

# 基于小波的高分辨率遥感影像纹理分类方法研究

黄昕<sup>1</sup> 张良培<sup>1</sup> 李平湘<sup>1</sup>

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129号, 430079)

**摘要:** 在基于小波的纹理分类算法的基础上, 提出了逐点特征加权和活动窗口算法, 使小波纹理分析能够用于高分辨率遥感影像的分类。逐点特征加权算法用样本的均值和方差构造偏离量, 对纹理特征进行自适应加权。实验结果表明, 本文提出的算法能够有效地提高分类精度, 使地物的内部和边缘的分类效果都得到改善。

**关键词:** 小波变换; 高分辨率; 逐点特征加权

**中图分类号:** TP753

随着遥感对地观测数据空间分辨率的不断提高, 地物的细节特征得到进一步表现, 同类地物在高分辨率下表现出更为复杂的光谱特征, 混合像元个数减少, 纯净像元个数增加。于是, 一定区域内相邻像元之间的纹理信息在高分辨率影像的模式分类中将扮演更重要的角色<sup>[1]</sup>。本文用小波变换提取高分辨率影像的纹理特征, 并以此特征进行分类。

## 1 基于小波变换的影像纹理特征提取实验

由于小波对空间信号变化的敏感性以及在一定尺度下能分离细节的特点, 可以把小波系数看作信号在某一尺度上的纹理测度。本文的计算选用 db4 小波基<sup>[2]</sup>。图像中的每一个像元对应于一个窗口, 以该窗口小波变换子影像的能量值序列作为该像素的特征向量, 用熵 Entropy (简称 ENT) 作为小波子影像的特征值。

由于大窗口在地物边缘会产生 window size 效应, 而小窗口对边界的判别更准确, 分类结果更细致<sup>[3,4]</sup>, 因此, 本文在用 64×64、32×32、16×16 窗口实验的基础上采用 8×8 窗口提取纹理特征, 是为了使小波分析能够用于自然影像的分类。以下将从样区中选取四类典型地物样本进行分类测试。

设以待分类像元为中心的原始影像窗口为  $L$ , 进行  $i$  阶小波分解得到的低频、水平、垂直和对角 4 个子影像分别为  $Li\_L$ 、 $Li\_H$ 、 $Li\_V$  和  $Li\_D$ ,  $i=1, 2, 3$ 。实验中逐渐增加特征向量的维数: 对于 16×16 窗口, 先进行 1 阶小波变换, 提取 4 维特征向量 (即  $L$ 、 $L1\_L$ 、 $L1\_H$  和  $L1\_V$  四幅子影像的 ENT 值), 然后加上  $L1\_D$ , 提取 5 维特征, 再加上  $L2\_L$ , 最后加上  $L2\_H$ 、 $L2\_V$ 、 $L2\_D$ , 提取 9 维特征; 而对于 32×32 和 64×64 窗口, 由于它们的窗口大小允许进行 3 阶小波分解, 所以先进行 1 阶小波变换, 提取 5 维特征向量 ( $L$ 、 $L1\_L$ 、 $L1\_H$ 、 $L1\_V$  和  $L1\_D$ ) 作为纹理特征, 然后加上  $L2\_L$ , 提取 6 维特征, 第三步加上  $L2\_H$ 、 $L2\_V$ 、 $L2\_D$ , 提取 9 维特征, 再加上  $L3\_L$ , 最后提取所有的 13 维特征向量; 对于 8×8 窗口, 由于窗口的限制, 只进行 1 阶小波变换, 所以用全部 5 幅子影像构成特征向量, 而不再进行特征向量的选择。小波分解后的特征向量将用最小距离分类器对样本进行测试。图 1(a)、1(b)、1(c) 分别表示 16×16 窗口住宅、农田和植被的实验结果, 图中,  $Li\_j$  表示  $i$  维小波分解采用  $j$  维特征向量分类, 纵轴表示测试精度, 图 1(d)、1(e) 分别表示 32×32 窗口住宅和农田的测试精度, 1(f) 表示 64×64 窗口住宅的测试精度, 1(g) 表示 8×8 窗口下四种地物的测试精度。

从图 1 可得如下结论:

1) 随着小波分解阶数的提高和特征向量维

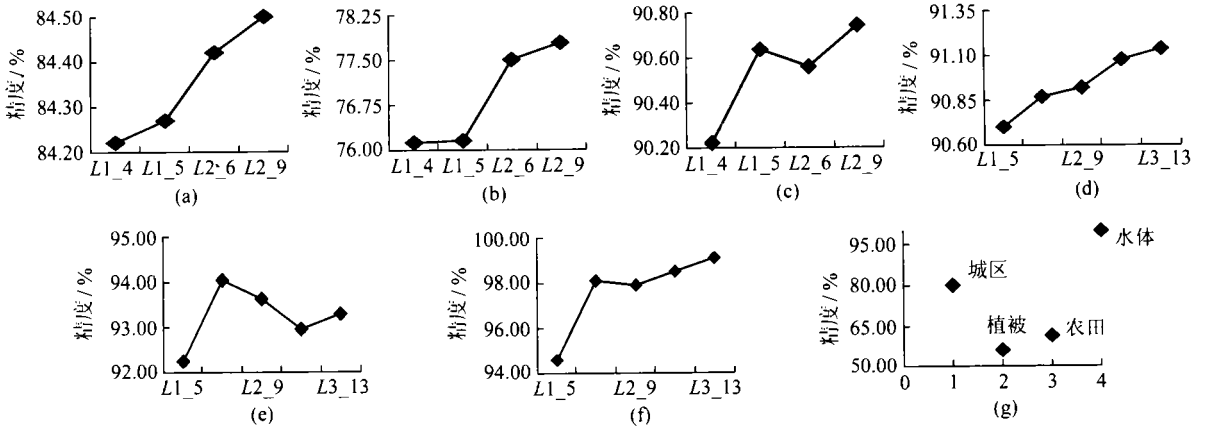


图 1 基于小波的多窗口特征提取实验

Fig. 1 Feature Extraction Experiments of Multi-window Based on Wavelet Transform

数的增大, 样本的测试精度总体上呈上升趋势<sup>[5]</sup>, 但并非特征向量维数越大越好<sup>[6]</sup>。如  $32 \times 32$  实验中, 农田测试精度的峰值出现在  $L2\_6$  处, 图 1(c)、1(e)、1(f) 中都存在随着特征向量维数增大、测试精度却下降的现象。这说明不同的特征分量对精度的影响是不同的, 对于某个像素而言, 有些特征分量可能只是噪声。

$$2) \text{ 实验测试精度计算式为: } A_w = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

•  $A_{i,w}$ ,  $A_w$  为窗口  $w$  的测试精度;  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  为地物类别数;  $A_{i,w}$  为  $w$  窗口下第  $i$  类地物样本的测试精度;  $P_i$  为该类别样本的总数。实验得到  $8 \times 8$ 、 $16 \times 16$ 、 $32 \times 32$ 、 $64 \times 64$  窗口的测试精度分别为 67.69%、82.40%、91.96%、98.93%。

## 2 逐点特征加权和活动窗口算法

### 2.1 逐点特征加权

本文用最小距离分类器对纹理特征进行分类<sup>[7]</sup>, 逐点特征加权是根据每个像元的特点对不同的特征分量进行加权。加权后的分类器为:

$$D_{wi} = \sum_{j=1}^m h_{w,i,j} \times \|s_{i,j} - l_{w,j}\| \quad (1)$$

式中,  $w$  为地物类别;  $l_{w,j}$  是  $w$  类地物纹理特征向量的第  $j$  维特征值;  $D_{wi}$  指像元  $i$  到  $w$  类的纹理空间距离;  $s_{i,j}$  表示像元  $i$  的第  $j$  维纹理特征向量;  $m$  为纹理特征的维数;  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ 。则像元  $i$  所属的类别为:

$$w_i^* = \min_w (D_{wi}) \quad (2)$$

用样本的方差和均值来确定每个特征分量的权  $h_{w,i,j}$ , 其计算涉及 5 个向量: 像元  $i$  的纹理特征向量  $x_i = [s_{i,1}, s_{i,2}, \dots, s_{i,m}]$ ; 假设第  $w$  类

地物有  $n$  个训练样本, 其第  $q$  ( $q = 1, 2, \dots, n$ ) 个样本的纹理特征向量为  $x_{w,q} = [s_{w,q,1}, s_{w,q,2}, \dots, s_{w,q,m}]$ ; 由  $w$  类的训练样本可得该类纹理特征向量的均值向量  $x_w = [s_{w,1}, s_{w,2}, \dots, s_{w,m}]$ ; 由第  $w$  类地物的训练样本可得该类纹理特征向量的方差向量为  $v_w = [v_{w,1}, v_{w,2}, \dots, v_{w,m}]$ ; 设  $|s_{i,j} - s_{w,j}|$  为  $x_i$  相对于  $x_w$  的第  $j$  个偏离量, 可得像元  $i$  与偏离量有关的矢量  $d_{w,i} = [d_{w,i,1}, d_{w,i,2}, \dots, d_{w,i,m}]$ , 其中,

$$s_{w,j} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n s_{w,q,j}, v_{w,j} = \frac{1}{n-1} \sum_{q=1}^n (s_{w,q,j} - s_{w,j})^2 \quad (3)$$

$$d_{w,i,j} = 1 / (v_{w,j} \times |s_{i,j} - s_{w,j}|) \quad (4)$$

把  $d_{w,i,j}$  归一化得到  $h_{w,i,j}$ :

$$h_{w,i,j} = d_{w,i,j} / \sum_{j=1}^m d_{w,i,j} \quad (5)$$

$h_{w,i,j}$  的设置是为了减弱偏离量较高的特征分量对分类的影响, 因为偏离量较高意味着该特征值对纹理特征描述能力不强, 导致纹理参数不稳定。

### 2.2 活动窗口

以往的小波纹理分析往往局限于固定的窗口<sup>[1]</sup>, 本文提出的活动窗口算法旨在利用不同窗口提取纹理特征, 避免了单一窗口的缺点。该算法有两个关键问题。

1) 内点的定义。对于影像中的每一个像素  $X(i,j)$ , 搜索以它为中心的  $M \times M$  邻域, 根据预分类(或上次迭代)的结果统计这个邻域中每一个像元的类别。设  $V_n, W_n, F_n, R_n$  分别代表该区域中属于植被、水体、农田、居民区的像元数, 并设  $M_n = \max\{V_n, W_n, F_n, R_n\}$ , 如果  $\frac{M_n}{M \times M} \geq p\%$ , 且  $x(i,j) \in M_n$ , 就认为像素  $X(i,j)$  是属于  $M_n$  类纹理的内点, 此时对  $X(i,j)$  采用较大的小波窗口进

行纹理特征提取。

2) 优化方式。首先用小窗口进行基于逐点特征加权的分类, 然后对内点采用较大窗口提取特征。小窗口的大小是固定的, 为  $8 \times 8$ ; 较大窗口是可以选择的 ( $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$  或  $64 \times 64$ ), 选择依据包括影像的空间分辨率以及地物的尺寸。大窗口确定后, 还需确定优化迭代的次数  $C$ , 每次迭代时, 内点定义的  $p$  值将按一定步长  $step$  减少。迭代中止的条件为: 实际迭代次数  $c =$  设定次数  $C$  或  $c \geq (p - 50) / step$ , 即认为当  $p$  下降到 50 时停止迭代。

### 3 实验

#### 3.1 分类实验

为了说明算法的有效性, 笔者把基于光谱聚类的 ISODATA、文献[1]和本文的算法进行了比较, 实验结果如图 2 所示, 图 2(b)、2(c) 是文献[1]的结果。可以发现, ISODATA 无法区分光谱

特征很相似的植被和农田; 文献[1]算法在一定程度上区分出了农田和植被, 但是由于其算法提取特征的窗口过于单一, 效果不理想; 本文算法则有较好的区分效果。不同的窗口大小意味着不同的纹理尺度, 随着窗口的减小, 分类结果所表示的地物尺度也在减小, 但是在遥感影像中, 地物尺度非常复杂, 仅仅用一个窗口提取纹理特征是不合理的。图 2(d)、2(e) 的参数设置为:  $p = 80$ , 步长  $step = 20$ , 大窗口为  $32 \times 32$ , 由于此时  $p = 40 < 50$ , 所以迭代在第 2 次后中止。图 2(d) 和 2(e) 的分类结果表现出明显的改善, 纹理内部点的分类精度由于较大窗口的引入而得到提高, 这说明了多窗口策略对于小波纹理特征提取的重要性。

#### 3.2 精度测试

本文截取原始影像中的 4 种自然地物影像进行精度评定, 结果如图 3 所示, 表 1 是两种算法的精度对比。但必须看到, 仅使用纹理这一种测度还无法取得最好的结果, 进一步的研究应考虑如何构建多元信息的混合分类模型。

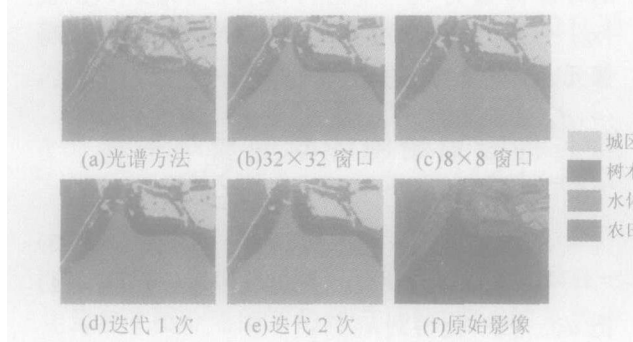


图 2 小波纹理分类

Fig. 2 Texture Classification Based on Wavelet Transform

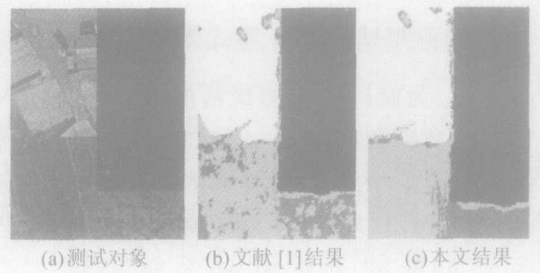


图 3 小波纹理分割效果对比

Fig. 3 Comparison of Texture Segmentation Based on Wavelet for Different Algorithms

表 1 精度评定对比

Tab. 1 Comparison of Accuracy Estimation

精度评定	居民地			水体			农田			植被		
	像元总数	错分像元个数	精度	像元总数	错分像元个数	精度	像元总数	错分像元个数	精度	像元总数	错分像元个数	精度
文献[1]	5 985	455	92.4%	8 308	339	95.9%	4 544	803	82.3%	2 205	916	58.5%
本文算法	4 000	164	95.9%	6 120	273	95.6%	2 940	192	93.5%	1 173	202	82.8%

### 参 考 文 献

[1] MyintS W, Lam N S N, Tylor J. An Evaluation of Four Different Wavelet Decomposition Procedures for Spatial Feature Discrimination Within and Around Urban Areas[J]. Transactions in GIS, 2002, 6(4): 403-429

[2] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998

[3] 盛文, 杨江平, 柳健. 一种基于纹理元灰度模式统计的图像纹理分析方法[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 73-75

[4] 管玉娟, 关泽群, 陶李, 等. 一种影像纹理分析的新方法——条件模式谱法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(4): 354-357

[5] 倪玲, 张剑清, 姚巍. 基于小波的 SAR 影像纹理分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(4): 367-370

- [ 6 ] 朱长青, 杨晓梅. 具有更佳分辨率小波分解的遥感影像纹理分类[ J ]. 地理研究, 1997, 16(1): 54-59
- [ 7 ] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[ M ]. 北京: 科学出版社, 1998

第一作者简介: 黄昕, 博士生。现从事高空间分辨率遥感影像模式识别的研究。

E-mail: huangxin1982420@163.com

## Methods for Classification of the High Spatial Resolution Remotely Sensed Images Based on Wavelet Transform

HUANG Xin<sup>1</sup> ZHANG Liangpei<sup>1</sup> LI Pingxiang<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper discusses the shortage of conventional algorithms of texture classification based on wavelet transform, presents two improved approaches of point feature weighting and smart windows. The point feature weighting algorithm constructs the deviation vector using means and variances of samples, and uses the deviation vector to restrain the feature units which do harm to the classification accuracy. The subsequent experiment results show that the performance of the presented algorithm is much better than the conventional one.

**Key words:** wavelet transform; high spatial resolution; point feature weighting

**About the first author:** HUANG Xin, Ph.D candidate, majors in the pattern recognition of high spatial resolution remotely sensed data.  
E-mail: huangxin1982420@163.com

(上接第 65 页)

## Object Extracting in Nature-Light Image

MAO Qingzhou<sup>1,2</sup> HE Saixian<sup>1,2</sup> CHEN Changjun<sup>1,2</sup>

(1 School of Electronic Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** A method to extract the object in nature-light image is introduced in the paper. In order to extract the object, a background with stripes texture has been set up in the measure field. Differential algorithm to find the object and its position in the image can be used according to analyze the characteristic of the noise image. The experiments show that the method is effective to extract the object in nature-light image.

**Key words:** nature-light; image; texture; noise

**About the first author:** MAO Qingzhou, assistant teacher, Ph.D candidate, majors in photogrammetry and computer vision etc.  
E-mail: qzhmao@whu.edu.cn