

# 基于模糊 UML 的装备保障知识建模方法

董庆超, 乔勇军, 徐君明, 司维超

(海军航空大学, 山东 烟台 264001)

**摘要:**装备保障业务需求建模是装备保障信息系统研发的重要环节,准确描述业务概念和关系是获取高质量需求分析产品的重要前提。然而,该业务领域中用户目标、业务效果等核心要素常包含模糊或不确定信息,容易引发系统研发各方的需求理解偏差,从而给系统后期的设计、开发带来巨大隐患。针对上述问题,首先从装备保障领域知识建模出发,挖掘本领域核心知识,构成装备保障领域知识本体,在此基础上借助 UML 建模语言 MOF 层扩展机制,引入模糊评估属性和建模元素,进而形成一种可用于该领域信息系统业务建模分析的领域特定建模语言。该建模语言对领域内存在的明确和模糊需求信息同样具有良好的表达能力,便于系统研发各方在信息系统需求分析阶段达成共识,进而为准确捕捉装备保障业务需求提供技术支持。

**关键词:**装备保障;领域特定建模语言;模糊信息;模糊 UML;知识建模

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)04-0106-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.04.018

## Equipment Support Knowledge Modeling Based on Fuzzy UML

DONG Qing-chao, QIAO Yong-jun, XU Jun-ming, SI Wei-chao

(Naval Aviation University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** Equipment support business requirements modeling is the key issue of equipment support information system development. Accurate description of the business concepts and relations is a prerequisite of high-quality requirements analysis products. However, the core elements such as user objectives and business effects in the business field often contain uncertain or vague information, which is easy to cause the misunderstanding between stakeholders of the to-be system and the failure of the project, thus bringing huge hidden dangers to the design and development of the system in the later stage. To solve these issues, firstly starting from the knowledge modeling of equipment support domain, the core knowledge of this domain is mined to form the knowledge ontology of equipment support domain. And then a domain-specific modeling language for equipment support system modeling is defined by extending the MOF mechanism of UML with the equipment support domain ontology and the fuzzy evaluation attributes. It can model both the certain and uncertain requirements information, and promote a common view between stakeholders of the to-be system.

**Key words:** equipment support; domain-specific modeling language; fuzzy information; fuzzy UML; knowledge modeling

## 0 引言

装备保障,即军队为满足作战及其他任务的需要在装备调配、维修、经费等方面组织实施的保障<sup>[1]</sup>。装备保障信息系统是支持装备保障业务的重要信息化平台,是军事电子信息系统以及指挥信息系统的重要组成部分。近年来随着信息技术发展进步,装备保障信息化建设也取得显著成就,主要表现在全时间、全地域各型装备保障信息系统在装备保障业务中的广泛应用,该系统已经与装备保障业务紧密结合,并成为日常装备保障业务开展的支撑平台。然而在各型装备保障信息系统研发实践中还存在以下问题有待解决:一是

缺少领域知识共识,技术专家、用户、系统研发方难以达成需求一理解,从而给系统的后期建设带来风险;二是前期的开发经验难以形成知识模型,从而给后期项目建设中领域知识的积累和复用带来困难;三是保障知识中存在大量模糊信息,如保障效果的好坏、保障速度的快与慢,对于这些信息缺少一种有效的知识建模表示手段。针对上述问题,该文提出一种基于模糊 UML 的装备保障知识建模方法,该方法首先挖掘装备保障领域存在的核心概念和知识,形成保障领域知识本体,通过该本体统一不同利益相关方对系统需求的本质认识,在此基础上借助 UML 领域特定建模

收稿日期:2020-04-30

修回日期:2020-08-31

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(61802428)

作者简介:董庆超(1982-),男,博士,讲师,研究方向为指挥信息系统分析与设计。

语言扩展技术<sup>[2]</sup>,通过引入领域特定概念、模糊建模元素等手段,形成一种适用于装备保障领域的领域特定建模语言<sup>[3]</sup>。借助该语言,一方面可以建模表示已有项目的成功知识经验便于后期知识复用;另一方面,在系统需求分析、系统设计阶段可以作为技术专家、用户、研发方的共同交流平台,辅助三方对系统需求达成共识。

## 1 装备保障领域本体

### 1.1 本体建模技术

本体概念原属于哲学范畴,后引入计算机研究领域。关于本体的定义很多,本领域较为经典的本体定义为:“本体是共享概念化的明确的形式化规范”。通过构建本体可以捕捉指定领域内的共享概念、关系、公理,可以为领域内不同人员提供对领域知识的共同理解,消除因理解偏差而引发的歧义或误差。此外,通过对本体的形式化表达,可以对本体即领域知识进行推理,通过推理可以由现有知识发现新的知识。本体通常是由概念、关系、函数、公理、实例五个元素组成。

概念是一类相同类型个体的集合。借鉴面向对象的思想,本体中的概念近似于面向对象技术中的类,具有名称、属性等特征。表示形式上概念可以采用框架表示结构,也可以采用面向对象技术由类建模表示,也可以由自然语言描述;

关系表明了领域内不同概念之间的联系,形式化表示为 $n$ 维笛卡尔集: $R: C_1 \times C_2 \times \cdots \times C_n$ 。类比面向对象技术,本体中的关系近似于面向对象中类之间的关系,如关联关系、继承关系等;

函数是一种特殊类型关系,它的笛卡尔集中前 $n-1$ 个元素可以唯一确定第 $n$ 个元素,即 $F: C_1 \times C_2 \times \cdots \times$

$C_{n-1} \rightarrow C_n$ ;

公理为领域知识中的永真式;

实例即为概念的个体或实例,它类似于面向对象技术中的对象。

通过对本体的研究,根据它的语义抽象层次可以划分为四类,即顶层本体、领域本体、任务本体和应用本体。

顶层本体由通用概念和关系组成,这些概念、关系与具体领域、语义环境、背景无关,如时间、空间、位置、环境等。它的语义较为抽象,领域本体、任务本体、应用本体均为它的实例;

领域本体由特定领域的概念、关系组成,是顶层本体在具体应用领域的实例化结果;

任务本体由与领域相关的任务概念和行为概念组成;

应用本体是领域本体、任务本体在具体场景、环境、时间、空间内的实例化结果。

对以上四类本体的划分,可以有效辅助领域专家积累领域知识,形成领域知识库,同时在新的应用环境中,通过对领域知识不断的复用和创新,可以逐步丰富完善领域知识。

### 1.2 装备保障领域本体构建

通过构建装备保障本体可以明确本领域的核心概念、核心关系,统一不同技术人员对领域知识的理解和认识。关于装备保障领域本体构建,相关专家做出了较多有益研究<sup>[4-7]</sup>,借鉴以上研究成果,该文认为装备保障领域本体由图1所示模型组成,内含保障组织、保障设备、保障器材、保障信息、保障人员、保障效果等核心概念,这些概念也是装备保障信息系统日常处理对象。

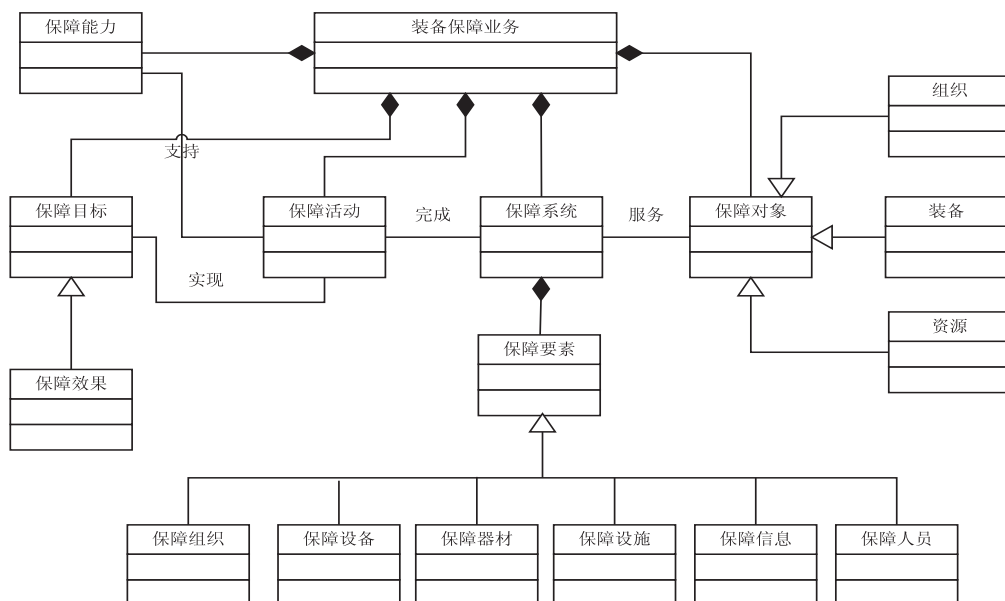


图1 装备保障领域本体建模





言<sup>[10]</sup>、谓词逻辑系统<sup>[11]</sup>。形式化技术的好处是语义严谨,可以为计算机理解和处理,但是对用户有较高应用背景要求;二是依托图形化、半形式化技术,可视化建模表示领域知识,例如 UML 建模语言、IDEF 语言<sup>[12]</sup>等。图形化技术的特点是直观易懂,便于用户理解和交流,同时借助严谨的语法、语义约束,可以实现计算机对知识的理解和处理。这里该文采用第二种技术手段,采用 UML 对象建模语言,并对之改造进而形成装备保障领域特定语言。

### 3.2 领域特定概念扩展

为扩展 UML 的特定领域建模能力,对象管理组织提出了“轻量级”和“重量级”两种方法扩展 UML 构建领域特定建模语言<sup>[2]</sup>。“重量级”扩展旨在通过元对象设施扩展 UML 元模型,建立一种不同于 UML 的新的建模语言。“轻量级”扩展即 UML 概要文件(UML Profile),提供了新的构造型、标签值和模型约束,将 UML 中一些元素具体化同时引入新的限制条件,最大限度地遵循 UML 的元模型并保持类、关联、属性等建模元素的原始语义。两种扩展方法各有优缺点:“重量级”扩展形成的新的建模语言确保模型中只出现与特定应用领域相关的元模型,因而能更好地适应具体应用领域的概念和特性,但由于其不遵循 UML 语义,不能得到当前业界成熟的 UML 工具的支持;UML Profile 能够充分利用现有成熟 UML 工具技术的支持,但可能不能提供符合应用领域需要的全部建模元素,而且建模中 UML 元模型和用户自定义元模型的混合使用可能导致“视图污染”,增加理解难度。由于 UML 是一种在软件工程和系统工程领域的通用建模语言,其语法和语义已经为普通的技术人员所理解和使用,因此该方法首先采用 UML Profile 技术,扩展 UML 语义,形成领域特定概念的构造子,用于装备保障需求建模分析。

装备保障需求建模分为两个阶段:(1)领域知识建模阶段。该阶段领域专家采用该文提出的装备保障领域特定建模语言建模领域知识。随着业务的增加、领域知识的不断积累,可以逐渐形成一个涵盖装备保障系统各种业务领域的领域知识库;(2)应用需求建模阶段。该阶段系统分析师首先在领域知识库中选择相关领域知识,借助领域知识复用技术,由领域知识引导形成应用系统需求模型。具体装备保障领域特定建模语言构建办法如以下步骤开展:

步骤 1:在 UML Profile 中为装备保障领域本体的每个概念和关系添加构造型,如保障对象、保障效果等,这些构造型是对 UML 元模型中元类的扩展;

步骤 2:利用标记值机制增加新的属性到相应的构造型中,同时添加该属性对应的属性类型和初始值;

步骤 3:采用 OCL 描述领域中约束规则,例如保障资源、保障设备的数量约束;

步骤 4:如果有必要,可为新添加的构造型创建新的模型图标。

通过以上对 UML 的扩展改造,可以有效化解不同人员对相同概念的理解偏差,例如前文所述的某系统研发中涉及的红外测距仪设备,通过扩展后的 UML 可以将其表示为类,类名为红外测距仪设备,构造型为保障对象,通过这种手段不同人员均可准确理解其背景概念。

### 3.3 模糊扩展

模糊 UML 是在模糊集和概率论的基础上对 UML 的一种扩展,同时兼有明确信息和模糊信息的表示能力<sup>[13]</sup>。它沿用了 UML 的基本构造子,并且在构造子原始语义的基础上加入模糊概念和概率函数,进而实现对模糊信息的建模。该方法规定模糊类具有三层模糊性:

(1)一个对象(实例)是否属于某个领域类(概念)是不确定的。它的一阶谓词逻辑形式化语义为: $\forall x. \text{ClassA\_FuzzyLevel1}(x) \rightarrow \mu_{\text{ClassA}}(x) \triangleright \triangleleft n$  ( $\triangleright \triangleleft$  包括  $\leq, <, \geq, >, 0 \leq n \leq 1$ )。它的建模表示方法是在类的属性栏中,增加隶属度  $\mu$  属性项 ( $0 \leq \mu \leq 1$ ),类为虚线框;

(2)类具有一个模糊属性,即属性的值域是一个模糊类。它的形式化语义为: $\forall x. (\text{ClassA\_FuzzyLevel2}(x) \wedge \text{HasAttribute}(x, y)) \rightarrow \text{Class\_Fuzzy}(y)$ 。它的建模表示方法是在模糊属性前增加 FUZZY 关键字;

(3)第三层模糊性是指一个概念的父类或子类是模糊类,那么这个类是模糊类。它的形式化语义为: $\forall x. \text{ClassA\_FuzzyLevel3}(x) \rightarrow \text{FatherClass\_Fuzzy}(x)$  或  $\forall x. (\text{ClassA\_FuzzyLevel3}(x) \wedge \text{SubClass}(x, y)) \rightarrow \text{Class\_Fuzzy}(y)$ 。它的建模表示方法是在模糊类之间构建继承关系。

该方法中除需求信息中类具有模糊性外,类之间的关系同样可能存在模糊性,即存在模糊关联关系、模糊继承关系和模糊聚合关系。

模糊关联关系是在 UML 关联关系原始语义基础上规定<sup>[2]</sup>,应用本体中不同应用对象之间存在的关联关系是否属于领域层相应关系,存在模糊性和不确定性。以模糊类 A、B 之间的模糊关联关系 R 为例,其语义表示为: $\forall r. R\_FuzzyAssociation(r) \rightarrow u_R(r) \triangleright \triangleleft n$  ( $\triangleright \triangleleft$  包括  $\leq, <, \geq, >, 0 \leq n \leq 1$ ),其建模表示方法是将关联关系实线转换为虚线;

模糊继承关系是在 UML 继承关系原语义的基础上规定<sup>[2]</sup>,父类与子类之间的隶属度  $u$  存在如下关系:

$\forall x. u_{\text{class}}(x) \leq u_{\text{FatherClass}}(x)$ , 即对象隶属于子类的隶属度必然小于等于隶属于父类的隶属度。模糊继承关系只存在于模糊类与模糊类、模糊类与明确类之间, 其建模表示方法是将继承关系实线转换为虚线;

模糊聚合关系在 UML 聚合关系语义的基础上规定<sup>[2]</sup>, 整体类的隶属度  $u_{\text{whole}}$  与成员类的隶属度  $u_{\text{part}}$  之间存在如下关系:  $[\forall x, y. (\text{Aggregation}(x, y) \wedge \text{Whole}(x) \wedge \text{Part}(y)) \rightarrow \mu_{\text{whole}}(x) \leq \mu_{\text{part}}(y)]$ , 即整体对象隶属于整体类的隶属度小于等于成员对象隶属于成员类的隶属度。模糊聚合关系存在于模糊类与模糊类、模糊类与明确类之间, 其建模表示方法是将聚合关

系实线转换为虚线。

通过以上对 UML 的改进, 使得改造后的 UML 具备建模明确和模糊信息的能力。例如在装备保障信息系统中用户提出对某型装备“有力保障”、“快速维修”、“精准对接”等预期效果, 均存在模糊性和不确定性。以快速维修为例, 不同场景、条件、时空快慢的评价标准不尽相同, 其中的模糊信息可以通过隶属度属性  $u$  加以表示, 如正常气象条件 XX 装备快速维修隶属度为 0.9; 复杂气象环境下 XX 装备快速维修隶属度为 0.7, 见图 3。隶属度数值的确定可以通过指标打分、专家指定等手段确定, 这里不再做出具体研究。

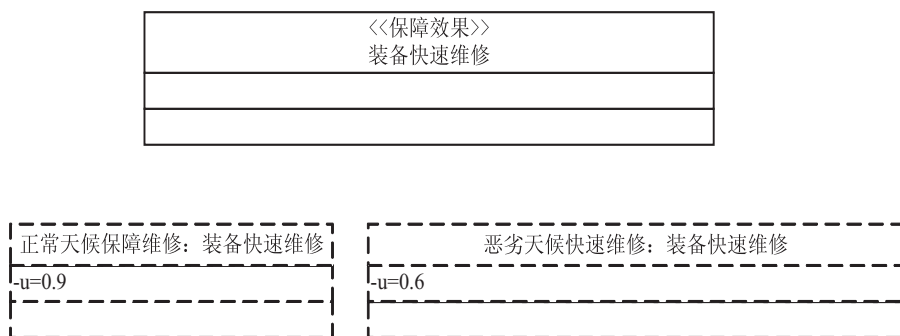


图 3 基于模糊 UML 的装备保障模糊信息建模

#### 4 案例分析

该方法为领域专家提供了一种可行的装备保障信息系统需求建模语言, 为了说明方法的优势, 这里以一个弹药化实验业务概念分析模型(片段)说明方法特点, 见图 4。弹药化试验业务主要是定期对现有弹药药效进行实验分析确保弹药有效性, 该业务是军械保障业务的重要环节。业务概念分析主要是分析该业务背后的保障对象、保障目标、保障资源、保障效果等系统业务核心要素的构成和关系。具体业务开展的活动流程、时序线索也是系统业务分析的重要组成部分, 由于与本研究关系不大, 这里不再讨论。通过前期需求调研, 弹药化实验业务由 X 实验室具体承担, 该业务的

保障对象为 X 作战分队的 X 型弹药。针对新一代装备保障系统用户提出建设预期, 即改变传统手工作业模式, 通过引进自动化验设备, 依托专用网络实现化验过程自动化、网络化, 具体要求为: 一是实验计划按需订制; 二是实验过程自动(半自动)结果精准高效; 三是实验过程全程监督, 及时高效反馈实验结果。上述业务需求中存在明确需求信息与模糊需求信息混杂的问题, 其中保障组织 X 实验室、保障活动弹药化验、保障对象 X 型弹药含义较为明确, 可以借助本方法建模为明确概念类; 用户所提出准确高效、及时反馈等预期效果概念较为模糊, 不同时间、条件上述效果评价不同, 因此可以通过该方法建模为模糊类, 具体模糊程度值可以通过对隶属度  $u$  赋值得以实现。

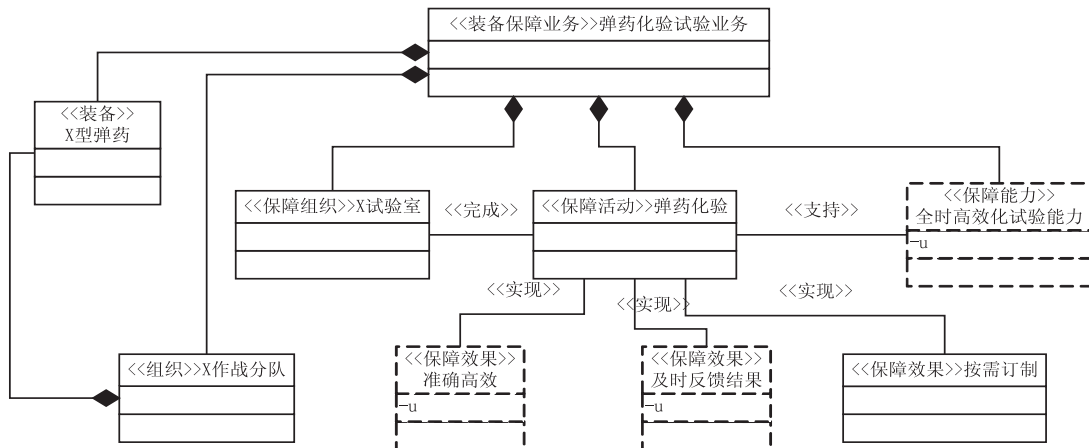


图 4 基于模糊 UML 的化试验业务领域模型(片段)

通过以上案例分析的片段表明,该方法对业务需求建模分析中用户所提出的需求信息较通用 UML 建模语言具有以下优势:一是新语言具有领域特定概念语义,便于各利益相关方对需求概念的一致理解。如模型中的 X 作战分队,缺少领域背景知识很难区分其究竟为保障实施单位还是被保障单位;二是新语言具有足够的能力表示模糊需求概念及其模糊隶属度值,为需求的准确捕捉、多方一致理解提供了可行技术手段。

## 5 结束语

装备保障信息系统是军事信息系统、指挥信息系统的重要组成部分。为了正确、完整地建模表示装备保障信息系统业务需求信息,该文提出了一种基于模糊 UML 的装备保障建模方法。首先根据装备保障业务特点,定义了装备保障领域本体,通过本体统一业务共识,在此基础上,结合装备保障领域本体和模糊建模元素,扩展了现有的 UML 建模语言,形成保障领域特定建模语言,从而为系统分析人员、用户、系统研制方共同研讨、理解需求提供一种公共平台。后期研究中,将结合描述逻辑推理技术,解决装备保障需求模型一致性、合理性验证问题<sup>[14-15]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 全军军事术语管理委员会,军事科学院. 中国人民解放军军语(全本)[M]. 北京:军事科学院出版社,2011.
- [2] Object Management Group. OMG unified modeling language (OMG UML) infrastructure, version 2. 1. 2 [EB/OL]. (2007-11-04) [2008-04-15]. <http://www.omg.org/docs/formal/07-11-04.pdf>.
- [3] DONG D, WANG Z, CHEN Y, et al. Domain-specific modeling and verification for C4ISR capability requirements[J]. Journal of Central South University, 2012, 19(5): 1334-1340.
- [4] 帅勇,宋太亮,王建平,等. 装备保障能力评估指标选择方法研究[J]. 火力与指挥控制, 2016, 41(11): 51-55.
- [5] 苏正炼,严骏,曾拥华,等. 基于本体的装备保障知识管理模型[J]. 装备学院学报, 2015, 26(4): 62-66.
- [6] 蒲玮,李雄. 基于扩展 FIPA-ALC 的装备保障 Agent 通信语言[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 220-228.
- [7] 何仪周. 基于本体的装备保障信息模型构建方法[D]. 北京:北京航空航天大学, 2014.
- [8] 李永杰,郭福亮. 基于领域本体的舰船装备维修保障知识表示研究[J]. 海军工程大学学报, 2015, 27(3): 74-77.
- [9] 苏正炼,严骏,陈海松,等. 基于本体的装备故障知识库构建[J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(9): 2067-2072.
- [10] SIRIN E, PARSIA B, GRAU B C, et al. Pellet: a practical OWL-DL reasoner[J]. Journal of Web Semantics, 2007, 5(2): 51-53.
- [11] 余军成. 论直觉主义谓词逻辑的矢列式自然演绎系统与公理化系统[J]. 贵州工程应用技术学院学报, 2017, 35(3): 1-8.
- [12] 王健,古平,卜昭锋,等. 装备保障数据需求分析方法与建模[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(7): 136-140.
- [13] 马力. 基于模糊 UML 的 ADASUE 建模方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2016.
- [14] ZHANG T, LIU X. Capability-oriented architectural analysis method based on fuzzy description logic[J]. Journal Computer Science and Information Systems, 2016, 13(1): 54-62.
- [15] 顾闯,刘彬,张星,等. 装备保障仿真概念模型的语义验证方法研究[J]. 计算机科学, 2014, 41(9): 24-27.