

文章编号: 1007-4619 (2004)01-0001-08

# 模糊对象粗糙表达及其空间关系研究

杜世宏<sup>1</sup>, 王 桥<sup>2</sup>, 李 顺<sup>3</sup>, 张 波<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 国家环境保护总局 信息中心, 北京 100029;

3. 南京师范大学 地理信息科学院江苏省重点实验室 江苏 南京 210097)

**摘 要:** 空间数据的模糊性是当前 GIS 领域研究的难点之一。现有的 GIS 数据模型基本上还不具备对模糊性进行描述、处理和分析的功能, 使得 GIS 对数据的处理容易造成信息损失。把粗糙集和模糊集对空间数据的模糊性和不确定性处理的优势结合起来表达模糊对象, 即利用粗糙集处理由于知识的粒度性所造成的模糊性和不精确性; 利用模糊集处理模糊对象原始数据所具有的不确定性, 从而扩展了空间数据模型对模糊数据的表达能力, 并详细研究了模糊面与模糊面以及模糊线与模糊面之间的拓扑关系。

**关键词:** 模糊对象; 模糊集; 粗糙集; 拓扑关系

**中图分类号:** P208 **文献标识码:** A

## 1 引 言

GIS 之所以能够得到广泛应用, 在于其提供了现实世界中与地理位置有关的各种地理现象和过程的丰富的数据模型以及基于模型的分析功能, GIS 建模和分析功能的强弱直接影响着其在应用领域的效果。地理现象和过程是自然界长期自然演化和外界各种因素相互作用的结果, 具有很强的不确定性。这种不确定性主要包括随意性、模糊性(含糊性)和不精确性等几个方面。现有的 GIS 数据模型基本上还不具备对不确定性进行描述、处理和分析的功能, 因而具有一定的局限性。这种局限性主要表现在 3 个方面: 第一, 现有的 GIS 数据模型的功能不强, 数据模型不够丰富, 不能够充分表达和处理带有不确定性的地理现象和过程; 第二, 现有的 GIS 缺乏对不确定性数据的操作和处理手段, 没有一套完整的分析处理方法; 第三, 现有的 GIS 还没有提供一种定性和自然的语言描述方法, 不能够对自然界中现象进行精确描述, 现有的分析处理方法在处理这种数据时, 精度不高, 很容易造成信息损失。空间数据及其空间关系的模糊性表达和处理研究明显不足, 现有的 GIS 软件也不具备对模糊数据的处理, 这

严重地限制了 GIS 对现实世界的建模和分析能力, 制约了 GIS 功能的充分发挥。因而, 如何对目前的空间数据模型和空间数据处理方法进行扩展, 使之能够处理模糊数据是一个十分迫切而又重要的课题。

本文研究的主要目的是针对空间数据模型在模糊数据表达方面的不足而展开的。本文把粗糙集和模糊集对空间数据的模糊性和不确定性处理的优势结合起来表达模糊对象及其空间关系。利用粗糙集方法, 用下粗近似集和上粗近似集来近似表示模糊对象, 重新定义了对象的内部、外部和边界, 从而扩展了空间拓扑关系表达模型; 关在此基础上提出并详细研究了模糊面与面以及模糊线与面之间的拓扑关系, 把精确对象和模糊对象的拓扑关系集中在一个框架中表达。

## 2 模糊对象的模糊粗糙表达方法

### 2.1 模糊对象的定义

由于地理现象和过程的复杂性, 许多现象没有明显的边界或者说边界上的元素既可能属于对象 A 也可能属于对象 B, 尽管他们属于 A 和 B 的程度不同(隶属度)。例如: 人们很难明确地划分农村和城

收稿日期: 2002-07-21; 修订日期: 2002-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目, 批准号: 40271000 Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 杜世宏(1975—), 男, 2001年6月获武汉大学硕士学位, 现为中国科学院遥感应用研究所博士生, 主要从事地理信息系统基础理论研究和相关应用开发。



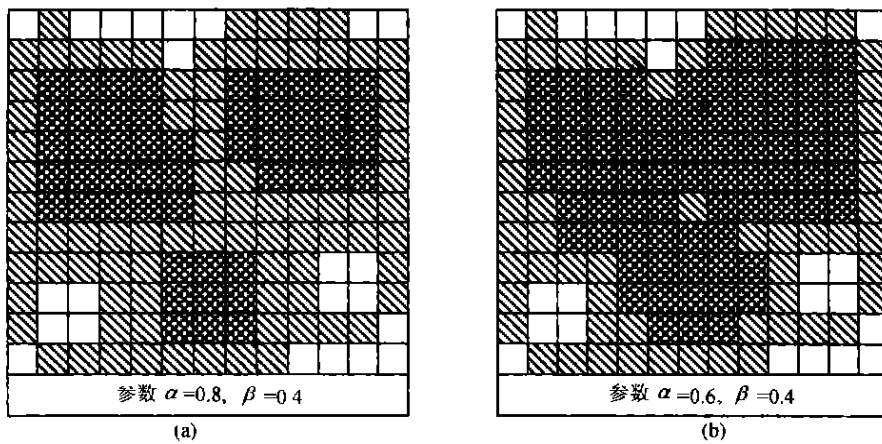


图 3 模糊面对象粗糙表达

Fig.3 The rough expression of fuzzy regions

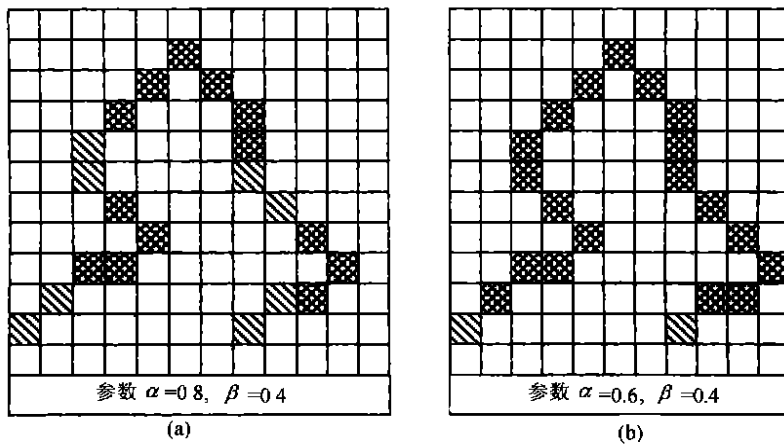


图 4 模糊线对象粗糙表达

Fig.4 The rough expression of fuzzy lines

如果  $\overline{RA}_\alpha = \overline{RB}_\alpha, \overline{RA}_\beta = \overline{RB}_\beta$ , 则对象  $A$  和  $B$  粗相等; 如果  $\overline{RA}_\alpha = \overline{RB}_\alpha, \overline{RA}_\beta \neq \overline{RB}_\beta$ , 则对象  $A$  和  $B$  下粗相等; 如果  $\overline{RA}_\alpha \neq \overline{RB}_\alpha, \overline{RA}_\beta = \overline{RB}_\beta$ , 则对象  $A$  和  $B$  上粗相等。

图 3 中(a)图所示对象的下粗近似集由 3 个连通成分(相互邻接的元素组成的子对象)组成, 边界则由一个连通成分组成, 对象外部也有多个连通成分组成。(b)图中对象的下粗近似集由 1 个连通成分组成, 边界由 2 个连通成分组成, 其外部仍然有多个连通成分组成。因而不同的  $\alpha, \beta$  取值不仅影响着下粗近似集、边界和外部的大小(主要指元素数目), 而且还影响着它们各自的组成结构以及相互之间的关系。

模糊对象下粗近似集、边界均为 1 个连通成分组成且不含岛屿的对象为在  $\alpha, \beta$  条件下的简单对象, 否则为  $\alpha, \beta$  条件下的复杂对象。简单对象和复

杂对象跟  $\alpha, \beta$  的取值有关。

### 3 模糊对象拓扑关系表达

在空间拓扑关系的表达方面, Egenhofer 基于点集拓扑学理论, 提出了四元组和九元组表达模型, 该表达方法具有坚实的数学基础, 已被广大 GIS 学者所普遍接受<sup>[3]</sup>。在九元组模型中, Egenhofer 把空间对象分为内部  $A$ 、边界  $A^\circ$  和外部  $\bar{A}$  等 3 个部分, 两个空间对象的组合有 9 个元素, 共有  $2^9 = 512$  种情况, 也就是说可以区分 512 种空间关系, 但其中大多数是无意义的<sup>[3]</sup>。一个原因就是九元组模型中空间对象外部  $\bar{A}$  太大, 对于空间拓扑关系表达意义不大, 很多种情况无法区分。针对这个问题, 陈军、李成明等用空间对象的 Voronoi 区域作为对象的外部, 扩展了九元组模型, 在空间关系表达上取得了很大

的成功<sup>[4]</sup>。但是,他们都没有对模糊对象的拓扑关系做出阐述,在模糊对象的拓扑关系表达方面存在着不足。

根据粗糙集方法,一个对象可以用其下粗近似集和上粗近似集来近似表达,并且把精确对象和模糊对象统一在一个框架中表达。上粗近似集和下粗近似集之差构成了模糊对象的边界。模糊对象的边界与精确对象边界具有明显的不同,前者的边界元素以一定的隶属度隶属于空间对象,而后者边界元素肯定隶属于空间对象;另外模糊对象的边界可能含有较多的元素,因而对模糊对象的拓扑关系表达带来了困难。有必要对模糊对象的拓扑关系做出详细的研究,并且对一些新出现的情况,特别是模糊对象拓扑关系之间的相似性,做出判断。

为了能够详细地表达模糊对象空间拓扑关系,需要重新定义了对象的内部、边界和外部。令  $A = \overline{RA}_\alpha, B = \overline{RB}_\alpha, A^\circ = bn_R(A), B^\circ = bn_R(B), \overline{A} = U - \overline{RA}_\beta, \overline{B} = U - \overline{RB}_\beta$ , 其中:  $A, A^\circ, \overline{A}$  分别为模糊对象  $A$  的内部(内部空白部分)、边界(阴影部分)和外部(图 5);  $B, B^\circ, \overline{B}$  分别为模糊对象  $B$  的内部(内部空白部分)、边界(阴影部分)和外部(图 6)。



图 5 模糊对象  $A$

Fig.5 Fuzzy region  $A$



图 6 模糊对象  $B$

Fig.6 Fuzzy region  $B$

模糊对象粗糙表达可能会出现对象边界(下近似集与上近似集相等)为空或对象内部为空的情况。因而约定,当边界为空时,根据 Egenhofer 九元组模型中对象边界的定义,把模糊对象的下近似集(是一个精确空间对象)的边界作为模糊对象的边界;当对象内部为空时,其与其它任何集合的交集均为空。本文通过做这样的扩展,精确对象和模糊对象的拓扑关系可以在九元组模型中统一表达,对于统一研究它们之间拓扑关系,是本文的创新点。

### 3.1 面与面的拓扑关系

在二维空间中,基于 Egenhofer 九元组模型可以分辨出简单面(不带洞)之间的 8 种拓扑关系(disjoint, contains, inside, equal, meet, covers, coveredBy, overlap)。本文研究模糊面对象是  $\alpha, \beta$  条件下简单模糊面,扩展后的九元组模型可以分辨的模糊面之间的拓扑关系达到 26 种,完全涵盖了 Egenhofer 给出的 8 种。模糊面和模糊面(FF)、模糊面和精确面(FC)以及精确面和精确面(CC)等 3 种情况的拓扑关系,具有统一的表达方法(图 7)。

经过扩展 Egenhofer 九元组模型,将模糊面和精确面的拓扑关系纳入到一个统一的框架中表达,可以区分的拓扑关系最多有 26 种,只有当讨论模糊面与模糊面的拓扑关系时,它们才全部有意义。当模糊面间拓扑关系退化为精确面间的拓扑关系时,可区分的拓扑关系只有 8 种(图 7 中带 \* 标志),其余 18 种不存在或无法区分,这与 Egenhofer 九元组模型一致。当为模糊面与精确面间拓扑关系时,14 种有效(带 \* 标志),其他 12 种关系不存在或无法区分。

模糊面与模糊面之间的拓扑关系达到 26 种,远远超过了 8 种,这给 GIS 中拓扑关系的处理带来了难度。一方面,在一些处理中需要对对象间的拓扑关系尽可能详细地区分,而另一方面,人们只需对拓扑关系做大致的区分即可。如:从人们对空间关系认知的角度考虑,将图 7 中的 26 种拓扑关系可以划分为更高级的 10 种拓扑关系(表 1):

表 1 拓扑关系划分

Table 1 The partition of topological relations

拓扑关系名称	所含实例
Inside	1
Rough CoveredBy	2
Within boundary	9-11
Overlap	4, 6, 8, 13-15, 21, 26
Rough Overlap	3, 7, 12, 16, 23, 25
Rough Meet	17
Disjoint	18
Rough Equal	5
Contain	19
Rough Cover	20
Contain-in boundary	21, 22, 24

NO	图 例	FF	FC	CC	NO	图 例	FF	FC	CC
1		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	* Inside	2		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	* CoveredBy
3		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$			4		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	
5		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		* Equal	6		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		
7		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$			8		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		
9		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*		10		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	
11		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$			12		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		
13		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*		14		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		
15		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	* Overlap	16		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		
17		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	* Meet	18		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	* Disjoint
19		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	*	* Contain	20		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	*	* Cover
21		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	*		22		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		
23		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$			24		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	*	
25		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$			26		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	

注释: \*表示该关系存在, 否则不存在或不可区分

图 7 模糊面对象间拓扑关系组合示意图

Fig.7 The topological relations between two fuzzy regions

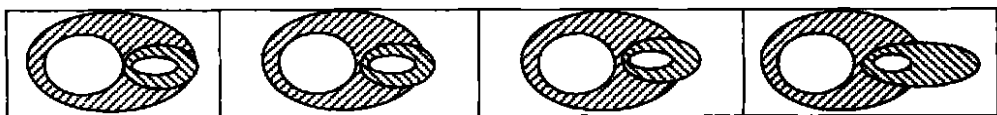


图 8 模糊面对象间拓扑关系的量变过程

Fig.8 The quantitaion changing of topological relations between fuzzy regions

然而,我们发现上面对拓扑关系的归类仍然存在不足。如:图 8 中 4 个图形均为图 7 中 11 的实例,区别在于相交的量不同,从左至右逐渐增加。在上面的划分中把它简单归到 Within boundary 中。我

们注意到,从下粗集的关系看,其归属于 Within boundary,但从上粗集的关系看右面的两个可以归属于 Rough Overlap。拓扑关系的这种特性说明其是有粒度的,并且这种粒度具有模糊性,这种模糊性表现

NO	图 例	FF	FC	CF	CC	NO	图 例	FF	FC	CF	CC
1		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	2		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
3		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		4		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
5		$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		6		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
7		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	8		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
9		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	10		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
11		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		12		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
13		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	14		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
15		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		16		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
17		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		18		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
19		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	20		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
21		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	22		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
23		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	24		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
25		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	26		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
27		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	28		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
29		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*	30		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
31		$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		32		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	*	*	*
33		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		34		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
35		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		36		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	
37		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*		38		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$		*	

注释: \*表示该关系存在, 否则不存在或不可区分, A 是指模糊线, B 是模糊面

图 9 模糊面、线对象间拓扑关系组合示意图

Fig. 9 The topological relations between a fuzzy region and a fuzzy line

在两个方面:一是低一级拓扑关系归属于高一级的拓扑关系时,其隶属度值是多少;二是低一级的拓扑关系应归属于那几个高一级的拓扑关系,当然,隶属度也不同。在实际应用中,往往需要在不同级别的拓扑关系之间进行转换,并且尽量降低由于转换而带来的信息损失。这些问题是 Egenhofer 九元组模型所不能解决的,说明在拓扑关系的表达方面仍然具有缺陷,需要做进一步的改进,以解决这方面的问题。

### 3.2 线、面拓扑关系

在二维空间中,基于 Egenhofer 九元组模型可以分辨出线 and 简单面(不带洞)之间的 19 种拓扑关系。本文研究  $\alpha, \beta$  条件下模糊线和简单模糊面之间的拓扑关系,扩展后的九交模型可以分辨的模糊线和模糊面之间的拓扑关系有 38 种,完全涵盖了 Egenhofer 给出的 19 种。模糊面和模糊线(fuzzy regions & fuzzy lines, FF)、模糊面和精确线(fuzzy regions & crisp lines, FC)、精确面和模糊线(crisp regions & fuzzy lines, CF)以及精确面和精确线(crisp regions & crisp lines, CC)等四种情况的拓扑关系具有统一的表达方法(图 9)。

在表达模糊线面拓扑关系时,扩展 Egenhofer 九元组模型,将模糊面、模糊线、精确面和精确线的拓扑关系纳入到一个统一的框架中表达,可以区分的拓扑关系最多有 38 种,远远超过了精确面和精确线之间的拓扑关系。由图 9 可以看出,模糊面和精确线的拓扑关系有 19 种(带 \* 标志的关系),精确面和模糊线的拓扑关系有 38 种,精确面和精确线的拓扑关系有 19 种,这与 Egenhofer 九元组模型一致。

## 4 结论与讨论

本文在详细分析了空间模糊对象的特点后,把粗糙集和模糊集结合,给出了空间模糊对象的粗糙表达方法,并在此模型上研究了空间对象的距离关系和拓扑关系。主要有以下优点:

- (1) 把模糊对象和精确对象统一在一个框架内描述;
- (2) 传统的空间关系描述方法是该方法的一个特例;
- (3) 详细地研究了模糊对象的空间关系;
- (4) 使空间数据模型能够对带有模糊性的现象进行建模,增强了空间数据建模的能力和精度。

空间模糊对象及其空间关系的表达,仅仅是该项研究的一个开始,在后续的研究中,将主要开展空间对象及其关系的模糊推理、模糊查询以及在模糊空间分析中的应用等研究。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] David Altman. Fuzzy Set Theoretic Approaches for Handling Imprecision in Spatial Analysis [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1994, 8(3):271—289.
- [ 2 ] Zhang W X, Wu W Z, Liang J Y. *et al.* The Rough Set Theory and Method [M]. Science Press, Beijing, China, 2001. [张文修, 吴伟志, 梁吉业等. 粗糙集理论及方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001. ]
- [ 3 ] Max J. Egenhofer. A Model for Detailed Binary Topological Relationship [J]. *Geomatica*, 1993, 47(3&4):261—273.
- [ 4 ] Chen J, Li C M, Li Zhilin *et al.* A Voronoi-based 9-Intersection Model for Spatial Relations [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15(3):201—220.

## The Reserch of Rough Expression of Fuzzy Objects and their Spatial Relations

DU Shi-hong<sup>1</sup>, WANG Qiao<sup>2</sup>, LI Shun<sup>3</sup>, ZHANG Bo<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>. Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China;

<sup>2</sup>. Environmental Information Center of State Environmental Protection Administration, Beijing 100029, China;

<sup>3</sup>. Key Lab. of Jiangsu Province, College of Geographic Information Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** Fuzziness of spatial data is one of the difficult issues of current GIS research fields. However, existing GIS data model basically does not have the ability of describing, processing and analyzing the fuzziness of spatial data, which is very easy to make information loss in data processing. Fuzzy objects are defined to describe fuzziness of geographical phenomena and processes. Every element of an object does not always belong to one object, but can belong to several fuzzy objects with a fuzzy number indicating degree it belongs to the object. In this article, we combine the advantages of rough set with that of fuzzy set to express fuzzy objects. First, giving arbitrary two real numbers  $\alpha$ ,  $\beta$  and letting  $0 < \beta \leq \alpha \leq 1$ , then, a fuzzy object  $A$  can be described as combination of down approximation  $\underline{RA}_\alpha$  and upper approximation  $\overline{RA}_\beta$  using rough set. Second the interior of  $A$  can be defined as  $\underline{RA}_\alpha$ , its boundary as  $\overline{RA}_\beta - \underline{RA}_\alpha$ , and its exterior as  $U - \overline{RA}_\beta$ ,  $U$  is the domain. Finally, the  $\mathcal{G}$ -intersection model of spatial topological relations proposed by Egenhofer can be extended by using the new definition of object's interior, boundary and exterior, and the topological relations between two fuzzy regions, and between a fuzzy region and a fuzzy line under the extended model are researched. There are three types of region/region topological relations, such as fuzzy regions and fuzzy regions (FF), fuzzy regions and crisp regions (FC) and crisp regions and crisp regions (CC), and four types of line-regions topological relations, such as fuzzy regions and fuzzy lines (FF), fuzzy regions and crisp lines (FC), crisp regions and fuzzy lines (CF) and crisp regions and crisp lines (CC) in the paper. In contrast to  $\mathcal{G}$ -intersection model, the number of region/region topological relations discerned by extended model is 26 and that of line/region is 38, which is much more than that of  $\mathcal{G}$ -intersection model can be discerned. Generally, unlike the  $\mathcal{G}$ -intersection, the extended model has following advantages a fuzzy: 1) it is enabled to describe the fuzzy objects and crisp objects in a union framework, 2) the conventional method of spatial relation describing topological relations is a special instance of it, 3) it studies the topological relations of fuzzy objects in details, and 4) it makes spatial data model enable to model the spital phenomena with fuzziness and enhances the ability and precision of spatial data modeling.

**Key words:** fuzzy objects; fuzzy set; rough set; topological relations