

文章编号:1001-8166(2011)07-0741-10

多源遥感专题信息比较研究:现状、问题与展望*

李爱华, 柏延臣*

(北京师范大学地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室,
环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 北京 100875)

摘要:由于传感器特性、信息提取方法、模拟模型等不同,从多源、多时相的遥感数据获取各种遥感专题信息之间不可避免存在差异,在数据应用之前常常需要对这些专题信息进行比较和评价。多源遥感专题信息比较方法多种多样,依据处理单元或处理对象特性将多源遥感专题信息比较方法分为三大类:基于像元误差矩阵的比较、基于格局特征的比较和其他比较方法。首先总结了当前这几类遥感专题信息进行比较的方法和评价指标,分析了这些多源遥感信息比较方法和评价指标的优点和局限性。其次对多源专题信息提取算法、专题信息本身特性、多源信息比较方法和评价指标造成的不确定性问题以及多尺度信息比较过程中存在的问题进行了分析。最后从遥感专题数据产品的研发小组和用户的角度指出数据集在生成和应用过程中值得注意的几个问题。

关键词:多源遥感信息;比较;精度评价;空间格局;相似度

中图分类号:TP75 **文献标志码:**A

1 引言

随着遥感科学和技术的发展以及遥感数据的广泛应用,从多源、多时相的遥感数据获取地表参数专题信息已经成为现实。同时,对地表物理、化学和生物过程的理解使我们可以模拟得到各种地表参数专题信息的时空分布。但由于传感器特性、信息提取方法和模型、模拟模型等不同,这些地表参数专题信息之间不可避免地存在差异。在专题数据应用前,常常需要对专题信息进行比较评价,通过评价来指导后续数据的应用和研究。

多源遥感专题信息比较是确定多专题信息数据集间差异和相似度的过程,其要解决的关键问题包

括:进行比较的数据集之间有哪些差异、如何定量和评价这些差异、如何刻画差异的显著性^[1]。

专题数据类型不同,应用目的不同,进行比较的方法和评价的指标也不一样。遥感专题信息主要可以分为2类:一是定性描述的类别图,如土地利用/土地覆盖的类别数据集;二是定量的数量图,一般用数值进行表达,如从卫星数据中提取的叶面积指数、反照率、温度等各种参数。目前遥感专题信息比较主要有以下几方面的应用目的:①多源专题产品之间的一致性评价。由于遥感传感器系统的不同,所获得的各种全球尺度数据产品具有较大的差异^[2]。产品的准确性是数据产品应用的前提,对这些数据产品进行比较和不确定性评价成为当前研究的一个

* 收稿日期:2010-11-23;修回日期:2011-04-24.

* 基金项目:国家重点基础研究发展计划项目“陆表生态环境要素主被动遥感协同反演理论与方法”第二课题“地表时空变化特征参数的遥感定量描述与尺度转换”(编号:2007CB714402-10);国家自然科学基金项目“遥感分类中的尺度效应机理与多尺度遥感数据分类方法研究”(编号:40871161);遥感科学国家重点实验室自由探索项目“地表参数多源遥感数据产品融合方法研究”资助。

作者简介:李爱华(1982-),女,湖北赤壁人,博士研究生,主要从事多源遥感数据融合和不确定性问题研究。

E-mail: liaihua33413@sina.com

* 通讯作者:柏延臣(1972-),男,甘肃景泰人,副教授,主要从事遥感、GIS和空间分析及其不确定性和尺度问题研究。

E-mail: boye@bnu.edu.cn

重要方面^[3-6]。这方面的研究旨在通过比较来选择最优数据集,或者通过比较这些数据的优缺点,综合这些数据形成更好的数据集。②专题信息的精度评价^[7,8]。往往以某一具有较高精度的专题产品为参考数据进行比较,通过精度分析,评价产品的质量。③动态变化检测^[9,10]。利用遥感数据提取各种能体现环境变化的地表参数或专题类别图进行变化检测分析研究。这方面研究要解决的关键问题是进行差异来源的分析和如何可视化差异的分布。通过专题信息的比较,可以定量反映参量的变化情况。④模型的校正与验证^[11-13]。各种土地变化模型在应用中要解决的关键问题就是评价模型预测能力的好坏。因此需要比较初始时刻的观测类别图与下一时刻的模型预测图,得到模型的预测误差,对模型进行校正与验证,最终改进模型。⑤评价不同的数据预处理算法、信息提取成图算法^[14-18]。如通过比较分类结果来判断不同分类方法的优劣。通过对不同算法提取的专题信息进行分析和比较,不仅可以为后续算法理论的研究提供方向,同时也为针对不同实际问题的算法选取上,提供一定的指导依据。

由于遥感具有多尺度观测的能力,多源遥感信息之间的比较也不再局限于单一尺度数据集的比较,而是扩展到多个尺度之间的比较,尤其是尺度转换前后数据集的比较和评价^[19]。这种多尺度地图之间的比较更具有挑战性。

因此,文中首先总结了当前各种遥感专题信息进行比较的方法和评价指标,并分析了这些比较方法和评价指标的优点和局限性,然后对专题信息提取算法、多源专题信息本身特性、多源信息比较方法和评价指标造成的不确定性问题,以及多尺度专题信息比较过程中存在的问题进行了分析。最后从遥感专题数据产品的研发小组和用户的角度指出数据集在生成和应用过程中值得注意的几个问题。

2 多源遥感专题信息比较方法和评价指标

表 1 总结了主要几类多源专题信息比较方法和评价指标,以及对应的处理单元、适用数据类型、操作尺度、适应领域。依据处理单元或处理对象的特

表 1 几种主要的遥感专题信息比较方法

Table 1 Some main comparison methods for remote sensing thematic information

比较方法	处理单元	适用数据类型	评价指标	操作尺度	主要应用领域
基于误差矩阵的比较方法	像元	定性类别图	总体精度、用户精度、生产精度、误分误差、漏分误差、Kappa 系数、分类置信度、信息熵	局部尺度	分类精度评价;模型预测能力评价;变化检测;全球尺度土地利用/土地覆盖产品验证
		定量数量图	均值、标准差、熵、相关系数、空间自相关指数、分形维数等		多尺度转换不确定性分析
		定性类别图	基于位置的 Kappa 系数、基于数量的 Kappa 系数、位置不一致性、数量差异等组分		土地变化模型验证与校准
基于格局特征的比较方法	类别	定性类别图	各种景观指数:大小、周长、形状指数等	全局尺度	生态景观变化研究
			Cramer's V、Goodman-Kruskal's λ 、Theil's U 等空间分布统计		土地利用/土地覆盖变化检测
			分形维度、斑块面积与径向半径之间的关系、斑块大小与斑块频数之间的关系		城市与区域扩张变化检测等
其他比较方法	类别	定性类别图	多边形拟合指数、全局模糊匹配指数	焦点尺度	土地利用/土地覆盖变化检测
	像元类别		模糊 Kappa 系数、模糊相似性指数等	局部尺度 焦点尺度	模糊分类精度评价;变化检测;全球土地利用/土地覆盖产品验证
	窗口内的像元		定量数量图	焦点尺度	多尺度转换不确定性分析

性将多源遥感专题信息比较方法分为三大类:基于误差矩阵的比较、基于格局特征的比较和其他的比较方法,每类又依据评价指标差异进行了细分。表1中的局部尺度是指从像元角度进行统计分析操作的尺度,全局尺度是指从整体格局角度进行分析的尺度,而焦点尺度是指特定范围如移动窗口范围。

2.1 基于误差矩阵的多源遥感专题信息的比较与评价指标

2.1.1 基于传统误差矩阵的类别图比较

误差矩阵是像元定位、一对一比较的主要方式,是多源专题类别图最常用的比较方法。基于误差矩阵的比较方法可以获得差异范围以及严重程度,在精度评价、多源类别产品的验证与比较中有广泛的应用^[19,20~26]。比较过程往往是把精度较高的地图作为参考图进行比较,参考图不一样,比较结果可能会有差异。基于误差矩阵的比较结果的评价是对象元的类别差异进行统计分析^[20~24]。从误差矩阵中可以直接得到每个类别的误分误差和漏分误差,以及总体精度、生产者精度、用户精度和 Kappa 系数。

2.1.2 基于位置与数量信息分析的类别图比较

在许多研究中,尤其是在土地变化模型的校准与检测、土地利用变化检测的研究过程中,差异的来源是改进模型的重要信息,也是真实体现土地利用与土地覆盖变化的重要判断依据。而基于位置与数量组分信息分析的类别图的比较方法^[19,27,28],可以在误差矩阵的基础上,把类别图之间的差异分为由于位置变化引起的差异和由于数量引起的差异两部分。数量信息是指每个类别所含像元总数或者说是每类类别的总面积,位置信息是指类别的空间分布变化。如在森林退化研究中,若总的森林面积不变,而位置发生变化,基于混淆矩阵的总体精度和 Kappa 系数统计并不能给出这些信息,只能统计差异像元。而基于位置和数量组分信息分析的比较,可以体现地图之间在数量与位置上的具体差异,从而得到真实合理的森林退化程度情况。

2.2 基于格局特征的多源遥感专题信息的比较与评价指标

2.2.1 基于景观格局特征的遥感信息比较

从遥感数据可以提取大量的土地利用图作为生态景观格局分析的基础数据源。但基于像元的统计分析无法体现自然空间格局特征的稳定与变化,对以研究景观的结构与生态过程间的关系为核心的景观生态学来说具有明显的局限性,而基于格局或特征的比较则具有明显的优势^[29~32],它可以对空间结

构进行量化描述。空间结构是指地图基本组成单元——像元的空间组成和排列方式。空间结构不仅是景观异质性的具体体现,同时又是各种生态过程在不同尺度上作用的最终结果。因此通过景观格局的相似性和格局变化的分析,可以研究和理解景观结构与生态过程之间的关系,进而利用景观结构信息分析环境的状况。体现格局的特征是多种多样的,如大小、周长、形状指数等。

2.2.2 基于空间分布的遥感信息比较

基于空间分布的比较方法通过考虑类别的空间分布,而不考虑类别是否一致,因此可以用来评价分类体系不一致或者具有配准误差的类别图间的差异。最基本的有关类别空间分布测量是 X^2 。Goodman-Kruskal's λ 是一种误差按比例降低的非对称性的统计测量。Theil's U 是一种基于统计信息理论的空间分布测量方法,又称为不确定性系数或平均互信息指数。Rees^[34]定量地探讨 Cramer's V、Goodman-Kruskal's λ 、Theil's U 等3种基于空间分布的相似度量方法,认为 Cramer's V 本质上具有对称性,是3种方法中最简单有效的一种空间分布相似度量方法。

2.2.3 基于分形特征的遥感信息比较

分形方法在遥感信息的处理过程中,得到了广泛的应用,遥感图像分维数能够准确地描述影像的空间结构信息和变化规律,反过来空间结构的变化可以用分维数来定量表征。分维数可以弥补基于传统统计量不能反映图像空间信息的缺点,在比较数量信息图的过程,成为重要的比较评价指标。该方法适用于具有辐射尺度的城市与区域扩张方面的研究,尤其在有关城市与区域空间结构动态模型的校准与验证中非常有用^[30]。

2.3 其他比较方法与评价指标

除了上述几种广泛使用的比较方法,还有一些针对不同应用需求、从不同的角度进行比较的方法。基于模糊理论比较主要是针对混合像元问题而发展起来的一种方法,其评价指标往往也是基于硬分类方法发展起来的,如 Fuzzy Kappa 系数^[37~39]。基于模糊理论比较在类别体系不一致的多种土地覆盖产品的比较过程有着巨大优势^[40,41]。基于移动窗口的比较,在具有梯度变化、分界明显或者随机产生的高度异质格局的遥感专题信息比较过程比较合适。对于类别图,可以计算移动窗口内的 Kappa 系数。对于定量的数量图比较,可以采用 Euclidean 距离和交叉相关系数来度量地图之间的局部相似与差

异^[42]。基于类别的多边形边界拟合的比较方法就是重叠地图,计算两图相交部分的面积分别占两图的面积比例^[29],从而计算多边形拟合指数来判断类别边界的拟合程度。在此基础上的模糊多边形匹配技术则通过计算全局模糊匹配指数^[30]来度量 2 个图的相似度。

3 多源遥感专题信息比较存在的问题

多源遥感专题信息的比较并不是一个简单的过程,其中涉及到许多复杂的问题,而且这些问题会对比较结果造成许多的不确定性。图 1 主要体现了多源专题信息的比较过程以及比较过程中存在的各种不确定性因素。本文从专题信息提取算法、专题信息本身的特性、专题信息比较方法以及由单一尺度推及到多尺度信息比较 4 个方面对当前多源遥感专题信息比较存在主要问题进行了讨论。

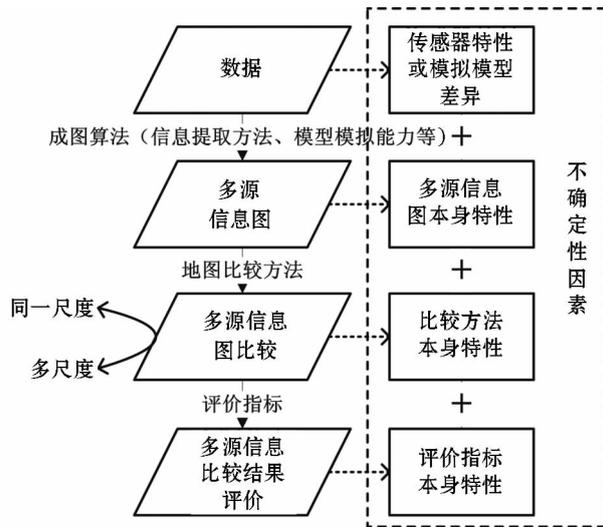


图 1 多源信息比较过程及比较过程中各种不确定性因素

Fig. 1 The procedure of multi-resources information comparisons and the factors causing uncertainty

3.1 不同专题信息提取算法引起的不确定性问题

在多源遥感数据信息获取方面,利用计算机进行信息提取可以分为六大策略:遥感分类、统计回归、变化探测、三维提取、形态提取和辐射传输模型反演等方法^[43]。随着遥感技术发展,这 6 类遥感专题信息提取算法的研究也取得了长足的发展。遥感算法是专题信息比较的基石,由于不同算法对专题参数的敏感性具有差异,因此不同算法提取的结果也有差别。在各类地表参数的反演过程中,往往存在这样的现象:不同的研究小组和团队,从同一传感器或者不同传感器数据中采用不同的反演算法来提

取同一参数的产品。但由于不同算法具有各自的条件适用性^[44~46],这样得到的数据产品往往缺少物理上的一致性,但是,对各种陆面和大气模型而言,这些参数在物理上的一致性是十分重要的。也正是由于这些算法的差异,增加了后续专题数据产品比较和评价的复杂性。

3.2 多源遥感专题信息本身特性引起的不确定性问题

无论是定性描述类别图之间的相互比较,还是数值连续的数量图之间的相互比较,都与信息数据本身的特性具有很大关系,尤其是进行比较的基本对象:类别和参量。因此类别图的类别含义和数目、地表参数的物理含义和特征都对比较结果产生一定的影响。

3.2.1 定性描述的类别图的类别体系差异

定性描述的类别图包括组成成分信息 (composition) 与结构信息 (configuration)^[47]。前者是指非空间特性的类别数目和各类别数量,后者是指具有空间特性的类别的空间分布和排列情况。但实际上这 2 种信息并不独立,结构信息的提取是以组成成分信息为基础,这时需要综合利用这 2 种信息进行比较。如景观指数是空间结构的一种体现,基于景观指数的格局比较和分析是以类别图为基础数据的,分类的精度与误差直接影响着基于景观指数的比较结果。因此,基于组成成分的比较是类别图进行交互比较最常见也是最基础的内容。

对全球多种土地利用/土地覆盖之间的交互比较评价和验证是类别图比较的一个热点领域。目前土地覆盖数据集有很多,如美国地质调查局为国际地圈生物圈建立的 IGBP-DISCover 数据集、美国马里兰大学建立的 UMD 数据集、欧盟联系研究中心空间应用研究所建立的 GLC2000 数据集、美国波士顿大学建立的 MODIS Land Cover 数据集、欧洲空间局和欧盟联系研究中心建立的 MERIS Globcover 数据集。这些数据集的数据来源不同,往往应用的分类系统和分类方法也有差异^[48]。

进行多种全球土地覆盖产品的比较,主要的比较方法是建立类别之间的相依表。只有当数据集具有相同的类别体系时,才能建立相依表并进行各类别的空间一致和不一致的统计。但实际上,类别体系的不一致正是当前全球各类土地覆盖数据集进行比较的困难之处,类别体系的差异往往给专题类别图比较带来比较大的不确定^[49]。类别体系的不一致可能体现在类别的名称或数目不一致,如

GLC2000 土地覆盖产品包含 22 个类别,而 MODIS 土地覆盖产品只包含 17 个类别。即使类别数一致,类别的含义可能也会具有一定差异,有些类别含义只是部分重合,而非完全一样。类别含义的差别一方面可以由于不同的制图人员本身的主观理解差异,还因为地物混合给制图人员造成理解的困难。为了进行多源类别地图之间的比较,需要对具有不同类别体系的地图进行类别体系的转换,使其类别体系一致。但实际上,即使通过类别集聚对分类体系统一化进行比较^[5,6,40],类别含义的差异还是会带来一定的误差^[50],而且类别集聚一般会改变专题图的分辨率,这样就造成连锁效应,对基于专题图分辨率的后续研究造成不确定性。将类别体系统一的过程是不确定误差的一个主要来源。当类别数目或类别的含义不一样时,虽然通过计算基于熵的平均互信息量可以评价进行比较图的共有信息量^[20,26],可以量化地图之间的差异,但并不能确定这种差异是否显著。

3.2.2 连续数值分布的数量图的参数含义差异

连续数值分布的数量图之间的交互比较要求参数本身的物理含义一致。这是数量图能够具有可比性的前提条件。只有参数含义具有一致性,才能准确反映比较内容的真实差异。但目前某些地表参数本身的定义具有多样性或模糊性,后续提取生成的专题产品往往也就具有一定的差异。如宽波段反照率概念在术语上仍然比较模糊,不同传感器波段范围有一定差异,导致从遥感数据反演得到的反照率本身具有含义差别^[51],因此会给反演得到的反照率产品比较带来不确定性。

以地表过程研究中另一个重要的参数叶面积指数(LAI)为例。目前已经发布的 LAI 标准产品的传感器有 AVHRR、POLDER、MODIS、MISR、VEGETATION 等。但是通过这些产品的比较研究发现,由于反演算法不同,这些 LAI 产品本身具有很大的差异^[44~46]。尤其是由于某些算法的非线性或对叶片聚集问题考虑的尺度不同,造成反演的 LAI 产品的含义都不相同^[46]。如 MODIS 的 LAI 产品中,主算法是基于三维辐射传输模型构造查找表进行反演^[52],得到的 LAI 一般认为是真实叶面积指数,备份算法则是根据不同类别 LAI 和 NDVI 的经验关系来计算像元的 LAI。当这种经验关系非线性时,得到的 LAI 就具有一定的尺度偏差,不是真实的叶面积指数,而只能作为有效叶面积指数。VEGETATION CYCLOPES LAI 产品算法方法是通过耦合

PROSPECT 和 SAIL 模型后的 ProSAIL 物理模型,对土壤和植被冠层特性提供一个合理的物理表达^[53],但它假设地表在大尺度上是水平均一的,没有考虑地表类型。因此这种算法只考虑了景观尺度上的聚集影响,而没有考虑植被类型尺度上叶子的聚集影响,对于具有一定异质性的像元而言,反演得到的 LAI 与真实的 LAI 之间也存在着尺度偏差^[46],得到的 LAI 也为有效叶面积指数。2 种传感器反演得到的同一参数具有不同的含义,进行交互比较时,首先需要通过偏差校正将有效叶面积指数转换为真实叶面积指数。因此偏差校正方法的有效性对后续多种传感器的标准 LAI 产品的交互比较和验证都有很大影响。

3.2.3 时空匹配问题

基于像元的多源信息比较方法是以数据地图精确配准为前提,但实际上很难满足,这就造成了数据本身的一些差异^[54]。尤其是在土地利用与土地覆盖变化检测过程中,当由于不配准造成的误差大于地表土地覆盖的真实变化引起的误差时,这种配准误差已经严重扭曲了地表的真实变化情况,是无法忽略的,因此需要充分考虑到地图不精确配准带来的不确定性问题,还原真实的土地覆盖变化状态。

进行多源专题信息的比较,时态也是需要考虑的问题。时态差异是否对比较过程造成不确定性需要依据分析目的来确定。若为了进行数据的时态变化监测研究,则时态差异是必须的。若为了评价数据集的质量,比较其空间分布差异,则时态的差异必定会给比较过程和分析结果带来不确定性。

多源遥感专题信息本身特性是影响专题信息数据集比较的不确定性因素之一。这种不确定性很难消除,但是对这种不确定性造成的误差进行估计和分析,可以为研究者或决策者提供详细的信息。

3.3 多源遥感专题信息比较方法存在的问题

3.3.1 基于误差矩阵的类别信息比较存在的问题

虽然从误差矩阵可以得到诸如总体精度、生产者精度、用户精度,以及 Kappa 系数等多个精度度量指标,并且已经成为遥感数据分类精度评价以及多源遥感数据产品比较的核心方法。但在实际应用中,仍然存在许多问题^[55]。总体精度给出了整幅图中正确分类的比例,但忽略了可能由偶然性引起的大量像元被正确分类的可能^[54]。Kappa 系数一直作为很多软件的精度评价标准,但实际上也存在着适用问题,甚至会给研究者带来误导^[19]。并且在基于误差矩阵的评价过程中,其基本假设之一是参考数据完全正确。但实际评价过程中这种假设常常难

以满足和保证。在精度评价时,若不考虑参考数据带来的误差,反而总是将误差矩阵中的参考数据和分类数据的不一致归咎于分类数据的误差,因此可能导致低估分类结果的精度^[55]。

在标准 Kappa 系数的基础上进行扩展得到的一些 Kappa 系数,如基于位置和数量的 Kappa 系数^[37,56]、基于直方图形状的 Kappa 系数^[35],仍然只是从整体上统计分析和把握地图之间的差异,却忽略了局部的具体差异情况^[6,20,31],不能提供地图之间的差异来源信息,因此这些评价指标在应用过程中具有一定的局限性,在实践中的应用价值不大^[56,57]。

3.3.2 基于格局特征的类别信息比较存在的问题

基于格局特征的专题信息间的比较,虽然是从具有现实意义的对象或斑块出发,但是对象或斑块的属性特征是多种多样的,在每一次比较分析中并不是所有指标都必须采用或者能够反映分析需求。因此如何选择合适有效的指标成为基于格局特征进行比较的关键问题之一。在实际研究中,问题所处的背景对格局特征选择有着重要影响。

基于格局的比较是以专题类别图为基础。因此类别数据的好坏直接影响数据格局的比较。前文已经表明专题信息提取算法对比较造成的不确定性问题。这里着重讨论对象和斑块的生成问题。就遥感分类图像而言,虽然可以简单将基于像元的分类图中的相同类别聚合得到斑块,但另外一种非常流行的对象和斑块的生成方法则是分割。随着高分辨率影像数据的出现和发展,面向对象的分割技术成为面向对象分类的重要前提。在分割过程中,分割尺度的大小能反映不同层次的对象水平。分割尺度过大,容易出现对象的混合;分割尺度过小,难以体现对象的优势,地物类别容易出现破碎。正是由于不同类别的对象属性值呈现不同的尺度依赖性,单一的分割尺度难以满足实际要求,为了保证地物类别信息提取的精度以便正确反映区域格局的变化特征,针对特定地物类别提取,可能需要特定的分割尺度,即最优分割尺度。

分割结果的好坏直接关系着面向对象分类精度,进而影响着格局特征的比较。因此,对基于分割技术的面向对象分类结果的格局特征的比较和评价,分割技术和分类技术都对后续的比较有着重要影响。

3.3.3 其他方法存在的问题

基于模糊理论比较过程中存在的主要问题是

对于空间结构考虑较少。基于移动窗口的比较可以依据选择窗口的大小进行地图内部的局部比较,对于局部变异等情况能够体现出来,但是由于是对窗口内的数据进行卷积运算,因此卷积核和卷积窗口的大小必须适当。如果卷积核和窗口大小选择不适当,则局部差异要么被像元内的像元综合掉,要么差异被过于夸大以致不利于实际的分析和应用。基于多边形边界拟合的比较首先要求比较图之间有较好的空间匹配,否则会带来较大的偏差,不能真实反映差异。此外仅仅用基于面积比的拟合指数进行评价还是不够的,形状和类别位置的变化也很重要。

3.4 多尺度遥感专题信息比较的问题

目前多尺度数据集进行交叉比较的研究越来越多^[25]。为了进行比较,往往需要进行尺度转换,因此尺度转换前后数据间的比较和评价成为研究的重点^[19,27]。目前这些多尺度的数据集之间的比较主要是 2 种方法:一种是通过尺度转换将要比较的多分辨率数据转换到相同的空间分辨率上进行比较^[25];另一种就是直接建立某一指标与尺度的二维图来体现不同尺度数据之间的差异与变化^[19,27,42]。在多尺度数据集的比较过程中,不同尺度上像元标识的含义是否发生变化以及评价不同尺度上的数据集的“信息”指标是需要注意的 2 个关键问题。

3.4.1 不同尺度上像元标识的含义变化问题

由于不同尺度下类别的可分性是有差异的,不同尺度下的类别体系肯定不同。如从细分分辨率类别图转换到粗分辨率类别图时,类别的聚合是使类别体系中的类别名称发生变化。聚合或分解不仅会造成不同尺度上评价指标的数值不一致^[49],而且不同的聚合或分解方法会造成不同的比较结果。Pontius 等^[49]就指出这种类别聚合尺度效应对分析造成的动态影响为类别聚合问题(CAP)。CAP 与 MAUP 都是关注聚合造成信息变化的问题,但是 MAUP 侧重观测单元变化,而 CAP 侧重变量定义的变化。因此,如何合理地考虑 CAP 问题尤其是对混合类别的定义问题则成为在多尺度类别图的比较过程最重要的问题。

对多尺度数量信息之间的比较,同样需要关注转换前后参数的含义是否发生变化。如传统的地表温度反演获得的是遥感像元的平均温度,当将细分分辨率的温度产品转换到粗分辨率时,此时的温度不一定是同温温度。而对于非同温像元,平均温度不能代表地表的真实温度分布状态^[58]。这种情况下的温度概念明显具有差异。如何处理概念的尺度适

用性不仅是尺度研究的一个关键内容,也是进行多尺度数据之间的比较需要考虑的重要方面。

3.4.2 不同尺度数据集的“信息”评价指标问题

当对多源数量图进行尺度转换到统一尺度时,不能用简单的像元对像元来统计数值不一样的像元个数,以计算总体精度。因为数量图是某一范围内数据的连续分布,数值的简单差异往往不具有现实意义,或无法突出数据的真实变化情况。目前多源遥感专题数量图的比较主要是基于各种统计测度进行评价,均值和标准差、信息熵、空间自相关指数以及分形维数等虽然是目前普遍采用的评价指标。但这些评价方法仅仅只是从纯粹的统计意义上对影像进行评价,较少考虑空间结构特征,较难满足遥感应用的需要,尤其是尺度转换评价中。韩鹏等^[59]综合局部亮度、局部对比度和局部结构3个部分作为影像的空间结构相似度评价指标。该方法可以清晰地从空间结构相似性方面对各种空间尺度上推前后数据集进行评价,克服了纯粹统计学指标的不足。但在空间结构相似度计算过程中涉及的多个参数,其设置具有一定的随意性,这些参数的取值对结果有一定的不确定性影响。因此从空间结构的角进行数量图的差异比较还需要进一步的研究。

虽然通过比较尺度转换前后的数据集在整个空间域上的各种统计量的变化,可以在一定程度上体现尺度转换的好坏,评价转换前后数据集的差异,但这些尺度转换前后数据集之间的交互比较都是独立时刻的,也就是说很少从时间序列的角度来考虑数据尺度转换前后数据的变化规律。因此对于尺度数据集间的比较,其评价指标的选取,需要充分考虑到指标随空间尺度和时间尺度变化的规律性。

4 结论与展望

目前从多源、多时相的遥感数据获取地表参数专题信息为全球环境变化研究、地表过程建模等提供了丰富的数据源,但是这些专题数据的质量是数据进行应用之前需要考虑的重要因素。通过专题信息之间的比较,不仅可以直接或间接地评价这些数据的质量水平,还能为数据质量改进方法的研究提供有用信息。

本文首先总结了当前各种遥感专题信息进行比较的方法和评价指标,分析了这些多源遥感专题信息比较方法和评价指标的优点和局限性,然后对专题信息提取算法、多源专题信息本身特性、多源信息比较方法和评价指标造成的不确定性问题,以及多

尺度专题信息比较存在的问题进行了分析。通过分析表明,多源遥感信息比较的方法和技术是多种多样的,具体比较方法的选择往往取决于特定的应用与分析需求以及地图本身特性。应用目的不同、数据类型不同,采用的比较方法和评价指标也不同。但是不管是类别图的比较,还是连续数值的数量图的比较,都要求比较的对象首先要具有可比性,即类别体系一致以及参数的物理含义一致。但是实际上,这些多源专题数据往往由于来源不同,类别的含义和数量或者参数的物理含义存在一定的差异,有研究表明,这种差异会给比较的结果造成很大的不确定性。如何相对准确地进行类别体系的转换和统一,是具有不同类别体系的地图交互比较的难点。对数值分布的数量图之间的相互比较,比较数值之间的绝对误差并不具有太大的意义,往往采用统计意义上的指标进行差异的定量化。在比较过程中,也需要注意比较参数的物理含义是否相同。在遥感专题信息的比较过程中,还需要考虑时间和空间上的匹配问题。时空尺度不一致的数据进行比较过程时,如果尺度转换的模型是非线性的,那么尺度转换本身就会带来不确定性,当进行专题信息比较时,依据误差传递原理,最终的比较结果累加了一个误差。

目前各种传感器的标准数据产品的比较是专题信息比较研究的重要内容之一。因此针对专题信息比较,提出了以下几点建议:①对土地利用/土地覆盖产品之间的比较,类别体系的不统一是比较的难点,因此,对于产品研发小组而言,应该尽量采用统一的类别体系;对产品应用者而言,则应该对产品的生成算法要有较深刻的了解,对算法的优缺点也要深入研究,这对产品的比较和验证都大有裨益。②对连续数值分布的数量图之间的相互比较,首先同样需要了解算法的特点,不同反演算法小组可能是在不同的假设条件下研究算法,因此参数的物理含义以及算法的优缺点是比较之前的关键步骤;其次,在与真实参考数据进行比较时,尺度转换造成的不确定性问题需要考虑。真实参考数据尺度上推时,应选择合适的尺度转换方法,尽量减少尺度转换对最终比较结果造成的误差。③目前对数量图的评价主要还是从统计量上进行评价,统计量上的差异不能体现数据时间序列上的差异。而随着遥感时间序列专题产品数据的应用越来越广泛,时间序列产品之间的比较评价和交互验证也越来越多。如何从时间序列动态上来评价比较数据之间的差异和一致性,是值得进一步探讨的问题。由于作为参考的高

分辨率反演产品只是小范围某一时刻或某几个时刻上的数据,属于对时间序列的产品之间的静态比较。动态比较则是扩展到产品的年内各个时刻甚至多年范围,目前主要方法是直接比较时间序列变化曲线,虽然可以直观显示,但不能进行定量的评价。实际上对于某些参数,可以从时间序列中提取一些相关信息作为评价指标进行比较。如植被相关的NDVI、LAI等参数,可以提取植被的物候信息作为比较的一个指标^[60],也可以考虑通过时间序列分析提取趋势进行比较。因此,对时间序列的参数的产品数据集进行比较时,应参考数据集的本身的特性,选择合适的基于时间序列的变化信息作为比较指标,从而进行比较和评价。

总而言之,多源遥感专题信息比较过程不仅是一个复杂的过程,也是一个伴随着许多不确定性问题的过程^[31]。在大多数情况下,进行比较时一定要考虑和认识到成图算法和比较方法内部的不确定因素以及来源。但当前研究对整个比较过程中的不确定分析还不够,从不确定信息中提取有用信息加以利用的问题也考虑不多。因此,在多源专题信息比较的过程中,不确定性分析以及合适评价参量的选择是以后专题信息比较的一个重要的研究方面。

参考文献 (References):

- [1] Boots B, Csillag F. Categorical maps, comparisons, and confidence [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8(2): 109-118.
- [2] Herold M, Mayaux P, Woodcock C E, et al. Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(5): 2 538-2 556.
- [3] Jan Pisek, Chen J M. Comparison and validation of MODIS and VEGETATION global LAI products over four Bigfoot sites in North America [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 109(1): 81-94.
- [4] Chen P Y, Luzio M Di, Arnold J G. Spatial agreement between two land-cover data sets stratified by agricultural eco-regions[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(15): 3 223-3 238.
- [5] Martin Jung, Kathrin Henkel, Martin Herold, et al. Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101(4): 534-553.
- [6] McCallum I, Obersteiner M, Nilsson S, et al. A spatial comparison of four satellite derived 1km global land cover datasets [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, 8(4): 246-255.
- [7] Smith J H, Wickham J D, Stehman S V. Impacts of patch size and land-cover heterogeneity on thematic image classification accuracy [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2002, 68(1): 65-70.
- [8] Foody G M. Status of land cover classification accuracy assessment [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1): 185-201.
- [9] Comber A, Fisher P, Wadsworth R. Assessment of a semantic statistical approach to detecting land cover change using inconsistent data sets [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2004, 70(8): 931-938.
- [10] Aguera F, Aguilar M A, Aguilar F J. Detecting greenhouse change from Quickbird imagery on the Mediterranean coast [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(21): 4 751-4 767.
- [11] Hargrove W, Hoffman F M, Schwartz P M. A fractal landscape realizer for generating synthetic maps[J]. *Conservation Ecology*, 2002, 6(1): 2.
- [12] Hagen A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003, 17(3): 235-249.
- [13] Verburg P H, Schot P P, Dijst M J, et al. Land use change modelling: Current practice and research priorities[J]. *GeoJournal*, 2004, 61(4): 309-324.
- [14] Giri C, Zhu Z, Reed B. A comparative analysis of the Global land cover 2000 and MODIS land cover data sets [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 94(1): 123-132.
- [15] Gao Y, Mas J F, Maathuis B H P, et al. Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approached—A case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(18): 4 039-4 055.
- [16] Jimenez-Rodriguez L O, Arzuaga-Cruz E, Velez-Reyes M. Unsupervised linear feature extraction methods and their effects in the classification of high-dimensional data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2007, 45(2): 469-483.
- [17] Mahiny A S, Turner B J. A comparison of four common atmospheric correction methods [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2007, 73(4): 361-368.
- [18] Nangendo G, Skidmore A K, van Oosten H. Mapping East African tropical forests and woodlands—A comparison of classifiers [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2007, 61(6): 393-404.
- [19] Pontius R G, Olufunmilayo Thontteh, Hao Chen. Components of information for multiple resolution comparison between maps that share a real variable[J]. *Environmental and Ecological Statistics*, 2008, 15(2): 111-142.
- [20] Foody G M. What is the difference between two maps? A remote sensor's view [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8: 119-130.
- [21] Okeke F, Karnieli A. Methods for fuzzy classification and accuracy assessment of historical aerial photographs for vegetation change analysis-Part I: Algorithm development [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(1): 153-176.
- [22] Stehman S V. Design, analysis, and inference for studies compa-

- ring thematic accuracy of classified remotely sensed data: A special case of map comparison [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8(2): 209-226.
- [23] Visser H T, de Nijs. The map comparison kit [J]. *Environmental Modelling and Software*, 2006, 21(3):346-358.
- [24] Casey Cleve, Maggi Kelly, Kearns F R, et al. Classification of the wildland-urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2008, 32(4): 317-326.
- [25] Yuhong Tian, Woodcock C E, Wang Yujie, et al. Multiscale analysis and validation of the MODIS LAI product: I. Uncertainty assessment[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(3): 414-430.
- [26] Remmel T K, Csillag F. Mutual information spectra for comparing categorical maps [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(7): 1 425-1 452.
- [27] Pontius R G, Huffaker D, Denmand K. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models[J]. *Ecological Modelling*, 2004, 179(4): 445-461.
- [28] Pontius R G, Wideke Boersma, Jean-Christophe Castella, et al. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change [J]. *Annals of Regional Science*, 2008, 42(1): 11-47.
- [29] Hargrove W, Hoffman F M, Hessburg P F. Mapcurves: A quantitative method for comparing categorical maps [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8(2):187-208.
- [30] Roger White. Pattern based map comparisons [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8(2):145-164.
- [31] Dungan J L. Focusing on feature-based differences in map comparison [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8(2):131-143.
- [32] Couteron P, Barbier N, Gautier D. Textural ordination based fourier spectral decomposition: A method to analyze and compare landscape patterns [J]. *Landscape Ecology*, 2006, 21(4):555-567.
- [33] Agresti A. *Categorical Data Analysis*[M]. New York: Wiley-Interscience, 2002.
- [34] Rees W G. Comparing the spatial content of thematic maps [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(13):3 833-3 844.
- [35] Guo Jianming. An Analysis on Scale Transformation in Remote Sensing-Based on Fractal Theory[D]. Xi'an: Northwestern University, 2008. [郭建明. 分形理论在遥感影像空间尺度转换中的应用研究[D]. 西安:西北大学, 2008.]
- [36] Hagen-Zanker A. Map comparison methods that simultaneously address overlap and structure[J]. *Journal of Geographical Systems*, 2006, 8(2):165-185.
- [37] Hagen-Zanker, Guy Engelen, Jelle Hurkens, et al. Map Comparison Kit 3-User Manual, Published by the Research Institute for Knowledge Systems, 2006[EB/OL]. http://www.riks.nl/products/Map_Comparison_Kit, 2010.
- [38] Hagen-Zanker A, Straatman B, Uljee I. Further developments of a fuzzy set map comparison approach [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(7):769-785.
- [39] Dou W, Ren Y, Wu Q, et al. Fuzzy kappa for the agreement measure of fuzzy classifications [J]. *Neurocomputing*, 2007, 70(4/6):726-734.
- [40] See L M, Fritz S. A method to compare and improve land cover datasets: Application to the GLC-2000 and MODIS land cover products[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, 44:1 740-1 746.
- [41] Fritz S, See L. Comparison of land cover maps using fuzzy agreement [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(7):787-807.
- [42] Cédric Gaucherel, Samuel Alleaume, Christelle Hély. The comparison map profile method: A strategy for multiscale comparison of quantitative and qualitative images [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2008, 46(9):2 708-2 719.
- [43] Gong Peng, Xu Bing, Liang Song. Remote sensing and geographic information systems in the spatial temporal dynamics modeling of infectious diseases [J]. *Science in China (Series C)*, 2006, 36(2):184-192. [宫鹏, 徐冰, 梁松. 用遥感和地理信息系统研究传染病时空分布[J]. *中国科学: C 辑*, 2006, 36(2): 184-192.]
- [44] Hu J, Su Y, Tan B, et al. Analysis of the MISR LAI/FPAR product for spatial and temporal coverage, accuracy and consistency[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 107(1/2): 334-347.
- [45] Weiss M, Baret F, Garrigues S, et al. LAI and fAPAR CYCLOPES global products derived from VEGETATION. Part 2: Validation and comparison with MODIS collection 4 products [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110(3): 317-331.
- [46] Garrigues S, Lacaze R, Baret F, et al. Validation and intercomparison of global Leaf Area Index products derived from remote sensing data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113, G02028, doi:10.1029/2007JG000635.
- [47] Foody G M. Map comparison in GIS [J]. *Progress in Physical Geography*, 2007, 31(4):439-445.
- [48] He Qing, Lü Daren. The utility of satellite observation to retrieve vegetation status for land surface models towards quantitative description of the land surface vegetation[J]. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(10):1 050-1 060. [何晴, 吕达仁. 陆面过程中植被的描述及其卫星遥感反演——从定性描述向定量描述的发展[J]. *地球科学进展*, 2008, 23(10):1 050-1 060.]
- [49] Pontius R G, Malizia N R. Effect of Category Aggregation on Map Comparison [C] // *Lecture Notes in Computer Science*, 2004:251-268.
- [50] Raffaele Pelorosso, Antonio Leone, Lorenzo Boccia. Land cover and land use change in the Italian central Apennines: A comparison of assessment methods [J]. *Applied Geography*, 2009, 29(1):35-48.
- [51] Shunlin Liang. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces* [M]. A John Wiley & Sons. Inc., 2004:314-328.

- [52] Knyazikhin Y, Martonchik J V, Myneni R B, *et al.* Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 103 (D24):32 257-32 275.
- [53] Jiménez-Muñoz J C, Martínez B, Camacho-de Coca F. Evaluation of Two Operational Algorithms for Retrieving Cover in the Framework of VGT4Africa [R]. EOLAB-Spain, 2006.
- [54] Pontius R G, Christopher D L. Can error explain map differences over time? [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2006, 33(2): 159-171.
- [55] Bo Yanchen, Wang Jinfeng. Assessment on uncertainty in remotely sensed data classification: Progresses, problems and prospects [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(11):1 218-1 225. [柏延臣,王劲峰. 遥感数据专题分类不确定性评价研究:进展、问题与展望[J]. 地球科学进展, 2005, 20(11): 1 218-1 225.]
- [56] Pontius R G, Marco Millones. Problems and Solutions for Kappa-based Indices of Agreement [C] // International Conference, June, Mytilene, Lesvos, Greece, 2008.
- [57] Di Eugenio B, Glass M. The kappa statistic: A second look [J]. *Computational Linguistics*, 2004, 30(1):95-101.
- [58] Li Xiaowen. Review of the project of quantitative remote sensing of major factors for spatial-temporal heterogeneity on the land surface[J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(8):771-780. [李小文. 地球表面时空多要素的定量遥感项目综述[J]. 地球科学进展, 2006, 21(8):771-780.]
- [59] Han Peng, Gong Jianya, Li Zhilin, *et al.* Comparing the effect of aggregation methods for remote sensing image[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(6): 964-971. [韩鹏, 龚健雅, 李志林, 等. 遥感影像空间尺度上推方法的评价[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 964-971.]
- [60] Gu Juan, Li Xin, Huang Chunlin. Land cover classification based on time series MODIS NDVI data in Heihe River Basin [J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(3):317-326. [顾娟, 李新, 黄春林. 基于时序 MODIS NDVI 的黑河流域土地覆盖分类研究[J]. 地球科学进展, 2010, 25(3):317-326.]

Comparison of Multi-Sources Remote Sensing Thematic Information: Progresses, Problems and Prospects

Li Aihua, Bo Yanchen

(Department of Geography and Remote Sensing of Beijing Normal University, State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing 100875, China)

Abstract: Because there are some distinctions in remote sensor characteristics, the methods to abstract information, models for simulation and so on, some differences between the same thematic information may present inevitably. Inter-comparison should be performed before these thematic data being used. Different maps can be compared in a variety of ways. In this paper, the comparison methods are divided into three classes depending on the processed unit, that are comparison based on confusion matrix with pixel unit, comparison based on pattern features with object unit and the others. The advantages and disadvantages of these methods and their corresponding evaluation indexes are stated systematically. Then some uncertainty problems, which are caused by the nature of comparison methods and evaluating indicators, map characteristics, and the scale effect in multi-resolution data, are analyzed. At last, some attentions that should be paid on are presented for satellite product development teams and product users.

Key words: Multi-source information; Comparison; Accuracy assessment; Spatial pattern; Similarity.