

基于 GIS 和分形理论的海岸线模拟方法研究

陆娟 王建石 石丽

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

摘要 为了探讨形如海岸线等不规则曲线的微观结构、模拟方法以及它是否具有相似性等特征,在有关研究基础上,以江苏省海岸线为例,结合分维的计算方法,利用“中点随机细分内插法”和“改进后的科契曲线法”探讨了海岸线的模拟生成方法;着重介绍了“改进后的科契曲线法”的具体实现原理和模拟过程,在此基础上,根据不同的条件和模拟要求,不仅可以模拟一段海岸线,计算其相应分维值的大小,同时也能在一定范围内生成指定大小维数的海岸线。通过对该方法的运用以及在 GIS 技术的支持下,设计了一个分形模拟实用程序,并对该程序做了简单介绍和功能分析,利用该程序对比例尺为 1:2 000 000 的江苏省海岸线进行了实际模拟;模拟结果表明,模拟出的海岸线是自相似的,具有分形性质,且采用 GIS 技术对之进行模拟也是切实可行的。

关键词 计算机图形学(520·6030) 分形 分维 海岸线 模拟 GIS

中图法分类号: TP391.91 P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)06-0692-05

Simulation for Coastline Based on GIS and Fractal

LU Juan, WANG Jian, SHI Li

(College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

Abstract In order to discuss the micromechanism and the simulating method of the curve like coastline. On the basic of the method calculating fractal dimension, and taking the Jiangsu Province coastline as an example, this paper uses the midpoint subdivision interpolation method and the Koch curve method to explore the simulated coastline generation. It puts emphases on the method of Koch curve; introduces its principle of realization and its process of simulation. According to different conditions and needs for simulation, it can not only simulate a section of coastline, calculate its dimension, but also can generate the coastline which dimension is appointed. By this way and with the support of GIS technology, the author designs a utility programmer for simulation based on fractal, and introduces flow of the programmer and analyzes its function in brief. Finally, the coastline of Jiangsu which scale is 1:2000000 is simulated by this program. Finally, some significant conclusions are drawn: (1) the coastline has the fractal character, it's self-simulation. (2) the degree of the coastline is direct proportion to the fractal dimension. (3) if the method of simulation is different, the result is also not the same. (4) the technology of GIS is fitting for simulating the coastline.

Keywords Computer graphics, Fractal, Dimension, Coastline, Simulate, Geographic information systems

0 引言

随着计算机特别是计算机图形学的迅速发展,人们在利用计算机探讨一系列问题的过程中,逐渐感到,用传统的几何学已不能有效地描述大自然界中大量存在的对象,如:海岸线、河川、断裂、云团、闪

电等等,它们都是非规则曲线,用欧几里德几何学是无法描述的。而计算机图形学在自然景物的模拟及动画的制作中,如果用直线、圆弧、样条曲线等去建模生成,则其逼真程度非常差,自分形理论被提出以后,很快引起了许多学科的关注^[1]。国内外许多学者研究得出诸如海岸线等不规则曲线具有分形性质,是自相似的^[2-3]。同时,诸多可以用来模拟这些曲线

的分形元也被提出,“科契曲线”和“中点细分内插”仅是其中的两种^[1]。由于传统的“科契曲线”是“严格自相似的,完美的重复的,完全确定的”^[3],而现实中类似海岸线之类的不规则曲线则具有诸多不确定因素,用传统的“科契曲线”模拟出的海岸线则显得很单调,与现实中的相差较大,因此在实际模拟中,如果考虑一些随机因素,效果会更好。同样,近来发展势头异常迅猛的 GIS,由于其具有先进的图形管理技术、方便的属性编辑功能、精确的地理定位等特点,它能为海岸线分形模拟的实现提供一种便捷的开发环境和技术支持。

1 海岸线分维的计算方法

分维是描述空间和客体的一个重要参数,相对经典维数而言,其可以为整数,也可为分数。而实际测定分形维数的方法很多,人们往往总结成“网格法”和“量规法”等方法^[2]。根据分形理论,有

$$N_n = Cr_n^{-D} \tag{1}$$

其中, N_n 是特征线度为 r_n 的物体数目, C 是比例常数, D 称做分维数。为了确定 D , 将式(1)改写为

$$D = \frac{\ln(N_{n+1}/N_n)}{\ln(r_n/r_{n+1})} \tag{2}$$

图 1 所示为两种曲线的分形元。



(a) 中点细分内插分形元 (b) 科契曲线分形元

图 1 两种曲线的分形元

根据式(2),图 1(a)所示分形元的维数应该是

$$D = \frac{\ln(2/1)}{\ln(1/ratio)} \tag{3}$$

其中, $ratio = \frac{r_{n+1}}{r_n}$ 。

而图 1(b)所示分形元的维数应该是

$$D = \frac{\ln(4/1)}{\ln((2r + 2r\cos(\alpha))/r)} \tag{4}$$

如果 $\alpha = 60^\circ$, 则由式(4)可以得到 D 值为 1.2619, 其图形正是人们最常用的科契雪花曲线的分形元。

反之,如果给定 D 值,也可以通过式(3)或式(4)计算得到 $ratio$ 和 α 值,即可得到基于不同分形值的曲线分形元。基于以上思路,利用不同的分形

元来模拟各种维数下的海岸线。由于上述两种方法的区别在于分形元的构成不同,但实现思路却基本相似,故只就第 2 种方法——改进后的科契曲线法^[5]进行探讨。

2 海岸线模拟的实现

2.1 科契曲线的生成方法

首先从一个简单的图形出发(这个图形被称做源图),按照一定的规律进行不断变形,即利用如图 1(b)所示的分形元代替原图上的每一条直线段,然后将变形后的图形作为源图,利用类似更小的分形元来进行变形,直至满足给定的迭代次数。

2.2 分形元的选择

在实际模拟海岸线的过程中, α 及 r 值则需要根据给定的分维值和源图相邻两点间的距离来确定。给定一分维值,可以由式(4)求得相应的 α 值,再根据两点间(其坐标分别为 x_1, y_1, x_2, y_2)的距离,由以下公式得到 r 值(特征线度)

$$2r + 2r\cos \alpha = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{5}$$

通过 α 和 r 的确立,分形元随之固定,而利用该分形元产生的海岸线的维数即为给定值。

2.3 开发环境

模拟过程是在 Windows2000+ VB6.0 环境中设计的,其以国产 GIS 软件 SuperMap 作为开发平台。

数据集是以 SuperMap 组织各种数据的方式,由同种类型数据组成的集合,如点数据集、线数据集、面数据集等。而通过记录集对象,可以从数据集中取出数据,并对数据集中的数据记录进行实际的操作。利用地图概念,可以方便的实现图形的转入转出功能。

2.4 坐标的获取

如图 2 所示,由于在选取控制点的过程中,其方向可以是任意的,而且在分形元构建的过程中,点 C 方向可以偏向 AB 的任何一侧,为了编程需要,人为规定线段 AB 的走向为从 A 到 B 的方向,沿着 AB 走向,点 C 在其左侧称为负方向,反之为正。在程序中,用“偏向”来表示点 C 相对于 AB 的位置。结合线段 AB 的走向和点 C 相对 AB 的偏向,可以总结出点 C 坐标有如表 1 所示的 8 种情况。在实际模拟过程中,点 C 偏向可任意指定。例如,“左偏”表示对“源图”上每条线段而言,点 C 位置均偏向其左侧,“左右交替”表示从“源图”上第 1 条线段开始,点 C

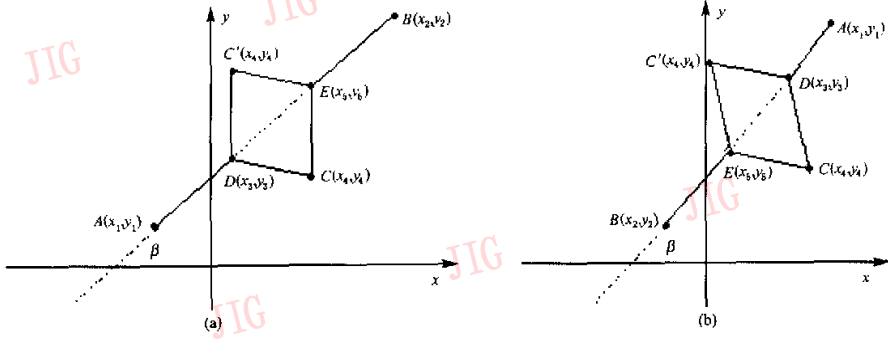


图 2 多种情况下点 C 的位置

向其左侧偏向,下一条线段点 C 向其右侧偏向,这样交替进行,直至完成“源图”上每条线段的变形.当然,也可以对“源图”上每条线段在变形时分别指定其点 C 的位置,即“分段偏向”.

表 1 各种情况下点 C 的坐标

$\beta > 0$	$y_1 > y_2$	左偏 $x_4 = x_5 + r \cos(\alpha - \beta)$	$y_4 = y_5 - r \sin(\alpha - \beta)$
		右偏 $x_4 = x_5 + r \cos(\alpha + \beta)$	$y_4 = y_5 + r \sin(\alpha + \beta)$
$\beta < 0$	$y_2 > y_1$	左偏 $x_4 = x_3 + r \cos(\alpha + \beta)$	$y_4 = y_3 + r \sin(\alpha + \beta)$
		右偏 $x_4 = x_3 + r \cos(\alpha - \beta)$	$y_4 = y_3 - r \sin(\alpha - \beta)$
$\beta < 0$	$y_1 > y_2$	左偏 $x_4 = x_5 - r \cos(\alpha + \beta)$	$y_4 = y_5 + r \sin(\alpha + \beta)$
		右偏 $x_4 = x_5 - r \cos(\alpha - \beta)$	$y_4 = y_5 - r \sin(\alpha - \beta)$
$\beta < 0$	$y_2 > y_1$	左偏 $x_4 = x_3 - r \cos(\alpha - \beta)$	$y_4 = y_3 - r \sin(\alpha - \beta)$
		右偏 $x_4 = x_3 - r \cos(\alpha + \beta)$	$y_4 = y_3 + r \sin(\alpha + \beta)$

对于 $D(x_3, y_3)$ 和 $E(x_5, y_5)$ 两点坐标,无论在什么情况下都由下式确定

$$x_3 = (x_2 - x_1) / (2(1 + \cos \alpha)) + x_1$$

$$y_3 = (1 + 2\cos \alpha)(y_1 - y_2) / (2(1 + \cos \alpha)) + y_2$$

$$x_5 = (1 + 2\cos \alpha)(x_2 - x_1) / (2(1 + \cos \alpha)) + x_1$$

$$y_5 = (y_1 - y_2) / (2(1 + \cos \alpha)) + y_2$$

2.5 海岸线的生成

在模拟海岸线时,必须先给定两个或两个以上的控制点,控制点选取的原则是,除了两个端点外,其他的控制点应该尽量处于海岸线的拐点处;然后根据曲线的粗糙程度,选取适当的迭代次数.

模拟开始时,首先创建一线数据集,以存放生成的模拟结果;然后通过查询,从该矢量数据集中产生一个源记录集,以对迭代结果进行操作.这样在每次迭代前,可通过记录集的 GetGeometry 方法获取相对于该次迭代时的源图——曲线,通过线对象的 GetPartAt 方法获取其点串,并自动获得每个点的坐标.

在实际迭代开始时,还需根据海岸线的实际情况和控制点的位置,选取相应的偏向,程序按照表 1 中的 8 种情况,对相邻两点计算其点 C 坐标 $(x_4,$

$y_4)$. 然后利用 SuperMap 的点集对象依次将该线段的 A、D、C、E、B 5 点连线,并依次类推,直至完成源图上所有线段的第 1 次迭代.在完成这次迭代后,将该点集追加成一个线对象的子对象;然后将源记录集清空,即去除源图,再将该线对象加为源记录集的一条记录,让本次迭代结果作为下次迭代参照的源图.其核心程序如下:

```

...
根据式(4)求算出满足分维值的 a
...
For i = 1 To RL - 1 'RL 为迭代次数
  Set objline = objRs.GetGeometry()
  Set objPtemp = objline.GetPartAt(1)
  For j = 1 To objPtemp.Count - 1 '每次迭代前获取的控制点
    X1 = objPtemp.Item(j).X
    Y1 = objPtemp.Item(j).Y
    X2 = objPtemp.Item(j + 1).X
    Y2 = objPtemp.Item(j + 1).Y
    r = Sqr((X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2) / (2 * (1 + cos(Alf)))
    X3 = (X2 - X1) / (2(1 + cos(Alf))) + X1
    Y3 = (1 + 2 * cos(Alf)) * (Y1 - Y2) / (2 * (1 + cos(Alf))) + Y2
    X5 = (1 + 2 * cos(Alf)) * (X2 - X1) / (2 * (1 + cos(Alf))) + X1
    Y5 = (Y1 - Y2) / (2 * (1 + cos(Alf))) - Y2
    Bet = Atn((Y1 - Y2) / (X1 - X2))
    ...
    根据 a 和 beta 以及控制点的走向和点 C 的偏向求算 (X4, Y4)
    ...
    依次将 (X1, Y1) ... (X5, Y5) 加入点集
    ...
  
```

```

Next
objpoint.X=objPtemp.Item(objPtemp.Count).X
objpoint.Y=objPtemp.Item(objPtemp.Count).Y
objpoints.Add objpoint
Set objline=New soGeol.Line
objline.AddPart objpoints
objRs.DeleteAll
objRs.Update
objRs.AddNew objline

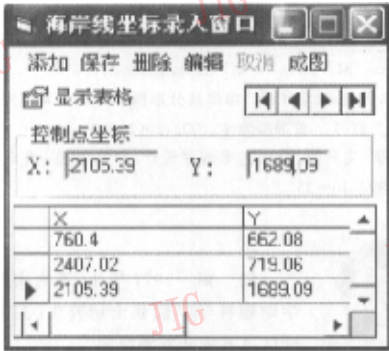
```

```
objRs.Update
```

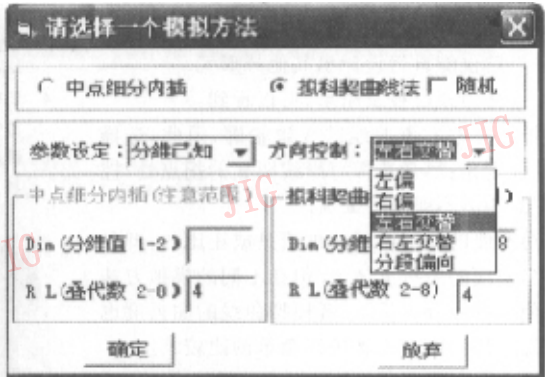
```
Next
```

3 程序运行与应用

如图 3 所示为海岸线的控制点坐标录入窗口以及各种参数录入窗口。



(a) 控制点坐标录入窗口



(b) 参数录入窗口

图 3 程序设计界面

其中,在控制点录入时,既可以人工输入坐标,也可以直接在地图上选取相应的点,利用 SuperMap 自动捕捉相应坐标.在此过程中,可以对这些坐标点进行编辑、修改、删除等操作.坐标输入完成后,点击“成图”按钮,即可弹出图 3(b)所示的窗体.本程序目前提供了两种方法进行模拟.在参数设定一栏,可以选择“分维已知”、“求算分维”进行不同条件下的模拟;而方向控制一栏,则决定了每条线段进行分形变形时的偏向.其中复选框“随机”表示在上述求算点 C 坐标 (x_4, y_4) 的基础上,再加入一个随机变量:

$$x'_4 = x_4 + R_x \quad y'_4 = y_4 + R_y$$

其中, R_x, R_y 为与 AB 长度有关的随机变量, x'_4, y'_4 为加上随机因素后点 C 的坐标,这样做可以使其更具不定因素,有可能更逼近自然,同时在模拟过程中, α 值是可变的,是对标准“科契曲线法”的一个有力拓展.

另外,各种参数有一定的范围限制,例如迭代次数的多少,与分维的大小并无关系,但迭代次数过多,随之产生的点的个数将是呈指数级增长,因此,在实际操作中,迭代次数的上限与所运行的计算机

环境有一定关系,建议在一般计算机中尽量控制在 8 次以内,效果较好.

在利用该模拟系统的基础上,对比例尺为 1:2 000 000 的江苏海岸线进行了模拟,图 4(a)即是利用改进后的科契曲线法在分维值为 1.068,迭代次数为 4 的基础上得到的模拟海岸线,图 4(b)则是利用随机中点细分内插方法在分维值 1.068,迭代次数为 4 的基础上得到模拟海岸线.

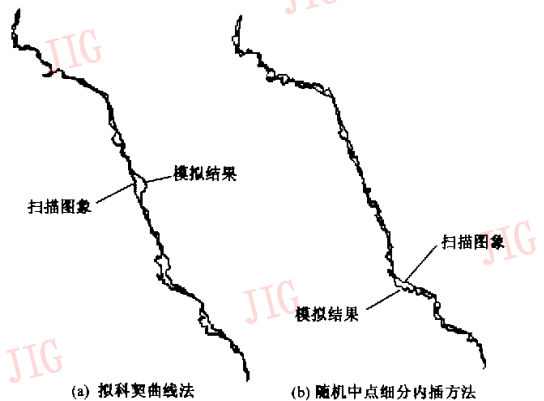


图 4 分维值为 1.068,迭代数为 4 条件下海岸线的模拟结果

4 结 论

利用两种方法对海岸线进行了模拟算法的研究,着重探讨了科契方法在已知分维条件下的模拟,并编写了相关的程序,实际运行效果良好.对于分维未知,即需求算分维的条件下,只要将 α 设为自变量,分维值就成为因变量,通过不断调整 α 的值,就可以得到不同的分维值,形成的分形元不同,模拟结果也不一样.对于随机中点细分内插法,也是如此.利用这种思路也能自行设计出其他分形元.

通过上述模拟过程及结果,可以看到:

(1)控制点左右着曲线的大致轮廓,因此,选择控制点的原则是:尽量选择海岸线明显的拐点处;控制点之间的距离不要相差太大.

(2)海岸线的曲折度与分维值是成正比的,即分维值越大,曲线的曲折度越大.但在不同的模拟方法之间,即使是同一分维值,二者模拟曲线的曲折度也是不一样的,故不能将二者进行简单的比较.

(3)多次模拟结果显示,在同一分维条件下,对同一海岸线进行模拟,结果是“随机中点细分内插法”生成的模拟岸线的曲折度往往比“改进后的科契曲线方法”的小,而“改进后的科契曲线”体现的细节比“随机中点细分内插法”更丰富.因此,在实际操作过程中,“改进后的科契曲线法”往往用于大比例尺地图海岸线的模拟.

(4)无论是“随机中点细分内插法”,还是“改进后的科契曲线法”,其迭代次数仅与曲线的粗糙程度有关,迭代数越大,海岸线的粗糙程度也越大,但对曲线的分维值几乎没有影响,而这正是海岸线具有自相似性的特征体现.

(5)海岸线的分形性质是客观存在的,分维值是表征其自相似特征的良好参数.而据此采用的分形模拟在海岸线生成、分维计算等方面的应用不失为一种典型的方法.该方法对海岸线、构造线等其他多种自然界中存在的线实体的分形研究都是具有启发与借鉴意义.

(6)现实中的海岸线十分复杂,形状也是各异多变.在不同条件下,分形元、分维值、粗糙度、控制点等参数之间的选择,对最终模拟结果有着决定性的影响,但其内在因素、相互关系以及各种方法之间的应用条件等等问题,都值得进一步深入的研究.

最后需要指出的是,由于自然界的复杂性和不规

则性,任何模拟只能是建立在一定条件下、一定限度内,任何模拟结果,经过放大浏览,都会发现它们之间微结构相差还是很大的.因此,如何更精确、更逼真地再现海岸线的神奇面目,也是进一步研究的目标.

参 考 文 献

- 1 胡瑞安,胡纪阳,徐树公.分形的计算机图象及其应用[M].北京:中国铁道出版社,1995:23~55.
- 2 朱晓华,王建,陈霞.海岸线空间分形性质探讨——以江苏省为例[J].地理科学,2001,21(1):70~76.
- 3 Christopher C. Barton, Paul R *et al.* Fractal in the earth sciences[M]. New York:Plenum Press, 1995.
- 4 陆娟,王建,朱晓华等.海岸线分形模拟方法及其应用——以江苏省为例[J].黄渤海海洋,2002,20(2):47~52.
- 5 潘金贵,艾早阳.分形艺术程序设计[M].南京:南京大学出版社,1998:10~25.



陆娟 1977年生,现为南京师范大学地理科学学院硕士研究生.主要从事地理信息系统开发和应用.



王建 1962年生,教授,博士生导师.主要从事自然地理学和地貌学研究.发表论文70多篇.



石兰 1978年生,现为南京师范大学地理科学学院硕士研究生.主要从事年代学、地理信息系统应用研究.