

基于特征分类树与复合网络的元数据模型在大型医疗仪器共享服务中的应用研究*

秦毓泽 张 辉

张军欢

(北京航空航天大学计算机学院 北京 100191)

(北京航空航天大学经济管理学院 北京 100191)

〔摘要〕 提出一种基于特征分类树与复合网络的元数据模型,选取大型医疗仪器数据构建模型并进行验证。结果显示该模型能够依据大型医疗仪器不同维度特征进行分类,实现精准快速检索,可用于描述多类型、异构异质、多领域数据。本研究在一定程度上解决了多种元数据信息难以集成和融合的问题。

〔关键词〕 元数据;复合网络;树形结构

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2021.11.012

A Metadata Model Based on Feature Classification Tree and Composite Network: Its Application in Large-scale Medical Equipment Shared Services QIN Yuze, ZHANG Hui, School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; ZHANG Junhuan, School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China

〔Abstract〕 A metadata model based on feature classification tree and composite network is proposed, and the large-scale medical equipment data are selected to build a model and the model is verified. The results show that the model can be classified according to the characteristics of different dimensions of large-scale medical equipment to achieve accurate and fast retrieval, and the model can be used to describe multiple types, heterogeneous and multi-domain data. To a certain extent, the study solves the problem of the difficulty of integration and fusion of various types of metadata information.

〔Keywords〕 metadata; composite network; tree structure

1 引言

1.1 研究背景

大数据时代的到来使庞杂的信息资源管理成为

一个突出且复杂的问题。信息资源使用者需要简单有效的方法获取所需数据资源,信息资源生产者需要直接明确的方法管理个人数据资源^[1]。使用元数据进行信息管理是解决上述问题的可行办法。元数据具有类别独立、结构复杂且变化频繁的特点^[2],根据描述实体使用场合的变化,需要随时更改、增加、删除。元数据建模是将各个独立的元数据按一定规则整合为具有组织形态的一个整体,这也是提升元数据信息描述能力的方法。目前常见的元数据模型有模型驱动工程(Model Driven Engineering, MDE)中对象管理组(Object Management Group, OMG)的UML、SysML、SPEM与CWM^[3]。通用元数据模型标准为国际标准化组织(International

〔修回日期〕 2021-10-13

〔作者简介〕 秦毓泽,硕士研究生;张辉,教授,博士生导师;通讯作者:张军欢,副教授,硕士生导师。

〔基金项目〕 重点研发计划项目“分布式科技资源体系及服务评价技术研究”(项目编号:2017YFB1400200);重点研发计划项目“跨平台科技资源聚合及规模化服务空间构建”(项目编号:2018YFB1402904)。

Standardization Organization, ISO) 发布的元模型标准 ISO/IEC 24744^[4]。上述模型和标准都缺乏对多种元数据的统一描述,无法适用于复合实体元数据多源异构的情况。同时对于不同类别的多源实体,使用上述模型和标准很难兼顾每种实体特征情况。本文提出一种基于特征分类树与复合网络的元数据数学模型。特征分类树^[5]是一种通过对特征进行细分来降低实体描述维度的方法,可通过一定规则对使用特征进行挑选并组合,为不同用户提供个性化的实体特征分类结果。复合网络^[6]是一种使用网络中的节点与边描述数据的方法,通过使用网络结构进行元数据建模,使元数据实现独立性的同时具有一定数据相关性,有助于使用元数据进行数据集成。

1.2 研究意义

1.2.1 面向多领域融合的实体元数据建模 在科技日益发展的今天,单一类型元数据模型已不能满足当前生产发展需要,跨领域多源异构信息融合日益成为主流。因此一种具有描述多源异构数据能力的元数据模型对于各个领域的创新与发展至关重要。国内外针对元数据数学模型的研究大多面向特定领域,如军事^[7]、工业^[8]、艺术^[9]、科技^[10-12]、地理^[13-14]等,能适用于跨领域的元数据模型较少,相对缺少在多领域信息融合方面的理论指导,难以适应当前经济快速发展的需要。对各个领域元数据进行建模是一项重要的基础工程,利用构建的元数据模型实现多领域信息的高效融合,有助于提升跨领域信息有效集成质量,加快信息传递、流通和共享服务。

1.2.2 元数据建模面临挑战 我国各级政府正在推动公共数据资源开放与共享,打破数据孤岛,提升政府社会治理能力和服务水平。为实现各部门、各级政府信息系统的互联互通,首先要解决信息资源规模庞大、来源与结构复杂、标准不一的问题。这些问题源于各领域的元数据模型和标准互不兼容,使得不同领域、不同来源的信息资源无法流通、交互。许多学者对多源元数据的数学建模进行研究。在国内,马万钟、杨先建和潘丹竹等^[15]运用

本体工程方法,提出元数据和本体的关系模型,形成人防战备物资数据的一致性描述和应用。季文飞、蒋同海和王蒙等^[16]开展语义元数据研究并实现医养数据融合系统。张光宇、应时和贾向阳等^[17]利用元数据驱动的多样化服务混合编排方法,对多样化服务进行元数据建模。在国外,Brisebois R、Abran A 和 Nadembega A^[12]利用语义元数据实现基于多平台的数字图书馆。Riddick A T、Heaven R 和 Royse K R 等^[13]构建用来描述环境灾害的元数据模型。以上研究虽然均使用元数据建模解决各领域一些具体问题,但未提出通用的多领域融合的元数据建模方案,这也是现阶段元数据模型研究需要填补的内容^[18]。为充分发挥元数据对实体的描述能力,本文提出一种适用于解决领域融合问题的元数据模型。通过特征分类树与复合网络将异构的不同领域实体有效集成,形成跨领域元数据服务网络,提升多来源异构信息交互效率。

2 基于特征分类树与复合网络的元数据模型

2.1 概述

不同领域实体往往具有不同描述方法以及不同元数据标准,为维持不同领域实体描述的完整性,本模型构建不同领域实体描述的特征分类树,既维持模型覆盖领域广度,又保证模型描述实体深度。多领域实体之间存在一定的数学关系,为使模型尽可能清晰地体现此类关系,使用具有较强信息关联与信息表述能力的复合网络作为模型整体框架,方便之后针对不同领域进行相关特征的个性化选择。

2.2 基本概念定义

2.2.1 元数据模型 主要用来描述实体特征以及实体之间的联系。

2.2.2 实体类别 实体可以划分为多个类别。定义类别 c , 定义类别集合 $C = \{c_1, c_2 \dots c_n\}$ 。

2.2.3 实体 客观存在并可以相互区别的事物,本文特指具体的科技资源(如科研仪器、实验材料、数据集等)。定义实体 t , 实体集合 $T = \{t_1, t_2 \dots t_n\}$ 。每个类别 c 唯一确定 1 个实体集合 T ,

映射关系为 Map_T , 表示为:

$$Map_T: C \rightarrow T$$

2.2.4 实体之间的联系 联系是实体之间要素的相互影响、制约和作用。定义联系 r , 联系集合 $R = \{r_1, r_2 \dots r_n\}$ 。每个类别 c 唯一确定 1 个联系集合 R , 映射关系为 Map_R , 表示为:

$$Map_R: C \rightarrow R$$

联系建立在两种不同实体之间, 表示为:

$$t_i \stackrel{r_k}{\leftrightarrow} t_j$$

2.2.5 特征 同一类别实体需要使用相同特征集合进行描述, 本文将特征集合定义为中间特征集合与具体特征集合的并集。定义中间特征 a , 中间特征集合 $M = \{a_1, a_2 \dots a_n\}$ 。定义具体特征 d , 具体特征集合 $S = \{d_1, d_2 \dots d_n\}$ 。每个类别 c 唯一确定 1 个具体特征集合 S 与 1 个中间特征集合 M , 映射关系分别为 Map_S 与 Map_M :

$$Map_S: C \rightarrow S$$

$$Map_M: C \rightarrow M$$

定义特征集合 $F = M \cup S$, 其中中间特征集合与具体特征集合无交集, 即 $M \cap S = \emptyset$ 。

2.2.6 特征值 某一实体在某一具体特征方面表达的含义。定义某一具体特征 d 的特征值为 u 。对于某一类别 c 中的特定实体 t , 定义其具体特征集合 S 中的具体特征 d 与特征值 u 对应关系集合 $W = \{d_1:u_1, d_2:u_2 \dots d_n:u_n\}$, 其中 d_k 表示集合中第 k 种具体特征, u_k 表示 d_k 对应的特征值。定义 D_{d_k} 为 u_k 的取值范围, 则 $d_k \in S, u_k \in D_{d_k}, D_{d_k} \neq \emptyset$ 。

2.3 特征分类树定义与构建

每个类别 c 唯一确定 1 个具体特征集合 S 与中间特征集合 M , 特征之间存在包含与被包含关系, 上位特征包含下位特征全部信息, 因此需使用树形结构完成特征分类。构建的特征分类树结构为: 树的根节点包含全部特征, 非叶节点表示实体中间特征, 叶子节点表示实体具体特征。叶子节点构成的集合为该实体所在类的具体特征集合 S 。非叶节点构成的集合为该实体所在类的中间特征集合 M 。最终得到的特征分类树为 1 棵多叉树, 见图 1。

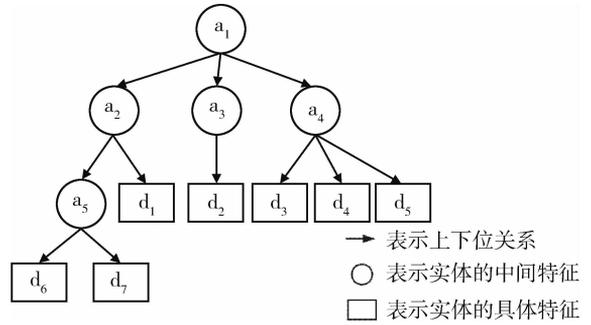


图 1 实体特征分类树

2.4 复合网络定义与构建

使用有向图构建复合网络。有向图由节点与有向边构成, 表示为 1 个由节点集合与有向边集合组成的二元组。定义节点为 v , 节点集合为 V , 有向边为 e , 有向边集合为 E , 则有向图表示为 $G = \langle V, E \rangle$ 。定义节点集合 V 的基数为 $|V|$, 有向边集合 E 的基数为 $|E|$ 。设 v_a 与 v_b 为有向图 G 中不存在从节点 v_a 指向节点 v_b 的有向边的不同两点, 二元组 e_c 表示有向图 G 中连接从节点 v_a 至节点 v_b 的有向边, 则:

$$\begin{aligned} &V \neq \emptyset \\ &|V| = q \\ &|E| = r \\ &v_a \in V (1 \leq a \leq q) \\ &v_b \in V (1 \leq b \leq q) \\ &v_a \neq v_b \\ &e_c = \langle v_a, v_b \rangle \in E \end{aligned}$$

其中, $\langle v_a, v_b \rangle$ 为 1 组有序对, 与 $\langle v_b, v_a \rangle$ 意义不同^[19-20]。节点网络 G_n 是一种使用节点表达信息的网络, 定义为三元组 $\langle V, E, f \rangle$, 函数 f 是由顶点映射到数值系统 X 的对应关系。边缘网络 G_e 是一种使用边来表达信息的网络^[20], 定义为三元组 $\langle V, E, g \rangle$, 函数 g 是由有向边映射到数值系统 Y 的对应关系。函数 f 与函数 g 表示为:

$$\begin{aligned} f: V &\rightarrow X \\ g: E &\rightarrow Y \end{aligned}$$

其中, X 与 Y 是数值系统, 赋值可以是实数、复数、整数、某个给定组的元素等。复合网络 G_m 是综合节点网络与边缘网络特征的网

络, 定义为四元组 $\langle V, E, f, g \rangle$, 其中函数 f 与 G_n 中函数 f 定义相同, 函数 g 与 G_e 中函数 g 定义相同。

2.5 元数据建模

元数据模型由复合网络与特征分类树构建而成。定义复合网络中节点集合为 V , V 可以表示为节点集合 V_0, V_1, V_2 的并集且节点集合 V_0, V_1, V_2 两两互不相交。 v_0 为节点集合 V_0 的任意一点。 v_1 为节点集合 V_1 的任意一点。 v_2 为节点集合 V_2 的任意一点。 v_1^1, v_1^2 为节点集合 V_1 中任意两点。

$$V = V_0 \cup V_1 \cup V_2$$

$$V_0 \cap V_1 = \emptyset$$

$$V_0 \cap V_2 = \emptyset$$

$$V_1 \cap V_2 = \emptyset$$

$$v_0 \in V_0$$

$$v_1 \in V_1$$

$$v_2 \in V_2$$

v_0, v_1, v_2 满足以下表达式:

$$\forall v_0 (d^+(v_0) > 0, d^-(v_0) = 1) \tag{1}$$

$$\forall v_1 (\exists e (e \in E, e = \langle v_0, v_1 \rangle)) \tag{2}$$

$$\forall v_2 (d^+(v_2) = 0, d^-(v_2) > 0) \tag{3}$$

网络结构, 见图 2。图中节点 c 构成的集合为集合 V_0 , 节点 t 构成的集合为集合 V_1 , 节点 u 构成的集合为集合 V_2 。

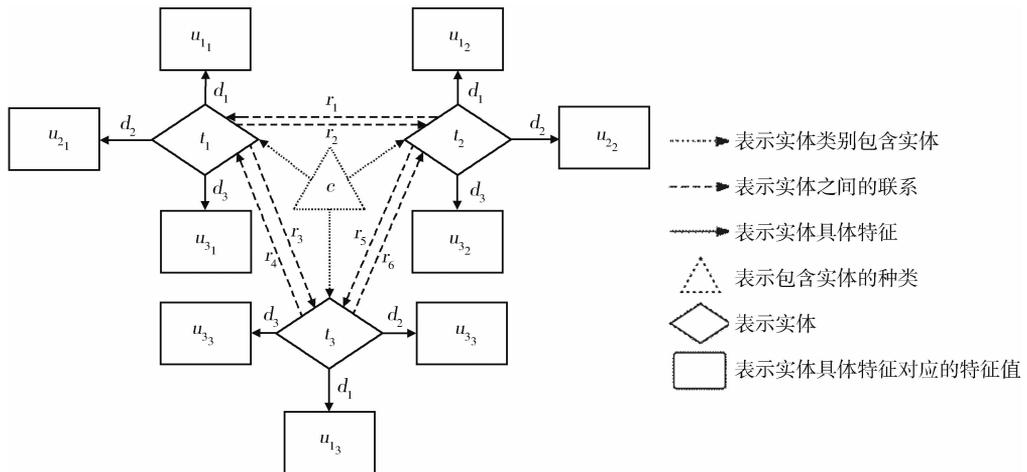


图 2 复合网络

定义函数 f, g :

$$f(v) : \begin{cases} f(v_0) = c \\ f(v_1) = t \\ f(v_2) = u \end{cases}$$

$$g(e) : \begin{cases} g(\langle v_0, v_1 \rangle) = Include \\ g(\langle v_1^1, v_1^2 \rangle) = r \\ g(\langle v_1, v_2 \rangle) = d \end{cases}$$

其中, 函数 d^+ 的输入为节点, 输出为节点的出度。函数 d^- 的输入为节点, 输出为节点的入度。 $Include$ 是一种包含关系, 表示某实体类别包含被描述的某一实体, 表示为 $c \xrightarrow{Include} t$, 是 1 个确定的常量^[21]。 $f(v_0) = c$ 表示满足有关节点 v_0 条件的节点表示的值为类别 c 。 $f(v_1) = t$ 即满足有关节点 v_1 条

件的节点表示的值为实体 t 。 $f(v_2) = u$ 即满足有关节点 v_2 条件的节点表示的值为具体特征值 u 。 $g(\langle v_0, v_1 \rangle) = Include$ 中 $\langle v_0, v_1 \rangle$ 表示由节点 v_0 指向节点 v_1 的有向边, 此有向边表示的值为 $Include$ 。 $g(\langle v_1^1, v_1^2 \rangle) = r$ 中 $\langle v_1^1, v_1^2 \rangle$ 表示由节点 v_1^1 指向节点 v_1^2 的有向边, 此有向边表示的值为联系 r 。 $g(\langle v_1, v_2 \rangle) = d$ 中 $\langle v_1, v_2 \rangle$ 表示由节点 v_1 指向节点 v_2 的有向边, 此有向边表示的值为具体特征 d 。

特征分类树作为提取信息的方法, 指导每个类别的实体进行特征描述。1 个类别对应 1 棵特征分类树。根据映射 Map_T , 每个类别 c 对应 1 组实体集合 T , 表示为图 2 “实体类别包含实体” 箭头的全集。根据映射 Map_R , 每个类别 c 对应 1 组联系集合

R ，表示为图 2 “实体之间的联系” 箭头的全集。根据映射 Map_S ，每个类别 c 对应 1 组具体特征集合 S 。表示为图 2 “实体具体特征” 箭头的全集。根据映射 Map_M ，每个类别 c 对应特征分类树中非叶节点的全集，在信息查询时调用。使用特征分类树进行实体查询的算法如下：

基于特征分类树的实体查询：使用深度优先遍历 DFS 搜索特征分类树 $ClassTree$ 直到叶子节点 $feature_i$ 为具体特征 d ，保留搜索过程的路径信息 P 。使用此路径信息在复合网络 $Network$ 中进行匹配，将匹配成功的实体加入结果实体集合 T_{Res} ，直到所有节点匹配完毕。

输入具体特征 d ，此特征的特征值 u

输出实体集合 T_{Res}

```

1 do
2     DFS( $ClassTree$ ) and update ( $P$ )
3      $i \leftarrow i + 1$ 
4 while  $feature_i$  not  $d$ 
5 for  $t_k$  in  $Network$ 
6     if Path( $c \leftrightarrow t_k$ ) =  $P$ 
7         Add  $t_k$  to  $T_{Res}$ 
8     end if
9      $k \leftarrow k + 1$ 
10 end for
11 return  $T_{Res}$ 
    
```

使用 $E_{ClassTree}$ 表示特征分类树边数， $V_{ClassTree}$ 表示特征分类树节点数， n 表示复合网络的实体数。使用上述算法对特征分类树进行深度优先遍历，最多需遍历特征分类树的所有节点。此过程时间复杂度为： $O(V_{ClassTree})$ 。在遍历过程中记录根节点到具体特征 d 的路径信息，最多需遍历特征分类树的全部有向边。此过程时间复杂度为： $O(E_{ClassTree})$ 。使用此路径信息对复合网络中的每个实体进行特征匹配，从中选取匹配成功的实体。此过程时间复杂度

为： $O(n)$ 。可计算此算法的时间复杂度（ α 表示常数）：

$$\begin{aligned}
 &O(V_{ClassTree}) + O(E_{ClassTree}) + O(n) = \\
 &O(V_{ClassTree} + E_{ClassTree} + n) \\
 &O(E_{ClassTree} + V_{ClassTree} + n) \Rightarrow O(n + \alpha)
 \end{aligned}$$

证明此模型可以使查询操作时间复杂度从 $O(n \log n)$ [2] 优化为 $O(n + \alpha)$ 。这将增大模型数据吞吐量，提升模型运行效率。特征分类树通过描述特征之间的关系，提供实体节点建立的基础。实体节点使用特征分类树叶子节点内容进行具体特征限定与表示，通过特征分类树辅助模型构建，减少冗余的中间特征，提升模型构建速度，之后特征分类树作为网络内嵌结构参与网络构建。在此基础上模型将节点网络与边缘网络整合成具有较强多源信息表述能力的复合网络，提升描述多源异构实体的性能，增强元数据模型在多领域融合方面的实用性。至此，本文使用复合网络作为框架、特征分类树作为提取信息的方法，建立一种可以导出描述多类别资源元数据的元数据模型。

3 实验分析

3.1 大型医疗仪器数据特征分类树构建

为了使医学工作者与患者能及时使用到有限的大型医疗仪器，提升大型医疗仪器使用率，本文使用“中国科技资源共享网” (<https://www.esi.cn>) 大型仪器数据中的大型医疗仪器数据作为实体对象进行实验。该数据集包含 13 945 个大型医疗仪器的名称、描述等信息，数据使用 json 格式存储。根据大型仪器相关标准信息可构建大型医疗仪器特征分类树，见图 3。图中红色框标注出的为各个 Feature of Class 节点内容，也就是大型医疗仪器的具体特征。没有标注的节点内容均为中间特征。

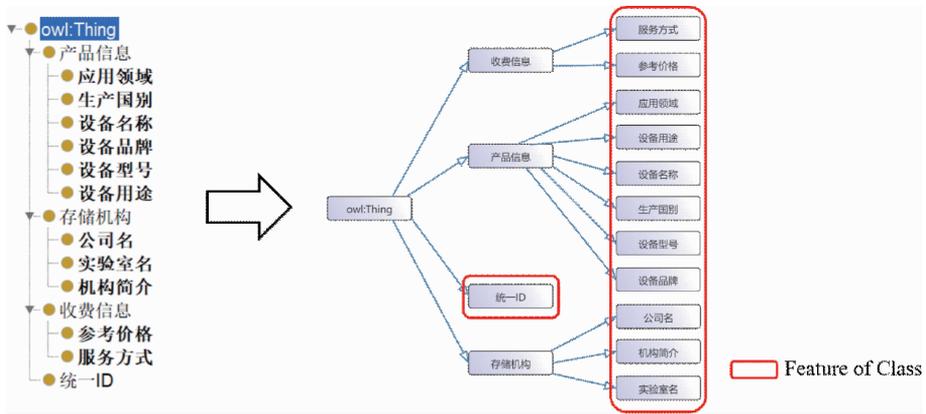


图3 大型医疗仪器数据特征分类树

3.2 大型医疗仪器数据复合网络构建

以图3所示的特征分类树构建此模型的复合网

络，复合网络的各个节点的组成与有向边的含义，见图4。为了表述清晰，图4简化了一部分具体特征，不影响本文结果。

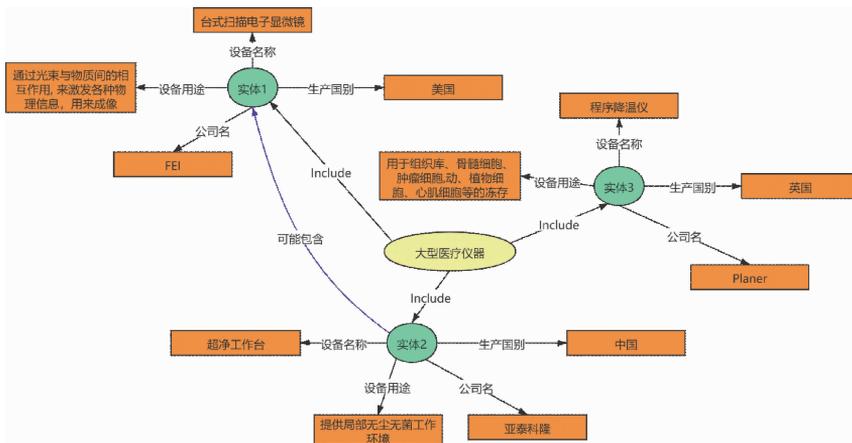


图4 大型医疗仪器数据复合网络

图4依据前文中的函数 $f(v)$ 与函数 $g(e)$ 构建而成。“大型医疗仪器”所在节点对应函数 $f(v_0) = c$ 中的节点 v_0 ，其对应的类别 c 为“大型医疗仪器”。“实体1”“实体2”“实体3”所在节点对应函数 $f(v_1) = t$ 中的节点 v_1 ，分别表示为 v_{11} 、 v_{12} 、 v_{13} 。 v_{12} 指向 v_{11} 的“可能包含”有向边表示“实体2可能包含实体1”。“超净工作台”“亚泰科隆”“中国”等所在矩形节点对应函数 $f(v_2) = u$ 中的节点 v_2 ，其对应的具体特征值 u 分别为“超净工作台”“亚泰科隆”“中国”等。“大型医疗仪器”所在节点指向 v_{11} 、 v_{12} 、 v_{13} 的有向边的函数对应 $g(<v_0, v_1>) = Include$ ，其值为 $Include$ 。 v_{11} 、 v_{12} 、 v_{13} 之间的有向边的函数对应 $g(<v_{11}^1, v_{11}^2>) = r$ ，其值

为“可能包含”。 v_{11} 、 v_{12} 、 v_{13} 指向“超净工作台”“亚泰科隆”“中国”等所在矩形节点的有向边的函数对应 $g(<v_1, v_2>) = d$ ，其值为“设备名称”“公司名”“生产国别”等。

3.3 元数据模型测试

使用13 945组大型医疗仪器数据，其中实体数量为13 945，实体间联系数量为63 486。构建上述模型，使用逐次插入法测试构建模型的速度。测试结果，见图5，可以得出模型构建时间小于9秒。构建结果显示，随着插入数据量不断增加，模型所需时间的增量呈现逐渐减小的趋势，见图6，证明了模型构建的高效性。

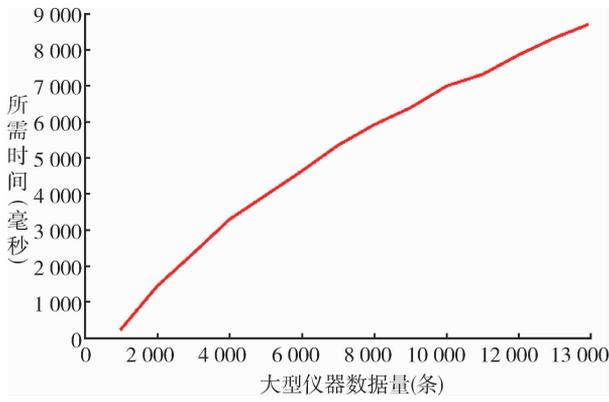


图5 构建实体数据量与所需时间关系

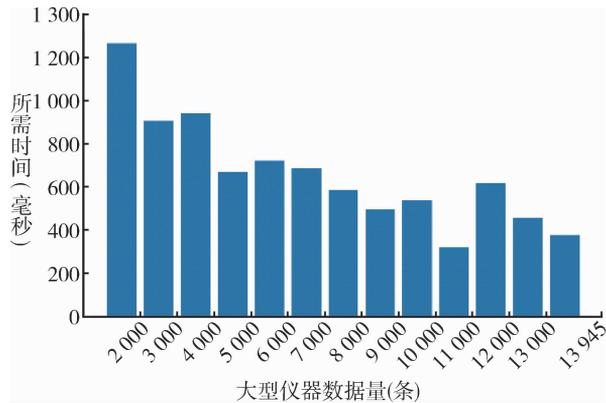


图6 构建实体数据量与所需时间增量关系

使用此模型运行大型医疗仪器实体查询程序(通过给定具体特征查询相应实体)。在给定实体具体特征符合 13 945 组数据中的 12 000 组的情况下, 查询速度随实体样本增加的关系曲线, 见图 7。可以观察到随着检测实体的增加, 所需时间呈线性增长趋势, 模型无崩溃现象。同时检测过程所需时间均小于 3 秒, 证明了模型信息查询的高效性。

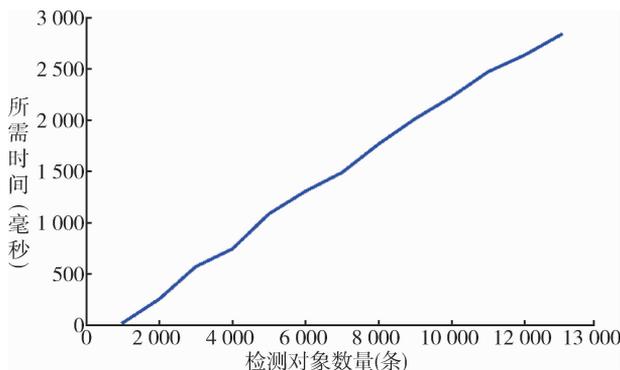


图7 检测数据量与所需时间关系

从上述结果来看, 此元数据模型可以对实体特征与实体之间的关系进行充分地描述。利用大型医疗仪器数据对此模型进行验证, 说明此模型在描述多领域数据方面表现优异, 能够很好地结合各个领域的不同侧重点对实体进行全方面描述。使用复合网络进行模型构建, 减少了网络冗余性, 充分利用网络信息种类丰富、信息传播交互性强的特性, 提升了模型的信息传递效果。在多领域数学模型的支持下, 元数据将有更强的性能与更广阔的发展空间。

4 结论

本研究提出一种能够描述复杂多领域数据的元数据模型, 构建基于特征分类树的特征分类模块并利用该模块构建基于节点网络与边缘网络的元数据复合网络。此模型通过复合网络进行实体管理, 可基于较大规模的真实数据集稳定高效地进行各类数据操作。该元数据模型相比传统元数据模型有以下优点: 一是使用特征分类树与复合网络以适应多源异构实体数据; 二是面对海量实体数据时, 模型构建性能表现良好; 三是能够同时进行模型构建与查询操作; 四是模型信息查询效率高, 且在高负载工作下保持稳定与高效。此模型能够充分满足现实场景需要, 为多领域数据平台的基础建设提供技术支持。同时本研究使用大型医疗仪器数据构建模型, 有助于医学工作者与患者及时使用到有限但可能闲置的大型医疗仪器。这一方面证明模型描述多领域数据能力, 另一方面展示模型有效性与实用性, 体现模型对结构化数据的高效处理能力, 充分体现出此元数据模型价值。在数据爆炸时代, 使用数学方法构建模型是解决实际问题的核心。本文提出的对元数据进行数学建模的方法是充分发挥元数据优势的基础, 这在元数据使用与改进方面具有重要意义。由于元数据模型研究才刚刚起步, 不同种类实体之间的相互关系描述有待丰富与完善。此模型需要清洗后的数据才能正常运行, 模型自动构建部分尚有一定局限性, 后续研究将考虑使用知识图谱与数据挖掘相关内容对模型进行完善。

参考文献

1 赵启阳, 张辉, 王志强. 科技资源元数据标准研究的现

- 状分析与新的视角 [J]. 标准科学, 2019 (3): 12-17.
- 2 涂勇, 龚雪媚, 赵辉. 科技资源管理标准体系的研究 [J]. 中国科技资源导刊, 2012 (6): 41-44.
 - 3 Ning H, Wang T. Constructing a Dataspace Based on Metadata and Ontology for Complicated Scientific Data Management [C]. Birmingham: 2nd International Conference on Pervasive Computing and Applications, 2007.
 - 4 ISO. Software Engineering - Metamodel for Development Methodologies [EB/OL]. [2020 - 12 - 29]. <https://www.iso.org/standard/38854.html>.
 - 5 吴劲松. 一种基于二叉树与多叉树搜索的 RFID 防碰撞算法研究 [J]. 电子设计工程, 2020, 28 (14): 59-62, 67.
 - 6 方晓东, 刘昌辉, 王丽亚, 等. 基于 BERT 的复合网络模型的中文文本分类 [J]. 武汉工程大学学报, 2020, 42 (6): 688-692.
 - 7 Wang J, Ling D, Liu W, et al. Research on Metadata System and Model of Military Logistics Information Resources [C]. 镇江: 中国智能自动化大会 (CIAC 2019), 2019.
 - 8 鲍丽山, 何金陵, 唐灏, 等. 适用于电网多元数据的通用事件驱动型数据模型 [J]. 电子技术与软件工程, 2018 (2): 182-185.
 - 9 翁子扬, 李卓然. 艺术品数字化元数据模型构建 [J]. 数字图书馆论坛, 2019 (6): 11-18.
 - 10 蔡梦玲. 基于 OAIS 的音视频数据库分层元数据模型 [J]. 图书馆杂志, 2019, 38 (1): 24-29, 35.
 - 11 马双涛, 刘凯, 牛晓聪. 基于区块链技术的装备元数据存储模型 [C]. 北京: 第六届中国指挥控制大会, 2018.
 - 12 Brisebois R, Abran A, Nadembega A. A Semantic Metadata Enrichment Software Ecosystem (SMESE) based on a Multi-platform Metadata Model for Digital Libraries [J]. Journal of Software Engineering and Applications, 2017, 10 (4): 370-405.
 - 13 Riddick A T, Heaven R, Royse K R, et al. A Model Metadata Schema for Environmental Hazard Models and Its Implementation in the PURE Portal [J]. Environmental Modelling and Software, 2020 (124): 1-15.
 - 14 万娜, 景海涛, 周琳. 智慧矿山空间数据元数据模型研究与应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41 (1): 40-45, 54.
 - 15 马万钟, 杨先建, 潘丹竹, 等. 人防战备物资元数据语义建模及其标准化研究 [J]. 标准科学, 2018 (5): 76-82.
 - 16 季文飞, 蒋同海, 王蒙, 等. 基于语义元数据的医养数据融合研究与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2020, 37 (5): 38-43.
 - 17 张光宇, 应时, 贾向阳, 等. 元数据驱动的多样化服务的混合编排方法 [J]. 计算机应用研究, 2018, 35 (3): 777-781.
 - 18 顾复, 刘杨圣彦, 顾新建. 科技资源描述模型和建立方法研究 [J]. 知识管理论坛, 2020, 5 (2): 69-81.
 - 19 Duranti L, Thibodeau K. The Concept of Record in Interactive, Experiential and Dynamic Environments: the View of InterPARES [J]. Archival Science, 2006, 6 (1): 13-68.
 - 20 薛寒星, 尤佳莉, 王劲林. 异构边缘网络中内容扩散策略及优化 [J]. 计算机与现代化, 2020 (1): 34-40, 89.
 - 21 王理, 张辉, 王馨, 等. 科技资源核心元数据标准建模研究 [J]. 标准科学, 2019 (3): 31-35.

(上接第 66 页)

- 3 国务院. 关于印发新一代人工智能发展规划的通知 [EB/OL]. [2020 - 07 - 20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- 4 王迪芬, 刘崑. 人工智能促进医疗大数据助力人民健康保障 [J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32 (10): 1155-1159.
- 5 贾光耀, 梁守沛. 医院公共卫生应急决策特色智库构建模式初探 [J]. 中华医学图书情报杂志, 2020, 29 (6): 49-54.
- 6 缪其浩. 组织决策中的“情报”与循证决策中的“证据” [J]. 科技情报研究, 2020, 2 (3): 1-12.
- 7 中国社会科学网. 国家高端智库管理办法 (试行) [EB/OL]. [2020 - 01 - 06]. http://www.cssn.cn/zk/zk_rdgz/201601/t20160106_2813876.shtml.
- 8 段永璇, 常文华. 医学信息采集的策略与方法 [J]. 中华医学图书情报杂志, 2016, 25 (9): 18-21.
- 9 任芳, 刘硕. 数据挖掘技术在医学信息中的广泛应用 [J]. 中国多媒体与网络教学学报 (下旬刊), 2019 (6): 9-10.
- 10 刘速. 智库化、智能化双驱动的公共图书馆决策信息服务——以天津图书馆为例 [J]. 图书馆学研究, 2020 (23): 47-52, 101.
- 11 孟晓宇, 王忠民. 医疗人工智能的发展与挑战 [J]. 中国数字医学, 2019, 14 (3): 15-17.
- 12 王若愚, 耿兆晖. 医学信息化进程及前景应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2018 (21): 203.
- 13 李翔云, 叶庆. 临床决策支持系统功能及其应用态势分析 [J]. 中国医院, 2020, 24 (10): 35-38.