

空间尺度基础性问题研究

李霖¹ 应申¹

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:论述了地理信息科学领域中空间尺度的研究意义,介绍了空间尺度的具体内涵和定义,分析了空间尺度各内涵之间的内在联系和制约关系。
关键词:空间尺度;空间广度;空间粒度;认知尺度
中图法分类号:P282

在地理信息领域,尺度是最基本最容易混淆和模糊的概念^[1,2]。尺度是地理空间分析的一个基本工具,也是空间数据的一个主要属性,是空间分析和管理的的主要因素之一^[3]。尺度几乎影响着 GIS 应用每个方面的:尺度认知问题,空间数据的优化表达、综合和信息交流。尺度问题可以分为 4 类:① 尺度的基本定义;② 尺度的效用;③ 尺度和空间分析集成的方法;④ 尺度的空间认知^[4]。

通常,在特定的尺度下进行地理现象、过程或目标的研究,并显示其特有的属性。GIS 可以表达多尺度现象。随着数字世界的发展,尺度以及尺度变换方面的研究愈加重要。传统制图中的地图比例尺在无缝的数字世界中还没有很好的定义,因此对尺度的理解和多尺度数据管理的研究必须跟上发展的需要,以产生正确、科学的决策。

1 空间尺度的研究意义

1) 完善地理信息科学理论。许多尺度问题都包含着人的认知,空间尺度是整个地理信息科学中不可或缺的内容,缺少对空间尺度理论的深刻研究,就不能更好地认识地理空间,不能准确地对地理空间(目标、现象或过程)进行描述。空间尺度是地理数据处理分析的前提,是空间分析与决策的基础。空间尺度的研究是对地理信息科学的完善和发展,为分析地理目标和现象,挖掘空间

数据,进行决策分析提供科学的依据。

2) 空间数据挖掘的需要。空间粒度和空间尺度是空间数据挖掘和知识发现的一对孪生指标^[5]。不同空间广度下有不同的空间粒度,地理目标和地理现象呈现不同形式,有不同的表达。空间数据挖掘在不同的空间粒度和空间广度下进行数据分析,通过尺度变化来得到不同层次的空间知识。减少粒度,增加广度,空间数据粗略概括,综合程度提高,对空间目标的表达趋于概括、宏观,空间异质性降低,空间模式成型;增大粒度,减少广度,空间数据具体化,对空间目标的表达趋于精细、微观,空间异质性增加,空间模式多样性。

3) 地理信息共享的需要。更高级的地理信息共享方法必将尺度的知识整合到元数据中。选择合适的尺度使元数据具有不变性,是有效进行地理元数据描述和评估的前提,特别是对地理要素的分类与编码,关系到空间数据的表达和属性描述。需要确定哪种模式是最适合表达尺度和评估效应的。尺度信息的提供能帮助用户对给定的应用确定相应的尺度。

4) 发展多尺度 GIS 软件的需要。GIS 软件的核心是空间数据库的管理,设计和发展多尺度空间数据库,来有效地存储多尺度数据,执行多尺度分析和尺度智能变化,是 GIS 软件适应数据更新和自动处理的迫切要求。

2 空间尺度的内涵分析

尺度是地理空间和地理目标的本质特性,但不同的学科对尺度的定义不同,其定义取决于尺度使用的环境和条件。尺度通常可分为两类:与观测目标有关的尺度和描绘事务过程或属性的尺度。Lam 等^[6]对尺度进行了基本的分类。Schneider^[7]认为,尺度代表着地理数据度量范围内的精度。更复杂的尺度定义认为,尺度是模式的变化,这种模式是由空间广度的测度来决定的,并且该测度能探测兴趣物(地理目标或现象)量度多样性上的显著变化^[8]。一般来说,尺度是过程、观测或模型的一个时间或长度特征,这种定义参考了它的自然特征、精度以及过程和形式间的关系。最普通的尺度定义是指空间扩展和精度。在地理景观的时空模型下,尺度的定义和过程、观测精度有很大关系,其中要区分三种尺度相关的术语:① 空间现象和空间过程,如植被覆盖;② 对空间现象研究时的数据抽样最小单位——分辨率、粒度;③ 对数据的分析、概括和推理。因此尺度概念可以用现象、数据采样和数据分析的三维来表达^[9]。

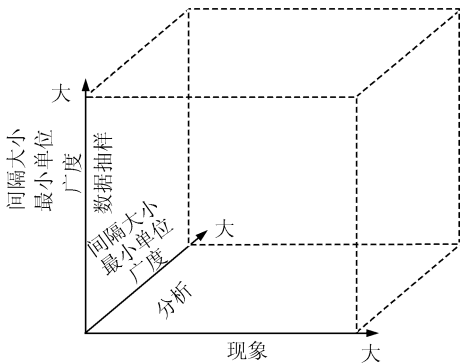


图 1 尺度概念的三维
Fig. 1 Dimension of Scale Concepts

从图 1 可以看出,空间数据的尺度特征有着不同的内涵——尺寸、图形、间隔、广度等。图 2 是在标准地形图中对居民地数据的表达,要考虑的尺度问题包括:① 空间数据的最小单元;② 采用的图形(矩形);③ 各单元或图形间的间隔(0.5 mm)。这些概念在进行地理数据分析时也是至关重要的,如在地图综合中,这些尺度在量上会发生一定改变。

在地图学中,尺度就是比例尺,是实地距离和图上距离的比率。但 GIS 中尺度概念要复杂得多。在很多文献中,尺度的概念已和其本意有一



图 2 最小数据单元、图形和间隔
Fig. 2 Min-unit, Shape and Interval

定的不同。对一个地理学者来说,1:1 万地图表达的意思远超过地图图形或距离的放大倍数,还传达着其他相关的知识,如精度、要素组成、地图表达的空间范围等。对其他类型的地图产品,理解尺度的概念可能更广泛。对 DEM 来说,尺度就转化为粒度。通常,尺度可分为绝对尺度、相对尺度、精度、粒度以及细节等^[10]。这样分类是为了暗示尺度的意义,同时也取决于对地理信息的思考和决策时的顺序。

尺度相关的变量之间的关系在纸质地图中是很显著的。由于制作工艺和纸张的精度限制,纸质地图上尺度直接和坐标精度相关。纸张页面的大小限制着地图表达的地理范围,正是这种空间的限制导致了制图综合的发展。计算机屏幕可视化的发展一定程度上解决了分辨率问题,但缩放和漫游只能在一定的尺度范围内进行。事实上,这是和人类的认知相关的。在认知方面,尺度是对传统地理和制图中尺度的一个外延。对空间分析和地理建模来说,尺度作为距离的比例就不再具有太大的意义,分析和建模算法也不再依赖它。相反,其他尺度相关的变量,如精度(粒度)、广度、精确度发挥越来越重要的作用。在数字化时代,尺度的定义也应转换到新的环境,赋予数字环境中的数据库新的含义。

综合上述分析,空间尺度主要有以下内涵。

2.1 认知尺度

康德将空间概念定义为人的思维创造的、能够和现实世界交互的“世界”,这种情况下空间具有观测者和被观测对象的特征。认知地图和地理表达的一个需要就是引入不可触摸的现象(如大气)和超出人类经验的尺度(如全球尺度)。人类生活的客观世界充满着认知(心象)地图,它们是人类对空间结构、空间要素和现象认识理解的图形表示。尺度从技术上影响地理数据的内容,也影响着空间信息的表达、分析并最终影响人类认知。我们对现实世界进行建模,并通过地理视觉化来表达,但这通常和我们理解现实的方式并不

一样。面对这个挑战,尺度和空间的关系就逐步发展为空间认知(地图认知)、人类感知和生态世界^[11]。

不同的空间尺度是受人的感知能力限制的,其中包括人的喜好和选择(视觉搜寻)。因为没有已经定义好的正确的尺度来分析现象,所以尺度也就随人的感知而存在并发生变化。结果,人类的需求也就决定了问题的关键。

2.2 空间细节层次(LOD)^[10]

尺度可以理解为空间细节层次或空间分辨率,也就是所记录的变化最小距离,通常用一定的距离来表示。实际中一般用一个矩形的格网来直观地表示空间分辨率,所有它内部的目标都会被删除或不被采纳。空间分辨率的大小对空间数据的操作是敏感的。在遥感技术中,空间分辨率称为定名尺度,在场模型的矢量表达(如等高线)中,需要捕捉场中不规则的等值点来表达,并且在等高线图 and TIN 图中,等高线的变化或三角面的大小是不能表达空间分辨率的。

空间细节层次中,空间要素的异质性程度反映着不同的空间模式,这在地理景观的等级结构中是至关重要的。模式尺度是空间模式和空间结构在尺度变化上的表现,如地图综合中由离散居民地到街区(块状)再到点的变化(图 3)。



图 3 LOD 与空间结构

Fig. 3 LOD and Spatial Structure

2.3 地图比例尺

一般有数字比例尺、直线比例尺和文字描述比例尺 3 种描述方式。地学上比例尺范围通常从一个房屋到整个地球,Hudson^[12]指出,比例尺变化范围为 1:100~1:1 000 000 000。

人们通常混淆的问题是大比例尺描绘的地图(空间范围)比小比例尺的要小。通常小比例尺和大比例尺是相对概念,没有绝对的比例尺。

传统纸质地图受纸张材质以及其他因素约束,对要素定位精度有限制。因为这个定位限制,在实际地表上定位和比例尺有很大的关系,如典型的地图精度是 0.1mm。比例尺有时是地图要

素描绘的替代品,这是因为比例尺决定空间精度和地图规范的原因。可以说,比例尺表征着纸质地图的许多特征和性质。

2.4 空间粒度

空间粒度指空间分析中的精度以及空间信息和空间知识的抽象度。粒度在物理学中指微粒或颗粒大小的平均度量,在地理信息的分析中可看作像素的大小、地理目标的分辨率、空间数据的认知层次等。人类能从不相同的粒度世界中观察和分析同一主题,地理信息处理中亦可从不同层次上分析地理数据,通过尺度变化来得到不同层次的知识,满足不同的需要。精度是空间数据尺度影响分析中一个主要因素。定量分析中寻求的尺度就是优化精度。在地形图表达中,粒度指最小可表达的地物大小,图 2 指小板房的最小矩形单位,是该尺度认知下的最小观测粒度,是该比例尺下的地理目标的最小度量单位。

另一方面,空间目标的间隔也是空间精度的一种表达,它指地理目标间的间隔。对地图目标两点间的间隔可以是质心间的距离、定位点间的距离和图形间的距离。

2.5 空间广度

尺度也通常指研究区域或研究对象的范围和外延,它可以用面积区域来度量。如对我国标准 1:50 000 的地形图来说,其研究范围是经度 15′、纬度 10′。有时也用地理尺度来表达观测或研究的范围,这样,大的地理尺度对应着大的范围,与地图比例尺的概念刚好相反。空间广度与地理现象间的关系是通过地理尺度来描述的,这和等级理论中“广度”的概念是一致的。自然地理学中的尺度一般是指空间分析的广度和外延及时间的跨度,是时空域的概念。空间广度有四级:球观、域观、局部观和微观。

更好地弄清楚空间尺度内涵需要多学科的背景,并且其内涵都是相互关联的。需要强调的是,尺度是和以下几个方面相关的:① 研究的地理现象和地理目标;② 空间数据的采样方法;③ 对现象或目标的具体分析。

3 空间尺度的集成

空间尺度集成问题的核心是尺度认知、尺度依赖和尺度变换。人类对地理现象的观察和认知总是和尺度相关的,反过来尺度又影响人类感知,影响地理信息的内容和具体的分析。在对某空间尺度中的地理信息进行认知加工和分析后,就要

进行尺度的特征化和量化,进行地理建模和表达,并评价其尺度适应性。

事实上,就视觉化而言,尺度相关的各内涵间的关系可以用人眼的视觉感受来解释。人类对地理环境的认识也是变化的,被观察的空间目标的复杂性是随尺度变化的。靠近目标时,看得详细;而远时则有较少的细节,但主要特征仍能观察到。由于人眼的观察限制,也就是人眼随距离产生的分辨率变化,使从不同高度观察得到不同精度的地形表达。视点越高,人眼的视场空间在实际地理空间中就越大,所能分辨的基本尺寸也就越大,而看到的地形会更抽象和概括。Li等^[13]测试了从不同距离观察地球的例子。戈尔描述的数字地球是空间尺度在认识、广度、精度上的完美集成和统一。

人类在视觉的限制下,空间模式在不同的观察尺度下(精度)呈现不同的状态,地理目标、空间现象及其关系都会发生变化,这就是多尺度模型和表达的自动化。并且,人眼在一定时间内接受空间信息时,空间广度和粒度之间存在某种固定的关系:眼睛观察的视野越开阔、越远,其观察的空间物体的细节越粗略、越概括,也就是空间广度和粒度是在一定程度上成反比的。

4 结 语

空间尺度的研究在地理信息科学中是基础性工作,空间尺度是认识地理空间、进行地理建模和表达的基础和前提,只有充分了解了空间尺度的各种意义和内在关系,才能更好地把握尺度,从而进行空间分析和决策。当然,对空间尺度各内涵之间的内在联系,尤其是地理细节概念中的不变维,比例尺、广度和粒度之间的约束关系以及定性定量分析还有待进一步探讨和分析。

参 考 文 献

- 1 Quattrochi D A, Goodchild M F. Scaling in Remote Sensing and GIS. Boca Raton, FL: CRC/Lewis Publishers, Inc., 1997
- 2 Peterson D L, Parker T V. Dimension of Scale in Ecology, Resource Management and Society. In: Peterson D L, Parker T V. Ecological Scale Theory and Applications. New York: Columbia University Press, 1998
- 3 Gardener R H. Patterns, Process, and the Analysis of Spatial Scale. In: Peterson D L, Parker T V. Ecological Scale Theory and Applications. New York: Columbia University Press, 1998
- 4 Montello D R, Golledge R G. Scale and Detail in the Cognition of Geographic Information. Report of Specialiste Meeting of Project Varenus, Santa Barbara, 1998
- 5 王树良. 基于数据场和云模型的空间数据挖掘和知识发现:[博士论文]. 武汉:武汉大学, 2002
- 6 Lam N D, Quattrochi A. On the Issues of Scale, Resolution, and Fractal Analysis in the Mapping Sciences. The Professional Geographer, 1992, 44: 88~98
- 7 Schneider D C. Quantitative Ecology: Spatial and Temporal Scaling. New York: Academic Press, 1994
- 8 Gardner R H. Pattern, Process and Analysis of Spatial Scales. In: Peterson D L, Parker T V. Ecological Scale Theory and Applications. New York: Columbia University Press, 1998
- 9 Dungan J L, Perry J N, Dale M R T, et al. A Balanced View of Scale in Spatial Statistical. Ecography, 2002(25): 626~646
- 10 Goodchild M F. Metrics of Scale in Remote Sensing and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2001, 3(2): 114~120
- 11 Rykiel J R, Edward J. Relationships of Scale to Policy in Decision Making. In: Peterson D L, Parker T V. Ecological Scale Theory and Applications. New York: Columbia University Press, 1998
- 12 Hudson J C. Scale in Space and Time. In: Alber R F, Marcus M G, Olson J M. Geography's Inner Worlds: Pervasive Themes in Contemporary American Geography. New Brunswick: Rutgers University Press, 1992
- 13 Li L, Openshaw S. A Natural Principle for Objective Generalization of Digital Map Data. Cartography and Geographic Information System, 1993, 20(1): 19~29

作者简介:李霖,教授,博士生导师。现从事地图学、空间分析、本体论等方面研究。

E-mail: lilin@telecarto.com.

Fundamental Problem on Spatial Scale

LI Lin¹ YING Shen¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Spatial scale is a fundamental problem in GIScience. The representative fraction of map scale is the traditional typical meanings. Also we use spatial extent and spatial resolution/granularity to represent geographic information and phenomena on paper or in digital environment. But all these are built on our cognition and the interpretation of space and scale. This paper illustrates the significance of research on spatial scale, then discusses the connotations and meanings of spatial scale in cognition, granularity, extent, map scale.

Key words: spatial scale; spatial extent; spatial granularity; cognition scale

About the first author: LI Lin, professor, Ph.D supervisor. He is engaged in the research on cartography, spatial analysis and ontology.
E-mail: lilin@telecarto.com

(责任编辑: 涓涓)

(上接第 198 页)

Models of Dynamic Balance Between Cultivated Land Demands and Supplies at Multi-scales

LIU Yanfang¹

(1 School of Resource and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Based on the multi-scale features of the balance, this paper presents a multi-scale measurement for the dynamic balance between cultivated land demands & supplies and gives some detailed discussion on the basic models for the balance at the scales of total amount, per capita capacity, quality, time and space. Finally, this paper puts forward an adjust-control model to achieve the balance under the framework of land use planning.

Key words: dynamic balance between cultivated land demands & supplies; multi-scale; economic output; ecologic output

About the author: LIU Yanfang, professor, Ph.D supervisor. She is mainly concentrated on the research and education in the urban environment studies, land evaluation and land use planning. Her typical achievements include assessment on urban anti-disaster ability and urban tourism resources, land use planning, land evaluation modelling and GIS application, etc.

E-mail: yfliu610@sohu.com

(责任编辑: 晓晨)