

Vague 区域关系与方向关系的表示及复合推理

李 松¹ 张丽平¹ 郝晓红² 郝忠孝^{1,3}

¹(哈尔滨理工大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150080)

²(哈尔滨理工大学计算中心 哈尔滨 150080)

³(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

(lisongbeifen@163.com)

Representation and Compound Reasoning of Vague Region Relations and Direction Relations

Li Song¹, Zhang Liping¹, Hao Xiaohong², and Hao Zhongxiao^{1,3}

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

²(Computer Center, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080)

³(College of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Representation and reasoning of Vague region relations and direction relations have important significance in spatial database, network information security, data mining and artificial intelligence, etc. To deal with the complex representations and the compound reasoning of Vague region relations and direction relations, Vague region relations and direction relations are systematically analyzed based on the Vague sets which can deal with a great deal of uncertainty information. Based on the Vague sets, the intersection matrices and the representation model of the Vague regions are given. To handle the uncertainty of the direction relations caused by the ambiguity of Vague regions, Vague direction points and Vague direction space are defined based on the Vague sets and the intersection matrices of the direction relations are studied. To analyze and reason the dynamic Vague direction relations, the dynamic adjacency table of the Vague direction space are given. Furthermore, the methods for the reverse direction relations and the related reasoning of the Vague region relations and the Vague direction relations are studied also. The theoretical research and the experimental analysis show that the production in this work can deal with the key problems of the Vague region relations and the Vague direction relations and it can handle the complex reasoning.

Key words Vague sets; Vague region; Vague region relations; Vague direction relations; reverse relation; compound reasoning

摘 要 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的表示和推理在空间数据库、网络信息安全、数据挖掘和人工智能等领域具有重要的意义. 为了处理复杂的 Vague 区域关系和 Vague 方向关系表示及其复合推理等问题, 基于 Vague 集对 Vague 区域关系和方向关系进行了系统研究. 给出了 Vague 区域关系交集矩阵和表示模型; 为了处理由参照对象的不确定性所导致的方向关系的不确定性, 基于 Vague 集提出了 Vague 方向关系的交集矩阵表示方法; 为了对动态 Vague 方向关系进行分析、预测与推理, 详细研究

了 Vague 方向关系的动态性和动态邻接关系,给出了 Vague 方向关系的反向方向关系处理方法;进一步研究了 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的复合关联推理方法. 理论研究和实验分析表明研究成果可较好地处理 Vague 区域关系和 Vague 方向关系及其复合关联推理等问题,增强了数据信息处理系统对复杂不确定空间关系的处理能力.

关键词 Vague 集; Vague 区域; Vague 区域关系; Vague 方向关系; 反向关系; 复合推理

中图法分类号 TP311

由于数据对象信息具有误差、不精确性、模糊性和含混性等特性,使得以其为基础的空间关系相应地具有非常复杂的不确定性^[1]. 目前,对不确定空间关系理论的研究进展极大地影响着空间数据库的空间信息查询、空间分析、空间推理的能力,此外,不确定数据对象空间关系的表示和分析在网络监测、空间数据挖掘、数据信息安全、地图理解、机器人学、智能交通和人工智能等众多领域具有重要的作用. 其中,不确定区域关系和方向关系是不确定空间关系范畴的两个重要方面. 近年来,国内外学者对不确定区域关系和方向关系进行了一系列研究,取得了一些重要的研究成果. 在不确定区域关系表示方面,“蛋-黄”模型^[2]和“宽边界”模型^[3]是影响较大的两种定性分析模型,但两者都不能表示区域中的特定点信息,没有将模糊区域关系和方向关系进行结合研究. 文献[4]提出的模糊栅格区域的层次拓扑关系模型可根据谓词的多种真值实现模糊栅格区域在多个层次上的拓扑关系分析,该模型具有较强的关系表示和区分能力. 文献[5]提出了一种基于区域连接演算的描述模糊区域间关系的方法,给出了相关的重要性质和状态转移表,提出了不确定的空间信息由模糊集表示的方法. 文献[6]基于模糊集,利用模糊区域连接计算方法来处理模糊区域关系. 文献[7]基于贴度分析提出了建立不确定地理目标之间空间拓扑关系模糊表达模型的新方法. 但文献[5-7]均无法处理模糊区域中的未确定信息,没有涉及模糊区域间方向关系的研究. 针对区域对象的不确定性所引起的方向关系的不确定性,文献[8]基于模糊集给出了方向的模糊隶属度函数,提出了方向关系的模糊描述方法. 文献[9]利用模糊语义来处理组合区域的空间方向关系. 但文献[8-9]不能处理模糊区域中模糊点未确定的隶属信息,无法由模糊区域大量未确定的隶属信息对模糊区域关系及方向关系进行关联分析和处理,实际应用中具有较大的局限性.

现实中,在处理模糊区域的空间关系时,区域内的数据对象点的空间信息一般是不确定的,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. 传统的模糊集只能表示确定的隶属信息,无法处理未确定的隶属信息,模糊数学的重要分支 Vague 集^[10]通过真假隶属函数确定的子区间描述未确定的隶属信息,极大增强了对模糊信息的表示能力.

为了处理复杂的模糊区域间的空间拓扑关系,基于 Vague 集,我们在文献[11-15]中对复杂的 Vague 区域关系进行了系统研究,对静态和动态 Vague 区域关系进行了详细探讨,提出了 Vague 区域的概念,给出了 Vague 区域关系表示模型和推理方法^[11],研究了含洞不规则 Vague 区域关系^[12]、动态无核异构平面中的 Vague 区域关系^[13]、立体空间中的含核 Vague 区域系表示与分析^[14]等关键内容,取得了一些重要的创新性成果;针对 Vague 区域的 Vague 点的不确定性和 Vague 区域粗糙表示的复杂性和多样性,基于 Vague 集和建立在分类机制上的 Rough 集联合给出了多范畴的 Vague 区域关系表示模型与推理理论^[15]. 但由于大量模糊点隶属性质的不确定性,使得 Vague 区域具有相当大的不确定性,相应的,基于 Vague 区域所划分的方向空间和区域间的方向关系也是高度不确定的.

已有的研究工作没有对基于 Vague 区域的 Vague 方向关系及复合推理等重要问题进行探讨,在处理实际问题时具有较大的局限性. 为了弥补已有工作的不足,本文基于能处理更丰富的不确定信息的 Vague 集对 Vague 区域关系和方向关系进行了系统分析,研究成果可较好地处理 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的表示分析及其智能推理等问题.

1 基本定义

定义 1^[10]. 设论域 U 为一点集空间, u 表示 U 中的任一元素. U 中的一个 Vague 集 $\hat{V}$ 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^[11]. 相对于一点集的空间区域 U , 将 $[t_v(u), 1 - f_v(u)]$ 称为 u 隶属于 U 的区域 Vague 值, 记为 $V(u)$, u 称为 Vague 区域点, 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 $1 - f_v$. 由区域 Vague 值不为 $[0, 0]$ 的 Vague 区域点组成的区域称为 Vague 区域, 记为 U_v .

定义 3. 设 $DR = \{dr_1, dr_2, \dots, dr_k\}$ 表示方向模型中的方向关系符号集, dr_i 表示为方向模型中具体的方向元素, 设 2^{DR} 表示集合 DR 的幂集, 则空间对象 B (目标对象) 与 A (参照对象) 的方向关系可表示为二元函数 $DIR(A, B)$, $DIR(A, B) \in 2^{DR}$.

定义 4. 对 Vague 区域 U_v , $[t_v(u_i), 1 - f_v(u_i)]$ 为 u_i 隶属于 U_v 的区域 Vague 值. 由 $0 \leq t_v(u_i) < 1$, $0 < 1 - f_v(u_i) \leq 1$ 的 Vague 区域点组成的区域称为 U_v 的 Vague 虚域, 记为 U_a ; 由 $t_v(u_i) = 1, 1 - f_v(u_i) = 1$ 的 Vague 区域点组成的区域称为 U_v 的 Vague 实域, 亦称为 U_v 的核, 记为 U_k .

2 Vague 区域关系与方向关系的表示

2.1 Vague 区域关系表示

定义 5. 对一含核 Vague 区域 U_v 的 Vague 集 $\tilde{V}$, 相对于 U_v , 数据集中的点 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 区域点组成的区域称为 U_v 的外缘域, 记为 $\overline{WV}_0$ 域, $\overline{WV}_0$ 域对应的 Vague 集记为 $\widetilde{WV}_0$; 由 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $0 < 1 - f_v(u_i) < 1$ 的所有 Vague 区域点组成的区域称为 U_v 的 $\overline{ZV}_c$ 域, $\overline{ZV}_c$ 域对应的 Vague 集记为 $\widetilde{ZV}_c$; 由 $0 < t_v(u_i) < 1$ 且 $1 - f_v(u_i) = 1$ 的所有 Vague 区域点组成的区域称为 U_v 的 $\overline{NV}_1$ 域, $\overline{NV}_1$ 域对应的 Vague 集记为 $\widetilde{NV}_1$; 由 $t_v(u_i) = 1$ 且 $1 - f_v(u_i) = 1$ 的所有 Vague 区域点组成的区域称为 U_v 的 $\overline{KV}_1$ 域, $\overline{KV}_1$ 域对应的 Vague 集记为 $\widetilde{KV}_1$; $\overline{WV}_0$ 域、 $\overline{ZV}_c$ 域、 $\overline{NV}_1$ 域和 $\overline{KV}_1$ 域构成 U_v 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_v 的子区域.

设 A^{wv}, B^{wv} 分别为含核 Vague 域 U_{v1} 和 U_{v2} 的

$\overline{WV}_0$ 域对应的 $\widetilde{WV}_0$ 集; A^{zv}, B^{zv} 分别为 U_{v1} 和 U_{v2} 的 $\overline{ZV}_c$ 域对应的 $\widetilde{ZV}_c$ 集; A^{nv}, B^{nv} 分别为 U_{v1}, U_{v2} 的 $\overline{NV}_1$ 域对应的 $\widetilde{NV}_1$ 集; A^{kv}, B^{kv} 分别为 U_{v1}, U_{v2} 的 $\overline{KV}_1$ 域对应的 $\widetilde{KV}_1$ 集. 则可用矩阵 T_1 来表示 U_{v1} 和 U_{v2} 区域的空间关系, T_1 定义如下:

$$T_1 = \begin{bmatrix} A^{kv} \cap B^{kv} & A^{kv} \cap B^{nv} & A^{kv} \cap B^{zv} & A^{kv} \cap B^{wv} \\ A^{nv} \cap B^{kv} & A^{nv} \cap B^{nv} & A^{nv} \cap B^{zv} & A^{nv} \cap B^{wv} \\ A^{zv} \cap B^{kv} & A^{zv} \cap B^{nv} & A^{zv} \cap B^{zv} & A^{zv} \cap B^{wv} \\ A^{wv} \cap B^{kv} & A^{wv} \cap B^{nv} & A^{wv} \cap B^{zv} & A^{wv} \cap B^{wv} \end{bmatrix}.$$

T_1 中的各项分别表示两个含核 Vague 区域的子区域关系. 若某项为空值, 则表明该项相对应的两个子区域不相交; 若该项为 Vague 集的子集, 则表明相对应的两个子区域有公共 Vague 点. 根据 T_1 中各项的取值情况可进一步表达含核 Vague 区域 U_{v1} 和 U_{v2} 的空间关系. 基于 Vague 集可得出 46 种空间 Vague 区域关系模型^[11], 本文中, 46 种 Vague 区域关系模型依次用 $SR_1, SR_2, \dots, SR_{46}$ 表示.

2.2 Vague 方向关系表示

由 Vague 区域及 Vague 区域划分的定义可知, 含核 Vague 区域 U_v 由核 (即 $t_v(u_i) = 1, 1 - f_v(u_i) = 1$ 的 Vague 区域点组成的区域) 和虚域 (即 $0 \leq t_v(u_i) < 1, 0 < 1 - f_v(u_i) \leq 1$ 的 Vague 区域点组成的区域) 构成. 由于虚域中的数据点的隶属信息和隶属程度均具有一定的未确定性, 因此, 以 U_v 为参照对象进行空间方向的划分和方向关系判断时, 方向空间和方向关系相应地也具有未确定性. 由于参照对象的含糊性, 使得方向空间划分和目标对象的方向关系表示变得更为复杂和多样. 为了形式化地描述方向空间的含糊性, 以下基于 Vague 集给出 Vague 方向点的定义.

定义 6. 设 ds 为一方向空间, u 为空间中的任意数据对象点, 将 $[t_v(u), 1 - f_v(u)]_d$ 称为 u 隶属于 ds 的方向 Vague 值, 记为 $D_v(u)_d$, u 称为 Vague 方向点. 其中, $t_v(u): U \rightarrow [0, 1]$ 和 $f_v(u): U \rightarrow [0, 1]$ 分别对应 u 隶属于方向空间 ds 的真隶属函数和假隶属函数. 若 $t_v(u_i) = t_v(u_j)$ 且 $f_v(u_i) = f_v(u_j)$, 则有 $D_v(u_i)_d = D_v(u_j)_d$, 称 u_i 是 u_j 的等值 Vague 方向点.

图 1 中, Vague 方向点 b 隶属于方向空间 E 的方向 Vague 值, 即为 $[1.000, 1.000]_E$.

当以 Vague 区域 U_v 为参照对象时, 根据 U_v 的特征可对方向空间进行划分. 如图 1 所示, 若以 Vague 区域的最确定范围 (即核) 为基准划分方向,

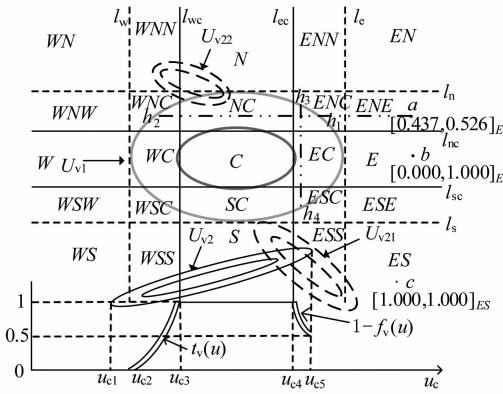


Fig. 1 Spatial direction and membership curves of Vague regions.

图 1 Vague 区域的空间方向及隶属曲线

则方向分割线 l_{wc}, l_{ec}, l_{nc} 和 l_{sc} 将空间划分为 9 个方向空间;若以 Vague 区域的最大可能范围为基准划分方向,则方向分割线 l_e, l_w, l_n, l_s 亦将空间划分为 9 个不同的方向空间. $l_{wc}, l_{ec}, l_{nc}, l_{sc}, l_e, l_w, l_n, l_s$ 8 条方向分割线以 Vague 区域 U_v 为参照对象共将整个空间划分为 25 个方向空间: $E, ESE, ES, ESS, S, WSS, WS, WSW, W, WNW, WN, WNN, N, ENN, EN, ENE, ENC, EC, ESC, SC, WSC, WC, WNC, NC, C$.

图 1 中,基于参照对象 U_{v1} 所划分的 $E, ES, S, WS, W, WN, N, EN$ 和 C 共 9 种方向空间是确定性的方向,即无论 U_{v1} 的虚域如何不确定,目标对象若处在此 9 种方向空间中,其对应的方向关系是确定的,不具有含糊性,本文将其统称为主方向实空间;其他 16 种方向空间则具有相应的未确定性,称之为辅方向虚空间.

各个主方向实空间和其邻接的辅方向虚空间构成了广义方向空间 ($E_g, ES_g, S_g, WS_g, W_g, WN_g, N_g, EN_g, C_g$). 以下给出了各个广义方向空间的组成情况. 其中,辅方向虚空间上标中的“*”表示可取该方向的部分或全部进行参加组合,即广义方向空间的大小由辅方向虚空间动态约束,辅方向虚空间在一定程度上模糊隶属于相对应的广义方向空间.

$$\begin{aligned} E_g &= \{E, ENE^*, ENC^*, EC^*, ESC^*, ESE^*\}; \\ WN_g &= \{WN, WNN^*, WNC^*, WNW^*\}; \\ ES_g &= \{ES, ESE^*, ESC^*, ESS^*\}; \\ N_g &= \{N, ENN^*, ENC^*, NC^*, WNC^*, WNN^*\}; \\ S_g &= \{S, ESS^*, ESC^*, SC^*, WSC^*, WSS^*\}; \\ EN_g &= \{EN, ENN^*, ENC^*, ENE^*\}; \\ WS_g &= \{WS, WSS^*, WSC^*, WSW^*\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_g &= \{W, WSW^*, WSC^*, WC^*, WNC^*, WNW^*\}; \\ C_g &= \{C, EC^*, ESC^*, SC^*, WSC^*, WC^*, WNC^*, NC^*, ENC^*\}. \end{aligned}$$

由于参照对象和方向空间的不确定性,广义方向空间之间具有局部重叠性,即目标对象或目标对象的某一部分在某种不确定的程度上隶属于一广义方向空间,同时又以另一种不确定的程度隶属于另一广义方向空间,即广义方向空间具有某种程度的动态变化性,从而目标对象的方向关系往往具有多重方向属性. 由于 Vague 区域的含糊性决定了方向空间的含糊性,和表示 Vague 区域类似,利用 Vague 集也可表示和分析不确定的方向空间及方向关系.

目标对象和参照对象的方向关系可由目标对象所包含的对象点的方向 Vague 值进行表征. 处在主方向实空间的对象点的方向 Vague 值为 $[1.000, 1.000]_d$, d 表示相对应的某广义方向空间;对于处在辅方向虚空间中的对象点,一般地,其方向 Vague 值可由参照对象中 Vague 区域点的区域 Vague 值得出. 其计算方法是多样的,依据参照对象和目标对象的区域特点、辅方向虚空间特点、广义方向空间的特征和实际需要可灵活选择. 例如,图 1 中,相对于广义方向空间 E_g , a 点的方向 Vague 值 $D_v(a)_{E_g}$ 可由线段 h_1h_2 上的 Vague 区域点的 Vague 值进行加权求和取平均而得,本文简称为加权求和取平均值法;也可由线段 h_1h_2 上的 Vague 区域点的最大 Vague 值进行加权(即乘以预先设定的因子 μ)而得,本文称为最大值加权法;还可根据 a 点和方向分割线 l_e, l_{ec}, l_n, l_{nc} 的距离关系进行近似计算得出,本文称为近似距离计算法.

对于目标对象为面对象的情形(例如图 1 中的区域 U_{v2}, U_{v21} 和 U_{v22}),方向关系则可用 Vague 隶属度函数表示. 为便于描述,本文中,在方向空间 S_g 中,与方向线 l_s 垂直的直线上的点相对于 S_g 具有相同的方向 Vague 值. 其他方向空间中的数据点的 Vague 值具有类似约定. 因此,参照对象的方向表示可利用投影的方法进行处理. 如图 1 所示,基于 Vague 集的隶属度函数曲线表示了 U_{v2} 相对于参照对象 U_{v1} 在广义方向空间 S_g 中的方向情况. 其中, $u_{c1}, u_{c2}, \dots$ 等表示目标对象 U_{v2} 中相对于方向空间 S_g 的等值 Vague 方向点在 u_c 轴上的投影. 显然,计算机系统实际处理时, Vague 方向点选取得越多,函数曲线表达越精确, Vague 方向关系的表示就越贴近实际.

为了更加灵活地表示和分析 Vague 方向关系, 基于以上讨论, 本节进一步给出 Vague 方向关系的广义 9 交矩阵模型, 如 T_2 所示:

$$T_2 = \begin{bmatrix} E_g \tilde{\cap} U_{v2} & S_g \tilde{\cap} U_{v2} & W_g \tilde{\cap} U_{v2} \\ EN_g \tilde{\cap} U_{v2} & N_g \tilde{\cap} U_{v2} & WN_g \tilde{\cap} U_{v2} \\ ES_g \tilde{\cap} U_{v2} & C_g \tilde{\cap} U_{v2} & WS_g \tilde{\cap} U_{v2} \end{bmatrix}.$$

和精确区域的方向关系交集模型相比, 广义 9 交矩阵模型 T_2 中各项取值不是简单的 0 或 1, 而是表示为一个 Vague 集. 例如, 图 1 中的 Vague 隶属度曲线即详细表示出 $S_g \tilde{\cap} U_{v2}$ 项取值的情况, 即图 1 中的目标对象 U_{v2} 相对于参照对象 U_{v1} 在广义方向空间 S_g 中的方向情况在矩阵 T_2 中对应 $S_g \tilde{\cap} U_{v2}$ 项. 其他项含义类似. 基于 Vague 集, 利用矩阵模型 T_2 可较细致地表示出目标对象和参照对象在各个广义方向空间中的 Vague 方向关系.

基于主方向实空间和辅方向虚空间, 广义 9 交模型 T_2 可进一步进行细化为主方向实空间 9 交模型 T_3 和辅方向虚空间 16 交模型 T_4 :

$$T_3 = \begin{bmatrix} E \tilde{\cap} U_{v2} & S \tilde{\cap} U_{v2} & W \tilde{\cap} U_{v2} \\ EN \tilde{\cap} U_{v2} & N \tilde{\cap} U_{v2} & WN \tilde{\cap} U_{v2} \\ ES \tilde{\cap} U_{v2} & C \tilde{\cap} U_{v2} & WS \tilde{\cap} U_{v2} \end{bmatrix};$$

$$T_4 = \begin{bmatrix} WNN \tilde{\cap} U_{v2} & ENN \tilde{\cap} U_{v2} & ESS \tilde{\cap} U_{v2} & WSS \tilde{\cap} U_{v2} \\ WNC \tilde{\cap} U_{v2} & ENC \tilde{\cap} U_{v2} & WSC \tilde{\cap} U_{v2} & ESC \tilde{\cap} U_{v2} \\ NC \tilde{\cap} U_{v2} & WC \tilde{\cap} U_{v2} & EC \tilde{\cap} U_{v2} & SC \tilde{\cap} U_{v2} \\ WNW \tilde{\cap} U_{v2} & WSW \tilde{\cap} U_{v2} & ESE \tilde{\cap} U_{v2} & ENE \tilde{\cap} U_{v2} \end{bmatrix}.$$

显然, 主方向实空间 9 交模型中各项的取值要么是 $\tilde{I}$, 要么是空集. 而辅方向虚空间 9 交模型中各项的取值将为 $\tilde{N}$ 的子集或空集. T_3 和 T_4 的组合运用可表示更为复杂多变的 Vague 方向关系. 为便于表示与书写, 交集矩阵也可简记为集合的形式, 例如, 可将 T_3 和 T_4 组合成的具有 25 个方向空间元素的新矩阵表示为以下具有严格先后顺序的集合: $J_1 = \{WNN \tilde{\cap} U_{v2}, ENN \tilde{\cap} U_{v2}, ESS \tilde{\cap} U_{v2}, WSS \tilde{\cap} U_{v2}, WNC \tilde{\cap} U_{v2}, ENC \tilde{\cap} U_{v2}, WSC \tilde{\cap} U_{v2}, ESC \tilde{\cap} U_{v2}, NC \tilde{\cap} U_{v2}, WC \tilde{\cap} U_{v2}, EC \tilde{\cap} U_{v2}, SC \tilde{\cap} U_{v2}, WNW \tilde{\cap} U_{v2}, WSW \tilde{\cap} U_{v2}, ESE \tilde{\cap} U_{v2}, ENE \tilde{\cap} U_{v2}, E \tilde{\cap} U_{v2}, S \tilde{\cap} U_{v2}, W \tilde{\cap} U_{v2}, EN \tilde{\cap} U_{v2}, N \tilde{\cap} U_{v2}, WN \tilde{\cap} U_{v2}, ES \tilde{\cap} U_{v2}, C \tilde{\cap} U_{v2}, WS \tilde{\cap} U_{v2}\}$. 集合中的各元素具有严格的先后顺序是因为计算机处理大量含有具体交集值的集合时, 可对目标对象与各方向块的关系进行按顺序规律还原, 便于对大量方向关系进行区分. 进而, 我们还可对各交集值按顺序进行编码, 记为 $T_1(i)$, $1 \leq i \leq 25$; 例如, $T_1(9)$ 表示 $NC \tilde{\cap} U_{v2}$. 依据

编码进行定位查找所需交集信息, 计算机系统可更加方便地分析大量复杂的 Vague 方向关系.

3 Vague 方向关系和区域关系的推理

3.1 Vague 方向关系的动态性

实际应用中, 随着时间的变化, 不确定的参照对象或目标对象经常会发生位置、形状和大小的动态变化, 从而将直接导致目标对象相对参照对象的方向关系发生复杂的动态改变. 如何表示和分析 Vague 方向关系的动态性具有重要的意义. 本节分别针对目标对象的动态性和参照对象的动态性, 对复杂的 Vague 方向关系的动态性预测和推导问题进行了研究.

参照对象 U_{v1} 不变, 目标对象 U_{v2} 的位置、大小和形状随时间发生变化往往会导致 U_{v2} 相对 U_{v1} 的方向关系发生动态变化. 探讨该类方向关系变化的一个关键问题是确定 Vague 方向关系的动态邻接关系. 所谓动态方向邻接关系就是指在 U_{v2} 和 U_{v1} 的方向关系发生变化时下一个最有可能成立的方向关系. 由于目标对象相对于参照对象的 Vague 方向关系是由目标对象与参照对象的各个方向空间(主方向实空间和辅方向虚空间)的 Vague 交集值来确定的, 故复杂的 Vague 方向关系的动态邻接关系可由主方向实空间和辅方向虚空间的动态邻接关系的组合表示. 将方向空间记为 DS, 动态邻接空间记为 DAS, 针对目标对象为点、线、面的不同情况, 表 1 给出了部分方向空间的 Vague 方向动态邻接表. 表 1 中, 对于空间面对象来说, 由于面对象具有一定的面积和大小, 在其动态变化时, 显然, 不带下划线的方向空间是对应的有效的动态邻接方向; 带下划线的方向空间在一定条件下仅对空间点对象有效, 对面对象无效. 即目标对象为面对象时, 无论空间目标对象 U_{v2} 的位置、大小和形状发生如何改变, 下一个最有可能成立的方向关系仅局限于相应的不带下划线的方向空间. 由于空间点对象的面积和大小可忽略不计, 故其动态方向的变化更为灵活.

基于 Vague 方向关系动态邻接表, 可以对目标对象 U_{v2} 和参照对象 U_{v1} 的动态方向关系进行分析、预测和推理. 对 U_{v2} 和 U_{v1} 的方向关系转变路径可进行检测和校验. 根据实际需要, 结合动态对象的形状、大小和位置的变化规律及 Vague 对象方向关系的特点, 可进一步对 U_{v2} 和 U_{v1} 的方向关系转变路径进行过滤和择优.

表 2 中, RD^* 表示所有基本 Vague 方向空间; “ Ξ ”表示针对 Vague 区域的核而言所成立的反向方向空间. 例如, 表 2 中 EC 的反向方向空间为 $RD^* \Xi \{WN \ WNW \ W \ WS \ WSW\}$, 表示对于整个 Vague 区域 EC 的反向方向块为 RD^* , 但当 Vague 区域的虚域收缩退化成仅剩核时, 其反向方向空间则为 $\{WN \ WNW \ W \ WS \ WSW\}$. 基于 Vague 方向空间的反向方向关系, 大量复杂的 Vague 方向关系的反向关系可智能地进行预测和推理. 如图 2 所示, 由第 1, 2 节的理论研究可知, Vague 区域 U_{v22} 相对于 U_{v1} 的主方向实空间 9 交模型矩阵 ST_{12} 和辅方向虚空间 16 交模型矩阵 XT_{12} 分别如下所示:

$$ST_{12} = \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \bar{I} \\ \emptyset & \bar{I} & \bar{I} \\ \emptyset & \bar{I} & \emptyset \end{bmatrix};$$
$$XT_{12} = \begin{bmatrix} \tilde{N} & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \tilde{N} & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \emptyset & \emptyset & \emptyset \end{bmatrix}.$$

利用反向方向关系的特性进行组合推理, 即可推知其对应的 U_{v1} 相对于 U_{v22} 的可能成立的主方向实空间 9 交模型矩阵 ST'_{21} 和辅方向虚空间 16 交模型矩阵 XT'_{21} 分别如下所示:

$$ST'_{21} = \begin{bmatrix} \bar{I}|\emptyset & \bar{I}|\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \bar{I}|\emptyset & \emptyset \end{bmatrix};$$
$$XT'_{21} = \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset \\ \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset \\ \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \tilde{N}|\emptyset & \tilde{N}|\emptyset \end{bmatrix}.$$

ST'_{21} 和 XT'_{21} 中的“|”表示或的意思. 进一步再依据 U_{v1} 和 U_{v22} 的核与虚域即可得到针对图 3 的确定的模型矩阵 ST_{21} 和 XT_{21} :

$$ST_{21} = \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \bar{I} & \emptyset \end{bmatrix};$$
$$XT_{21} = \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \tilde{N} & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \tilde{N} & \tilde{N} & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \end{bmatrix}.$$

利用反向关系还可对已经得到的方向矩阵信息进行智能排错. 例如, 若依大量空间信息计算所得图 2 中的 U_{v1} 相对于 U_{v22} 的 9 交模型矩阵 ST_{21} 和 16 交模型矩阵 XT_{21} 分别如下所示:

$$STI_{21} = \begin{bmatrix} \emptyset & \emptyset & \bar{I} \\ \emptyset & \emptyset & \bar{I} \\ \emptyset & \bar{I} & \emptyset \end{bmatrix};$$
$$XTI_{21} = \begin{bmatrix} \emptyset & \tilde{N} & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \tilde{N} & \emptyset & \emptyset \\ \tilde{N} & \tilde{N} & \tilde{N} & \emptyset \\ \emptyset & \tilde{N} & \emptyset & \emptyset \end{bmatrix}.$$

则由 ST'_{21} 和 XT'_{21} 可推知 STI_{21} 与 XTI_{21} 具有重大错误, 必须重新进行计算和分析.

3.3 Vague 方向关系和区域关系的复合关联推理

基于 Vague 区域关系模型和 Vague 方向关系模型, 本节进一步给出 Vague 方向关系和 Vague 区域关系的复合关联推理. 设目标对象 U_{v2} 为一含核 Vague 区域, 参照对象 U_{v1} 的方向空间被划分为 25 个方向空间. U_{v1} 和 U_{v2} 的 Vague 区域关系记为 $SR(U_{v1}, U_{v2})$, Vague 方向关系记为 $DIR(U_{v1}, U_{v2})$. 所谓 Vague 方向关系和 Vague 区域关系的复合关联推理, 指若已知目标对象 U_{v2} 相对于参照对象 U_{v1} 的 Vague 方向关系为 $DIR(U_{v1}, U_{v2})$, 可推知 U_{v2} 和 U_{v1} 可能存在的 Vague 区域关系. $DIR(U_{v1}, U_{v2})$ 称为已知推理条件, $SR(U_{v1}, U_{v2})$ 称为推理结果. 根据 $DIR(U_{v1}, U_{v2})$ 所包含的方向空间数, 可将目标对象 U_{v2} 和参照对象 U_{v1} 的方向关系分为一元方向关系、二元方向关系及多元方向关系. Vague 方向关系和 Vague 区域关系的复合关联推理相应地也可分为一元复合关联推理、二元复合关联推理和多元复合关联推理. 由于多元复合关联推理可由一元和二元复合关联推理进行组合分析. 故本节着重对一元和二元复合关联推理进行讨论.

为便于描述和分析, 本文引入同一推理簇的概念, 同一推理簇指的是推理结果相同的复合关联推理的集合. 即若 $DIR_1(U_{v1}, U_{v2})$ 和 $DIR_2(U_{v1}, U_{v2})$ 所推导出的可能成立的 Vague 区域关系集合 $\{SR\}$ 是相同的, 则称 $DIR_1(U_{v1}, U_{v2})$ 和 $DIR_2(U_{v1}, U_{v2})$ 及 $\{SR\}$ 属于同一推理簇. 根据 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的特点, 针对一元复合关联推理, 共有以下 3 种同一推理簇:

- 1) $\{E, ESE, ES, ESS, S, WSS, WS, WSW, W, WNW, WN, WNN, N, EWW, EN, ENE\} \Rightarrow \{SR_1\};$
- 2) $\{EC, ESC, SC, SC, WSC, WC, WNC, NC, ENC\} \Rightarrow \{SR_1, SR_2, SR_3, SR_5, SR_7\};$
- 3) $\{C\} \Rightarrow \{SR_7, SR_{12}, SR_{21}, SR_{23}, SR_{25}, SR_{29}, SR_{30}\}.$

针对二元复合关联推理,共有以下 4 种同一推理簇:

1) $\{[E, ESE], [ESE, ES], [ESS, ES], [ESS, S], [S, WSS], [WSS, WS], [WSW, WS], [W, WSW], [WSW, W], [WNW, W], [WN, WNW], [WNN, WN], [N, WNN], [N, ENN], [EN, ENN], [ENE, EN], [E, ENE]\} \Rightarrow \{SR_1\};$

2) $\{[ENE, ENC], [ESE, ESC], [ESS, ESC], [WSS, WSC], [WSW, WSC], [WNW, WNC], [WNN, WNC], [ENN, ENC]\} \Rightarrow \{SR_1, SR_2, SR_3, SR_5\};$

3) $\{[ENC, EC], [ESC, EC], [ESC, SC], [SC, WSC], [WSC, WC], [WNC, WC], [NC, WNC], [ENC, NC]\} \Rightarrow \{SR_1, SR_2, SR_3, SR_5, SR_7\};$

4) $\{[SC, C], [C, WC], [NC, C], [C, E]\} \Rightarrow \{SR_7, SR_{12}, SR_{21}, SR_{23}, SR_{25}, SR_{28}, SR_{29}, SR_{31}\}.$

基于一元和二元复合关联同一推理簇,由已知的 Vague 方向信息可较为方便和智能地推出可能成立的 Vague 区域信息.

4 方法比较与实例分析

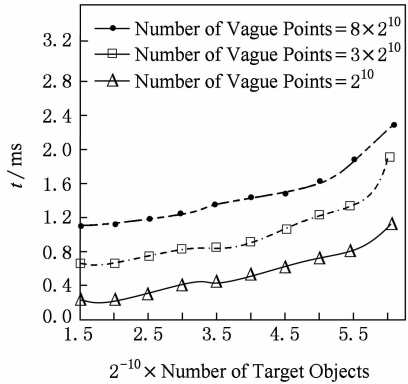
4.1 方法比较与性能分析

已有的工作针对各类不确定区域关系和方向关系进行了大量研究,取得了一些重要研究成果^[3-8,10-15],本文基于 Vague 区域对 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的表示和推理技术作了系统研究.本节着重就处理能力、动态预测、动态检验、反向推导、组合推理共 5 个方面进行进一步的比较分析.

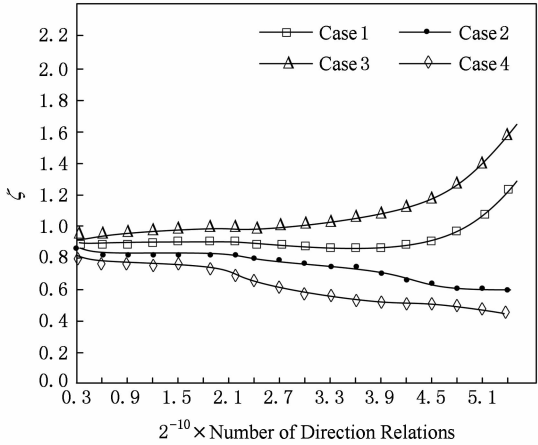
文献[2-7]的研究成果仅能处理区域关系,但无法处理区域关系的动态预测、动态检验和反向推导问题,组合推理能力较强;文献[8-9]可较好地处理方向关系,但无法处理方向关系的动态预测、动态检验和反向推导问题,组合推理能力较弱;文献[11-15]仅能处理 Vague 区域关系,但无法处理 Vague 区域关系的动态预测、动态检验和反向推导问题,但组合推理能力较强;本文的研究成果可综合处理 Vague 区域关系和方向关系,可解决区域关系和方向关系的动态预测、动态检验和反向推导问题,具有较强的组合推理能力.文献[2-9,11-15]所处理的不确定空间关系具有单一性,且区域的不确定性较为简单,忽略了区域内模糊点隶属情况的不确定性,缺乏对模糊点具有未确定的隶属信息的 Vague 区域

关系及方向空间具有含糊性的 Vague 方向关系的组合分析和复合推理能力.本文的方法能对复杂的 Vague 区域关系和方向关系进行组合分析和推理,不仅能处理静态的 Vague 方向关系,还能较好地处理动态 Vague 方向关系的预测和推理问题,在处理复杂的反向方向关系方面也具有较强的能力,且具有很好的扩展性.

为了进一步分析本文理论成果在 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的处理与推理方面的能力,我们在 Pentium4、CPU 1.8 GHz、内存 8 GB、Windows XP 环境下,利用 C++ builder 6.0 等软件工具进行了实验分析.实验数据是由我们所开发的模糊对象和 Vague 方向点生成软件(VD5.0)随机生成的.实验结果如图 3 所示:



(a) Processing cost comparison of Vague direction relations



(b) Performance comparison of dynamic check and reverse reasoning

Fig. 3 Performance comparison and analysis.
图 3 性能比较与分析

图 3(a)中,横坐标表示目标对象的个数,纵坐标表示代价耗费. t 表示时间,单位为 ms. 图 3(a)中的曲线分别表示区域中所涉及的 Vague 方向点的个数分别为 8×2^{10} , 3×2^{10} 和 2^{10} 时的实验情况.由

图 3(a)可知,Vague 方向关系的计算代价主要由目标区域的个数 n 和区域中选定计算的 Vague 方向点的个数 k 所决定, n 和 k 越大计算代价将越大.曲线并不是均匀上升的,主要是因为不同 Vague 区域的不同 Vague 方向点的计算代价有差别.图 3(b)进一步给出了动态 Vague 方向关系预测和反向关系推理的性能分析.其中,横坐标是所实验的 Vague 方向关系的个数,纵坐标 ξ 表示比值.为节省篇幅,该比值针对不同实验情况表示不同含义.图 3(b)中的曲线展示了以下 4 种实验情况的比值:

- 情况 1. 逐一检测验证动态 Vague 方向关系的代价和利用邻接表推理检验动态 Vague 方向关系代价的比值情况.
- 情况 2. 利用邻接表推理检验动态 Vague 方向关系误差与逐一检测验证动态 Vague 方向关系的误差的比值情况.
- 情况 3. 重新计算反向方向关系的代价与利用反向关系推理技术计算反向方向关系的代价的比值情况.
- 情况 4. 利用反向关系推理技术计算反向方向关系的误差与重新计算反向方向关系的误差的比值情况.

由图 3(b)可知,在所处理的 Vague 方向关系数量较大时,利用本文的研究成果可较大程度地提高动态 Vague 方向关系预测推导与反向关系的推理效率,同时能较大程度地减少误差.

4.2 实例模型

已知某干旱沙化地区存在某一绿洲区域(U_{v1})和一污染气团区域(U_{v2}),区域中沙化和非沙化分布及污染与否都具有相当大的不确定性,即绿洲区域和污染气团区域均具有相当大的含糊性.研究污染气团区域对绿洲区域的影响情况的一个关键点即是描述和分析区域间的空间区域关系和方向关系.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 4 所示,数据对象点 1, ..., 54 即为部分特征点.

对各特征点相关的数据资料进行统计分析后,可得到详细的区域 Vague 值信息.一般的,空间区域中的特征点选取得越多,统计信息量越大,所得的 Vague 区域关系和方向关系将越准确.大量特征点的区域 Vague 值信息和方向 Vague 值信息将从微观上更为细致地标识出 Vague 区域的含糊性和方向空间的不确定性.

基于第 1~3 节的讨论,由特征点的 Vague 值

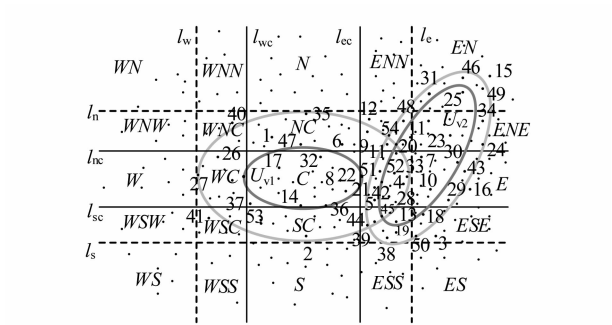


Fig. 4 Approximate Vague region relations and direction relations.

图 4 近似 Vague 区域关系与 Vague 方向关系

信息,可得出 U_{v1} 和 U_{v2} 近似的 Vague 区域模型和基于参照对象 U_{v1} 所划分的 Vague 方向空间模型.基于第 2 节所分析的 Vague 区域关系模型,可进一步得出 U_{v1} 和 U_{v2} 间成立的近似 Vague 区域关系交集模型.本例中的 Vague 交集元组序列为 $[\emptyset \emptyset \tilde{N} \tilde{O}^+ \emptyset \emptyset \tilde{N} \tilde{O}^+ \emptyset \emptyset \tilde{N} \tilde{O}^+ \emptyset \emptyset]$.基于本文对 Vague 方向关系的研究;利用加权求和取平均值法,进一步可得出部分特征点的方向 Vague 值如图 5 所示:

Direction Vague Value					
1[0.477,0.568] _{N_g}	1[0.524,0.611] _{C_g}	2[0.938,1.000] _{S_g}			
2[0.046,0.119] _{C_g}	3[0.815,0.923] _{ES_g}	3[0.087,0.146] _{E_g}			
4[0.118,0.203] _{C_g}	4[0.859,0.967] _{E_g}	5[0.721,0.844] _{C_g}			
5[0.256,0.343] _{E_g}	6[0.225,0.314] _{C_g}	6[0.756,0.849] _{N_g}			
7[1.000,1.000] _{E_g}	8[1.000,1.000] _{E_g}	9[0.634,0.756] _{C_g}			
9[0.711,0.824] _{N_g}	9[0.168,0.255] _{E_g}	9[0.159,0.238] _{WN_g}			
10[1.000,1.000] _{E_g}	11[0.209,0.314] _{E_g}	11[0.785,0.866] _{WN_g}			
12[0.086,0.133] _{C_g}	12[0.899,0.997] _{N_g}	12[0.111,0.187] _{EN_g}			
12[0.099,0.175] _{E_g}	13[0.235,0.326] _{C_g}	13[0.217,0.290] _{S_g}			
13[0.658,0.720] _{ES_g}	13[0.764,0.833] _{E_g}	14[1.000,1.000] _{C_g}			
15[1.000,1.000] _{EN_g}	16[1.000,1.000] _{E_g}	17[1.000,1.000] _{C_g}			
18[0.183,0.274] _{ES_g}	18[0.896,0.995] _{E_g}	19[0.231,0.347] _{C_g}			
19[0.285,0.366] _{S_g}	19[0.801,0.896] _{ES_g}	19[0.753,0.838] _{E_g}			
20[0.332,0.416] _{C_g}	20[0.686,0.759] _{E_g}	21[0.269,0.370] _{E_g}			
21[0.755,0.847] _{C_g}	22[0.987,1.000] _{C_g}	22[0.009,0.076] _{E_g}			
23[0.318,0.399] _{EN_g}	23[0.692,0.785] _{E_g}	24[0.201,0.312] _{EN_g}			
24[0.798,0.904] _{E_g}	25[1.000,1.000] _{WN_g}	26[0.438,0.545] _{C_g}			

Fig. 5 Direction vague value of characteristic points.

图 5 特征点的方向 Vague 值

基于图 5 可较为细致地近似描述污染气团和绿洲的模糊方向关系.其具体地近似 Vague 区域关系

模型和 Vague 方向关系模型如图 4 所示,即污染气团处于绿洲的广义方向空间 EN_g, E_g, ES_g 和 C_g 中,和细分的 25 个方向块中的 $E, ESE, ES, ENN, EN, ENE, ENC, EC, ESC$ 9 个方向块均可能有公共部分. 污染气团的部分核心区域和模糊区域已经侵入绿洲的模糊区域,但对绿洲的核心区域还没构成实质性影响.

5 结束语

当模糊区域内的模糊点具有未确定的隶属信息时,模糊区域关系的表示和分析将变得更为复杂,相应地,模糊区域的该类含糊性将导致以其为参照对象的方向空间的划分具有相当大的不确定性,目标对象和参照对象的空间方向关系也具有较大的含糊性. 本文基于 Vague 集对 Vague 区域关系、Vague 方向关系及其复合推理等重要内容进行了详细的研究. 给出了 Vague 区域关系交集矩阵;为了处理由参照对象的含糊性所导致的目标对象方向关系的不确定性,基于 Vague 集对 Vague 方向点和 Vague 方向空间进行了表示和分析,给出了 Vague 方向关系的交集矩阵表示方法;研究了 Vague 方向关系的动态性,给出了动态邻接关系;详细分析了复杂 Vague 区域关系的反向关系理论;引入了同一推理簇的概念,给出了 Vague 区域关系和 Vague 方向关系的复合关联推理方法. 本文的研究成果已经作为重要的理论基础应用于我们所开发的数据信息智能处理和分析软件 DIS4.0 中,较大程度地增强了信息系统处理复杂不确定数据关系的能力.

下一步研究工作主要集中在以下两方面:

- 1) 将空间距离关系和 Vague 方向关系进行集成研究,以处理复杂的空间关系组合查询问题;
- 2) 将复杂的空间对象(如带孔洞的面域^[16]、复杂的空间网络^[17]等)和 Vague 方向关系进行组合研究.

参 考 文 献

[1] Hao Zhongxiao. Query and Reasoning in Spatio-Temporal Database [M]. Beijing: Science Press, 2010 (in Chinese)
(郝忠孝. 时空数据库查询与推理[M]. 北京: 科学出版社, 2010)

[2] Cohn A G, Gotts N M. The “egg-yolk” representation of regions with indeterminate boundaries [C] //Proc of GISDATA Specialist Meeting on Geographical Objects with Untermind. London: Tavior & Francis, 1996: 171-187

[3] Clementini E, Difelice P. Approximate topological relations [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 1997, 16(2): 173-204

[4] Yu Qiangyuan, Liu Dayou, Wang Shengsheng. A hierarchical topological relations model of fuzzy raster regions [J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 42(7): 1166-1172 (in Chinese)
(虞强源, 刘大有, 王生生. 模糊栅格区域的层次拓扑关系模型[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(7): 1166-1172)

[5] Schockaert S, Cornelis C, Cock M, et al. Fuzzy spatial relations between vague regions [C] //Proc of the 3rd IEEE Conf on Intelligent Systems. Berlin: Springer, 2006: 221-226

[6] Schockaert S, Cock M, Cornelis C, et al. Fuzzy region connection calculus: Representing vague topological information [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2008, 48(1): 314-331

[7] 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 Snica, 2008, 37(2): 212-222 (in Chinese)
(何建华, 刘耀林, 俞艳, 等. 基于模糊贴适度分析的不确定拓扑关系表达模型[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 212-222)

[8] Du Shihong, Wang Qiao, Yang Yipeng. Fuzzy description of fuzzy direction relations and their similarities [C] //Proc of the 12th Int Geoinformatics-Geospatial Information Research. Berlin: Springer, 2004: 496-502

[9] Christophe C, Marius T. Fuzzy semantics for direction relations between composite regions [J]. Information Sciences-Informatics and Computer Science, 2004, 160 (1/2/3/4): 73-90

[10] Gau W L, Buehrer D J. Vague sets [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1993, 23(2): 610-614

[11] Hao Zhongxiao, Li Song. Dynamic vague region relations based on vague sets [J]. Journal of Software, 2009, 20(4): 878-889 (in Chinese)
(郝忠孝, 李松. 基于 Vague 集的动态 Vague 区域关系[J]. 软件学报, 2009, 20(4): 878-889)

[12] Li Song, Hao Zhongxiao. Region relations of the irregular vague regions with holes based on vague sets [J]. Journal of Computer Research and Development, 2009, 46(5): 823-831 (in Chinese)
(李松, 郝忠孝. 基于 Vague 集的含洞不规则 Vague 区域关系[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(5): 823-831)

[13] Li Song, Hao Zhongxiao. Research on the dynamic and non-same-plane vague region relations without kernel [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2011, 18(6): 53-57

[14] Li Song, Hao Zhongxiao. Representation and analysis of the vague region relations with kernel in the three-dimensional space [J]. Chinese High Technology Letters, 2011, 21(2): 157-161 (in Chinese)

(李松, 郝忠孝. 立体空间中的含核 Vague 区域系表示与分析[J]. 高技术通讯, 2011, 21(2): 157-161)

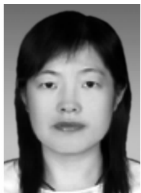
[15] Li Song, Hao Zhongxiao. Representation and analyses of multi-category relations of Vague regions [J]. Chinese High Technology Letters, 2010, 20(3): 253-258 (in Chinese)
(李松, 郝忠孝. 多范畴的 Vague 区域关系表示与分析[J]. 高技术通讯, 2010, 20(3): 253-258)

[16] Liu Bo, Li Dajun, Zou Shilin, et al. Combinational reasoning of topological relations between regions with holes [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(2): 262-267 (in Chinese)
(刘波, 李大军, 邹时林, 等. 带孔洞面域间的拓扑关系的组合推理[J]. 测绘学报, 2011, 40(2): 262-267)

[17] Hao Zhongxiao, Li Song. Representation and reasoning of the spatial relations of the spatial networks [J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33 (12): 2248 - 2257 (in Chinese)
(郝忠孝, 李松. 空间网络间空间关系的表示和推理[J]. 计算机学报, 2010, 33(12): 2248-2257)



Li Song, born in 1977. PhD. Currently associate professor in the College of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin, China. His research interests mainly include the spatial and spatio-temporal database, data mining, information data security.



Zhang Liping, born in 1976. Master. Currently associate professor in the College of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology. Her research interests mainly include the spatial and spatio-temporal database, information data security.



Hao Xiaohong, born in 1969. Master. Currently senior lab master in the Computer Center, Harbin University of Science and Technology, Harbin, China. Her research interests mainly include the spatial database.



Hao Zhongxiao, born in 1940. Received his bachelor degree in the Department of Mathematics from Heilongjiang University in 1964. Currently professor and PhD supervisor in the Department of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology and Harbin University of Science and Technology. His research interests include relational database, null database, acyclic database, active database, spatial database and temporal database.