

路网要素多尺度表达目标的层次关系分析

王艳慧^{1),2)} 李小娟^{1),2)} 刘晓萌^{1),2)}

¹⁾(首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室,北京 100037)

²⁾(首都师范大学资源环境与GIS北京市重点实验室,北京 100037)

摘要 针对目前地理要素多尺度建模的热点问题,剖析构建多尺度空间数据模型的关键技术,以路网要素为例,挖掘地理要素多尺度抽象表达的机理,利用多尺度扩展 E-R 方法,提炼多尺度抽象表达目标间的各种尺度、层次、语义、映射等层次语义关系,实现 GIS 中地理要素多尺度概念模型的设计。

关键词 多尺度表达 多尺度建模 层次语义关系 多尺度扩展 E-R 方法

中图分类号: P208 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)08-1451-06

On Hierarchical Relation Among Road Multi-scale Representations

WANG Yan-hui^{1),2)}, LI Xiao-juan^{1),2)}, LIU Xiao-meng^{1),2)}

¹⁾(Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, MOE, Capital Normal University, Beijing 100037)

²⁾(Key Laboratory of Resource Environment and GIS, Beijing City, Capital Normal University, Beijing 100037)

Abstract Multi-scale representations for geographical entities is one of the research focuses in the field of multi-scale spatial database. Compared with the traditional GIS model, the essential modeling mechanism and strategies for building a multi-scale data model are explored. Taken the road feature as an example, a detailed description of multi-representation elements in the model are provided. This model includes abstract data types and attribute-value domains for geographical features at different scales, as well as the scale, semantic, and mapping hierarchical relations among features. An appropriate multi-scale conceptual model is given in detail with the multi-scale extended E-R method.

Keywords multi-scale representation, multi-scale modeling, hierarchical semantic relation, multi-scale extended Entity-Relation method

1 引言

地理要素的多尺度表达(多重表达)是当前多尺度空间数据库领域的研究热点之一,它可以为 GIS 用户提供由整体到局部、由抽象到具体的地理实体和地学过程的多尺度分析及可视化功能。由于地理要素在不同尺度抽象层次下表现出几何特征的多重性以及伴随而来的属性及联系的变化,如何在数据模型中恰当地抽象、定义和描述要素多尺度抽象表达目标及各表达目标之间的关系,是多尺度数

据模型概念建模阶段所必须面对的问题。因此如何以统一一致的视图对路网要素进行恰当的认知、抽象、表达和管理,明确多尺度表达的实体与关系,以及不同尺度要素表达间的关系,就成了路网要素多尺度数据建模的核心内容之一。但纵观目前相关研究现状^[1-3],关于要素多尺度表达实体和关系的深入探讨尚有所欠缺。

因此,本文以路网要素为例,剖析构建多尺度空间数据概念模型的关键问题;挖掘地理要素多尺度抽象表达的机理;探讨多尺度抽象表达目标间的各种层次语义关系,用扩展 E-R 建模方法实现 GIS 中

基金项目:国家自然科学基金项目(40471090)

收稿日期:2007-03-28;改回日期:2007-04-29

第一作者简介:王艳慧(1977-),女,副教授。2005年于中国矿业大学(北京)获大地测量学与测量工程专业博士学位。主要研究方向为多尺度空间数据库。E-mail: huiwangyan@sohu.com

地理要素多尺度概念模型的设计。

2 路网要素的多尺度层次抽象机制

对路网要素而言,它在各级尺度下抽象的繁简程度不同,从大比例尺到小比例尺,可能会发生多个要素聚合成一个要素的变化,如从简单要素转换为复杂要素等,相关要素间可能是 $n:1$ 的部分/整体关系。反过来,多尺度环境下,现实世界中的一个路网要素可能需要支持几种不同的空间表达,因此需根据当前任务的需要定义合适的表达,这种需求的多样性就带来了如何选择和创建适合当前任务的空间表达目标的问题。基于此,提出了如图 1 所示的路网要素多尺度层次抽象方法。在要素层次上,要素(如要素 11)和它的上级要素(如要素 1)是构成和被构成的 part-of 关系。而对每个要素(如要素 11)而言,又会由于尺度的不同抽象为不同的表达目标,这些表达目标(如表达 11a、表达 11b、表达 11c)与要素的总体表达(如要素表达 11)间形成尺度(scale)关系。

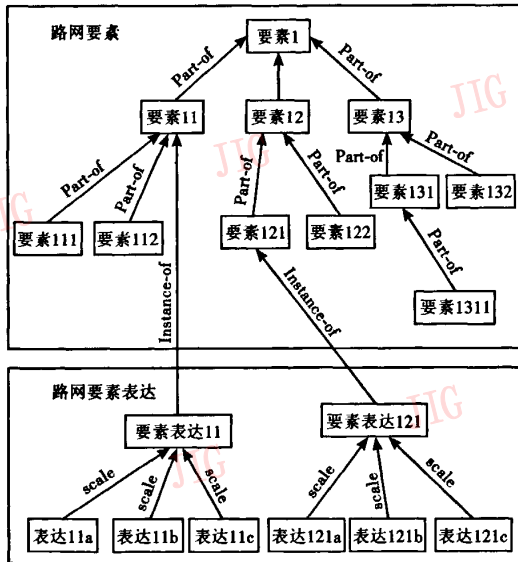


图 1 路网要素和要素表达间的层次抽象
Fig. 1 Illustration hierarchical abstract of road features and representations

对路网要素和路网要素表达的层次抽象不仅在各自抽象内部形成了一个层次结构,而且在不同抽象间也形成了层次关系,从而形成了要素和要素表达层次间的嵌套关系。

对要素的各级抽象在不同抽象层次间形成了要素抽象类型—要素类—要素—要素表达的层次关系,而且在各抽象层次内部形成了一个嵌套层次结构,彼此之间的联系可用基于本体的语义关系相关联。

3 路网多尺度模型框架元素之间的关系

在按上述抽象机制所构建的多尺度数据模型中,包含若干个模型元素概念:层次(level)、要素类(class)、几何抽象类型(type)、要素(feature)、要素表达(representation),层次是若干个要素和/或要素类的集合;类是具有某些相同性质(属性)的路网要素的集合;要素是指现实世界道路网中的地理实体(道路、路段、路线、节点等)在数字环境下的表达;要素表达是指路网要素在不同尺度抽象层次下所形成的要素的实例;要素几何抽象类型是指要素实例所表现出的几何特征。这些概念之间的关系如图 2 所示。

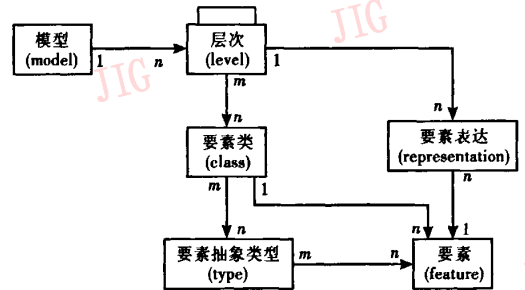


图 2 路网多尺度模型框架元素间关系
Fig. 2 Illustration of relations among the elements in the multi-scale road model

(1) 层次-层次(level-level, LL) 多对多关系(LL- = $m:n$):本模型中的路网要素分属于 3 个层次,每一个层次由于尺度上的联系可对应模型中的其他任意层次,且每两个层次之间是尺度关系;这种层次-层次之间的关系反映了路网要素不同尺度抽象层次下多对多($m:n$)的尺度关系;“- =”表示两个概念之间的映射关系。

(2) 层次与要素类的关系(LC- = $m:n$):一个层次包含若干个要素类,一个要素类可属于若干个抽象层次;

(3) 层次与要素抽象类型的关系(LT- = $m:n$):模型中一个层次包含若干个要素抽象类型,一个要

素抽象类型可存在于不同的抽象层次中;

(4) 层次与要素的关系(LF- = $m:n$):模型中一个层次包含若干个要素,现实世界中一个要素由于尺度抽象的不同而得到若干个尺度表达(实例),这些表达实例可分布于若干个抽象层次;

(5) 层次与要素表达(实例)的关系(LR- = $1:m$):路网一个尺度下的目标集由若干个要素的在该尺度下的表达(实例)组成,路网要素一种尺度下的表达只能存在于一个抽象层次中;

(6) 路网要素类别与抽象类型间的关系(CF- = $m:n$):一个路网要素类可抽象为不同的要素几何抽象类型,每一几何抽象类型可存在于不同的要素类别中;

(7) 路网要素类与要素间的关系(CF- = $1:n$):一个路网要素类可有多个要素,一个要素对应一种要素类;

(8) 路网要素类别与要素表达间的关系(CF- = $1:n$):一个路网要素类在不同抽象尺度层次下有若干个要素,同时对对应着要素的若干个表达,而一个要素表达只对应一个要素类别;

(9) 路网要素抽象类型与要素间的关系(TF- = $m:n$):每一要素几何抽象类型可为不同的要素所共享;每一要素可在不同尺度下抽象为不同的要素抽象类型;由现实世界实体抽象得到的要素由于尺度抽象的不同既可在一个尺度下抽象为一个要素类型,也可在另一尺度下抽象为另外的几何类型;如一个立交桥要素在较大比例尺抽象层次上抽象为一个多边形面状要素,而在较小比例尺下抽象为一个点状几何要素;

(10) 路网要素抽象类型与要素表达之间的关系(TR- = $1:n$):每一要素几何抽象类型可为不同的要素表达所共享;每一要素表达可在不同尺度下对应着一个要素几何抽象类型;

(11) 要素与要素表达之间的关系(FR- = $1:m$):一个要素由于尺度抽象的不同可在不同尺度下抽象成不同的要素表达;一个要素表达对应着现实世界中的一个要素;

(12) 要素表达与要素表达之间的关系(RR-):这种关系主要定性地反映要素由于尺度抽象不同而产生的关系,要素不同尺度抽象表达之间发生关系的本质是两者之间的同伦关系,这种同伦反映在要素不同表达之间的语义、尺度、层次等关系类型上。

4 路网多尺度抽象表达目标的层次语义关系

空间数据模型的几何元素、简单要素和复合要素综合描述了复杂的地理实体、现象及相互联系。地理要素之间存在着同类关系、空间关系和层次语义复合关系。同类型的地理要素具有相同的一组属性来定性或定量地描述一组几何元素。空间关系强调地理要素之间的拓扑关系。复合关系强调地理要素之间的聚集和联合关系。本文主要关注后者,即多尺度表达不同尺度间的复合关系。

4.1 尺度关系

多尺度表达与制图综合密切相关,多尺度表达间的尺度关系也与制图综合中各比例尺间的综合关系密切,对尺度关系的研究一般是在制图综合环境下考虑,大都将之分为简化、平滑、移位、选择、淘汰等^[4,5]。这些制图综合算子反映了要素表达从一种比例尺转换到另一种比例尺的转换过程。而尺度关系表现了制图综合简化、平滑、聚集、移位、扩张、合并等操作过程中多尺度表达间携带的联系,它连接两个描述现实世界同一对象的对象集(类、对象类型),并将多尺度操作结果从一个表达传递到另一个表达,有关论述已较多,此处不再赘述。

4.2 层次关系

由于此处研究的地理要素的多尺度表达是在不同的尺度层次下抽象得到的,在越小的比例尺下抽象,所得到的表达越抽象、简单和概括,这种情况自然会导致一种层次结构,其中的每一层对应一组相同比例尺下表达目标集^[6]。这种层次关系隐含的概念包括:概括、分类、聚合,经过预处理分类,各层次之间产生具有3类基本抽象关系:聚合/分解、概括/细化、分类/实例层。一般情况下,同一地理实体在不同分辨率数据库中的实例间的对应关系基本上有3种:is-a关系、part-of关系、association关系^[5]。is-a反映了类和超类之间的关系,association关系描述的是两个对象间的任意关系,part-of关系指的是几个对象聚合成一个新的聚合对象的过程所形成的关系。

在同一数据库模式下,同一地理要素在不同尺度下的抽象表达间的关系,类似于传统的is-a关系。传统的is-a链接语义能表示不同语义分辨率层次上的同一对象,但它并不满足当前数据库中勾画is-a链接特征的“包含”的语义。实际上,两种不同分辨

率上同一对象的两种类型一般会产生交叉区域,而不是一个包含另一个,如小比例尺的道路网数据库(一些小路会消失)和大比例尺的道路数据库合并时会产生新的对象,一方面,新对象可以是本身不再具有任何实际意义的一个复杂对象,只是组成它的几个对象的抽象容器;另一方面,新对象可以是一个具有实际意义的空间要素;这样 is-a-关系产生一个分类层次,而 part-of-关系产生一个聚合层次。

在本文的研究背景下,联合层次和聚集层次在链接不同尺度层次下的要素表达方面起着非常重要的作用,这些层次结构也是进行不同分辨率层次下空间信息模型综合的基础。能否聚集只取决于个体的某种属性,如空间临近性,只有同类实体才能聚集。

4.3 语义关系

在不同尺度背景下,地理实体往往表现出不同的空间形态、结构和细节。这种变化隐含着多尺度表达间可能会发生聚合、概括、分类、联合的联系,在多尺度数据库环境下则意味着多尺度表达间的语义关系也会基于这些语义对象产生。

而路网多尺度表达目标间的层次语义关系指的是不同比例尺下的表达目标语义上的可能联系如语义等价、语义相关、语义有关、语义无关;它们是基于多尺度表达目标间的聚合、概括、分类、联合 4 个层次概念基础上,分述如下:

(1) 语义等价关系

如果不同比例尺下的两个表达目标都对应着现实世界的同一个实体,则称这两个目标是语义等价的。利用本体论通用、领域、应用本体的观点^[7-9],用定义表示为:

定义 1 如果不同比例尺下的应用本体的对象类在领域本体内都等价于同一个类,那么就称这些对象类是语义等价的。

语义等价反映了一对一的对应关系。表示一个尺度下的类等价于另一个尺度下的相应类。如一条完整的道路在不同比例尺下的表达均独立存在时,具有明显的语义等价关系。

(2) 语义有关关系

如果一个比例尺下的表达目标对应的现实世界的实体类是另一个比例尺下表达目标对应的现实世界道路类的子类或超类,则称这两个目标是语义相关的。用定义表示为:

定义 2 如果不同比例尺下应用本体的对象类在领域本体内都等价于彼此是子类或超类的那些

类,那么就称这些对象类是语义相关的。

语义相关反映了多对多的语义上的集合对应关系——这种聚集反映了一个比例尺下的类等价于另一个比例尺下的彼此是子类或超类的那些类。如交叉路口在比例尺相差不大时,均抽象为若干个点目标的集合,从语义上讲,两个比例尺下的点目标就是语义相关关系。

(3) 语义有关关系

如果一个比例尺下的表达目标对应的现实世界的道路是另一个比例尺下表达目标对应的现实世界道路的一部分,则称这两个目标是语义有关的。用定义表示为:

定义 3 不同比例尺下的应用本体的对象类 A 和 B ,如果 A 等价于领域本体中 B 的一个聚集类,那么就称对象类 A 和 B 是语义有关的,反过来也如此。

语义有关反映了一对多的语义上的聚集关系。由于这种聚集反映了多个具有不同特征的对象组合成一个更高层次对象上的过程,每个不同类型的对象称为该复合对象的组件对象,组件对象与复合对象的关系是 part-of 的关系。所以不同比例尺下具有聚集关系的道路表达目标是语义有关的。如现实世界的立交桥在较小比例尺下抽象为一个点表达目标,在较大比例尺下抽象为点、线结合的复杂面目标,那么可以说这两个比例尺下的点目标和面目标是语义有关的。

当然,如果表达目标间不存在语义等价、相关、有关关系,就说它们是语义无关的。

上述 4 种语义关系(语义等价、相关、有关、无关),是针对不同比例尺下的两个表达目标与现实世界实体的关联关系定义的,它们与现实世界实体的关系如图 3 所示。如果把某两个尺度下表达目标的语义关系与它们对应的实体在其他比例尺下表达目标间的语义关系进行对比分析,可以发现语义关系会发生变化。例如,两段隶属于现实世界中的同一条公路的路段,在较小比例尺下是语义有关的,在较大比例尺下,由于每条路段内部可能又包含若干段较小的路段或道路表达基元,其内部又是语义有关关系,以此逐级细究,又可能分离出语义相关关系。因此可以说不同比例尺下的要素表达间的语义关系是层次嵌套的^[10]。

4.4 映射关系

同一要素在不同尺度下的抽象表达(多尺度表达)之间的尺度关系除了反映在隐式的语义关系上之

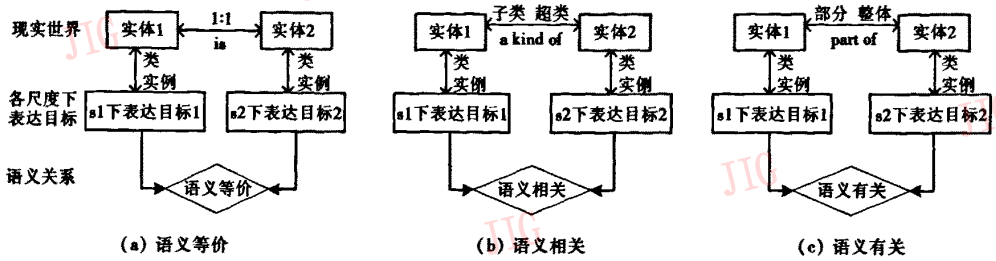


图 3 多尺度表达间的关系示意图

Fig. 3 The relations of semantically equivalent, semantically related, semantically relevant

外,还反映在各表达之间的对应映射关系上。多尺度表达间的关系在数据库实现环境下,最终要归结到各表达实例间的映射关系上来,它可以将现实世界的同一地理要素的多尺度表达有机联系起来,从而为维护多尺度表达间的内联性提供有效的途径。

从理论上讲,要素多重表达间的对应关系类型可以有多种,而不同尺度下的对应要素表达间的关系存在如图 4 所示的 6 种情况:1:1,1:n,n:1,n:m,

1:*,n:(m1+m2),第 1 种情况是指一一对应的关系;第 2 种和第 3 种是一种对应关系的两种互逆表达,分别表示特征实体的聚合和解聚;第 4 种指的是多对多的关系;第 5 种情况是指找不到相匹配的要素;第 6 种情况是 n:m 的一个特例,指一个数据集的一个或几个基元和另一个数据集的拓扑上不具有连通性的几个基元相对应的情况,如一个数据集中一条道路中轴线可能对应着另一个数据集中一条道路的两条边线。

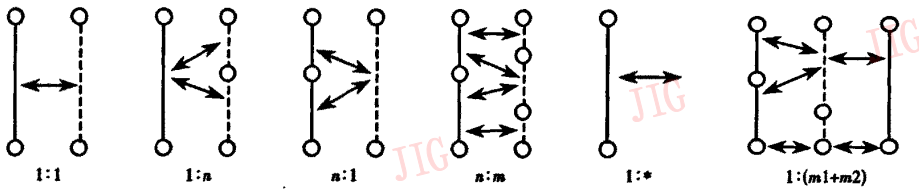


图 4 多尺度表达间 6 种可能的对应映射关系

Fig. 4 The six possible corresponding relations among road multi-scale representations

不同尺度下的两个表达目标的对应关系不可能总是用一种简单的关系类型描述。因此,为了描述这些不确定的关系,根据多尺度表达间的对应关系候选要素的数目多少,这 6 种可能的对应情况又可分解为 3 种关系:显式映射关系、聚集映射关系、集合映射关系。

(1) 显式映射关系

这种二元关系用于标识具有相同 OID(对象标识符)的对应要素实例,表示一个表达实例与另一个表达实例完全对应。这种关系所隐含的语义是:相对应的两个表达实例源自同一现实世界实体。

这种对应关系也揭示了两个对应要素彼此间的 is-a 语义关系,但它又比 is-a 语义关系更为通用,因为这种对应关系不仅可以链接具有相同对象标识符的要素表达,而且可以用来描述要素属性方面的匹配关系。

(2) 聚集映射关系

聚集映射关系是一种二元关系,用于描述不同尺度下聚合要素和组成它的基元要素的构成关系,既可反映由多个具有不同特征的对象组合成一个更高层次的复合对象的关系,也可反映拓扑上的整体一部分关系。如现实世界的一个交叉口在不同尺度下表达出不同的细节,从较大比例尺到较小比例尺下反映出的关系即为一对多的聚合映射关系。

(3) 集合映射关系

集合对集合之间的关系(m:n)用来标识和两个比例尺下几何构造和形状上看起来相似的两组要素对象集合。它反映了一组对象表达与另一组对象表达之间的语义关系,且这种对应关系不能由传统的要素一一显式对应的关联关系直接表达出来。其隐含的语义信息一种比例尺下一组对象对应着另一种比例尺下一组对象。它也是对传统数据模型关系的

一种扩展,因为传统的关系类型只能标识每种特定对象类型的一个实例,故不能够表示这种对应关系。

集合对集合之间的集合对应关系在多尺度表达中非常普遍,如一个交叉路口,在较大比例尺下能很清晰地表达其细节信息,但在相差不大的较小比例尺下受制图综合的各因素影响,有些细节不再表达,但又不会抽象为一个点,而是由多个点和线构成的复杂要素。

因此,集合 $m:n$ 映射关系产生的条件就是地理要素间的对应信息不确切,当要素在某一较小比例尺下的表达实例因制图概括中简化等空间操作的原因,与其他要素交织在一起不能独立表示,就要考虑是否为集合映射关系。

4.5 各扩展关系间的联系

从上文也可以看出,不同比例尺下可能发生联系的要素类及其之间的语义关系、层次关系、尺度关系、映射关系并不是孤立存在、相互对立矛盾的,而是相互嵌套、互为影响的,从不同角度揭示了多尺度表达间的联系。如所谓的尺度关系从映射关系的角度上来讲,是 $0 \sim n$ 对 $1 \sim n$ 的关系;从关系的语义类型上来讲,分别是聚集/分解、概括/特化、关联/成员 3 种关系中的一种。综合起来,它们之间可能具有以下几种层次语义映射关系:

(1) 1 对多的语义上的聚集关系 由于这种聚集反映了多个具有不同特征的对象组合成一个更高层次对象的过程,每个不同类型的对象称为该复合对象的组件对象,组件对象与复合对象的关系是 part-of 的关系。所以不同比例尺层次下具有聚集关系的要素表达是语义有关的;

(2) 多对多的语义上的集合对应关系 这种聚集反映了一个尺度层次下的类等价于另一个尺度下的彼此是子类或超类的那些类,因此可以说这些对象类是语义相关的;

(3) 1:1 的对应关系 这种关系反映了一个尺度层次下的类等价于另一个尺度下的相应类,因此可以说这些对象类是语义等价的,如一条完整的道路在不同比例尺下的表达均独立存在时,具有明显的语义等价关系。

5 结 论

构建地理要素的多尺度数据模型是进行多尺度空间数据库建库工作的理论基础和实现保障。本文针对多尺度空间数据模型的研究与应用需求,剖析

了构建多尺度空间数据模型的关键技术,以路网要素为例,挖掘地理要素多尺度抽象表达的机理,利用多尺度扩展 E-R 方法,提炼多尺度抽象表达目标间的各种尺度、层次、语义、映射等层次语义关系,以此实现 GIS 中地理要素多尺度概念模型的设计。下一步所要进行的工作就是以此概念模型为指导,研究多尺度空间数据的逻辑数据组织及其在计算机上的物理实现。即要对模型中的实体及实体间的关系进行形式化描述,设计出合适的层次数据结构及模型操作算子,为多尺度空间数据库领域的研究及应用提供可靠的理论依据和技术论证。

参考文献 (References)

- 1 Wang Yan-hui, Chen Jun, Jiang Jie. On multi-scale modelling for road feature[J]. GIS World, 2004, 2(3):37~44. [王艳慧,陈军,蒋捷. 道路网多尺度数据建模的初步研究[J]. 地理信息世界, 2004, 2(3): 37~44.]
- 2 Wang Yan-hui, Chen Jun, Jiang Jie. On multi-scale conceptual model of multi-representation for GIS feature[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2003, (4): 376~382. [王艳慧,陈军,蒋捷. GIS 中地理要素多尺度概念模型的初步研究[J]. 中国矿业大学学报, 2003, (4): 376~382.]
- 3 Wang Yan-hui, Chen Jun, Jiang Jie. A method for linking road network intersections in a multi-scale navigable database[A]. In: Proceedings of ISPRS Commission II Symposium[C], Xi'an, China, 2002:511~516.
- 4 Devogele T, Parent S C, Spaccapietra. On spatial database integration[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1998, (12): 335~352.
- 5 Kilpeläinen T. Maintenance of multiple representation databases for topographic data[J]. The Cartographic Journal, 2000, 37(2): 101~107.
- 6 Rigaux P, Scholl M. Multiple representation modeling and querying[A]. In: Proceedings of Conference on Object Orientation and Navigable Databases[C], Berlin, 1996: 12~23.
- 7 Timpf S. Map cube model-a model for multi-scale data[A]. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling(SDH'98)[C], Vancouver, 1998: 190~201.
- 8 Oosterom P V, Schenkelaars V. The development of an interactive multi-scale GIS[J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1995, 9(5): 489~507.
- 9 Christine P. Modeling spatial data in the MADS conceptual model[A]. In: Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Handling[C], Vancouver, 1998: 224~230.
- 10 Wang Yan-hui, Chen Jun, Jiang Jie. ASHMR-based maintenance of Inter-connectivity among multi-representations[A]. In: Advances in Spatial Analysis and Decision Making[C], Netherland; Balkema, 2003: 307~313.