

一种基于缓冲区边界相向逼近求交模型的 曲线间中心线生成算法

董 箭¹ 彭认灿¹ 陈 轶¹ 李 宁¹

(1 大连舰艇学院海洋测绘科学与工程系, 大连市解放路 667 号, 116018)

摘要: 提出了一种基于缓冲区边界相向逼近求交模型的曲线间中心线生成算法, 利用 SuperMap Objects 控件在 VC⁺⁺ 环境下对算法性能进行了验证。实验结果表明, 该算法具有编程实现难度低、中心线形态可控、可适应较复杂的曲线形态等优点。

关键词: 缓冲区边界相向逼近求交(AIBBRD)模型; 中心线; 算法; SuperMap Objects 控件

中图法分类号: P208

曲线间中心线自动生成算法在自动注记、图形综合、曲线内插和海域划界等方面应用广泛, 但由于曲线形态的复杂性, 算法设计仍存在一定困难。目前, 国内外学者已经提出了大量的曲线间中心线获取算法。根据算法性质进行划分, 主要有矢量算法和栅格算法两大类^[1-5]。在实际应用中, 不论是矢量方法还是栅格方法, 都存在一些困难和问题。本文提出了一种新的矢量方法——基于缓冲区边界相向逼近求交(approaching intersection of buffering borderline from reciprocal direction, AIBBRD)模型的曲线间中心线生成算法。

1 AIBBRD 模型

AIBBRD 模型主要根据曲线缓冲区边界的概念进行构建, 曲线缓冲区边界的数学定义见文献[6,7]。

对于给定的任意两条互不相交的曲线 L_1 和 L_2 , 可分别构建其各自的缓冲区边界, 即

$$\begin{cases} B(L_1, d) = \{P \mid \min\{d(P, Q) \mid Q \in L_1\} = d\} \\ B(L_2, d) = \{P \mid \min\{d(P, Q) \mid Q \in L_2\} = d\} \end{cases} \quad (1)$$

根据文献[6,8]中提供的曲线求交算法, 对缓冲区边界 $B(L_1, d)$ 、 $B(L_2, d)$ 进行求交运算, 即

$$G(L_1, L_2, d) = B(L_1, d) \cap B(L_2, d) \quad (2)$$

G 表示曲线 L_1 、 L_2 在距离为 d 时各自缓冲区边界 $B(L_1, d)$ 、 $B(L_2, d)$ 交点的集合(G 可能为 \emptyset)。对于集合 G ($G \neq \emptyset$) 中的任意点 P 而言, 必满足其至曲线 L_1 、 L_2 的最短距离相等的性质, 即 $\min\{d(P, Q) \mid Q \in L_1\} = \min\{d(P, Q) \mid Q \in L_2\} = d$ 。根据式(2), 在引入步长 λ 的前提下, AIBBRD 模型的数学定义为:

$$H(L_1, L_2, \lambda, M, N) = \bigcup_{i=N}^M G(L_1, L_2, i\lambda) = \bigcup_{i=N}^M B(L_1, i\lambda) \cap B(L_2, i\lambda) \quad (3)$$

式中, M 、 N ($N \leq M$) 分别表示曲线 L_1 、 L_2 相向逼近求交的上限和下限; H 表示曲线 L_1 、 L_2 在距离为 $i\lambda$ ($i \in [N, M]$) 时各自缓冲区边界 $B(L_1, i\lambda)$ 、 $B(L_2, i\lambda)$ 相向逼近求交所得交点集 $G(L_1, L_2, i\lambda)$ 的并集(H 可能为 \emptyset)。

AIBBRD 模型中, 参数 N 、 M 的选择决定了点集 H 在空间的分布广度。 N 越小、 M 越大, 则点集 H 分布越广; N 越大、 M 越小, 则点集 H 分布越窄。可以预见, 在 $N=1$ 且 $M=+\infty$ 的极限情况下, 由 AIBBRD 模型生成的点集 H 必然贯穿整个空间范围; 而若 $N=M$, 则点集 H 中元素较少, 甚至可能出现 $H=\emptyset$ 的情况。AIBBRD 模型中的另一个重要参数 λ 则决定了点集 H 的分布密度。 λ 越小, 则点集 H 分布越密集; λ 越大, 则点集 H 分布越稀疏。

2 基于 AIBBRD 模型的曲线间中心线生成算法

2.1 模型初始化

1) 曲线 L_1 和 L_2 空间信息的获取。结合不同应用需求,曲线 L_1 、 L_2 可以坐标串的形式直接给出,或通过给定曲线 L_1 、 L_2 的空间 ID 索引号由系统自动识别。

2) 步长 λ 的确定。步长 λ 决定了 AIBBRD 模型生成点集 H 的分布密度,对于曲线间中心线而言,显然,步长 λ 越小对于中心线的追踪及精度越有保证,然而过小的步长 λ 会显著降低算法的效率。一般情况下,步长 λ 可以图上最小分辨率(0.05 mm)直接给出。

3) 解算曲线 L_1 、 L_2 间最小、最大距离 D_{\min} 、 D_{\max} 。依据文献[8,9]对曲线间最小、最大距离的定义, D_{\min} 、 D_{\max} 可由式(4)解算获得:

$$\begin{cases} D_{\min} = \min\{d(Q, L_2) \mid Q \in L_1\} \\ D_{\max} = \max\{d(Q, L_2) \mid Q \in L_1\} \end{cases} \quad (4)$$

式中, Q 表示给定曲线 L_1 上的任意节点; d 表示节点 Q 至曲线 L_2 的距离。

2.2 缓冲区边界相向逼近求交

AIBBRD 模型中,参数 N 、 M 的选择决定了点集 H 在空间的分布广度。尽管在 $N=1$ 且 $M=+\infty$ 的极限情况下,由 AIBBRD 模型生成的点集 H 可贯穿整个空间范围,然而,实际应用中仍需对参数 N 、 M 作进一步限定。这主要是因为曲线的分布范围是有界的,如图 1 所示,对于 AIBBRD 模型中的曲线 L_1 、 L_2 而言,其共同分布范围为各自以其间最大距离 D_{\max} 为缓冲距所生成缓冲区的交集,因此,参数 M 可由 D_{\max} 确定,即

$$M = \lceil D_{\max} / \lambda \rceil \quad (5)$$

此外,若参数 λ 取值较小,且曲线间隔较大(即 D_{\min} 较大),若 N 均从 1 开始取值,则由于曲线 L_1 、 L_2 缓冲区边界显然不存在交点($G=\emptyset$)会造成过多的无谓判断,从而降低算法的执行效率。

如图 1 所示,曲线 L_1 、 L_2 间的最小距离为 D_{\min} ,则 AIBBRD 模型解算过程中,只有在 $i\lambda \geq D_{\min}$ 时,曲线 L_1 、 L_2 的缓冲区边界才会存在交点,从而参数 N 可由 D_{\min} 确定,即

$$N = \lfloor D_{\min} / 2\lambda \rfloor \quad (6)$$

在获取参数 M 、 N 的基础上,依据 AIBBRD 模型构建原理,以 $i\lambda$ ($i=N, N+1, N+2, \dots, M$) 为缓冲距同步提取曲线 L_1 、 L_2 各自缓冲区边界 $B(L_1, i\lambda)$ 、 $B(L_2, i\lambda)$,即可利用式(1)、(2)解算出

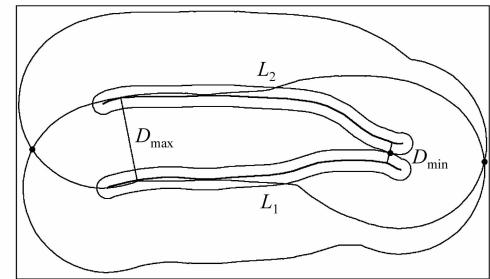


图 1 曲线 L_1 、 L_2 分布范围示意图

Fig. 1 Distribution Bounds of Curve L_1 and L_2

同步缓冲区边界交点集 $G(L_1, L_2, i\lambda)$,并记录至曲线 L_1 、 L_2 中心线节点集 H 中。

2.3 中心线生成

按合理的顺序依次连接所求得的曲线 L_1 和 L_2 的中心线节点集 H ,即可得到中心线。这个过程涉及到对无序点集合理排序后再生成所需曲线的问题。然而,由于曲线形态具有多样性和不可预测性等特点,目前仍然没有一套可以完全解决上述问题的成熟算法^[6-8]。鉴于 AIBBRD 模型具有解算中心线节点间隔可控的特点,即在步长 λ 较小的情况下,所求得的中心线节点间隔通常也较小,因而可以通过给定较小的步长 λ 来求得较密的中心线节点集。在此基础上,采用相邻节点间距离最短这一条件来实现对离散节点的合理排序,从而自动生成中心线。

图 2 即为无序点集排序示意图, L_3 为曲线 L_1 、 L_2 的中心线,无序点集 $H=\{P_1, \dots, P_m\}$ 为依据 AIBBRD 模型生成的曲线 L_1 、 L_2 中心线节点集。在对无序点集 $H=\{P_1, \dots, P_m\}$ 进行排序之前,必须建立有序点集 H' (作为排序后的曲线 L_1 、 L_2 中心线节点集)并初始化其为 \emptyset 。这样,如何从无序点集 $H=\{P_1, \dots, P_m\}$ 中获取中心线 L_3 的首末点(P_1 或 P_m)成为中心线节点集排序的关键。由 AIBBRD 模型的特性可知,中心线 L_3 的首末点(P_1 或 P_m)必然是 $i\lambda=D_{\max}$ 时缓冲区边界交点集 $G(L_1, L_2, D_{\max})$ 中的元素,从而可取 $G(L_1, L_2, D_{\max})$ 中任意一点作为中心线 L_3 的首末点。图 2 中,以 P_1 作为中心线 L_3 的首点。此时,有序点集和无序点集分别更新为 $H'=\{P_1\}$, $H=\{P_2, \dots, P_m\}$ 。再以 P_1 为试探点遍历无序点集 $H=\{P_2, \dots, P_m\}$ 并搜索出距 P_1 最近的点 P_2 ,并更新有序点集和无序点集为 $H'=\{P_1, P_2\}$, $H=\{P_3, \dots, P_m\}$ 。依此类推,以任意点 P_i 作为试探点遍历无序点集 $H=\{P_{i+1}, \dots, P_m\}$ 时,形成距离集合 $D=\{\text{dist}_1, \dots, \text{dist}_{m-i}\}$,对 D 按照从小到大的顺序排序后得到无序点集 $H=\{P_{i+1}, \dots,$

$P_m\}$ 中距 P_i 的最短距离 $dist_1$ 及对应的缓冲区边界交点 P_{i+1} , 并更新有序点集和无序点集为 $H' = \{P_1, \dots, P_{i+1}\}$, $H = \{P_{i+2}, \dots, P_m\}$ 。当无序点集 H 为 \emptyset 时, 则单侧缓冲区边界交点排序结束, 依次连接所求得的有序点集 H' 即可得到曲线间的中心线 L_3 。

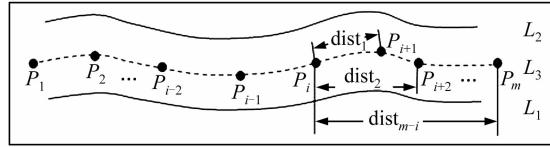


图 2 普通无序点集排序示意图

Fig. 2 Diagram of Ordering Common Disorder Points Set

对于如图 3 所示的复杂曲线形态, 为防止出现中心线 L_3 与曲线 L_1 、 L_2 相交的情况, 需对无序点集 $H = \{P_1, \dots, P_m\}$ 的排序作进一步限定。图 3 中, 以 P_i 作为试探点遍历无序点集 $H = \{P_{i+1}, \dots, P_j, \dots, P_m\}$ 时, 距 P_i 的最短距离 $dist_1$ 所对应的缓冲区边界交点为 P_j 。可以预见, 最终由有序点集依次连接形成的曲线间中心线 L_3 必与曲线 L_1 、 L_2 相交, 这显然不符合曲线间中心线的定义。因此, 对于试探点 P_i 而言, 其所搜索的下一点 P_{i+1} 需与曲线 L_1 、 L_2 作求交判断, 如若存在交点, 则放弃该点, 并继续寻找距试探点 P_i 距离稍大的点; 反之, 则加入该点。

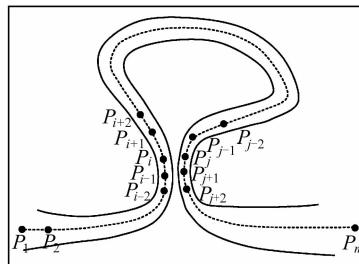


图 3 复杂无序点集排序示意图

Fig. 3 Diagram of Ordering Complex Disorder Points Set

3 实验与分析

本文利用 GIS 控件 SuperMap Objects 的缓冲区边界生成及曲线求交功能, 通过 VC⁺⁺ 编程实现了基于 AIBBRD 模型的曲线间中心线生成算法。实验采用的数据是 1:150 000 莱州湾墨卡托投影海图, 基准纬度为北纬 37.33°。实验环境为 Celeron(R) 处理器, 主频为 2.53 GHz, 内存为 512 MB。根据 AIBBRD 模型中步长 λ 的不同, 实验分为两组, 分别针对羊角沟和淄脉沟两条河流进行了曲线间中心线的解算, 其中, 羊角沟为普通双线河流, 淄脉沟为带有分支的双线河流。如图 4 所示, 对于淄脉沟, 可依据其支流分布进而划分为 3 条普通双线河流 (Part1、Part2 和 Part3)。图 4、5 是应用基于 AIBBRD 模型的曲线间中心线生成算法生成河流中心线的具体实例, 实验数据统计见表 1。

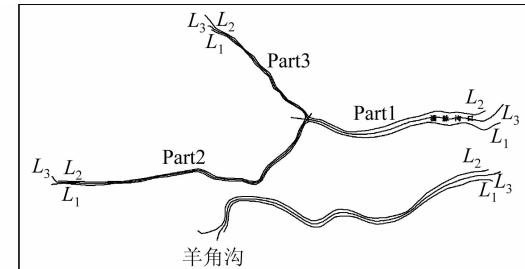


图 4 $\lambda=0.05$ mm 时的实验效果图

Fig. 4 Experiment of $\lambda=0.05$ mm

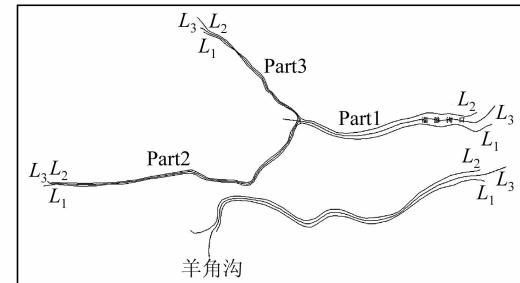


图 5 $\lambda=0.025$ mm 时的实验效果图

Fig. 5 Experiment of $\lambda=0.025$ mm

表 1 实验数据统计

Tab. 1 Statistics of Experiment Data

河流名称	$\lambda=0.05$ mm			$\lambda=0.025$ mm		
	羊角沟	淄脉沟		羊角沟	淄脉沟	
	Part1	Part2	Part3	Part1	Part2	Part3
D_{\min}/m	146.28	166.45	77.34	51.11	146.28	166.45
D_{\max}/m	1 276.27	834.43	195.59	217.14	1 276.27	834.43
下限 N	9	11	5	3	20	22
上限 M	171	112	27	29	341	223
节 点 L_1	37	24	31	17	37	24
点 数 L_2	38	19	23	20	38	19
算法耗时/s	442	542	310	170	1 602	1 078
	11.94	8.48	2.56	1.67	25.13	20.86

从表1中可以看出,在给定曲线 L_1 、 L_2 的前提下(D_{\min} 、 D_{\max} 已确定),基于AIBBRD模型所生成的曲线间中心线 L_3 上节点数目与步长 λ 成反比,即步长 λ 越小,上限 M 与下限 N 的差值($M-N$)越大,从而中心线 L_3 上的节点数目越多,相应地,精度越高;反之亦然。然而,步长 λ 的取值并不是越小越好,过小的步长 λ (如小于图上最小分辨率 0.05 mm)不但不能提高中心线 L_3 的精度,反而会造成中心线 L_3 上节点的冗余,并显著降低算法的执行效率。

4 结语

本文提出的基于AIBBRD模型的曲线间中心线生成算法是一种全新的矢量方法,可借助通用GIS控件(组件)内嵌的缓冲区生成功能来降低算法的编程实现难度,且具有生成的曲线间中心线的形态和精度可控及算法适用性强等特点。

参考文献

[1] 胡海,杨传勇,胡鹏.自然图形间的中间线和比例线

- 方法[J].海洋测绘,2009,29(5):15-18
- [2] 胡鹏,王海军,邵春丽,等.论多边形中轴问题和算法[J].武汉大学学报·信息科学版,2005,30(10):853-857
- [3] 王涛,毋河海.顾及多因素的面状目标多层次骨架线提取[J].武汉大学学报·信息科学版,2004,29(6):533-536
- [4] 杜世宏,杜道生,樊红,等.基于栅格数据提取主骨架线的新算法[J].武汉测绘科技大学学报,2000,25(5):432-436
- [5] 车武军,杨勋年,汪国昭.动态骨架算法[J].软件学报,2003,14(4):818-823
- [6] 郭仁忠.空间分析[M].北京:高等教育出版社,2001
- [7] 朱长青,史文中.空间分析建模与原理[M].北京:科学出版社,2006
- [8] 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
- [9] 胡鹏,游连,杨传勇,等.地图代数[M].武汉:武汉大学出版社,2002

第一作者简介:董箭,博士生,主要从事海图制图理论与方法研究。

E-mail: d.j-studio@163.com

An Algorithm for Centre Line Generation Based on Model of Approaching Intersection of Buffering Borderline from Reciprocal Direction

DONG Jian¹ PENG Rencan¹ CHEN Yi¹ LI Ning¹

(1 Department of Hydrography and Cartography, Dalian Naval Academy, 667 Jiefang Road, Dalian 116018, China)

Abstract: Automatic acquisition of centre line among curve is extensively applied to geographic information system and computer cartography. After analyzing the current acquisition algorithm of centre line, we put forward the generation algorithm for centre line based on the model of approaching intersection of buffering borderline from reciprocal direction (MAIBBRD), and expatiate the keystone and solution steps of the model. At last, by applying SuperMap Objects control under the condition of VC⁺⁺, some experiments have been done to validate the algorithm's validity. The experiments show that the algorithm is characterized by low difficulty in programming realization, easy shape control of centre line, cushy adaptation of complicated curve configuration, and so on.

Key words: model of approaching intersection of buffering borderline from reciprocal direction (AIBBRD); centre line; algorithm; SuperMap Objects control