

基于图像分割的无人机遥感影像目标提取技术

赵一粟

(北京师范大学珠海分校 设计学院, 广东 珠海 519085)

摘要: 为全面增强遥感影像上地物波谱的反射特性能力, 实现对无人机目标的无误提取, 提出基于图像分割的无人机遥感影像目标提取技术; 在类哈尔滤波器结构的支持下, 按照区域环境中地物目标的颜色特征, 完成低层影像特征的量化处理, 实现基于图像分割技术的无人机遥感深度图获取; 定义与无人机遥感影像相关的基本名词, 通过原始特征选择的方式, 判定地物波谱的平均反射特性水平, 得到准确的特征元素相关性测度数值, 完成无人机遥感影像的目标融合处理; 在此基础上, 分割多分辨率条件下的影像目标, 在定义图像纹理与尺度条件的同时, 得到最终的地物提取结果, 实现基于图像分割无人机遥感影像目标提取技术的应用; 对比实验结果表明, 在初始采集相位条件及亚像素条件下, 目标地物的波谱宽度均超过 $7.0 \mu\text{m}$, 遥感影像的反射特性能力大幅提升, 满足对无人机目标无误提取的实用需求。

关键词: 图像分割; 遥感影像; 目标提取; 颜色特征; 特征量化; 元素相关性; 多分辨率影像; 纹理尺度

Target Extraction Technology of Uav Remote Sensing Image Based on Image Segmentation

Zhao Yisu

(College of Design, Beijing Normal University, Zhuhai 519085, China)

Abstract: In order to comprehensively enhance the ability of the reflection characteristics of the ground object spectrum on the remote sensing image and realize the unmistakable extraction of the UAV target, a target extraction technology of UAV remote sensing image based on image segmentation is proposed. With the support of the Haar-like filter structure, the quantization of low-level image features is completed according to the color features of the ground objects in the regional environment, and the acquisition of remote sensing depth maps for UAVs based on image segmentation technology is realized. Define the basic terms related to UAV remote sensing image, determine the average reflection characteristic level of the ground object spectrum through the method of original feature selection, obtain accurate feature element correlation measurement value, and complete the target fusion processing of UAV remote sensing image. On this basis, segment the image target under multi-resolution conditions, while defining the image texture and scale conditions, get the final feature extraction results, and realize the application of UAV remote sensing image target extraction based on image segmentation. The comparison experiment results show that under the initial acquisition phase conditions and sub-pixel conditions, the spectral width of the target feature is more than $7.0 \mu\text{m}$, and the reflection characteristic capability of the remote sensing image is greatly improved, which meets the practical need for unmistakable extraction of UAV targets.

Keywords: image segmentation; remote sensing image; target extraction; color characteristics; feature quantification; element correlation; multiresolution image; texture scale

0 引言

图像分割是将完整图像分离成若干个独特区域的物理处置过程, 可在保证目标特征完整性的同时, 圈画出原始图像中波谱反射能力较强的部分, 这种影像加工手段是实现由图像处理到图像分析的关键操作步骤。国际上现有的图像分割方法大体可分为如下几类: 基于边缘的分割方法、基于阈值的分割方法、基于特定理论的分割方法、基于区域的分割方法。从数学角度来看, 图像分割实现了由连续数字图像到不相交影像区域的转化, 可在实现分割图像标记的同时, 为同一区域内的像素目标赋予相同的编号信息。图像分割是计算机视觉与图像识别的必要预处理环节, 在

气象、军事、无人机遥感等领域均具有极为广阔的发展前景。

在无人机遥感影像中, 不同地物具有不同的波谱反射能力, 通常情况下, 影像波谱的平均宽度水平越大, 其反射特性能力也就越强。文献 [1] 中提出的高分辨率遥感影像场景分类方法, 可同时确定地物场景的全局特征与局部深度特征, 并根据无人机遥感影像的分割结果作出定量评价。文献 [2] 中提出的光学遥感模型则以微波技术为基础, 通过影像的多次简化, 确定目标地物的尺度与纹理特征。然而上述两种方法的实际适用环境相对较为单一, 很难在初始采集相位条件、亚像素条件下, 同时提升目标地

收稿日期: 2020-05-29; 修回日期: 2020-06-22。

作者简介: 赵一粟(1978-), 女, 山东定陶人, 讲师, 硕士, 主要从事数字媒体设计方向的研究。

引用格式: 赵一粟. 基于图像分割的无人机遥感影像目标提取技术[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(1): 179-183.

物的波谱宽度数值。为解决此问题，提出基于图像分割的无人机遥感影像目标提取技术，以区域性图像的目标颜色特征为条件，定义遥感影像的目标融合条件，再通过特征元素之间的相关性测度处理，得到最终的地物提取结果。

1 基于图像分割的无人机遥感深度图获取

无人机遥感深度图获取是新型遥感影像目标提取技术实施的重要处理环节，在图像分割原理的支持下，具体操作方法如下。

1.1 区域颜色特征描述

区域颜色特征能够克服因噪点影响而带来的局部目标提取覆盖问题，而图像分割算法又恰好能够直接获取无人机遥感影像中的一致性区域。对于遥感影像中的地物目标来说，物体表面的颜色是在该结构吸收部分光照后，所反射出来的光谱属性。由此可知，颜色特征可直接反映遥感地物的某种区域性内在属性^[3]。此外，与其它目标特征相比，区域颜色特征属于被遥感相机直接存储的物理信息，不受到外加提取运算条件的干扰，统计计算的处理过程相对较为简单。从待分割图像自身来看，区域颜色特征不依赖遥感影像中目标地物的尺寸大小、所处方向等属性条件的限制，具备较强的应用稳定性^[4]。设 β_i 代表第 i 个分割节点处无人机遥感影像中目标地物的特征表达公式， Ω 代表指数 i 所属的待提取实数集，联立上述物理量，可将区域颜色特征的描述表达式定义为：

$$\begin{cases} W_a = \frac{1}{n} \sum_{i \in \Omega} \frac{\beta_i}{\lambda \cdot q^z} \\ \Omega = \{1, 2, 3, \dots, n\} \end{cases} \quad (1)$$

其中： n 代表实数集 Ω 中最大的指数参量， $\bar{\lambda}$ 代表该区域内地物结构的平均光谱属性参量， q 代表非噪点量化目标参数值。

1.2 类哈尔滤波器

类哈尔滤波器是基于无人机遥感小图像的滤波处理结构，可用于计算不同颜色区域中地物目标的滤波响应情况。通常情况下，未经处理的无人机遥感影像具备明显的灰度分布属性，即白颜色区域与黑颜色区域。根据类哈尔滤波定义条件可知，白色区域的颜色特征和减去黑色区域的颜色特征和，等于类哈尔滤波器对于无人机遥感影像目标所采取的图像分割处置原则（如图 1 所示）^[5]。

图 2 为经类哈尔滤波器分割处理后目标河流的遥感影像。

图 2 中 (a)、(b)、(c)、(d) 分别代表不同分割区域内的河流遥感影像。分析图 2 可知，弯曲标注线可直接勾勒出目标河流的主体走向，受到图像分割理论的影响，小区域图像的颜色特征可存在明显的差异性，且无论同一幅大影像可同时与多少幅小图像匹配，都只能有一幅图像清晰表述目标河流的类哈尔滤波特征（如图 2b）。

1.3 低层特征量化

分割处理后的无人机遥感影像由高层维度、中层维度、低层维度三个值域范围共同组成，其中最小数值维度所具

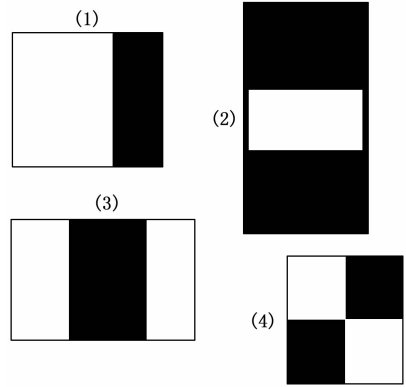


图 1 类哈尔特征

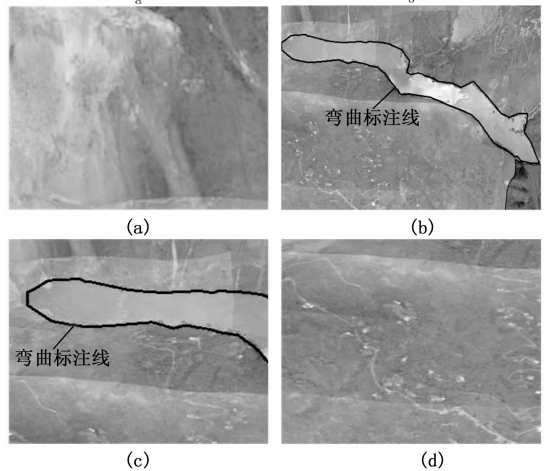


图 2 基于类哈尔特征的无人机遥感分割图像

有的地物颜色特征容纳量最大，即低层图像维度区间的特征量化等级最高。特征量化处理的主要原因是由于低层维度内的地物分割图像具有较强的分割敏感性，可在提取目标影像数据的同时，增加对影像结构体特征描述的鲁棒性。在多个无人机遥感影像分割空间中，低层特征量化是最广泛应用的目标地物图像处理方法^[6-7]。量化处理初期随机排列所有分割后图像，通过对角线连接的方式，确定遥感影像目标提取的聚类中心，然后不断缩小待处理图像的储备数值，再次确定遥感影像目标提取的聚类中心，将原影像中每一数据点分配到最邻近的聚类中心，再将所生成数值区间与无人机遥感影像的低层维度进行对比，确定与目标特征量化处理相关的分割处置权限。设 f_0 代表无人机遥感影像低层维度中的地物颜色特征容纳量， k_1 代表最小目标提取聚类中心所处位置， k_n 代表最大目标提取聚类中心所处位置，联立公式 (1)，可将无人机遥感影像的低层特征量化准则定义为：

$$P = \frac{W_a}{\chi^z} \times \frac{(k_n - k_1) \cdot \sqrt{y\Delta u}}{f_0} \quad (2)$$

式中， χ 代表无人机遥感影像目标的分割敏感度， y 代表基于图像分割的目标地物提取尺度权限， Δu 代表原遥感影像中地物目标的类哈尔滤波特征参量。

2 遥感影像目标融合

遵从无人机遥感深度图像的获取原则，按照基本名词定义、原始特征选择、特征元素之间相关性测度的操作流程，完成基于图像分割的遥感影像目标融合处理。

2.1 基本名词定义

无人机遥感影像目标融合是一个相对复杂的处理过程，可按照图像内不同区域的颜色特征属性，对多维度值域范围内的目标地物景观实施降噪处理。通常情况下，无人机遥感影像目标的提取需要多个图像分割理论的共同配合，包含纹理特征、维数特征和影像特征，具体定义标准如下：

1) 纹理特征/原始特征：无人机遥感影像目标的纹理特征也叫原始特征，包含从类哈尔滤波器中提取的所有目标图像灰度值，是根据待分割地物景观对象产生的基本特征参量。在提取目标灰度均值与颜色特征方差均保持不变的情况下，局部分割图像中会出现对比度极为类似的对象噪点^[8]。

2) 维数特征/提取特征：无人机遥感影像目标的维数特征也叫提取特征，在地物目标样本同处于高维空间时，映射或变换的分割原则均可描述分割主体所具有的样本承担能力^[9]。

3) 影像特征/优化特征：一组分割图像中所具有的最低目标特征维数即为地物主体的影像特征或优化特征，在目标提取实值距离不发生改变的情况下，分割图像的影像特征数值越大，与之相关的遥感影像减维速率也就越快，反之则越慢^[10]。

2.2 原始特征选择

原始特征选择是与基本名词定义相关的待提取目标整合行为，可按照已分割图像中目标地物景观所处的实时位置，建立必要的提取处理权限标准，从而实现原始无人机遥感影像的最大化复原处理。在不考虑其它干扰条件的情况下，无人机遥感影像低层维度区间内所包含的目标地物提取节点数量越多，原始特征所具有的反选能力也就越强^[11]。简单来说，在无人机遥感影像目标融合名词保持完全定义或半完全定义的情况下，可将所有原始特征参量均视为待提取的目标地物主体，若遥感影像内的地物波谱始终保持反射特性能力，则可认为监测主机具备无误提取无人机目标的应用能力。设 l_a 代表与无人机遥感影像目标融合名词相关的完全定义实值， δ_a 代表与无人机遥感影像目标融合名词相关的半完全定义实值， α 代表固定目标融合名词的实值表达系数，联立公式 (2)，可将基于图像分割的原始特征选择定义式表示为：

$$A_a = \frac{P \cdot \sqrt{|l_a - \delta_a|^2 - g'}}{\alpha |\omega_1^2 + \omega_2^2|} \quad (3)$$

其中： g' 代表原始无人机遥感影像的最大化复原系数， ω_1 、 ω_2 分别代表两个不同的原图像分割指标。

2.3 特征元素之间的相关性测度

在图像分割原理的支持下，可根据无人机遥感影像的目标提取制度作出如下假设：相邻区域内的颜色特征两两

之间相互独立，已选择原始特征的定义规则也满足单位性处理标准，即地物特征元素之间存在明显的相关性测度关系。在实际应用过程中，无人机遥感影像目标特征元素之间的相关性测度结果受到实值分割距离、图像灰度参数两项物理参量指标的直接影晌^[12-13]。实值分割距离也叫遥感影像地物目标的图像分割度量差，在既定测度时间内，该项物理量具备明显的两端趋向性，即随测度时间的延长，无人机遥感影像的实值分割距离也逐渐增大；随测度时间的缩短，无人机遥感影像的实值分割距离也逐渐减小。图像灰度参数也叫地物目标的灰度提取参数，常以平均数值形式存在，不具备明显的可累加应用变动能力。设 k_{\max} 代表实值分割距离的最大物理表现值， k_{\min} 代表实值分割距离的最小物理表现值， \tilde{d} 代表分割后无人机遥感图像的灰度参数均值，在地物目标测度时间保持为 $|\tilde{t}|$ 的前提下，联立公式 (3)，可将无人机遥感影像目标特征元素之间的相关性测度表达式定义为：

$$S = \frac{A_a}{\int_{k_{\min}}^{k_{\max}} \left(\frac{\gamma \cdot \tilde{d}}{|\tilde{t}|^m} \right)^2 d\tilde{d}} \quad (4)$$

式中， γ 代表目标地物图像的均值分割标准差， m 代表遥感影像目标的特征化测度指标。

3 面向对象的无人机遥感影像地物提取（无人机）

在遥感影像目标融合原理的支持下，按照多分辨率影像分割、纹理与尺度定义、地物提取的处理流程，完成基于图像分割无人机遥感影像目标提取技术的顺利应用。

3.1 多分辨率影像分割

很多情况下，完整的无人机遥感影像目标地物波谱是由多个不同的小区间分割图像共同组成的，这些小区间图像虽然反映了不同地物目标的遥感影像，但却始终保持相同的影像尺寸条件^[14]。以固定区域内（如机场）的无人机遥感影像为例，从不同分辨率层次分析地物景观的目标图像。

分析图 3 可知，分割前影像中空白噪点的数量级水平相对较高，一部分地物目标极易被空白区间覆盖，从而导致波谱内影像目标的提取出现较大偏差。

分析图 4 可知，分割后影像中空白噪点的数量级水平大幅下降，地物目标不会被空白区间覆盖，可得到清晰性表达，从而使波谱内影像目标的提取精度得到有效保障。



图 3 分割前多分辨率无人机遥感影像

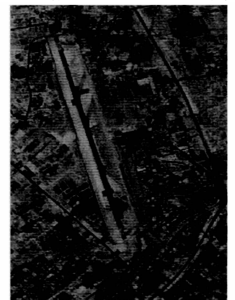


图 4 分割后多分辨率无人机遥感影像

3.2 纹理与尺度定义

影像目标提取精度的提高是通过合理定义纹理特征和尺度特征而实现的，这些统计量描述了特定区域内待分割图像灰度值的变化情况，并规范了对应像素之间的数值限定关系（如图 5 所示）。纹理特征是无人机遥感影像结构的重要统计测度标准，当分割后图像的尺度特征值低于原影像的尺度特征值时，定义纹理特征为平滑；当分割后图像的尺度特征值与原影像的尺度特征值近似时，定义纹理特征为粗糙^[15-16]。在区分影像中地物波谱的平滑表面与粗糙表面时，这种特殊属性使得纹理特征与尺度特征同时具备较强的图像描述能力。通常情况下，空气或水面在无人机遥感影像中反映为平滑表面，而植被或城区则反映为粗糙表面。只有在图像分割空间内地物目标分辨率足够高的情况下，植被、道路、建筑物等目标才能通过纹理与尺度特征定义的方式得到清晰表达^[17-18]。



图 5 无人机遥感影像中目标地物的纹理与尺度信息

3.3 地物提取结果

在纹理与尺度特征条件的支持下，按照图像分割原理，将无人机遥感影像处理成多个独立小型地物波谱结构，且这些波谱均反映同一处目标地物景观（如图 6 以一栋楼体建筑结构为例）。

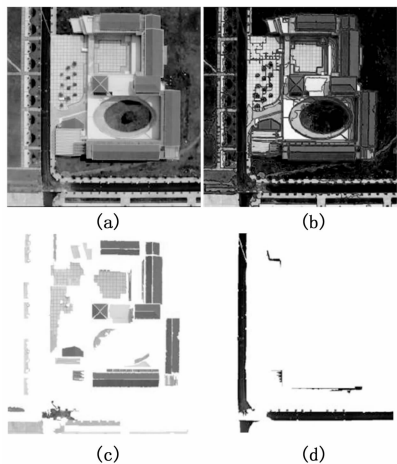


图 6 无人机遥感影像目标的地物提取结果

图 6 (a) 代表无人机遥感影像的原始目标地物波谱，(b) 代表多分辨率分割后的目标地物波谱，(c) 代表分割图像中的建筑物波谱目标，(d) 代表分割图像中的道路波谱目标。分析图 6 可知，原始图像可反映各类地物目标的

遥感影像，但无法清晰表达既定地物景观的真实提取状态；分割后图像细化了各类地物目标的实际遥感影像，但整体提取清晰化水平依然有待提高；既定波谱目标虽不能反映无人机遥感影像的表现全貌，但可清晰表达待提取的目标地物景观。至此，实现对所有目标地物的图像分割与处理，完成无人机遥感影像目标提取方法的搭建。

4 实验分析

为验证基于图像分割无人机遥感影像目标提取技术的实际应用价值，设计如下对比实验。选取一包含多类地物目标的场景作为实验区域，将无人机释放至该区域上方，获取实验所需的遥感影像。分别将所获图像信息传输至 A、B、C 三台主机中，其中 A 主机搭载上文所述的目标提取技术，B 主机搭载高分辨率遥感影像场景分类方法，C 主机搭载光学遥感模型。



图 7 实验场景的无人机遥感影像



图 8 遥感影像目标提取处理

目标地物的波谱宽度是指遥感影像中既定结构体图像在原始图像中所占据的宽度比率，可用来描述图像的反射特性能力。通常情况下，目标地物的波谱宽度数值越大，无人机所具有的无误提取能力越强，反之则越弱。

初始采集相位条件、亚像素条件是两个不同的无人机遥感影像目标提取环境，可通过计量地物波谱宽度数值的方式，确定图像的反射特性能力，实验详情如下（已知在波谱宽度值低于 $3.5 \mu\text{m}$ 的情况下，该组提取方法的处理结果便不具有实际参考的价值）。

分析表 1 可知，在初始采集相位条件下，随着目标地物节点计及数量的增加，A 组图像的波谱宽度值也逐渐增大，在达到极值条件后，开始趋于稳定，在整个实验过程中，该组的实际数值结果始终具备较强的实际参考价值。B

组、C 组图像的波谱宽度值均呈现明显的中间极值趋近状态, 目标地物节点计及数量等于 20.0×10^7 个时, B 组的波谱宽度最小值达到 $2.8 \mu\text{m}$, 与理论参考的下限极值 $3.5 \mu\text{m}$ 相比, 下降了 $0.7 \mu\text{m}$, 且当目标地物节点计及数量达到 16.0×10^7 个后, 该组的处理结果就已经失去了实际参考价值; C 组波谱宽度最小值达到 $3.9 \mu\text{m}$, 与理论参考的下限极值 $3.5 \mu\text{m}$ 相比, 上升了 $0.4 \mu\text{m}$, 在整个实验过程中, 该组的实际数值结果始终具备较强的实际参考价值, 但平均数值水平远低于 A 组。

表 1 初始采集相位条件下的目标地物波谱宽度

实验组别	目标地物节点的计及数量/ $(\times 10^7)$ 个	目标地物的波谱宽度/ (μm)		
		A	B	C
1	2.0	5.7	3.5	4.1
2	4.0	5.9	3.5	4.2
3	6.0	6.0	3.6	4.4
4	8.0	6.2	3.7	4.6
5	10.0	6.3	3.8	4.7
6	12.0	6.5	3.9	4.7
7	14.0	6.6	3.7	4.7
8	16.0	6.9	3.3	4.5
9	18.0	7.0	3.1	4.3
10	20.0	7.1	2.8	4.3
11	22.0	7.1	2.4	3.9

分析表 2 可知, 在亚像素条件下, 随着目标地物节点计及数量的增加, A 组图像的波谱宽度值保持阶段性上升的变化趋势, 在整个实验过程中, 该组的实际数值结果始终具备较强的实际参考价值。B 组图像的波谱宽度值则持续小幅下降, 全局最大值仅达到 $3.2 \mu\text{m}$, 与理论参考的下限极值 $3.5 \mu\text{m}$ 相比, 下降了 $0.3 \mu\text{m}$, 整个实验过程中的所有数值结果均不具有实际参考价值。C 组图像的波谱宽度值在阶段性小幅下降后, 开始持续上升, 在目标地物节点计及数量达到 10.0×10^7 个之前, 该组的数值记录结果不具备实际参考价值, 但从该时刻起, 该组的波谱宽度记录值开始持续增大, 到实验结束时已达到 $4.0 \mu\text{m}$, 与理论参考的下限极值 $3.5 \mu\text{m}$ 相比, 上升了 $0.5 \mu\text{m}$ 。

表 2 亚像素条件下的目标地物波谱宽度

实验组别	目标地物节点的计及数量/ $(\times 10^7)$ 个	目标地物的波谱宽度/ (μm)		
		A	B	C
1	2.0	6.8	3.2	3.3
2	4.0	6.8	3.2	3.3
3	6.0	6.8	3.2	3.4
4	8.0	6.9	3.2	3.4
5	10.0	6.9	3.2	3.5
6	12.0	6.9	3.1	3.7
7	14.0	6.9	3.0	3.8
8	16.0	7.0	3.0	3.9
9	18.0	7.1	2.9	3.9
10	20.0	7.1	2.8	3.9
11	22.0	7.2	2.7	4.0

综上所述, 与高分辨率遥感影像场景分类方法和光学遥感模型相比, 基于图像分割无人机遥感影像目标提取技术可在初始采集相位条件下、亚像素条件下, 同时提升目标地物的波谱宽度测量值, 不仅增强了原始图像的反射特性能力, 也实现了对无人机目标的无误提取。

5 结束语

从地物波谱反射特性能力的角度来看, 基于图像分割的无人机遥感影像目标提取技术可在描述区域颜色特征的同时, 实现对低层特征的量化处理, 且在类哈尔滤波器结构的促进下, 特征地物目标元素之间的相关性也得到有效测度。与其它无人机遥感影像目标处理手段相比, 这种方法可直接提升目标地物的波谱宽度实值, 符合图像分割领域内, 无人机结构对于目标对象的无误化提取与应用。

参考文献:

- [1] 龚希, 吴亮, 谢忠, 等. 融合全局和局部深度特征的高分辨率遥感影像场景分类方法 [J]. 光学学报, 2019, 39 (3): 19-29.
- [2] 殷超, 周忠发, 谭玮颐, 等. 基于微波与光学遥感的石漠化地区土壤剖面含水率反演模型研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2018, 7 (3): 106-116.
- [3] 高宏娟, 耿国华, 王飘. 基于关键点特征描述子的三维文物碎片重组 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31 (3): 47-53.
- [4] 于邓, 刘玉杰, 隋国华, 等. 字典重建和空间分布关系约束下的特征选择与图像拼接 [J]. 中国图象图形学报, 2018, 23 (5): 698-707.
- [5] 马梦瑶, 赖晓平, 孟海龙. 二维 FIR 滤波器约束最小二乘设计的最大分划松弛 ADMM 算法 [J]. 电子学报, 2020, 48 (3): 510-517.
- [6] 许德智, 孙季丰, 罗莎莎. 基于权重量化与信息压缩的车载图像超分辨率重建 [J]. 计算机应用, 2019, 39 (12): 3644-3649.
- [7] 金桂香, 刘海轩, 刘瑜, 等. 基于叶片反射光谱特征的银杏健康量化评价技术 [J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38 (4): 194-200.
- [8] 王慧斌, 高国伟, 徐立中, 等. 基于纹理特征的多区域水平集图像分割方法 [J]. 电子学报, 2018, 46 (11): 30-38.
- [9] 张坤, 邸忆, 顾晓辉. 基于双维度变化的形态学多重分形的战场声目标识别 [J]. 振动与冲击, 2019, 38 (24): 203-208.
- [10] 冀树伟, 杨喜旺, 黄晋英, 等. 基于特征复用的卷积神经网络模型压缩方法 [J]. 计算机应用, 2019, 39 (6): 1607-1613.
- [11] 于建平, 付继林, 白塔娜, 等. 基于独有属性特征的情态与语境互动关系数据挖掘研究 [J]. 燕山大学学报, 2019, 43 (5): 462-470.
- [12] 张金强, 索志勇, 李真芳, 等. 圆迹 SAR 子孔径图像序列联合相关 DEM 提取方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40 (9): 48-53.

(下转第 205 页)