

基于分形的中国沿海省区海岸线复杂程度分析

刘孝贤 赵青

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要 海岸线是分形领域最早的研究课题,但是到目前为止,尚没有人系统而全面地就一个地区或一个国家的全部边界进行过系统的分形维数的研究。为此从海岸线的分形维数着手,利用两种经典的分形维数计算方法,设计程序,分析计算普通印刷地图和电子地图的省区海岸线分形维数,提出海岸线复杂性分析的方法和原则,首次对不同比例尺、不同计算方法、不同模式的地图海岸线复杂程度的计算进行对比分析,在此基础上得出关于中国沿海各省区海岸线复杂程度的重要结论。

关键词 分形 分维数 海岸线 省区 复杂程度

中图法分类号: O231.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)10-1249-09

Analysis on the Complication-degree for Coast Line of the Chinese Provinces Along the Sea Based on the Fractal Theory

LIU Xiao-xian, ZHAO Qing

(Information Science and Technology Department, Shandong University, Jinan 250100)

Abstract Coastline was one of the earliest object in the fields of fractal research. However, the fractal dimension of coastline in one country has not been studied systematically so far. In this paner, programs are designed to calculate two kinds of fractal dimensions—box-counting dimension and divider dimension. Meanwhile, the method and the principle by which the complexity of the coastline is analyzed have been put forward through computing the fractal dimension of the common printing map and the electronic map. And for the first time, the complexities of the coastline computed by different scales, computational methods and modes of map are compared and analyzed. On this base, conclusions of the complexity of the coastline of the Chinese maritime provinces are drawn. The fractal dimensional value calculated by divider method is always bigger than that by box-counting method. The variety of the geographical constitution and aboriginal physiognomy from north to south is approximately consistent with the variety trend of the fractal dimension. To the electronic maps with the same precision and different scale, the fractal dimension goes along with the scale.

Keywords fractal, fractal dimension, coast line, provinces, complication-degree

1 引言

分形理论最早关注的问题之一就是有关海岸线复杂程度的问题,或者说海岸线长度的测量问题是引发对分形现象的发现和分形理论研究重视的实际问题之一。

分形概念于1975年由数学家曼德尔布罗特(Mandelbrot)提出^[1,2],是分析和处理自然界、社会

和科学技术中“不规则”事物的有力工具^[3,4]。分形现象揭示了自然和社会中许多本征规律和特征^[5],这类规律和特征是过去不曾被认识或难以理解的,例如流体力学中的许多非线性问题。因而,分形理论已经广泛地被各学科的科学工作者所接受,并将其应用于所面对的问题,其涉及到物理、化学、地质、天文、气象、材料、信息、艺术、经济、金融和计算机图形学等许多领域^[6,7]。

分形理论的重要价值在于,它关系到对某些科

学问题的认识、理解和对其所作出的结论,通过研究、计算和分析获得所研究对象的分形维数,是针对非线性系统研究的重要基础工作^[8,9]。

20世纪70年代以前,对海岸线尺度的描述是以“长度”为准,但是,所有关于海岸线“长度”的说法很难经得起推敲,问题在于通常所说的海岸线长度是用什么单位的“尺子”测量而得到的。在中国,课本和各种文献上都说中国的海岸线长度是18 000km,追根溯源这些说法,基本上都源于《辞海》,但是《辞海》也没有说明是如何测量和用什么尺子测量的。曼德尔布罗特对英国海岸线“长度”的关注引发了对海岸线复杂程度的分形研究,并成为分形领域最早和持续的研究课题^[10]。但是到目前为止,尚没有人系统而全面地就一个地区或一个国家的全部海岸线进行过系统的分形维数的研究,为此针对中国的海岸线“长度”问题进行了详细的研究,通过计算得到沿海各省市区海岸线的分形维数,并对其复杂程度进行讨论和评价。

在对海岸线分形(分维数)的研究过程中,采用了两种经典的分形维数处理方法,即盒计数法和折线法。对计算的结果进行比较和分析,结果表明,随着计算精度的提高,对同一幅图形使用折线法计算得到的分形维数一定大于用盒计数法计算得到的维数,而且在两种方法之间存在一定的线性关系。另外,对同一段海岸线就不同比例尺的地图进行计算,一般分形维数是随比例尺的增大而减小。

为了统一处理方法,尽量将人为误差和工具误差减至最小,所有读图、数据变换、分析计算等工作都利用专门为此而编制的程序进行处理。为了保证程序本身的正确,采用C++语言编制的程序的调试是在有准确的理论分形维数的图形上进行的。确切地说,选用了如Koch曲线、Minkovski香肠和Sierpinski垫这类经典的分形图形^[11]进行对比计算调试,以验证程序的可靠性。

2 分形图像分析

处理分形图形或分形系统,数据的提取、变换以及数据的完整性和精确程度很重要,对于包括海岸线在内的原始图像信息,以边界复杂程度为研究目标时,要求图形中不同区域的边缘要清晰,若还要处理地域高程和等高线的复杂问题,则还要求图形的

色彩层次要丰富。本文所讨论的主要问题是海岸线的复杂程度,因此对地图图形的色彩要求不高。在可以得到的公开信息中,选用国家出版社正式印刷出版的行政图或地形图,这对问题的研究和分析是至关重要的。在同一比例尺度和信息丰度条件下,可以保证信息的尽量准确和数据的精细^[12~24]。

为了保证分形维数的计算精度或准确程度,除了要重视分形图像数据的来源,还要充分恰当地选择计算方法。首先要将视觉图形变为计算机图形数据。该过程如图1所示。采用较高精度的扫描仪将纸质地图信息存入计算机中,选用了UMAX Astra 1220p的扫描仪,其扫描精度可以完全覆盖一般纸质印刷地图精度,这一步变换在相应的图形处理软件中不损失数据精度。因为所用扫描仪幅面较小,实际操作中是将原始彩色地图分块扫描输入到计算机中,并重新将其拼接成整幅地图。经过对图像去除噪声信号处理后,再将图像数据变换为二值图像。用二值化图像的空间4-邻域方法建立精确的边界,以便在最佳状态下进行分形特征的提取,得到相应的分形图像。



图1 分形图形提取流程

作为对比研究,还选用了正版的电子地图(Microsoft Encarta Interactive World Atlas 2000)。该电子地图采用英制单位,为保证比较研究的标准,比例尺经过换算,近似为1:500 000和1:1 666 667。

为本项研究专门编制的图形数据处理程序,其主要功能是判读、识别数值地图的边界。利用已经通过理论计算得到其分形维数的曲线测试调整程序。以典型的Koch曲线为例,它由递归迭代程序画出的离散点组成,理论上可以无限制地永远进行迭代计算、画点,而在视觉上,经过一定的迭代次数就可以得到视觉上连续的复杂(但规律上很简单)图形。本项研究关键是处理边界特征,只需要区别边界两边即可。对扫描存储的彩色地图,可以用两种不同颜色分别涂满图线的两边来做预处理,然后可方便地利用程序读取海岸线边界特征。实际处理则更为简单,如图2所示,边界两边只要有明暗区别即可。在本项研究中所使用的所有地图都进行了这样的预处理。

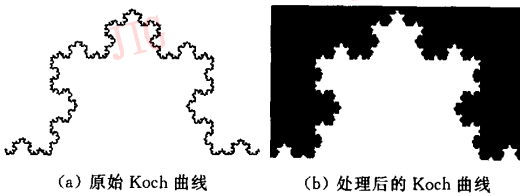


图 2 Koch 曲线

3 计算方法

盒维数(box dimension)是应用很广泛的分形维数概念之一,最早是由前苏联著名数学家柯尔莫哥洛夫(Kolmogorov)给出的^[25]。盒维数方法的出发点是利用不同的观察尺度来近似分形图形,并由此得到图形的分形维数。

设 F 是 \mathbf{R}^n 空间的非空有界子集, $N_\delta(F)$ 是覆盖 F 的直径不大于 δ 的集的个数。定义 F 的上、下盒计数维数分别为

$$\overline{\dim}_B F = -\lim_{\delta \rightarrow 0} [\ln N_\delta(F) / \ln \delta]$$

$$\underline{\dim}_B F = -\lim_{\delta \rightarrow 0} [\ln N_\delta(F) / \ln \delta]$$

若二者相等,称其公共值为 F 的盒维数 $\dim_B F = -\lim_{\delta \rightarrow 0} [\ln N_\delta(F) / \ln \delta]$ 。

若代表盒维数的极限存在,则 $N_\delta(F)$ 的可能情况有以下几种:是覆盖 F , 半径为 δ 的闭球的最少数目;是覆盖 F , 边长为 δ 的立方体的最少数目;是与 F 相交的 δ 立方体网格数;是覆盖 F , 直径最大为 δ 的集的最少数目;是中心在 F 中, 半径为 δ 的互不相交球的最大数目。

上述各种覆盖方式进一步扩展,对特殊的应用可采用最方便的定义。

就盒维数来说, $\overline{\dim}_B$ 和 $\underline{\dim}_B$ 都是单调的、Lipschitz 不变的;对 \mathbf{R}^n 的光滑 m 维流形 F , 则有 $\dim_B F = m$ 。此外盒维数的数值计算和经验估计也相对简单,这些特点都是盒维数得到广泛应用的基础。

表 1 3 种经典曲线的分形维数

方法	曲线	步长 $1/\delta$					实验维数	理论维数	相对误差(%)
		2	4	8	16	32			
盒计数法	Sierpinski	168	492	1482	4314	10912	1.5149	1.5850	4.42
	Minkowski	79	219	586	1480	3424	1.4103	1.5000	5.98
	Koch	58	153	341	767	1574	1.2332	1.2618	2.26
折线法	Koch	43	121	254	579	1609	1.2710	1.2618	0.73

表 1 中所列曲线的理论维数采用了文献[28]中的相似维数的定义。对计算结果进行简单分析即知,

盒维数存在几个等价定义^[26]。这里采用的定义为设 F 是 \mathbf{R}^n 上任意非空的有界子集, $N_\delta(F)$ 是直径最大为 δ , 可以覆盖 F 的集的最少数目, 当 F 的盒维数存在时, 有 δ 使得 $D_H(F) = \log N_\delta(F) \cdot \log \delta$, 其中, D_H 为 Hausdroff 测度意义下的维数, $N_\delta(F)$ 是与 F 相交的 δ 网立方体的数目。该关系式的证明见文献[27]。

为了得到平面集合 F 的盒维数, 可以画边长为 δ 的正方形网格(盒子), 对充分小的 δ 计数覆盖 F 的个数 $N_\delta(F)$, 维数是当 $\delta \rightarrow 0$ 时 $N_\delta(F)$ 递增的对数速率, 可用 $\ln N_\delta(F)$ 和 $-\ln \delta$ 图像的斜率来估计它的值。应用于 2 维的海岸线边界, 就是把图形分割成边长为 δ 的正方形, 统计出此图形中至少包含 F (即海岸线边界) 中一个点的正方形的数目 $N_\delta(F)$ 。当 δ 取不同值时, 有 $N_\delta(F) \propto \delta^{-D_H}$, 则图形上点的分形维数用 D_H 表示。

折线法(divider method)计算分形维数也是常用方法之一。对于海岸线这类平面复杂曲线, 该方法是用长度为 δ 的线段集合来近似海岸线的极限过程来计算分形维数^[26]。以曲线一端作为起点, 并以此点为中心画半径为 δ 的圆, 把曲线上相交于该圆的点与起点以直线段连接; 再将曲线与圆的交点看作新起点, 按步骤重复前面的操作。所得线段总数记作 $N(\delta)$, 海岸线的长度记为 $L(\delta)$ 。改变线段的长度 δ , 就会导致 $N(\delta)$ 的改变, 容易建立起如下关系:

$$L(\delta) = N(\delta) \times \delta, \lg L(\delta) = (1 - D_z) \lg \delta + C$$

式中, C 为常数, D_z 即为曲线的维数。

为了验证程序的可靠性, 分别用 Koch 曲线, Minkovski 香肠和 Sierpinski 垫这 3 种经典的分形图形对程序的计算结果进行验证。根据上述两种算法, 将计算所得的数值结果列于表 1。需要说明的是, 由于地图的精度有限, 在将步长 δ 值逐渐取小的过程中, δ 小到某种程度已经失掉了继续减小的实际意义, 对计算结果也就没有更多的影响, 因而计算过程中最多将 δ 值取到最初所取值的 $1/32$, 也就是将 $1/\delta$ 取到 32。

使用盒计数法计算出的数值与理论值的相对误差都小于 6%, 其中, 以 Koch 曲线的误差为最小, 仅为

2.26%，这是因为生成 Koch 曲线采用的是第 5 级的迭代结果，其精确程度必然要高于生成 Minkovski 香肠和 Sierpinski 垫采用的第 4 级迭代结果。

下面以图 3 中表示海岸线之一部分的曲线为例，分析盒计数法和折线法计算所得数值差异产生的原因。

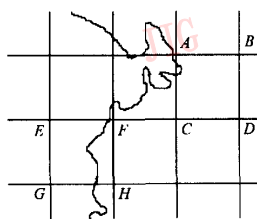


图 3 计算海岸线分形维数之图例

以 F 为起点， FH 的长度为 δ ， $FHGE$ 这一网格中，盒计数法得到的是一个盒子，在平面上的特例是一个方格或一个正方形；而应用折线法时，是以 F 为圆心， FH 为半径画圆，显然盒子中的曲线长度大于 FH 的长度，在该情况下可以看到应用折线法所得到的折线的线段数目应大于盒计数法所得到的盒子数目。

在图中网格 $ABDC$ 标注的另一个区域处，用盒计数法计算时，只要网格中有一点是边界线上的点，则计入这个网格总数；而应用折线法时，网格 $ABCD$ 中所包含的这一段边界的长度要小于 AC 的长度 ($FH = AC = \delta$)，就不能算作一段，从这一个网

格可以清楚地看到应用盒计数法所得到的盒子数大于应用折线法所得到的折线的数目。所以，当 δ 的值较大，即盒子较大时，用盒计数法所得到的盒子数应大于用折线法所得到的折线的线段数；而当 δ 的值较小，即盒子较小时，用折线法所得到的折线段数大于用盒计数法所得到的盒子数。由于上述原因，最后用回归分析拟合数据，得到的分形维数一定是使用折线法计算出的大于用盒计数法计算出的分形维数。对比 Koch 曲线用两种方法计算出的结果，可以验证上述的说法。

4 两种不同计算方法的比较与相关性分析

表 2 和表 3 使用了电子地图，且地图的比例尺不同，在不同的比例尺上都使用两种不同的方法计算沿海各省市海岸线的维数；表 4 则是采用普通印刷地图分别使用两种方法进行处理得到的计算结果。

这 3 个表都表明，当 δ 的值较大，也即 $1/\delta$ 较小，例如 $1/\delta$ 为 2、4、8、16 时，用盒计数法所得到的盒子数目都大于用折线法所得到的折线的段数；而当 δ 的值较小或 $1/\delta$ 较大，例如 $1/\delta$ 为 32 时，用折线法所得到的盒子数目都大于用盒计数法所得到的折线的线段数目。这从实证角度验证了前面对这一问题的解释。考虑到理论要求 δ 要趋于 0，因而对同一幅平面图形，使用折线法计算出的分形维数大于用盒计数法计算出的分形维数。

表 2 比例尺为 1:500 000 的电子地图分形维数

省市	盒计数法步长(1/δ)与分形维数					维数	折线法步长(1/δ)与分形维数					维数
	2	4	8	16	32		2	4	8	16	32	
辽宁省 1	1205	2576	5347	10794	21603	1.0395	908	1944	4024	8425	21734	1.1278
河北省 2	192	406	845	1713	3429	1.0394	140	299	618	1321	3442	1.1383
天津市 3	83	175	357	717	1435	1.0258	64	132	265	560	1442	1.1073
山东省 4	1561	3432	7149	14384	28846	1.0483	1186	2570	5387	11321	29044	1.1367
江苏省 5	715	1477	2969	5947	11907	1.0125	542	1117	2242	4547	11923	1.0944
上海市 6	141	292	591	1191	2379	1.0181	110	218	438	907	2384	1.0932
浙江省 7	1116	2388	5007	10151	20301	1.0458	827	1788	3735	7879	20539	1.1408
福建省 8	1854	4112	8581	17498	35174	1.0581	1362	3034	6411	13642	35674	1.1591
广东省 9	1719	3775	8013	16295	32672	1.0607	1303	2862	6001	12747	32893	1.1471
广西壮族自治区 10	586	1334	2843	5815	11734	1.0771	432	991	2128	4535	11822	1.1743
香港特别行政区 11	222	499	1061	2193	4418	1.0765	164	372	803	1703	4481	1.1739
海南省 12	964	2057	4238	8656	17356	1.0414	717	1543	3182	6753	17576	1.1361
台湾 13	896	1875	3804	7678	15442	1.0248	660	1392	2857	6036	15632	1.1248
总计	11254	24398	50805	103032	206696	1.0476	8415	18262	38091	80376	208586	1.1401

表 3 比例尺为 1 : 1 666 667 的电子地图分形维数

省市区	盒计数法步长(1/δ)与分形维数						折线法步长(1/δ)与分形维数					
	2	4	8	16	32	维数	2	4	8	16	32	维数
辽宁省 1	288	624	1 374	2 896	5 861	1.090 9	208	463	1 021	2 262	5 997	1.198 8
河北省 2	77	161	331	687	1 378	1.041 6	55	113	243	520	1 406	1.155 4
天津市 3	29	62	140	281	559	1.071 8	23	49	104	220	572	1.143 9
山东省 4	350	789	1 714	3 590	7 250	1.093 1	253	580	1 270	2 812	7 428	1.202 9
江苏省 5	171	361	740	1 497	2 981	1.030 0	125	260	542	1 144	3 009	1.131 6
上海市 6	40	84	168	344	687	1.023 8	31	62	125	264	692	1.105 1
浙江省 7	295	676	1 461	3 048	6 156	1.093 9	217	492	1 061	2 358	6 291	1.197 6
福建省 8	392	945	2 142	4 564	9 339	1.142 1	295	692	1 594	3 613	9 645	1.244 6
广东省 9	373	862	1 871	3 935	7 985	1.103 1	274	633	1 410	3 148	8 199	1.212 1
广西壮族自治区 10	111	269	648	1 393	2 839	1.172 6	83	202	471	1 079	2 927	1.269 8
香港特别行政区 11	44	112	258	536	1 092	1.152 5	35	85	187	438	1 134	1.240 1
海南省 12	230	499	1 052	2 215	4 472	1.071 3	167	365	788	1 732	4 555	1.178 6
台湾省 13	228	475	980	1 991	4 022	1.034 9	169	354	735	1 575	4 059	1.132 6
总计	2 628	5 919	12 879	26 977	54 621	1.094 3	1 935	4 350	9 551	21 165	55 914	1.198 8

表 4 不同比例尺的印刷地图分形维数

省市区	比例尺	盒计数法步长(1/δ)与分形维数						折线法步长(1/δ)与分形维数					
		2	4	8	16	32	维数	2	4	8	16	32	维数
辽宁省 1	1 : 800 000	829	1 808	3 844	7 975	16 022	1.068 6	604	1 329	2 825	6 144	16 443	1.174 2
河北省 2	1 : 800 000	200	423	892	1 847	3 682	1.053 1	143	303	640	1 419	3 734	1.164 1
天津市 3	1 : 200 000	321	669	1 395	2 894	5 822	1.047 5	241	501	1 052	2 245	5 960	1.142 0
山东省 4	1 : 820 000	1 105	2 387	5 070	10 452	21 123	1.064 4	785	1 751	3 733	8 049	21 631	1.176 9
江苏省 5	1 : 600 000	612	1 305	2 706	5 557	11 133	1.046 1	445	950	1 986	4 239	11 280	1.148 5
上海市 6	1 : 150 000	542	1 101	2 258	4 612	9 313	1.027 2	395	799	1 617	3 500	9 686	1.136 3
浙江省 7	1 : 700 000	939	1 999	4 210	8 625	17 330	1.052 1	691	1 473	3 084	6 589	17 723	1.152 3
福建省 8	1 : 750 000	1 331	2 983	6 256	12 792	25 692	1.064 2	977	2 196	4 643	9 824	25 991	1.162 9
广东省 9	1 : 920 000	1 133	2 424	5 045	10 206	20 542	1.043 5	813	1 753	3 699	7 819	20 750	1.150 5
广西壮族自治区 10	1 : 900 000	284	633	1 341	2 728	5 503	1.066 0	207	461	993	2 136	5 570	1.171 2
香港特别行政区 11	1 : 100 000	1 915	4 136	8 664	17 832	35 920	1.056 7	1 387	3 025	6 319	13 493	36 783	1.161 5
海南省 12	1 : 320 000	1 545	3 376	7 022	14 455	29 004	1.055 9	1 158	2 492	5 164	11 076	29 626	1.150 6
台湾省 13	1 : 530 000	951	1 953	4 015	8 224	16 534	1.031 4	676	1 421	2 929	6 242	16 966	1.143 4

用表 2 和表 3 中的分形维数建立图 4,是以盒计数法维数作为横轴,折线法维数作为纵轴,其中图 4(a)代表表 2 的数据,即比例尺为 1 : 500 000 时的数据,根据回归分析可以建立式(1);图 4(b)代表表 3 的数据,即比例尺为 1 : 1 666 667 时的数据,并根据一元线性回归方程系数的最小二乘法估计,建立式(2):

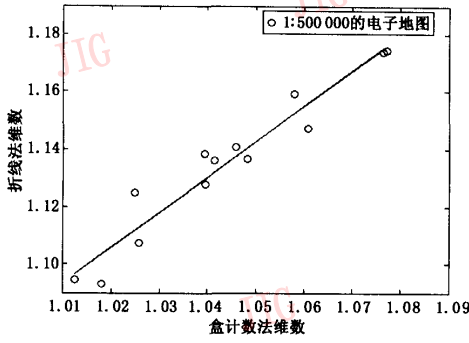
$$D_z = 1.225 3 D_H - 0.143 9 \quad (1)$$

$$D_z = 1.009 9 D_H + 0.089 0 \quad (2)$$

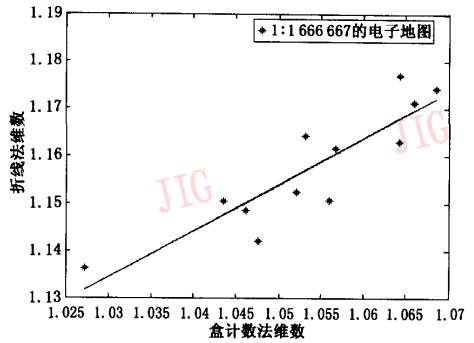
式中, D_z 表示折线法计算所得的分形维数; D_H 表示盒计数法计算所得的分形维数,误差预测结果分别为 0.042 6 和 0.023 6。说明在进行分形研究过程中,

可以在折线法和盒计数法之间建立一定的关系式。两种方法计算出的结果经过换算可以进行比较。

对比表 2 和表 3 可知,随着比例尺的增大,计算出的网格数或折线的段数是逐渐增大的,而其分形维数是逐渐变小的。从极限情况看,当测量者站在海边时(即比例尺最大,为 1 : 1),看到的海岸线都是很平滑的曲线,可以认为维数是 1(即维数最小),而在地图上看到的海岸线都是很蜿蜒曲折的线,比实际的海岸线要复杂得多,所以计算出的分形维数也应该要大,和上述的计算结果一致。表 2 和表 3 中比例尺分别为 1 : 500 000 和 1 : 1 666 667 的两组数据的相关系数为 0.931 2。



(a) 比例尺 1 : 500 000

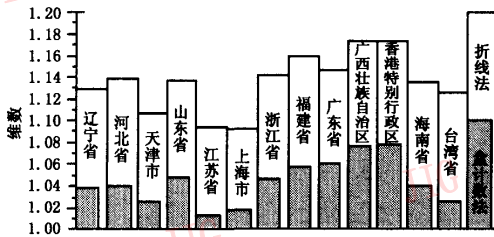


(b) 比例尺 1 : 1 666 667

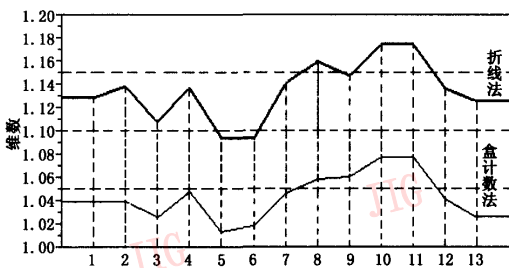
图 4 盒计数法与折线法计算结果比较

5 海岸线分维数

只选取表 2 和表 3 中沿海各省市电子地图的分形维数,并按不同比例和不同方式分别表示在 2 维直方图和从北向南的趋势图中,得到图 5、图 6。



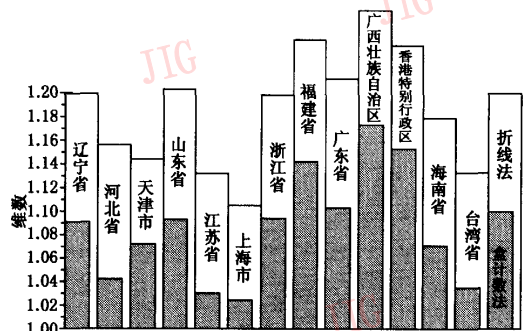
(a) 维数大小比较



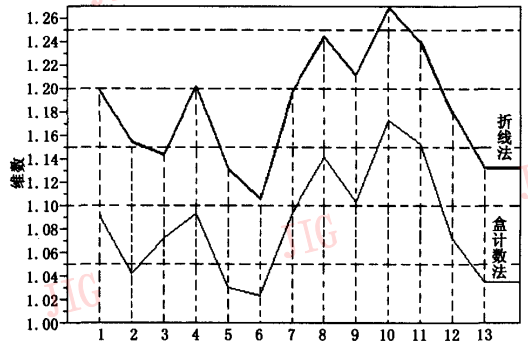
(b) 海岸线维数走势

图 5 1 : 500 000 电子地图

表和图都是按照从北向南沿海各省市区的顺序排列,不与大陆相连的岛屿海南省和台湾省则放在最后,这主要是为了处理和分析的方便,不具有其他任何含义。从这几幅图不但可以清楚地表明上面分析所做出的解释或结论,而且也可以比较沿海各省



(a) 维数大小比较



(b) 海岸线维数走势

图 6 1 : 1 666 667 电子地图

市区海岸线曲折复杂的程度。在图中沿海各省市区的海岸线都具有大致相同的规律。

直观上看,沿海各省市从北向南,海岸线复杂程度在图 5(b)和图 6(b)表现出的走势基本一致。“基本一致”的程度可以用相关系数表现出来。通过计算,图 5(b)(1 : 500 000 电子地图维数)两组数的相关系数为 0.965 3,图 6(b)(1 : 1 666 667 电子地图维数)两组数的相关系数为 0.969 2。这两个数都

大于线性回归 F 显著性检验临界值 $0.8783^{[29]}$, 因而说明数据之间的相关性很强。

6 不同比例尺电子地图之间的比较

用回归分析拟合表 2 和表 3 提供的两组数据得到图 7, 其中, 横轴是比例尺为 $1:500\,000$ 时的数据, 纵轴是比例尺为 $1:1\,666\,667$ 时的数据。可以建立关系式

$$D_2 = 1.2447D_1 - 0.2195 \quad (3)$$

式中, D_1 表示比例尺为 $1:500\,000$ 的分形维数, D_2 表示比例尺为 $1:1\,666\,667$ 的分形维数, 误差预测结果为 0.1271 , 即不同比例尺电子地图的分形维数之间存在线性关系, 具有可比性。

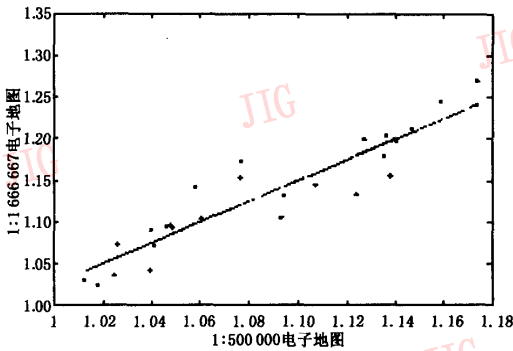


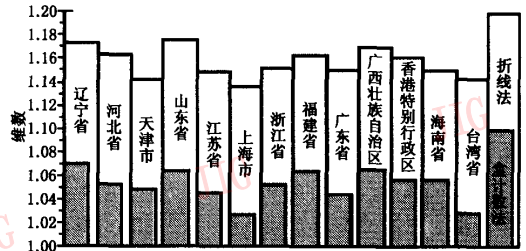
图 7 两种比例尺下维数的拟合与比较

7 电子地图和普通地图的比较

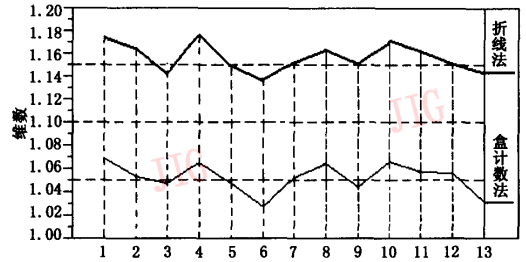
图 8 是根据表 4 中不同比例尺的普通地图的数据做出的, 两幅图都非常清晰地显示了两种方法处理结果的相关性和沿海地区海岸线复杂程度的走势。

从实际情况来看, 地图的比例尺越大, 所给出的海岸线弯曲程度的细节信息越丰富; 从理论上讲, 就同一段海岸线而言, 比例尺越大, 计算出的网格数或折线的段数就越多, 计算的统计意义更明显。然而, 由于理论上盒维数的计算需要将盒子的尺度 δ 取到无穷小, 则当 δ 小到一定程度时, 初期的 δ 值或比例尺的大小作用已经趋于“平凡”。如果地图没有丢失任何边界细节信息, 且 δ 又能趋于无穷小, 则比例尺的大小就失去了实际意义。

表 4 所列各沿海省市普通地图的比例尺不同, 但是所有比例尺的大小都在同一个数量级内, 最大比例尺香港特别行政区的 $1:100\,000$ 与最小的



(a) 维数大小比较



(b) 海岸线维数走势

图 8 不同比例尺普通地图

比例尺广东省的 $1:920\,000$ 之比是 9.2 , 仍在一个数量级内。因此可以认为比例尺的大小对本文的分析和结果精度有一定影响, 但不构成本质影响。

对比表 1、2、3, 除了河北省和台湾省之外, 其他省市都与理论分析相符合。如天津市、上海市、香港和海南省地图的比例尺比 $1:1\,666\,667$ 和 $1:500\,000$ 都大, 所以表 4 中的网格数或折线的段数比表 2 和表 3 中的都大; 而辽宁省、山东省、江苏省、浙江省、福建省、广东省和广西壮族自治区地图的比例尺都介于 $1:500\,000$ 和 $1:1\,666\,667$ 之间, 计算出的网格数或折线的段数比表 2 中的小, 比表 3 中的大。但是 3 个表格中分形维数数值之间的规律却不十分明显。将表 2、表 3 和表 4 中的分形维数画于图 9, 前面

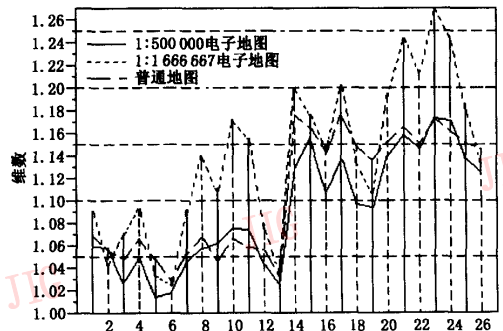


图 9 电子地图与印刷地图海岸维数计算比较

13 个数据是用盒计数法计算所得结果,而后面 13 个数据是用折线法计算所得的结果。从图中可知,普通地图与电子地图之间的关系很不明显,其中,辽宁省、山东省、浙江省、福建省和香港特别行政区的分形维数都是随着比例尺的不断减小而增大的,符合前面比例尺对分形维数影响的分析;河北省和江苏省普通地图的分形维数比两种比例尺电子地图的都大,说明普通地图和电子地图在精度上不同,两个省的普通地图更加细致,所以其边界线更复杂,这是因为分形维数是反映曲线复杂程度的参数。而天津市、上海市、广东省、广西壮族自治区和海南省普通地图的分形维数比两种比例尺电子地图的都小,这是它们的普通地图不如电子地图细致所导致的。

综上所述,可以得出以下结论:

(1)对于盒计数法和折线法两种计算分形维数的方法,当步长 δ 较大时,盒计数法计算出来的 $N(\delta)$ 值比折线法的大;当步长较小时,盒计数法计算出的 $N(\delta)$ 比折线法的小。所以曲线拟合得出的分形维数总是折线法的大于盒计数法的。通过大量数据的分析,可以寻找两种方法之间换算关系的经验公式。

(2)具有相同精度、不同比例尺的电子地图,比例尺越大,计算得到的分形维数越小。在比例尺和分形维数间也可以建立一定的经验关系式。虽然可以初步建立式(3),但是由于地图资料有限,文中只对两种比例尺的电子地图进行探讨,显然还有待于进一步的深入和完善。

(3)电子地图和普通地图之间比较时,影响分形维数的因素不仅有比例尺和计算方法,还跟地图的精度有关,所以很难断定 3 种因素哪一个会起决定性作用,因此就很难建立确定的关系式。这也有待于进一步的探讨。

参考文献

- 曼德尔布罗特. 分形对象[M]. 文志英,苏虹译. 北京:世界图书出版公司,1999:15~20.
- Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature [M]. San Francisco: Freeman, 1982: 59~72.
- Swarnakar V, Acharya R, Sibata C, et al. Spatial and Temporal Analysis of Brain Image Using Fractal Models [M]. World Scientific Publishing Co. Singapore, 1997: 30~41.
- Qiu Hong-lie, Nina Siu-Ngan Lam, Dale A Quattrochi, et al. Fractal characterization of hyper spectral imagery [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1999, 65(1): 63~71.
- 高安秀树. 分形维[M]. 沈步明,常子文译. 北京:地震出版社, 1989:25~60.
- 陈昭炯. 福建省海岸线的分形模拟及应用软件设计[J]. 福州大学学报, 1998, 26(1):11~14.
- Jin X C, Ong S H. Jayasooriah, Estimating fractal dimension [J]. Pattern Recognition Letters, 1995, 25(5):457~464.
- 朱晓华. 海岸线分形维数计算方法及其比较研究[J]. 黄渤海海洋, 2002, 20(2):31~36.
- 朱晓华. 关于海岸线长度不确定性问题的研究[J]. 海洋开发与管理, 2000, 7(1):23~26.
- Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension [J]. Science, 1967, 156(3775): 636~638.
- 肯尼思·法尔科内. 分形几何-数学基础及其应用[M]. 曾文曲,刘世耀等译. 沈阳:东北工学院出版社, 1991:80~92.
- 隋玉秀. 1:80 万辽宁省地图[M]. 北京:星球地图出版社, 2001.
- 刘毅,郑建慧. 1:80 万河北省地图[M]. 北京:中国地图出版社,1998.
- 李淑芳. 1:20 万天津市地图[M]. 北京:星球地图出版社, 2000.
- 王瑞平,李宗顺,杨洪泉等. 1:82 万山东省地图[M]. 北京:星球地图出版社,2003.
- 孟晶. 1:60 万江苏省地图[M]. 北京:星球地图出版社,2001.
- 李淑芳. 1:15 万上海市地图[M]. 北京:星球地图出版社, 2001.
- 高小玲. 1:70 万浙江省地图[M]. 北京:星球地图出版社, 1998.
- 张红. 1:75 万福建省地图[M]. 北京:中国地图出版社,1999.
- 王瑞平,李宗顺,杨晓燕等. 1:92 万广东省地图[M]. 北京:星球地图出版社,2003.
- 朱大仁. 1:90 万广西壮族自治区地图[M]. 北京:中国地图出版社,1998.
- 张伟群,何红艳. 1:10 万中华人民共和国香港特别行政区行政区域图[M]. 北京:中国地图出版社,1997.
- 吴汤兴. 1:32 万海南省地图[M]. 北京:星球地图出版社, 2001.
- 孟晶. 1:300 万台湾省地图[M]. 北京:星球地图出版社,2001.
- Kolmogorov A N. Local structure of turbulence in an incompressible liquid for very large Reynolds numbers[J]. Costa Rica Academy Science, 1936, 30(8): 299~303.
- 张济中. 分形[M]. 北京:清华大学出版社,1995:111~127.
- 盛昭瀚,马军海. 非线性动力系统分析引论[M]. 北京:科学出版社,2001:122~158.
- 丁保华,李文超,王福明. 分形图像分析与分形维数计算程序的设计[J]. 北京科技大学学报, 1999, 21(3):304~307.
- 马振华,刘坤林,陆璇等. 现代应用数学手册概率统计与随机过程卷[M]. 北京:清华大学出版社,2000:125~136.



刘孝贤 1946 年生。教授、博士生导师。1982 年、1983 年于山东大学分别获数学专业及电子工程专业双学士学位。目前学术兴趣为非线性理论与应用,如通信、电子、经济和地缘环境等问题中的混沌、分形分析、评价和利用,已发表学术论文 80 多篇。

E-mail:sdliuwx@sdu.edu.cn



赵青 1979 年生。2001 年毕业于山东大学控制科学与工程学院工业自动化专业,获工学学士学位。现为中国科学院自动化研究所博士研究生。研究方向为混沌、分形及其应用。

图诚科技进军大陆

近日,图形芯片界新生力量 XGI(图诚科技)公司在京召开新闻发布会,正式向业界进军中国大陆市场。XGI(图诚科技)展示了旗下 Volari V8、Volari V5、Volari V3XT、Volari V3 系列产品。

XGI(图诚科技)的 Volari 系列图形芯片涵盖了所有高端、主流及入门级市场,支持 DirectX 和 OpenGL 最新架构。本次发布会上公布的主要包括面向高端应用的 Volari V8 系列;为主流市场打造的 Volari V5 系列;以及特别针对入门级用户设计的高性价比产品 Volari V3XT、Volari V3 系列。

Volari V8、Volari V5 系列图形芯片内建微软最新的 Shader 2.0 着色器,提供电影级的 3D 画面享受;其支持 4 倍全屏反锯齿技术,保证无论是在低解析度下还是高速运行的图像,都能最大化的消除锯齿状纹理,实现逼真的色彩与平滑的曲面,使 3D 游戏中的人物更加立体、生动;硬件内建 4 倍各向异性过滤技术,使用户享受无距离差别的视觉清晰度,及时捕捉游戏中任何的风吹草动;8 条平行着色管线,提供无与伦比的感观享受。

Volari V8、Volari V5 系列图形芯片同时内建了 ColorAmp 引擎,运用最符合人类视觉感受的运算方式,在 DVD 及视频播放的时候,能够提供最自然的色彩饱和效果;不同于其他图形产品所提供的单向影像处理,XGI(图诚科技)的 Cipher 影像处理器同时可将输入及输出的交错式影像信号,运用内建的硬件处理器,反处理成最高画质的影像。

Volari V3XT 和 Volari V3 系列则是 XGI 专门为入门级用户提供的高质量图形显示解决方案。运用先进的图形算法设计出超高效率的逻辑电路,最优化的使用系统资源,相对于同级别的竞争对手,Volari V3XT 和 Volari V3 系列只需使用一半的晶体管数量,即可表现出卓越的性能,使用户在享受高水平 D3D 与 OpenGL 应用。