

严志超,倪枫,刘文诚,等. 基于CPN的敏捷开发业务流程建模方法[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(8): 78-84. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.240813

基于CPN的敏捷开发业务流程建模方法

严志超¹, 倪枫¹, 刘文诚², 刘姜¹, 陈年年¹, 周兴郡¹

(1 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2 上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 着色 Petri 网 (Colored Petri Net, CPN) 建模面对大型系统时的复杂性可能会随着系统规模的增大而显著增加, 通常需要较多的时间和资源。敏捷开发的方法可以通过迭代和增量的方式, 将大型系统分解为多个小模块, 从简化模型出发逐步增加复杂性, 降低模型的复杂性, 提高建模和开发的效率和质量。将 CPN 建模与敏捷开发相结合, 可以提供更强大的建模能力和更高效的开发过程。本文以旅游出行租车系统为例, 采用 CPN 的敏捷开发方法建立模型, 并对其进行讨论和改进, 为需求管理建模提供了一种具有灵活性、并发性、可视化、协作性和适应性等优势的思路。

关键词: 着色 Petri 网; 敏捷开发; 需求管理; 租车系统

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)08-0078-07

CPN based agile development business process modeling method

YAN Zhichao¹, NI Feng¹, LIU Wencheng², LIU Jiang¹, CHEN Niannian¹, ZHOU Xingjun¹

(1 School of Business, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2 School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The complexity of modeling CPN (Colored Petri Nets) for large-scale systems may significantly increase with the increase of system size, and modeling typically requires more time and resources. The method of agile development can decompose large systems into multiple small modules through iteration and increment, and gradually increase complexity by starting from simplified models, reducing model complexity and improving modeling and development efficiency and quality. Combining CPN modeling with agile development can provide stronger modeling capabilities and more efficient development processes. Finally, taking the tourism car rental system as an example, the article adopts the agile development method of CPN to establish a model, and discusses and improves it, providing a flexible, concurrent, visual, collaborative, and adaptive approach for demand management modeling.

Key words: Colored Petri Nets; agile development; demand management; car rental

0 引言

随着企业对于业务流程优化和管理效率提升的不断追求, 业务流程建模方法的研究与应用逐渐成为学术界和企业界共同关注的焦点。传统的业务流程建模方法往往侧重于静态的结构描述和事后的性能分析, 难以适应快速变化的市场需求和业务环境。因此, 寻求一种更加灵活、高效、实时的业务流程建模方法显得尤为重要。

在此背景下, 着色 Petri 网 (Colored Petri Net, CPN) 作为一种具有强大描述能力的建模工具, 被广泛应用于业务流程建模领域^[1]。然而, 传统的 CPN 建模方法在面对复杂度高、实时性强、可扩展性要求高的业务流程时, 仍然存在一定的局限性。为了解决这些问题, 研究人员不断探索将新的方法与 CPN 建模相结合的新途径。黄风兰等^[2-3]通过建立 4 类模型不同描述形式与 CPN 建模语言间的对应关系, 提出以规则模型 (RM)、组织模型 (OM)、活动模型 (AM) 和数据模型 (DM) 为主体的可执行模型五阶

基金项目: 国家自然科学基金 (12371508); 教育部产学研合作协同育人项目 (220603760210846); 上海市“大学生创新创业训练计划” (SH2022072)。

作者简介: 严志超 (1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 系统架构建模; 刘文诚 (2000-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 系统建模与仿真, 大数据分析; 刘姜 (1983-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 复杂系统理论与方法, 符号代数计算。

通讯作者: 倪枫 (1982-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 系统科学, 系统分析与集成。Email: nifeng@usst.edu.cn

收稿日期: 2024-02-29

段建模方法,实现了灵活、自动化的CPN可执行模型的生成,打破了业务架构建模语言和CPN建模语言之间的限制;郑红等^[4]提出在编写合约前基于CPN对供应链业务逻辑进行形式化规范,并构建双层仿真模型,以图形化界面描述交易状态变化,进行形式化验证和状态分析,从而在建模阶段就减少逻辑漏洞;梁伟婷等^[5]为解决现有地铁应急预案中文本式管理流程难以直观展现各环节的联动性问题,以系统分析视角梳理中国地铁系统一般应急管理流程,基于着色Petri网理论构建地铁系统运营期应急流程模型;牛犇等^[6]针对将智能推荐系统应用在联合作战中推荐预警情报的研究,对比了集成定义(Integration DEFinition, IDEF)方法、统一语言建模(Unified Modeling Language, UML)、Petri网等多种军事复杂系统建模方法,提出了采用UML和着色Petri网混合方法对预警情报智能推荐在联合作战中的应用进行建模与验证。

敏捷开发方法以其灵活、快速响应变化的特点,在软件开发领域取得了显著的成效。近年来国内许多学者将敏捷开发应用于软件开发、需求、测试等领域中,刘伟菁^[7]将“敏捷”理念用于教师培训课程开发,能够快速适应教师不断变化的新需求;刘国栋等^[8]通过研究军用光电系统软件开发过程的现状,分析其在需求不明确、开发周期短等项目中存在的管理流程繁琐、效率较低、不能保证进度的问题。将敏捷开发方法引入业务流程建模领域,不仅可以提高建模过程的灵活性和效率,还能够更好地应对业务流程中的不确定性和变化。阮国祥、郭润萍等^[9-10]通过深入分析企业—用户互动、敏捷开发与数字产品创新绩效间的作用机理,提供了即兴行为研究的新视角,并为提升企业供应链敏捷性和新产品开发绩效提供了指导;徐向前等^[11]针对需求开发过程周期较长、面对复杂场景快速响应能力较弱的问题,提出基于系统工程“V”模型和用户故事思想的作战体系能力需求敏捷开发方法,重新设计作战体系能力需求开发框架,构建基于用户故事的作战体系能力需求模型,提出一套完整的作战体系能力需求开发流程。本文旨在探讨基于敏捷开发的CPN业务流程建模方法,以期为企业业务流程的优化和管理提供新的思路和方法。

1 相关理论

1.1 CPN建模元素和规则

定义1 将基于CPN所描述的模型以一个九

元组表示,即 $CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$ 。

Σ : 表示CPN中所定义的所有颜色的集合,颜色是一个抽象的概念,可以用来描述系统中的各种状态和属性。

P : 表示库所(Place)的有限集合,是CPN中的一种基本元素,库所代表系统中的一个状态或者资源,可以包含一定数量的标记(token)。

T : 表示变迁(Transition)的有限集合,也是CPN中的一种基本元素,变迁代表系统中的一个事件或者操作,可以触发或消耗库所中的标记,从而改变系统的状态,其中 $T \cap P = \emptyset, P \cup T \neq \emptyset$ 。

A : 表示弧(Arc)的集合,弧是连接库所和变迁之间的通道,包含两种类型的弧:输入弧和输出弧。输入弧将标记从库所传递给变迁,而输出弧将标记从变迁传递给库所,其中 $P \cap T = P \cap A = A \cap T = \emptyset$, 且 $A \subseteq ((P \times T) \cup (T \times P))$ 。

N : 为节点(Node)函数, $N: A \rightarrow P \times T \cup T \times P$, 节点函数把每条弧映射到一个二元组,第一个为源节点,第二个为目标节点,且这两个节点属于不同的类型,即(变迁,库所)或(库所,变迁)。

C : 表示条件(Condition)的集合,用于描述变迁的触发条件,当条件满足时,变迁可以被激活。

G : 表示警卫函数(Guard)的集合,用于限制变迁的激活条件,为每个转换 T 分配一个保护,只有当警卫函数为真时,变迁才能被激活,即 $Type[G(T)] = Bool$ 。

E : 是一个从弧到表达式的函数,即 $(A \rightarrow EXP)$, 为每个弧 A 指定一个弧表达,且满足 $[Type(E(a)) = C(p(a))]MS$, 其中 p 是与弧 a 连接的库所, MS 表示多重集。

I : 表示初始化函数(Initialization)的集合,用于确定系统的初始状态,定义了库所中标记的初始数量和分布。

1.2 敏捷开发方法

敏捷开发是一种以快速交付和灵活应对变化为核心原则的软件开发方法,将“以人为本”作为核心价值观,注重团队合作和交流,以提高工作效率和项目质量,敏捷开发的核心原则包括:

(1)以人为本:敏捷开发注重团队成员之间的合作和沟通,鼓励开放的工作环境和积极的团队文化,通过合理分配工作和提供支持,激发团队成员的工作动力和创造力;

(2)可持续的迭代开发:敏捷开发强调在整个开发过程中保持持续的进展和稳定的开发速度,通

过短期的迭代周期,团队能够及时反馈和修正问题,确保项目持续推进;

(3)适应变化:敏捷开发认识到需求和项目环境可能发生变化,因此鼓励团队保持灵活性和适应性,通过频繁的需求评估和调整,项目能够及时应对变化,提高交付价值;

(4)快速交付:敏捷开发以迭代方式进行开发,每个迭代周期都有一个可交付的产品版本,可以使客户和利益相关者更早地开始使用产品,并提供及时的反馈,同时也可以减少风险、提高项目的可见性。

基于敏捷开发的理念,涌现出了一系列具体的方法论,如极限编程、Scrum、精益软件开发、动态系统开发方法以及特征驱动开发等。尽管这些敏捷开发方法的名称和术语不尽相同,但其都共享核心原则,即增量的、迭代式的开发流程,以及决策、调度和控制的关键点。简单而高效的工作流程为敏捷开发在有序与无序之间、结构化与灵活性之间找到了平衡点。Scrum 是最具代表性和最常用的敏捷开发方法,本文以 Scrum 为代表,介绍敏捷开发的核心流程、关键术语与团队特性。敏捷开发核心流程如图 1 所示。

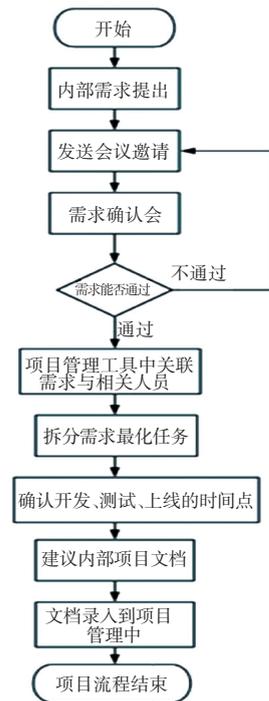


图 1 敏捷开发核心流程

Fig. 1 Agile development core process

Scrum 中较常用的专业术语及其对应的基本解释见表 1。

表 1 Scrum 专用术语及解释

Table 1 Scrum specific terms and explanations

术语	解释
Product Backlog	产品待办列表,包含了所有待完成的功能需求
Sprint Backlog	冲刺待办列表,包含了当前冲刺周期内需要完成的任务
Sprint	冲刺周期,通常为 2-4 周,团队在此期间完成一部分功能
Daily Scrum	每日站会,团队成员每天汇报工作进展和遇到的问题
Scrum Master	敏捷教练,负责指导团队遵循 Scrum 流程
Product Owner	产品负责人,负责定义产品需求和优先级
Sprint Review	冲刺评审会,团队展示完成的功能并接受反馈
Sprint Retrospective	冲刺回顾会,团队讨论过去冲刺的经验教训
User Story	用户故事,描述用户的需求和期望
Velocity	速度,团队每个冲刺周期内完成的工作量

2 CPN 的敏捷开发建模

CPN 的敏捷开发建模方法是一种灵活、高效、实时的建模方法,能够很好地适应快速变化的市场需求和业务环境。通过不断地迭代和优化,可以确保模型能够准确地反映业务流程的实际情况,为企业实现业务流程的优化和管理提供有力的支持。

2.1 明确 CPN 模型元素

为了 CPN 模型能够快速清晰地定义敏捷需求

管理的目标,根据 ROAD (Rule、Organization、Activity、Data) 元架构四大模型,即规则模型 (RM)、组织模型 (OM)、活动模型 (AM) 和数据模型 (DM) 来初步确定 CPN 的模型原色^[12-15]。其中, RM 用 IF-THENELSE 和 CASE 等规则逻辑控制语句来描述; OM 用 UML 协作图来描述; AM 用功能建模的集成定义 (IDEFO) 图来描述; DM 用信息建模的集成定义 (IDEF1x) 实体关系图来描述。最后根据 CPN 特性对 ROAD 元架构重划分,对应关系见表 2。

ROAD 模型与 CPN 模型之间的映射关系, 可根据五阶段建模方法进行分析: 调研系统需求、确定模

型结构、定义颜色集、建立底层变迁结构、验证模型行为。

表 2 ROAD 架构与 CPN 模型组成单元对应关系

Table 2 Correspondence between the ROAD architecture and the constituent units of the CPN model

ROAD 元架构模型	相关建模方法	模型元类	CPN 模型组成单元
RM 规则模型	IF-THEN-ELSE、CASE 等规则逻辑控制语句	规则条件	输入弧函数、警卫
		规则参数	函数
		规则结果	输出弧函数
OM 组织模型	UML 协作图	对象	底层变迁
		连接	弧线
		消息	库所
		活动	变迁
		信息	库所
AM 活动模型	IDEFO 模型	节点间输入输出关系	弧线
		控制要素	数据对象
		机制要素	库所
DM 数据模型	IDEFIX 实体关系图	数据属性	颜色集
		数据实体	数据对象

2.2 简化模型结构

简化模型并非简单化, 而是优化模型的结构和复杂性, 使其更易于使用和理解, 移除不必要的细节和冗余元素, 合并相似的库所和变迁, 使用有意义的命名, 以提高模型的清晰度和直观性。此外, 通过减少复杂性, 提高模型的性能和响应速度, 降低出错率。为了更好地支持这一原则, CPN 模型可以考虑以下几点:

(1) 删除冗余元素: 在模型中删除不必要或重复的库所、变迁和规则。这些冗余元素会增加模型的复杂性, 降低其实用性。通过删除冗余元素, 简化模型的结构, 使其更加清晰和易于理解。如图 2 所示。

用有意义的命名, 以提高模型的清晰度和直观性。使用明确的命名约定, 使模型元素更易于理解和记忆, 同时减少歧义和误解的可能性。

(4) 优化模型结构: 简化 CPN 模型的结构, 使其更加简洁和直观。优化模型的结构可以提高其可读性和易用性, 降低理解成本。通过调整模型的结构, 使其更加符合团队的思维模式和 workflows。

(5) 提高性能和响应速度: 简化模型可以降低其计算复杂度, 提高性能和响应速度, 有助于提高团队的工作效率, 减少等待时间和延迟。通过优化算法和减少冗余计算, 提高模型的性能和响应速度。

简化后的 CPN 模型将更加清晰、易于使用和理解, 有助于团队成员更好地掌握和使用模型, 提高工作效率和准确性; 同时, 简化模型还有助于降低维护成本和减少出错率。

2.3 模型变更与调整

为了使模型更适应敏捷需求管理, 需要增加其可变性, 通过引入条件规则、多路径变迁、可配置的库所和变迁, 以及提供扩展点来实现。团队可以根据实际情况快速调整模型, 更好地应对需求变更。同时, 这种灵活性也有助于提高团队的创新能力。为了更好地支持这一原则, CPN 模型可以考虑以下几点:

(1) 引入条件规则: 在模型中添加条件规则, 使库所、变迁和规则的执行根据不同条件灵活变化, 如基于 CPN-ML (Modeling Language) 语言在弧函数中



图 2 删除冗余元素

Fig. 2 Delete redundant elements

(2) 合并相似元素: 将相似的库所和变迁合并, 减少模型的复杂性。通过合并相似元素, 简化模型的结构, 提高其可读性和易用性, 如图 3 所示。

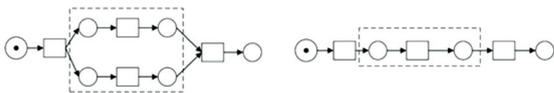


图 3 合并并行元素

Fig. 3 Merge parallel elements

(3) 使用有意义的命名: 为库所、变迁和规则使

添加 IF-THEN-ELSE 语句。通过条件规则,可以根据实际情况调整模型的行为,使其更加适应需求变更。

(2)支持多路径变迁:允许变迁具有多个路径,使模型能够根据不同的条件或决策进行多种演变,即可兼容并行的路径。多路径变迁增加了模型的灵活性和可变性,使团队能够根据实际情况快速调整模型。

(3)可配置的库所和变迁:提供可配置的库所和变迁,使团队可以根据实际需求对其进行定制,可以灵活地调整模型的行为,更好地适应不同场景和需求变更。

(4)提供扩展点:在模型中提供扩展点,允许团队根据需要扩展模型的功能和行为。扩展点可以是一些自定义的库所、变迁或规则,使团队能够根据实际情况对模型进行定制和扩展。

(5)促进创新能力:通过增加模型的可变性,鼓励团队成员进行创新和探索。提供一定的灵活性和自由度,使团队能够尝试不同的解决方案和方法,促进模型的持续改进和优化。

通过以上措施,增加 CPN 模型的可变性可以更好地适应敏捷需求管理。团队可以根据实际情况快速调整模型,更好地应对需求变更和创新挑战。同时,灵活性也为团队提供了更大的创新空间,促进了模型的持续改进和发展。

2.4 验证与分析

在 CPN 模型的调整和优化过程中,团队应定期收集反馈,监控模型的性能,进行审查和评估。通过这种方式,可以及时发现模型的问题和不足之处,采取相应的措施进行改进和优化。持续改进和优化有助于提高 CPN 模型的质量和效果,使其更好地适应业务变化和 demand 变更,其改进如下:

(1)可达性:可达性是探究 Petri 网系统动态行为的重要基石,其表现形式通常涵盖可达图和可达树两种。这两种方式共同描绘了系统从初始标识出发,经过一系列可实施的变迁后,所能抵达的所有后续标识,从而构成了系统的完整状态空间。标识 M 被视为由初始标识 M0 可达,当且仅当存在一个变迁实施序列 $T = \{T1, T2, T3, \dots, tm\}$,使得从 M0 出发,按照序列 T 中的变迁依次实施,最终能够到达标识 M。通过对可达性的分析,能够深入理解 Petri 网系统的动态行为,包括资源的分配、死锁的预防以及系统的活性等重要特性。可达图或可达树的构建有助于全面把握系统的状态空间,从而设计

出更加有效的死锁预防策略和资源管理方案。

(2)有界性:有界性揭示了系统对于容量的特定要求。在 Petri 网系统的运行环境中,若对于可达标识集中的任意标识,某一库所的容量均不超过预设的 K 值,则称该库所为 K 有界。当 K 值设定为 1 时,该库所被称为安全的。若 Petri 网中的所有库所均满足 K 有界的条件,则整个 PN 被称为有界 PN。特别地,当 K 值设定为 1 时,PN 则被称为安全 PN,反映了系统的高安全性和资源使用的严格控制。

(3)活性:如果系统中的每个变迁最终都能被触发,使得系统能够不断转移至新的状态,那么 Petri 网是活跃的,确保系统不会陷入死锁状态。

3 旅游出行租车系统建模案例分析

随着互联网的发展,人们出行方式的多样化,租车业务逐渐成为旅游、商务出行等领域的热门选择,而旅游出行租车系统是为了满足旅客在旅行过程中便捷地租赁汽车的需求而建立的一种在线预订服务平台,用户可以通过网络或移动应用程序浏览可租赁的车辆、选择适合自己行程的车辆、预订租车并支付费用。基于 CPN 的敏捷开发建模方法,对该系统进行业务架构建模分为 4 个部分进行。

3.1 CPN 模型元素确定

整个租车系统中涉及到的库所主要为取车地点、时间、车辆信息、报价信息和订单信息等,变迁主要为各项工作及流程,令牌(Tokens)则主要表示各项工作中的资源或信息,依据以上的思路开始建立 CPN 模型,模型中的椭圆形代表库所,矩形代表变迁,库所与变迁的具体含义见表 3。

表 3 系统模型库所及变迁含义

Table 3 Meaning of system model library and its transformation

库所/变迁	含义
P1	用户需求信息
P2	车辆信息
P3	报价信息
P4	支付信息
P5	成功信息
P6	花费明细信息
T1	搜索可用车辆
T2	开始租车
T3	查看报价
T4	确认订单
T5	选择取消订单原因

3.2 建立底层变迁结构的简化 CPN 模型

库所 (Place): 代表系统中的状态或资源, 如可用车辆、用户需求等; 变迁 (Transition): 代表系统中的活动或事件, 如用户下单、车辆预定等; 令牌 (Token): 代表库所中的一项资源或状态, 如一个可用车辆、一个用户需求等; 权重 (Weight): 代表每个库所的容量或资源数量。用户租车软件系统的简要 CPN 模型如图 5 所示, 库所 P1~P5 和变迁 T1~T4 的相应含义如下:

(1) P1 用户需求信息: 当用户发起租车请求时, 一个令牌会从“用户需求”库所中移动到“需求处理”变迁上, 表示需求已经被系统接收。

(2) T1 进行筛选与搜索: 平台根据用户输入的“上车地点”和“租赁时间”进行筛选, 获取最新的满足要求的库存车辆, 该变迁之后可能发生并发结构。

(3) P2 车辆列表: 需求处理变迁会检查库所中是否有可用车辆, 如果有, 则一个令牌从“可用车辆”库所中移动到“车辆选择”变迁上, 表示系统已经为用户选择一辆可用车辆。

(4) T2 开始租车: 车辆选择变迁会将所选车辆的信息传递给“开始租车”变迁。在车辆预定过程中, 一个令牌从“可用车辆”库所中移动到“已预定车辆”库所中, 表示该车辆已被预定。

(5) P3 报价信息: 系统根据用户的诉求提供具体的报价明细, 为订单的费用提供依据。

(6) T3 查看报价: 用户在支付租车费用时, 通过查看报价的操作来了解具体的报价信息, 并判断是否合理, 以此确定是否支付。

(7) P4 支付信息: 系统要求用户支付租车费用。系统处理用户的支付请求, 如果支付成功, 系统会继续进行后续的流程; 如果支付失败, 系统会提示用户并结束流程。

(8) T4 订单确认: 系统向用户发送订单确认页面, 确认用户的租车订单信息, 包括车型、日期、地点等。

(9) P5 租车预定成功: 如果用户在订单确认页面上确认订单无误后, 系统会向用户发送预订成功的通知, 并为用户保留车辆。

用户租车系统 CPN 简化模型如图 4 所示, T2 开始租车流程通过合并并行库所简化了支付方式、报价明细等次要功能。化简后的 Petri 模型验证了管理流程的结构正确性, 确保无死锁等错误。

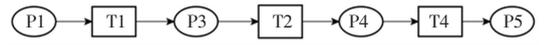


图 4 用户租车系统 CPN 简化模型

Fig. 4 Simplified CPN model of user car rental system

3.3 租车系统模型的变更与调整

根据租车系统的简化模型, 面对需求变更时, 可进行适应性的扩展与兼容, 租车系统局部功能 (查询) 的需求变更重构模型如图 5 所示, 以下是增加模型可变性的建议:

(1) 扩展性: 引入更多的库所, 例如“车辆出租”、“车辆库存检查”等, 以适应未来可能的业务需求; 增加更多的变迁, 例如“验证用户信息”、“确认车辆维护状态”等, 以丰富系统的功能。

(2) 条件规则: 在某些变迁中添加条件判断, 例如在“查询”后, 可以添加条件判断来决定是否符合满足用户需求的车辆信息。使用条件变迁, 允许某些流程在特定条件下绕过某些环节, 例如当用户是 VIP 时可能直接进入预订成功环节。

(3) 多路径变迁: 在某些环节中提供多种选择, 例如在“支付处理”环节后, 根据支付方式的不同, 如在线支付、信用卡支付等, 流程可以分流到不同的方向, 使用分支和合并结构, 使流程更灵活。

(4) 可配置的库所和变迁: 允许某些库所的状态是可配置的, 例如“车辆库存”的状态包括充足、不足、维护中, 可以根据实际情况动态更改。在某些变迁中添加配置参数, 例如“处理支付”环节中可以配置支付成功后的下一步操作。

(5) 引入插件和外部系统: 使用插件或外部系统集成的方式, 允许第三方服务或系统与租车流程进行交互, 例如与第三方支付系统、身份验证系统等集成, 允许第三方开发人员为系统添加新的功能或定制化服务。

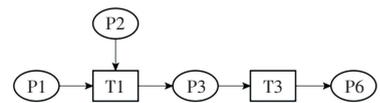


图 5 租车系统局部功能 (查询) 重构模型

Fig. 5 Partial function (query) reconstruction model for car rental system

3.4 租车系统模型验证与分析

根据图 5 中的 Petri 网模型, 可以得到的可达标识集见表 4。

首先, 通过观察需求管理活动的 Petri 网模型, 发现其可达标识集是有限的, 这一特性直接证明了该 Petri 网模型的有界性; 其次, 从需求管理活动的覆盖树中, 每个标识的元素仅限于 0 或 1, 进一步证

明了该 Petri 网模型的安全性。

表4 租车系统的 CPN 模型可达标识集

Table 4 CPN model reachable identification set for car rental system

参数	P1	P2	P3	P4	P5
M0	1	0	0	0	0
M1	0	1	0	0	0
M2	0	0	1	0	0
M3	0	0	0	0	1
M4	0	0	0	1	0

在初始标识状态下,所有的变迁都是可触发的,说明该 Petri 网模型中不存在死锁状态。

综上所述,敏捷式 CPN 模型提供了一个合理且有效的需求管理活动框架,其不仅验证了需求管理活动的合理性,还强调了人的参与在决定管理有效性方面的重要作用。通过需求建模和验证可以提高系统开发的质量和效率,减少后期修复和调整的成本,为系统设计和开发提供可靠的参考依据。

4 结束语

CPN(着色 Petri 网)建模与敏捷开发的结合在软件开发领域具有重要意义和价值。本文通过引入 CPN 模型,在需求管理方面表现出更高的灵活性和适应性,能够帮助开发团队快速响应变化,及时调整需求,确保软件开发过程与业务需求保持一致。CPN 模型通过图形化表示和模式化开发,简化了开发过程,提高了开发效率,使得团队成员能够更快速地理解系统结构和功能,减少了沟通成本和误解。

实现 CPN 建模与敏捷开发的有效结合,团队需要充分理解和掌握 CPN 建模的基础知识和方法,同时也需要熟悉具备敏捷开发的原则和敏捷开发实践经验。只有通过不断的学习和实践,团队才能够充分发挥 CPN 建模与敏捷开发的优势,提高软件开发

的效率和质量。

参考文献

- [1] JENSEN K, KRISTENSEN L M, WELLS L. Coloured petri nets and CPN tools for modelling and validation of concurrent systems [J]. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 2007, 9: 213-254.
- [2] 黄凤兰,倪枫,刘姜,等.基于 ROAD-CPN 业务架构的可执行建模方法[J].上海理工大学学报,2023,45(5):534-542.
- [3] 黄凤兰,倪枫,刘姜,等.基于 HCPN 的复杂 BPMN 协作模型数据流建模与验证[J].计算机集成制造系统,2024,30(5):1754-1769.
- [4] 郑红,钱诗慧,刘泽润,等.基于 CPN 的供应链合约的形式化验证[J].计算机科学,2023,50(S1):717-723.
- [5] 梁伟婷,杨高升.基于着色 Petri 网的地铁系统运营期应急管理流程建模与分析[J].中国安全生产科学技术,2023,19(5):179-185.
- [6] 牛彝,黄志良,吴俊杰,等.基于 UML 与着色 Petri 网的预警情报智能推荐的建模与验证[J].兵器装备工程学报,2022,43(12):291-298.
- [7] 刘伟菁.“双减”政策背景下教师培训课程敏捷开发思路——以相关“作业设计”培训课程开发为例[J].教育理论与实践,2022,42(17):36-40.
- [8] 刘国栋,王艳,庞澜,等.集成与敏捷开发在军用光电系统软件开发中的应用[J].计算机应用与软件,2020,37(6):9-13,18.
- [9] 阮国祥.跨组织即兴、供应链敏捷性和新产品开发绩效——环境动态性的调节效应[J].当代经济管理,2021,43(12):19-24.
- [10] 郭润萍,冯子晴,龚蓉,等.企业—用户互动、敏捷开发与数字产品创新绩效[J].研究与发展管理,2024,36(1):108-120.
- [11] 徐向前,豆亚杰,钱立炜,等.作战体系能力需求敏捷开发方法研究[J].系统工程与电子技术,2023,45(10):3139-3148.
- [12] 陈蕾,倪枫.基于 i-BPMN 的翻转课堂教学系统业务流程建模[J].智能计算机与应用,2019,9(4):180-186,191.
- [13] 王新康,倪枫,刘姜,等.基于扩展 BPMN 的“家园互动”式儿童健康管理信息系统架构[J].智能计算机与应用,2022,12(10):189-199,202.
- [14] 钟贤欣,倪枫,刘姜,等.基于 ROADS 的面向场景业务架构建模方法[J].上海理工大学学报,2023,45(4):415-424.
- [15] 倪枫,钟璐,王波.基于 ROAD 元架构的企业系统业务架构建模[J].上海理工大学学报,2017,39(3):262-268,294.