

中图分类号: P208

文献标识码: A

文章编号: 1672- 1586(2005)02- 0001- 05

地理空间数据处理的尺度理论

李志林

(香港理工大学 土地测量及地理资讯学系, 香港 九龙)

摘要: 尺度问题是许多学科(包括空间信息科学)中最重要的,但至今尚未解决的问题之一。本文系统地探讨了空间数据处理的尺度问题,给出了一个空间数据处理的尺度理论,在该理论中,引入了诸如尺度谱和地学尺度等新概念,区分了欧氏空间和地理空间中的尺度,提出了衡量尺度的标准(一组参数),并讨论了尺度和分辨率之间的关系。基于该理论背景,探讨了空间数据处理各个阶段的尺度问题,文章强调保持尺度一致性的重要性,最后提出了多尺度数据处理问题的一些可能的方法。

关键词: 尺度理论;空间数据处理;尺度一致性;方法

A Theoretical Discussion on the Scale Issue in Geospatial Data Handling

LI Zhilin

(Department of Land Surveying and Geo-Informatics The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract Scale is one of the most important but unsolved issues in various scientific disciplines including spatial information science. This paper tackles the issues related to scale systematically. A number of concepts are introduced as scale spectrum and geo-scale. A discussion is then conducted on the behaviour of scale in geographical space and Euclidean space. A set of parameters is suggested for the measure of scale. Emphasis is on the consistency of scale in the various stages of geospatial data handling, from reality sampling to presentation of outputs. Some possible solutions to scale problems are proposed at the end.

Key words scale issue; spatial data handling; consistency of scale; method

0 引言

尺度是一个老生常谈的地学问题。几百年来,尺度问题不但没有解决,而且经常造成混淆及误解。在地学这个学科,尺度像宗教中的上帝一样无处不在,因此有必要对它进行系统的阐述。

在制图学中,地图是按一定的尺度(如 1:1万, 1:10万)绘制的。于是制图学中存在多尺度的命题,即如何通过一些诸如简化、合并和选择性省略等操作从大比例尺地图中自动获得小比例尺地图。这个问题叫做“地图综合”。在现阶段,如何从最近更

新的大比例尺地图中通过地图综合来自动更新小比例尺地图是一个热门课题。

地理学中也存在类似的问题。地理数据一般由计数单元采样而得。计数单元的大小是尺度的指标。有些地理应用需要以较大的计数单元为基础做地理分析,此时采样所得的数据需经单元合并处理。但是基于不同大小的计数单元进行分析所得到的统计结果可能是不一致的,因此产生“如何将采样数据从小计数单元聚合成更大单元”的数据处理问题。这个问题被称为“可变更区域单元”(modifiable areal unit)问题^[1],尽管有些研究者对此的态度有所保

收稿日期: 2005-03-04

基金项目: 国家自然科学基金国家杰出青年基金类港澳青年学者合作研究基金资助(编号: 40329001)

作者简介: 李志林(1960-),男,1982年毕业于西南交通大学,学士,1990年英国格拉斯哥大学获博士学位。香港理工大学教授,GIS领域国际最权威杂志《International Journal of Geographical Information Science》的编委。

留^[2]。

实际上在所有地学科学中都存在着类似的问题,如地形学^[3]、海洋学^[4]、土壤学^[5]、生物学^[6]、生物物理学^[7]、社会科学^[8]、水文学^[9]、环境科学^[10],等等。

地理空间数据处理中的尺度问题包括图象表达的实时缩放、多源多尺度数据集成、多尺度数据建模及多尺度数据表达。近年来,由于基于地理信息系统的决策在不断推广,空间数据处理的尺度问题显得越来越严重,因此也受到越来越多的关注。最近,国际上编辑出版了几本关于尺度的专辑,如《遥感与地理信息系统中的尺度问题》^[11],《尺度与地学调查》^[12],《地理信息科学中的尺度问题》^[13],《遥感水文中的尺度问题》^[14]。本文想对地理空间数据处理中的尺度问题作一个系统的理论探讨。

1 尺度的分类、尺度谱及地学尺度

要研究尺度,首先得搞清楚我们都有什么尺度。也就是说,我们得先对尺度作一分类。表 1 是基于 4 个不同准则的一种分类:

表 1 尺度的分类
Tab 1 Scale classifications

分类准则	尺度类别
兴趣领域	数值、空间、时间、频谱、辐射(亮度)
研究区域	宏观、(=)、地学、(≠)、微观
处理过程	现实、数据源、采样、处理、建模、表达
度量程度	列名、次序、间隔、比例

在遥感中,电磁射线(EMR)是一个重要的概念。EMR由具有不同长度的波组成,从波长很短的γ射线到波长很长的无线电波。由所有这些波长不同的电磁射线组成的集合叫“电磁谱”。可见光只是电磁谱中很小的一段。在遥感中,可选择电磁谱中不同的波段来成像。自然科学中尺度范围的定义可与此类比。

在自然科学中,不同的学科研究不同的自然现象。核物理以纳米为单位研究亚分子层的粒子,这是在微观尺度下的一个极端。在另外一个极端,天文物理学以光年(光在一年中通过的距离)为单位研究行星,这种研究是在一个宏观尺度下进行的。在中间层,许多学科研究地球这一行星,如地质学、地球信息科学、地理学、地形学、地球物理学,等等。在这里,所有与地球相关的学科被统称为地学。所有研究地球的学科都在地学尺度的层次上。

与电磁谱类似,自然科学中的尺度变化也很大,

从微观尺度到地学尺度,再到宏观尺度。这一尺度变化范围被称为尺度谱(如图 1 所示)。和电磁谱中的可见光波段一样,地学尺度也只是尺度谱中的一小段。在这里我们指的是空间尺度。同样地,时间尺度谱如图 2 所示。



图 1 空间尺度谱和地学空间尺度

Fig 1 Space scale spectrum and geo-space scale

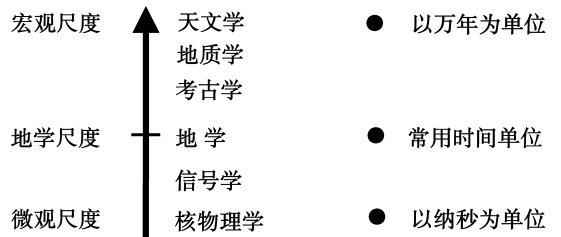


图 2 时间尺度谱和地学时间尺度

Fig 2 Temporal scale spectrum and geo-temporal scale

2 尺度的衡量标准

根据经验,我们认为尺度应用一组参数来衡量,例如:

- 区域大小(或比例尺)
- 精度
- 分辨率

也只有当它们一致时,才有意义。否则就会出现笑话。以下的例子大该能说明问题。

博物馆的解说员:“这是一块两万零二年的恐龙化石”。

参观者:“两万零二年?怎么这样准确?”

博物馆的解说员:“是的,我两年前刚来时被告知是两万年前的化石”。

显然,博物馆的解说员试图以“年”的精度来描述考古学中的时间尺度,导致参数之间的一致性,因而成了笑话。但实际上,这是大家常犯的错误,例如将“米”级精度的数据写成“50 001米”。也就是说,在这里,精度与数值尺度不匹配。数值尺度指的是数字的基本单位,即亿、万、千、百、十、个、十分之

一、百分之一、千分之一、万分之一、亿分之一等。为书写方便,人们用 10 的幂来表达,即 10^{1000} 、...、 10^{10} 、...、 10^2 、...、 10^{-2} 、...、 10^{-10} ...等。

图 3 说明分辨率与尺度的关系。这 4 幅影像的分辨率不同,尽管比例尺相同、范围大小相同,它们却代表不同尺度的东西。

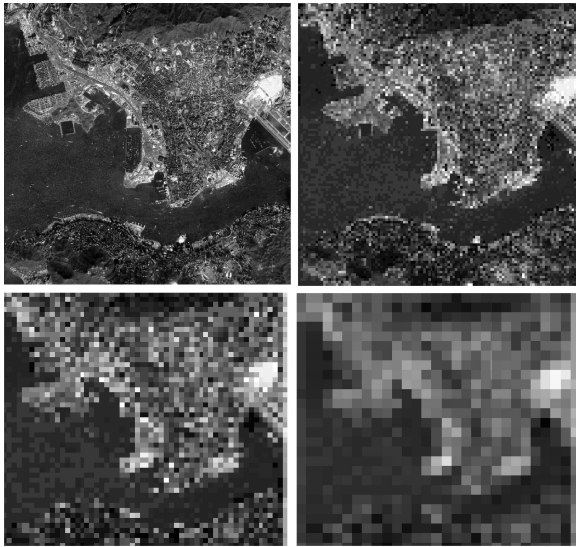


图 3 相同比例尺、相同范围大小但不同分辨率的 4 幅影像

Fig 3 Four sheets of imagery with same scale and size but different resolutions

3 欧氏空间的尺度与地学尺度之区别

欧几里德几何中也有着尺度的概念。一个对象的尺寸可以被放大或缩小,尺度也就发生变化。但这里应该指出,欧几里德几何中“尺度”这个术语与地理学科中“尺度”的含义不同,对此已有很多人进行了研究^[15-18]。

此处地理空间是指现实世界,欧氏空间是指欧氏几何中使用的抽象空间。在欧氏空间中,任何对象都相对于一个整数维,即一个点为 0 维,一条线为 1 维,一个平面为 2 维,一个体为 3 维。放大(或缩小)会导致 2 维空间中长度增大(或缩短)以及 3 维空间中体积增大(或缩小),但是对象的形状保持不变。图 4 是一个在 2 维欧氏空间中尺度缩放的例子,它表明这种变换是可逆的。

但是,在地理空间中维数并不是整数。分数维的概念被引入^[19]。在此空间内,一条线的维数在 1.0~2.0 之间,一个面的维数在 2.0~3.0 之间。在分维地理空间中,很早以前就发现,量测不同比例尺地图上的同一条海岸线,会得到不同的长度值。这是因为量测的是不同层次的现实(即不同抽象程度

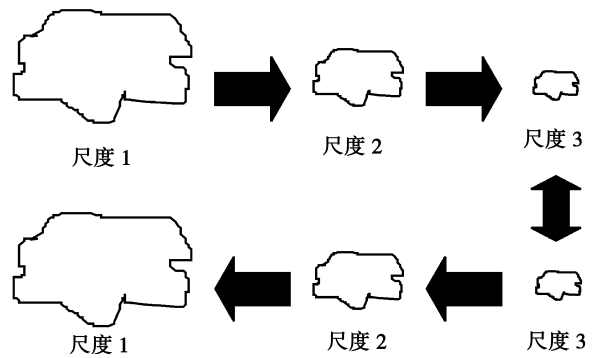


图 4 2 维欧氏空间尺度缩放示意图

Fig 4 Spatial scale reduction and magnification in 2D Euclid Space

的海岸线)。事实上,在较小比例尺下,对象的复杂程度被减小以便适应此比例尺。但当对象的表达从小比例尺放大到原始尺寸时,其复杂程度却不能恢复。图 5 说明了在地理空间中尺度的增加与缩小,它表明这种变换是不可逆的。

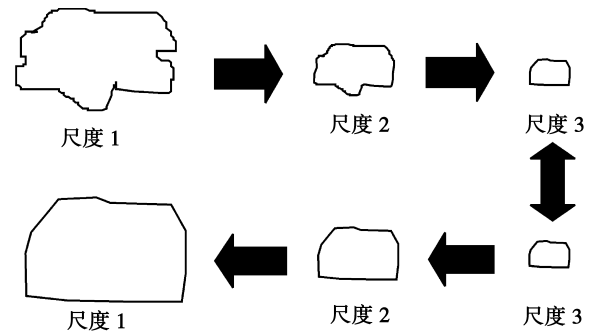


图 5 2 维地理空间的尺度缩放示意图

Fig 5 Scale reduction and magnification in 2D geographic space

随着空间分辨率的引入,现在就可以很容易地解释欧氏空间和地理空间尺度变化之间的区别了。在欧氏空间中,一个尺寸的变化不会引起对象复杂度的改变。这一点可以按这样理解:当对象的尺寸被改变时,观测设备的基本分辨率也会按相同的量变化。另一方面,在地理空间中,当尺度改变时,对象复杂度也随之改变。这种复杂度的变化可通过改变对象的尺寸和观测设备分辨率间的关系来实现。第一种方法是改变对象的表达尺寸,同时保持观测设备的基本分辨率;第二种方法是先保持对象的尺寸不变,但改变观测设备的自然分辨率,再通过欧氏空间的简单缩小来改变对象被观测的尺寸。

4 地理空间数据处理中的尺度问题

图 6 是地理空间数据处理的一个简单流程图。“现实”可以是某种存在、自然现象、事件、过程等,例

如地形起伏、森林大火、水土流失等。我们要研究的“现实”是有尺度的。例如,同样是地形起伏,全球的地形起伏与香港的地形起伏是不同层次的 2 个东西。在全球范围内,香港的地形起伏根本算不了什么。但是,当研究香港的地形时这 1 km 的起伏就显得很关键,它使得香港可开发的土地变得很少。

采样的尺度由分辨率和精度两参数来表示。它们必须跟“现实”的尺度匹配。例如,研究香港的地形时,如用几千米的间隔来采样,则显然不行。同样,研究全球的地形起伏时,如用几米的间隔来采样,则显然也不匹配。

空间数据可来自多种途径。直接从现实采样是

途径之一。在很多时候,所需的空间数据是间接获得的。这时,数据尺度与所研究的“现实”尺度很可能不匹配。例如,将从全球高程数据库中取出来的高程数据用于研究香港的地形起伏显然是有问题的。

同样,模型与现实、模型与数据也有尺度匹配问题。将适用于全球的水文模型用于研究香港的水文显然是有问题,将适用于香港的水文模型用于研究全球的水文显然也是有问题的。模型与数据的匹配应在建模过程中解决。这 2 个匹配显然是空间数据处理中令人头痛的问题。最后,输出的数值尺度或图形尺度也得与模型尺度匹配。

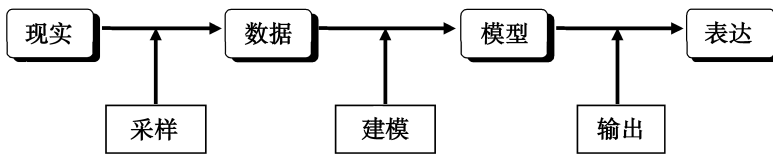


图 6 空间数据处理的流程图

Fig 6 Spatial data processing flow

5 解决地理空间数据处理中尺度问题的一点看法

如前所述,尺度意味着抽象的层次。不同尺度上的现实代表着不同的事物。Li and Openshaw (1993)举了一个简单的从不同高度观察地球表面的例子。如果一个人从卫星上看地球表面,会觉得地球表面很光滑。用从一对卫星影像(如 SPOT 影像或 Space lab Metric Camera 照片)形成的一个立体模型可以很容易地检测到这些现象。这样一个立体模型处于一个非常小的尺度上。若一个人从飞机上观察地球,小的细节消失了,地形变化的主要特征变得非常清楚。利用高空影像构建的立体模型比利用低空影像构建的立体模型更概括,这对于摄影测量工作者来说是一个常识。这些只是许多能够说明尺度维变换的例子中的一部分,在变换过程中,空间对象的复杂度随尺度的变化而变化^[18]。

这其中也有人眼分辨率限制的原因。视点越高,对应于人眼分辨率的地表范围越大,这样地表也看起来更抽象。对于由影像形成的立体模型,则是受影像分辨率的影响。落在影像分辨率内(如 SPOT 影像的分辨率为 10 m/像素)之内的信息就消失了。这些例子都遵循一个通用的法则^[20],称之为自然法则,该法则描述如下:

间变化细节是有局限性的。当超越某种限度时,所有的细节不能表现出来,因此可以忽略不计”。

由此得到的推论表述如下:

“通过使用一个类似于人眼分辨率限值,忽略超越该限值的空间对象之所有变化,便可以实现像摄影机一样的变焦效果”。

图 7 显示了该法则的运用。此法则描述了用摄影机照相时的变焦效果。这种效果被称为尺度轴上的变换^[18]。图 8 显示运用该法则对地表的多尺度建模。可以发现这一自然法则对地物的多尺度建模具有客观性。

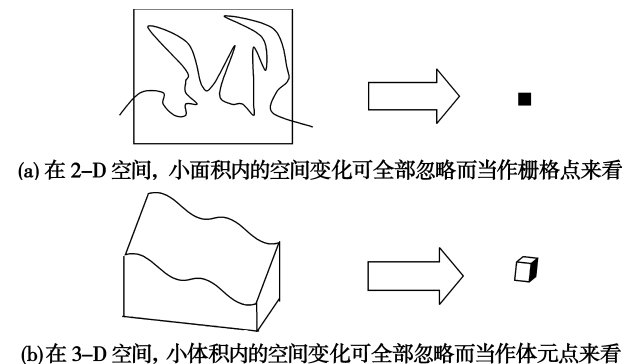
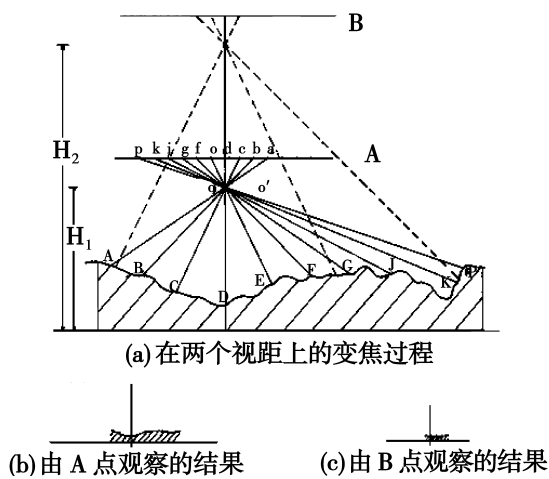


图 7 自然法则的图示^[20]

Fig 7 The diagram of natural law

在数学方法中,分数维几何(Fractal)、小波理论

图 8 运用该法则对地表的多尺度建模^[20]Fig 8 Land surface multi-scale modeling
by using natural law

(wavelet)及数学形态学 (mathematical morphology) 已被广泛使用。对人文数据的处理, Openshaw (1999)建议使用优化方法。取决于应用目的,可使优化函数的相关系数最大或最小、途径最短、大小最近等。

6 结束语

本文系统地讨论了与空间数据处理相关的尺度问题,给出了一个有关尺度的理论。在该理论中,引入了一些新的概念,如尺度谱、地理尺度等;区分了欧氏空间和地理空间中尺度的不同,提出了尺度的衡量指标,讨论了尺度和分辨率间的关系。基于该理论背景,本文讨论了空间数据处理各个阶段的尺度问题,强调保持尺度一致性的重要性。最后提出多尺度数据处理问题的一些可能的办法。

尺度问题是包括空间信息科学在内的很多学科的一个极其重要但又尚未解决的问题,它有待大家的努力。

参考文献:

- [1] Openshaw, S., 1984 The Modifiable Areal Unit Problem[M]. CATMOG # 38 Geo Books Norwich England
- [2] Tobler W., 1989 Frame independent spatial analysis[A]. In Goodchild M and Gopal S (ed). Accuracy of Spatial Databases [C]. Taylor and Francis London. 115- 122
- [3] de Boer D. H., 1992 Hierarchies and spatial scale in process geomorphology: a review [J]. Geomorphology, 4 303- 318.
- [4] Stommel H., 1963 Varieties of oceanographic experience. Science, 139 572- 576.
- [5] Hillel D. and Elrick D., 1990. Scaling in Soil Physics Principles and Applications [J]. Soil Science Society of America 25, 122
- [6] Hauy L., McGowan J and Wiebe O., 1977. Patterns and processes in time-space scales of plankton distribution [A]. In Steele J (ed), Spatial Pattern in Plankton Communities [C]. Plenum Press NY and London. pp277- 327.
- [7] Friedl Mark A., 1997. Examining the effects of sensor resolution and sub-pixel heterogeneity of spectral vegetation indices Implications for biophysical modelling [A]. In Quattrochi D. and Goodchild M. (ed), Scale in Remote Sensing and GIS [C]. CRC Press 113- 140
- [8] Dovers S. R., 1994 A framework for scaling and framing policy problem in sustainability [J]. Ecological Economy 12: 93- 106.
- [9] Blöschl G. and Sivapalan M., 1995. Scale issues in hydrological modelling A review [J]. Hydrological Processes 9: 251- 290.
- [10] Bian Ling 1997. Multiscale nature of spatial data in scaling up environmental models [A]. In Quattrochi D. and Goodchild M. (ed), Scale in Remote Sensing and GIS [C]. CRC Press 13- 26.
- [11] Quattrochi Dale A. and Goodchild, Michael F. (eds), 1997. Scale in Remote Sensing and GIS [M]. Boca Raton: CRC Press 406pp
- [12] Sheppard, E. and McMaster R. (eds), 2004 Scale and Geographic Inquiry: Nature, Society and Method [M]. Malden: Blackwell Publishing 272pp
- [13] Tate N. and Atkinson P., 2001 Modelling Scale in Geographical Information Science [M]. Chichester: John Wiley & Sons 277pp
- [14] Stewart J. B., Engman, E. T., Feddes R. A. and Kerr Y., 1996 Scaling up in Hydrology using Remote Sensing [M]. Chichester: John Wiley & Sons 255pp
- [15] Montello D., 1993 Scale and multiple psychologies of space [A]. In Frank, A. and Campari I (ed), Spatial Information Theory: A theoretical basis for GIS [C]. Springer-Verlag 312- 321.
- [16] Li Zhilin 1994. Reality in Time-Scale System and Cartographic Representation [J]. The Cartographic Journal 31 (1): 50- 51.
- [17] Bruegger B., 1995. Theory for the integration of scale and representation format: Major concepts and practical implications [A]. In Frank A. and Kuhn, W. (ed), Spatial Information Theory: A theoretical basis for GIS [C]. Springer-Verlag 297- 310
- [18] Li Zhilin 1996 Transformation of spatial representation in scale dimension: A new paradigm for digital generalization of spatial data [J]. International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing XXXI(B3): 453- 458
- [19] Mandelbrot B., 1967 How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractal dimension [J]. Science, 155 636- 638.
- [20] Li Zhilin and Openshaw, S. (1993) A Natural Principle for Objective Generalisation of Digital Map Data [J]. Cartography and Geographic Information System, 20(1): 19- 29
- [21] Li Zhilin, Zhu Q. and Gohl, G., 2005 Digital Terrain Modeling Principles and Methodology [M]. Boca Raton: CRC Press 323pp
- [22] Openshaw, S., 1999 Optimizing Scale [A]. Keynotes Speech, 20th Asian Remote Sensing Conference [C]. 22- 25 Nov. 1999, HK.