

基于配置变迁的业务流程模型优化分析方法

刘 红 刘祥伟 王丽丽

(安徽理工大学信息与计算科学系 淮南 232001)

摘 要 为了灵活适应市场需求,业务流程模型的优化分析显得越来越重要。已有的方法大部分基于静态定位变化区域,进而对该区域进行优化,具有一定的局限性。基于 Petri 网的方法和行为轮廓的思想从行为角度来动态分析业务流程中的变化部分,利用日志与模型的匹配关系以及动态定位来确定模型中的变化域,考虑接口部分,利用适合度和行为适当性,通过配置变迁优化模型,然后利用行为轮廓一致性度判定最优模型,最后用实例验证该方法的可行性。

关键词 配置变迁,模型定位移动,优化分析,匹配,接口变迁,Petri 网

中图法分类号 TP391.9

文献标识码 A

Business Process Model Optimized Analysis Method Based on Configuration Change

LIU Hong LIU Xiang-wei WANG Li-li

(Department of Information and Computing Science, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract To adapt the quick demand of business process management market, the optimized analysis of business process model is increasingly important. Most of the existing methods are based on the static positioning change area to optimize the area, having some limitations. In this paper, based on Petri net and behavior profile, from the behavior angle, we did dynamic analysis of change parts in the business process, used matching relation between log and model and dynamic localization to determine the change region of model, considered the interface part, used the fitness and behavioral appropriateness to optimize model with the configuration change. Then behavioral profile consistency degree was used to determine the optimal model. Finally, an example was used to verify the feasibility of this method.

Keywords Configurable transition, Model to locate mobile, Optimized analysis, Matching, Interface transition, Petri net

1 概述

为了适应市场需求,灵活地管理和应用业务流程模型,确定模型变化部分且进行优化分析显得越来越重要。文献[1]提出了利用行为轮廓获取流程模型的基本行为约束,并通过定义一致性计算了模型间的一致性度。文献[2]探究了匹配的流程模型之间的变化传播,通过给定源模型中的变化域,基于边界变迁的减少和内部边界变迁的减少确定了目标模型的变化域。文献[3]提出运用行为轮廓引出的适当标准来测量过程的相似性。文献[4]通过大量的网络实验调查比较了迹等价和行为轮廓在判断模型一致性方面的效果,表明迹等价不适合作为一致性的评判标准。文献[5]提出了从流程相似性研究模型的相似度,但没有说明引起变化的原因。文献[6]通过可配置的流程建模符号,捕获资源、数据和物理对象的功能,用于参与任务的性能。文献[7]提出假设参考流程模型的配置是语法和行为语义合理的,则个体化流程模型语法和行为语义也是合理的,并将其应用到 Event-driven Process Chains 中,用于领域分析或方案设计。文献[8]提出了一种融合算法,将一组过程变量融合到一个可配置的流程模型中,合并模型包含了原始模型的行为,通过配置和个体化可得到任

何输入模型。文献[9]提出一种算法,通过提取、聚类、合并一个特定活动的流程片段来构造一个可配置的流程片段,选择可配置片段,允许流程设计者灵活调整和指定流程可配置部分来达到配置流程模型设计要求。

从目前的研究情况来看,业务流程模型的优化分析仅从行为轮廓角度进行静态分析,很少与配置变迁结合,具有一定的局限性。本文基于 Petri 网的方法和行为轮廓的思想从行为角度来动态分析业务流程中的变化部分,从日志和模型间的匹配关系入手,然后基于模型移动来动态定位变化区域,考虑变化变迁的接口部分,用配置变迁优化模型,最后通过对比给定模型和优化后模型的适合度以及行为适当性以及行为轮廓一致性度,说明配置后的模型是最优模型。

2 基本概念

定义 1(行为轮廓)^[10,11] 已知 $LP_P = (P, T, F, C)$ 是一个流程 Petri 网,一个活动变迁对 $(t_x, t_y) \in (T \times T)$ 至少满足以下 6 种关系中的一种:

- 严格序关系 $\rightarrow$: 满足 $t_x < t_y$ 但 $t_y \not< t_x$;
- 互斥关系 $+$: 满足 $t_x \not< t_y$ 且 $t_y \not< t_x$;
- 交叉关系: 满足 $t_x < t_y$ 且 $t_y < t_x$, 可具体分为以下 3 种:

本文受国家自然科学基金项目(61402011, 61572035),安徽省自然科学基金(1508085MF111, 1608085QF149),安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2016A208),安徽省学术和技术带头人资助项目(DG119),安徽省优秀青年人才项目(ZY290)资助。

刘 红(1992—),女,硕士,主要研究方向为 Petri 网, E-mail: 15055431599@163.com; 刘祥伟(1977—),女,硕士,副教授,主要研究方向为流程管理; 王丽丽(1982—),女,硕士,讲师,主要研究方向为业务流程分析和软件认证。

并行关系 $\parallel$: 若存在 t_z , 使得 $t_z > t_x, t_z > t_y$ 同时成立;

弱交叉关系 $\times$: 满足 $t_x < t_y$ 且 $t_y < t_x$ 或满足 $t_x \prec t_y$ 且 $t_y \not\prec t_x$;

循环关系 $\leftrightarrow$: 满足 $t_x > t_y > t_x$ 和 $t_y > t_x > t_y$;

则称 $B_L = \{\rightarrow, +, \parallel, \times, \leftrightarrow\}$ 为 LP_P 的行为轮廓。

对于一个流程 Petri 网 $LP_P = (P, T, F, C)$, 若给定初始标识 M_0 , 网中变迁之间的关系便可得到确定。图 1 给出了 5 个示例, 分别说明行为轮廓的几种关系。 t_1 和 t_2 分别为每个图中特定标明的两个变迁。顺序关系如图 1(a) 所示, 顺序关系说明两个变迁必须都发生, 从初始标识开始的所有发生序列中 t_1 的发生必然引起 t_2 的发生, 记为 $t_1 \rightarrow t_2$ 。互斥关系如图 1(b) 所示, 说明在所有的发生序列中 t_1 和 t_2 都不会同时存在, 也可能存在一个发生序列都不包含 t_1 和 t_2 , 记为 $t_1 + t_2$ 。并行关系如图 1(c) 所示, 说明两个活动变迁在同一初始标识下沿同一发生序列中的两条分支路线并行运行, 互不干扰, 记为 $t_1 \parallel t_2$ 。交叉关系的示例如图 1(d) 所示。弱交叉关系说明在一个发生序列中, 若 t_1 和 t_2 都发生, 则 t_1 和 t_2 可并行运行, 记为 $t_1 \times t_2$ 。循环关系如图 1(e) 所示, 两个活动变迁在同一初始标识下, 可以以任何顺序存在。通常图中 t_1 和 t_2 的关系记为 $t_1 \leftrightarrow t_2$ 。

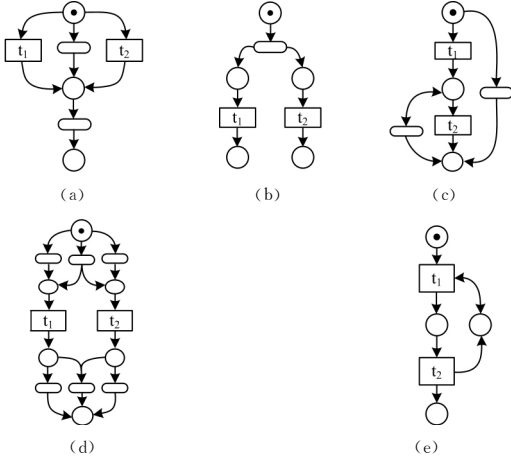


图 1 变迁的序关系

定义 2(匹配)^[12] 设 $CP = (P, T, F, l, a_0)$ 是一个标签网系统, 假设 $l = a_1 a_2 \dots a_m$ 是关于 Σ 的迹, 一个移动记作变迁对 $(x, y) \in (\Sigma \cup \{\perp\}) \times (T \cup \{\perp\}) \setminus \{(\perp, \perp)\}$, 日志 L 和模型

N 的一个匹配记作一个移动序列 $\beta = (x_1, y_1)(x_2, y_2) \dots (x_s, y_s)$, 例如当 $i = 1, 2, \dots, k$ 时,

(1) $\exists y_i \neq \perp, l(y_i) \neq \tau$ 和 $x_i \neq \perp, l(y_i) = x_i$ 。

(2) $\exists x_i = \perp, y_i \neq \perp$ 。

(3) $\exists y_i = \perp, x_i \neq \perp$ 。

一个移动 (x_i, y_i) 被称作: 1) 模型上的移动; 2) 日志上的移动; 3) 同步移动。

模型 CP 的每个迹通常有几个匹配, 我们需要寻找一个最好的匹配, 最好的匹配即花费最少。

定义 3(花费)^[12] 日志 L 的匹配花费 $c: \Sigma \cup T \rightarrow \mathbb{Z}, c(x) \geq 0$, 对于所有的 $x \in \Sigma \cup T$ 都成立, 如果标签看不到, 则 $c(x) = 0$, 一个移动 (x, y) 的花费 $c(x, y)$ 有下列 3 种情况:

(1) 同步移动花费即 $c(x, y) = 0 \Leftrightarrow x \neq \perp \neq y$;

(2) 日志上移动花费 $c(x, y) = c(x) \Leftrightarrow x = \perp, y \neq \perp$;

(3) 模型上移动花费 $c(x, y) = c(y) \Leftrightarrow x \neq \perp, y = \perp$, 一个

移动序列 $\beta = (x_1, y_1)(x_2, y_2) \dots (x_i, y_i)$ 的花费 $c(\beta) = \sum_{i=1}^k c(x_i, y_i)$ 。

定义 4(最佳匹配) $LP_P = (P, T, F, C)$ 是一个标签 Petri 网, c 是关于模型和日志迹的花费, 当且仅当存在一个匹配 β^* , 使得对于模型到日志的任意匹配, 即 $\forall \beta \in \Sigma \cup T, c(\beta^*) \leq c(\beta)$, 则 β^* 为最佳匹配。

3 寻找变化区域

3.1 模型与日志间的匹配

已有的方法仅仅通过匹配会给模型优化带来问题, 当存在模型上的移动 $(\perp, t)$, 它主要是延伸网 N 在模型的 τ 变迁处跳过一个变迁 t ; 当存在日志移动 $(a, \perp)$, 延伸网 N 在变迁 a 的位置加入自环变迁 t , 这些延伸适用于模型和日志在迹上的移动, 下面重点说明这些延伸的位置。

表 1 说明了非拟合迹如何与图 2 中的模型匹配。下面每一个网的匹配说明了日志和模型间的差异。表 1(d) 中, 在重放 $ABDCE$ 后, 这个网标识为 $[p6, p7]$, 重放变迁 F , 发生在日志中, 但不在模型中的日志移动 $(F, \perp)$; 同理变迁 D 不能发生在模型中, 记作日志移动 $(D, \perp)$, 如表 1(b) 中模型上的 $(\perp, D), (\perp, C), (\perp, F)$, 本文在此处加入一个与变迁 t 有相同前集与后集的 τ 变迁, 同理可分析表 1(a) 和表 1(c)。

表 1 日志和模型的匹配

(a)

A	B	D	E	F	D	F	G	H	J
A	B	$\perp$	E	$\perp$	D	F	G	H	J
$[p_1]$	$[p_2, p_3]$	$[p_4, p_5]$	$[p_5, p_6]$	$[p_8, p_6]$	$[p_5, p_6]$	$[p_8, p_6]$	$[p_8, p_9]$	$[p_{10}]$	$[p_{11}]$

(b)

A	B	$\perp$	$\perp$	E	G	$\perp$	H	J
A	B	D	C	E	G	F	H	J
$[p_1]$	$[p_2, p_3]$	$[p_2, p_5]$	$[p_4, p_5]$	$[p_6, p_5]$	$[p_5, p_9]$	$[p_8, p_9]$	$[p_{10}]$	$[p_{11}]$

(c)

A	B	$\perp$	$\perp$	$\perp$	$\perp$	$\perp$	J
A	B	E	D	F	G	H	J
$[p_1]$	$[p_2, p_3]$	$[p_2, p_6]$	$[p_6, p_5]$	$[p_6, p_8]$	$[p_8, p_9]$	$[p_{10}]$	$[p_{11}]$

(d)

A	B	D	C	E	F	D	F	G	H	J
A	B	D	C	E	$\perp$	$\perp$	F	G	H	J
$[p_1]$	$[p_2, p_3]$	$[p_3, p_5]$	$[p_2, p_4]$	$[p_6, p_7]$	$[p_7, p_8]$	$[p_8, p_5]$	$[p_8, p_7]$	$[p_9, p_8]$	$[p_7, p_{10}]$	$[p_{11}]$

3.2 模型移动的定位

一个日志 L 的最佳匹配包含较少的同步移动,例如:日志 L 与模型 M 不匹配,许多的 τ 变迁和自环被加入。自环被加入到模型中的相同位置使得模型中出现不符合要求的随机序列,降低了模型的精确性。已有的方法仅仅研究日志移动的单个变迁的定位,如 $b \in \Sigma$ 。本文研究日志移动的最大序列,发生在相同位置的移动最大序列是非拟合子迹,假设一个随机但最佳的匹配被给定, $z(M) = \{z(m)/m \in M\}$ 是日志 L 的迹到 M 的匹配,因此定位模型移动可以提高精确性。

定义 5(定位模型移动) 设 $z = (a_1, t_1) \cdots (a_n, t_n)$ 是一个关于模型 $M = (P, T, F, i_s, i_e, L)$ 的匹配,对于任意的移动 (a_i, t_i) , i_k 是 M 的发生序列 $t_1 t_2 \cdots t_{k-1}$ 作用下的发生标识, $\forall 1 \leq k \leq n$, 如果 $(a_k, t_k) = (\perp, a_k)$ 是一个模型移动,那么 $(\perp, a_k)$ 的定位是一个库所集合 $loc(\perp, a_k) = \{p \in P/m_k(p) > 0\}$ 定位在标识 i_k 处。

定义 6(变化域) 设 $\delta^* = t_1^*, t_2^*, \dots, t_n^*$ 为给定流程模型 TP 的发生序列, $\delta = t_1, t_2, \dots, t_n$ 是日志关系序列, $\forall t_i, t_j \in \delta (i < j)$ 匹配到 $\forall t_i^*, t_j^* \in \delta^* (i < j)$, 日志序列中不满足最佳匹配关系的 δ 构成一个集合 $\{t_i^*, t_j^*, \dots\}$, 被称作模型 TP 的变化域。

4 基于配置变迁的变化域优化分析

基于 Petri 网的方法和行为轮廓的思想从行为角度来动态分析业务流程中的变化部分,克服了从静态上定位变化范围的局限性。找到发生频数较高的日志,分析这些日志与流程模型间的匹配,找到可能引起变化的位置,通过动态定位,进一步确定变化区域。给出算法 1,具体如下。

算法 1

- 步骤 1 把日志发生频数从高到低排列,找出发生频数较高(日志发生频数高,说明它在模型中发生的可能性大)的日志,转入步骤 2;
- 步骤 2 根据定义 2,匹配发生频数较高的日志与流程模型的变迁,计算一个匹配的花费,即匹配 $(M, L, c) \rightarrow \beta, \forall x \in \Sigma$, 计算日志移动 $(x, \geq)$ 在 β 中的数目,记为 $\Delta(x)$, $\forall y \in T$, 计算模型移动 $(y, \geq)$ 在 β 中的数目,记为 $\Delta(y)$, 那么记总花费 $c^*(\beta) = \Delta x + \Delta y (\beta \in \Sigma \cup T)$, 重复上述步骤,直至所有的高频日志重放完毕,转入步骤 3;
- 步骤 3 通过比较,找到花费较大的匹配(花费大,说明模型与日志移动多,出现变化的可能性大),转入步骤 4;
- 步骤 4 根据定义 5,基于日志的行为关系, $\forall 1 \leq k \leq n$, 如果 $(a_k, t_k) = (\perp, a_k)$ 是一个模型移动,那么 $(\perp, a_k)$ 的定位是一个库所集合 $loc(\perp, a_k) = \{p \in P/m_k(p) > 0\}$ 定位在标识 i_k 处动态定位模型中移动的位置,找到变化的变迁,结合与变化变化变迁相关的上下位关系和语义,找到变化区域 $C_i (1 \leq i \leq k)$, 转入步骤 5;
- 步骤 5 用剩余的花费较高的匹配日志作为控制流,基于定义 5,进一步确定变化的区域,即 $C_r = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k$;

定义 7(接口变迁) 在模型 $PN = (P, T, F, i, o, L)$ 中, i 是初始库所且 $i = \emptyset, i' \neq \emptyset$; o 是最终库所且 $o \neq \emptyset, o' = \emptyset$; l 是网 PN 的标签,它的行为轮廓 $B_{PN} = \{\rightarrow, \times, \parallel\}$, 若 y_i 是模型中的变化变迁,则 PN 的向前接口变迁为与 y_i 直接严格序的向前所有边界节点,即 $PC \subseteq P$, 若 $\exists a \rightarrow_{PN} y_i$, 则 $\exists b \in P$, 使得 $a \rightarrow_{PN} b \rightarrow_{PN} y_i$, 则 a 是 y_i 的前接口变迁;类似地定义 y_i 的后接口变迁 c , 那么 a 和 c 合称为 y_i 的接口变迁。

定义 8(适合度)^[13] 设 $L_p = n_1, \dots, n_m$ 是流程模型 $P = (A, C, T, F)$ 的一组日志。集合 $SR \subseteq (A_L \times A_L)$ 包含所有的活动变迁对 (x, y) , 其中日志 L_p 的行为关系映射到流程模型 P 中, $SR(R_p, R_L)$ 满足 $R_p \in \{\rightarrow, \rightarrow^{-1}\} \wedge R_L = \times$ 或 $R_p = R_L$ 或 $R_p = \wedge$, 则日志 L_p 在流程模型 P 中重放的适合度 $a_{LP} = |SR| / (|A_L \times A_L|)$ 。

定义 9(行为适当性)^[14] $a_B^{[10]}$ (所观察到的行为在此模型中的精确程度):

$$a_B = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k n_i (x_i - 1)}{(m-1) \sum_{i=1}^k n_i}$$

其中, k 为给定日志中的不同轨迹数, n 为日志轨迹中所含的数目, x 表示日志轨迹重放时就绪变迁的平均数目, m 表示模型中可见任务的个数。

定义 10(行为轮廓一致性度)^[10] 设 $CP_1 = (A_1, T_1; F_1)$ 和 $CP_2 = (A_2, T_2; F_2)$ 分别是两个 Petri 网模型, 它们关于 $\sim$ 匹配, $CT_1 \subseteq T_1 \times T_1, CT_2 \subseteq T_2 \times T_2$ 分别是它们的一致性变迁对集合, 两个模型变迁的行为轮廓一致性度被记作:

$$CBP(CP_1, CP_2) = \frac{\sum_{(t_x, t_y) \in CT_1 \cup CT_2} |(t_x, t_y)|}{\sum_{(t_x, t_y) \in (T_1, T_1) \cup (T_2, T_2)} |(t_x, t_y)|}$$

通过算法 1 找到给定模型的变化域, 下面给出算法 2, 通过配置变迁对模型进行优化分析。

根据算法 1, 得出源模型中存在变化域, 选取增量日志来验证和优化给定模型。由于变化变迁的接口变迁很可能存在变化, 验证指的是增量日志的弱序关系与给定模型的相应活动的行为轮廓关系是否一致; 优化指的是当增量日志的弱序关系与初始模型的相应活动的行为轮廓关系不一致时, 我们要如何做出调整? 本文的做法是在不一致处做上标记, 根据日志与模型的一致性评判标准做出调整。

算法 2 变化域的优化方法研究

输入: 带变化域的流程模型

输出: 优化后的流程模型

- 步骤 1 根据定义, 找到变化变迁的接口变迁, 将变化变迁和它的接口变迁作为一个新的变化区域, 转入步骤 2;
- 步骤 2 若满足包含新变化区域中的变迁, 将迹的变迁数超过最长序列一半的日志记为增量日志, 转入步骤 3, 否则舍弃;
- 步骤 3 计算增量日志的弱序关系, 转入步骤 4;
- 步骤 4 将增量日志的弱序关系与初始模型的行为轮廓关系进行匹配, 在行为不一致的地方加上配置变迁, 同时加入或删除相应的路径来调整模型, 得到 $M_1, M_2, \dots$;
- 步骤 5 根据定义 8, 计算模型和增量日志的适合度, 若 $a_{LP} > 0.9$, 则根据定义 9 计算行为适当性 a_B , 转入步骤 7, 否则舍弃此标签和它的相应路径计算, 转入步骤 6;
- 步骤 6 加入一条新的日志, 转入步骤 4;
- 步骤 7 在标签相同的位置, 如果 $w_i \cdot a_{LP}(S_j) + w_k \cdot a_B(S_j) / (w_i + w_k) > w_i \cdot a_{LP}(S_0) + w_k \cdot a_B(S_0) / (w_i + w_k) (w_i > w_k)$, 其中 $j = 1, 2, \dots$, 则得到模型 M_j , 进入步骤 8, 否则舍弃模型 M_j ;
- 步骤 8 根据定义 10, 计算模型 M_j 和模型 M_0 的行为轮廓一致性度, 选择与给定模型 M_0 一致性度最大的模型 M_j^* 作为新模型;
- 步骤 9 转入步骤 1, 直到所有的标签做出最佳调整, 得到最优的业务流程模型。

5 实例分析

下面用一个简单实例来说明上述方法的可行性, 表 2 中

给出了日志的执行轨迹与实例数。

按实例数从大到小排列,结果依次记为 $\{ \langle ABCDEF-GHJ \rangle^{4832}, \langle ABDFDFGHJ \rangle^{3996}, \langle ABEGHJ \rangle^{2825}, \langle ABCDCED-FFGHJ \rangle^{2235}, \langle ABJ \rangle^{1085}, \langle ABDFCEGHJ \rangle^{660}, \langle ABCDEF-HJ \rangle^{560}, \langle ABCEGHJ \rangle^{224} \}$ 。根据算法 1,结合表 1 的匹配关系,找到变化变迁 C,D,F,结合上下位关系和语义,确定变化区域,如图 2 中的虚线区域。

表 2 事件日志

实例数	事件轨迹数
4832	ABCDEFGHJ (L1)
2235	ABDCEFDGHIJ (L2)
3996	ABDFDFGHJ (L3)
560	ABCDEFHJ (L4)
2825	ABEGHJ (L5)
224	ABCEGHJ (L6)
660	ABDFCEGHJ (L7)
1085	ABJ (L8)

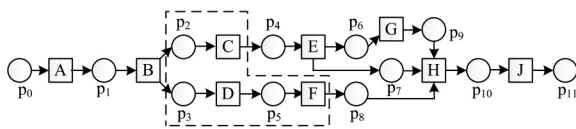


图 2 给定模型

根据算法 2,利用增量日志调整模型,用配置变迁优化模型,计算优化模型和给定模型的行为轮廓一致性度,找到行为轮廓一致性度最大且是最佳匹配模型,得到优化后模型,如图 3 所示。

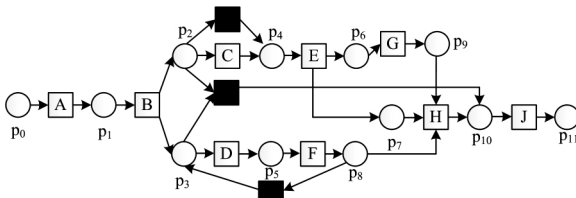


图 3 优化模型

然后本文利用日志与模型的匹配关系以及动态定位确定模型的变化域,考虑接口部分,基于适合度和行为适当性,用配置变迁优化模型。本方法与文献[15]的方法在精度、适合度和行为适当性方面做了比较,结果说明了本方法的有效性,具体如表 3 所列。

表 3 结果比较表

Methods	Log Index	Case 240	Case 360	Case 500	Case 650	Case 850
ICD	Precise	0.981	0.988	0.994	0.986	0.979
	Conformity	0.985	0.989	0.996	0.982	0.979
	Appropriate	0.977	0.986	0.992	0.989	0.979
BCO	Precise	0.972	0.984	0.986	0.979	0.968
	Conformity	0.970	0.985	0.990	0.976	0.963
	Appropriate	0.974	0.983	0.988	0.983	0.974

结束语 本文在已有研究的基础上,基于 Petri 网的方法和行为轮廓的思想从行为角度来动态分析业务流程中的变化部分,摆脱了从静态上定位变化范围的局限性。找到发生频数较高的日志,分析这些日志与流程模型间的匹配,找到可能引起变化的位置,通过动态定位,进一步确定变化区域。然后考虑接口部分,利用适合度和行为适当性,将配置变迁优化模

型和已有方法对比,说明了该方法的有效性。关于变化域,未来还有许多问题需要去研究。例如:如何实现模型修正的自动化处理,如何用配置变迁优化带数据流信息的行为轮廓等都是将来考虑研究的问题。

参考文献

- [1] Matthias W, Jan M, Mathias W. Efficient consistency measurement based on behavioral profiles of process models [C]// 2011 IEEE Transactions on Software Engineer. 2011;410-429
- [2] Weidlich M, Weske M, Mendling J. Change Propagation in Process Models Using Behavioral Profiles [C]// IEEE International Conference on Services Computing. IEEE Computer Society, 2009;33-40
- [3] Kunze M, Weidlich M, Weske M. Behavioral similarity a proper metric [C]// International Conference on Business Process Management. Springer Berlin Heidelberg, 2011;166-181
- [4] Matthias W, Jan M. Perceived consistency between process models [J]. Information Systems, 2012, 37(2):80-98
- [5] Don B, et al. Measuring Similarity between Business Process Models [C]// The 20th International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008;450-464
- [6] La Rosa M, Dumas M, Ter Hofstede A H M, et al. Configurable multi-perspective business process models [J]. Information Systems, 2011, 36(2):313-340
- [7] Van der Aalst W M P, Dumas M, Gottschalk F, et al. Preserving correctness during business process model configuration [J]. Formal Aspects of Computing, 2010, 22(3/4):459-482
- [8] Derguech W, Bhiri S. Merging business process variants [C]// Business Information Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2011;86-97
- [9] Assy N, Chan N N, Gaaloul W. An Automated Approach for Assisting the Design of Configurable Process Models [J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2015, 8(6):874-888
- [10] Smirnov S, Weidlich M, Mendling J. Business Process Model Abstraction based on Behavioral Profiles [C]// 8th International Conference, San Francisco, 2010. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010;1-16
- [11] Smirnov S, Weidlich M, Mendling J. Business process model abstraction based on synthesis from well-structured behavioral profiles [J]. International Journal of Cooperative Information Systems, 2012, 21(1):55-83
- [12] Van der Aalst W, Adriansyah A, van Dongen B. Replying history on process models for conformance checking and performance analysis [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2012, 2(2):182-192
- [13] Weidlich M, Polyvyanyy A, Desai N, et al. Process compliance measurement based on behavioural profiles [C]// International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2010;499-514
- [14] 吴俊枝. 基于 Petri 网行为轮廓的业务流程挖掘方法研究 [D]. 合肥:安徽理工大学, 2014
- [15] Weidlich M. Behavioural profiles: A relational approach to behaviour consistency [D]. University of Potsdam, 2011