

基于超像素分割算法的景观边缘提取仿真

唐真, 庄怡

(上海工程技术大学, 上海 201620)

摘要: 由于遥感图像景观边缘具有复杂非线性结构, 受光照与场景影响, 使得图像边缘存在极多样化纹理和噪声, 导致景观边缘难以捕捉。于是提出基于超像素分割算法的景观边缘提取方法。采用超像素分割算法, 将图像映射至 CIE-LAB (International Commission on Illumination-Lightness- L^*A^*B) 色彩空间中, 利用最小化梯度, 将超像素置于梯度对应区域中, 获取标准化度量, 将水平与垂直梯度加入特征矢量中, 组建景观弱边缘超像素分割模型, 分割景观弱边缘超像素, 利用高斯滤波器, 模糊处理超像素分割结果, 构建能量函数, 通过迭代处理, 实现景观边缘提取。实验结果表明, 所提方法能准确分割显著边缘与细节边缘, 精准提取景观边缘, 且边缘线连贯、平滑, 有效避免了伪轮廓问题, 对实现城市与景观的合理规划具有较高的实际应用价值。

关键词: 超像素分割算法; 景观边缘; 弱边缘分割; 主动轮廓模型; 边缘提取

中图分类号: TP391 **文献标识码:** B

Simulation of Landscape Edge Extraction Based on Superpixel Segmentation Algorithm

TANG Zhen, ZHUANG Yi

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

ABSTRACT: Due to the complex nonlinear structure of landscape edges in remote sensing images, which are affected by lighting and scene, there are extremely diverse textures and noise at the edges of the image, making it difficult to capture the landscape edges. Therefore, a method of extracting landscape edges based on superpixel segmentation algorithm was proposed. Firstly, the image was mapped to International Commission on Illumination-Lightness- L^*A^*B (CIE-LAB) color space by the super-pixel segmentation algorithm. After the gradient was minimized, the super-pixel was placed in the gradient region correspondingly, thus obtaining standardized measurements. Then, the horizontal and vertical gradients were added into the feature vector to build a model of weak edge superpixel segmentation model. Moreover, Gaussian filter was used to blur the superpixel segmentation results and establish energy functions. Finally, the landscape edge extraction was achieved by iterative processing method. The experimental results show that the proposed method can accurately segment significant edge and detailed edge, and extract landscape edge. Meanwhile, the edge lines are coherent and smooth, thus avoiding the pseudo-contour problem. For this reason, the method has high practical application value for rational planning of city and landscape.

KEYWORDS: Superpixel segmentation algorithm; Landscape edge; Weak edge segmentation; Active contour model; Edge extraction

1 引言

景观边缘提取是计算机视觉领域中一项重要的研究内容, 其涉及了多个学科领域, 如图像识别、图像处理等。随着城市化进程的加速以及基础设施不断增加, 使得城市景观的

变化越来越快速。从图片中准确地提取出景观边缘信息, 对于城市规划具有重要意义^[1-3]。然而景观图像包含各种复杂场景, 且图像中的边缘信息是由微小的纹理和颜色差异组成, 影响景观边缘提取精度。因此, 如何提高景观边缘提取的精度和准确性成为当下研究的重点内容^[4]。

现阶段, 国内该领域专家已对此展开大量研究。赵良军等人^[5]针对纹理相似的图像提出边缘提取算法。通过学习

收稿日期: 2023-05-04 修回日期: 2023-07-07

得到图像先验知识,修复图像纹理,采用局部均匀稀疏度法,提取图像边缘。陈顺等人^[6]利用皮尔逊相关系数改进滤波器,将其与小波模极大值方法融合,提取出印花织物图案边缘。王鑫刚等人^[7]以红外人脸图像为对象,通过改进 Canny 算法与天津算法,根据灰度-梯度映射函数获取最佳阈值,完成红外人脸图像边缘轮廓提取。高智梅等人^[8]为解决植被对建筑物点云边缘提取的影响,利用布料模拟滤波算法、最大类间方差算法、密度聚类分割方法与 Alpha Shape 算法,设计出建筑物点云的边缘提取算法。

以上方法在应用领域初见成效,但用于城市建设、景观规划方面的研究成果却十分鲜有。城建领域因图像质量要求较高,所含像素数量规模巨大,且景观与周边环境的大多数像素灰度、颜色等较为近似,严重影响处理效果。超像素分割算法通过一个超像素即能描述所有特征近似的像素点,能在保留完整局部信息和结构信息的前提下,降低处理复杂度。故提出基于超像素分割算法的景观边缘提取方法。通过标准化度量像素点特征矢量,增加矢量的描述准确性;在特征矢量中加入水平梯度和垂直梯度,提升边缘分割精准度,解决弱边缘问题;利用高斯滤波器,高斯模糊处理超像素分割结果,抑制因噪声所致的虚假边缘。实验结果表明,所提方法能够精准提取出景观边缘。

2 景观边缘提取

2.1 弱边缘分割

由于景观图像中可能存在大量的杂乱细节或噪点,会干扰边缘提取过程,且容易忽略弱边缘通常包含一些细节或低对比度的特征。因此,在提取景观边缘之前,需要对景观弱边缘分割。采用超像素分割算法,通过生成超像素,完成景观图像分割。将基于红-绿-蓝色彩空间的图像映射至 CIE-LAB 色彩空间中,以便更好地处理图像颜色信息^[9-10]。

假设该色彩空间中某像素的色彩值为 (L, a, b) , 坐标为 (x, y) , 则该像素的特征矢量 V 可用下列五元组描述:

$$V = (L, a, b, x, y) \quad (1)$$

设定超像素数量为 S , 图像中的像素集数量为 N 。以超像素为类别中心,并以像素与所属超像素的距离(即相似度)为依据,划分像素集,令存在于同一超像素的像素点相似度最大化,存在于不同超像素的像素点相似度最小化,直至全部像素点完全分类。分割图像后的各块超像素个数为 $\frac{N}{S}$ 、边长为 $\sqrt{\frac{N}{S}}$ 。根据分割后的像素集,更新类别中心,获取各类别中心与余下像素间的距离,并再次完成划分,完成景观图像边缘的超像素分割。

为加快收敛速度,找到像素数量为 $\frac{N}{S}$ 的所有区域,为各区域设立种子点,将种子点作为中心、 $\sqrt{\frac{N}{S}}$ 为边长的方形空

间作为高相似度像素点的搜索范围。

由于设立种子点有可能是边缘点或噪声点,为了确定种子点的位置,使其尽可能落在图像的较高梯度区域,因此利用最小化梯度,把类别中心置于梯度对应区域中,以便保留和分割出景观图像中的边缘信息,最小化梯度 $G_{\min}(x, y)$ 表达式为:

$$G_{\min}(x, y) = \min \frac{[V(x, y+1) - V(x, y-1)]^2}{[V(x+1, y) - V(x-1, y)]^2} \quad (2)$$

由于 CIE-LAB 色彩空间不限制图像规格,因此像素坐标 (x, y) 会影响特征矢量 V 的准确性,故对像素点特征矢量实施标准化度量处理。假设搜索范围内第 i 个像素点的色彩值与空间坐标分别是 (L_i, a_i, b_i) 、 (x_i, y_i) , 类别中心 k 像素点的色彩值与空间坐标分别是 (L_k, a_k, b_k) 、 (x_k, y_k) , 则通过以下公式计算出该像素点与中心像素点之间的色彩值 (L, a, b) 距离与坐标 (x, y) 距离,其表达式为:

$$d_{i,k}(L, a, b) = \sqrt{\frac{(L_k - L_i)^2 G_{\min}(x, y)}{(a_k - a_i)^2 (b_k - b_i)^2}} \quad (3)$$

$$d_{i,k}(x, y) = \sqrt{\frac{(x_k - x_i)^2}{(y_k - y_i)^2} / G_{\min}(x, y)} \quad (4)$$

其中, $d_{i,k}(L, a, b)$ 表示第 i 个像素点与中心像素点之间的色彩值距离; $d_{i,k}(x, y)$ 表示第 i 个像素点与中心像素点之间的坐标距离。

由此推导出相对于类别中心 k , 像素点 i 的特征矢量 V_i 标准化度量 $D(V_i^k)$ 公式如下所示:

$$D(V_i^k) = d_{i,k}(L, a, b) + \frac{d_{i,k}(x, y)}{m} \quad (5)$$

其中, m 表示坐标距离 $d(x, y)$ 的权重调节因子。

由于经过分割的景观图像中仍会存在弱边缘问题,为了加强分割所得超像素的边缘贴合度,在特征矢量中加入水平梯度和垂直梯度,建立用于实现弱边缘超像素分割模型,提升边缘分割精准度。若像素点 i 的水平梯度是 G_x^i , 垂直梯度是 G_y^i , 则该点特征矢量 V'_i 描述式为下列七元组:

$$V'_i = (L_i, a_i, b_i, x_i, y_i, G_x^i, G_y^i) \quad (6)$$

其中,前五元 $(L_i, a_i, b_i, x_i, y_i)$ 描述第 i 个像素点在 CIE-LAB 色彩空间中的部分特征;后两元 (G_x^i, G_y^i) 描述从全局角度建立的像素点与边缘关系。

已知像素点 i 所属类别 k_i 的特征矢量是 V_{k_i} , 该像素点特征矢量 V'_i 的标准化度量结果为 $D(V'^{k_i}_i)$, 则景观弱边缘的超像素分割模型 $L(V')$, 以此实现景观弱边缘的超像素分割:

$$L(V') = \frac{\sum_i D(V'^{k_i}_i)}{(V'_i - V_{k_i})^2} \quad (7)$$

2.2 景观边缘提取

通过景观弱边缘的超像素分割后,有效减少了图像中存在的噪声和过多的细节,为了更好地保留和分割出景观图像

中的边缘信息,需要对景观边缘提取。提取景观边缘前,先确定各超像素分割区域与景观区域的所属关系。假设景观弱边缘的超像素分割结果,即图像的分割区域集为 $K'=(k_1, k_2, \dots, k_j)$, 则利用条件式判定分割区域 $k_j \in K'$ 与目标区域 I 即景观的关系:

$$\begin{cases} k_j \in I, \frac{|k_j \cup \text{矩形分界}|}{2} \geq (k_j)^2 \\ k_j \notin I, \frac{|k_j \cup \text{矩形分界}|}{2} < (k_j)^2 \end{cases} \quad (8)$$

其中,利用有界区域快速全局定位算法^[11]得到矩形分界,即获取能够覆盖整个景观的矩形边框线。当分割区域 k_j 属于区域 I 时,设定为景观的种子分区。针对种子分区,景观边缘提取流程如图 1 所示。

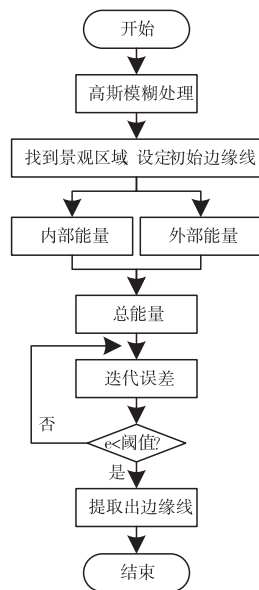


图 1 景观边缘提取流程图

图 1 中设计的提取方法以主动轮廓模型^[12]为基础,能够区分非确定分区,有针对性地完成边缘提取任务,提高图像处理质量,加快处理速度。流程中各步骤的具体实现方法如下所述:

1) 为抑制因噪声所致的虚假边缘,利用高斯滤波器,模糊处理超像素分割结果 K' , 高斯模糊处理后的结果 $H(x, y)$ 表示为:

$$H(x, y) = L(V') \left(\frac{K' \sigma^2}{2\pi} \right)^{\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}} \quad (9)$$

其中, σ 表示高斯函数标准差^[13]。

2) 找到图像中的景观区域,将闭合的弱边缘分割结果作为初始边缘线;

3) 根据曲线的弹性特性与弯曲特性,结合高斯模糊处理结果,建立内部能量函数,令边缘线保持光滑与弯曲。若边缘 s 的一阶、二阶导数分别是 $v^1(s)$ 、 $v^2(s)$, 则内部能量函数

$E_{in}(s)$ 如下所示:

$$E_{in}(s) = H(x, y) \left\{ \alpha \cdot \left[\frac{1}{v^1(s)} \right]^2 + \beta \cdot \left[\frac{1}{v^2(s)} \right]^2 \right\} \quad (10)$$

其中, α, β 为一阶、二阶导数的系数。

根据曲线向目标边缘收敛的特征,基于图像梯度建立外部能量函数,驱动曲线向边缘移动^[14-16]。若图像灰度是 P , 则外部能量 $E_{out}(s)$ 即梯度方的倒数。利用数学表达式获取外部能量如下:

$$E_{out}(s) = \frac{1}{(\nabla P)^2} \quad (11)$$

4) 利用微积分函数式,获取内部能量与外部能量的总和 E_z 表达式如下:

$$E_z = \int_s [E_{in}(s) + E_{out}(s)] ds \quad (12)$$

5) 通过迭代,令初始边缘线向景观边缘演化、收敛。若经过迭代的总能量为 E'_z , 则误差值 e 的计算公式如下:

$$e = |E'_z - E_z| \quad (13)$$

6) 将差值 e 与预先设定阈值的关系作为迭代结束条件。若为大于关系,继续迭代,求取新的误差值;若为小于关系,停止迭代,得到景观边缘线坐标,实现景观边缘提取。

3 实验分析

3.1 准备阶段

选取 RSOD Datasets 数据库内 100 张 596×525 的城区遥感图像作为实验对象,并选择 PixPlant 软件作为仿真环境,其是一款专业的纹理生成和编辑软件,具有丰富的功能和工具,能够满足景观边缘提取仿真的需求。测试超像素分割算法的景观边缘提取方法(简称“所提方法”)的提取性能。为凸显所提方法优势和劣势,分别从视觉效果与客观指标两方面,对文献[5]基于先验知识的边缘提取算法(简称“先验知识边缘提取法”)、文献[6]基于改进滤波器与小波的印花织物边缘提取方法(简称“改进滤波器与小波提取法”)、文献[7]改进 Canny 算法的红外人脸图像边缘轮廓提取方法(简称“改进 Canny 算法提取法”)及所提方法做对比分析。

设置各方法的实验参数均为默认值。客观指标分析时,为保证评估结果的客观性,利用准确度、欠分割度、召回度三个常用的图像质量评价指标,从多方面综合分析各方法的实现质量。其中除欠分割度为负相关性外,另外两项均为正向指标。

3.2 视觉效果分析

在 100 张遥感图像的景观边缘提取结果中任意抽取一张,从主观性较强的视觉角度对比分析。不同方法的景观边缘提取效果如图 2 所示。

根据图 2 可知,从视觉上来看,三种对比方法虽然能相对完整地提取到景观边缘,但精准性不足,将多处不属于景观区域的部分错判为提取目标,且有明显的噪声干扰,有大

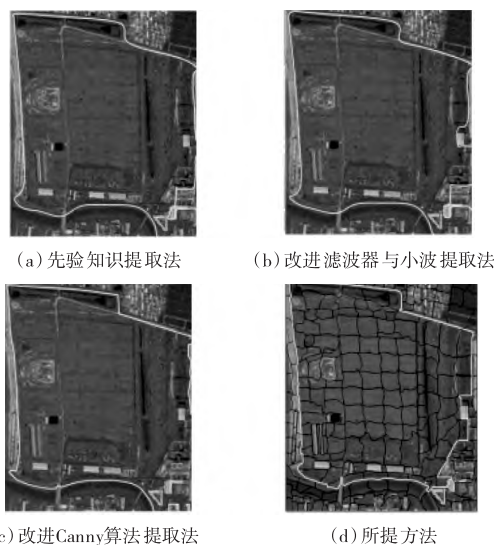


图2 不同方法的景观边缘提取效果

量的过检、伪轮廓等现象出现,图像边界处还发生了显著的不连贯情况。而所提方法的景观边缘提取视觉效果显示,图像中没有明显的噪声干扰,不仅根据各分区与目标区域的所属关系,准确分割了显著边缘与细节边缘,而且边缘线连贯、平滑,尚未发生过检、伪轮廓、弱边缘、虚假边缘等现象。这均归功于简单线性迭代聚类超像素分割算法中添加的标准化度量操作与水平梯度、垂直梯度,提升了边缘贴合度。

3.3 客观指标分析

将100张城区遥感图像平均分成十组,得到不同方法的准确度、欠分割度、边缘召回率数值。三个指标参数分别是图像中正确识别出的物体数量、图像中未被正确识别出的像素点数量、落入人工标注超像素边界中的像素点数量。不同方法不同客观指标的评价结果如图3所示。

从图3所示的客观指标值趋势可以看出:改进Canny算法提取法仅针对红外人脸边缘轮廓的图像,故各指标评估结果均不如其它三种方法理想;先验知识提取法、改进滤波器与小波提取法的是仿真效果较为近似,优良程度居,前者的十组图像提取评估指标均值分别是103个、26个、453个,后者分别是103个、27个、449个;所提方法各指标评估结果始终优秀,图像中正确识别出的物体数量高达114个,图像中未被正确识别出的像素点数量仅有13个,落入人工标注超像素边界中的像素点数量高达491个。由此可见,该方法利用有界区域快速全局定位算法得到的矩形分界,加强了景观边缘目标的针对性,既能精准提取到景观边缘,且贴合程度较高。

4 结论

景观是城市实现生态可持续发展的重要部分。但景观形状复杂多样,且有些景观从图像上看似与周边环境融为一

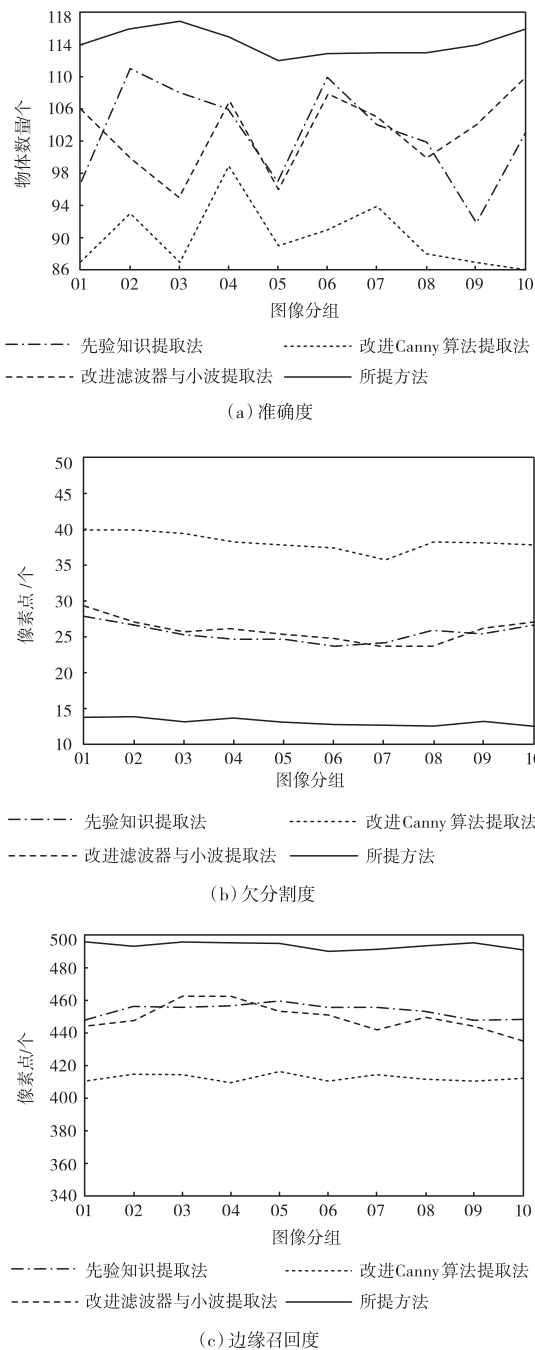


图3 不同方法的边缘提取效果评估结果

体,具有一定的边缘提取难度。为了有效解决这一问题,提出一种基于超像素分割算法的景观边缘提取方法。将景观图像映射至CIE-LAB色彩空间中,以超像素为类别中心,并以像素与所属超像素的距离为依据划分像素集,通过基于主动轮廓模型的边缘提取流程,实现对景观图像边缘提取。实验结果表明,所提方法的景观边缘提取效果好,且提取精度高。

参考文献:

- [1] 梁鑫源,金晓斌,韩博,等. 长三角快速城市化地区景观多功能性演变——以苏州市为例[J]. 地理科学进展,2021,40(2): 207-219.
- [2] 任致远. 论城市现代化与生态化,特色化,人性化[J]. 城市发展研究,2021,28(11):1-2,9.
- [3] 杨振山,杨航,孙东琪. 基于系统动力学的城市可持续性评估模拟——以京津冀为例[J]. 地理科学,2021,41(9):1515-1524.
- [4] 王晨. 基于公共价值的城市数字治理:理论阐释与实践路径[J]. 理论学刊,2022,(4):161-169.
- [5] 赵良军,董林鹭,杨平先,等. 采用先验知识的边缘提取算法[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2022,45(1):136-142.
- [6] 陈顺,李登峰. 基于改进滤波器与小波的印花织物边缘提取[J]. 计算机工程与设计,2021,42(3):790-796.
- [7] 王鑫刚,田军委,于亚琳,等. 改进 Canny 算法的红外人脸图像边缘轮廓提取[J]. 应用光学,2023,44(1):61-70.
- [8] 高智梅,王竞雪,沈昭宇. 机载 LiDAR 建筑物点云渐进提取算法[J]. 测绘通报,2021,(8):7-13,36.
- [9] 邸敬,尹世杰,廉敬. 基于 NSST 的改进双通道 PCNN 多聚焦 RGB 图像融合[J]. 计算机应用研究,2022,39(1):308-311,315.
- [10] 潘洁,黄敏,李钰,等. 三维打印球体的色差计算方法研究[J].

光学学报,2021,41(23):269-278.

- [11] 吴海欣,文梓豪,熊弘俊,等. 基于激光雷达的有界区域快速全局定位算法[J]. 激光与红外,2021,51(4):428-434.
- [12] 刘国奇,蒋优,常宝方,等. 融合显著性特征的自适应主动轮廓模型[J]. 计算机工程与应用,2023,59(5):312-320.
- [13] 王伟,张岐良,徐颖珊. 基于动态高斯滤波的拓扑优化灵敏度过滤方法[J]. 计算机集成制造系统,2022,28(11):3588-3598.
- [14] 张建伟,权庆乐. 一种融合区域生长和 RANSAC 的稠密点云平面分割方法[J]. 西安科技大学学报,2022,42(2):341-348.
- [15] 郭昕刚,王佳,程超. 层次聚类算法和基于图的分割算法相结合的图像分割算法[J]. 国防科技大学学报,2022,44(3):194-200.
- [16] 陈琴,朱磊,吕燧栋,等. 高分辨率遥感影像的边缘损失增强地物分割[J]. 中国图象图形学报,2021,26(3):674-685.

【作者简介】



唐 真(1985-),女(满族),山东青岛人,博士研究生,副教授,研究方向:景观分析评价理论与方法、景观规划设计理论与方法。

庄 怡(1987-),女(回族),湖北潜江人,博士,讲师,研究方向:城市色彩规划与景观设施使用评价。

(上接第 193 页)

分别平均升高了 3.44% 与 3.37%。而 OPE-CNN 模型的准确率虽然最高但时效性较差,OPE-RF 模型的时效性最高但其它指标最差。通过对比分析其它模型可知,OPE-SVM 模型最优的综合性能。

6 结论

为提高人脸表情识别的检出率与准确率,本文基于 Open Pose 深度学习算法,通过对置信度与亲密度图进行贪心解析,识别出单人骨骼点,利用关键点校正分割的方法,提取人脸图像,并采用 SVM 算法识别出人脸表情,最终构建了 OPE-SVM 人脸表情识别模型。

在人脸表情识别评价体系中,本文通过 10 类基线模型进行仿真分析,实验结构表明:在 MPII 数据集中,较其它叠加模型相比,OPE-SVM 模型在识别人脸表情上,具有最优的稳定性和较高的准确率,同时具有较优的时效性,即 OPE-SVM 模型的综合性能最优。

参考文献:

- [1] 谢晓华,卞锦堂,赖剑煌. 人脸活体检测综述[J]. 中国图象图形学报,2022,27(1):63-87.
- [2] 郭文,李冬,袁飞. 多尺度注意力融合和抗噪声的轻量点云人脸识别模型[J]. 图学学报,2022,43(6):1124-1133.

- [3] 杜紫薇,周恒,李承阳等. 面向深度卷积神经网络的小目标检测算法综述[J]. 计算机科学,2022,49(12):205-218.
- [4] 陈乔松,隋晓旭,官畅珺,等. 基于多尺度残差生成对抗网络的单图像盲去运动模糊方法[J]. 计算机应用研究,2021,38(3):919-922.
- [5] 钟瑞,蒋斌,李南星等. 嵌入注意力机制残差网络的人脸表情识别方法[J]. 计算机工程与应用,2023,59(11):88-97.
- [6] 李文,刘艳丽,邢冠宇. 深度人脸识别的光照分析[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2022,34(1):74-83.
- [7] 茆震,任玉蒙,陈晓艳等. 一种改进 YOLOv5s 的多尺度目标检测算法[J]. 传感技术学报,2023,36(2):267-274.
- [8] 范溢华,王永振,燕雪峰,等. 人脸识别任务驱动的低光照图像增强算法[J]. 图学学报,2022,43(6):1170-1181.
- [9] 王宸,刘剑飞,郝禄国等. 一种基于 InsightFace 算法的课堂人脸识别方法研究[J]. 南开大学学报(自然科学版),2022,55(2):59-68.
- [10] 王晓峰,王昆,刘轩,等. 自适应重加权池化深度多任务学习的表情识别[J]. 计算机工程与设计,2022,43(4):1111-1120.

【作者简介】



孙可新(1996-),男(汉族),吉林长春人,硕士生,研究方向:人工智能。

鲁慧民(1972-),女(汉族),吉林长春人,博士,教授,研究方向:人工智能与应用(通讯作者)。