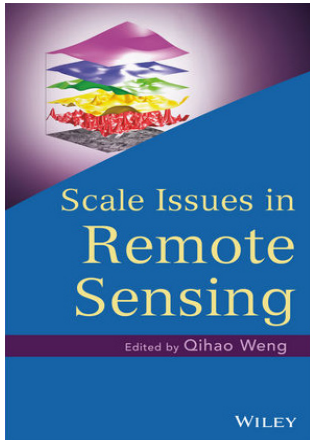


《遥感中的尺度问题》评介

■ 侯美亭



WILEY, 2014年出版

尺度 (scale) 是遥感监测研究和图像分析中基本而又关键的一个问题。数据的聚合、信息的传递和合适时空尺度的选取等都涉及到尺度问题。在遥感研究中, 使用不同的卫星传感器数据可能会造成不同的研究结果, 因为它们通常具有不同的空间分辨率。因此, 检测由于使用不同空间分辨率的卫星图像而造成的景观格局空间配置的变化具有重要意义。此外, 对于特定的环境过程, 有必要找到适合于研究的最佳尺度。有关多尺度的理论、方法和模型是理解异质性景观的关键。

特定条件下, 空间特征可以跨尺度传输。因此, 需要知道信息是如何在小尺度和大尺度之间转移的。此时, 必须要提到一个重要的理论——分形 (fractals)。分形具有不规则性和尺度独立性的特点, 被公认为是一种合适的捕捉空间结构自相似性的方法。自相似性表示为不随尺度而变化的一种特性。在地质学领域, 自相似性通常被解释为尺度独立性。然而, 在所有尺度上, 大多数环境现象并不是纯的分



面向对象的图像分析正越来越多地应用在遥感中。而尺度和尺度缩放问题是图像对象提取、代表性、建模和分析时需要考虑的基本因素。

形。相反, 它们只表现出一定程度的、在有限区域和有限的尺度范围内的自相似性, 这通常可以用空间自协方差等统计信息来衡量。分形的基本原则是使用严格的或统计的自相似性来确定对象的分形维数 (FD), 这是通常反映对象不规则或复杂程度的指标。当分形应用于遥感时, 图像被看作是一种复杂的“丘陵地形表面”, 其海拔高度由数字表示。因此, 它们的FD容易计算, 并用来表示“图像表面”有多复杂。遥感研究假设空间复杂性直接导致空间过程发生于不同尺度, 而较高的FD发生在有更多过程运行的尺度上。FD使得发生在不同尺度的空间过程具有可衡量和可比性。与图像分析中的其他地理空间算法 (如景观格局指数) 相比, 分形更具优势, 因为其可以直接应用于原始图像, 而无需分类或土地覆盖特征识别。因此, 分形在遥感图像分析中的应用越来越多, 源自分形的纹理图像也被作为图像分类中的附加图层。

目前, 遥感中的尺度问题已经得到了大量的关注。WILEY出版公司于2014年推出的这本由美国印第安纳州立大学Weng Qihao教授编著的*Scale Issues in Remote Sensing*一书的目的在于回顾和重新审视遥感领域中与尺度有关的问题。而且, 本书还将探讨20世纪末期以来出现的地球观测的一些新的前沿技术, 如甚高分辨率、高光谱、激光雷达遥感, 以及遥感影像处理中的一些技

术进展 (如面向对象的图像分析、数据融合和人工神经网络等) 是如何影响了对尺度这一基本而关键问题的理解。本书从三个相互关联的角度 (景观特征、格局和过程), 讨论了尺度的有关问题, 并展望了未来遥感的发展趋势及与尺度的关系。

本书包括5个部分。第1部分关注尺度和尺度转换的理论; 第2部分涉及不同时空尺度植被参数和生态系统的估算和测量; 第3部分探讨尺度转换对遥感图像分割和目标提取的影响; 第4部分是典型案例研究, 关注土地覆盖分析和陆—气相互作用中的尺度和尺度转换问题; 第5部分评介地球观测的新的前沿技术, 如高光谱和激光雷达遥感, 对尺度问题的影响。

第1部分包括了3个章节 (第2—4章)。第2章, Ehlers等 (章作者, 下同) 检测了不同空间尺度遥感影像的数据融合效果。他们认为, 尺度与各自传感器的地面采样距离 (ground sampling distances, GSDs) 有关。对于光学传感器而言, 如果融合方法基于光谱特征保存技术 (诸如Ehlers融合), 那么1:10的地面采样距离或尺度比率 (例如, IKONOS与SPOT-5的融合) 能产生可接受的融合效果。使用雷达图像替代高分辨率全色数据也是可能的, 但这仅限于1:6与1:20之间的尺度比例, 因为雷达的特征识别技术较为有限。第3章, Quattrochi等根据*Landscape Ecology*杂志1999年刊载的一篇文章, 检测了热红外 (TIR)

遥感数据在分析景观生物物理特征方面的应用,指出了如何将这些数据更加有效的用于景观生态过程的理解和模拟。第4章, Weng讨论了城市遥感中与尺度有关的一些重要问题。首先,检测了城市空间中三种相互关联的实体(例如,材料、土地覆盖、土地利用)的制图需求及它们之间的关系。然后,评价了空间分辨率和城市景观结构的关系。接下来,评述了地表温度(LST)研究的最佳尺度。最后,通过两个案例研究评价了城市现象的尺度依赖性问题:一是不同统计级别(例如,街区、街区群、大片土地)的LST的变异;另一个是人口居住密度的多尺度估计及建模。

第2部分也包括了3个章节(第5—7章)。在第5章, Glenn等展示了不同尺度的遥感植被指数如何应用于植被变化监测研究。使用植被指数可以将景观组区分为裸地、水体和植被等,如果将其结合地面实测数据进行标定,还可以量化一些生物物理和生理变量,如叶面积指数、植被覆盖度、蒸散发和光合吸收分量等。他们使用的遥感监测系统主要包括冠层物候探头、Landsat和MODIS,这涵盖了很广的空间(1cm~250m)和时间分辨率(15min~16d)范围,同时也讨论了地面和遥感监测系统的误差和不确定性来源。在第6章, Wang等将点数据和TM影像结合起来,使用“点简单协同克里格一点协同模拟”和“点简单协同克里格一块协同模拟”两种升尺度方法,以990m的像元分辨率对中国浙江省临安的地上森林碳储存进行了制图。研究结果认为,这两种方法在对空间数据的升尺度,以及揭示输入数据的不确定性从高分辨率到粗分辨率的传播方面都有很好的表现。输出结果的不确定性,反映了输入数据的位置及其本身的值引起的估算精度的空间变异。第7章, He使用一个简单有效的冠层集成方法,通过估算从

叶片到景观水平上的草地叶绿素含量,将不同的空间尺度联系起来。该研究使用了在加拿大安大略省收集的异质性高草草地数据,首先将叶片水平的叶绿素含量升尺度到冠层和景观水平,然后分析了叶片、冠层和景观尺度上叶绿素光谱指数和植被叶绿素含量之间的关系。研究发现,三种尺度上它们都存在显著的关系,这表明可以使用地面和空间遥感数据准确地估计叶绿素含量。

在遥感中,图像分割具有较长的历史,它源于工业图像处理,但在地理用户中却没有得到广泛应用。不过,随着高空间分辨率影像数据和商业软件(如eCognition)的出现,面向对象的图像分析正越来越多地用在遥感应用中。在创建对象的过程中,尺度决定了它的类的出现与否。因此,尺度和尺度缩放问题是图像对象提取、代表性、建模和分析时需要考虑的基本因素。

第3部分(第8—10章)讨论了上述这个问题。在第8章, Hay介绍了一个基于地理对象的框架方案,该方案集成了层次结构理论和线性尺度空间,以在多尺度上实现尺度域的自动可视化和建模。具体来说,这一章描述了一种三级层次结构方法,针对一个复杂农业森林景观的200种不同的多尺度表示形式,自动划分它们的主要结构组分。通过考虑将尺度空间事件作为关键域的阈值, Hay进一步定义了一个新的尺度域拓扑,可提高这种复杂多尺度场景的查询和分析。最后, Hay介绍了如何进行空间模拟,以及如何对一个“尺度域流形”场景中的主导地理对象的层次结构进行可视化。在第9章, Tzotsos等介绍了面向对象的多尺度图像分析方案,其中包括由先进的边缘特征和非线性尺度空间滤波增强的区域合并分割算法。首先,使用尺度空间表示方法在几种尺度上提取了遥感影像的边缘和线的特征。然后,在增强的分割算法中,这些特征被用以约束

各尺度上图像对象的生长。通过迭代成对对象合并,可以完成最终的分割。然后,在不同尺度上计算图像对象,并用于支持向量机,以进行分类。最后,使用各种机载和星载全色、多光谱、高光谱和微波传感器获取的甚高分辨率图像对这种图像分类方案进行了测试,取得了一些有用的试验结果。在第10章, Im等对近来关注于确定图像分割的最优尺度的一些基于对象的图像分析(OBIA)的研究进行了评述。选择最优尺度往往充满挑战,因为目前尚没有统一的方法来确定最优尺度,而且大多数分割算法在选择尺度时比较随意。他们认为在选择分割尺度时应该有一个通用准则,以便使OBIA能够普遍用于遥感应应用,并能够有效地比对不同的OBIA方法。

第4部分(第11—13章)介绍了土地覆盖、景观和生物物理参数分析中的尺度问题。在第11章, Liu等以印第安纳波利斯作为研究区域,评估了尺度缩放对景观格局与地表温度关系的影响。研究比较了不同的空间分辨率,发现90m的空间分辨率是研究该区域二者关系的最佳尺度。第12章, Liang等使用来自5个不同传感器(Landsat MSS, Landsat TM, Landsat ETM+, ASTER, IKONOS)的8个不同时段的数据,评价了三棱柱分形算法表征印第安纳波利斯的城市景观的有效性。对所选取的原始、分类后和重采样的图像分别计算了分形维数,并进行了对比分析。然后,评估了分形在景观格局表征和尺度/分辨率问题中的应用潜力。在第13章, Hong等研究了遥感降水的时空尺度。首先综述了降水测量方法,包括传统雨量计和先进的遥感测量;然后发展了一个不确定性分析框架,可以通过一个空间、时间和强度的函数以系统地量化遥感降水的估计误差;最后评估了基于时空尺度的误差从估算遥感降水到水文

《《 涓流细雨 》》

“This was so strange that we sat on this observation for several years. The insides of thunderstorms are like bizarre landscapes that we have barely begun to explore.”

“真是奇怪，随后几年我们加入了（雷暴）观测队伍。雷暴内部是个奇异的景观，我们仅是刚开始探索。”

——新罕布什尔大学的Joseph Dwyer和同事6年前乘机考察时误入雷暴区，让这群大气物理学家不仅经历了惊险的穿越，而且意外和神奇地陷入了反物质疑惑。闪电只是云强电场最可见的产品，虽然已经知道风暴会产生正电子，即电子的反物质版，然而Dwyer和同事在那次惊险旅程后观测到的反物质，无法被任何已知过程解释。于是，一种在雷雨云中被发现，称为Rogue的反物质被Dwyer和同事提出，该项成果将在《等离子物理杂志》上发表。在谈到因飞行事故所带来的研究课题时，Dwyer谈了上述看法。

“The polar jet stream and the Greenland tip jet are important because they affect the weather in Europe. Weather prediction models cannot describe these narrow bands of strong winds in full detail, but even small changes in the jets can have a big impact on the development of weather systems moving towards Europe.”

“极地急流和格陵兰尖点急流是重要的，因为它们影响欧洲的天气。天气预报模式无法详尽描述这些狭窄的强风带，然而即使是急流中小的变化，对于移向欧洲的天气系统的发展都是至关重要的。”

——为了配合2016年世界上第一个激光雷达风探测卫星——Aeolus卫星升空，近日欧美科学家组成的团队，在两架飞机上架设雷达在冰岛周围对北大西洋风场进行观测和仪器校准。在谈到Aeolus卫星的意义时，ESA的Aeolus项目科学家Anne Grete Straume发表了上述看法。

“Each avalanche seems to have a voice print. The frequency [of the infrasound wave] of a large avalanche is different from the frequency of a small avalanche.”

“每次雪崩看起来都留下声音痕迹。大规模雪崩的次声波的频率与小型雪崩的频率不同。”

——雪崩有自己的声音，雪崩发生前14秒发出的频率在1~20Hz之间的次声波，虽然人耳无法感知，但是探测仪器可以探测到，从而可以较地震仪或雷达对雪崩做出更直接的探测，同时获得雪崩的速度、体积和雪崩来源等信息。NOAA科学家Alfred Bedard，同时也是雪崩次声波探测的先驱对他的探测研究做了上述解释。2012年1月，世界上首个次声波雪崩探测设备在美国安装。

“The UK's Met Office is home to some of the world's leading climate scientists. Our British Met Office experts, NASA and Google will improve the weather warnings the poorest countries need to get better prepared earlier for devastating natural disasters such as droughts, floods and storms. The work these leading British experts will be doing won't just boost vital agricultural production and protect livelihoods, it will also, ultimately, save lives across the developing world.”

“英国气象局拥有一些世界顶级气候学家。我们英国气象局的专家，将和NASA和谷歌一道改进最贫困国家所需的天气预警，以更好地应对干旱、洪水和风暴等毁灭性的自然灾害。这些顶级英国专家的工作，不仅仅是促进农业生产和保护民生，还将最终保护整个发展中世界的生命。”

——英国国际发展大臣Justine Greening在介绍英美共同支持的一项旨在为发展中国家提供自然灾害预警信息的合作项目时进行了如上表述。据悉，该项目由英国气象局、NASA和谷歌公司牵头，前期投入将达3100万美元。其中英国气象局的主要任务是制作非洲高分辨率的气候预测和支持非洲和亚洲国家天气服务走向现代化等。

预报的传播。

这本书的最后一部分（第14—15章）讨论了一些新的地球观测前沿技术如何改变了我们对遥感中的尺度问题的理解。数字地形模型（digital terrain models, DTMs）是许多应用程序和决策所需要的基本产品。如今，高空间分辨率DTMs主要通过机载激光扫描仪（ALS）生成。然而，ALS并不直接提供DTMs，而是提供嵌入地形高程和自然及人为特征高度的密集点云。因此，从地形中识别地面以上的对象是一个基本的处理步骤。此处理步骤被称为地面滤波（或筛选），这

在具有多样地形特征的较大区域尤为困难。在第14章，Silvan-Cárdenas等改进了一个基于多尺度信号分解的滤波方法，称为多尺度Hermite变换（MHT）。MHT的正式依据出现在代表空间信号的尺度空间理论中。在第15章，Petropoulos等评估了高光谱遥感在提高区分不同尺度的相似土地覆盖类型上的潜力。这一章概述了当前最先进的光谱辐射识别不同土地覆盖目标的能力。首先，回顾了当前所使用的与尺度因素有关的技术，并提供了相关的理论研究和光谱库的例子。然后，重点关注了高光谱遥感在土地利用/覆

盖制图中的使用。而基于不同空间尺度上的高光谱遥感信息，如何提高估算土地覆盖的精度，可能是未来的主要挑战。

总的来说，本书概述了目前利用遥感评价、度量和检测景观过程的有关方法，呈现了与尺度有关的遥感技术和分析的研究现状。书中给出的图表和统计结果，较好地解释了遥感数据融合及许多新的方法。这本书尤其值得关注卫星和激光雷达图像分析的读者阅读。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）