

基于 Vague 集的动态 Vague 区域关系*

郝忠孝^{1,2+}, 李松¹

¹(哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

²(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

Dynamic Vague Region Relations Based on Vague Sets

HAO Zhong-Xiao^{1,2+}, LI Song¹

¹(School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

²(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

+ Corresponding author: E-mail: haozx@hrbust.edu.cn

Hao ZX, Li S. Dynamic vague region relations based on vague sets. *Journal of Software*, 2009,20(4):878-889.
<http://www.jos.org.cn/1000-9825/3326.htm>

Abstract: Representation of the uncertain spatial information of the vague regions and handling the vague region relations are focus of research on the spatial database, geographical information systems and computer vision etc. To deal with the indeterminate membership of the vague points and the complex dynamic vague region relations, the static and dynamic vague region relations are discussed systematically based on vague sets. The vague region's definition is formalized and the vague region partition for the vague region with or without kernel is also given based on the vague sets. The three basic vague region relations are studied and the dynamic basic vague region relations are also presented. The relation table for the vague regions with kernel and the implicative relations of the vague sub-regions are given. The dynamic vague region relations of the vague regions with kernel are studied systemically and the dynamic adjacent relation table is also given in detail. Furthermore, the analysis of an instance is made. The production in this paper can deal with the indeterminate membership information of the vague points in vague regions, the dynamic vague region relations and forecast the next dynamic relations.

Key words: vague set; vague region; spatial relation; vague region partition; dynamic implicative relation

摘要: 模糊区域的不确定空间信息处理和空间关系表示是空间数据库、地理信息系统和计算机视觉等领域的研究热点和难点。为了有效地处理模糊区域内模糊点的未确定隶属信息和复杂的动态区域关系,引入 vague 集的概念和理论对静态和动态 vague 区域关系进行了系统研究。基于 vague 集对 vague 区域进行了形式化定义,对无核和含核 vague 区域进行了划分;研究了 3 种基 vague 域空间关系及其动态变化关系;给出了含核 vague 域的空间关系表和子区域组合的动态蕴涵关系;研究了含核 vague 域动态转变关系,给出了动态关系邻接表和动态关系转变路径。进一步给出了实例模型,进行了实例分析。研究成果可以较好地处理 vague 区域内的模糊点未确定的隶属信息和动态 vague 区域空间关系表示和动态转化及动态关系预测等问题。

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673136 (国家自然科学基金); the National Science Foundation of Heilongjiang Province of China under Grant No.F200601 (黑龙江省自然科学基金)

Received 2007-05-19; Accepted 2008-04-02

关键词: vague 集;vague 区域;空间关系;vague 区域划分;动态蕴涵关系

中图法分类号: TP18 文献标识码: A

模糊区域不确定空间信息的处理和模糊区域关系的表示日益成为空间数据库、地理信息系统、图形处理、人工智能和机器人学等领域的研究热点和难点,其研究成果还可用于气象分析、环境监测、考古发现、生物研究、土地规划、军事部署和故障检测等多种领域.目前,对模糊区域空间关系的研究主要有基于逻辑的公理化拓扑理论和传统的数学拓扑两大类方法^[1].文献[2]基于 RCC 提出了两种从精确区域到不确定区域的扩展方法,基于 Lukasiewicz 代数提出了针对空间不确定性的方法,提出了三值 Lukasiewicz 逻辑来表示区域不确定关系.文献[3]利用超值来表达模糊区域,超值对区分概念模糊性和类属模糊性有效,但超值语义更适合于概念模糊性,而模糊集理论更适合于类属模糊性.文献[4,5]提出了模糊区域间的两种拓扑关系模型.文献[4]提出了一种“蛋-黄”模型来表示非确定区域;文献[5]利用宽边界来表示不确定区域.但“蛋-黄”模型和宽边界都不能定性表示区域中特定点的不确定信息.文献[6]基于规则方格的有限元素集来定义模糊对象,建立起一个对 IR^2 的划分,此模型能够直接用栅格数据格式表达.文献[7]提出了基于区间值模糊集的模糊区域拓扑关系模型,该模型较好地改进了经典模糊集及其截集的拓扑关系模型.文献[8]利用 Fuzzy 集来表示不确定区域,将给定的不确定区域里的每个模糊点都赋予一个模糊值,由隶属度值大于等于特定值 α 的点所构成的集合组成 α 截集,利用 α 截集来研究模糊区域关系.文献[9]利用区间 $[0,1]$ 内的隶属度来表示空间关系,给出了模糊对象类型的定义,研究了基于模糊对象类型的模糊集表示和操作方法,利用支集之间的确定关系来定义模糊对象之间的关系.文献[10]基于模糊集提出了一种利用广义的 RCC 模型来描述模糊区域间模糊空间关系的方法,给出了模糊空间关系的定义和重要性质.但基于 Fuzzy 集的方法只能处理确定的隶属和非隶属信息,对模糊点未确定的隶属信息无效.

现实生活中,模糊点是否隶属于模糊区域及隶属程度往往都是不确定的,且模糊区域的位置、形状和大小经常动态变化.与已有的研究方法^[1-10]相比,本文基于 vague 集^[11,12]对静态和动态的 vague 区域的空间关系进行了系统分析,研究成果较适合处理模糊区域内的模糊点未确定的隶属信息、动态模糊区域空间关系表示和动态转化及动态关系预测等问题.

本文第 1 节给出 vague 集和基于 vague 集的 vague 点、vague 区域、无核和含核 vague 域的定义.第 2 节基于 vague 集系统研究 vague 区域的空间关系.给出无核和含核 vague 域划分的定义;研究 3 种基域空间关系及其动态变化关系;给出含核 vague 域的空间关系表;研究含核 vague 域动态转变关系,给出区域关系的动态邻接关系和动态子区域组合的蕴涵关系.第 3 节给出实例模型并进行详细分析.第 4 节对全文进行总结.

1 基本定义

定义 1(vague 集)^[11]. 设论域 U 为一个点集空间, u 表示 U 中的一个基本元素. U 中的一个 vague 集 V 是由一个真隶属函数 $t_v(u)$ 和一个假隶属函数 $f_v(u)$ 所定义.其中, $t_v(u): U \rightarrow [0,1]$ 和 $f_v(u): U \rightarrow [0,1]$ 分别对应 u 隶属于 U 的真隶属函数和假隶属函数. $t_v(u)$ 为 u 的隶属度下界, $f_v(u)$ 为 u 的否定隶属度下界,并且对于 $\forall u \in U$, 有 $t_v(u) + f_v(u) \leq 1$, 则 u 的基于 vague 集的隶属度值即由 $[0,1]$ 区间内的一个子区间 $[t_v(u), 1 - f_v(u)]$ 表示.

定义 2(vague 区域). 针对一点集的空间区域 U , 本文将 $[t_v(u), 1 - f_v(u)]$ 称为 u 隶属于 U 的 vague 值, 记为 $V(u)$, u 称为 vague 点.在不引起混淆的情况下, $t_v(u)$ 和 $1 - f_v(u)$ 可简记为 t_v 和 $1 - f_v$. 由 vague 值不为 $[0,0]$ 的 vague 点组成的区域称为 vague 区域, 记为 U . 若 $t_v(u_i) = t_v(u_j)$ 且 $f_v(u_i) = f_v(u_j)$, 则有 $V(u_i) = V(u_j)$, 称 u_i 是 u_j 的等值 vague 点. 若 $t_v(u_i) < t_v(u_j)$ 且 $f_v(u_i) > f_v(u_j)$, 则有 $V(u_i) < V(u_j)$. 针对 U , 若 $1 - f_v(u) > 0$, 则称 u 为域内点; 若 $t_v(u) = 0$ 且 $1 - f_v(u) = 0$, 则称 u 为域外点. 本文将 vague 区域 U 的 vague 集表示为 $\phi_v[t_v(u_i), 1 - f_v(u_i)]/u_i$. 为便于形式化表示和描述, 本文所研究的 vague 区域 U 内的 vague 点 u 的 $t_v(u)$ 值由区域边缘向核心区域单调递增, $f_v(u)$ 值由区域边缘向核心区域单调递减.

定义 3(vague 区域的 vague 交集). 设 vague 区域 U_A 和 U_B 的 vague 集 V_A 和 V_B 的交集为 $V_A \cap V_B$, 则

$$\begin{aligned}
 V_A \cap V_B &= \bigoplus_{U_A} [t_{v_A}(u_i), 1 - f_{v_A}(u_i)] / u_i \cap \bigoplus_{U_B} [t_{v_B}(u_j), 1 - f_{v_B}(u_j)] / u_j \\
 &= \bigoplus_{U_A \cap B} [t_{v_A}(u_w) \wedge t_{v_B}(u_w), (1 - f_{v_A}(u_w)) \wedge (1 - f_{v_B}(u_w))] / u_w \\
 &= \bigoplus_{U_A \cap B} [t_{v_{A \cap B}}(u_w), 1 - f_{v_{A \cap B}}(u_w)] / u_w,
 \end{aligned}$$

其中, $u_w \in U_A \cap U_B$, \wedge 表示取“最小值”运算.

定义 4 (vague 区域的 vague 空集). 设论域 U 上的一个模糊子集 V_P , 对于子集中的每一个对象元素 u_i 都有 $t_{v_P}(u_i) = 0, 1 - f_{v_P}(u_i) = 0$, 或 V_P 中不含任何信息, 则称 V_P 为 vague 空集. 记为 \emptyset .

定义 5 (Vague 截集). 设一 vague 区域 U_A 所对应的 vague 集为 $V_A = \bigoplus_{U_A} [t_{v_A}(u_i), 1 - f_{v_A}(u_i)] / u_i, u_i \in U, \forall a \in [0, 1]$, 定义 $A_{[a,b]} = \{u_i | t_{v_A}(u_i) \geq a, 1 - f_{v_A}(u_i) \geq 1 - b, u_i \in U\}$ 为 V_A 的 a_b 开截集; 定义 $A_{(a,b)} = \{u_i | t_{v_A}(u_i) > a, 1 - f_{v_A}(u_i) > 1 - b, u_i \in U\}$ 为 V_A 的 a_b 闭截集. 若无特殊说明, 本文将 $A_{[a,b]}$ 和 $A_{(a,b)}$ 统称为 V_A 的截集, 记为 A_{a_b} . 对同一 vague 区域的 U 的 vague 集 V_A 的两个 vague 截集 A_{a_b} 和 A_{c_d} , 若 $a \leq c, b \geq d$, 则有 $A_{c_d} \subseteq A_{a_b}$; 若 $a < c, b > d$, 则有 $A_{c_d} \subset A_{a_b}$. 若 $A_{c_d} \subseteq A_{a_b}$, 则有 $A_{a_b} \cup A_{c_d} = A_{a_b}, A_{a_b} \cap A_{c_d} = A_{c_d}$.

定义 6 (\tilde{A} 集、 \tilde{A} 集、 \tilde{I} 集、 \tilde{I} 集). 设 V 是一个 vague 集, $\forall ([t_v(u_i), 1 - f_v(u_i)] / u_i) \in V$, 若 $t_v(u_i) = 0$ 且 $1 - f_v(u_i) \neq 0$, 则 V 称为 \tilde{A} 集; 若 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $0 < 1 - f_v(u_i) < 1$, 则 V 称为 \tilde{A} 集; 若 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $1 - f_v(u_i) = 1$, 则 V 称为 \tilde{I} 集; 若 $t_v(u_i) = 1$ 且 $1 - f_v(u_i) = 1$, 则 V 称为 \tilde{I} 集.

定义 7 (vague 区域带). 设 A_{a_b} 和 A_{c_d} 是 vague 区域的 U_A 的 vague 集 V_A 的两个 vague 截集, 若 $A_{c_d} \subset A_{a_b}$, 定义 $A_{ab_cd} = A_{a_b} - A_{c_d}$ 为 U_A 的一个 vague 区域带. 进一步可以定义 $A_{[a,b]} - A_{[c,d]}$ 为 $A_{[ab_cd]}$ 带, $A_{(a,b)} - A_{(c,d)}$ 为 $A_{[ab_cd]}$ 带, $A_{(a,b)} - A_{[c,d]}$ 为 $A_{(ab_cd)}$ 带, $A_{[a,b]} - A_{(c,d)}$ 为 $A_{(ab_cd)}$ 带.

定义 8 (无核/含核 vague 域). 对一 vague 区域 U 的 vague 集 V , 若 $A_{[1,0]} \neq \emptyset$, 则称 U 为含核 vague 域, 记为 U_k , 由 $A_{[1,0]}$ 中所有 vague 点所组成的区域称为 U 的核; 若 $A_{[1,0]} = \emptyset$, 称 U 为无核 vague 域, 记为 U_v .

2 Vague 区域空间关系

2.1 基于 vague 集的 vague 区域划分

为了确定两个 vague 区域的空间关系, 首先对 vague 区域进行划分, 利用子区域关系组合表示 vague 区域关系. 本节对 vague 区域划分进行了详细定义.

定义 9 (无核 vague 域的划分). 设一无核 vague 域 U_v , 相对于 U_v , 数据点集中的点 u 的 vague 值为 $V(u) = [t_v(u), 1 - f_v(u)]$. 由 $t_v(u_i) = 0$ 且 $1 - f_v(u_i) \neq 0$ 的所有 vague 点组成的区域称为 U_v 的边缘域, 记为 \overline{FV}_0 域, \overline{FV}_0 域对应的 vague 集称为 \overline{FV}_0 集; 由 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $0 < 1 - f_v(u_i) < 1$ 的所有 vague 点组成的区域称为 U_v 的 \overline{NV}_c 域, \overline{NV}_c 域对应的 vague 集称为 \overline{NV}_c 集; \overline{FV}_0 域和 \overline{NV}_c 域构成 U_v 的一个划分, \overline{FV}_0 域和 \overline{NV}_c 域称为 U_v 的子区域. 本文中若无特殊说明, U_v 中的 vague 点 u 的 $t_v(u)$ 值由 \overline{FV}_0 域向 \tilde{I} 域递增, $f_v(u)$ 值由 \overline{FV}_0 域向 \tilde{I} 域递减.

定义 10 (含核 vague 域的划分). 设一含核 vague 域 U_k , 相对于 U_k , 数据点集中的点 u 的 vague 值为 $V(u) = [t_v(u), 1 - f_v(u)]$. 由 $t_v(u_i) = 0$ 且 $1 - f_v(u_i) \neq 0$ 的所有 vague 点组成的区域称为 U_k 的外缘域, 记为 \overline{WV}_0 域, \overline{WV}_0 域对应的 vague 集称为 \overline{WV}_0 集; 由 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $0 < 1 - f_v(u_i) < 1$ 的所有 vague 点组成的区域称为 U_k 的 \overline{ZV}_c 域, \overline{ZV}_c 域对应的 vague 集称为 \overline{ZV}_c 集; 由 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $1 - f_v(u_i) = 1$ 的所有 vague 点组成的区域称为 U_k 的 \overline{NV}_1 域, \overline{NV}_1 域对应的 vague 集称为 \overline{NV}_1 集; 由 $t_v(u_i) = 1$ 且 $1 - f_v(u_i) = 1$ 的所有 vague 点组成的区域称为 U_k 的 \overline{KV}_1 域, \overline{KV}_1 域对应的 vague 集称为 \overline{KV}_1 集; \overline{WV}_0 域、 \overline{ZV}_c 域、 \overline{NV}_1 域和 \overline{KV}_1 域构成 U_k 的一个划分, \overline{WV}_0 域、 \overline{ZV}_c 域、 \overline{NV}_1 域和 \overline{KV}_1 域称为 U_k 的子区域. 本文中若无特殊说明, U_k 中的 vague 点 u 的 $t_v(u)$ 值由 \overline{WV}_0 域向 \overline{NV}_1 域递增, $f_v(u)$ 值由 \overline{WV}_0 域向 \overline{KV}_1 域递减.

定义 11 (基 vague 域与基 vague 域空间关系). 对一个含核 vague 域 U_k , 其子区域 \overline{KV}_1 域和 \overline{NV}_1 域合并称为 U_k 的近似精确区域, 记为 U_{k_a} . 本文中, 无核 vague 域 U_v 和近似精确区域 U_{k_a} 统称为基 vague 域, 基 vague 域间的空间关系称为基 vague 域空间关系.

2.2 基于 vague 集的基 vague 域空间关系

设 A^{f_v}, B^{f_v} 分别为无核 vague 域 U_{v_A} 和 U_{v_B} 的 \overline{FV}_0 域对应的 \overline{FV}_0 集; A^{n_v}, B^{n_v} 分别为 U_{v_A} 和 U_{v_B} 的 \overline{NV}_c 域对

应的 \overline{NV}_c 集.本节将 A^{fv}, B^{fv}, A^{nv} 和 B^{nv} 的两两交集记为 $A^{nv}B^{nv}, A^{fv}B^{nv}, A^{nv}B^{fv}$ 和 $A^{fv}B^{fv}$ (简记为 KK,OK,KO 和 OO),则 U_{v_A} 和 U_{v_B} 的区域关系可由交集值的四元组合来表示(如表 1 中的 $R_{U_{v_A},U_{v_B}}$ 栏所示).

Table 1 Spatial relations of the basic vague regions
表 1 基 vague 域空间关系

Basic region relations	$R_{U_{v_A},U_{v_B}}$				$R_{U_{k_a},U_{k_b}}$				$R_{U_{k_a},U_{v_B}}$			
	KK	OK	KO	OO	CC	NC	CN	NN	CK	NK	CO	NO
1 DE	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ	ϕ
2 CJ	ϕ	ϕ	ϕ	\tilde{A}^-	ϕ	ϕ	ϕ	Γ	ϕ	ϕ	ϕ	\tilde{A}
3 FO	\tilde{A}	\tilde{A}^-	\tilde{A}^-	\tilde{A}^-	I	Γ	Γ	Γ	\tilde{A}	\tilde{A}	\tilde{A}^-	\tilde{A}^-
4 ITA	\tilde{A}	\tilde{A}^-	ϕ	\tilde{A}^-	I	Γ	ϕ	Γ	\tilde{A}	\tilde{A}	ϕ	\tilde{A}^-
5 NITA	\tilde{A}	\tilde{A}^-	ϕ	ϕ	I	Γ	ϕ	ϕ	\tilde{A}	\tilde{A}	ϕ	ϕ
6 OTA	\tilde{A}	ϕ	\tilde{A}^-	\tilde{A}^-	I	ϕ	Γ	Γ	\tilde{A}	ϕ	\tilde{A}^-	\tilde{A}^-
7 NOTA	\tilde{A}	ϕ	\tilde{A}^-	ϕ	I	ϕ	Γ	ϕ	\tilde{A}	ϕ	\tilde{A}^-	ϕ
8 EQU	\tilde{A}	ϕ	ϕ	\tilde{A}^-	I	ϕ	ϕ	Γ	\tilde{A}	ϕ	ϕ	\tilde{A}^-

设 A^{kv}, B^{kv} 分别为两个近似精确区域 U_{k_aA} 和 U_{k_bB} 的 \overline{KV}_1 域对应的 \overline{KV}_1 集, A^{nv}, B^{nv} 分别为 U_{k_aA} 和 U_{k_bB} 的 \overline{NV}_c 域对应的 \overline{NV}_c 集. A^{kv}, B^{kv}, A^{nv} 和 B^{nv} 的两两交集记为 $A^{kv}B^{kv}, A^{nv}B^{kv}, A^{kv}B^{nv}$ 和 $A^{nv}B^{nv}$ (简记为 CC,NC,CN 和 NN),则近似精确区域 U_{k_aA} 和 U_{k_bB} 的区域关系可由交集值的四元组合来表示(如表 1 中的 $R_{U_{k_a},U_{k_b}}$ 栏所示).同理,用 $A^{kv}B^{nv}, A^{nv}B^{kv}, A^{kv}B^{fv}$ 和 $A^{nv}B^{fv}$ (简记为 CK,NK,CO 和 NO)可表示近似精确区域 U_{k_aA} 和无核 vague 域 U_{v_B} 之间的区域关系(如表 1 中的 $R_{U_{k_a},U_{v_B}}$ 栏所示).表 1 所示的 3 类区域关系即为基 vague 域空间关系,其中,CJ,ITA 和 OTA 统称为相切关系.某些复杂的区域间的空间关系可由基 vague 域空间关系的组合来示.

随着 vague 区域的动态变化,vague 区域关系也在变化,相应的 vague 交集也随之发生变化,基 vague 域的动态关系转换如图 1 所示.其中,图 1(a)表示的是无核 vague 域 U_{v_A} (或 U_{v_A} 和 U_{k_a})间的动态关系转化;图 1(b)所示的是近似精确区域 U_{k_a} 间的动态关系转化.利用动态关系转换图可以表示基域空间关系的动态变化过程,例如,图 1(a)中带箭头的实线标注的是小 vague 区域 U_{v_A} 向大 vague 区域 U_{v_B} 运动,进入 U_{v_B} 的内部并穿越 U_{v_B} 的过程;而带箭头的虚线标注的是大 vague 区域 U_{v_A} 向小 vague 区域 U_{v_B} 运动,覆盖 U_{v_B} 并远离 U_{v_B} 的过程.

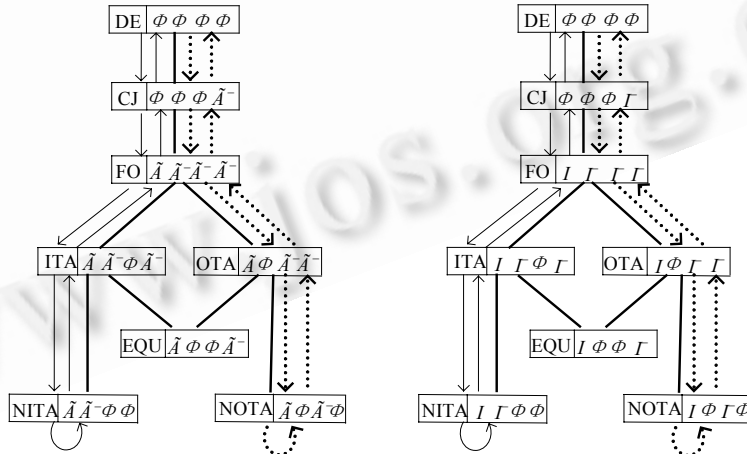


Fig.1 Dynamic transform diagram of the basic vague regions

图 1 基 vague 域动态关系转换图

2.3 基于vague集的含核vague域的空间关系

2.3.1 含核 vague 域的空间关系表示

设 A^{wv}, B^{wv} 分别为含核 vague 域 U_{k_A} 和 U_{k_B} 的 \overline{WV}_O 域对应的 \overline{WV}_O 集; A^{zv}, B^{zv} 分别为 U_{k_A} 和 U_{k_B} 的 \overline{ZV}_C 域对应的 \overline{ZV}_C 集; A^{nv}, B^{nv} 分别为 U_{k_A}, U_{k_B} 的 \overline{NV}_I 域对应的 \overline{NV}_I 集; A^{kv}, B^{kv} 分别为 U_{k_A}, U_{k_B} 的 \overline{KV}_I 域对应的 \overline{KV}_I 集. 则可用矩阵 Γ 来表示 U_{k_A}, U_{k_B} 区域的空间关系, Γ 定义如下:

Gamma matrix equation with 4x4 sub-matrices and a 4x4 result matrix T1-T16.

Gamma 中的各项 T1, T2, T3, ..., T16 可分别表示两个含核 vague 域的子区域关系. 若某项为空值, 则表明该项相对应的两个子区域不相交; 若该项非空, 则表明相对应的两个子区域有公共 vague 点. 根据 Gamma 中各项的取值情况, 可进一步表达含核 vague 域 U_{k_A} 和 U_{k_B} 的空间关系 (见表 2). 表 2 中的每一列都表示一个特定的区域关系, 行表示子区域的交集, 各行交集的每一项的值都和所在的列表示的区域关系相对应, 各列区域关系由该列对应的子区域交集值的组合表示. 若将文献 [4] 中的模糊区域模型图的内子区域边界扩展为 NV_I 域, 外部子区域边界扩展为 WV_O 域, 不考虑各子区域之间的相切关系, 则文献 [4] 中表示的 46 种经典区域关系模型图可由表 2 基于 vague 集进行全新表示; 若考虑各子区域之间存在的相切关系, 则可将 46 种经典关系扩展到 147 种关系, 由表 2 中的 T6, T8, T14 和 T16 行的可选项标注. 其中, 标注 O/A-tilde 的项表示其所在的列对应的经典关系中该项为 O, 在扩展关系中该项可取 A-tilde/O-tilde 项同理. 实际应用中, 可根据区域中特征点的 vague 值信息来确定近似的 vague 区域和 vague 区域关系. 通常, 由于 WV_O 域和 NV_I 域相对 ZV_C 域和 KV_I 域较为细小且区域内的 vague 点具有不确定性, 在对区域空间关系的精确度要求不高的情况下, 可忽略各子区域之间的相切关系.

Table 2 Spatial relations of the vague regions with kernel

表 2 含核 vague 域空间关系

Large table with 46 columns and 16 rows, containing symbols like I, O, A-tilde, and A-tilde/O-tilde representing spatial relations.

2.3.2 含核 vague 域和无核 vague 域的空间关系

含核 vague 域和无核 vague 域的空间关系矩阵如 Gamma_1 所示, 其基于 vague 集的空间关系表示见表 3. 其中, 表 3 中的 A 部分是不含有相切关系的空间关系; B 部分是经过扩展后含有相切关系的空间关系. 例如: 若考虑相

切关系, A 部分的空间关系 G' 可新扩展出 B 部分的空间关系 G'_1, G'_2 和 G'_3 .

$$G_1 = \begin{pmatrix} A^{k_v} \cap B^{n_v} & A^{k_v} \cap B^{f_v} \\ A^{n_v} \cap B^{n_v} & A^{n_v} \cap B^{f_v} \\ A^{z_v} \cap B^{n_v} & A^{z_v} \cap B^{f_v} \\ A^{w_v} \cap B^{n_v} & A^{w_v} \cap B^{f_v} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} T'_1 & T'_5 \\ T'_2 & T'_6 \\ T'_3 & T'_7 \\ T'_4 & T'_8 \end{pmatrix}$$

Table 3 Spatial relations between the vague regions with kernel and the vague regions without kernel

表 3 含核 vague 域和无核 vague 域空间关系表

	A								B							
	T ₁ '	T ₂ '	T ₃ '	T ₄ '	T ₅ '	T ₆ '	T ₇ '	T ₈ '	T ₁ '	T ₂ '	T ₃ '	T ₄ '	T ₅ '	T ₆ '	T ₇ '	T ₈ '
1'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	1'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
2'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	2'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
3'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	4'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
4'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	5'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
5'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	6'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
6'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	6'₂	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
7'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	6'₃	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
8'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	7'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
9'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	8'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
10'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	8'₂	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
11'	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	8'₃	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ
									9'₁	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ

2.3.3 含核 vague 域动态转变关系

通常,两个含核 vague 域的位置和形状大小随时间会发生变化,其区域关系往往会随之动态改变,尤其是在区域位置和形状大小同时变化时,区域关系的改变将是复杂和多样的.表 4 给出了表 2 中 46 种区域关系的动态邻接关系.若考虑含相切关系的空间关系,则表 4 可进一步加以扩充.由表 4 可对已知的空间关系下一时刻的关系变化进行预测:设已知两个含核 vague 域的空间关系为 R_i , 依据表 4 可得出因 vague 区域的位置变化、形状大小变化或位置和形状大小同时变化,在下一时刻最有可能发生的有别于 R_i 的空间关系 R_j . 其中,斜体的关系号表示仅由位置变化而产生的对应的动态邻接关系; 带下划线的关系号表示由形状大小变化或位置和形状大小同时变化所产生的动态邻接关系.

Table 4 Dynamic adjacent spatial relations between the vague regions with kernel

表 4 含核 Vague 域的动态邻接关系

46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																			
20																																																																
22																																																																
29			19,																																																													
30	20,	20,	20,																																																													
31	20,	20,	20,																																																													
32	20,	20,	20,																																																													
33	20,	20,	20,																																																													
35	20,	20,	20,																																																													
36	20,	20,	20,																																																													
37	20,	20,	20,																																																													
38	20,	20,	20,																																																													
39	20,	20,	20,																																																													
40	20,	20,	20,																																																													
41	20,	20,	20,																																																													
43	20,	20,	20,																																																													
44	20,	20,	20,																																																													
45	20,	20,	20,																																																													
46	20,	20,	20,																																																													

由表 4 可以得出,含核 vague 区域在不同动态变化条件下的动态关系转换图.例如,当不考虑子区域的完全重叠时,仅由位置变化得不出邻接动态关系,必须由形状大小变化或位置和形状大小同时变化而得出的邻接关系来构成部分动态关系转换图,如图 2 所示.在动态关系转换图中,由空间关系 R_m 到空间关系 R_n 的一条路径称为动态关系转变路径,动态关系转变路径显示了从 R_m 到 R_n 变化的一个历程. R_m 到 R_n 可能有多条动态关系转变路径,根据动态关系转换图对空间关系可进行预测和择优.例如,某个动态关系变化中,动态关系转变路径为 $9 \rightarrow 6 \rightarrow 14 \rightarrow 11 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 13 \rightarrow 20$ (图 2 中带箭头的实线所示),则关系 9 到关系 20 的转变中主要经历了空间关系 6,14,11, 15,16 和 13;图 2 带箭头的虚线标注了从关系 9 到关系 20 的经历中间空间关系最少的一条转变路径.

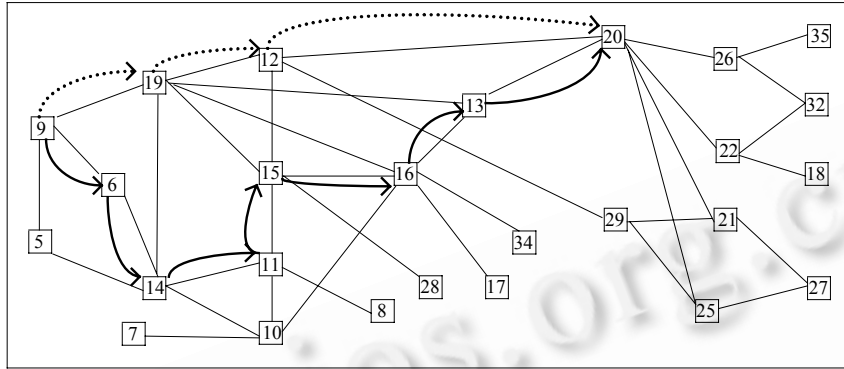


Fig.2 Partial dynamic transform diagram with some condition

图 2 具有条件限制的部分动态转换图

已知含核 vague 域 U_{k_a} 和 U_{k_b} 的某些子区域关系成立,根据算法 1 可求得已知子区域组合关系所蕴涵的子区域关系,当子区域组合关系动态变化时,由算法 1 可得出所蕴涵的相应的动态子区域关系.

算法 1. 计算可变子区域组合关系的动态蕴涵关系.

Input: 含核 vague 域的空间关系表,已知初始组合关系集 $\{RC\}$;

Output: 组合关系动态蕴涵的关系.

begin

$U \leftarrow \{R_1, \dots, R_{16}\}; i \leftarrow 0;$

$RK \leftarrow \{RC\};$ /*初始化*/

1: for $i=i+1$ to $|RK|$ do

$S \leftarrow U - \{ \{RK_i\} \};$ /* $\{ \{RK_i\} \}$ 表示组成 RK_i 的子区域关系的集合*/

for $j=1$ to $|S|$ do /* $|S|$ 表示除去给定组合关系中的子区域关系后剩余的关系数*/

for $k=1$ to t do /* t 表示关系表的关系条目数*/

if $\{ \{RK_{ik}\} \} = \emptyset$ and $S_{jk} = \emptyset$ then /* $\{ \{RK_{ik}\} \} = \emptyset$ 表示组成关系组合 RK_i 的子区域关系在关系表 k 列对应的项为非空值*/

$Z_i \leftarrow S_j;$

$N_i \leftarrow S - Z_i;$

return $\{RK_i, N_i\};$ /* RK_i 表示已知的子区域关系组合*/

if $\{RC\} \leftarrow \{RC\} - \{RCJ\}$ then /* $\{RC\}$ 集发生动态变化*/

从 $\{N_i\}$ 集中除去 $\{RCJ\}$ 集对应的蕴涵关系;

elseif $\{RC\} \leftarrow \{RCN\}$ then /*新加入了区域关系*/

$i \leftarrow |RK|; RK \leftarrow \emptyset;$ /*将 RK 集清空*/

$RK \leftarrow \{RCN\};$ 转步骤 1;

end

设 K 值是关系表中的 vague 区域关系系数,则由算法 1 可知,依据关系表 2 求所有相交子区域的组合关系所蕴涵的子区域关系总计算量为 $K \sum_{i=1}^{15} C_{16-i}^i C_{16}^i$. 当仅对表 2 中的经典关系计算时, K 值为 46; 若对扩展后的关系表计算, 则 K 值为 147. 根据已知两个含核 vague 域的子区域组合关系中成立的关系系数, 蕴涵关系可分成一元蕴涵、二元蕴涵及多元蕴涵等. 基于表 2, 由算法 1 可得出二元、二元及多元蕴涵关系. 表 5 详细给出了一元和二元蕴涵关系. 其中, A, B, C, \dots, P 对应表 2 中的区域关系 $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{16}$, 带*号的关系表明仅在经典 46 种关系表中该蕴涵关系成立; 不带*号的关系表明在扩展后的 147 种关系表中该蕴涵关系成立; #表明已知组合关系在关系表中不蕴涵任何关系; 带虚线圆的项为一元蕴涵关系, 其他项为二元蕴涵关系.

Table 5 Unitary and dualistic implicative relations
表 5 一元和二元蕴涵关系

A	#																	
B	C	A,C																
C	B	A	#															
D	B,C	A,C	#	C														
E	I	A,C,F,G, I,J,K	A,B,F,G, I,J,K	A,B,C,F, G,H,I,K,L	AJ													
F	K	A,C,E*,G, I*,K	A*,B*,E*, G,I*,J*,K	A*,B*,C*, E*,G,H,I*, J*,K,L	A,B*,C*, G*,I*,J*,K	A*,K												
G	B,C,K	A,C,K	K	C,H,K,L	A,B,C,F, I,J,K	A*,B*,C*, E*,I*,J*,K	C,K											
H	B,C	A,C	#	C,G*, K*,L*	A,B,C,D*, F,G,I,K,L	A*,B*,C*, D*,E*,G*, I*,J*,K,L	C,D*,K,L	C*										
I	E	A,C,E,F, G,J,K	G,J,K	C,G,H,I, K,L	A	A*,B*,C*, E*,G*,J,K	C,J,K	C*,D*,G*, J,K,L	#									
J	E,I,K	A,C,E,F, G,I,K	G,I,K	C,G,H,I, K,L	A,I,K	A*,B*,C*, E*,G*,J,K	C,I,K	C*,D*,G*, I,K,L	K	I,K								
K	#	A,C,G	G	C,G,H,L	A,I,J	A*	C	C*,D*, G*,L	J	I	#							
L	K	A,C,G,K	G,K	C,G,H,K	A,I,J,K	A*,K	C,K	C*,D*, G*,K	J,K	I,K	#	K						
M	E,I	A,C,F,G, I,J,K,N,O	G	G,H,I, J,K,L,N, O,P	A,I	A*,B*,C*, E*,G*,J,J, K,N,O	C,I,J,K, N,O	C*,D*,G*, I,J,K,L,N, O,P	#	I,K,N	I,J,N,O	I,J,K,N, O,P	I					
N	E,I	A,C,E,F, G,I,J,K, M*,O	G	C,G,H,I*, J*,K,L, M*,O,P	A,I	A*,B*,C*, E*,G*,J,J, K,M*,O	C,I*,J*,K, M*,O	C*,D*,G*, I*,J*, K,L,M, O,P	#	I,K,M*,O	I*,J*, M*,O,P	I*,J*,K, M*,O,P	I*,J*, K*,O*	I*				
O	K	A,C,G,K	G,K	C,G,H,K, L,P	A,I,J,K	A*,K	C,K	C*,D*,G*, K,L,P	J,K	I,K	#	K,P	I,J,K,N	I*,J*, K,M	K			
P	K*	A,C,G*, K*	G*,K*	C,G*,H*, K*,L*,O	A,I,K	A*,K	C,K	C*,D*,G*, K*,L*,O	J,K	I,K	#	K,O*	I,J,K,L*, N,O	I*,J*,K, L*,M*,O	K,L*	K*		
X	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		

3 实例分析

在处理静态和动态的模糊区域的空间关系时,模糊点是否属于模糊区域及隶属程度往往都是不确定的;随

着时间的变化,模糊区域的空间关系也随之动态改变.针对模糊点的不确定性和模糊区域的动态变化性,基于第 1 节、第 2 节的理论分析,本节进一步给出相关的实例模型.

已知某地区存在某一植物物种分布区域(U_{k_A} 区域)、一个动物物种活动区域(U_{k_C} 区域)和污染气团(U_{v_B} 区域)这 3 个模糊区域,区域中,植物分布、动物活动和污染与否往往具有相当的不确定性.研究动物物种活动和植物物种分布的相互关系和污染气团对该地区动植物的动态影响情况等问题的一个关键点,即是确定 vague 区域间的空间关系.为便于研究,在该地区中选取具有代表性的对象点作为特征点进行检验分析,如图 3 所示, u_1, \dots, u_{96} 即为选取的部分特征点.每个特征点对应的原始数据信息由植物物种分布信息、动物物种活动信息和污染气团的污染指标信息这 3 部分组成,对各特征点相关的原始数据资料进行统计分析后,其 vague 值信息如表 6 所示,表 6 中 $V_{U_{k_A}}(u_i)$ 是特征点 u_i 相对 U_{k_A} 区域的 vague 值, $V_{U_{v_B}}(u_i)$ 是 u_i 相对 U_{v_B} 区域的 vague 值, $V_{U_{k_C}}(u_i)$ 是 u_i 相对于 U_{k_C} 区域的 vague 值.例如,表 6 中的特征点 u_{86} 相对于 3 个区域 U_{k_A} , U_{v_B} 和 U_{k_C} 的 vague 值分别为 $[0.249, 0.375]$, $[0.127, 0.235]$ 和 $[0.000, 0.000]$,则表示有 24.9% 的数据资料表明 u_{86} 隶属于区域 U_{k_A} , 有 62.5% 的数据资料表明 u_{86} 不隶属 U_{k_A} , 其余 12.6% 的数据资料还不能表明特征点 u_{86} 是否隶属于区域 U_{k_A} ; 有 12.7% 的数据资料表明 u_{86} 隶属于区域 U_{v_B} , 有 76.5% 的数据资料表明 u_{86} 不隶属 U_{k_A} , 其余 10.8% 的数据资料还不能表明 u_{86} 是否隶属于区域 U_{k_A} ; 而对于区域 U_{k_C} , 所有资料都表明特征点 u_{86} 不隶属于 U_{k_C} .

Table 6 Vague value of the characteristic points
表 6 特征点的 vague 值

u_i	$V_{U_{k_A}}(u_i)$	$V_{U_{v_B}}(u_i)$	$V_{U_{k_C}}(u_i)$	u_i	$V_{U_{k_A}}(u_i)$	$V_{U_{v_B}}(u_i)$	$V_{U_{k_C}}(u_i)$	u_i	$V_{U_{k_A}}(u_i)$	$V_{U_{v_B}}(u_i)$	$V_{U_{k_C}}(u_i)$	u_i	$V_{U_{k_A}}(u_i)$	$V_{U_{v_B}}(u_i)$	$V_{U_{k_C}}(u_i)$
u_1	[0.834,0.957]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{25}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{49}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.507,0.624]	u_{73}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_2	[1.000,1.000]	[0.000,0.094]	[0.000,0.000]	u_{26}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{50}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.898,0.993]	u_{74}	[1.000,1.000]	[0.165,0.286]	[0.000,0.000]
u_3	[0.763,0.885]	[0.497,0.596]	[0.000,0.000]	u_{27}	[0.684,0.815]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{51}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{75}	[0.749,0.875]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_4	[0.917,1.000]	[0.522,0.631]	[0.000,0.000]	u_{28}	[1.000,1.000]	[0.003,0.100]	[0.000,0.000]	u_{52}	[0.139,0.265]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{76}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_5	[0.952,1.000]	[0.000,0.000]	[0.133,0.257]	u_{29}	[0.397,0.526]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{53}	[0.968,1.000]	[0.000,0.074]	[0.000,0.000]	u_{77}	[1.000,1.000]	[0.174,0.297]	[0.000,0.000]
u_6	[0.996,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{30}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.011]	u_{54}	[0.000,0.031]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{78}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_7	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{31}	[1.000,1.000]	[0.281,0.393]	[0.000,0.000]	u_{55}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.635,0.759]	u_{79}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.008]
u_8	[0.638,0.775]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{32}	[0.485,0.603]	[0.567,0.672]	[0.000,0.000]	u_{56}	[0.996,1.000]	[0.165,0.291]	[0.000,0.000]	u_{80}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_9	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.036]	u_{33}	[0.411,0.539]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{57}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{81}	[1.000,1.000]	[0.357,0.483]	[0.000,0.000]
u_{10}	[0.978,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.057]	u_{34}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.246,0.370]	u_{58}	[0.733,0.862]	[0.000,0.009]	[0.000,0.000]	u_{82}	[0.000,0.004]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{11}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{35}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{59}	[0.467,0.583]	[0.000,0.000]	[0.079,0.195]	u_{83}	[0.452,0.576]	[0.827,0.935]	[0.000,0.000]
u_{12}	[0.124,0.253]	[0.000,0.000]	[0.989,1.000]	u_{36}	[0.755,0.861]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{60}	[0.278,0.415]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{84}	[0.969,1.000]	[0.000,0.000]	[0.988,1.000]
u_{13}	[0.544,0.672]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{37}	[0.397,0.546]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{61}	[0.977,1.000]	[0.000,0.000]	[0.984,1.000]	u_{85}	[0.738,0.856]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{14}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{38}	[0.439,0.564]	[0.000,0.000]	[0.257,0.388]	u_{62}	[1.000,1.000]	[0.215,0.332]	[0.000,0.000]	u_{86}	[0.249,0.375]	[0.127,0.235]	[0.000,0.000]
u_{15}	[0.672,0.795]	[0.113,0.248]	[0.000,0.000]	u_{39}	[0.765,0.892]	[0.000,0.000]	[0.326,0.441]	u_{63}	[0.504,0.618]	[0.357,0.469]	[0.000,0.000]	u_{87}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{16}	[0.425,0.589]	[0.000,0.000]	[0.861,0.988]	u_{40}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{64}	[0.373,0.416]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{88}	[0.174,0.297]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{17}	[0.000,0.006]	[0.547,0.669]	[0.000,0.000]	u_{41}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{65}	[0.968,1.000]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{89}	[0.516,0.638]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]
u_{18}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{42}	[0.998,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{66}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.224,0.359]	u_{90}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]
u_{19}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.826,0.938]	u_{43}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{67}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{91}	[0.105,0.226]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{20}	[0.000,0.057]	[0.000,0.000]	[0.973,1.000]	u_{44}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{68}	[0.000,0.000]	[0.143,0.275]	[0.000,0.000]	u_{92}	[0.000,0.000]	[0.237,0.356]	[0.000,0.000]
u_{21}	[1.000,1.000]	[0.006,0.119]	[0.000,0.000]	u_{45}	[0.009,0.112]	[0.175,0.289]	[0.000,0.000]	u_{69}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{93}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{22}	[0.861,0.978]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{46}	[0.000,0.014]	[0.000,0.000]	[1.000,1.000]	u_{70}	[0.000,0.051]	[0.000,0.000]	[0.176,0.314]	u_{94}	[0.148,0.273]	[0.000,0.000]	[0.469,0.577]
u_{23}	[0.000,0.048]	[0.000,0.000]	[0.000,0.057]	u_{47}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.978,1.000]	u_{71}	[0.758,0.852]	[0.000,0.000]	[0.536,0.655]	u_{95}	[0.133,0.256]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]
u_{24}	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{48}	[0.000,0.003]	[0.012,0.136]	[0.000,0.000]	u_{72}	[0.760,0.894]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]	u_{96}	[1.000,1.000]	[0.000,0.000]	[0.000,0.000]

根据表 6 中的所有特征点的 vague 值信息,由第 2 节的分析可知:基于 vague 集的 U_{k_C} 和 U_{k_A} 区域关系表示对应着表 2 的第 14 项, U_{k_A} 和 U_{v_B} 的区域关系对应着表 3 的第 3'项, U_{k_C} 和 U_{v_B} 的区域关系对应着表 3 的第 1'

项.其近似的 vague 区域 U_{k_A} , U_{k_C} 和 U_{v_B} 及其 vague 区域关系如图 4 所示.显然,具有代表性的特征点选取得越多,特征点的相关有效数据资料就越丰富,统计分析出的 vague 值信息越可信,得到的近似 vague 区域和 vague 区域关系就越精确.进一步地,根据第 2 节的分析,由所得的 vague 区域关系可对当前和未来的情况做出较为有用的判断和预测.例如,由图 4 可知,动物物种种群活动的核心区域和植物种群的分布的密集区已经相重叠,污染气团已经部分侵入植物种群的分布的密集区,但还没有影响到动物种群.

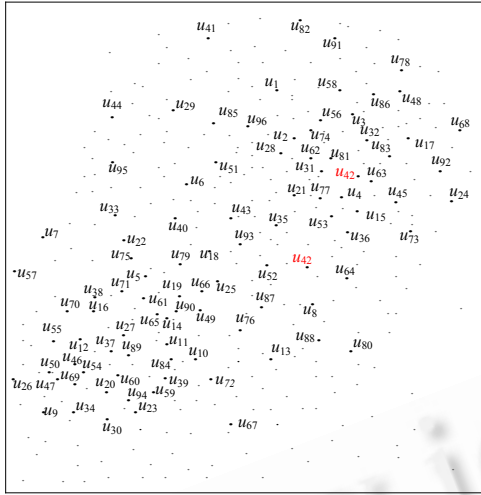


Fig.3 Characteristic points
图 3 特征点

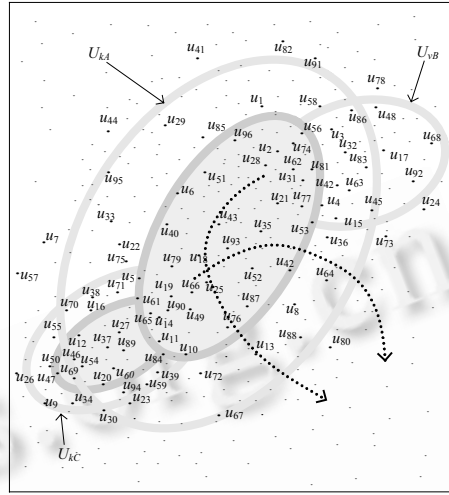


Fig.4 Diagram of the vague regions and some spatial relations
图 4 Vague 区域空间关系图示

本例中,由于各特征点相对于 U_{k_A} 区域、 U_{k_C} 区域和 U_{v_B} 区域的隶属信息均具有未确定性,且 U_{k_C} 区域和 U_{v_B} 区域随时间动态变化,故基于超值语义^[3]、蛋黄模型^[4]、宽边界^[5]和模糊集^[8-10]的方法不适合处理其特征点的隶属信息具有未确定性的动态 vague 区域关系表示和动态关系转化及关系预测等问题,无法由经统计分析得出的不同时刻的各特征点的 vague 值信息来定性地得出各时刻对应的 vague 区域模型和相应的动态 vague 区域关系及动态转化路径.

根据第 1 节、第 2 节的研究,设计了基于 vague 集处理动态 vague 区域空间关系的模拟系统软件.该模拟系统可根据特征点的 vague 值信息处理动态模糊区域空间关系表示和动态转化及动态关系预测等问题.本例中,依据在 22 个不同时刻所获得的数据信息,即可得到各个时刻对应的近似的 vague 区域 U_{k_A} , U_{k_C} 和 U_{v_B} 及其之间的 vague 区域关系.为便于描述,仅处理关系表中不含相切关系的空间关系.图 5 给出了得到的不同时刻的 vague 区域关系和区域关系转变路径.如图 5 所示,纵轴上的数字 1,2,...,46 表示表 2 中的区域关系号,1',2',...,11' 表示表 3 中的区域关系号;横轴上的数字表示时刻,* 对应的纵轴上的数字表示该时刻所得出的 U_{k_C} 和 U_{k_A} 区域的 vague 区域关系在表 2 中的经典区域关系号,“.”对应的数字表示根据该时刻所得到的 U_{k_C} 和 U_{k_A} 区域的 vague 区域关系所能预测的下一时刻可能要发生的经典 vague 区域关系号.例如,在时刻 10,得到 U_{k_C} 和 U_{k_A} 区域的 vague 区域关系是表 2 中的第 22 项,下一时刻可能发生的区域关系为表 2 中的第 {11,13,16,18,19,20,26,32,34,35} 项.同理,“Δ”表示 U_{k_A} 和 U_{v_B} 区域的 vague 区域关系在表 3 中的区域关系号,“α”表示 U_{k_C} 和 U_{v_B} 区域的 vague 区域关系在表 3 中的区域关系号,“■”表示不同 vague 区域在该时刻对应着纵轴上相同的 vague 区域关系号.例如,在时刻 13, U_{k_A} 和 U_{v_B} 区域的区域关系是表 3 中的第 7' 项, U_{k_C} 和 U_{v_B} 区域的区域关系是表 3 中的第 3' 项;在时刻 16, U_{k_A} 和 U_{v_B} 的区域关系与 U_{k_C} 和 U_{v_B} 的区域关系相同,都对应表 3 中的第 3' 项.图 5 中, $L_{U_{k_C}-U_{k_A}}$, $L_{U_{k_A}-U_{v_B}}$ 和 $L_{U_{k_C}-U_{v_B}}$ 是 3 条关系转变路径.

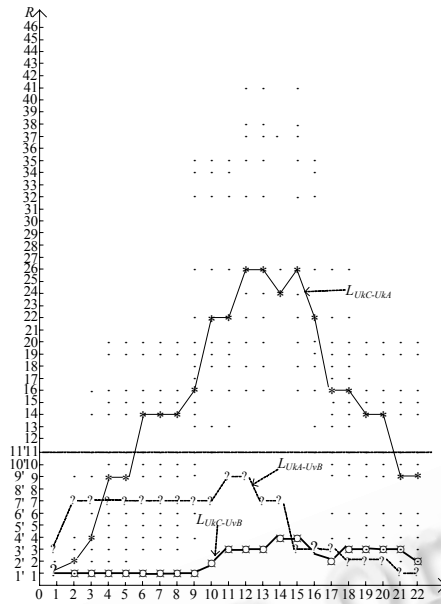


Fig.5 Vague region relations and the dynamic relations' transform routes at different time

图 5 不同时刻的 vague 区域关系和动态关系转变路径

4 结束语

现实生活中,在处理静态和动态的模糊区域的空间关系时,区域内的模糊点是否属于模糊区域及隶属程度一般都是不确定的;随着时间的变化,模糊区域的空间关系也随之动态改变.本文基于 vague 集对 vague 区域的静态和动态空间关系进行了详细的分析和讨论.研究了 3 种基域空间关系及其动态变化关系;基于 vague 集和 vague 区域划分,对含核 vague 域间的 46 种经典区域关系进行了全新的表示,详细讨论了当 vague 区域的位置变化、形状大小变化或位置和形状大小同时变化时,下一时刻最有可能成立的动态邻接关系;为了由已知的子区域关系推测未知的动态子区域关系,设计了计算动态蕴涵关系的算法,进一步给出了一元和二元蕴涵关系.基于理论研究,对实例模型进行了详细的讨论和分析.研究成果较适合处理模糊区域内的模糊点未确定的隶属信息、动态模糊区域空间关系表示和 vague 区域关系间的动态转化及动态关系预测等问题,为空间数据库对静态和动态 vague 区域关系的有效处理奠定了基础.

下一步的研究重点主要集中在以下几个方面:

- (1) 利用 vague 集和 Rough 集的联合来处理 vague 区域关系和推理问题;基于 vague 集和 Rough 集的 vague 区域关系查询研究;
- (2) 基于 vague 集将方向关系(例如主方向关系^[13])和 vague 区域关系进行集成研究.

致谢 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的哈尔滨工程大学的韩启龙博士表示感谢,向为本文付出辛勤工作的审稿专家和编辑老师表示感谢.

References:

- [1] Yu QY, Liu DY, Xie Q. A survey of analysis methods of topological relations between spatial regions. Journal of Software, 2003, 14(4):777-782 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/777.htm>
- [2] Roy AJ, Stell JG. Spatial relations between indeterminate regions. Int'l Journal of Approximate Reasoning, 2000,27(3):205-234.

- [3] Kulik L. A geometric theory of vague boundaries based on supervaluation. In: Montello DR, ed. Proc. of the Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science, Int'l Conf. (COSIT 2001). London: Springer-Verlag, 2001. 44–59.
- [4] Cohn AG, Gotts NM. The 'egg-yolk' representation of regions with indeterminate boundaries. In: Burrough PA, Frank AU, eds. Proc. of the Geographic Objects with Indeterminate Boundaries. London: Taylor and Francis, 1996. 171–187.
- [5] Clementini E, DiFelice P. Approximate topological relations. Int'l Journal of Approximate Reasoning, 1997,16(2):173–204.
- [6] Schneider M. Design and implementation of finite resolution crisp and fuzzy spatial objects. Data & Knowledge Engineering, 2003, 44(1):81–108.
- [7] Yu QY, Liu DY, Ouyang JH. Topological relations model of fuzzy regions based on interval valued fuzzy sets. Acta Electronica Sinica, 2005,33(1):186–189 (in Chinese with English abstract).
- [8] Zhan FB. Approximate analysis of binary topological relations between geographic regions with indeterminate boundaries. Soft Computing, 1998,2(2):28–34.
- [9] Dilo A, Rolf AB, Stein A. A proposal for spatial relations between vague objects. In: Wu L, ed. Proc. of the Int'l Symp. on Spatial Data Quality 2005. Beijing: Peking University, 2005. 50–59.
- [10] Schockaert S, Cock MD, Cornelis C, Kerre EE. Fuzzy region connection calculus: Representing vague topological information. Int'l Journal of Approximate Reasoning, 2008,48(1):314–331.
- [11] Gau WL, Buehrer DJ. Vague sets. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics (Part B), 1993,23(2):610–614.
- [12] Chen SM. Similarity measures between vague sets and between elements. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics (Part B), 1997,27(1):153–158.
- [13] Liu YS, Hao ZX. Consistency checking for cardinal direction relations based on MBR. Journal of Software, 2006,17(5):976–982 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/976.htm>

附中文参考文献:

- [1] 虞强源,刘大有,谢琦.空间区域拓扑关系分析方法综述.软件学报,2003,14(4):777–782. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/777.htm>
- [7] 虞强源,刘大有,欧阳继红.基于区间值模糊集的模糊区域拓扑关系模型.电子学报,2005,33(1):186–189.
- [13] 刘永山,郝忠孝.基于 MBR 的主方向关系一致性检验.软件学报,2006,17(5):976–982. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/976.htm>



郝忠孝(1940—),男,山东蓬莱人,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为数据库理论及应用,空值环境下的数据库理论,空间数据库,主动数据库,时态数据库,XML 数据库.



李松(1977—),男,博士生,主要研究领域为空间数据库理论及应用.