

基于 GIS 的地图分形测度可视化模型

许五弟, 周庆华, 周在辉

(西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要:运用 GIS 技术的可视化模型编程方法进行地图分形测度迭代和递归计算问题研究, 解决了由于 GIS 软件界面交互操作使地图计算繁杂冗长形成的分形计算过程的过度简化问题; 并分析了地图数据在分形计算中的特征, 提出了地图分形计算测度的上下界确定依据。

关键词:GIS; 分形; 可视化模型

中图分类号:TP301.4

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)06-0898-05

分形计算的特征是迭代和递归, 在研究地理问题时, 针对的是地图图形^[1-3]. 由于地图数据量大、结构复杂, 尤其对于以迭代和递归为特征的分形计算, 需要变换不同的参数不断进行过程重复, 因此一般的界面交互式操作冗长复杂, 对地图分形计算就进行了过度简化, 从而不能充分揭示地图表达的目标分形特征. 采用程序方式, 可以很好解决这个问题, 但是编写程序需要专门的学习和联系, 尤其对于 GIS 图层操作, 程序难度较大.

基于对地图数据自动化和批处理要求, 先进的 GIS 软件提供了一种模型编辑器, 以简单的可视化方式编程构建地图数据处理模型, 既实现了地图运算程序化, 又简化了程序编写过程. 提供可视化模型, 能够很好的实现地图运算的迭代和递归计算, 从而更有效的用于地图分形计算和研究^[4].

1 地图分析可视化模型

可视化模型是把交互操作过程用图形化绘制表达的一种编程方法, 这种方法使操作过程自动化, 提高操作效率. 当操作过程是多次重复时, 其优越性更加明显.

当前很多 GIS 类软件都提供了可视化建模功能, 通过绘制简单的数据和处理工具流程图, 并设置或选择数据和工具, 就形成了一个特有功能的地图数据处理模型, 用于地图分析和应用.

在 ArcGIS 有一个模型构建器, 在其中用绘制简单图形过程代替编程: 用椭圆图形代表数据, 用矩形图形代表处理工具, 用箭头线连接数据和处理工具, 作为数据处理流程, 还有循环、迭代等图形. 当对相应的图形进行数据或工具设置或选择后, 就形成了一个特定的地图处理程序可视化模型, 运行模型, 就产生计算结果^[5].

例如, 对椭圆图形选择等高线矢量数据, 对矩形工具选建立 Tin 工具, 并设定有关参数, 对输出数据椭圆设置一个输出数据的存储位置和文件名, 并分别用箭头连接数据与处理工具, 就形成了用等高线矢量图生成三维地形的可视模型, 运行该模型, 就可以用选择的等高线矢量图生成三维地形图(图 1).

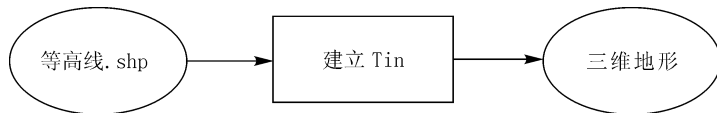


图 1 矢量转栅格的可视化模型

Fig. 1 Visual model of vector to raster

图 1 是可视化模型最简单的构造形式.

在可视化模型中, 一个数据可以通过不同的工具, 生成不同的数据, 例如对于 DEM 数据, 可以平行

用坡度分析、坡向分析等多个工具,一次生成坡度图、坡向图等多个输出;也可以用多个图层分别作为不同的参数,运算生成一幅图,如土地利用图和行政区划图叠加,形成土地利用行政区划图;在可视化模型中,生成的数据还可以作为输入数据进行计算.这样,在可视化模型中,可以用图形构造计算过程,解决复杂的地图计算问题.

在 ArcGIS 中,各种分析计算功能都集成到工具箱,而可视化模型完成后,可以加载到工具箱,成为工具箱的一个工具条.

2 地图分形计算

地图分形计算是按照分形计算方式进行地图数据处理,即按照分形计算要求确定需要使用的地图数据、确定对地图数据的处理方式和过程、确定对输出数据的内容和形式要求等,然后地图数据处理实现分形计算^[1].

2.1 地图分形计算内容

从图形角度来看,涉及地图的分形计算有改变观察尺度与根据测度关系计算分维数两种方法.改变观测尺度求分维数方法是用圆、球、线段、立方体等具特征长度的基本图形近似进行分形图覆盖,获得测度尺度指数函数 I_D 与该尺度测得的目标数量 NY_rY 之间的关系式.从分形理论角度,其间呈正相关关系,可以用公式 1 表达.

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (1)$$

改变观测尺度,即用尺度 r_1, r_2, \dots, r_n 进行测量,获得相应的观测数量 $N(r_1), N(r_2), \dots, N(r_n)$,在对数坐标图像上,观测尺度和观测数量会呈现为一条直线,该直线的斜率就是测度分维图形的分维数.

在进行实际计算,需要通过图形获取 $N(r)$ 和 r ,其中, r 值人为给定,通过图形计算获得对应的 $N(r)$,然后逐步减少 r 值,即用 $r_1 > r_2 > \dots > r_n$ 序列,进行重复计算形成对应的 $N(r_1), N(r_2), \dots, N(r_n)$,然后进行对数统计,见公式 2.

$$D = \frac{\log NY_rY}{\log r} \quad (2)$$

另一种方法是根据测度关系求维数,即认为区域的边界长度 L 与区域面积 S 、体积 V 和分维测度数 X 成比例关系见公式 3:

$$L \propto S^{1/2} \propto V^{1/3} \propto X^{1/D} \quad (3)$$

于是,对于一个区域就有面积的平方根与测度 X 的某分维数正相关,即公式 4:

$$S^{1/2} \propto X^{1/D} \quad (4)$$

这时在进行地图计算时,需要分别计算一个区域的面积和边界长度^[6-8].

2.2 分形计算的 GIS 算法解析

分形计算对于 GIS 而言,主要是通过地图分析或运算获取分形计算的基本数据,如面积,周长等.在 GIS 中,地图数据有矢量和栅格两种类型,相应的分形计算中的地图数据处理有两种方法,一种是直接用使用已有数据,另一种是进行数据格式转换.

当分形计算使用图斑的面积和周长数据时,对于矢量数据,可以直接使用地图属性表的数据;对于栅格数据,通过区域边界与范围识别,进行栅格分类,形成边界栅格数(对应于周长)和区域栅格数(对应于面积).

当分形计算用改变尺度时,若地图数据本身为栅格数据,这时的栅格大小为分形计算的最小单位尺度,再进行尺度分割无意义,需要通过栅格重采样进行栅格综合合并,形成不同的观测尺度和观测数量,这与一般分形计算的一点差异是尺度是从小到大的.

在有些情况下,需要进行数据格式转换,即进行矢量与栅格数据的相互转换.例如在用变尺度方法进行地图测度时,矢量转栅格是最简单的方法.

对于矢量数据改变观测尺度,采用矢量转换为栅格方式.从分形计算角度,是采用盒分割方法,即用一定大小的正方形进行图形覆盖,计算覆盖使用盒子的数量与盒子尺度之间的分形关系.

2.3 地图分形计算中的迭代与递归

迭代和递归是分形计算的一个特征,对应地图数据处理,一般是改变参数重复某种计算过程,如为了获取不同观测尺度下的观测数,对于矢量地图,需要按照观测尺度设置不同的栅格大小,进行矢量到栅格的转换,这个过程是一种地图数据处理的循环.对于栅格重抽样,则需要对设定尺度下进行栅格重采用,生成新的栅格图,然后以生成的栅格图作为输入,再进行重采样.这是一种递归运算.

对于地图分形计算中的矢量转栅格和栅格重采样,需要按照分形计算要求,确定最值观测尺度,即最大值和最小值.对于GIS地图数据,最大值是图层的定义范围,栅格数据的最小值就是栅格尺寸.

3 分形可视化模型构建

基于对地图分形计算和可视化模型特征分析,建立在GIS环境下的分形分析可视化模型,分别为改变观测尺度求维数可视化模型、栅格重抽样递归计算模型等.

3.1 改变观测尺度求维数可视化模型

对于道路河流一类线要素类型,只能采用改变观测尺度的盒分割方式计算其分维数.这种计算包含循环.在模型构建器中,进行模型构建,过程如下:

- 拖入一个图层如道路为输入数据
- 从工具箱拖入要素转栅格工具,设置其输入数据为道路,选取输出像元大小选项
- 设置输出像元大小的属性为“多值”并给定输入值,这里为栅格化的栅格尺寸
- 设置输出栅格图层的路径和图名(多个)
- 拖入一个汇总统计数

据工具,设置对栅格图层属性表字段统计,设置输出统计值(多个)

改变观测尺度求维数可视化模型见图2.

对该模型进行编译,通过后可以运行.模型可以保存到工具箱作为通用工具.

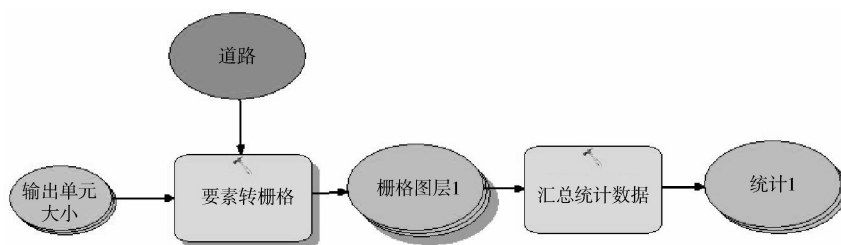


图2 改变观测尺度的可视化模型

Fig. 2 Visual model for changing observation scale

3.2 栅格数据的重采样递归模型

对于栅格重采样,把栅格数据作为多重输入,并设置不同的采样栅格尺寸,然后类上3.2节,进行分形计算.栅格数据的重采样递归可视化模型见图3.

3.3 其他分析计算的地图数据处理模型

涉及地图分形的各种计算,都可以通过可视化模型实现.地图分形计算的可视化模型一般模式是:以一种数据(图层、属性表、一个特别值等)作为输入,以一种工具进行数据处理并输出处理结果(图层、属性表、一个特别值等),输出值可以作为另外数据处理工具的数据源.

另外,在GIS中,有些计算也可以直接在图层属性表中进行,由于这种方式较为简单,也可以不是有可视化模型.例如,对于多边形矢量图的分形计算,可以在图层属性表中新建一个存储计算结果的字段,按照面积与周长的分形计算公式,取面积和周长数据直接进行计算.多边形的面积和周长数据可以在GIS中自动生成.

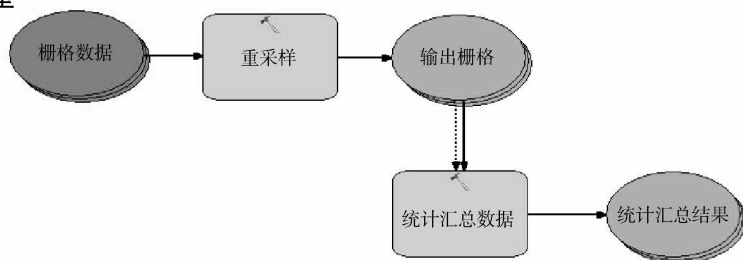


图3 栅格重采样递归可视化模型

Fig. 3 Visual model of grid resampling and recursive

4 计算实例

利用上述建立的可视化模型,分别对西安市的行政区域和西安市城区的道路进行分形计算.

4.1 西安市道路网分形分析

用改变观测尺度法对西安市城区范围道路网(图 4)进行分形计算,在图 2 的可视化模型中,进行栅格大小设置分别为 1、2、⋯、140、160,运行模型,获得计算结果见表 1.从表 1 可见随着栅格尺度的不断减小,栅格数量增加,而栅格各级尺寸对应的栅格数的指标也逐渐减少,在栅格尺寸与栅格数对数坐标图像中,这些点几乎处于同一条直线上(图 5),通过分析计算,确定这条直线的对数斜率为-1.058 3,即西安城区范围道路分维数 $D=1.058\ 3$.该值接近 1,说明道路网具有较明显的直线特征,说明西安市城区道路分形形态与实际比较一致^[9].

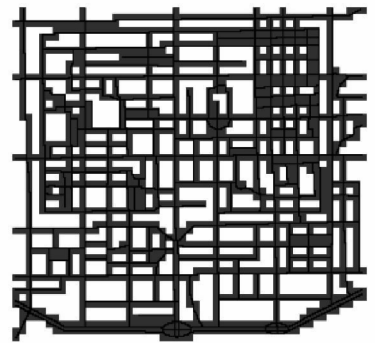


图 4 西安市城区道路网
Fig. 4 Xi'an city road network

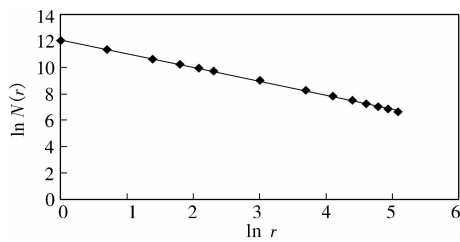


图 5 西安市城区道路 $\ln r-\ln N(r)$ 曲线
Fig. 5 The $\ln r-\ln N(r)$ curve of Xi'an city road network

表 1 西安市道路分维数

Tab. 1 Xi'an road fractal dimension

栅格大小	栅格数量	$\ln r$	$\ln N(r)$
1	174 109	0	12.067 44
2	86 933	0.693 147	11.372 89
4	43 331	1.386 294	10.676 62
6	287 90	1.791 759	10.267 78
8	21 542	2.079 442	9.977 760
10	17 187	2.302 585	9.751 909
20	8 452	2.995 732	9.042 158
40	4 100	3.688 879	8.318 742
60	2 640	4.094 345	7.878 534
80	1 904	4.382 027	7.551 712
100	1 451	4.605 17	7.280 008
120	1 147	4.787 492	7.044 905
140	944	4.941 642	6.850 126
160	775	5.075 174	6.652 863

4.2 西安市行政区的分形分析

对西安市市区和县级行政区域(图 6),利用公式 5 计算形状分维数^[10-11].

$$F_d = 2\ln\left(\frac{P}{k}\right)/\ln(A) \tag{5}$$

式中: F_d 是分维数; k 是常数; P 是斑块的周长; A 是斑块的面积.对于栅格景观, $k=4$.

由于地图数据为矢量图,并且计算量涉及周长和面积,因此不用改变观测尺度方式,而用属性表的面积字段和周长字段采用式(5)直接进行计算,计算结果见表 2.从图上看,各区域形状无明显狭长状况,因此分维数比较接近.

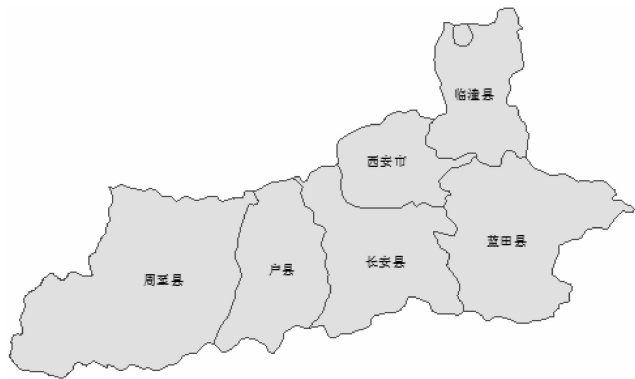


图 6 西安市行政区域
Fig. 6 Administrative districts in Xi'an

表 2 西安市分维数

Tab. 2 Xi'an fractal dimension

县名	周长/m	面积/m ²	分维数
临潼县	181 319.039	1 113 273 681.103	1.163
西安市	166 025.665	907 425 715.760	1.166
蓝田县	228 279.896	2 016 075 872.001	1.152
长安县	227 683.300	1 602 727 251.187	1.164
户县	164 090.364	1 283 673 432.270	1.145
周至县	262 317.785	2 993 082 044.390	1.144

5 结 语

分形分析经常涉及迭代和递归计算,地图数据处理耗时费力,因此进行地图数据分形计算时,为了减少计算量,进行计算内容过度简化.采用可视化模型,把地图数据处理和分形迭代和递归计算集成,图形迭代递归处理过程自动化,一次设定参数,迭代自动进行,同时还可以在模型中纳入分维数计算,使可视化模型称为地图分形计算的有力工具.

参考文献 References

- [1] MANDELBROT B B. The fractal geometry of nature[M]. New York: W H Freeman,1982.
- [2] 刘继生, 陈彦光. 城市地理分形研究的回顾与前瞻[J]. 地理科学, 2000, 20(5):166-171.
LIU Ji-sheng, CHEN Yan-guang. Fractal studies of urban geography in the past and future[J]. Geographical Sciences, 2000, 20 (5): 166-171.
- [3] 姜世国, 周一星. 北京城市形态的分形集聚特征及其实践意义[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 204-212.
JIANG Shi-guo, ZHOU Yi-xing. The fractal urban form of Beijing and its practical significance[J]. Geographical Research, 2006, 25 (2): 204-212.
- [4] ZEILER M. 为我们的世界建模[M]. 北京:人民邮电出版社,2004.
ZEILER M. Modeling Our World[M]. Beijing:Post and Telecom Press,2004.
- [5] 汤国安, 杨 昕. Arc GIS 地理信息系统空间分析教程[M]. 北京: 科学出版社,2006.
TANG Guo-an, YANG Xin. Arc GIS geographic information system spatial analysis tutorial [M]. Beijing: Science Press,2006.
- [6] 刘纯平, 陈宁强, 夏德深. 土地利用类型的分数维分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 136-141.
LIU Chun-ping, CHEN Ning-qiang, XIA De-shen. Land-use type of fractal dimension [J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2): 136-141.
- [7] 魏 诺. 非线性科学基础与应用[M]. 北京:科学出版社,2004.
WEI Nuo. Nonlinear Science Fundamentals and Applications [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [8] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1991.
DONG Lian-ke. Division of fractal theory and its application [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1991.
- [9] 刘继生, 陈彦光. 交通网络空间结构的分形维数及其侧算方法探讨[J]. 地理学报, 1999, 54(5):471-478.
LIU Ji-sheng, CHEN Yan-guang. Transport network fractal dimension of the spatial structure of their side of the operator [J]. Journal of Geographical Science, 1999, 54 (5):471-478.
- [10] 陈彦光, 刘继生. 城市形态分维测算和分析的若干问题[J]. 人文地理,2007(3):98-103.
CHEN Yan-guang, LIU Ji-sheng. On fractal dimension calculation and analysis of urban form[M]. Human Geography, 2007(3):98-103.

The visual model for map fractal measurement based on GIS

XU Wu-di, ZHOU Qing-hua, ZHOU Zai-hui

(School of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Study on the visual model of GIS for map fractal computing dealing with iteration and recursion was carried out. This resolved simplification of the computing due to the complex and tediously in alternately operation, and made an analysis on the map feature for the fractal computing and brought forward the method for determining upper and lower bound unit in map fractal computing.

Key words: GIS; fractal; visual model