

基于 Vague 集的不确定方向查询

郝忠孝^{1,2}, 吴海燕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)

摘 要: 针对方向关系界定的不确定性, 提出基于 Vague 集的不确定区域方向关系模型, 并利用 Vague 集方向关系矩阵分析不确定空间对象的方向关系隶属程度. 讨论了空间对象与其 MBR 间的方向谓词映射关系, 给出了边界不确定对象之间的方向查询实例及算法. 结果表明, 用 Vague 集来表示不确定性区域能够体现出空间对象与方向片相交的最大(最小)程度, 比用模糊集更确切, 不确定查询更符合人类思维的心理特征.

关键词: 不确定性; 方向谓词; 空间查询; Vague 集

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2010)04-0077-04

Indeterminate Direction Query Based on Vague Set

HAO Zhong-xiao^{1,2}, WU Hai-yan¹

(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)

Abstract: The authors discuss the uncertainty in defining direction relationships, and propose the uncertain direction of the relational model of Vague sets. Using the direction of the relationship between Vague sets matrix, we also analyze the uncertainty attached to spatial objects with the direction of the relationship between the degrees. Then the paper discusses the spatial object and its MBR mapping relations between the directions of the predicate, and puts forward the boundary between the uncertain direction of the object instances of queries and algorithms. The results show that using Vague sets to represent the uncertainty region to reflect the intersection of the maximum (minimum) level is more precise than fuzzy sets. Uncertain query is more in line with the psychological characteristics of human mind.

Key words: uncertainty; direction predicates; spatial query; Vague set

0 引 言

空间方向关系是空间关系的重要内容, 在信息建模、空间推理、空间查询检索等过程中起着重要作用. 空间对象间的方向关系、特性和操作已被广泛讨论, 对确定对象方向关系模型、谓词和查询都有了深刻的研究^[1]. 不确定性是许多地理数据的共有特

性, 例如季节性变化的湖和一片草地、中国东北部、气候类型区域等. 由于分类的模糊性和混合像元的影像, 导致空间目标的不确定性.

目前关于空间方向关系不确定性的研究, 主要集中在不确定性对象的建模上. 有研究者直接把用于确定对象定义的理论移植到了模糊对象模型^[2], 也有把不确定的边界拓宽至宽边界和粗糙集的模型^[3], 基于模糊理论^[4]和模糊对象模型推广. 还缺

少关于方向关系的不确定性界定的研究和不确定性实体间查询的实现.

本文首先讨论了方向关系界定中的不确定性,然后基于 Vague 集理论^[5]对不确定区域间方向关系建模,给出了与不确定性区域间方向关系分析相关的 Vague 集的一些基本概念和运算,详细分析了 Vague 集所描述的不确定区域间的方向关系,系统地阐述了模糊空间对象间方向谓词,并给出这些谓词到查询语言的应用及不确定查询算法.

1 方向关系界定中的不确定性研究

1.1 不确定区域的界定及 Vague 集的性质

文^[6]提出的方向关系矩阵模型作为理论模型,将空间划分为北(N)、东北(NE)、东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(SW)、西(W)、西北(NW)和同一(O)九个部分.采用宽边界^[7]模型来定义其不确定区域,设有不确定参考目标 A 和源目标 B ,内外边界所围成的区域分别为 A_1, A_2, B_1, B_2 . 对象 A 的 A_1, A_2 的最小边界矩形(MBR)分别将空间划分为9个部分,分别记为 S_i 和 $Q_i (1 \leq i \leq 9)$,如图1所示.

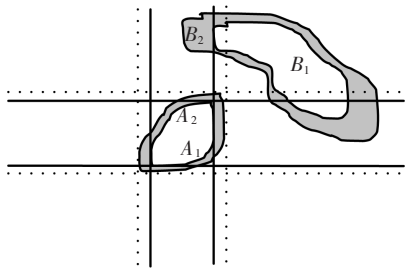


图1 边界不确定目标 A 与 B 的方向关系

在边界不确定的方向关系查询中,用 Vague 集来表示不确定源目标 B 对于 S_i 和 Q_i 的隶属程度.在 Vague 集中,一个对象对 Vague 集的隶属函数也是区间 $[0, 1]$ 上的一个子区间,表示为 $[t_v(x), 1 - f_v(x)]$,其中 $t_v(x)$ 和 $f_v(x)$ 分别为对象 x 隶属于 Vague 集 V 的真隶属函数和假隶属函数,且 $t_v(x)$ 是从支持 x 的证据所导出的 x 隶属度下界, $f_v(x)$ 则是从反对 x 的证据所导出的 x 隶属度下界,且 $t_v(x) + f_v(x) \leq 1$. 根据 Vague 集定义,设 Vague 集 A 和 B 的真、假隶属函数分别为 t_A, f_A 和 t_B, f_B . Vague 集的性质如下:

- 1) 包含: $A \subseteq B$, 当且仅当 $t_A \leq t_B, 1 - f_A \leq 1 - f_B$.
- 2) 相等: $A = B$, 当且仅当 $A \subseteq B$ 和 $B \subseteq A$, 即 $t_A = t_B, 1 - f_A = 1 - f_B$.
- 3) 交集: 令 C 为 A 和 B 的交集, 即 $C = A \cap B$, 则

C 的真、假隶属函数分别为 $t_C = \min(t_A, t_B), 1 - f_C = \min(1 - f_A, 1 - f_B) = 1 - \max(f_A, f_B)$.

- 4) 并集: 令 C 为 A 和 B 的并集, 即 $C = A \cup B$, 则 C 的真、假隶属函数分别为 $t_C = \max(t_A, t_B), 1 - f_C = \max(1 - f_A, 1 - f_B) = 1 - \min(f_A, f_B)$.

1.2 基于 Vague 集的不确定方向关系模型

使用 Vague 集来表示不确定区域与方向片的相交程度,源目标 B 对于参考目标 A 的方向片 S_i 和 Q_i 的相交程度用 Vague 集上的区间 $[t(x), 1 - f(x)]$ 表示. B 的精确隶属度 $\mu(x)$ 的范围为: $t(x) \leq \mu(x) \leq 1 - f(x)$. B 的不确定性用 $1 - f(x) - t(x)$ 表示,如果该差值小,表明相当精确地知道 B ,反之,表明对 B 知道的比较少.若 $[t(x), 1 - f(x)] = 0$,与传统的方向关系矩阵中的 0 元素含义相同;若 $[t(x), 1 - f(x)] > 0$,则对应于传统方向关系矩阵中的非 0 元素;若 $1 - f(x) = t(x)$,表明源目标的内、外边界是相同的,即 $B_1 = B_2$,此时与传统的方向关系矩阵模型一致;若 $[t(x), 1 - f(x)] = 1$,与传统方向关系矩阵中的 1 元素含义相同.

定义1 设 B_1, B_2 分别为 B 的内、外边界所围成的区域,对象 B 隶属于 A 的内、外边界的 9 个方向区域 $S_i(Q_i) (1 \leq i \leq 9)$ 的真隶属函数和非假隶属函数分别为

$$t(x) = \frac{\text{Area}(B_1 \cap S_i(Q_i))}{\text{Area}(B_1)}$$

$$1 - f(x) = \frac{\text{Area}(B_2 \cap S_i(Q_i))}{\text{Area}(B_2)}$$

其中 $B_1, B_2 \in S_i(Q_i)$, $\text{Area}(B \cap S_i(Q_i)) (B \in \{B_1, B_2\})$, 表示 B 与 $S_i(Q_i)$ 交集面.

由上述定义得到 $D(A_1, B_1), D(A_2, B_1), D(A_1, B_2)$ 和 $D(A_2, B_2)$ 这 4 种方向关系矩阵. 根据 Vague 的性质,按以下公式对矩阵的相应元素进行综合,得到不确定对象 A, B 间的方向关系 $D(A, B)$:

$$D(A, B) = [\bigwedge_{1 \leq i \leq 4} t(x), \bigvee_{1 \leq i \leq 4} (1 - f(x))]$$

其中“ $\wedge$ ”和“ $\vee$ ”分别为 Vague 集的交集和并集,即取小和取大算子.

以 Vague 集的表达方法,能够表示区域 B 属于 A 的各个方向片的最大和最小可能程度.

其真隶属度 $t(x)$ 表示对象间的确定方向关系,非假隶属度 $1 - f(x)$ 既包含了确定的方向关系,也包含了可能和部分的方向关系,其边界 $1 - f(x) - t(x)$ 只包含了可能和部分的方向关系.

定义2 设 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 其中 a_{ij} 表示为 $[a_{ij}, 1 - fa_{ij}]$, ta_{ij} 表示第 i 行第 j 列的支持度, fa_{ij} 表示第 i 行第 j 列的反对度 ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), 则称 A 为 Vague 矩阵.

以 Dir 矩阵形式表示上图的源目标 B 对参考目标 A 的方向关系为

$$D(A, B) = \begin{pmatrix} NW_A \cap B & N_A \cap B & NE_A \cap B \\ W_A \cap B & O_A \cap B & E_A \cap B \\ SW_A \cap B & S_A \cap B & SE_A \cap B \end{pmatrix}$$

基于定义2和方向关系矩阵表示法,图1中两不确定对象的 Vague 集方向关系矩阵表示为 $D(A, B) = \{E: NE: N\}$. 其中 B 属于 A 的东北方向片的程度最大,对于北和东方向片, B 的确定部分属于 A 的确定部分的方向片 N 的程度小于属于方向片 E 的程度,这在矩阵中反映出来,即

$$D(A, B) = \begin{pmatrix} [0, 0] & [0.043, 0.186] & [0.674, 0.837] \\ [0, 0] & [0, 0] & [0.089, 0.268] \\ [0, 0] & [0, 0] & [0, 0] \end{pmatrix}$$

2 空间不确定对象(模糊区域)间的方向查询

2.1 空间对象间的方向谓词

根据方向关系矩阵模型中九个方向的方向谓词 $N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, O$ 来判断空间对象间的方向关系. 但在方向关系的查询中空间对象需要用 MBR 来表示, 因此用四元组模型^[4] (N, S, E, W) 来表示空间对象 MBR 间的方向关系. 基于 (N, S, E, W) 的不同取值, 共可定义 16 种任意两空间对象 MBR 间的方向关系谓词, $NW, NO, NE, NU, OW, OO, OU, OE, UW, UE, UO, UU, SW, SO, SE, SU$. 其中 U 未知.

由于 MBR 只是空间对象的近似表示, MBR 间的方向关系不能完全代表空间对象间的方向关系, 他们之间具有一定的映射关系. 因此在确定具体的空间对象方向关系时, 需要在这两种模型间做些转换. 设 $r_d(A, B)$ 表示空间对象的方向关系, $R_d(A^M, B^M)$ 表示空间对象 MBR 间的方向关系, 则其间的方向映射关系如表1所示.

在不确定方向查询中, 首先是在 R 树^[8] 索引基础上判断空间任意两空间对象 MBR 间的方向关系, 然后根据空间对象与其 MBR 间的方向映射关系得到空间对象的方向关系. 通常用空间对象的 MBR 近似表示空间对象参与空间查询运算以过滤掉大部分

无效对象, 因此该映射关系提高了查询处理的性能.

表1 空间对象与其 MBR 间的方向映射关系

$r_d(A, B)$	$R_d(A^M, B^M)$ (一元)	$R_d(A^M, B^M)$ (多元)
E	OE	OE, UE, OU, UU
S	SO	SO, SU, UO, UU
W	OW	OW, UW, OU, UU
N	NO	NO, NU, UO, UU
SE	SE	UE, SE, SU, UU
NE	NE	NE, NU, UE, UU
NW	NW	NW, NU, UW, UU
SW	SW	UW, SW, SU, UU
O	OO	OO, OU, UO, UU

2.2 用不确定谓词来处理查询

方向谓词属于某个特定谓词的度 $[f(x), 1 - f(x)]$ 不能像处理确定方向查询那样可以用“是”或“否”来直接回答两个空间对象满足某种方向关系的情况. 为了解决这种查询繁琐问题, 引用量词来描述对象满足某方向关系的细微差别, 定义不确定量词 $\lambda = \tau \in \{ \text{false, a little bit, somewhat, slightly, quite, mostly, nearly completely, true} \}$, 其中每个量词都有自己的取值范围, 如 $\text{false} = 0$, $\text{a little bit} = [0, 0.1]$, $\text{somewhat} = [0.08, 0.25]$, $\dots$, $\text{true} = 1$ 等. 这些量词和方向谓词一起嵌入到查询语言中, 最后得到的是一个类似 $([f(x), 1 - f(x)] / \text{name})$ 的结果.

通过一个基本的查询实例来看不确定量词是如何和查询语言结合在一起的. 利用已有的查询语言和数据类型, 把本文数据作为一个属性插入到已有的数据模型中. 假定想要查询一定程度上属于湖泊的东北方向草地的名称, 用 VFSQL^[5] 语言描述如下:

```
Select lawn name
```

```
From lake, lawn
```

```
Where quite - Northeast with [0.45, 0.85];
```

查询结果为 $\{ [0.674, 0.837] / B \}$. Select 语句选择满足不确定条件且元组隶属度为 $[f(x), 1 - f(x)]$ 的那些元组, 然后将出现 lake, lawn 中的属性输出.

3 不确定方向查询的实现算法

首先基于 R 树索引结构, 根据空间对象的 MBR 判断空间目标相对于参照目标的方向关系, 求出待

查询的符合条件的点,然后根据空间对象与其 MBR 间的方向映射关系得到满足该方向谓词的对象的 ids. 最后通过 Vague 集计算真隶属函数和模糊隶属函数的公式计算出每个待查点的隶属度,根据查询条件中的 Vague 区间判断空间目标的取值区间是否包含于该区间内,若包含则对应相应的不确定谓词,返回符合条件的结果集.

算法1 查询所有与内边界 A_1 的各个方向 X 相交的对象.

输入: 设 R 树的根节点为 P ,由方向关系矩阵模型确定的 9 个方向区域设为 X .

输出: 结果是和各方向区域相交的所有对象的 ids.

```
Search(  $X, P$  ) {
    If  $P$  is non - leaf node then
        Let{  $E_i = \text{RECT}( P_i )$  ,  $P_i | i = 1, \dots, k$  } be the entries in  $P$  such that  $\text{RECT}( P_i ) \cap X \neq \phi$ .
        If (  $k > 0$  ) then
            For each entry  $E_i$  found above, Search (  $X \cap \text{RECT}( P_i )$  ,  $P_i$  )
        If  $P$  is a leaf node then
            For all entries in  $P$  whose MBR's overlap with or contain in  $X$ , return their object ids.
}
```

对于外边界 A_2 的方向关系查询也跟该方向查询算法相同. 根据查找到的区域的 MBR 找到相应的目标区域,设查找到的目标区域为 B ,下面以实现不确定性对象 B 相对于 A 的 Northeast 方向的谓词算法为例,分析加上量词 λ 后的模糊空间区域之间的定性方向谓词 $\lambda \text{Northeast}(A, B)$ 的实现算法.

算法2 不确定区域间方向谓词 $\lambda \text{Northeast}$ 的实现算法.

输入: 两个不确定空间区域 A 和 B , Membership grade = { $t(x) (x = 1, 2, 3, 4)$, $1 - f(x) (x = 1, 2, 3, 4)$ }.

输出: 如果 B 在 A 的东北方向,则 true,且返回相对应的定量谓词 $\lambda \text{Northeast}$; 否则

false-Northeast.

Begin

$\lambda \text{Northeast}(A, B)$ {

根据定义2得 $t(x) (x = 1, 2, 3, 4)$, $1 - f(x) (x = 1, 2, 3, 4)$

if $D(A_1, B_1) \cap D(A_2, B_1) \cap D(A_1, B_2) \cap D(A_2, B_2) = D(A, B)$

then $t(x) = \min(t(1), t(2), t(3), t(4))$,

if $D(A_1, B_1) \cup D(A_2, B_1) \cup D(A_1, B_2) \cup D(A_2, B_2) = D(A, B)$,

then $1 - f(x) = 1 - \min(f(1), f(2), f(3), f(4))$,

return $D(A, B) = [t(x), 1 - f(x)]$ //对矩阵的相应元素进行综合得到不确定对象 A, B 间的方向关系 $D(A, B)$

生成量词序列 $\lambda = \{ \text{false, a little bit, somewhat, slightly, quite, mostly, nearly completely, true} \}$;

do case

根据谓词 $\text{Northeast}(A, B)$ 的值绑定不同的量词 λ ;

if $\lambda \text{Northeast}(A, B) = 0$

return false-Northeast

if $\lambda \text{Northeast}(A, B) \subset [0, 0.1]$

return a little bit-Northeast

...

if $\lambda \text{Northeast}(A, B) = 1$

return true-Northeast

end case

end $\lambda \text{Northeast}(A, B)$

由于该算法用到了基于 R 树的查询算法,该算法从根结点开始,搜索相应的子树,递归遍历所有约束矩形与查询窗口相交的子树,因此该算法总的时间复杂度为 $O(n)$.

4 结 语

用 Vague 集来表示不确定性区域比用模糊值更能确切,不确定查询更符合人类思维的心理特征,有利于实现人及接口自然化和智能化. 用真/假隶属度来表示方向关系更能反映人类推理的模糊性和不确定性,能够体现出相交的最大(最小)程度. 基于 Vague 集理论,在以后的研究中,可以在以下两点进行扩展: 利用 Vague 矩阵的性质进行方向关系逻辑推理; 基于 Vague 集的不确定方向关系在时空数据库领域的扩展等.

参 考 文 献:

- [1] SKIADOPOULOS S, KOUBARAKIS M. Composing Cardinal Direction Relations [J] // In Proc. of SSTD - 01, 2001: 299 - 320.
- [2] DU Shi-hong, WANG Qiao, WEI Bin, et al. Spatial Orientational Relations Rough Reasoning [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2003, 32 (4): 334 - 338.

(下转第85页)

由图5,图6可以看出随着嵌入强度的逐渐加大,相关系数呈减弱趋势,但关联程度仍然较大.峰值信噪比随着强度的增强逐渐升高,说明该算法有很好的鲁棒性.

4 结 语

目前,音频水印的算法有很多,但是抗同步攻击的算法较少.尤其是随机裁剪对于音频水印算法的鲁棒性,更是一个挑战,而对于不降低音频听觉效果的随机裁剪,不会对小波低频系数绝对平均值与全局小波低频系数绝对平均值接近的音频帧进行裁剪,因而本算法中选取帧内小波变换低频系数均值接近全局参考均值的多个音频帧作为水印嵌入点的同步策略,具有较强的鲁棒性.同时,无需增加额外的同步标志信息,嵌入点位置不固定,需计算之后得出,从而增加了水印信息的透明性.实验表明,本文所提出的算法不仅具有较好的不可感知性,而且对诸如重新采样、重新量化、叠加噪声、Mp3压缩等攻击均具有较好的鲁棒性.同时,本文提出算法无需原始载体音频,属于盲水印算法,增强了其实用性.

参 考 文 献:

- [1] 林克正,师 晶,唐远新. 基于视频帧的彩色水印嵌入算法研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(6): 22-29.
- [2] 王永琦,杨 洋. 基于听觉特性的 DCT 域数字音频水印算法 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(3): 88-90.
- [3] 赵 红,崔永瑞,郑素娥. 小波域音频水印综述 [J]. 计算机安全, 2007, 13(9): 1-3.
- [4] 师 晶,林克正,秦丽萍. 基于 DWT 和 SVD 的改进分块图像水印算法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(5): 35-38.
- [5] 施成湘,杨 丹,尚 晋,等. 扩展的多尺度模糊边缘检测 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 23(7): 65-68.
- [6] SERDEAN C V. DWT-based High-capacity Blind Video Watermarking Invariant to Geometrical Attack [J]. IEEE Proc - Vis Image Signal Process, 2005, 150(1): 51-58.
- [7] WANG Xiangyang, NIU Panpan. A Robust, Digital-Audio Watermarking Method [J]. IEEE Computer Society, 2009, 16(3): 60-69.
- [8] 白红哲,王 亮,孙晓岩. 盲音频数字水印算法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10(3): 117-120.
- [9] 雷 赞,刘 建,严 波,等. 窄带的自同步音频水印算法 [J]. 计算机学报, 2008, 31(7): 1283-1290.
- [10] HUANG Ji-Wu, WANG Yong, Shi Y. Q. A Blind Audio Watermarking Algorithm with Self Synchronization [J]. Proceeding of IEEE International Symposium on Circuits and System, 2002(2): 627-630.

(编辑: 付长缨)

(上接第80页)

- [1] CICERONE S, DI Felice P. Cardinal Relations Between Regions with a Broad Boundary [C] // 8th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems (GIS'00). New York: ACM Press, 2000: 15-20.
- [2] DU Shihong, WANG Qiao, YANG Yipeng, et al. Fuzzy Description of Spatial Direction Relations [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 8: 1744-1751.
- [3] GAU W L, BUEHRER D J. Vague Sets [J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, 1993, 23: 610-614.
- [4] PAPADIAS D, THEODORIDI Y, STELL T. The Retrieval of Direction Relations Using R-tree [C] // Database and Expert Systems Applications. Athen, Greece, 1994: 78-85.
- [5] 刘永山,郝忠孝. 基于 MBR 的主方向关系一致性检验 [J]. 软件学报, 2006, 17(5): 976-982.
- [6] 杨 宁,毛宇光. 基于 Vague 集的模糊数据库研究 [D], 南京航空航天大学, 2005.

(编辑: 付长缨)