

文章编号: 1004-4353(2018)04-0332-04

# 基于 Petri 网的医疗流程建模优化

杨皓然<sup>1</sup>, 姚瑶<sup>2</sup>

(1. 安徽理工大学 数学与大数据学院; 2. 安徽理工大学 经济与管理学院: 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 为减少患者就医时抽血化验的次数,提出了一种基于 Petri 网的医疗流程模型的优化分析方法. 首先介绍了 Petri 网的基本概念;然后在确保合理的医疗流程前提下,通过合并变迁对医疗流程进行了建模优化;最后利用 PIPE 软件对优化后的模型进行了模拟运行,结果表明本文方法能够有效改善医疗流程,节省医疗资源.

**关键词:** Petri 网; 医疗流程模型; 优化

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

## Medical process modeling optimization based on Petri Net

YANG Haoran<sup>1</sup>, YAO Yao<sup>2</sup>

(1. School of Mathematics and Big Data, Anhui University of Science and Technology; 2. School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology: Huainan 232001, China)

**Abstract:** In order to reduce the number of blood samples taken from patients, an optimized analysis method of medical process model based on Petri Net was proposed. Firstly, the basic concepts of Petri Net are introduced, and then modeling and optimizing medical processes through mergers transitions while ensuring reasonable medical processes. Finally, simulate the optimized model with PIPE software. The results show that this method can effectively improve medical procedures and save medical resources.

**Keywords:** Petri Net; medical process model; optimization

## 0 引言

随着信息时代的到来,业务流程这一概念被许多领域所应用,如降低企业的运营成本,提高企业对市场需求的响应速度,等等. 利用 Petri 网建模可直观地刻画行为之间的内部关系,显示出业务流程的逻辑性和有序性,因此它被作为一种分析解决业务流程问题的重要工具. 目前,国内外很多学者对行为轮廓和建模优化问题进行了研究,并取得了一些成果. 例如:文献[1]介绍了 Petri 网的基本概念和相关定理,并结合实际建立了一些模型,这些模型可以在确保整个系统运行良好的前提下准确分析业务流程的活性和可达性. 文献[2]提出了 Petri 网的可达性检验技术,并阐述了行为轮廓监控模型的动态行为. 文献[3]将流程模型中的术语进行了标准化,使不同的流程模型间的语义可以进行比较. 文献[4]从行为轮廓的角度出发,对 Petri 网的多方面性能进行了分析,为优化业务流程模型的性能提供了有效的方法. 文献[5-6]运用 Petri 网的相关原理对业务流程进行了建模,该流程模型可以直观地表现出业务流程的逻辑性和有序性. 文献[7]运用 Petri 网中的行为轮廓思想,对某医疗流程进行了过程挖掘,并达到了预期的优化效果,但并没有给出具体的医疗流程优化案例. 为了使患者在就医过程中尽可能地减少抽血

**收稿日期:** 2018-08-19

**作者简介:** 杨皓然(1995—),男,硕士研究生,研究方向为 Petri 网.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61402011,61572035);安徽省自然科学基金资助项目(1508085MF111,1608085QF149);安徽省高校自然科学基金资助重点项目(KJ2016A208)

次数,本文以自由选择网为基础,结合 Petri 网与行为轮廓的思想,以某肝病患者为例对其就诊的医疗流程进行建模优化分析,并利用 PIPE 软件对优化后的模型进行验证.

# 1 基本概念

**定义 1**<sup>[8]</sup>(流程模型 Petri 网) 四元组  $PN = (P, T, F, C)$  作为流程模型 Petri 网需满足以下条件:

- 1)  $P$  为有限库所组成的集合,  $T$  为有限变迁组成的集合.
- 2)  $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset, P \cap T = \emptyset, P \cup T \neq \emptyset$ .
- 3)  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ .
- 4)  $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$ , 其中  $\text{dom}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (x, y) \in F\}$ ,  $\text{cod}(F) = \{y \in P \cup T \mid \exists x \in P \cup T: (x, y) \in F\}$ .
- 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  $T$ , 一般用  $\bigcirc$  和  $\square$  表示.

**定义 2**<sup>[1]</sup>(变迁发生规则) 一个四元组  $PN = (P, T, F, C)$  被称为 Petri 网,当且仅当满足下列条件:

- 1)  $M$  为标识,  $M_0$  为初始标识.
- 2) 变迁  $t \in T$  具有发生权,  $\leftrightarrow: \forall P \in t: M(p) \geq 1$ , 记作  $M[t >$ .
- 3) 在标识  $M$  下使得变迁  $t$  发生后,得到一个新的标识  $M'$ , 记作  $M[t > M'$ , 则有:

$$M'(s) = \begin{cases} M(s) - 1, & \text{若 } s \in {}^{\bullet}t - t^{\bullet}; \\ M(s) + 1, & \text{若 } s \in t^{\bullet} - {}^{\bullet}t; \\ M(s), & \text{其他.} \end{cases}$$

**定义 3**<sup>[1]</sup>(可达性) 已知 Petri 网  $PN = (P, T, F, C)$ , 若  $\exists t \in T$ , 使得  $M[t > M'$ , 则称  $M'$  为从  $M$  直接可达的; 如果存在变迁序列  $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  和标识序列  $\{M_1, M_2, \dots, M_k\}$  使  $M[t_1 > M_1[t_2 > \dots M_{k-1}[t_k > M_k$ , 则称  $M_k$  为从  $M$  可达. 一切从  $M$  可达的标识集合记为  $R(M)$ , 约定  $M \in R(M)$ .

**定义 4**<sup>[9]</sup>(行为轮廓) 设有网  $PN = (P, T, F, C)$ , 初始标识为  $M_0$ , 对任意给定的变动  $(t_1, t_2) \in (T \times T)$  满足下列关系:

- 1) 若  $t_1 > t_2$  且  $t_1 \not> t_2$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为严格序关系, 记作  $t_2 \rightarrow t_1$ .
  - 2) 若  $t_1 \not> t_2$  且  $t_2 > t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为严格逆序关系, 记作  $t_2 \rightarrow^{-1} t_1$ .
  - 3) 若  $t_1 \not> t_2$  且  $t_2 \not> t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为排他序关系, 记作  $t_2 + t_1$ .
  - 4) 若  $t_1 > t_2$  且  $t_2 > t_1$ , 则称  $t_1$  和  $t_2$  为交叉序关系, 记作  $t_2 \parallel t_1$ .
- 将上述这些关系集合称为网系统的行为轮廓, 记作  $BP = \{\rightarrow, \rightarrow^{-1}, \parallel, +\}$ .

# 2 基于 Petri 网的医疗流程建模优化

利用上述定义,本文以某肝病患者为例建立一个医疗流程模型,如图 1 所示. 由图 1 可以看出,假设某肝病患者去医院就诊,按照体检的一般流程,首先医生会要求患者进行抽血化验,以检查其肝功能状况. 若化验结果正常,则可以直接取药离院;若化验结果不正常,则需办理住院. 在住院之前必须要接受一次血常规检查的抽血化验,若血常规检查结果正常,则只需住院进行肝功能方面的治疗即可;若血常规检查的结果不正常,则需要患者再次抽血进行凝血四项检查. 若凝血四项检查的结果正常,则患者只需进行肝功能和血常规方面的治疗;若凝血四项检查结果不正常,则需要患者进行肝功能、血常规和凝血四项 3 个方面的治疗. 在治疗一段时间之后需要复查,复查时首先需要抽血检验肝功能是否正常. 若复查结果不正常,则还需继续进行治疗;若复查结果正常,则视情况而定直接出院或者进行下一项复查. 血常规复查同样需要抽血. 若结果不正常,则需根据患者凝血四项初查结果的具体情况进行相应的治疗;若血常规复查结果正常,则视情况而定直接出院或者继续进行下一项复查. 最后一项是凝血四项的



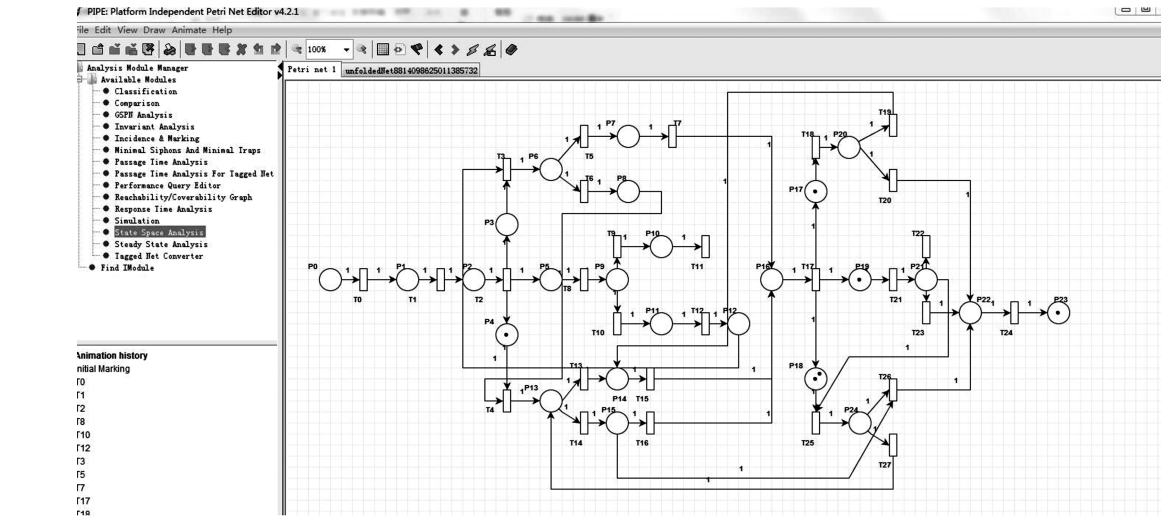


图 3 优化模型在 PIPE 软件中模拟运行的结果

由图 4 可知,图 2 所示的 Petri 网优化模型是有界的、安全的、无死锁的. 这表明,图 2 所示的 Petri 网优化模型能够有效改善医疗流程.

4 结束语

本文基于 Petri 网给出了某肝病患者就诊的医疗流程模型,并通过合并变迁的方式对其进行了优化. 利用 PIPE 软件对所建模型进行模拟运行的结果表明,该模型可以有效地提高医疗资源的利用率,减轻患者的经济负担,因此具有一定的应用价值. 由于患者在实际就医时会出现多种情况,而本文模型是按严格的流程顺序建立的,因此本文的模型具有一定的局限性. 我们今后将结合多种实际,对模型进行优化,以提高模型的适用范围.

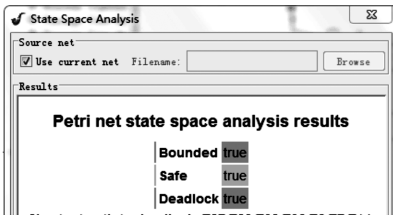


图 4 优化模型在 PIPE 软件中模拟运行后的状态空间分析

本文基于 Petri 网给出了某肝病患者就诊的医疗流程模型,并通过合并变迁的方式对其进行了优化. 利用 PIPE 软件对所建模型进行模拟运行的结果表明,该模型可以有效地提高医疗资源的利用率,减轻患者的经济负担,因此具有一定的应用价值. 由于患者在实际就医时会出现多种情况,而本文模型是按严格的流程顺序建立的,因此本文的模型具有一定的局限性. 我们今后将结合多种实际,对模型进行优化,以提高模型的适用范围.

参考文献:

[1] 吴哲辉. Petri 网理论[M]. 北京:机械工业出版社,2006:1-28.

[2] Sobociński P, Stephens O. Penrose: Putting Compositionality to Work for Petri Net Reachability[M]. Algebra and Coalgebra in Computer Science: Springer Berlin Heidelberg, 2013:346-352.

[3] Gerth C, Kuster J M, Engels G. Detection of semantically equivalent frangments for business process model change management[C]//IEEE International Conference on Service Computing. San Francisco: ACM Press, 2010:57-64.

[4] Polyvyanyy A, Armas-Cervantes A, Dumas M, et al. On the expressive power of behavioral profiles[J]. Formal Aspects of Computing, 2016,28(4):597-613.

[5] Fang Xianwen, Wu Junzhi, Liu Xiangwei. An optimized method of business process mining based on the behavior profile of Petri Nets[J]. Information Technology Journal, 2014,13(1):86-93.

[6] Wang Shouguang, Zhou Mengzhou, Li Zhiwu, et al. A new modified reachability tree approach and its applications to unbounded Petri Nets[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Systems, 2013,43(4):932-940.

[7] 李雪萍. 基于 Petri 网行为轮廓的医疗业务流程挖掘方法[D]. 淮南:安徽理工大学,2017.

[8] Smirnov S, Weidlich M, Mendling J. Business process model abstraction based on behavioral profiles[C]//In 8th International Conference, San Francisco. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010,6470:1-16.

[9] Jensen M T. Improving robustness and flexibility of tardiness and total flow-time job shops using robustness measures[J]. Applied Soft Computing, 2001,1(1):35-52.