

# GIS 线目标间空间关系的集成表达方法

邓 敏<sup>1</sup>, 李志林<sup>2</sup>, 祁华斌<sup>2</sup>

(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 土地测量与地理资讯学系, 香港 九龙)

## An Integrated Approach to Representing Line-line Spatial Relations in GIS

DENG Min<sup>1</sup>, LI Zhi-lin<sup>2</sup>, QI Hua-bin<sup>2</sup>

(1. Department of Surveying and Geoinformatics, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Department of Land Surveying and Geoinformatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract:** Spatial relations play an important role in spatial query, analysis and reasoning. However, how to represent various kinds of spatial relations in a unified form is still an open issue. In this paper, an integrated approach is presented for representing line-line spatial relations. In this approach, spatial relations are decomposed into three types, including topological, directional and distance, and topological relation acts as a most basic information chain to carry directional and distance constraints for an integrated representation. At the same time, these three relations are also described based upon the idea of decomposition and combination. At first, a non-disjoint line-line topological relation is decomposed into a set of basic topological relation units, and then these basic relation units are combined by the order of occurrence. In this way, local direction relation and distance relation are defined between two neighboring topological relation units, or between a relation unit and the corresponding endpoints of two lines, where local direction relation is described in a relative terms as left and right, and local distance relation is described by a partially Hausdorff distance. Furthermore, the ordered sets of local direction and local distance relations are constructed and obtained, respectively. Indeed, the integrated approach is very sound to represent the three kinds of spatial relations validly. A simple example is given to illustrate the advantage of the proposed approach in the paper compared to the existing ones.

**Key words:** line object; spatial relations; topological relation; direction relation; distance relation

**摘 要:** GIS 中的线目标可以表达现实中一类广泛存在的空间实体,如地铁线、管线、道路以及河流等。以线目标为研究对象,基于分解与组合的思想,提出一种线/线目标空间关系的集成表达方法。在整体上,将空间关系分解为拓扑、方向和距离关系 3 种,并以拓扑关系描述作为方向和距离信息的载体,通过纳入局部的方向关系和距离关系,来集成表达两个线目标间的各种类型空间关系信息。其中在线目标间拓扑关系、方向关系和距离关系描述时,分别将它们分解为一组局部关系(或基本关系),并通过对拓扑关系建立一定的排列顺序来进行描述。最后,通过一个简单例子说明本文提出的方法与 Clementini 和 Di Felice (1998) 的不同,以及本文方法对表达各种空间关系信息的可行性。

**关键词:** 线目标;空间关系;拓扑关系;方向关系;距离关系

## 1 引 言

20 世纪 80 年代,空间关系理论的研究就已得到国际 GIS 学术界高度的重视,尤其是以 Boyle 为代表的学者们提出了需要发展空间关系的基本

理论,同时强调了空间关系理论研究对 GIS 发展的重要性<sup>[1,2]</sup>。在随后的近 20 年里,学者们主要是针对空间关系的 3 个分支,即拓扑关系、方向关系和距离关系分别进行了深入研究,提出了许多表达模型。其中,在拓扑关系描述方面,较有代表

收稿日期: 2006-09-22; 修回日期: 2007-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40501053);香港特别行政区政府 RGC 资助项目(Polyu 5228/06E);地理空间信息工程国家测绘局重点实验室开放基金项目(200635)

作者简介: 邓 敏(1974),男,江西临川人,博士,教授,主要研究领域为 GIS 空间关系理论与应用、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@pdyu.edu.hk

性的有 4 交模型<sup>[3]</sup>、9 交模型<sup>[4]</sup>，基于 Voronoi 图的 9 交模型<sup>[5]</sup>以及 4 交差模型<sup>[6]</sup>。在方向关系的描述方面，有锥形模型<sup>[7]</sup>、最小约束矩形模型<sup>[8]</sup>、最小外接矩形模型<sup>[9]</sup>、方向关系矩阵模型<sup>[10]</sup>和方向 Voronoi 模型<sup>[11]</sup>。在距离关系描述方面，在点点欧氏距离的基础上发展了最小距离、最大距离和质心距离<sup>[12]</sup>，以及 Hausdorff 距离<sup>[13]</sup>和广义 Hausdorff 距离<sup>[14]</sup>。这些模型在描述相应的分支关系时都能发挥较好的作用，但是在很多情况下难以有效地综合描述两个目标间的各种类型的空间关系信息。并且在 GIS 空间分析与应用中，例如对两个不同时期获取的空间场景进行相似性评价，通常需要详细地刻画和比较目标间的各种空间关系信息，在表达时通常需要采用定性和定量相结合的方式。为此，本文欲发展一种能够集成表达各种类型空间关系信息的基本方法。

近年来，一些学者已经提出了在拓扑关系的基础上纳入度量信息来更好地表达两个目标的空间分布情况。例如，Egenhofer & Shariff 在线与面之间拓扑关系区分的基础上提出了分割 (Splitting) 和接近性 (Closeness) 度量参数，并详细定义了相应的度量比值<sup>[15]</sup>。邓敏等人提出了面目标间的拓扑关系的度量参数，建立了拓扑关系与度量参数的映射关系，并通过一个三元组 关系名称，度量参数，参数值 来综合描述面目标间的空间关系<sup>[16]</sup>。而郭庆胜等人基于 Egenhofer 和 Franzosa<sup>[17]</sup>的面目标间详细拓扑关系提出了定量度量边界交集分量的方法<sup>[18]</sup>。最近，Nedas 和 Egenhofer 提出了线目标间拓扑关系的度量参数<sup>[19]</sup>，他们是基于 Clementini 和 Di Felice<sup>[20]</sup>的线目标间详细拓扑关系进行开展研究的。从以上研究可以看出，在综合描述两个目标间的各种空间关系信息时，它们的拓扑关系描述是基础，并且也是进一步纳入其他度量信息的载体。本文亦是基于这种指导思想，以线目标为研究对象，提出一种线目标间空间关系信息的集成化表达方法。

## 2 相关工作回顾及本文的研究策略

由于本文主要是探讨两个线目标间空间关系的集成表达方法，因此下面主要评价现有的有关线目标拓扑关系描述方法及其与度量信息综合表达的方法，不涉及评价有关面目标空间关系方面的进展工作，其中包括面目标间拓扑关系描述模型 (如 4 交模型和 4 交差模型) 以及面目标拓扑关

系度量改进方法等。

### 2.1 线目标间拓扑关系描述及其度量参数

在一个粗糙的描述层次上，主要有两个模型 (即 9 交模型和基于 Voronoi 图的 9 交模型) 用于描述和区分线目标间的拓扑关系。前者可以区分 33 种线/线关系，后者可以区分 8 种。但是，需要指出的是，即使在粗糙描述层次上，这两种模型都不是线目标间拓扑关系的一个完备描述 (在第 3 节作详细讨论)。并且，这两种模型区分的拓扑关系没有明确的分类意义。也就是说，两个线目标间有多少种拓扑关系完全取决于所采用的模型，显然，这是不合理的<sup>[21]</sup>。

在线目标拓扑关系详细区分的层次上，Clementini 和 Di Felice 提出了一组用于详细描述线目标间拓扑关系的不变量，它们包括：交分量个数、交分量类型、交分量系列、共线性和连接方向等所谓的不变量<sup>[20]</sup>。进而，将线目标间的拓扑关系描述为一个  $N$  行 4 列的矩阵。但在这个研究中定义的不变量与所设置的目标方向有密切关系，这与拓扑不变量的特性相矛盾，即在拓扑变换下 (如旋转，平移等) 的不变量。如图 1，在 (a) 和 (b) 中  $L_1$  和  $L_2$  的拓扑关系实际上是完全一样的，因为 (b) 中图形结构可以通过对 (a) 中图形结构进行一个 180° 的旋转得到。并且它们的两个交分量也是完全相同的类型。但是，根据 Clementini 和 Di Felice 定义的不变量 (即交分量类型和连接方向) 所得到的描述结果却不同，这是因为他们定义的左右连接方向 (在图 1 中用  $l$  和  $r$  表示) 和分量类型 (在图 1 中用  $T$  表示) 与线目标本身设置的方向密切相关。

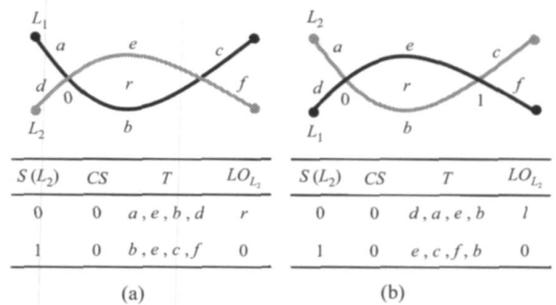


图 1 两个完全相同的空间图形结构，但被 Clementini 和 Di Felice (1998) 区分为不同的不变量

Fig. 1 Two topologically equivalent configurations, but with different invariants under the method proposed by Clementini & Di Felice (1998)

随后, Nedas 和 Egenhofer<sup>[19]</sup> 基于 9 交模型和 Clementini 和 Di Felice<sup>[20]</sup> 提出的线/线拓扑关系表达方法对线/线拓扑关系定义了两类度量参数, 包括分割度量参数 (Splitting Measures) 和接近性度量参数 (Closeness Measures)。其中前者有线/线叠置比 (Line Alongness)、内部分割比 (Interior Splitting) 和外部分割比 (Exterior Splitting); 而后者有边界接近性度量 (Boundary Closeness)、内部接近性度量 (Interior Closeness) 和内部/边界接近性度量 (Interior-Boundary Closeness)。不难发现, 这些参数仅仅是从 9 交模型的角度来定义的, 并将增加线目标间空间关系的可区分程度。但是, 从上面的分析可知, 9 交模型并不是线/线拓扑关系的基本分类, 并且在模型构成上具有一定的缺陷, 进而导致所定义的度量参数在一定程度上失去了实际意义。因此, 为了更好地表达两条线之间的各种空间关系信息, 下面提出一种新的研究策略。

### 2.2 本文的研究策略

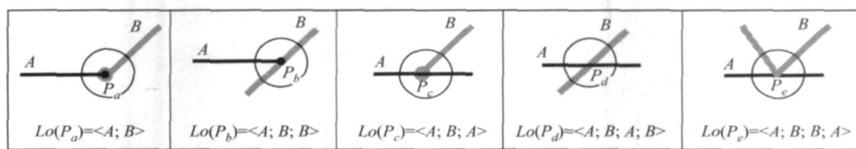
从整体上, 本文基于分解与组合的思想来分析和表达两个任意线目标间的空间关系。首先, 空间关系信息区分为拓扑、方向和距离关系, 然

后, 以拓扑关系为基础信息链, 并附加随后派生得到的局部方向和距离信息。

其中, 线/线拓扑、方向和距离关系亦是分别基于分解与组合的思想来描述, 即任意线/线目标间拓扑、方向和距离关系可以分解为若干个基本 (或称局部) 关系, 然后组合成一个有序基本关系集来表达。下面将首先简单阐述拓扑关系的分解-组合表达方法, 然后在此基础上定义方向和距离关系。

### 3 线目标间拓扑关系的分解-组合表达

据文献[21]可知, 对于两个相交的线目标, 可能具有 5 种点交分量类型, 分别用  $p_a, p_b, p_c, p_d$  和  $p_e$  表示, 如图 2。区分它们的标准是局部顺序, 用  $Lo$  表示。对于任意一个点交分量  $p_i$ , 它的局部顺序  $Lo(p_i)$  按下述方式定义: 以  $p_i$  为圆心, 以无穷小正数  $r$  为半径画一个圆 (即邻域), 则圆与两个线目标的交点在圆上的排序则为点  $p_i$  的局部顺序。考虑到在排序时起始点选择的任意性, 那么图 2 中列出的局部顺序是圆方向排列的。例如, 交分量类型  $p_d$  的局部顺序可以等价地表达为:  $Lo(p_d) = A; B; A; B \quad B; A; B; A$ 。



(注: A 和 B 表示圆与线目标的交点在线 A 和线 B 上, 黑色和灰色实心圆圈表示线目标的端点)

图 2 相交关系中可能出现的 5 种点交分量类型

Fig. 2 Categories of point components in the line-line intersection

类似地, 利用局部序可以区分 11 种线交分量类型, 分别表示为  $l_a, l_b, \dots, l_k$ , 其中,  $l_a, l_b, l_c, l_d, l_e$  和  $l_f$  (如图 3 中第一行) 仅出现在部分叠置关系中, 而  $l_g, l_h, l_i, l_j$  和  $l_k$  (如图 3 中第二行) 则只能出现在完全叠置关系中, 并且分别对应着相等、包含、被包含、覆盖和被覆盖 5 种关系。

从图 2 和图 3 可以发现, 每一个交分量类型实质上都是一个基本的拓扑关系, 即满足交的个数为 1 的一类拓扑关系。进而, 一个复杂的线/线拓扑关系 (交个数多于 1) 可以分解成上述定义的基本拓扑关系, 即 5 种点交分量类型 (如图 2) 和 6 种线交分量 (如图 3 中第一行)。从集合论的角度, 则可以将一个复杂的线/线拓扑关系视为许多

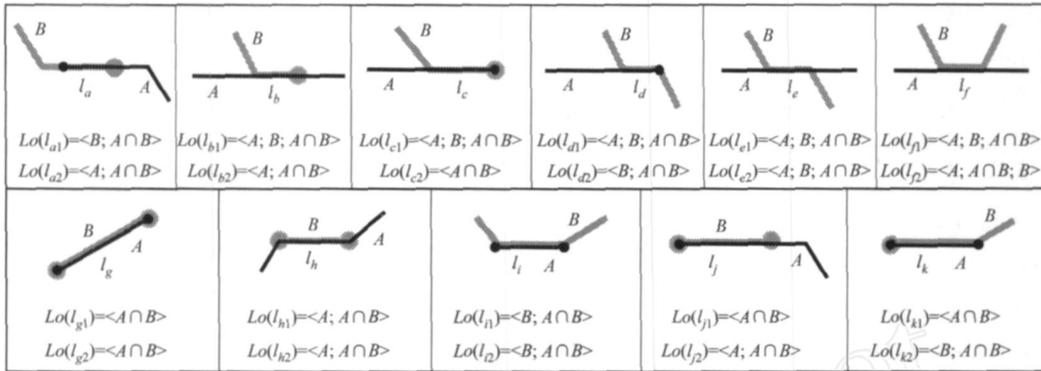
基本关系的集合, 即基本关系是复杂关系的构成元素。考虑到两个线相交的有序性, 则需要进一步建立一个有序集来描述复杂线/线关系, 即需要纳入各交分量 (或称基本关系) 的排列顺序。这种排列顺序也是对所有交分量的一个整体约束, 而这种顾及排列顺序的若干交分量 (或称基本关系) 的集合, 也称之为离散有序集。

对于两个线目标 A、B, 不妨设它们之间有 n 个交分量, 即有  $n = (A \cap B)$ 。建立 n 个交分量排列顺序的方法是: 以其中一个线目标 (不妨设为 A) 为参考目标, 从它的一个端点开始跟踪交分量, 并依次标识为 0, 1, ..., n-1, 一直跟踪到目标 A 的另一个端点结束; 从另一个线目标

$B$  的一个端点开始跟踪,在跟踪过程中依次记下所遇到的交分量的标识号,一直跟踪到目标  $B$  的另一个端点结束; 将上面依次记下的标识号排

成一列,则为交分量的排列顺序,用  $Oc(B)$  表示。那么,整个交分量的一个有序排列可以表达为

$$Oc(B) = c_0(t_0), c_1(t_1), \dots, c_{r-1}(t_{n-1}) \quad (1)$$



(注:黑色和灰色圆圈表示线目标的端点,  $l_1$  和  $l_2$  分别表示相应线交分量类型的两个端点)

图 3 叠置关系中线交分量的 11 种类型

Fig. 3 Categories of line components in the lin-line intersection

由于在第 一步中起始端点选择的任意性,因此,式可以等价表达为

$$Oc(B) = c_{n-1}(t_{n-1}), c_{n-2}(t_{n-2}), \dots, c_0(t_0) \quad (2)$$

式中,参数  $t_i (0 \leq i \leq n-1)$  为交分量的类型,  $c_i (0 \leq i \leq n-1)$  为交分量  $t_i$  的标识号。

下面以图 4 为例说明交分量的排列顺序。图中线目标  $A$  和  $B$  有 6 个交分量,在线目标  $A$  上依次标识为 0, 1, 2, 3, 4, 5。然后,在线目标  $B$  上依次跟踪得到其标识顺序为: 0, 1, 2, 3, 5, 4。为此,可以得到:  $Oc(B) = 0(p_d), 1(p_d), 2(p_d), 3(p_d), 5(p_d), 4(p_e)$ 。其中,  $p_d$  和  $p_e$  为图 2 中的两种点交分量类型。也就是说,线目标  $A$  和  $B$  之间的拓扑关系可以表达为一个由 6 个基本关系组合而成的有序集合。下面,将进一步探讨如何定义和纳入方向、距离关系等度量信息。

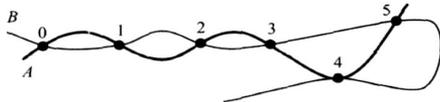


图 4 两个线相交分量的排列顺序

Fig. 4 Order of intersection components between A and B

#### 4 在线/线拓扑关系的基础上纳入度量参数

在空间关系 3 个分支(拓扑、方向和距离)中,拓扑关系是对空间目标分布约束最弱的一个,其

次是方向关系,再次是距离关系。如图 5,道路( $A$ )和河流( $B$ )具有相同的拓扑关系,都可以表达为:  $Oc(B) = 0(p_d), 1(p_d), 2(p_d), 3(p_d)$ 。但是,它们具有不同的局部方向关系,例如在交分量 0 和 1 之间,(a)中为道路在河流的左边,而(b)中为道路在河流的右边。

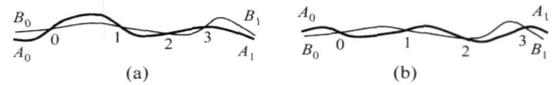


图 5 拓扑关系相同、局部方向关系不同的道路和河流

Fig. 5 A road and a river with a same topology and different direction

#### 4.1 局部方向关系的纳入

方向关系在绝对框架下可以用东、南、西、北等术语描述,而在相对框架下可以利用前、后、左、右等术语描述。在许多实际应用中,例如在制图综合中分析空间目标间的不一致性时,仅需要区分目标间的相对方向关系。为此,下面采用左、右两个术语来描述目标间的局部方向关系。

不妨设两个线目标  $A$  和  $B$  之间存在  $n$  个交分量,即  $n = (A \cap B)$ ,从而分别将  $A$  和  $B$  分割成  $(n+1)$  个部分。在本文,局部方向关系定义为两个相邻交分量(或交分量与相应线端点)在  $A, B$  上连接线之间的方向关系。因此,对于具有  $n$  个交分量的线目标,则需要计算  $(n+1)$  个局部方向关系,依次表示为  $dr_0, dr_1, \dots, dr_n$ 。于是,在拓扑关

系描述的基础上表达局部方向关系为表 1 形式。

表 1

线目标 $A, B$	拓扑关系	方向关系
端点 $A_0, B_0$	$c_0(t_0)$	$dr_0$
	$c_1(t_1)$	$dr_1$
	$c_2(t_2)$	$dr_2$
	...	...
	$c_{n-1}(t_{n-1})$	$dr_{n-1}$
端点 $A_1, B_2$		$dr_n$

其中  $(n + 1)$  个局部方向关系的组合表达了两个线目标间的方向关系。以图 5 为例,在表 2(a)和(b)中道路和河流的拓扑关系和方向关系分别表达为:

表 2(a)

线目标 $A, B$	拓扑关系 $Oc(B)$	方向关系 $Dir(B, A)$
$A_0, B_0$	$0(p_d)$	右
	$1(p_d)$	左
	$2(p_d)$	右
	$3(p_d)$	左
$A_1, B_1$		右

表 2(b)

线目标 $A, B$	拓扑关系 $Oc(B)$	方向关系 $Dir(B, A)$
$A_0, B_0$	$0(p_d)$	左
	$1(p_d)$	右
	$2(p_d)$	左
	$3(p_d)$	右
$A_1, B_1$		左

其中  $Oc(B)$  的意义如式(1),而  $Dir(B, A)$  是指参考目标为  $B$ 、源目标为  $A$  时的方向关系。在计算时,只需要计算一个局部方向关系,其余的  $n$  个局部方向关系可以根据交分量类型推理得到。例如,在常见的 4 种交分量类型  $(p_d, p_e, l_e, l_f)$  中,  $p_d$  和  $l_e$  将改变方向关系,而  $p_e$  和  $l_f$  将不会改变方向关系。

### 4.2 局部距离关系的纳入

Nedas 和 Egenhofer 定义了边界/边界、边界/内部和内部/内部的最小与最大欧氏距离<sup>[19]</sup>。这些距离都只是顾及了目标的部分形状,而没有从目标整体上来度量它们之间的偏离程度。这在实际应用中往往是非常需要的。例如,在匹配时对两个同名的不一致线的偏离程度度量,或者像在河流和山谷线之间不一致性判定时,需要计算目标之间整体的距离度量。下面利用 Hausdorff 距离来实现之。

Hausdorff 距离是一种从整体上(即目标本身)来度量目标之间的远离程度,其具体定义为<sup>[23]</sup>

$$H(A, B) = \max\{h(A, B), h(B, A)\} \quad (3)$$

$$h(A, B) = \sup_{p_a \in A} \{ \inf_{p_b \in B} \{ |p_a - p_b| \} \} \quad (4)$$

$$h(B, A) = \sup_{p_b \in B} \{ \inf_{p_a \in A} \{ |p_a - p_b| \} \} \quad (5)$$

式中,  $\sup\{ \cdot \}$  为集合的最小上边界;  $\inf\{ \cdot \}$  为集合

的最大下边界;  $\cdot$  为平面上两个向量间的某种范数,本文定义为欧氏距离。由于 GIS 空间目标实质上是一个紧致集合,因此式(4)和(5)可以等价表达为

$$h(A, B) = \max_{p_a \in A} \{ \min_{p_b \in B} \{ d(p_a, p_b) \} \} \quad (6)$$

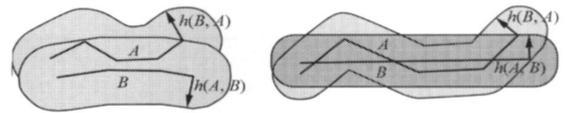
$$h(B, A) = \max_{p_b \in B} \{ \min_{p_a \in A} \{ d(p_a, p_b) \} \} \quad (7)$$

相应地, Hausdorff 距离可以表达为

$$H(A, B) = \max\{ \max_{p_a \in A} \{ \min_{p_b \in B} \{ d(p_a, p_b) \} \},$$

$$\max_{p_b \in B} \{ \min_{p_a \in A} \{ d(p_a, p_b) \} \} \} \quad (8)$$

通常,式(6)和(7)分别称为从  $A$  到  $B$  和从  $B$  到  $A$  的有向 Hausdorff 距离,并且在计算时可以利用 Buffer 方法来实现<sup>[14]</sup>。如图 6,分别给出了两个线目标在(a)相离关系和(b)相交关系情况下的 Hausdorff 距离计算。



(a)  $H(A, B) = \max\{h(A, B), h(B, A)\}$ , (b)  $H(A, B) = \max\{h(A, B), h(B, A)\} = h(A, B)$

图 6 两个线目标间的 Hausdorff 距离度量

Fig. 6 Hausdorff distance between two lines A and B

仿局部方向关系,我们可以计算局部的距离关系,即两个相邻交分量(或交分量与相应线端点)在  $A, B$  上连接线之间的 Hausdorff 距离。因此,对于具有  $n$  个交分量的线目标,则需要计算  $(n + 1)$  个局部 Hausdorff 距离,依次表示为  $dH_0, dH_1, \dots, dH_n$ 。于是,在拓扑关系描述的基础上可以表达局部 Hausdorff 距离为表 3。

表 3

线目标 $A, B$	拓扑关系	距离关系
端点 $A_0, B_0$	$c_0(t_0)$	$dH_0$
	$c_1(t_1)$	$dH_1$
	$c_2(t_2)$	$dH_2$
	...	...
	$c_{n-1}(t_{n-1})$	$dH_{n-1}$
端点 $A_1, B_1$		$dH_n$

特别地,两个线目标间的 Hausdorff 距离和局部 Hausdorff 距离存在如下关系式:

$$H(A, B) = \max\{dH_0, dH_1, dH_2, \dots, dH_n\} \quad (9)$$

此外,在实际应用中,通常使用有向 Hausdorff 距离来度量某一目标(如 A)对另一目标(如 B)的偏离程度,如河流偏离谷底线。在这种情况下,局部距离则为局部有向 Hausdorff 距离。并且,有向 Hausdorff 距离为局部有向 Hausdorff 距离的最大值,即仍满足式(9)。

综上两节分析,则可以集成表达两个线目标间的拓扑、方向和距离关系信息为一个双重二元组:

$$SR(A, B) = Oc(B), (Dir(B, A), H(A, B)) \\ = \langle c_0(t_0), c_1(t_1), \dots, c_{n-1}(t_{n-1}) \rangle, \\ \langle \langle d r_0, d r_1, \dots, d r_n \rangle, \langle d H_0, \\ d H_1, \dots, d H_n \rangle \rangle \quad (10)$$

式(10)表明,一旦拓扑关系确定了,则可以在此基础上进一步推算方向关系和距离关系。为表达直观,将式(10)表达为表 4 形式。

表 4

线目标 $A, B$	拓扑关系 $Oc(B)$	方向关系 $Dir(B, A)$	距离关系 $H(A, B)$
端点 $A_0, B_0$	$c_0(t_0)$	$d r_0$	$d H_0$
	$c_1(t_1)$	$d r_1$	$d H_1$
	$c_2(t_2)$	$d r_2$	$d H_2$
	...	...	...
	$c_{n-1}(t_{n-1})$	$d r_{n-1}$	$d H_{n-1}$
端点 $A_1, B_1$		$d r_n$	$d H_n$
	$c_0(t_0), c_1(t_1), \dots, c_{n-1}(t_{n-1})$	$d r_0, d r_1, \dots, d r_n$	$d H_0, d H_1, \dots, d H_n$

4.3 算例分析

实践中,空间关系已广泛应用于空间查询、场景相似性评价、空间推理等诸多领域。在这些应用中,各种空间关系信息的综合表达是一个最基本的问题。为了便于与 Clementni 和 Di Felice<sup>[20]</sup>提出的方法进行比较分析,下面以图 1 为例来说明本文方法的简洁性和可行性。在图 1(a)和(b)中, $L_1$  和  $L_2$  的各种空间关系可以分别描述为表 5(a)和(b)。

表 5(a)

线目标 $L_1, L_2$	拓扑关系 $Oc(L_2)$	方向关系 $Dir(L_2, L_1)$	距离关系 $H(L_1, L_2)$
端点 $L_{10}, L_{20}$	$0(p_d)$	左	1.32 cm
	$1(p_d)$	右	0.96 cm
端点 $L_{11}, L_{21}$		左	1.26 cm
	$0(p_d), (p_d)$	左,右,左	1.32, 0.96, 1.26

表 5(b)

线目标 $L_1, L_2$	拓扑关系 $Oc(L_2)$	方向关系 $Dir(L_2, L_1)$	距离关系 $H(L_1, L_2)$
端点 $L_{10}, L_{20}$	$0(p_d)$	右	1.32 cm
	$1(p_d)$	左	0.96 cm
端点 $L_{11}, L_{21}$		右	1.26 cm
	$0(p_d), (p_d)$	右,左,右	1.32, 0.96, 1.26

从上述表达中可以看出,在表 5(a)和(b)中  $L_1$  和  $L_2$  间拓扑关系、距离关系是相同的,而方向关系则不同。这是因为拓扑关系和距离关系不随整个空间框架旋转而发生变化,而方向关系则发生变化。并且可以发现,Clementini 和 Di Felice<sup>[20]</sup>采用的描述和区分方法实质上纳入了空间目标间的局部方向关系,因而描述的结果不是单纯的拓扑关系,而是拓扑关系和方向关系的混合情形。

5 结论与展望

在 GIS 中,空间目标间的空间关系是一种复合信息,通常涉及拓扑、方向和距离等多个方面。在实际应用中,如在空间数据更新过程中进行不一致性的探测时,仅仅利用单方面的空间关系信息往往是不够的,因此需要建立一个综合描述目标间空间关系的方法。通过分析可以发现,本文基于分解与组合的思想,并在拓扑关系描述的基础上纳入局部方向和局部距离关系信息,以实现空间关系信息的集成表达,是一种行之有效的途径。但是需要指出的是,文中描述的方向和距离等信息都是非常基本的空间度量信息。针对不同的具体应用,可能还需要纳入一些相关的度量信息,例如交分量处两个线的夹角<sup>[24]</sup>、两个相邻交分量形成环的形状度量等,这些派生信息仍可以利用本文提出的方法来表达。此外,进一步的研究工作可望利用此文提出的思路来分析和探讨两个空间面目标以及一个线与一个面目标间各种空间关系的集成表达。

参考文献:

[1] BOYLE A R, DANGERMOND J, MARBLE D F, et al. Final Report of a Conference on the Review and Synthesis of Problems and Directions for Large Scale Geographic Information System Development[R]. National Aeronautics and Space Administration, Contract NAS2-11246, 1983.

[2] ABLER R F. The National Science Foundation National Center for Geographic Information and Analysis[J]. International

- Journal of Geographical Information Systems,1987,1(4):303-326.
- [3] EGENHOFER M J, FRANZOSA R. Point-set Topological Spatial Relationships[J]. International Journal of Geographical Information Systems,1991,5(2):161-174.
- [4] EGENHOFER M J, HERRING J. Categorizing Binary Topological Relationships between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases[R]. Orono: Department of Surveying Engineering, University of Maine, 1991.
- [5] CHEN Jun, LI Cheng-ming, LI Zhi-lin, *et al.* A Voronoi-based 9-intersection Model for Spatial Relations [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2001, 15 (3): 201-220.
- [6] DENG Min, LIU Wen-bao, FENG Xue-zhi. Generic 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.)
- [7] HAAR R. Computational Models of Spatial Relations [R]. Maryland: University of Maryland, College Park, 1976.
- [8] PAPADIAS D, THEODORIDIS Y, SELLS T. The Retrieval of Direction Relations Using R-Trees[A]. Database and Expert Systems Applications, the 5th International Conference, DEXA '94, Lecture Notes in Computer Science [C]. New York: Springer-Verlag, 1994. 856:173-182.
- [9] MUKERJEE A, JOE G. A Qualitative Model for Space[A]. Proceedings of the 8th National Conference on Artificial Intelligence [C]. Boston MA: [s. l. ], 1990. 721-727.
- [10] GOYAL R K. Similarity Assessment for Cardinal Directions between Extended Spatial Objects[D]. Maine: University of Maine, 2000.
- [11] YAN Hao-wen. Research on Formal Description Model of Spatial Direction Relations [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2003, 32(1): 42-46. (闫浩文. 空间方向关系形式化描述模型研究[J]. 测绘学报, 2003, 32(1): 42-46.)
- [12] GUO Ren-zhong. Spatial Analysis[M]. Wuhan: Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Press, 2000. (郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.)
- [13] CHEN Xiao-yong. Spatial Relations of Distance between Arbitrary Objects in 2D/3D Geographic Spaces Based on the Hausdorff Metric[A]. LIESMARS '95 [C]. Wuhan: [s. n. ], 1995. 30-40.
- [14] DENG Min, CHEN Xiao-yong, LI Zhi-lin. A Generalized Hausdorff Distance for Spatial Objects in GIS[A]. Proceedings of the 4th ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS [C]. Wales: [s. n. ], 2005, 10-15.
- [15] EGENHOFER M J, SHARIFF R. Metric Details for Natural Language Spatial Relations[J]. ACM Transactions on Information Systems, 1998, 16(4): 295-321.
- [16] DENG Min, LI Cheng-ming, LIU Wen-bao. Description of Spatial Relations between Area Objects Combining Topology with Metrization[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31(2): 164-169. (邓敏, 李成名, 刘文宝. 基于拓扑和度量的面目标间空间关系的描述[J]. 测绘学报, 2002, 31(2): 164-169.)
- [17] EGENHOFER M J, FRANZOSA R. On the Equivalence of Topological Relations[J]. International Journal of Geographic Information Systems, 1995, 9(2): 133-152.
- [18] GUO Qing-sheng, DU Xiao-chu, LIU Hao. Research on Quantitative Representation and Abstraction of Topological Relation Between Two Regions[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 34(2): 123-128. (郭庆胜, 杜晓初, 刘浩. 空间拓扑关系定量描述与抽象方法研究[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 123-128.)
- [19] NEDAS K, EGENHOFER M. Metric Details of Topological Line-Line Relations[J]. International Journal of Geographic Information Science, 2007, 21(1): 21-48.
- [20] CLEMENTINI E, DI FELICE P. Topological Invariants for Lines[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1998, 10(1): 38-54.
- [21] LI Zhi-lin, DENG Min. A Hierarchical Approach to the Line-Line Topological Relations[A]. Progress in Spatial Data Handling [C]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 365-382.
- [22] LI Zhi-lin, ZHAO Ren-liang, CHEN Jun. A Voronoi-based Spatial Algebra for Spatial Relations[J]. Progress in Natural Science, 2001, 12(7): 528-536.
- [23] RUCKLIDGE W J. Efficient Visual Recognition Using the Hausdorff Distance[A]. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1173 [C]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.
- [24] LIU Wan-zeng, CHEN Jun, LI Zhi-lin, *et al.* Detection of Spatial Conflicts between Rivers and Contours in Topographic Database Updating[A]. Proceedings of the 4th Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS [C]. Wales: [s. n. ], 2005. 99-105.

(责任编辑:雷秀丽)