

# 一种目标感知的可配置业务流程分析方法

黄贻望<sup>1,2</sup>, 何克清<sup>1</sup>, 冯在文<sup>1</sup>, 黄 颖<sup>1,3</sup>

(1. 武汉大学软件工程国家重点实验室, 武汉大学计算机学院, 湖北武汉 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)

**摘 要:** 可配置业务流程模型能够使得在不同的组织之间以可控的方式共享公共流程成为可能, 这种模型旨在通过配置满足特定组织的需求, 派生出个性化的流程. 流程配置由于其配置决策之间的各种依赖关系而变成异常困难, 因此, 对其进行形式化建模和验证是一个非常重要的问题. 由于目标模型能够良好的表达用户需求意图的特点, 本文提出一个基于目标感知的可配置业务流程分析方法, 这种方法是通过将目标关联到 WF-net (即 GWF-net), 将用户需求意图与业务流程模型进行整合; 然后通过增加配置操作将用 GWF-net 表达的业务流程模型转换成可配置业务流程模型; 最后, 分析这种可配置业务流程的逻辑结构的正确性并提出用户需求与可配置业务流程配置过程中的一致性定理, 为分析与验证在目标约束下可配置业务流程提供一种行为有效的方法.

**关键词:** 目标模型; 目标工作流网; 可配置业务流程模型; 流程配置

**中图分类号:** TP311.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)10-2060-09

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.10.030

## A Goal-Aware Analytical Method of Configurable Business Process

HUANG Yi-wang<sup>1,2</sup>, HE Ke-qing<sup>1</sup>, FENG Zai-wen<sup>1</sup>, HUANG Ying<sup>1,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Software Engineering, School of Computer, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China;

2. Department of Mathematics and Computer Science, Tongren College, Tongren, Guizhou 554300, China;

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

**Abstract:** Configurable business process model enable the sharing of common processes among different organizations in a controlled manner, this model is intended to be configured to meet the requirements of specific organizations, then leading to individualized process models, so it is important issue to formal modeling and verify for configurable business process model. Owing to the characteristic of goal model can express users' intentions, in this paper, we provide a novel analytical method of configurable business process model which based on the goal model, in this method, we add the goal model to WF-net (GWF-net) and incorporate users' intentions into business process model; following, we transform the ordinary business process model expressed by GWF-net into configurable business process model by adding the configuration operation; finally, presents its correctness analysis of configurable GWF-net and provide the consistency theorem between the users' requirements and configuration procedure of configurable business process model, so that we ensure the validation of business process model through the fulfill goal.

**Key words:** goal model; GWF-net (Goal WF-net); configurable business process model; process configuration

## 1 引言

Aalst 等人<sup>[1~8]</sup>提出了可配置业务流程模型, 可配置业务流程主要聚焦于模型执行前的设计阶段, 以集成(集约)可控的方式表示业务流程模型的多个流程变体, 它通过增加一个配置环节将参考模型根据特定用户需求进行自动化或半自动化的配置操作, 与原来对普通的

参考模型进行手动增加、删除或移动模型元素相比, 可配置业务流程模型为用户提供业务流程中活动或任务的配置和选择的决策, 从而对业务流程模型规模进行有效的约减, 提高了相应信息系统的处理效率. 对可配置业务流程模型的研究需要解决两个关键问题: (1) 如何对可配置业务流程模型进行建模<sup>[5,6]</sup>; (2) 如何保证可配置业务流程的正确性<sup>[9~13]</sup>, 对问题(1)可采用流程行为

继承理论方法<sup>[14]</sup>,即可配置建模中的配置操作由允许(allowed)、隐藏(hiding)或阻隔(blocking)可变点<sup>[6,8]</sup>来完成;对于问题(2),在可配置业务流程模型中,流程配置由于配置决策之间的各种相互依赖关系变得异常复杂,因此,对可配置业务流程进行形式化建模和验证将是一个重要的研究课题。

当前,对可配置业务流程正确性的分析与验证的相关研究从两方面进行:(1)保证可配置业务流程模型配置过程中逻辑结构的语法正确性;(2)确保可配置业务流程配置过程中执行行为的语义正确性,前者是指可配置业务流程在配置过程中保持流程结构的完整性即合理性(soundness)<sup>[9~13]</sup>,如在流程无孤立结点或流程碎片等;后者是要求在配置过程中保证满足特定用户需求.目前流行的主要由 Aalst 提出两种技术对可配置业务流程进行分析和检测:约束推理法<sup>[9]</sup>(Constraints inference)和伙伴合成法<sup>[10]</sup>(Partner synthesis),约束推理法对保证在配置过程中的行为正确性提供有效的方法,然而,这种方法有一个前提假设:可配置流程模型确保是整体上已经完整或合理的;伙伴合成法是基于配置指导的概念,配置指导是所有可能配置的完整特征表达,这些配置表示了可配置流程模型中所有可能的正确性配置组合;而其它方法<sup>[15~17]</sup>只分析与配置相关的语法正确性而未提供保证模型的行为正确性。

在已有的可配置业务流程分析和验证研究中,很少考虑用户需求对业务流程的约束特性,而在实际业务流程的执行过程中,用户的个性化需求约束又是业务流程分析的一个重要考虑的因素.在需求工程的相关研究表明<sup>[18~21]</sup>:目标模型反映用户需求(或意图),它能够表达业务流程中不同的个性化需求,因此在可配置业务流程中的个性化需求可以根据目标进行良好的表达,可用于表达可配置业务流程模型中个性和公

共特征,同时以自然语言表示目标之间的关联关系可以转换成形式化的线性时序逻辑公式(LTL)<sup>[12,13]</sup>,从而有助于业务流程的分析与验证;因此,为解决在分析可配置业务流程缺少用户需求约束的这个问题,本文利用需求工程用户需求可以通过目标模型进行表达的良好特征,在建模中将可配置业务流程中的业务流程表示为某些目标的组合,把目标模型加入到 WF-net 模型中从而将用户需求与业务流程模型进行整合作为业务流程模型的用户需求约束,然后通过配置操作将带目标 WF-net 模型(GWF-net)转化为可配置业务流程模型;最后,分析可配置业务流程模型的可达性和执行行为正确性,为保证业务流程的有效性提供一种可行的分析与验证手段。

## 2 方法与应用场景

本节给出基于目标感知的可配置业务流程分析与验证框架,图 1 给出基于目标感知的可配置业务流程分析框架,它包括以下步骤:

(1)由设计分析人员根据特定领域设计出目标模型(Goal model)和业务流程模型(WF-net),然后将目标模型关联(Associate)到业务流程模型,形成目标业务流程模型(GWF-net),实际上这里的目标是作为业务流程模型中变迁的一个条件,表示变迁被触发后需要达到的用户需求。

(2)在由(1)得出模型的基础上增加配置操作形成可配置目标业务流程模型(Configurable GWF-net),这里的配置操作是通过基于行为继承理论对业务流程模型中的某些变迁进行隐藏、阻隔或选择实现的。

(3)用户以自然语言(非形式化)的需求和模型本身的配置需求或指导都解释为形式化线性时序逻辑公式(LTL)表示,然后将配置需求与指导的公式作为目标

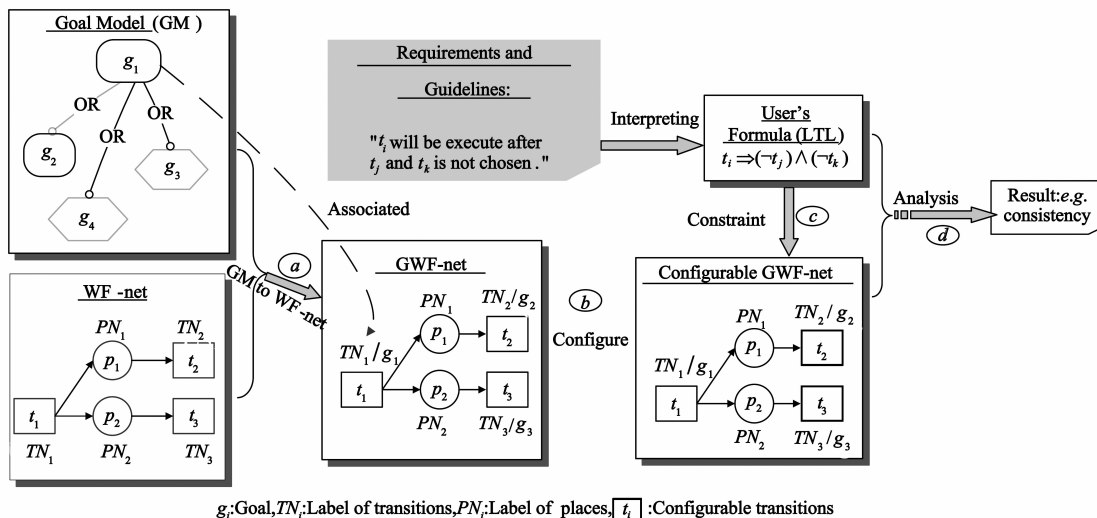


图 1 目标感知的可配置业务流程分析验证框架

可配置业务流程模型的约束,表示模型在个性化过程要满足的条件.

(4)最后,通过检测线性时序逻辑公式是否满足达到分析和验证可配置目标业务流程模型是否满足模型的结构属性和用户的需求.

本文使用物流领域的订单预订流程作为实例进行说明,使用 WF-net 对业务流程模型的进行形式化表示,如图 2 所示圆圈和矩形框分别代表业务流程的库所(状态)和变迁(活动).图 2(a)是一个简单的纸质订单流程,它包括 4 个库所和 3 个变迁,表示了获取纸质订单的过程,3 个变迁:  $t_1$  - 订单选择(OrderSelect),  $t_2$  - 手工输入(ManualInput),  $t_3$  - 订单确认(OrderConfirm); 4 个库所记录了每个变迁的数据信息状态(其中  $p_1$  是流程的开始状态,  $p_0$  是流程的结束状态).再考虑其它相似的流程变体,如电子订单的获取流程如图 2(b)所示,这种订单流程是当用户不需要重复订单的时系统应进行重复性检测;第 2 个流程变体如图 2(c)所示是当用户选

择订单可以取消这个订单,以及可以选择系统已存在订单的流程变体如图 2(d). 4 个变体都是通过满足 4 个基本目标而区分:纸质订单、电子订单、取消订单和存在订单.由于这 4 变体共享了某些库所和变迁,可以将这 4 个流程合并为一个统一的业务流程模型如图 2(e)所示,这里统一使用 WF-net 来表示业务流程模型,其中  $p_1$  和  $p_0$  两个库所在后文图中都以加粗表示以示与 Petri 网的区别,请参考文献[9~11,15~17,21].

事实上,根据目标和它们之间的关联关系不仅仅是 4 个流程变体,如当在进行电子订单的时候也可能取消这个订单,这种流程变体与图 2(c)相类似.由于每个流程变体的行为可以表示成某些目标的组合序列,因此,这些目标序列与业务流程的执行行为等价,则由上述 4 个基本目标及其组合表达的与业务流程相关的目标模型如图 3 所示,它表达了所有用户的目标序列集,如目标序列集  $\{OB, SO, PO, MI, OC\}$  表示纸质订单的用户需求,其它类似.图 3 中可表示 8 种目标序列,与之相关的业务流程模型如图 4 所示,图 4 描述了这个特定物流领域相似流程簇,而这个流程模型可以通过配置操作能够得到特定流程,即流程中的变迁通过满足用户的目标设置三种操作: allowed、blocked 或 hidden,因此模型中所有变迁都可根据用户的特定目标进行相应的配置操作.

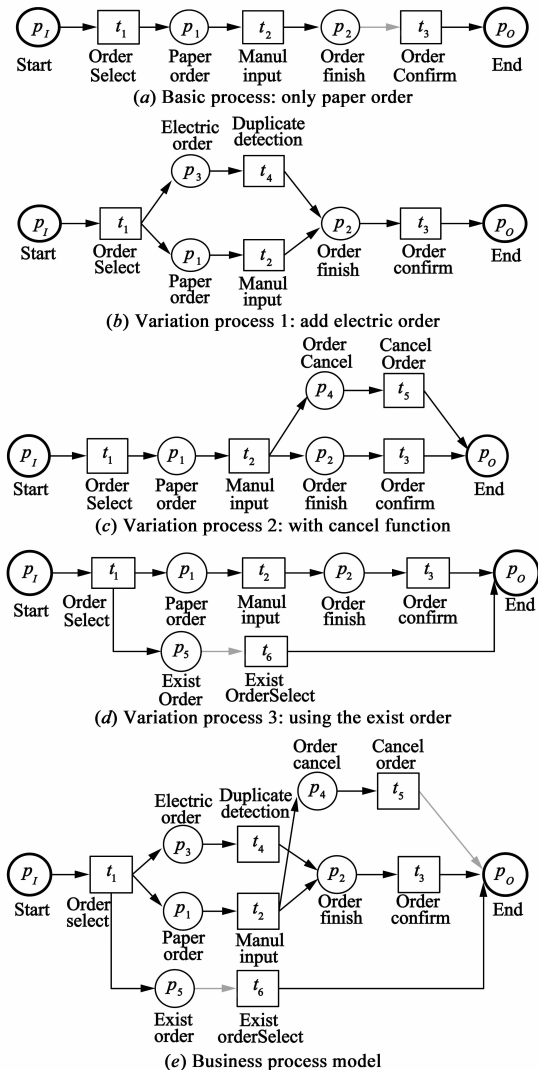


图2 流程变体及其相应可配置业务流程模型

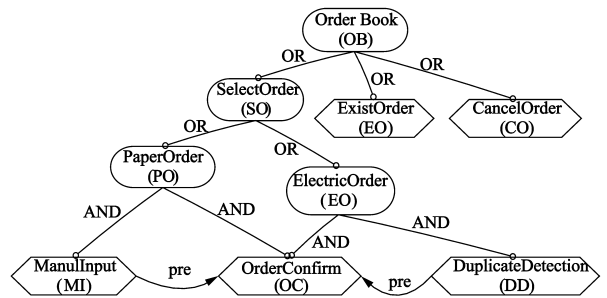


图3 关联的目标模型

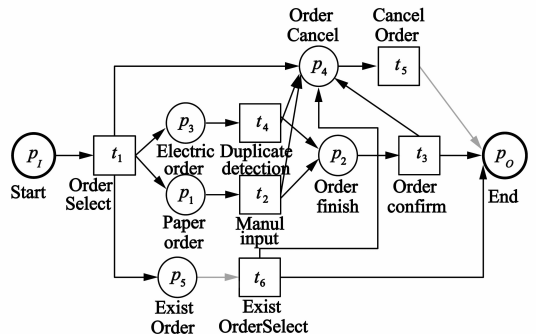


图4 图3相应的完整业务流程模型

### 3 GWF-net 及其配置

这一节先给出目标模型的定义,其它有关 Petri 网

的基本概念和定义请参考文献[9~11, 15~17, 18~22].

**定义 1 目标模型** 是一个三元组  $GM = (G, \mathcal{R}, D)$ , 这里,  $G$ : 是目标集合(包括组合目标  $G_c$ , 原子目标  $G_a$ , 也称任务即 task, 在业务流程中映射为某个活动);  $\mathcal{R}: G \times \{ \rightarrow \} \times G$ , 标记目标之间的前后依赖关系, 其中, “ $\rightarrow$ ”表示目标之间满足的前驱约束;  $D: G \times \{ \text{OR}, \text{XOR}, \text{AND} \} \times G$  是目标之间的组合分解关系, 其中, XOR 表示目标之间的互斥关系.

定义 1 中, 目标之间的存在两层关系, 这些关系可以用命题公式表达, 第一层关系是目标之间的分解关系: (1) AND 关系, 当所有的子目标完成后父目标才能完成, 如图 3 中, 父目标 EO 和子目标(DD, OC)之间是 AND 分解关系, 用公式表示为:  $EO \triangleq DD \wedge OC$ ; (2) OR 分解关系, 当子目标中有一个或多个完成时, 则父目标就可完成, 公式表示为:  $SO \triangleq PO \vee EO$ ; (3) XOR 分解关系, 当子目标中有且仅有一个完成时父目标才能完成, 如果假定父目标为  $g_1$  子目标为  $g_2$  和  $g_3$ , 则有  $g_1 \triangleq g_2 \otimes g_3$ , 其中  $\otimes$  表示异或, 即两者只取其一; 第二层关系是目标之间的前驱约束关系, 如果目标 DD 是目标 OC 的前驱, 表示为:  $DD \rightarrow OC$ .

本文将使用有效的目标序列表示目标模型 GM 的语义, 记为:  $[g]_{GM}$ , 图 3 所示的 GM 中物流订单预订的语义可表示为:

$$[g]_{GM} = \{ \{ \text{OB}, \text{CO} \}, \{ \text{OB}, \text{EO} \}, \{ \text{OB}, \text{EO}, \text{CO} \}, \{ \text{OB}, \text{SO}, \text{PO}, \text{MI}, \text{OC} \}, \{ \text{OB}, \text{SO}, \text{PO}, \text{MI}, \text{CO} \}, \{ \text{OB}, \text{SO}, \text{EO}, \text{DD}, \text{OC} \}, \{ \text{OB}, \text{SO}, \text{EO}, \text{DD}, \text{CO} \}, \{ \text{OB}, \text{SO}, \text{PO}, \text{MI}, \text{EO}, \text{DD}, \text{OC}, \text{CO} \}, \{ \text{OB}, \text{SO}, \text{PO}, \text{MI}, \text{EO}, \text{DD}, \text{OC} \} \}$$

$[g]_{GM}$  中的每个元素就是目标模型 GM 的目标集合  $G$  中一个目标选择, 每个 GS 都需满足分解和前驱约束关系. 同时将某个有效的目标序列视为一个流程产品<sup>[12,13]</sup>, 则语义表示了目标模型的有效产品集合.

### 3.1 GWF-net

为了精确的描述目标对业务流程的影响, 将模型中的每个变迁指派一个目标, 表明业务流程中每个变迁完成所达到的特定需求, 本文使用 WF-net 对可配置

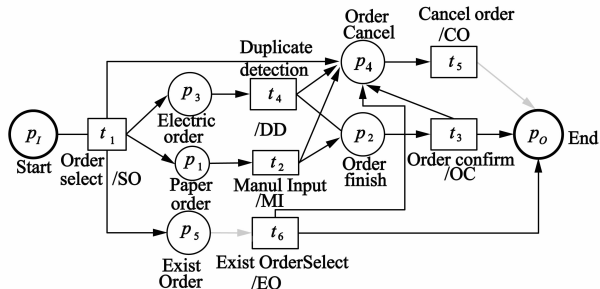


图5 目标约束的业务流程模型

业务流程模型进行建模, 与传统的建模语言如 C-EPC, C-YAWL 和 C-SAP 相比, WF-net 更具有数学的表达形式并且更容易将 WF-net 转化为其它具体的建模语言, 因此, 可在 WF-net 的基础上将变迁增加变迁满足的目标形成 GWF-net. 如物流配送订单的 GWF-net 如图 5 所示, 其中在变迁的标签与目标(在后文图中用目标加粗斜体的简化表示)用斜线(“/”)隔开, 然后形式化定义基于 WF-net 的 GWF-net.

**定义 2 (GWF-net)**. GWF-net 是一个六元组  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$ , 这里  $(P, T, F)$  是一个 WF-net,  $M_0$  初始标识, GM 是目标模型,  $f: T \rightarrow G$  是将每个变迁指派一个目标的函数( $G$  是 GM 的目标集).

由定义 2 可得到如图 5 所示的 GWF-net, 如目标和变迁的序列  $\langle (t_1, \text{SO}), (t_2, \text{MI}), (t_3, \text{OC}) \rangle$  表示了物流配送的纸质订单的预订行为, 每个变迁都带有一个所完成的目标, 如变迁  $t_1$  被指派的目标为 SO,  $f(t_1) = \text{SO}$ ;  $t_2$  被指派的目标为 MI,  $f(t_2) = \text{MI}$ ,  $t_3$  被指派的目标为 OC,  $f(t_3) = \text{OC}$ , 其它情形类似.

**定义 3(变迁规则或点火规则)** 设  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  是一个 GWF-net 和一个带目标约束为  $g = f(t)$  的变迁  $t$ , 这里  $t \in T$ , 能够从标识为  $M_i$  的状态迁移到标识为  $M_{i+1}$  的状态, 记为  $M_i \xrightarrow{(t, g)} M_{i+1}$ , 当且仅当满足以下三个条件:

- (1) 变迁使能:  $M_i \geq t$ .
- (2) 标识计算:  $M_{i+1} = (M_i - t) + t$ .
- (3) 目标自包含:  $g \in G$ ,  $G$  是目标模型 GM 中的目标集.

GWF-net 的变迁规则是用来定义 GWF-net 的执行轨迹.

**定义 4(GWF-net 的轨迹)** 设  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  是一个 GWF-net, 它的行为是通过触发变迁所经过的标识序列  $M_0, \dots, M_n$  所形成的轨迹来表示的, 每个标识的变化都是通过使能变迁触发的, 即  $M_i \xrightarrow{(t_i, g_i)} M_{i+1}$ , 这里  $g_i \in G (0 \leq i \leq n-1)$ , 称为 GWF-net 上的轨迹, 这条轨迹记为  $M_0 \xrightarrow{(t_0, g_0)} M_1 \xrightarrow{(t_1, g_1)} \dots \xrightarrow{(t_{n-1}, g_{n-1})} M_n$ , 将轨迹的变迁连接得到变迁序列  $\sigma = (t_0, g_0)(t_1, g_1) \dots (t_{n-1}, g_{n-1})$ , 则有  $M_0 \xrightarrow{\sigma} M_n$ , 使用变迁序列  $\sigma$  去表示 GWF-net 一个流程的特定行为.

在图 5 中,  $\sigma_1 = (t_1, \text{SO})(t_2, \text{MI})(t_3, \text{OC})$  是 GWF-net 的一个流程执行行为的变迁序列, 它同时表达一个从目标模型 GM 选择出的目标产品  $\{ \text{OB}, \text{SO}, \text{PO}, \text{MI}, \text{OC} \}$  的具体需求, 简记为  $GS \subseteq G$ , 用  $\text{Sem}(GN, GS)$  表示一个从根目标出发到终端目标的目标序列的轨迹, 现在可以对某个目标模型定义 GWF-net 上代表所有行为的变迁序列.

**定义 5 (GWF-net 的行为)** 给定一个 GWF-net  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$ , 记  $Sem(GN)$  记为所有流程执行行为为关联的目标序列集:  $Sem(GN) = \bigcup_{GS \subseteq G} Sem(GN, GS)$ .

**定义 6 (投影)** 给定一个 GWF-net  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  和一个目标序列  $GS \subseteq G$ ,  $GN$  在  $GS$  上的投影定义为  $\pi_{GS}(GN)$ , 这个投影是一个 WF-net  $WN = (P, T', F', M_0)$ , 则:

- (1) 变迁  $T' = T \setminus \{t \in T \mid f(t) \notin G\}$ .
- (2) 流关系  $F' = F \cap ((P \times T') \cup (T' \times P))$ .

如设  $GS = (OB, SO, PO, MI, EO, DD, OC)$ , 图 5 在  $GS$  上的投影结果就是如图 2(b) 所示的一个变体.

### 3.2 GWF-net 配置

当前获取可配置业务流程模型可变点的研究方法见参考文献[3~8], 本文采用基于流程行为继承理论的方法<sup>[14]</sup>. 因此, 可以通过对特定领域分析出的业务流程中的可变变迁(在图形中用加粗的圆角方框表示)进行 3 种配置操作形成可配置的 GWF-net, 3 种配置操作分别是: allowed, hidden 及 blocked. 3 种配置操作的语义为: blocked, 当前活动的后继活动不可执行, 从而后继状态也不可达; hidden, 当前活动的执行是不可观察的, 流程在执行的时候相当于跳过当前活动, 但相应的后继活动继续执行, 后继状态也同样可达, 这个活动可视为哑活动(skip); enabled, 作为流程的常规活动执行, 为配置这个 GWF-net, 每个变迁都需指派一个配置操作值: hidden, blocked 或 allowed, 形式上:

**定义 7 (GWF-net 配置)** 设  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  是一个 GWF-net.  $F_N: T \rightarrow \{\text{allow, hide, block}\}$  是对  $GN$  进行配置操作的函数, 则: (1)  $F_N(t) = \text{allow}$  变迁 allowed; (2)  $F_N(t) = \text{blocked}$  变迁 blocked; (3)  $F_N(t) = \text{hidden}$  变迁 hidden.

如包含有可变变迁的 GWF-net 称为可配置 GWF-net, 从定义 7 中得出如下结论:

- (1)  $A_N^C = \{t \in T \mid F_N(t) = \text{allow}\}$  所有 allowed 变迁集.
- (2)  $H_N^C = \{t \in T \mid F_N(t) = \text{hide}\}$  所有 hidden 变迁集.
- (3)  $B_N^C = \{t \in T \mid F_N(t) = \text{block}\}$  所有 blocked 变迁集.

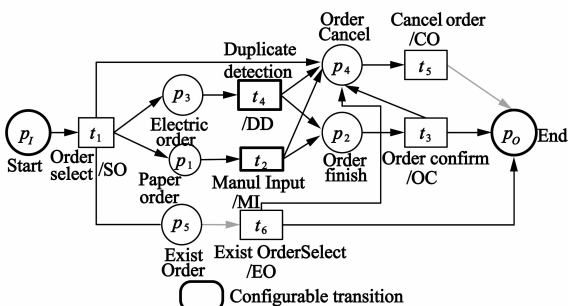


图6 可配置目标约束业务流程模型

在图 6 所示的可配置目标业务流程模型, 变迁  $t_2, t_3, t_4$  是 3 个可变变迁, 它们允许 3 种配置操作, 即可将 3 种配置操作根据具体的业务需求指派一种操作.

**定义 8 (配置后的 GWF-net)** 设  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  是一个可配置 GWF-net 且  $F_N$  是  $GN$  的配置, 则配置后的 GWF-net,  $C_N(N, F_N) = (P^c, T^c, F^c, M_0, GM^c, f^c)$ , 满足如下条件:

- (1)  $T^c = (T \setminus (B_N^C \cup H_N^C)) \cup \{\text{skip}_t \mid t \in H_N^C\}$ .
- (2)  $F^c = (F \cap ((P \cup T^c) \times (T^c \cup P))) \cup \{(\text{skip}_t, p) \mid (p, t) \in F \wedge t \in H_N^C\} \cup \{(\text{skip}_t, p) \mid (t, p) \in F \wedge t \in H_N^C\}$ .
- (3)  $P^c = (P \cap \bigcup_{(x,y) \in F^c} \{x, y\}) \cup \{p_{\text{Start}}, p_{\text{End}}\}$ .
- (4)  $GM^c = (G^c, C^c, D^c)$ , 这里  $G^c \subseteq G, C^c: G^c \times \{\rightarrow\} \times G^c, D^c: G^c \times \{\text{OR, AND}\} \times G^c$ .
- (5)  $f^c: T^c \rightarrow G^c$ .

条件(1), (2), (3) 的含义请参考文献[9], 条件(4) 表示可配置后的目标模型; 条件(5) 表示配置变迁到配置目标的映射.

从可配置目标业务流程通过一系列的配置操作可获取一个满足用户特定需求的个性化业务流程模型.

## 4 GWF-net 配置的正确性分析

为了保证 GWF-net 表示的可配置业务流程模型的正确性<sup>[9,10]</sup>, 一般说来, 分为 3 个问题: (1) 如何保证 GWF-net 的正确性; (2) 如何保证 GWF-net 配置过程中的正确性; (3) 如何保证配置后的 GWF-net 的正确性, 由于问题(1)是后两个问题成立的前提, 也就是说只有在保证 GWF-net 正确的前提下, 才考虑 GWF-net 配置过程和配置后 GWF-net 的正确性, 因此, 本文将着重讨论问题(1), 后两个问题另文阐述.

### 4.1 GWF-net 需求约束的时序逻辑表示

GWF-net 是将传统的 WF-net 增加目标模型反映用户需求, 因此, 检测与分析 GWF-net 的正确性应该要考虑这个模型是否满足目标的约束. 事实上, 用户的需求目标视为 GWF-net 的约束, 对 GWF-net 存在三类约束: 定义 1 中讨论的两类约束: 前后依赖约束和分解约束关系; 另一类约束可配置业务流程模型中的“Requirements”或“Guidelines”约束关系<sup>[5~10]</sup>, “Requirements”约束是指业务流程执行时必须遵循的约束(必选规则), “Guidelines”约束是指业务流程执行时的指导性约束(可选规则). 三种约束关系在一般情形下都能通过目标来体现, 为讨论 GWF-net 的正确性, 分 2 步来进行: (1) 分析和检测 GWF-net 的合理性<sup>[9~11]</sup>; 由文献可知, 流程的合理性可以通过如可达性或活性等其它属性来表示, 本文讨论可达性; (2) 分析和检测 GWF-net 的语义正确性: 包括可配置业务流程和需求之间的一致性和目

标之间的正确性约束关系等,为了统一形式化表达这些约束和属性,这些性质都用线性时序逻辑<sup>[12,13]</sup>来表示.

**定义 9 属性(约束)**  $\varphi$  是一个 LTL 公式,表示如下:

$$\varphi ::= 1 \mid a (a \in AP) \mid \varphi_1 \wedge \varphi_2 \mid \neg \varphi \mid \bigcirc \varphi \mid \varphi_1 \cup \varphi_2 \quad (1)$$

这里,  $AP$  是原子命题集合,它能够通过变迁或它们的组合表示.属性(约束)是对有穷或无穷流程行为序列所满足的性质.对 GWF-net 中变迁序列  $\sigma$  的满足序列表示如下:

$$\begin{aligned} \sigma &\models 1 \\ \sigma &\models a \Leftrightarrow a \in L(\text{head}(\sigma)) \\ \sigma &\models \varphi_1 \wedge \varphi_2 \Leftrightarrow \sigma \models \varphi_1 \wedge \sigma \models \varphi_2 \\ \sigma &\models \neg \varphi \Leftrightarrow \sigma \not\models \varphi \\ \sigma &\models \bigcirc \varphi \Leftrightarrow \sigma_1 \models \varphi \\ \sigma &\models \varphi_1 \cup \varphi_2 \Leftrightarrow (\exists i \geq 0 \cdot \sigma_i \models \varphi_2) \wedge \\ &\quad (\forall j \in [0, i-1] \cdot \sigma_j \models \varphi_1) \end{aligned}$$

这里  $L(\text{head}(\sigma))$  表示变迁序列  $\sigma$  中第一个变迁首个状态的标签,  $\sigma_i$  意味着变迁序列  $\sigma$  的第  $i-1$ th 个状态后的尾部.

**命题 1** 给定一个 GWF-net  $GN$  和 LTL 公式  $\varphi$ ,  $GN \models \varphi$  iff  $\forall \sigma \in \text{Sem}(GN), \sigma \models \varphi$ .

命题通过定义 4,5,9 很容易得到证明.

## 4.2 GWF-net 配置的语义正确性

业务流程逻辑结构的正确性主要针对业务流程的控制流分析,即分析流程模型的活动执行序列的相关属性,在 Aalst 等人提出的工作流<sup>[9-11]</sup>中,对流程控制流的分析主要是用合理性(soundness)这一指标进行衡量的,如强合理性,弱合理性等,而流程的合理性可以通过流程其它属性来表达,如可达性或活性等,已有相关的文献对流程模型的合理性进行详细的讨论,由于篇幅有限,本文主要讨论在保证 GWF-net 配置的逻辑结构正确的前提下,需要考虑保证 GWF-net 配置语义的正确性,由第 3 节所述,需要考虑满足 GWF-net 与用户需求之间约束,即根据定义 9 和命题 1,在特定用户需求的条件下检测 GWF-net 变迁的配置正确性.

如定义 7 所述 GWF-net 中的任何一个变迁都有可能配置三种操作: allowed, blocked 或 hidden. 则由定义 7 可定义配置语法如下:

$$u_i \mid F_N ::= t \text{ allow} \mid t \text{ hidden} \mid t \text{ blocked} \quad (2)$$

这里  $t \in T$ , 给定  $GS \subseteq G$ ,  $F_N$  如定义 7 所述的函数,则修改目标选择  $GS$  的规则为:

$$\begin{aligned} GS &\xrightarrow{t \text{ allow}} GS \cup \{f(t)\} \\ GS &\xrightarrow{t \text{ hidden}} GS \\ GS &\xrightarrow{t \text{ blocked}} GS \setminus \{f(t)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GS &\xrightarrow{u_0} GS' \quad GS' \xrightarrow{u_1} GS'' \\ GS &\xrightarrow{u_0; u_1} GS'' \end{aligned} \quad (3)$$

**定义 10 (GWF-net 变迁点火规则)** 给定一个可配置 GWF-net  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  和一个初始目标选择  $GS_0 \subseteq G$ , 变迁  $t \in T$ , 则  $t$  触发后会导致系统从状态  $(M_i, GS_i)$  转换到状态  $(M_{i+1}, GS_{i+1})$ , 记为  $(M_i, GS_i) \xrightarrow{t_i, g_i} (M_{i+1}, GS_{i+1})$ , 当且仅当:

- (1) 使能:  $M_i \geq \cdot t$ .
- (2) 计算:  $M_{i+1} = (M_i - \cdot t) + t \cdot$ .
- (3) 满足:  $GS_i \models \varphi_i$ .
- (4) 目标修改:  $GS_i \xrightarrow{u_i} GS_{i+1}$ .

这里,  $u_i$  在变迁  $t$  触发所做的目标修改,  $\varphi_i$  定义 9 所表示的逻辑表示式,用来表示变迁  $t$  触发后的需求约束.

**定义 11 (目标实现)** 设  $GN$  是一个可配置 GWF-net, 设  $g_i \in G$  是目标模型  $GM$  中的一个目标, 如果在  $GN$  中存在一个变迁满足  $g_i$ , 从而存在一条变迁序列  $\sigma_{GN}$  且  $\sigma_{GN} \models g_i$ , 称  $GN$  实现目标  $g_i$ , 即  $GN \Rightarrow g_i$ .

当用户根据自身的需求向可配置业务流程定制个性化流程时, 会将自己的特定需求提交给系统, 系统则会对提交的需求进行分析, 从可配置业务流程中派生出一个满足需求的个性化流程, 因此, 这个特定流程的目标约束与用户的需求要保持一致性, 有以下定理:

**定义 12 (目标约束一致性)** 设  $GN = (P, T, F, M_0, GM, f)$  是一个可配置 GWF-net,  $GS_1, \dots, GS_n \in GS$  是  $GN$  配置的一个目标序列, 设  $\varphi_1, \dots, \varphi_n \in \Phi$  是目标用户需求的 LTL 公式, 如果  $GS \models \Phi$ , 则  $GN$  满足用户目标约束一致性(即  $GN \Rightarrow \Phi$ ).

**证明** 由  $GS \models \Phi$  并结合定义 10 可知,  $\forall \varphi_i \in \Phi$ ,  $\exists t_i \in T, (GS_i \wedge GS_{i+1}) \in G$ , s. t.,  $(M_i, GS_i) \xrightarrow{t_i, g_i} (M_{i+1}, GS_{i+1})$ , 这里的  $g_i \in GS_i$ , 因此有  $GS_i \models \varphi_i$ , 从而在  $GN$  中存在一条变迁序列  $\sigma_{GN}$ , 使得  $\sigma_{GN} \models \Phi$ , 又因为公式  $\Phi$  是表示用户期望的目标, 所以由定义 11,  $GN \Rightarrow \Phi$ , 定理得证. 证毕.

如图 7 所示, 表示满足用户需求的目标约束图 6 的修改模型, (为简单起见, 省略取消订单和已有订单的两个变体).

在图 7 中, 增加 3 个库所:  $p_6, p_7, p_8$  和 3 个变迁:  $t_7, t_8, t_9$ , 在图中都用斜体表示. 根据实际用户的需求, 为保证可配置业务流程的正确性, 需要满足三个 Requirements 如下表达式所示:

- (1) Requirement-1:

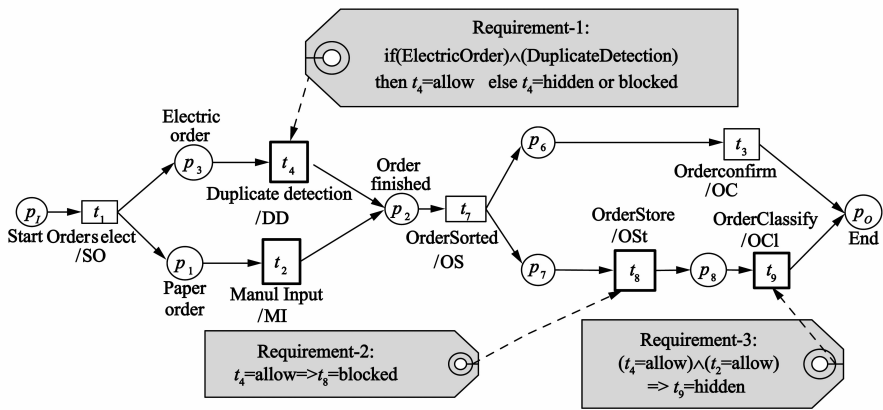
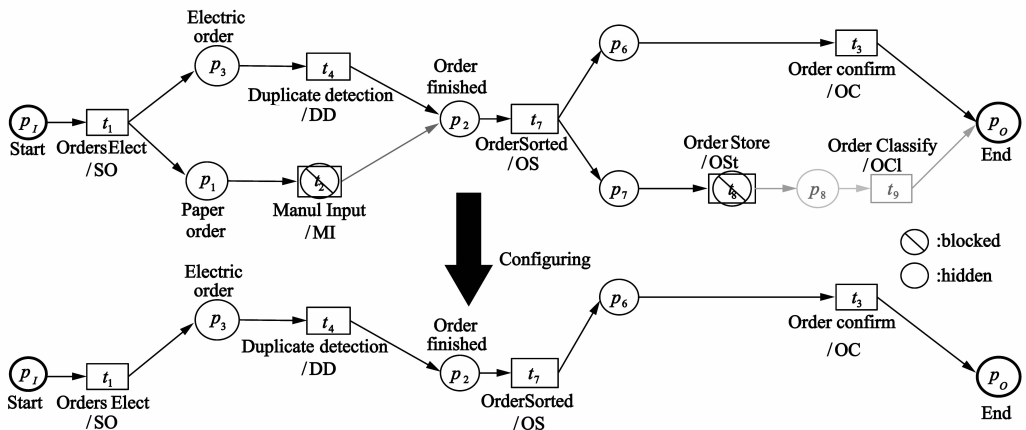
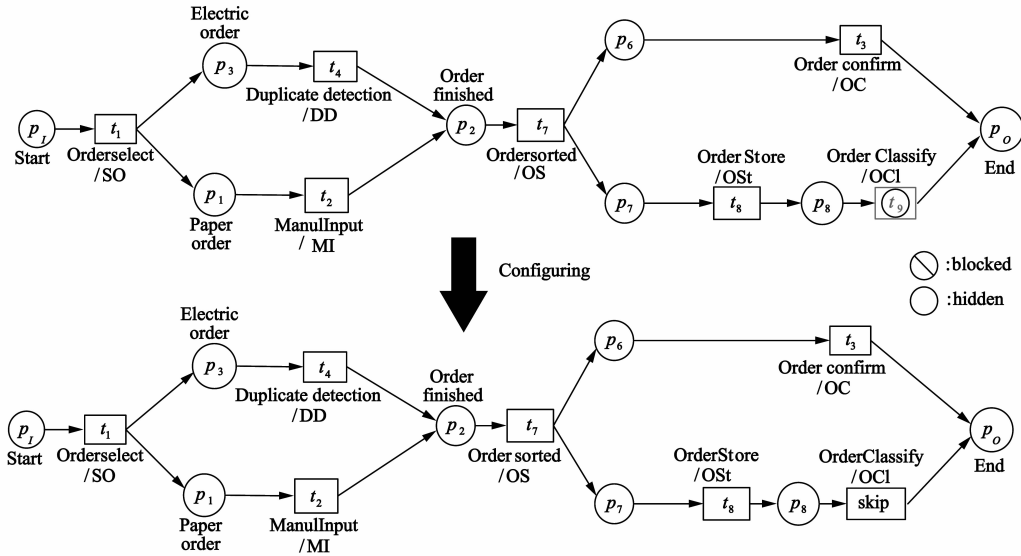


图7 需求约束的部分GWF-net模型



(a) Configuring of the GWF-net by blocked operation



(b) Configuring of the GWF-net by hidden operation

图8 可配置GWF-net的配置过程

if (ElectricOrder) ^ (DuplicateDetection) then  $t_4 = \text{allow}$   
else  $t_4 = \text{hidden or blocked}$

(2) Requirement-2:

$t_4 = \text{allow} \Rightarrow t_8 = \text{blocked}$

(5)

(4)

这个需求表明电子订单不需要存储同时分类也取消了,在流程中  $t_8$  被 blocked.

这个需求表明如果选择电子订单则变迁  $t_4$  将会 allowed.

## (3) Requirement-3:

$$(t_4 = \text{allow}) \wedge (t_2 = \text{allow}) \Rightarrow t_9 = \text{hidden} \quad (6)$$

表明当电子订单和纸质订单都选择的时候变迁  $t_9$  将被 hidden 作为一个哑动作(skip)。

由定义 9, 可将上述 3 个 Requirements 表示为目标的 LTL 公式, 如将 Requirement-2 能够表示如下:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \text{DuplicateDetection} \\ &\Rightarrow (\neg \text{OrderStore}) \wedge (\neg \text{OrderClassify}) \end{aligned} \quad (7)$$

Requirement-3 表示为:

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= (\text{DuplicateDetection}) \wedge (\text{ManulInput}) \\ &\Rightarrow (\text{OrderStore}) \wedge (\neg \text{OrderClassify}) \end{aligned} \quad (8)$$

因而, 在需求的引导下对图 7 所示的可配置流程模型通过配置操作能够派生出一个满足用户需求的某些特定流程如图 8 所示。

图 8(a) 是通过满足 Requirement-1 和 Requirement-2 配置出来的特定流程, 而图 8(b) 是满足 Requirement-1 和 Requirement-3 而派生出来的特定流程。

## 5 结束语

本文提出一个基于目标模型的可配置业务流程模型正确性的分析方法。这种方法是通过将目标加入到 WF-net, 从而将用户的需求整合到业务流程模型当中去; 然后通过增加配置操作将用 GWF-net 表示的业务流程模型转换成可配置业务流程模型; 最后, 提出这种可配置业务流程的分析方法, 通过对流程模型的结构性及流程配置与用户需求之间的目标约束一致性讨论, 为保证业务流程的有效性提供一种行之有效的办法。下一步工作主要从配置过程中满足的性质入手, 重点讨论用户需求一致性分类和条件, 然后使用相关工具对其进行分析与验证, 指导设计分析人员适时的去调整和改善业务流程模型, 从而使得业务流程能够快速适应云计算环境中的复杂性和动态性。

## 参考文献

- [1] W Aalst. Business process management: A comprehensive survey[J]. ISRN Software Engineering, 2013, 12(1): 1 - 37.
- [2] M L Rosa. Managing variability in process-aware information systems [D]. Brisbane, Australia: Queensland University of Technology, 2009. 4.
- [3] W Aalst. Business process configuration in the cloud: How to support and analyze multi-tenant processes? [A]. Proc of the 9th IEEE European Conference on Web Services [C]. New York: IEEE Computer Society, 2011. 3 - 10.
- [4] W Derguech, S Bhiri. An automation support for creating configurable process models [A]. Proc of The 12th International Conference on Web Information System Engineering [C]. Berlin: Springer, 2011. 199 - 212.
- [5] FGottschalk, W Aalst, M H Jansenvullers. Configurable process models-A foundational approach [A]. Reference Modeling [M]. Berlin: Springer, 2007. 59 - 78.
- [6] M L Rosa, W Aalst. A configurable reference modeling language[J]. Information Systems, 2007, 32(1): 1 - 23.
- [7] M L Rosa, M Dumas, A H M Hofstede, et al. Configurable multi-perspective business process models[J]. Information Systems, 2011, 36(2): 313 - 340.
- [8] F Gottschalk, W Aalst, M H Jansenvullers, et al. Configurable workflow models [J]. International Journal of Cooperative Information Systems, 2007, 17(2): 177 - 221.
- [9] W Aalst, M Dumas, F Gottschalk, et al. Preserving correctness during business process model configuration [J]. Formal Aspects of Computing, 2010, 22(3): 459 - 482.
- [10] W Aalst, N Lohmann, M L Rosa, et al. Correctness ensuring process configuration: An approach based on partner synthesis [A]. Proc of the 8th International Conference on Business Process Management (C). Berlin: Springer, 2010. 95 - 111.
- [11] W Aalst, K M V Hee, A H M Hofstede. Soundness of workflow nets: Classification, decidability, and analysis [J]. Formal Aspects of Computing, 2011, 23(3): 333 - 363.
- [12] A Classen, M Cordy, P Yves, et al. Featured transition systems: Foundations for verifying variability-intensive systems and their application to LTL model checking [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2013, 39(8): 1069 - 1089.
- [13] T Basten, W Aalst. Inheritance of behavior [J]. Journal of Logic and Algebraic Programming, 2001, 47(2): 47 - 145.
- [14] 余阳, 汤庸, 潘茂林, 等. 时态工作流过程模型及其合理性验证 [J]. 软件学报, 2010, 21(6): 1233 - 1253.  
Yu Yang, Tang Yong, Pan Mao-lin, et al. Temporal workflow process model and its soundness verification [J]. Journal of Software, 2010, 21(6): 1233 - 1253. (in Chinese)
- [15] 庞善臣, 闫春钢, 蒋昌俊, 等. 基于家态的多事务工作流完整性分析 [J]. 电子学报, 2006, 34(6): 1163 - 1168.  
Pang Shan-chen, Yan Chan-gang, Jiang Chang-jun, et al. Soundness analysis of the multi-cases workflow model based on home state [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(6): 1163 - 1168. (in Chinese)
- [16] 庞善臣. 一种基于资源约束的工作流建模及分析方法 [J]. 电子学报, 2012, 40(8): 1497 - 1502.  
Pang Shan-chen. Modeling and verification of workflow based on resource constraint [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(8): 1497 - 1502. (in Chinese)
- [17] S Liaskos, M S Khan, M Litoiu, et al. Behavioral adaptation of information systems through goal models [J]. Information systems, 2012, 37(3): 767 - 783.
- [18] G Groner, M Asadi, B Mohabbati, et al. Validation of user intentions in process models [A]. Proc of the 24th International



Conference on Advanced Information Systems Engineering (C). Berlin: Springer, 2012. 366 – 381.

- [19] 吴毅坚, 赵文耘. 特定领域软件框架的提取方法研究 [J]. 电子学报, 2011, 34(8): 1365 – 1377.

Wu Yi-jian, Zhao Wen-yun. Research on distilling domain specific software frameworks [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 34(8): 1365 – 1377. (in Chinese)

- [20] Wang Jian, He Ke-qing, Liang Peng. Rgps: A unified requirements meta-modeling frame for networked software [A]. Proc of the 3<sup>rd</sup> International Workshop on Advances and Applications of Problem Frames (C). New York: IEEE Computer Society, 2008. 29 – 35.

- [21] 袁崇义. Petri 网应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.  
Yuan Chong-yi. Application of Petri net [M]. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese)



**何克清** 男, 1947 年生, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, CCF 高级会员, 主要研究方向: 服务计算、软件工程、需求工程、ISO 国际标准.

E-mail: hekeqing@whu.edu.cn



**冯在文(通信作者)** 男, 1980 年生, 湖北武汉人, 博士, 主要研究方向: 服务计算、软件工程、需求工程.

E-mail: zwfeng@whu.edu.cn

## 作者简介



**黄贻望** 男, 1978 年生, 湖南怀化人, 副教授, 博士研究生, CCF 会员, 主要研究方向: 服务计算、业务流程管理、形式化方法等.

E-mail: hywexq-1@163.com

**黄颖** 女, 1981 年生, 江西赣州人, 博士研究生, 主要研究方向: 软件工程, 服务计算法等.

E-mail: nhwshy@whu.edu.cn