

对 MapInfo 系统中线状要素光滑的研究

赵博, 谈俊仲

(南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210097)

A Research on Linear Elements Smoothing in the MapInfo System

ZHAO Bo, TAN Jun-zhong

摘要 根据地理线状要素的特征, 针对 MapInfo 系统中线状要素光滑方法的不足, 提出新的光滑方法, 并对这几种光滑方法进行对比分析和优化, 验证方法的可行性和有效性。

关键词 MapInfo; 线状要素; 光滑

一、引言

MapInfo 系统拟合出的光滑曲线在所有节点的凸包之内, 不通过除始末两个节点以外的其他节点。在某些数字化制图的具体过程中, 要求光滑曲线严格通过节点。研究能克服上述缺点的线状要素光滑的方法不仅具有重要的理论价值, 而且对完善 Map-Info 的功能有着很好的应用价值。本文提供了线状要素光滑常用的五点光滑法、三次样条 Hermite 插值法, 并对这两种方法进行优化, 以适应制图综合中不同情况的需要。

二、光滑方法

1. 方法简介

MapInfo 系统提供的线状要素光滑的工具能生成 B-样条曲线, 它具有二阶连续性以及凸包性(曲线上各点均落在该曲线的控制多边形内); 五点光滑法可以拟合出一阶连续性的曲线并通过所有节点^[1]; 三次样条 Hermite 插值法可以拟合出二阶参数连续性、一阶几何连续性的曲线并通过所有节点^[2]。

在图 1 中, 1 为需要光滑的线状要素, 制图人员采集了 6 个离散点($P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$)作为节点拟合出光滑曲线; 2 为 MapInfo 系统所提供的光滑方法拟合出的 B-样条曲线; 3 为五点光滑法拟合出的曲线; 4 为三次样条 Hermite 插值法拟合出的曲线。

2. 对比分析

在数字化制图中, 制图人员把线状要素 $f(x)$

$= y(x_1 \leq x \leq x_n)$ 作为底图并针对该线状要素采集一系列相关的离散点 (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) 作为节点拟合出光滑曲线, 记为 $P(x)$ 。

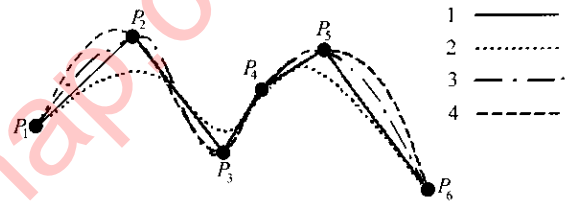


图 1 不同方法对线状要素光滑

图 2 为一段海岸线的光滑拟合过程。从图 2(c) 局部放大图可见, 原有的线状要素和拟合出的光滑曲线并不完全重合。当然, 曲线 $P(x)$ 应尽量靠近原线状要素, 即对曲线上每一个给定的 $x_1 \leq x \leq x_n$, $\delta = P(x) - y$ 按某种标准达到最小。根据制图综合的特征, 本文建立了以下 3 种标准评价光滑曲线的误差大小。

1. 单位误差

$$V_1 = \frac{\left(\int_{x_1}^{x_n} \delta^2 dx \right)^{\frac{1}{2}}}{\int_{x_1}^{x_n} f(x) dx}$$

用最小二乘法计算线状要素的误差值, 然后将该误差平均分配到原线状要素的每个点上。对绝大多数线状要素而言, 用这种标准对线状要素整体误差的评价较好。

2. 地理单位误差

$$V_2 = \frac{\left(\int_{x_1}^{x_n} |\text{SIGN}(\delta)| \delta^2 dx \right)^{\frac{1}{2}}}{\int_{x_1}^{x_n} f(x) dx}$$

对某些诸如海岸线的线状要素,要求在制图概括中保持海岸线外缘夸大的部分和损失的部分大致接近。用这种评价标准较好。

3. 最大纵向误差

$$V_3 = \max_{x_1 \leq x \leq x_n} |\delta|$$



(a)原有的线状要素
(海岸线)

(c)通过节点拟合出一条
光滑曲线



(b)取一定的离散点作为节点

(d)成图

图2 拟合光滑曲线的过程

通过得到线状要素上单个点的误差的纵向最大值,来评价光滑方法的好坏。比如,根据人的视觉敏锐度的有关研究可知,若读图距离为 25 cm,人眼可识别的元素符号的最小尺寸为 0.07 mm,而若读图距离为 35 cm,那么人眼可识别的元素符号的最小

尺寸为 0.1 mm^[3]。要保证光滑曲线和原线状要素相比,最大纵向误差在人眼的视觉敏锐度范围之内。此时,用这种标准评价效果较好。

运用以上评价标准,对 MapInfo 所提供的光滑方法、五点光滑法、三次样条 Hermite 插值法进行对比分析。本文对 6 条线状要素 $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$ 进行光滑,其中的 3 条 L_1, L_2, L_3 如图 3 所示。

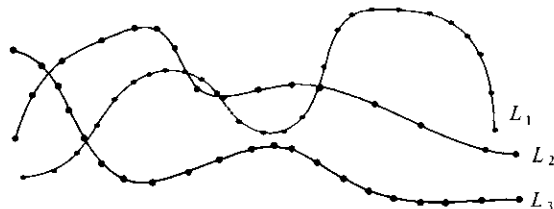


图3 3条线状要素

从表 1 可见,对大多数的线状要素,五点光滑法和三次样条 Hermite 插值法的 3 项误差均要优于拟合成 B-样条曲线的方法(即 MapInfo 系统所提供的光滑方法),同时,B-样条曲线、三次样条 Hermite 插值法拟合出的曲线的光滑程度要好于五点光滑法拟合出的曲线。以上误差分析的结果并不能说明哪种方法更优,或者哪种方法较差。因为数字化制图过程受到很多因素的影响。比如节点的个数及位置、数字化制图人员的专业素质等。同时,不同类型的专题地图对地理线状要素的误差允许范围及光滑程度的指标也是不相同的。针对不同的地理线状要素,要以光滑程度及误差允许范围的要求和制图综合的规范,对一种光滑方法的优劣进行综合评价。

表 1 3 种光滑方法的误差分析表

节点 个数	V_1			V_2			V_3			
	B-样条	五点 光滑	Hermite 插值	B-样条	五点 光滑	Hermite 插值	B-样条	五点 光滑	Hermite 插值	
L_1	16	64.16	48.00	62.01	32.32	36.46	30.84	12	10	16
L_2	16	68.65	31.87	23.71	37.30	7.74	21.26	8	4	4
L_3	21	33.67	24.52	26.02	25.65	22.02	23.52	6	3	3
L_4	20	61.18	34.71	40.46	38.30	20.47	16.40	11	5	5
L_5	18	58.93	42.46	48.17	44.64	14.32	26.98	10	4	4
L_6	17	22.20	25.48	28.48	11.79	19.82	22.91	3	3	4

三、方法优化

往往会遇到这样的情况:线状要素 $f(x) = y$ ($x_1 \leq x \leq x_n$) 用 $P_i(x_i, y_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 作为节

点。若相邻节点的距离 $\overline{P_k P_{k+1}}$ 较其他相邻节点的距离 $\overline{P_i P_{i+1}}$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) 大很多时,那么 $\overline{P_k P_{k+1}}$ 间拟合的光滑曲线将会出现较大的误差。为了避免这种情况的发生,对五点光滑法以及三次

样条 Hermite 插值法做了如下的改进。

1. $\text{Threshold} = \min(\overline{P_i P_{i+1}}) (i = 1, 2, \dots, n - 1)$ 。把相邻节点的距离为最小的一段作为阈值。

2. 判断是否存在 $\overline{P_k P_{k+1}}$ 大于阈值 m 倍的情况 即 $\overline{P_k P_{k+1}} \geq m \times \text{Threshold}$ 。(m 的值根据实际情况而定 ,一般情况下要求 $m \geq 10$)

3. 对满足 $\overline{P_k P_{k+1}} \geq m \times \text{Threshold}$ 条件的所有 $\overline{P_k P_{k+1}}$ 在节点 P_k, P_{k+1} 之间插入 j 个控制节点 ($P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_j}$), 这 j 个节点都在线段 $\overline{P_k P_{k+1}}$ 之上。 j 的大小和控制节点的插入方法由线状要素光滑程度的实际情况而定。本文提供两种插入方法 :

① $j = 2$, $\overline{P_k P_{k+1}}$ 间插入控制节点 P_{k_1}, P_{k_2} , 满足

$$\overline{P_k P_{k_1}} = \overline{P_{k_2} P_{k+1}} = \frac{1}{m} \overline{P_k P_{k+1}} ;$$

② $j = m - 2$, $\overline{P_k P_{k+1}}$ 间插入控制节点 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_{(m-2)}}$, 满足 $\overline{P_k P_{k_1}} = \overline{P_{k_2} P_{k_3}} = \dots = \overline{P_{k_{(m-2)}} P_{k+1}} =$

$$\frac{1}{m} \overline{P_k P_{k+1}}。$$

4. 将采集的离散点和插入的控制节点共同作为线状要素的节点 ,拟合出光滑曲线。

如图 4 所示 ,1 为原有的地理线状要素 ;2 为未经优化的三次样条 Hermite 插值法 ;3 为 $m = 10, j = 8$ 时 ,采用插入方法①进行优化 ;4 为 $m = 10, j = 2$ 时 ,采用插入方法②进行优化。

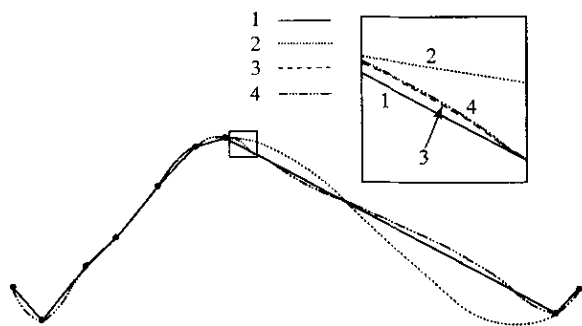


图 4 三次样条 Hermite 插值法对线状要素优化

由表 2 可见 ,优化后的误差远远小于未经优化过的光滑方法。特别是存在 $\overline{P_k P_{k+1}} \geq m \times \text{Threshold}$ 的时候。比较两种优化方法 ,方法 2 的各项误差

均要小于方法 3 的。由于方法 2 中加入了较多的控制节点 ,导致曲线弯曲增加。光滑程度不如方法 3。也就是说 ,两种优化方法各有优势 ,具体哪种方法适宜数字化制图 ,要看实际情况的要求。在数字化制图中 ,如果拟合出的曲线仍不能满足误差要求 ,可在其他条件不变的情况下 ,减小阈值 ,减小 m ,或增大 j 来减小误差。

表 2 三次样条 Hermite 插值法及其优化后的误差分析表

	V_1	V_2	V_3	备注
方法 1	962.12	902.123	72	没有优化
方法 2	100.35	84.30	11	$m = 10, j = 8$
方法 3	172.89	97.77	12	$m = 10, j = 2$

四、结束语

五点光滑法是计算机制图中常用的方法 ,三次样条 Hermite 插值法在对曲线的光滑程度要求较高的情况下有着广泛的应用。这两种方法拟合出的曲线都严格通过所有节点 ,弥补了 MapInfo 所提供的拟合光滑曲线方法的不足。本文提出了线状要素光滑的评价方法 ,通过该方法观察到 ,五点光滑法和三次样条 Hermite 插值法在大多数情况下 ,比 MapInfo 系统所提供的方法的误差要更小一些。本文还针对某些特殊情况对三次样条 Hermite 插值法进行优化 ,使误差进一步降低。这些都充分说明了本文提供的方法的可行性及有效性。但是 ,影响线状要素光滑的因素很多 ,并不是某一种方法就能称为最佳 ,需根据不同的数字化制图的要求和具体情况来选择适当的光滑方法。

参考文献 :

- [1] 胡友元 ,黄杏元 . 计算机地图制图 [M]. 北京 :测绘出版社 ,1987.
- [2] 倪明田 ,吴良芝 . 计算机图形学 [M]. 北京 :北京大学出版社 ,1999.
- [3] 祝国瑞 . 地图设计与编绘 [M]. 武汉 :武汉大学出版社 ,2003.