

基于粗集的多尺度空间拓扑关系 不确定性定量评价模型

牛继强¹ 徐 丰¹ 姚高伟¹ 樊 勇¹ 林 昊¹

1 信阳师范学院地理科学学院,河南 信阳, 464000

摘 要:空间拓扑关系不确定性的定量评价可为多尺度拓扑关系一致性的自动评价、空间推理与空间查询等应用的可靠性提供依据。定义了基于几何度量的拓扑距离,构建了拓扑关系不确定性的粗集表达模型;提出了不确定性粗集表达中拓扑距离的量化方法;进而提出了基于粗集的多尺度空间拓扑关系不确定性度量指标。实例研究证明了本文提出模型的科学性与合理性,该方法可用于多尺度表达过程中引起的拓扑关系不确定性的定量评价。

关键词:多尺度表达;拓扑关系;不确定性;粗集;拓扑距离

中图法分类号:P208 **文献标志码:**A

空间拓扑关系在 GIS 空间数据建模、空间数据库查询、空间分析与推理、制图综合、地图理解、自然语言界面标准化等方面具有重要的作用^[1,2],是当前地理信息科学研究领域中的热点问题。由于空间数据具有不确定性,拓扑关系同样也存在不确定性。近年来,空间拓扑关系的不确定性已引起国内外学者的广泛关注。目前,描述不确定实体之间拓扑关系的模型主要可以分为两类:① 不确定拓扑关系的精化表达模型^[3-6];② 不确定拓扑关系的最可能识别^[7-10]。随着 GIS 的发展,在空间数据的多尺度表达中,空间实体的拓扑关系可以满足一致性、等价性或相似性的要求^[11-13],但是其不确定性问题仍然是不容忽视的,并且需要进行定量化的研究以解决其应用需求。

粗集是一种可以用于描述、推理、量化不确定性的数学方法^[8-14]。本文拟以粗集为基础研究多尺度表达中拓扑关系的不确定性问题,针对空间面状实体位置不确定性的变化研究多尺度表达中拓扑关系的不确定性,旨在建立尺度空间拓扑关系不确定性定量评价模型。该模型可以为空间数据的多尺度表达提供拓扑关系分析和评价手段,为地图自动综合中空间关系的维护提供有关的理论基础。此外该模型还可以用于检验和维护多尺度空间数据质量,为多尺度空间数据拓扑关系一

致性的自动评价、空间推理与空间查询等应用的可靠性提供依据。

1 基于几何度量的拓扑距离

拓扑关系之间的关联性可以用拓扑距离来度量^[17]。用拓扑关系的概念邻域计算的拓扑距离是离散的整数^[5,13,17]。事实上,即使同一种拓扑类型,其相离距离的远近、相交面积的大小等也是有差异的,而且在 GIS 空间分析中这种差异是非常重要的。本文采用几何度量参数对拓扑距离进行扩展,提出基于几何度量的拓扑距离,使拓扑距离不再是离散的整数,而是连续变化的小数。几何度量参数包括 2 个分割度量参数(CB、CA)和 3 个接近性度量参数(IC、DEB、CEC)^[18],这 5 个几何度量参数的取值范围皆为[0,1],每种拓扑关系与几何度量参数的对应关系如表 1。

表 1 拓扑关系类型与几何度量参数的对应关系								
Tab. 1 Corresponding Relations Between Topological Relations and Geometric Measure Parameters								
基本拓扑关系	DC	EC	PO	TPP ⁻¹	NTPP ⁻¹	TPP	NTPP	EQ
几何度量参数	DEB	CB	CA	CB	CEC	CB	IC	-

定义 1 对于两个拓扑关系 T_1 和 T_2 , 称:

$$D(T_1, T_2) = m_1 + m_2 + d(T_1, T_2) - 1 \quad (1)$$

或

$$D(T_1, T_2) = m_1 - m_2 + d(T_1, T_2) \quad (2)$$

为 T_1 和 T_2 之间的基于几何度量的拓扑距离。

式中, T_1 、 T_2 均表示拓扑关系名称, m_1 、 m_2 分别表示与拓扑关系 T_1 和 T_2 对应的几何度量参数的量值, $d(T_1, T_2)$ 表示 T_1 与 T_2 之间的基于概念邻域的拓扑距离^[17], $D(T_1, T_2)$ 表示 T_1 和 T_2 之间的基于几何度量的拓扑距离。

(1) 如果 T_1 与 T_2 为同一种拓扑关系, 则:

$$D(T_1, T_2) = |m_1 - m_2| \quad (3)$$

表 2 8 种基本拓扑关系之间基于几何度量的拓扑距离的计算公式

Tab. 2 Calculation Formula of Topological Distance on Basic Topological Relations Based on the Geometric Measure								
$D(-, -)$	DC	EC	PO	TPP^{-1}	$NTPP^{-1}$	TPP	NTPP	EQ
DC	$ DEB_1 - DEB_2 $	$DEB_1 + CB_2$	$DEB_1 + CA_2 + 1$	$DEB_1 + CB_2 + 2$	$DEB_1 + CEC_2 + 3$	$DEB_1 + CB_2 + 2$	$DEB_1 + IC_2 + 3$	$DEB_1 + 3$
EC	$CB_1 + DEB_2$	$ CB_1 - CB_2 $	$CA_2 - CB_1 + 1$	$CB_2 - CB_1 + 2$	$CEC_2 - CB_1 + 3$	$CB_2 - CB_1 + 2$	$IC_2 - CB_1 + 3$	$3 - CB_1$
PO	$CA_1 + DEB_2 + 1$	$CA_1 - CB_2 + 1$	$ CA_1 - CA_2 $	$CB_2 - CA_1 + 1$	$CEC_2 - CA_1 + 2$	$CB_2 - CA_1 + 1$	$IC_2 - CA_1 + 2$	$2 - CA_1$
TPP^{-1}	$CB_1 + DEB_2 + 2$	$CB_1 - CB_2 + 2$	$CB_1 - CA_2 + 1$	$ CB_1 - CB_2 $	$CEC_2 - CB_1 + 1$	$CB_2 - CB_1 + 2$	$IC_2 - CB_1 + 2$	$2 - CB_1$
$NTPP^{-1}$	$CEC_1 + DEB_2 + 3$	$CEC_1 - CB_2 + 3$	$CEC_1 - CA_2 + 2$	$CEC_1 - CB_2 + 1$	$ CEC_1 - CEC_2 $	$CB_2 - CEC_1 + 2$	$IC_2 - CEC_1 + 2$	$2 - CEC_1$
TPP	$CB_1 + DEB_2 + 2$	$CB_1 - CB_2 + 2$	$CB_1 - CA_2 + 1$	$CB_1 - CB_2 + 2$	$CB_1 - CEC_2 + 2$	$ CB_1 - CB_2 $	$IC_2 - CB_1 + 1$	$2 - CB_1$
NTPP	$IC_1 + DEB_2 + 3$	$IC_1 - CB_2 + 3$	$IC_1 - CA_2 + 2$	$IC_1 - CB_2 + 2$	$IC_1 - CEC_2 + 2$	$IC_1 - CB_2 + 1$	$ IC_1 - IC_2 $	$2 - IC_1$
EQ	$DEB_2 + 3$	$3 - CB_2$	$2 - CA_2$	$2 - CB_2$	$2 - CEC_2$	$2 - CB_2$	$2 - IC_2$	0

表 3 8 种基本拓扑关系之间基于几何度量的拓扑距离的取值范围

Tab. 3 Topological Distance Range of Basic Topological Relations Based on the Geometric Measure

$D(-, -)$	DC	EC	PO	TPP^{-1}	$NTPP^{-1}$	TPP	NTPP	EQ
DC	[0, 1)	(0, 2)	(1, 3)	(2, 4)	(3, 5)	(2, 4)	(3, 5)	(3, 4)
EC	(0, 2)	[0, 1)	(0, 2)	(1, 3)	(2, 4)	(1, 3)	(2, 4)	(2, 3)
PO	(1, 3)	(0, 2)	[0, 1)	(0, 2)	(1, 3)	(0, 2)	(1, 3)	(1, 2)
TPP^{-1}	(2, 4)	(1, 3)	(0, 2)	[0, 1)	(0, 2)	(1, 3)	(1, 3)	(1, 2)
$NTPP^{-1}$	(3, 5)	(2, 4)	(1, 3)	(0, 2)	[0, 1)	(1, 3)	(1, 3)	(1, 2)
TPP	(2, 4)	(1, 3)	(0, 2)	(1, 3)	(1, 3)	[0, 1)	(0, 2)	(1, 2)
NTPP	(3, 5)	(2, 4)	(1, 3)	(1, 3)	(1, 3)	(0, 2)	[0, 1)	(1, 2)
EQ	(3, 4)	(2, 3)	(1, 2)	(1, 2)	(1, 2)	(1, 2)	(1, 2)	0

2 多尺度空间拓扑关系不确定性的粗集表达

2.1 空间实体不确定性的粗集表达

设面状实体 A 为参照目标, 面状实体 B 为空间查询和分析对象, A 和 B 的位置数据均含有不确定性。利用 A 和 B 的顶点方差, 可求得 A 和 B 误差带的内外边界线方程^[19, 20]。从而 A 误差带的内边界线所封闭的区域为 A 的下粗近似集 \underline{A} , A 误差带的外边界线所封闭的区域为 A 的上粗近似集 \overline{A} (如图 1); 同理可得到 B 的下粗近似集 \underline{B} 和上粗近似集 \overline{B} ^[14]。

多尺度表达中, 当尺度扩展时, 面状实体的边界需要进行化简, 简化后面状实体顶点和边界的不确定性值可按节点影响法 (VIM)^[21]、最大距离法^[22]或综合不确定性^[23]等方法计算出来, 并可建

例如两对面状实体均为相离关系, 但是距离不同, 则它们之间基于几何度量的拓扑距离为:

$$D(DC_1, DC_2) = |DEB_1 - DEB_2|$$

(2) 如果 T_1 与 T_2 为不相同的拓扑关系, 当 T_1 与 T_2 其中一个为相离关系时, 用式 (1) 计算, 否则用式 (2) 计算。

将表 1 对应的几何度量参数和文献^[17]中对应的拓扑距离代入式 (1) 或式 (2), 得到基于几何度量的拓扑距离的计算公式 (表 2); 根据 m_1 、 m_2 的取值范围 $[0, 1]$ 进行计算得到两个面状实体的基于几何度量的拓扑距离取值范围 (表 3)。

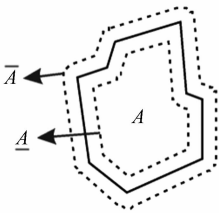


图 1 空间面状实体粗集表达
Fig. 1 Rough Set Representation of Spatial Surface Entities

立其误差环及误差环的边界线方程。因此, 按照不确定实体粗集表达的方法, 可以得出任意尺度上面状实体位置不确定性的粗集模型。

2.2 拓扑关系不确定粗集表达模型

对于任意两个面状实体 A 和 B , 其空间拓扑关系可用 4-交模型、9-交模型、RCC-8 模型或 4-

交差模型等^[24-26]进行计算,本文以 4-交模型为例,即

$$T = R_4(A, B) = \begin{bmatrix} \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^0 \\ A^0 \cap \partial B & A^0 \cap B^0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, A^0 和 ∂A 为 A 的内部和边界; B^0 和 ∂B 为 B 的内部和边界。

根据粗集表达方法,式(4)可转换为 4 个 4-交矩阵来表示 A 和 B 可能的拓扑关系:

$$R_4(\underline{A}, \underline{B}) = \begin{bmatrix} \partial \underline{A} \cap \partial \underline{B} & \partial \underline{A} \cap \underline{B}^0 \\ \underline{A}^0 \cap \partial \underline{B} & \underline{A}^0 \cap \underline{B}^0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_4(\underline{A}, \bar{B}) = \begin{bmatrix} \partial \underline{A} \cap \partial \bar{B} & \partial \underline{A} \cap \bar{B}^0 \\ \underline{A}^0 \cap \partial \bar{B} & \underline{A}^0 \cap \bar{B}^0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R_4(\bar{A}, \underline{B}) = \begin{bmatrix} \partial \bar{A} \cap \partial \underline{B} & \partial \bar{A} \cap \underline{B}^0 \\ \bar{A}^0 \cap \partial \underline{B} & \bar{A}^0 \cap \underline{B}^0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R_4(\bar{A}, \bar{B}) = \begin{bmatrix} \partial \bar{A} \cap \partial \bar{B} & \partial \bar{A} \cap \bar{B}^0 \\ \bar{A}^0 \cap \partial \bar{B} & \bar{A}^0 \cap \bar{B}^0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, \bar{A}^0 和 $\partial \bar{A}$ 、 \underline{A}^0 和 $\partial \underline{A}$ 、 \bar{B}^0 和 $\partial \bar{B}$ 、 \underline{B}^0 和 $\partial \underline{B}$ 分别为 \bar{A} 、 \underline{A} 、 \bar{B} 、 \underline{B} 的内部和边界。

因此,面状实体 A 和 B 的空间关系可以用拓扑和度量相结合的三元组进行形式化描述:

$$R(A, B) = (R_4(A, B), M, m) \quad (9)$$

式中, $R_4(A, B)$ 为空间拓扑关系的名称; M 、 m 为几何度量参数及其量值。

考虑到式(5)~式(8)分别对应与有与之相适应的几何度量参数及量值,将它们代入式(9),即可得到面状实体 A 和 B 之间不确定拓扑关系的精化描述。

定义 2 对于 A 和 B 的粗集表达,称其拓扑和几何度量相结合的空间关系的 4 个三元组

$$R(A, B) = \begin{bmatrix} (R_4(\underline{A}, \underline{B}), M_1, m_1) \\ (R_4(\underline{A}, \bar{B}), M_2, m_2) \\ (R_4(\bar{A}, \underline{B}), M_3, m_3) \\ (R_4(\bar{A}, \bar{B}), M_4, m_4) \end{bmatrix} \quad (10)$$

为面状实体 A 和 B 之间不确定拓扑关系的精化描述。

式(10)中, M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 分别为与 $R_4(\underline{A}, \underline{B})$ 、 $R_4(\underline{A}, \bar{B})$ 、 $R_4(\bar{A}, \underline{B})$ 、 $R_4(\bar{A}, \bar{B})$ 对应的几何度量参数,可由表 1 查取; m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 分别为与 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 对应的量值,分别由 $R_4(\underline{A}, \underline{B})$ 和 M_1 、 $R_4(\underline{A}, \bar{B})$ 和 M_2 、 $R_4(\bar{A}, \underline{B})$ 和 M_3 、 $R_4(\bar{A}, \bar{B})$ 和 M_4 确定,计算方法同文献[18]。

式(10)中每两个三元组之间的基于几何度量的拓扑距离记为 D_s (s 、 t 分别表示式(10)中的第 s 行和第 t 行,其中 $s=1$ 或 2 或 3, $t=2$ 或 3 或 4)。计算这六个值中的最大值 D_{\max} :

$$D_{\max} = \max(D_s)$$

依据粗集概念,利用拓扑关系概念邻域的演化,式(10)中第 s 个三元组 $R(A, B)(s)$ 为 A 与 B 拓扑关系粗集表达的下近似 $\underline{R}(A, B)$,第 t 个三元组 $R(A, B)(t)$ 为 A 与 B 拓扑关系粗集表达的上近似 $\bar{R}(A, B)$, D_{\max} 为 A 与 B 拓扑关系粗集表达的边界 $bn(A, B)$ 。

定义 3 称

$$\begin{aligned} R(A, B) &= (\underline{R}(A, B), \bar{R}(A, B), bn(A, B)) \\ &= (R(A, B)(s), R(A, B)(t), D_{\max}) \end{aligned} \quad (11)$$

为 A 与 B 的基于 4-交模型的拓扑和度量相结合的空间关系粗集表达。

2.3 不确定性粗集表达中拓扑距离的量化方法

在确定了式(10)中各元素的语义或量值后,可选用式(1)、式(2)或表 2 计算 D_s 。

事实上,由于 $R_4(\underline{A}, \underline{B})$ 的确定性程度大于其它的拓扑关系, $R_4(\bar{A}, \bar{B})$ 的确定性程度小于其它的拓扑关系,可以直接确定 $D_{\max} = D_{14}$,因此, D_{14} 即为面状实体 A 和 B 之间不确定拓扑关系的最大距离。令 $D = D_{14}$,从而进一步将 A 与 B 的基于 4-交模型的拓扑和度量相结合的空间关系粗集表达为:

$$\begin{aligned} R(A, B) &= ((R_4(\underline{A}, \underline{B}), M_1, m_1), \\ &\quad (R_4(\bar{A}, \bar{B}), M_4, m_4), D) \end{aligned} \quad (12)$$

式中, D 为上近似 $\bar{R}(A, B)$ 与下近似 $\underline{R}(A, B)$ 之间基于几何度量的拓扑距离, D 越大,表明拓扑关系 $R(A, B)$ 的不确定性越大,但是 D 的取值范围在区间 $[0, 5]$ 范围内(见表 3),而人类在对确定或不确定程度的认知过程中,更习惯于用标准化的百分数进行衡量,这与粗集中粗糙度的定义是一致的,下面对粗集 $R(A, B)$ 的粗糙度进行定义。

定义 4 称

$$\rho = (D/5) \times 100\% \quad (13)$$

为粗集 $R(A, B)$ 不确定的粗糙度。

ρ 的取值范围在 $[0, 1]$ 之间, ρ 越大表明拓扑关系 $R(A, B)$ 的不确定性越大。

2.4 多尺度空间拓扑关系不确定性表达模型

对于两个空间面状实体,能够实现的有 8 种空间拓扑关系,在多尺度表达的过程中,空间实体的拓扑关系可能发生变化。研究面状实体在多尺度表达中拓扑关系的变化情况,将 A 和 B 进行不同程度的化简,若简化后的尺度为 s_i ($i=1, 2, \dots, n$),尺度 s_i 上面状实体为 A_i 、 B_i ,可求得 A_i 、 B_i 顶点和边界的不确定性值,并进一步求得 A_i 、 B_i 的粗集表达分别为 \bar{A}_i 、 \underline{A}_i 、 \bar{B}_i 、 \underline{B}_i 。根据式(11)和式

(12), 尺度 s_i 上面状实体 A_i, B_i 的拓扑关系的粗集表达结果为:

$$R(A_i, B_i) = (\underline{R}(A_i, B_i), \bar{R}(A_i, B_i), D_i)$$

(14)

根据式(13), 尺度 s_i 上面状实体 A_i, B_i 的拓扑关系的粗糙度为:

$$\rho_i = (D_i/5) \times 100\%$$

(15)

每一尺度上拓扑关系的粗糙度 ρ_i 可用来度量对应各尺度上面状实体间拓扑关系的不确定程度。随着化简程度的加深, 粗糙度 ρ_i 的值也会增加。因此可以定义不同尺度间粗糙度的差值来衡量不同尺度间拓扑关系不确定的程度。

定义 5 称简化尺度拓扑关系粗糙度 ρ_i 与初始尺度粗糙度 ρ 的差值 $\Delta\rho_i (i=1, 2, \cdots, n)$

$$\Delta\rho_i = \rho_i - \rho$$

(16)

为简化尺度上拓扑关系相对于初始尺度拓扑关系的不确定程度。

3 实例与讨论

3.1 实验数据及其粗集表达

本实验选用的数据为图 2(a)所示的多边形 A 和 B , 并将其进行两级尺度的化简, 如图 2(b)、图 2(c)所示, 为了便于比较, 将简化尺度图形扩展至原始图形大小。

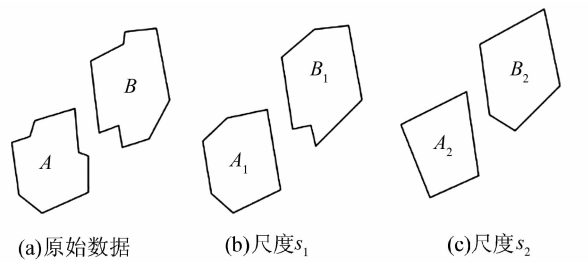


图 2 实验数据
Fig. 2 Data of Case Study

计算原始数据 ϵ -带及各简化尺度数据的综合不确定度^[23], 各简化尺度上用 2 倍的综合不确定度作为不确定带宽度。不确定带的内边界所封闭区域为多边形区域的下近似、外边界所封闭区域为多边形区域的上近似, 如图 3 所示。

将图 3(a)、图 3(b)、图 3(c)所示的数据分别用式(10)进行计算, 得到拓扑和度量相结合的空间关系的精化描述分别为:

$$R(A, B) = \begin{bmatrix} (DC, DEB, 0.81) \\ (DC, DEB, 0.52) \\ (DC, DEB, 0.66) \\ (DC, DEB, 0.13) \end{bmatrix}$$

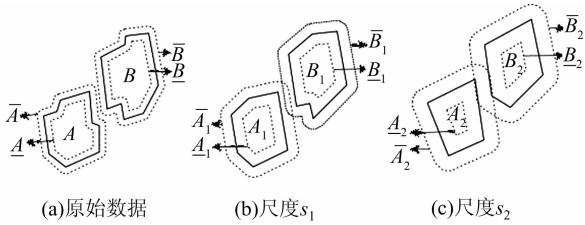


图 3 原始数据及其简化尺度的粗集表达
Fig. 3 Rough Set Representation of Multi-scale Spatial Entity

$$R(A_1, B_1) = \begin{bmatrix} (DC, DEB, 0.88) \\ (DC, DEB, 0.45) \\ (DC, DEB, 0.71) \\ (PO, CA, 0.03) \end{bmatrix}$$

$$R(A_2, B_2) = \begin{bmatrix} (DC, DEB, 0.89) \\ (DC, DEB, 0.41) \\ (DC, DEB, 0.60) \\ (PO, CA, 0.09) \end{bmatrix}$$

进一步用式(12)和式(14)计算它们的粗集表达分别为:

$$R(A, B) = (\underline{R}(A, B), \bar{R}(A, B), D)$$

$$= ((DC, DEB, 0.81), (DC, DEB, 0.13), 0.68)$$

$$R(A_1, B_1) = (\underline{R}(A_1, B_1), \bar{R}(A_1, B_1), D_1)$$

$$= ((DC, DEB, 0.88), (PO, CA, 0.03), 1.91)$$

$$R(A_2, B_2) = (\underline{R}(A_2, B_2), \bar{R}(A_2, B_2), D_2)$$

$$= ((DC, DEB, 0.89), (PO, CA, 0.09), 1.98)$$

图 3(a)中, 面状实体 A 与 B 拓扑关系的下近似为相离关系, 分离式接近性度量参数 $DEB=0.81$; 上近似为相离关系, 分离式接近性度量参数 $DEB=0.13$; 上下近似之间基于几何度量的拓扑距离 $D=0.68$ 。

图 3(b)中, 面状实体 A_1 与 B_1 拓扑关系的下近似为相离关系, 分离式接近性度量参数 $DEB=0.88$; 上近似为重叠关系, 公共区域面积比 $CA=0.03$; 上下近似之间基于几何度量的拓扑距离 $D_1=1.91$ 。

图 3(c)中, 面状实体 A_2 与 B_2 拓扑关系的下近似为相离关系, 分离式接近性度量参数 $DEB=0.89$; 上近似为重叠关系, 公共区域面积比 $CA=0.09$; 上下近似之间基于几何度量的拓扑距离 $D_2=1.98$ 。

3.2 结果与讨论

将 § 3.1 中 D, D_1, D_2 的结果代入式(13)、式(15), 得到图 3 中 3 个尺度下的粗糙度 ρ, ρ_1 和 ρ_2 分别为 13.6%、38.2% 和 39.6%。将 ρ, ρ_1 和 ρ_2 代入式(16), 得到 $\Delta\rho_1, \Delta\rho_2$ 分别为 24.6% 和 26%。

分析案例研究的结果可以发现,本文提出的方法可以计算多尺度空间拓扑关系的不确定性,具体表现为:

(1) 随着尺度变大,空间拓扑关系的不确定性也随着变大,空间数据的位置也发生了变化,因此在大尺度下,面状实体的边界不仅仅包含了原有的不确定性,又增加了位置变化而产生的不确定性,在实例中 $\rho < \rho_1 < \rho_2$ 。

(2) 尺度变化越大,也就是图形综合程度越高,其空间拓扑关系的不确定性变化的也越大。随着多边形的化简程度的提高,多边形之间拓扑关系的不确定变化也越大,在实例中 $\Delta\rho_1 < \Delta\rho_2$ 。

4 结 语

粗集作为描述多尺度空间拓扑关系的不确定性的定量方法,比传统的定性评价更具有可操作性,在 GIS 空间数据建模、空间数据库查询、空间分析与推理、制图综合、地图理解、自然语言界面标准化等方面具有较好的应用价值。本文定义了基于几何度量的拓扑距离;对空间关系不确定性进行精化描述,在此基础上构建了拓扑关系不确定性的粗集模型;并根据不同尺度上拓扑关系的拓扑距离的差值,提出了多尺度表达中空间实体的拓扑关系不确定性度量指标。实例研究证明了本文提出的空间拓扑关系不确定性量化指标的科学性与合理性。进一步的研究可以从以下两个方面展开:一是对几何度量参数进行深入研究,通过改进拓扑距离的定义来进一步改进拓扑关系不确定性的定量评价;二是能够考虑更为复杂的实体间拓扑关系的不确定性评价研究,也可以将该方法拓展到点、线等实体的拓扑关系的不确定性定量评价研究中。

参 考 文 献

- [1] Molenaar M. An Introduction to the Theory of Spatial Object Modeling for GIS [M]. Boca Raton, USA: Chemical Rubber Company Press, 1998
- [2] Wu Huayi, Liu Bo, Li Dajun, et al. Topological Relations of Spatial Objects: A Review[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(11):1 269-1 276(吴华意, 刘波, 李大军, 等. 空间对象拓扑关系研究综述[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(11):1 269-1 276)
- [3] Cohn A G, Gotts N M. The “Egg-Yolk” Representation of Regions with Indeterminate Boundaries [M]//Burrough P A, Frank A U(eds). *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. London, UK: Taylor & Francisco, 1996
- [4] Du Xiaochu. Research on Equivalency of Spatial Topological Relations in Multiple Representation[D]. Wuhan :Wuhan University, 2005(杜晓初. 多重表达中空间拓扑关系等价性研究[D]. 武汉大学, 2005)
- [5] Gao Zhenji, Wu Lun, Yang Jian. Representation of Topological Relations Between Vague Objects Based on Rough and RCC Model[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(4): 597-603(高振记, 邬伦, 杨俭. 基于 RCC 及粗糙模型的模糊地理对象拓扑关系表达[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(4): 597-603)
- [6] Jin Biao, Hu Wenlong. A Quantified Model for Spatial Relationships[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(7): 879-882(金标, 胡文龙. 一种定量化表达的空间关系模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(7): 879-882)
- [7] Shi Wenzhong. The Uncertainty Principle of Spatial Data and Spatial Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2005: 245-270(史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 245-270)
- [8] Guo Jifa, Liu Yujie, Mao Jian, et al. Formalization Research of Topological Relation Between High Order Fuzzy Regions[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(2): 196-200(郭继发, 刘玉洁, 毛健, 等. 高阶模糊区域的交叉拓扑关系形式化研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(2): 196-200)
- [9] Wu Lun, Gao Zhenji, Shi Wenzhong, et al. The Uncertainty Problem in Geographic Information System [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2010: 170-190(邬伦, 高振记, 史文中, 等. 地理信息系统中的不确定性问题[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 170-190)
- [10] He Jianhua, Liu Yaolin, Yu Yan, et al. The Topological Relation Model for Indeterminate Geographical Objects Based on Fuzzy Close-degree[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37(2): 212-216(何建华, 刘耀林, 俞艳, 等. 基于模糊贴近度分析的不确定拓扑关系表达模型[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 212-216)
- [11] Egenhofer M, Clementini E, Di Felice P. Evaluating Inconsistencies Among Multiple Representations [C]. 6th International Symposium on Spatial Data Handling, Edinburgh ,Scotland, 1994
- [12] Du Xiaochu, Xiong Jianguo. Evaluation Model on Equivalency of Spatial Topological Relations in Mul-

- multiple Representation[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2007, 32(5): 70-72(杜晓初,熊建国. 多尺度表达中空间拓扑关系等价性评价模型[J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 70-72)
- [13] Lv Xiuqin, Wu Fan. Representation of Topological Similarity Relationships for Spatial Objects in Multi-scale Representation [J]. *Journal of Geomatics*, 2006, 31(2): 29-31(吕秀琴, 吴凡. 多尺度空间对象拓扑相似关系的表达与计算[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(2): 29-31)
- [14] Deng Min, Li Zhilin, Cheng Tao. Routh-Set Representation of GIS Data Uncertainties with Multiple Granularities[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2006, 35(1): 64-70(邓敏, 李志林, 程涛. 多粒度的 GIS 数据不确定性粗集表达[J]. 测绘学报, 2006, 35(1): 64-70)
- [15] Du Shihong, Wang Qiao, Wei Bin, et al. Spatial Orientational Relations Rough Reasoning[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2003, 32(4): 334-338(杜世宏, 王桥, 魏斌, 等. 空间方向关系粗糙推理[J]. 测绘学报, 2003, 32(4): 334-338)
- [16] Xu Feng, Niu Jiqiang. Quantitative Evaluation Model of the Uncertainty of Multi-granularity Space Direction Relations Based on Rough-Set [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(7): 971-976(徐丰, 牛继强, 李卓凡. 基于粗集的多粒度空间方向关系不确定性定量评价模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(7): 971-976)
- [17] Deng Min, Liu Wenbao, Feng Xuezhi. A Generic Model Describing Topological Relations Among Area Objects in GIS[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2005, 34(1): 85-90(邓敏, 刘文宝, 冯学智. GIS 面目标间拓扑关系的形式化模型[J]. 测绘学报, 2005, 34(1): 85-90)
- [18] Deng Min, Xu Rui, Li Zhilin. A Spatial-Query-Driven Transformation Metric Spatial Relations and Natural Language Spatial Relations: Taking Regions as Example [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2009, 38(6): 527-531(邓敏, 徐锐, 李志林, 等. 空间查询中自然语言空间关系与度量空间关系的转换方法研究: 以面目标为例[J]. 测绘学报, 2009, 38(6): 527-531)
- [19] Liu Wenbao, Dai Honglei, Xu Panlin. The Analytic Exprssion of Geometric Figure on Planar Lines Error Band [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 1998, 27(3): 231-237(刘文宝, 戴洪磊, 徐泮林, 等. 平面线位误差带几何形状的解析表达[J]. 测绘学报, 1998, 27(3): 231-237)
- [20] Zhang Guoqin, Zhu Changqing, Li Guozhong. Measurement Indexes of Positional Uncertainty for Plane Line Segment Based on ϵ -m Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(4): 431-435(张国芹, 朱长青, 李国重. 基于 ϵ -m 模型的线元位置不确定性度量指标[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(4): 431-435)
- [21] Mozas A T, Ariza F J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines: A Comparative Study of Methodologies [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25 (10/12): 1 681-1 695
- [22] Chui K C, Shi Wenzhong. Estimation of the Positional Uncertainty in Line Simplification in GIS [J]. *The Cartographic Journal*, 2004, 41(1): 37-45
- [23] Xu Feng, Niu Jiqiang. Uncertainty Analysis Models for Multi-scale Representation of Spatial Data[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2014: 146-185(徐丰, 牛继强. 空间数据多尺度表达的不确定性分析模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2014: 146-185)
- [24] Egenhofer M, Franzosa R D. Point-Set Topological Spatial Relations [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1991, 5(2): 161-174
- [25] Egenhofer M. A Model for Detailed Binary Topological Relationships [J]. *Geomatic*, 1993, 47(3): 261-273
- [26] Clarke B L. A Calculus of Individuals Based on Connection [J]. *Norte Dame Journal of Formal Logie*, 1981, 2(3): 287-296

Quantitative Evaluation Model of the Uncertainty of Multi-scale Space Topological Relations Based on Rough-Set

NIU Jiqiang¹ XU Feng¹ YAO Gaowei¹ FAN Yong¹ LIN Hao¹

¹ School of Geographic Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China

Abstract: Quantitative evaluation of the uncertainty in spatial topological relations can provide the reliable basis for applications in automatic evaluation of multi-scale topological relation consistency,

(下转第 781 页)

ing, 2001, 45(1): 5-32

[13] Wiedemann C, Heipke C, Mayer H, et al. Automatic Extraction and Evaluation of Road Networks from MOMS-2P Imagery [J]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1998,32(1):285-291

Semi-automatic Road Extraction Method from High Resolution Remote Sensing Images Based on P-N Learning

CHEN Guang^{1, 2} SUI Haigang¹ TU Jihui¹ SONG Zhina³

- 1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China
- 2 Chongqing Surveying Institute, Chongqing 400020, China
- 3 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: The road tracking method based on template matching is one major semi-automatic road extraction method. However, template matching is sensitive to complexity of road scenes and variance in road width. In addition, road extraction requires frequent human-computer interaction while road tracking encounters failure without a mechanism for re-detection. To solve these problems, one semi-automatic road extraction method using high resolution remote sensing image based on P-N learning is proposed. It consists of road tracking, detecting and learning. In order to improve the stability of road detection, we train a classifier with an iterative P-N learning strategy. The performance of classifier is improved by correcting sample labeling under structural constraints. In experiments, the proposed method and three classical methods are tested on high-resolution remote sensing images of different scenes. Comparative results show proposed method improves precision and stability of road extraction.

Key words: high resolution; road extraction; template matching; P-N learning

First author: CHEN Guang, PhD, specializes in remote sensing image processing and information extraction. E-mail: teddygc@qq.com
Corresponding author: SUI Haigang, PhD, professor. E-mail: haigang_sui@263.net
Foundation support: The National Key Basic Research Program of China, No. 2012CB719906; the Major Project for High Resolution Earth Observation System.

+++++
(上接第 761 页)

spatial reasoning, and spatial queries. A geometric measure-based topological distance was defined. A rough set model for uncertainty in topological relation proposed to explore a quantitative method for determining topological distance. Furthermore, this paper presents the measure index for uncertainty in spatial topological relations of multi-scale spatial entities. A case study shows that the model proposed in this paper is reasonable, and suitable for the quantitative evaluation of topological relations found in multi-scale representation processes.

Key words: multi-scale representation; topological relations; uncertainty; rough set; topological distance

First author: NIU Jiqiang, PhD, associate professor, specializes in spatial data uncertainty, spatial data mining. E-mail: njq8196@163.com
Corresponding author: XU Feng, associate professor. E-mail: xu-f88@163.com
Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41201387, 41001219; the Youth Core Teachers Funding Scheme of Universities in Henan Province, No. 2012-GGJS-127; the Key Projects of Universities in Henan Province, No. 15A170012.