

DOI:10.13203/j.whugis20170009



文章编号:1671-8860(2018)11-1712-07

# 语义尺度影响的相离区域合并与拓扑关系计算

王占刚<sup>1</sup> 吴自兴<sup>2</sup> 王想红<sup>2</sup>

1 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京,100083

2 中国地质调查局发展研究中心,北京,100037

**摘要:**拓扑关系随着语义尺度的变化需要重新推理或者计算。当粗略语义尺度下的区域对象由详细尺度下的有限个区域合并而成时,区域对象间的拓扑关系可采用已有的组合推理方法得到,然而这些方法只适用于简单对象并存在多解性。针对此问题,提出了基于 9 交模型的拓扑关系多尺度计算方法,分别针对相离区域合并和相邻区域合并定义了 9 交矩阵操作算子,可利用详细语义尺度的拓扑关系直接计算出合并区域间的 9 交矩阵。利用 9 交矩阵操作算子得到的计算结果值域为复杂区域对象间所有可能的拓扑关系,且不存在多解性,通过消除歧义性还可扩展 9 交矩阵操作算子,适用于多个相离简单区域组合的复杂区域。

**关键词:**语义尺度;拓扑关系;9 交模型;区域对象;区域合并

**中图分类号:**P208

**文献标志码:**A

尺度是空间数据的主要特性之一,也是多尺度空间数据建模与分析中的重要内容。在地理学、地理信息科学等研究领域,不同的认知过程,其尺度含义不同<sup>[1-4]</sup>,如可划分为空间尺度、时间尺度和语义尺度等<sup>[4]</sup>。尺度变化可能导致空间数据的维数、几何形态、属性信息以及空间关系的变化<sup>[5-6]</sup>。多尺度数据处理与分析的一个主要内容是根据尺度变化对空间信息进行概化和综合,通过对详细尺度的空间数据进行空间综合(选取、合并、化简)和属性综合,达到自动或者半自动处理粗略尺度下的空间数据的目的。由尺度变化引起的拓扑关系、方向关系等空间关系的变化称为尺度依赖性建模<sup>[7]</sup>,主要应用于拓扑关系、方向关系的一致性分析<sup>[8-11]</sup>、多尺度空间数据查询<sup>[12-13]</sup>等领域。语义尺度影响下的拓扑关系多尺度计算是空间关系尺度依赖性建模问题之一<sup>[7,14]</sup>。Tryfona 等<sup>[8]</sup>、杜世宏等<sup>[7,10]</sup>指出该问题的语义尺度主要表现为多尺度属性划分,通过属性归纳从详细尺度向粗略尺度转换;尺度变化后的空间对象通过区域合并进行概化综合,此过程不改变区域对象的维数和几何形态,空间关系由推理得到。

目前,拓扑关系的多尺度计算主要依赖组合推理的方法,通过简单对象间的基本拓扑关系(简单区域间的 8 种基本关系,线面间的 19 种关系

等),构建出推理组合表进行查表运算,比如区域合并组合推理<sup>[8]</sup>、简单区域间的组合推理<sup>[15]</sup>等。这种方法简单直观,易于理解,但其不足主要表现为:①由于基于空间对象间的基本关系,其推理结果的值域仍是基本关系;②只能适用于简单空间对象的处理,复杂空间对象间的推理组合不易实现;③推理结果存在多解性。

在拓扑关系的描述模型中,9 交模型<sup>[16-17]</sup>仍是广泛使用的一种方法,被 OpenGIS 采用<sup>[18]</sup>。9 交模型通过两个对象间内部( $\circ$ )、边界( $\partial$ )和外部( $+$ )的交集形成一个 9 交矩阵描述拓扑关系,已被应用于描述复杂对象的拓扑关系,如复杂区域对象间存在 33 种拓扑关系<sup>[19-20]</sup>。基于 9 交模型可以提供多种层次的空间查询,包括谓词查询和 9 交矩阵查询<sup>[18,21]</sup>。如果直接基于 9 交矩阵进行拓扑关系的多尺度计算,可弥补现有方法的不足,一方面可以不限于简单对象,另一方面计算结果的值域可扩展为 9 交模型表达的所有拓扑关系。针对语义尺度影响下的拓扑关系多尺度计算,本文提出了基于 9 交矩阵的计算方法,通过定义 9 交关系矩阵操作算子,直接计算出 9 交矩阵。

## 1 语义尺度与空间区域划分

区域对象在 OpenGIS<sup>[18]</sup>和文献<sup>[19,22]</sup>中进

收稿日期:2017-12-25

项目资助:国家自然科学基金(41672326,41202238);中央高校基本科研业务费专项资金。

第一作者:王占刚,博士,副教授,主要从事数学地质、三维地质建模和地质信息系统等研究。millwzg@163.com

行了详细描述。设区域对象  $A \subset \mathbf{R}^2$ , 满足  $A = \overline{A^\circ}$ ,  $A^\circ$  是包含  $A$  的最小正则闭包;  $-A$  是  $A$  的补集, 即  $-A = \mathbf{R}^2 - A^\circ$ .  $\mathbf{R}^2 = A^\circ \cup \partial A \cup A^+$ ,  $-A = \partial A \cup A^+$ ,  $-(-A) = A$ . 简单区域是一种特殊的区域对象, 同胚于一个圆盘, 具有完全连通的内部、边界和外部。

对于  $\mathbf{R}^2$  上的两个简单区域  $A_1$  和  $A_2$ , 如图 1 所示, 将两个相离区域的并  $A_1 \cup A_2$  记为  $A_1 + A_2$ , 其合并结果是一个复杂区域, 称为组合区域; 两个相邻区域(存在公共边, 拓扑关系为边相接)的并  $A_1 \cup A_2$  记为  $A_1 \oplus A_2$ , 其合并结果是一个去除公共边内部的简单区域。

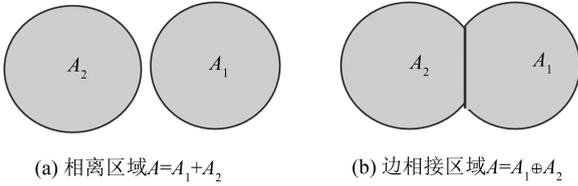


图 1 区域对象定义  
Fig.1 Definition of Region Objects

语义尺度主要表现为多尺度属性划分<sup>[7]</sup>, 比如: ①概念划分, 即部分和整体的关系, 如行政区划, 村庄是县的一部分, 县是市的一部分; ②多尺度分类系统。属性是表征空间对象可被人类认知的概念化语义、符号或者名称。语义尺度的变化引起空间区域的多尺度划分, 表现为不同尺度下平面空间被划分成有限个区域对象的集合<sup>[7]</sup>。

定义 1: 语义尺度属性集  $S$  是一组属性的集合, 记为  $S = \{s_1 \dots s_m\}$  ( $m > 1$ )。语义尺度属性集  $S_2$  比语义尺度属性集  $S_1$  详细, 则存在映射  $f: S_2 \rightarrow S_1$ ,  $f$  表示部分和整体的关系或者分类关系映射。

定义 2:  $A$  是语义尺度  $S_1$  下的一个区域对象,  $P = \{p_1 \dots p_n\}$  ( $n > 1$ ) 为一个简单区域集合, 称  $P$  为  $A$  在语义尺度  $S_2$  下的一个区域划分, 当且仅当下列条件满足:

- 1) 语义尺度  $S_2$  比语义尺度  $S_1$  详细。
- 2)  $p_1 \dots p_n$  均为简单区域。
- 3)  $\forall i, j = 1 \dots n$  且  $i \neq j$ ,  $p_i$  和  $p_j$  的拓扑关系只能是边相接和相离情况之一。
- 4)  $A = \bigcup_{i=1}^n p_i$ 。
- 5)  $p_i$  属于语义尺度  $S_2$  下的某一个属性。
- 6) 同一属性的区域间只能是相离关系。

以上区域划分是一个无缝划分, 不允许由粗到细的划分过程中出现空白区域。边相接关系说

明相邻区域须存在公共边。区域合并是区域划分的逆过程, 即从一个详细的语义尺度  $S_2$  向粗略语义尺度  $S_1$  转换的过程。

## 2 基于 9 交模型的拓扑关系计算

### 2.1 9 交模型

9 交模型<sup>[16-17]</sup>是通过两个区域对象  $A, B$  的内部( $^\circ$ )、边界( $\partial$ )和外部( $^+$ )的交集来描述拓扑关系。由一个  $3 \times 3$  的 0/1 型 9 交矩阵  $\mathbf{R}(A, B)$  表示:

$$\begin{bmatrix} r_{11}^{AB} & r_{12}^{AB} & r_{13}^{AB} \\ r_{21}^{AB} & r_{22}^{AB} & r_{23}^{AB} \\ r_{31}^{AB} & r_{32}^{AB} & r_{33}^{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^+ \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^+ \\ A^+ \cap B^\circ & A^+ \cap \partial B & A^+ \cap B^+ \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\mathbf{R}(A, B)$  所能表达的拓扑关系总数为 33 种<sup>[19]</sup>。若  $A$  和  $B$  均为简单区域, 仅存在 8 种关系: 相离、相接、相交、包含、覆盖、包含于、覆盖于和相等。

### 2.2 相离区域合并与拓扑关系尺度计算

如果一个粗尺度下的区域对象  $B$  由两个相离的简单区域  $B_1, B_2$  构成, 即  $B = B_1 + B_2$ , 则简单区域  $A$  和  $B$  的 9 交拓扑关系可通过  $A$  和  $B_1, B_2$  的拓扑关系分解计算得到<sup>[23]</sup>:

$$\mathbf{R}(A, B) = \mathbf{R}(A, B_1 + B_2) = \mathbf{R}(A, B_1) \vee \mathbf{R}(A, B_2) =$$

$$\begin{bmatrix} r_{11}^{AB_1} \vee r_{11}^{AB_2} & r_{12}^{AB_1} \vee r_{12}^{AB_2} & r_{13}^{AB_1} \wedge r_{13}^{AB_2} \\ r_{21}^{AB_1} \vee r_{21}^{AB_2} & r_{22}^{AB_1} \vee r_{22}^{AB_2} & r_{23}^{AB_1} \wedge r_{23}^{AB_2} \\ r_{31}^{AB_1} \vee r_{31}^{AB_2} & r_{32}^{AB_1} \vee r_{32}^{AB_2} & r_{33}^{AB_1} \wedge r_{33}^{AB_2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

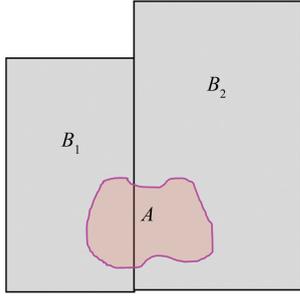
式中, 运算符  $\vee$  称为相离区域间拓扑关系加算子。 $\vee$  满足交换律  $\mathbf{R}(A, B_1) \vee \mathbf{R}(A, B_2) = \mathbf{R}(A, B_2) \vee \mathbf{R}(A, B_1)$ , 并且,  $\mathbf{R}(B_1 + B_2, A) = [\mathbf{R}(A, B_1 + B_2)]^T = [\mathbf{R}(A, B_1) \vee \mathbf{R}(A, B_2)]^T$ ,  $T$  表示矩阵转置。

### 2.3 相邻区域合并与拓扑关系尺度计算

如果一个粗尺度下的区域对象  $B$  由两个边相接的简单区域  $B_1, B_2$  构成, 记为  $B = B_1 \oplus B_2$ , 此时利用运算符  $\vee$  不能计算出正确的拓扑关系。文献[8]通过推理组合表定性处理, 将计算结果限定在某几个关系中, 再根据实际交集情况逐一排查。如图 2 所示,  $A$  与  $B_1$  和  $B_2$  的拓扑关系均为相交, 利用式(1)计算出的结果是相交, 显然与图

示  $A$  包含于  $B$  不相符。利用文献[8]中的推理表,图 2 中  $R(A, B)$  可以是相交、覆盖于和

包含于 3 种取值情况之一,这导致了推理的多解性。



$$R(A, B_1) = R(A, B_2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R(A, B) = R(A, B_1) \cup R(A, B_2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

图 2 具有公共边界的区域合并与拓扑关系计算

Fig.2 Regions Merging with Common Boundaries and Topological Relations Computing

由于 9 交矩阵以及 8 个基本拓扑关系是一种定性方法,这类拓扑关系的描述模型通过 0 和 1 概化处理交集关系时,已经丢失了大量的信息,推理表只能给出取值的多种可能性。要消除这一多解问题,显然需要补充信息,弥补概化造成的信息损失。

$B_1, B_2$  构成时,增加辅助区域对象  $b_1 \cdots b_n (n > 1)$ ,用以区分  $B$  的外部。添加规则如下:

通过分析图 2 拓扑关系计算失败的原因,可以发现:①区域对象  $B_1$  (或  $B_2$ ) 的外部与  $B_2$  (或  $B_1$ ) 的内部相交,通过 9 交矩阵  $R(A, B_1)$  无法区分哪些部分是  $B_2$  的内部;②区域对象  $B_1$  和  $B_2$  的公共边界属于  $B$  的内部,从  $R(A, B_1)$  和  $R(A, B_2)$  无法获知  $A$  是否与公共边界相交。因此,相邻区域合并后,从 9 交矩阵无法有效判断出  $A$  与  $B$  的外部 and 边界的真实交集信息。

- 1)  $b_1 \cdots b_n$  均为简单区域。
- 2) 在  $\{b_1 \cdots b_n, B_1, B_2\}$  中,其任意两个区域的关系只能是边相接和相离情况之一。

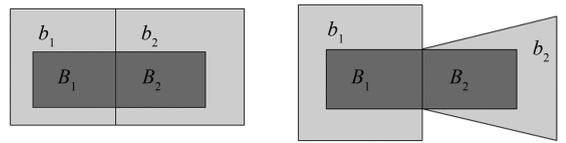
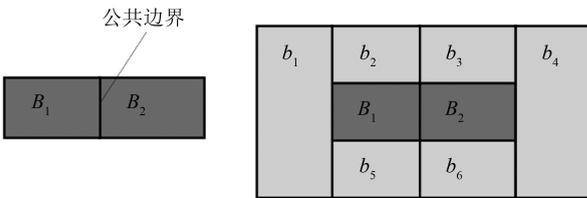
因此增加辅助信息,使得拓扑关系可直接计算。当区域对象  $B$  由两个边相接的简单区域

- 3) 任意  $b_i$  与  $B_1$  或者  $B_2$  存在边相接关系,其中  $i = 1 \cdots n$ 。

- 4)  $B$  的边界是辅助区域对象边界的一部分,即  $(\partial B_1 \cup \partial B_2) - (\partial B_1 \cap \partial B_2) \subset \cup_{i=1}^n \partial b_i$ 。

- 5)  $B_1$  和  $B_2$  公共边界的两个端点位于辅助区域对象边界,即  $\partial B_1 \cap \partial B_2 \subset \cup_{i=1}^n \partial b_i$ 。

如图 3 所示,增加辅助区域对象,图 3(b) 和图 3(c) 为合理的添加规则;而图 3(d) 为不合理的添加规则,因为  $b_1$  与  $b_2$  不为边相接关系。图 4 为区域合并后形成洞的情况,洞内也需要增加辅助区域。



(a) 边相接关系

(b) 第 1 种合理的辅助区域

(c) 第 2 种合理的辅助区域

(d) 不合理的辅助区域

图 3 添加辅助区域消除计算错误(当  $B_1$  和  $B_2$  为边相接关系)

Fig.3 Extra Regions Added to Solve Ambiguities When  $B_1$  Meets  $B_2$  with Common Boundaries

当添加辅助区域后,区域对象  $B$  的内部、边界和外部将分别由式(3)至式(5)计算得到:

$$B^\circ = (B_1^\circ \cup B_2^\circ) \cap (\cap_{i=1}^n b_i^+) \quad (3)$$

$$\partial B = (\partial B_1 \cup \partial B_2) \cap (\cup_{i=1}^n \partial b_i) \quad (4)$$

$$B^+ = (B_1^+ \cap B_2^+) \cap (\cup_{i=1}^n b_i^\circ) \quad (5)$$

当区域对象  $B$  由两个相邻的简单区域  $B_1, B_2$  构成时,则简单区域  $A$  和  $B$  的 9 交拓扑关系可通过  $A$  和  $B_1, B_2$  以及辅助区域对象  $b_1 \cdots b_n (n > 1)$  间的拓扑关系计算得到:

$$R(A, B) = R(A, B_1 + B_2) \wedge$$

$$[\perp R(A, b_1 + b_2 + \cdots + b_n)] \quad (6)$$

式中,  $\perp$  表示互换 9 交矩阵的第 1 列和第 3 列;  $\wedge$  表示矩阵对应元素进行逻辑与运算。

证明: 设  $M_a = \{A^\circ, \partial A, A^+\}, \forall a \in M_a$ , 可得:

$$a \cap B^\circ = a \cap ((B_1^\circ \cup B_2^\circ) \cap (\cap_{i=1}^n b_i^+)) = [(a \cap B_1^\circ) \cup (a \cap B_2^\circ)] \cap [a \cap (\cap_{i=1}^n b_i^+)]$$

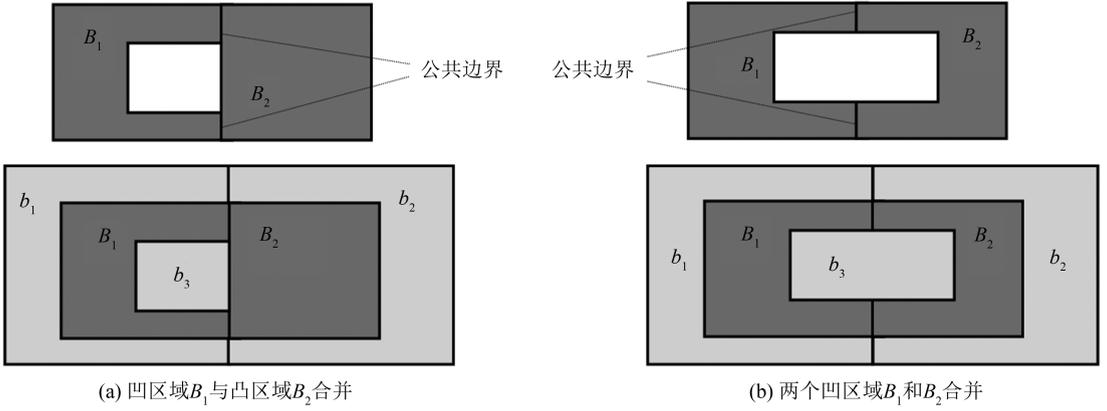


图 4 添加带洞辅助区域处理具有公共边界的  $B_1$  和  $B_2$  区域合并

Fig.4 Adding Extra Regions with Holes to Merge  $B_1$  and  $B_2$  with Common Boundaries

$$\begin{aligned} &\rightarrow (r_{i1}^{AB1} \vee r_{i1}^{AB2}) \wedge (\bigwedge_{i=1}^n r_{i3}^{Ab_i}) \\ a \cap \partial B &= a \cap ((\partial B_1 \cup \partial B_2) \cap (\bigcup_{i=1}^n \partial b_i)) = \\ &[(a \cap \partial B_1) \cup (a \cap \partial B_2)] \cap [a \cap (\bigcup_{i=1}^n \partial b_i)] \\ &\rightarrow (r_{i2}^{AB1} \vee r_{i2}^{AB2}) \wedge (\bigvee_{i=1}^n r_{i2}^{Ab_i}) \\ a \cap B^+ &= a \cap ((B_1^+ \cap B_2^+) \cap (\bigcup_{i=1}^n b_i^o)) = \\ &[(a \cap B_1^+) \cap (a \cap B_2^+)] \cap [a \cap (\bigcup_{i=1}^n b_i^o)] \\ &\rightarrow (r_{i3}^{AB1} \wedge r_{i3}^{AB2}) \wedge (\bigvee_{i=1}^n r_{i1}^{Ab_i}) \end{aligned}$$

式中,  $\bigwedge_{i=1}^n$  表示  $n-1$  个逻辑与运算;  $\bigvee_{i=1}^n$  表示  $n-1$  个逻辑或运算。由于  $A$ 、 $B_1$  和  $B_2$  以及辅助区域对象  $b_1 \cdots b_n$  ( $n > 1$ ) 均为简单区域,  $A$  与  $B_1$ 、 $B_2$  间的计算可以记为  $\mathbf{R}(A, B_1 + B_2)$ , 而  $A$  与辅助区域对象  $b_1 \cdots b_n$  的计算可以记为  $\mathbf{R}(A, b_1 + b_2 + \cdots + b_n)$ 。  $\mathbf{R}(A, b_1 + \cdots + b_n)$  的第 1 列与第 3 列调换, 即得  $\mathbf{R}(A, B) = \mathbf{R}(A, B_1 + B_2) \wedge [\perp \mathbf{R}(A, b_1 + b_2 + \cdots + b_n)]$ 。

### 3 拓扑关系计算应用实例

图 5 所示的气象信息系统空气污染条件中, 图 5(a) 为华北 4 省市(北京市、天津市、河北省和山西省)气象信息系统某一时段的空气污染状况。其中一项查询服务为查询行政区域组合与污染条件分布区的拓扑关系。气象信息系统中, 最详细的尺度为县区级行政区(见图 5(b)), 系统只存储县区级区域和空气污染分布区域间的拓扑关系。县区级行政区采用简单区域对象进行表达, 省、市或者特定地区的区域对象由县区级行政区合并而成, 系统内仅存储了其对于县区级行政区的构成关系。由于存在相邻区域合并情况, 故在整个地图(华北 4 省市)外部增加了两个附加的县区级区

域, 如图 6 所示。

记  $A$  为某一时段某一等级空气污染条件分布区域(简单区域), 多个县区级行政区域合并与  $A$  之间的拓扑关系计算步骤为:

- 1) 获取查询区域内所有县级区域对象的集合  $M_B = \{B_1 \cdots B_m\}$  ( $m > 1$ )。
- 2) 将  $M_B$  中的区域对象根据相邻和相离关系拆分成多个相离部分  $C_i$ , 即  $M_B = \cup C_i$ 。其中,  $C_i$  满足:  $C_i$  中任意区域对象与非  $C_i$  中其他区域对象是相离关系, 且  $C_i$  中任意区域对象必与  $C_i$  中另一区域对象是相接关系, 否则  $C_i$  中只有一个区域对象。
- 3) 对任意  $C_i$ , 存在与  $C_i$  中的对象为相接关系但不属于  $C_i$  的区域对象, 构成辅助区域对象集合  $M_b = \{b_1 \cdots b_n\}$  ( $n > 1$ )。
- 4) 针对任意  $C_i$ , 按式(6)计算  $A$  与  $C_i$  的拓扑关系。
- 5) 按式(2)计算  $A$  与  $B$  的拓扑关系。

查询实例: 计算 2016 年 10 月 5 日 6 时河北省与五级空气污染分布区的拓扑关系。步骤如下:

- 1) 记简单区域  $A$  为五级空气污染分布区。
- 2) 记区域  $B$  为河北省区域, 其由兴隆县等 172 个县级区域构成, 即:

$$M_B = \{B_1 \cdots B_{172}\} = \{\text{兴隆县} \cdots \text{宽城}\}$$

从图 6(a) 可知, 河北由两个相离部分构成, 划分为两个区域, 即区域 1( $C_1$ ) 和区域 2( $C_2$ )。

- 3)  $C_1$  由 169 个县级区域构成, 即  $C_1 = \{B_1 \cdots B_{169}\} = \{\text{兴隆县} \cdots\}$ 。记  $M_b = \{b_1 \cdots b_{32}, b_{33}\} = \{\text{延庆} \cdots \text{附加区域 1}, \text{附加区域 2}\}$ , 按式(6)计算  $A$  与  $C_1$  的拓扑关系为:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(A, C_1) &= \mathbf{R}(A, B_1 + \cdots + B_{169}) \wedge \\ &[\perp \mathbf{R}(A, b_1 + \cdots + b_{33})] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

4)  $C_2$ 由3个县级区域构成,即  $C_2 = \{B_1, B_2, B_3\} = \{\text{三河, 大厂, 香河}\}$ 。记  $M_b = \{b_1 \cdots b_6\} = \{\text{通州, 顺义, 平谷, 武清, 蓟县, 宝坻}\}$ , 计算  $A$  与  $C_2$  的拓扑关系为:

$$R(A, C_2) = R(A, B_1 + B_2 + B_3) \wedge [\perp R(A, b_1 + \cdots + b_6)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

5) 按式(2)计算  $A$  与  $B$  的拓扑关系为:

$$R(A, B) = R(A, C_1 + C_2) = R(A, C_1) \vee R(A, C_2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

通过计算可得 9 交矩阵  $R(A, B)$  的拓扑语义为“包含于”。

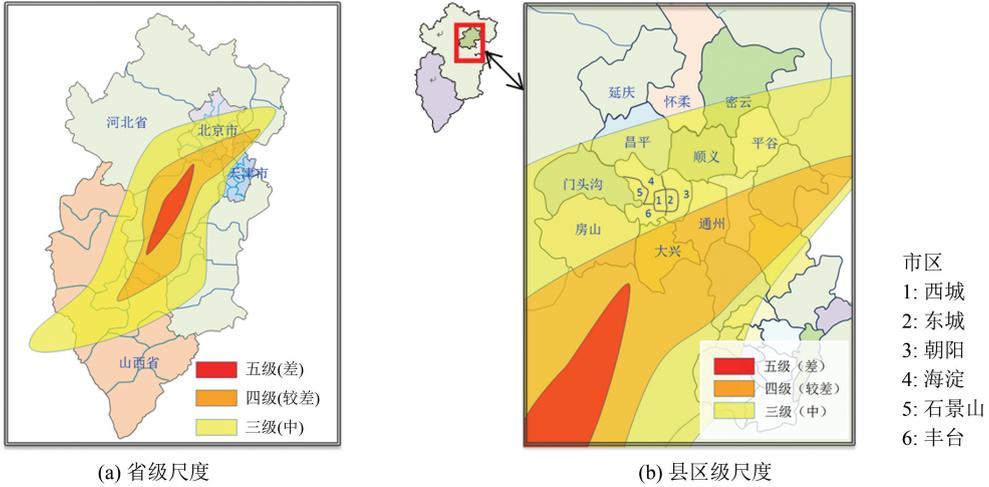


图 5 华北 4 省气象信息系统空气污染条件(2016 年 10 月 5 日 6 时)

Fig.5 Meteorological Conditions of Air Pollution in Four Provinces of North China (At 6:00 on October 5, 2016)

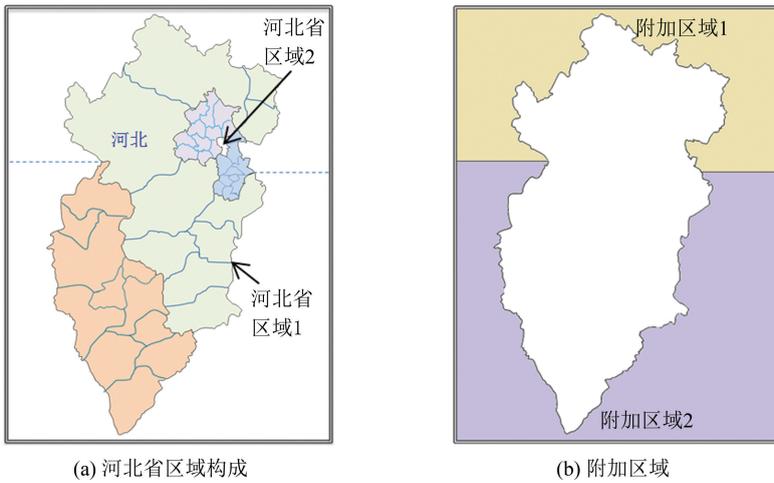


图 6 河北省区域构成与附加区域

Fig.6 Administrative Regions of Hebei Province and the Added Extra Regions

### 4 结 语

空间数据间的拓扑关系往往随着尺度的变化而变化,快速有效地计算拓扑关系有助于多尺度空间数据查询以及拓扑一致性分析。针对区域合并导致的拓扑关系变化与多尺度计算,区别于目前组合推理的方法<sup>[8-10]</sup>,本文提出了直接基于 9

交矩阵的拓扑关系多尺度计算方法,并进行了应用分析。不同语义尺度下的复杂区域由有限个简单区域合并而成,包括相离区域合并和相邻区域合并,通过定义两个 9 交矩阵操作算子,可利用详细语义尺度下的拓扑关系计算出粗略语义尺度下的拓扑关系。该方法的特点为:计算结果值域为复杂区域间所有可能的拓扑关系,可以适用于不同层次的查询分析;主要针对数据变化不大的情

况,通过增加辅助信息消除了相邻区域合并引起的拓扑关系计算多解性;目前只考虑了多个相离或相邻的简单区域合并情况。

由于布尔型 9 交矩阵对真实拓扑关系进行了简化,需进一步研究采取增加信息的办法,扩展本方法适用于尺度变化引起的拓扑关系计算问题,并结合栅格领域、方向关系消除计算歧义性;同时后续研究还可考虑将该方法扩展到带洞区域或者其他类型的空间对象(比如点、线)的多尺度分析中等。

### 参 考 文 献

- [1] Goodchild M F. Metrics of Scale in Remote Sensing and GIS [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2001, 3 (2): 114-120
- [2] Li Zhilin. A Theoretical Discussion on the Scale Issue in Geospatial Data Handling [J]. *Geomatics World*, 2005, 3(2): 1-5 (李志林. 地理空间数据处理的尺度理论[J]. 地理信息世界, 2005, 3(2): 1-5)
- [3] Li Lin, Li Deren. Non-atomic Feature and Scale Effect of Two Dimensional Spatial Objects in GIS [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1994, 23(4): 315-321 (李霖, 李德仁. GIS 中二维空间目标的非原子性和尺度性[J]. 测绘学报, 1994, 23(4): 315-321)
- [4] Liu Kai, Wu Hehai, Hu Jie, et al. Three-Tiered Concepts of Scale of Geographical Information and Its Transformation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33 (11): 1 178-1 181 (刘凯, 毋河海, 胡洁, 等. 地理信息尺度的三重概念及其变换[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(11): 1 178-1 181)
- [5] Li Lin, Ying Shen. Fundamental Problem on Spatial Scale [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(3): 119-123 (李霖, 应申. 空间尺度基础性问题研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(3): 119-123)
- [6] Wu Fan, Li Lin. Spatial Data Multi-scale Expression Model and Its Visualization [M]. Beijing: Science Press, 2005 (吴凡, 李霖. 空间数据多尺度表达模型及其可视化 [M]. 北京: 科学出版社, 2005)
- [7] Du Shihong. Theory and Practice of Multi-scale Spatial Relations [M]. Beijing: Science Press, 2014 (杜世宏. 多尺度空间关系理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2014)
- [8] Tryfona N, Egenhofer M J. Consistency Among Parts and Aggregates: A Computational Model [J]. *Transactions in GIS*, 1996, 1(3): 189-206
- [9] Nguyen V H, Parent C, Spaccapietra S. Complex Regions in Topological Queries [C]. The International Conference on Spatial Information Theory: COSIT97, Pennsylvania, USA, 1997
- [10] Du S H, Wang Q, Guo L. Modeling the Scale Dependences of Topological Relations Between Lines and Regions Induced by Reduction of Attributes [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(11): 1 649-1 686
- [11] Du S, Guo L, Wang Q. A Scale-Explicit Model for Checking Directional Consistency in Multi-resolution Spatial Data [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(3): 465-485
- [12] Du S H, Feng C C, Wang Q. Multi-scale Qualitative Location: A Direction-Based Model [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2013, 41 (4): 151-166
- [13] Du S H, Feng C C, Guo L. Integrative Representation and Inference of Qualitative Locations About Points, Lines, and Polygons [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2015, 29(6): 980-1 006
- [14] Zhou X G, Chen J, Zhan F B, et al. A Euler Number-Based Topological Computation Model for Land Parcel Database Updating [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(10): 1 983-2 005
- [15] Egenhofer M J. Deriving the Composition of Binary Topological Relations [J]. *Journal of Visual Languages and Computing*, 1994, 5(2): 133-149
- [16] Egenhofer M J, Franzosa R D. Point-set Topological Spatial Relations [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1991, 5(2): 161-174
- [17] Egenhofer M J, Herring J R. Categorizing Binary Topological Relations Between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases [R]. Department of Surveying Engineering, University of Maine, Orono, 1990
- [18] Herring J R. OpenGIS Implementation Specification for Geographic Information-Simple Feature Access-Part 2: SQL Option [EB/OL]. <http://www.opengeospatial.org/standards/sfs/>, 2010
- [19] Schneider M, Behr T. Topological Relationships Between Complex Spatial Objects [J]. *ACM Transactions on Database Systems*, 2006, 31(1): 39-81
- [20] Li S J. A Complete Classification of Topological Relations Using the 9-Intersection Method [J]. *International Journal of Geographical Information Sci-*

ence, 2006, 20(6): 589-610

[21] Clementini E, Felice P D. A Spatial Model for Complex Objects with a Broad Boundary Supporting Queries on Uncertain Data[J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2001, 37(3): 285-305

[22] Worboys M F, Bofakos P. A Canonical Model for a Class of Areal Spatial Objects[C]. The 3rd International Symposium on Advances in Spatial Databa-

ses, Singapore, 1993

[23] Wang Zhangang, Du Qunle, Wang Xianghong. Dividing and Computing Topological Relations Between Complex Regions [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(8): 1 047-1 057 (王占刚, 杜群乐, 王想红. 复杂区域对象拓扑关系分解与计算[J]. *测绘学报*, 2017, 46(8): 1 047-1 057)

## Disjoint Region Merging and Topological Relation Computing Induced by Semantic Scale

WANG Zhangang<sup>1</sup> WU Zixing<sup>2</sup> WANG Xianghong<sup>2</sup>

1 College of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

2 Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China

**Abstract:** Topological relations vary with the changes of semantic scales. Complex regions with different semantic scales are merged by a finite number of simple regions and their topological relations have to be updated. The current methods make use of inferred combinatorial tables based on basic topological relations between simple regions. However, these methods are generally only applicable to simple objects and have multiple solutions. This paper presents a computation approach of modeling scale dependences of topological relations based on the 9-intersection (9I) model. In terms of the disconnected region merging and adjacent region merging, 9I-based matrix operators are defined for computing directly topological relations of the coarse semantic scale from the relations of the detailed scale. The computation results of the 9I-based matrix operators have no multiple solutions, and the computation domain can cover for all possible topological relations between complex regions. The 9I-based matrix operators can be extended to process composite regions composed of disconnected simple regions by eliminating ambiguities.

**Key words:** semantic scale; topological relation; 9-intersection model; region object; region merging

**First author:** WANG Zhangang, PhD, associate professor, specializes in the mathematical geology, 3D geological modeling and geological information system. E-mail: millwzg@163.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41672326, 41202238; the Fundamental Research Funds for the Central Universities.