

文章编号: 2095-2163(2024)01-0204-05

中图分类号: TP181

文献标志码: A

# 基于快速风格迁移与 Perlin 噪声的虚拟地形生成方法

孔之涵

(西安交通大学 计算机科学与技术学院, 西安 710000)

**摘要:** 虚拟地形在游戏、动漫、VR 和三维仿真等领域中有着广泛应用。针对传统 Perlin 噪声算法生成的地形细节较少、地貌失真等问题,本文提出了一种快速风格迁移(Fast Neural Style Transfer, FNST)与 Perlin 噪声相结合的生成方法。该方法根据地形特征划分区块并设定风格,使用 VGG-16 训练得到的变换网络进行风格迁移,并通过图像后处理保证区块边界平滑过渡。实验使用山地、平原、沙漠等不同地区的地形数据对模型进行差异训练,生成的虚拟地形与目标风格真实地形间峰值信噪比(PSNR)达到 12.95 dB,结构相似性(SSIM)达到 0.21,符合自然地形地貌,具有良好仿真效果。

**关键词:** Perlin Noise; 风格迁移; 深度学习; 地形仿真

## A virtual terrain simulation based on fast neural style transfer and perlin noise

KONG Zhihan

(School of Computer Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** Virtual terrains have been widely applied in various fields such as video games, animation, VR, and 3D simulation. To solve the shortcomings of traditional Perlin noise algorithm, like lacking fine details and terrain distortion, this paper proposes an approach to generating high-resolution terrains, combining fast neural style transfer with Perlin noise. This method involves dividing blocks based on terrain features and setting styles, then the Image Transform Net trained with VGG-16 will be used for style transfer, with post-processing of images to ensure smooth transition of block boundaries. The experiment used datasets from diverse regions such as mountains, plains, and deserts for differential training of the model. The PSNR between the generated terrains and the target style real terrains reached 12.95 dB, and the SSIM reached 0.21, which is consistent with natural details and has convincing simulation effect.

**Key words:** Perlin noise; neural style transfer; deep learning; terrain simulation

## 0 引言

三维地形一直以来都是电影、游戏、虚拟现实等娱乐产品所展示的虚拟环境的重要组成部分。随着计算机技术的快速发展,各种应用场景对三维地形的模拟仿真程度、技术效率提出了越来越高的需求。目前,虚拟地形生成领域有多种方法,其中包括基于真实数据的地形建模、基于噪声、分形几何等数学算法的程序化生成方法,以及近年来广受关注的,基于深度学习的地形生成方法。

基于实地地形数据进行的地形建模具有准确真实的特点,虽然在军事仿真、城市规划等领域有着广泛的应用,但在游戏、虚拟现实等需要实时性、随机性的领域却难以使用。基于噪声、分形几何等数学算法的程序化生成方法可以实时高效地创建虚拟地

形,如广泛应用的 Perlin<sup>[1]</sup> 噪声算法、Diamond - Square 算法<sup>[2]</sup> 等等。但是,此类方法难以模拟真实的地貌细节,由于真实的地形并不是分形方法生成的简单形态,而是受降水、风力、植被、温度等因素侵蚀影响表现出更加复杂的形态<sup>[3]</sup>。目前,在基于深度学习的地形生成方法中,基于对抗生成网络(Generative Adversarial Networks, GAN)的研究较为广泛,该生成模型效果优秀,但是需要大量真实地形数据集进行训练,且需要较高算力,生成效率受限。

综合上述方法优点,该文提出了一种基于快速风格迁移(Fast Neural Style Transfer, FNST)与 Perlin 噪声相结合的生成方法。通过基于神经网络的风格迁移模型,对程序化方法生成的高程图进行优化处理,增加特定地貌细节,提高地形的真实性与美观程度。相较于 GAN 等深度学习模型,本方法中基于卷

作者简介: 孔之涵(2002-),男,本科生,主要研究方向:计算机科学与技术专业。

收稿日期: 2023-08-07

积神经网络 (Convolutional Neural Networks, CNN), 使用 VGG-16 预训练得到的模型, 消耗的数据集与计算资源更少, 运行效率高, 更适用于游戏、VR 等对实时性要求高的领域。

### 1 卷积神经网络与 VGG 预训练模型

20 世纪 90 年代, 法国学者 Yann LeCun 提出了一种前向传播类型的深度神经网络, 此后 LeCun 所构建的神经网络 LeNet-5<sup>[4]</sup> 在数字识别问题中取得了成功, 奠定了现代卷积神经网络的基本结构。当前, 卷积神经网络广泛应用于图像处理等领域, 其结构通常由卷积层、归一化层、激活层、池化层和全连接层构成。

VGG-16<sup>[5]</sup> 是由牛津大学视觉组的 K. Simonyan 和 A. Zisserman 提出的卷积神经网络模型, 由 13 个卷积层、3 个全连接层构成, 使用 5 个最大化池化层分隔, 如图 1 所示。该网络使用 3 \* 3 的小卷积核, 以减少参数, 提高运行效率。相比于 Let Net、Alex Net 等卷积神经网络模型, 其规模是 Alex Net 的 2 倍以上, 并拥有规律的结构和更少的参数量, 简化了神经网络的拓扑结构, 使性能更加优越<sup>[6]</sup>。

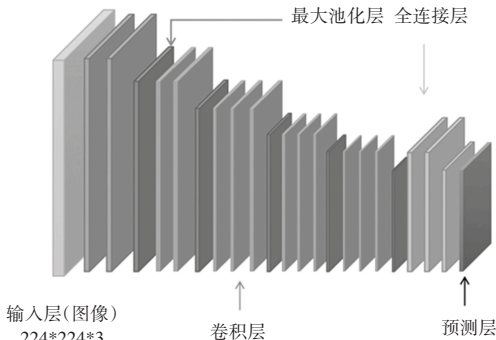


图 1 VGG-16 分层结构示意图

Fig. 1 Illustration of the layered architecture of VGG 16

在图像风格迁移应用中, VGG 模型仅用于提取图像特征信息, 因此该模型中全连接层没有实际作用。在卷积层与池化层中, 靠近输入端的层所提取的特征信息反映了图像中的细微结构, 可以用于生成地形中的细节地貌; 靠近输出端的层反映了图像的整体特征, 对应地形的宏观结构。

### 2 快速风格迁移 (FNST)

由斯坦福大学 Justin Johnson 等人提出的快速风格迁移 (Fast Neural Style Transfer, FNST), 即基于感知损失函数的实时风格转换 (Real-Time Style Transfer)<sup>[7]</sup> 如图 2 所示, 是针对此前风格迁移方法

每次生成时需要重新训练等问题的一种快速高效的方法。该方法包括变换网络 (Image Transform Net) 与损失网络 (Loss Net) 两部分, 前者是一个包含 5 个残差块的深度残差网络<sup>[8-9]</sup>, 该部分在经过训练后可通过该网络生成风格迁移图像。后者是一个 VGG-16 网络, 模型训练时通过该网络输出的内容损失 (Content Loss) 与风格损失 (Style Loss), 通过梯度下降的方法更新网络参数, 达到更佳效果。

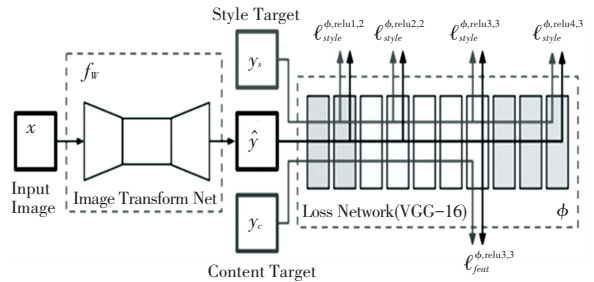


图 2 快速风格迁移模型示意

Fig. 2 The fast style transfer model proposed

对于仅有单通道色彩信息的高程图来说, Style Loss 直接反映了地貌的细节特点, 而 Content Loss 则指示了处理后的地形与原高程图的相似程度, 通过调节两个损失函数在总损失中所占权重, 即可实现所需的训练效果。在定量比较图像间风格相似程度时, 常用图像卷积层的特征矩阵 Gram 来表示, Gram 矩阵形式上是若干组向量内积的对称矩阵<sup>[10]</sup>。该矩阵由 n 维欧式空间中任意 k 个向量两两内积组成。对于某指定层的 Gram 矩阵, 设卷积特征矩阵为 F, Gram 矩阵为 G, 计算公式为

$$G_{ij} = \sum_k F_{ik} F_{jk} \quad (1)$$

本文采用简化的总损失进行模型训练, 由于计算风格损失时往往使用多个卷积层输出的数据, 而计算内容损失时只选择一个输出, 定义内容层宽度为 M, 风格层宽度为 N, 下标 out 为输出矩阵, 下标 in 为输入矩阵, l 为卷积层序号, 总损失函数公式如式 (2) 所示:

$$Loss = \alpha \frac{1}{M^2} \sum_{i,j} (F_{outij} - F_{inij})^2 + \beta \sum_l \sum_{i,j} \frac{\omega_l}{N_l^2} (G_{outij} - G_{inij})^2 \quad (2)$$

式中:  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为内容损失、风格损失在总损失中的权重,  $\omega_l$  表示风格损失中第 l 层的权重。

### 3 地形生成

本方法将虚拟地形生成过程分为 Perlin 噪声生成、快速风格迁移处理、地形后处理 3 个部分, 其中

快速风格迁移包括模型训练与使用两部分。

### 3.1 Perlin 噪声生成

Perlin 噪声函数是基于给定参数的随机数生成算法,具有连续、可控等优点,通过 Perlin 噪声生成地形的方法,在沙盒游戏等领域已经被大量应用。

本文方法中,采用二维 Perlin 噪声生成基础地形,转换为高程图。由于直接使用经典 Perlin 噪声生成的高程图冲突效果较差,一般会利用分形(Fbm)与湍流(Turbulence)算法进行改进<sup>[4]</sup>,因此本方法中则使用快速风格迁移进行改进。

### 3.2 快速风格迁移处理

相较于对抗生成网络 GAN 等模型,风格迁移所需的训练集较少,但存在风格图片单一,同质化严重的问题。针对该问题,本文提出了如下改进方法:

(1)快速风格迁移通常使用单张目标图片,本质是使用该图片提取的特征(features)。本方法使用同类地形的数据集,从包括多张图片的数据集中提取高频特征并储存,在训练过程中直接加载特征矩阵参与计算 Loss,不再使用风格图片。

(2)对于面积较大的地形,采用分区方式生成,并根据地形特点对分区添加平原、山地、丘陵等分类标签。通过对每种分类选用不同的数据集进行训练,在分区生成时选择标签对应的变换网络进行风格迁移,实现差异化的生成效果。

如图3所示,本方法对原快速风格迁移方法进行了修改,使用了基于风格数据集的特征数据提取方法,代替了目标风格图像。为了保证地形生成效果,图3中的风格提取算法需要输出最优特征矩阵。通过对数据集中的图像计算 Gram 矩阵,并两两计算均方差 Loss,可以定量反映图像与数据集整体风格的相似程度。图像 Loss 越低,表面图像风格与数据集整体风格符合程度越高,可以选取 Loss 低于指定值的特征数据,加权后输出优质的特征矩阵。

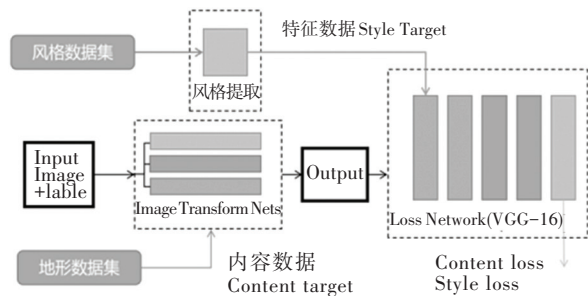


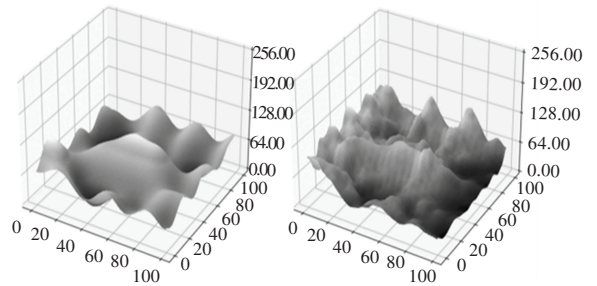
图3 改进后的快速风格迁移模型

Fig. 3 Modified fast style transfer model

噪声生成+真实低清晰度高程图两类数据混搭训练。风格数据集应当选用高清晰度的地形数据,并按照设置的地形标签分类训练。

训练完成后,在使用 Image Transform Net 生成时,输入数据由基础地形图与地形标签两部分构成。标签标记了地形区块的类别,如平原、丘陵等不同风格,指示了需要使用的变换网络。标签可以采用 VGG-16 模型中的 Softmax 预测层进行图像分类,判断所属的类别。但该方法效率很低,实际生成时可以通过采样计算地形图梯度、平均高程等简便方式判断类别。

图4展示了“山地”风格的迁移效果,在图4(a)地形的基础上生成的图4(b)迁移地形具有更好的细节特征。



(a) 基础地形 (b) 风格迁移地形

图4 基础地形与风格迁移后的地形

Fig. 4 Basic terrain and transferred terrain

### 3.3 地形后处理

对于较大的地图,由于风格迁移时采取了分区处理方式,可能存在过渡不平滑的情况。此外,快速风格迁移效果受到多种情况影响,高程图经过风格迁移后可能产生噪点,因此后处理过程中可以对生成的图像适当降噪。

在平滑区块过渡时,本方法采用了偏置的高斯滤波(Gauss Filter)算法。高斯滤波是一种线性平滑滤波,该算法在目标的邻域窗口内,用高斯函数进行加权平均,达到平滑去噪效果,计算如式(3)所示:

$$X, Y \sim BVN(\mu_x, \mu_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \rho_{xy}) \quad (3)$$

该分布为二维正态分布,其中 $\mu, \sigma$ 为邻域窗口内各方向的期望与标准差, $\rho$ 参数表征了方向之间的相关程度。

本方法中地形差异主要出现在垂直于区块边界的方向,所以需要提高垂直方向的标准差 $\sigma$ ,以实现较好的平滑效果。

图5展示了两个不同区块边界的过渡情况,经过滤波处理后,地形可以实现从丘陵到左上角平原区块的平滑过渡。

进行模型训练时,地形数据集可以采用 Perlin

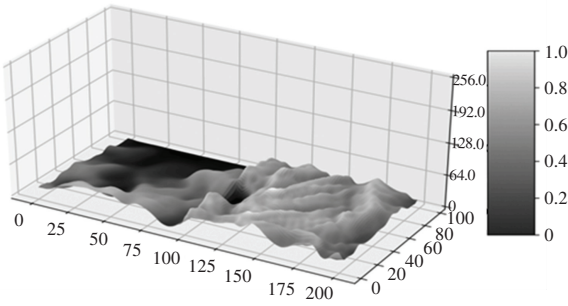


图 5 区块间平滑过渡

Fig. 5 Smooth Transition Between Blocks

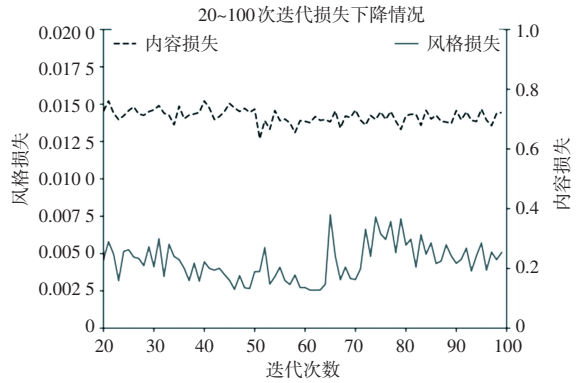


图 7 迭代损失情况 (20-100 Epoch)

Fig. 7 Loss progression (20-100Epoch)

### 4 实验结果与分析

实验训练及运行环境见表 1。

表 1 实验测试运行环境

Table 1 Experimental requirements

硬件配置	型号	软件环境	软件版本
CPU	AMDR7-4800H	操作系统	Windows11
GPU	NvidiaRTX2060	编程语言	Python3.10
内存	16 GB	其他	Pytorch2.10+ CUDA11.0+cuDNN8.0

#### 4.1 模型训练

根据上文方法,从 Earthdata 数据开放平台采集 100 \* 100 真实地形图,分类后构成数据集。地形数据集包括约 6 000 张高程图,由随机地形图和真实地形图混合组成。

训练时的归一化损失下降情况:图 6 展示了在前 20 次迭代过程中风格损失快速下降。由于本方法中虚拟地形图对于内容损失的要求不高,设置的参数下内容损失权重较小,内容损失短暂下降后进入小范围波动,维持在一个较高的水平。图 7 展示了 20 次后的迭代过程中两类损失基本不再下降,但是在此后的 Epoch 中实际迁移效果仍会得到改善,可以适当延长训练。

#### 4.2 生成质量与效率分析

由于风格化难以有定量的实验值作为评价,其好坏的评价受个人主观因素的影响。大多数的研究人员都是采用与其他实验结果进行对比来作为评价方法<sup>[11]</sup>。图像显著性检测 (Salient Object Detection)<sup>[12]</sup>、峰值信噪比 (PSNR) 与结构相似性 (SSIM) 等,是风格化图像常用的评价标准,本文采用 PSNR 与 SSIM 作为地形生成质量的度量方法。

根据上述思路,从原数据集与生成的地形中随机选取样本,按照相同风格真实地形图、生成地形与目标风格的真实地形图、生成地形与非目标风格的真实地形图、不同风格真实地形图 4 个类别计算平均 PSNR 与 SSIM。

根据表 2 信息观察可知,生成的虚拟地形与目标风格的真实地形之间 PSNR 达到 12.95, SSIM 值接近真实地形之间的数值水平,可以认为生成的虚拟地形具有同类真实地形的风格特点。PSNR 侧重于图像的微观结构,而 SSIM 综合了亮度、对比度和结构 3 个方面的差异,因此宏观地形的不同会对 SSIM 产生影响,故表中 SSIM 值存在差异但是差值不大。

表 2 地形生成质量分析

Table 2 Analysis of terrain generation quality

高程图	PSNR	SSIM
同风格真实地形	14.12	0.24
生成地形-目标风格	12.95	0.21
生成地形-非目标风格	10.62	0.16
不同风格真实地形	10.20	0.17

表 3 展示了本方法与传统 Perlin 噪声多次叠生成地形的算法的效率对比,其中噪声叠加算法采用 3 种不同参数的 Perlin 噪声组合生成地形图。本方法相较传统方法生成地图细节更加丰富真实,而增加时间开销很少,响应速度快,在网络游戏、虚拟现实等高实时性需求中具有一定的实用价值。

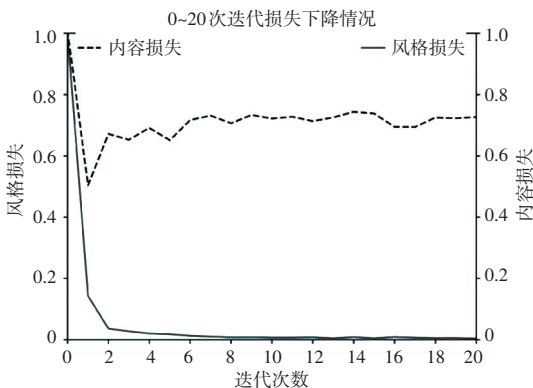


图 6 迭代损失情况 (0-20 Epoch)

Fig. 6 Loss progression (0-20Epoch)

表3 地形生成算法效率对比

Table 3 Efficiency comparison of terrain generation algorithms

生成数量	噪声+风格迁移/s	Perlin 噪声叠加/s
50	2.34	1.76
100	4.67	3.82
200	9.38	7.42

## 5 结束语

针对传统 Perlin 噪声地形生成方法的诸多问题,本文提出了一种快速风格迁移与 Perlin 噪声相结合的生成方法,对噪声生成的基础地形分区进行快速风格迁移,再通过后期处理保证区块的平滑过渡,并添加去噪等后期效果,可以生成具有较好细节与特定风格的地形,在丰富地形细节提高地形真实性的同时,保证了生成的快速高效,具有较好的使用价值。

本方法也存在一些不足,如训练模型时特征提取的效果不够稳定,可以考虑采取条件归一化网络<sup>[13]</sup>或单模型多风格快速风格迁移方法进行改进<sup>[11]</sup>。

## 参考文献

- [1] PERLINK K. An image synthesizer [J]. Computer Graphics, 1985, 19(3):287-296.
- [2] MILLER, GAVIN S P. The Definition and Rendering of Terrain

- Maps[J]. Computer Graphics, 1986, 20(4):39-48.
- [3] 苏奇. 基于深度学习的地形生成方法研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2021.
- [4] LECUN Y, JACKEL L, BOTTOU L, et al. Comparison of learning algorithms for handwritten digit recognition [C]//International conference on artificial neural networks, 1995, 60(1):53-60.
- [5] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition [J]. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
- [6] 孙劲光,刘鑫松. 基于残差式神经网络的局部风格迁移方法[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(8):120-127.
- [7] JOHNSON J, ALAHI A, FEI-FEI L. Perceptual Losses for Real-Time Style Transfer and Super-Resolution[C]//ECCV. Springer International Publishing, 2016:694-711.
- [8] SHEN F, ZENG G. Weighted Residuals for VeryDeepNetworks. [J]. arXiv preprint arXiv:1605.08831, 2016.
- [9] KE Z, MIAO S, X. T H, et al. Residual networks of residual networks; Multilevel residual networks[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 28(6):12.
- [10] 薛楠,段锦,张兵,等. 基于残差网络的快速图像风格迁移研究[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(12):201-208.
- [11] 朱佳宝,张建勋,陈虹伶. 一种单模型多风格快速风格迁移方法[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(12):201-206.
- [12] BORJI A, CHENG M, HOU Q, et al. Salient object detection: A survey[J]. Computational Visual Media, 2019, 5(2):1.
- [13] 陈良. 图片风格融合及快速迁移[J]. 软件工程, 2021, 24(1):21-25.

(上接第203页)

## 参考文献

- [1] 王昊,吴功平,刘中云,等. 基于自适应 Canny 边缘检测的输电导线检测算法[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2020, 23(6):45-52.
- [2] 夏斌,张红阳,李冶,等. 基于无人机图像的输电线自动提取技术[J]. 电子器件, 2021, 44(6):1457-1462.
- [3] 赖尚祥,杨忠,韩家明,等. 一种多信息级联聚类输电线检测方法[J]. 应用科技, 2020, 47(5):86-93.
- [4] 李静,陈桂芬,丁小奇. 基于改进 Canny 算法的图像边缘检测方法研究[J]. 计算机仿真, 2021, 38(4):371-375.
- [5] 徐武,张强,王欣达,等. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测方法[J]. 激光杂志, 2022, 43(4):103-108.
- [6] 余波,吴静,周琦宾. 一种基于改进 Canny 算子的边缘检测算法[J]. 制造业自动化, 2022, 44(8):24-26, 43.
- [7] 张加朋,于凤芹. 基于 Canny 算子改进的影像测量边缘检测[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24):258-265.
- [8] 周利军,李杰,权圣威等. 基于改进 Canny 算法与深度残差网络的车顶绝缘子憎水性识别方法[J/OL]. 高电压技术:1-10 [2023-10-30]. <https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20220579>.
- [9] 丁鹏,张叶,刘让,等. 结合形态学和 Canny 算法的红外弱小目标检测[J]. 液晶与显示, 2016, 31(8):793-800.
- [10] 李长有,陈国玺,丁云晋. 改进 Canny 算子的边缘检测算法[J]. 小型微型计算机系统, 2020, 41(8):1758-1762.
- [11] 张晨阳,曹艳华,杨晓忠. 一种基于改进 Canny 算法的图像边缘

- 检测新方法[J]. 计算机仿真, 2023, 40(7):382-386.
- [12] 李一波,刘佰仑. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法[J]. 科学技术创新, 2022(2):93-96.
- [13] YU Xiaokang, WANG Zhiwen, WANG Yuhang, et al. Edge detection of agricultural products based on morphologically improved canny algorithm [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 3(2021):1-10.
- [14] 周小军,谭薇. 一种改进 Canny 算子芯片图像边缘检测方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(4):91-94.
- [15] 沈卫东,李文韬,刘娟,等. 基于改进 Canny 边缘检测的指针式仪表自动读数算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(2):60-66.
- [16] 张宇延,王宗彦,王曦,等. 改进 K-means 聚类算法的自适应 Canny 算子工作边缘检测[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(5):1-5.
- [17] WANG Rui, WEI Lisheng, LIU Xiaohui. Packaging bag edge detection based on improved canny algorithm [C]//Proceedings of the 34<sup>th</sup> Chinese Control and Decision Conference. 2022:710-715.
- [18] 李磊,李英娜,赵振刚. 基于改进 Canny 算子的输电导线图像边缘检测[J]. 电力科学与工程, 2021, 37(12):19-27.
- [19] 黄梦涛,连一鑫. 基于改进 Canny 算子的锂电池极片表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(10):199-209.
- [20] 王敏,洪涛. 一种基于 Schar 算子改进的图像边缘检测方法: CN110728692A [P]. 2020-01-24.
- [21] 张杰兰,洪涛,陈中一. 基于酒店监控图像的边缘检测算法研究[J]. 中国标准化, 2020(7):241-248.
- [22] 汤旻安,王晨雨. 基于改进 Canny 算法与 Hough 变换的轨道图像边缘检测[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(8):60-64.