



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于认知的元数据语义建模研究

马万钟¹ 高昂² 余林³ 朱小杰⁴

1. 武汉大学信息管理学院 武汉 430072;
2. 中国标准化研究院 北京 100191;
3. 贵阳人防大数据应用工程技术研究中心 贵阳 550001;
4. 湖北省计量测试技术研究院 武汉 430223

摘要: 在当前大数据的时代,元数据作为一种描述性的结构化信息,语义是体现和发挥其功能的一项非常重的特征。目前构建元数据的视角主要还是聚焦数据层而非对象认知语义层,在构建方法上也欠缺对语义特征的描述,给基于大规模元数据的信息检索和语义互操作等造成一定的困难。本文从认知视角出发,构建元数据认知的高层模型,建立元数据认知和元数据语义之间的映射,提出元数据和本体的关系模型;在此基础上,以人防战备物资信息资源为对象,运用本体工程的方法,构建元数据语义模型,形成对人防战备物资数据的一致性描述和应用。初步成果已在贵阳市人防大数据建设中应用实施,并形成了国家标准草案进行立项,证明了元数据语义建模的可用性和有效性。

关键词: 元数据认知;元数据语义建模;本体工程;网络本体语言

中图分类号: G203 G35

The Research of Cognition-Based Semantic Modelling of Metadata

MA Wanzhong¹ GAO Ang² YU Lin³ ZHU Xiaojie⁴

1. School of Information Management, Wuhan University, Wuhan 43007, China;
2. China National Institute of Standardization, Beijing 100191, China;
3. Big Data Engineering Research Center of Civil Air Defense, Guiyang 550001, China;
4. Hubei Institute of Measurement and Testing Technology, Wuhan 430223, China

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目“基于关联数据语义扩展的标准知识语义链接服务研究”(17YJC870013);中国博士后科学基金项目“面向标准信息服务的领域标准知识语义链接研究”(2017M622527);湖北省自然科学基金项目“基于关联数据的标准知识挖掘与信息服务关键技术研究”(2018CFB181)。

作者简介: 马万钟(1986-),博士,情报学博士后研究员,高级工程师,研究方向:语义技术、知识服务与信息技术标准化, E-mail: wanzhong.ma@whu.edu.cn;高昂(1982-),博士,副研究员,研究方向:信息与数据标准化;余林(1986-),硕士,主任,研究方向:人民防空指挥信息保障研究;朱小杰(1987-),本科,研究方向:检测认证与质量评价。

Abstract: In the age of big data, as a descriptive structured information, semantics of metadata is very important to embody and exert its functions. At present, the main point of constructing metadata is mainly focusing on data level rather than object cognitive semantic level. It also lacks the description of semantic features in the construction method, which makes some difficulties for information retrieval and semantic interoperation based on large-scale metadata. This paper built a high-level model of metadata from the cognitive perspective, established its metadata element attributes and the semantic descriptions of the associations. Based on this, a metadata semantic model of civil air defense war readiness materials was proposed by using ontology engineering method. The outcomes were to establish the metadata specification of civil air defense war readiness materials data, and form the consistent description and application of civil air defense war readiness materials data. The results were applied in the big data building of civil air defense in Guiyang city, and were proposed as a national standard project, which had proved the availability and effectiveness of proposed method.

Keywords: Meta data cognition; semantic modelling of metadata; ontology engineering; ontology web language

概述

随着大数据时代的到来,WEB 信息资源中蕴含着海量多元的数据分布在不同的信息资源系统中,元数据作为描述数据的一种结构化信息^[1],在促进异构系统的信息资源互操作方面发挥着举足轻重的作用。元数据建模一直以来是数据科学研究的主要内容之一^[2],在电子文件管理^[3]、WEB 信息资源等领域都得到相当的重视。然而,目前无论是元数据构建视角还是元数据构建方法,在解决系统语义异构方面,都存在着一一定的局限性。前者是指元数据在构建过程中的着眼点主要聚焦在数据层面,没有考虑数据所蕴含的语义,其结果是造成了元数据开发者和元数据使用者之间对元数据理解上的认知鸿沟;后者是指元数据建模方法和工具很少支持对信息资源对象语义的表达,其结果是难以提供语义层形式化可复用的元数据模型。面向语义的元数据建模是解决这些问题的关键。

针对这一问题,国内外学者已经开展了相关研究。陶皖^[4]等分析了 WEB 资源下不同形

式的语义元数据的表示方法,并对基于语义 WEB 的元数据生成技术进行了探讨;Alexander Maedche and Valentin Zacharias^[5]探讨了基于本体的元数据聚类 and 语义相似度计算方法;Horrocks I^[6]和 Dean M^[7]等分别提出了元数据描述框架,这些框架与领域无关,它们提供了各自的建模规范,允许不同用户在统一的描述框架下自定义元数据,让不同元数据模型之间的相互理解成为可能;王洪伟^[8]等通过一系列定理证明了语义元数据对元数据的语义一致性检验的有效性;刘海学^[9]对基于语义标注技术的元数据自动构建方法进行了研究;李慧佳^[10]等在元数据集识别、元素分组的基础上,进行了元数据语义映射研究。上述关于语义元数据的研究无疑推动了元数据语义技术的发展,但大部分研究将语义相关技术直接应用于元数据构建,缺少元数据语义认知的理论分析,理论基础的缺乏导致相关技术停留在实验层面,所构建的大部分元数据都是弱语义性元数据,并且缺少方法论标准化过程,在具体领域和具体对象的应用方面难以推广复制。

本文试图从认知层面构建元数据语义的理论框架，在建立元数据语义理论的基础上，运用语义相关技术的工程方法，通过抓取和抽象元数据实体，建立元数据元素属性和关联的语义描述，并以人防战备物资为例，构建面向具体领域的元数据语义模型。此外，本文针对研究成果进行标准化，形成人防战备物资核心元数据标准，为推动人防大数据标准化建设^[1]、加快人防信息化智能化进程提供支撑。

1 元数据的语义认知

在信息资源管理与共享中，以数据为载体的信息资源具有动态、分布、多元和无序的特点，需要一组统一、可复用、形式化的媒介来实现对海量实体数据进行识别、组织、描述和管理等一系列活动，这一媒介就是元数据。在特定环境、出于特定目的或特定角度的语境下，一组关于数据的数据可以作为元数据使用，因此国际标准 ISO 11179^[12] 和国家标准 GB/T 18391 中，元数据被定义为“定义和描述其他数据的数据”，其使用目的是识别资源，评价资源，追踪资源在使用过程中的变化，实现简单高效地管理大量网络化数据，实现信息资源的有效发现、查找、一体化组织和对使用资源的有效管理。

相较于数据刻画了现实世界对象的特征，元数据主要刻画了一组数据对象的存在方式及其特征，具体表现为三个认知要素：1) 搭建了一个领域数据集的基础框架（architecture framework）；2) 提供描述数据集所需的最小领域知识（minimum domain knowledge）；3) 定义数

据存在的基本规则（rules），便于机器理解。

图 1 简明刻画了元数据认知的高层模型。

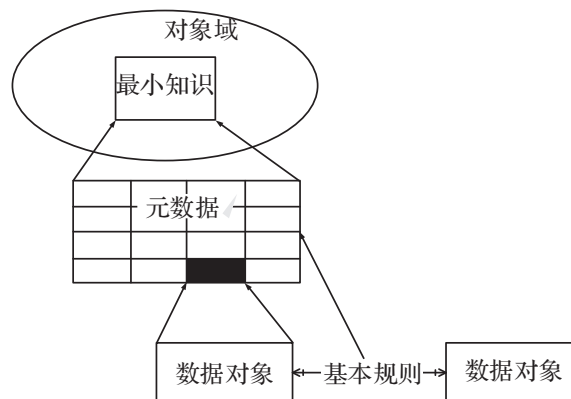


图 1 元数据认知的高层模型

对这三个元数据的认知要素进行进一步语义映射，如图 2 所示，基本框架可映射为数据对象的关联关系，最小领域知识可映射为数据对象的核心概念集，基本规则可映射为不依赖于技术平台的数据对象形式化表达方式。因此，一个完整的元数据可表示为包含概念、关系和形式化表达的语义三元组，提供介于用户和系统之间的语义层。

基于上述元数据语义认知的视角出发进行元数据设计与建模，能够为元数据提供更加精确的领域信息资源描述能力，并解决不同元数据模型的语义异构问题。首先，在元数据建模之初需要明确元数据模型的应用领域，并界定出元数据模型的范围及规模，即明确元数据模型描述的领域知识及其核心概念；其次，面向对象的元数据建模方法注重对类属性和操作，以及父子类之间的继承关系的研究，而基于语义认知的元数据建模在表达类结构和类间继承关系（generic relations）以外，还可以表达更加

丰富的语义关系,包括整体-部分关系(partitive relations)关联关系(associative relations)和约

束关系(constraint relations)等,并可通过网络本体语言(OWL)来实现元数据模型的形式化。

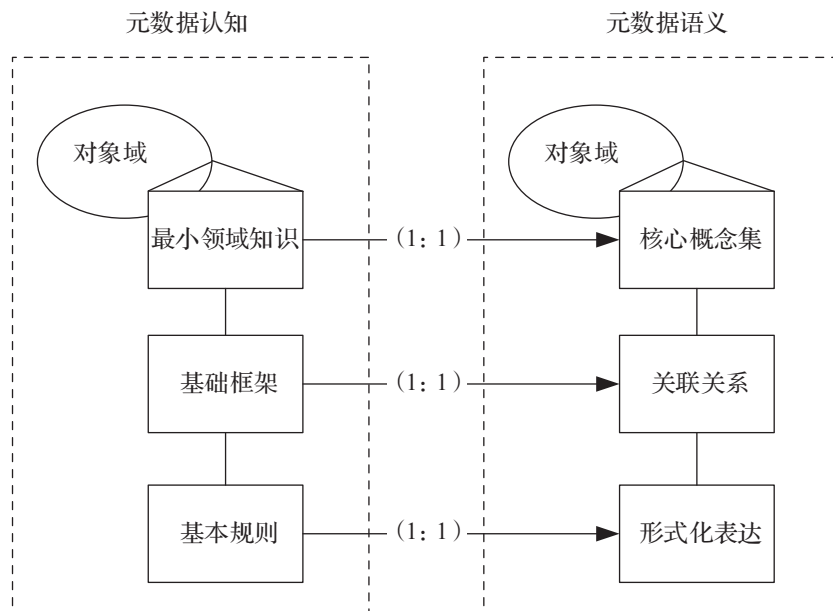


图2 元数据语义映射

2 元数据语义模型结构

2.1 基于本体的元数据语义模型

本体(ontology)是公认的语义描述与表达的最佳理论和方法之一,聚焦于统一且明确的概念化和概念语义关系的形式化表达^[13]。一个本体可以表示为概念、关系、属性的集合,其中关系可分为概念间的层次关系和关联关系,前者描述概念的分类或种属关系,后者描述非分类的其他关系,在自然语言中主要以谓词形式表达,而属性是指对概念的具体赋值。

基于本体的元数据语义模型结构为 $MD=\{O, I, L, inst, instr, instl\}$,其中 O 是一个本体, I 是对象实例, L 是赋值; $inst$ 是概念实例化的函数,记为 $inst: C \rightarrow 2^I$, $instr$ 是关系实例化的函数,记为 $instr: P \rightarrow 2^{I \times I}$, $instl$ 是属性实例化的函数,记为 $instl: P \rightarrow 2^{I \times L}$ 。

2.2 领域元数据顶层语义模型

定义领域元数据顶层语义模型为一个三元组,记为 $M_O=\langle C, R, A \rangle$, $R \subseteq 2^{C \times C}$ 是领域核心概念集,包括类概念 C_C 、属性概念 C_P 和实例概念 C_I ;是概念之间的二元关系,包括层次关系 R_H 和关联关系 R_A ,其中 R_H 可细分为类的继承关系(is_a)和类的整体部分关系(part_of),它们都是一种偏序关系; A 是关系成立时满足的约束条件或公理规则。定义 M_O 的语义解释为 $M_I=\langle D_O, D_A, f(i) \rangle$, D 是领域世界的论域, D_O 是论域包含的非空对象集; D_A 是论域包含的非空特征值集; $f(i)$ 是解释函数,它把每一个类概念 C_C 映射为 D_O 的子集: $C_C \subseteq D_O$;把属性概念 C_P 解释为对象与其对应的某一特征值: $C_P \subseteq D_O \times D_A$;把实例概念 C_I 映射为 D_A 的子集: $C_I \subseteq D_A$;把 R 解释为论域中对象与对象之间的关系集合 D^R : $D^R \subseteq D_O \times D_O$ 。

3 元数据语义建模方法

本文立足于元数据语义认知的思想,运用本体工程的方法,以人防战备物资信息资源为应用进行元数据的语义建模。

人民防空是国防的重要组成部分^[14],战备物资是为了防止突发事件的发生而事先准备的作战物品,主要包括枪支弹药,后勤伙食保障,车船设备,石油、汽油、柴油等。目的就是要体现部队能快速投入到战斗中,确保部队能拉的出、跟的上。根据人民防空袭斗争的任

务要求,人防战备物资通常有以下几种:保障防空袭作战的指挥通信设施和器材,保障参战人员和广大人民群众的生活保障物资和医疗用品,保障抢险救援的各种装备、器材、车辆和燃料。人防战备物资作为人防工作中的重要基础性物质资源,其信息化建设和数据资源建设对人防工作在重点经济目标防护、城市应急救援以及公共应急处理等方面都起着重要的保障作用^[15]。

根据元数据顶层语义模型,按照图3所示流程进行人防战备物资元数据语义建模。

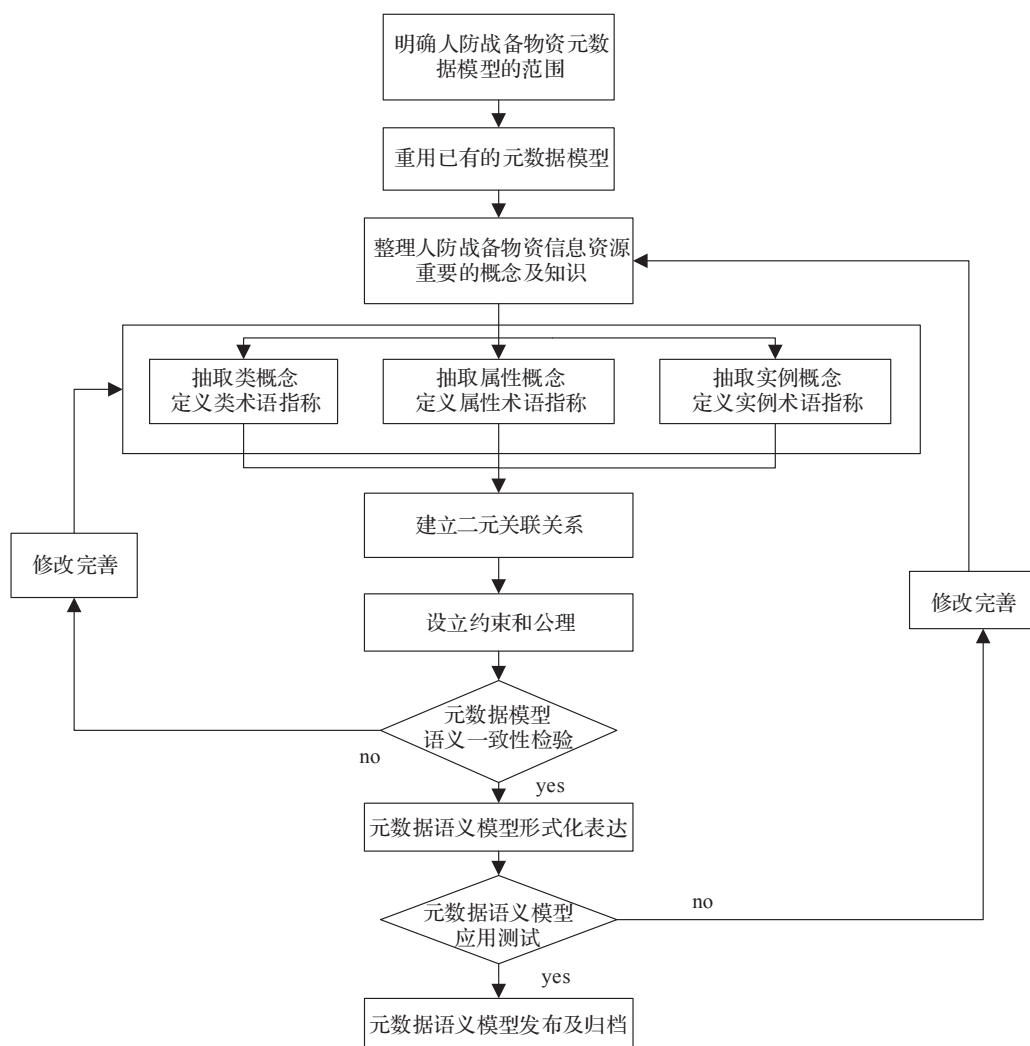


图3 人防战备物资元数据语义建模

Step 1: 明确人防战备物资元数据模型的范围。对元数据建模不能规模过大且保罗万象,因为元数据不应该作为系统运行的直接驱动而取代程序的作用来过多承担系统运行时的语义。人防战备物资元数据所要描述的主要是人防战备物资是什么,如何分类,存在状态以及与其他对象的相互关系等问题,同时还记录了关于数据集的一些管理信息。其将被应用在关于人防战备物资信息的组织、查询、追溯以及共享等方面。

Step 2: 重用已有的元数据模型。本文在进行人防战备物资元数据语义建模时,参考了人防领域相关信息资源的元数据以及一些其他领域已有的关于物资信息或资产信息元数据,抽取了相关重要的类概念和术语以及相关关系,从而增加了领域知识的捕获能力,减少了元数据设计的时间,同时也在一定程度上增强了同一模型下不同信息系统之间的互操作能力。

Step 3: 定义概念及其术语。在这一阶段,首先组织专家对人防战备物资信息资源中的重要概念和知识进行整理,在此基础上结合元数据应用需求,对人防战备物资的类概念 C_c 、属性概念 C_p 和实例概念 C_i 分别进行了初步抽取,引入一个公认的术语及定义对其进行指称,同时给出相应的术语可能存在的近义词、反义词和同义词,使之在概念表达方面能够在语义上形成全覆盖。其中,类概念 C_c 主要包括 <元数据、物资基本信息、物资分类信息、物资用途分类信息、物资状态信息、供应商、参与人、负责单位、日期、联系、地址、电话……>等;属性概念 C_p 主要包括 <标识符、名称、描述、记录时间、级别、编码、数量、质量、状态……>等;实例概念 C_i 主要包括 <采购申请单、入

库申请单、……申请人、审核人、计划员、保管员、……采购、入库、调拨、转库、……优质、良好、合格……>等。

Step 4: 建立关联关系。根据二元关系 R 的分类,可以建立人防战备物资概念之间包括“父子类层次关系,组合关系,聚合关系”在内的层次关系,以及包括“类与实例取值关系,分类关系,名称关系、描述关系、管理关系、参与关系”等在内的关联关系,形成对象域的关联关系集合 $D^R = \langle is_a, aggregate_of, part_of, instance_of, kind_of, name_of, description_of, managed_by, involved_with \dots \rangle$ 。

Step 5: 设立约束和公理。本文构建的人防战备物资元数据语义模型不仅描述了对对象概念之间上下义层次关系,也表达了对对象域中不同类概念之间的关联关系。为规范这些关系,使之能够满足元数据语义一致性和语义推理的要求,本文设立并定义了一系列约束和公理规则,包括属性约束,概念规则和关系公理,如表1所示,确保元数据模型能够准确地表达人防战备物资对象域。

Step 6: 元数据模型语义一致性检验。一致性检验是保证信息资源在采集、管理和应用服务等过程中,其元数据模型语义一致性下所应实现的技术测试。一致性检验主要包括两个方面:

① 对人防战备物资核心元数据模型的语义一致性测试,例如元数据模型中是否存在同名类概念。

测试方法为应用 RacerPro 推理机对其进行语义推理,同时采用 SPARQL 语言对某一元数据概念及关系进行形式化语义检索和查询,来确保元数据模型的语义一致性。

表 1 人防战备物资元数据语义模型约束和公理

约束和公理	类型	描述	表达式
属性约束	属性约束	定义了属性概念的范围，约束了包含在属性内的实例概念与其属性概念对应的对象概念之间的数量关系	存在约束: $\text{if } c \text{ has } b, \exists a \text{ is } b \Rightarrow c \text{ has } a$
			全局约束: $\text{if } c \text{ has } b, \forall a \text{ is } b \Rightarrow c \text{ has } a$
	基数约束	依据一个特定对象概念在一个属性概念上做的声明	最小数目约束: $\text{Min}(n)$
			最大数目约束: $\text{Max}(m)$
			确定数目约束: $\text{Cardinal}(n:m)$
关系公理	条件约束	描述了一个属性或实例概念要成为一个概念的成员的条件，即属性或实例概念若要从属于某一对象概念，则它们之间至少存在一个关联关系。	
	传递性	对任意的概念 a, b, c ，如果 a 关联 b 成立，且 b 关联 c 成立，则 a 关联 c 成立	$\forall a, b, c \in C, R_s(a \text{ is } b) \wedge R_s(b \text{ is } c) \Rightarrow R_s(a \text{ is } c)$
	反对称性	对于任意的概念 a, b ，当且仅当 $a=b$ 时，有 a 是 b 且 b 是 a	$\forall a, b \in C, R_s(a \text{ is } b) \wedge R_s(b \text{ is } a) \Rightarrow a=b$
	自反性	对任意的概念 a ， a 就是它自己本身	$\forall a \in C, \text{True}(R_s(a \text{ is } a))$
	继承性	对任意的概念 a, b, c ，如果 a 是 b 成立，且 b 拥有 c 成立，则 a 拥有 c	$\exists a, b, c \in C, R_s(a \text{ is } b) \wedge R_s(b \text{ has property } c) \Rightarrow R_s(a \text{ has property } c)$
	非自反性	存在概念 a 不能以它自己作为自身的属性	$\exists a \in C, \text{False}(R_s(a \text{ has property } a))$
	反转性	对任意的概念 a, b ，如果 a 关联 b 成立，则 b 被 a 关联	$\forall a, b \in C, R_s(a \text{ associate } b) \Rightarrow b \text{ is associated by } a$
概念规则	反传递性	存在概念 a, b, c ，如果 a 关联 b 且 b 关联 c ，则 a 不一定发生了关联 c	$\exists a, b, c \in C, \text{True}(R_s(a \text{ associate } b) \wedge R_s(b \text{ associate } c)) \Rightarrow \text{False}(R_s(a \text{ associate } c))$
	类概念	抽象类没有实例子概念	$\text{If } RS(\text{is} \mid a, b), b \in CL, \text{ then } a \notin CI$
	属性概念	抽象类不能作为实例概念的属性	$\text{If } RS(\text{has or does} \mid a, b), a \in CI, \text{ then } b \notin CL$
		抽象类没有属性	$\text{If } RS(\text{has or does} \mid a, b), \text{ then } a \notin CL$
		实例只能作为具体概念的状态或行为	$\text{If } RS(\text{has or does} \mid a, b), a \notin CI, \text{ then } b \notin CI$
	实例概念	实例概念没有子概念	$\text{If } RS(\text{is} \mid a, b), \text{ then } b \notin CI$

②对人防战备物资核心元数据应用的一致性测试，主要包括：完整性测试、标识符测试、数据类型测试、最大出现次数测试、值域测试等。

测试方法为将元数据标准与被接受测试人防战备物资数据仓库建库方案相对比，查看数据仓库中元数据实体和元数据元素的特征值是

否满足标准中规定的取值和要求。

Step 7: 元数据语义模型形式化表达。应用 OWL 语言对本文构建的人防战备物资元数据语义模型进行形式化，满足数据库建库和系统开发的需要。图 4 刻画了战备物资基本信息元数据的类概念和属性概念及其关联关系图，并给出其声明的部分 OWL 代码。

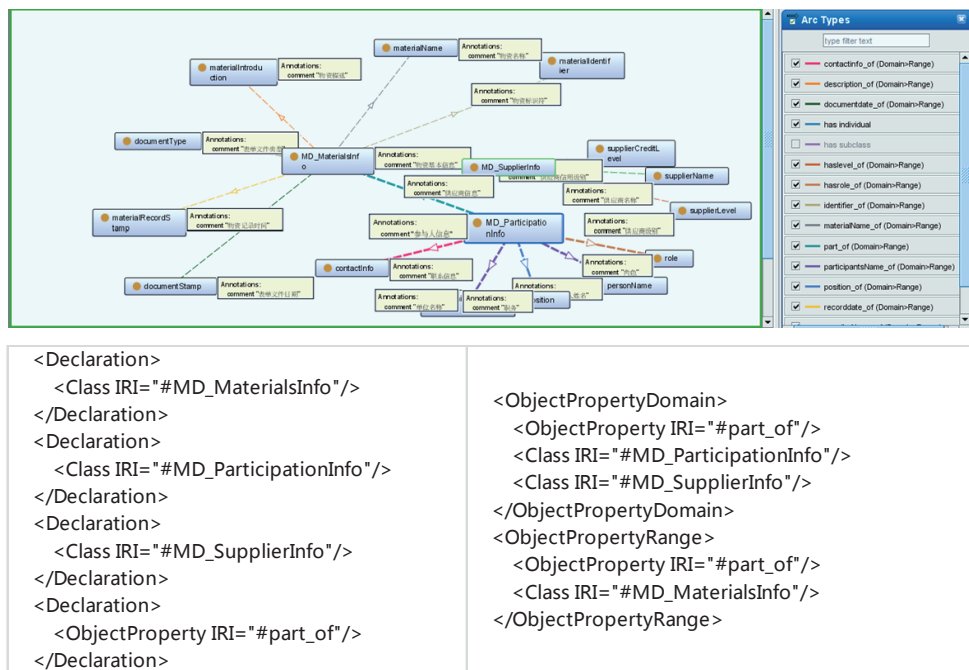


图4 人防战备物资元数据语义形式化表达

按照表1设立的约束和公理将关联关系集中的二元关系赋予各概念,然后应用统一建模语言UML进行可视化表达,并符合GB/T 28174系列国家标准的要求。本文中基于UML语义可视化表达的人防战备物资核心元数据模型,由一个或者多个元数据子集(UML包)构成,后者包含一个或多个元数据实体(UML类)。人防战备物资核心元数据由人防战备物资核心元数据实体信息集、人防战备物资基本信息集、人防战备物资分类信息集和人防战备物资状态信息集等UML包构成,如图5-图6所示。

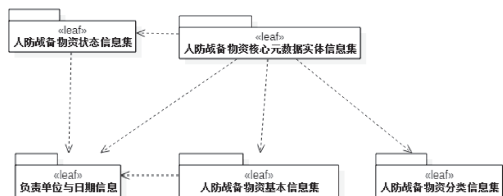


图5 人防战备物资核心元数据包图

Step 8: 元数据语义模型应用测试。基于系

统建设和应用服务,特别是应用服务的效果,对人防战备物资核心元数据语义模型进行评估和完善,不断改进和提升元数据的效用。

依据标准应用实施需求,检查人防战备物资核心元数据语义模型的整体实施程序和效益,主要应评估以下项目:

①人防战备物资核心元数据记录的质量:包括完整性、准确性、数据粒度(granularity)和数据可用性(serviceability),例如从决策和程序二方面,评估元数据检索质量。

②采用元数据标准对于人防战备物资信息资源检索的效益:从其中关键数据项查询内容,评估其检索效率与精确度。

③人防战备物资元数据管理工具的使用性:评估基于元数据标准开发的元数据管理平台和工具的可用性和有用性,以及后续开放管理的重点。

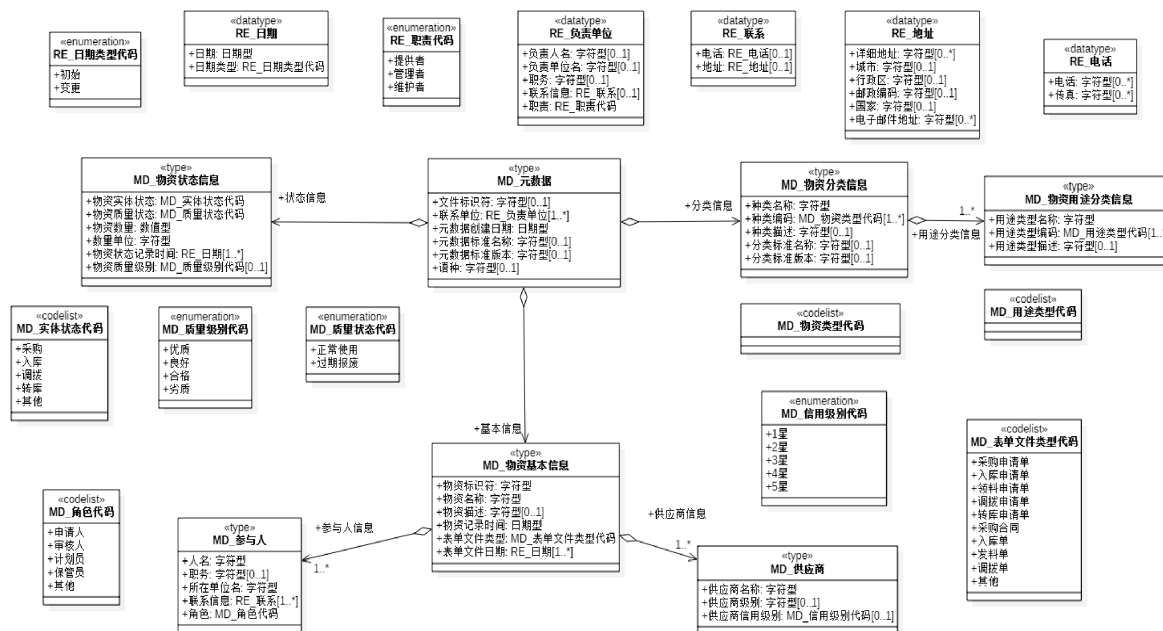


图 6 人防战备物资核心元数据类图

基于人防战备物资元数据语义模型建设元数据管理系统，并提供应用和服务都是对元数据语义模型适用能力的检验。图 7- 图 8 展示了本文构建的元数据语义模型相关成果在贵阳市人防大数据建设中应用的具体实践（其中，图中展示的为系统模拟数据）。

在面向人防大数据建设中，基于认知的元数据语义建模方法很好的描述了大数据背景下各个人防战备物资数据之间的语义关系，为人防战备物资数据集提供了核心的语义描述，为基于元数据的人防战备物资数据扩展提供语义基础。

贵阳市人防大数据服务平台						
人防大数据 人防一张图 工程指挥 指挥决策 平战转换 用户管理						
退出登录						
用户名	昵称	电话号码	邮箱	身份证	创建时间	操作
admin	admin	15268528314	admin@sina.com	52222919841100010	2018-04-26T00:07:24.000+3000	编辑 删除
dev	scotice	18883306404	scotice@sina.com	522229196407102210	2018-05-01T19:25:05.000+3000	编辑 删除
string11	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
string21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
st2ng21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
s3r2ng21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
s3r23ng21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
s3r232ng21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
s3r2332ng21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除
s3r23232ng21	string	string	string	string	2018-05-09T03:41:58.000+3000	编辑 删除

图 7 人防战备物资管理系统（系统模拟数据）

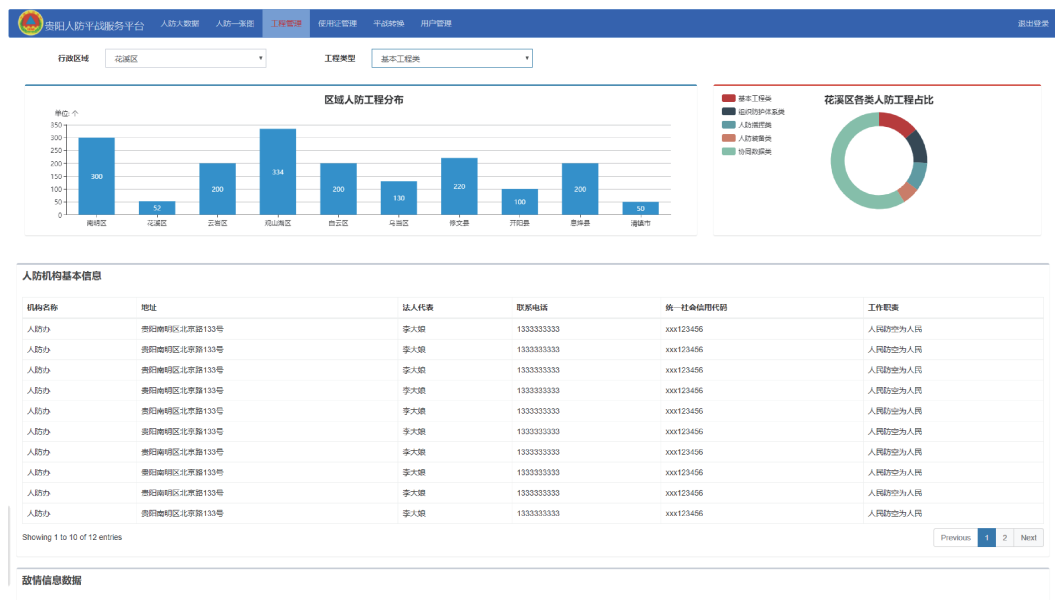


图8 人防工程管理系统 (系统模拟数据)

4 结论与展望

基于认知的元数据语义建模是大数据和 AI 时代下信息资源管理的重要基础。本文首次以人防战备物资数据为对象,进行元数据语义认知与建模,通过分析元数据定义和语义特征,提出元数据认知要素和高层模型,并将认知要素进一步映射为一个元数据顶层语义三元组 $\langle C, R, A \rangle$ 模型及其语义解释 $\langle D_O, D_A, f(i) \rangle$; 在人防战备物资数据建设、管理、应用与服务调研的基础上,建立了元数据语义建模的流程,构建了人防战备物资元数据语义模型,并将其应用于人防大数据建设,取得了初步成效。下一步将对人防战备物资的数据需求做进一步系统性调查,集成人防战备物资相关的公共基础数据以及人防领域的其他数据共同开展大数据分析,完善元数据概念和语义关系,在实施应用中不断改进和完善标准,为规范人防大数据语义一致性,实现数据交换、共享和互操作提供元数

据标准支撑。

参考文献

- [1] 张正强. 国家标准《文件管理元数据原则》中文件管理元数据的结构化信息与半结构化信息的理解[J]. 档案学研究, 2011(6): 31-36.
- [2] 吴优玲, 郑军红, 何利力. 元数据模型设计原理及具体应用[J]. 工业控制计算机, 2012, 25(5): 85-87.
- [3] 程妍妍. 国际标准ISO 23081元数据模型分析[J]. 数据分析与知识发现, 2008, 24(9): 31-35.
- [4] 陶皖, 廖述梅. 语义元数据的描述及生成技术研究[J]. 计算机与现代化, 2006(12): 1-3.
- [5] Maedche A, Zacharias V. Clustering Ontology-Based Metadata in the Semantic Web [C]. In: Elomaa T., Mannila H., Toivonen H. (eds) Principles of Data Mining and Knowledge Discovery. PKDD 2002. Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in Artificial Intelligence), vol 2431. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Horrocks I, Patelschneider P F, Harmelen F V. Reviewing the Design of DAML+OIL: An Ontology Language for the Semantic Web[C]. Eighteenth

- National Conference on Artificial Intelligence. American Association for Artificial Intelligence, 2002.
- [7] Dean M, Connolly D. Web ontology language (OWL) reference, version 1.0, working draft [EB/OL]. [2018-11-01]. <http://www.w3.org/TR/daml-ref/>, November 2002.
- [8] 王洪伟, 侯立文, 蒋馥. 面向语义的元数据模型一致性检验[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(3): 386-391.
- [9] 刘海学. 基于语义标注的元数据自动构建及其相关技术研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [10] 李慧佳, 马建玲, 张秀秀, 等. 元数据语义化映射过程研究——以中科院机构名称规范控制库为例[J]. 图书馆论坛, 2017(12): 76-83.
- [11] 高昂, 余林, 王启辉, 等. 人防大数据标准体系研究[J]. 标准科学, 2017(2): 32-35.
- [12] ISO/IEC. ISO/IEC 11179-1:2015: Metadata Registry (MDR) [S]. ISO/IEC, 2015.
- [13] 马万钟, 詹长根, 朱小杰. 基于人地关系的土地管理数据模型研究[J]. 中国土地科学, 30(6): 3-13.
- [14] 杨晓峰, 余林, 王启辉, 等. 人防大数据完整性评价指标研究[J]. 标准科学, 2017(5): 38-42.
- [15] 信卫斌. 基于web的战备物资管理系统设计与实现[D]. 郑州: 郑州大学, 2010.