

地图目标在制图综合中的分形衰减机理研究

李雯静^{1,2} 毋河海^{1,2}

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(2 武汉大学教育部地理信息系统重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:在分形扩展研究的基础上,结合地图综合的理论,分析了地图目标的自相似性在地图综合中的分形衰减现象,并研究了其变化原因和机理。结果表明,考虑了分形衰减现象的地图综合方法比原来认为分维数是定值的综合方法表现出了明显的优越性。

关键词:制图综合;分形衰减;尺度;扩展分维

中图法分类号:P283.1

地图信息是地理现象的抽象表示,对地图信息的分析过程实际上就是对地理现象及其规律的研究过程。由于地图目标和地理现象并不是简单表现为严格意义上的自相似,而是具有很明显的尺度依赖性,分维数在尺度变化的情况下也随之发生改变,所以单一分维不适宜描述地图信息。其有关具体研究见文献[1~3]。空间数据的尺度与地图比例尺有着很大的联系,利用分形理论的尺度依赖性质研究制图综合中地图目标随比例尺变化的现象及规律是一种新的途径。

1 制图综合中地图目标的分维值衰减现象

1.1 空间数据尺度与地图比例尺的关系

地图是按照一定的比例尺表示空间信息的,比例尺不同,表达同一地理范围的要素内容和详细程度也不一样,表现在地图目标上则是其结构形态发生改变。大比例尺地图上表现的是通过小尺度量测得到的空间数据;小比例尺地图上表现的是通过大尺度量测的空间数据。一般而言,可以认为数据尺度与相应地图比例尺在数量意义上的对应正好相反。

1.2 数据分级分类与比例尺的变化关系

在制图综合中,质量的综合主要表现为以概括的分类代替详细的分类,以综合的质量代替精

确的质量;数量的综合主要是对制图对象的数量特征减少标志和降低精度^[4]。随着比例尺的减小,缩小的空间无法表示地图目标的详细分类或 多重分级,所以进行类型的选择合并以提高地图目标的分类级别或者减少分级数。地图比例尺的大小对分级数目的多少有重要影响。

从不同比例尺地图上图式的分级分类可以看出地图目标的分级分类随比例尺变化的情况,地图比例尺大,地图视觉变量的变化范围也相应增大,分级数就要增加,反之亦然,具体见文献[5]。在大比例尺地图上,属性数据的分级分类受到地图用途、图形限制、数据质量等因素的制约,不可能无限制地增多超过某一极限值;同理,在小比例尺地图上,随着比例尺的不断减小,属性数据的分级分类也不可能无限减少,趋近于零(图 1)。

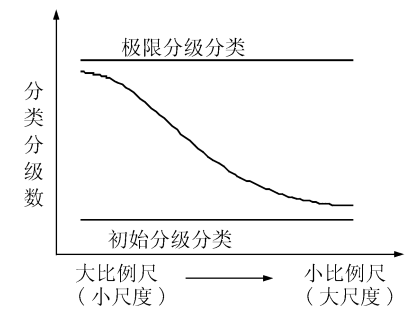


图 1 分级分类变化规律
Fig. 1 Rule of Class Variety

2 地图目标分形分析的基本方法

地图目标的分形分析及计算是建立在粗视化方法的基础上的。一般采用计盒法和构造步长法,其原理都是用不同的步长单位去量测地图目标,当步长值 r 的大小发生变化时,量测出的地图目标的长度 $L(r)$ 或面积 $S(r)$ 也相应地发生变化。根据分形理论有下式成立:

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

两边同时取对数可得:

$$\lg L(r) = -D \lg r + A \quad (2)$$

式中, A 为待定常数; D 为被测目标的维数,其值等于该式斜率的绝对值。

由式(2)可得到一条在双对数坐标系下的直线,在分形学中称为 Richardson 曲线,或者双对数曲线。

地图目标作为地理实体在平面上的客观表现,无法具有无限的精细性和严格的自相似性,它只能在一定的尺度范围内自相似或具有统计自相似,这个范围就是无标度区间。本文中,无标度区间的确定采用带导数的三次多项式曲线方法^[6],该方法可以得到在双对数坐标系下的分形无标度区间计算公式^[6]。

3 制图综合中的分形衰减规律

3.1 制图综合中的维数变化

地图上用于表现单个目标的信息量的减少可以反映在地图目标的结构形态的变化上,而分维数正是反映物体结构的复杂性和不规则性的,即地图目标随着比例尺的变化其结构形态也随之发生改变,造成用于描述它的信息量的衰减,反映到分维数的变化上应该也是衰减的。对于同一地图目标而言,其在小比例尺地图上的分维数一般小于其在大比例尺地图上的分维数。

3.2 制图综合中地图信息量变化的机理分析

不同于地图载负量的概念,地图信息量是衡量特定单位面积地表信息在地图上所能表现出的详细程度。在制图综合的过程中,为描述同一地表面积的地面情况,当其他条件都相同时,比例尺就成了决定地图信息量变化的决定性因素。实地 25 km^2 在 $1:10$ 万、 $1:25$ 万、 $1:50$ 万和 $1:100$ 万比例尺地图上,分别为 25 cm^2 、 4 cm^2 、 1 cm^2 和 0.25 cm^2 。显然,为了显示实地 25 km^2 范围内的制图对象,在不同比例尺上的详细程度是不一样

的。将地图比例尺分为大、中、小三个区间,在大比例尺地图中,选取的目标个数多,分级分类齐全,表达的信息完整,该区间内地图信息量保持不变或者变化很小。在小比例尺区间内,受到图面面积、符号与注记继续缩小的限制,虽然选取的目标个数在缩小,但地图总的信息量不可能无限制地减少。中间比例尺地图则在中间表现为过渡趋势,随着比例尺的缩小,地图图面面积变小,能反映地表的信息逐渐减少,详细程度也在减弱,信息量在这一区间内有规律地变小。因为地图比例尺的实际取值区间不可能无穷大或无穷小,所以地图信息量的变化趋势呈一种反“S”形态(图 2)。虽然比例尺减小,但地图描述的却是同一范围内地表的情况,只是表达的详尽程度有所不同。这种在不同尺度下表现出的自相似形态正好符合了分形理论研究对象的要求。依据分形理论对地图信息量建立反“S”曲线模型,不仅可以用于评价制图综合的质量,还可以用于综合过程中确定选取指标的参考。

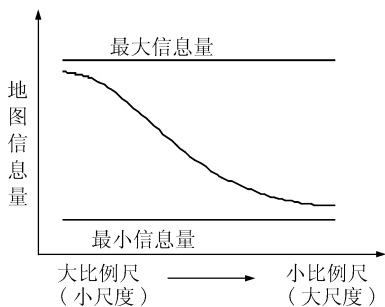


图 2 地图信息量变化规律

Fig. 2 Rule of Information Content's Variety

3.3 制图综合中空间数据分形衰减的机理分析

在确定分维数时,对于非线性现象的出现不能回避,而应该从新的角度出发作进一步的研究,充分使用所获得的各种不同的信息。从图 2 可以看出,在 X 轴方向上,随着尺度 R 的增大,对应的分维值在不断变小。根据尺度规律,地图比例尺 M 与尺度 R 之间存在如下对应关系:

$$R_{\max}/R_{\min} = M_{\max}/M_{\min} \quad (3)$$

对地图目标建立其 Richardson 曲线(图 3 中反“S”曲线),可以看到在点 R_0 处,该目标的分维值变化最明显,即在该尺度下,该目标的形态结构改变最大。由此可知,当尺度改变跨越这一点时,分形衰减的现象最严重。对 Richardson 曲线两坐标方向分别求导数,得到分维图谱曲线(图 3 中实线部分)。相应地,在点 R_0 处,分维值达到最大,在 R_0 点的两侧,分维值呈衰减的趋势。图 3

中的分维图谱曲线上升段并没有违反分形衰减的规律,因为这里的分维数变化是针对某一目标在一定比例尺地图上的形态并对其构造的 Richardson 曲线, R_0 对应的分维数是在该特定比例尺下达到最佳形态结构的地图目标理想的分维值;而本文前面提到的分形衰减是在不同比例尺下,同一地理目标表现为不同形态结构地图目标的分维值的变化情况,强调的是尺度变化效应。

图 3 中,在点 D_{\max} 处,目标实体具有最大的分维数,即在该尺度下,目标实体具有最完整的形态信息。在地图综合中,尺度 R_0 对应基础图的比例尺 M_0 ,综合后的比例尺为 M' ,由式(3)可以得到在新比例尺地图上应该使用的尺度值 R' 。因为 $M' > M_0$,所以 $R' > R_0$,即在分形谱曲线中, R' 出现在 R_0 的右侧,即综合后的分维值比原来要小,表现出分形衰减的趋势。

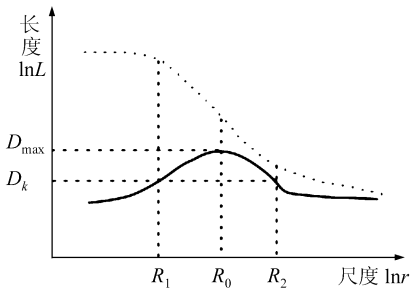


图 3 分维图谱曲线
Fig. 3 Curve of Fractal Dimension

4 分形衰减在制图综合中的应用

在地图综合常用的 Douglas-Peucker 法中,为了保持地图目标的形态结构特征^[1],认为分维值是保持不变的常数,仅仅依据比例尺的变化来控制综合所需的域值,这一方面忽视了制图综合必然会带来信息量减少的趋势;另一方面,比例尺的变化是对整幅地图而言的,并没有考虑到不同目标、不同要素自身的特点,其结果缺乏针对性。

对于不同类型的地图目标,由于其形态结构和在地图上所处的重要程度不同,其遵循的分形衰减变化程度是不一样的,可以根据它们自身的特点,采用相应的分维计算方法,建立各自的 Richardson 曲线。因为分形衰减在地图综合中的应用主要表现在对综合所需域值的控制上,其基本方法相似,主要通过以下步骤完成:① 用 § 2 提到的分形分析的基本方法建立基础比例尺地图上该目标的 Richardson 曲线,并且利用带导数的三次多项式方法确定其无尺度区间;② 在无尺度区间内建立该目标的分维图谱曲线,并计算出 D_{\max} 值及相应的尺度 R_0 , R_0 就是该目标在基础比例尺地图上对应的尺度;③ 已知 R_0 、综合前比例尺 M_0 和综合后比例尺 M' ,利用式(3)计算在综合后的地图上该目标对应的尺度 R' ;④ 以 R' 为新的尺度作为域值,对原目标运用 Douglas-Peucker 法进行综合,具体见文献[1~3]。

选取一条典型数字化海岸线作为实验基础,采用顾及分形衰减规律的方法(简称新方法)和只考虑单一分维值(简称传统方法)两种方法分别进行地图综合。每种方法进行两次,两次综合前后比例尺分母之比 M_1/M_2 分别为 1/2 和 1/4,得到如图 4 所示的结果。

比较图 4(a)和 4(c)可知,当综合前后比例尺分母变化为 1 : 2 时,新方法综合结果与传统方法得到的结果相比保留了更多的原始细节,具有更高的准确性;而图 4(c)中,在比例尺变化不大的情况下,去掉了太多的弯曲,甚至不能很好地表现原始轮廓,这样的结果显然无法满足地图综合的应用需要。比较图 4(b)和 4(d)可知,在比例尺变化幅度加大的情况下,采用两种方法综合得到的结果;新方法仍然保持着原始图形的轮廓,减少了较多的细节,但还是可以看出它是由原始曲线综合得到的结果;而图 4(d)综合的结果只剩下一段简单的折线,无法表示原始曲线的形态。比较图 4(a)和 4(b),在新方法下,在比例尺变化不同

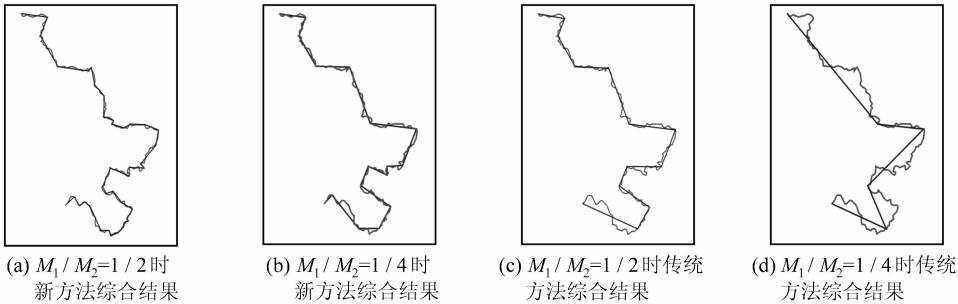


图 4 实验结果
Fig. 4 Results of Using Different Methods

的情况下综合的结果也不同,但它们都能较好地反映原始海岸线的形态特征,并且随着比例尺的变化由大变小,目标曲线的自相似形态结构也在递减。

从两种方法比较的结果来看,考虑分形衰减的新方法与认为分维值是常量的综合方法相比有明显的优势。因为新方法是在扩展分维理论基础提出的,综合结果既能保持大体轮廓,又能保留重要的细节,并且从数学角度来看,曲线拟合在一般情况下比直线拟合具有更高的精度。

5 结 语

本文对于分形衰减的研究为制图综合中的定量分析提出了一条新的思路,它比较客观地揭示出随着比例尺的改变,地图信息变化的程度和趋势,分维值的测算意义主要在于定量表现这种尺度变化效应。由于分形学在地图学中的研究还处于初步阶段,地图目标分形衰减规律及其在制图综合中的应用是今后需要进一步研究的课题。

参 考 文 献

1 王 桥,毋河海.地理信息的分形描述与自动综合研究.武汉:武汉测绘科技大学出版社,1998
2 毋河海.分维扩展的数值实验研究.武汉测绘科技大学学报,1998,23(4):329~336

3 龙 毅.扩展分维模型在地图目标空间信息描述中的应用研究:[博士论文].武汉:武汉大学,2002
4 祝国瑞.地图学.武汉:武汉大学出版社,2004
5 国家测绘局测绘标准化研究所,国家测绘局.测绘标准汇编·地图制图及印刷卷.北京:中国标准出版社,2003
6 蔡金华,龙 毅,毋河海,等.基于反 S 数学模型的地图目标分形无标度区自动确定.武汉大学学报·信息科学版,2004,29(3):249~253
7 毋河海.地图信息的分形描述.测绘通报,2001(2):24
8 毋河海.地图信息自动综合基本问题研究.武汉测绘科技大学学报,2000,25(5):377~386
9 高文秀,毋河海,龚健雅,等. GIS 中专题属性数据综合的若干问题.武汉大学学报·信息科学版,2002,27(5):505~510
10 王家耀.空间信息系统原理.北京:科学出版社,2001
11 王艳惠,陈 军,蒋 杰. GIS 中地理要素多尺度概念模型的初步研究.中国矿业大学学报,2003,32(4):376~382
12 Li Z L, Huang P Z. Quantitative Measures for Spatial Information of Maps. Int. J. Geographical Information Science, 2002,16(7): 699~709
13 吴 凡.地理空间数据的多尺度处理与表示研究:[博士论文].武汉:武汉大学,2002

第一作者简介:李雯静,博士生。现主要从事分形理论在地图学和 GIS 中的应用研究。
E-mail:wtusm_lwj@126.com

Fractal Attenuation Analysis of Cartographic Object’s Self-similarity on Cartographic Generalization

LI Wenjing^{1,2} WU Hehai^{1,2}

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
(2 Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper uses fractal geometry as a tool and fractal dimension as a measurement parameter to analyze the phenomena of fractal attenuation of cartographic object on cartography generalization. Different from thinking fractal dimension as a fixed value in cartography generalization, the authors think that the fractal dimension is a variable value and with the variation of the scale it will tend to decrease.

Key words: cartography generalization; fractal attenuation; scale; extended fractal dimension