

# 基于 CDT 的时空区域拓扑关系确定方法

柏禄一<sup>1,2</sup>, 贾潍佳<sup>2</sup>, 曹杏茹<sup>2</sup>  
(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 东北大学秦皇岛分校 计算机与通信工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘 要:** 研究了基于逆时针有向三角形 (counterclockwise directed triangle, CDT) 的时空区域拓扑关系的确定方法, 尤其对静态时空数据库中基于逆时针有向多边形的时空区域表示方法、简单多边形形状时空区域的三角化方法及静态时空联系下两个简单多边形形状时空区域间拓扑关系的确定方法进行了研究. 结果表明: 时空区域间的相等、包含、部分覆盖、相离、相接 5 种基本拓扑关系均可通过基于逆时针有向三角形的方法确定. 该方法不仅有效地实现了各种时空数据的表示和操作, 而且避免了直接基于边界坐标计算时空数据时对效率的影响.

**关 键 词:** 逆时针有向三角形; 简单多边形; 三角化; 拓扑关系; 静态时空联系

**中图分类号:** TP 311.134.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2017)04-0481-05

## CDT-based Determining Method of Topological Relations for Spatiotemporal Regions

BAI Lu-yi<sup>1,2</sup>, JIA Wei-jia<sup>2</sup>, CAO Xing-ru<sup>2</sup>  
(1. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Computer and Communication Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China. Corresponding author: BAI Lu-yi, E-mail: baily@neuq.edu.cn )

**Abstract:** A CDT-based determining method of topological relations for spatiotemporal regions was investigated. The following contents were especially studied, including CDT-based spatiotemporal region representation in static spatio-temporal database, the method of dividing the spatiotemporal region in simple polygon shape into counterclockwise directed triangle, and determining method of these spatiotemporal regions in simple polygon shape in static spatiotemporal database. The results showed that five kinds of fundamental topological relations between spatiotemporal regions, i. e., equal, contain, overlap, disjoint and meet, can be determined with CDT. The proposed method not only effectively realizes the variety of spatiotemporal data presentation and operation, but also avoids the effect of spatiotemporal data on efficiency when the spatiotemporal data were calculated on the basis of boundary coordinates directly.

**Key words:** counterclockwise directed triangle; simple polygon; dividing a polygon into triangles; topological relation; static spatiotemporal relation

空间实体之间的联系有度量关系、拓扑关系和方位关系等多种类型<sup>[1]</sup>. 其中, 空间拓扑关系是指拓扑变换下的拓扑不变量, 在空间特征存储、提取、查询、更新等操作中起重要作用. 确定性时空区域间拓扑关系的确定方法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<sup>[2]</sup>. 在传统拓扑关系查询中, 最常用的空间对象表示方法是数据类型转换法, 即是将数据类型的值转换为最小外包矩形 (minimum bounding rectangle, MBR). 以二维坐标表示二维形状 (点、直线、多边形) 的最大范围,

即可计算出该二维形状的最小外包矩形<sup>[3]</sup>. 文献[4]指出, MBR 只是对空间对象的粗略近似, 在查询中具有较大误差. 为获得更高的查询精确度, 本文采用逆时针有向多边形来近似表示实际空间对象, 通过对简单多边形形状的时空区域的三角化分得到基于逆时针有向三角形时空数据拓扑关系的一种确定方法.

## 1 时空区域的表示方法

在静态时空数据库中对对象关系数据进行建模是确定时空数据拓扑关系的基础. 基于矢量的空间数据模型存储了空间数据的边界坐标, 有利于方便表达空间数据之间的拓扑关系. 对象视图为离散实体且具有位置和空间属性时, 通常以矢量数据模型表示<sup>[5]</sup>. 因此本文采用矢量模型表示空间对象, 其中顶点位置表示为空间坐标, 二维区域表示为简单多边形. 同时, 为避免直接基于顶点坐标序列计算各种空间操作时的复杂性和低效率, 本文采用基于逆时针有向三角形的空间数据表示和操作方法, 以方便计算二维静态时空联系下两简单多边形形状的空间区域间的拓扑关系.

**定义 1** 简单多边形形状的时空区域 Region  $r$  可表示为一系列逆时针有序点  $\{V_1(x_1, y_1), V_2(x_2, y_2), V_3(x_3, y_3), \dots, V_n(x_n, y_n)\}$ , 要求这些点分别对应该简单多边形的所有顶点. 即 Region  $r$  为该封闭点序列构成的区域内的所有点.

**定义 2** 三角形  $T < V_0(x_0, y_0), V_1(x_1, y_1),$

$$V_2(x_2, y_2) > \text{当且仅当满足}$$
$$\begin{vmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \end{vmatrix} > 0 \text{ 时为}$$

逆时针有向三角形.

参照文献[6]中给出的简单多边形三角化规则, 由定义 1 和定义 2 可推得: 一个具有  $n$  个顶点的简单多边形形状的时空区域 Region  $r$  可通过以下步骤, 划分为  $n-2$  个逆时针有向三角形, 得到集合  $\text{Triangulation}(\text{Region } r)$ :

- 1) 确定一个可构成 Region  $r$  的具有  $n(n > 3)$  个点的序列  $P$ , 选出  $P$  中  $x$  值最小的点作为初始考虑点  $V_0$ , 若符合该条件的点多于 1 个, 则选取  $x$  值最小的点中  $y$  值也最小的点作为初始考虑点  $V_0$ ;
- 2) 设按逆时针方向在  $V_0$  之后的点为  $V_1$ 、在  $V_0$  之前的点为  $V_2$ , 按  $V_0, V_1, V_2$  方向构建三角形  $\text{Tri}_1$ ;
- 3) 若  $\text{Tri}_1$  非逆时针有向三角形或  $P$  中存在一点位于  $\text{Tri}_1$  内, 则舍弃该  $\text{Tri}_1$  转去考虑  $V_2$ , 重复步骤 2); 否则将  $\text{Tri}_1$  插入到逆时针有向三角形集合  $\text{Triangulation}(\text{Region } r)$  中, 将  $V_0$  从  $P$  中删除, 按顺时针方向继续处理顶点, 重复步骤 2);
- 4) 得到包含  $n-2$  个逆时针有向三角形的集合  $\text{Triangulation}(\text{Region } r)$ .

为便于理解, 本文给出一个将具有 6 个顶点的简单多边形形状的时空区域 Region  $r_a$  划分为 4 个逆时针有向三角形的简单示例, 如图 1 所示.

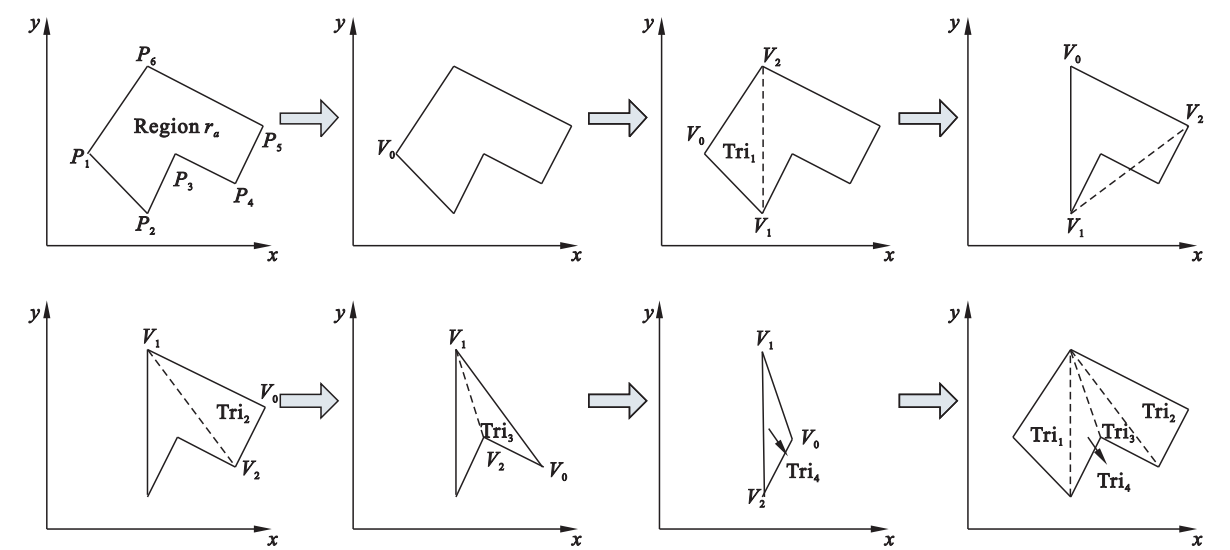


图 1 示例: 简单多边形形状的时空区域划分为三角形

Fig. 1 A sample of dividing the spatiotemporal region of simple polygon shape into triangles

首先, 给定一个具有 6 个顶点的简单多边形形状的时空区域 Region  $r_a$ , 在静态时空环境下,

选取其中  $x$  值最小的点即其最左侧顶点  $P_1$  作为初始考虑点  $V_0$ , 设  $P_1$  为  $V_1, P_6$  为  $V_2$ , 按  $V_0, V_1,$

$V_2$ 方向即  $P_1, P_2, P_6$  方向构建三角形  $\text{Tri}_1$ . 经判断,  $\text{Tri}_1$  符合定义 2 中对逆时针有向三角形的要求, 则将  $\text{Tri}_1$  插入到集合  $\text{Triangulation}(\text{Region } r_a)$  中, 去掉点  $P_1$  并将  $P_6$  设置为新的考虑点  $V_0$ ; 按  $P_6, P_2, P_5$  方向构建三角形  $\text{Tri}_2$ , 经判断, 该  $\text{Tri}_2$  不符合定义 2 中对逆时针有向三角形的要求, 所以将其舍弃并将  $P_5$  设置为新的考虑点  $V_0$ ; 重复步骤 2), 得到新的符合定义 2 的  $\text{Tri}_2$ , 将其插入到集合  $\text{Triangulation}(\text{Region } r_a)$  中; 重复上述步骤, 将  $\text{Tri}_3, \text{Tri}_4$  插入到逆时针有向三角形集合中, 最终得到包含 4 个逆时针有向三角形的集合  $\text{Triangulation}(\text{Region } r_a)$ .

## 2 时空数据拓扑关系的确定方法

空间拓扑操作用于判断两个空间数据之间存在的空间拓扑关系, 作用于两个空间数据之上并返回 TRUE 或 FALSE<sup>[1]</sup>. 本节提出时空区域间拓扑关系的确定方法.

假设  $\text{Region } r_1$  和  $\text{Region } r_2$  为两简单多边形形状的时空区域. 将  $\text{Region } r_1$  的顶点表示为  $M_i(x_i, y_i)$ ,  $\text{Region } r_2$  的顶点表示为  $N_j(x_j, y_j)$ , 则根据定义 1, 将具有  $m$  个顶点的  $\text{Region } r_1$  表示为  $\{M_1(x_1, y_1), M_2(x_2, y_2), M_3(x_3, y_3), \dots, M_m(x_m, y_m)\}$ ; 将具有  $n$  个顶点的  $\text{Region } r_2$  表示为  $\{N_1(x_1, y_1), N_2(x_2, y_2), N_3(x_3, y_3), \dots, N_n(x_n, y_n)\}$ .

文献[7]给出了空间拓扑关系的多种形式化表达模型, 文献[8-9]分别给出了判断二维区域中点与多边形及线与多边形的拓扑关系的方法. 文献[10]给出了时空区域间 8 种拓扑关系, 本文选取其中 5 种基本拓扑关系(相等、包含、部分覆盖、相离、相接), 依据点、线与多边形的拓扑关系以及将多边形划分为若干逆时针有向三角形的操作, 构造了基于逆时针有向多边形的空间拓扑关系形式化表达方法, 给出了时空区域间基本拓扑关系的确定方法.

**定义 3** 对于两个简单多边形形状的时空区域  $\text{Region } r_1$  和  $\text{Region } r_2$ , 在其共有时间区间内,  $\text{Region } r_1$  与  $\text{Region } r_2$  均具有相同顶点数目, 且对于  $\text{Region } r_1$  中任意顶点  $M_i$ ,  $\text{Region } r_2$  中均存在一点  $N_j$  与之具有相同坐标, 同时  $M_i$  的后继顶点与  $N_j$  的后继顶点也具有相同坐标, 则  $\text{Region } r_1$  与  $\text{Region } r_2$  相等, 记作  $\text{Equal}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$ :

For  $\text{Region } r_1$  and  $\text{Region } r_2$ , the topological relation is  $\text{Equal}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$  when  $T_{r_1} \cap$

$T_{r_2} \neq \emptyset$ , iff:

- $m = n$ ;
- For  $\forall M_i(x_i, y_i) \in \text{Region } r_1, \exists N_j(x_j, y_j) \in \text{Region } r_2, x_i = x_j, y_i = y_j$  and  $x_{i+1} = x_{j+1}, y_{i+1} = y_{j+1} (0 \leq i < m)$ ;

图 2 为两个简单六边形区域  $\text{Region } r_1$  和  $\text{Region } r_2$  相等的例子. 首先确定两多边形区域是否具有相同顶点数目, 经判断都含有 6 个顶点, 则继续操作. 选取  $\text{Region } r_1$  中任意顶点作为  $M_i$ , 并按逆时针顺序获得其后继顶点  $M_{i+1}$ , 判断是否可以在  $\text{Region } r_2$  中找到一点与  $M_i$  相对应且其后继顶点与  $M_{i+1}$  相对应, 经判断,  $\text{Region } r_1$  和  $\text{Region } r_2$  满足定义 3 中对  $\text{Equal}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$  的要求, 得到  $\text{Region } r_1$  和  $\text{Region } r_2$  的拓扑关系:  $\text{Region } r_1$  与  $\text{Region } r_2$  相等.

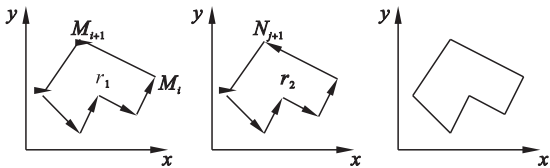


图 2  $\text{Equal}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$  示例  
Fig. 2 A sample of  $\text{Equal}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$

**定义 4** 对于两个简单多边形形状的时空区域  $\text{Region } r_1$  和  $\text{Region } r_2$ , 在其共有时间区间内,  $\text{Region } r_1$  与  $\text{Region } r_2$  均不相等, 且对于  $\text{Region } r_2$  中的任意顶点  $N_j$ , 均存在三角形  $\text{Tri} \in \text{Ttri}$  包含  $N_j$  或与  $N_j$  相接, 则  $\text{Region } r_1$  包含  $\text{Region } r_2$ , 记作  $\text{Contain}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$ :

For  $\text{Region } r_1$  and  $\text{Region } r_2$ , the topological relation is  $\text{Contain}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$  when  $T_{r_1} \cap T_{r_2} \neq \emptyset$ , iff:

- Not  $\text{Equal}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$ ;
- For  $\forall N_j(x_j, y_j) \in \text{Region } r_2, \exists \text{Tri} \in \text{Ttri}, N_j$  is contained by  $\text{Tri} \cup N_j$  is meet with  $\text{Tri}$ ;

图 3 为一个简单六边形区域  $\text{Region } r_1$  包含一个简单四边形区域  $\text{Region } r_2$  的例子. 首先判断两区域是否相等, 判断为不相等, 则执行下一操.

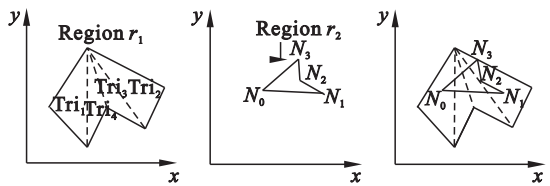


图 3  $\text{Contain}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$  示例  
Fig. 3 A sample of  $\text{Contain}(\text{Region } r_1, \text{Region } r_2)$

由  $N_0$  开始判断: 是否与 Region  $r_1$  中的某一三角形存在相接或被包含关系. 经判断, 其中  $N_0$  包含于  $Tri_1, N_1$  包含于  $Tri_2, N_2, N_3$  与  $Tri_2$  相接, 满足定义 4 中对于  $Contain(Region\ r_1, Region\ r_2)$  的要求, 得到 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$  的拓扑关系: Region  $r_1$  包含 Region  $r_2$ .

**定义 5** 对于两个简单多边形形状的时空区域 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$ , 在其共有时间区间内, Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  不相等且不存在包含与被包含关系, 并存在三角形  $Tri \in TTri$  和  $tri \in Ttri$  使得  $Tri$  与  $tri$  具有重叠一致部分, 则 Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  部分覆盖, 记作  $Overlap(Region\ r_1, Region\ r_2)$ :

For Region  $r_1$  and Region  $r_2$ , the topological relation is  $Overlap(Region\ r_1, Region\ r_2)$  when  $T_{r1} \cap T_{r2} \neq \emptyset$ , iff:

1. Not ( Equal ( Region  $r_1$ , Region  $r_2$  ) or Contain ( Region  $r_1$ , Region  $r_2$  ) or Contain ( Region  $r_2$ , Region  $r_1$  ) );
2.  $\exists Tri \in TTri, \exists tri \in Ttri, Overlap( Tri, tri )$  or Equal ( Tri, tri ) or Contain ( Tri, tri ) or Contain ( tri, Tri );

图 4 为一个简单四边形区域 Region  $r_1$  与一个简单六边形区域 Region  $r_2$  部分覆盖的例子. 首先判断两区域是否满足不为相等关系且不存在包含与被包含关系, 经判断满足该条件, 则由  $Tri_1$  开始判断: 是否与  $Ttri$  中任一三角形具有重叠一致部分. 经判断, 其中  $T_1$  与  $t_1$  完全覆盖,  $T_2$  包含  $t_4, T_2$  与  $t_2, t_3$  部分覆盖, 满足定义 5 中对于  $Overlap(Region\ r_1, Region\ r_2)$  的要求, 得到 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$  的拓扑关系: Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  部分覆盖.

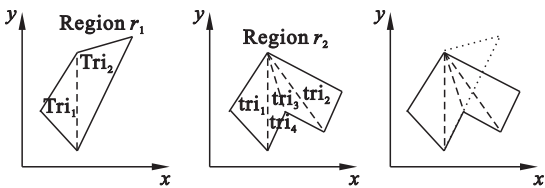


图 4  $Overlap(Region\ r_1, Region\ r_2)$  示例  
Fig. 4 A sample of  $Overlap(Region\ r_1, Region\ r_2)$

**定义 6** 对于两个简单多边形形状的时空区域 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$ , 在其共有时间区间内, 任意三角形  $Tri \in TTri$  和  $tri \in Ttri$  均相离且不存在包含与被包含关系, 则 Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  相离, 记作  $Disjoint(Region\ r_1, Region\ r_2)$ :

For Region  $r_1$  and Region  $r_2$ , the topological

relation is  $Disjoint(Region\ r_1, Region\ r_2)$  when  $T_{r1} \cap T_{r2} \neq \emptyset$ , iff:

1.  $Disjoint( Tri, tri )$ ;
2. Not ( Contain ( Tri, tri ) or Contain ( tri, Tri ) );

图 5 为两个简单四边形区域 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$  相离的例子. 将两多边形区域三角化后得到逆时针有向三角形集合  $TTri$  和  $Ttri$ , 由  $Tri_1$  开始判断: 是否存在三角形  $Tri \in TTri$  和  $tri \in Ttri$  中任意三角形不相离. 经判断  $Tri_1$  与  $tri_1, tri_2, Tri_2$  与  $tri_1, tri_2$  均相离, 满足定义 6 中对于  $Disjoint(Region\ r_1, Region\ r_2)$  的要求, 得到 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$  的拓扑关系: Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  相离.

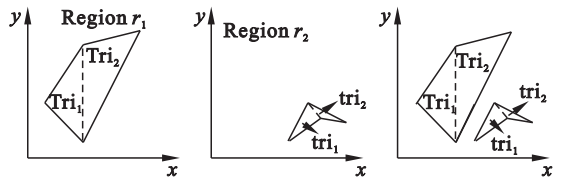


图 5  $Disjoint(Region\ r_1, Region\ r_2)$  示例  
Fig. 5 A sample of  $Disjoint(Region\ r_1, Region\ r_2)$

**定义 7** 对于两个简单多边形形状的时空区域 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$ , 在其共有时间区间内, Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  无重叠一致部分, 且存在其中一个多边形的顶点与另一个多边形相接, 则 Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  相接, 记作  $Meet(Region\ r_1, Region\ r_2)$ :

For Region  $r_1$  and Region  $r_2$ , the topological relation is  $Meet(Region\ r_1, Region\ r_2)$  when  $T_{r1} \cap T_{r2} \neq \emptyset$ , iff:

1. Not ( Equal ( Region  $r_1$ , Region  $r_2$  ) or contain ( Region  $r_1$ , Region  $r_2$  ) or contain ( Region  $r_2$ , Region  $r_1$  ) or overlap ( Region  $r_1$ , Region  $r_2$  ) );
2.  $\exists M_i(x_i, y_i) \in Region\ r_1, meet( M_i, Region\ r_2 )$  or  $\exists N_j(x_j, y_j) \in Region\ r_2, meet( N_j, Region\ r_1 )$ ;

图 6 为一个简单六边形区域 Region  $r_1$  与一个简单六边形区域 Region  $r_2$  相接的例子. 首先判断两区域是否相等或部分覆盖、是否存在包含与

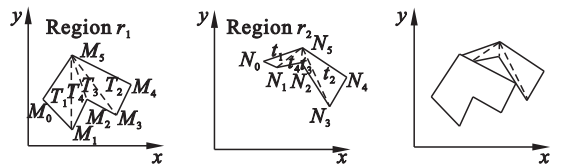


图 6  $Meet(Region\ r_1, Region\ r_2)$  示例  
Fig. 6 A sample of  $Meet(Region\ r_1, Region\ r_2)$



被包含关系,经判断不存在上述关系,则由  $M_0$  开始判断:是否与 Region  $r_2$  中任一三角形相接;继而由  $N_0$  开始判断:是否与 Region  $r_1$  中任一三角形相接.经判断,其中  $N_0, N_1$  与  $Tri_2$  相接,  $M_4$  与  $tri_3$  相接,满足定义 7 中对于 Meet (Region  $r_1$ , Region  $r_2$ ) 的要求,得到 Region  $r_1$  和 Region  $r_2$  的拓扑关系:Region  $r_1$  与 Region  $r_2$  相接.

### 3 结 论

本文采用逆时针有向简单多边形近似表示实际空间对象,较以往采用最小外包矩形表示具有更高的准确度.同时采用基于逆时针有向三角形的时空数据表示和操作方法,提出了确定性时空区域空间拓扑关系的判定方法,并给出了相关具体示例.该方法有效地实现了各种复杂空间操作,避免了直接基于边界坐标计算各种空间复杂操作的值时对效率的影响.

#### 参考文献:

[ 1 ] 吴长彬, 闫国年. 空间拓扑关系若干问题研究现状的评析 [ J ]. 地球信息科学学报, 2010, 12 ( 4 ) : 524 - 531.  
( Wu Chang-bin, Lyu Guo-nian. Spatial topological relationships: an overview and analysis [ J ]. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12 ( 4 ) : 524 - 531. )

[ 2 ] 张驰伟. 空间拓扑查询 [ D ]. 长沙: 中南大学, 2007.  
( Zhang Chi-wei. Spatial topological query [ D ]. Changsha: Central South University, 2007. )

[ 3 ] Chaudhuri D, Samal A. A simple method for fitting of bounding rectangle to closed regions [ J ]. *Pattern Recognition*, 2007, 40 ( 7 ) : 1981 - 1989.

[ 4 ] Lin P L, Tan W H. An efficient method for the retrieval of objects by topological relations in spatial database systems [ J ]. *Information Processing & Management*, 2003, 39 ( 4 ) : 543 - 559.

[ 5 ] Brown D G, Riolo R, Robinson D T. Spatial process and data models: toward integration of agent-based models and GIS [ J ]. *Journal of Geographical Systems*, 2005, 7 ( 1 ) : 25 - 47.

[ 6 ] Tsai C, Liu C. A triangle neighbors approach to intrusion detection [ J ]. *Pattern Recognition*, 2010, 43 ( 1 ) : 222 - 229.

[ 7 ] Claramunt C, Jiang B. An integrated representation of spatial and temporal relationships between evolving regions [ J ]. *Journal of Geographical Systems*, 2001, 3 ( 4 ) : 411 - 428.

[ 8 ] 陈金林, 刘谢进, 李宁. 点与简单多边形位置关系判别新算法 [ J ]. 淮南师范学院学报, 2012, 14 ( 5 ) : 120 - 122.  
( Chen Jin-lin, Liu Xie-jin, Li Ning. New algorithm for determining position relation between simple polygon and point [ J ]. *Journal of Huainan Teachers College*, 2012, 14 ( 5 ) : 120 - 122. )

[ 9 ] Erwig M, Schneider M. Spatio-temporal predicates [ J ]. *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering*, 2002, 14 ( 4 ) : 881 - 901.

[ 10 ] Pelekis N, Theodoulidis B, Kopanakis I. Literature review of spatio-temporal database models [ J ]. *The Knowledge Engineering Review*, 2004, 19 ( 3 ) : 235 - 274.