



引用格式:李浩,密尚华,罗国富. 基于 Petri 网的复杂装备服务业务流程建模方法[J]. 轻工学报,2016,31(3):63-73.

中图分类号:TH17 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2016.3.009

文章编号:2096-1553(2016)03-0063-11

基于 Petri 网的复杂装备服务业务流程建模方法

A service business process modeling method of complex equipment based on Petri nets

李浩,密尚华,罗国富

LI Hao, MI Shang-hua, LUO Guo-fu

郑州轻工业学院 机电工程学院,河南 郑州 450002

College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China

关键词:

复杂装备业务流程建模;服务全生命周期;Petri 网

Key words:

complex equipment business process modeling; service life cycle; Petri nets

摘要:为了理顺复杂装备服务业务流程中各参与元素及其在流程中的位置和作用,提出了一种基于 Petri 网的复杂装备服务全生命周期业务流程建模方法:对复杂装备服务全生命周期进行了时间区间界定和服务业务的服务初期、中期、后期三阶段划分,通过分析服务业务通用构成要素,给出基于 Petri 网的业务活动逻辑发生关系模型和建模步骤.以某矿石类制造企业的大型立磨复杂装备建模为例,通过可达标识图验证了方法的正确性.本方法能为复杂装备服务业务流程优化提供决策支持.

收稿日期:2016-01-12

基金项目:国家科技支撑计划项目(2015BAF32B04);河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2014GGJS-083);河南省科技创新人才计划项目(164200510004);郑州轻工业学院研究生科技创新基金资助项目

作者简介:李浩(1981—),男,河南省唐河县人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为设计方法学、制造服务、产品生命周期管理.

Abstract: In order to identify the elements of complex equipment service process and its positions and roles, a business process modeling method of complex equipment based on Petri nets in service life cycle was presented. The time interval boundary was defined and the three-stage division of services business including early, middle and end stage was finished. Then, in analysis of the common elements of service business, and business activity relationship models and modeling steps based on Petri nets were given. Finally, taking the modeling of the large vertical mill of ore class manufacturing enterprises as an example, the proposed method was verified by using reachability graph. The research could provide decision-making support for the service business process optimization of complex equipment.

0 引言

复杂装备具有单件产品价值大、结构复杂、技术复杂性高、运行生命周期长、运行工况复杂、生命周期管理难度大等特点,相关设备在生命周期运行过程中有较多的大修、维护、一般维修与改造等情况,一旦设备出现故障,将影响用户的生产,造成重大经济损失.因此,如何预测预警故障,变被动维修为主动维护,大幅降低故障发生率,延长设备使用寿命,提高故障诊断及维护的快速性和准确性,是复杂装备用户的迫切需求.而复杂装备的原始设备制造企业作为核心专业技术的掌握者,在提供 MRO (Maintenance, Repair & Operations) 服务上有不可取代的技术优势.近年来,由于全球化压力、环境资源压力、高技术压力和客户个性化需求等的驱动,以及企业盈利中心两端化等众多因素的影响,通过制造服务价值增值来获得持续利润成为当前复杂装备制造企业发展的新方向^[1-2].因此,设备制造商利用所具备的技术优势,通过开展产品全生命周期的制造服务业务来获得产品附加价值,创造企业效益及获得市场竞争优势,既是可以实现制造企业和客户双赢的选择,也是复杂装备制造企业未来发展和变革的出路^[3].

客户满意度是制造企业开展制造服务业务成败的最终评判标准,而客户满意度是客户在设备提供商服务业务的开展过程中形成的.因此,要提高客户满意度,就要针对服务业务流程

进行有效管理和优化.复杂装备生命周期存在多种类型的制造服务业务,且业务开展过程中涉及企业内部多部门、外部服务商、客户、零配件商等多个复杂利益体,服务业务的开展需要解决服务业务流程的有效管理和优化等难题.对此,可运用有效的建模工具对服务业务流程进行建模与优化,以便于整个业务流程的有效开展与执行,提高客户满意度.

服务建模研究方面,G. L. Shostack^[4-5]分别从可配置设计角度提出了产品/服务的分子结构建模法和服务蓝图法. C. Congram 等^[6]通过结构化分析设计技术建立了一种自顶向下的形式化服务建模方法.王略等^[7]运用反馈控制系统的研究方法建立了服务过程模型. H. J. Bullinger 等^[8]用 UML 建模工具建立了服务的资源、过程和产品模型,以此作为贯穿整个服务系统开发的纽带.徐晓飞等^[9]通过构件化服务设计思想,将服务分解成不同粒度的服务构件,通过使用服务扩展的 UML 语言 USML 来进行服务建模.目前常用的流程建模工具有流程图、角色行为图 (RAD)、IDEF 系列、事件流程链 (EPC)、Petri 网、Workflow 等.艾萍等^[10-11]对现有的业务流程建模方法、技术和工具进行了系统的分类、分析与比较.在各种流程建模方法的实际应用方面,郑文艳^[12]提出了一种基于着色 Petri 网的医疗服务流程模型.童蕾等^[13]提出一种基于 Petri 网的 Web 服务流程建模方法.沈明成等^[14]将面向对象建模技术融入到 Petri 网模型中,形成了面向对象赋时 Petri 网模型,这

表明 Petri 网方法已开始在业务流程建模中有效地应用. 在 MRO 研究及业务建模方面, 王建民等^[15-16]给出了维护、一般维修和大修支持系统总体框架和支持技术体系, 并阐述了其核心技术内容. 张涛等^[17]采用形式化描述方法, 建立了装备任务、结构、维修过程和维修资源之间的联系模型, 设计了面向任务的维修资源配置决策支持系统结构. 李浩等^[18]提出了复杂装备 MRO 的支持系统体系结构与主要模块, 描述了 MRO 系统与产品数据结构、库存管理、财务管理、生产管理、供应/采购管理、客户/销售管理、产品回收等系统模块的集成. 李旭等^[19]系统研究了 MRO 的体系结构、集成模型和支持技术体系, 建立了派工调度中业务对象和业务流的模型. 刘英博等^[20]提出了一种具有三层结构的模型驱动框架, 并分别给出了基于元模型的对象层转换机制和业务层转换机制. 这些研究理清了 MRO 的业务模型及集成关系, 提出了不同建模工具和方法及在不同行业领域内的建模应用, 既满足了实际分析需求, 也为后续的研究和创新提供了有价值的参考.

综上所述, 在服务业务建模方面, 一方面服务流程的管理和优化产生迫切的服务流程建模需求, 而另一方面目前专门针对复杂装备服务业务流程建模的研究及文献较少. 基于研究现状, 本文拟提出一种基于 Petri 网的复杂装备服务全生命周期业务流程建模方法, 以为复杂装备服务业务过程优化提供决策支持.

1 复杂装备服务全生命周期阶段划分及服务业务流程形式化定义

1.1 复杂装备服务全生命周期阶段划分

面向制造服务产品全生命周期可分为生产性阶段服务和产品阶段服务^[21]. 复杂装备服务全生命周期对应产品阶段服务时间区间. 为了更好地进行服务业务流程建模, 有必要依据阶

段的服务特点对复杂装备服务全生命周期进行划分. 本文按照设备正式投产和设备正式停机下线这两条分割线将复杂装备服务全生命周期分为初期(静态服务期)、中期(动态服务期)、后期(回收服务期), 阶段划分如图 1 所示.

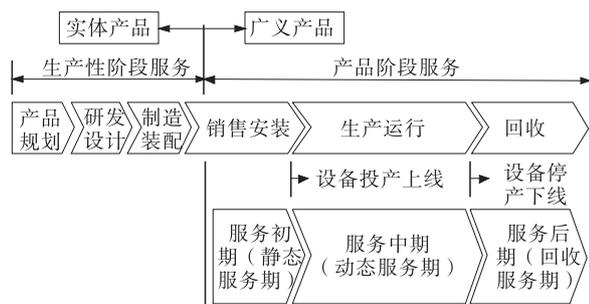


图 1 复杂装备服务全生命周期阶段划分示意图

Fig. 1 Stage division of service life cycle of complex product

服务初期(静态服务期)指设备正式安装投产前的企业与客户交互、满足客户个性化需求、发现服务需求、定制服务的时期. 这个服务期的服务业务一般都是不可重复或周期性展开的服务, 例如金融、保险、租赁、运维安全、计划性周期性检修大修等. 服务中期(动态服务期)在服务全生命周期中占时最长, 这个时期的服务主要是由各种不确定性因素造成的突发性的服务业务, 如大修、维护、一般维修等服务业务. 服务后期(回收服务期)主要依据在初期和中期积累的有用的服务信息, 对复杂装备有效地开展回收和再制造服务.

明确服务业务的概念是对服务业务流程进行建模的前提. 服务业务是指企业产品服务相关专业技术人员为了实现客户服务需求, 利用各种类别的资源进行的相关操作和活动的集合. 从面向对象的角度来分析, 服务全生命周期内每个阶段的每一项服务业务流程都由基础业务活动、活动发生规则、参与业务流程的各专业技术人员、业务流程中参与运作或者消耗的各

种类别的资源 4 项要素构成. 一个合理有效的服务业务模型应能完整地描述服务业务的上述 4 项基本构成要素. 图 2 给出了服务业务流程的构成要素关系图.

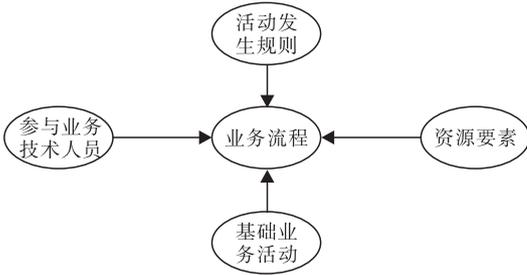


图 2 服务业务流程的构成要素关系图
Fig. 2 Constitution elements of service business process

1.2 服务业务流程形式化定义

为了在服务全生命周期内可以统一规范地描述服务业务, 结合服务业务流程的 4 要素及其关系分析, 本文给出服务业务流程的形式化定义.

任意阶段的任意服务业务流程都可以看成一个六元组, 即

$$\langle INP, ACT, RUL, ROL, RES, OUT \rangle$$

六个集合元素定义如下.

INP: 流程输入条件集合, 表示启动该流程执行的触发条件, $INP = \{inp_1, inp_2, \dots, inp_n\}$, 其中 $n \geq 1$, 即触发条件可能为 1 个或多个.

ACT: 业务活动集合, 表示服务业务流程中最基本的业务活动单元组成的集合, $ACT = \{act_1, act_2, \dots, act_n\}$, 其中 $n \geq 1$, n 的数值代表该服务业务流程中基本业务活动的总数.

RUL: 规则集合, 表示服务业务流程中各业务活动的逻辑发生规则, $RUL = \{rul_1, rul_2, \dots, rul_n\}$, 其中 $n \geq 1$, n 为规则总数.

ROL: 人员角色集合, 表示参与业务流程中各项基本业务活动的人员角色类型集合,

$ROL = \{rol_1, rol_2, \dots, rol_n\}$, 其中 $n \geq 1$, n 为人员角色类型总数.

RES: 资源集合, 代表完成服务业务流程所用到的所有类型的可能的资源, $RES = \{res_1, res_2, \dots, res_n\}$, 其中 $n \geq 1$. 资源可以进行归类, 例如, $RES = \{PHY, ABS, INF\}$, 其中 *PHY* 是物理资源集合, *ABS* 是抽象资源集合, *INF* 是信息资源集合.

OUT: 目标集合(输出结果集合), 表示流程要达成的目标或者流程执行的最终结果, $OUT = \{out_1, out_2, \dots, out_n\}$, 其中 $n \geq 1$, 即流程执行的目标或结果可能为 1 个或多个.

该六元组可以表示复杂装备服务全生命周期内任意阶段的任意一项服务业务流程.

2 基于 Petri 网的复杂装备服务业务流程建模方法

2.1 Petri 网简介

在众多的建模工具中, 图形化的方法因其具有能直观形象地表达模型系统结构的优势而备受青睐. Petri 网是由德国科学家 C. A. Petri 教授于 1962 年创立的^[22], 它作为一种图形化语言, 既能够直观地用图形表示系统结构, 而且可以描述系统的动态行为, 是较为常用的一种流程建模工具. 它的语义表达规范, 有坚实的理论基础和比较成熟的分析方法, 其较好的计算机管理能力更适应目前服务管理完全信息化的大趋势.

Petri 网的结构元素包括库所 (place: 用“○”表示)、变迁 (transition: 用“□”表示)、弧 (arc: 用“→”表示) 和托肯 (token: 用“·”表示). 可以用三元组 $N = (S, T; F)$ 来描述网结构, 其中 S 为库所集, T 为变迁集, F 为网 N 的流关系集. 而以四元组 $\Sigma = (S, T; F, M)$ 代表的网系统则为一个标识网, 是原型 Petri 网 (Original Petri net), 其中元素 M 为标识, 用来反映网

的状态. 标识 M 的引入可以动态地反映所建立网系统的运行状态. 每一个网系统都具备一个初始状态 M_0 , 在该状态下, 任意一个具有发生权的变迁发生, 就得到一个新的标识 M_1 (不同变迁发生, 所得到的新标识一般也不同). 在 M_1 下, 任意一个具有发生权的变迁发生, 又得到新的标识, 如此继续, 变迁的不断发生和标识的更新变化形成了整个网系统的动态运行. 至今, Petri 网已由其原型衍生出较多变型, 如高级 Petri 网、增广 Petri 网、含时间因素的 Petri 网等. 变型是应某些实际系统建模需求产生的, 对一些应用问题使用变型 Petri 网建模更加简单^[22].

2.2 基于 Petri 网的服务业务活动逻辑发生关系模型及建模步骤

2.2.1 基于 Petri 网的服务业务活动逻辑发生关系模型

根据以上分析, 服务业务流程的实质是对基础业务活动及活动的逻辑发生关系进行描述, 人员和资源在流程中为条件参数. 服务业务流程建模的重点是对业务活动及活动逻辑发生关系进行建模. 本文采用 Petri 网进行服务业务流程建模, 采用库所表示活动的输入和输出状态及资源和人员角色的状态, 采用变迁表示业务活动和操作. 首先, 为了反映流程中基础业务活动间的逻辑关系, 需要对顺序活动、选择活动、并行活动、循环活动等活动逻辑发生关系进行建模, 理清建立的网系统的变迁发生规则. 利用原型 Petri 网进行建模, 一个原型 Petri 网系统 $\Sigma = (S, T; F, M)$ 的变迁发生规则如下:

1) 对于变迁 $t \in T$, 如果 $\forall s \in S : s \in \bullet t \rightarrow M(s) \geq 1$, 则说明变迁 t 在标识 M 处有发生权, 记为 $M[t >$. 其中 $\bullet t$ 为变迁 t 的前集或输入集, 是库所 S 的一个子集, $M(s)$ 的值为标识 M 下库所 s 中的托肯数. 本条规则是指, 对于一个变迁 t , 在标识 M 状态下, 如果在流关系上属于变迁 t 之前的且与 t 相连的所有库所内都至少有 1 个

托肯, 则变迁 t 在标识 M 状态下具备发生权.

2) 若 $M[t >$, 则在标识 M 下, 变迁 t 可以发生, 从标识 M 发生变迁 t 得到一个新的标识 M' (记为 $M[t > M'$), 对 $\forall s \in S$

$$M'(s) = \begin{cases} M(s) - 1 & \text{若 } s \in \bullet t - t \bullet \\ M(s) + 1 & \text{若 } s \in t \bullet - \bullet t \\ M(s) & \text{其他} \end{cases} \quad \textcircled{1}$$

其中, $t \bullet$ 为变迁 t 的后集或者输出集, $\bullet t = \{s | s \in S \cup T \wedge (s, t) \in F\}$, $t \bullet = \{s | s \in S \cup T \wedge (t, s) \in F\}$. 本条规则是指, 在标识 M 状态下具备发生权的变迁 t 发生后, 得到新的标识状态 M' , M' 标识状态下的对应库所 s 中的托肯数 (即 $M'(s)$ 值) 利用公式①计算.

依据变迁规则, 定义流程业务活动逻辑发生关系中的顺序关系模型、选择关系模型、并行关系模型、循环关系模型和子流程模型, 所建立各关系模型如图 3 所示. 在顺序逻辑下, t_1, t_2, t_3 依照前后顺序发生. 在选择逻辑下, t_1 和 t_2 同时具备发生权, 但二者中若一个发生, 则另一个失去发生权. 在并行逻辑下, (a) 所示的并行情况下 t_1 活动发生后, t_2, t_3 同时获得发生权, 且 t_2 和 t_3 均发生后 t_4 才会获得发生权; (b) 所示的并行情况下 t_1 活动发生后, t_2 和 t_3 都获得发生权, t_2 和 t_3 任意一个发生都能使得 t_4 获得发生权. 在循环逻辑下, s_2 状态下事件 t_2 具备发生权, t_2 发生得到状态 s_3 , s_3 状态下若 t_3 发生则又回到状态 s_2 , 使得事件 t_2 又获得发生权, 形成一个循环. 子流程模型用于复杂系统的层次性简化, 代表一个活动可能由更多更底层更细分的活动组成, 在实际流程建模中, 依据需要分析的流程层次来确定活动的粒度.

2.2.2 基于 Petri 网的服务业务流程建模步骤

基于上述流程构成元素替代方法和 Petri 网建立的活动逻辑发生关系模型, 可以对任意服务业务流程进行建模, 具体建模步骤如下:

步骤 1 依照前面对于业务流程普遍使用

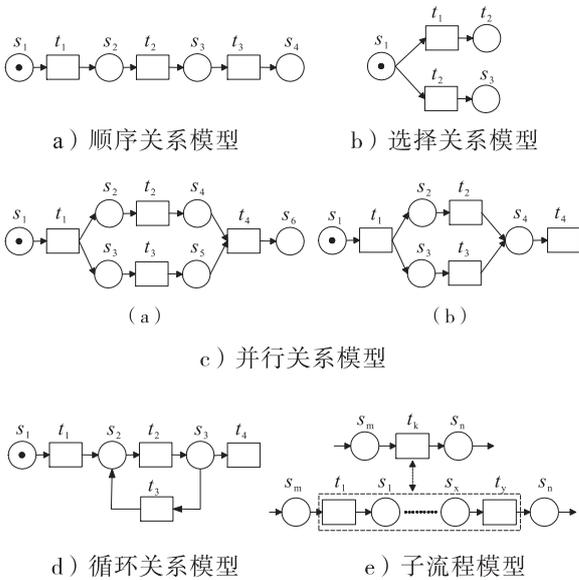


图3 服务活动逻辑发生关系模型

Fig. 3 Logical models of service business activities

的要素分析对具体的业务流程进行分析和分解,将具体的服务业务流程分解为基本业务活动、业务活动发生逻辑关系、人员角色、资源等元素的集合。

步骤2 按照库所对应活动的输出状态、资源和人员角色的状态,变迁对应业务活动的规则,将人员角色、资源活动等使用 Petri 网中的变迁和库所予以替代,并赋予变迁和库所相应的含义。

步骤3 将业务活动发生逻辑关系转化为 Petri 网的有向流关系,使用建立的活动逻辑发生关系模型组合建立初步的 Petri 网系统模型。

步骤4 使用 Petri 网数学及理论分析工具对所建立的 Petri 网系统模型进行分析检验,验证所建立系统的正确性。

3 建模方法实例验证及评价

3.1 建模方法实例验证

目前国内制造企业实际的产品服务一般集中在动态服务期,该阶段的服务一般是各类的 MRO 服务. 本文应用 Petri 网建模方法,针对某矿石类制造企业的大型立磨复杂装备,调研分

析其服务全生命周期内的动态服务期售后服务业务,建立服务流程模型,具体服务业务流程如图4所示。

该服务业务流程简单描述如下: 1) 信息专员处理服务需求,判断服务类型,依据类型提交审核或直接下发对应类型服务工作令. 2) 计划专员制作服务调查表及服务计划,服务主管进行服务策划并提交审核. 3) 服务审核通过后,检查三包,对于三包超期或未办理三包的协商办理三包;对于三包办理完成的及三包有效的通过咨询技术专家判断服务方式. 可以通过电话、互联网等通信工具远程指导客户解决问题,无法解决的或者需要现场实地解决的向厂家传真技术方案并下发服务告知函,由调度专员向候选服务工程师下发服务工作通知单. 一般优先服务部门综合组派出服务人员,若服务部门人员不足或素质有问题等由对应分厂派出服务人员. 4) 服务工程师至现场实地了解情况解决问题,其间根据问题的大小可寻求服务部门远程专家组技术支持或由调度专员调派新的服务工程师至现场. 现场服务工程师需按时向主管领导提供工作日报或周报,使得现场服务状况得到实时跟踪. 5) 服务完成后,服务工程师提出返回申请,经审核后可以返回,等待下次调度安排. 6) 客户关系专员回访客户服务体验,服务主管进行服务总结。

针对该流程利用本文提出的建模方法建立基于 Petri 网的该企业动态服务期服务流程模型。

按照 Petri 网的建模步骤,首先对整个流程按照基本业务活动、人员角色、资源进行元素分解并赋予他们相应的库所或者变迁代号. 该流程的活动元素集合有: 业务活动 = { 服务需求分析, 下达主动服务工作指令, 即时服务需求确认, 主动服务结转, 编制服务调查表, 下达即时服务工作指令, 调度部长审核, 主动服务策划, 即时服务结转, 即时服务策划, 高级服务经理审

表1 流程元素分解及其对应库所/变迁代号

Table 1 Process element decomposition and its code library/change number

基本业务活动	变迁代号	对应活动输出状态	库所代号	对应人员角色	库所代号	资源	库所代号
		发现服务需求	s_1				
服务需求分析	t_1	服务类型信息	s_2	信息专员	s_a		
下达主动服务工作指令	t_2	主动服务指令	s_3				
即时服务需求确认	t_3	确认结果信息	s_4				
主动服务结转	t_4	主动服务计划	s_5	计划专员	s_b		
编制服务调查表	t_5	服务调查表	s_6				
下达即时服务工作指令	t_6	即时服务指令	s_7			通讯工具及设备(通用)	
调度部长审核	t_7	审核通过	s_8	调度部长	s_c	互联网资源(通用)	
主动服务策划	t_8	策划信息	s_9	服务主管	s_d	计算机软硬件(通用)	
即时服务结转	t_9	即时服务计划	s_{10}	计划专员	s_b	办公用品及损耗品(通用)	
即时服务策划	t_{10}	策划信息	s_9	服务主管	s_d		
高级服务经理审核	t_{11}	经理审核通过	s_{11}	高级服务经理	s_e		
主管领导审核	t_{12}	领导审核通过	s_{12}	主管领导	s_f		
启动准备工作	t_{13}	开始准备工作	s_{13}				
办理三包	t_{14}	三包合格	s_{14}				
传真技术方案	t_{15}	传真成功	s_{15}				
下发服务告知函	t_{16}	下发成功	s_{16}				
下发服务工单	t_{17}	服务工单	s_{17}				
派遣服务人员	t_{18}	服务人员至现场	s_{18}	服务人员	s_g		
				调度专员	s_h		
开展服务活动	t_{19}	完成服务	s_{19}			备品备件	s_I
						维护维修工具及设备	s_{II}
服务结束申请	t_{20}	申请待审核	s_{20}				
服务主管审核	t_{21}	审核通过	s_{21}	服务主管	s_d		
服务人员返厂	t_{22}	人员返回状态	s_{22}				
服务总结	t_{23}	服务总结材料	s_{23}	服务主管	s_d		
服务回访	t_{24}	回访数据	s_{24}	客户关系专员	s_i		
服务数据归档	t_{25}	服务结束	s_{25}				

M 为节点,各标识之间的直接可达关系为弧集构成一个有向图,即可达标识图. 可达标识图展示了模型系统的每个可达的运行状态(标识)和他们之间的逻辑关系,可以分析系统模型的诸多性质. 图5所示模型对应的可达标识图如图6所示,因为人员角色库所集 $S = \{s_a, s_b, s_c, s_d, s_e, s_f, s_g, s_h, s_i\}$ 和资源库所集 $S = \{s_I, s_{II}\}$ 在 Petri 网模型中描述的主要是活动发生的条件及限制因素,因此在模型正确性分析中不再体现. 又因为图5模型所含库所数量太大,展开向量后可达树结构不够简洁明晰,因此将表示系统运行中运行状态的标识向量 $M =$

$[10000000000000000000000000]$ 化简为 $M = [1^10^{28}]$,表示标识向量中 $M(s_1) = 1$,其他全为0. 类似 $M = [00000000100000000000000000]$ 可化简为 $M = [0^91^10^{19}]$,表示排号为10的库所的托肯数为1,对应此时描述系统运行状态的标识向量中的 $M(s_9) = 1$,其余全为0.

由图6可知,流程模型每次动态运行都由一个初始标识发起并终结于唯一的一个终结标识 M_{20} ,且每个标识状态都是可达的,每个变迁都是可发生的,即所建立的基于 Petri 网的服务流程模型是正确的,与实际系统流程模型相符合. 值得注意的是:该动态服务期整体服务流程

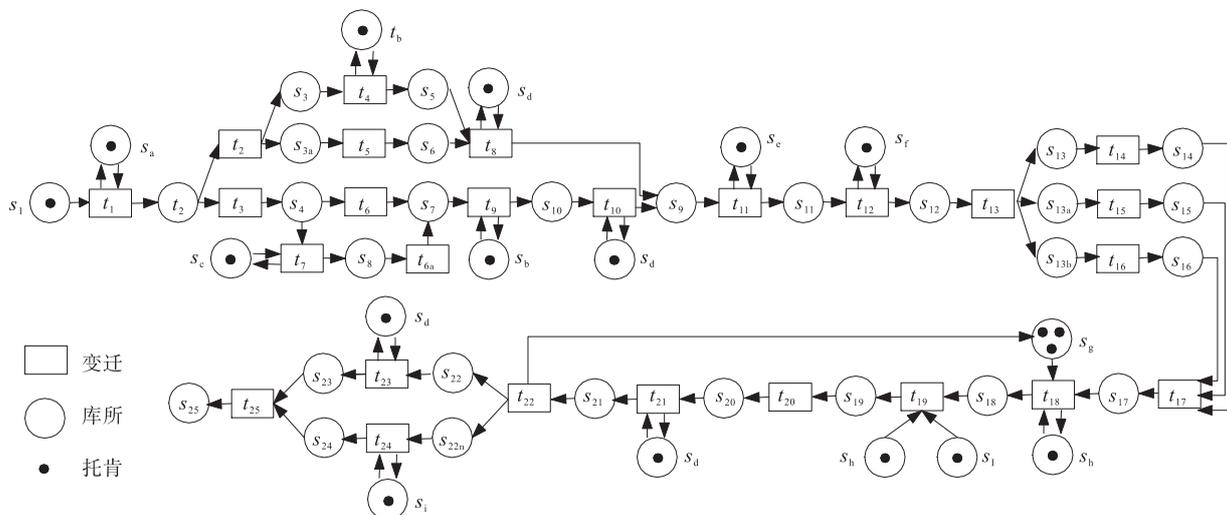


图5 基于 Petri 网的某企业服务业务流程模型

Fig. 5 A company's service business process model based on Petri net

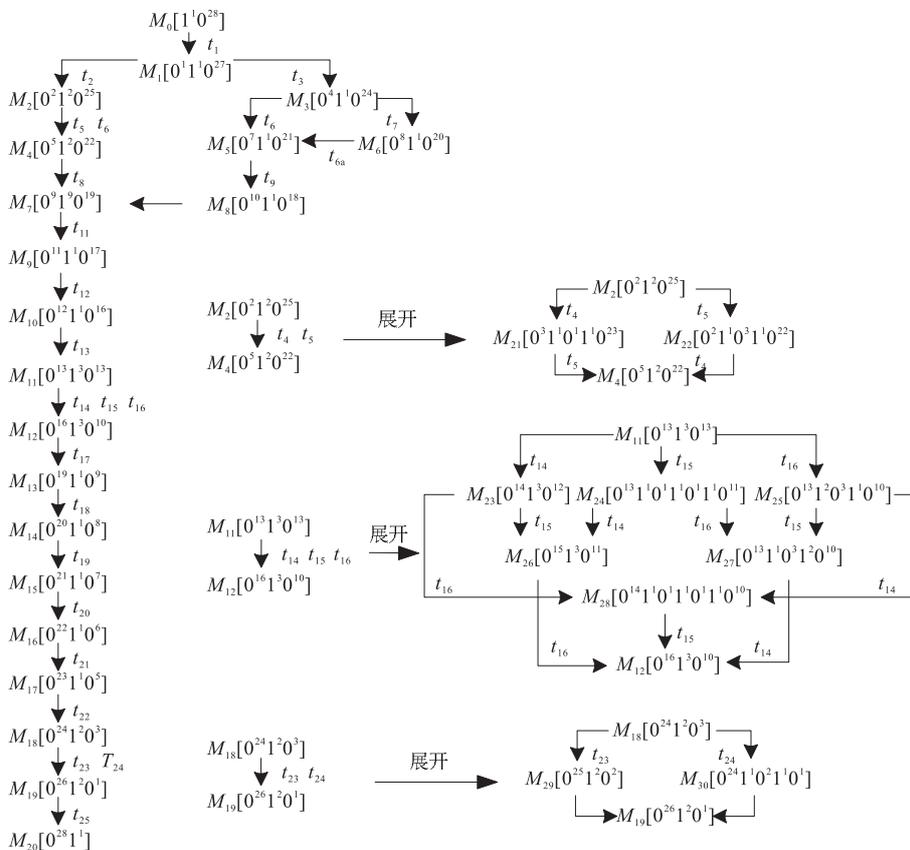


图6 可达标识图

Fig. 6 Reachable marking graph

模型只是一般意义的服务框架流程,流程中诸多变迁或者库所在实际流程运行中可能细化为更小的粒度结构。

3.2 建模方法评价

现代服务区别于传统服务,它不再是由单一的人或企业所提供的简单活动,而是由具有

高度协同和分布特性的复杂行为构成的社会化系统^[23]. 依据复杂装备的特点, 复杂装备服务业务建模应关注如下两点: 1) 复杂装备结构复杂, 零部件多达几万, 因此服务涉及资源种类较多, 特别是后期 MRO 类服务业务的开展, 可能涉及多种型号的维修设备和备品备件资源的调度, 资源及设备的存量和就位状态是后续业务流程继续展开的一个很重要的资源限制条件. 2) 复杂装备的高技术复杂性, 导致复杂装备服务可能是一个涉及多类别人员的协同化服务过程, 服务人员类别包括产品设计人员、产品生产技术人员、专业服务人员、装配技术人员、第三方服务人员等, 而业务活动相关服务人员的配合及人员状态是业务流程开展的人员限制条件.

针对复杂装备业务建模上述特点, Petri 网建模工具能更好地突出资源及人员在流程中的参与和作用. 结合前文建模方法实例验证分析, 运用 Petri 网建模工具分析服务业务流程的优势如下: 1) Petri 网的构成元素简单, 却能够很好地反映和表示服务业务的基本构成要素; 2) Petri 网变迁发生规则能够很好地模仿实际业务流程中活动间及活动和处理状态间的逻辑发生关系; 3) 库所中托肯的灵活使用, 能够很好地反映资源及人员数量和/或状态对业务流程发生的逻辑制约作用. 4) Petri 网的动态性质和成熟的数学分析方法能够帮助建模使用者直观地理解整体流程模型和进行模型正确性和其他性质分析.

4 结论

本文提出了一种基于 Petri 网的针对复杂装备服务全生命周期业务流程的建模方法. 通过业务流程构成元素的分析、分解、映射、组合, 所建立的模型能够很好地反映实际流程中的活动、人员角色、资源及其对应关系. 应用该方法

建立了针对某矿石类制造企业的大型立磨复杂装备的基于 Petri 网的服务业务流程模型, 验证了该方法的适用性. 今后拟基于所建立的 Petri 网模型有针对性的附加时间、效率等控制参数, 模拟实际系统运行得出业务流程运行数据, 并设计相应的数据量化评定标准, 以使模型更加符合实际流程的优化和应用.

参考文献:

- [1] 祁国宁. 四大压力催生制造服务[J]. 中国制造业信息化, 2009(1):14.
- [2] 祁国宁. 制造服务的背景、内涵和技术体系[R]. 上海: 科技部高新司, 上海市科学技术委员会, 2008.
- [3] 孙林岩. 服务型制造理论与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [4] SHOSTACK G L. How to design a service[J]. European Journal of Marketing, 1982, 16(1): 49.
- [5] SHOSTACK G L. Designing services that deliver[J]. Harvard business review, 1984, 62(1): 133.
- [6] CONGRAM C, EPELMAN M. How to describe your service: An invitation to the structured analysis and design technique[J]. International journal of service industry management, 1995, 6(2):6.
- [7] WANG L, CAI S, WANG Q, et al. A process management model of customer service[J]. Journal of Wuhan university of technology(information & management engineering), 2005, 27(4):169 (in Chinese).
- [8] BULLINGER H J, FÄHNRIK K P, MEIREN T. Service engineering—methodical development of new service products[J]. International journal of production economics, 2003, 85(3):275.
- [9] XU X F, MO W T. The Current state and development plan of research and education on SSME

- in Harbin institute of technology [M] // HEFLE Y B, MURPHY W, Service science management & engineering education for century, [S. l.]: Springer, 2007: 219.
- [10] 艾萍, 施展. 业务建模技术综述 [J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(7): 127.
- [11] 陈莹, 凌鸿. 跨组织业务流程建模方法的分类分析与比较 [J]. 物流技术, 2004(9): 29.
- [12] 郑文艳. 基于资源共享的医疗服务流程的建模与仿真分析 [J]. 计算机应用研究, 2014, 31(9): 2715.
- [13] 童蕾, 王宏安, 戴国忠. 基于 Petri 网的 Web 服务流程建模方法研究 [J]. 计算机仿真, 2006, 23(1): 69.
- [14] 沈明成, 汪惠芬, 张友良, 等. 基于面向对象赋时 Petri 网的工作流建模方法 [J]. 中国制造业信息化(学术版), 2003, 32(6): 84.
- [15] 王建民, 任良全, 张力, 等. MRO 支持技术研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(10): 2017.
- [16] 王建民. 面向全生命周期的 MRO 支持技术 [J]. 国防制造技术, 2010(3): 4.
- [17] 张涛, 郭波, 谭跃进. 面向任务的维修资源配置决策支持系统研究 [J]. 兵工学报, 2005, 26(5): 716.
- [18] 李浩, 纪杨建, 祁国宁, 等. 面向全生命周期的复杂装备 MRO 集成模型研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(10): 2064.
- [19] 李旭, 祁国宁. 复杂装备 MRO 服务的若干关键技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [20] 刘英博, 徐云龙, 张力. 基于多层次模型的 MRO 系统建模 [J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(10): 2078.
- [21] 李浩, 纪杨建, 暴志刚, 等. 企业现代制造服务系统实施框架与方法学 [J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(5): 1134.
- [22] 吴哲辉. Petri 网导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [23] 徐晓飞, 王忠杰, 莫同. 服务工程方法体系 [J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(8): 1457.

(上接第 62 页)

- [6] CHENG E H, TSAI T L. Study on machining dental implants by whirling approach [C] // Materials and Computational Mechanics, Pts 1 - 3, Zurich: Trans Tech Publications Ltd, 2012: 1506 - 1513.
- [7] LIN K Y, CHEN Y H. Synchronous polygon turning for implant manufacturing [C] // ASME Conf Proc, Pennsylvania: ASME Press, 2010: 101 - 109.
- [8] 张国智. 精密机床主轴弹簧夹头夹紧力计算方法研究 [J]. 机床与液压, 2014(8): 44.
- [9] 吴晓波. 碟形弹簧的力学性能研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2007.