

基于单调性图形综合的面状要素名称注记定位线确定

罗广祥, 马智民, 陈晓明, 刘红霞, 徐 斌, 李安芹

(长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 针对数字地图制图环境下采用平行线法确定面状要素名称注记定位线的局限性, 在分析其产生原因的基础上, 提出化简多边形图形的一种新模型——歧点删除法原型, 并结合面状要素名称注记配置规则和软多边形与硬多边形图形特征, 对歧点删除法原型做出了新的改进, 提出了用平行线法确定软多边形与硬多边形名称注记定位线时, 化简多边形的两种改进性歧点删除法, 分别命名为面向软多边形名称注记配置化简图形歧点删除法与面向硬多边形名称注记配置化简图形歧点删除法, 其中最为关键的思想为对多边形从3个旋转方位连续实施4次图形综合, 并提出第一旋转角、第二旋转角两个概念, 打破了平行线法的局限性, 使所获取的注记定位线与地图制图专业人员人工确定结果相一致, 达到了用简单方法解决自动化地图注记配置难题的效果。大量实验结果及理论分析表明, 该方法数学逻辑严密、实施简单, 对数字地图制图环境下“地图注记自动配置”有理论与技术指导意义。

[关键词] 单调多边形; 软多边形; 硬多边形; 歧点; 地图注记配置

[中图分类号] P28 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0075-06

[作者简介] 罗广祥(1964—), 男, 陕西杨凌人, 长安大学副教授, 博士, 现从事地理信息系统、数字化地图制图基础理论与应用开发研究工作。

1 问题提出

自20世纪60年代, 地图制图界就开始研究自动化注记配置, 时至今日, 虽然时间已跨越了近半个世纪, 但是这一古老问题仍然是相关领域的难题与热门研究议题。纵观国内外自动化注记配置研究历史、现状, 尽管其中涉及人工智能、现代数学优化理论、计算几何、计算机编程新突破、数据库理论新进展等高深理论、前沿技术与地图制图新理论与新技术深层次、多角度交叉渗透, 取得了可喜的进展, 但结果在许多方面离制图专家所能达到的程度还有较大距离, 其中许多方面还困惑相关领域学者们, 如面状要素名称注记定位线的确定就是其中一例。按照注记配置规则, 面状要素名称注记应当沿着多边形主骨架线配置, 因此, 提出一种行之有效

的模型与方法, 使得采用它确定的主骨架线与制图专家人工确定结果具有高度一致性, 乃是最为关键、最为基础性的问题, 但是出于地图上面状要素图形极端不规则性, 主骨架线(行文后续沿用注记定位线或者面状要素注记定位线)的确定一直没有很好得到解决。

1.1 平行线确定面状要素注记定位线原理与步骤

1.1.1 平行线方向选择

确定面状要素注记定位线一般采用水平或者垂直平行线束, 对于一个具体面状要素究竟采用何者, 其原则为:

以 ΔX 表示多边形顶点最大 X 坐标与最小 X 坐标之差, 以 ΔY 表示多边形顶点最大 Y 坐标与最小 Y 坐标之差, 当 $\Delta X \geq \Delta Y$ 时, 采用垂直方向平行线束; 反之, 采用水平方向平行线束(图1)。

1.1.2 注记定位线确定

按一定间距(如一个注记字符宽度)求既定平行线与多边形相交线中点, 并将所求中点按顺序连接起来即可, 如图1a。

[收稿日期] 2003-04-22

[基金项目] 国土资源部九五重点攻关项目(960600104)

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

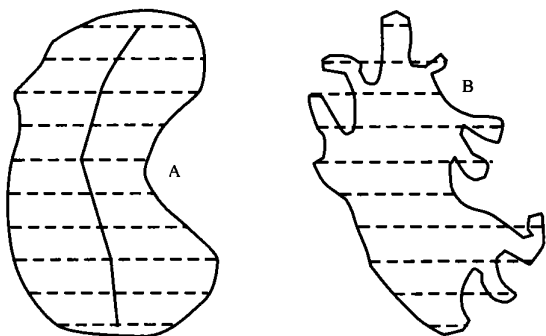


图 1 平行线法原理

Fig. 1 Principle of the parallel method

1.2 平行线法局限性及传统克服方法

平行线法原理简单, 实施容易, 但有一个前提条件, 必须保证每条平行线与多边形仅有两个交点, 对于该条件地图上的面状要素一般很难以满足, 如图 1b。过去对此解决方法为: 当某条平行线与多边形交点多于两个时, 对其不加考虑, 也就是仅采用与多边形只有两个交点的平行线确定注记定位线。初看起来, 这种策略好像克服了平行线法局限性, 但实则不然, 原因在于常常使得所确定的注记定位线严重偏离多边形视觉中心线, 这说明其没有对平行线法局限性从真正意义上突破。笔者认为, 多边形沿施用平行线相垂直方向不单调是平行线法失效性的根本原因所在, 提出对多边形沿着与施用平行线相垂直方向进行单调性图形综合, 使平行线法得到彻底完善。

2 单调多边形与非单调性多边形

多边形单调与非单调性是计算几何中的重要概念, 要明确单调多边形与非单调性多边形必须先弄清单调折线点序列与非单调折线点序列。

2.1 单调折线点序列与非单调折线点序列

把二维欧氏平面上一条折线 L 上的点, 从一个端点到另一个端点按次序排列起来定义为折线点序列。若存在一条直线 l , 使得折线 L 上点投影到 l 上时, 原来点先后顺序不变, 定义点序列 L 为以 l 为投影直线的单调折线点序列; 否则, 为非单调折线点序列 (图 2)。在实际应用中, 经常分析折线点序列以 X 轴或者 Y 轴为投影直线的单调性, 单调折线点序列的数学描述及几何特征:

若折线点序列是以 X 轴为投影直线的单调折线, 其数学意义为: $(X_i - X_{i-1})(X_{i+1} - X_i) > 0$ (i

$= 2, 3, \dots, n-1$)。几何特征为: 在折线 X 坐标范围内垂直于 X 轴的直线与其只有一个交点; 同样, 不难给出以 Y 轴为投影直线单调折线的数学意义与几何特征。

2.2 单调多边形与非单调多边形

单调与非单调多边形的定义:

将一个多边形边界划分为两条折线, 且它们都是以某条直线为投影方向的单调折线, 称作多边形是单调多边形; 否则, 多边形不是单调多边形。

单调与非单调多边形的性质:

若多边形是以 L 为投影直线的单调多边形, 则与 L 垂直的直线若与多边形相交时, 交点个数只有两个交点; 否则, 与 L 垂直的直线若与多边形相交时, 交点个数存在多于两个的情况 (图 2)。

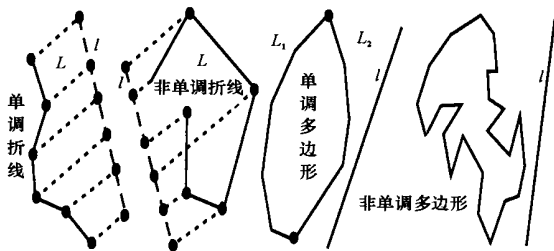


图 2 折线与多边形单调性

Fig. 2 Monotony of polyline and polygon

3 非单调多边形的单调化图形化简

在计算几何或者其他具体问题中, 若涉及问题解决需将非单调多边形化简为单调多边形, 往往是以 X 轴或者 Y 轴为投影直线, 其中涉及 3 个问题, 一是确定单调性分析投影坐标轴; 二是在多边形上确定两个分界顶点; 三是确定单调化图形综合模型。

3.1 单调性分析投影坐标轴确定

面向面状要素名称注记配置时, 多边形单调化图形综合投影坐标轴确定与用平行法确定施用平行线方向完全相同, 即当 $\Delta X \geq \Delta Y$ 时, 投影坐标轴为 X 轴; 当 $\Delta X < \Delta Y$ 时, 投影坐标轴为 Y 轴。

3.2 多边形上两分界顶点的确定

如果投影坐标轴为 X 轴, 以多边形具有最小及最大 X 坐标顶点作为分界点, 并称具有最小 X 坐标顶点为左分界点, 具有最大 X 坐标顶点为右分界点。若具有最小 X 坐标顶点不止 1 个时, 取其中 Y 坐标最小者为左分界点; 若具有最大 X 坐标

顶点不止 1 个时, 取其中 Y 坐标最大者作为右分界点。

如果投影方向为 Y 轴, 以具有最小及最大 Y 坐标顶点作为分界点, 分别称作下分界点与上分界点。若具有最小 Y 坐标顶点不止 1 个时, 取其中 X 坐标最小者作为下分界点; 若具有最大 Y 坐标顶点不止 1 个时, 取其中 X 坐标最大者作为上分界点。

3.3 单调化图形综合模型的确定

沿投影方向单调化综合多边形图形实质是单调化两分界点把多边形分解成的两条折线。

3.3.1 多边形单调化图形综合有关概念定义

定义多边形被分解成的两条折线上与其前序顶点或者后序顶点沿投影坐标轴方向坐标分量构成非单调关系顶点为非单调性顶点, 而定义属多边形凸顶点(顶点多边形内角小于 180°)的非单调性顶点为歧点, 定义属于多边形凹顶点(顶点多边形内角不大于 180°)的非单调性顶点为凹歧点。

理论分析与实验表明, 删除歧点或者凹歧点均可将非单调多边形化简为单调多边形, 但对原多边形产生的影响大不相同。采用第一种方法, 综合后的多边形比原多边形面积小; 采用后者, 综合后的多边形比原多边形面积大(图 3)。根据面状要素名称注记配置规则, 其名称注记应沿定位线配置在多边形之内, 采用删除凹歧点法、平行线法确定的注记定位线可能会出现部分在多边形之外的情况, 这不利于注记配置, 而采用删除歧点, 则不会出现这种现象。

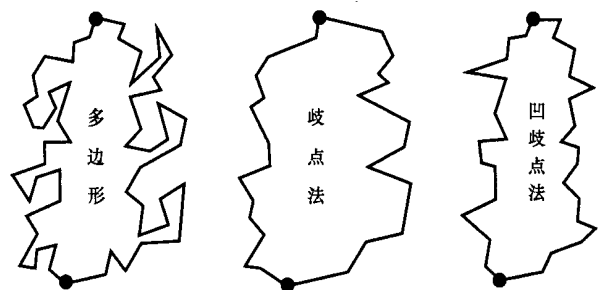


图 3 歧点与凹歧点删除法

Fig 3 Deleting convex or concave vertex of immonotony

3.3.2 歧点判别数学法则

若用 θ_I 表示多边形顶点 I 的内角, 用 (X_{I-1}, Y_{I-1}) 、 (X_I, Y_I) 、 (X_{I+1}, Y_{I+1}) ($I=2, \dots, N-1$) 表示多边形上相邻 3 点坐标, 则顶点 I 是歧点可用下述数学法则判别

$$\theta_I < 180^\circ \quad (Y_I - Y_{I-1}) \cdot (Y_{I+1} - Y_I) \leq 0$$

(X 轴为投影方向),

$$\theta_I < 180^\circ \quad (Y_I - Y_{I-1}) \cdot (Y_{I+1} - Y_I) \leq 0$$

(Y 轴为投影方向)。

3.3.3 删除歧点单调化综合多边形图形的实施

用 Remove-Qidian(Q, L_1, L_2)标识删除歧点沿一个坐标轴方向单调化综合多边形图形, Q 表示多边形坐标串, L_1, L_2 表示两个分界点。算法实施程序为

```
Remove-Qidian( $Q, L_1, L_2$ )
{
 $I=2$ ;
 $N=m$ ; // *  $m$  为多边形顶点个数加 2, 起点为坐标串第 2 点与倒数第 1 点; 终点为坐标串倒数第 2 点与第 1 点 * /
for  $I=2; N-1$ 
{
  if(顶点  $I$  是分界点) Then  $I=I+1$ ;
  else if(顶点  $I$  不是歧点)
    then  $I=I+1$ ;
  Else { 删除顶点  $I$ ;
         $I=I-1$ 
         $N=N-1$  } } End
```

称上述对多边形沿一个坐标轴进行单调化图形综合的模型为歧点删除法原型。

3.4 歧点删除法原型存在问题

歧点删除法原型化简多边形后, 用平行线法研究注记定位线存在两方面问题, 其一分界点部位有小锐角凸顶点, 它们对获取高质量注记定位线构成干扰; 其二多边形上远离分界点的其他部位存在较多锐角凸顶点, 导致注记定位线偏离多边形视角中心线(图 4), 与制图专业人员人工确定结果有较大出入。

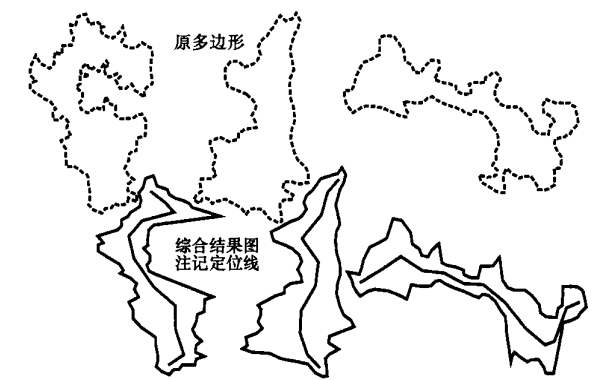


图 4 歧点删除法原型的缺点

Fig. 4 Disadvantages of the prototype of removing QI-DIAN

3.5 歧点删除法原型的改进方法

一类问题产生原因在于歧点删除法内在机理对两分界点不作处理,综合后多边形在分界点及其附近的形态特征对高质量注记定位线获取属病态特征;二类问题产生原因在于歧点删除法仅对多边形沿一个坐标轴方向进行单调化图形综合,综合后多边形上还存在沿着另一个坐标轴方向较多歧点,它们也属影响高质量注记定位线获取的病态特征。这样自然而然可以想到,先对多边形按既定坐标轴方向进行单调化图形综合,再对结果沿着另一个坐标轴进行单调化图形综合,可能会克服上述两方面病态现象。与此相适应,给出主单调化坐标轴与辅助单调化坐标轴两个概念。

主单调化坐标轴为按 3.1 中所确定的单调化坐标轴,而副单调化坐标轴即为与主单调化坐标轴相异的另一坐标轴。研究表明,对多边形沿着主副单调化坐标轴先后进行两次图形综合的结果可能对于有些多边形而言,综合程度相对注记定位线确定显得太大,因此,不具有一般意义(图 5)。

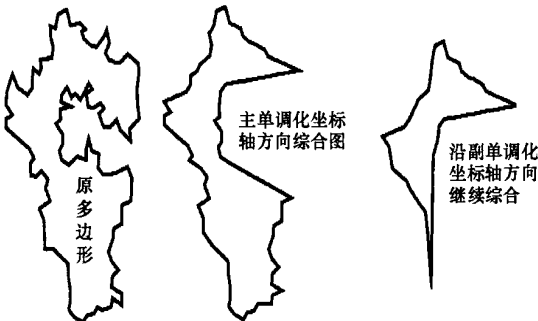


图 5 主副单调化坐标轴法的缺点

Fig 5 Disadvantages of main-vie coordinate axes method

为了克服沿着主单调化坐标轴一个方向进行图形综合结果相对注记定位线确定存在的两方面病态现象,同时克服沿着主副单调化坐标轴两方向先后化简图形,综合程度相对注记定位线确定显得太大,研究表明采用如下改进方法可以达到:

先对多边形沿主单调化坐标轴实施单调化图形综合(称作第一次单调化图形综合),如图 6 中 12, 22, 32;第一综合结果绕形心逆时针旋转 45° (称作第一旋转角,用 θ_1 表示),再沿着主单调化坐标轴实施单调化图形综合(称作第二次单调化图形综合),如图 6 中 13, 23, 33;第二综合结果绕形心顺时针旋转 67.5° (称作第二旋转角,用 θ_2 表示),再沿主单调化坐标轴实施单调化图形综合(称作第三次单调化图形综合),如图 6 中 14, 24, 34;第三综合结

果绕形心逆时针旋转 22.5° (图形复位到原来方位),又沿主单调化坐标轴实施单调化图形综合(称作第四次单调化图形综合),如图 6 中 15, 25, 35。

软多边形在绕形心不旋转与旋转情况下,沿着主单调化坐标轴方向按上述顺序连续实施 4 次单调化图形综合,可克服歧点删除法原型化简多边形确定注记定位线存在的两方面问题,同时又不会对多边形综合程度相对注记定位线确定显得太大,实验表明根据这种模型综合多边形确定的注记定位线与制图人员人工确定结果具有高度一致性,图 6 为实验结果的一部分。

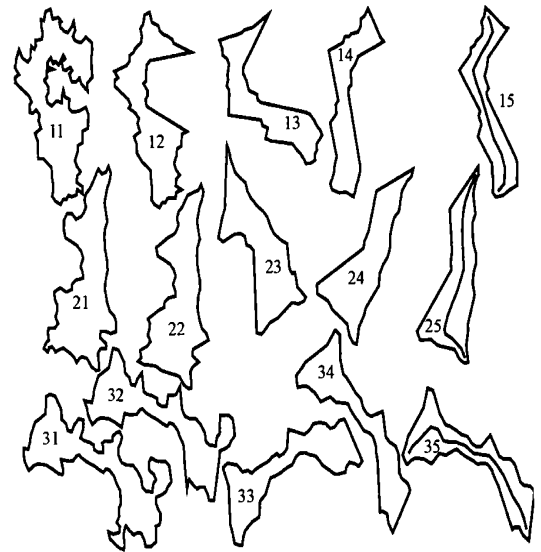


图 6 改进性歧点删除法综合软多边形

Fig. 6 Improved method of removing QF DIAN to generalize soft polygon

4 硬多边形要素注记定位线确定

上述歧点删除法立足于软多边形面状要素,其特点在于支撑图形形态表达顶点数目多,相邻顶点之间距离较小。若将其用于硬多边形面状要素,必须做出结合硬多边形特点的创意性改进,原因在于这类面状要素支撑顶点数目较少,相邻顶点之间距离较大,多边形相邻边相互垂直。歧点删除法用于硬多边形面状要素所做改进及实施要领如下。

4.1 边长主流方向确定

硬多边形尽管有多条边,但从其延伸方向着眼,存在两个主流方向,它们相互垂直,可能也有一些硬多边形确实存在不在两个主流方向的边

长,但它们毕竟在每一个硬多边形中占少数。建立在这些事实上,不难用算法实现寻找硬多边形边长两个主流方向,其具体思路为统计硬多边形直角顶点数目,然后寻找所有直角顶点两条边延伸方向相同的最多直角顶点,它们两条边所在方向为一个硬多边形边长两个主流方向。必须指出,由于数字化数据采集误差的存在,视觉认定的直角顶点,但用实际数据确定结果一般不会为严格直角,这也是传统人工制图与数字化制图差别的一个方面,对于这一问题可通过设置认定两条边相互垂直的阈值范围角不难解决该问题,其余有关硬多边形边长两个主流方向确定更详细情况这里不作赘述,在图 7 的 11, 21 图上,带箭头虚线为边长主流方向。

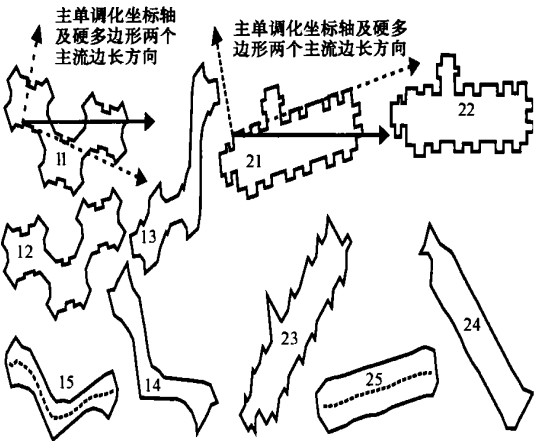


图 7 改进性歧点法综合硬多边形
Fig. 7 Improved method of removing
QF DIAN to generalize hard polygon

4.2 主单调化坐标轴确定

主单调化坐标轴确定和软多边形完全相同,这里不再赘述,图 7 的 11, 21 带箭头实线为主单调化坐标轴方向。

4.3 硬多边形方位角确定

定义硬多边形方位角为其两个主流方向与主单调化坐标轴构成不大于 90° 夹角的最小角度,用 θ 表示,并定义与主单调化坐标轴形成硬多边形方位角主流方向为硬多边形似然延伸方向。现规定如果硬多边形似然延伸方向右偏主单调化坐标轴方向,硬多边形方位角为正;如果硬多边形似然延伸方向左偏主单调化坐标轴方向,硬多边形方位角为负。图 7 中 11, 21, 带箭头虚线之一为硬多边形似然延伸方向。

4.4 硬多边形图形旋转

若按 4.3 定义的硬多边形方位角为正时,把它绕形心逆时针旋转 θ ; 若 θ 为负,把它绕形心顺时针旋转 θ ; 若 θ 为 0, 对其不作旋转。多边形旋转目的在于使似然延伸方向与主单调化坐标轴方向取得一致,图 7 中的 12, 22 是原多边形实施这种操作结果。

4.5 硬多边形沿主单调化坐标轴进行单调化图形综合

硬多边形从当前位置绕形心逆时针旋转 45° (称作第一旋转角,用 θ_1 表示),沿主单调化坐标轴方向按歧点删除法,原型综合图形(称作第一次单调化图形综合)图 7 中 13, 23 为这种操作结果;第一次综合结果绕形心顺时针旋转 90° (称作第二旋转角,用 θ_2 表示),沿主单调化坐标轴方向按歧点删除法原型综合图形(称作第二次单调化图形综合),图 7 中 14, 24 为这种操作结果;第二次综合结果绕形心旋转 $45^{\circ}-\theta$ 复位到原来方位上,沿主单调化坐标轴按歧点删除法原型综合图形(称作第三次单调化图形综合),旋转方向由 $45^{\circ}-\theta$ (θ 自身也有正负)值的正负来控制;化简第三次综合结果,使其中不存在锐角顶点(称作第四次删除锐角顶点图形综合),图 7 中 15, 25 为这种操作示意。

4.6 按平行法确定注记定位线

用与主单调化坐标轴垂直的平行线确定注记定位线,整个过程结束。

5 结论

地图制图界公认平行线法是确定面状要素名称注记定位线最简单方法,但其失效的情况,本文建立在多边形单调性理论基础上,科学给出导致其失效原因在于多边形沿施用平行线相垂直方向不单调,提出对多边形沿既定的投影方向进行单调化图形综合的一种新方法——歧点删除法原型,并对其结合软多边形与硬多边形图形特点及面状要素名称注记配置规则进行了改进,从而打破平行线法的种种局限性,使得用其综合多边形图形后所确定的注记定位线与制图专业人员人工确定结果达到高度一致,达到了语言描述性注记配置规则用计算几何数学形式的有效表示。理论分析与大量实验表明,这种方法实施简单、逻辑严密、通用性强、确定的注记定位线质量高,对数字化地图制图环境

及工具性 GIS 平台相应功能提高有指导作用。

[参 考 文 献]

- [1] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 周培德. 计算几何——算法分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [3] 罗广祥. 支持地图注记配置的数据模型与计算几何方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003.
- [4] Franco P, Preparata, Michael Ian Shamos. 计算几何导论[M]. 庄心谷译. 北京: 科学出版社, 1990.
- [5] S Edmondson, J Christensen, J MarkS, et al. A General Cartographic labeling Algorithm[J]. Cartographic, 1997, 33(4): 321 ~ 342.
- [6] E Imhof. Positioning names on maps[J]. The American Cartographer, 1975, 2(2): 128 ~ 144.
- [7] Joshua Comenetz. Cognitive geometry for cartography[J]. Cartographic Journal, 2002, 39(1): 65 ~ 75.
- [8] Francois Chiric. Automated name placement with high cartographic quality: city street maps[J]. Cartography and Geographic information science, 2000, 27(2): 101 ~ 110.
- [9] Clifford H, Wood. A descriptive and illustrated guide for type placement on small scale maps[J]. Cartographic Journal, 2000, 37(1): 5 ~ 18.
- [10] Shawn Edmondson, Tenfold Corporation. A general cartographic labelling algorithm[J]. Cartographic Journal, 1996, 33(4): 13 ~ 23.
- [11] William, A Mackaness. An algorithm for conflict identification and feature displacement in automated map generalization[J]. Cartography and Geographic information science, 1994, 21(4): 219 ~ 232.
- [12] Yukio Sadahira. Perception of spatial dispersion in point distribution[J]. Cartographic and Geographic information science, 2000, 27(1): 51 ~ 64.
- [13] Mower J. Automated feature and name placement on parallel computers[J]. Cartographic and Geographic information system, 1997, 24(4): 228 ~ 238.
- [14] T strijk. geometric algorithms of cartographic label placement [D]. Institute of information and computing sciences, Holland, Utrecht university, 2001.
- [15] Cheng Siu Wing, Edelsbrunner, Herbert. Design and analysis of planar shapes deformation [J]. Computation Geometry, 2001, 19(2 ~ 3): 205 ~ 218.

Determining cartographic name positional-polyline for area features based on monotonic simplification to polygon

LUO Guang-xiang, MA Zhi-min, CHEN Xiao-ming, LIU Hong-xia, XU Bin, LI An-Qin

(School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Aiming at limitations of the parallel line method which is used to positioning the notations name for area features the paper proposed a method called as removing unmonotonic convex vertex prototype(RUCVP) used for simplifying a polygon, moreover, combining with cartographic name placement rules for area features and taking the figure features of soft polygon and hard polygon into account, it made creative improvements for RUCVP, at last, the author proposed two methods, respectively named as removing immonotonic convex vertex for soft polygon name polyline determination(RUMCVSPNP) and as removing immonotonic convex vertex for hard polygon name polyline determination(RUMCVHPNP). Based on the improved methods among which the most important ideas were four times simplifications to polygon from three rotated positions and two concepts which were the first rotating angle and the second rotating angle, the article has broken all kinds of limitations of the parallel lines method, constructed the advantage that highly identified the name positional polyline determined for area features by the article method with ones by cartographers, used a simple method but reached effect to resolve a question among a international hard problem-automatic cartographic name placement. A great deal of experiment and analysis in theory have showed that the method is of tightness in mathematical logic, simplicity in implement, universality in utilization, and has guiding significance to automatic name placement of digitally mapping platform.

Key words: monotonic polygon; soft polygon; hard polygon; immonotonic convex vertex; cartographic name placement

(英文审定: 郭新成)