

基于草图的空间数据检索研究

申世群^{1,2,3}, 刘大有^{1,2}, 王生生^{1,2}, 朱丽娜³

- (1. 吉林大学计算机科学与技术学院, 吉林长春 130012;
2. 吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室, 吉林长春 130012;
3. 沈阳炮兵学院, 辽宁沈阳 110162)

摘要: 空间数据库中蕴含了大量拓扑和方向关系语义,但传统的空间数据检索方法没有很好地利用这些高层语义,针对这一局限性,本文提出了一种基于草图的空间数据检索方法,将九交集拓扑模型和深度方向矩阵引入空间数据检索,给出了一种结合拓扑与方向关系并支持地理数据库中所有数据类型的草图检索方法,基于二元约束满足问题的求解给出了检索算法,并针对实际应用给出了该算法的优化算法.最后通过开发系统原型及实际应用对本文提出的方法进行了验证.

关键词: 空间数据检索; 方向关系; 拓扑关系; 空间推理

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 08-1819-06

Research on Spatial Data Retrieval Based on Sketch

SHEN Shi-qun^{1,2,3}, LIU Da-you^{1,2}, WANG Sheng-sheng^{1,2}, ZHU Li-na³

- (1. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China;
2. Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China;
3. Shenyang Institute of Artillery, Shenyang, Liaoning 110162)

Abstract: Spatial database contains a great deal of topological and directional semantics. But traditional spatial data retrieval didn't make good use of these high level semantics. To overcome this conceptual gap, this paper proposes a spatial data retrieval method based on sketch using 9-intersection model and Deep Direction-Relation Matrix. This method integrates direction relations and topological relations and can handle all data types in geographical databases. This paper outlines an algorithm based on the solutions of Binary CSP. Some methods to improve the efficiency of the algorithm for practical applications are also given. A prototype has been developed to experiment the method this paper proposed.

Key words: spatial data retrieval; direction relations; topological relations; spatial reasoning

1 引言

空间数据检索是空间数据管理、提取、显示、分析等GIS功能的基础.随着信息获取手段的进步,在大量的研究和应用领域中获得了越来越多的空间数据,并且呈爆炸增长趋势,因此如何检索海量空间数据成为目前空间数据处理的瓶颈之一.传统关系数据库的结构化检索语言不能处理空间数据,因此研究新的空间数据检索方法是非常必要的.已经提出的空间数据检索方法有结构化空间数据检索(Structural Spatial Query, SSQL)、自然语言空间数据检索(Spatial Query by Natural Language, SQLNL)、可视化空间数据检索(Visual Spatial Query, VSQ)等.

SSQL和SQLNL是基于文本的检索语言,空间关系的描述是模糊的,容易造成误匹配.VSQ使用可视化的图标和界面来组织检索,优点是把用户从记忆复杂的语法规则中解放出来,但仅使用一些由系统预定义的图标很难准确地表达对象间的空间关系.因此,基于草图的空间数据检索得到了重视和研究.1996年和1997年,Engenhofer^[1,2]提出了基于草图的空间数据检索的设计原则,论述了草图的表示及处理过程,但只讨论了区域对象的拓扑及方向关系.2000年,Blaser^[3]论述了基于草图的空间数据检索的接口设计、草图处理、检索系统设计等问题,将线对象看作区域对象的一种,并且没有考虑点对象.2005年,Grifoni和Rafaneli^[4,5]研究了草图的识别及基于草图的地理数据库的检索过程,并分析了其中

的不确定性问题,但并没有给出实现方法.2006年,袁贞明^[6]等提出了一种基于草图内容的空间数据检索方法,但只考虑了面状对象的拓扑关系.2007年,Caduff和Egenhofer^[7]探讨了基于草图的检索在无线网络下的应用,分析了无线环境下基于草图的空间数据检索的数据传输代价.

基于草图的空间数据检索涉及的空间问题主要包括拓扑、方向、形状和距离等,涉及的空间数据类型主要包括点、线、面和文本等.目前对单一空间方面或单一数据类型的研究都取得了一定进展,而实际问题经常需要结合空间的多个方面及多种数据类型加以考虑,且以往的研究很多没能给出具体的模型或者复杂性过高,距离实际应用还有一定的距离.本文将九交集拓扑模型和深度方向矩阵引入空间数据检索,给出了一种基于草图的空间数据检索方法,该方法结合了拓扑与方向关系,支持地理数据库中所有数据类型.

2 基于草图的空间数据检索

2.1 问题描述

基于草图的空间数据检索过程描述如下:(1)用户用鼠标或其他设备在触摸屏或界面上绘制待检索的空间场景,如建筑物、河流、桥梁的形状与相对位置,形成草图(如图1);(2)系统依据某种形式化方法对用户所绘制草图中对象间的拓扑关系和方向关系进行提取并存储为拓扑关系表和方向关系表备查;(3)应用算法SBSDQ-FC对当前地图中的数据检索,并高亮显示检索到的符合条件的场景.

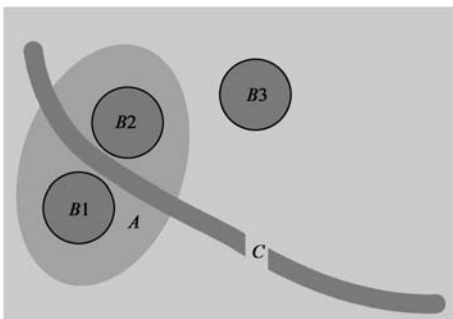


图1 一幅绘制好的草图

2.2 拓扑关系和方向关系提取

2.2.1 拓扑及方向关系描述

空间关系描述是空间数据检索的基础.空间查询中要完备地表达空间关系就必须借助于定性空间推理中的定性空间关系模型^[8].根据空间数据及其草图检索的特点,本文主要考虑拓扑关系和方向关系的描述及提取,为了支持空间数据库中所有的数据类型我们引入基于九交集模型的拓扑关系描述和基于深度方向关系矩阵的方向关系描述.

Egenhofer等^[9]提出的九交模型是描述拓扑关系的主要模型之一.在九交模型中,用对象的内部(A^0)、边界(∂A)和外部(A^-)子集是否相交来描述两个对象间的拓扑关系.在二维简单空间目标间的拓扑关系分析方面,利用9-交集模型能区分的有意义的面/面拓扑关系有8种(见图2);线/面的拓扑关系是19种;线/线拓扑关系33种;点/面拓扑关系3种;点/线拓扑关系3种;点/点拓扑关系2种.

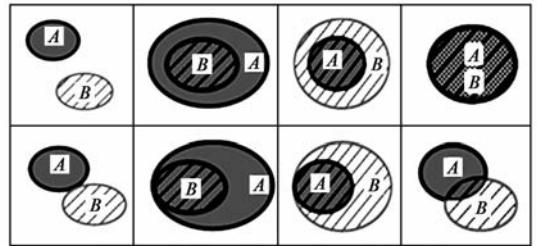


图2 区域与区域之间的8种拓扑关系

1997年,Goyal等^[10]提出方向关系矩阵模型,该模型按照参考对象的MBR将空间分成9个部分,称为方向片,用符号集 $\{N, S, E, W, NE, SE, SW, NW, O\}$ 中的符号表示这9个方向片在地理空间的方向, O 表示与参考对象的MBR相同的方向片.用一个 3×3 矩阵表示目标对象相对于参考对象的方向,矩阵中的每个元素表示目标对象与相应的方向片取交集的结果,即矩阵元素在 $\{\emptyset, \lceil \emptyset \rceil$ 中取值(图3).2000年,Goyal等人^[11]将该模型扩展到其它对象中,提出了能够表示点、线及区域的深度方向关系矩阵模型.该模型可以应用在空间数据库中,在进行检索时无需考虑对象是点、线还是区域.

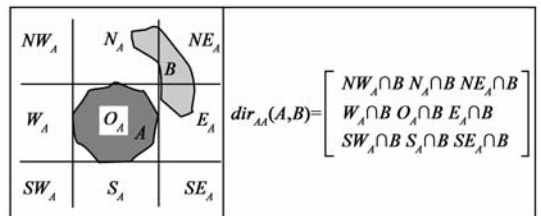


图3 方向关系矩阵

2.2.2 拓扑关系和方向关系表的提取

绘好的草图中的 N 个对象将作为检索目标,表示为集合 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$,应用九交集模型和深度方向矩阵模型对 N 个对象进行拓扑和方向关系提取,建立拓扑和方向关系表并存储,可以用数组存储对象间的拓扑和方向关系,判断 V_i, V_j 的对象类型,并依据对象类型、九交集拓扑关系和深度方向关系得到对象间的拓扑和方向关系并返回.如以下是对象的拓扑关系提取算法.

Procedure Derive ()

Dim matrixTR []//二维数组表示拓扑关系表

```

For each  $V_i \in V$ 
  For each  $V_j \in V$ 
    matrixTR [ $i, j$ ] = JudgeTR( $V_i, V_j$ )
}
private JudgeTR ( $ftr1, ftr2$ ) {
  ① 如果  $ftr1$  和  $ftr2$  都是区域类型, 否则转⑩
  ② 求  $ftr1$  与  $ftr2$  的交点个数
  ③ 如果交点个数为 0, 否则转⑥
  ④ 判断  $ftr1$  是否包含  $ftr2$ , 是则返回 contains
  ⑤ 判断  $ftr2$  是否包含  $ftr1$ , 是则返回 inside, 否则返回 disjoint
  ⑥ 如果  $ftr1$  与  $ftr2$  交点为 1, 否则转⑨
  ⑦ 判断  $ftr1$  是否包含  $ftr2$ , 是则返回 coveredby
  ⑧ 判断  $ftr2$  是否包含  $ftr1$ , 是则返回 inside, 否则返回 covers
  ⑨ 如果  $ftr1$  与  $ftr2$  的周长相同, 并且  $ftr1$  与  $ftr2$  中心点相同返回 equal, 否则返回 overlap
  ⑩ 处理  $ftr1$  及  $ftr2$  的其它类型情况...}

```

如草图 1 应用九交集拓扑关系和深度方向关系矩阵可以建立如下的拓扑关系表 1 和方向关系表 2:

表 1 拓扑关系表

	A	B1	B2	B3	C
A	equal	contain	contain	disjoint	overlap
B1	inside	equal	disjoint	disjoint	disjoint
B2	inside	disjoint	equal	disjoint	meet
B3	disjoint	disjoint	disjoint	equal	disjoint
C	overlap	disjoint	meet	disjoint	equal

表 2 方向关系表(部分)

	A	B1	B2	B3
A	$\begin{pmatrix} 0 & 8 & 0 \\ 32 & 1 & 2 \\ 0 & 128 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
B1	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 8 & 0 \\ 32 & 1 & 2 \\ 0 & 128 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
B2	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 8 & 0 \\ 32 & 1 & 2 \\ 0 & 128 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
B3	$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 8 & 0 \\ 32 & 1 & 2 \\ 0 & 128 & 0 \end{pmatrix}$

2.3 基于草图的空间数据检索算法

基于草图的空间数据检索可以形式化地描述为标准的二元约束满足问题:

- (1) 出现在检索中的 N 个变量的集合 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$;
- (2) 对每个变量 V_i , 都有一个包含 k_i 个值的有限域 $D_i = \{v_1^i, v_2^i, \dots, v_{k_i}^i\}$;
- (3) 对每一对变量 (V_i, V_j) , 在 D_i 和 D_j 之间上存在一个是简单空间关系或几个关系的析取的约束 $C_{\{i, j\}}$. 如果 $(v_i^i, v_m^j) \in C_{\{i, j\}}$ 我们说赋值 $\{V_i \leftarrow v_i^i, V_j \leftarrow v_m^j\}$ 是一致的. 检索的目标是找到所有变量的实例, 使得对于所

有的 $i, j, \{V_i \leftarrow v_i^i, V_j \leftarrow v_m^j\}$ 是一致的, 也就是说所有的约束能够得到满足.

为解决约束满足问题, 已经提出了很多算法. 其中, 最有效的方法之一是前项检查 (Forward Checking, FC), 根据 FC 算法的思想, 结合基于草图空间数据检索具体问题, 我们给出基于草图的空间数据检索算法 SBSDQ-FC().

```

Procedure SBSDQ-FC( $i$ ) {
  //对每个变量  $V_i$  进行实例化, 然后递归
  For each  $v_i^i \in D_i$ 
     $s_i \leftarrow v_i^i$ 
    if  $Domain_i^i = 0$  then
      if  $i = N$  then
        print  $s_1, \dots, s_N$ 
      else
        if Check-Forward( $i$ ) then
          SBSDQ-FC( $i + 1$ )
        Restore( $i$ )
  }
Function Check-Forward( $i$ ) {
  //根据  $V_i$  的当前赋值  $s_i$  检查其它未实
  //例化的变量的定义域并进行剪枝
  For  $j = i + 1$  to  $N$ 
     $Dwo = true$ 
    For each  $v_m^j \in D_j$ 
      If  $Domain_m^j = 0$  then
        If  $(s_i, v_m^j) \in C_{\{i, j\}}$  then
           $Dwo = false$ 
        Else
           $Domain_m^j \leftarrow i$ 
      If  $dwo$  then return(false)
  Return(true)
}
Procedure Restore( $i$ ) {
  //将定义域恢复成原来的状态
  For  $j = i + 1$  to  $N$ 
    For each  $v_m^j \in D_j$ 
      If  $Domain_m^j = i$  then
         $Domain_m^j \leftarrow 0$ 
  }
}

```

首先, 找到首个要实例化的变量 V_i , 依次用其域中的值对其实例化, 对还没实例化的变量的域进行剪枝 (见函数 Check-Forward()), 然后继续选取下一个变量 V_j 对其实例化, 一直到发现一个解. 如果对当前变量 V_i 的实例化 v_i^i 对其他变量的剪枝导致某个变量域为空 (Dwo 为 true), 则对当前变量 V_i 选取下一个实例化的值 v_m^i , 并恢复改变的变量的域 (见函数 restore()); 如果当前变量 V_i 的域中可取的值全部遍历过, 则回溯到前一个变量 V_{i-1} .

当前变量 V_i 用值 v_i^i 进行实例化后, 每一个还未被

实例化的变量 V_j 的域根据 v_l^i 和 $C_{|i,j|}$ 进行剪枝. 也就是, 如果要求约束完全匹配, 则对于 V_j 的域中的一个值 v_m^j , 如果 $R(v_l^i, v_m^j)$ 不等于 $C_{|i,j|}$, 那么将 v_m^j 从 V_j 的域中移除. 为了对每个变量域中允许的值进行跟踪, 使用了二维数组 $Domain$, 第一维大小是变量的数目, 第二维的大小是每一个变量的域的最大值. 元素 $Domain_j^i$ 表示的是变量 i 的第 j 个值, 如果这个值可取, 就赋值为 0; 如果因为变量 m 的某个实例化而被移除就赋值为 m , 将来因为变量 m 的实例化改变或全部值遍历完而回溯时, 就将赋值为 m 的元素重新赋值为 0.

2.4 检索算法优化

分析可知该算法当变量个数为 N , 定义域最大的为 K 时, 算法复杂度为 $O(K^N)$, 离实际应用的要求还比较远. 为了满足应用的需要考虑应用以下几种方法对算法进行优化:

(1) 在地图中重要的地物通常都有标注, 在进行草图检索时可以结合标注提高检索效率.

(2) 在进行检索时, 每次选取草图中域最小的变量做为下一个要实例化的对象.

(3) 在实际检索中, 草图中的对象往往都是地图中相邻的对象, 根据这一特性在检索时可以缩小变量的域, 每次选取与上一对象具有邻近关系的做为下一变量的域, 这样可以大大提高检索效率.

对于第一种方法在绘制草图时如果已知某对象名称则将名称给出, 在检索时首先在数据库中找到对应名称的对象作为结果集中第一个元素, 在确定该对象后再进行其它对象的检索. 第二种方法就是要对草图中对象的定义域进行动态排序, 每次选择定义域最小的对象进行实例化, 也可以提高检索效率. 对于大型空间数据库第三种方法的效果非常明显, 往往可以将对象的定义域由空间数据库中某种数据类型的全部缩小到十几甚至更小, 对于算法效率有较大提高. 为了应用第三种方法对草图检索算法进行优化给出基于 Voronoi 图的空间邻近关系的定义.

定义 1 设有空间目标簇 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \subseteq IR^2 (1 \leq n \leq \infty)$, $P_i, P_j \in P (i \neq j, i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$, 如果 P_i, P_j 至少经过 k 个 Voronoi 多边形的边连通则称 P_i 和 P_j 之间的距离为 k , 记为 $d(P_i, P_j) = k$. 称 P_i 和 P_j 之间的关系为 k 阶邻近关系.

根据定义在进行草图检索时, 当前变量 V_i 用值 v_l^i 进行实例化后, 下一个要实例化的对象不需要考虑全部定义域, 而只需要考虑与当前 V_i 赋值具有 1 阶邻近关系的那些实例, 对于海量的 GIS 数据这样可以大大降低算法的复杂度.

综合以上给出该算法的改进算法 SBSDQM():

```

Procedure SBSDQM() {
//初始化用到的变量
//domains 记录每个变量域中当前可取值的数组
//size 指对象个数, VMAX 指对象域最大值
Initialize domains[size][VMAX];
//保存当前变量的排序的数组
Initialize ordering[size];
//将草图中涉及到的变量按标注及定义域由小到大
//排序, 有标注的对象排在前面
ordering = Sort V();
//开始递归程序
SBSDQM-FC (0);
}

Procedure SBSDQM-FC (i) { //对每个变量  $V_i$  进行实例化, 然后递归
For each  $v_l^i \in D_i$ 
     $s_i \leftarrow v_l^i$ 
    if  $Domain_i^i = 0$  then
        if  $i = N$  then
            print  $s_1, \dots, s_N$ 
        else
            if Check-Forward (i) then
                SBSDQM-FC (i + 1)
            Restore (i)
    }

Function Check-Forward (i) {
//根据  $V_i$  的当前赋值  $s_i$  修改其它未实例化
//化的变量的定义域并进行一致性检查
For  $j = i + 1$  to  $N$ 
//根据  $V_i$  的值将其它变量的定义域调整为与  $V_i$ 
//当前赋值有  $N - 1$  阶相邻关系的那些值
    ReLoad( $D_j, V_i$ )
     $dwo = true$ 
    For each  $v_m^j \in D_j$ 
        If  $Domain_m^j = 0$  then
            If ( $s_i, v_m^j$ )  $\in C_{|i,j|}$  then
                 $dwo = false$ 
            Else
                 $Domain_l^i \leftarrow i$ 
    If  $dwo$  then return(false)
Return(true)
}

```

定理 1 基于草图的空间数据检索算法 SBSDQM 的时间复杂性为 $O(K * M^{N-1})$, 其中 N 为输入变量的个数, M 为定义域中每个对象的一阶邻近关系对象个

数的最大值, K 为输入对象变量定义域的最小值。

证明 检索前根据变量定义域进行排序, 因为输入对象变量定义域最小值为 K , 所以对应的对象变量最先被实例化, 对于每个实例只需要检索与其具有一阶邻近关系的对象, 而对象变量定义域中与对应对象具有一阶邻近关系的对象个数最大值为 M , 所以 N 个输入变量中第一个要实例化的变量的定义域为 K , 第二个对象变量定义域则变为与上一对象变量实例具有一阶邻近关系的 M 个实例, 同理除第一个变量外的 $N-1$ 个变量的定义域最大都为 M , 即在最坏情况下算法 SBSDQM 的时间复杂性为 $O(K * M^{N-1})$, 得证。

通过证明可知该优化算法当变量个数为 N , 变量定义域最小的为 K 且该定义域中 $N-1$ 阶邻近对象个数最大为 M 时, 最坏情况下算法复杂度为 $O(K * M^{N-1})$, 其中 M 远小于 K , 因此算法的复杂度大大降低。

2.5 实验及应用

为了进一步验证算法, 我们用 C# 实现了一个系统原型, 使用 Spatial Query by Sketch^[1] 中的场景数据库作为试验数据。场景数据库包含 2 类场景, 一共有场景 1700 个。第一类场景中每个场景由 6 个区域(面)组成; 第二类场景中每个场景由 7 个区域和 3 个线状目标组成。共进行两组实验, 实验结果见表 3、表 4 及图 4。第一组实验分别从两类场景中提取 4 组场景作为输入草图, 通过实验本算法查准率和查全率可以达到 100%, 但是当样本当中所含对象个数较多时, 效率略有下降。在本组实验中查准率和查全率之所以能达到 100% 是因为本实验中的样本全是取自于场景数据库中, 所有的检索对象均具有一阶邻近关系, 使本算法的前提条件得以满足。第二组实验随机在草图绘制区中绘制第一类场景和第二类场景各 80 个(所绘场景中的对象不一定是相邻的)做为输入样本, 然后进行检索。由表 4 可知第一类样本的查准率低于第二类样本, 这是因为第一类样本中对象较少, 因此拓扑与方向约束较弱, 第二类样本对象较多因此提取出的拓扑和方向特征丰富, 特征之间的约束也逐渐增大, 因此检索查准率增大。但由于样本中对象较多且因为样本草图是随机绘制因此草图中对象可能不具有一阶邻近关系, 导致时间复杂度增大, 查全率略有下降。

表 3 第一组实验查准率和查全率

样本组	样本总数	第一类场景数	第二类场景数	查准率和查全率
第一组	10	10	0	100%
第二组	20	20	0	100%
第三组	40	20	20	100%
第四组	60	30	30	100%

表 4 第二组实验查准率和查全率

样本组	查准率		查全率	
	第一类	第二类	第一类	第二类
第一组	94.30	97.20	97.64	97.43
第二组	95.50	98.70	98.76	98.67
第三组	94.41	94.46	98.32	96.45
第四组	94.60	96.51	99.50	99.70

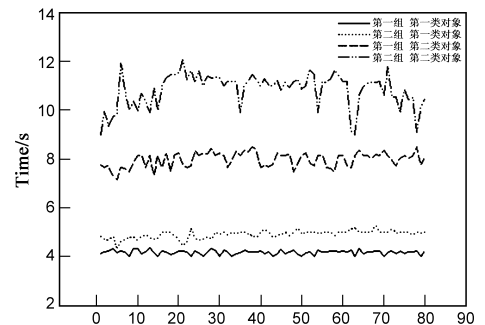


图 4 两组实验时间耗费图

基于草图的空间数据检索算法已应用于吉林大学的时空 GIS 系统 ST-CGIS, 该系统是国家高技术研究发展计划(863)“智能化农业信息系统集成开发平台”的一部分。ST-CGIS 能对吉林省农安县示范区内近 10 年来的土地利用情况、土壤养分含量、化肥施用量等时空数据进行综合管理和分析预测。算法 SBSDQM 用于依据用户所绘制对象及其之间的拓扑和方向关系在空间数据库中进行直观快速定位。

3 结论

本文提出了一种基于草图的空间数据检索方法, 给出了草图的表示方法及检索算法, 并针对实际应用给出了优化算法, 应用本文所提出的方法可以对复杂空间场景进行直观的数据检索, 但对于大型海量空间数据, 在数据规模、处理效率等方面还需要加强。未来的研究方向有: (1) 基于定性形状表示和空间相似研究结合形状、拓扑和方向的模糊草图检索方法; (2) 应用本文方法发开组件嵌入到 GIS 中进行应用; (3) 构建有效的空间索引或应用数据挖掘技术来提高检索的效率等。

参考文献:

- [1] Egenhofer. Spatial-query-by-sketch [A]. Proceedings of the IEEE symposium on visual languages [C]. Washington DC: IEEE Computer Society, 1996. 60 - 67.
- [2] Egenhofer M J. Query processing in spatial-query-by-sketch [J]. Journal of Visual Languages and Computing, 1997, 8(4): 403 - 424.

- [3] BLASER A D. Sketching Spatial Queries[D]. Maine: University of Maine, 2000.
- [4] Ferri, Grifoni, Rafanelli. Querying by sketch geographical databases and ambiguities[A]. Copenhagen[M]. Denmark: Springer Verlag, 2005. 524 – 533.
- [5] Ferri Grifoni, Rafanelli. The sketch recognition and query interpretation by GSQL, a geographical sketch query language[A]. Proceedings of the Fifth International Conference on Computer and Information Technology[C]. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005. 34 – 38.
- [6] 袁贞明, 吴飞, 庄越挺. 基于草图内容的空间拓扑数据检索方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(10): 1663 – 1669.
Yuan Zhen-ming, Wu Fei, Zhuang Yue-ting. Spatial topological data retrieval based on sketch content[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2006, 40(10): 1663 – 1669. (in Chinese)
- [7] Caduff D, Egenhofer. Geo-mobile query-by-sketch[J]. International Journal of Web Engineering and Technology, 2007, 3(2): 157 – 175.
- [8] 王生生, 刘大有, 杨博. 混合维定性空间查询语言[J]. 电子学报, 2002, 30(12A): 1995 – 1999.
Wang Sheng-sheng, Liu Da-you, Yang Bo. Multi-imensional qualitative spatial query language MQS-SQL[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(12A): 1995 – 1999. (in Chinese)
- [9] M J Egenhofer, R D Franzosa. Point-set topological spatial relations[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1991, 2: 161 – 174.
- [10] Goyal R, Egenhofer M J. The Direction Relation Matrix: A Representation for Directions Relations between Extended

Spatial Objects[R]. Bar Harbor Maine: The Annual Assembly and the Summer Retreat of University Consortium for Geographic Information Systems Science, 1997.

- [11] Goyal RK, Egenhofer MJ. Consistent queries over cardinal directions across different levels of detail[A]. 11th International Workshop on Database and Expert System Applications(DEXA'00)[C]. London, UK: IEEE Press, 2000. 876 – 880.

作者简介:



申世群 男, 1977 年 4 月出生于黑龙江七台河, 吉林大学计算机学院博士研究生, 研究方向为时空推理, 地理信息系统及其应用。

E-mail: shen_shiqun@163.com



刘大有 男, 教授、博士生导师, 1942 年 7 月生于吉林长春, 现任吉林大学信息学部学部长和国务院学位委员会学科评议组成员等职务。主要研究知识工程和 ES, 人工智能, 时空推理, 数据挖掘与统计关系学习, 智能软件等。承担国家和省部级项目 40 余项, 其中国家级 20 余项。发表论文 330 余篇, 三大检索收录 200 余篇, 出版著作 7 部。获国家科技进步二三等奖各 1 项, 省部级科技进步一等奖 3 项、二三等奖 6 项。

王生生 男, 1974 年生, 博士, 吉林大学教授, 主要研究领域为时空推理、地理信息系统和语义 Web 等。

朱丽娜 女, 1978 年生, 硕士, 沈阳炮兵学院讲师, 研究方向为地理信息系统及其应用等。

(上接第 1818 页)

- [13] Hafiz Malik, Ashfaq Khokhar, Rashid Ansari. Robust data-hiding in audio[A]. 2004 IEEE International Conference on Multimedia and Expro(ICME)[C]. Taipei, 2004. 959 – 962.
- [14] 全笑梅, 张鸿宾. 基于小波包域听觉感知分析的统计音频水印算法[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 673 – 678.
Quan Xiao-mei, Zhang Hong-bin. Statistical audio watermarking algorithm based on auditory analysis in wavelet packet domain[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(4): 673 – 678. (in Chinese)
- [15] 孔涛, 张丹. Arnold 反变换的一种新算法[J]. 软件学报,

2004, 15(10): 1158 – 1164.

Kong Tao, Zhang Dan. A new anti-arnold transformation algorithm[J]. Journal of Software, 2004, 15(10): 1158 – 1164. (in Chinese)

- [16] 林卫强, 黄元石. Logistic 混沌序列的随机性分析[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 270 – 274.

Lin Wei-qiang, Huang Yuan-shi. Analysis for randomness of the series generated by chaos logistic system[J]. Journal of Fuzhou University, 2004, 32(3): 270 – 274. (in Chinese)