因此,活动 a 称为哑活动(silent action);如果 a 活动的输入绑定序列是 c 时,由于设置的配置操作是blocked,则阻塞此活动,该活动相关联的后继活动也相继停止执行,对于其他两种输入绑定类型(XOR-join, AND-join)中的绑定序列在配置时有相似的配置操作.同理,活动的输出端口流的有相似的配置操作.

对于enabled配置操作,输入和输出端口流两种配置操作的行为语义是相同的;对配置操作hidden来说,在活动的输入绑定端口中是隐藏的当前的活

动,而在输出绑定端口中是隐藏当前活动执行后即将要执行的后继活动;对配置操作blocked,阻塞的活动是前驱活动和它的后继活动,当前活动未执行,而在输出绑定端口中,阻塞的活动不包括当前活动,即当前活动执行完毕.可配置业务流程模型是包含多个流程变体的共性和可变特征的参考模型,属于业务流程设计时的模型,是不能用来执行的,需要根据用户需求对模型可配置的输入和输出端口进行配置,得到满足用户个性化需求的特定流程变体,然后转换成可执行的流程实例,调用相关的应用服务执行.

2.3 相关定义

针对业务流程可以看作是由活动组成的序列,因此活动是业务流程建模的基本模型元素,下面对约束活动的几个要素和扩展的C-net进行形式定义.

首先假定一个业务流程的活动集,即设 A 为模型设计时业务流程的有限活动集.

定义1. 角色模型.形式表示为三元组 $Role = (R, \rightarrow_R, f_{R-A})$,其中:

R 为角色集合; $\rightarrow_R \in R \times \{D, E, H, I\} \times R$ 为角色之间的关系,其中 D 为依赖关系(dependence), E 为互斥关系(exclusive), H 为上下级关系(hierarchy), I 为独立关系(independent),如果两个角色 r_1 和 r_2 是互斥关系,则有: $r_1 E r_2$; $f_{R-A}: R \rightarrow 2^A$ (2^A 为活动的幂集)是角色关联的活动函数.

如图2中, $R = \{App, Quo, Sec, Adm, Emp\}$.每个角色都负责相关职责内的活动,如旅行社秘书负责的活动是 $a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}$,用关联函数表示为 $f_{R-A}(Sec) = \{a_7, a_{10}, a_{11}, a_{12}\}$.

定义2. 目标模型^[17].形式表示为四元组 $Goal = (G, \zeta, D, f_{G-A})$,其中: G 为目标集合,包括组合目标和原子目标,组合目标是可分解的目标,而原子目标是不可分解的目标(相当于流程中的任务); ζ 为表示目标之间的约束关系,即 $\zeta \in G \times \{\rightarrow_{pre}, \rightrightarrows\}$, $\rightarrow_{pre}$ 是各子目标之间的前后链接关系,满足传递性质,如 $((g \rightarrow_{pre} h) \vee (h \rightarrow_{pre} j)) \Rightarrow g \rightarrow_{pre} j$,表示目标之间的简单时序属性, $\rightrightarrows$ 为两个子目标之间存在的互斥关系; D 为目标分解关系,即 $D \in G \times \{OR, AND\} \times G$; $f_{G-A}: G \rightarrow 2^A$ (2^A 为活动的幂集)为目标关联的活动函数.

图5是由定义2可得到相应的旅游申请目标模型(流程中的初始目标为 g_1 ,流程结束时的目标为

g_{19} , 在图中省略), 目标之间有两种关系: 第 1 种为分解组合关系: 1) AND 为分解关系, 当全部子目标都完成时父目标才满足, 可用命题逻辑公式表示, 如图 5 中 $g_2 \equiv g_4 \wedge g_5$; 2) OR 为分解关系, 则当子目标中 1 个或多个目标完成时父目标就会满足, 图 5 中可用命题逻辑公式表示 $g_{15} \equiv g_{16} \vee g_{17} \vee g_{18}$. 第 2 种为目标之间的约束关系: 1) 前驱链接关系: $\rightarrow_{pre}$,

图 5 中 $g_7 \rightarrow_{pre} g_9$, 即目标 g_7 一定在目标 g_9 之前完成, 可用命题逻辑公式表示为 $g_9 \Rightarrow g_7$; 2) 互斥关系: $\rightarrow$, 两个目标是互斥完成关系, 即满足一个目标时另一个目标不能成立, 如 $\exists g_1, g_2$, 满足 $g_1 \rightarrow g_2$, 则用命题逻辑公式表示为 $g_1 \Leftrightarrow \neg g_2$. 同时, 由图 2 可知每个目标关联相应的活动, 即 $f_{G-A}(g_1) = \{a_1\}$, 用括号中的符号表示.

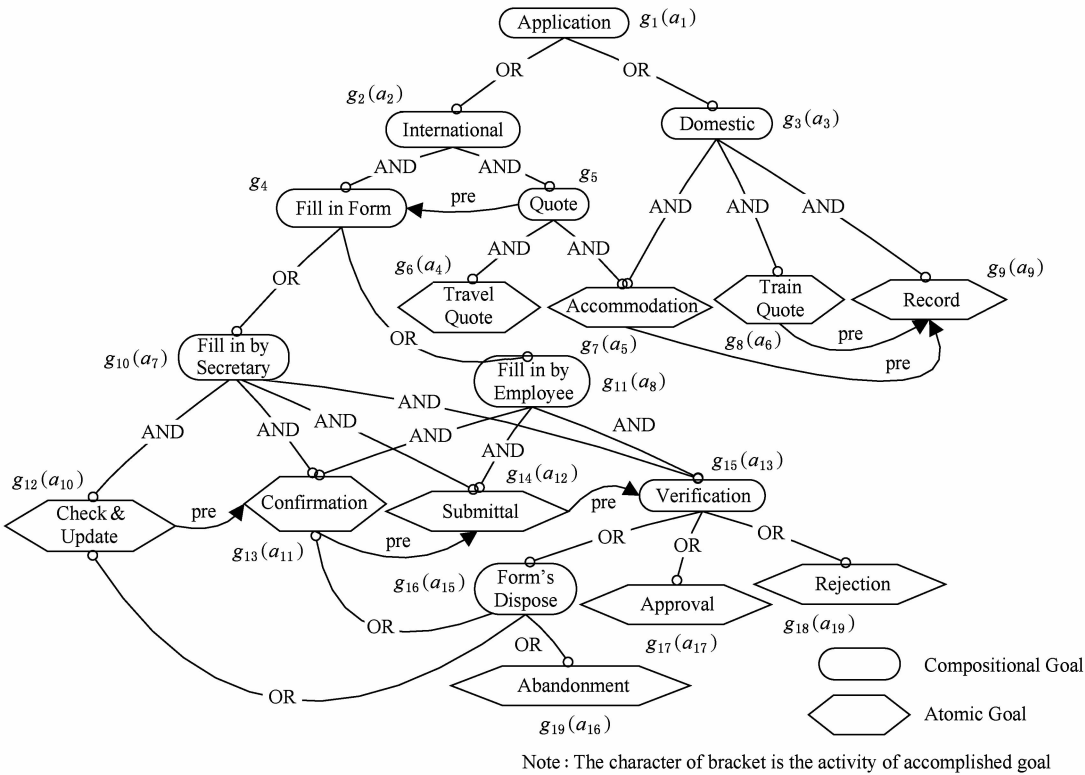


Fig. 5 The corresponding goal model of the Fig. 2.
图 5 图 2 中相应的目标模型图

定义 3. 表单(*form*). 用于记录与活动相关的 R&G 约束状态, 表示为二元组 $form = (f_{AR}, f_{AG})$, 其中, $f_{AR}: A \rightarrow 2^R$ (2^R 为角色的幂集) 是活动关联角色的函数; $f_{AG}: A \rightarrow 2^G$ (2^G 为目标的幂集) 是活动关联目标的函数.

定义 4. 活动(activity). 表示为二元组 $a = (id, form)$, $id \in A$ 为活动名称, $form$ 为活动的表单, 表明活动关联相应的角色和目标.

在图 2 中, 对于活动为 a_5 来说, $a_5.id =$ “酒店住宿查询等待”, $a_5.form = (\{Emp\}, \{g_7\})$, 即活动 a_5 所关联的角色和目标(图 5 中活动 a_5 关联的目标), 则 $a_5 = (\text{“酒店住宿查询等待”}, (\{Emp\}, \{g_7\}))$.

如果整个业务流程由活动组成, 就可看作在表单约束下的活动集, 然后用 C-net 中的活动流模型去表示这种活动的逻辑执行. 按照 C-net 中的定

义^[9-11], 对加 R&G 约束的活动进行形式化定义, 通过 R&G 去约束活动间的绑定关系, 将 R&G 约束后的 C-net 称为 $C_{form}\text{-net}$.

定义 5. $C_{form}\text{-net}$. 一个七元组 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$, 其中: A_{form} 为有限活动集; a_i 表示起始活动; a_o 表示终止活动; $D_{form} \subseteq A_{form} \times A_{form}$ 表示在表单约束下的活动依赖关系; $I_{form} \in 2^{A_{form}}$ ($2^{A_{form}}$ 是 A_{form} 的幂集) 是在表单约束下每个活动的输入绑定集; $O_{form} \in 2^{A_{form}}$ ($2^{A_{form}}$ 是 A_{form} 的幂集) 是在表单约束下每个活动的输出绑定集.

图 6 是将图 2 的旅游申请 C-net 模型图由定义 5 通过表单 $form$ 进行扩展而得来的 $C_{form}\text{-net}$ 模型, 在该模型中每个活动都绑定一个相应的表单 $form_i$, 指定了活动的目标以及完成活动的角色, 如对于活动 a_4 绑定的表单为 $form_5$, 记录执行活动 a_4

其目标和角色的状态,即 $form_5 = (Sec, g_{10})$, 角色 Sec 为秘书, 目标为 g_{10} 填写表格, 其他活动类似。

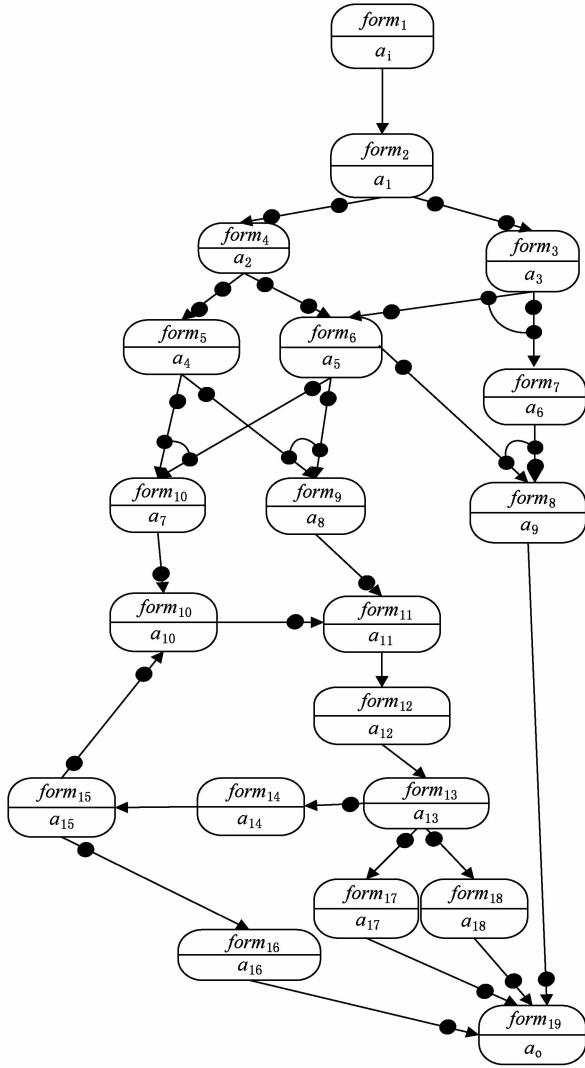


Fig. 6 The C_{form} -net model.

图 6 C_{form} -net 模型

绑定度 (binding degree): $d(s) = |\forall s \in (I_{form}(a) \vee O_{form}(a))|$, 即某个活动 $a \in A$ 绑定集中每个绑定的活动个数。

绑定模型: 在一个活动 a 的输入绑定集 $I_{form}(a)$ 中, 其输入绑定模型 (XOR, OR, AND) 由式 (1) 决定:

$$B_m^{in}(a) = \begin{cases} \text{AND, } |I_{form}(a)| = 1, \\ s \in I_{form}(a) \rightarrow d(s) = |a|; \\ \text{OR, } |I_{form}(a)| \geq 2, \\ \exists s \in I_{form}(a) \rightarrow |a| > d(s) \geq 2; \\ \text{XOR, } |I_{form}(a)| \geq 2, \\ \forall s \in I_{form}(a) \rightarrow d(s) = 1. \end{cases} \quad (1)$$

同理, 对于输出绑定集 $O_{form}(a)$ 活动 a 的输出绑定模型 (XOR, OR, AND) 由式 (2) 决定:

$$B_m^{out}(a) = \begin{cases} \text{AND, } |O_{form}(a)| = 1, \\ s \in O_{form}(a) \rightarrow d(s) = |a|; \\ \text{OR, } |O_{form}(a)| \geq 2, \\ \exists s \in O_{form}(a) \rightarrow |a| > d(s) \geq 2; \\ \text{XOR, } |O_{form}(a)| \geq 2, \\ \forall s \in O_{form}(a) \rightarrow d(s) = 1. \end{cases} \quad (2)$$

对输入和输出绑定模型进行分解主要是为了区分输入与输出端口的类型, 以便对其进行配置操作。如在图 6 中, 活动 a_5 有两个绑定序列, 分别是 $\{a_3\}$ 和 $\{a_2\}$, 但它们的执行是互斥关系, 因此, $B_m^{in}(a_5) = \text{XOR}$, 而 a_8 同样有两个绑定序列 $\{a_4\}$ 和 $\{a_5\}$, 在执行时要求这两个活动都执行完才触发活动 a_8 的执行, 因此 $B_m^{in}(a_8) = \text{AND}$; 对输出绑定来说, $B_m^{out}(a_3) = \text{OR}$ 。

定义 6. C_{form} -net 的绑定 (binding)^[9]. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, $\beta_a = \{(a, a_{form}^I, a_{form}^O) \in A_{form} \times 2^{A_{form}} \times 2^{A_{form}} \mid a_{form}^I \in I_{form}(a) \wedge a_{form}^O \in O_{form}(a)\}$ 是活动 a 的绑定, 则 $B = \{\beta_a \mid a \in A_{form}\}$ 是 C_{form} 的所有活动集, σ 是活动的绑定序列, 如 B^* 为绑定活动的克林闭包, 则 $\sigma \in B^*$ 。

定义 7. C_{form} -net 绑定的活动状态. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, $S = IB(A_{form} \times A_{form})$ 是 C_{form} -net 的活动状态对集合, 即一个等待执行的任务集. 对任何的绑定序列 σ , 有函数 $\phi_A \in B^* \rightarrow S$ 归纳定义如下:

$$1) \phi_A(\langle \rangle) = [\square];$$

$$2) \phi_A(\sigma \oplus (a, a_{form}^I, a_{form}^O)) = (\phi_A(\sigma) \setminus (a_{form}^I \times \{a\})) \cup (\{a\} \times a_{form}^O), \text{ 即 } \phi_A(\sigma) \text{ 为执行绑定序列 } \sigma \text{ 后所处的状态.}$$

定义 8. C_{form} -net 绑定的角色状态. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, $B_R \subseteq R$ 是绑定的角色集, 对任何的绑定序列 σ , 则函数 $\phi_R \in A_{form} \rightarrow B_R$ 归纳定义如下:

$$1) \phi_R(\langle \rangle) = \{\};$$

$$2) \phi_R(\sigma \oplus (a, a_{form}^I, a_{form}^O)) = (\phi_A(\sigma)) \cup (f_{A-R}(a)), \phi_R(\sigma) \text{ 为当前绑定状态所对应的角色集.}$$

如图 6 中的一个绑定序列 $\sigma = \langle (a_i, \phi, \{a_1\}), (a_1, \{a_i\}, \{a_3\}) \rangle$, 该序列是业务流程的一个简单变体, 表示国内旅游且是不用住酒店的一日游, 其相应每一步的绑定状态所对应的角色集为 $\phi_R(\langle \rangle) = \{\}$, $\phi_R(\langle (a_i, \phi, \{a_1\}) \rangle) = f_{A-R}(a_i) = \{App\}$, $\phi_R(\langle (a_i, \phi, \{a_1\}), (a_1, \{a_i\}, \{a_3\}) \rangle) = \{App\} \cup f_{A-R}(a_1) =$

$\{App, Emp\}$, 即每绑定一个活动就将相应的角色加入到角色集中。

定义 9. C_{form} -net 绑定的目标状态. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, $S_G = IB(G \times G)$ 是 C_{form} 关联的目标状态对空间, 对任何的绑定序列 σ , 函数 $\psi_G \in A \rightarrow S_G$ 归纳定义如下:

- 1) $\psi_G(\langle \rangle) = \{\}$;
- 2) $\psi_G(\sigma \oplus (a, a_{form}^I, a_{form}^O)) = (\psi_G(\sigma)) \cup (f_{AG}(a) \times f_{AG}(a_{form}^O))$, 且 $\forall (g_i, g_j) \in \psi_G(\sigma), \exists R_G, g_i R_G g_j$, 为绑定时的目标状态。

在图 6 中有一个从起始活动 a_1 开始到终止活动 a_9 结束的一个绑定序列: $\sigma = \langle (a_i, \phi, \{a_1\}), (a_1, \{a_i\}, \{a_3\}), (a_3, \{a_1\}, \{a_5, a_6\}), (a_6, \{a_3\}, \{a_9\}), (a_5, \{a_3\}, \{a_9\}), (a_9, \{a_5, a_6\}, \{a_o\}), (a_o, \{a_9\}, \phi) \rangle$, 由定义 9 可得出其相应目标状态: $\psi_G(\langle \rangle) = \{\}$; $\psi_G(\langle (a_i, \phi, \{a_1\}) \rangle) = \psi_G(\langle \rangle) \cup (f_{AG}(a_i) \times f_{AG}(a_{form}^O)) = \phi \cup \{(g_1, g_2)\} = \{(g_1, g_2)\}$, 依次使用定义 9 中的步骤 2) 可得: $\psi_G(\sigma) = \{(g_1, g_2), (g_2, g_3), (g_3, g_7), (g_3, g_8), (g_7, g_9), (g_8, g_9), (g_9, g_{19})\}$, $\psi_G(\sigma)$ 中任意一个元素中的目标对都存在关联, 如 $(g_7, g_9) \in \psi_G(\sigma)$, 有 $g_7 \rightarrow_{pre} g_9$, 由绑定序列 σ 派生出的目标子图如图 7 所示:

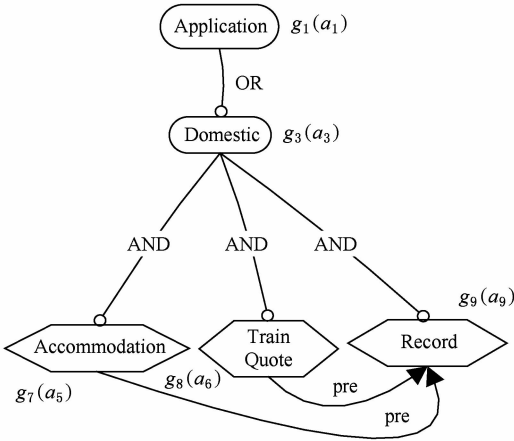


Fig. 7 The goal model generated by the binding sequences σ .

图 7 由绑定序列 σ 生成的目标模型

即每个绑定活动序列所关联的目标所形成的图是目标模型中的一个子图. 定义 8 说明了在进行活动绑定时, 一次绑定序列完成后所形成的角色集是角色模型中的子集, 定义 9 说明了在进行活动绑定时, 一次绑定序列完成后所形成的目标关联集是目标模型中的子集。

定义 10. 有效活动绑定序列. 设 $C_{form} = (A_{form},$

$a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, $Role$ 是流程的角色模型, $Goal$ 是流程目标模型, $\sigma = \langle \beta_{a_1}, \beta_{a_2}, \dots, \beta_{a_n} \rangle \in B^*$ 是其活动的绑定序列, 则 σ 是 C_{form} -net 的有效绑定序列当且仅当:

- 1) $a_1 = a_i, a_n = a_o$, 并且 $a_k \in A_{form} \setminus \{a_i, a_o\}, \forall 1 < k < n$;
- 2) $\psi_A(\sigma) = [\square]$;
- 3) 对任意非空前缀, $\sigma' = \langle \beta_{a_1}, \beta_{a_2}, \dots, \beta_{a_k} \rangle (1 \leq k \leq n): (a_k \times \{a_k\}) \leq \psi(\sigma')$, 这里的 $\sigma'' = \langle \beta_{a_1}, \beta_{a_2}, \dots, \beta_{a_{k-1}} \rangle$;
- 4) 对任意的非空前缀, $\sigma' = \langle \beta_{a_1}, \beta_{a_2}, \dots, \beta_{a_k} \rangle (1 \leq k \leq n)$, 有 $\psi_R(\sigma') \subseteq \psi_R(\sigma) \subseteq R$, 其中 $\psi_R(\sigma')$ 由定义 8 所得;
- 5) 对任意的非空前缀, $\sigma' = \langle \beta_{a_1}, \beta_{a_2}, \dots, \beta_{a_k} \rangle (1 \leq k \leq n)$, 生成的目标模型: $Goal' = (G', \zeta', D', f_{G'-A'})$, 则 $Goal' \subseteq Goal$. 记 $V_{CN}(C_{form})$ 为 C_{form} 上的所有有效序列集。

在定义 10 中, 条件 1) 保证有效序列开始于 a_i 结束于 a_o ; 条件 2) 要求在业务流程结束时的终止状态无遗留活动; 条件 3) 要求满足活动绑定的匹配模式: 即任意的非空前缀绑定序列所产生的活动都会通过后继的输入绑定模式移除掉; 条件 4) 要求有效的活动绑定序列所形成的角色集是角色规范中的子集; 条件 5) 要求有效的绑定序列所形成的目标集是目标规范中的子集, 生成的目标关系图是目标规范中的目标关系子图. 满足前 3 个条件, 则这个绑定序列是逻辑有效, 即活动语法上有效绑定; 同时满足 5 个条件, 则这个绑定序列是语义上有效绑定的。

定义 11. C_{form} -net 的端口规约. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, 则:

- 1) $join: A_{form} \rightarrow B_m^{in}$ 规约每个活动的输入绑定行为;
- 2) $split: A_{form} \rightarrow B_m^{out}$ 规约每个活动的输出绑定行为。

如图 6 中, $join(a_7) = join(a_8) = AND$, $join(a_5) = XOR$, $join(a_9) = OR$, $split(a_2) = AND$, $split(a_1) = XOR$, $split(a_3) = XOR$, 其他活动的输入和输出绑定模型表示省略, 可以通过 $join$ 和 $split$ 两个函数可以确定 C_{form} -net 中每个活动的输入和输出绑定模型, 然后对不同的绑定模型根据当前的 R&G 约束进行相应的配置操作。

定义 12. C_{form} -net 的配置. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, $Role^c \subseteq Role$, $Goal^c \subseteq Goal$ 是对 C_{form} -net 的一个配置规范, 则

$conf_{C_{form}} = (conf_{join}, conf_{split})$ 是 C_{form} 的一个配置,需满足:

1) $conf_{join}: join(I_{form}) \times Role^c \times Goal^c \mapsto \{enabled, blocked, hidden\}$ 是一个偏序函数;

2) $conf_{split}: split(O_{form}) \times Role^c \times Goal^c \mapsto \{enabled, blocked, hidden\}$ 是一个偏序函数.

在定义中,满足配置的第 1 个条件是要求对 C_{form} -net 活动的输入绑定序列根据 R&G 的约束指派一个配置操作,第 2 个条件要求对 C_{form} -net 活动的输出绑定序列根据 R&G 的约束指派一个配置操作,通过配置则可以从可配置业务流程模型中派生

出一个具体的流程变体,以满足个性化需求,从而以实例化实现,因而, $conf_{C_{form}} = (conf_{join}, conf_{split})$ 是 C_{form} 的一个完整配置当且仅当:

1) $\forall a \in A_{form}, \forall s \in I_{form}(a), join(s) \rightarrow \{enabled, blocked, hidden\}$, 即对每个活动的输入绑定指派配置操作值:enabled,blocked,hidden;

2) $\forall a \in A_{form}, \forall s \in O_{form}(a), split(s) \rightarrow \{enabled, blocked, hidden\}$, 即对每个活动的输出绑定指派配置操作值:enabled,blocked,hidden.

图 8 所示为在 R&G 约束下目标规范 $Goal^c$ 所形成的目标模型:

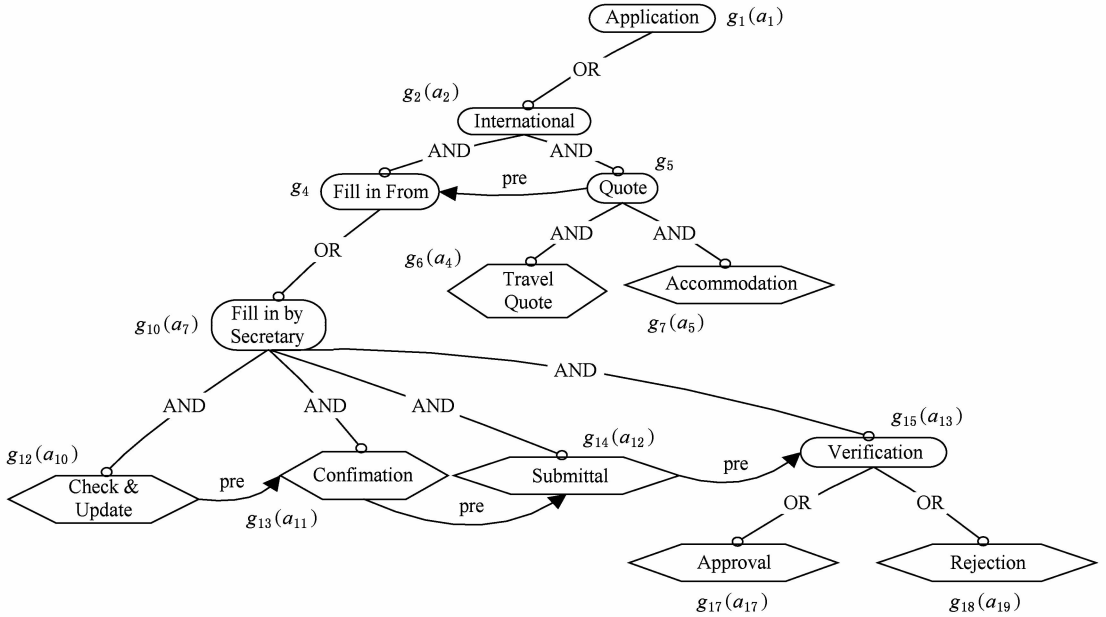


Fig. 8 Goal model generated by the configurable procedure in business process model.

图 8 业务流程配置过程中形成的目标模型

在图 8 中,目标 g_2 是 g_1 的 OR 分解关系, g_4 和 g_5 是 g_2 的 AND 分解关系,同时, g_4 和 g_5 还要满足横向约束关系,即 $g_5 \rightarrow_{pre} g_4$,其他目标类似.通过这两个配置规范对模型中的活动绑定序列进行配置操作指派.在图 8 所示的模型中,对于活动 a_1 ,有两个输出绑定序列: $s_1 = \{a_2\}$, $s_2 = \{a_3\}$,在目标规范中,由于此活动关联目标的子目标是 g_2 ,也就是说旅游申请者的申请的旅游是国际旅游,因此,在流程中选择左边分支而右边分支被阻隔,即 $split(s_1) = enabled$, $split(s_2) = blocked$,活动 a_7 的输入绑定是 $s_3 = \{a_4, a_5\}$,活动 a_8 的输入绑定是 $s_4 = \{a_4, a_5\}$,由于在角色规范中角色是 Sec ,因此, $join(s_3) = enabled$, $join(s_4) = enabled$,对活动按照配置规范对其他活动的输入和输出绑定进行相应的配置,然后移除掉阻隔和孤立的活动结点,就可得到个性化的普通流

程,配置过程如图 9(a)所示;图 9(b)表示流程执行到 a_{13} 时,由于通过 admin 审核后的表格填写有误,需由旅行社职员重新修改后,再提交申请,因为在修改表格是由职员自身完成,所以 a_{10} 由职员检查表格不;必要执行,从而在活动 a_{15} 后跳过活动 a_{10} 的执行直接执行活动 a_{11} 即可.

2.4 C_{form} -net 模型的合理性分析

Wil 等人在文献[1]中提出了工作流网模型(workflow-net, WF-net),并在该模型基础上提出了合理性(soundness)的形式定义作为业务流程模型过程结构的正确性评价标准,并在 C -net 模型中也使用了这一概念来评价模型的合理性.而在 C_{form} -net 也采用这一概念对业务流程模型的正确性进行评价.

定义 13. 合理性. 设 $C_{form} = (A_{form}, a_i, a_o, D_{form}, I_{form}, O_{form})$ 是一个 C_{form} -net, C_{form} 是合理的当且仅当:

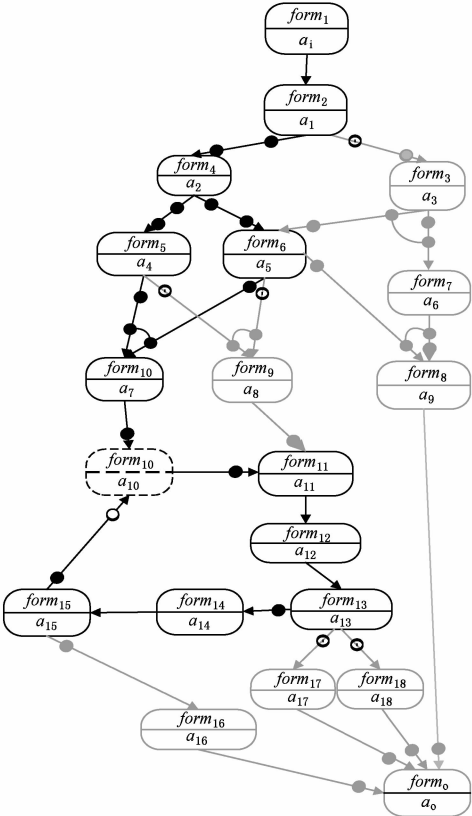
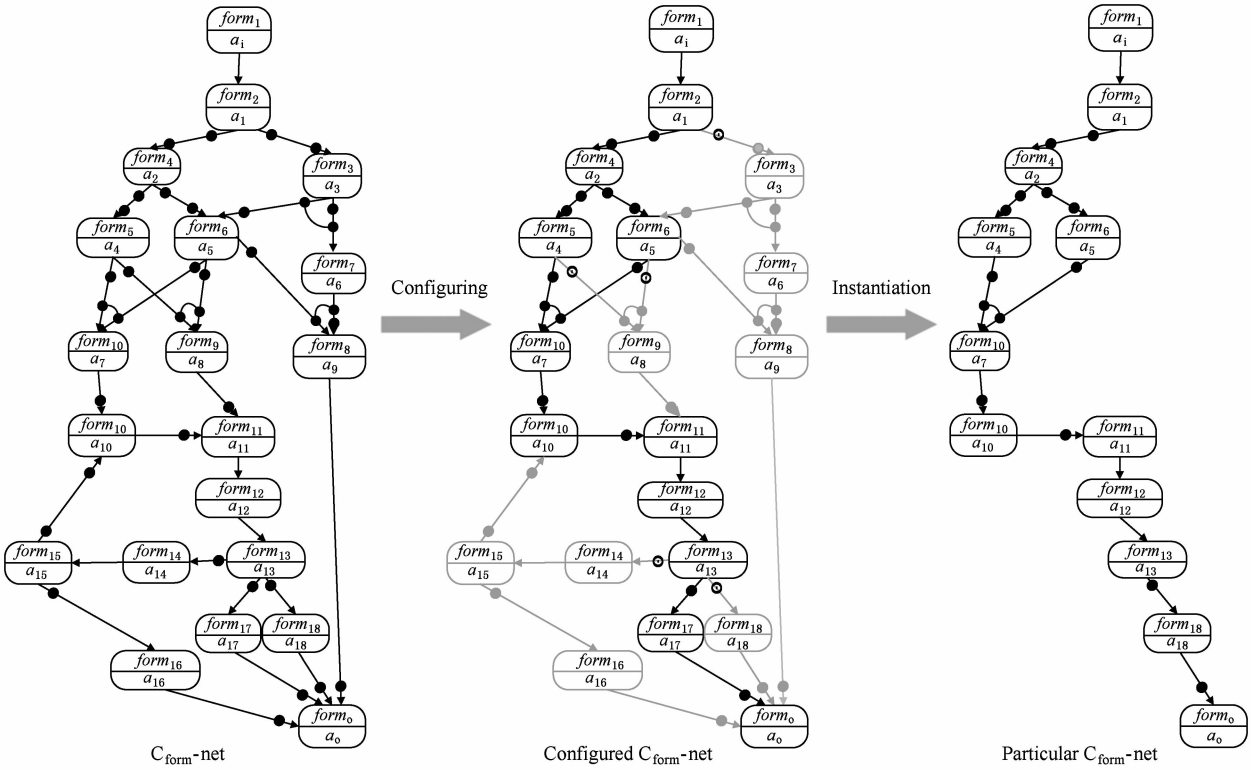


Fig. 9 The configurable procedure of configurable business process model.
图9 可配置业务流程的配置过程

- 1) $\forall a \in A_{\text{form}}, a_{\text{form}}^1 \in I_{\text{form}}(a)$, 则 $\exists \sigma \in V_{\text{CN}}(C_{\text{form}})$, 并且 $a_{\text{form}}^0 \subseteq A_{\text{form}}$, 使得 $(a, a_{\text{form}}^1, a_{\text{form}}^0) \in \sigma$;
- 2) $\forall a \in A_{\text{form}}, a_{\text{form}}^0 \in O_{\text{form}}(a)$, 则 $\exists \sigma \in V_{\text{CN}}(C_{\text{form}})$, 并且 $a_{\text{form}}^1 \subseteq A_{\text{form}}$, 使得 $(a, a_{\text{form}}^1, a_{\text{form}}^0) \in \sigma$.

$C_{\text{form-net}}$ 模型的合理性定义是确保流程模型中任意一个活动的输入或输出绑定都在其中一条有效

的绑定序列中, 否则是不合理的, 如图 10 所示模型的一部分, 其中图 10(a) 是一个合理的 $C_{\text{form-net}}$, 而在图 10(b) 中, 因为流程中存在一个活动 a_9 的输入绑定, 即 $a_{9\text{form}}^1 = \{a_5, a_6\}$ 不在任何一个有效的绑定序列中, 以及存在一个活动 a_4 未能到达终止活动 a_0 , 因此, 这不是一个合理的 $C_{\text{form-net}}$.

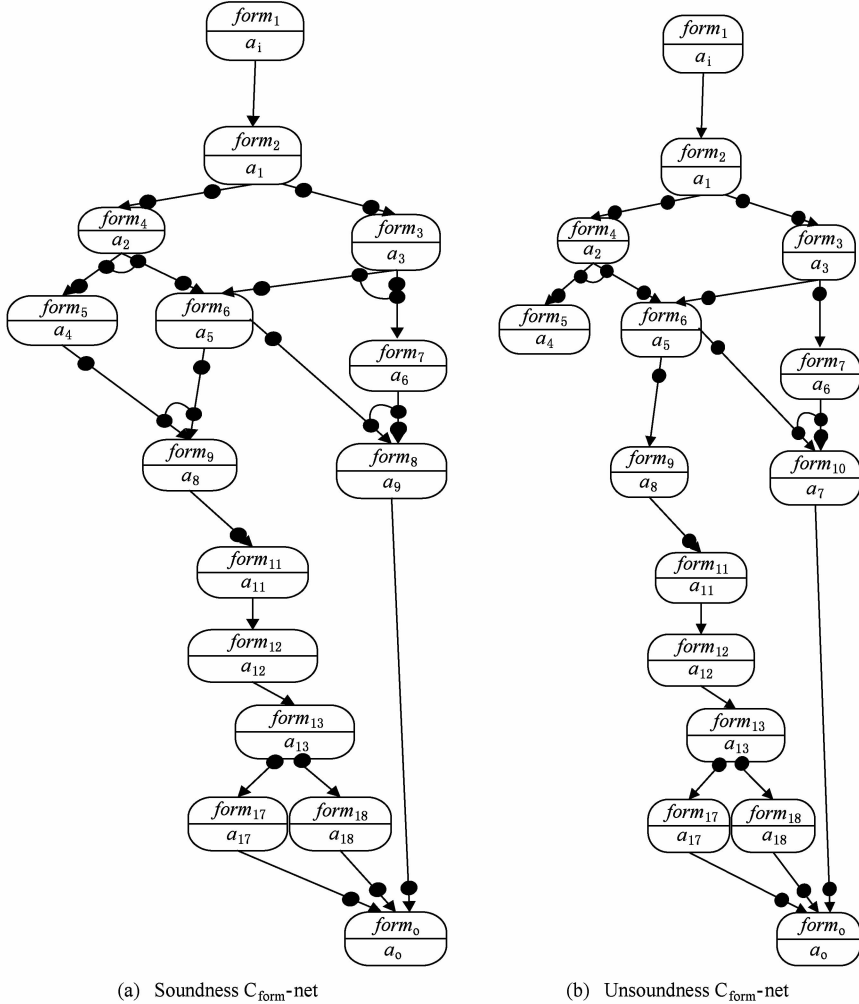


Fig. 10 Soundness and unsoundness $C_{\text{form-net}}$.

图 10 合理及不合理的 $C_{\text{form-net}}$ 模型

定理 1. 如果 $C_{\text{form-net}}$ 的所有绑定序列都是有效的, 则一定是合理 $C_{\text{form-net}}$ 模型。

证明. 由于所有的绑定序列都是有效的绑定序列, 则任意一条绑定序列都满足定义 10 的 5 个条件, 从而可以得出任取一个活动的输入和输出绑定, 都会有一条有效的绑定序列中, 因此, $C_{\text{form-net}}$ 模型是合理的。证毕。

因此, 对于给定的 $C_{\text{form-net}}$ 要验证其逻辑过程合理性, 只要验证其所有绑定序列是否都有效, 如果都有效, 则 $C_{\text{form-net}}$ 是逻辑结构合理的; 否则, 逻辑结构不合理。

2.5 $C_{\text{form-net}}$ 模型的一致性分析

在 $C_{\text{form-net}}$ 模型中, 由于活动关联一定的角色和目标, 因此, 在保证可配置业务流程满足合理性的条件下, 通过配置后, 其活动关联的角色和目标要满足一定的约束, 即配置后的流程中活动所关联的角色集应为可配置业务流程模型簇的子集, 同时关联的目标要满足目标模型的分解和约束关系。在图 9(a) 中, 由 $C_{\text{form-net}}$ 配置出满足国际旅游且由秘书填写表格的个性化流程 (particular $C_{\text{form-net}}$), 则配置后的个性化业务流程中活动所关联的角色和目标集都应是 $C_{\text{form-net}}$ 模型角色和目标的子集, 即个性化流程

(particular $C_{form-net}$) 的角色集 $R^c = \{App, Quo, Sec, Adm, Emp\} \subseteq R$, 同时, 配置后的个性化业务流程关联的中活动所关联的目标需满足模型簇的目标之间的约束关系: 前后链接关系、时序属性和互斥关系, 从而保持配置后的个性化业务流程与可配置业务流程的角色和目标约束一致性.

3 $C_{form-net}$ 在业务流程配置中的应用

可配置业务流程使得不同组织以可控的方式去共享公共的流程, 这是可配置业务流程模型与其他模型最大的优势^[10,15]. 传统的业务流程模型都是基于传统建模语言的, 每次具体设计都是针对特定企业或实体的模型特征而设计开发, 从而当前应用的参考模型仅描述了所有可能系统性能的总和, 而未能提供支持可变性需求的处理和与某些特定需求相关可变点的决策支持. 因此, 在使用传统参考模型进行软件产品的设计与开发时, 不同组织是以特设 (ad-hoc) 的定制方式由传统模型获取系统的软件产品以满足用户的需求, 这种定制方式需要建模人员的全程参与而且是通过手工完成, 不利于支持多个用户共享公共流程的可变性处理, 这在多个组织共享一个云架构的环境中是不合理且低效的. 而 $C_{form-net}$ 模型在 R&G 的约束下通过配置操作能够使得业务流程在云计算环境中以可控、半自动化的方式进行配置, 在进行业务流程配置时减少建模人员和领域专家的参与, 从而在一定程度上解决了多组织在云计算中以个性化的方式进行业务流程配置的问题.

业务流程模型的分析与设计分为两个阶段: 第 1 个是业务流程模型的构建阶段; 第 2 个是业务流程模型实例化运行阶段. 在模型构建阶段, 业务流程设计者需要面向特定领域的设计可配置业务流程模型, 可以通过两种方式获得: 一种是通过合并流程到一个流程簇; 另一种是通过设计可配置业务流程模型, 然后可配置业务流程模型通过配置操作得到普通的个性化流程, 最后进行实例化通过调用服务来实现. $C_{form-net}$ 在业务流程配置中具有重要的指导作用, 主要体现在约减流程模型的信息流是采用 2 个层次的约减来实现: 1) 通过活动之间的因果绑定关系; 2) 通过 R&G 的约束关系, 如图 11 所示.

在图 11(a) 中, 活动 a 的前驱和后继都有 3 个活动, 未使用绑定符号实心黑圆圈时, 单就这一个活动的前驱和后继之间的信息流就有 $(2^3 - 1) \times (2^3 -$

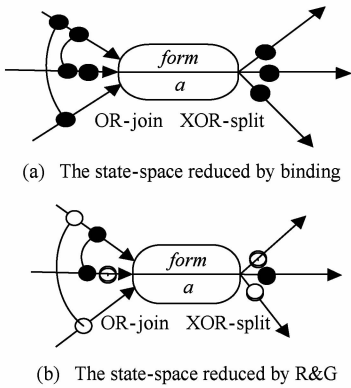


Fig. 11 The sate-space reduction of $C_{form-net}$ model.

图 11 $C_{form-net}$ 模型的状态空间约减

1) = 49 种, 使用绑定符号后活动 a 的前驱和后继之间的信息就变为 $3 \times 3 = 9$ 种, 因为输入绑定中只有 3 种绑定关系, 后继也只有 3 种绑定关系, 从而大大约减了模型的状态空间; 在图 11(b) 中, 由于对 11(a) 中的绑定关系增加了 R&G 约束关系, 从而在业务流程配置后活动的信息流进一步约减, 在某种 R&G 下如图 11(b) 中的信息流就只有 4 种. 第 1 个层次就 C-net 模型通过活动之间的绑定关系压缩活动的输入或输出信息流; 第 2 个层次是 $C_{form-net}$ 在 C-net 的基础上通过角色和目标进一步压缩活动的输入或输出信息流, 然后通过配置操作得到期望的活动信息流, 即不满足特定用户需求的活动输入或输出流将不被执行或隐藏. 由此可知 $C_{form-net}$ 在业务流程配置过程会对流程模型信息流有指数时间的约减作用, 大规模降低模型信息流, 有效节约模型设计人员的配置时间和劳动, $C_{form-net}$ 模型会在较大程度上提高云计算环境中多租户进行业务流程配置和定制的效率, 同时, $C_{form-net}$ 模型使得流程配置和定制是在一种可控的状态下进行的. 因此, $C_{form-net}$ 与现有的建模方法相比具有较好的应用优势.

4 模型的分析与验证

由文献[5-6]可知, 可以构造一个 WF-net 模拟 C-net 的动态行为, 从而根据 WF-net 的有关工具和方法去分析 C-net 的行为. 为了对 $C_{form-net}$ 可配置业务模型所表达的业务流程行为进行有效的分析和验证, 同样需要根据 $C_{form-net}$ 模型构造一个相对应的 WF-net, 从而可以使用与 WF-net 相关分析和验证工具对构造的 WF-net 的相关属性进行分析, 达到分析与验证相应的 $C_{form-net}$ 行为属性的目的, 可以用来指导可配置业务流程模型的配置分析与验证.

限于篇幅的原因,本文将简单地根据 C_{form} -net 所表示的可配置业务流程模型转换成 WF-net 网,然后用 WF-net 的工具分析所转换网的有关性质,这里采用 woPed^① 工具分析 WF-net 的合理性等性质.下面实验主要用这个工具模型进行流程的逻辑结构

分析.有关 WF-net 结构和合理性分析方法见文献 [1,18].因此,对于前述的旅游申请的 C_{form} -net,可以将其转换成相对应的 WF-net.转换后的 WF-net 网如图 12 所示(省略了由管理员审核后需重新修改的部分):

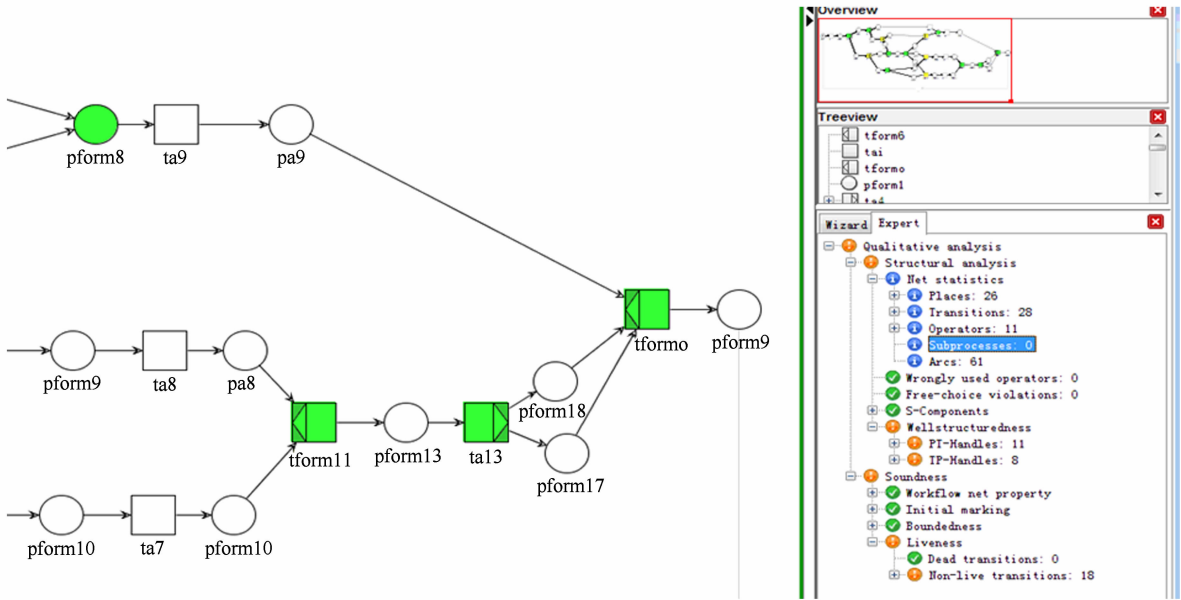


Fig. 12 The result of woPed.
图 12 woPed 分析结果图

在图 12 中,用 woPed 工具对相应的 WF-net 进行结构性和合理性两方面的定性分析.实验结果表明:1)满足工作流网属性(workflow net property);2)满足有界性(boundedness);3)活性:无死变迁(dead transitions),但存在 18 个遗留变迁(non-live transitions),即启动这个业务流程后,对于一个具体的案例除了能够正常结束之外,还有可能在请求启动和请求结束中间存在一些遗留的信号未处理,因此,需修改 C_{form} -net 使得满足合理性的所有条件.限于文章的篇幅,模型的进一步分析与验证将另文阐述.

5 相关工作

在以模型驱动的流程感知信息系统(process aware of information systems, PAIS)中,由于一个流程模型在不同应用情境中重用会产生大量共享相似业务对象和共性的业务流程模型变体,因此,对这些业务流程变体的配置和管理是业务流程复用中很重要的一个研究课题.传统参考模型是业务流程常用的复用技术,但仅描述静态业务逻辑,复用是在模

型执行阶段进行手工裁剪的情形下完成的,而无法根据特定需求对业务流程模型进行个性化的配置,限制了模型驱动的信息系统对需求和环境变化的适应能力,通过合并单一流程变体或手工设计,从而建立可配置业务流程模型能够较好地解决上述问题^[5-6,8-9].通过这种方式,实践经验和流程知识都能很好地得到重用,从而能够承担公司适应个性化业务流程的柔性要求.与自适应工作流^[14,19-20]、柔性工作流^[21]和动态工作流^[22-23]等旨在提高信息系统应对业务流程运行时适应动态变化的柔性能力相比,基于可配置业务流程模型主要侧重于业务流程模型执行前的设计阶段,是通过增加一个配置阶段将参考模型根据特定需求进行自动化或半自动化的配置操作,使得“瘦身”后的流程模型规模与逻辑复杂度得到一定程度的降低,从而提高了信息系统的处理效率.

为设计可配置业务流程模型,相关研究主要集中在对具体的传统建模语言的基础上,通过增加表达可变点的选择和配置决策的能力来表示可配置业务流程模型.在现有的可配置流程模型研究中,

^① <http://www.woped.org/>

Marcello 等人在 EPCs(event-driven process chains)的基础上通过捕获流程模型中的核心模式,提出可配置的 C-EPC^[8]并给出典型配置的形式化定义,继而 Marcello 等人对 C-EPC 进行角色和对象扩展形成融合角色和数据对象的可配置业务流程模型 C-iEPC^[13],支持与任务相关的角色和对象可变点,从而将与任务相关的一些角色和数据特征融合在可配置业务流程建模中,从而弥补了可配置流程模型的缺点,并通过相关工具集验证这个配置过程,保证了配置后的流程模型的正确性. Gottschalk 等人在文献[9]中,从理论的角度是讨论可配置流程建模语言的理论需求,在此基础上通过对 YAWL 业务流程建模语言进行可配置的扩展形成可配置的 YAWL^[2]语言,即 C-YAWL^[15],并在文献[16]中给出了 C-YAWL 语言在市政人口管理领域中的一个具体应用. Becker 等人在文献[14,19-20]中,为了使信息模型满足特定的需求,提出一种配置和泛化自适应机制,这种机制支持适应操作步骤的自动化,而且可以通过单一语言框架进行融合,从而减轻建模人员在建模时对自适应操作机制的设计工作.同时对其他如 UML AD 等建模语言也进行类似的扩展工作.本文在相关工作的基础上,通过对能够反映业务流程中活动的因果依赖关系的 C-net 模型进行角色和目标的扩展尝试建立一种能够表达整个业务流程全局语义形式化的可配置业务流程模型,从而用以指导业务流程配置和管理等相关操作.

6 结束语

本文在 Wil 等人^[1-3,5-7]提出的业务流程模型 C-net 的基础上,根据 RGPS 需求元模型框架中角色(R)、目标(G)、流程(P)、服务(S)四要素之间的约束规则和关联关系,提出了一种在角色和目标约束下的可配置业务流程模型 C_{form} -net. 本文主要在 C-net 模型的核心元素活动中增加角色和目标这两个元素,利用角色和目标的约束和关联关系指导 C_{form} -net 中活动的执行,使得业务流程的执行行为满足角色和目标的需求,通过角色和目标的约束关系对 C_{form} -net 中活动的输入和输出绑定行为进行配置约束,得出满足 C_{form} -net 合理性的定理,并分析可配置业务模型 C_{form} -net 在业务流程配置中的应用. 由于在活动中使用表单 *form* 记录角色和目标的状态,导致模型复杂度的增加,因此,在模型配置需约减转换的状态空间并给予验证,这是下一步的工作.

参 考 文 献

- [1] Wil V D A, Kees V H. Workflow Management: Models, Methods, and Systems [M]. Cambridge: MIT Press, 2002
- [2] Wil V D A, TerHofstede A H M. YAWL: Yet another workflow language [J]. Information Systems, 2005, 30(4): 245-275
- [3] Wil V D A. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes [M]. Berlin: Springer, 2011
- [4] Fabrizio M M, Marco M, Wil V D A. An operational decision support framework for monitoring business constraints [G] //LNCS 7212: Proc of FASE 2012. Berlin: Springer, 2012: 146-162
- [5] Wil V D A, Arya A, Boudewijn D. Causal nets: A modeling language tailored towards process discovery [C] //Proc of the 22nd Int Conf on Concurrency Theory. Berlin: Springer, 2011: 28-42
- [6] Wil V D A. Business process configuration in the cloud: how to support and analyze multi-tenant processes? [C] //Proc of the 9th IEEE European Conf on Web Services. Piscataway, NJ: IEEE, 2011: 3-10
- [7] Wil V D A. Do Petri nets provide the right representational bias for process mining? [C] //Proc of Workshop Applications of Region Theory 2011. Piscataway, NJ: IEEE, 2011: 85-94
- [8] Marcello R, Wil V D A. A configurable reference modeling language [J]. Information Systems, 2007, 32(1): 1-23
- [9] Gottschalk F, Wil V D A, Jansen-Vullers M H. Reference Modeling [M]. Berlin: Springer, 2007: 59-78
- [10] He Keqing, Liang Peng, Li Bing, et al. Meta-modeling of requirement for networked software—An open hierarchical & cooperative unified requirement framework URF [J]. Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems: Series B Applications and Algorithms, 2007, 14(6): 293-299
- [11] Wang Jian, He Keqing, Liang Peng. Rgps: A unified requirements meta-modeling frame for networked software [C] //Proc of the 3rd Int Workshop on Advances and Applications of Problem Frames at 30th Int Conf on Software Engineering (ICSE'08). Piscataway, NJ: IEEE, 2008: 29-35
- [12] Wang Jian. Research on requirements meta-modeling framework and key techniques of networked software [D]. Wuhan: Wuhan University, 2008 (in Chinese)
(王健. 网络式软件需求元建模框架及关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2008)
- [13] Marcello L R, Dumas M, terHofstede A H M, et al. Configurable multi-perspective business process models [J]. Information Systems, 2011, 36(2): 313-340

- [14] Becker J, Delfmann P, Knackstedt R. Adaptive reference modeling: Integrating configurative and generic adaptation techniques for information models [C] //Proc of the Reference Modeling Conf 2006. Piscataway, NJ: IEEE, 2006: 27-58
- [15] Gottschalk F, Wil V D A, Jansen-Vullers M H, et al. Configurable workflow models [J]. Int Journal of Cooperative Information Systems, 2007, 17(2): 177-221
- [16] Gottschalk F, Wagemakers T, Jansen-Vullers M H W, et al. Configurable process models: Experiences from a municipality case study [G] //LNCS 5565: Proc of in CaiSE'09. Berlin, Springer, 2009: 486-500
- [17] Sotirios L, Shakil M. Behavioral adaptation of information systems through goal models [J]. Information Systems, 2012, 37(8): 767-783
- [18] Ma Liang, Wang Tao, Wu Gengfeng. Business process reengineering based on WfPN [J]. Journal of Computer Research and Development, 2001, 38(7): 888-893 (in Chinese)
(马亮, 汪涛, 吴耿锋. 基于 WfPN 的业务流程重组[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(7): 888-893)
- [19] Becker J, Delfmann P, Rieke T, et al. Supporting Enterprise Systems Introduction through Controlling-enabled Configurative Reference Modeling [M]. Berlin: Springer, 2007
- [20] Becker J, Delfmann P, Dreiling A, et al. Configurative process modeling—Outlining an approach to increased business process model usability [C] //Proc of the 15th IRMA Int Conf. Piscataway, NJ: IEEE, 2004: 615-619
- [21] Shazia W S, Maria E O, Wasim S. Specification and validation of process constraints for flexible workflows [J]. Information Systems, 2004, 29(5): 1-30
- [22] Deng Shuiguang, Yu Zhen, Wu Zhaozhui. Research and design of dynamic workflow modeling method [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(6): 601-608 (in Chinese)
(邓水光, 俞镇, 吴朝晖. 动态工作流建模方法的研究与设计[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(6): 601-608)
- [23] Wang Haibo, Han Yanbo. Computational reflection and its application in adaptive workflow management [J]. Journal of

Computer Research and Development, 2003, 40(11): 1537-1545 (in Chinese)

(王海波, 韩燕波. 反演计算技术及其在动态 workflow 管理中的作用[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(11): 1537-1545)



Huang Yiwang, born in 1978. Associate professor and PhD candidate. Student member of China Computer Federation. His current research interests include business process management, formal methods, software engineering and service computing (hywcxq-1@163.com).



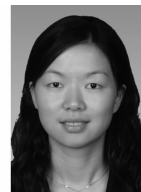
He Keqing, born in 1947. PhD, professor and PhD supervisor. Senior member of China Computer Federation. His current research interests include software engineering, service computing (hekeqing@whu.edu.cn).



Feng Zaiwen, born in 1980. PhD. His current research interests include service computing, software engineering and requirement engineering (zwfeng@whu.edu.cn).



Huang Ying, born in 1981. PhD candidate. Student member of China Computer Federation. Her current research interests include service computing and software engineering (nhwshy@whu.edu.cn).



Xie Fang, born in 1981. PhD candidate. Her current research interests include service computing and software engineering (thanks_xf@hotmail.com).