

基于概率和时间因素的 Petri 网业务流程一致性分析



杨浩然 方贤文

安徽理工大学数学与大数据学院 安徽 淮南 232001

(425597813@qq.com)

摘要 业务流程一致性分析作为业务流程管理的重要内容之一,近年来一直是业务流程管理研究领域的热点。目前已有的方法主要从控制流和数据流两方面进行研究,在实际情况下,概率和时间因素会对业务流程产生较大的影响。因此,文中提出了一种基于概率和时间因素的 Petri 网业务流程一致性分析方法。首先,给出了基于概率因素的控制流 Petri 网和基于时间因素的数据流 Petri 网的定义;然后,将基于概率因素的控制流 Petri 网和基于时间因素的数据流 Petri 网中的所有变迁分别映射到原业务流程 Petri 网中,得到各自的行为映射表,并针对两种类型的 Petri 网提出相应的行为兼容度算法,依据行为兼容度的值来衡量业务流程的一致性程度;最后,进行实例分析,结果显示了该方法的有效性和优越性。

关键词: Petri 网;控制流;数据流;行为兼容度

中图法分类号 TP391.9

Business Process Consistency Analysis of Petri Net Based on Probability and Time Factor

YANG Hao-ran and FANG Xian-wen

School of Mathematics and Big Data, Anhui University of Science & Technology, Huainan, Anhui 232001, China

Abstract As one of the important part of business process management, business process consistency analysis has been a hot topic in business process management research in recent years. The existing methods mainly study from two aspects, control flow and data flow. Actually, probability and time factors have a major impact on business processes. As a result, this paper proposes a Petri net business process consistency analysis method based on probability and time factor. First, the definition of control flow Petri net with probability factor and data flow Petri net with time factor are proposed. Then, all the transitions of control flow Petri net with probability factor and data flow Petri net with time factor are respectively mapped to the original business process Petri net, and the respective behavior maps are obtained. Corresponding behavioral compatibility algorithms for the two types of Petri net are proposed, and the consistency degree of business process is measured by the value of behavioral compatibility. Finally, the effectiveness and superiority of the method are demonstrated by an example.

Keywords Petri net, Control flow, Data flow, Behavioral compatibility

1 引言

业务流程模型的一致性分析是业务流程管理的重要部分,对于保证系统的可信度有着重要的意义。一致性有着两个方面的含义:1)多个相关模型之间的一致性程度,并通过分析它们之间存在的差异,为之后的变化域和变化传播方面的研究打下基础;2)单个模型与其自身的控制流网和数据流网之间的一致性,分析控制流和数据流对业务流程模型的影响程度,并将其作为判断业务流程模型好坏的标准。业务流程管理是一个对业务流程不断优化过程。在实际生活中,对

业务流程管理产生影响的因素有很多,如概率和时间就是其中两个非常重要的因素。

已有的关于业务流程模型一致性方面的研究大多只考虑模型的结构一致性^[1-3]。文献[4]采用了迹等价的方法来分析业务流程模型间的一致性,但存在着虽然两个模型间通过此方法得出了一致性较高的结论,却在考虑了时间和概率因素的影响下认为是不等价的情况。针对这种情况,文献[5-6]提出了一种互模拟技术,这种技术通过输入变迁的状态,使两个流程模型互相模拟,以此分析其行为层面上的等价性;文献[5]在互模拟技术的基础上提出了观测行为等价概念,从而分

到稿日期:2019-05-21 返修日期:2019-08-10 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家自然科学基金(61402011,61572035);安徽省自然科学基金(1508085MF111,1608085QF149);安徽省高校自然科学基金(KJ2016A208)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (61402011,61572035), Natural Science Foundation of Anhui Province, China(1508085MF111,1608085QF149) and Natural Science Foundation of the Higher Education Institutions of Anhui Province, China (KJ2016A208).

通信作者:方贤文(280060673@qq.com)

析模型的行为一致性;文献[7]结合互模拟与迹等价,提出了一种行为等价和行为兼容的概念,旨在解决业务流程模型间相互通信中存在的问题。近几年,越来越多的学者开始关注数据流对业务流程模型一致性的影响。文献[8]阐述了控制流和数据流对于业务流程模型的作用,并指出数据流对于业务流程模型的一致性分析非常重要;文献[9-10]说明了数据流对业务流程模型一致性的影响程度。

可以说,结合控制流和数据流来分析业务流程的一致性与变化域已经成为了一种新的研究趋势,但现有研究还存在一些局限性,如将数据流局限于数据形式,很少刻画出数据流的模型。在实际生活中,很多业务流程都要考虑概率和时间因素的影响,而在对业务流程建模的过程中却很容易忽视这一点,导致建立的模型在实际运行中无法达到预期的效果。针对这一问题,本文提出了一种基于概率和时间因素的 Petri 网业务流程一致性分析方法。首先,对一个在实际生活中很常见的业务流程进行建模,一同建立其控制流模型和数据流模型;然后,分别考虑概率因素对控制流的影响以及时间因素

对数据流的影响;最后,通过给出的算法得出控制流和数据流对业务流程模型的一致性影响程度,并与文献[11]中给出的算法进行比较,以证明考虑了概率因素和时间因素以后业务流程的一致性程度会发生变化,能更好地贴合实际情况。

2 动机例子

本节利用一个生活中常见的网购退换货实例来阐述相关问题。人们在网购时经常会因为对所购买的商品不满意而选择退换货,由于商品的类型和消费者是否收到商品的情况不同,退换货一般存在 3 种模式: refund(退款)、exchange(换新)、return(退货退款)。对于 exchange 和 return 操作来说,平台须对退回的商品是否符合条件且不影响二次销售进行评估;而对于 refund 操作,客户只需与客服进行沟通,在没收到货物的情况下可以自由选择是否进行 refund 操作。在不考虑概率和时间因素的前提下,首先利用之前的方法对业务流程模型的一致性进行计算。网购退换货业务流程模型如图 1 所示。

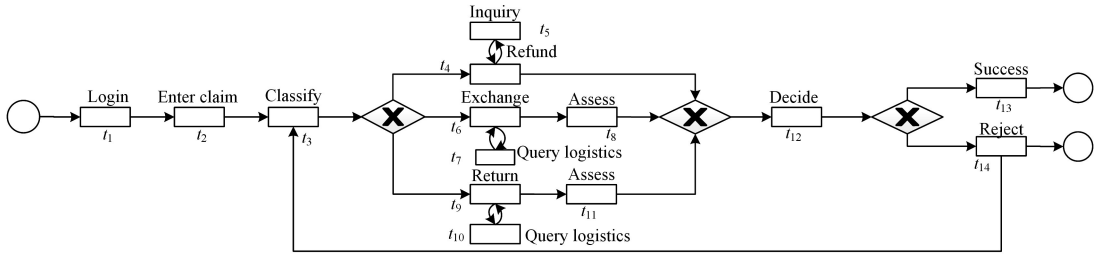


图 1 网购退换货业务流程模型 M_1

Fig. 1 Online shopping refund/exchange/return business process model M_1

3 基本概念

定义 1^[12-14](流程模型 Petri 网) 四元组 $PN=(P, T, F, C)$ 作为一个流程模型 Petri 网,须满足以下条件:

(1) P 为有限库所组成的集合, T 为有限变迁组成的集合;

(2) $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset, P \cap T = \emptyset, P \cup T = \emptyset$;

(3) $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$;

(4) $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$, 其中 $\text{dom}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (x, y \in F)\}$, $\text{cod}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (y, x \in F)\}$;

(5) $C = \{\text{and}, \text{xor}, \text{or}\}$ 是流程网的结构类型。

可见,网 $PN=(P, T, F, C)$ 中的基本元素是 P 和 T , 在 Petri 网中分别用圆圈和矩形表示。

定义 2^[15-16](控制流 Petri 网) $PN=(P, T, F, C)$ 的控制流 Petri 网是一个五元组 $CF=(P_C, T_C, F_C, L_C, l_C)$, 满足以下条件:

(1) P_C 为控制库所组成的集合, T_C 为变迁活动节点组成的集合;

(2) $P_C \neq \emptyset, T_C \neq \emptyset, P_C \cap T_C = \emptyset, P_C \cup T_C = \emptyset$;

(3) $F_C \subseteq (P_C \times T_C) \cup (T_C \times P_C)$;

(4) L_C 是所有标签的集合, l_C 是标记函数。

通过控制流 Petri 网的定义可知,它的作用是对业务流程

模型的结构进行约束。 M_1 的控制流 Petri 网 M_2 如图 2 所示。

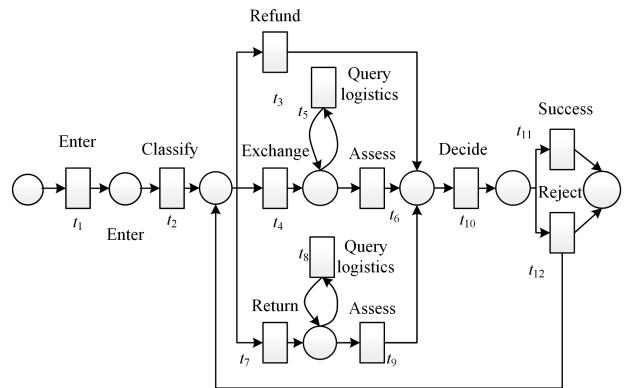


图 2 M_1 的控制流 Petri 网 M_2

Fig. 2 M_1 control flow Petri net M_2

定义 3^[17](数据流 Petri 网) $PN=(P, T, F, C)$ 的数据流 Petri 网是一个五元组 $DF=(P_D, T_D, F_D, L_D, l_D)$, 满足以下条件:

(1) P_D 为数据库所组成的集合, $P_D \neq \emptyset, P_D \in P$;

(2) T_D 为数据变迁组成的集合, $T_D \neq \emptyset, T_D \in T$;

(3) $F_D \subseteq (P_D \times T_D) \cup (T_D \times P_D)$;

(4) L_D 是所有标签的集合, l_D 是标记函数。

与控制流 Petri 网不同,数据流 Petri 网是对业务流程中

数据信息的描述。一个业务流程 Petri 网是由控制流 Petri 网和数据流 Petri 网交互而成的。 M_1 的数据流 Petri 网 M_3 如图 3 所示。

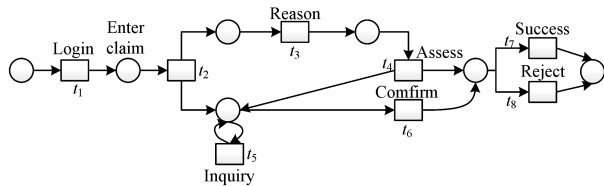


图 3 M_1 的数据流 Petri 网 M_3

Fig. 3 M_1 data flow Petri net M_3

4 基于概率和时间因素的 Petri 网业务流程一致性分析

4.1 基于概率因素的控制流 Petri 网

现实生活中,第 2 节提到的退换货实例在每个选择分支中发生的概率是不同的。考虑这些概率因素会对控制流 Petri 网产生很大的影响,很可能会改变原来对业务流程模型一致性的判断。

定义 4(基于概率因素的控制流 Petri 网) $CFP=(P_C, T_C, F_C, L_C, l_C, P)$ 是一个基于概率因素的控制流 Petri 网,满足以下条件:

- (1) P_C 为控制库所组成的集合, T_C 为变迁活动节点组成的集合;
- (2) $P_C \neq \emptyset, T_C \neq \emptyset, P_C \cap T_C = \emptyset, P_C \cup T_C = \emptyset$;
- (3) $F_C \subseteq (P_C \times T_C) \cup (T_C \times P_C)$;
- (4) L_C 是所有标签的集合, l_C 是标记函数;
- (5) P 为每个变迁发生的概率。

4.2 基于时间因素的数据流 Petri 网

与控制流 Petri 网有所差异,数据流 Petri 网仅描述业务流程中的数据信息,因此不需要考虑其概率因素。在现实生活中,时间是一个非常重要的数据信息,为了更好地让业务流程模型贴合实际,本文对基于时间因素的数据流 Petri 网进行了研究。同样,考虑时间因素会对数据流 Petri 网产生很大的影响,也很可能会改变原来对业务流程模型一致性的判断。

定义 5(基于时间因素的数据流 Petri 网) $DFT=(P_D, T_D, F_D, L_D, l_D, T)$ 是一个基于时间因素的控制流 Petri 网,满足以下条件:

- (1) P_D 为数据库所组成的集合, $P_D \neq \emptyset, P_D \in P$;
- (2) T_D 为数据变迁组成的集合, $T_D \neq \emptyset, T_D \in T$;
- (3) $F_D \subseteq (P_D \times T_D) \cup (T_D \times P_D)$;
- (4) L_D 是所有标签的集合, l_D 是标记函数;
- (5) T 为每个变迁发生所需的时间。

4.3 业务流程一致性分析

定义 6(行为映射) 流程模型 Petri 网 $PN=(P, T, F, C)$ 与其控制流模型 $CF=(P_C, T_C, F_C, L_C, l_C)$ 和数据流模型 $DF=(P_D, T_D, F_D, L_D, l_D)$ 之间存在行为映射 λ , CF 与 DF 的每一个活动至少对应 PN 中的一个变迁。 CF 与 PN 之间的行为映射如表 1 所列, DF 与 PN 之间的行为映射如表 2 所列。

表 1 CFP 与 PN 之间的行为映射表

Table 1 Behavior mapping between CF and PN

Control Flow(M_2)	M_1
t_1	t_2
t_2	t_3
t_3	t_4
t_4	t_6
t_5	t_7
t_6	t_8
t_7	t_9
t_8	t_{10}
t_9	t_{11}
t_{10}	t_{12}
t_{11}	t_{13}
t_{12}	t_{14}

表 2 DFT 与 PN 之间的行为映射表

Table 2 Behavior mapping between DFT and PN

Data Flow(M_3)	M_1
t_1	t_1
t_2	t_2
t_3	t_3
t_4	t_8
	t_{11}
t_5	t_5
t_6	t_{12}
t_7	t_{13}
t_8	t_{14}

定义 7^[18-19](行为值) 流程模型 Petri 网 $PN=(P, T, F, C)$, 变迁对 $(p_1, p_2) \in P \times P$ 的行为值 $V_B(p_1, p_2)$ 的定义如下:

- 若 p_1 和 p_2 是严格序关系, 即 $p_1 \rightarrow p_2$, 则 $V_B(p_1, p_2)=1$;
- 若 p_1 和 p_2 是排他序关系, 即 $p_1 + p_2$, 则 $V_B(p_1, p_2)=0$;
- 若 p_1 和 p_2 是交叉序关系, 即 $p_1 \parallel p_2$, 则 $V_B(p_1, p_2)=2$ 。

4.4 基于概率因素的控制流 Petri 网一致性分析

定义 8(基于概率因素的控制流模型行为距离向量) 设 $PN=(P, T, F, C)$ 中的变迁集合为 $T=(t_1, t_2, \dots, t_m)$, $CFP=(P_C, T_C, F_C, L_C, l_C, P)$ 中的变迁对集合为 $T_C=(t_{c1}, t_{c2}, \dots, t_{cm})$ 。

(1) 基于概率因素的模型行为向量

$$\mathbf{X} = \{P_1 \sum_{i=1}^n V(t_{c1}, t_i), P_2 \sum_{i=1}^n V(t_{c2}, t_i), \dots, P_m \sum_{i=1}^n V(t_{cm}, t_i)\} \\ = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$$

(2) 模型行为距离向量

$$\mathbf{D} = \left(\frac{x_1 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \frac{x_2 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \dots, \frac{x_m - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) \\ = (d_1, d_2, \dots, d_m)$$

4.5 基于时间因素的数据流 Petri 网一致性分析

定义 9(基于时间因素的数据流模型行为距离向量) 设 $PN=(P, T, F, C)$ 中的变迁集合为 $T=(t_1, t_2, \dots, t_m)$, $DFT=(P_D, T_D, F_D, L_D, l_D, T)$ 中的变迁对集合为 $T_D=(t_{D1}, t_{D2}, \dots, t_{Dm})$ 。

(1) 基于时间因素的模型行为向量

$$\mathbf{X} = \{T_1 \sum_{i=1}^n V(t_{D1}, t_i), T_2 \sum_{i=1}^n V(t_{D2}, t_i), \dots,$$

$$T_m \sum_{i=1}^n V(t_{Dm}, t_i)$$

$$= \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$$

(2) 模型行为距离向量

$$D = \left(\frac{x_1 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \frac{x_2 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \dots, \frac{x_m - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right)$$

$$= (d_1, d_2, \dots, d_m)$$

5 基于概率和时间因素的 Petri 网业务流程一致性分析方法

定义 10(模型行为兼容度) 流程模型 Petri 网 PN 与其基于概率因素的控制流 Petri 网 CFP 和基于概率因素的数据流 Petri 网 DFT 之间的模型行为距离向量为 $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$, 则 PN 与 CFP 、 DFT 之间的行为兼容度为:

$$BC = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}}$$

通过上述定义和公式, 现分别给出基于概率因素的 Petri 网控制流兼容度算法(见算法 1)和基于时间因素的 Petri 网数据流兼容度算法(见算法 2)。算法 1 的基本思想是: 首先根据表 1 中 CFP 与 PN 之间的行为映射关系将 CFP 中的变迁一一映射至 PN 中, 然后根据定义 7 得到每个映射变迁与其他变迁的行为值, 再根据定义 8 中给出的公式结合 CFP 中给出的每个变迁的发生概率得到基于概率因素的模型行为向量与模型行为距离向量, 最后代入定义 10 的公式中进行计算, 得到 PN 与 CFP 之间的行为兼容度。

算法 1 基于概率因素的 Petri 网控制流模型行为兼容度

BEGIN

INPUT: $PN = (P, T, F, C)$, $CFP = (P_C, T_C, F_C, L_C, l_C, P)$, $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$, $T_C = (t_{c1}, t_{c2}, \dots, t_{cm})$

OUTPUT: $BC(PN, CFP)$

1. For each transition $t_{cm} \in T_C$ mapping //将 CFP 中的变迁映射到 PN 中

2. For each transition $t_{cm} \in T_C$ count $P_m \sum_{i=1}^n V(t_{cm}, t_i)$ //计算每个 t_{cm} 的 $P_m \sum_{i=1}^n V(t_{cm}, t_i)$ 值

3. End for

4. End for

5. Then $X = \{P_1 \sum_{i=1}^n V(t_{c1}, t_i), P_2 \sum_{i=1}^n V(t_{c2}, t_i), \dots, P_m \sum_{i=1}^n V(t_{cm}, t_i)\} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$

6. $D = \left(\frac{x_1 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \frac{x_2 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \dots, \frac{x_m - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) = (d_1, d_2, \dots, d_m)$

$$7. BC = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}} // \text{计算 } CFP \text{ 与 } PN \text{ 的行为兼容度}$$

8. Return $BC(PN, CFP)$

END

算法 1 中, 设 CFP 中的变迁数量为 n , PN 中的变迁数量为 m , 则该算法的时间复杂度为 $O(n \times m)$ 。

算法 2 的基本思想是: 首先根据表 2 中 DFT 与 PN 之间的行为映射关系将 DFT 中的变迁一一映射至 PN 中, 然后根据定义 7 得到每个映射变迁与其他变迁的行为值, 再根据定义 8 中给出的公式结合 DFT 中给出的每个变迁所需的发生时间得到基于时间因素的模型行为向量与模型行为距离向量, 最后代入定义 10 的公式中进行计算, 得到 PN 与 DFT 之间的行为兼容度。

算法 2 基于时间因素的 Petri 网数据流模型行为兼容度

BEGIN

INPUT: $PN = (P, T, F, C)$, $DFT = (P_D, T_D, F_D, L_D, l_D, T)$, $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$, $T_D = (t_{D1}, t_{D2}, \dots, t_{Dm})$

OUTPUT: $BC(PN, DFT)$

1. For each transition mapping //将 DFT 中的变迁映射到 PN 中

2. For each transition $t_{Dm} \in T_D$ count $T_m \sum_{i=1}^n V(t_{Dm}, t_i)$ //计算每个 t_{Dm} 的 $T_m \sum_{i=1}^n V(t_{Dm}, t_i)$ 值

3. End for

4. End for

5. Then $D = \left(\frac{x_1 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \frac{x_2 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \dots, \frac{x_m - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) = (d_1, d_2, \dots, d_m)$

6. $X = \{T_1 \sum_{i=1}^n V(t_{D1}, t_i), T_2 \sum_{i=1}^n V(t_{D2}, t_i), \dots, T_m \sum_{i=1}^n V(t_{Dm}, t_i)\} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$

$$7. BC = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_i^2}} // \text{计算 } DFT \text{ 与 } PN \text{ 的行为兼容度}$$

8. Return $BC(PN, DFT)$

算法 2 中, 设 DFT 中的变迁数量为 n , PN 中的变迁数量为 m , 则该算法的时间复杂度为 $O(n \times m)$ 。

6 实例分析

将上文中提到的控制流 Petri 网 M_2 与数据流 Petri 网 M_3 分别与某网购平台给出的实际概率数据和时间数据相结合, 可以得到基于概率因素的控制流 Petri 网 CFP 和基于概率因素的控制流 Petri 网, 其模型分别如图 4 和图 5 所示。

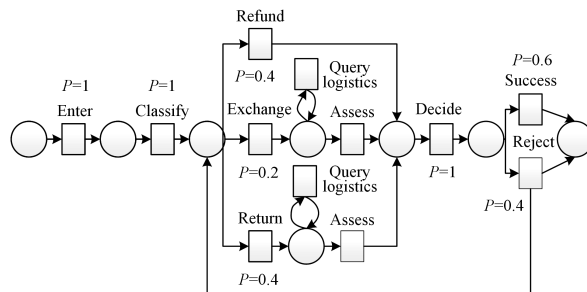


图 4 基于概率因素的控制流 Petri 网 M_4

Fig. 4 Probability-based control flow Petri net M_4

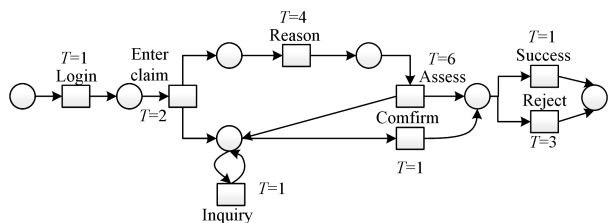


图 5 基于时间因素的数据流 Petri 网 M_5
Fig. 5 Time-based data flow Petri net M_5

对于基于概率因素的控制流 Petri 网,根据表 1、定义 4 以及算法 1 可以算得 $\mathbf{X}=(11, 9, 3, 6, \dots, 4, 8)$, $\mathbf{D}=(0.52, 0.48, 0.43, \dots, 0.66)$, $BC(PN, CFP)=0.61$; 对于基于时间因素的数据流 Petri 网,根据表 1、定义 4 以及算法 2 可以算得 $\mathbf{X}=(6, 8, 11, \dots, 8)$, $\mathbf{D}=(0.31, 0.44, 0.50, \dots, 0.61)$, $BC(PN, DFT)=0.57$ 。

而在文献[11]中,若不考虑概率因素和时间因素,通过其给出的伙伴流程、模型交互等定义对本文中的控制流和数据流模型兼容度进行计算,得到 $BC(PN, CF)=0.93$, $BC(PN, DF)=0.82$ 。可见,在不考虑概率因素和时间因素的情况下,业务流程模型与其控制流模型和数据流模型的一致性良好;但在考虑了概率因素和时间因素这种与实际情况更接近的环境下,业务流程模型与其控制流模型和数据流模型的一致性发生了很大的变化,业务流程模型是不一致的,需要对模型做进一步的优化和改进。

结束语 本文基于概率和时间因素对 Petri 网业务流程的一致性进行了分析,在提出基于概率因素的控制流 Petri 网和基于时间因素的数据流 Petri 网概念的基础上,分别给出了针对两种类型模型的行为兼容度算法。与之前的研究相比,本文对业务流程模型一致性的分析更贴近实际,发现了概率和时间因素对业务流程模型一致性的影响。未来将对如何优化和改进一致性程度不高的业务流程模型做进一步的研究。

参 考 文 献

[1] GUPTA C, SINH Y, CHAUHAN D S. A dynamic approach to estimate change impact using type of change propagation[J]. Journal of Information Processing Systems, 2010, 6(4): 597-608.

[2] RAJABI B A, LEE S P. Modeling and analysis of change management in dynamic business process[J]. International Journal of Computer and Electrical Engineering, 2010, 2(6): 181-189.

[3] DU H S, DU Y Y. Mining of Block Concurrent Process Based on Incomplete Logs[J]. Computer Engineering, 2018, 44(12): 56-61.

[4] OLEG S, SAMPATH K, INSUP L. Simulation-Based Graph Similarity[C] // Proceedings of the 12th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of System. 2006: 426-440.

[5] TONG Y, LI Z W, ALESSANDRO G. Observation Equivalence of Petri Net Generators[C] // 12th IFAC/IEEE Workshop on Discrete Event Systems. 2014: 338-343.

[6] MATTHIAS W, REMCO D, MATHIAS W. Behaviour Equivalence and Capability of Business Process Models with Complex Correspondences[J]. The Computer Journal, 2012, 55(11): 1398-1418.

[7] MOSER S, MARTENS A, GORLACH K, et al. Advanced verification of distributed ws-bpel business processes incorporating cssa-based data flow analysis[C] // Proceedings of the IEEE International Conference on Services Computing. 2007: 98-105.

[8] BATCHELDER M, HENDREN L. Obfuscating java; the most pain for the least gain[C] // Proceedings of the 16th International Conference on Compiler Construction. 2007: 96-110.

[9] RUSSELL N, ARTHUR H, HOFSTEDE M, et al. Workflow Data Patterns: Identification, Representation and Tool Support [C] // Proceedings of 24th International Conference on Conceptual Modeling. 2005: 353-368.

[10] MAYR C, ZDUN U, DUSTDAR S. Enhancing Traceability of Persistent Data Access Flows in Process-Driven SOAs[J]. Distributed and Parallel Databases, 2013, 31(1): 1-45.

[11] LIU L. Analysis about the Consistency of Business Process Model based on Petri Net[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2014.

[12] ZHAN Y, FANG X, WANG L. Analysis of Interactive Process Change Propagation Based on Configuration [J]. Computer Science, 2019, 8(8): 1-8.

[13] SMIRNOV S, WEIDLICH M, MENDLING J. Business process model abstraction based on behavioral profiles[C] // Proceedings of the 8th International Conference on Service Oriented Computing. 2010: 1-16.

[14] 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.

[15] FANG X, LIU L, LIU X. Analyzing method of change region in BPM based on module of Petri net[J]. Information Technology Journal, 2013, 12(8): 1655-1659.

[16] RINDERLE S, REICHERT M, DADAM P. Correctness criteria for dynamic changes in workflow systems - A survey [J]. Data & Knowledge Engineering, 2014, 50(1): 9-34.

[17] HE L, FANG H. Change Propagation Method of Service-oriented Business Process Model with Data Flows Based on Petri Net [J]. Computer Science, 2018, 6(6): 545-567.

[18] MENDLING J, WESKE M, WEIDLICH M. Change Propagation in Process Models Using Behavioural Profiles[C] // IEEE International Conference on Services Computing. 2009: 33-40.

[19] WU Z H. Petri net theory[M]. Beijing: China Machine Press, 2006: 6-22.



YANG Hao-ran, born in 1995, postgraduate. His main research interests include Petri net and so on.



FANG Xian-wen, born in 1975, Ph.D., professor, Ph.D supervisor, is a member of China Computer Federation. His main research interests include Petri net and software credibility.