

文章编号: 1004-4353(2019)02-0145-05

基于 Petri 网的就医预检分诊模型优化分析

马婷婷

(安徽理工大学 数学与大数据学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 为实现预检分诊制度利用率最大化, 提出了一种基于 Petri 网的就医预检分诊系统模型的优化方法. 首先, 通过模型中的库所及发生变迁之间的交互关系, 构建了门诊就医的基本流程图; 其次, 结合医院的预检分诊制度提出了预检分诊模型, 并采用增加库所、变迁、流弧的方法对预检分诊模型进行了优化; 最后, 通过 PIPE 软件验证了该优化模型的有效性.

关键词: Petri 网; 行为轮廓; 优化; 建模; 预检分诊

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Optimization analysis of medical pre-examination triage based on Petri net modeling

MA Tingting

(College of Mathematics and Big Data, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to maximize the utilization rate of the system, a Petri net-based optimization method was proposed for the model of the system. Firstly, the basic process model of outpatient service is constructed through the interactive relationship between the places and the transitions in the model. Secondly, combined with the hospital's pre-examination triage system, the model of pre-examination triage is put forward, and the model is optimized by adding places, transitions and flow arcs. Finally, the effectiveness of the proposed optimization model is verified by PIPE software.

Keywords: Petri net; behavioural profile; optimization; modeling; pre-examination triage

0 引言

业务流程问题通常是达到特定的价值目标而由不同的人分别共同完成建模的过程, 但是由于实际生活中流程问题更为复杂和多变, 所建立的模型与实践问题往往会出现不一致、不适应、不合理等现象. Petri 网作为一种系统模型, 不仅可以刻画系统中的进程或活动的顺序、并发、冲突以及同步等结构, 还可以描述系统的动态性质, 如可达性、活性、公平性等^{[1]27}.

目前, 许多学者利用 Petri 网语言对行为轮廓建模的优化问题进行了研究. 例如: 文献[2]通过弱序关系定义了行为轮廓的行为关系集, 同时提出了迹一致性和基于行为轮廓的一致性概念, 用以衡量优化模型与原模型之间的相似性; 文献[3]通过实例对 Petri 网的可达性进行了研究, 并利用组合的方法有效地提高了 Petri 网的性能; 文献[4]从行为轮廓的角度对 Petri 网的性质加以分析, 为优化业务流程模

收稿日期: 2019-03-29

作者简介: 马婷婷(1996—), 女, 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); 安徽省自然科学基金资助项目(1508085MF111); 安徽省高校自然科学基金资助重点项目(KJ2016A208)

型提供了方法;文献[5]的作者将神经网络算法嵌入到 Petri 网的某些特殊变迁中,以此建立了一个自适应软件系统的模型.目前,已有研究者运用 Petri 网对就医过程进行了建模和优化.例如:文献[6-7]运用 Petri 网给出了基本的就医流程,并采用细化变迁的方法处理就医时常见的问题,例如等待时间长、抽血化验次数多等;文献[8]利用配置约束的方法优化了模型中出现的约束条件;文献[9]针对医疗服务缺乏定量化的分析评价手段的问题,采用赋时层次有色 Petri 网构建和优化了医疗服务流程.目前为止,利用 Petri 网对预检分诊模型进行建模和优化的研究尚未见报道.考虑到预检分诊对预防疾病交叉感染具有重要作用,本文利用 Petri 网和行为轮廓的思想,以自由选择网为基础,提出一种就医预检分诊的优化模型,并通过 PIPE 软件验证该优化模型的有效性.

1 基本概念

定义 1^{[1]2}(流程模型 Petri 网) 称满足下列条件的六元组 $PM = (P, T, F, C, s, e)$ 为流程模型 Petri 网:

- 1) P 是有限库所集, T 是有限活动变迁集;
- 2) $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset$ 且 $P \cap T = \emptyset$;
- 3) $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 表示 PN 的流关系且 $(P \cup T, F)$ 是强连通图;
- 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;
- 6) M_0 是网的初始标识, M_j 是网的终止标识,且 M_j 是死标识;
- 7) $s \in T$ 是开始活动变迁, $e \in T$ 是终止活动变迁.

定义 2^{[1]27}(变迁发生规则) 称一个四元组 $PN = (P, T; F, M_0)$ 为 Petri 网,且其具有如下变迁发生规则:

- 1) 变迁 $t \in T$ 具有发生权,当且仅当对 $\forall p \in \cdot t: M(p) \geq 1$, 记作 $M[t >$;
- 2) 在标识 M 下,具有发生权的变迁 t 发生后,得到一个新的标识 M' (记作 $M[t > M')$,对 $\forall p \in P$, 其标识如下:

$$M'(p) = \begin{cases} M(p) + 1, & p \in t \cdot - \cdot t; \\ M(p) - 1, & p \in \cdot t - t \cdot; \\ M(p), & \text{otherwise.} \end{cases}$$

定义 3^[2](行为轮廓) 设 (N, M_0) 是一个 Petri 网,初始标识为 M_0 .对任意的变迁对 $(t_1, t_2) \in (T \times T)$, 满足下面关系:

- 1) 若 $t_1 > t_2$ 且 $t_2 \not> t_1$, 则称变迁对 (t_1, t_2) 中的 t_1 与 t_2 为严格序关系,记作 $t_1 \rightarrow t_2$;
- 2) 若 $t_1 \not> t_2$ 且 $t_2 > t_1$, 则称变迁对 (t_1, t_2) 中的 t_1 与 t_2 为严格逆序关系,记作 $t_1 \rightarrow^{-1} t_2$;
- 3) 若 $t_1 \not> t_2$ 且 $t_2 \not> t_1$, 则称变迁对 (t_1, t_2) 中的 t_1 与 t_2 为排他性关系,记作 $t_1 + t_2$;
- 4) 若 $t_1 > t_2$ 且 $t_2 > t_1$, 则称变迁对 (t_1, t_2) 中的 t_1 与 t_2 为交叉序关系,记作 $t_1 \parallel t_2$;
- 5) 将所有的关系集合称为网系统的行为轮廓^[5],记作 $BP = \{\rightarrow, \rightarrow^{-1}, +, \parallel\}$.

定义 4^[3](可达性) 已知 Petri 网 $PN = (P, T; F, M)$, 如果存在 $t \in T, M[t > M'$, 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 使得

$$M[t_1 > M_1[t_2 > M_2 \dots M_{k-1}[t_k > M_k,$$

则称 M_k 为从 M 可达的. 从 M 可达的一切标识所组成集合记为 $R(M)$, 并约定 $M \in R(M)$.

2 基于 Petri 网的就医预检分诊模型

患者就医时通常经历的流程为建卡、充值、挂号、就医、缴费、诊断 6 个步骤,如图 1 所示.该流程用模型可解释为:患者进入医院,导致 t_1 发生, t_1 发生之后 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_6 顺序发生, t_7 、 t_9 、 t_{12} 为排他关系,缴费(t_6)完成后患者只能选择其中一个变迁.如果患者选择检查,则检查之后携带检查单前往主治医师处就医,即 t_7 、 t_8 、 t_5 顺序发生;如果选择直接取药,则 t_9 、 t_{10} 、 t_{11} 顺序发生;如果选择住院,则直接发生 t_{12} ,模型运行结束.

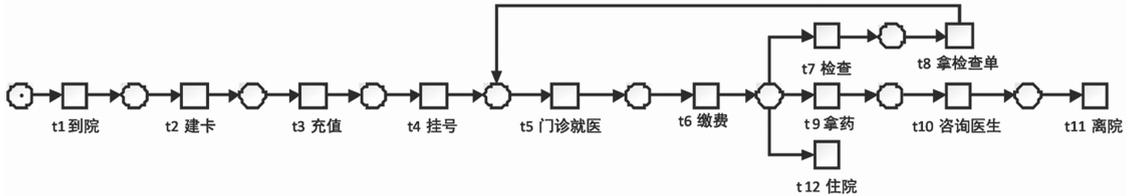


图 1 门诊就医基本流程图

除了上述流程外,一些医院为了有效地控制传染病,保障医疗质量和安全,还开展了传染病预检分诊工作.患者就医时,医院根据预检结果,将患者分类为传染病、疑似传染病、非传染病患者,并针对不同类型的患者采取不同的就医方法.本文根据传染病预检分诊的相关制度^[10],对门诊就医基本流程图进行了优化.优化的内容包括:细化患者建卡、缴费、就医等基本过程;添加传染病预检分诊流程,包括分诊点、传染病病情、住院抉择 3 个方面.优化后的模型如图 2 所示.

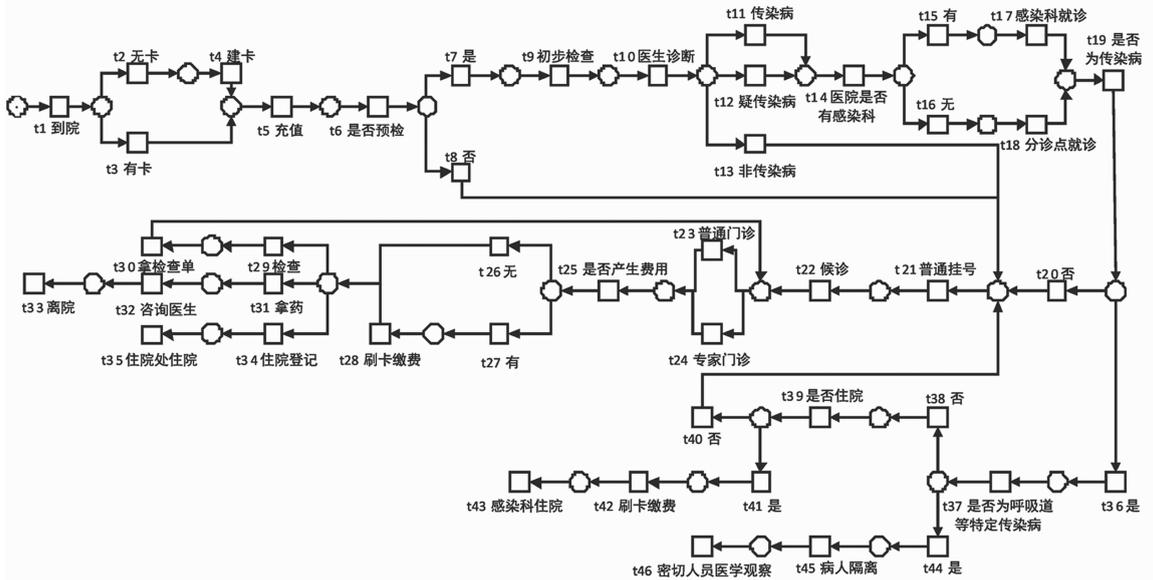


图 2 Petri 网的预检分诊模型

图 2 模型的运行过程如下:首先变迁 t_1 发生,此时 t_2 和 t_3 是排他关系,若患者未持就诊卡,则患者需要凭身份证等相关证件建卡,即 t_2 、 t_4 发生,否则 t_3 发生. t_5 、 t_6 发生之后,患者需要根据自身需求选择是否接受预检.若患者选择不预检,即 t_8 发生,随后 t_{21} 、 t_{22} 顺序发生;若患者选择预检,则 t_7 、 t_9 、 t_{10} 顺序发生,此时医生根据患者体征以及病史判断患者是否患有传染病.

对于患有传染病以及疑似传染病的患者,如果医院有感染科,那么患者直接前往感染科就诊,即 $(t_{11}+t_{12})t_{14}t_{15}t_{17}$ 变迁序列发生.如果医院没有感染科,那么患者需要前往指定的分诊点就诊,即 $(t_{11}+t_{12})t_{14}t_{16}t_{18}$ 变迁序列发生.对于非传染病的患者(包括前往感染科或分诊点再次就诊后被确定为非传染病的患者),均需先挂号然后再到相应科室就诊,即变迁序列 $(t_{13}+((t_{11}+t_{12})t_{14}(t_{15}t_{17}+$

t16t18)t19t20))t21t22 发生. 对于最终被诊断为患有传染病的患者, 需根据患有的传染病类型进行就诊, 即变迁序列 t36t37 发生.

如果患者患有呼吸道等特定传染病, 医院将依据规定直接将患者隔离, 且同时对患者的陪同人员及就诊医生等密切接触人员采取医学观察或其他必要的预防措施, 即变迁序列 t44t45t46 发生. 如果患者只是患有普通的传染病, 患者可根据医嘱自愿选择是否住院. 患者如果选择住院, 那么缴费后前往感染科住院, 即变迁序列 t41t42t43 发生; 患者如果选择不住院, 则患者需按照一般患者的流程就诊.

一般患者(未预检的患者、非传染病的患者、患非特定传染病的患者), 需前往挂号处挂号, 并在相应的科室就诊, 即 t21t22 变迁序列发生. 此时 t24 与 t23 处于排他关系, 即患者只能选择其中一种门诊. 就诊之后, 根据是否产生费用确定患者是否需要缴费, 即变迁序列 (t24 + t23)t25 (t26 + t27t28) 发生. 后续检查、拿药或住院登记等过程和图 1 相同, 故在此省略.

3 基于 Petri 网的就医预检分诊模型

观察图 2 中的模型可以发现, 未患有传染病的患者在就诊过程中有可能被患有传染病的患者传染. 另外, 因刚被传染的患者在短期内不会有明显的症状, 医生难以及时发现病情, 因此可能会导致更多的人被感染. 基于此, 本文结合文献[10]中所提出的预检分诊管理办法, 从以下两个方面对图 2 模型进行优化: ①在传染病多发季节加强预检分诊工作, 主要措施包括设立隔离预检区域, 对发烧患者强制预检和及时发放口罩; ②对检查传染病项目的患者再次定向就诊. 优化后的模型如图 3 所示.

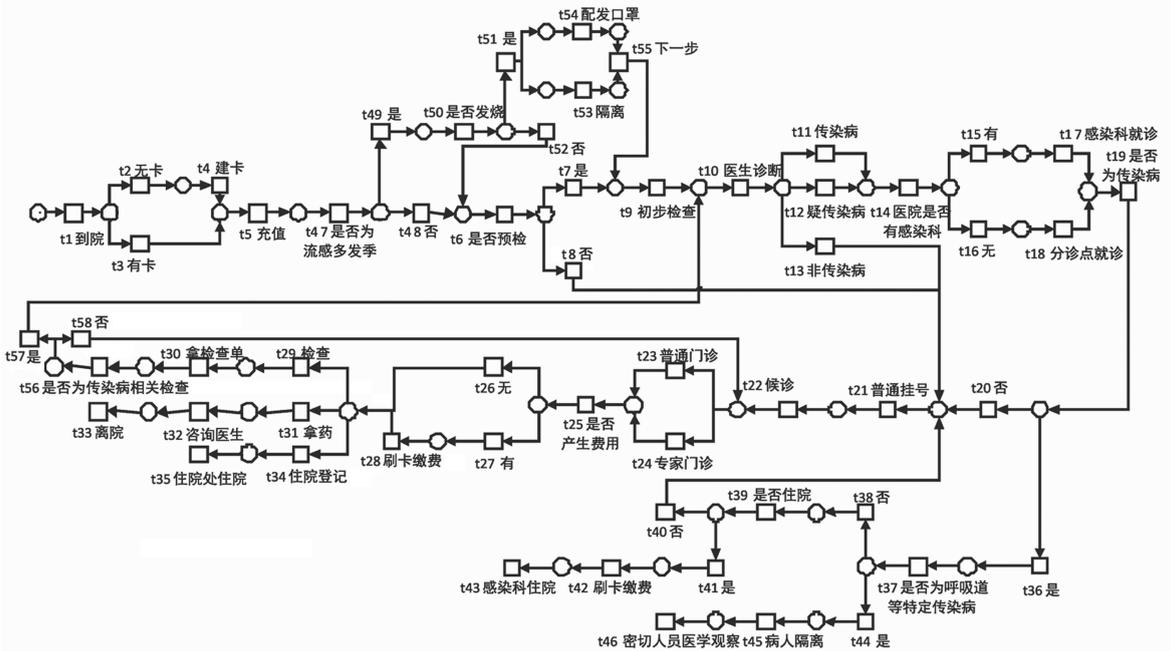


图 3 预防院内感染的优化模型 Petri 网结构图

由图 3 可知, 优化模型只是在图 2 的基础上增加了 12 个变迁(t47—t58). 由增加的变迁及变迁之间的行为关系可知, 若患者就医时处于传染病多发季并且已经发烧, 则患者必须接受预检, 且在预检前需对患者进行隔离并配发口罩. 模型中 t53 与 t54 处于并发关系, 即只有同时配发口罩和隔离之后才能发生 t55. 非传染病多发季的患者(t47t48)或流感多发季但未发烧的患者(t47t49t50t52), 有权自主选择是否接受预检.

一般患者(未预检的患者、非传染病的患者、患非特定传染病的患者)在遵医嘱进行检查之后, 根据

所检查项目是否与传染病有关而进行排他性选择. 若患者检查的项目不属于传染病的相关检查, 则患者直接持检查单回到门诊处, 即 $t56t58(t23+t24)$ 变迁序列发生; 如果患者检查的项目属于传染病的相关检查, 则患者需持检查单前往预检处诊断, 即 $t56t57t10$ 变迁序列发生.

4 优化模型的仿真模拟

为了验证优化模型的有效性, 本文借助 Petri 网分析软件 (PIPE) 对模型进行模拟运行. 首先在 PIPE 软件中绘制出优化模型, 然后对模型进行状态空间分析, 其仿真结果如图 4 所示. 图 4 表明, 本文所建立的 Petri 网优化模型是有界、安全及无死锁的.

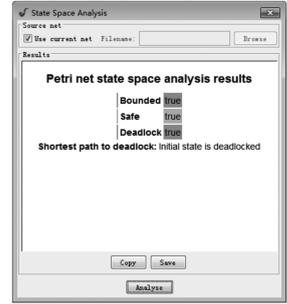


图 4 仿真结果图

5 结束语

本文利用 Petri 网建立了基本就医模型, 并通过加强预检工作、及时隔离等就医过程优化了模型. 优化模型的仿真模拟结果表明, 本文的优化模型有效、合理, 有助于医院实现预检分诊工作, 减少交叉传染. 由于本文所提出的建模方法是基于理论的, 其运行过程可能会和实际的就医预检流程存在差异, 因此今后我们将通过日志挖掘剔除无效低频行为, 进一步确认有效活动之间的行为关系, 以得到更好的模型.

参考文献:

- [1] 吴哲辉. Petri 网理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 2-27.
- [2] WEIDLICH M, MENDING J, WESKE M. Efficient consistency measurement based on behavioural profiles of process models[J]. Software Engineering, 2011, 37(3): 410-429.
- [3] SOBOCIŃSKI P, STEPHENS O. Penrose: putting compositionality to work for Petri net reachability[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Algebra and Coalgebra in Computer Science (CALCO). Berlin Heidelberg: Springer, 2013: 346-352.
- [4] POYVYANY 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] DING Z, ZHOU Y, ZHOU M C. Modeling self-adaptive software systems with learning Petri nets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2014, 46(4): 483-498.
- [6] 应丽, 王丽丽, 刘祥伟. 基于 Petri 网的门诊就医流程模型优化分析[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2018, 44(1): 79-82.
- [7] 杨皓然, 姚瑶. 基于 Petri 网的医疗流程建模优化[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2018, 44(4): 332-335.
- [8] 应丽, 王丽丽, 刘祥伟. 基于配置约束的门诊就医系统优化分析[J]. 怀化学院学报, 2018, 37(5): 48-51.
- [9] 伍宏伟, 杨东. 基于赋时层次有色 Petri 网的医疗服务流程建模与优化[J]. 系统仿真学报, 2007(8): 1657-1663.
- [10] 医疗机构传染病预检分诊管理办法[Z]. 中华人民共和国卫生部, 2005.