

基于 GrabCut 的改进分割算法*

王 茜, 何小海, 吴晓红, 吴小强, 滕奇志

(四川大学 电子信息学院 图像信息研究所, 四川 成都 610065)

摘 要: 针对 GrabCut 算法对于特征不明显、纹理复杂的图像分割效果不理想, 且需要用户交互的问题, 提出一种基于 GrabCut 的改进分割算法。首先, 运用图像增强, 对特征不明显的图像进行改善, 提高图像质量; 然后, 利用 YOLOv4 网络对图像进行目标检测, 获取前景目标所在矩形框位置, 从而减少用户操作; 其次, 在高斯混合模型(GMM)中加入图像像素的位置信息和局部二值模式算子(LBP)提取的像素纹理特征信息, 优化高斯混合模型参数, 改进 GrabCut 算法, 实现图像优化分割; 最后, 将分割图像掩膜与原始图像结合, 得到原始图像。实验结果表明, 对特征不明显、纹理信息复杂的图像, 该算法分割效果更优。

关键词: GrabCut; k-means; 图像增强; 图像分割

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2021.10.007

引用格式: 王茜, 何小海, 吴晓红, 等. 基于 GrabCut 的改进分割算法[J]. 信息技术与网络安全, 2021, 40(10): 43-47, 52.

An improved segmentation algorithm based on GrabCut

Wang Qian, He Xiaohai, Wu Xiaohong, Wu Xiaoqiang, Teng Qizhi

(Institute of Image Information, School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: To solve the problem that GrabCut does not have satisfactory segmentation effect for images with obscure features and complex textures and it needs user interaction, an improved segmentation algorithm based on GrabCut was proposed. Firstly, image enhancement was used, to improve the image with less detailed features. Secondly, YOLOv4 network was trained and the image was put in YOLOv4 to get the rectangular position of the foreground target. Thirdly, Gaussian Mixing Model(GMM) was incorporated location information of image pixels and texture feature information extracted by LBP operator, to optimize GMM model parameters and improve GrabCut algorithm. Finally, the original segmented image was obtained by combining the segmented image mask with the original image. The experimental results show that the proposed method performs better on images with less detailed features and complex texture information.

Key words: GrabCut; k-means; image enhancement; image segmentation

0 引言

图像分割是图像处理的重要手段之一^[1], 是将图像分为不同的区域, 区域内具有一定的相似性, 不同区域之间的特征差异较为明显。2001 年, Boykov 等^[2]提出 GraphCut 算法, 用户在待分割图像背景和前景上画线, 指明少量前景像素和背景像素, 算法建立 s-t 图, 利用最小割最大流实现图像分割。GraphCut 算法采用灰度直方图, 无法分割彩色图像。针对该问题, Rother 等^[3]提出 GrabCut 算法,

用户用矩形框标记前景位置, 通过 k-means 将像素聚类为 k 类, 初始化 k 个 GMM 模型, 构建能量函数并利用该函数对图像进行分割。由于 GrabCut 算法操作简单, 分割精度较高而被广泛关注和应用, 国内外的许多学者对该算法进行了改进。周良芬等^[4]采用二次分水岭对梯度图像做预处理, 增强图像边缘点, 再利用熵的特性优化能量分割函数, 提高图像分割精度, 但是增加了算法的复杂程度。董茜等^[5]通过 SLIC 超像素算法对图像进行分割, 利用分割的超像素图建立加权图, 减少节点数, 提高分割效

* 基金项目: 国家自然科学基金(62071315)

率,但传统 SLIC 在纹理明显处会出现不规则超像素块。白雪冰等^[6]将图像从 RGB 空间转化到 Lab 空间,再利用 SLICO 算法对图像进行预处理,改善 GMM 模型参数,使分割不受背景凹凸纹理的干扰,可优化分割,但是仍然存在少部分过分割的问题。杨小鹏等^[7]采用 Faster R-CNN^[8]减少用户交互,融入图像位置信息提高 GrabCut 分割效果,但对纹理复杂的图像分割效果无明显改善。刘静等^[9]针对背景复杂、细节丰富的皮影提取问题,采用相对总变差平滑的方法优化 GrabCut 分割,由于算法具有交互性,主观的选取会影响分割结果。詹琦梁等^[10]利用 Mask RCNN 算法对待分割图像进行初步分割,再结合 SLIC 超像素分割得到的超像素块,获得初始三元图,最后利用 GrabCut 算法对其进行分割,客观上提高了分割精确度,却消耗了更多的运行时间。

针对以上对特征不明显、纹理复杂图像分割效果不好且用户操作过多等问题,本文提出一种结合图像增强、目标检测和改进 k-means 聚类的 GrabCut 算法。

1 相关算法原理

1.1 GrabCut 算法原理

GrabCut 是对 GraphCut 的改进,是交互式分割,其定义了吉布斯能量函数,通过求解能量函数中的 min-cut,对图像进行分割。下式是能量函数表达式:

$$E(\underline{\alpha}, k, \underline{\theta}, z) = U(\underline{\alpha}, k, \underline{\theta}, z) + V(\underline{\alpha}, z) \quad (1)$$

式中, α 表示透明度系数, 0 为背景, 1 为前景; $\underline{\theta} = \{\pi(\alpha, k), \mu(\alpha, k), \Sigma(\alpha, k), \alpha = 0, 1, k = 1 \cdots K\}$, 表示每个 GMM 分量对应的比例; z 表示单个像素; U 函数表示能量函数的区域数据项; V 函数表示能量函数的平滑项。

GrabCut 需要用户用矩形框标注感兴趣的区域,框外的图像定义为背景,框内的像素被定义为可能的背景和可能的前景。通过 k-means 算法将矩形框内的像素聚类为 k 类,初始化 GMM 中 k 个模型。按式(2)计算矩形框中像素的 RGB 值,判断像素属于哪个高斯分量模型:

$$k_n: \arg \min_{k_n} D(\alpha_n, k_n, \theta, z_n) \quad (2)$$

式中, $\theta = (\mu, \delta^2)$, 其中, μ 为均值, δ^2 为方差。

区域数据项表示某个像素属于背景或者前景的概率的负对数,按式(3)进行计算:

$$D(\alpha_n, k_n, \underline{\theta}, z_n) = -\log \pi(\alpha_n, k_n) + \frac{1}{2} \log \det \Sigma(\alpha_n, k_n) +$$

$$\frac{1}{2} \times [z_n - \mu(\alpha_n, k_n)]^T \Sigma(\alpha_n, k_n)^{-1} [z_n - \mu(\alpha_n, k_n)] \quad (3)$$

确定每个像素属于前景和背景的概率之后,按式(4)计算平滑项:

$$V(\underline{\alpha}, z) = \gamma \sum_{(m, n) \in C} \text{dis}(m, n)^{-1} \times [a_m \neq a_n] \exp[-\beta(z_m - z_n)^2] \quad (4)$$

式中, m, n 表示像素坐标; C 表示相邻颜色对的集合; $\text{dis}(m, n)^{-1}$ 表示相邻像素之间的欧几里得距离,此处取 1; $\beta = (2 \langle (z_m - z_n)^2 \rangle)^{-1}$, $\langle \cdot \rangle$ 表示图像样本的期望。

根据吉布斯能量项,构建 s-t 图,通过式(5)最大流/最小割对图像进行分割:

$$\min_{\{a_n: n \in T_v\}} \min_k E(\underline{\alpha}, k, \underline{\theta}, z) \quad (5)$$

1.2 LBP 算子原理

图像上某个像素的纹理特征是指该像素与其领域内点的关系,不同的物体具有不同的纹理特征,根据纹理特征能对图像进行更好的分类。本文采用 Ojala 提出来的描述图像纹理特征的 LBP 算子^[11],该算子具有旋转不变性和灰度不变性等优点。

下式为 LBP 的特征定义:

$$T = t(g_c, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8) \quad (6)$$

式中, g_c 表示中心点像素值; $g_1 \sim g_8$ 表示八领域像素值。

以 3×3 模板为单位,将中间像素 g_c 作为阈值,若八领域的像素值大于 g_c ,标记该像素点为 1,否则标记为 0。经过比较可产生一个 8 位二进制数,转化为十进制则得到中间像素 LBP 值, LBP 值反映该点的纹理信息。按下式计算:

$$\text{LBP}(g_c) = \sum_{i=0}^8 2^i g_i \quad (7)$$

式中, $g_i = \begin{cases} 0, & g_c > g_i \\ 1, & g_c < g_i \end{cases}, i = 1, 2, \dots, 8。$

1.3 YOLOv4

由于 GrabCut 是用户交互式图像分割算法,为减少操作,本文利用 YOLOv4^[12]进行目标检测,输出前景。YOLOv4 是 YOLO3 的提升。图 1 是前景目标检测的组成部分。

在输入端中加入 Mosaic 数据增强等,进而丰富检测数据集,提高网络鲁棒性。主干网络中则运用了各种各样的新方式,包括 CSPDarknet53、Mish 激活函数和 Dropblock。CSPDarknet53 是 CSPNet 的借鉴,

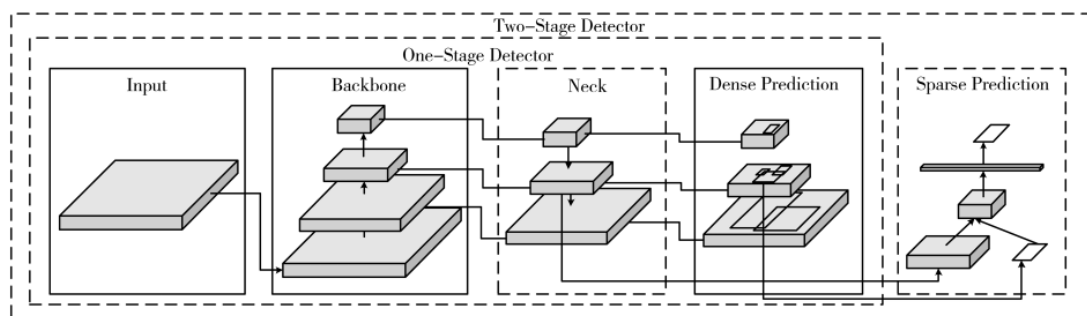


图1 YOLOv4 网络结构

包含 5 个 CSP 模块,目的是增强 CNN 学习能力,降低计算和内存成本。Dropblock 是为了缓解过拟合。Neck 模块采用 SPP 模块、FPN+PAN 结构。SSP 能增加主干特征接收范围,融合多尺度特征。FPN+PAN 结构能够从不同主干聚合不同检测层的参数。Prediction 中采用 CIOU_Loss 作为目标检测任务的损失函数,使预测框更精准。

本文采用 COCO2017 数据集,包含人、鸟、车、飞机、交通灯等 90 类待识别物体,实验选用人、花、鸟、飞机、树、叶六类作为训练集。采用 MSRA10K 作为测试集,利用 YOLOv4 检测前景目标,标注其矩形框,从而减少了用户操作。

2 GrabCut 算法的改进

2.1 结合位置信息和纹理特征的 GrabCut

在 GrabCut 原始算法中,k-means 算法只对图像的颜色信息进行了聚类,下式是原始像素特征:

$$x_i = (z_R, z_G, z_B) \quad (8)$$

式中, z_R, z_G, z_B 表示像素点 x_i 的 RGB 分量值。

该特征单一,容易导致图像在初始分类像素分类错误。考虑到图像整体信息,在聚类时融合图像的位置信息和纹理特征信息,优化 GMM 模型参数,下式是优化后的特征:

$$x_i = \left(z_R, z_G, z_B, \frac{z_x}{W}, \frac{z_y}{H}, z_{LBP} \right) \quad (9)$$

式中, W, H 表示图像的宽和高; z_x, z_y 表示像素点 x_i 在图像中的位置; z_{LBP} 表示像素点 x_i 的 LBP 纹理特征值。

图 2 是图像聚类效果对比,在第一幅对比图中,原始算法中花瓣边缘处和花瓣中心大部分被分为两个高斯分量,改进后花朵整体基本处于一个高斯分量。在第二幅对比图中,原始算法枫叶整体分布杂乱,在改进后,像素分配的高斯分量更合理了。从对比中可以看出,添加像素位置信息和纹理特征信息之后,

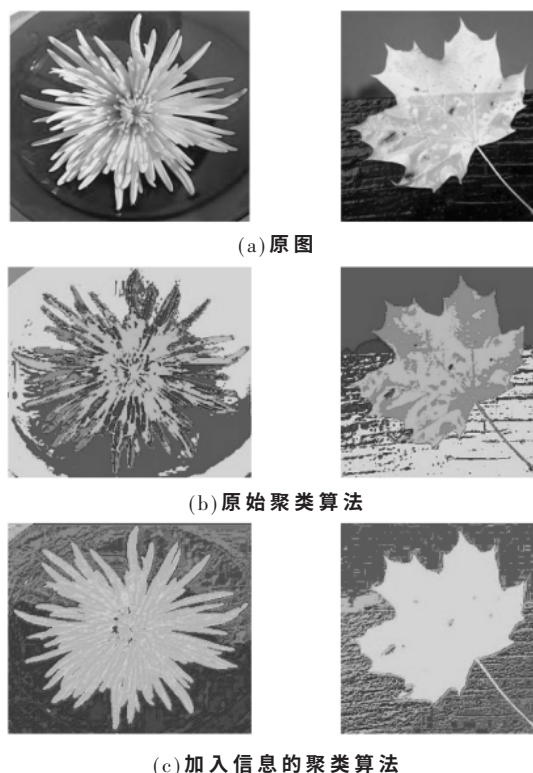


图2 聚类效果对比

能合理分配像素高斯分量,有效减少算法迭代次数。

2.2 改进后的算法框图

本文算法首先使用基于奇异值分解和引导滤波的图像增强法^[13]对特征不明显的图像进行改善。然后,采用 YOLOv4 模型标记前景图像矩形框位置。将图像像素位置信息和 LBP 算子提取的像素纹理特征信息融入 k-means 算法,优化 GMM 模型参数,改进 GrabCut 算法。利用分割图像掩膜获得原始分割图像,并做边缘平滑处理。本文算法框图如图 3 所示。

3 相关算法原理实验结果及分析

3.1 实验设计

本文算法首先对特征不明显的图像进行图像

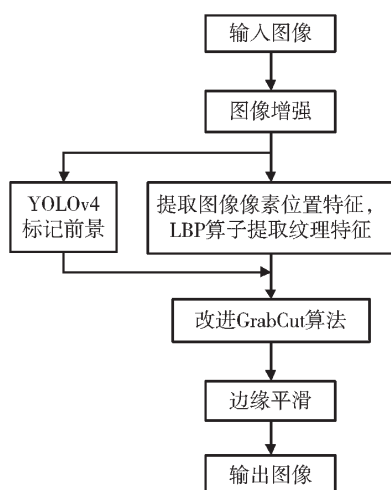


图3 GrabCut 改进后的算法框图

增强,再利用 YOLOv4 输出待分割图像前景所在位置矩形框,将图像中像素的位置信息和由 LBP 算子提取的像素纹理信息融入 k -means 聚类中,优化 GMM 模型参数,完成对图像的分割。

3.2 实验步骤

本文实验步骤如下:

(1)通过 Max-rgb 模型^[14]得到图像初始光照分量,以 3×3 为模板,对图像进行奇异值分解,取最大奇异值作为中心点光照。再利用初始光照分量进行引导滤波,得到增强图像 L_{en} 。

(2)将图像 L_{en} 送入 YOLOv4 模型中,输出目标矩形框位置。

(3)在 k -means 聚类中融入图像 L_{en} 的像素位置信息和纹理特征信息,利用已经确定的背景像素、可能的前景和可能的背景像素初始化 GMM 模型参数。

(4)利用 max-flow 算法求得 min-cut,迭代优化 GMM 模型参数,分割图像 L_{en} ,得到前景图像 L_f 。

(5)对图像 L_f 进行阈值分割,获取前景图像掩膜 L_{mask} 。

(6)掩膜图像 L_{mask} 与原始图像 L 结合,得到分割图像 L_{se} 。

(7)对图像 L_{se} 做平滑处理,改善图像质量。

3.3 实验结果分析

3.3.1 实验结果分析

从 MSRA10K 数据集中选取 YOLOv4 训练类别的图像,用 GrabCut 原始算法、文献[15]算法和本文算法对图像进行分割,并对本文算法进行评估。图4是不同算法分割对比图。

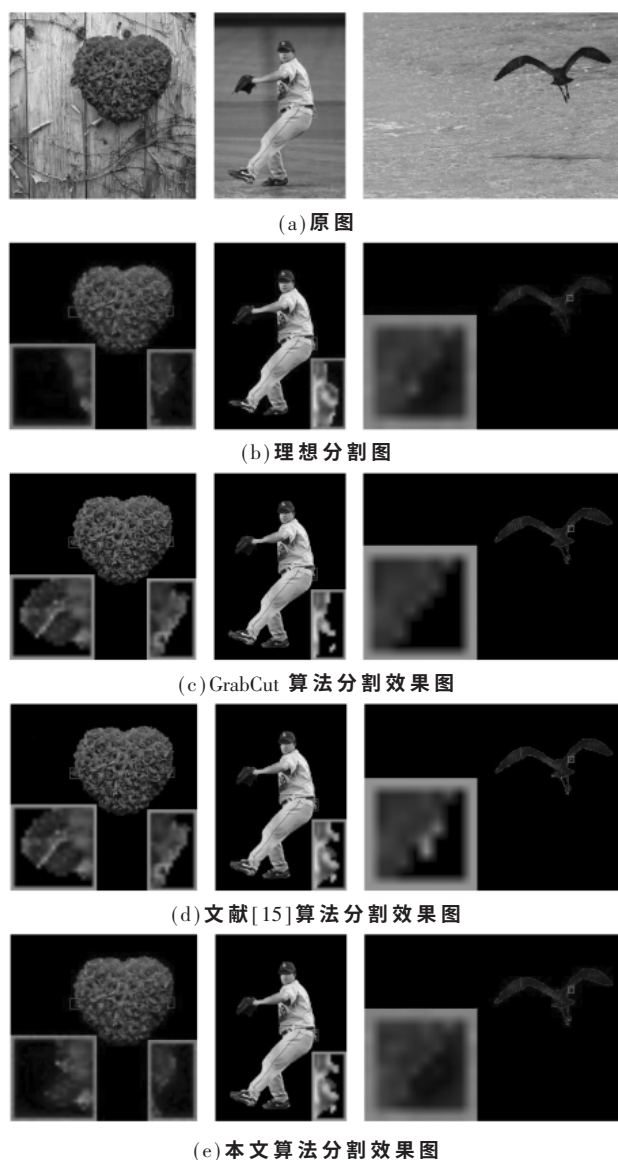


图4 不同算法分割对比

第一组是将由花朵组成的爱心从背景木板分割开,图像前景背景的纹理都较为复杂,GrabCut 原始算法和文献[15]都误将模板上的缺陷划为了背景,而本文算法则较为完整地分割出前景图像。第二组是分割棒球手和球场,GrabCut 原始算法将棒球员的手错误地划分为背景,文献[15]对手的细节部位处理不到位,相比之下,本文算法对棒球手的部位手分割更为细致。第三组是区分鹰和海面,GrabCut 原始算法、文献[15]和本文算法都获得了很好的分割效果,但是本文算法对鹰边缘的分割效果胜于对比文献。

3.3.2 在岩石分割中的应用

图5是将本文算法应用于岩石的分割。由于本

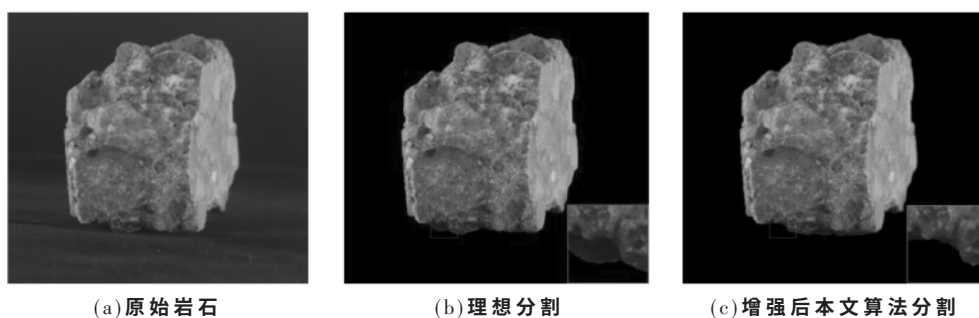


图5 实际应用对比图

文算法考虑了岩石纹理和背景纹理的区别,避免了分割之后空洞的产生,但是本文算法仍然需要进一步的改进,以提升分割效果。

分割是图像处理中重要的一部分,精确分割感兴趣的区域有利于后续工作的开展,例如将分割运用于岩石的识别和三维重建,有利于岩石标本图谱的构建和数字化存储岩石标本。

4 结论

针对 GrabCut 算法对特征不明显、纹理复杂的图像分割效果不佳的问题,本文提出了基于 GrabCut 的改进分割算法。首先,对待分割的图像进行预处理图像增强,增强图像对比度,避免图像在分割时出现空洞;然后,利用 YOLOv4 对图像前景目标所在位置进行标记,降低用户交互复杂度;其次,对 GrabCut 算法进行改进,从图像整体信息考虑,融合图像位置信息和纹理特征信息,分割图像;经处理获得前景图像的掩膜,再与原图融合,得到原始前景图像;最后对图像边缘进行平滑处理。经实验表明,本文算法能够有效地提高图像分割的准确度和可靠性。

参考文献

- [1] 韩思奇,王蕾.图像分割的阈值法综述[J].系统工程与电子技术,2002(6):91-94,102.
- [2] BOYKOV Y Y, JOLLY M P. Interactive graph cuts for optimal boundary & region segmentation of objects in N-D images[C]//International Conference on Computer Vision (ICCV). Vancouver: IEEE, 2001: 105-112.
- [3] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A, et al. GrabCut: interactive foreground extraction using iterated graph cuts[C]//International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2004, 23(3): 309-314.
- [4] 周良芬,何建农.基于 GrabCut 改进的图像分割算

法[J].计算机应用,2013,33(1):49-52.

- [5] 董茜,颜凯,孙婷婷,等.基于 SLIC 超像素的 GrabCut 算法改进[J].华中科技大学学报(自然科学版),2016,44(S1):43-47.
- [6] 白雪冰,宋恩来,李润佳,等.改进的 GrabCut 算法木材表面缺陷图像分割试验[J].东北林业大学学报,2017,45(10):64-71.
- [7] 杨小鹏,何小海,王正勇,等.基于 GrabCut 的免交互图像分割算法[J].科学技术与工程,2018,18(26):207-212.
- [8] REN S Q, HE K M, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 39(6): 1137-1149.
- [9] 刘静,庄梅玲,石历丽,等.基于纹理平滑和 GrabCut 的皮影图案轮廓的智能提取[J].丝绸,2020,57(11):20-27.
- [10] 詹琦梁,陈胜勇,胡海根,等.一种结合多种图像分割算法的实例分割方案[J].小型微型计算机系统,2020,41(4):837-842.
- [11] OJALA T, PIETIKAINEN M, MAENPAA T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.
- [12] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection[C]//CVPP2020, 2020.
- [13] 汪子君,罗渊贻,蒋尚志,等.基于引导滤波的自适应红外图像增强改进算法[J].光谱学与光谱分析,2020,40(11):3463-3467.
- [14] GUO X J, LI Y, LING H B. LIME: low-light image

(下转第 52 页)

- 五年规划和二〇三五年远景目标的建议[R].中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会公报, 2020.
- [3] 徐彬鑫, 李祥飞. 城市中长期用电量预测方法研究[J]. 湖南工业大学学报, 2017, 31(2): 78-83.
- [4] 顾勇, 王洋, 康健. 基于 RF 和深度学习的中长期用电量预测研究[J]. 机电信息, 2019(6): 15-17.
- [5] 黄卫, 刘升. 基于长期线性趋势的时间序列建模研究[J]. 统计与决策, 2021, 37(2): 30-33.
- [6] 李翔, 欧阳森, 冯天瑞, 等. 一种基于用电行业分类的中长期电量预测方法[J]. 现代电力, 2015, 32(6): 86-91.
- [7] 宋晓华, 祖丕娥, 伊静, 等. 基于改进 GM(1, 1) 和 SVM 的长期电量优化组合预测模型[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(5): 1803-1807.
- [8] SALKUTI S R. Short-term electrical load forecasting using radial basis function neural networks considering weather factors[J]. Electrical Engineering, 2018, 100(3): 1985-1995.
- [9] ZHANG Y, ZHOU Q, SUN C X, et al. RBF neural network and ANFIS-based short-term load forecasting approach in real-time price environment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2008, 23(3): 853-858.
- [10] 颜伟, 程超, 薛斌, 等. 结合 X12 乘法模型和 ARIMA 模型的月售电量预测方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(5): 74-80.
- [11] 王旭强, 陈艳龙, 杨青, 等. 基于时序分解的用电负荷分析与预测[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(20): 230-236.
- [12] 吴佳懋, 李艳, 符一健. 基于粗糙集-混沌时间序列 Elman 神经网络的短期用电量预测[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(3): 23-30.
- [13] YANG Y, SHANG Z H, CHEN Y, et al. Multi-objective particle swarm optimization algorithm for multi-step electric load forecasting[J]. Energies, 2020, 13(3): 532.
- [14] DUDEK G. Artificial immune system for short-term electric load forecasting[C]//Artificial Intelligence and Soft Computing-ICAISC 2008. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, 5097: 1007-1017.
- [15] SERRAS P, IBARRA-BERASTEGI G, SÁENZ J, et al. Combining random forests and physics-based models to forecast the electricity generated by ocean waves: a case study of the Mutriku wave farm[J]. Ocean Engineering, 2019, 189: 106314.
- [16] MENG M, WANG L X, SHANG W. Decomposition and forecasting analysis of China's household electricity consumption using three-dimensional decomposition and hybrid trend extrapolation models[J]. Energy, 2018, 165: 143-152.
- [17] SINGH P, DWIVEDI P. Integration of new evolutionary approach with artificial neural network for solving short term load forecast problem[J]. Applied Energy, 2018, 217: 537-549.
- [18] LIN Y B, LUO H Y, WANG D Y, et al. An ensemble model based on machine learning methods and data preprocessing for short-term electric load forecasting[J]. Energies, 2017, 10(8): 1186.
- [19] NEERAJ N, MATHEW J, AGARWAL M, et al. Long short-term memory-singular spectrum analysis-based model for electric load forecasting[J]. Electrical Engineering, 2021, 103(2): 1067-1082.

(收稿日期: 2021-07-05)

作者简介:

刘侃(1997-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 时间序列分析。

何家峰(1970-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 利用电子鼻进行混合气体定量分析。

蔡高琰(1982-), 男, 本科, 中级工程师, 主要研究方向: 信号处理。

(上接第 47 页)

enhancement via illumination map estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(2): 928-993.

- [15] 孔显, 马晓珂. 基于非归一化直方图的 GrabCut 图像分割算法改进[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(5): 1549-1552.

(收稿日期: 2021-05-27)

作者简介:

王茜(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能系统与设计。

何小海(1964-), 通信作者, 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 图像处理与网络通信。E-mail: nic5602@scu.edu.cn。

吴晓红(1970-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 智能系统与设计。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所