

文章编号: 1007-4619(2005)05-0583-06

基于地理认知的 GIS 数据元模型研究

邬 伦¹, 王晓明¹, 高 勇¹, 刘 瑜¹, 史文中²

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 香港理工大学土地测量与地理资讯学系)

摘 要: 将 GIS 相关认知活动分为类型分层、实体分层和地理实体的具体描述, 并在此基础上对 GIS 数据元模型的结构进行描述。该数据元模型可以较好的实现地理数据不同层次的语义表达及数据间一定程度语义关系的表达, 并有利于不同尺度地理分析和决策所需相关地理信息的高效提取。

关键词: 地理认知; 数据元模型; 地理信息系统

中图分类号: P208 **文献标识码:** A

1 引 言

地理信息作为一种决策和分析的重要信息广泛存在于各个行业和领域之中, 地理信息系统 (Geographic information system, GIS) 作为一个对地理信息进行收集、组织、管理和分析的技术和决策支持系统在各个行业和领域中发挥了重要的作用^[1]。但一直以来, 大多数 GIS 的数据模型及其组织都是面向地图而不是客观存在的空间实体及其关系^[2], 表达的是人类对地图的认知, 而不是对真实地理世界的认知, 导致地理数据难以被常识理解和接受。随着 GIS 的不断发展, 这种局限性带来的各种问题越来越突出, 极大限制了地理信息和地理信息系统应用的深度和广度。

为了克服传统 GIS 的不足, 新一代 GIS 必然要求其数据模型和组织直接面向真实地理世界, 大量的学者在这方面作了研究和探讨。为克服传统 GIS 语义表达方面的不足, 基于地理要素 (Geographic feature)^[3,4]、基于本体 (Ontology)^[5]、基于地理事实功能和用途异同^[6]的地理分类方法被提出, 并作为 GIS 构造语义模型及语义表达和共享的基础。为克服传统 GIS 专题分层数据组织的不足^[2], 各种基于实体分层^[7-10]的方法被提出, 其中比较有代表性的有两个: 基于实体间整体一部分 (Part-whole) 关系的实体分层^[9]和基于实体间空间包含 (Place holder)

关系^[10]的实体分层。

上述研究都力图实现 GIS 的数据模型和组织由面向地图到面向真实地理世界的转变, 其差异在于, 不同学者对真实地理世界研究角度和认识的不同导致了地理事实和现象分类原则和方法的不同、语义表达原则和方法的不同以及数据组织 (实体分层) 原则和方法的不同。由此可见, 虽然对新一代 GIS 的研究都力图实现对真实地理世界的表达, 但实际上表达的只能是不同研究者对地理世界的不同观点和看法。要使 GIS 能克服上述不足, 需要将常识性地理认知 (Commonsense geographical cognition) 的理论和方法融入 GIS 的数据模型和组织^[11]。常识性地理认知是指在日常生活中, 人类如何逐步的理解所生活的地理环境, 积累地理知识, 进行相关分析和决策, 包括地理信息的获取、编码、记忆、解码等一系列心理过程^[12]。基于常识性地理认知建立 GIS 数据元模型, 可以指导其概念建模, 克服研究者观点、看法不同所引起的差异, 使 GIS 能真正面向真实地理世界, 表达人类常识性地理认知, 在各行业的分析和决策中发挥最大的潜力。Open GIS 对真实地理世界的 9 层抽象^[13]中的前 5 层, 即从真实世界 (Real world) 到工程世界 (Project world) 的抽象, 就是作为元模型用于指导其具体概念建模。Mennis 在对地理分类相关认知活动分析的基础上提出了包括知识部件、数据部件和知识识别规则的 GIS 语义元模型, 并使用 UML 对其进行了概念建模^[14]。

收稿日期: 2004-03-23; 修订日期: 2004-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (49071064) Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 邬伦 (1964—), 男, 教授, 博士生导师, 1990 年获北京大学理学博士学位, 多年从事地理信息系统研究与应用工作, 主持国家重大科技项目与行业信息工程项目 20 余项, 发表相关论著 100 余篇。

本文在分析人类地理认知过程,特别是与 GIS 数据模型和组织密切相关的认知活动的基础上,提出了一个能融合常识性地理认知的 GIS 数据元模型,该数据元模型可以较好的实现地理数据不同层次的语义表达及数据间一定程度语义关系的表达,并有利于不同尺度的地理分析和决策所需地理信息的高效提取。

2 地理认知过程

认知世界中,人类通过对地理信息的感知、编码和解码,在头脑中形成对真实地理世界的认知表达;工程世界中,数据元模型是对真实地理世界的抽象描述,进一步实例化为概念模型,通过计算实施,形成对真实地理世界的计算表达。认知世界作为从真实世界到工程世界的中间环节,起着重要的作用。工程世界在表达真实世界时,只有充分反映认知世界中人类如何感知和认识真实世界,其地理数据才能真正被理解并广泛应用于各行各业的分析和决策。因此,GIS 的数据元模型对地理实体的描述(数据模型)和实体的组织(数据组织)必须能够反映认知世界中常识性地理认知,符合日常生活中人类的思维方式和习惯,工程世界的计算表达才能反映人类对真实地理世界的认知,GIS 才能真正为各个应用领域的常识性空间分析和决策提供最大支持(图 1)。

认知世界中,不同地理信息团体(Geographical information community, GIC),根据团体的计划和目的,形成了对地理世界的不同观点和看法。

在感知阶段,根据知觉的目的性和意匠(Drafting)作用,人类将地理事实通过注意的指向作用选择,然后与脑中的分类知识(What knowledge)关联,识别为特定地理类型的实体成员。感知内容还包括各个实体的具体信息和实体间的相互关系。此阶段最重要的问题是地理实体的分类(类型分层),与实体语义及实体间语义关系表达相关。

在编码阶段,根据信息存储的效率和实用的原则^[12],被感知地理实体具体信息及实体间组织被编码存储。知觉内容被进一步筛选、抽象、简化和扭曲,这种简化是具有明显的目的性和计划性的。此阶段最重要的问题是各个地理实体具体信息的编码、实体间组织关系的编码(实体分层),与实体的具体描述及实体的存储管理相关。

在解码阶段,根据特定 GIC 空间分析和决策的

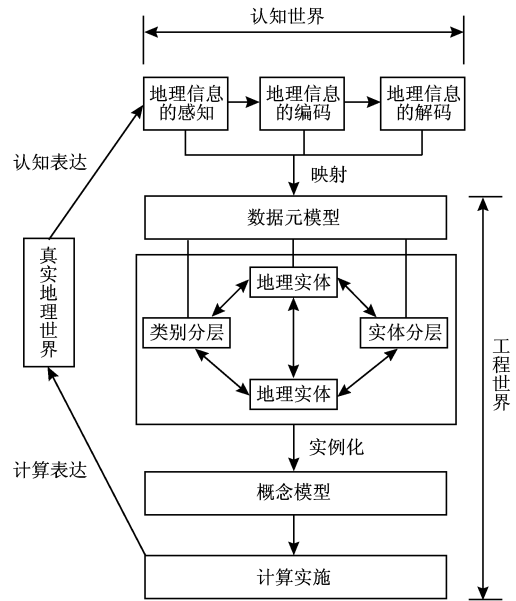


图 1 真实地理世界到工程世界的表达过程
Fig 1 The process from real geographical world to project world

需要,编码的地理信息被选择和解码,建立地理空间的心理表达(Mental representation)。这种心理表达是不稳定的、多样的,与特定的目标直接相关,允许一定的简化、抽象、聚集和扭曲^[10, 15]。此阶段最重要的问题是特定分析和决策相关地理信息的高效提取和表达。

3 GIS 相关认知活动

通过对地理认知过程的分析,将与 GIS 数据模型和组织相关的常识性认知活动归结为类型分层、地理实体的具体描述和实体分层(图 1),下面分别对其作进一步的描述。

3.1 类型分层

认知中,通过将信息组成类别的方法进行记忆,同样,类别分层也是组织空间信息的重要方法^[7, 8, 12, 14]。尽管人脑中存贮的地理分类上下层之间是一种多对多(N·M)的复杂关系,但是针对特定 GIC 抽取的各地理分类上下层之间却可以用一种一对多(1·N)的关系来表达。特定 GIC 各个地理类型间关系可以由一个由上向下的类型细化和由下向上的类型概括构成的树状分层结构,即“类型树”来描述,类型分层规则如下:

(1)根节点是“地理类型”,作为地理世界实体

类型的最高抽象,根节点以下为各相关分类体系。分类树垂直方向上各类型间是一种包含 继承关系,水平方向上各类型间是一种协调补充关系。例如图 2 中,交通、行政区划和水体是不同的分类体系;道路与铁路、公路,行政区划与省、市、县等子类型间是包含 继承关系。

(2)各地理类型代表相应地理实体的语义,所在节点深度越大,语义就越丰富。因此,我们把树的深度称为地理类型的语义粒度,通过语义粒度的变化可以使相应地理实体实现不同层次的语义表达。例如在图 2 中,道路、公路和高速公路的语义粒度分别是 1, 2, 3。如果某个地理实体其类型是高速公路,那么它肯定是一条公路,一条道路。语义粒度的变化可以通过各节点逐层向上搜索父节点实现。

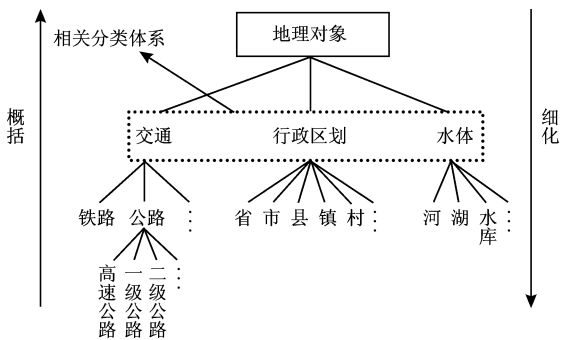


图 2 类型分层例子

Fig 2 An example of categorization hierarchies

(3)类型树中同一父节点下的各子节点之间并不都是完全平等的,可以存在级别上的不同,级别上的异同是相应实体成员间语义差别的一个重要方面。把同一父节点下各子节点在级别上的不同,称为级别差异。某一子类的级别,称为其级别粒度。例如行政区划体系下,省、直辖市、市、直辖市、县、县级市、镇、乡、村这些地理类型,其级别粒度分别为 1, 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5 (图 2)。如果父节点下,各子节点并没有级别上的差异,则所有子节点的级别粒度都为 0,表示类型划分与级别无关。例如交通体系下的铁路、公路,水体体系下的河、湖、水库(图 2),其级别粒度都为 0。通过级别粒度的规定,可实现相应实体成员在级别差异上的描述。

3.2 地理实体描述

地理实体的具体信息,包括空间分布(几何描述)和本身相关特性的定性、定量信息(属性描述)两方面内容。采用双重编码理论(Dual-Coding

Theory)^[16],将其在空间数据库中分别编码存储。

对于实体的属性描述,长期以来,很多研究者将其与实体的语义描述等同起来,认为同类地理实体有一组公共的特征属性,决定了实体的类型和语义^[3,4]。但实际上,为一个地理类型去找一组完整的特征属性是极端困难和不可能的,时常会存在属于某一类型的实体并不具有所有特征属性,而不是该类型的实体却具有该类型的特征属性^[6]。地理现象的复杂性和人类认识的有限性、目的性决定了地理分类并不是这种严格的分类法所能解决的^[17],实体的语义,作为其整体特征的描述,应该由其所关联的分类知识表达。对于实体的属性描述,只需根据特定 GIC 目的和任务的实际需要选择相关属性。例如,对于河流,用于水资源管理,水质、径流和流量等便成为相关属性;而用于水上交通,则上述属性都是没有必要的,河宽、水深、流速等则成为相关属性。

对于实体几何描述,其抽象和简化程度,也是与 GIC 的特定目的和任务直接相关的^[18]。例如,同样是房子,对于管线管理,只需描述为点实体即可;对于房产管理,需要极其精确的将其描述为面实体;对于交通管理,则不需要直接表达,融合为一个街区即可。

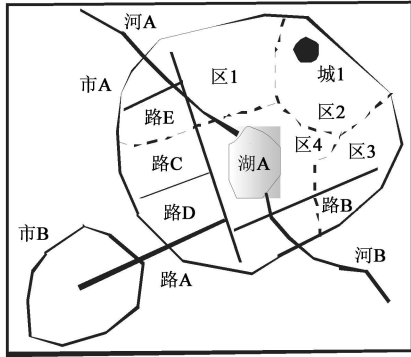
3.3 实体分层

人脑以分层的结构记忆地理信息已经在认知中得到普遍认同^[9,10,12]。实体分层是基于绝对空间观点的扩展,绝对空间观点认为空间是一个“容器”,实体包含在容器之中,容器内所有实体组成了空间。同样,大的实体也可作为“容器”包含小的实体,或者说,小的实体可以组合成大的实体。通过上下层实体间的“空间包含”关系便形成一种分层结构。

常识性认知中,地理实体的分层既受上述空间分布的影响,又受文化、历史、政治等非空间因素(统称为逻辑因素)的制约。把子实体通过空间上的组合关系形成父实体称为空间组合,称父实体对子实体的空间包含;子实体通过逻辑上的组合形成父实体称为逻辑组合,称父实体对子实体的逻辑包含。考虑到空间影响和非空间影响对实体分层的双重影响,地理实体分层的规则如下:

(1)子实体可以仅仅通过逻辑组合的方式形成父实体,这种组合具有强的关联性,父实体的表达依赖于其逻辑包含的所有子实体的表达。缺少任何一个子实体,父实体就会不完整、存在逻辑错误。如北

京大学所属的几个在空间上独立的实体:校本部、医学部、万柳学区、昌平学区通过隶属关系(逻辑组合)作为子实体构成了北京大学这个地理实体。缺少其中任何一个子实体,北京大学这个地理实体的表达都是不正确的。



(2)如父实体和子实体处于不同的分类体系下,子实体可仅通过空间组合的方式形成父实体。例如在图 3 中,市 A 对路 B、路 C 的包含,区 1 对路 E 的包含等,都属于空间包含。

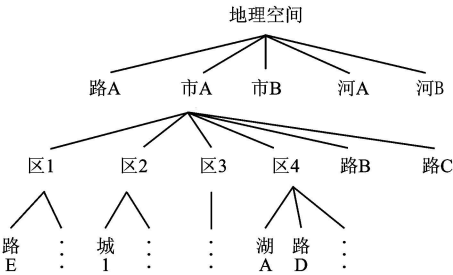


图 3 实体分层的例子

Fig 3 An example of entity hierarchies

(3)如父实体与子实体属于同一分类体系下不同地理类型,则子实体在组合成父实体时受逻辑组合和空间组合双重约束。如中国的北京和天津虽然在空间范围内包含于河北省的外边界内,但因为他们在行政区划中具有相同的级别粒度(逻辑影响),三者实体分层中应该处于同一层次。

(4)最下层包含原则。实体如果有直接父实体,便不能直接包含于更高层实体。用直接父实体和直接子实体来表达这种限制。其对保持实体分层的稳定性和一致性具有重要的意义。例如在图 3 中,湖 A、路 D、路 E、城 1 不能直接包含到市 A 之内。

实体分层也可以用一个树结构,即“实体树”来描述。树的根节点为“地理空间”,作为所有地理实体的容器,根节点以下是根据上述分层规则形成的各层实体。如图 3,市 A 与其子实体区 1、区 2、区 3 等是一种包含关系,而区 1、区 2、区 3 等是一种组合关系。同传统 GIS 基于专题分层不同,实体分层对于数据的组织是基于不同层次实体间的一种包含关系和同一层次相关实体的组合关系形成的。因为实体分层模拟了人脑对地理信息的存储结构,不同层次对应于相应的地理尺度,因而能够更加高效地对不同尺度的空间分析和决策提供支持。因为人们在进行分析决策时,无论决策对象是那个尺度的地理实体,大到地球、某个国家,小到一个街区,甚至一条道路,所需要的相关地理信息都是有限的,通过实体分层可以很高效地提取相关地理信息,即决策实体

的直接子实体和与其在分层结构中处于同层及其高层有拓扑关联的实体。例如图 3 中,分析决策的对象是市 A 时,需要的信息主要是其直接子实体区 1、区 2、区 3、区 4、路 B、路 C 和同层有拓扑关联的地理实体路 A、河 A、河 B;对于区 1,则需要的信息主要是路 E、区 2、区 4、路 C 和河 A。

4 基于认知的数据元模型

4.1 总体逻辑结构描述

基于上述相关认知活动分析, GIS 数据元模型在逻辑上由类型树、实体树、实体的具体描述(虚框中)及实体与类型树、实体树的映射关系组成(图 4)。

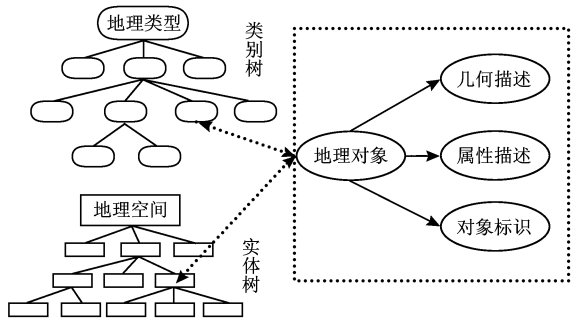


图 4 GIS 数据元模型逻辑结构

Fig 4 The logic structure of GIS data meta model

实体的具体描述由实体在空间数据库中的唯一标识和针对特定 GIC 目标、任务需要的实体几何描

述、属性描述 3 部分组成。通过与分类树关联,表达实体的语义和实体间的语义关系;通过与分层树关联,表达实体间的分层关系。类型树各节点与地理实体间是 1:N 的关系,表示一个地理类型可以对应多个实体成员,这种对应是与实体具体描述无关的纯粹的语义对应。必须指出的是,各个地理实体与类型树确立映射时,必须尽量向语义粒度大的节点对应,这样,便可通过节点语义粒度的变更自动实现由下而上的多层次语义表达。实体树各节点与实体间是 1:1 的关系,可以作为一种索引结构单独存在,也可以采用本文后面的方法,在地理实体的结构中隐含表达。

4.2 具体构成描述

我们通过将地理实体构成实体树节点,地理类型构成类型树节点,将映射关系在节点结构中保存实现对数据元模型具体构成。以下对构成实体树节点的地理实体(表 1)和构成类型树节点(表 2)的地理类型的进一步描述。

表 1 地理实体描述

Table 1 The description of entity

Object ID (Unique)	实体具体描述
Properties (P ₁ , P ₂ , ..., P _n)	
Geometry Description	
Geobottom Type	对应类型树的最下层映射,可用一个指向分类树节点的指针表示
Direct Parent Entity	所对应的直接父实体(唯一),用其 Object ID 表示,0 表示其父实体为根节点
Number of DCES	所对应的直接子实体数目(0~N),0 表示该实体为叶实体
Collection of DCES	直接子实体集,可以其 Object ID 集合来表示

表 1 中, Geographical bottom type 指向地理实体对应类型树中语义粒度最大地理类型,后 3 部分是对应实体分层结构的描述,其中 DCES 是 Direct Children Entities 的简写。

表 2 中, DMES 是 Direct Mapping Entities 的简写, Numbers of DMES 和 Collection of DMES 的存在是因为当我们在为实体指定地理类型时,虽然理想状态下,可以直接与类型树下叶节点建立对应,然后通过树结构,自动建立与其它类型节点下相应实体成员的语义关系。但实际上,受可得信息的限制,有些实体可能不足以归于更细化的地理类型,只有通过上述两部分直接归于更概括的地理类型。

表 2 地理类型描述

Table 2 The description of geographical type

Type Name (Unique)	地理类型名称,是其语义特征的概念化表达,不能为空
Type ID (Unique)	地理类型标识,在空间数据库中标志分类树中地理类型的唯一性
Type Description	类型描述,类型定义的说明性、补充性信息,可以为空
Super ordinate type	地理类型的父类型,保存其 Type ID 即可。为空,表示其父类为地理空间
Numbers of sub-types	该地理类型子类型的数目
Collection of sub-types	子类型集合,保存子类型的 Type ID 集合即可
Grade Granularity	级别粒度,表示各兄弟子类型在级别上的异同。0 表示无级别上的差异
Numbers of DMES	直接对应该类型的地理实体的数量,0 表示该地理类型无直接对应的实体
Collection of DMES	直接对应该类型的地理实体的集合,可用实体对象标识的集合来表达

5 结论与展望

为了使 GIS 在各行业的分析和决策中发挥最大的潜力,需要将常识性地理认知的理论和方法融入 GIS 数据模型和组织,使其对地理实体的描述和组织符合日常生活中人类的思维方式和习惯,易于理解和接受。本文通过对地理认知过程的分析,将与 GIS 数据模型和组织相关的常识性认知活动归结为类型分层、实体分层和地理实体的具体描述。在对相关认知活动进一步分析的基础上,构造 GIS 数据元模型,用于指导其概念建模和计算实施。

该数据元模型通过将实体的具体描述,特别是属性描述与实体的语义描述分开,一方面克服了传统 GIS 根据属性定义语义的不足,另一方面通过实体标识将实体具体描述与类型树关联,可以实现地理数据的不同层次的语义表达及数据间一定程度语义关系的表达;通过基于上下层实体间包含关系和同层实体间的组合关系构建的实体树,可以实现不同尺度地理分析和决策所需相关信息的高效提取。

基于常识性地理认知构建 GIS 数据元模型,是工程世界中对真实地理世界实现符合常识性认知的计算表达的第一步,需要将其进一步实例化为概念模型,并进行形式化表达和计算实施。下一步研究的重点是开发相应的原型系统,并进行实例验证和分析,其成果将有利于新一代 GIS 理论基础的建立。

参 考 文 献 (References)

- [1] Wu L, Liu Y, Zhang J et al GIS Principles Methods and Applications[M]. Beijing: Science Press, 2001. [邬伦, 刘瑜, 张晶等. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [2] Fang Y, Zhou C H, Jing G F, et al Research of 4th Generation GIS Software[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(9): 817-823. [方裕, 周成虎, 景贵飞等. 第四代 GIS 软件研究[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(9): 817-823.]
- [3] Tang A Y, Adams T M, Usery E L. A Spatial Data Model Design for Feature-Based Geographical Information Systems[J]. Int J Geographical Information Systems, 1996, 10(5): 643-659.
- [4] Chen C S, He J B. Study of GIS Conceptual Model Design for GIS Data Sharing[J]. Journal of Remote Sensing, 1999, 3(3): 230-235. [陈常松, 何建邦. 面向 GIS 数据共享的概念模型设计研究[J]. 遥感学报, 1999, 3(3): 230-235.]
- [5] Fonseca F, Egenhofer M, Agouris P, et al Using Ontologies for Integrated Geographical Information Systems[A]. Transactions in GIS[C], 2002, 6(3): 231-257.
- [6] Bishr Y. Overcoming the Semantic and Other Barriers to GIS Interoperability[J]. Int J Geographical Information Science, 1998, 12(4): 299-314.
- [7] Mennis J L, Peuquet D J, Qian L J. A Conceptual Framework for Incorporating Cognitive Principles into Geographical Database Representation[J]. Int J Geographical Information Science, 2000, 14(6): 501-520.
- [8] Seitz K, Turley J. Cognition of Geographical Information[R]. UCGIS, 2002.
- [9] Pigaux P, Scholl M. Multiple Representation Modeling and Querying[A]. Roost J N, Schek H, Widmayer P. IGIS'94: Geographic Information Systems[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1994: 59-69.
- [10] Leung Y, Keung K S, He J Z. A Generic Concept-based Object-oriented Geographical Information System[J]. Int J Geographical Information Science, 1999, 13(5): 475-498.
- [11] Egenhofer M, Mark D M. Naive Geography[A]. Frank A, Kuhn W. Spatial Information Theory—A Theoretical Basis for GIS. International Conference COSIT'95[C]. Lecture Notes in Computer Science 988. Berlin: Springer-Verlag, 1995: 1-15.
- [12] Lloyd R. Spatial Cognition: Geographic Environments[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [13] Open GIS consortium. The OpenGIS™ Abstract Specification[M](Version 4). 1999.
- [14] Mennis J L. Cognition & Semantic database Representation in GIS[D]. Pennsylvania State University USA, 2001.
- [15] Mark D M, Freksa C, Hirtle S C, et al Cognitive Model of Geographical Space[J]. Int J Geographical Information Science, 1999, 13(8): 747-774.
- [16] Paivio A. Dual-Coding Theory: Retrospect and Current Status[J]. Canadian Journal of Psychology, 1991, 45(3): 255-287.
- [17] Smith B, Mark D M. Geographical Categories: An Ontological Investigation[J]. Int J Geographical Information Science, 2001, 15(7): 591-612.
- [18] Bishr Y, Punt H, Kuhn W, et al Probing the Concept of Information Communities—A first Step Towards Semantic Interoperability[A]. Goodchild M, Egenhofer M, Fegeas R, et al Interoperating Geographic Information Systems[C]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999: 55-69.

Research on GIS Data Meta Model Based upon Geographical Cognition

WU Lun¹, WANG Xiaoming¹, GAO Yong¹, LIU Yu¹, SHI Wenzhong²

(1. Institute of Remote Sensing & GIS, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Department of Land Surveying and Geo-informatics, The Hong Kong Polytechnic University)

Abstract: It is necessary to integrate the theories and methods of commonsense geographical cognition with the data model and data organization of GIS in order to fully dig the potentials of analysis and decision-supporting of GIS in different fields. It helps to make the description and organization of geographical entity more acceptable, understandable and suitable for people's commonsense thinking methods and habits. In this paper, the commonsense cognition activities related to data model and organization of GIS is divided into three specific parts: categorization, hierarchies, entity hierarchies and the detailed descriptions of geographical entities by way of analysis of geographical cognition process. On the basis of further analysis for relevant cognition activities, we create GIS Data Meta Model to guide the conceptual modeling and computational implementation. The GIS Data Meta Model not only overcomes the attribute-based defining semantics disadvantage of traditional GIS, but also realizes the semantic representation of geographical data of different levels and the representation of semantic relationships among different data through the mapping between Categorization tree and descriptions of geographical entities. It is feasible to extract the information effectively for the application of different scale's analysis and decision support based on the inclusion relationship of entities between upper and lower levels and the combination relationship of same level entities.

Key words: geographical cognition; data meta model; GIS