

基于暗区特征引导的高灰阶图像增强方法

山笑珂^{1*}

SHAN Xiaoke

摘要

在高灰阶图像增强过程中,容易混入大量噪声,导致一些重要细节的丢失或模糊,为解决该问题,文章研究并提出了一种基于暗区特征引导的高灰阶图像增强方法。通过构建基于暗区特征引导的高灰阶图像增强网络,对图像进行噪声抑制处理,同时有效保留细节信息,进而准确获取暗区特征。根据暗区特征的提取结果,对图像中的暗区进行增强处理,采用直方图均衡化的方法,通过调整图像的色彩分布,使暗区的灰度级得到扩展,从而增加其亮度。实验结果表明,经直方图均衡化处理之后,增强了图像的对比度,有效控制了图像的曝光程度,确保了图像中各个部分的细节得以保留;图像中的色彩度结果在26~28之间,使得图像更加清晰明了,色彩更加鲜艳,增强效果更加符合实际需求。

关键词

暗区特征引导;高灰阶;图像增强;灰度级;直方图均衡化

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.05.003

0 引言

灰阶即将最亮与最暗之间的亮度变化区分为若干份,以便于进行信号输入相对应的屏幕亮度管控。在图像形成的过程中,会受到多种因素的影响,如光照不均匀、噪声污染等,这些都会降低图像的质量。通过增强处理,可以提高图像的清晰度,改善其视觉效果。为此,需要研究一种有效的高灰阶图像增强方法。

在分析过程中,文献[1]使用引导滤波来估计光照图像,以减少光晕现象并提高色彩保持能力。对反射图像进行对比度增强处理,以提高图像的视觉效果。当图像分辨率较高时,计算量会显著增加。文献[2]根据区域特性测量的大量整合规则,对亮度分量的高频分量和低频分量进行整合。对整合后的亮度分量进行变换,得到增强的亮度分量。在某些特定场景下,其增强效果可能受到限制。

因此现阶段,以高灰阶图像增强方法为研究对象,基于暗区特征引导,结合实际情况对其展开实验和分析。

1 高灰阶图像增强方法

1.1 高灰阶图像暗区特征提取

在图像增强过程中,存在一个实际问题就是图像分解过程中反射分量容易混入大量噪声。为了解决该问题,设定根据暗区特征引导的高灰阶图像增强网络^[3]。在此过程中,选

择暗区特征提取子网络来精确识别高灰阶图像中的暗区。利用简单迭代算法提取高灰阶图像的亮度分布图,然后通过编解码结构进一步提取暗区特征。该过程表示为:

$$s_l = \text{VAN}(R \times L) \quad (1)$$

式中: L 为照明调节权重; VAN 为暗区特征提取子网; R 为暗区特征图。

在此过程中存在较大误差,为了更有效地抑制图像分解过程中产生的噪声,同时确保图像细节的完整保留,设计了一个运用特征校正技术的分解子网络。该网络融合了坐标注意力和通道注意力两种先进的注意力机制,更加高效地实现对特征图中噪声的精准抑制与有效过滤。不仅增强了网络对关键信息的捕捉能力,还显著提升了其在复杂场景下的准确性。在分解子网络的初始处理阶段,输入图像,通过获取的暗区特征图送入一个设计的 4×4 卷积层中。这个卷积层利用自身的小尺寸卷积核,对输入数据进行初步特征提取^[4]。通过这一步骤,网络能够从原始图像和暗区特征图中捕捉到丰富的特征信息。则该过程表示为:

$$F = \text{Con}(s_l, R) \quad (2)$$

式中: Con 为卷积操作; s_l 为高灰阶图像。

利用CA模块对初步特征图中的噪点进行高效的抑制,通过对特征图中每个具体位置进行权重计算,实现了对噪点密集区域的精准削弱,从而有效提升了整体特征图的质量。具体而言,CA模块首先会分析特征图的空间维度,以捕捉不同位置上的特征变化。并引入坐标信息,使得每个特征点都能根据其所在位置获得一个独特的权重。这一权重反映了

1. 河南科技大学应用工程学院 河南三门峡 472000

[基金项目] 河南省教育科学规划 2025 年度重点课题“生成式人工智能教育应用的伦理风险治理研究”(2025JKZD08)

该位置特征对于整体图像理解的贡献度，以及是否可能是一个噪点。在计算权重的过程中，CA 模块会利用一系列非线性变换，来评估每个位置特征的重要性。通过这一机制，部分与周围特征差异显著，且极有可能是噪点的位置会被赋予较低的权重，从而在后续的特征融合或处理过程中被有效抑制。相反，部分对图像整体结构贡献较大的特征点则会获得更高的权重，得以保留并强化。其加权处理的公式为：

$$F_A = AFw \quad (3)$$

式中： w 为位置权重； A 为 CA 模块。

为更深入地抑制特征中的噪声，引入两个通道权重调整模块。CWA 模块通过更深层次的特征提取和 SE 机制，对每个通道中的噪声水平进行精确分析，并据此校正相关特征，以实现噪声的有效抑制。该过程可以表示为：

$$\begin{aligned} F_{A1} &= CWA_1(F_A) \\ F_{A2} &= CWA_2(F_{A1}) \end{aligned} \quad (4)$$

式中：CWA 为 CWA 模块。

最后，网络利用一个残差块和上述提出的卷积层，从经过特征校正的特征空间中投影出反射分量和照明分量^[5]。残差块进一步增强网络的细节保留能力，确保在抑制噪声的同时，图像的关键细节得以完整保留，从而完成暗区特征提取。其提取公式为：

$$(E, I) = \text{Con}[\text{block}(F_{A2})] \quad (5)$$

式中：block 为残差块； E 为反射分量； I 为照明分量。

通过上述方法，本文提出的基于暗区特征引导的网络不仅能够高灰阶条件下对图像进行噪声抑制，还能够保留图像的细节信息以此来获取暗区特征。

1.2 直方图均衡化暗区增强处理

根据暗区特征的提取结果，对图像中的暗区进行增强处理^[6]。采用直方图均衡化的方法，通过调整图像的色彩分布，使暗区的灰度级得到扩展，从而增加其亮度。首先将图像转换到色彩空间中，对明度分量 V 进行分解，得到光照图像和反射图像^[7]。为改善光照图像，进而增强明度分量，需要计算直方图均值和标准差，其反映了直方图频次的中心趋势和衡量了直方图频次分布的离散程度^[8]。在进行平台直方图均衡化时，需要设定起始阈值 T_1 、 T_2 来区分需要增强和保持的频次范围，其公式为：

$$\begin{aligned} T_1 &= \mu - \varepsilon \\ T_2 &= \mu + \varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

式中： μ 为均值； ε 为标准差。

同时，对于直方图中 $< T_1$ 和 $> T_2$ 的频次进行加权处理^[9]。设定当前的直方图频次 $h(i)$ ，则经过加权处理后得到频次结果为：

$$h = \{h(i) | h(i) = c(i) \times h(i)\} \quad (7)$$

式中： $c(i)$ 为加权系数。通过比较 $h(i)$ 和 T_1 、 T_2 之间的关系，可以确定加权系数的大小，从而实现对频次值的拉伸或压缩^[10]。

根据上述计算，可以实现对图像细节进行保护的作用。对于频次较小的图像细节（即 $< T_1$ 的频次），加权系数较大，可以拉伸其频次值，从而增强细节信息。对于频次较大的图像背景（即 $> T_2$ 的频次），加权系数较小，可以压缩其频次值，从而避免过增强和放大噪声^[11-13]。同时，在图像处理中，为了改善光照条件并增强图像的明度分量，对加权后的直方图进行均衡处理。使用均衡化后的直方图 G ，将原始光照图像中的每个灰度级 i 映射到一个新的灰度级，这样可以得到经过映射后的光照图像 $\ln M$ ，其映射后的光照图像表示为：

$$\ln M = \{\ln M(i) | \ln M(i) = \text{round}[h(i) \times (K-1)]\} \quad (8)$$

式中： K 为最大灰度级。

最后，将经灰度级映射^[14-16]的光照图像 $\ln M$ 与反射图像 H 结合，保留了反射图像中的细节，同时增强了光照图像中的亮度。根据等价变换得到增强的明度分量 V_R ，其公式为：

$$V_R = \exp(\ln M + \ln H) \quad (9)$$

式中： V_R 为明度分量。

将增强的明度分量 V_R 与色调和饱和度一起转回到 RGB 色彩空间中，得到最终的增强图像。通过上述方法，可以有效地改善光照图像，并增强图像的明度分量，同时保留原始图像中的重要信息和细节。从而实现对高灰阶图像的增强，有效抑制反射分量中的噪声，获得更为完善的图像。

2 实验测试与分析

2.1 搭建实验环境

为验证本文图像增强方法的有效性，特别是具有局部极暗区域的高灰阶图像上的增强效果，选择了当前主流的数据集作为测试集。这些测试集分别包含 300 张具有暗区域的真实图像。在实验设置方面，硬件环境配置为：Intel CPU，50 GB 内存。实验在 Ubuntu 操作系统上进行，具体实验环境图如图 1 所示。

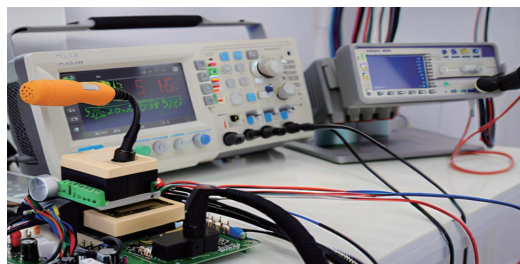


图 1 实验室测试环境图

同时，为进一步验证图像上的增强效果，选取了使用数据集进行训练。其中，通过改变曝光时间获取了不同光照的图像数据。在训练时，采用了 Adam 优化器，训练迭代次数为 120，批量为 10。将原始图像通过转换形成分布均匀的直方图，并且在原始图像中，将灰度相似的区域进行扩大，得到更大的灰度范围，并在软件中进行均匀分布地显示。同时调整图像范围，增加整个图像的对比度，使得细节更加清晰。

2.2 结果与分析

为验证本文方法的增强效果，设定原始图像在 (x,y) 处的灰度值，当遇到离散图像的直方图均衡化处理时，根据图像增强处理前后的像素量变化情况，分析增强具体效果，以及细节的保留情况，具体如图 2~3 所示。

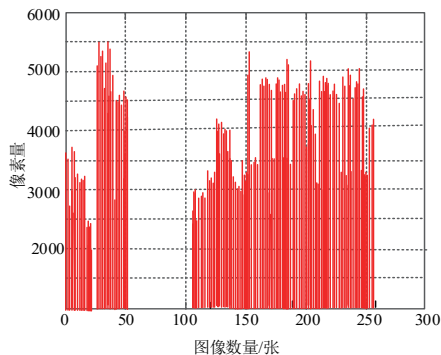


图 2 处理前的图像直方图

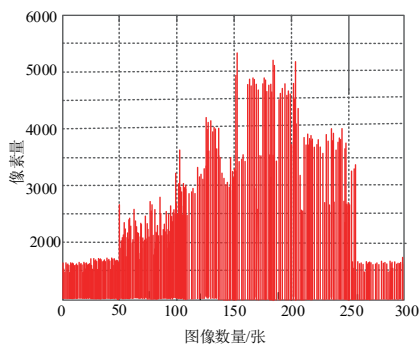


图 3 均衡后的图像直方图

由图 2~3 可知，在直方图均衡化处理之前，图像整体亮度过高，特别是图像中央部分出现严重的曝光过度现象，导致该区域的细节缺失。从直方图分析来看，各灰度级的像素数量不均衡，造成了图像细节的丢失和整体对比度的降低。而经过直方图均衡化处理之后，不仅增强了图像的对比度，还有效控制了图像的曝光程度，避免了中央部分的过度曝光，确保了图像中各个部分的细节得以保留。能够根据图像的局部特征自动调整每个小块的灰度级别，从而实现更为精细和局部的图像增强。证明本文方法达到了图像增强的预期目的，为图像分析提供了更为清晰和准确的视觉信息。

同时，对高灰阶图像进行增强处理时，可以分析色彩失真的问题。当色彩度在 25 以上时能够对图像整体的色彩进行了适当的压制，使得图像的细节纹理得以更加清晰地展现，从而提升了图像的质量。为了更精确地分析本文算法的处理效果，采用色彩度作为图像质量评价标准进行了深入的分析。通过分析图片颜色的鲜艳程度，评价图像色彩表现。具体结果如图 4 所示。

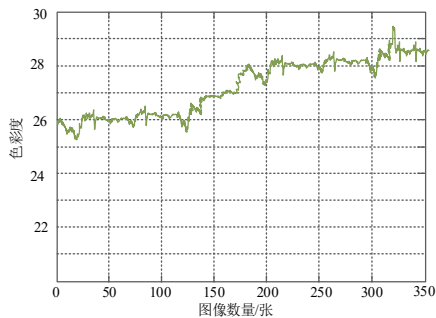


图 4 色彩度结果

由图 4 可知，经过分析图像中的色彩度结果在 26~28 之间，结果符合要求。通过本文对图像亮度进行自适应修正，不仅有效提升了亮度，还显著提高了图像的色彩度，综合表现最优。从而有效提高图像质量，尤其在图像测试集中表现更为突出。该算法通过优化图像的色彩度，使得图像更加清晰明了，色彩更加鲜艳，为图像处理领域的应用提供了有力的支撑。

综上所述，本文方法适用于高灰阶图像的增强处理，能够处理更多的灰度级，使得图像在增强后具有更丰富的层次感和细节表现。同时根据图像的具体情况进行自适应调整，使得增强效果更加符合实际需求。此外，还能够在保证增强效果的同时，快速处理大量的图像数据，以达到最佳的增强效果。

为进一步验证本文方法的图像增强效果，选取了文献 [1] 和文献 [2] 在峰值信噪比（peak signal-to-noise ratio, PSNR）、结构相似性指数（structural similarity index, SSIM）和细节保留指数（detail preservation index, DPI）3 个指标上的表现，记录其在图像数量为 100~500 范围内的结果对比情况，以验证本文方法的有效性和优越性。

分析表 1 可知，随着图像数量的增加，从 100 张到 500 张，本文方法的 PSNR 值从 28.5 dB 稳步提升至 31.5 dB，相较于文献 [1] 和文献 [2] 分别提高了约 2.5 dB 和 3.5 dB，充分说明了本文方法在处理后的图像中具有更低的失真度和更高的图像质量。同时，SSIM 值也从 0.92 增长至 0.96，表明本文方法在处理后的图像与原始图像之间的结构相似性更高，图像细节保留得更为完整。此外，DPI 值的持续上升，从 85 增加至 94，进一步验证了本文方法在提升图像细节保留能力方面

的优越性能。综上所述，对比之下，本文方法在图像增强效果上明显显著，为图像处理和增强领域提供更为高效和先进的解决方案。

表 1 不同方法下图像增强效果对比结果

图像数量	方法	PSNR/dB	SSIM	DPI
100	本文方法	28.5	0.92	85
	文献 [1]	26.3	0.88	78
	文献 [2]	27.1	0.89	80
200	本文方法	29.2	0.93	88
	文献 [1]	26.8	0.89	79
	文献 [2]	27.6	0.90	81
300	本文方法	30.1	0.94	90
	文献 [1]	27.2	0.90	80
	文献 [2]	28.0	0.91	82
400	本文方法	30.8	0.95	92
	文献 [1]	27.6	0.91	81
	文献 [2]	28.5	0.92	83
500	本文方法	31.5	0.96	94
	文献 [1]	28.0	0.92	82
	文献 [2]	29.0	0.93	84

3 结语

本文从图像增强入手，结合暗区特征引导方法，探究了基于暗区特征引导的高灰阶图像增强方法。通过对图像的低灰度区进行较大提升，高灰度区进行控制，适用于处理过暗的图像。在增强过程中，特别关注暗区特征的改善情况，确保增强后的图像在暗区部分具有更好的视觉效果。可以显著提升图像的亮度和色彩度，同时保留图像的细节和纹理信息。在实际应用中，需要根据具体需求和场景进行选择和调整。在后处理阶段，需要仔细调整参数和算法，以确保图像的整体质量和视觉效果。

通过对比处理前后的图像直方图可知，直方图均衡化处理前图像整体亮度过高，存在曝光过度现象，细节缺失；处理后不仅增强了图像对比度，还控制了曝光程度，避免了中央部分过度曝光，确保了图像各部分细节得以保留，实现了更为精细和局部的图像增强，达到了预期增强目的。

在直方图均衡化处理过程中，需要设定起始阈值等参数来区分需要增强和保持的频次范围，以及加权系数等参数来调整直方图频次。这些参数的设置对最终的增强效果有较大影响，目前参数设置主要基于经验或实验调整，缺乏一种自动、通用的参数优化方法，可能导致在不同图像上需要反复调整参数以获得最佳效果。因此，在未来的研究中，还需探索一种自动、通用的参数优化方法，能够根据输入图像的特征自动调整直方图均衡化等处理过程中的参数，减少人工干预，提高算法的自动化程度和实用性。

参考文献：

[1] 游达章,陶加涛,张业鹏,等.基于灰度变换及改进 Retinex 的低照度图像增强 [J]. 红外技术 ,2023,45(2):161-170.

[2] 张铮,王孙强,熊盛辉,等.结合小波变换和 CLAHE 的图像增强算法 [J]. 现代电子技术 ,2022,45(3):48-51.

[3] 王树林,杨建民,卢昌宇,等.一种基于双通道的水下图像增强卷积神经网络 [J]. 海洋工程 ,2023,41(6):158-170.

[4] 张书赫,曹良才.基于数字衍射的单幅眼底图像增强 [J]. 光学精密工程 ,2024,32(15):2429-2438.

[5] 胡振宇,陈琦,朱大奇.基于颜色平衡和多尺度融合的水下图像增强 [J]. 光学精密工程 ,2022, 30(17): 2133-2146.

[6] 刘波,田广粮,肖斌,等.利用自适应光照初始化的弱光图像增强方法 [J]. 电子与信息学报 ,2024, 46(2): 643-651.

[7] 郭伟,王欣哲,王江达,等.基于卷积调制与空间协作的水下图像增强 [J]. 计算机工程 ,2024,50(8): 310-318.

[8] 牛宏侠,张鸿铸.基于 Lab 色彩空间的沙尘降质图像增强方法 [J]. 液晶与显示 ,2024,39(9):1274-1284.

[9] 陈华腾,刘磊,钱芸生,等.基于 Retinex 里双分量改进的微光图像增强方法 [J]. 应用光学 ,2024, 45(4): 819-827.

[10] 常骞,韩旭.结合导向滤波与自适应算子的水下图像增强 [J]. 计算机工程与应用 ,2023, 59(4):216-223.

[11] 袁国铭,刘海军,李晓丽,等.纹理感知联合颜色直方图特征的水下图像增强 [J]. 光学精密工程 ,2024, 32(13): 2112-2127.

[12] 彭家磊,黄成泉,雷欢,等.自适应空间强度约束和 KL 信息的模糊 C 均值彩色噪声图像分割 [J]. 控制与决策 ,2024, 39(10): 3225-3233.

[13] 徐光宪,王泽民,马飞.基于非凸低秩张量分解和群稀疏总变分的高光谱混合噪声图像恢复 [J]. 红外技术 ,2024, 46(9): 1025-1034.

[14] 陈宗楠,叶耀光,潘家辉.基于 CycleGAN 的灰度图像彩色化方法 [J]. 计算机系统应用 ,2023, 32(8):126-132.

[15] 郝君甫.基于改进鲸鱼优化算法的灰度图像对比度增强算法 [J]. 中阿科技论坛 (中英文) ,2024(4):113-117.

[16] 张远鹏,陈鸿韬,王伟娜.基于非凸非光滑变分模型的灰度图像泊松噪声移除算法 [J]. 浙江大学学报 (理学版) ,2023, 50(2): 160-166.

【作者简介】

山笑珂(1981—),通信作者(email: 471187287@qq.com),女,河南偃师人,硕士,副教授,研究方向:计算机图形图像。

(收稿日期: 2024-12-20 修回日期: 2025-04-28)