

严志超, 倪枫, 刘姜, 等. 基于 ROAD 的租车订购系统业务流程建模[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(5): 227-234. DOI: 10.20169/j.issn.2095-2163.240532

## 基于 ROAD 的租车订购系统业务流程建模

严志超, 倪枫, 刘姜, 李业勋, 陈年年, 周兴郡

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:** 基于业务架构为中心的企业架构开发思路, 采用开放组架构框架 (TOGAF) 业务架构 ACF 元模型的划分, 提出了一种 ROAD 架构迭代建模方法。针对目前 ROAD 元架构中业务活动模型采用 IDEF0 的活动模型导致的面向场景业务能力的不足, 文中通过使用 BPMN 模型来覆盖 IDEF0 的活动建模, 避免在描述复杂的业务过程时可能存在的局限性, 并且更好地捕捉和表示所有的细节和关系, 不会使得模型过于抽象。从而实现面向场景的系统建模和管理, 提高业务架构设计的效率和精度。最后, 文章中以旅游出行租车订购系统为例的方法, 采用 ROAD 元架构方法建立场景化业务架构模型组, 并对其进行讨论和改进, 为现有架构体系提供一种面向场景的扩展思路。

**关键词:** 业务架构建模; ROAD 元架构; BPMN; IDEF0

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)05-0227-08

### Business process modeling of car rental and ordering system based on ROAD

YAN Zhichao, NI Feng, LIU Jiang, LI Yexun, CHEN Niannian, ZHOU Xingjun

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

**Abstract:** Based on the development concept of enterprise architecture centered on business architecture, the ROAD architecture iterative modeling method is proposed using the division of the ACF metamodel of the Open Group Architecture Framework (TOGAF) business architecture. In response to the lack of scenario oriented business capabilities caused by the use of IDEF0 activity models in the current READ meta architecture, this paper covers IDEF0 activity modeling by using BPMN models to avoid potential limitations when describing complex business processes, and better capture and represent all details and relationships, without making the model too abstract. Thus scenario oriented system modeling and management are achieved, the efficiency and accuracy of business architecture design are improved. Finally, the paper takes the tourism car rental and ordering system as an example to establish a scenario based business architecture model group using the ROAD meta architecture method, which has been discussed and improved. The research provides a scenario oriented extension approach for the existing architecture system.

**Key words:** business architecture modeling; ROAD meta-architecture; BPMN; IDEF0

## 0 引言

随着全球商业环境的日益复杂和竞争的加剧, 企业在提高效率、增强竞争力、降低风险以及适应迅速变化的技术趋势等方面面临着前所未有的挑战。在这一背景下, 企业信息系统架构框架<sup>[1]</sup>成为了当前备受关注的领域研究课题。

业务流程建模是企业管理和信息系统开发中的

重要环节, 旨在对企业的业务流程进行可视化和优化, 提高工作效率和质量。在国内外, 业务流程建模的研究和应用已经形成了一系列的理论框架和方法。其中, TOGAF<sup>[2]</sup>基于业务视角提出了信息系统的 ACF<sup>[3]</sup> (Architecture Content Framework) 元类。该元类规定了进行业务架构建模所需的基本元类以及必要的扩展元类, 并定义了各元类之间的关系。近年来, 许多学者以此为基础提出了优化业务架构模

**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”资助项目 (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: 2023-10-31

型的方法,旨在改进组织结构、调整信息策略和优化业务活动等方面取得更好的效果。2017年,在倪枫等<sup>[4]</sup>国内学者的研究中运用ADM<sup>[5]</sup>(Architecture Development Method)的4个视角,即规则(rule)、组织(organization)、活动(activity)和数据(data),提出了一种划分业务架构关键信息的ROAD元架构方法。这项研究还提供了可供参考的模型选择,以帮助实践者更好地理解和应用该方法。后续几年里,不断有学者<sup>[6-8]</sup>基于该元架构的便利性进行各类业务场景的应用,但由于该架构在描述面向场景时的缺陷,不少学者对其进行了增强。其中,钟贤欣等学者<sup>[9]</sup>使用UML序列图<sup>[10-13]</sup>能够描述不同场景下的业务活动流程以及子活动所需的时间信息,从而有效提升企业架构的设计、开发、维护和沟通实践。

国内关于BPMN建模的研究相对比较完善,许多学者对BPMN模型进行了深入的研究。雒兴刚等学者<sup>[14]</sup>结合概率论扩展了BPMN和Meta图理论,提出了一种集成概率BPMN和信息概率Meta图的服务流程分析方法,通过实际案例应用验证了该方法在不确定服务流程量化分析方面的有效性,为服务流程中资源配置、活动依赖、流通性等分析提供了更有效的支持。程航宇等学者<sup>[15]</sup>基于BPMN 2.0对业务流程建模元素进行扩展,给出通用的扩展机制与实现方法。基于该方法,针对不同应用场景的业务需求可扩展新的建模元素和属性,通过真实的业务流程模型案例说明该扩展机制的有效性,为其他业务流程建模元素的扩展提供一种通用的参考框架。樊良优等学者<sup>[16]</sup>针对传统指挥控制系统存在的系统封闭、人机协同效率低、扩展性差等问题,提出基于云原生技术构建开放式指挥控制系统的方法,基于博伊德环(OODA)和业务流程模型注解(BPMN)相结合的方法研究了指挥员作战意图的表达模型,实现多意图并行执行和多策略解冲突,使得指挥员作战意图同指挥控制系统运行深度耦合,指挥控制平台能够实现快速灵活的系统扩展,支持作战流程及战术战法的灵活编辑,为指挥控制系统由封闭走向开放提供了解决方案。杨卿涛等学者<sup>[17]</sup>鉴于应急响应流程模型多由应急专家手动构建而费时费力的问题,提出一种从应急预案响应过程文本中自动抽取应急响应过程模型的方法,为专家建模提供技术支持,并通过搜集真实的应急预案构建数据集,对过程元素识别和任务关系抽取进行实验对比分析,证明了抽取方法的有效性,同时给出相应的实现工具。魏然等学者<sup>[18]</sup>为满足指挥控制流程对

任务内容动态更改的需求,缩短流程执行周期,通过对扩展后业务流程处理时间、完成效率等进行分析,验证使用扩展的BPMN语言可有效缩短指挥控制流程处理时间,提升流程的并行性和动态性。

国外学者也从一些研究提案已经证明了使用高级符号、如业务流程模型和符号(BPMN)设计基于区块链的协作业务流程的可行性,并在此基础上自动生成在区块链平台上执行这些流程所需的代码工件。Ciccio等学者<sup>[19]</sup>提出了基于区块链的协作过程执行的模型驱动方法的概念基础,比较了2种具体方法,即Caterpillar和Lorikeet。为了减少智能合约执行过程中的天然气消耗,Hu等学者<sup>[20]</sup>提出了一种生成业务流程智能合约的优化算法。利用新的BPMN模型到实体语言的映射规则,将BPMN模型生成为以太坊智能合约模型。由于业务环境的异常动态特性,拟将采用工作流技术的组织必须准备好承担大量的时间和精力投资。Sabatucci等学者<sup>[21]</sup>提出了一种自动方法,用于从业务流程中提取目标,以支持自适应工作流。对于许多组织来说,这可能是一项艰巨的任务,因为到目前为止,在轻松识别bp中的隐私问题方面所做的工作很少。为了应对这一挑战,Agostinelli等学者<sup>[22]</sup>提出了一组设计模式来捕获和集成BP模型中的此类约束。使用业务流程建模表示法(BPMN)作为建模表示法,该方法允许研究者实现bp中隐私约束的完全透明,从而有可能确保所得成果能符合GDPR。Fernandez<sup>[23]</sup>定义了如何将BPMN用作云业务运营中的需求工程方法。每个流程都以3种模块化形式建模:完全扁平化、扁平化,其中活动使用BPMN组进行集群化,以及使用单独查看的BPMN子流程进行模块化。

本文通过使用BPMN对ROAD面向业务场景的缺陷进行完善,相对于IDEFO,BPMN模型在企业业务架构中的活动建模方面具有语义明确、可视化效果好、与技术工具兼容性强和支持IT系统集成与自动化等优势。这些优势有助于提升业务流程管理的效率和质量,推动企业实现更好的业务运作和发展。

## 1 业务流程建模

### 1.1 ROAD元架构

“元架构”是对元模型进行划分和定义的方式。元架构将TOGAF业务架构ACF元模型分类为若干相互关联的局部,并分别定义到一种具体描述模型的建模范围中,以便进行模型实例化。元架构将元

模型中的元类和元关系映射到几种典型的描述模型语义元数据,并选择最适合的建模语言来描述对应的架构内容。

ROAD元架构主要对业务架构元模型进行了4个视角(规则、组织、活动、数据)的划分,将其分别映射到4组描述模型,包括业务规则模型、业务组织模型、业务活动模型和业务数据模型,如图1所示。这4组元模型构成了TOGAF业务架构元模型的基础:

(1)规则模型。描述了业务流程、触发事件、业务规则的对应关系,可使用IF-THEN-ELSE和CASE等规则逻辑控制语句来建立业务规则模型;

(2)组织模型。描述了业务执行节点与组织单元、业务协作角色的对应关系,可使用UML协作图来强调对象之间的交互和合作;

(3)活动模型。描述了业务活动的层次化结构与信息交互,其中覆盖了业务执行节点、业务功能、业务流程、数据实体、业务协作角色五个元类,通常使用功能建模集成定义(IDEFO)来进行业务活动建模;

(4)数据模型。包含了数据实体和业务服务两个元类,可使用IDEFIX实体关系图来描述数据的逻辑层结构和实体之间的关系。

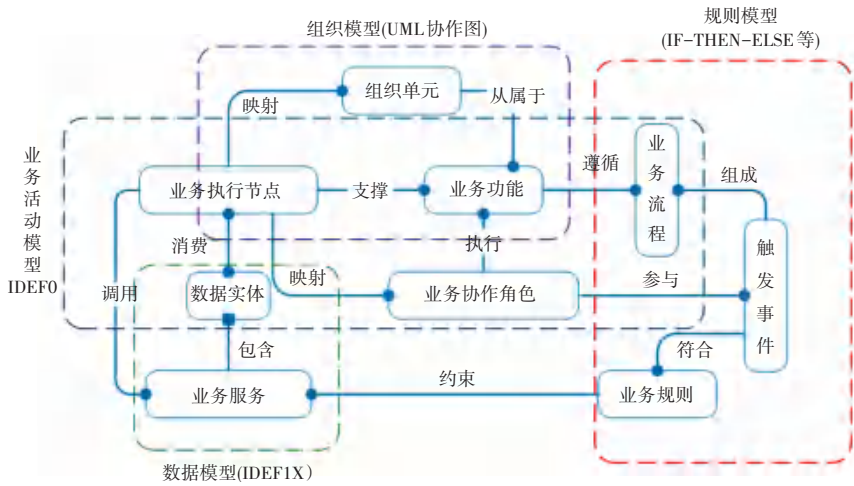


图1 ROAD元架构模型划分

Fig. 1 ROAD meta architecture model partitioning

### 1.2 IDEF0 业务活动模型

IDEFO(Integration Definition for Function Modeling)的活动建模方法是一种用于描述和分析组织、系统或过程的行为和功能的工具。IDEFO作为ROAD元架构中业务活动模型的建模方法,使用图形化符号和标记来表示活动、输入、输出、控制以及机制关系,帮助分析师和设计人员更好地理解

描述复杂的活动流程。核心ICOM结构描述见表1。IDEFO模型定义如下:

$$M_{IDEFO} = (Act, Input, Output, Control, Mech, Arrow) \quad (1)$$

使用六元组形式表示基于IDEFO的模型,包括活动(Act)、输入信息(Input)、输出信息(Out)、控制要素(Control)、机制要素(Mech)以及节点之间的关系弧(Arrow)。

表1 ICOM结构描述

Table 1 ICOM structure description

ICOM 结构组成	相关描述
Input 输入	就是这个活动需要“消耗掉”或“转换成”输出的东西,可以是具体的事物、抽象的数据或其他用名词表示的东西
Control 控制	说明了控制变换的条件或环境,或者说是约束。输入与控制两者的作用不同,如“工调结果”是指增薪20元的控制条件,“原工资”是80元,则“新的工资”是100元
Output 输出	在输入与控制无法明确区分时,可看作控制。每个活动至少有一个控制箭头,或者说,一个活动可以没有输入,但不允许既没有输入、又没有控制
Mechanism 机制	盒子底部的箭头作为机制,可以是执行活动的人或设备。输入输出箭头表示活动进行的是什么(what),控制箭头表明为何这么做(why),而机制箭头表示如何做(how)

### 1.3 BPMN 建模方法

BPMN (Business Process Model and Notation) 是一种用于描述业务流程的图形化建模语言。BPMN 提供了一套符号和规范,用于表示业务流程中的各个环节、活动、事件、决策和数据流等元素。在 BPMN 中,可以使用以下符号和元素来建模业务流程:

(1) 流对象 (Process Flow Object): 包括开始事件 (Start Event)、结束事件 (End Event)、任务 (Task)、子流程 (Subprocess)、网关 (Gateway) 等,用于表示流程中的不同环节和活动。其中,网关包括排他网关 (Exclusive Gateway)、并行网关 (Parallel Gateway) 和包容网关 (Inclusive Gateway),用于表示决策分支、并行处理或合并等情况;

(2) 连接对象 (Connectors): 包括顺序流 (Sequence Flow)、消息流 (Message Flow) 和关联关系 (Association),用于表示不同活动之间的顺序、消息传递或关联关系;

(3) 泳道 (Swimlanes): 用于组织和分类流程中的任务和参与者。泳道可以按照角色、部门或组织等进行划分,以清晰地表示参与者的职责和任务分配;

(4) 数据 (Data): 用于表示流程中的数据对象,可以是输入、输出或中间数据。

通过使用这些符号和元素,可以绘制出清晰、可

视化的业务流程图,描述业务流程的执行顺序、交互关系、决策路径和数据流动。BPMN 的建模工具和规范使得业务流程的定义、调整和优化更加直观和易于理解,从而提升组织的流程管理和效率,BPMN 模型定义如下:

$$M_{BPMN} = (FlowObjs, Connectors, DataObjs, Swimlanes) \quad (2)$$

其中,流对象  $FlowObjs = (E \cup A \cup G)$ , 并且  $E \cap A \cap G = \phi$ , 这里  $E$  表示事件的集合,  $A$  表示活动的集合,  $G$  表示网关的集合; 连接对象  $Connectors = (S \cup M \cup D)$ , 并且  $S \cap M \cap D = \phi$ , 这里  $S$  表示顺序流,  $M$  表示消息流,  $D$  表示数据关联; 数据对象  $DataObjs = (DI \cup DO \cup DS)$ , 并且  $DI \cap DO \cap DS = \phi$ , 这里  $DI$  表示数据输入,  $DO$  表示数据输出,  $DS$  表示数据存储;  $Swimlanes$  表示泳道。

## 2 ROAD 与 BPMN 集成

BPMN 模型中的网关和数据对象虽然能实现部分规则模型和数据模型的功能,但无法完整表达,故将业务规则和数据模型进行了拆分:将业务规则元类拆分为规则条件、规则参数、规则结果;将数据实体再细分为数据属性和数据实体;再根据 BPMN 的特性对 ROAD 元架构重划分,对应关系见表 2。

表 2 ROAD 架构与 BPMN 模型组成单元对应关系

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

ROAD 元架构模型	相关建模方法	模型元类	BPMN 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	网关
		规则参数	
		规则结果	网关
OM 组织模型	UML 协作图	组织单元	
		业务执行节点	泳道
AM 活动模型	IDEFO 图	业务协作角色	
		业务执行节点	泳道
		业务功能	任务/子流程
		业务流程	业务流程图
		数据实体	数据对象
DM 数据模型	IDEFIX 实体关系图	业务协作角色	泳道
		数据属性	
		数据实体	数据对象

设存在 IDEFO 模型和 BPMN 模型之间的映射关系,记作  $\varphi: M_{IDEFO} \xrightarrow{\varphi} M_{BPMN}$ , 该映射规则遵循如下原则:

$$Act = \{act_1, act_2, \dots, act_n\}, n \in R, i \in (1, n): act_i \xrightarrow{\varphi} A_i \quad (3)$$

即 IDEFO 模型中的任意活动均映射为 BPMN 模型中流对象,流对象 (FlowObjs) 中的活动 (A); 具

体表现为活动中的任务 Task 元素。这种映射通常取决于活动的性质和自动化程度。研究还会用到:

$$\begin{aligned}
Input &= \{input_1, input_2, \dots, input_\mu\}, \\
Output &= \{output_1, output_2, \dots, output_\omega\}, \\
p &\in (1, \mu), q \in (1, \omega): \\
Input_p &\xrightarrow{\varphi} I_j, Input_q \xrightarrow{\varphi} O_q \quad (4)
\end{aligned}$$

其中,  $I, O$  分别表示  $DataObjs$  中的数据输入 ( $I$ ) 和数据输出 ( $O$ ), 即  $IDEFO$  模型中的任意输入输出信息 (或资源) 均映射为 BPMN 的数据对象:

$$\begin{aligned}
Control &= \{control_1, control_2, \dots, control_\alpha\}, \\
\alpha \in R, i \in (1, \alpha): Control_i &\xrightarrow{\varphi} G_i \quad (5)
\end{aligned}$$

其中,  $G$  为流对象 ( $FlowObjs$ ) 中的网关, 即控制 ( $Control$ ) 可以映射到 BPMN 中的网关 ( $Gateway$ ) 元素。网关用于控制流程中的分支和汇聚, 决定不同路径的流程流转。具体的映射方式取决于控制在  $IDEFO$  模型中的性质:

$$\begin{aligned}
Mech &= \{mech_1, mech_2, \dots, mech_\alpha\}, \\
\alpha \in R, i \in (1, \alpha): Mech_i &\xrightarrow{\varphi} E_i \quad (6)
\end{aligned}$$

其中,  $E$  为流对象 ( $FlowObjs$ ) 中的事件, 即对于  $IDEFO$  模型中的机制要素  $Mech$  映射为 BPMN 的

事件 ( $E$ ), 这种映射反映了机制的性质, 因为事件元素在 BPMN 中用于表示流程中发生的事情或触发条件:

$$\begin{aligned}
Arrow &= \{arrow_1, arrow_2, \dots, arrow_\alpha\}, \quad (7) \\
\alpha \in R, i \in (1, \alpha): Mech_i &\xrightarrow{\varphi} Connectors_i
\end{aligned}$$

其中,  $Arrow$  通过在连接对象 ( $Connector$ ) 中的表现为序列流 (Sequence Flow) 或消息流 (Message Flow)。即对于  $IDEFO$  模型中的箭头  $Arrow$  映射为 BPMN 的连接对象 ( $Connector$ ), 这种映射反映了活动、网关、事件和数据对象之间的关系以及流程中的流向。

除去  $IDEFO$  对 BPMN 之间的映射之外, BPMN 模型组成单元还包括了部分数据实体与业务规则的元模型, 为此基于原 ROAD 架构元模型进行了适当的拆分, 最终集成的架构建模如图 2 所示。集成 BPMN 模型后的 ROAD 架构, 在增强了面向业务场景描述的同时使得流程更加准确和灵活, 并且通过 BPMN 建模的业务流程可以直接部署到工作流引擎中执行, 根据预定义的规则和条件自动处理任务分配、流程转移和数据传递。而  $IDEFO$  模型仅限于静态的过程描述, 无法直接进行自动化的流程执行。

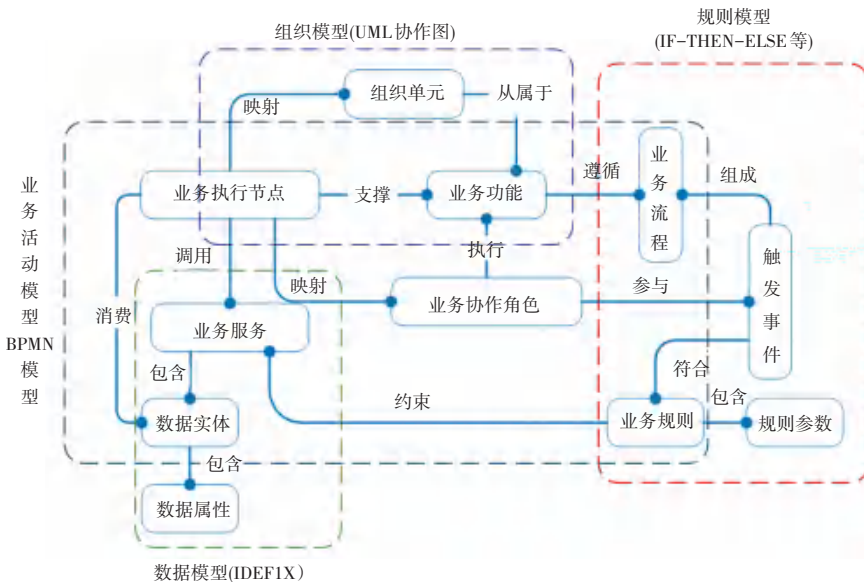


图 2 ROAD-BPMN 元架构模型划分

Fig. 2 ROAD-BPMN meta architecture model partitioning

### 3 旅游出行租车订购系统建模案例

随着国内经济的稳步增长, 旅游行业势必将迎来新的发展, 而旅游出行租车订购系统是为了满足

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。在这样的系统中, 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。该

系统基本功能分解如图3所示。由图3可知,主要包含预定租车、车辆详情和订单管理三个功能。基于ROAD元架构,对该系统进行业务架构建模,主要分为4个部分,阐释分述如下。

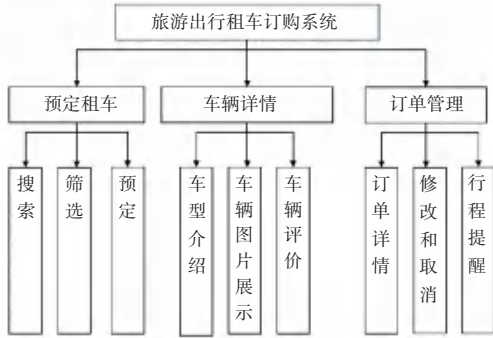


图3 旅游出行租车订购系统基本功能分解

Fig. 3 Basic function decomposition of the tourism car rental and ordering system

(1)使用UML协作图建立业务组织模型,以明确系统中的业务节点、边界和业务关联。通常情况下,逻辑业务节点可以直接对应到系统的物理节点。以“预定租车”这一基本业务功能为例,可以建立相应的业务组织模型,如图4所示;

(2)根据BPMN模型建立业务活动模型,可以将该业务流程分为3个主要活动:选车、支付和订单管理。“预定租车”功能的BPMN模型如图5所示,在选车活动中,用户可以浏览可用车辆并选择适合自己的车型和租期,该活动还包括验证车辆库存、计

算租金和保险费用等活动;在支付活动中,用户需要提供支付信息以完成订单支付,包括支付金额、支付方式和支付凭证等,该活动还需要与支付平台进行交互,以确保支付过程的安全、可靠性和及时性;在订单管理活动中,用户需要确认订单并签署租车合同,以完成租车预订,该活动还需要与租车公司进行交互,以确认预订状态、处理保险和车辆交接等问题。综上所述,可以使用BPMN标准对“预定租车”这一业务功能进行业务活动模型建模,具体包括选车、支付和订单管理三个主要活动,并对每个活动和参与者进行具体刻画;



图4 “预定租车”功能的业务组织模型

Fig. 4 The business organization model of the "booking car rental" function

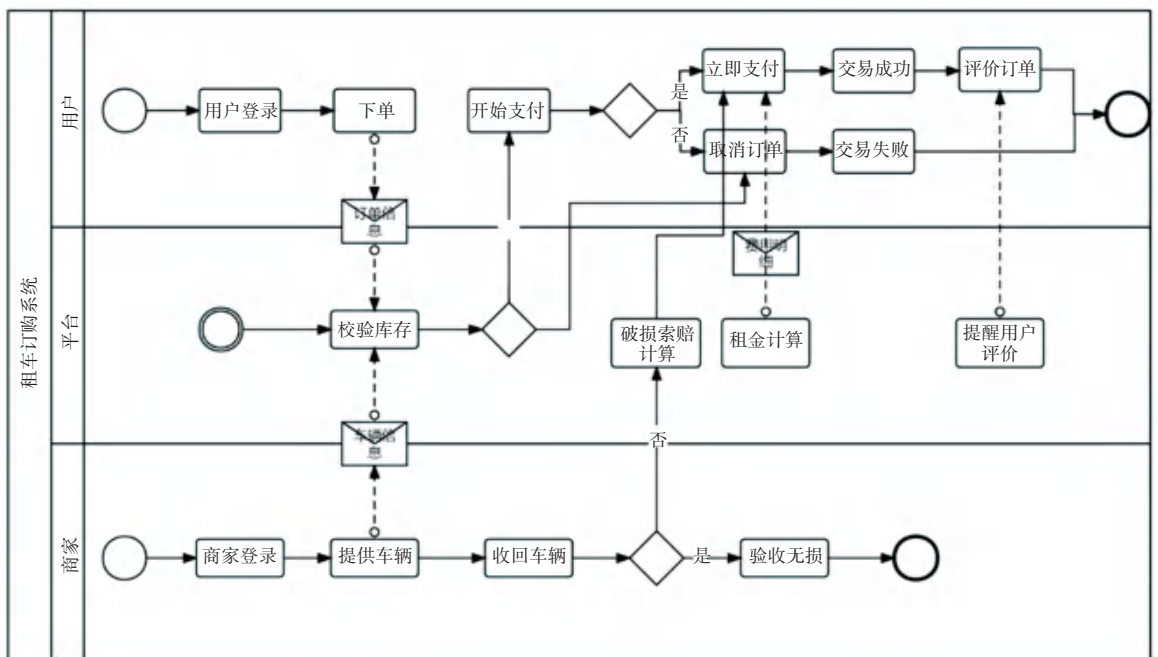


图5 “预定租车”功能的BPMN模型

Fig. 5 BPMN model of the "booking car rental" function

(3) 建立业务数据模型,使用 IDEF1X 模型。“预定租车”功能的数据模型如图 6 所示,可以根据 BPMN 中的业务流程描述,分析提取出业务实体、属性以及各项之间的关系,然后利用 IDEF1X 来建立业务数据模型,具体如下:BPMN 中的活动表示业务流程中的具体操作或任务。可以将这些活动作为 IDEF1X 模型中的实体,通过分析活动所需处理的数据和属性,确定实体的属性;BPMN 中的数据对象表示在业务活动中使用的数据。可以根据数据对象

的属性和关系,作为 IDEF1X 模型中的实体和实体间的关系,进一步定义数据模型中的实体和实体间的联系;BPMN 中的数据输入输出描述了业务活动的输入和输出数据。通过分析数据的来源和去向,可以识别出 IDEF1X 模型中实体之间的关联和依赖关系;BPMN 中的连接对象用于表示活动之间的关系。可以通过分析连接对象的端点,推导出 IDEF1X 模型中实体之间的关系、参照关系或者从属关系;

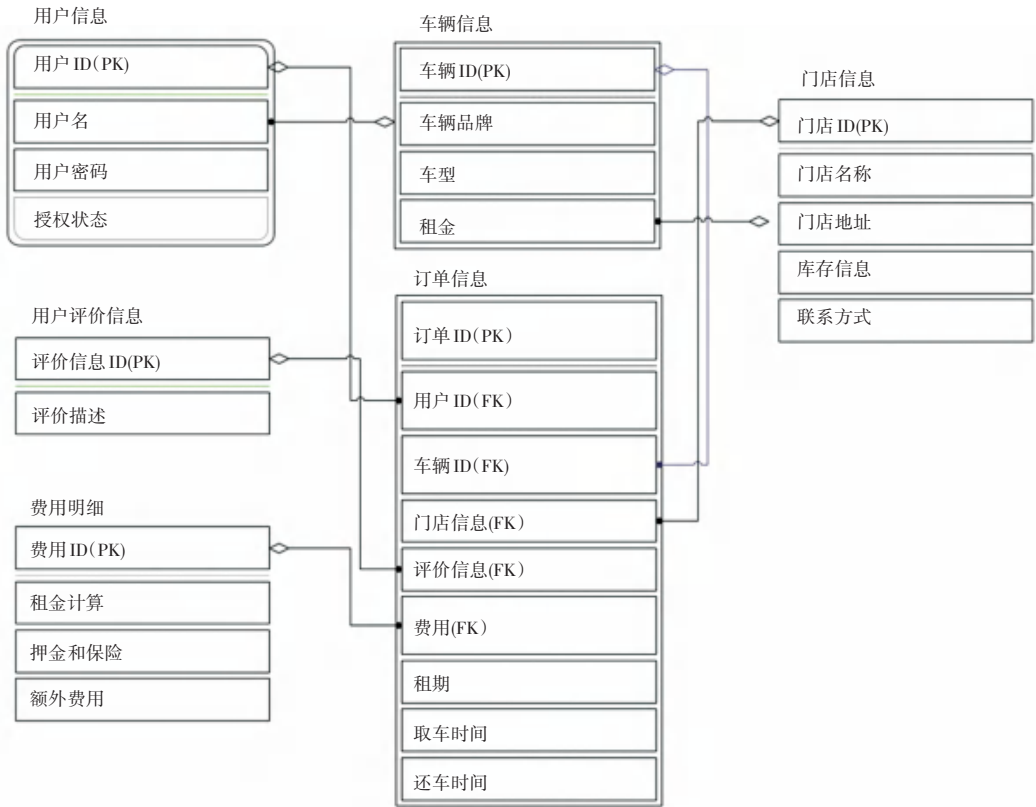


图 6 “预定租车”功能的数据模型

Fig. 6 A data model for the "booking car rental" function

(4) 使用 IF-THEN 逻辑语句建立业务规则模型,部分规则见表 3。该规则模型与业务组织模型、业务活动模型和业务数据模型互相关联,同时便于

验证各模型之间逻辑行为关系,进行不断迭代验证提高业务活动的准确与合理性。

表 3 “预定租车”功能的业务规则模型(部分)

Table 3 Business rule model for the "booking car rental" function (part)

规则名称	规则判断	规则描述
Rule All “预定租车”规则	IF	用户信息.授权状态=1,库存信息.库存数量>0,订单信息.租车时间>最短,订单信息.租车时间<最长租车时间之间,订单信息.还车地点∈合法地点,用户具备有效驾驶证和年龄符合要求
	THEN	库存信息.库存数量=库存信息.库存数量-1,订单信息.订单状态=1,用户账户.剩余金额=用户账户.剩余金额-租金,确认租车预订成功

ROAD 元架构在业务建模过程中提供了明确的方向,并结合 4 个模型可以实现逐级升级和粒度建

模的循环迭代。而在此架构中引入 BPMN 模型最大的优势就是可以面向具体的业务流程进行建模和

分析。其次,BPMN 作为国际上通用的业务流程建模标准,为 ROAD 元架构建模提供了一个统一的标准和语言。这使得不同团队之间可以共享和理解建模内容,更好地协作并提高效率。因此,在 ROAD 的元架构建模过程中引入 BPMN 模型可以为业务分析和设计提供更全面和深入的支持。通过可视化的建模方式、统一的标准和语言、技术支持以及复用性和扩展性等方面的优势,可以实现更准确、高效、灵活的建模和业务分析。

## 4 结束语

企业架构设计与建模是企业信息化建设中至关重要的环节,元模型理论在这一领域也有着广泛的研究和应用。随着企业数字化转型的深入,致力于打造更高效、敏捷、可持续的企业架构设计方法和工具已成为一个重要的课题。BPMN 模型具有标准化和通用性、图形化表示和易于理解、细粒度控制和灵活性、与 IT 系统集成和自动化以及扩展性和可视化分析等优势。这些优势使得 BPMN 成为在业务流程建模和管理领域被广泛采用的工具,有助于提高业务流程的效率、质量和可视化分析能力。本文结合 ROAD 元架构和 BPMN 模型,总结元模型理论在企业架构设计与建模领域的应用及未来展望。

## 参考文献

[1] MEI M M, ANDRY J F. The Alignment of Business process in event organizer and enterprise architecture using TOGAF[J]. JUTI Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi, 2019, 17(1): 21.

[2] JOSEY A. The TOGAF® Standard, Version 9.2-A pocket guide [M]. London: Van Haren Publishing, 2018.

[3] 陈长新,王明哲,宋阿妮. 利用 DoDAF 开发 TOGAF 定义的企业应用架构设计[J]. 计算机与数字工程, 2013, 41(5): 829-834.

[4] 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.

[5] TAO Zhigang, LUO Yunfeng, CHEN Changxin, et al. Enterprise application architecture development based on DoDAF and TOGAF [J]. Enterprise Information Systems, 2017, 11(5): 627-651.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] ROCHA M, SIMÃO A, SOUSA T. Model-based test case generation from UML sequence diagrams using extended finite state machines[J]. Software Quality Journal, 2021, 29: 597-627.

[11] BEYER D. First international competition on software testing[J]. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 2021, 23(6): 833-846.

[12] AL-FEDAGHI S. UML sequence diagram: an alternative model [J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2021, 12(5): 635 - 645.

[13] ELSAYED M, ELKASHEF N, HASSAN Y F. Mapping UML sequence diagram into the web ontology language OWL [J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2020, 11(5): 318-326.

[14] 雒兴刚,李梦伟,宋容嘉,等. 一种集成概率 BPMN 和信息概率 Meta 图的服务流程分析方法[J/OL]. 计算机集成制造系统: 1-32 [2023-10-22]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5946.tp.20230814.1421.010>.

[15] 程航宇,康国胜,刘建勋,等. 基于 BPMN 的业务流程建模元素扩展机制[J/OL]. 计算机集成制造系统: 1-12 [2023-10-22]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20230322.1736.026.html>.

[16] 樊良优,姚小强,王刚,等. 基于云原生的开放式指挥控制平台构建技术[J]. 航空兵器, 2022, 29(4): 26-32.

[17] 杨卿涛,郭文艳,倪维健,等. 应急预案响应过程的 BPMN 模型自动抽取方法及实现[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(10): 3212-3224.

[18] 魏然,江山,杨芳. 基于 BPMN 的复杂网络指挥控制流程优化[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(10): 2914-2920.

[19] CICCIO D C, CECCONI A, DUMAS M, et al. Blockchain support for collaborative business processes [J]. Informatik Spektrum, 2019, 42: 182-190.

[20] HU Wen, FAN Zhipeng, GAO Ye. Research on smart contract optimization method on blockchain[J]. IT Professional, 2019, 21(5): 33-38.

[21] SABATUCCI L, COSSENTINO M. Supporting dynamic workflows with automatic extraction of goals from BPMN [J]. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS), 2019, 14(2): 1-38.

[22] AGOSTINELLI S, MAGGI F M, MARRELLA A, et al. Achieving GDPR compliance of BPMN process models [C]// Information Systems Engineering in Responsible Information Systems: CAISE Forum 2019. Rome: Springer International Publishing, 2019: 10-22.

[23] FERNANDEZ E B. Software engineering in the era of cloud computing[R]. Berlin/Heidelberg: Springer, 2020.