

面向对象高分辨率影像信息提取中的尺度效应及最优尺度研究

张俊^①, 朱国龙^②, 李妍^②

(^①国家测绘局第三地形测量队, 哈尔滨 150081; ^②江苏省资源环境信息工程重点实验室/中国矿业大学, 江苏徐州 221008)

【摘要】本文从面向对象的遥感信息提取中的尺度效应研究入手, 对影像对象的分形维数、紧凑度、面积、均值、标准差和与邻域均值差分等特征进行了实验。在此基础上, 根据“类内同质性大, 类间异质性大”的最佳分类原则, 提出了面向对象的RMAS方法, 该方法的思想是, 当对象RMAS值最大时, 对象内部的异质性最小, 对象外部的异质性最大, 此时的分割尺度为类别提取的最优分割尺度。根据最优尺度下信息提取精度最高的原理, 实验验证了该方法的可行性, 且能获得较好的分类结果。

【关键词】高空间分辨率遥感; 面向对象; 多尺度分割; 尺度效应; 最优尺度

【中图分类号】TP75

【文献标识码】A

【文章编号】1009-2307(2011) 02-0107-04

1 引言

经过40多年的迅猛发展, 现代遥感技术已经进入了一个能够动态、快速、准确、多手段提供多种对地观测数据的新阶段, 目前多传感器技术已覆盖大气窗口的所有部分, 大大提高了人类处理和分析大量有关地球资源、环境、社会与经济数据的能力^[1-3]。随着信息和知识时代的来临, 人类对地理空间数据的需求结构向知识化、多元化方向发展, 从而带来了多种尺度空间数据分析和显示的大量需求, 本文中的多尺度主要考虑高空间分辨率遥感数据经过影像分割后的不同空间分辨率^[4-6]。

遥感影像信息是对依赖于尺度的地表空间格局与过程的特征反映^[7], 不同的环境特征对空间尺度的要求不同^[8]。但是由于各种条件的限制要获得同一地区不同尺度的所有数据是有难度的, 然而多尺度分割技术提供的多尺度影像数据层却为同一研究区域中多种地理现象和规律提供多种尺度的影像数据成为可能, 这样不同类别的信息提取可以在相应尺度的影像对象层中进行, 从而为不同主题的多尺度分析奠定基础。不过在多尺度分割技术实现了影像信息从一个尺度到另一个尺度传递的同时, 也带来了遥感影像尺度效应及最优信息提取尺度的问题, 这正是本文研究的主要内容。

2 面向对象高分辨率遥感影像多尺度分割技术

基于像素分类方法适合于多光谱和高光谱的遥感影像, 但对于高分辨遥感影像, 存在如下问题^[1-4]: ①仅利用光谱信息, 忽略几何、纹理等在高分辨率影像中丰富且重要的空间信息, 获得的信息十分有限; ②依赖于光谱空间数据的先验知识, 往往出现较多的错分、漏分情况; ③随着空间分辨率的提高, 光谱特征不如空间特征丰富, 增加了同

类之间的光谱异质性, 不易区分同物异谱的地物; 同时, 减少了异类之间的光谱同质性, 不易区分同谱异物的地物; ④随着空间分辨率的提高, 同一地物类别内部出现较多的纯像素, 内部异质性增大, 增加了分类难度, 造成提取结果存在更为严重的“椒盐现象”; ⑤随着空间分辨率的提高, 遥感影像的数据量成指数级增长, 用传统方法对高分辨率影像进行信息提取运算量大, 速度慢, 不能满足遥感信息快速提取的要求; ⑥传统方法不同的地物类型目标在同一个尺度上提取, 忽略了遥感应用中的尺度影响; ⑦遥感影像是GIS数据库的重要来源, 但是传统方法提取的最终信息是破碎零乱的, 严重阻碍了遥感栅格信息和矢量GIS之间的集成。

为了更好地解决以上基于面向像素分类方法存在的不足, 面向对象的遥感影像处理方法应运而生。面向对象分类方法^[9]首先对影像进行多尺度分割得到不同尺度的同质对象, 实现同一分辨率遥感影像信息用多种尺度进行描述, 其次选择满足影像分类或目标地物提取要求的包含丰富语义信息的影像对象, 然后提取地物的特征或特征组合建立分类体系, 最后采用模糊分类方法实现地物类型信息的提取。

多尺度分割的突出贡献是同一空间分辨率的遥感影像信息不再只由一种尺度来表示, 而是将原始影像信息扩展到不同尺度上, 从而构建了一个与地表实体相似的层次等级结构, 实现影像信息的多尺度描述^[10,11], 如图1所示。本文采用的多尺度影像分割算法是基于异质性最小原则的区域合并算法^[10]。

3 面向对象影像信息提取中的尺度效应

遥感影像分割过程应该是对影像对象的空间特征、光谱特征和形状特征同时进行分割操作, 因此生成的“同质的影像对象”不仅要包括Tobler

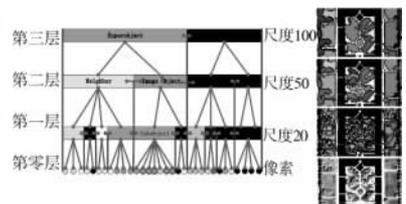


图1 影像对象网络层次结构示意图

所描述的光谱同质性, 而且还要包括空间特征与形状特征的同质性。在选定多个分割尺度对影像进行尺度转换后, 不同分割尺度层的影像对象体现为明显的空间结构特征差异。下面以经过融合纠正过后的中国矿业大学文昌校区教



作者简介:张俊(1983-), 男, 硕士, 任职黑龙江测绘局, 现主要从事遥感图像处理与应用方面的研究工作。
E-mail: zjaust@163.com

收稿日期:2009-08-13

基金项目:西部测图项目, 国家自然科学基金重点项目(50534050); 国家自然科学基金资助项目(50774080)

学区 2005 年 QuickBird 数据为实验对象，数据来源于徐州市国土资源局，影像大小为 880 × 880 个像素，图 2 为其真彩色合成影像。



图 2 真彩色合成影像

1) 尺度转换对影像对象分形维数的影响

分形维数是表征影像自相似特征的变量之一，影像对象越不规则，则分形指数的值会越高。如图 3a 所示，单个道路、林地、裸地对象分形维数整体趋势随尺度增大而增大。其中单个道路对象分形维数最大，增大最快，这主要是因为高分辨率遥感影像中道路两旁的乔木一般较明显，乔木及其阴影对道路的垂直叠加严重，造成道路对象破碎严重，极不规则。这也是高分辨率遥感影像中道路信息难以准确提取的重要原因之一。而建筑物、草地、水体分割对象较规整，边界平滑，故分形维数较小较稳定。

2) 尺度转换对影像对象紧凑度的影响

紧凑度是空间结构特征的变量之一，它表征一个影像对象的精密度，影像对象的紧凑度越高，紧凑度越大，形状与正方形越相似。如图 3b 所示，单个建筑物、水体、裸地、林地和草地对象紧凑度值比较大，说明这些对象比较接近正方形，其中单个建筑物、水体、林地对象紧凑度整体趋势随尺度增大变化不大，变化范围在 0.2 以内，比较稳定。而道路由于与分形维数同样的原因造成紧凑度值最小，说明高分辨率遥感影像上的道路道路破碎，与正方形的差别很大。由于城市建设速度比较快，造成道路、裸地和草地变化比较快，故其紧凑度较不稳定。

3) 尺度转换对影像对象面积的影响

面积是空间结构特征的变量之一，如图 3c 所示。随着分割尺度的增大，影像对象内部由单一纯净像素向不同种类的混合像素变化，影像多边形对象的面积逐渐增大。

4) 尺度转换对影像对象均值、标准差和与邻域均值差的影响

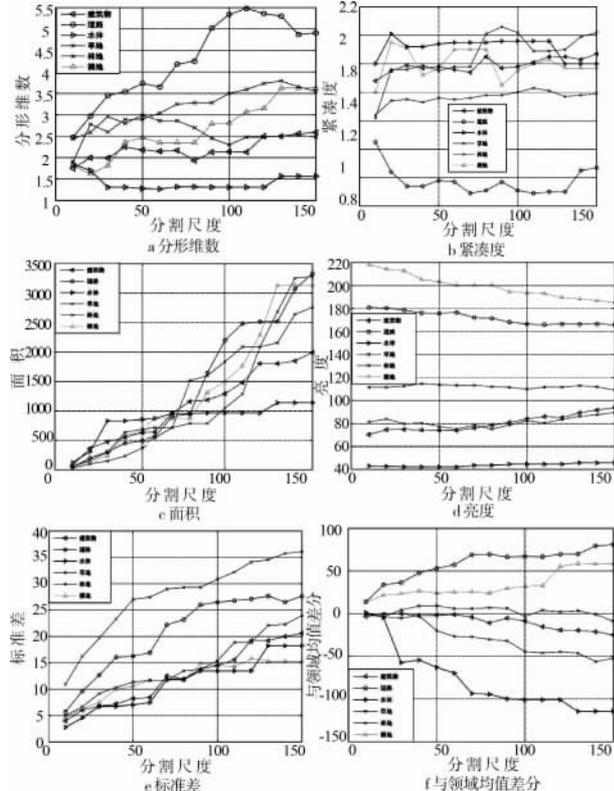


图 3 影像对象特征随尺度变化的关系曲线

亮度表示各个分割层影像对象均值的平均值；标准差表示影像对象在每个波段数据的离散情况；与邻域均值差表示在每个分割层相邻影像对象的离散情况，分别如图 3d、图 3e、图 3f 所示。

从图 3e 可以看出，随着分割尺度的增大，各类地物的标准差都在增大，说明都混合了不同程度的其他地物，这也充分体现在图 3d、图 3f 中。水体随尺度的不断增加，不同程度上混合了道路、林地和草地，所以亮度值正增长，而与邻域均值差分值出现负增长；林地随尺度的不断增加，不同程度上混合了道路、草地、建筑物和水体，因为水体的亮度值比起林地的亮度值要小得多，而建筑物的亮度均值基本上与林地相同，且它们比林地混合的主要地物道路的亮度值要小得多，所以林地的亮度值表现为正增长，其与邻域均值差分值出现负增长；草地随尺度的不断增加，不同程度上混合了道路、林地、裸地和水体，由于建筑物和裸地与草地的亮度差别与裸地和道路与草地的亮度差别基本相同，所以草地混合的亮度值和与邻域均值差分值整体上变化不大，有时会出现正负波动；建筑物随尺度的不断增加，不同程度上混合了道路、林地、草地和裸地，虽然亮度值减小，但是由于其亮度比林地、草地和水体大的多，所以其与邻域均值差分值仍然出现正增长；裸地随尺度的不断增加，不同程度上混合了道路和草地，虽然亮度值减小，但是由于其亮度比混合类别要大很多，所以其与邻域均值差分值仍然出现正增长。

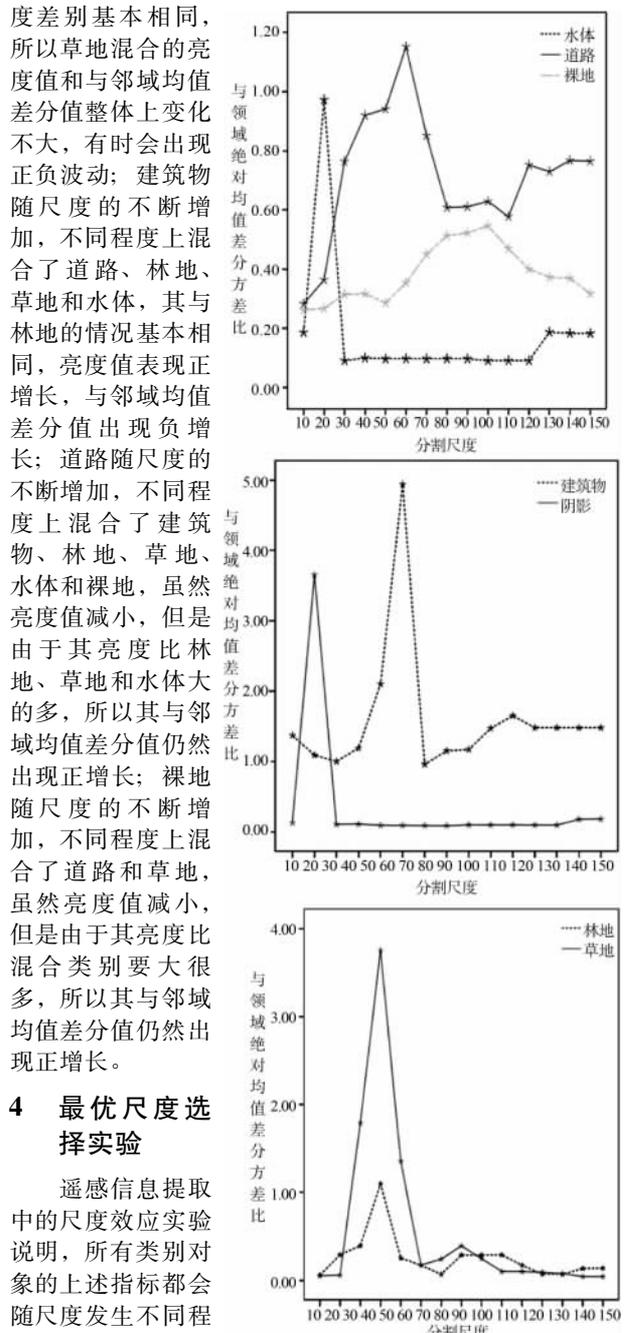


图 4 RMAS 法最优尺度的选择

4 最优尺度选择实验

遥感信息提取中的尺度效应实验说明，所有类别对象的上述指标都会随尺度发生不同程度的变化，相同的地物在不同的尺度

上的表现均是不同的,不同目标在影像上具有的特征值、尺度是不同的,对描述与转换而言,不同主题有其最适宜的尺度。故在同一分辨率或同一尺度的影像中提取的信息是有限的,特定尺度主题的信息提取应该在特定的尺度上进行。

本文通过反复试验,发现影像对象的与邻域绝对均值差分方差比(the Ratio of Mean Diff. to Neighbors(ABS) to Standard Deviation, RMAS)是选择影像最优尺度的一个较好的指示器。当分割尺度小于类别目标时,对象内含有相同的地物类别,对象标准差小,相邻对象之间属于同一个类别而具有空间依赖,对象与邻域均值差分绝对值及 RMAS 均较小;当分割尺度大小等于类别目标时,对象内含有相同的地物类别,对象标准差小,相邻对象属于不同的类别目标而使空间依赖程度最弱,对象与邻域均值差分绝对值及 RMAS 均最大;当分割尺度进一步增大时,对象内都会含有不同的地物类别,对象标准差增大,与相邻对象之间的空间依赖程度同时也开始增大,对象与邻域均值差分绝对值及 RMAS 均开始减小。因此不同地物类别信息提取的最优尺度可以通过影像对象的 RMAS 的曲线图来选择。

RMAS 是指对象与邻域均值差分绝对值与对象标准差之间的比值。计算公式如下:

$$RMAS = \frac{\Delta C_L}{S_L}$$

$$\Delta C_L = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij} | \overline{C_L} - C_{Li} |$$

$$S_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{Li} - \overline{C_L})^2} \quad (1)$$

其中, L 表示影像对象波段层数, ΔC_L 表示在 L 波段层单个尺度分割对象的与邻域均值差分绝对值, S_L 表示在 L 波段层单个尺度分割对象的标准差, C_{Li} 表示在 L 波段层的 i 这个像素点灰度值, $\overline{C_L}$ 表示单个尺度分割层上的波段均值, n 表示影像对象内的像素个数, l 表示目标对象的边界长度, l_{ij} 为目标对象和第 j 个直接相邻对象的公共边界长度, m 为与目标对象直接相邻的对象个数。

利用多尺度影像分割技术生成的不同尺度影像对象,绘制了不同对象的 RMAS 随分割尺度变化的曲线,如图 4 所示。从曲线分布形态中可以判定特定地物类别的最优分割尺度,水体、阴影、林地、草地、道路、建筑物和裸地对应的最优尺度分别为 20、20、40、40、60、60 和 100。

由于作者非常熟悉该校区,先通过人工解译的方法对影像进行分类,然后采用面向对象的多特征模糊分类器对多尺度分割影像进行分类,最后以解译图为基础,对各尺度下影像分类结果图中各地物类别进行分类精度分析,如表 1 所示。从表中可以看出,在不同尺度上类别提取精度有很大差异,水体、阴影、林地、草地、道路、建筑物和裸地七类最高提取精度分别为 98.65%、81.51%、87.85%、82.36%、84.44%、81.43%、95.19%,对应的尺度分别为 20、20、40、40、70、70 和 100,这与面向对象的 RMAS 方法分析的地物提取最佳尺度结果吻合,说明 RMAS 方法有效可行。

表 1 不同分割尺度下的生产者精度评价结果

	生产者精度(%)														
建筑物	71.44	72.43	74.74	72.48	81.43	73.00	70.68	57.69	68.64	70.04	71.13	72.36	69.57	60.80	61.53
道路	61.61	60.68	72.58	74.13	84.44	64.31	73.55	80.34	69.93	73.25	69.11	66.76	52.12	51.95	53.25
水体	68.27	98.65	77.27	78.11	73.1	85.04	51.77	86.51	86.95	86.95	86.95	80.35	79.92	76.68	76.68
树木	71.53	74.62	77.93	78.87	81.01	82.68	87.85	55.37	71.62	72.84	72.66	74.64	71.95	71.55	69.53
草地	51.54	59.2	59.51	64.82	67.17	66.05	82.36	73.18	66.77	69.36	69.78	65.47	68.16	65.98	65.17
裸地	46.81	42.61	46.83	72.79	41.51	73.45	76.92	93.04	69.27	95.13	95.19	95.13	56.75	57.19	57.19
阴影	72.38	81.51	63.66	51.17	58.62	53.10	54.05	47.37	50.00	51.76	47.30	31.99	30.33	32.41	29.21
尺度	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

5 结束语

本文从面向对象的遥感信息提取中的尺度效应研究入手,发现所有类别对象的特征指标值都会随尺度发生不同程度的变化,相同的地物在不同的尺度上的表现均是不同的,不同目标在影像上具有的特征值、尺度是不同的,对描述与转换而言,不同主题有其最适宜的尺度。本文鉴于此,提出了一种新的面向对象的最优尺度的选择方法, RMAS 方法的特点有:

- 1) RMAS 是基于相应的影像对象层进行的。
- 2) RMAS 的计算不受计算窗口的限制,可以计算任意尺度分割对象的 RMAS。
- 3) RMAS 不仅考虑了对象的内部异质性,同时也考虑了对象的外部异质性,是综合考虑两种因素的指标,体现了面向对象技术的优点。另外我们从 RMAS 曲线图中还可以看出:一方面,破碎影像对象的 RMAS 曲线中有的会出现多个局部峰值的情况,不利于该类地物类别的提取;另一方面,最优尺度是相对的,某一类别的最优尺度对于另一个类别可能不是最优的。最后需要指出是最优尺度通常是一个数值范围。

参考文献

[1] John R. Jensen. Introductory Digital Image Processing:

A Remote Sensing Perspective [M]. Third Edition. Prentice Hall, 2004.

- [2] 关元秀,程晓阳. 高分辨率卫星影像处理指南[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] 杜培军,陈云浩,王行风,等. 遥感科学与进展[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [5] 王爱玲,李京,刘素红,等. 多尺度遥感影像数据库管理的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(3).
- [6] 吴凡. 地理空间数据的多尺度处理与表示研究: 博士学位论文[D]. 武汉: 武汉大学, 2002.
- [7] 傅伯杰,陈利顶. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] 胡继华,等. 基于遥感影像的城镇空间数据库建库技术框架研究[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4).
- [9] Baatz M, Schape A. Object-Oriented and multi-scale image analysis in semantic networks [C] //Proc of the 2nd International Symposium on Operationalization of RemoteSensing, August 16-20th 1999. Ensehede ITC.
- [10] Definients Image GmbH. eCognition User Guide [M]. Germany, 2004. (下转第 58 页)

分析上述计算结果,可以看出:

1) 图 1~图 3 的计算结果,不但直观地证明了 GPS/INS 松组合导航系统动力学模型误差的存在性,而且说明了动力学模型误差与载体运动速度有一定的关系:载体稳定运行或静止时,模型误差相对比较稳定;载体加减速运动或机动运动时,模型误差存在明显的跳动现象,见图 2 和图 3 分别表示的位置、速度向量的预报残差信息(计算模型误差的观测信息)和动力学模型误差信息。

2) 由图 4 的计算结果可知,动力学模型误差修正后的标准 Kalman 滤波导航解相对修正前的导航解,其精度和可靠性均得到了明显提高,也说明了在 GPS/INS 松组合导航系统中,进行动力学模型误差修正是必要和必须的。

5 结束语

GPS/INS 松组合导航解算时,动力学模型误差不但确实存在,而且利用基于 Kalman 滤波的方法对动力学模型误差进行直接估计也是可行的。且动力学模型误差修正后的组合导航滤波解明显优于修正前的组合导航解。

此外,本文算例没有考虑观测方程模型误差的影响,主要因为在 GPS/INS 松组合导航系统中,连续型动力学模型方程相对线性观测方程,其模型误差影响比较大,也比较明显。但实际应用中,观测方程的模型误差是不可避免的,因此本文计算结果一定程度上也会受观测方程模型误差的影响。

参考文献

- [1] Jazwinski A H. Stochastic Processes and Filtering Theory [C] // Mathematics in Science and Engineering. Academic Press, 1970, New York.
- [2] Mehra R. K. On the identification of variances and adaptive Kalman filtering [J]. IEEE Transactions on Automatic Control. 1970, 15: 175-184.
- [3] 杨元喜,徐天河.基于移动开窗法协方差估计和方差分量估计的自适应滤波[J].武汉大学学报信息科学版,2003,28(6).
- [4] 张金槐,蔡洪.飞行器试验统计学[M].长沙:国防科技大学出版社,1995.
- [5] Fischer B. and Hegland M. Collocation, filtering and non-parametric regression [J]. Zeitschrift Fur Vermessungswesen(ZFV), 1999, 124(1-2): 17~24, 46~52.
- [6] Yang Yuanxi, He Haibo and Xu Guochang. Adaptively robust filtering for kinematic geodetic positioning [J], Journal of Geodesy, 2001, 75(2), 109-116.
- [7] 崔先强,樊月波.有色噪声模型参数改进算法[J].测绘学院学报,2002,19(3).
- [8] 杨元喜,崔先强.动态定位有色噪声影响函数—以一阶 AR 模型为例 [J]. 测绘学报,2003,32(1).
- [9] 杨元喜.动态 Kalman 滤波模型误差的影响 [J]. 测绘科学,2006,31(1).
- [10] 杨元喜.自适应动态导航定位 [M]. 北京:测绘科技出版社,2006.
- [11] 陶本藻.卡尔曼滤波模型误差的识别 [J]. 地壳形变与地震,1999,19(4).
- [12] 董绪荣,张守信,华仲春. GPS/INS 组合导航定位及其应用 [M]. 长沙:国防科技大学出版社,1998.

An algorithm based on Kalman filtering for estimating kinematic model errors

Abstract: Firstly, the influences of the dynamical model errors on navigation results and the predicted residuals were analyzed and introduced in the paper. Then, a new algorithm based on Kalman filtering for estimating kinematic model errors was put forward. Finally, a practical example was given. The results proved that the new algorithm was valid and reliable when applied in loosely-coupled GPS/INS integrated navigation system.

Key words: loosely-coupled GPS/INS integrated navigation; model errors; Kalman filtering

GAO Wei-guang^{①②}, ZHANG Xiao-dong^③(^①Institute of Surveying and Mapping, University of Information Engineering, Zhengzhou 450052, China; ^②Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China; ^③Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, Xi'an 710054, China)

(上接第 109 页)

[11] 黄慧苹.面向对象影像分析中的尺度问题研究 [D].北京:中国科学院遥感应用研究所,2003.

[12] Tobler W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region [J]. Economic Geography, 1970, (46).

Scale effect and optimal scale in object-oriented information extraction of high spatial resolution remote sensing image

Abstract: From scale effect problem in the remote sensing information extraction, the targets' fractal dimensions, compact ratio, areas, mean value, standard deviation and mean differential to neighbors of image objects were experimental researched in the paper. It found that these index values of all targets would fluctuate with scales, and different targets in the images have different feature values and scales. It is necessary to extract the region of interest in optimal scale images. In view of this, RMAS method was developed, according to the best classification principle as "homogeneity in class, heterogeneity between classes". The thought of this method was that the heterogeneity in class is the minimum and is the maximum between classes when RMAS is the maximum, so the segmentation scale is optimal. According to the principle of the highest information extraction accuracy based on the optimal scale, the experiment verified the feasibility of this method and the classification result was better.

Key word: high spatial resolution remote sensing; object-oriented; multi-scale segmentation; scale effect; optimal scale

ZHANG Jun^①, ZHU Guo-long^②, LI Yan^②(^①No. 3 Topographic Survey Team of SBSM, Harbin 150081, China; ^②Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering /China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)