

# 一种无人机图像的铁塔上鸟巢检测方法

徐 晶<sup>1</sup>, 韩 军<sup>2</sup>, 童志刚<sup>1</sup>, 王亚先<sup>2</sup>

XU Jing<sup>1</sup>, HAN Jun<sup>2</sup>, TONG Zhigang<sup>1</sup>, WANG Yaxian<sup>2</sup>

1. 国网浙江省电力公司 检修分公司, 杭州 310007

2. 上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200444

1. Maintenance Branch of State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China

2. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China

XU Jing, HAN Jun, TONG Zhigang, et al. Method for detecting bird's nest on tower based on UAV image. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(6): 231-235.

**Abstract:** The event of tripping operation caused by bird's nest in transmission line becomes a serious threat to the national grid. An automatic detection method of bird's nest is proposed. For the area of tower in image composed of wire rod in different directions, the density of different directions line segments in per portioned block is regarded as the judgment for identifying the area of tower in UAV image. The detected subblock region is clustered, and then the tower area is identified. The connected region matching the HSV of the sample nest is searched and selected as the candidate of the nest area. And then characteristic parameters of shape and characteristic quantities of the intensity variance of roughness and characteristic quantities of the inertia matrix of texture in candidates are analyzed. Tested images from UAV verify that the method can identify nests effectively from tower with the interference of background removed.

**Key words:** UAV inspection; nest detection; tower identification; color and texture blending

**摘 要:** 由于鸟巢造成的输电线路跳闸事件频频发生, 已严重威胁到国家电网的安全运行, 为了降低复杂背景的影响, 提出了一种自动检测铁塔上鸟巢的方法, 首先识别巡检图像上铁塔所在区域, 考虑到铁塔是由不同方向的线材构成的空间图像, 将巡检图像分块并分析不同方向的线段密度, 判决是否属于铁塔区域, 将检测的分块铁塔区域聚类, 进而识别铁塔区域。在铁塔区域内, 搜索符合鸟巢样本的HSV颜色特征量的连通区域, 作为候选的鸟巢区域, 分析候选鸟巢区域的形状特征参数, 描述鸟巢粗糙度的灰度方差特征量, 描述鸟巢纹理的惯性矩特征量, 通过对无人机巡检采集的输电线路图像的测试, 验证了这种方法能有效排除背景的干扰, 有效检测出铁塔上的鸟巢。

**关键词:** 无人机巡检; 鸟巢检测; 铁塔识别; 颜色与纹理融合

**文献标志码:** A **中图分类号:** TN911.73 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1508-0104

随着我国高压输电架空线路的不断增多和生态环境的逐步改善, 鸟害事故明显上升, 鸟害造成的损失也明显增大, 对电力系统的安全运行构成了严重威胁。文献[1]对国家电网公司所属输电线路鸟害故障调查统计进行分类分析, 对引起线路鸟害跳闸的原因进行分析研究。鸟类活动引起的线路故障仅次于雷害和外力破坏, 占线路故障总数的第3位。鸟害引起线路故障的形式有

线路跳闸和零部件损坏。造成线路跳闸的主要原因有鸟粪闪络、鸟巢材料短路和鸟类身体短路。文献[2]进一步论述了铁塔比电杆的鸟害故障率高, 发生在铁塔的故障占90%。究其原因是由于铁塔高大、稳定, 鸟类视野开阔, 适宜鸟类停留、筑巢。直线塔鸟害故障多为横担与导线短接; 而耐张塔鸟害接地故障多发生在横担与引流线间空气间隙处。本文的目的是借助无人机巡检图

**基金项目:** 2014年国家电网发展项目。

**作者简介:** 徐晶(1984—), 男, 工程师, 从事输电线路无人机专业工作; 韩军(1965—), 男, 博士, 副教授, 主要从事图像、视频处理与分析方面的研究, E-mail: hanjun@shu.edu.cn; 童志刚(1977—), 男, 技师, 从事输电线路无人机专业工作; 王亚先(1991—), 男, 硕士研究生在读, 从事图像处理与分析方面的研究。

**收稿日期:** 2015-08-11 **修回日期:** 2015-12-18 **文章编号:** 1002-8331(2017)06-0231-05

**CNKI网络优先出版:** 2016-01-04, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20160104.0910.002.html>

像,自动检测输电线路铁塔上的鸟巢,有助于掌握有关鸟类活动和习性,加大线路鸟害故障的查找、记录和分析,积累数据和经验,总结鸟类威胁线路安全的规律。

当前采用无人机图像对自然场景进行分类检索是一个研究的热点。文献[3]由于无人机图像缺少频谱信息,而具有丰富的形状与纹理信息,通过面向对象的方法与多分辨率分割方法的融合,选取典型的颜色与纹理特征能有效分类自然场景中的水、灌木、农田、道路和房子。文献[4]选取五种不同纹理特征量:熵、对比度、一致性、质量分形维数和孔隙度特征量能分类出森林、建筑物、草地,正确识别率能达到96%。文献[5]对无人机图像进行颜色与纹理的特征描述采用归一化的高斯处理得到概率分类的输出,能从森林中分类出四种类型的灌木分布特征。文献[6]针对无人机巡检采用的输电线路图像,采用计算机图形中的基于圆的搜索方法检测出导线的长直线特征,具有比 Hough 变换及线段检测方法(LSD)更好的特征。

鸟巢依附在铁塔上具有隐藏特点的小目标。输电线路的铁塔是由金属构造的,在不同的光强度及拍摄角度的条件下,铁塔呈现出忽明忽暗特征,在提取边缘时,会存在较多的断续情况,进而造成提取铁塔的整体轮廓的困难。再者铁塔是由线材构成的镂空3D结构,不同角度拍摄铁塔,呈现出不同的形状姿态,在采集的2D图像上存在较多遮挡的线段。当前对航拍图像中建筑物识别进行广泛深入的研究,一种主要研究思路是从建筑物2D线结构中重建建筑物的3D结构<sup>[7]</sup>,注重从建筑物局部的“Y”结构特征中,感知聚类出建筑物整体特征。但是在不同高度、角度的无人机拍摄条件下,重构铁塔的3D结构是一项具有挑战性的任务。

从收集的无人机巡检图像上看:鸟巢一般是由一些陈旧的枯树枝、枯草、枯叶、植物纤维等构成,鸟巢的形状类似圆状,但其边缘是不光滑规则的,受拍摄角度影响存在被铁塔遮挡情况,使得较困难提取及描述其轮廓。

颜色信息广泛应用在基于内容的图像检索系统中。颜色对比的显著性方法<sup>[8-9]</sup>描述对象区域与其周围区域颜色特征的相反关系。但由于鸟巢的颜色一般呈现出陈旧的暗褐色,复杂的背景内容(如山川、稻田、河流、湖泊等)与铁塔叠加,使得鸟巢颜色特征的显著性不稳定,因此鸟巢颜色特征的不唯一性和复杂的背景干扰,决定了单一的颜色特征不能很好地表征鸟巢特征。

针对无人机的计算机视觉应用,需要选择适合的颜色模型。颜色特征检测器性能的评估有两个准则<sup>[10]</sup>:一方面在变化的视角(亮度、阴影、亮显)条件下,具有稳定性;另一方面要具有较高的颜色辨别能力。HSV颜色空间是RGB空间的非线性变换,其彩色成分包含色调H(Hue)、饱和度S(Saturation)和亮度V(value),是一种比较符合人类视觉感知特征的颜色空间。CIE Lab颜色

模型是由L(亮度)、a颜色、b颜色三种参数组成,描述了人眼可见的所有颜色,CIE Lab颜色空间在感知上存在一定的均匀性,与人们对颜色的感知非常接近。文献[11]采用无人机对森林火灾的视觉检测,对不同的颜色度量空间,比较并分析对火灾区域分割的结果,采用Lab颜色模型中的“a”通道颜色能较好分割出火灾区域图像。Androutsos<sup>[12]</sup>等人通过实验对HSV颜色空间进行了大致划分,亮度大于75%并且饱和度大于20%为亮彩色区域,亮度小于25%为黑色区域,亮度大于75%且饱和度小于20%为白色区域,其他为彩色区域。

从图像分析:鸟巢的纹理特征没有规则的方向排列特征,但鸟巢的树枝与枯草积聚的密度较高。鸟巢的无向性、无规则性,以及钢材的遮挡破坏了鸟巢的局部纹理,决定了其单一纹理特征不能很好地表征鸟巢特征。因此利用单一的颜色特征或者单一的纹理特征检测杆塔上的鸟巢,会出现漏检及误检,因此提出了基于颜色与纹理特征<sup>[13-14]</sup>融合的方法实现鸟巢检测。

## 1 巡检图像上铁塔区域识别方法

如图1所示,提出一种基于无人机巡检图像自动检测输电线路铁塔上鸟巢的方法。首先从无人机图像上感知铁塔结构的线交叉特征,识别图像上铁塔所在区域。虽然无人机拍摄铁塔的角度可能不同,但是铁塔结构中这些不同方向的线段呈现出比较显著的近似对称的交叉特征,因此通过将巡检图像分块,计算各区域中不同方向小线段的分布密度来感知图像中是否存在铁塔区域。在识别铁塔所在区域的基础上,进而研究一种基于颜色与纹理特征融合的检测鸟巢的方法。

采用Prewitt方向算子提取巡检图像边缘信息,通过最大类间方差法生成二值图像,并用Blob连通结构管理所有不同方向的线段;接着对这些线段进行Gestalt感知定律<sup>[15-16]</sup>的近似性、连续性、共线性的量化计算,即将相邻线段之间端点近似的、线段角度、线段截距近似相同的线段合并连接为长的直线线段,尽可能将铁塔轮廓中断续的边缘线段连接成完整的边缘线段;依据线段的方位,将线段分类为4组:  $-5^{\circ} \sim 5^{\circ}$ : 水平线段;  $< -85^{\circ}$  或  $> 85^{\circ}$ : 垂直线段;  $5^{\circ} \sim 85^{\circ}$ : 斜上线段;  $-85^{\circ} \sim -5^{\circ}$ : 斜下线段。

将二值图像划分为 $8 \times 4$ 个分块区域,统计每个分块内四个不同方向线段数量。如第 $k$ 分块,水平线段数目表示为 $HNUM_k$ ;垂直线段数目表示为 $VNUM_k$ ;斜上线段数目表示为 $UNUM_k$ ;斜下线段数目表示为 $DNUM_k$ 。按如下方式进行判断:

(1)如果第 $k$ 分块内 $HNUM_k, VNUM_k, UNUM_k, DNUM_k$ 数目均小于3,则该分块可能是模糊的区域。

(2)如果第 $k$ 分块内 $UNUM_k, DNUM_k$ 数目均大于等于3,则该分块可能存在铁塔区域。

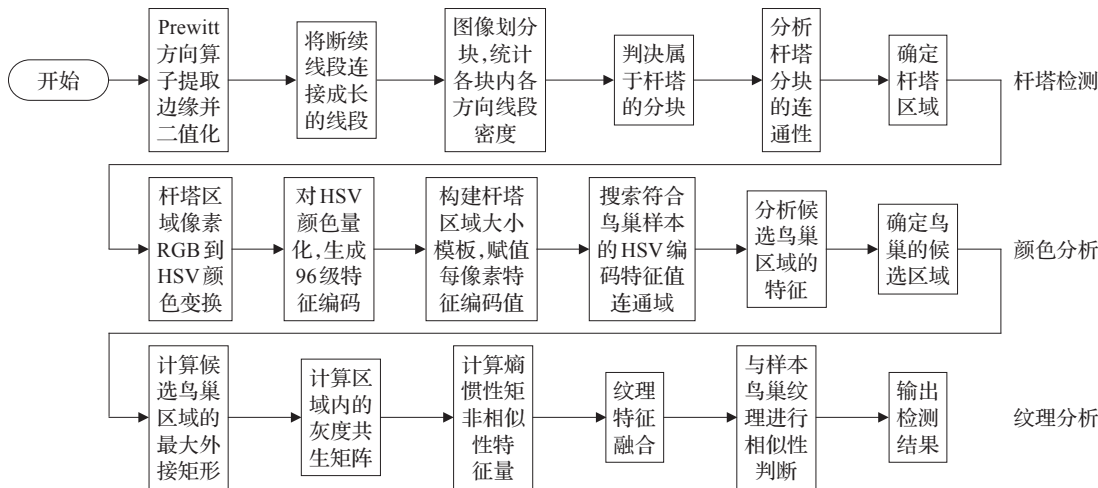


图1 输电线路铁塔上鸟巢检测方法

(3)如果第  $k$  分块不是上述两种情况,则该分块不存在杆塔区域。

(4)对所有分块进行统计分析,如果存在模糊分块数目大于总的分块数目的90%,则该幅巡检图像模糊。

(5)如该幅巡检图像不存在模糊,合并存在铁塔的分块区域,并确定铁塔区域的位置。

2 基于颜色与纹理特征的鸟巢检测方法

由于HSV颜色空间符合人眼的视觉特征且易于量化分析,采用HSV颜色空间来度量鸟巢的颜色特征。具体采用HSV量化的方法来提取所需的颜色特征。首先将检测到的铁塔区域内像素的RGB转换到HSV空间,同时将  $H$  分量归一化为0~255,  $S$  和  $V$  分量归一化为0~1,采用如下的量化方法。

(1)根据人的视觉分辨能力,把色调  $H$  空间分为8份,饱和度  $S$  分为4份,亮度空间分为3份。

(2)黑色区域:所有  $V < 15\%$  的颜色均归入黑色,令  $V = 0$ 。

(3)白色区域:所有  $S < 10\%$  且  $V > 80\%$  的颜色归入白色,令  $S = 0, V = 2$ 。

(4)彩色区域:位于黑色区域和白色区域以外的颜色,其  $H, S, V$  值保持不变。

(5)根据色彩的不同范围和主观颜色感知进行量化。

$$H: \begin{cases} 0, H \in [224, 20] \\ 1, H \in [20, 28] \\ 2, H \in [29, 53] \\ 3, H \in [54, 110] \\ 4, H \in [111, 135] \\ 5, H \in [136, 192] \\ 6, H \in [193, 210] \\ 7, H \in [211, 223] \end{cases}$$

$$S: \begin{cases} 0, S \in [0.00, 0.15] \\ 1, S \in [0.16, 0.35] \\ 2, S \in [0.36, 0.70] \\ 3, S \in [0.71, 1.00] \end{cases}$$

$$V: \begin{cases} 0, V \in [0, 0.2] \\ 1, V \in [0.2, 0.7] \\ 2, V \in [0.71, 1] \end{cases}$$

(1)

将HSV颜色分量合成为一维特征矢量:  $L = 12H + 3S + V$ ,  $L$  取值范围为0~95。通过对收集的鸟巢样本图像的分析:  $H$  分量集中落在[0, 20]及[224, 255]范围内,饱和度  $S$  取值范围不限,亮度  $V$  取值小于0.7,能不遗漏地检测出所有可能包含鸟巢区域。

在每个包含铁塔的分块区域内,搜索连通的符合鸟巢样本HSV颜色特征量,并将这些候选的鸟巢区域用Blob连通结构管理。由于输电线路铁塔是由线材构成的镂空结构,需要排除背景与鸟巢相似区域的干扰,才能有效提高检测铁塔上鸟巢的正确率。因此鸟巢的形状特征,按如下方法进一步分析候选鸟巢区域:

(1)鸟巢区域不能太大也不能太小,可以删除背景干扰的小区域,同时删除背景上误检测的大面积的候选鸟巢区域。

(2)鸟巢区域的长宽比在一定范围之内,排除条状的候选鸟巢区域。

(3)考虑到鸟巢形状近似圆状的,分析鸟巢区域的饱满度  $Solid = A / (width \times height)$ ,  $A$  表示鸟巢区域像素点数目,  $width$  与  $height$  是鸟巢区域最大外接矩形的宽度与高度。

(4)由于鸟巢区域的粗糙度较高,进而使得鸟巢区域的灰度方差值较大,用于排除裸露的地面颜色特征近似鸟巢区域的颜色特征。

经过上述对候选鸟巢区域形状的分析,排除了大量的背景类似鸟巢区域的影响,对筛选出的候选鸟巢区域计算出最大的外接矩形,进一步做纹理特征分析。

对候选鸟巢区域的外接矩形内像素进行灰度变换,生成灰度共生矩阵(GLCM),通过控制变量法确定参数,设置灰度级为16、距离为5、生成4个方向,对区域中满足指定条件的像素对进行统计,计算出四个方向的GLCM。接着计算不同方向的灰度共生矩阵中的纹理特征量,包括能量、熵、惯性矩、相关性、局部平稳、非相似性,最后选取最能表征鸟巢的纹理特征量。



图2是收集无人机巡检图像中包含鸟巢的区域(6幅图片)及典型的输电线路部件及地面背景区域(6幅图片),进行纹理特征计算获得图2中纹理特征量曲线。通过测试发现:惯性矩、熵、非相似性的特征量比较活跃,而能量、相关性、局部平稳的相对变化量较小。特别是惯性矩的相对变化量大,说明鸟巢区域的惯性矩值与其邻近的非鸟巢区域的惯性矩值相差大,即在鸟巢与其邻近非鸟巢子块之间,惯性矩存在一定的突变。包含鸟巢区域的惯性矩特征量均大于3。因此将经过鸟巢颜色特征分析后,候选鸟巢区域分析其惯性矩特征量是否大于3,将惯性矩特征量较大的候选鸟巢区域最终确定为鸟巢区域。

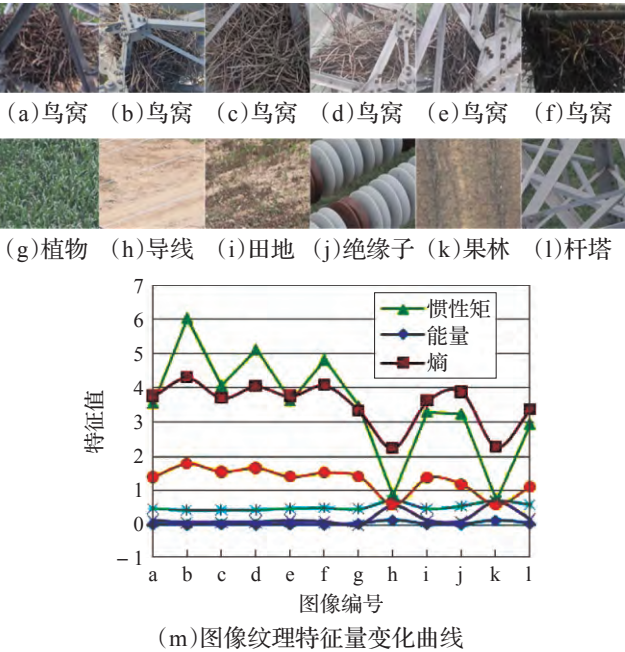


图2 输电线路巡检图像区域纹理特征分析

3 实验验证与结果分析

以无人机巡检采集的实际图像为准,具体收集浙江电力公司采用无人机对高压线路巡检采集的50张有鸟巢的图像作为测试的数据源,图像为6 000像素×4 000像素的高分辨率彩色图像,铁塔上鸟巢检测的测试结果如表1所示。

表1 铁塔上鸟巢检测的结果

测试名称	数量/个数	比率/%
人工检测鸟巢数量	24/50幅图像	
自动检测鸟巢数量	21	正确检测率:87.5
鸟巢误识别数量	6/50幅图像	误识别率:12.0
鸟巢漏识别数量	3	漏识别率:12.5

图3描述了铁塔上鸟巢的检测过程。图3(a)是无人机巡检采集的原始图像,图3(b)是采用Prewitt方向算子提取不同方向的边缘线段,通过线段之间的近似性、连续性、共线性的计算,合并连接为长的直线线段。

将图像划分为8×4个分块区域,图3(c)标注红颜色分块为检测出的铁塔分块,绿颜色框为聚类出的杆塔区域。红颜色的区域是符合鸟巢HSV颜色特征量的候选鸟巢区域,图3(d)是经过纹理与形状特征参数筛选出的鸟巢区域,设置的参数是:候选鸟巢区域的长宽比小于4,候选鸟巢区域的饱满度大于0.4,候选鸟巢区域的方差大于300,候选鸟巢区域惯性矩特征值大于3。依据同样测试参数,对50幅巡检图像进行铁塔上鸟巢检测,得到的测试结果如表1所示。存在3个漏检测的鸟巢区域主要原因是拍摄角度影响,鸟巢区域被铁塔结构所遮挡造成的。图4(a)所示是漏检测的鸟巢区域,图4(b)是误检测的鸟巢区域,主要原因是铁塔的镂空结构,使得复杂的野外背景干扰,会少量造成鸟巢的误检测。

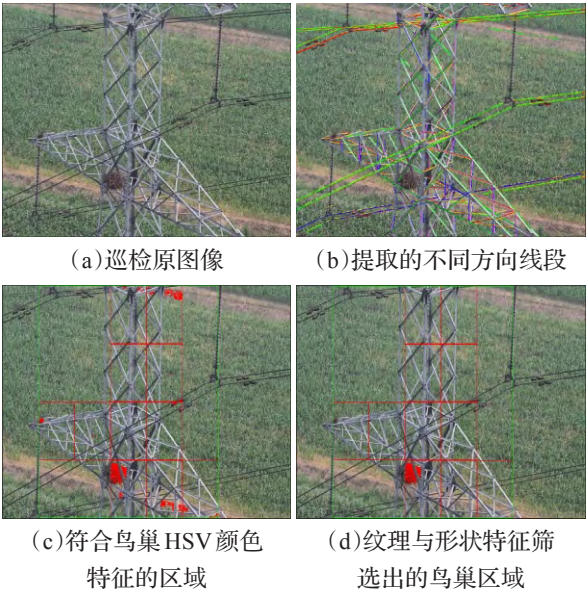


图3 铁塔上鸟巢检测过程

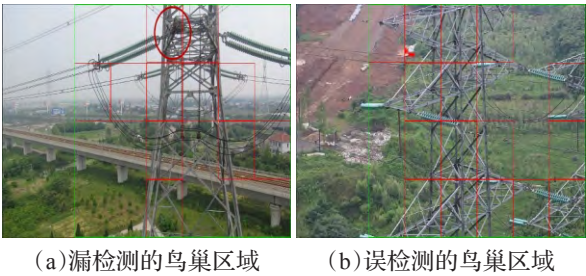


图4 铁塔上鸟巢的漏检测与误检测

4 结论

由于在铁塔上鸟巢区域的颜色、纹理、形状特征具有不确定性,无人机巡检图像受到复杂背景的干扰,加上铁塔上鸟巢容易被遮挡的情况,造成检测铁塔上鸟巢是一件困难的事情。本文提出一种基于排除复杂背景干扰的铁塔上鸟巢的检测方法。对收集的鸟巢样本颜色与纹理特征进行分析,确定能最佳描述鸟巢特征的HSV颜色特征量与纹理惯性矩特征量。首先基于铁塔线材近似交叉对称特征,在巡检图像上识别铁塔所在区

域。在铁塔区域内,搜索符合鸟巢 HSV 颜色特征的连通区域,作为候选的鸟巢区域,接着分析候选鸟巢区域的形状特征,排除明显不是鸟巢形状的区域,最后分析鸟巢区域的粗糙度与纹理特征,确定鸟巢区域。本文的鸟巢检测方法能排除背景上大量类似符合鸟巢颜色或纹理的区域,有效检测出铁塔上的鸟巢。

## 参考文献:

- [1] 易辉,熊幼京,周刚,等.架空输电线路鸟害故障分析及对策[J].电网技术,2008,32(20):95-100.
- [2] 王少华,叶自强.架空输电线路鸟害故障及其防治技术措施[J].高压电器,2011,47(2):61-67.
- [3] Xu Yan, Duan Fuzhou. Color space transformation and object oriented based information extraction of aerial images[C]//2013 21st International Conference on Geoinformatics, 2013:1-4.
- [4] Popescu D, Ichim L, Angelescu N, et al. Improving texture based classification of aerial images by fractal features[C]//2015 20th International Conference on Control Systems and Science, 2015:578-583.
- [5] Reid A, Ramos F, Sukkarieh S. Multi-class classification of vegetation in natural environments using an unmanned aerial system[C]//2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011:2953-2959.
- [6] Ceron A, Ivan F, Mondragon B, Prieto F. Power line detection using a circle based search with UAV images[C]//2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems(ICUAS), 2014:632-639.
- [7] Fischer A, Kolbe T H, Lang F, et al. Extracting buildings from aerial images using hierarchical aggregation in 2D and 3D[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998,72(2):185-203.
- [8] Todt E, Torras C. Color-contrast landmark detection and encoding in outdoor images[C]//Lecture Notes in Computer Science: Computer Analysis of Images and Patterns, 2005,3691:612-619.
- [9] Angulo J, Serra J. Color segmentation by ordered mergings[C]//Proc IEEE Int'l Conf on Image Processing, 2003:125-128.
- [10] Stokman H, Gevers T. Selection and fusion of color models for image feature detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007,29(3):371-381.
- [11] Yuan Chi, Liu Zhixiang, Zhang Youmin. UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques[C]//2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems(ICUAS), 2015:639-643.
- [12] Androustos D, Plataniotis K N, Venetsanopoulos A N. A novel vector-based approach to color image retrieval using a vector angular-based distance measure[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999,75(2):46-58.
- [13] Vimina E R, Poulouse Jacob K. Image retrieval using colour and texture features of regions of interest[C]//2012 International Conference on Information Retrieval & Knowledge Management(CAMP), 2012:240-243.
- [14] Sharma J, Rai J K, Tewari R P. Co-occurrence matrix and statistical features as an approach for mass classification[C]//2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics(ICACCI), 2014:2369-2373.
- [15] Elder J H, Goldberg R M. Ecological statistics of Gestalt laws for the perceptual organization of contours[J]. Journal of Vision, 2002,2:324-353.
- [16] 韩军,张晶晶,王滨海.基于感知组织的输电线路结构识别方法[J].红外与激光工程,2013,42(2):3458-3463.

(上接208页)

- [4] 郑毅,郑苹.基于模糊熵和模拟退火算法的双阈值图像分割[J].电子测量与仪器学报,2014,28(4):360-367.
- [5] 辛国江,邹北骥,李建锋,等.结合最大方差比准则和PCNN模型的图像分割[J].中国图象图形学报,2011,16(7):1310-1316.
- [6] Jiang Huawei, Yang Kai. Study of improved immune genetic algorithm for threshold image segmentation based on fuzzy maximum entropy[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering(CMCE 2010), 2010:15-19.
- [7] 武燕,张冰.基于改进粒子群算法的多阈值图像分割[J].微型电脑应用,2011,27(5):59-61.
- [8] Ye Zhiwei, Hu Zhengbing, Wang Huamin, et al. An image thresholding method based on binary coded ant colony algorithm[C]//2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications(ISA), 2010:1-4.
- [9] 李晓磊,邵之江,钱积新.一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J].系统工程理论与实践,2002,22(11):32-38.
- [10] 李晓磊,钱积新.基于分解协调的人工蚁群优化算法研究[J].电路与系统学报,2003,8(1):1-6.
- [11] Li D Y, Liu C Y. Study on the universality of the normal cloud model[J]. Engineering Science, 2004,6(8):28-34.
- [12] 付斌,李道国.云模型研究的回顾与展望[J].计算机应用研究,2011,28(2):420-426.
- [13] 曹炬,殷哲.云搜索优化算法[J].计算机工程与科学,2011,33(10):120-125.
- [14] 张光卫,李德毅.基于云模型的协同过滤推荐算法[J].软件学报,2007,18(10):2403-2411.
- [15] 戴朝华,朱云芳.云遗传算法及其应用[J].计算机学报,2007,35(7):1419-1424.