

软多边形地图要素弯曲识别模型及其应用研究

罗广祥¹ 陈晓羽¹ 赵所毅¹

(1 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安市雁塔南路 6 号, 710054)

摘要:以边界线构成点的坐标单调性变化分析为基础,提出了地图上软多边形要素弯曲识别模型,给定了弯曲的凸凹性定义,建立了弯曲的多种形态量化指标,规范了弯曲邻接关系的形式及确定方法。研究了模型在软多边形地图要素图形综合简化中的应用,形成了简化这类要素图形的三种基本手段。

关键词:软多边形点序列;弯曲;歧点;单调段二元组序列;地图制图综合

中图法分类号: P283.7

自 20 世纪 90 年代末以来,离散点曲线的弯曲识别模型成为 GIS、数字化地图制图及相关应用领域的-一个基础性研究议题。目前比较受推崇的是以约束性 Delauney 三角网为基础的弯曲识别模型^[1-5],但是由于这种模型较为复杂,加之在应用中约束性 Delauney 三角网的动态更新问题,使得该模型在实际应用中有一定的困难。另外,本文认为约束性 Delauney 三角网模型不是从弯曲形成的数学根源上来研究该问题。

1 软多边形的单调性分析

1.1 多边形点序列

对于二维欧氏平面上的一个多边形,将其所有点沿一个方向按次序排列起来形成的序列称作多边形点序列,同时,定义组成点在这个序列中出现的先后次序为其标号。

1.2 多边形的歧点及单调点

对于有 n 个点的多边形点序列 $P((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n))$,当 $1 < i < n$ 时,若式(1)成立,则定义点 (x_i, y_i) 为该多边形的单调点;否则为该多边形的歧点。

当 $i = 1$ 时,若式(2)成立,定义多边形点序列起点 (x_1, y_1) 为单调点;否则为歧点。

当 $i = n$ 时,若式(3)成立,定义多边形点序列终点 (x_n, y_n) 为单调点;否则为歧点。

$$\begin{cases} (x_i - x_{i-1})(x_{i+1} - x_i) > 0 \\ (y_i - y_{i-1})(y_{i+1} - y_i) > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} (x_i - x_2)(x_n - x_1) > 0 \\ (y_1 - y_2)(y_n - y_1) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} (x_n - x_{n-1})(x_1 - x_n) > 0 \\ (y_n - y_{n-1})(y_1 - y_n) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

结合地图制图的应用要求,若上述 3 式不成立,可对当前歧点再作进一步分析。不妨定义当前歧点与其前后两点连线夹角 θ 与 180° 差的绝对值为 Ω ,若 Ω 小于规定阈值 β ,则将当前歧点当作单调点对待;否则,将其定义为地图制图应用的歧点。 β 一般不应大于 60° 。如图 1 所示,在这种补充规定下,按前述模型严格定义,有些歧点已退化为单调点,这样更适合地图制图的-实际要求,另外,还使得单调点的判别摆脱了坐标系的约束。

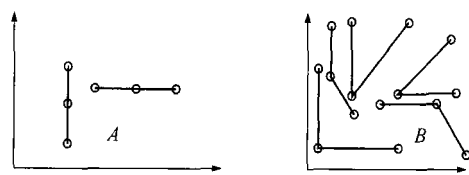


图 1 单调性判别的边界条件

Fig. 1 Boundary Condition of Distinguishing Monotony

1.3 多边形点序列的单调性分段

1.3.1 多边形点序列的单调段及单调段序列

对于 $((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1}), \dots, (x_j, y_j), \dots, (x_m, y_m), \dots, (x_n, y_n))$ 的-

个多边形点序列,假设其中按粗体字表示的为它的歧点,则单调段的定义如下:从点序列的第一个歧点向后到第二个歧点之间的坐标段为它的第一个单调段,将其标识为 1;从第二个歧点向后到第三个歧点之间的坐标段为它的第二个单调段,将其标识为 2;以此类推,直到遇到最后一个歧点,这时将最后一个歧点按上述方向到第一个歧点之间的坐标段定义为它的最后一个单调段。

有 k 个歧点的多边形共有 k 个单调段,这时将多边形的单调段标号按次序排列起来,则产生一个序列,将该序列称作多边形单调段序列,它是多边形的一种新型描述形式。按上述规定,图 2 中的多边形共有 6 个单调段,该多边形单调段序列为(1, 2, 3, 4, 5, 6),如图 2(c)所示。

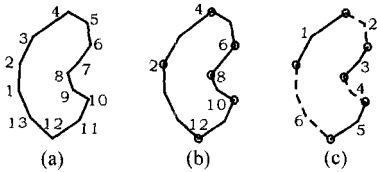


图 2 软多边形坐标点的单调性分析

Fig. 2 Monotonic Analysis for Soft Polygon Points

1. 3. 2 多边形单调段二元组序列

按照上述逻辑,对于有 k 个歧点的多边形,可依次标识出从 1 到 k 的单调段,这时可构建出形如((1, 2), (2, 3), (3, 4) ..., (k- 2, k- 1), (k- 1, k), (k, 1)) 的表示形式,它是对多边形的一种新型描述,把这种新型描述称作多边形单调段二元组序列,其中每一个二元组由多边形的相邻单调段构成,这样,有 k 个单调段的多边形的这种二元组序列共有 k 个元素。

2 多边形基本弯曲识别模型

定义多边形单调段二元组序列中的每个二元组为它的一个基本弯曲,并定义二元组的两个单调段为该弯曲的两翼,它们的公共点为弯曲顶点,另外两个端点为弯曲的端点。在图 2(c)中,二元组(4, 5)就是多边形的一个基本弯曲,它的两翼即为单调段 4, 5, 弯曲顶点即为图 2 中的多边形顶点 10, 弯曲的两个端点即为多边形顶点 8, 12。

上述定义说明单调段二元组序列是多边形所有基本弯曲的系统化表示,且单调段二元组序列即为多边形弯曲的一种识别模型,这种弯曲识别模型的认知基础为:相邻点坐标的非单调性变化是离散点地图曲线及多边形弯曲的数学本质。

3 多边形基本弯曲的形态特征指标

3. 1 基本弯曲的顶角、口径及高度

图 3 所示的二元组弯曲的顶点为 A , 弯曲两端点为 B, C , 定义 $\triangle ABC$ 内角 A 为该弯曲的顶角, BC 长度为单调段二元组弯曲的口径, 顶点 A 到 BC 的垂直距离为单调段二元组弯曲的高度。

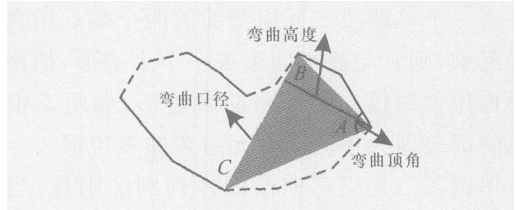


图 3 弯曲形态参量

Fig. 3 Shape Index of Bends

3. 2 基本弯曲的邻接关系描述

3. 2. 1 多边形单调段二元组序列的环形结构

对于多边形单调段二元组序列((1, 2), (2, 3), (3, 4), ..., (n- 2, n- 1), (n- 1, n), (n, 1))而言,其中所有单调段二元组按前驱后继关系形成图 4 所示的环形结构,规定第一个元组(1, 2)的前驱为最后一个元组(1, n),而其后继元组为(2, 3);同样,规定最后一个元组(1, n)的前驱为元组(n- 1, n),而其后继元组为(1, 2)。

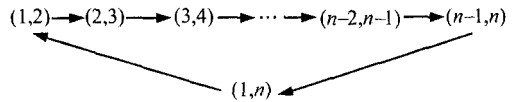


图 4 软多边形单调段二元组序列的环形结构

Fig. 4 Hoop Structure of Monotonic Segment Tuple Sequence for Soft Polygon

3. 2. 2 邻接弯曲

按照上述规定,在多边形单调段二元组序列中,定义一个单调段二元组弯曲的直接后继及直接前驱为它的两个共翼邻接弯曲。如图 2(c)中,二元组弯曲(6, 1)及(2, 3)分别为二元组弯曲(1, 2)的两个共翼邻接弯曲。

定义一个二元组弯曲的间接后继及间接前驱分别为它的两个共端点邻接弯曲。如图 2(c)中二元组弯曲(5, 6)及(3, 4)为(1, 2)的两个共端点邻接弯曲,(1, 2)与(3, 4)的公共端点为图 2(a)中的多边形顶点 6, 而(1, 2)与(5, 6)的公共端点为图 2(a)中的多边形顶点 2。

根据上述体系确定的多边形边界线的基本弯曲邻接关系与人视角对该问题的直觉把握形式完全吻合,这也再一次说明单调段二元组序列是对

多边形基本弯曲的一种系统性与严密性描述。

3.3 多边形单调段二元组弯曲的凸凹性

在传统几何中,多边形凸凹性仅用凸顶点与凹顶点来体现。在这种逻辑下,一个凸顶点与其邻接的两个顶点形成多边形的一个凸弯曲;同理,一个凹顶点与其邻接的两个顶点形成多边形的一个凹弯曲。但是对于地图制图应用而言,按照这种逻辑形成的凸弯曲与凹弯曲过于微观。

将一个单调段二元组弯曲的两个端点用直线连接起来,则它与原弯曲形成一个多边形,将该多边形称作单调段二元组弯曲多边形,如图 5 中带底色的部分即为单调段二元组弯曲多边形。

单调段二元组弯曲凸凹性判别法则是:当一个单调段二元组弯曲多边形与原多边形相交的面积等于 0 时,则该二元组弯曲是多边形的凹弯曲,如图 5(b) 所示;否则,该二元组弯曲是多边形的凸弯曲,如图 5(a) 所示。

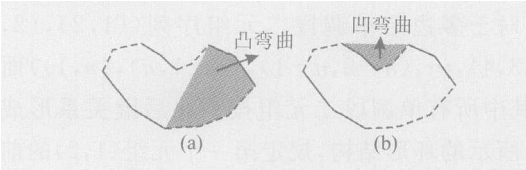


图 5 软多边形的凸弯曲与凹弯曲

Fig. 5 Concave and Convex Bend for Soft Polygon

4 模型在软多边形图形简化中的应用

4.1 简化软多边形图形的原因分析

地图制图综合中的图形简化是因比例尺缩小引起细部特征小于图解精度所致,如果对图形不进行简化就会影响地图的清晰性。就软面状要素而言,随着地图比例尺的缩小,影响反映图形特征的清晰性表现在两个方面:其一是单调点与其邻接两点的距离小于距离图解精度 ΔL ; 其二是锐角型弯曲顶点两侧点的连线长度小于距离图解精度 ΔL , 从而使得从弯曲顶点开始到弯曲口径方向上一定距离处的部分不能清晰表示。

4.2 软面状要素图形简化手段

通过对软面域边界线的坐标点进行单调性分析,利用所形成的弯曲识别模型及构建的弯曲形态特征指标,同时结合因比例尺缩小引起要对其图形简化的原因,本文提出数字环境下实施图形简化的三种基本手段。

4.2.1 单调点的选择性删除

在对软面域的图形实施简化时,有些学者曾

采用间隙抽稀等方法对数据进行预处理,这些方法盲目性较大,有可能删除了软面域较多的特征点,从而使得综合结果难以保持其总体形态特征。

单调点选择性删除手段在软面域图形简化中的应用原则如下:若一个单调性点两侧的点均不是歧点,而且它们与该单调点的距离均不大于 ΔL , 则删除该单调点;否则,暂时不能删除单调点。在图 6 中, C 为一个单调点,因其邻接的一点

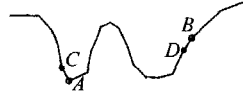


图 6 单调点的选择性删除

Fig. 6 Selective Deletion of Monotonic Points of Soft Polygon

为歧点,因此,暂时对 C 点不作删除; D 点是另一个单调点,仅当它与两侧单调点的距离均不大于 ΔL 时才删除。

4.2.2 锐角型弯曲的递归削尖

锐角型弯曲递归削尖在软面域图形简化中应用的原则为:若与锐角型弯曲顶点直接邻接的两点距离大于 ΔL , 对其不做削尖;否则,将弯曲顶点移到其两侧直接邻接点的中点,同时删除其两侧的点。削尖过程在一个锐角型弯曲上递归进行,直到不满足削尖条件为止。在图 7 中,若锐角型弯曲顶点 A 两侧点 C、B 的距离不大于 ΔL , 将顶点 A 移到 C、B 两点的中点 D, 同时删除 B、C 两点。这种方法可保证等高线综合结果图形的协调性。

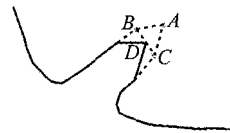


图 7 锐角型弯曲的选择性削尖

Fig. 7 Selectively Cutting Tip of Acute Angle Bend

4.2.3 锐角型弯曲的选择性删除

当锐角型弯曲的口径小于 0.6 mm, 且弯曲高度小于 0.4 mm 时,删除该弯曲上除两个端点外的所有点;当锐角型弯曲的口径不小于 0.6 mm, 而弯曲的高度小于 0.4 mm 时,对其按手段 2 实施选择性削尖处理,而手段 2 在手段 3 之后施行。这种方法可保证诸如等高线图形综合结果的协调性,同时可克服锐角型弯曲递归削尖速度较慢的缺点。若图 8 中虚线所示锐角弯曲的口径与高度均小于规定阈值,其中 A 为其顶点, B、C 为两个端点,图中实线直观地显示出了这种简化的逻辑过程。

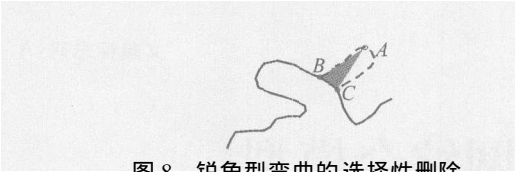


图 8 锐角型弯曲的选择性删除

Fig. 8 Selective Deletion of Acute Angle Bend

4.3 软面域图形简化的实施过程

1) 从软多边形坐标起点开始到终点逐点进行单调点的判别及选择性删除处理,该步骤结束于多边形上所有单调点均不满足删除条件;

2) 构建单调段二元组弯曲序列,计算每个弯曲顶角、口径及高度,删除所有口径、高度均小于阈值的锐角型弯曲;

3) 对多边形上锐角型弯曲进行削尖处理,图形简化结束,图 9 为对软面域图形的简化结果。



图 9 软多边形单调形图形简化结果

Fig. 9 Monotonically Simplifying Result

5 结论

基于坐标单调性对软多边形的形态分析具有

严格的理论依托,文中所提出的歧点、单调点反映了软多边形的形态特征点与非形态特征点。建立在其上的单调段二元组序列是识别弯曲的系统模型,整个推理过程的计算主要表现为简单的坐标大小比较。利用该模型可构建弯曲的多种形态指标,对软面域地图制图综合过程中的图形简化具有理论指导意义。

参 考 文 献

- [1] 祝国瑞. 普通地图编制下册[M]. 北京: 测绘出版社, 1983
- [2] 艾廷华. 城市地图数据库综合的支撑数据模型与方法研究[D]: [学位论文]. 武汉: 武汉大学, 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]: [学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2003
- [4] Poorten P M, Christopher B J. Characterisation and Generalization of Cartographic Lines Using Delauney Triangulation[J]. Geographical Information Science, 2002, 16(8): 773-794
- [5] Christopher B J, Geraint L B, Ware J M. Map Generalization with Triangulation Data Structure [J]. Cartography and Geographic Information System, 1995, 22(4): 317-331

第一作者简介: 罗广祥, 副教授, 博士, 现从事数字化地图制图和地理信息系统研究。

E-mail: Xindongw. @ chd. edu. cn

Bend Identification Model of Soft Polygon and the Application

LUO Guangxiang¹ CHEN Xiaoyu¹ ZHAO Suoyi¹

(1 School of Resource and Geo-science, Chang'an University, 6 South Yanta Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: The article proposes the model which can be used to identify the bends of soft polygon, meanwhile, defines the convexity and concavity, systematically constructs morphological index, strictly expresses adjacent relation of the bends, at last, proposes the three kinds of means simplifying the shape of soft polygon.

Key words: soft polygon dots sequence; bend; unmonotonic points; monotonic segment two-tuple sequence; cartographic generalization

About the first author: LUO Guangxiang, associate professor, Ph D, researching and teaching geographic information system.

E-mail: Xindongw. @ chd. edu. cn