

文章编号: 1004-4353(2019)04-0335-04

基于 Petri 网的图书借阅系统的 建模与优化分析

李 增

(安徽理工大学 数学与大数据学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 为提高图书的利用率,实现更人性化的借阅服务,提出了一种基于 Petri 网的图书借阅系统模型的优化方法.首先,通过分析图书借阅系统的结构,利用 Petri 网对借阅系统进行建模;其次,对 Petri 网模型中的各变迁之间的行为轮廓关系进行分析后,通过增加控制结构对模型进行优化;最后,利用 PIPE 软件对优化后的模型进行仿真模拟,结果表明优化后的模型具有有界性和安全性.

关键词: Petri 网; 行为轮廓; 建模; 优化

中图分类号: TP319.9

文献标志码: A

Modeling and optimization analysis of library lending system based on Petri net

LI Zeng

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

Abstract: In order to improve the utilization efficiency of books and realize the humanized lending service, an optimization method of the book lending system model based on Petri net is proposed. Firstly, analyzing the structure of the book lending system, and the lending system is modeled by Petri net. Secondly, the model is optimized by analyzing the behavioral profile relationship between the transitions in the Petri net and increasing the control structure. Finally, the PIPE software is used to simulate the optimized model. The results show that the optimized model is bounded and safe.

Keywords: Petri net; behavior profile; modeling; optimization

0 引言

图书借阅系统是一个分布式的系统,它涉及到数据库管理、分布式系统设计、数据数字化等多方面问题.在该系统中,如何在宏观层面上对分布式系统进行建模,以及如何指导系统后续设计与实现,对增大系统的容量和加强系统的可用性具有重要的作用. Petri 网作为分布式系统的建模和分析的一种工具,可用于描述系统进程或部件的顺序、并发、冲突以及同步等关系,并且可对系统的活性、可达性、有界性等进行有效验证.目前,国内外有很多学者利用 Petri 网的行为轮廓、变化域、变更传播等性质对系统进行建模和优化.例如:文献[1]针对在访问选课系统中的临界资源时出现的不稳定性问题,建立了一种

收稿日期: 2019-05-21

作者简介: 李增(1996—),男,在读硕士研究生,研究方向为 Petri 网理论及模型优化.

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);安徽理工大学研究生创新基金资助项目(2019CX2068)

基于 Petri 网的选课系统流程模型,并利用“生产者-消费者”原理和信号量机制对模型进行了优化;文献[2]利用 Petri 网对数字图书馆的服务系统进行了建模,并根据 Petri 网的性质对数字图书馆的过程控制进行了研究;文献[3]利用随机着色 Petri 网建立了图书馆文献检索系统模型,并通过设计一种新的排序算法提高了检索的准确度.文献[4]利用 Petri 网建立了图书馆管理预测模型,并对预测量作出了定量分析,为合理制定图书馆的管理方案提供了理论依据.文献[5-6]描述了图书馆借阅系统的基本功能,并对建立的 Petri 网模型进行了分析.目前为止,未见利用 Petri 网对图书借阅中的续借失败、借书时长设置和读者可借数目的控制问题进行研究的报道.基于此,本文提出一种基于 Petri 网的图书借阅系统模型,并对模型进行优化,最后通过仿真验证优化模型的稳定性和可靠性.

1 基本概念

定义 1^[7](Petri 网) 设 $PN = (P, T; F)$ 为一个 Petri 网,满足以下条件:

- 1) P 是有限库所集, T 是有限变迁集;
- 2) $P \cup T \neq \emptyset$ 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) $\text{dom}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (x, y \in F)\}$;
- 5) $\text{cod}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (y, x \in F)\}$.

定义 2^[8](有界性和安全性) 设 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 为一个 Petri 网.若存在正整数 B ,使得 $\forall M \in R(M_0): M(p) \leq B$, 则称库所 p 为有界的,并称满足此条件的最小正整数 B 为库所 p 的界,记为 $B(p)$,即 $B(p) = \min\{B \mid \forall M \in R(M_0): M(p) \leq B\}$.当 $B(p) = 1$ 时,称库所 p 为安全的.如果每个 $p \in P$ 都是有界的,则称 Σ 为有界 Petri 网,称 $B(\Sigma) = \max\{B(p) \mid p \in P\}$ 为 Σ 的界.当 $B(\Sigma) = 1$ 时,称 Σ 为安全的.

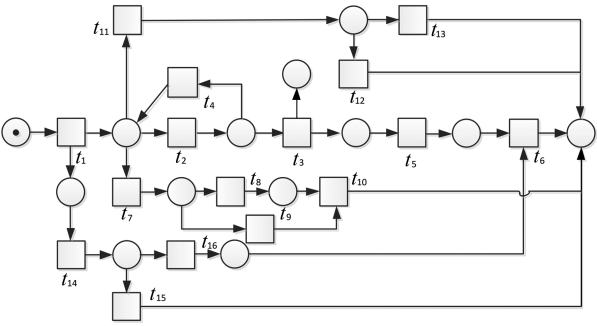
定义 3^[9](行为轮廓) 设 (N, M_0) 是一个网,初始标识为 M_0 .对任给的变迁对 (t_i, t_j) ,其弱序关系 $\succ \subseteq (T \times T)$ 满足下面关系:

- 1) 若 $t_1 \succ t_2$ 且 $t_2 \not\succ t_1$, 则称 t_1 和 t_2 为严格序关系,记作 $t_1 \rightarrow t_2$;
- 2) 若 $t_1 \not\succ t_2$ 且 $t_2 \succ t_1$, 则称 t_1 和 t_2 为严格逆序关系,记作 $t_1 \rightarrow^{-1} t_2$;
- 3) 若 $t_1 \not\succ t_2$ 且 $t_2 \not\succ t_1$, 则称 t_1 和 t_2 为排他关系,记作 $t_1 + t_2$;
- 4) 若 $t_1 \succ t_2$ 且 $t_2 \succ t_1$, 则称 t_1 和 t_2 为交叉序关系,记作 $t_1 \parallel t_2$;
- 5) 将所有关系的集合称为网系统的行为轮廓,记作 $BP = \{\rightarrow, \rightarrow^{-1}, +, \parallel\} \subseteq (T \times T)$.

2 基于 Petri 网的图书借阅系统的建模与优化

2.1 基于 Petri 网的图书借阅系统模型

目前,大学图书馆借阅系统的基本功能可分为查询、借书、还书、续借 4 个部分,由此建立的图书借阅系统模型如图 1 所示,图 1 中各变迁的含义见表 1.由图 1 可见,当读者进入图书馆时 t_1 发生,并由此引发 t_2 (借书) 或 t_7 (还书) 或 t_{11} (续借) 发生.若执行 t_2 ,需输入所需要借阅的图书信息. t_4 与 t_3 为排他关系, t_3 、 t_5 为严格序关系. t_6 为借书成功, t_6 发生需进行审核,审核包括 2 个方面:一是所有可被借阅的图书是否均已被预借,二是读者是否已达



到预借上限. 若 t_7 发生, 则引发排他结构($t_8 + t_9$). 若读者未在规定期限内还书, 则需缴纳罚款, 执行 t_8 , 否则执行 t_9 . 若 t_{11} 发生, 则引发排他结构($t_{12} + t_{13}$), 即续借成功或失败, 最后退出系统.

表 1 各变迁的含义

变迁	含义	变迁	含义	变迁	含义	变迁	含义
t_1	进馆刷卡	t_5	图书在管	t_9	信息正常	t_{13}	续借失败
t_2	输入检索信息	t_6	借书成功	t_{10}	还书成功	t_{14}	核实读者信息
t_3	查询图书是否在馆	t_7	还书前核实	t_{11}	准备续借	t_{15}	信息异常
t_4	修改检索信息	t_8	超期付款	t_{12}	续借成功	t_{16}	信息正常

2.2 图书借阅系统的 Petri 网模型优化分析

由图 1 可以看出, 模型虽然能够反映读者借阅的整个流程, 但依然存在一些问题: ① 因所有图书的借阅时间相同, 使得一些使用率较高的图书(如工具类图书和习题类图书等) 不能被充分利用, 进而降低这些图书的使用价值. ② 因所有借阅者的可借图书数目相同, 因此导致需要大量借阅图书的读者需要多次借阅, 浪费时间. ③ 多位读者同时借阅同一本图书时, 若当前可借的图书只有一本, 此时会造成系统阻塞, 无法进行下一步操作. ④ 当读者续借失败时, 系统不能给出相应的解决办法, 使读者无法继续借阅.

基于上述存在的问题, 本文对上述模型进行优化, 优化后的图书借阅系统的 Petri 网模型见图 2, 图 2 中各变迁的含义见表 2. 模型优化的具体解决方案如下: ① 根据图书的馆藏量、机密性及实用性等, 将图书分为 4 个等级, 每个等级对应不同的可借时间, 分别为: 特级图书(不可外借)、I 级图书(可借阅 15 d)、II 级图书(可借阅 30 d)、III 级图书(可借阅 90 d). 此时, t_8 、 t_9 、 t_{10} 、 t_{11} 为排他关系, 记为 $t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11}$. 另外, t_8 与 t_{12} 为严格序关系, 其他以此类推. ② 变迁 t_{19} 为识别进馆人员身份信息, 并将其分为受邀访客和借阅者, 其中借阅者包含本科生、研究生和教师 3 类. 受邀访客只可在馆阅读, 不可借阅; 根据教师和学生的阅读能力和借阅需求不同, 对老师和学生分别设置不同的可借数目 $n(t_{23})$ ($n_{\text{教师}} > n_{\text{研究生}} > n_{\text{本科生}}$). t_{22} 、 t_{23} 处于交叉序关系, 记为 $t_{22} \parallel t_{23}$. 通过 t_{22} 、 t_{23} 的发生判断模型是否执行 t_{25} . 此外, 识别读者身份信息时, 若读者有超期未还的图书, 系统将自动识别, 并触发变迁 t_{27} 和 t_{28} 发生. ③ t_{17} (借书成功) 发生的条件是 t_{17} 的 2 个前置库所必须都得到一个 token, 其目的是通过这种控制结构过滤掉不符合系统要求(读者当前不可借) 的请求, 这样既可保证系统的可触发序列的执行, 也能够减轻系统的运行负担. 借书成功后, 系统自动开始计时, 即 t_{18} 发生, 直到还书或续借结束. ④ 读者借阅超时是续借失败的主要原因. 读者续借时, 优化后的模型首先确认借阅是否超时, 若读者借阅超时则可通过缴纳罚金的方式继续续借. 该步骤与还书模块的审核共用一个流程, 因此该步骤不会增加系统的负担.

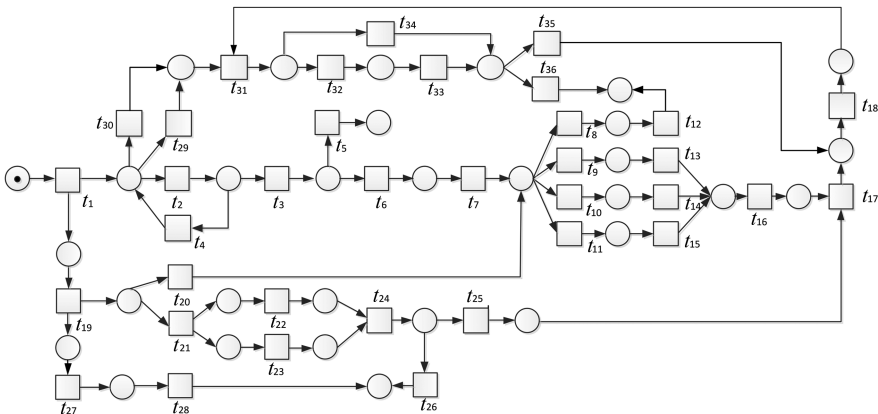


图 2 优化后的图书借阅系统 Petri 网模型

表 2 各变迁的含义

变迁	含义	变迁	含义	变迁	含义	变迁	含义
t_1	进馆刷卡	t_{10}	Ⅱ 级图书	t_{19}	扫描进馆人员信息	t_{28}	温馨提示
t_2	输入检索信息	t_{11}	Ⅲ 级图书	t_{20}	受邀访客(不可借)	t_{29}	准备还书
t_3	检索结果	t_{12}	在管阅读	t_{21}	借阅者	t_{30}	准备续借
t_4	修改检索信息	t_{13}	可借阅 15 d	t_{22}	可借数目	t_{31}	核算时间
t_5	退出服务	t_{14}	可借阅 30 d	t_{23}	已借数目	t_{32}	超时未还
t_6	图书在管	t_{15}	可借阅 90 d	t_{24}	是否可借	t_{33}	缴纳罚金
t_7	图书级别	t_{16}	准备借书	t_{25}	当前可借	t_{34}	情况正常
t_8	特级图书	t_{17}	借书成功	t_{26}	已达上限	t_{35}	续借成功
t_9	I 级图书	t_{18}	开始计时	t_{27}	有超期未还	t_{36}	还书成功

3 模型的有界性和安全性分析

本文利用 PIPE 软件对优化后的模型进行仿真模拟,验证优化后模型的有界性和安全性. 验证结果如图 3 所示. 图 3 表明,本文所建立的图书借阅系统 Petri 网优化模型是有界、安全、无死锁的,即优化后的图书借阅系统是合理可行的.

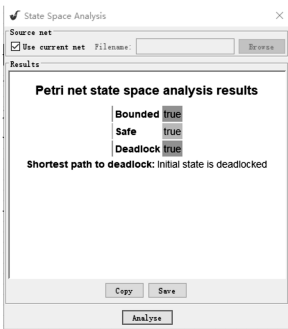


图 3 仿真结果图

本文利用 Petri 网模型建立了图书借阅系统模型,并通过分析变迁之间的行为轮廓关系和增加控制结构优化了该系统模型. 利用 PIPE 软件对优化后的模型进行仿真表明,优化后的模型能够提高图书的使用效率和系统的工作效率,可为借阅者提供一个更加人性化的借阅环境. 本文在优化模型过程中,只对原模型的部分结构进行了改进,而且仅考虑了变迁之间的行为轮廓关系,因此具有一定的局限性. 今后我们将结合变化传播、变化域、过程挖掘等知识对模型进行进一步的分析.

参考文献:

[1] 卢可,王丽丽. 基于 Petri 网的选课系统建模优化[J]. 延边大学学报(自然科学版),2018,44(3):246-249.
[2] 刘成山,赵捧未. 基于 Petri 网的数字图书馆过程控制[J]. 情报杂志,2005(10):57-58.
[3] 邓娉. 随机着色 Petri 网在图书馆文献检索系统中的应用[J]. 图书馆理论与实践,2010(11):75-76.
[4] 靳天飞,靳力. 基于 Petri 网的图书馆管理预测模型研究[J]. 山东建筑工程学院学报,2001(4):55-58.
[5] 栾文静,杜玉越. 基于逻辑 Petri 网的图书馆借阅系统的建模与分析[J]. 系统仿真学报,2008,20(S2):82-85.
[6] 杨玉梅,段欣,兰鹰,等. 基于 Petri 网的数字图书馆系统建模[J]. 科技情报开发与经济,2009,19(28):23-24.
[7] 吴哲辉. Petri 网理论[M]. 北京:机械工业出版社,2006:1-28.
[8] 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.
[9] WEIDLICH M, MENDING J, WESKE M. Efficient consistency measurement based on behavioural profiles of process models[J]. Software Engineering, 2011,37(3):410-429.