

基于形式概念分析的空间信息表征模型研究

于少波, 吴玲达, 张喜涛

(航天工程大学复杂电子系统仿真实验室, 北京 101416)

摘 要: 通过论述空间信息及其表征的概念、内涵及发展现状, 结合形式概念分析的内容, 从空间信息形式背景、概念格和蕴含关系 3 方面建立了空间信息表征模型。以部分空间实体集和空间数据集作为输入, 基于 Concept Explorer 平台实现了该表征模型在空间信息网络中的具体应用, 通过该实例也验证了该空间信息表征模型的有效性和可行性。基于形式概念分析的空间信息表征模型旨在为空间信息网络基础理论和关键技术的研究提供信息表征方面的支撑。

关键词: 空间信息网络; 形式背景; 概念格; 信息表征; 模型

中图分类号: TP302

文献标识码: A

Research on space information representation model based on formal concept analysis

YU Shao-bo, WU Ling-da, ZHANG Xi-tao

(Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory, Space Engineering University, Beijing 101416, China)

Abstract: By discussing the concept, connotation and development situation of SI and its representation, and combining the content of FCA, the SIR model was established from there aspects including SI formal context, SI concept lattice and SI implication relation. Taking part of space entity sets and space data sets as input, the specific application of representation model on SIN was realized based on concept explorer platform, meanwhile, the effectiveness and feasibility of the SIR model was also validated by this example. Of course, the aim of the model was to provide information representation support for the basic theory and key technical research of SIN.

Key words: space information network, formal context, concept lattice, information representation, model

1 引言

空间信息网络 (SIN, space information network) 是从天基综合信息网、天基信息系统和空间信息系统等概念的基础上逐渐演变而来的一个概念^[1], 是指以空间平台为载体, 实时获取、传输和处理空间信息的网络系统^[2]。研究空间信息网络, 分析和掌握空间信息是前提和基础, 然而, 多维/多尺度空间信息的获取、处理、共享与应用服务的核心问题, 一方面涉及空间信息的特征提取与融合, 另一方面, 需要对空间信息的时空特性有着较深层次的精准表征。2013~2017 年, 由国家自然科学基金委员

会牵头, 连续开展的“空间信息网络基础理论与关键技术”重大研究项目中, 针对空间信息的稀疏表征和特征融合等科学问题, 来自武汉大学、清华大学、香港理工大学、西安电子科技大学、南京理工大学和中国科学院等院所的研究团队开展和进行了较为深入的研究, 也取得了可观的研究成果^[3]。

2 空间信息及其表征

关于空间信息的定义, 不同学者有着不同的认识和理解。有学者从地球科学角度认为表示各种地物位置、形状、性状、自然属性以及社会属性的信息都可以称为空间信息^[4], 同时, 他们认为空间信

收稿日期: 2017-09-07

基金项目: 装备预研基金资助项目 (No.614210010301)

Foundation Item: Equipment Named Research Funded Project (No.614210010301)

息可分为表象信息和潜在信息 2 种，与表象信息和潜在信息相对应，空间信息包含空间数据和属性数据 2 种类型。也有学者认为空间信息是指物体的位置、形状和大小等方面的特征^[5]，它是信息的一部分，具有二重性：1)空间信息本身就是一种与一般信息一样独立的信息，它表示一种地理信息位置，这是空间信息的独立性；2)空间信息也是一般信息的属性之一，即信息的空间属性，这是空间信息的从属性。

在军事视角下，对于空间信息网络中的空间信息而言，空间信息可以从 2 个角度来理解：1)平台在空间，即基于空间平台所获取的空间信息；2)目标在空间，即针对在空间中运行的诸如卫星、平流层气球、有/无人飞机、导弹等目标所获取的空间信息。

随着信息化技术在军事领域的大量应用，空间实体在性能和功能上有着不间断的升级和改进，从而使获取到的空间信息出现了数据量越来越大、数据结构越来越复杂和价值密度越来越低等的大数据特征，且由于不同传感器获得的空间信息的特征不同、分辨率不同和数据结构不同，这为空间信息的统一表征带来了很大的挑战。空间数据是空间信息的载体，而空间信息是对空间实体特征的反映，在反映空间实体的信息进入人脑之后产生痕迹，就形成了知识^[6]。空间数据作为一种可以记录、通信和识别的符号，它通过有意义的组合来表达空间实体的特征，由此可见，人类对于空间信息的获取、感知、加工、分析和综合，很大程度上要依赖于不同类型的空间数据。携带空间信息的空间数据不仅仅是指数字等结构化空间数据，也包括栅格（grid）格式的图像、矢量（vector）格式的图形、地图和照片等非结构化的空间数据。

信息表征（IR, information representation）是近些年逐渐引起注意的一个概念，但还处于初级发展阶段，其概念还比较模糊，并没有统一和较权威的定义。在国内，曹锦丹等^[10]和王瑞明等^[11]都分析了不同领域的信息表征方式，并没有对信息表征的概念给出一个统一论述。彭春华等^[12]中将时间信息表征定义为外部世界中的物理时间在心理上的一致反映，是人的大脑对时间信息的存储、加工和表达方式。朱钊^[13]通过分析信息、知识和表征的概念，根据主体所反映客观事物的不同，将表征分为信息表征和知识表征 2 类，其中，认为知识表征是指知

识在个体心理活动的表达方式，认为信息表征是指人的大脑对信息的存储、加工和表达方式，信息表征与知识表征的关系如同信息和知识一样，二者相互关联，信息表征的结果是知识的获取，而知识表征是信息表征的再表征。郝红艳^[11]将信息表征的方式定义为信息表达的一种方式。

在国外，Carlos 等^[15]针对大语料索引信息，基于指纹建立了信息表征模型，信息检索系统中的信息表征和检索是一项较为复杂的工作，而基于形式概念分析理论建立信息表征模型，可以借助其形式化特征，缩短检索时间，提高检索效率。Peuquent^[16]针对空间—时间信息提出了多表征模型，通过综合集成映射到新一代地理空间样本的方法，建立了多表征模型。

综合上述研究成果，本文认为空间信息表征（SIR, space information representation）是指人的大脑对空间信息的存储、加工和表达的一种方式。因此，本文后续的研究都是基于该定义而展开。

3 空间信息表征模型

20 世纪 80 年代，基于对概念哲学思想的理解和拓展，德国数学家 Wille 提出了形式概念分析（FCA, formal concept analysis）理论^[17]，又称概念格理论（theory of concept lattices），它是在序理论的基础上发展成的一个格理论应用的分支。形式概念分析的两大基本内容是形式背景和形式概念，其基本的数据结构是概念格，其基本实现流程可归纳为：建立形式背景→构造概念格→分析蕴含属性，从形式背景中建立基于二元关系的概念格，形成概念层次结构，用于描述了对象和属性之间的映射关系，从而体现概念之间的泛化与例化关系，可用哈斯（Hasse）图对其进行可视化表示^[18]。为了分析和挖掘数据之间的关系，还可以对数据之间的蕴含关系进行分析，从而实现形式概念分析。

在国内，早在 1995 年就有学者开始了对概念格的关注，经过近 20 余年的发展，形式概念分析广泛应用于本体研究、知识工程、数据挖掘、信息检索、软件工程等领域^[19]。特别是在包含知识获取，知识发现和知识表示的知识工程中，近些年来自包括吉林大学、山西大学等在内的许多研究团队有着较多的研究成果^[20-22]。

前文已有叙述，空间数据是空间信息的载体，研究空间信息表征模型，其直接涉及的便是空间数

据, 本文引入形式概念分析理论, 通过建立空间信息形式背景、构建空间信息概念格和进行空间信息蕴含关系分析, 从而实现表征空间信息的目的, 下面分别进行论述。

3.1 建立空间信息形式背景

结合文献[23]一书中的论述, 下面给出形式概念分析理论的相关定义, 在具体使用中, 结合空间信息的特点, 在表现形式上会有所改动。

定义 1 现有空间实体集 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}$; 空间数据集 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, 其中, m 为空间实体的个数; n 为空间数据的数目。用空间数据描述空间实体, 这种映射关系可以表示为一个三元组 $K := (O, P, H)$, 称为形式背景。其中, 该三元组是由集合 O 和集合 P 以及 O 与 P 之间的关系 H 组成, 其中, O 是用来表示形式对象 (object) 集合, P 表示形式属性 (attribute) 集合。 H 表示对象与属性之间的关系——描述为 $(O, P) \in H$ 或 oHp , 表示对象 O 中具有属性 P 。此外, H 还被称为是背景与概念的关联关系。

定义 2 定义 2 个映射关系分别为 s 和 t , 对于空间实体子集 $\forall U \subseteq O$, 即 U 是 O 的子集, 定义描述空间实体集 U 所需空间数据的集合 $s(U) := \{p \in P \mid \forall o \in U, oHp\}$, 表示对于任意 $o \in U$ 且 oHp , 都有 $p \in P$; 同样地, 对于空间实体子集 $\forall V \subseteq P$, 即 V 是 P 的子集, 定义描述空间实体集 V 所需空间数据的集合 $t(V) := \{o \in O \mid \forall p \in V, oHp\}$, 表示对于任意 $p \in V$ 且 oHp , 都有 $o \in U$ 。

定义 3 在以空间数据描述空间实体的形式背景 $K := (O, P, H)$ 上, 一个形式概念 (U, V) 满足 $s(U) = V$ 且 $t(V) = U$, 其中, $U \subseteq O$ 且 $V \subseteq P$, 则称 U 是形式概念 (U, V) 的外延 (extent), 记为 $Ext(U, V)$; V 是形式概念的内涵 (intent), 记为 $Int(U, V)$, $\Phi(O, P, H)$ 表示 K 上所有的形式概念集合。

在形式背景 $K := (O, P, H)$ 中, 设 $U, U_1, U_2 \subseteq O$ 是对象的集合, $V, V_1, V_2 \subseteq P$ 是属性的集合, 则具有以下 4 条性质。

$$U_1 \subseteq U_2 \rightarrow s(U_2) \subseteq s(U_1)$$

$$V_1 \subseteq V_2 \rightarrow t(V_2) \subseteq t(V_1)$$

$$U \subseteq t(s(U)), V \subseteq s(t(V))$$

$$s(U) = s(t(s(U))), t(V) = t(s(t(V)))$$

$$U \subseteq t(V) \Leftrightarrow V \subseteq s(U) \Leftrightarrow U \times V \subseteq H$$

概念 (U, V) 描述了一组空间实体子集 U 及其

公共的空间数据子集 V , U 是需要空间数据子集 V 参与描述的最大的空间实体的集合, V 是空间实体子集 U 所有对象共同需要的空间数据的集合。

根据上述定义, 结合形式背景和形式概念的内涵, 可以建立空间信息数据简称空间数据 (SID, space information data,) 描述空间实体 (SE, space entity) 的形式背景。空间数据所对应的便是形式属性, 空间实体对应的便是形式对象, 形式背景的实质是通过形式属性参与形式对象的描述。对应于空间信息, 即通过空间数据进行描述空间实体。为此, 构建空间数据支持空间实体描述的形式背景 K_1 , 其中, $SID_1 \sim SID_5$ 表示空间数据, $SE_1 \sim SE_5$ 表示空间实体, “ \times ”表示建立 SID_i 与 SE_j 之间的描述关系, 如表 1 所示。

空间实体	SID_1	SID_2	SID_3	SID_4	SID_5
SE_1	\times	\times			\times
SE_2	\times		\times		
SE_3		\times			\times
SE_4				\times	\times
SE_5				\times	

在表 1 的形式背景 K_1 中, 当 $U = \{SE_1, SE_2\}$ 时, $s(U) = \{SID_1\}$, 表示描述空间实体 SE_1 和 SE_2 时需要的共同空间数据是 SID_1 ; 当 $V = \{SID_1, SID_3\}$ 时, $t(V) = \{SE_2\}$, 表示同时需要空间数据 SID_1 和 SID_3 来描述的空间实体 SE_2 。同理, 在表 1 的形式背景 K_1 中, 对于由 $U = \{SE_1\}$, $V = \{SID_1, SID_3\}$ 组成的一个形式概念 $\{SE_1, SID_1, SID_3\}$, 其外延 $Ext(SE_1, SID_1, SID_3)$ 为 $\{SE_1\}$, 其内涵 $Int(SE_1, SID_1, SID_3)$ 为 $\{SID_1, SID_3\}$ 。

3.2 构建空间信息概念格

概念格的一大的特点就是形式化, 通过 Hasse 图对概念格进行图形化表示, 便于数据分析。结合图论和网络的思想, 形式概念用图中的节点表示, 形式概念间存在着的泛化——特化关系用节点间的连线表示。概念格的所有形式概念中, 有一个最小的亚概念, 称作“0”元概念; 也有一个最大的超概念, 称作“1”元概念。空间信息概念格中的概念体现了空间数据参与描述空间实体的情况, 概念间的偏序关系体现了所有空间数据与空间实体的映射关系之间的关联。为此, 进行如下定义, 从而给出概念格 Hasse 图。

定义 4 设 (U_1, V_1) 和 (U_2, V_2) 是形式背景 $K := (O, P, H)$ 的 2 个形式概念, 满足 $U_1 \subseteq U_2$ 且 $V_2 \subseteq V_1$, 则称 (U_2, V_2) 是 (U_1, V_1) 的超概念, 称 (U_1, V_1) 是 (U_2, V_2) 的亚概念, 记作 $(U_1, V_1) \leq (U_2, V_2)$, 如果 $(U_1, V_1) \leq (U_2, V_2)$ 且不存在 (U_3, V_3) , 使 $(U_1, V_1) \leq (U_2, V_2) \leq (U_3, V_3)$, 则称概念 (U_1, V_1) 是概念 (U_2, V_2) 的子概念, 概念 (U_2, V_2) 是概念 (U_1, V_1) 的父概念, 其中, 关系 “ \leq ” 称为概念的 “层次序”, 通过这种偏序关系, 得到一个有序集 (K, \leq) , 称为形式背景 K 的概念格。

在定义 4 的基础上, 结合表 1 中的形式背景 K_1 , 将空间数据 (形式对象) 与空间实体 (形式属性) 通过形式化的方式将概念之间的结构关系清晰地表现出来, 即构建概念格的 Hasse 图, 如图 1 所示。图 1 左边节点的上半部分为空时表示该节点没有增加新的空间数据, 如节点 $\{SE_1\}$ 、 $\{SE_4\}$; 节点的上半部分不为空时表示该节点有新增加的空间数据, 节点的下半部分不为空时表示该概念是原本就存在的, 如节点 $\{SE_3, SID_2\}$ 、 $\{SE_2, SID_3\}$ 、 $\{SE_4, SID_5\}$; 节点的下半部分为空时表示该概念是新产生的概念, 如节点 $\{SID_1\}$ 、 $\{SID_5\}$ 。特别需要注意的是, 除了原有的形式概念外, 同时产生了新的概念, 也即包括 “1” 元概念和 “0” 元概念, 分别如图 1 中的上、下空白节点, 对应的节点表示为, “1” 元概念 $(\{SE_1, SE_2, SE_3, SE_4, SE_5\}, \phi)$ 和 “0” 元概念 $(\phi, \{SID_1, SID_2, SID_3, SID_4, SID_5\})$ 。

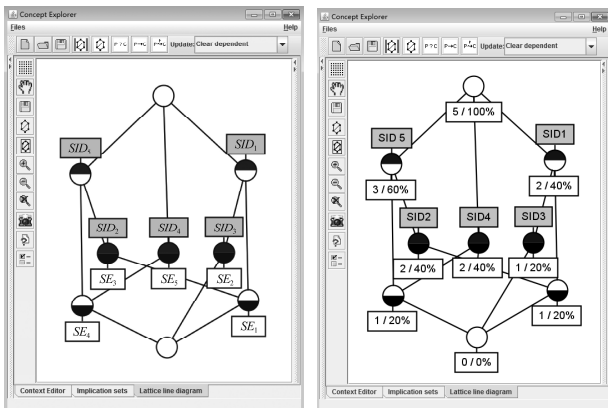


图 1 空间信息概念格的 Hasse 图

相比于图 1 的左边, 在图 1 的右边增加了多个标签, 用了展示对应节点的空间数据 (形式属性) 的条目数。如新生成的 “1” 元概念对应的节点包含了形式背景中的所有空间数据, 所以其数值为 5/100%, 而 “0” 元概念对应的节点包含了形式背

景中的所有空间数据为条, 所以其数值为 0/0%。

3.3 分析空间信息蕴含关系

形式概念分析其最初被提出主要用于数据分析, 所以在已构建的形式背景和概念格的基础上, 进行空间数据之间关系的分析是进行空间信息表征的关键所在, 为此, 首先给出定义 5。

定义 5 在形式背景 $K := (O, P, H)$ 中, 现有空间数据集 $V_1, V_2 \subseteq P$, 用 $V_1 \Rightarrow V_2$ 表示 “每个需要空间数据集 V_1 来描述的空间实体就一定也需要空间数据集 V_2 ”, 称这种断言为空间数据蕴含。蕴含 $V_1 \Rightarrow V_2$ 在形式背景 $K := (O, P, H)$ 上成立, 当且仅当 $V_2 \subseteq V_1$, 而且 $V_1 \subseteq T \Rightarrow V_2 \subseteq T$ 自动地对 $K := (O, P, H)$ 的所有内涵 $T \subseteq P$ 都成立, 这时也称在形式背景 $K := (O, P, H)$ 上 V_1 是 V_2 的前提。

基于图 1 的形式背景 K_1 , 为了分析空间实体蕴含关系, 生成其蕴含集, 在图 2 中, 其数据格式为: 序号 <蕴含涉及的空间实体个数> 前提空间数据集 \rightarrow 结论空间数据集, 通过分析空间实体属性蕴含, 可以验证所构造概念格的正确性。在表 1 的形式背景中 K_1 , 空间数据 SID_2 是 SID_5 的前提, 即当某一空间实体需要空间数据 SID_2 来描述时也一定需要实体数据 SID_5 , 能支持这一断言的装备有 2 个; 当蕴含涉及的空间实体个数为 0 时, 表示形式背景中没有空间实体可支持这一蕴含, 如图 2 中第 4 行所示。

在本节中, 按照建立空间信息形式背景 \rightarrow 构造空间信息概念格 \rightarrow 分析空间信息蕴含关系的顺序建立了空间信息表征的概念格模型, 且基于该模型可以进行空间信息蕴含关系的分析, 从而实现了有效的信息表征的同时, 发挥辅助进行空间信息处理的作用。

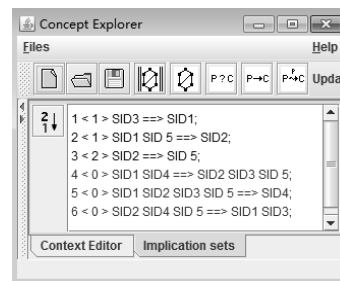


图 2 形式背景中空间实体蕴含集

4 表征模型在空间信息网络中的应用

空间信息网络中所包含的空间数据量庞大、数据结构复杂、数量种类繁多, 既包括组成空间信息网络各空间实体本身的数据, 也包含空间信息网络

在正常运行时，所收集到的多源、异构的空间数据。为了验证本文提出的基于形式概念分析的空间信息表征模型的有效性和可行性，本节筛选部分空间实体和空间数据作为输入，进行表征模型的案例验证。本例中的空间数据来源于课题组前期自建的包含了上万条记录的空间数据库，精选其中的部分作为本案例的输入，涉及遥感卫星、无人侦察机等多种类型的空间实体。

需要说明的是，为了简化工作量，同时达到说明问题的目的，本文主要筛选数值型的结构化数据，对于非结构数据，因涉及数据融合等一些前期工作，不是本文的研究重点。下面从数据预处理、形式背景的建立、概念格的构建和蕴含分析 4 个方面进行表征模型在空间信息网络中应用的具体展示。

1) 空间实体集的筛选与空间数据的预处理

前文已有叙述，空间信息的动态性、不确定性，以及空间数据的多源性、异构性为空间数据的存储带来了诸多不便。对空间实体集进行筛选和数据预处理，本文选择卫星和无人机为例验证该模型的有效性和可行性。通过对空间实体集的筛选和对空间数据的预处理得到了部分空间实体集 O 和空间数据集 P ，如下所示。

空间实体集 $O = \{ \text{卫星 Landsat-1; 卫星 Landsat-2; 卫星 Landsat-3; 卫星 Landsat-4; 卫星 Landsat-5; 卫星 Landsat-6; 卫星 Landsat-7; 近距离 UAV; 微型 UAV; 小型 UAV; 定翼型 UAV; 旋翼型 UAV} \}$ 。

空间数据集 $P = \{ \text{是否现役; TM 波段; RBV 波段; 轨道 1; 轨道 2; MSS 波段; 长航程; 短航程; 定点停泊拍摄; 高分辨率取像; 停旋功能; 燃料供能; 电池供能; 空中侦察作用; 信号传输作用; 武器攻击作用; 任务中继作用} \}$ 。

器攻击作用；任务中继作用}。

2) 空间实体形式背景的建立

将上节的空间数据信息作为输入，从而建立空间数据进行描述空间实体的形式背景。基于 Concept Explorer 平台，建立空间数据集与空间实体集的形式背景，从而反映它们之间的映射关系，如图 3 所示，纵向列表示空间实体集 O ，横向行表示空间数据集 P ，符号“×”表示可以建立空间数据 P 和空间实体 O 的描述。根据对空间数据的预处理和空间实体的筛选，选择了 12 个空间实体，筛选了 17 条空间数据，从而构建了上述形式背景。

3) 空间数据概念格的构建

在图 3 的基础上，为了以可视化的方法表示空间实体集 O 与空间数据集 P 之间的关系，实现了空间数据参与描述空间实体的情况，可以建立空间数据集 P 与空间实体集 O 的 Hasse 图，如图 4 所示。

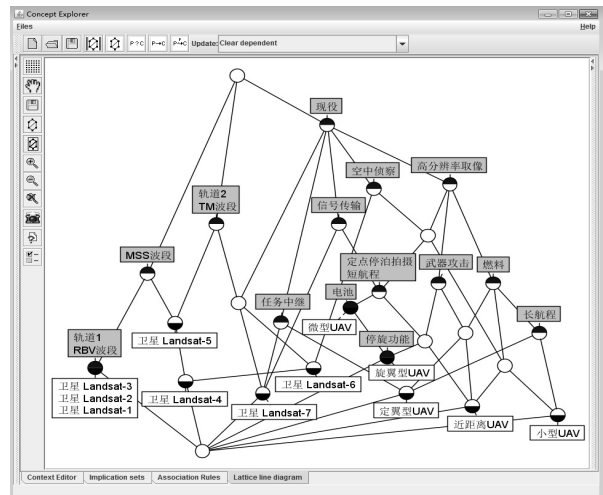


图 4 实例中空间信息概念格的 Hasse 图

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
卫星 Landsat-1																		
卫星 Landsat-2																		
卫星 Landsat-3																		
卫星 Landsat-4																		
卫星 Landsat-5																		
卫星 Landsat-6																		
卫星 Landsat-7																		
近距离UAV																		
微型UAV																		
小型UAV																		
定翼型UAV																		
旋翼型UAV																		

图 3 实例中空间信息形式背景

如图 4 所示，共生成了 28 个节点，其中，概念本身存在而没有增加新的空间数据的节点数为 7 个，概念本身存在而新增加的空间数据节点数为 3 个，产生了新的概念数为 18 个，而产生的“1”元和“0”元概念，也即空白节点数为 7 个。

4) 空间数据集属性蕴含的分析

为了分析空间实体集的蕴含关系，在图 3 的基础上生成了的蕴含关系图。如图 5 所示，结合属性蕴含的数据结构可知，在本例的空间实体 O 中，空间实体卫星系列和无人机系列的“现役”是其执行各项任务的前提和基础，所以在上述蕴含关系中，现役便是空中侦察（第 1 条），高分辨率取像（第 2 条），信号传输（第 5 条），武器攻击（第 13 条），任务中继（第 17 条）等作用的前提和基础。结合图 5 中第 1、2、5、13 和 17 条可知，分别有 6、5、4、3、2 条涉及的空间实体数是符合这个现象的。上述结果与空间数据集 P 作为输入描述空间实体的情况相匹配，也验证了该表征模型的正确性。

5) 方法对比分析

上文中曾提到，关于信息表征的研究，虽然还处于不断的发展阶段，但截止到目前已存在一些成型方法，为了凸显本文研究内容与其他方法的异同，本文选择了 3 种较为典型的方法与本文提出的方法进行对比分析，一方面可以查找本文的不足，另一方面有助于相关研究人员更加清晰的了解本文提出的方法，如表 2 所示。

从核心思想和特点 2 个方面对 4 种方法进行简要分析，相比之下，方法 1 是最早出现的方法，也

是发展最成熟的方法，然而该方法仅适合单一的文字信息，已经不适合当前的趋势和潮流；超文本是文字文本从静态走向动态的新形态，超文本用链接方式将离散的信息单元连接起来表征信息，该方法虽然能够实现异构信息的标准，但是具体操作起来流程复杂，与用户的交互性差，也是必将被淘汰的方法；有专家指出，人类获得的 75% 的信息是通过视觉系统完成的，而方法 3 即本文方法能够通过形式化的手段直观地表征对象信息，从而提高了对信息表征的效率，同时，FCA 方法具有层级性和交叉连接的特征，不仅反映所表征对象的系统性和完整性，而且可以呈现不同表征对象的内在关系，达到进一步分析的目的；方法 4 是对未来表征方法发展趋势的一个预测，该方法能够应对多数据来源，结构异构的数据，同时，能够基于 FCA 方法形式化的优势，最终实现高效、完整、便利、交互的信息表征。

表 2 方法对比分析

方法	方法名称	核心思想	特点
方法 1	文本表征法	线性组织的文字表示	最成熟
方法 2	超文本表征法	非线性结构的信息表示	最全
方法 3	FCA 表征法	形式化的网络结构表示	最直观
方法 4	综合表征法	融合异构、多元综合表示	发展趋势

5 结束语

本文通过对空间信息及其表征的概念、内涵及发展现状的论述，结合形式概念分析的概念及内容，从

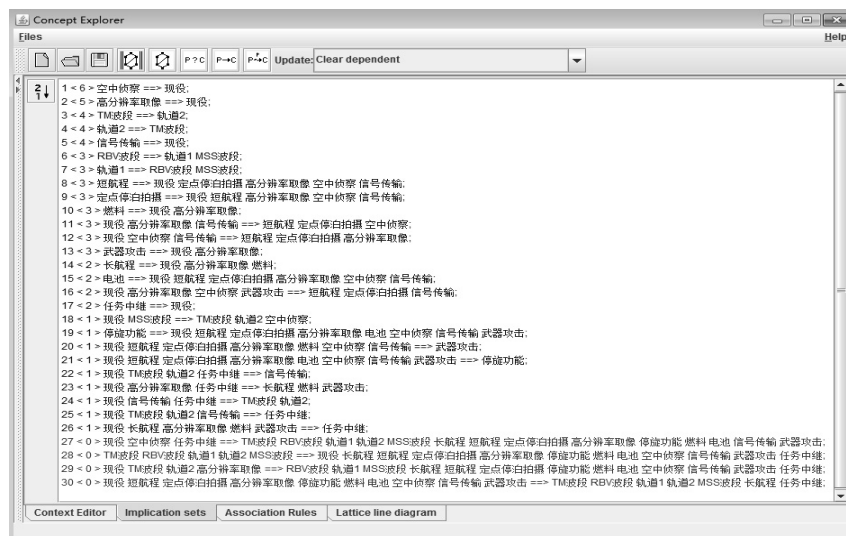


图 5 实例中空间信息蕴含分析

空间信息形式背景、空间信息概念格和空间信息蕴含关系 3 个方面建立了空间信息表征模型。筛选部分空间实体集和空间数据集作为输入, 基于 Concept Explorer 平台实现了该表征模型在空间信息网络中的具体应用, 通过该实例也验证了该空间信息表征模型的有效性和可行性。形式概念分析理论的逐渐发展及其广泛应用为空间信息表征提供一种形式化的思路, 本文探索性地提出一种基于形式概念分析的空间信息表征模型, 旨在为空间信息的统一表征探索一条新的路子, 以期更好地服务于空间信息处理的相关研究和空间信息网络的建设和发展。

然而, 本文表征模型只是对形式化表征空间信息的初步探索, 该模型还存在以下 3 点不足, 需要在今后的研究中重点进行研究, 具体包括以下 3 点。

1) 在实例验证中, 并未涉及非结构化信息数据, 对于空间信息而言, 图像、图形信息的统一表征是重要组成部分, 所以需要在该模型的基础上对该部分内容进行重点探索和拓展。

2) 概念格是将空间信息集和空间数据集抽象为节点和边进行描述, 当涉及大量的空间信息时, 相应的节点和边的数量会增加, 如何确保概念格的可读性和交互性, 需要引起高度重视。

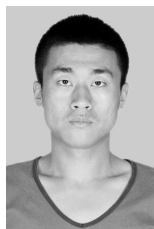
3) 在本文构建的表征模型的基础上, 一种涵盖各类空间信息的、具有高可读性和交互性的空间信息表征方法需要在今后的研究中加以实现。

参考文献:

- [1] 熊伟, 刘德生, 简平, 等. 空间信息系统建模仿真与评估技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 2-4.
XIONG W, LIU D S, JIAN P, et al. Spatial information system modeling and simulation technology assessment[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016: 2-4.
- [2] 周建国. 基于 DTN 的空间综合信息网络关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013.
ZHOU J G. Research on the key technology of space synthesis information network based on DTN[D]. Wuhan: Wuhan University, 2013.
- [3] 董飞鸿. 空间信息网络结构优化设计与研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2016.
DONG F H. Optimal design and research of space information network structure[D]. Nanjing: PLA University of Science and Technology, 2016.
- [4] 赵忠明, 周天颖, 严泰来, 等. 空间信息技术原理及其应用(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 237-263.
ZHAO Z M, ZHOU T Y, YAN T L, et al. Principles and application of space information technology (volume one)[M]. Beijing: Science Press, 2013: 237-263.
- [5] 陈向宁. 空间信息的认识与处理[M]. 北京: 知识产权出版社, 2005: 21-23.
CHEN X N. Recognition and treatment of space information[M]. Beijing: Intellectual Property Right Press, 2005: 21-23.
- [6] 张登银, 刘升升. 基于 Mesh 的空间信息网络体系结构研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 69-73.
ZHANG D Y, LIU S S. Research on Mesh-based architecture for space information network[J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(8): 69-73.
- [7] MUKHERJEE J, RAMAMURTHY B. Communication technologies and architectures for space network and interplanetary Internet[J]. IEEE communication Surveys & Tutorials, 2013, 15(2): 881-897.
- [8] ZHANG W, ZHANG G, GOU L, et al. Delay minimization topology control in planetary surface network: an autonomous systems approach[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2015, 5: 1-13.
- [9] 钟义信. 论“信息—知识—智能转换规律”[J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(1): 1-8.
ZHONG Y X. On the laws of information-knowledge-intelligence transforms[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007, 30(1): 1-8.
- [10] 曹锦丹, 齐艳丽, 刘春艳. 网络空间信息表征与用户认知的交互作用机制[J]. 图书情报工作, 2005, 49(8): 19-22.
CAO J D, QI Y L, LIU C Y. Interaction mechanism between information representation and user cognition in web space[J]. Library and information service, 2005, 49(8): 19-22.
- [11] 王瑞明, 莫雷, 伍丽梅, 等. 空间信息表征对语义相关判断的影响[J]. 心理科学, 2006, 29(6): 1320-1323.
WANG R M, MO L, WU L M, et al. The influence of spatial information on semantic relatedness judgment[J]. Psychological Science, 2006, 29(6): 1320-1323.
- [12] 彭春华, 张志杰. 时间信息表征方式研究概述[J]. 河北师范大学学报·教育科学版, 2008, 10(5): 82-85.
PENG C H, ZHANG Z J. An overview of the research on the representation of time information[J]. Journal of Hebei University · Educational Science Edition, 2008, 10(5): 82-85.
- [13] 朱钊. 信息表征的内涵、方式及特征[J]. 晋图学报, 2009, 4: 69-71.
ZHU C. Information representation: connotation, pattern and characteristic[J]. Shanxi Library Journal, 2009, 4: 69-71.
- [14] 郝红艳. 不同信息表征方式对大学生诚信态度的影响——诚信教育方法的探索[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
HAO H Y. The influence of different information representation for the honesty of college students—the exploration of honesty education method[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009.
- [15] CARLOS B P, DARNES V A, MARIO R L. Information representation model based on fingerprints for indexing large corpus[J]. Journal of Communications and Information Sciences, 2012, 2(1): 85-94.
- [16] PEUQUENT D J. The multi-representation of space-time information[J]. 2008.
- [17] 曲开社, 翟若慧. 偏序集、包含度与形式概念分析[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 220-226.
QU K S, ZHAI R H. Posets, inclusion degree theory and FAC[J]. Chinese Journal of computer, 2006, 29(2): 220-226.

- [18] 饶磊. 海量异构装备数据的建模与存储研究[D]. 北京: 解放军装备学院, 2014.
RAO L. Research on modeling and storage of massive equipment data[D]. Beijing: Equipment Academy, 2014.
- [19] 毕强, 腾广青. 国内外形式概念分析与概念格理论应用研究的前沿进展及热点分析[J]. 现代图书情报技术, 2010, 11: 17-23.
BI Q, TEN G Q. Analysis of the progress and hotspots in applied research of FAC and concept lattice theory abroad[J]. New Technology of Library and Information Service, 2010, 11: 17-23.
- [20] 张云中. 基于形式概念分析的 Folksonomy 知识发现研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
ZHANG Y Z. Research on folksonomy knowledge discovery based on formal concept analysis[D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [21] 康向平. 基于形式概念分析理论的知识获取模型研究[D]. 太原: 山西大学, 2012.
KANG X P. Research on knowledge acquisition model based on formal concept analysis[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2012.
- [22] 李想. 基于形式概念分析的知识扩展与应用研究[D]. 太原: 山西大学, 2014.
LI X. Research on knowledge extension and application based on formal concept analysis[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2014.
- [23] GANTER B, WILLE R. Formal concept analysis: mathematical Foundation[M]. New York: Springer-Verlag, 1999.

作者简介:



于少波 (1990-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 航天工程大学博士生, 主要研究方向为空间信息网络动态拓扑演化及可视化。



吴玲达 (1962-), 女, 上海人, 博士, 航天工程大学研究员、博士生导师, 主要研究方向多媒体信息系统与虚拟现实技术、网络可视化。



张喜涛 (1989-), 男, 河南平顶山人, 航天工程大学博士生, 主要研究方向为空间信息网络的多元特性及可视分析。