

doi: 10.7690/bgzdh.2025.09.006

基于多尺度滤波的图像多频细节特征增强方法

王 禾

(浙江长征职业技术学院计算机与信息技术学院, 杭州 310024)

摘要: 为了提高图像的视觉效果和细节表现力, 提出基于多尺度滤波的图像多频细节特征增强方法。对图像实施灰度变换和去噪, 利用双边滤波器对预处理后的图像进行多尺度分层, 分为低频背景层图像和高频细节层图像, 涵盖从轮廓到纹理的多频细节特征。对 2 个尺度的图像增强处理, 通过融合方法将二者融合, 得到完整的细节增强后的图像。实验结果表明: 该方法的信息熵和平均梯度数据较高, 信息熵 5.969 5 bit, 平均梯度 0.022 5, 在多频细节特征提取和增强方面表现出较好的性能, 在细节信息的丰富度和细节边缘的清晰度具有优势。

关键词: 多尺度滤波; 图像; 预处理; 多频细节特征增强; 尺度分层

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Image Multi-frequency Detail Feature Enhancement Method Based on Multi-scale Filtering

Wang He

(Zhejiang Changzheng Vocational and Technical College, School of Computer and
Information Technology, Hangzhou 310024, China)

Abstract: In order to improve the visual effect and detail expression of the image, a method of image multi-frequency detail feature enhancement based on multi-scale filtering is proposed. The gray level transformation and denoising are applied to the image, and the bilateral filter is used to divide the preprocessed image into a low-frequency background layer image and a high-frequency detail layer image, covering the multi-frequency detail features from contour to texture. For the image enhancement processing of two scales, the two are fused by the fusion method, and the complete detail enhanced image is obtained. The experimental results show that the information entropy and the average gradient data of this method are higher, the information entropy is 5.969 5 bit, and the average gradient is 0.022 5. It exhibits good performance in multi-frequency detail feature extraction and enhancement, and has advantages in the richness of detail information and the clarity of detail edge.

Keywords: multi-scale filtering; images; preprocessing; multi frequency detail feature enhancement; multi-scale layering

0 引言

细节特征是图像真实感与表现力的核心决定因素, 对视觉效果至关重要^[1]。目前, 相关研究已形成多元路径: Feng 等^[2]基于深度卷积神经网络, 通过预处理与卷积层实现纳米复合材料图像的细节重建; Yang 等^[3]设计双路径生成对抗网络, 结合超分辨率子网络与特征前向网络完成低照度图像细节提取与细化; 路陆等^[4]采用自适应引导滤波分层处理图像, 经背景基图与细节图层优化叠加获得结果; 陈星等^[5]则以加权最小二乘法细化暗通道图像, 提升细节精度。在此基础上, 笔者探索基于多尺度滤波的图像多频细节特征增强方法, 旨在改善图像质量与视觉效果。

1 图像细节特征增强方法

1.1 图像预处理

预处理是图像多频细节特征增强的关键步骤之一, 能够提高后续处理的精度和效率, 为最终的图像制作提供更好的基础^[6]。

1) 灰度变换。图像的色彩空间分布复杂, 数字化过程中可能掩盖暗部区域的细节特征, 导致图像色彩过渡生硬。灰度变换可作为常用的图像预处理技术, 调整图像中像素的灰度值, 转换复杂的色彩信息为统一的灰度表示, 改善图像暗区域的视觉效果, 突出暗区域的图像细节, 实现图像的对比度增强^[7], 使得图像在后续处理中更易于提取特征。灰度变换函数形式如下:

收稿日期: 2024-09-10; 修回日期: 2024-10-15

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LR22F020002); 国家艺术基金(2024-A-04-099-492); 浙江省高等学校访问工程师校企合作项目(FG2023293)

第一作者: 王 禾(1980—), 女, 浙江人, 硕士。

$$A(i, j) = (2^m - 1) \cdot \left[\frac{1}{2^n - 1} \cdot A'(i, j) \right]^\gamma. \quad (1)$$

式中： $A(i, j)$ 为灰度变换后图像的像素点灰度值； $A'(i, j)$ 为输入原始图像像素点的灰度值； m 为原始图像 $A'(i, j)$ 的位数； n 为灰度变换后图像 $A(i, j)$ 的位数； γ 为伽马系数。

灰度变换通过调整图像像素的灰度值来改善图像的对比度和亮度，从而为图像去噪提供更清晰的基础。

2) 图像去噪。由于在拍摄、传输以及显示过程中，图像不可避免地会受到噪声的干扰^[8]。生成网络负责生成伪去噪图像，而判别网络则负责判断生成的图像是否真实。通过不断的训练和优化，生成网络可以逐渐学习到有效的去噪策略，以达到提高图像质量的目的^[9]，图像去噪模型如图1所示。

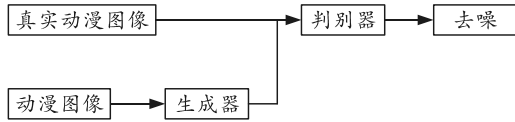


图1 图像去噪模型

在训练过程中，生成网络与判别网络经对抗训练优化损失函数，提升生成图像质量；灰度变换通过调整像素灰度值优化对比度和亮度，为去噪奠定基础，基于所得到的像素点灰度值，将其输入到图像去噪模型中，消除在图像获取和传输过程中产生的噪声，进一步提升图像的清晰度和质量。损失函数表达式如下：

$$\min_G \text{loss}(G, D) = A(i, j) B_{\hat{x}-\hat{P}}[D(\hat{x})] + B_{x-P}[\log(1 - D(G(x)))]. \quad (2)$$

式中： G 为生成器； D 为判别器； $\hat{x}$ 为生成器生成的伪去噪图像； x 为真实去噪图像； $\hat{P}$ 为伪去噪图像的像素样本分布； P 为真实去噪图像的像素样本分布； $\text{loss}(G, D)$ 为损失函数。

经过灰度变换和去噪处理，改善图像的对比度和亮度，减少干扰，提高图像质量。

1.2 基于多尺度滤波的图像分层

图像频率域分布复杂，直接压缩增强易在提升整体对比度时，对局部尤其是低像素灰度值对应的细节造成不可逆损伤。图像分层可将原始图像分解为含基本结构的低频背景层与含细节纹理的高频细节层；多尺度滤波分层借助双边滤波器实现图像双尺度精确分离处理，能有效增强多频细节特征^[10]。

双边滤波器的定义如下：

$$F(i, j) = \frac{\sum_{(i, j) \in \psi_{i, j}} \psi(i - \hat{i}, j - \hat{j}) \cdot f(\hat{i}, \hat{j})}{\sum_{(i, j) \in \psi_{i, j}} \psi(i - \hat{i}, j - \hat{j}) \cdot \xi[f(i, j), f(\hat{i}, \hat{j})]}. \quad (3)$$

式中：

$$\psi(i - \hat{i}, j - \hat{j}) = \exp \left\{ -\frac{(i - \hat{i})^2 + (j - \hat{j})^2}{2g_\psi^2} \right\}; \quad (4)$$

$$\xi[f(i, j), f(\hat{i}, \hat{j})] = \exp \left\{ -\frac{[f(\hat{i}, \hat{j}) - f(i, j)]^2}{2g_\xi^2} \right\}. \quad (5)$$

式中： (i, j) 为滤波窗口中心点的像素坐标； $(\hat{i}, \hat{j})$ 为与 (i, j) 相邻的坐标位置； $f(i, j)$ 为待滤波的输入图像，代表坐标 (i, j) 像素点的灰度值； $f(\hat{i}, \hat{j})$ 为相邻坐标 $(\hat{i}, \hat{j})$ 像素点的灰度值； $F(i, j)$ 为双边滤波后的输出图像，代表坐标 (i, j) 处像素点处理后的灰度值； $\psi(i - \hat{i}, j - \hat{j})$ 为空间邻近函数； $\xi[f(i, j), f(\hat{i}, \hat{j})]$ 为灰度相似函数； g_ψ 为空间距离的标准方差； g_ξ 为灰度差值的标准方差。

利用双边滤波器进行图像多尺度分层具体过程如下：1) 从图像的起始位置开始，将双边滤波器作为处理工具；2) 将滤波器放置在图像的第一行（最顶部的一行），并对该行的每个像素点应用滤波器，滤波器对每个像素点的邻近区域进行加权平均，并根据权重计算输出像素值^[11]；3) 将滤波器向下移动一行，对第二行的像素点应用滤波器。重复这个过程，直到处理完整个图像。上述双边滤波器处理后得到的输出图像 $F(i, j)$ 是分离出的低频背景层图像，按照下述公式计算出高频细节层图像：

$$Q(i, j) = f(i, j) - F(i, j). \quad (6)$$

式中 $Q(i, j)$ 为高频细节层图像。

通过以上步骤，实现图像的多尺度分层处理。

1.3 图像细节增强

1) 低频背景层图像增强处理。由于低频图像信息都是背景信息，这些信息在图像中占据较大的区域，包含大范围的灰度变化。考虑到图像背景对营造氛围的重要性，需要在保持整体基调的同时，适度增强以更好地衬托前景元素^[12]。线性变换是一种基本的图像处理技术，通过变换可以将低频图像信息的亮度范围进行调整，使其更好地突出目标与背景之间的差异。低频背景层图像增强处理公式如下：

$$S(i, j) = \begin{cases} 0, & F(i, j) \leq L_{\min} \\ \frac{[F(i, j) - L_{\min}] 255}{L_{\max} - L_{\min}}, & L_{\min} < F(i, j) < \max \\ 255, & F(i, j) \geq L_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

式中： $S(i, j)$ 为增强后的低频背景层图像； $L_{\max}$ 、 $L_{\min}$ 分别为灰度级范围的最大值、最小值。

2) 高频细节层图像增强处理。高频信息主要包括图像的细节和纹理等多频细节特征，它们决定图像的清晰度和辨识度。为此，进行高频细节层图像增强处理研究。将高频细节层图像的灰度级别转换到一个统一的范围内，即：

$$U(i, j) = \frac{Q(i, j) - \min(i, j)}{\max(i, j) - \min(i, j)} \quad (8)$$

式中： $U(i, j)$ 为归一化处理后的低频细节层图像像素点 (i, j) 处的灰度值； $\max(i, j)$ 、 $\min(i, j)$ 分别为灰度的最大值、最小值。

针对 $Q(i, j)$ ，进行增强处理，即：

$$Y(i, j) = \begin{cases} \frac{255}{2} \cdot \frac{k^{U(i, j)} - 1}{k^{1/2} - 1}, & 0 \leq U(i, j) \leq \frac{1}{2} \\ \frac{255}{2} \left[\frac{1}{k^{1/2} - 1} (1 - k^{1-U(i, j)}) \right], & \frac{1}{2} \leq U(i, j) \leq 1 \end{cases} \quad (9)$$

式中： k 为可控制函数的斜率； $Y(i, j)$ 为增强后的高频细节层图像。

3) 图像融合。将增强后的低频背景层图像与增强后的高频细节层图像进行图像融合，得到完整的细节增强后的图像。融合公式如下：

$$H(i, j) = S(i, j) + \frac{V(i, j)}{E(i, j)} \cdot Y(i, j) + Y(i, j) \quad (10)$$

式中 $V(i, j)$ 、 $E(i, j)$ 分别为像素点的局部方差、全局方差。通过 $V(i, j)$ 、 $E(i, j)$ 的调整，平衡低频和高频信息，确保图像达到最佳的视觉效果。

2 测试实验

2.1 实验设置

给出本文中的硬件环境和软件环境，具体设置如表 1 所示。

表 1 实验环境设置

硬件环境	软件环境
处理器：Intel Core i7-10700K	操作系统：Windows 10 Pro
内存：32GB DDR4	编程语言：Python 3.8
GPU：NVIDIA GeForce RTX 3080	图像处理库：OpenCV 4.5.1, NumPy 1.19.5, SciPy 1.5.4
存储：1TB SSD	灰度化软件：OpenCV

实验方法的具体参数设置如下：

- 1) 设置高斯滤波参数去噪：核 5×5 ，标准差 1.0；
- 2) 双边滤波参数：空间邻近度 9，颜色相似度 75，空间邻近度 75；
- 3) 高频细节层增强因子：根据图像具体情况调整，设置为 1.5；
- 4) 低频背景层增强方法：对比度拉伸，对比度增强系数 1.2；
- 5) 灰度化处理：使用 OpenCV 的 `cv2.cvtColor()` 函数将图像转换为灰度图。

2.2 图像样本

笔者从实验样本库随机选取高清蓝天白云图像，经模糊化处理后作为测试样本。该图像样本如图 2 所示。

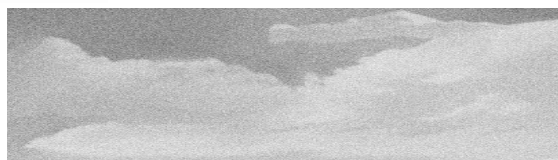
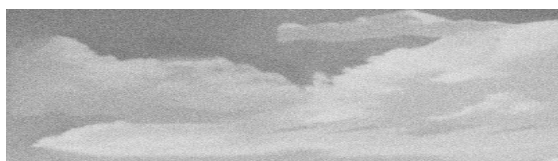


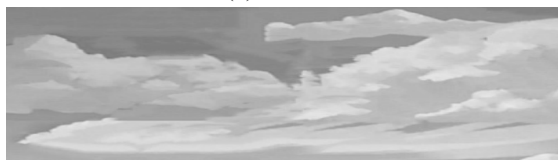
图 2 图像样本

2.3 图像预处理结果

基于 1.1 节研究，先后对图 2 图像样本进行灰度化和去噪处理，结果如图 3 所示。



(a) 灰度化



(b) 去噪

图 3 图像预处理结果

从图 3 中可以看出：经过预处理后，图像中颜色和噪声点消失，在一定程度上变得清晰。

2.4 图像分层与增强

利用双边滤波器通过图像分层，可以将原始图像分解为低频和高频 2 部分，其中高频细节层图像如图 4 所示。



图 4 高频细节层图像

从图 4 中可以看出：经过分解，高频部分云朵的轮廓以及纹理部分的多频细节特征得以明显的展示处理。

利用 1.3 节研究，对低频背景层图像和高频细节层图像进行增强处理，然后融合到一起，得到完整的细节增强后的图像，如图 5 所示。



图 5 图像细节特征增强结果

从图 5 中可以看出：经过增强后，图像的多频细节特征得到显著提升。原本模糊不清或被忽略的多频细节特征，如云层的纹理、天空中的光影效果等，经过增强处理后变得更加清晰和突出，原本被压缩或丢失的细节层次被重新展现，使得图像更加丰富和细腻。

2.5 增强效果对比分析

为进一步验证本文中方法的增强效果，使用批量处理程序处理本文中实验样本库中的 100 幅图像，依次执行灰度化、图像去噪、多尺度分层、增强处理和融合操作，并计算相应的信息熵、平均梯度和峰值信噪比，结果如表 2 所示。

表 2 增强效果对比表

方法	信息熵/bit	平均梯度	峰值信噪比/dB
本文中方法	5.969 5	0.022 5	50.34
文献[3]方法	3.652 5	0.009 5	42.89
文献[4]方法	4.512 4	0.015 2	46.12
文献[5]方法	4.120 4	0.008 5	44.98

从表 2 中可以看出：本文中方法的信息熵值为 5.969 5 bit，平均梯度值为 0.022 5，峰值信噪比为 50.34 dB，综上所述，本文中方法在细节特征提取和增强方面表现出较好的性能，相比其他文献方法取得了较好的效果。

3 结束语

笔者提出的基于多尺度滤波的图像细节增强方

法，可显著强化多频细节特征并提升视觉效果。该研究尚存局限，未来将拓展该滤波方法的应用场景，探索更优细节增强算法，进一步优化图像处理性能与效果。

参考文献：

[1] 张姣, 张毅. 机器视觉图像边缘细节无序增强算法研究[J]. 计算机仿真, 2023, 40(8): 211-214, 239.

[2] FENG Z W, YAN K. Image detail enhancement of nanocomposites based on deep convolution neural networks[J]. Ferroelectrics, 2023, 610(1): 28-40.

[3] YANG S L, ZHOU D M. Single Image Low-Light Enhancement via a Dual-Path Generative Adversarial Network[J]. Circuits, Systems, and Signal Processing, 2023, 42(7): 4221-4237.

[4] 路陆, 姜鑫, 杨锦程, 等. 基于自适应引导滤波的红外图像细节增强[J]. 液晶与显示, 2022, 37(9): 1182-1189.

[5] 陈星, 余杭, 杨林, 等. 基于加权最小二乘法的细节增强去雾方法[J]. 北京理工大学学报, 2023, 43(8): 803-811.

[6] 杨晶晶, 欧冰, 李海. 基于单尺度 Retinex 的电路板刀具磨损图像细节增强方法[J]. 工具技术, 2022, 56(6): 117-120.

[7] 张博龙, 刘星, 水晨. 基于引导滤波图像分层的红外烟尘图像增强[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42(4): 49-55.

[8] 孙小迎, 邹群艳. 多尺度细节增强与自适应 γ 变换的图像增强[J]. 无线电工程, 2023, 53(6): 1262-1268.

[9] 罗国强. Gamma 变换与多尺度细节增强的红外图像增强[J]. 激光与红外, 2023, 53(2): 253-260.

[10] 王媛彬, 李媛媛, 齐景锋, 等. 基于引导滤波的多尺度自适应矿井低质图像增强方法[J]. 西安科技大学学报, 2022, 42(6): 1214-1223.

[11] 陈清江, 顾媛. 基于多尺度深度可分离卷积的低照度图像增强算法[J]. 计算机工程与科学, 2023, 45(10): 1830-1837.

[12] 许丽, 陆桂明, 邱贞光. 结合细节信息的自适应 Retinex 算法水图像增强[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(11): 224-233.