

# 多特征融入的自适应遥感影像多尺度分割

周亚男<sup>1</sup> 骆剑承<sup>1</sup> 程熙<sup>1</sup> 沈占锋<sup>1</sup>

(1 中国科学院遥感应用研究所, 北京市朝阳区大屯路甲20号, 100101)

**摘要:** 针对现有遥感影像分割未充分利用丰富的地物属性信息,且分割模型采用全局固定参数未考虑特征维度空间的局部统计特性的局限,提出了一种多特征融入的自适应遥感影像多尺度分割方法。实验表明,本方法能有效利用基元的多维特征和特征维度空间局部统计信息,得到更合理的影像分割结果。

**关键词:** 多特征;自适应;K近邻;多尺度;影像分割

**中图法分类号:** P237.3

面向对象影像分析的基础是多尺度分割影像,建立多尺度地物基元<sup>[1]</sup>属性和关系的层次结构,是进行像元-基元-目标-格局<sup>[2]</sup>影像分析计算的基础。然而,受成像过程的不确定性<sup>[3]</sup>、地物类型复杂多样及当前影像分析技术的局限,使得影像多尺度分割成为面向对象影像分析中最具不确定性的环节<sup>[4]</sup>。

对于影像多尺度分割,国内外学者进行了大量的研究,并提出多种分割理论和模型。如eCognition的分形网络演化算法(fractal network evolution algorithm, FNEA)<sup>[5]</sup>、基于密度统计的均值漂移(mean shift)算法<sup>[6]</sup>、基于图划分的图割模型(graph cuts)<sup>[7]</sup>和基于隐马尔科夫模型的分割方法<sup>[8]</sup>等。本文提出了一种多特征融入的自适应遥感影像多尺度分割方法(multi-Feature adaptive multi-scale image segmentation, MFAMIS),来提高影像分割的精度。

## 1 MFAMIS 方法

基于图划分的影像分割模型将影像分割转换为带权无向图的多路划分问题。首先将影像映射为带权无向图(像元为顶点,像元间相似度为连接边);然后以某种准则构造图分割的代价函数;最后对图迭代划分,使所求划分满足集合间相似度最小,集合内部相似度最大<sup>[7-8]</sup>。由于影像数据量大、图划分的最优解为NP难问题<sup>[9]</sup>,Sharon<sup>[10-11]</sup>

等将多重网格解法的加权聚合规则引入图割,提出了加权聚合影像分割方法:将在细尺度图上寻找影像最优图划分的问题逐步转化到节点数目更少的粗化图上进行,实现了影像的快速多层次分割<sup>[12]</sup>。

本文提出的MFAMIS方法改进如下(封三彩图1):①提取地物基元的光谱特征、几何形状特征、纹理特征、空间位置关系和基元间边界特征,构建基元的多维特征空间;②在基元特征空间中,搜索当前基元的K近邻,分析当前基元K近邻的距离和方位特性,计算基元K近邻局部空间的距离和方向参数;③依据距离和方位参数,自适应调整模型特征系数,优化基元间的相似性度量。

### 1.1 提取基元的多维特征

遥感影像所含丰富的地物特征(如光谱特征、纹理特征、几何特征、边界信息、空间关系等)是地物单元本质属性的多角度、多层次度量,是影像分割和认知识别的重要依据。

### 1.2 计算基元间相似度

设基元特征  $P = (p_1, p_2, \dots, p_{n-1})$  ( $n$  为特征维数);在加权聚合影像分割方法中,采用曼哈顿距离来计算特征距离<sup>[10-15]</sup>,基元间相似度  $S_{ij}$  为:

$$S_{ij} = e^{-(c_1 |p_1^i - p_1^j| + \dots + c_{n-1} |p_{n-1}^i - p_{n-1}^j| + c_n E)} \quad (1)$$

### 1.3 自适应调整模型参数

文献<sup>[16]</sup>提出了自适应带宽的Mean Shift分割模型,取得了较好的分割结果;文献<sup>[17]</sup>运用

局部尺度的自适应参数机制改善谱聚类分割结果。本文分析了基元特征空间  $K$  近邻局部尺度,并考虑近邻点分布的方向性,提出了各向异性的自适应参数调整方法,优化基元特征系数。

### 1.3.1 局部尺度自适应策略

在式(1)的基础上,引入基元  $P_i$  的局部调整系数  $\sigma_i$ ,自适应调整  $P_i$  和相邻基元间的特征距离;在  $P_i$  处,  $P_i$  和  $P_j$  间距离调整为  $d(P_i, P_j)/\sigma_i$ ;在  $P_j$  处,  $P_j$  和  $P_i$  间距离调整为  $d(P_j, P_i)/\sigma_j$ ;  $P_i$  和  $P_j$  间的协调距离为  $d(\vec{P}_i, \vec{P}_j)/\sqrt{\sigma_i\sigma_j}$ ,重写基元间相似度为:

$$S_{ij} = \exp\left(\frac{-(c_1|p_1^i - p_1^j| + \dots + c_{n-1}|p_{n-1}^i - p_{n-1}^j| + c_n E)}{\sqrt{\sigma_i\sigma_j}}\right) \quad (2)$$

局部调整参数的引入,将利用特征维度空间的局部统计特征优化基元间的相似性度量。考虑到基元的  $K$  近邻,选取  $\sigma_i = d(P_i, P_k)$ ,其中  $P_k$  为  $P_i$  的第  $K$  近邻。

封三彩图 2(a) 没有考虑特征空间的局部特性,全局固定的特征系数,使得两类点(蓝点和黄点)间的相似度较大,黄点间的相似度由于距离较大而过小,无法取得较好的分割结果。封三彩图 2(b) 采用局部尺度调整策略,有效降低了两类点间的相似度,增强了同类点间的相似度,取得很好的分割效果。

### 1.3.2 各向异性的局部尺度自适应策略

在特征空间的局部自适应统计分析中,数据分布的空间方向性十分重要,如封三彩图 3 所示。封三彩图 3(a) 为分布在某一流形上的基元特征向量,以蓝点基元为中心,分析其  $K$  近邻(红色数据点)中的分布,基元的  $K$  近邻分布具有顺应流体方向的特性(青色椭圆),因此,在基元近邻空间上的参数自适应调整强度应具有方向性;封三彩图 3(b) 展示了各向同性和各向异性局部参数调整强度的对比:各向同性的参数调整仅根据数据点间的距离调整参数  $\sigma_i$ ,随距离增大而增大,而各向异性的参数调整考虑  $K$  近邻空间的方向性,各向异性调整参数  $\sigma_i$ (黑线的粗细同  $\sigma_i$  成反比)。

分析  $K$  近邻空间的方向性,计算基元  $K$  近邻不同方向的分布强度,各向异性调整模型参数。方法如下:① 搜索当前基元 CP 的  $K$  近邻;② 对  $K$  近邻特征向量进行主分量分析(PCA),得到由大到小排列的  $n$  个特征值  $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$  和对应的特征向量  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ ;③ 由式(3)计

算基元 CP 同各相邻基元  $P_i$  的局部尺度调整参数  $\sigma_i$ ;④ 由式(2)修正 CP 同  $P_i$  间的相似度。各向异性局部参数调整公式为:

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^n e_j \frac{(P_i v_j)}{\|P_i\| \cdot \|v_j\|} \quad (3)$$

在各向异性的局部尺度计算中,如果  $K$  过小无法反映高维特征空间中  $K$  近邻的空间分布形态,如果  $K$  过大计算量剧增,且对特征空间的局部描述变得粗糙。本文方法综合考虑算法的效率和分割精度,取  $K=24$ (20~30 均可)。

需要说明的是,本文提出的自适应参数调整是针对特征空间中不同位置基元特征系数大小的整体调整,而  $c_1, c_2, \dots, c_n$  的大小是对基元各特征相对重要性的度量,故不在本文讨论范围内。

## 2 实验

为验证 MFAMIS 多尺度分割方法的有效性,本文设计了纵向和横向两组对比实验。

### 2.1 纵向对比实验

本组对比实验选用武汉部分区域 Quick Bird 的全色影像和多光谱影像(包含可见光和近红外 4 个波段)数据,采用 Gram-Schmidt 方法合成的多光谱融合影像(封三彩图 4)进行多尺度分割的对比实验。

#### 2.1.1 SWA 影像多尺度分割实验

SWA 多尺度分割实验选取参数(参数含义和作用参见文献[10,11])。多尺度分割实验区域影像,得到地物单元层、地物对象层和区域格局层等分割层次,效果如封三彩图 5 所示。

#### 2.1.2 MFSWA 影像多尺度分割实验

MFSWA 多尺度分割建立在加权聚合分割框架上,充分融入地物的多种特征。为更好地进行实验间的对比分析,设置实验参数:光谱均值因子  $sm=9$ ,光谱标准差因子  $sv=9$ ,形状光滑度因子  $gs=6$ ,形状紧凑度因子  $gc=6$ ,形状长宽比因子  $gr=6$ ,纹理对比度因子  $tc=10$ ,纹理熵因子  $th=10$ ,纹理能量因子  $ts=10$ ,边界因子  $e=5$ ,质心因子  $posm=8$ ,质心标准差因子  $posv=10$ ,其他参数与 SWA 实验相同。虽然实验参数设置较多,但这对不同的遥感影像具有很好的稳健性<sup>[12]</sup>。

#### 2.1.3 MFAMIS 影像分割实验

在融入地物基元多种特征的基础上,MFAMIS 进一步将局部自适应调整策略运用到影像分割中。其中,实验取近邻数  $K=24$ ,其他参数设置同 MFSWA。多尺度分割得到地物单元层、

地物对象层和区域格局层等 3 个分割层次,效果如封三彩图 5 所示。

#### 2.1.4 实验分析评价

分析横向对比实验:① 地物单元层,其分割尺度相对地物尺寸较小,3 种方法的分割效果相当,但封三彩图 5(b)、5(c)融入了基元的多种特征,得到的地物单元较封三彩图 5(a)更完整、更光滑;② 地物对象层,多特征的融入使得影像分割结果有了质的改善,封三彩图 5(e)、5(f)较封三彩图 5(d)都更加符合地物的外形轮廓,加上局部尺度的自适应调整,使得封三彩图 5(f)对局部地物的分割比封三彩图 5(e)更加精细和准确;③ 区域格局层,封三彩图 5(g)简单的光谱纹理特征造成分割基元差别较大,过分割和欠分割严重,封三彩图 5(h)、5(i)对区域格局的分割都较好,封三彩图 5(h)对道路的分割比封三彩图 5(i)效果更好,但封三彩图 5(i)整体的格局划分,更符合地物的区域特征;④ 分析表明,多种特征的融入显著提高影像多尺度分割的精度,而自适应参数调整进一步优化多尺度分割,使分割精度更高。

为了定量分析多特征融入和局部尺度自适应调整方法的有效性,采用文献[18]提出的影像分割精度评价体系,从区域内非均匀度(非均匀度)、区域间散度对比度(散度对比度)和区域边界梯度(边界梯度)等 3 个方面来评价对比实验,结果如表 1~表 3 所示。

表 1 SWA 多尺度分割结果评价分析

Tab. 1 Evaluation Parameters of Result by SWA

层次	非均匀度	散度对比度	边界梯度
单元层	17.325	220.091	102.598
对象层	35.857	164.174	206.874
格局层	47.680	78.367	367.644
平均	33.621	154.211	225.705

表 2 MFSWA 多尺度分割结果评价分析

Tab. 2 Evaluation Parameters of Result by MFSWA

层次	非均匀度	散度对比度	边界梯度
单元层	14.209	263.179	145.311
对象层	25.723	206.611	289.579
格局层	42.106	98.076	426.734
平均	27.346	189.289	287.208

表 3 MFAMIS 多尺度分割结果评价分析

Tab. 3 Evaluation Parameters of Result by MFAMIS

层次	非均匀度	散度对比度	边界梯度
单元层	12.947	289.715	160.465
对象层	23.809	215.095	299.103
格局层	39.409	110.733	433.681
平均	25.388	205.181	297.750

对比表 1~表 3 可知,实验影像多尺度分割

在多个层次上,MFSWA 和 MFAMIS 都得到比 SWA 更高精度的分割结果(区域内非均匀度更小、区域间散度对比度更大和区域边界梯度更高),精度提高明显;而 MFAMIS 得到比 MFSWA 更好的分割结果。定量分析进一步说明,地物基元的多特征融入显著提高影像多尺度分割结果的精度,而自适应局部尺度调整进一步优化多尺度分割结果。

#### 2.2 横向对比实验

本实验选用 IKONOS 的全色影像和多光谱影像,采用 Gram-Schmidt 方法合成的多光谱融合影像进行多尺度分割的横向对比。各实验均设置优化的参数:Mean Shift 中空间核半径为 7,颜色核半径为 6.5;FNEA 中形状因子为 0.3,紧致度因子为 0.5。地物对象层的分割结果如封三彩图 6 所示。

对比地物对象层的分割结果,MFAMIS 分割结果整体上优于 Mean Shift 分割和 FNEA 分割的结果。封三彩图 6 中,对比封三彩图 6(b)、6(c),由于 Mean Shift 分割方法考虑地物基元的空间位置特征,故比 FNEA 的分割基元更光滑;而 FNEA 分割方法利用地物基元的几何形状特征,故比 Mean Shift 的分割基元更接近地物的真实形状;而 MFAMIS 分割方法融合分割基元的多种特征,并自适应调整特征间的权重对比,因此,其分割基元更加符合地物对象的形态。

### 3 结 语

本文在分析影像多尺度分割模型的基础上,针对分割模型未充分挖掘基元的属性信息和模型参数全局固定的问题,分别提出了融合基元光谱、几何、纹理、边界特征和空间位置信息的方法和考虑各向异性的局部尺度自适应调整策略,实现了多特征融入的自适应影像多尺度分割,并取得了较好的实验结果。但如何进一步挖掘影像丰富的地物信息、将上述策略融入到更多的分割模型中仍需进一步研究。

#### 参 考 文 献

- [1] Hotter M, Thoma R. Image Segmentation Based on Object Oriented Mapping Parameter Estimation[J]. Signal Processing, 1988, 15(3): 315-334
- [2] 周成虎, 骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京: 科学出版社, 2009
- [3] 宫鹏, 黎夏, 徐冰. 高分辨率影像解译理论与应用方法中的一些研究问题[J]. 遥感学报, 2006, 10(1): 1-5

- [4] 陈忠. 高分辨率遥感图像分类技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006
- [5] Baatz M, Schape A. Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation[J]. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2000, 58(3/4): 12-23
- [6] Comaniciu D, MEER P. Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 603-619
- [7] Boykov Y, Jolly M P. Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D Images[C]. *IEEE International Conference on Computer Vision*, Vancouver, Canada, 2001
- [8] Choi H, Baraniuk R G. Multiscale Image Segmentation Using Wavelet-domain Hidden Markov Models[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(9): 1 309-1 321
- [9] Shi J B, Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(8): 888-905
- [10] Sharon E, Brandt A, Basri R. Fast Multiscale Image Segmentation[C]. *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Hilton Head Island, SC, USA, 2000
- [11] Sharon E, Galum M, Sharon D, et al. Hierarchy and Adaptivity in Segmenting Visual Scenes[J]. *Nature*, 2006, 442: 810-813
- [12] 王爱萍, 王树根, 吴会证. 利用分层聚合进行高分辨率遥感影像多尺度分割[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2009, 34(9): 1 055-1 058
- [13] Chen Junqing, Pappas T N. Adaptive Perceptual Color-texture Image Segmentation[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, 14(10): 1 524-1 536
- [14] Malik J, Belongie B, Leung T, et al. Contour and Texture Analysis for Image Segmentation[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2001, 43(1): 7-27
- [15] 贾建华, 焦李成. 空间一致性约束谱聚类算法用于图像分割[J]. *红外与毫米波学报*, 2010, 29(1): 69-74
- [16] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. The Variable Bandwidth Mean Shift and Data-Driven Scale Selection[C]. *Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision*, Vancouver, BC, Canada, 2001
- [17] Lin Tony, Zha Hongbin, Lee Sang Uk. Riemannian Manifold Learning for Nonlinear Dimensionality Reduction[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2006, 3 951: 44-55
- [18] 明冬萍, 骆剑承, 周成虎, 等. 高分辨率遥感影像特征分割及算法评价分析[J]. *地球信息科学*, 2006, 8(1): 103-109

第一作者简介: 周亚男, 硕士生。研究方向为遥感信息提取。  
E-mail: zhounanq@whu.edu.cn

## Adaptive Multi-scale Remote Sensing Imagery Segmentation Incorporated Multiple Features

ZHOU Yanan<sup>1</sup> LUO Jiancheng<sup>1</sup> CHENG Xi<sup>1</sup> SHEN Zhanfeng<sup>1</sup>

(1 Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, A20 Datun Road, Beijing 10010, China)

**Abstract:** To solve the problems that available imagery segmentation models cannot exploit the plentiful information of image objects fully, and that the global fixed parameters which ignores the role of local statistical properties in feature space, a new approach is proposed, utilizing multiple features and adaptive model parameters. Firstly, multiple features of objects are extracted, and construct the feature space of objects; secondly, through the analysis on the KNN spatial distribution patterns of feature space, the model parameters are adjusted adaptively; finally, the above optimizations are incorporated into multi-scale image segmentation. The results demonstrate that the proposed method is able to make a better use of features and local scale information of feature space, obtains more reasonable segmentation.

**Key words:** multi-feature; adaptive; KNN; multi-scale; image segmentation

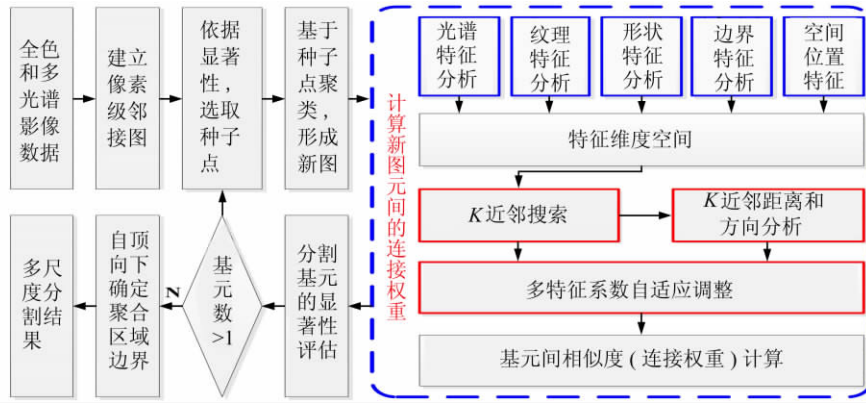


图1 本文提出的影像分割方法流程图

Fig. 1 Method Flowchart of the Proposed Method

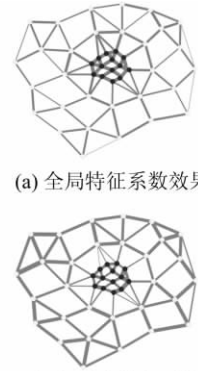


图2 局部自适应参数调整

Fig. 2 Local Adaptive Parameter Adjustment

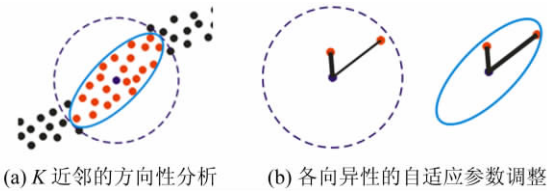


图3 各向异性的局部自适应参数调整

Fig. 3 Anisotropic Local Adaptive Parameter Adjustment

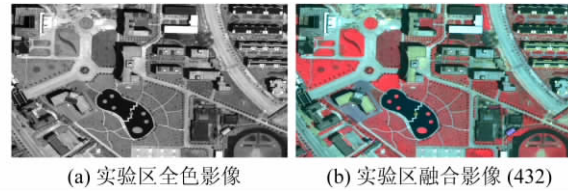


图4 实验区域影像

Fig. 4 Experimental Image

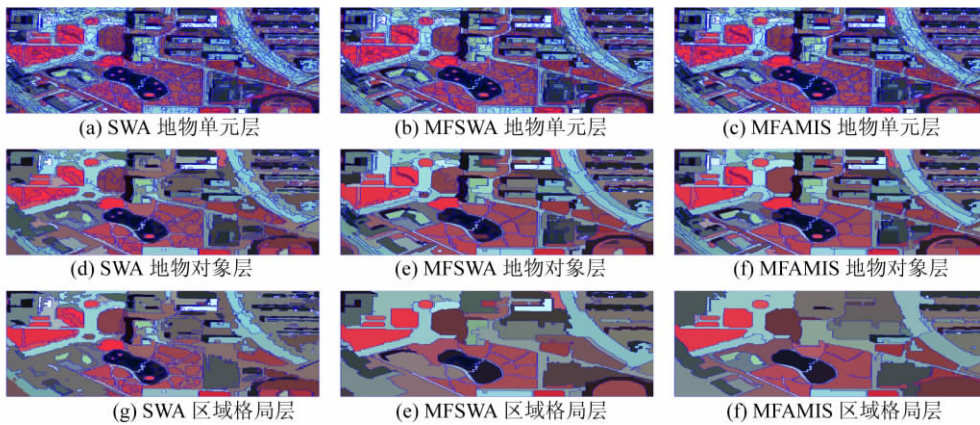


图5 影像多尺度分割纵向对比实验

Fig. 5 Longitudinal Comparative Experiment of Multiscale Image Segmentation

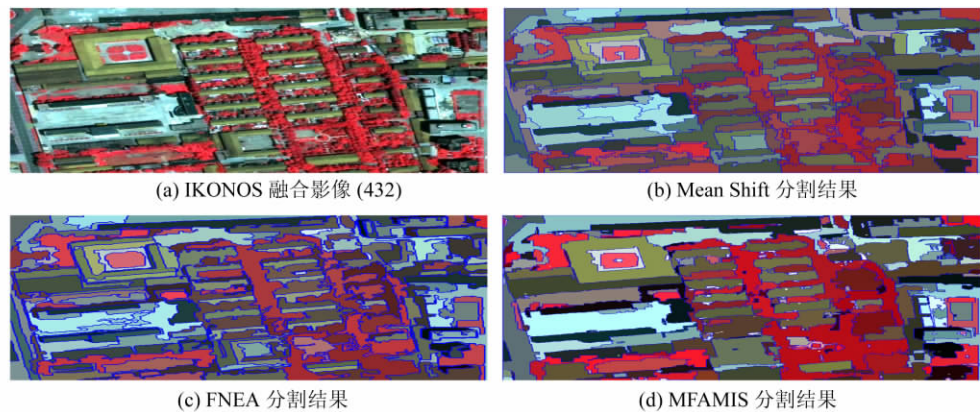


图6 多尺度分割横向对比实验

Fig. 6 Lateral Comparative Experiments