

基于 Petri 网行为包含和行为继承的业务流程变化域传播分析

方贤文^{1,2} 赵芳¹ 刘祥伟¹ 方欢¹

(安徽理工大学信息与计算科学系 淮南 232001)¹ (同济大学计算机科学系 上海 201804)²

摘要 业务流程建模问题一直是业务流程管理的核心问题,其目的是为了灵活地适应变化的商务需求,但在建模过程中也会出现一系列的问题,有些模型之间甚至存在着相同的问题,因此会出现变化域传播的现象。已有的方法主要是从边界变迁的减少和内部边界变迁的减少来分析模型的变化域传播,因而具有一定的局限性。为了研究模型间的变化域传播问题,基于源模型和目标模型之间存在的迹等价及行为包含关系,通过给定源模型的变化域,提出了基于行为继承的变化域传播分析方法来寻找目标模型的变化域。最后,通过一个具体的流程实例进一步说明了该方法的可行性。

关键词 变化域传播,迹等价,行为包含,行为继承

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.11.007

Change Propagation Analysis in Business Process Based on Behavior Inclusion and Behavior Inheritance of Petri

FANG Xian-wen^{1,2} ZHAO Fang¹ LIU Xiang-wei¹ FANG Huan¹

(Department of Information and Computing Science, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)¹

(Department of Computer Science, Tongji University, Shanghai 201804, China)²

Abstract Business process modeling is the core problem of business process management, the purpose of which is to adapt to the changing business needs flexibly. However, there will be a series of problems in the process of modeling, and there may exist the same problem in some models, that in turn imposes a phenomenon for the propagation of changes. Existing methods analyze the change propagation mainly from the reduction of boundary nodes and the inter-boundary nodes, so there are some limitations. To study the propagation of changes, based on the trace equivalence and behavior inclusion relations between the source and target models, we gave the change region of the source model and used the change propagation analysis method of behavior inheritance to find the change region of the target model. Finally, a specific process instance is used to show the feasibility of this method.

Keywords Change region propagation, Trace equivalence, Behavior inclusion, Behavior inheritance

1 引言

随着计算机技术的日益发展,系统需要建立不同的模型以满足需求,而在现实的建模过程中,一些模型会出现迹等价与行为包含的特征,基于变化域具有的传播特性,通过给定源模型的变化域来确定目标模型的变化域。

为了灵活适应业务流程建模环境,响应变化的商务需求是业务流程管理(BPM)的核心问题,Rinderle S 等人在 2004 年提供了适应运行中工作流网的标准,并用实际方法分析提取与动态变化域传播密切相关的元素^[1]。基于此,Weber B 在 2007 年将过程模型中的变化域进行了分类,并且提供了一系列的变化域传播模式,增强了系统性的功能^[2]。同时,相关模型间的变化域传播对于模型的匹配来说有着重要的意

义^[3]。文献[4,5]提出了行为轮廓能够影响模型的变化域传播,通过给定源模型的变化域,基于边界变迁的减少和内部变迁的减少动态地获得目标模型的变化域。Gupta C 等人在 2010 年提供了一种新的方法来评估变化域传播,并用算法对变化域的类型予以分析^[6]。之后,Goknil A 等人根据行为语义学形成的需求关系,提出了变化域的传播,并对有变动需求的模型进行了一致性检验^[7]。文献[8]列举了与变化域传播的范围紧密相关的几种因素,尤其指出 CI-Rank 与变化域传播的关联系数更大,对于测量模型的变化域传播的范围更加有用。

基于以上背景,本文依据源模型和目标模型之间存在的迹等价、行为包含关系以及复杂对应中的元素合并和行为继承,得到了拟源模型和拟目标模型;接着基于行为继承的传

到稿日期:2015-10-08 返修日期:2016-02-11 本文受国家自然科学基金项目(61572035,61272153,61402011),安徽省自然科学基金(1508085MF111),安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2014A067),安徽省优秀青年基金项目(ZY290)资助。

方贤文(1975-),男,博士,教授,主要研究方向为 Petri 网和可信软件,E-mail:280060673@qq.com;赵芳(1989-),女,硕士生,主要研究方向为 Petri 网;刘祥伟(1977-),女,硕士,副教授,主要研究方向为业务流程管理;方欢(1982-),女,博士,副教授,主要研究方向为 Petri 网和智能系统。

性,提出基于投影继承和协议继承的变化域传播分析方法,以寻找目标模型的变化域。本文所提方法充分考虑了模型的动态特点,有效地利用了变化域的传播特性来寻找目标模型的变化域,具有一定的可信性。

本文第2节介绍了一些基本定义;第3节提出了基于Petri网的行为包含性质分析业务流程变化域传播;第4节用具体的实例分析了所提方法的有效性;最后总结全文。

2 基本定义

关于合理的自由选择网、弱序关系和行为轮廓的定义参考文献[9],关于变化域的定义参考文献[10]。下面介绍一些其它定义,这些定义中的网都默认为是合理的自由选择网。

定义1(拟行为轮廓) 已知 $N=(P, T, F)$ 为一个合理的自由选择网, $x, z \in T$ 为两个单独的变迁, $y = \{t_1, t_2, \dots, t_k\} \subset T$ 且 $(\{x\} \cup \{z\}) \cap y = \emptyset$, 即 x 和 z 之间为间接行为关系, 拟行为轮廓需要满足以下条件之一:

- (1) 拟严格序关系: $x \rightarrow z$, 当且仅当 $\exists y \subset T$, 使得 $x \rightarrow y$ 且 $y \rightarrow z$ 。
- (2) 拟排他序关系: $x \Downarrow z$, 当且仅当 $\exists y \subset T$, 使得 $x + y$ 且 $y \rightarrow z$, x 和 z 之间不为严格序或拟严格序关系。
- (3) 拟交叉序关系: $x \Leftrightarrow z$, 当且仅当 $\exists y \subset T$, 使得 $x // y$ 且 $y \rightarrow z$, x 和 z 之间不为严格序或拟严格序关系。

至于拟严格逆序关系: $x \leftarrow z$, 当且仅当 $\exists y \subset T$, 使得 $x \leftarrow y$ 且 $y \leftarrow z$ 。

下面给出含有这些关系的图。

如图1所示,例如: t_1 和 $t_i (i=2, 3)$ 是严格序关系, t_1 和 $t_i (i=4, 5, \dots, 9)$ 是拟严格序关系, t_2 和 t_3 是排他序关系, t_2 和 t_4 是拟排他序关系, t_6 和 t_7 是交叉序关系, t_6 和 t_8 是拟交叉序关系。

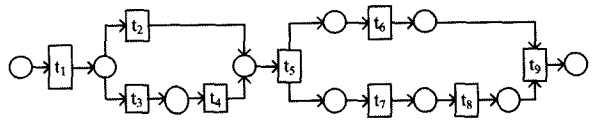


图1 拟行为轮廓

定义2(迹等价) 已知源模型 Petri 网 $N_1 = (P_1, T_1, F_1)$, 目标模型 Petri 网 $N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, 若 $\forall t_i, t_j \in T_1 (T_2)$, 对应于 $t_m, t_n \in T_2 (T_1)$, 那么迹等价的几种形式为:

- (1) 若 $t_i \rightarrow t_j (t_i \leftarrow t_j)$, 对应元 $t_m \rightarrow t_n (t_m \leftarrow t_n)$ 或 $t_m \Rightarrow t_n (t_m \Leftarrow t_n)$ 。
- (2) 若 $t_i + t_j$, 对应元 $t_m + t_n$ 或 $t_m \Downarrow t_n$ 。
- (3) 若 $t_i // t_j$, 对应元 $t_m // t_n$ 或 $t_m \Leftrightarrow t_n$ 。

若 $\forall t_i, t_j$ 与 t_m, t_n 满足以上几种形式中的一种, 则称 N_1 和 N_2 是迹等价的, 即 $trace(N_1) \cong trace(N_2)$ 。

定义3^[11](行为包含与沉默变迁) 已知源模型 Petri 网 $N_1 = (P_1, T_1, F_1)$, 目标模型 Petri 网 $N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, 且 $trace(N_1) \cong trace(N_2)$, 若 $\forall t_i, t_{i+1}, \dots \in T_1$, 都 $\exists t_j, t_{j+1}, \dots \in T_2$ 与之对应, 且 $\exists t_k, t_{k+1}, \dots \in T_2$ 在 T_1 中无对应元, 则称 N_1 行为包含于 N_2 , 即 $b(N_1) \subset b(N_2)$, 且 t_k, t_{k+1}, \dots 称为 N_2 的沉默变迁。

如图2和图3所示, $b(N_1) \subset b(N_2)$, N_2 中那些无对应标识的变迁即为 N_2 的沉默变迁。

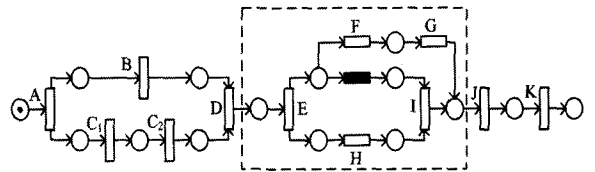


图2 源模型 N_1

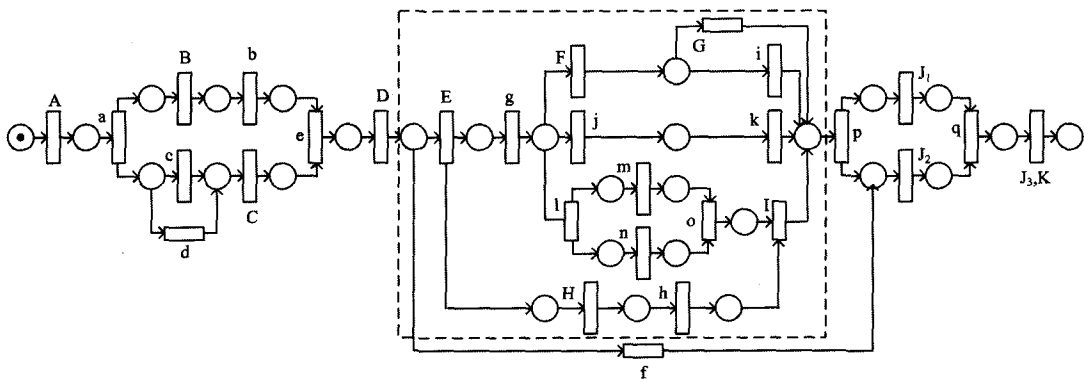


图3 目标模型 N_2

定义4(简单对应与复杂对应) 已知 $N_1 = (P_1, T_1, F_1)$, $N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, $T_1' \subset T_1, T_2' \subset T_2$ 。

- (1) 若 $|T_1'| = |T_2'| = 1$, 则称 T_1' 与 T_2' 为简单对应;
- (2) 若 $|T_1'| : |T_2'| = m : n$, 则称 T_1' 与 T_2' 为复杂对应。

简单对应意味着一个模型中的变迁与另一个模型中的变迁存在1对1的关系, 例如: 图2中的A对应着图3中的A, 即 $|T_1'| = |T_2'| = 1$ 。

复杂对应意味着将一个模型中的变迁在另一个模型中进行了细化或延伸, 例如: 图2中的 C_1, C_2 共同对应图3中的C, 即 $|T_1'| : |T_2'| = 2 : 1$ 。

定义5(复杂对应的独立个体及元素合并) 已知 $N_1 = (P_1, T_1, F_1), N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, 且 $T_1', T_1'' \subset T_1, T_2', T_2'' \subset T_2, |T_1'| : |T_2'| = m : n$ 。

(1) 若 T_1' 与 T_1'' 在 T_2 中无相同的对应元, 则 T_1' 与 T_1'' 称为网 N_1 中复杂对应的独立个体。

(2) 若 T_1' 与 T_1'' 在 T_2 中有相同的对应元 T_2'' , 则将 T_2'' 一分为二, 依此类推, 若 T_1' 中有 n 个变迁共享 T_2' 中的 m 个变迁, 则将 T_2' 中 m 个变迁中的每一个共享变迁都拆分为 n 份, 接着将 N_1 和 N_2 中语义相同的对应元进行合并, 即为复杂对应的元素合并。

定义6(拟源模型) 已知 $N_1 = (P_1, T_1, F_1), N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, 若 $\forall T_1' \subset T_1, T_2' \subset T_2$ 且 $|T_1'| : |T_2'| = m : n, b(N_1) \subset b(N_2)$, 依据定义5, 将 N_1 中存在着相同复杂对应关系的变迁予以合并, 即为拟源模型。

如图4所示, N_3 为 N_2 的拟源模型。

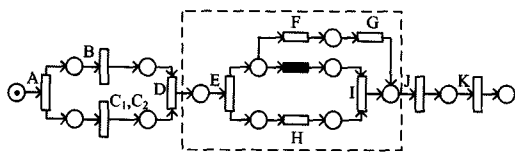


图4 拟源模型 N_3

定义7^[12,13](行为继承) 已知 $N_1 = (P_1, T_1, F_1), N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, 行为继承的目的是为了让一个模型适应另一个模型, 为此, 将那些无相互对应的变迁予以隐藏或阻塞。因此, 行为继承包含两方面内容, 即投影继承(隐藏)与协议继承(阻塞)。若 $\forall t_j \notin T_1$ 且 $t_j \in T_2$, 投影继承(隐藏)是指忽视那些无对应元的变迁集, 意味着将 t_j 看作是一个沉默变迁 τ ; 协议继承(阻塞)是指在确定两个模型相等性之前将某些多余的活动变迁以及库所和弧线予以删除。

通过行为继承这一方法的实施, 将无对应元的变迁 t_j 予以隐藏或阻塞, 使得两个模型满足行为相等性。通过阻塞某些变迁得到两个相等的模型 N_1 和 N_2 , 这一方法称为协议继承; 通过隐藏某些变迁得到两个相等的模型 N_1 和 N_2 , 这一方法称为投影继承。定义协议继承和投影继承对于确定两个模型的行为相等性具有很强的优势。

定义8(拟目标模型) 已知 $N_1 = (P_1, T_1, F_1), N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, 且 N_1 行为包含于 N_2 , 依据行为继承中协议继承的定义, 将 N_2 中那些无对应元的变迁 t_k, t_{k+1}, \dots 以及多余库所、弧予以删除, 同时将 N_2 中存在着相同复杂对应关系的变迁予以合并, 此时构成的网 N_4 即为拟目标模型。

如图5所示, N_4 为 N_2 的拟目标模型。

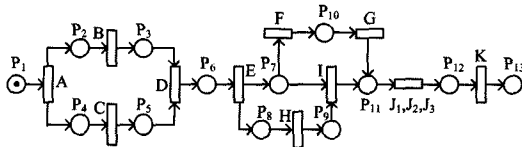


图5 拟目标模型 N_4

3 基于Petri网的行为包含和行为继承关系分析业务流程模型的变化域传播

业务流程建模的目的是为了灵活地适应变化的业务需求, 建模过程中会出现一些模型存在迹等价和行为包含关系。已知源模型的变化域, 利用变化域传播的特性以及行为继承的方法可以得到目标模型的变化域。为此, 给出了如下算法。

算法1 基于投影继承的目标模型变化域的传播分析

Begin

输入: 源模型 $N_1 = (P_1, T_1, F_1)$, 目标模型 $N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, trace $(N_1) \cong \text{trace}(N_2)$ 且 $b(N_1) \subset b(N_2), T_1' \subset T_1, T_2' \subset T_2$, 源模型的变化域为 X

输出: 目标模型的变化域 C_T

1. For N_1 变化域为 X Do 将 N_1 和 N_2 进行对比分析
2. For $\forall t_j \in T_2$ 且 $t_j \notin T_1$ Do 投影继承(隐藏), 忽视那些无对应元的变迁集, 意味着将 t_j 予以隐藏或将 t_j 看作是沉默变迁 τ
3. If S_T 为 N_2 的可疑区域 Then 对应 N_1 中的区域为 S_s
4. End if
5. If X 为 N_1 的变化域 Then 在 S_s 内找出与 X 存在严格序关系或拟严格序关系的变迁集 $S_1(X)$
6. 在 S_s 内找出与 X 存在排他序关系或拟排他序关系的变迁集 $E_1(X)$

7. 在 S_s 内再找出与 X 存在交叉序关系或拟交叉序关系的变迁集 $I_1(X)$
 8. 在 N_2 中找出与 $S_1(X), E_1(X), I_1(X)$ 的对应元, 分别记为 $S_2(X), E_2(X), I_2(X)$
 9. End if
 10. For S_T Do 找出所有与 $S_2(X)$ 存在严格序关系或拟严格序关系的变迁集, 记为 $S[S_2(X)]$
 11. 找出所有与 $E_2(X)$ 存在排他序关系或拟排他序关系的变迁集, 记为 $E[E_2(X)]$
 12. 找出所有与 $I_2(X)$ 存在交叉序关系或拟交叉序关系的变迁集, 记为 $I[I_2(X)]$
 13. 输出 N_2 的变化域 $C_T = S[S_2(X)] \cap E[E_2(X)] \cap I[I_2(X)]$.
 14. End for
 15. End for
 16. End for
- End

算法1是通过投影继承(隐藏)的方法得出目标模型 N_2 的变化域, 下面给出算法2, 即通过采取协议继承(阻塞)的方法得出目标模型 N_2 的变化域。

算法2 基于协议继承的目标模型变化域的传播分析

Begin

输入: 源模型 $N_1 = (P_1, T_1, F_1)$, 目标模型 $N_2 = (P_2, T_2, F_2)$, trace $(N_1) \cong \text{trace}(N_2)$ 且 $b(N_1) \subset b(N_2), T_1 + T_1^c = T_2$, 源模型的变化域为 X

输出: 目标模型的变化域 C_T

1. For 根据定义3 Do 找出 N_2 在 N_1 中无对应元的变迁集, 由其构成的集合记为 T_1^c , 即 $T_1 + T_1^c = T_2$
 2. For 根据定义4, 定义5和定义6 Do 将 N_1 中含相同复杂对应的变迁集进行合并, 合并后的网 N_3 为拟源模型
 3. For 根据定义7, 定义8 Do 采取协议继承(阻塞)的方法, 在确定 N_1 和 N_2 两个模型相等性时, 将某些多余的活动变迁以及库所和弧线予以删除, 即将 T_1^c 以及相关库所弧线予以删除
 4. 将 N_2 中存在相同复杂对应的变迁集予以合并
 5. 将组合后的模型记为 N_2 的拟目标模型 N_4
 6. For N_1 和 N_3 Do 对比分析, 由 N_1 中的变化域 X 可以得出 N_3 中相应的变化域 X_3
 7. If 将 N_3 中相应的变化域 X_3 向前推 Then 得到 $(\cdot X_3)$, 对应于 N_4 中的 $S\lfloor(\cdot X_3)\rfloor$
 8. End if
 9. If 将 N_3 中相应的变化域 X_3 向后推 Then 得到 $(X_3) \cdot$, 对应于 N_4 中的 $S\lfloor(X_3) \cdot\rfloor$
 10. 得知 N_4 中的变化域范围为 $S\lfloor(\cdot X_3)\rfloor \prec X_4 \prec S\lfloor(X_3) \cdot\rfloor$
 11. End if
 12. For 依据步骤4以及 N_3 和 N_4 的行为轮廓关系 Do 对比分析, 可在 N_4 中变化域范围内寻找出 N_4 的最终变化域所在的弧线 A_i
 13. If 将 N_2 与 N_4 进行比较分析 Then 可得到 A_i 所对应的 N_2 中的区域, 即为目标模型 N_2 的变化域 C_T
 14. End if
 15. End for
 16. End for
 17. End for
 18. End for
 19. End for
- End

通过对含相同复杂对应的变迁集进行合并以及采取协议继承(阻塞)的方法,可以得到 N_1 的拟源模型 N_3 以及 N_2 的拟目标模型 N_4 。由 N_1 中的变化域可以直接推出 N_3 的变化域,并进一步对 N_3 和 N_4 进行分析,进而确定目标模型 N_2 最终的变化域。

4 实例分析

结合图 1 和图 2 以及算法 1,通过对源模型 N_1 的对比分析,可以得出目标模型 N_2 的可疑区域,相应地用虚线表示出来,对应 N_1 中的虚线区域。通过采取投影继承(隐藏)的方法,得出在 N_1 中的可疑区域内与变化域 X 存在严格序关系或拟严格序关系的变迁集 $S_1(X) = \{E, I\} = S_2(X)$; 与变化域 X 存在排他序关系或拟排他序关系的变迁集 $E_1(X) = \{F, G\} = E_2(X)$; 与变化域 X 存在交叉序关系或拟交叉序关系的变迁集 $I_1(X) = \{H\} = I_2(X)$ 。

接着,分析在网 N_2 可疑区域内与 $S_2(X) = \{E, I\}$ 存在严格序关系或拟严格序关系的变迁集为 $\{H, h, g, l, m, n, o\}$, 简记为 $S[S_2(X)]$; 与 $E_2(X) = \{F, G\}$ 存在排他序关系或拟排他序关系的变迁集为 $\{j, k, l, m, n, o, I\}$, 简记为 $E[E_2(X)]$; 与 $I_2(X) = \{H\}$ 存在交叉序关系或拟交叉序关系的变迁集为 $\{g, l, m, n, o\}$, 简记为 $I[I_2(X)]$ 。

所以基于投影继承的目标模型的变化域为:

$$\begin{aligned} C_T &= S[S_2(X)] \cap E[E_2(X)] \cap I[I_2(X)] \\ &= \{H, h, g, l, m, n, o\} \cap \{j, k, l, m, n, o, I\} \cap \{g, l, m, n, o\} = \{l, m, n, o\} \end{aligned}$$

结合图 2、图 3、定义 7、定义 8 和算法 2,通过对含相同复杂对应的变迁集进行合并以及采取协议继承(阻塞)的方法,可以得出拟源模型 N_3 和拟目标模型 N_4 , 如图 4 和图 5 所示,依据 N_1 中的变化域 X , 可以得出 N_3 中相应的变化域 X_3 , 将 N_3 中相应的变化域 X_3 向前推,得到变迁 E , 向后推则得到变迁 I , 对应 N_4 中的 E 和 I 。将图 4 和图 5 依据行为轮廓关系进行具体化分析,由 N_3 中相应的变化域 X_3 可知 N_4 的变化域所在的弧线为 $P_7 \rightarrow I$, 对应着目标模型 N_2 中的 $\{l, m, n, o\}$, 即为 N_2 的变化域。

由此可知,本文基于投影继承(隐藏)与协议继承(阻塞)所得到的变化域是相同的,而通过文献[4,5]中的方法所得到的变化域为 $\{g, l, m, n, o\}$, 显然没有本文给出的两种方法所得的变化域精确,由此说明了本文所提方法具有一定的可行性与准确性。

结束语 业务流程中出现的变化域问题会影响模型运行的准确性和可信性,因此,寻找业务流程模型变化域问题是一个核心问题。本文在现有研究的基础上,基于源模型和目标模型存在迹等价和行为包含关系,探讨了源模型与目标模型的变化域传播问题。

本文的贡献如下:1)依据拟行为轮廓、迹等价和行为包含关系等定义提出拟源模型、拟目标模型;2)通过行为继承中的投影继承的概念,提出了基于投影继承的变化域传播分析方法;3)通过行为继承中的协议继承的概念,提出了基于协议继承的变化域传播分析方法。并用具体的实例验证了通过这两种动态分析方法找到的目标模型的变化域是相同的。这使得变化域的寻找更有说服力,避免了以往只是从边界变迁的减

少、内部边界变迁的减少分析变化域传播的局限性。

未来将研究那些迹不等价或行为之间无包含关系的变化域传播问题,并进一步对寻找出的变化域进行处理,以达到业务流程的建模需求。

参考文献

- [1] Rinderle S, Reichert M, Dadam P. Correctness Criteria for Dynamic Changes in Workflow Systems—A Survey [J]. Data & Knowledge Engineering, 2004, 50(1): 9-34
- [2] Weber B, Rinderle S, Reichert M. Change Patterns and Change Support Features In Process-Aware Information Systems[C]// CAISE 2007. Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2007: 574-588
- [3] Weidlich M, Barro A, Mendling J, et al. Vertical Alignment of Process Models[M]// How can we get there? 2009. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009: 71-84
- [4] Weidlich M, Weske M, Mendling J. Change Propagation in Process Models using Behavioral Profiles[C]// Service Computing, 2009. Bangalore, 2009: 33-40
- [5] Weidlich M, Mendling J, Weske M. Propagating changes between aligned process models [J]. Journal of Systems and Software, 2012, 85(8): 1885-1898
- [6] Gupta C, Singh Y, Singh C D. A Dynamic Approach to Estimate Change Impact using Type of Change Propagation [J]. Journal of Information Processing Systems, 2010, 6(4): 597-608
- [7] Goknil A, Kurtev I, Berg K, et al. Change Impact Analysis for Requirements: A Meta-modeling Approach [J]. Information and Software Technology, 2014, 56(8): 950-972
- [8] Wang R C, Huang R B, Qu B B. Network-Based Analysis of Software Change Propagation [J]. The Scientific World Journal, 2014, 1155(10): 237-243
- [9] Weidlich M, Mendling J, Weske M. Efficient Consistency Measurement based on Behavioral Profiles of Process Models [J]. IEEE Transactions on Software Engineer, 2011, 37(3): 410-429
- [10] Hao W J, Fang X W. The Approach Of Analyzing The Smallest Change Domain In Process Models Based On Petri Nets [J]. Computer Science, 2012, 39(z11): 76-78
- [11] Kunze M, Weidlich M, Weske M. Querying Process Models by Behavior Inclusion [J]. Software & Systems Modeling, 2015, 14(3): 1105-1125
- [12] Basten T, van der Aalst W M P. Inheritance of behavior [J]. The Journal of Logic and Algebraic Programming, 2011, 47(2): 47-145
- [13] van der Aalst W M P, Gottschalk F D M. Preserving correctness during business process model configuration [J]. Formal Aspects of Computing, 2010, 22(3): 459-482
- [14] Atieh R B, Peck L S. Modeling and Analysis of Change Management in Dynamic Business Process [J]. International Journal of Computer and Electrical Engineering, 2010, 2(6): 181-189
- [15] van der Aalst W M P, Lohmann N, La R M. Ensuring correctness during process configuration via partner synthesis [J]. Information Systems, 2012, 37(6): 574-592