

城市空间形态定量化研究进展^{*}

牟风云¹, 张增祥²

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 对国内外学者有关城市空间形态定量化的研究方法作了回顾与总结, 主要介绍了基于 GIS 的定量分析法和分形维数法, 并简要地对各种方法作了评论, 使读者对目前在这一方面的研究情况有所了解, 以便明确进一步深入研究的方

关键词: 城市空间形态; GIS; 定量分析法; 分形维数法

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0273-05

Quantitative Study Advance of the Urban Spatial Morphology

MU Feng-yun¹, ZHANG Zeng-xiang²

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 40074, China; 2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Measuring methods of quantitative study of urban spatial morphology at home and abroad were reviewed and summarized. Quantitive analysis method based on GIS and fractal dimension were meanly introduced, which helped readers to understand the current research situtation in this aspect and nail down the direction of further research.

Key words: Urban spatial morphology; GIS; quantitative study; fractal dimension

城市形态是城市整体的物质形状和文化内涵两方面特征及其演变过程的综合表现, 是指城市各构成要素的空间分布模式, 有具体的物化表现形式和隐含的抽象精神内涵两个层面的理解^[1]。20 世纪 80 年代后随着城市发展的加快, 城市形态发生了急剧变化, 相继开展了对中国城市形态演变的过程、特征、动因、问题等方面的研究, 并对城市形态研究的理论与方法进行了探讨^[2-4], 从自然、历史、文化、城市职能等多角度对城市形态展开研究^[5-6], 在城市形态研究的分析方法和计量方法上均有较大进步^[7-8]。城市空间形态演化具有由内向外呈同心圆式向外扩展、沿主要交通轴线呈放射状扩展、跳跃式或组成团扩展、低密度连续蔓延等多种方式。当前城市空间形态演变定量研究主要有两类, 一类是基于地理信息系统(GIS)的^[9]; 另一类是基于传统的数理科学, 诸如非线性动力学和元胞自动机等。本文主要介绍基于 GIS 的定量分析法和分形维数法。

1 基于 GIS 的城市空间形态定量研究

地理信息系统(GIS)是综合处理和分析空间数据的一种技术系统。空间分析功能是 GIS 的重要功能, 主要包括叠加分析、缓冲区分析、地形分析和网络分析等^[10]。

城市空间形态在 GIS 中通常被抽象为面, 具有明显的形态特征, 有些特征易于被视觉或感觉, 如地物的走向、连通性、大致的形状如团块状、条带状等, 但大多数特征必须用数值来描述, 如面积、周长、坡度等。对地理空间物体形态的计算主要就地物的几何特征进行定量描述, 如面状地物的周长、面积、凸壳等^[11]。

目前, 在地学领域中用于测度形状的方法主要有两类, 有基于平均意义上的粗糙测度方法, 如形状率、圆形率、紧凑度、椭圆率指数和延伸率等^[12-13], 也有基于图形周界测度的较精确方法, 如 Boyce 和

* 收稿日期: 2008-04-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2002CB12507); 重庆交通大学引进人才基金; 重庆交通大学 2008 年校内青年科学基金

作者简介: 牟风云(1979-), 女, 山东潍坊人, 博士, 主要从事国土资源遥感、地理信息系统应用等方面的研究。E-mail: mfysd@sohu.com

Clark 在 1964 年提出的半径形状指数^[14], 利用傅里叶变换方法计算图形的形状指数^[15-16], Medda 等的基于形状要素功能的形状指数方法^[17]等。

面状地物的形态特征由其轮廓边界构成的多边形决定。主要的形态参数有周长、面积、延伸性、形状系数、紧凑度等。其中面积是最主要的形态参数之一。面状地物的形状特征比较复杂, 许多地图专家、地理学者及城市规划师等多采用标准的几何形状对实际地物进行吻合度或形态参数的聚类分析。在地物形态的定量描述时, 通常将面状地物的面积和周长(或其他几何特征)结合起来, 与参考圆进行相似比较。其方法归纳为以下几种:

1.1 基于轴比率的方法

设 W 为面状地物图斑的宽度(短轴), L 为长度, 则定义面状地物的延伸率 E 为

$$E = W/L \quad (1)$$

面状地物的圆度 C_t :

$$C_t = \sqrt{L W/L^2} \quad (2)$$

这两个指标适合于带状延伸的地物形态的比较, 若地物为圆形时, 其延伸率 E 和圆度 C_t 均为 1。带状延伸程度越大, 其比值越小。

1.2 基于周长的方法

设 P 为面状地物图斑的周长, L 为地物的长轴长度, P_c 为与图斑有相同面积的圆的周长, 则图斑的形状指数为

$$G = P/L \quad (3)$$

图斑的形状系数为

$$F_1 = P/L \quad (4)$$

$$F_2 = (P/P_c) \times 100\% \quad (5)$$

这种方法对简单的几何图形的测度具有一定意义, 但对于复杂不规则的图斑则无法准确地描述。

1.3 基于周长-面积的方法

基于周长-面积的方法, 有圆形率、紧凑度和内缘比等 3 种表示方式:

1.3.1 圆形率 设 A 为图斑的面积, P 为图斑的周长, L 为图斑的长轴长度, 则图斑的圆形率 C_2 为

$$C_2 = 4A/P^2 \quad (6)$$

式(6)是由 Miller 于 1963 年提出。当地物形状为圆形时, 圆形率为 $1/\pi$; 当地物形状为正方形时, 圆形率为 $1/4$; 具有带状特征的地物, 其数值小于 $1/4$, 离散程度越大的图斑, 其数值越小。圆形率这一指标考虑了区域周长和面积的关系, 综合了各种不规则形状的要害(通过周长加以综合), 因此, 能比较准确地反映出地物形态的紧凑和离散程度。

1.3.2 紧凑度 城市外围轮廓形态的紧凑度被认

为是反映城市空间形态的一个十分重要的概念^[18-24]。提出同名指标的有三位学者, 计算公式不同, 式(7)由 Richardson 于 1961 年提出, 式(8)由 Cole 于 1964 年、式(9)由 Gibbs 于 1961 年提出。

$$K_1 = 2 \sqrt{\pi A}/P \quad (7)$$

式中: K ——城市的紧凑度; A ——城市面积; P ——城市轮廓周长。紧凑度值越大, 其形状越具有紧凑性; 反之, 形状的紧凑性越差。这一公式以圆形区域作为标准度量单位, 圆形地物的紧凑度为 1, 其他任何形状地物的紧凑度均小于 1, 地物离散程度越大, 其紧凑度越低。紧凑度大的图斑受外界干扰小, 更容易保持内部资源的稳定性。该方法综合了各种不规则形状的多方面特征, 且建立了以整数 1 作为度量指标, 便于不同地物形态的比较。

$$K_2 = A/A^1 \quad (8)$$

式中: A ——地物面积; A^1 ——该地物最小外接圆面积。这一指标是以最小外接圆面积作为标准去衡量城市或区域形状特征。如果地物面积与最小外接圆重合, 则其紧凑度为 1, 否则紧凑度小于 1。该紧凑度避免了计算地物的周长, 操作简化, 使用比较普遍。

$$K_3 = 1.273A/L^2 \quad (9)$$

式中: L ——最长轴长度。公式采用 1.273 为系数, 也是为了使圆形形状的紧凑度为 1。这一指标同样确立了以圆形地物为度量标准, 而且计算方便。但其只考虑长轴长度, 所以难反映复杂地物的形态, 只宜于作概略的比较。

1.3.3 内缘比 图斑的内缘比(S)是周长与面积的比值, 即: $S = P/A$, 它反映了该图斑的边界效应, 通常情况下, 内缘比越大, 斑块受外界影响越大, 与外界的物质和能量交换程度越高。

把内缘比用于城市形态的研究中, 可以反映城市建成区对郊区的影响程度以及城郊之间物质、能量的交换程度。

1.4 基于面积的方法

1.4.1 形状系数 设 A 为地物的面积, A_c 为地物的最小外切圆面积, A_i 为地物的最大内接圆面积, 则地物的形状指数为

$$F_1 = A_i/A \quad (10)$$

$$F_2 = (A_c - A_i)/A \quad (11)$$

$$F_3 = (A_i/A_c) \times 100\% \quad (12)$$

这三个形状系数与前两个形状系数有相似之处, 即均以圆形为标准度量图形, 使实际地物的形状与圆进行比较, 却没有考虑周长因素, 因此只能作为简单概略的描述指标。

1.4.2 标准面积指数 1970 年 Lee 和 Sallee 提出

了利用集合运算法则来测度区域形状的方法^[25]。方法以等边三角形为标准形状,其计算的结果与真正的紧凑形状——圆形有一定的误差。其计算公式为

$$S = A \cap A_p / A \cup A_p \quad (13)$$

式中: A ——地物的面积; A_p ——与地物面积相等的圆形面积(把圆形作为标准); \cup 、 \cap ——集合运算中的并与交运算符。计算时,把标准圆重叠在面状地物上,求出面状地物与标准圆的交与并, S 值的取值范围为 $[1, 0]$,当 $S = 1$ 时,面状地物与标准圆重合,当地物形状越破碎时, S 值越小。这种方法对不同地物形状的可比性较强。

1.5 基于放射半径的 Boyce-Clark 形状指数法

Boyce-Clark 形状指数由 Boyce 和 Clark 在 1964 年提出^[14]。其基本思想是将研究的形状与标准圆形形状进行比较,得出一个相对指数的方法。这种方法是面状地物的重心(或图形的质心、行政区范围内的人口中心、经济中心等)为核心,向周边延伸若干条半径(半径之间的夹角相等),计算各条半径的变化情况,所以也被称为半径形状指数,用放射状指数 SBC 来表示,其表达式为

$$SBC = \frac{\sum_{i=1}^n |r_i / \sum_{i=1}^n r_i| \times 100 - \frac{100}{n}}{n} \quad (14)$$

式中: SBC ——Boyce-Clark 形状指数; r_i ——某个图形的优势点(vantage point)到图形周界的半径长度; n ——具有相等角度差的辐射半径的数量。 n 可以取不同的数量,数量越大,形状指数值精度越高。不同形状的图形有不同的形状指数,圆形有最小的形状指数,其值为 0,接下来是正多边形、矩形、星形、 H 形、 X 形和长条矩形等,直线的形状指数最高。这种方法的优点是形象、直观,更能反映形状的一般特征。

Boyce-Clark 方法计算形状指数的精度依赖于选取的顶点或节点、半径的数量,选取的数量越多,计算结果就越精确。该放射状指数在研究城市空间形态中考虑了城市中心与区内各部分之间的具体联系,它不单纯是从抽象的形状入手,而是综合考虑了各部分的客观位置特征。其反映城市区域内部联系的真实性更强、在城市形态时空变化方面具有较强的可比性。

1.6 基于多边形测度的表示方法

这种方法是将面状地物近似地看作多边形,然后利用空间统计学方法计算出多边形的要素特征。设 R_j 为地物中心向周边量测地第 j 个半径, S_j 为地物第 j 个边的长度, n 为边数,地物的平均半径为

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^n R_j / n \quad (15)$$

地物的半径方差为

$$S_R^2 = \sum_{j=1}^n (R_j - \bar{R})^2 / n \quad (16)$$

地物的平均边长为

$$\bar{S} = \sum_{j=1}^n S_j / n \quad (17)$$

严格地讲,这种方法不属于地物空间形状的定量描述,而是地物形状要素的空间统计。但是它可以间接地反映地物形态的复杂程度,如半径方差越大,则地物形态越离散;边长方差越大,说明地物形态的周边弯曲率越大、形状较复杂。该方法对于不同地物形态要素的比较非常有用,可作为面状地物复杂性的测度指标。不足之处是多边形的半径和边长较难确定。

2 分形维数分析方法

分形理论引入空间形态的定量描述中,不仅对研究复杂地物测度观的转变提供了数学依据,而且为分析地物空间形态的复杂性和不规则性提供了有力的工具。

城市空间形态是城市各构成要素的空间分布模式,是城市实体的地域空间投影。城市有着复杂的、非线性的空间形态,这种空间形态具有分形特征。城市形态分形研究是地理科学研究的前沿课题之一,自 1985 年 Batty 开创分形城市形态研究以来^[26],有关学者开展了大量工作: Batty 和 Longley 研究了城市边界和城市土地利用形态分形^[27-28], Frankhauser 测算了包括中国北京和台北在内的世界上许多城市形态的分维^[29-30], Batty、Longley、Fotheringham、White、Engelen 等在城市形态的分形模拟方面开展了大量工作^[31-34]。近来, Benguigui 等用网格法计算了 Tel Aviv 市的容量维数,提出了演化的城市分形概念^[35]。国内的相关研究开展较晚。自 1992 年李后强、艾南山将分形理论引入城市地理研究之后^[36],国内学者也在分形城市方面做了大量工作^[37],其中包括不少分形城市形态的研究。陈彦光等研究了城市形态熵与分形维数^[38-39],并在分形城市形态模拟方面进行了理论探讨^[40-41],张宇等、杨山、李江等用面积-周长法(网格法的一种)分别测算了太原、无锡、武汉不同时期城市的边界维数^[42-44];冯健用网格法计算了杭州城市形态的容量维数,揭示了杭州城市 1949-1996 年间城市形态和土地利用结构的演化特征^[45];赵晶等用面积-周长法和半径法分别计算了 1947-1996 年间上海市土地利用分形维数,探讨了上海市土地利用形态演变的驱动力^[46];姜世国等多期遥感影像,根据分形

理论,用半径法研究了北京城市形态^[47]。

分形维数是反映图斑形态复杂性的重要参数,分维数在一定程度上反映了人类对地物的影响程度。人类活动影响越大,地物的分维数越小。常用的分形维有 Hausdorff 维数、计盒维数、相似维数、信息维数和关联维数等,在地理学的应用研究中广泛应用的是计盒维数。在城市空间形态的分维计算中,又将其细分为网格维数、半径维数和边界维数等^[11]。

空间的分形维数可以描述城市边界形状的复杂性,反映出土地利用形状的变化及土地利用受干扰的程度,它是一个面积与周长的关系,结合景观生态学中的缀块形状指数^[48],定义如下:

$$S_t = 2\ln(P_t/4)/\ln A_t \quad (18)$$

式中: S_t —— t 时期城市斑块的的分形数, A_t , P_t —— t 时期城市斑块的面积和周长。 S_t 的理论范围在 1—2 之间, S_t 值越大表示图形形状越复杂。当 $S_t < 1.5$ 时,说明图形趋向于简单;当 $S_t = 1.5$ 时,表示图形处于布朗随机运动状态,越接近于该值,稳定性越差;当 $S_t > 1.5$ 时,则图形更为复杂。1.0 代表形状最简单的正方形斑块,2.0 表示等面积的情况下周边最复杂的斑块。

参考文献:

- [1] 欧阳勇锋,张延龙,蒋颖.关于城市形态模式的探讨[J].安徽农业科学,2004,32(5):1086-1088.
- [2] 武进.中国城市形态、结构、特征及演变[M].南京:江苏科学技术出版社,1990:13-14.
- [3] 胡俊.中国城市:模式与演进[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [4] 齐康.城市环境规划设计与方法[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [5] 吴启焰,任东明.改革开放以来我国城市地域结构演变与持续发展研究[J].地理科学,1999,19(2):108-113.
- [6] 陈力.旧城更新中城市形态的延续与创新[J].华侨大学学报:自然科学版,1997(1):58-61.
- [7] 陈泳.近代苏州城市形态演变研究[J].城市规划汇刊,2003(6):62-71.
- [8] 成一农.中国古代方志在城市形态研究中的价值[J].中国地方志,2001(1):136-140.
- [9] 李江.基于 GIS 的城市空间形态定量研究及多尺度描述[D].武汉:武汉大学,2003.
- [10] 陈述彭.地理信息系统导论[M].北京:科学出版社,1999.
- [11] 王新生.若干空间分析方法及应用于城市空间形态研究[R].北京:中国科学院博士后研究报告,2004.

- [12] 林炳耀.城市空间形态的计量方法及其评价[J].城市规划汇刊,1998(3):42-45.
- [13] 郭仁忠.空间分析[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1997.
- [14] Boyce R R, Clark W A V. The concept of shape in geography[J]. The Geographical Review, 1964, 54: 561-572.
- [15] Moellering H, Rayner J N. The harmonic analysis of spatial shapes using dual axis Fourier shape analysis (DAFSA) [J]. Geographical Analysis, 1981, 13(1): 64-77.
- [16] Moellering H, Rayner J N. The dual axis Fourier shape analysis of closed cartographic forms[J]. The Cartographic Journal, 1982, 19(1): 53-59.
- [17] Medda F, Nijkamp P, Rietveld P. Recognition and classification of urban shapes[J]. Geographical Analysis, 1998, 30(3): 304-314.
- [18] Gert D R. Environmental conflicts in compact cities: complexity, decisionmaking, and policy approaches [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2000, 27(2): 151-162.
- [19] Leorey O M, Nariida C S. A framework for linking urban form and air quality[J]. Environmental Modeling & Software, 1999, 14: 541-548.
- [20] 刘纪远,王新生,庄大方,等.凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J].地理学报,2003,58(6):885-892.
- [21] Roberto C, Maria C G, Paolo R. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion[J]. Ecological Economics, 2002, 40(3): 199-216.
- [22] Stephan P, Friedrich D. Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning [J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 52(1): 1-20.
- [23] Lo C P. Changes of the shapes of Chinese cities, 1934-1974 [J]. Professional Geographer, 1980, 32(2): 173-183.
- [24] Griffith D A, O'neil M P, O'neil W A, et al. Shape indices: useful measures or red herrings [J]. Professional Geographer, 1986, 38(3): 263-270.
- [25] Lee D R, Sallee G T. A method of measuring shape [J]. Geographical Review, 1970, 60: 555-563.
- [26] Batty M. Fractals & geometry between dimensions [J]. New Scientist, 1985, 106: 31-35.
- [27] Batty M, Longley P A. Urban shapes as fractals [J]. Area, 1987, 19: 215-221.
- [28] Batty M, Longley P A. The morphology of urban land use [J]. Environment and Planning B: Planning

and Design, 1988, 15: 461-488.

[29] Frankhauser P. Aspects fractals des structures urbaines[J]. L'Espace Geographique, 1990, 19: 45-69.

[30] Frankhauser P. La Fractalité des Structures Urbaines [M]. Paris: Economica, 1994.

[31] Batty M, Longley P A, Fotheringham A S. Urban growth and form: scaling, fractal geometry and diffusion-limited aggregation[J]. Environment and Planning A, 1989, 21: 1447-1472.

[32] Batty M, Longley P A. Fractal Cities: A Geometry of Form and Function[M]. London: Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers, 1994.

[33] White R, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land-use patterns[J]. Environment and Planning A, 1993, 25: 1175-1199.

[34] White R, Engelen G, Uljee I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land dynamics[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997, 24: 323-343.

[35] Benguigui L, Czamanski D, Marinov M, et al. When and where is a city fractal[J]. Environment and Planning: Planning and Design, 2000, 27: 507-519.

[36] 李后强, 艾南山. 具有黄金分割特征和分形性质的市场网络[J]. 经济地理, 1992, 12(4): 1-51.

[37] 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(2): 166-171.

[38] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.

[39] 刘明华, 陈彦光. 城市土地利用形态及其空间结构的分维描述方法[J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2001, 14(2): 209-213, 219.

[40] 况颐, 陈彦光. DLA 和 DBM 模型与城市生长的分形模拟: 关于城市分形形态模拟方法的一个理论探讨[J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2001, 14(3): 303-308.

[41] 陈彦光, 黄昆. 城市形态的分形维数: 理论探讨与实践教益[J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2002, 15(1): 62-67.

[42] 张宇, 王青. 城市形态分形研究: 以太原市为例[J]. 山西大学学报, 2000, 23(4): 365-368.

[43] 杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究: 以无锡市为例[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 671-678.

[44] 李江. 组团式城市外部空间形态分形特征研究[J]. 经济地理, 2004, 24(1): 64-66.

[45] 冯健. 杭州城市形态和土地利用结构的时空演化[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 343-353.

[46] 赵晶, 徐建华, 梅安新. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J]. 地理研究, 2004, 23(2): 137-146.

[47] 姜世国, 周一星. 北京城市形态的分形聚集特征及其实践意义[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 204-213.

[48] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

(上接第 272 页)

pH7~8^[8]。甘肃复杂的生态气候条件, 造就了豌豆族根瘤菌耐酸碱能力的多样性, 既有较好抗酸性的菌株 D₂ 和较好抗碱性的菌株 W₁, 又具有耐强酸强碱复合功能的菌株 Q₁。

参考文献:

[1] Peoples M B, Herridge D F, Ladha J K. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production[J]. Plant and Soil, 1995, 174: 1-28.

[2] Vance C P. Enhanced agriculture sustainability through biological nitrogen fixation[C] // Legocki A, Phouler B H. Biological fixation of nitrogen for ecology and sustainable agriculture. Berlin: Berlin Heidelberg, 1997: 179-186.

[3] 李友国, 周俊初. 影响根瘤菌共生固氮效率的主要因素及遗传改造[J]. 微生物学通报, 2002, 29(6): 86-89.

[4] 陈文新, 陈文峰. 发挥生物固氮作用减少化学氮肥用量[J]. 中国农业科技导报, 2004, 6(6): 3-6.

[5] 陈文新, 汪恩涛, 陈文峰. 根瘤菌-豆科植物共生多样性与地理环境的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 81-86.

[6] 宁国赞, 刘惠琴, 马晓彤. 豌豆根瘤菌优良菌种筛选及应用的研究[J]. 中国草地, 1997(2): 48-51.

[7] 慈恩, 高明. 环境因子对豆科共生固氮影响的研究进展[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1269-1274.

[8] 姜云植, 张梅芳. 豌豆族根瘤菌菌株分离筛选及某些因素对结瘤的影响[J]. 广西农学院学报, 1992, 11(2): 30-36.

[9] 刁治民, 王德贤, 张学功. 青海豌豆与蚕豆根瘤菌的初步研究[J]. 青海农林科技, 1996, 1: 11-15.