

文章编号: 1001-1595(2008)03-0330-08

中图分类号: P208

文献标识码: A

简单面目标与带孔洞面目标间拓扑关系的层次表达方法

邓敏¹, 李志林², 李光强¹

1. 中南大学 测绘与国土信息工程系, 湖南长沙 410083; 2. 香港理工大学 土地测量与地理信息资讯学系, 香港

A Hierarchical Approach to Topological Relations between a Simple Area and an Area with Holes

Deng Min¹, Li Zhilin², Li Guang-qiang¹

1. Department of Surveying and Geo-informatics, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Department of Land Surveying and Geo-informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

Abstract: Topological relations have been a focus of research in many disciplines such as computer science, artificial intelligence, cognitive science, linguistics, robotics and geographic information science. Unfortunately, they have so far only been defined for and applicable to simple objects like single points, continuous lines and simple areas, not involving the design, definition, and description of topological relations operating on the complex objects. This article tries to make an effort to this gap and pays attention to the spatial areas with holes. Based upon the idea of space partition and object decomposition, topological components of an area object with holes are defined by the use of the concept of neighborhood in the point set topology, which is a natural extension of the definitions for topological components of a simple area. And then, a hierarchical approach to topological relations is presented for two simple areas, which is indeed necessary for many practical applications. The hierarchical approach is further extended to the topological relations between a simple area and an area with hole(s). It can be concluded that the proposed approaches are very general, suitable for topological relations of both simple areas and complex areas.

Key words: topological relation; area object; hole; hierarchical representation

摘要:带孔洞的面目标是现实中较为常见的一类复杂目标,它们之间的拓扑关系要比简单面目标复杂得多。本文基于空间划分和目标分解的思想,利用点集(拓扑学)理论中的邻域概念详细分析和描述带孔洞面目标的点集拓扑分量,这种描述方法实质上是简单面目标点集拓扑分量描述的一种自然延展。进而,对简单面目标间拓扑关系的描述和区分方法进行了扩展,层次地分析和区分简单面目标与带孔洞面目标间的拓扑关系。相比于Egenhofer等人提出的代数描述和间接表达方法,本文提出的方法是一种直接描述和层次表达的方法,并且与简单面目标间拓扑关系的表达方法是相统一的。

关键词:拓扑关系;面目标;孔洞;层次表达

1 引言

空间关系是一类描述空间目标间位置约束的空间信息,也是地理信息系统进行空间查询、分析和推理的基础^[1,2]。空间关系通常分为拓扑、方向和距离(或度量)3类关系。其中,拓扑关系是最重要的一类空间关系。近20年来,拓扑关系的形式化描述和推理一直都是国际国内GIS界研

究的热点问题之一^[3,4]。至目前为止,学者们已经提出了一些基本模型,例如4交模型^[5]、9交模型^[6]、空间连接演算模型(RCC)^[7]、闭球模型以及新近提出的基于Voronoi图的9交模型和4交差模型^[8~10]。这些模型主要是用来描述简单目标间的拓扑关系。而对于复杂目标间的拓扑关系,这些模型的区分能力则非常有限。为此,本文主要研究复杂面目标(如带孔洞面目标)的拓扑关系

收稿日期: 2007-06-22; 修回日期: 2008-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40501053); 香港特别行政区政府RGC资助项目(Polyu 5228/06E); 湖南省自然科学基金项目(07JJ6075); 教育部留学回国人员科研启动基金项目

作者简介: 邓敏(1974),男,汉族,江西临川人,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为GIS空间关系理论及应用、遥感与GIS空间数据质量和地理信息不确定性分析与建模。E-mail: lsdmin@polyu.edu.hk

表达方法。

在现实世界中,带孔洞的面目标较为常见,例如梵蒂冈、圣马力诺都被意大利包围,从而在几何构成上意大利是一个包含多个孔洞的面目标。再如,在地籍测量中也常常存在带孔洞的复杂地块^[11]。这类目标在 GIS 空间数据库中存贮表达时已被视为一种复杂的空间数据类型,然而,对于这种复杂空间数据类型的设计、定义以及拓扑关系描述和运算则研究的相对较少^[12,13]。显然,带孔洞面目标间的拓扑关系要比简单面目标间的拓扑关系复杂得多。这种复杂性体现在 2 个方面:一方面是前者的拓扑关系类型要比后者多;另一方面则需要对现有的简单面目标的拓扑关系描述方法进行扩展,以适用于带孔洞的面目标。因此,需要分析带孔洞面目标与简单面目标在拓扑结构上的差异,对带孔洞的面目标的点集拓扑特性进行区分,并在此基础上建立带孔洞面目标间的拓扑关系表达方法。

2 现有方法中存在的问题

为了能够描述带孔洞面目标间的拓扑关系,Egenhofer 等人基于 4 交模型提出了一种代数表达的方法^[12]。在这个方法中,一个带孔洞的面目标被处理为一个由外边界圈定的简单区域和若干个孔洞目标。不妨设 A 为一个带孔洞的面目标, $H_1^A, H_2^A, \dots, H_m^A$ 是落在 A 内的 m 个孔洞目标,根据文献^[12]的方法,则有

$$A = A^* - \left(\bigcup_{i=1}^m H_i^A \right) \quad (1)$$

式中, A^* 是一个由面目标 A 外边界圈定的简单区域。如图 1,面目标 A 包含有两个洞,记为 H_1^A 和 H_2^A ,现有的方法是将面目标 A 分解处理为 3 个简单面目标,即 A^*, H_1^A 和 H_2^A 。进而,在描述两个带孔洞面目标间(记为 A 和 B)的拓扑关系时,则利用 A 分解处理得到的简单面目标分别与 B 分解处理得到的简单面目标间的拓扑关系来描述。考虑到带孔洞面目标分解后得到的简单面目标之间存在一些关系约束,例如,来自同一个目标的孔洞之间满足相离关系,由外边界确定的简单面目标(如 A^*)与 A 的各个孔洞之间是包含关系,从而两个带孔洞面目标间的拓扑关系在这些约束条件下可以简化为 μ 个组合关系^[12],即

$$\mu = (m+1) \times (n+1) = mn + m + n + 1 \quad (2)$$

式中, m, n 分别是面目标 A, B 内的孔洞个数。可以看出,文献^[12]是利用一组简单面目标间的拓扑关系来组合描述带孔洞面目标的拓扑关系,这种方法实质上是一种间接的拓扑关系表达方法。并且这种方法存在 2 方面问题:一方面是对带孔洞面目标的分解处理,这种处理将改变空间目标的拓扑性质,例如,根据 Euler 示性数(= 1- 孔洞数)拓扑不变量,在图 1(a)中面目标 A 的 Euler 示性数为 1,而分解处理后得到的 3 个简单面目标(即 A^*, H_1^A 和 H_2^A)的 Euler 示性数都是 1;另一方面,这种间接描述方法不便于实现空间查询和分析,因为它得到的拓扑关系不是面目标间的真实关系,并且存在不同的可能组合。为了解决这些问题,下面首先提出一种直接描述和区分带孔洞面目标点集拓扑特性的方法。

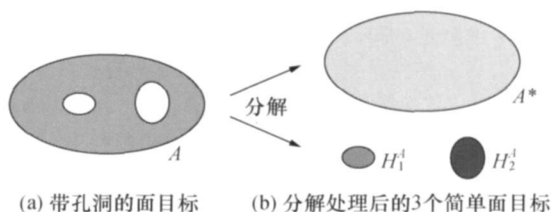


图 1 带孔洞面目标的现有描述方法

Fig. 1 Existing method for description of area object with holes

3 带孔洞面目标的拓扑区分方法

3.1 简单面目标的拓扑区分

如图 2,对于一个 IR^2 中的简单面目标 A ,整个空间可以划分为 2 个部分:目标集(A)和目标外部集(或称目标余集,记作 A^-),从而有 $IR^2 = A \cup A^-$ 。其中目标集是一个闭集,而目标外部集是一个开集。对于面目标 A ,在拓扑上可以利用邻域的概念进一步细分为边界集(∂A)和内部集(A°)。其中边界集是由边界点构成,表达为

$$\partial A = \{p \mid p \in A, \text{ and } [p, \varepsilon) \cap \bar{D} A\} \quad (3)$$

而内部集是由内部点构成,表达为

$$A^\circ = \{p \mid p \in A, \text{ and } [p, \varepsilon) \subset A\} \quad (4)$$

类似地,目标外部集可以表达为

$$A^- = \{p \mid p \notin A, p \in IR^2\} \quad (5)$$

在式(3)~式(5)中, p 为点元素; \bar{D} 为形态学膨胀算子; ε 为一个无穷小的正数。同时,从式(3)可以看出,目标集边界点的邻域不属于任何一个集合。如图 2,点 p 的邻域(如图中虚圆所示)既不

完全属于目标集,也不完全属于目标外部集,于是称 p_2 为边界点。而 p_1 的邻域完全属于目标集,即 p_1 为目标集内部点。相应地, p_3 为目标集外部点。从微观的角度来看,这 3 类点代表了整个空间的拓扑特性区分。特别地,这种定义一方面符合人的认知,与经典的点与多边形间 3 种关系(即:点在多边形内、点在多边形边界上和点在多边形外)相对应;另一方面也是建立简单面目标间拓扑关系模型的基础,如 4 交模型、9 交模型和 4 交差模型都是基于这个定义建立的。

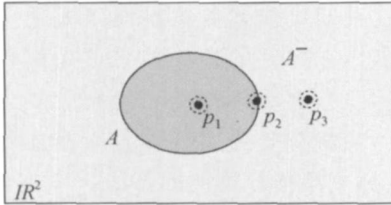
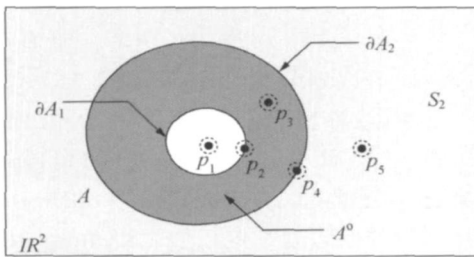


图 2 2 维矢量空间(IR^2)中简单面目标的点集拓扑区分

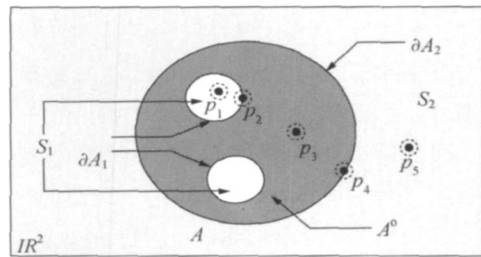
Fig. 2 Identification of point-set topology for a simple area in IR^2

3.2 带孔洞面目标的拓扑区分

对于一个带孔洞的面目标,从空间构成上来看,整个空间仍可粗分为 2 个部分,即目标集和目标外部集。其中后者可进一步划分为有界外部集(即孔洞)和无界外部集。如图 3(a),面目标 A 包含有一个孔洞,它的内边界线记为 ∂A_1 ,外边界线记为 ∂A_2 ,进而,定义由内边界线确定的开区域(不包括内边界线本身)为有界外部集(记为 S_1),



(a) 带一个孔洞的面目标



(b) 带两个孔洞的面目标

图 3 2 维矢量空间(IR^2)中带孔洞面目标的点集拓扑区分

Fig. 3 Identification of point-set topology for an area with holes in IR^2

4 带孔洞面目标间拓扑关系的层次表达方法

4.1 2 个简单面目标的基本拓扑关系及其层次表达

针对 2 个简单面目标 A 和 B ,文献 [10] 提出

由内边界线和外边界线共同确定的区域为目标集(即目标 A),而外边界线之外的所有范围(不包括外边界线本身)为无界外部集(记为 S_2),从而整个空间 IR^2 可以完整地表达为: $IR^2 = S_1 \cup A \cup S_2$,并且它们相互之间的交集为空。其中,一个带孔洞的面目标 A 由 3 种类型的点集构成,即内边界点集、内部点集和外边界点集,并且分别定义为

$$\partial A_1 = \{p \mid p \in A, \{p\} \cap \partial A, \text{ and } \{p\} \cap S_1 \neq \emptyset\} \quad (6)$$

$$A^\circ = \{p \mid p \in A, \text{ and } \{p\} \subset A\} \quad (7)$$

$$\partial A_2 = \{p \mid p \in A, \{p\} \cap \partial A, \text{ and } \{p\} \cap S_2 \neq \emptyset\} \quad (8)$$

其中各符号定义同式(3)~式(5)。进而,根据邻域的概念可以将一个空间的所有点区分为 5 种不同拓扑特性的点,分别记为 p_1, p_2, p_3, p_4 和 p_5 (如图 3(a))。同样地,这 5 种类型的点相应地代表了空间构成的 5 种拓扑点集,即 $S_1, \partial A_1, A^\circ, \partial A_2$ 和 S_2 。

对于带有多个孔洞的面目标,可以采用上述类似的方法进行分析和定义,并且发现相同类型的 5 种点,即 p_1, p_2, p_3, p_4 和 p_5 (如图 3(b))。这一方面表明一个点落在不同的孔洞中,其拓扑关系是相同的。事实上,对于整个图形框架来说,当一个点分别在不同孔洞时,图形框架的拓扑特性并没有改变。另一方面也表明,一个点与一个带孔洞多边形之间有且只有 5 种拓扑关系情形(如图 3)。下面,基于以上区分的点集拓扑类型,进一步探讨带孔洞面目标间的拓扑关系的层次表达方法。

了一个 4 交差模型来描述它们的基本拓扑关系,表达为

$$\forall(A, B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A - B \\ B - A & \partial A \cap \partial B \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中, A°, B° 为简单面目标 A, B 的内部, $\partial A, \partial B$ 为其边界,它们的拓扑定义如式(3)和式(4)。根

据式(9),可以区分面/面之间最基本的8种拓扑关系,即相离(Disjoint)、相接(Meet)、相交(Overlap)、包含(Contain)、包含于(Contained by)、覆盖(Cover)、覆盖于(Covered by)和相等(Equal)。进一步地,文献[10]和[16]详细分析了4交差模型比传统的4交模型在拓扑复杂性、拓扑距离和拓扑关系概念邻域表达(如图4)上具有较大的优势。

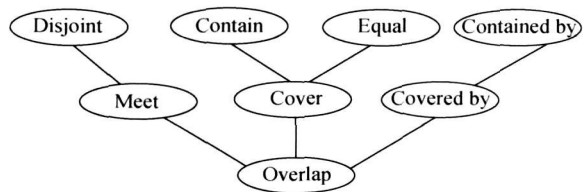


图4 简单面目标间拓扑关系概念邻域图

Fig. 4 Conceptual neighborhood graph of the topological relations between two regions

但是在空间查询、相似性评价等实际应用中,对空间目标间拓扑关系信息的需求可能是简单的、具有层次性的,这有助于减少拓扑关系计算以及空间分析处理的复杂性。例如,在制图综合中探测拓扑不一致性时,可能只需要判断2个面目标(如建筑物)是否相交。事实上,最简单的拓扑关系的区分就是判断它们是相离(Disjoint)还是连接的(Connected),因为相离意味着2个目标间没有关联,而连接意味着2个目标间存在一定关联。它们仅需利用2个目标的交运算来判别,表达为

$$\text{Basic relations} \begin{cases} A \cap B = \phi \Rightarrow \text{Disjoint} \\ A \cap B \neq \phi \Rightarrow \text{Connected} \end{cases} \quad (10)$$

当 $A \cap B$ 为非空 (9ϕ) 时,则可进一步利用维数不变量来区分为邻接关系(Meet)和叠置关系(Overlap)。对于邻接关系, $A \cap B$ 的维数(记为 $\dim(A \cap B)$) 为0或1;而对于叠置关系, $A \cap B$ 的维数则为2,于是有

$$\text{Connected} \begin{cases} \dim(A \cap B) = 0 \text{ or } 1 \Rightarrow \text{Meet} \\ \dim(A \cap B) = 2 \Rightarrow \text{Overlap} \end{cases} \quad (11)$$

其中,叠置关系可以区分为部分叠置(Partially Overlap)和完全叠置(Wholly Overlap)2种情形。它们可以利用目标之间的差集来区分,即

$$\text{Overlap} \begin{cases} A - B \neq \phi \text{ and } B - A \neq \phi \Rightarrow \text{Partially Overlap} \\ A - B = \phi \text{ or } B - A = \phi \Rightarrow \text{Wholly Overlap} \end{cases} \quad (12)$$

其中,部分叠置关系在其他文献中也简称为Overlap,而完全叠置关系可以分为包含,包含于,覆盖,覆

盖于和相等5种情形。在差运算的基础上,这5种关系可以利用2目标边界之间的交运算来判别,即

$$\begin{aligned} & \text{Wholly Overlap} \\ & \left\{ \begin{aligned} A - B = \phi \text{ and } B - A = \phi & \Rightarrow \text{Equal} \\ A - B \neq \phi, B - A = \phi, \text{ and } \partial A \cap \partial B = \phi & \Rightarrow \text{Contain} \\ A - B \neq \phi, B - A = \phi, \text{ and } \partial A \cap \partial B \neq \phi & \Rightarrow \text{Cover} \\ A - B = \phi, B - A \neq \phi, \text{ and } \partial A \cap \partial B \neq \phi & \Rightarrow \text{Contained by} \\ A - B = \phi, B - A \neq \phi, \text{ and } \partial A \cap \partial B \neq \phi & \Rightarrow \text{Covered by} \end{aligned} \right. \quad (13) \end{aligned}$$

从式(10)~式(13)可以看出,2个简单面目标间基本拓扑关系的层次描述与区分主要涉及目标之间的交($A \cap B$)、差($A - B$ 和 $B - A$)以及它们的边界交($\partial A \cap \partial B$)运算,这与文献[10]提出的4交差模型(即式9)的构成基本一致。下面在2个简单面目标间8个基本关系的基础上,进一步探讨一个简单面目标和一个带孔洞面目标间的基本拓扑关系及其层次表达方法。

4.2 简单面目标与带孔洞面目标间的基本拓扑关系类型

对于一个简单面目标和一个带孔洞的面目标,采用枚举的方法可以得到23种基本拓扑关系情形,如图5。其中,各种拓扑关系命名为简单面目标B与面目标A外边界线圈定的区域和内边界圈定的区域(即孔洞)的拓扑关系名称的组合。如第一种情形,B与A外边界线圈定的区域的拓扑关系为Disjoint,与A内边界线圈定区域的拓扑关系也是Disjoint,从而称B与A的拓扑关系为Disjoint-Disjoint。根据面目标A内、外边界圈定区域的几何关系,以及各种拓扑关系的转换顺序,可以论证图5中23种关系是完备的。

4.3 概念邻域分析

根据图4表达的2个简单面目标间8种拓扑关系转换顺序,则可以进一步得到一个简单面目标和一个带孔洞面目标间23种基本拓扑关系的概念邻域图,如图6。从图中可以看出各种拓扑关系的转换顺序及关联程度,例如,Contain-Meet关系(第14种情形)在目标局部发生一定几何变形的情况下,则其可能变化为Cover-Meet(第11种情形)、Contain-Disjoint(第13种情形)和Contain-Overlap(第15种情形)三者之一。显然,这种变化规律非常有助于进行时空推理、预测以及变化分析^[14]。在概念邻域图中,最下面一行(即1-2-3-12-13)为*-Disjoint关系;在点状区域内,每列的关系依

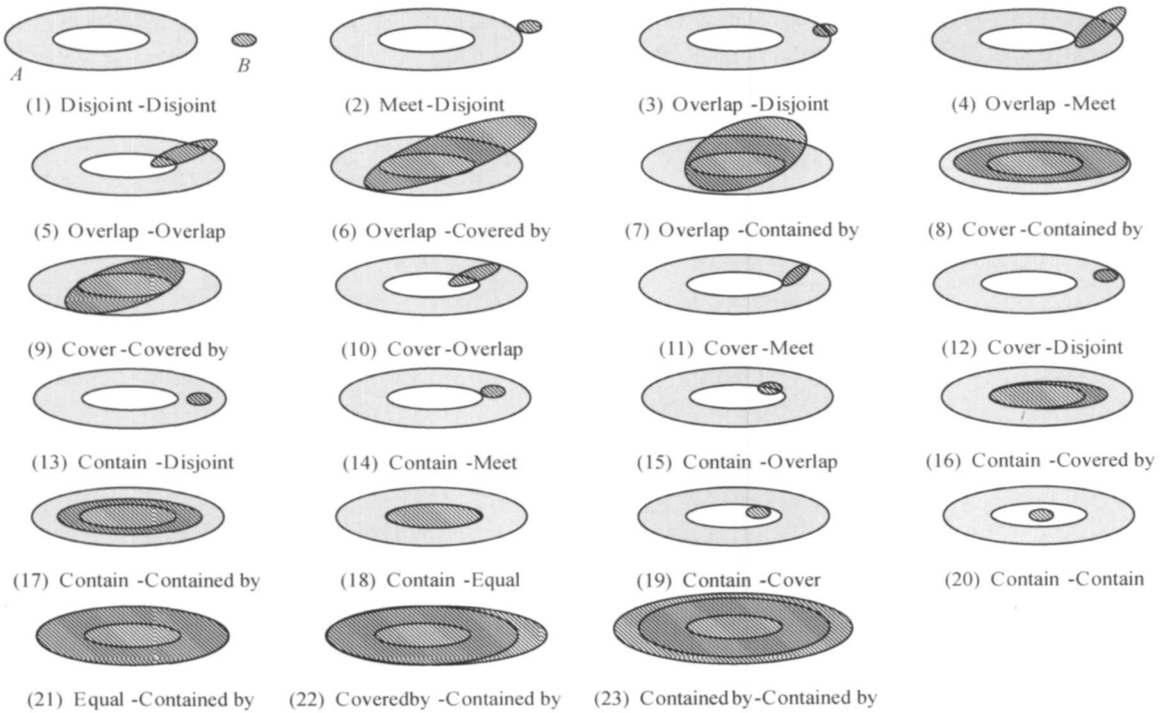


图 5 简单面目标与带孔洞面目标间的 23 种基本拓扑关系类型

Fig. 5 Twenty-three basic relations between a simple area and an area with hole

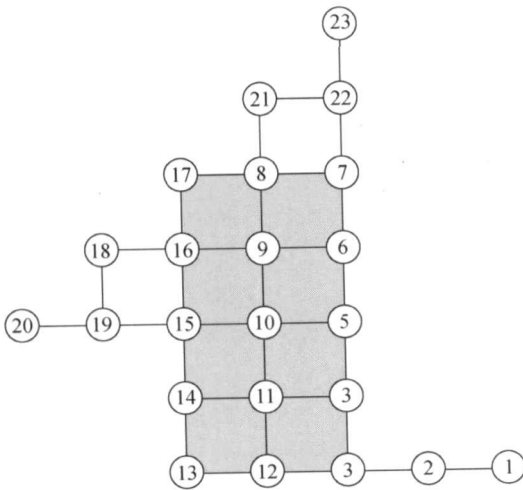


图 6 23 种基本拓扑关系的概念邻域图

Fig. 6 Conceptual neighborhood graph of 23 relations

次为 $Overlap^*$ 关系 ($3 \rightarrow 7$), $Cover^*$ 关系 ($8 \rightarrow 12$), $Contain^*$ 关系 ($13 \rightarrow 17$); 并且 $13 \rightarrow 20$ 次为 $Overlap^*$ 关系 ($3 \rightarrow 7$), $Cover^*$ 关系 ($8 \rightarrow$

12), $Contain^*$ 关系 ($13 \rightarrow 17$); 并且 $13 \rightarrow 20$ 为一个完整的 $Contain^*$ 关系概念关系邻域图(与图 4 完全相同), 而图中最顶部的 5 个关系 (23, 22, 21, 17, 8 和 7) 为 $^* - Contained\ by$ 关系。总结发现, 上述每类关系中的所有 * 关系都分别形成一个局部概念邻域图。

4.4 简单面目标和带孔洞面目标间基本拓扑关系的层次表达

仿简单面目标间基本拓扑关系的层次表达, 对于一个带孔洞面目标(A)和一个简单面目标(B), 最简单的拓扑关系分析就是判别两个面目标是相离(Disjoint)还是相连接的(Connected), 即仍可利用式(10)来区分。至于相离关系, 则仍有两种情形, 称之为内相离(Internal Disjoint)和外相离(External Disjoint), 分别对应图 5 中(20)和(1)两种情形, 它可以根据目标 B 是否与 S_1 相交来区分。而至于连接关系, 则可以利用维数不变量区分为邻接关系(Meet)和叠置关系(Overlap)。从而有

$$\text{Basic relations} \begin{cases} A \cap B = \phi \Rightarrow \text{Disjoint} \begin{cases} B \cap S_1 = \phi \Rightarrow \text{External Disjoint Fig. 5(20)} \\ B \cap S_1 \neq \phi \Rightarrow \text{Internal Disjoint Fig. 5(1)} \end{cases} \\ A \cap B \neq \phi \Rightarrow \text{Connected} \begin{cases} \dim(A \cap B) = 0 \text{ or } 1 \Rightarrow \text{Meet} \\ \dim(A \cap B) = 2 \Rightarrow \text{Overlap} \end{cases} \end{cases} \quad (14)$$

其中,邻接关系(Meet)可以区分为内邻接(Internal Meet)和外邻接(External Meet)。进而,内邻接关系可以根据面目标 B 的边界与 A 内边界的差集区分为完全内邻接(Wholly Internal Meet)

和部分内邻接(Partially Internal Meet),分别对应图 5 中(18),(19)和(2)3种情形。它们可以利用它们的边界交来区分,即

$$\text{Meet} \begin{cases} \partial A_1 \cap \partial B \neq \phi \Rightarrow \text{Internal Meet} & \begin{cases} \partial A_1 - \partial B = \phi \Rightarrow \text{Wholly Internal Meet} & \text{Fig. 5(18)} \\ \partial A_1 - \partial B \neq \phi \Rightarrow \text{Partially Internal Meet} & \text{Fig. 5(19)} \end{cases} \\ \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi \Rightarrow \text{External Meet} & \text{Fig. 5(2)} \end{cases} \quad (15)$$

而叠置关系(Overlap)则可区分为部分叠置(Partially Overlap)和完全叠置(Wholly Overlap)。它们可以利用两个目标之间的差集得以区分,即:

当 $A - B = \phi$ 时,即“ B 完全叠置 A ”,如图 5 中(21)~(23)3种情形,它们可以利用边界之间的交集来区分,从而可以得到

Overlapped

B Wholly Overlap A

$$\begin{cases} A - B \neq \phi \text{ and } B - A \neq \phi \Rightarrow \text{Partially Overlap} \\ A - B = \phi \text{ or } B - A = \phi \Rightarrow \text{Wholly Overlap} \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi \text{ and } \partial A_2 - \partial B = \phi & \text{Fig. 5(21)} \\ \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi \text{ and } \partial A_2 - \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(22)} \\ \partial A_2 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(23)} \end{cases} \quad (18)$$

对于完全叠置关系,当 $B - A = \phi$ 时,即“ A 完全叠置 B ”,如图 5 中(11)~(14)4种情形,它们可以利用边界之间的交集来区分,从而可以得到

对于部分叠置关系,可以根据与孔洞是否发生叠置来区分为 Holes-No Overlapped, Holes-Partially Overlapped 和 Holes-Wholly Overlapped, 即有

A Wholly Overlap B

$$\begin{cases} \partial A_1 \cap \partial B \neq \phi \text{ and } \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(11)} \\ \partial A_1 \cap \partial B = \phi \text{ and } \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(12)} \\ \partial A_1 \cap \partial B = \phi \text{ and } \partial A_2 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(13)} \\ \partial A_1 \cap \partial B \neq \phi \text{ and } \partial A_2 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(14)} \end{cases} \quad (17)$$

$$\text{Partially Overlapped} \begin{cases} B \cap S_1 = \phi \Rightarrow \text{Holes-No Overlapped} \\ B \cap S_1 \neq \phi \Rightarrow \text{Holes-Overlapped} \begin{cases} S_1 - B \neq \phi \Rightarrow \text{Holes-Partially Overlapped} \\ S_1 - B = \phi \Rightarrow \text{Holes-Wholly Overlapped} \end{cases} \end{cases} \quad (19)$$

其中, Hole-No Overlapped 关系为图 5 中(3)和(4)2种情形,可以进一步根据面目标 B 边界与 A 内边界的交集来区分,即

$$\begin{cases} B \cap S_2 \neq \phi & \text{Fig. 5(5)} \\ B \cap S_2 = \phi \begin{cases} \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(10)} \\ \partial A_2 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(15)} \end{cases} \end{cases} \quad (21)$$

$$\text{Holes-No Overlapped} \begin{cases} \partial A_1 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(3)} \\ \partial A_1 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(4)} \end{cases} \quad (20)$$

Holes-Partially Overlapped 关系有 3 种情形,如图 5 中(5),(10)和(15)3种情形,可以根据 $B \cap S_2$ 和 $\partial A_2 \cap \partial B$ 来区分,表达为

而 Hole Wholly Overlapped 关系为图 5 中第(6)~(9),(16)和(17)种情形。类似地,这些关系可以根据 $B \cap S_2, \partial A_1 \cap \partial B$ 和 $\partial A_2 \cap \partial B$ 来区分,表达为

$$\text{Holes-Wholly Overlapped} \begin{cases} B \cap S_2 \neq \phi \begin{cases} \partial A_1 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(6)} \\ \partial A_1 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(7)} \end{cases} \\ B \cap S_2 = \phi \begin{cases} \partial A_1 \cap \partial B \neq \phi \begin{cases} \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(9)} \\ \partial A_2 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(16)} \end{cases} \\ \partial A_1 \cap \partial B = \phi \begin{cases} \partial A_2 \cap \partial B \neq \phi & \text{Fig. 5(8)} \\ \partial A_2 \cap \partial B = \phi & \text{Fig. 5(17)} \end{cases} \end{cases} \end{cases} \quad (22)$$

从上述分析中可以看出,简单面目标与带孔洞面目标间拓扑关系的层次表达主要涉及到 2 个面目标的交、差运算,目标的边界之间的交、差运算以及简单

面目标与带孔洞面目标外部的交运算。与 2 个简单面目标间拓扑关系层次表达方法比较,由于孔洞的存在,需要对 2 个不同拓扑特性的外部集进行

区分,从而涉及到简单面目标与带孔洞目标外部集 (S_1 和 S_2) 的交运算。层次表达整体框架如图 7 所示。

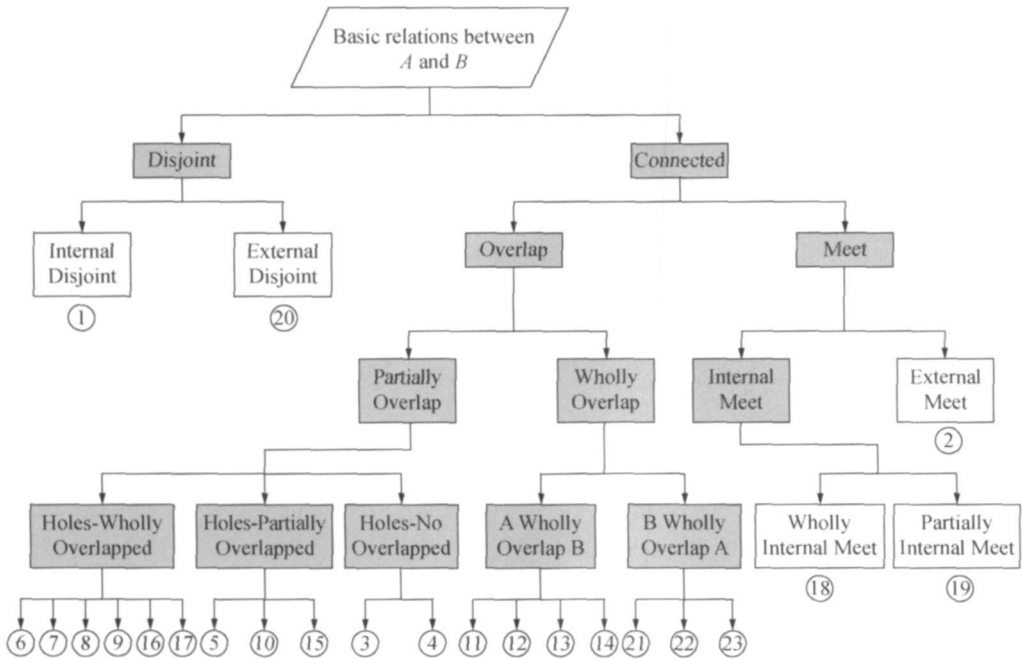


图 7 简单面目标与带孔洞面目标间 23 种基本拓扑关系的层次表达

Fig. 7 Hierarchical representation of the twenty-three basic topological relations

5 结论与展望

空间目标的拓扑分量(即:边界和内部)区分是描述空间目标间拓扑关系的基础。本文基于点集拓扑学理论提出了空间目标(包括简单面目标和复杂面目标)拓扑分量形式化描述的统一表达方法。在此基础上,建立了简单面目标、简单面目标与带孔洞面目标间拓扑关系的层次表达方法。通过分析发现:①一个简单面目标与一个带孔洞面目标之间具有 23 种基本拓扑关系情形;②空间面目标间拓扑关系区分的层次表达方法主要与空间目标间的交与差运算、空间目标边界间的交与差运算以及简单目标与带孔洞目标的外部间的交运算有关,与空间目标的边界与内部(即 $\partial A \cap B^o$ 和 $A^o \cap \partial B$) 等混合维运算无关。这个方法与文献[15, 16]提出的简单线/线、面/面间拓扑关系层次表达方法是一致的。

本文进一步的工作将是探讨 2 个带有孔洞面目标间的拓扑关系类型、概念邻域分析和层次表达方法,以便建立一个 GIS 空间目标间拓扑关系层次表达的统一框架,这也是作者正在开展的工作。

参考文献:

[1] CLEMENTINLE, SHARMA J, EGENHOFER M. Mod-

eling Topological Spatial Relations: Strategies for Query Processing[J]. Computer & Graphics, 1994, 18(6): 815-822.

[2] LIU Ya-bin, LIU Da-you. Reasoning of Topological Relations between Spatial Objects in GIS[J]. Journal of Software, 2001, 12(12): 1 859-1 863. (刘亚彬, 刘大有. 地理信息系统中空间对象间拓扑关系的推理[J]. 软件学报, 2001, 12(12): 1 859-1 863.)

[3] DENG Min. Extended Models on Topological Relations in Vector GISs: Theories and Methods[D]. Wuhan: Wuhan University, 2003. (邓敏. 矢量 GIS 中拓扑关系的扩展模型: 理论和方法[D]. 武汉: 武汉大学, 2003.)

[4] LIU Da-you, HU Peng, WANG Sheng-sheng, et al. Progress in Spatio-temporal Reasoning[J]. Journal of Software, 2004, 15(8): 1 141-1 149. (刘大有, 胡鹏, 王生生, 等. 时空推理研究进展[J]. 软件学报, 2004, 15(8): 1 141-1 149.)

[5] EGENHOFER M, FRANZOSA R. Point-set Topological Spatial Relations[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1991, 5(2): 161-174.

[6] EGENHOFER M, HERRING J. Categorizing Binary Topological Relationships between Regions, Lines and Points in Geographic Databases[A]. A Framework for the Definition of Topological Relationships and an Approach to Spatial Reasoning within This Framework[C]. Santa Barbara: [s. n.], 1991. 1-28.

[7] RANDELL D, CUI Z, COHN A. A Spatial Logical Based on Regions and Connection[A]. Proceedings of the 3rd In-

- ternational Conference on Knowledge Representation and Reasoning[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 165-176.
- [8] LIAO Shi-zhong, SHI Chun-yi. Closed Ball Model and Composition Table Derivation for Topological Relations[J]. Journal of Software, 1997, 8(12): 894-900. (廖士中, 石纯一. 拓扑关系的闭球模型及复合表的推导[J]. 软件学报, 1997, 8(12): 894-900.)
- [9] CHEN J, LI C M, LI Z L, *et al.* A Voronoi-based 9-intersection Model for Spatial Relations[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2001, 15(3): 201-220.
- [10] DENG Min, LIU Wen-bao, FENG Xue-zhi. A General Model of Topological Relations Between Spatial Regions in GIS[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 34(1): 85-90. (邓敏, 刘文宝, 冯学智. GIS面目标间拓扑关系描述的形式化模型[J]. 测绘学报, 2005, 34(1): 85-90.)
- [11] ZHOU Xiao-guang, CHEN Jun, JIANG Jie, *et al.* Topological Relations between Parcels[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2003, 32(4): 356-361. (周晓光, 陈军, 蒋捷, 等. 地籍地块间的空间关系. 测绘学报, 2003, 32(4): 356-361.)
- [12] EGENHOFER M, CLEMENTINI E, DI FELICE P. Topological Relations between Regions with Holes[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1994, 8(2): 129-144.
- [13] SCHNEIDER M, BEHRT. Topological Relationships between Complex Spatial Objects[J]. ACM Transactions on Database Systems, 2006, 31(1): 39-81.
- [14] DENG Min, FENG Xue-zhi, LIU Wen-bao, *et al.* Uncertain Reasoning Approach to Topological Relations under Location Uncertainty in GIS[J]. Pattern Cognition and Artificial Intelligence, 2004, 17(3): 326-331. (邓敏, 冯学智, 刘文宝, 等. 地理信息系统中拓扑关系不确定性推理的方法[J]. 模式识别与人工智能, 2004, 17(3): 326-331.)
- [15] LI Z L, DENG M. A Hierarchical Approach to the Line Line Topological Relations[A]. Proceedings of the 12th International Symposium of Spatial Data Handling[C]. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 365-382.
- [16] DENG M, CHENG T, CHEN X Y, *et al.* Multi-level Topological Relations between Spatial Regions Based upon Topological Invariants[J]. Geoinformatica, 2007, 11(2): 239-267.

(责任编辑:丛树平)

(上接第329页)

- [7] CLEMENTINI E, FELICE P Di. A Comparison of Methods for Representing Topological Relationships[J]. Information Sciences, 1995(3): 149-178.
- [8] CHEN Jun, ZHAO Ren-liang. Spatial Relations in GIS: a Survey on Its Key Issues and Research Progress[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1999, 28(2): 95-102. (陈军, 赵仁亮. GIS空间关系的基本问题与研究进展[J]. 测绘学报, 1999, 28(2): 95-102.)
- [9] ZHAO Ren-liang. The Computing Methods for Spatial Relations Based on Voronoi Region, Doctorial Dissertation of Central South University [D]. Changsha: Central South University, 2002. (赵仁亮. 基于voronoi图的空间关系计算研究[D]. 长沙: 中南大学, 2002.)
- [10] HORNSBY K, Egenhofer M J. Identity-based Change: a Foundation for Spatio-Temporal Knowledge Representation[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2000, 14(3): 207-224.
- [11] GEHANI N H, JAGADISH H V, SHMUELI O. Event Specification in an Active Object-oriented Database[A]. Proc Intl Conf on Management of Data[C]. San Diego: [s.n.], 1992. 81-90.
- [12] JIANG Jie. Research on Event Based Spatio-Temporal Database [D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2000. (蒋捷. 基于事件的时空数据库若干问题研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京校区), 2000.)
- [13] HU Ke-xin, ZHOU Xiao-guang. Discussion on the Quality Inspection and Modification of Cadastral Spatial Data[J]. Geomatics World, 2006, 4(4): 70-73. (胡克新, 周晓光. 地籍空间数据质量检查与修正[J]. 地理信息世界, 2006, 4(4): 70-73.)

(责任编辑:雷秀丽)