

# 空间查询算子的栅格算法与实现

刘艳<sup>1</sup>, 董慧<sup>2</sup>

(1. 山东胜利油田滨南采油厂, 山东 滨州 256606;

2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190)

**摘要:**地理信息获得了越来越广泛与深入的应用。空间分析是地理信息系统平台最核心的计算之一。矢量方法是面向物体的描述, 物体间的几何关系隐含, 关系判断需要基于计算几何算法定位、分析和检索; 时间与空间复杂度较高。为避免其缺点, 提出了基于栅格的空间查询算子算法的实现框架。此算法基于亚像素精度, 可以较准确地记录边界栅格的覆盖面积, 通过判断两个图层相应栅格的覆盖面积, 即可得出空间关系。此方法的正确率大大高于四色栅格签名(4CRS)。同时, 栅格索引中保存了要素属性信息等, 可以为空间查询算子判断提供更有用的结果信息。

**关键词:**空间查询算子; 栅格化方法; 4CRS; 亚像素精度

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)06-0047-04

## Implementation of Spatial Operators Based on Rasterization Approach Algorithm

LIU Yan<sup>1</sup>, DONG Hui<sup>2</sup>

(1. Binnan Production Plant of Shengli Oil Field, China Petroleum & Chemical, Binzhou 256606, China;

2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** Geographic information service has gained wider and more advanced application in recent years. The computational geometry algorithm approach to spatial operators, which is one essential feature in GIS, has to utilize spatial access, analysis and query methods to figure out the spatial relation, which is hidden in feature geometry representation, between features. To avoid the disadvantages of computational geometry algorithm approach, propose one improved method, combined with the rendering engine, which can enhance the filter accuracy and avoid drawbacks of four color raster signature (4CRS). This proposal can record coverage area of border grid cells accurately based on subpixel accuracy, so it can determine whether two polygons overlap through judging coverage area of the corresponding grid cells. As side effects, the rendering engine can preserve feature attribute information (polygon IDs etc.) in the cell structure which offers more useful hints for spatial relation judgment.

**Key words:** spatial operators; rasterization; 4CRS; subpixel accuracy

## 0 引言

随着 GIS 自身的发展和经济社会的信息化, GIS 开始融入信息技术的主流。由于 GIS 技术能较好地解决基于时空框架的数据建模问题, 填补了传统信息技术在这方面的空白, 逐步成为信息技术的核心支撑技术<sup>[1]</sup>。

空间查询算子是比较两个空间对象并返回一个布尔变量值作为结果, 它表明了存在于两个空间对象之间特殊的关系, 如: 是否相交、是否相互包含等。空间

分析是 GIS 的核心, 是 GIS 区别于一般的信息系统、CAD(计算机辅助设计)或者电子地图系统的主要标志之一<sup>[2]</sup>。

OGC(Open Geospatial Consortium, 开放地理信息联盟)的 Web 要素服务(Web Feature Service)规范中的空间过滤器是通过空间查询算子方式获取要素数据的有力方式, 规范中提出了 Disjoint/ Intersect/ Equals/ Within/ Contains/ Overlaps/ BBOX 等多种空间查询算子过滤器。基于 Internet 的 GIS 的体系结构决定了大量的业务逻辑集中在服务器端。满足众多用户(包括 Web 服务客户端)的访问并保证服务质量, 给后端服务器的性能、可扩展性提出了更高的要求<sup>[3-5]</sup>。如何在 Web 上提供空间查询算子的功能, 在学术研究与工程实践上, 都具有重要的意义, 能促进 GIS 应用的 Web 迁移并促进 GIS 应用与其他应用的融合。随着

收稿日期: 2010-10-29; 修回日期: 2011-03-03

基金项目: 国家 863 计划项目(2009AA12Z220, 2009AA12Z226); 中国科学院研究生科技创新资助专项(科发人教函字[2008]359号)

作者简介: 刘艳(1973-), 女, 山东人, 工程师, 研究方向为大型信息系统开发方法。

网络地图服务的流行,在网络地图服务器上提供空间查询算子功能成为需要解决的问题<sup>[6]</sup>。

一种常见的空间查询算子判断方法是利用计算几何来实现。常见的做法是针对两个多边形进行,在大量的多边形计算面前无能为力。如果采用“暴力”算法,通过反复调用两个多边形空间查询算子的算法来完成,则算法实现计算复杂度高,实用性差。如基于出入点判别的空间查询算子实现方法,如何确定交点的进点、出点属性在实际的图形中会遇到众多特殊情况。特别是在发生了线段与线段交在端点、线段与线段重叠的情况下,如何区分交点的出点、入点情况非常复杂导致效率降低。这类做法中采用的线段求交算法一般是采用平面扫描算法,优点是结果比较精确,缺点是要进行频繁的坐标排序、角度计算等操作,计算量大<sup>[7,8]</sup>。

为解决上述问题,文中提供了一种基于栅格方法的空间查询算子判断方法及其系统,能够减少计算量,提高计算效率。四色栅格签名(four color raster signature—4CRS)<sup>[9,10]</sup>可以实现空间关系的判断,但是4CRS结果不够精确,只能以四种栅格属性区分栅格面积—空、满、强(一半以上)、弱(一半以下),只能判断出强\*强是确定相交的,而强\*弱、弱\*强、弱\*弱则都是不确定的结果,还需要精确计算。在计算近似面积、置信度区间等都是用数学期望和概率等公式来估计,而真实数据可能并不符合这种规律。

文中使用的基于亚像素精度的方法能准确记录边界格子的面积,因此可以根据两个对象占用的单元格的面积来确定是否相交。如同一个位置的栅格,第一个图层占有此栅格为49%,第二个图层为52%,相加>100%,所以确定相交,而4CRS则不能确定。而且,4CRS只能实现两个多边形的判断,而不能处理多个多边形的图层。而文中采用的方法不但能精确记录栅格面积百分比,提高结果的准确性,并能把百分比和图层属性信息等保存下来,给用户返回更多有效的结果信息(结果多边形的ID号等)。

## 1 算法框架

整个算法分为两步:栅格索引生成和基于索引的栅格空间查询算子实现。

整个栅格索引生成过程:首先,对地理要素的矢量点进行坐标转换,便于利用亚像素精度进行后续的计算。然后,进行轮廓扫描和绘制控制器计算填充单元跨段,在此过程中计算出图形轮廓处的该图形占栅格

单元的面积的百分比,该百分比称为栅格单元对应于该图形的实际占用面积。最后,将要素ID信息和实际占用面积信息存入以像素为索引的结构里。

经过底图索引生成这个步骤之后,即完成了栅格化过程,以栅格矩阵形式存储,其中坐标值为索引,所属的多边形ID号和所占的栅格面积百分比等为图层信息,以文件形式保存下来。这样,两个图层的空间查询算子判断的时候,只需要找到同一栅格,对其面积等进行判断,从而获得符合条件的多边形ID号返回结果。流程图见图1。

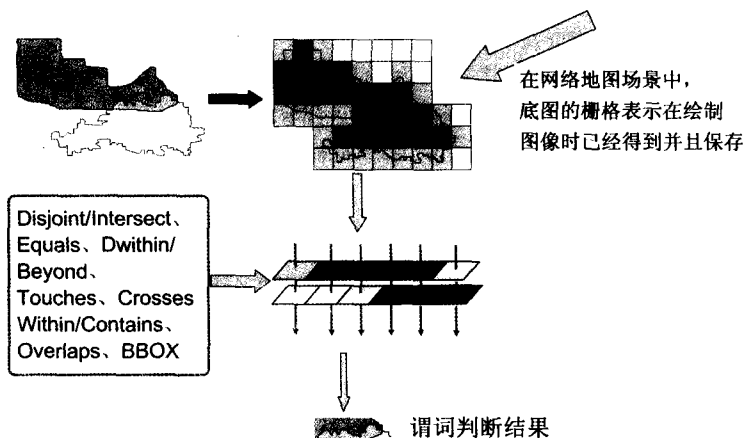


图1 流程图

## 2 基于栅格方法的空间查询算子实现

### 2.1 栅格索引生成

实现图片像素与矢量点关联,具体指在绘制地理要素的图形的同时,生成一张与该图形匹配的栅格底图,该栅格底图就是与该图形对应的索引图。栅格底图的每个栅格单元都对应了该地理要素的属性信息内容,例如地理要素的要素ID号、栅格单元覆盖面积百分比等,以要素ID号为栅格单元的要素索引。因此完全不存在搜索存在重叠区域这种情况。可作为索引快速提取要素信息,也是实现下述空间查询算子的基础。生成栅格索引需要以下步骤:

(1)输入矢量方式表示的图层中地理要素的图形的矢量点,按显示屏幕的分辨率对地理要素的矢量点坐标进行坐标转换,按显示屏幕的像素点进行栅格划分,栅格单元以坐标值为位置索引,栅格单元以对其压盖的图形的要素ID为要素索引。

文中,将double类型的矢量点坐标都乘以256,相当于将该坐标的二进制表示左移8位。这种坐标转换的优点是考虑了小数部分对像素的栅格单元权值(cover)的影响,便于利用亚像素精度进行后续的计算。

(2)对图层中的图形进行轮廓扫描,对于每个图

形,按如下公式计算图形的轮廓线经过的每一栅格单元的权值和覆盖面积<sup>[11]</sup>。

$$\text{cover} = fy2 - fy1 \quad (1)$$

$$\text{area} = (fx2 + fx1) \times \text{cover} \quad (2)$$

其中,  $(fx1, fy1)$  为经过该栅格单元的轮廓的线段起始点的小数坐标部分,  $(fx2, fy2)$  为经过该栅格单元的轮廓的线段终止点的小数坐标部分,  $\text{cover}$  为权值,  $\text{area}$  为面积。  $\text{area}$  和  $\text{cover}$  示意图见图 2。

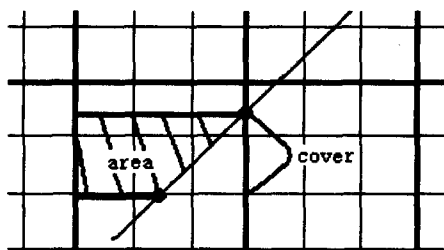


图2 area 和 cover 示意图

运用了亚像素精度 (subpixel accuracy) 的布兰森汉姆 (Bresenham)<sup>[12]</sup> 生成直线算法进行轮廓扫描, Bresenham 生成直线算法是一种基于误差判别式来生成直线的方法。与传统 Bresenham 所不同的是,该算法利用误差判别选择像素的过程是基于亚像素的,把一个像素分成  $N \times N$  个小像素,例如,将单位栅格平均分成了  $256 \times 256$  个子像素。

(3) 对于每个图形,绘制控制器遍历图形的轮廓经过的栅格单元,依据栅格单元的覆盖面积判断所述栅格单元是否被图形完全填充,对完全填充的栅格单元和未完全填充的栅格单元分别进行标记,将轮廓内的栅格单元进行跨度填充,将这些栅格单元标记为完全填充。

(4) 将完全填充的栅格单元的图形在栅格单元的实际占用面积的比值设置为 1; 对于未完全填充的栅格单元,根据所述栅格单元的权值和覆盖面积计算所述栅格单元的图形在栅格单元的实际占用面积的比值。

轮廓扫描的时候保存的栅格单元的  $\text{area}$  并非有效面积,由图 2 可以看出,  $\text{area}$  是由轮廓跟栅格单元的左侧围成的面积,而当轮廓的走向是顺时针时,真正的面积应该是栅格单元的面积减去  $\text{area}$  得到的剩余一部分的面积,所以真正的轮廓的栅格单元实际被图形包含的面积需要在绘制的时候才能确定。轮廓走向由  $\text{cover}$  记录,  $\text{cover}$  正负值表示不同的轮廓走向,顺时针或逆时针,所以真正需要计算的属于图形内部的面积是需要这两个变量共同计算得出,通过  $\text{area}$  和  $\text{cover}$  共同计算出  $\alpha$ 。

$$\alpha = \text{cover} - \frac{\text{area}}{256 \times 256} = \text{cover} \left( 1 - \frac{fx1 + fx2}{256 + 256} \right) \quad (3)$$

这个值越大,则代表图形压盖的格子百分比越多。

经过以上步骤,能更好地利用已有的矢量数据栅格化近似,提高处理速度,也就是完成了栅格化过程,以栅格矩阵形式存储,其中坐标值为位置索引,属性信息等为图层信息,以文件形式保存下来<sup>[13]</sup>。

## 2.2 基于索引的栅格空间查询算子实现

对于两个待比较的地理要素的图层,两个图层的栅格底图中坐标相同的栅格单元相互对应,将相对应的两个栅格单元的实际占用面积的信息进行比较,得出所述两个图层的空间查询算子判断结果。

以 Intersect 为例,则置信度为:

AffinityDegree =

$$\begin{cases} \left( \sum_{j=1}^n \left( \prod_{i=1}^v u_{ij} \right) \right) \times \text{cellArea} / n & \text{other} \\ 1 & \sum_{i=1}^v u_i \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

( $i$  = layer no.,  $j$  = undetermined cell no.,  $u$  = percentage of coverage area,  $n$  = count)

在两个图层中轮廓的交作为新轮廓,在新外包里扫描线遍历。如果外包不相交,则直接返回结果 0。如果某个栅格单元在两个图层中都有被图形压盖,则进行如下对比:取出两个图层中此栅格单元对应的信息,设  $\text{cellArea1}$ 、 $\text{id1}$  为 A 图层的栅格单元的实际占用面积的比值和当前对应图形的要素 ID 号;  $\text{cellArea2}$ 、 $\text{id2}$  为 B 图层的栅格单元的实际占用面积的比值和当前图形的要素 ID 号; 如果  $\text{cellArea1} + \text{cellArea2} \geq 100\%$ , 说明两个图层在此栅格中相交了,将相交对 ( $\text{id1}$  和  $\text{id2}$ ) 存入结果集。如果所有的栅格单元都不满足  $\text{cellArea1} + \text{cellArea2} \geq 100\%$ , 则将面积相交的期望值  $\text{cellArea1} \times \text{cellArea2}$  依次加到  $\text{affinityValue}$  值里,  $\text{count}$  记录共加入了多少次栅格。最终两个图层可能相交的平均期望值即为  $\text{affinityValue} / \text{count}$ , 这个值是个百分比,如果得出 60%, 则说明两个图层有 60% 的可能性相交。

判断两个图层间是否有包含关系 (Contain) 时,对于包含图层中的每个图形,比较所述图形和被包含图层中每个图形在同一栅格单元的实际占用面积比值,将被包含图层中实际占用面积的比值都不大于所述图形的实际占用面积比值的图形为所述图形的包含图形。对于包含图层的每个图形,以被包含图层中的所有图形为所述图形的比较图形,并组成结果集。

设两个图层分别为 A 和 B, 判断 A 是否包含 B 的多边形,如果是,返回 B 中被 A 包含的多边形信息。如图 3 中, A 图层为粗框的多边形, B 图层包含 1、2、3 和 4 号多边形。

分为三个步骤:

(1) 先用以上方法获得在 A 图层之内的所有 B 图

层的结果集 result1 (2, 3 和 4), 即 B 图层的多边形的每个格子的面积均小于或者等于 A 图层的格子面积 (1 能排除, 因为在 1 和多边形边相交部分 1 的格子面积大于图层 A 的);

(2) 取出 result1 的所有多边形的外包与 A 图层的外包进行对比, 如果超出则排除掉, 剩余的结果集加到 result2 中 (4 能排除掉, 剩余 2 和 3);

(3) 把 result2 的所有多边形分别与 A 图层多边形进行对比, 即把外包当作一个多边形来跟 A 的图层多边形对比格子面积, 如果均小于或者等于 A 的, 则加入到 result3 中 (3 排除掉, 剩余 2); Result3 则为最终结果集, 即落在 A 图层多边形内的所有 B 图层的多边形, 即 A 图层包含 B 图层中的 2 号多边形。

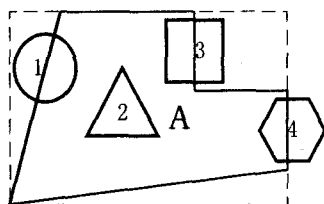


图 3 contain 算子的示意图

### 3 算法分析与实验对比

由于空和满, 文中的做法和 4CRS 一致, 均能记录空为 0, 满为 100%。所以表 1 只针对 4CRS 中的强和弱两种类型对实现的十一种空间查询算子进行对比。可以发现, 4CRS 能确定的情况, 文中的做法也都可以

确定。同时还能确定一些 4CRS 不能确定的情况。

实验运行环境为 IBM T43 笔记本电脑, 处理器为 Intel Pentium M 760 (主频 2.0GHz, 二级缓存 2Mbytes), 内存为 2G (DDR2), 硬盘转速为 5400r. p. m, 操作系统版本为 Windows XP (service pack 3)。测试数据为中国地图 (大小 20.2M, 3707 个要素)。第二个图层是由不同数量级组成的随机数据。对文中做法和 Oracle 的针对 Intersect 算子的结果集进行对比, 从表 2 可以得出, 文中做法的正确率能达到 99.8%。

表 2 Intersect 算子的准确率对比

随机测试数据	1000	2000	4000	6000	8000	10000
结果集 (稀疏数据)	本方法	1159	2306	4608	6935	9276
	Oracle	1143	2319	4617	6924	9260
结果集 (密集数据)	本方法	2579	4675	10364	15494	19152
	Oracle	2594	4629	10421	15445	19173

### 4 结束语

文中通过将地理要素的属性信息与栅格像素关联, 面向网络地图服务, 避免了传统计算几何算法复杂度高的缺点, 可以提供更好的性能, 帮助服务器支持更多的并发用户数量。栅格图像不仅是矢量数据的可视化表达, 更可视是矢量数据的栅格化近似, 这种近似精度远高于最小外包矩形等表达形式, 可以作为空间查询算子的实现基础。

未来的工作中, 将做更多的测试, 并实现多边形与线、多边形与点等的空间查询算子判断。并且更深入地研究如何动态地最优地决定栅格单元的大小。

表 1 空间查询算子对比

算子与关系	对比内容	弱 * 弱	弱 * 强	强 * 弱	强 * 强
Disjoint/ Intersect/ Overlap	4CRS	待定	待定	待定	确定
	文中做法	待定	如果 cellArea1 + cellArea2 ≥ 1, 则确定	如果 cellArea1 + cellArea2 ≥ 1, 则确定	确定
Equal	4CRS	待定	确定	确定	待定
	文中做法	如果 cellArea1 ≠ cellArea2, 则确定	确定	确定	如果 cellArea1 ≠ cellArea2, 则确定
DWithin/ Beyond	4CRS	待定	待定	待定	确定
	文中做法	待定	如果 cellArea1 + cellArea2 ≥ 1, 则确定	如果 cellArea1 + cellArea2 ≥ 1, 则确定	确定
Touch	4CRS	待定	待定	待定	确定
	文中做法	待定	如果 cellArea1 + cellArea2 > 1, 则确定	如果 cellArea1 + cellArea2 > 1, 则确定	确定
Within	4CRS	待定	待定	确定	待定
	文中做法	如果 cellArea1 > cellArea2, 则确定	待定	确定	如果 cellArea1 > cellArea2, 则确定
Contain	4CRS	待定	确定	待定	待定
	文中做法	如果 cellArea1 < cellArea2, 则确定	确定	待定	如果 cellArea1 < cellArea2, 则确定

#### 参考文献:

[1] Longley P, Goodchild M F, Maguire D, et al. Geographical

Information Systems: Principles, Techniques, Management,

(下转第 54 页)

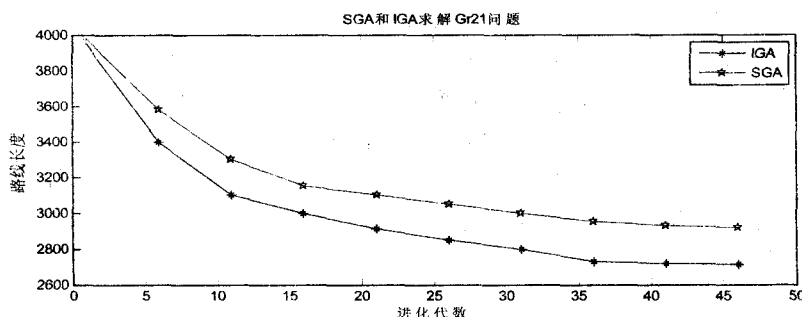


图 4 SGA 和 IGA 求解 Gr21 实例的进化图

无论在全局搜索能力还是收敛速度均好于简单遗传算法。

#### 4 结束语

文中基于自适应调整方法和遗传参数自适应调整方法增强了种群的多样性,引入了启发式交叉算子和二分局部搜索技术来提高种群的收敛速度,克服了简单遗传算法和单亲进化遗传算法种群多样性不佳,易陷入“早熟”现象的缺点,最后文中利用计算机仿真了国际标准数据库中的经典算例,证明了改进算法的有效性。

今后的工作是需要继续探索新的方法来进一步提高算法的性能,并经过实验来验证种群多样性的提高方法。

#### 参考文献:

- [1] 冯春松,王军宇,周松盛,等. TSP 问题的一种改进遗传算法[J]. 武汉理工大学学报,2006(4):116-117.
- [2] 宋海州. 启发式交叉求解 TSP 问题的混合遗传算法[J]. 系统工程学报,2006(12):625-629.

(上接第 50 页)

- and Applications[M]. 2nd ed. New York: Wiley,2005:97-99.
- [2] 赵亚萍. 基于 Visual C#. NET 的空间缓冲区分析开发[J]. 计算机技术与发展,2009,19(12):29-30.
- [3] 宋关福,钟耳顺,王尔琪. WebGIS——基于 Internet 的地理信息系统[J]. 中国图像图形学报,1998,3(3):251-254.
- [4] 袁伟,洪政,魏冬梅. 基于 B/S 模式的 WebGIS 设计与实现[J]. 计算机技术与发展,2008,18(8):8-9.
- [5] 刘立辉. 电子地图应用系统数据分离框架设计[J]. 计算机技术与发展,2010,20(8):203-204.
- [6] 李晓军. GIS 空间分析方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [7] 胡圣武,王宏涛. 空间关系的研究进展[J]. 测绘科学,2007,32(1):153-156.
- [8] Azevedo L G, Zimbrão G, de Souza J M. Approximate Query Processing in Spatial Databases Using Raster Signatures[C]//

- [3] Bakhquya M, Gaber J. An Immune Inspired - based Optimization Algorithm: Application to the Traveling Salesman Problem[J]. Advanced Modeling and Optimization,2007,9:89-95.
- [4] 马欣,朱双东,杨斐. 旅行商问题的一种改进遗传算法[J]. 计算机仿真,2003,20(4):36-37.
- [5] 吴志远,邵惠鹤,吴新余. 一种新的自适应遗传算法及其在多峰值函数优化中的应用[J]. 控制理论和应用,1999,16(1):127-129.
- [6] Rudolph G. Convergence Analysis of Canonical Genetic Algorithms[J]. IEEE Transactions on Neural Networks,1994,5(1):96-101.
- [7] 韩生廉,周文愚,何华. 遗传算法进化状态的测度及非随机性遗传操作方法[J]. 信息与控制,2002(3):223-226.
- [8] 曹道友,程家兴. 基于改进的选择算子和交叉算子的遗传算法[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):45-47.
- [9] Tao Z. TSP Problem Solution Based on Improved Genetic Algorithm[C]//Proceedings of the 2008 Fourth International Conference on Natural Computation. Washington, DC: IEEE Computer Society,2008:686-690.
- [10] 李航,寇纪淞,李敏强. 参数搜索空间规模对遗传算法稳定性的影响[J]. 系统工程学报,2007(4):162-169.
- [11] Burke K, Kendall G S. A survey and analysis of diversity measures in genetic programming[C]//Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference. [s. l.]: [s. n.],2002:716-723.
- [12] 汪松泉,程家兴. 遗传算法和模拟退火算法求解 TSP 的性能分析[J]. 计算机技术与发展,2009,19(11):98-100.

- VIII Brazilian Symposium on GeoInformatics. Campos do Jordão, Brazil:[s. n.],2006:3-17.
- [9] Brinkhoff T, Kriegel H P, Schneider R, et al. Multi-step Processing of Spatial Joins[C]//Proceedings of the 1994 ACM-SIGMOD Conference. Minneapolis, USA:[s. n.],1994.
- [10] Foley J D, van Dam A, Feiner S K, et al. Computer Graphics: Principles and Practice in C[M]. 2nd ed. [s. l.]: Addison-Wesley Professional,1996:67-72.
- [11] Shemanarev M. Anti-Grain Geometry [EB/OL]. 2002. <http://www.antigrain.com/doc/index.html>.
- [12] Bresenham J E. Algorithms for computer control of a digital plotter[J]. IBM Systems Journal,1965,4(1):25-30.
- [13] 董慧,程振林,方金云,等. 一种基于栅格方法的空间谓词判断方法及其系统[C]//2010 中国地理信息产业论坛暨协会年会. 出版地不详:中国地理信息系统协会,2010.