

## 【工程与技术】

# 基于改进 Retinex 算法的低照度 医用彩色图像增强算法

王永飞<sup>1</sup>, 王 春<sup>2</sup>

(1. 铜陵职业技术学院 信息工程系, 安徽 铜陵 244061;

2. 汕头大学医学院第一附属医院, 广东 汕头 515041)

**摘 要:**针对低照度彩色医学图像增强需求设计了一种算法。该算法以 Retinex 算法为基础, 引入改进的双边滤波算法替换高斯滤波算法, 图像降噪的同时保留图像细节; 引入形态学骨架提取算法分割图像, 利用改进的 Gamma 变换提升增强后图像的光照效果; 引入非局部均值滤波算法以平滑图像、保持图像清晰度和细节, 增加图像局部色彩方差作为非局部均值滤波算法判断条件, 消除增强后图像的色差。改进后的算法克服了 Retinex 算法在增强低照度图像中存在的不足, 实现了低照度彩色医学图像高质量地增强。结合低照度医用彩色图像实例, 并与其他主流算法就增强效果比较分析, 结果表明, 改进的算法在增强图像准确度方面更具优势。

**关键词:**图像增强; Retinex 算法; 形态学骨架提取算法; Gamma 变换; 非局部均值滤波算法; 图像局部色彩方差

**中图分类号:** TP 391.4 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.issn.2097-4973.2025.02.007

低照度医用彩色真实图像可看成是由光照图像与反射率图像的乘积和附加噪声组成。形成光照图像的入射光分量就是一种乘性、相对均匀且变换缓慢的噪声; 受成像环境和传输介质等因素影响, 成像后的图像可能叠加如高斯噪声、斑点噪声等多种噪声, 直接影响医学诊断结论。低照度彩色医用图像增强显得非常迫切。目前, 学者提出低照度增强算法主要有 4 种。(1)灰度变换法: 通过线性或非线性变换, 修改图像像素灰度值分布和动态范围来扩展图像的对比度, 达到图像增强效果。(2)直方图均衡化算法: 通过增大像素之间灰度值差别的动态范围以增强图像。(3)深度学习算法: Wang 等<sup>[1]</sup>基于卷积神经网络将含噪彩色图像与红外图像融合, 通过全卷积神经网络学习建立退化图像与清晰图像映射, 实现图像消噪并保留图像的细节; Jang 等<sup>[2]</sup>设计了一种双路径网络(Dual Path Network, DPN), 结合残差网络和密集连接网络, 用少量真实噪声数据来扩充训练数据集, 增强后图像噪声得到了一定抑制。(4)Retinex 算法<sup>[3]</sup>: 图像增强是将图像内的反射光与入射光区分开, 从而获取物体的光照图像, 在原始图像中去除光照图像, 即得到物体的本质图像。但由于 Retinex 算法在清除光照图像时, 会发生图像像素数值溢出, 导致图像增强效果不佳。吕伏等<sup>[4]</sup>提出亮度均衡与边缘强化的多尺度低照度图像增强算法, 未对受光照或背景等同质化因素影响较大的井下低照度图像进行实验验证, 该算法通用性有限; 仲会娟等<sup>[5]</sup>提出了基于非下采样轮廓波变换算法, 结合 Retinex 算法与双边滤波算法, 实现图像去雾增强; 王文韞等<sup>[6]</sup>提出了基于 Retinex 算法和 Gamma 变换的低照度图像增强方法, 增强后图像的相关技术指标得到了提升。

收稿日期: 2024-09-24

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目(2023AH052894)

第一作者简介: 王永飞(1970—), 男, 安徽铜陵人, 教授, 主要从事人工智能研究。E-mail: 121086842@qq.com

灰度变换法图像仅能满足图像视觉恢复,对注重细节和色彩观察的医学类图像价值不大。直方图均衡化算法增强后的图像易出现颜色偏差和图像细节信息丢失。深度学习算法需建立庞大的清晰图像库,或存在图像实际噪声并不能人为控制的问题<sup>[1-2]</sup>。针对上述算法的不足,以 Retinex 算法为基础,引入改进的双边滤波算法、形态学骨架提取算法、改进的 Gamma 变换、非局部均值滤波算法,改进后的算法克服了上述算法在增强低照度图像中存在的不足,提高了低照度彩色医学图像质量。

### 1 算法思路

结合具体低照度彩色医用图像,从以下方面进行研究:(1)利用改进双边滤波算法(改进像素点选择),替换 Retinex 算法中高斯滤波算法,实现图像高斯噪声等清除;(2)利用形态学骨架提取算法标记图像中明暗区域,利用改进的 Gamma 变换调整光照不均;(3)引入非局部均值滤波算法以平滑图像,引入图像局部色彩方差消除增强后图像色差。算法流程如图 1 所示(虚线框内为 Retinex 算法,实线框内为本文所提算法)。

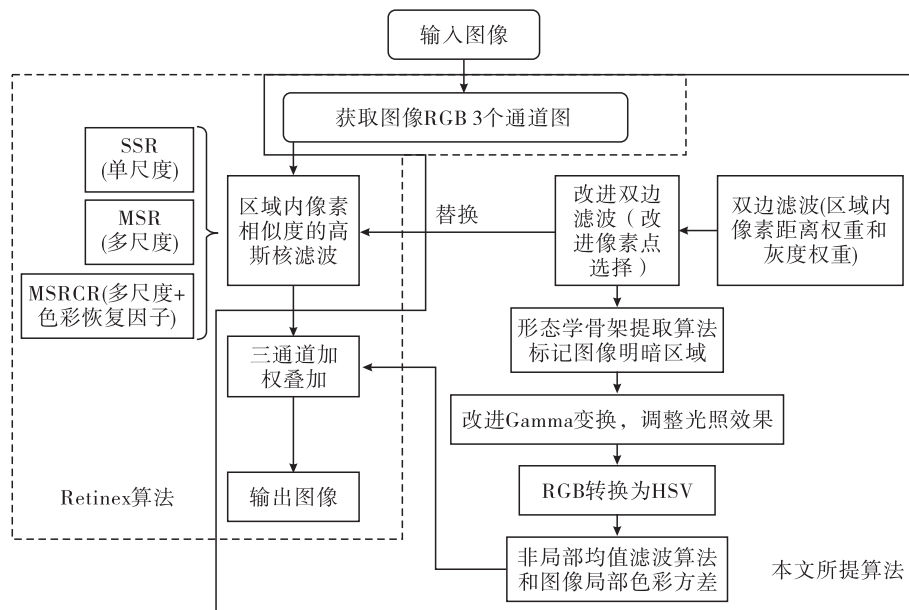


图 1 算法流程图

## 2 Retinex 算法

### 2.1 Retinex 算法模型

Retinex 算法认为景物图像由物体表面光反射能力决定,与反射光强弱无关,具有色感恒常性。景物原始图像是由物体表面对入射光(照度图像)反射得到的,反射图像由景物本身决定。Land 等<sup>[7]</sup>建立了 Retinex 算法的数学模型: $S(x, y) = R(x, y) \times L(x, y)$ 。

### 2.2 SSR、MSR、MSRCR 算法模型

当前,Retinex 算法已从单尺度 Retinex(Single Scale Retinex, SSR)算法改进到多尺度 Retinex(Multi-Scale Retinex, MSR)算法和带颜色恢复的多尺度 Retinex(Multi-Scale Retinex with Color Restoration, MSRCR)算法。

SSR 算法基本思路:利用构建的高斯滤波核函数对图像的红、绿和蓝 3 个色彩通道分别进行滤波,滤波后的图像就是估计的光照分量,在对数域中将原始图像和光照分量相减后所得到的反射分量作为低照度增强后的图像输出。该算法可压缩图像的动态范围,在一定程度上实现图像颜色的保持和细节的增强。

低照度图像的入射分量公式为  $L(x,y)=R(x,y)*G(x,y)$ 。式中： $*$ 为卷积， $G(x,y)$ 为高斯核滤波函数。高斯核滤波函数  $G(x,y)$ 的表达式为  $G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2})$ 。式中： $\sigma$ 为标准差。

SSR 算法增强的图像像素： $r_{SSR}(x,y)=\ln(S(x,y))-\ln(R(x,y)*G(x,y))$ 。

MSR 算法是利用不同尺度的  $G(x,y)$ 对图像进行滤波，然后对滤波结果进行平均加权，MSR 算法增强的图像像素：

$$r_{MSR}(x,y)=\sum_{k=1}^K w_k \times (\log S(x,y)-\log(\lambda_k \exp(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_k^2}) * S(x,y)))$$

式中： $K$ 为尺度个数， $w_k$ 为每个尺度的权重，且所有尺度的和应为 1，当  $K=1$ 时即是 SSR 算法。但该算法增强的图像存在图像颜色失真问题。

MSRCR 算法是在 MSR 的基础上，加入了色彩恢复因子  $C_i$ 来调节图像局部区域对比度增强，色彩恢复因子  $C_i$ 表达式为

$$C_i(x,y)=\beta\{\log[\alpha S_i(x,y)]-\log[\sum_{j=1}^N R_j(x,y)]\}$$

式中： $\alpha$ 为非线性受控程度， $\beta$ 为增益系数， $N$ 为原始图像颜色通道数。MSRCR 算法增强后图像像素计算公式为  $r_{MSRCR}(x,y)=C_i(x,y)\times r_{MSR}(x,y)$ ，该算法增强的图像会存在图像颜色偏差。

选取正常拍摄的肝脏图像与低照度肝脏图像，利用 3 种不同算法对低照度肝脏图像进行增强，增强后的效果如图 2 所示。

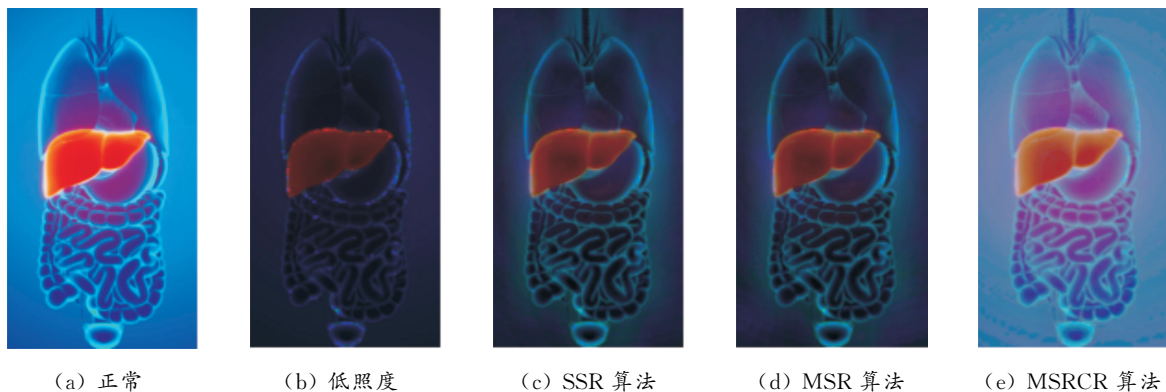


图 2 Retinex 算法图像增强效果

SSR 算法( $\sigma=80$ )增强后的效果图(图 2(c))基本能看到图像中的景物，但两肺叶之间图像纹理无法观察，图像中肝脏部位明显出现颜色光晕；MSR 算法( $\sigma=15,80,300$ )增强后图像的效果(图 2(d))与 SSR 算法增强后效果差别不大；MSRCR 算法( $\sigma=15,80,300$ )增强后图像色彩得到了增强，亮度得到了提升，但颜色偏差较为严重(图 2(e))。从视觉角度观察，3 种算法增强后肝脏边缘红色斑块噪声干扰都很明显。

### 3 真实低照度彩色医学图像增强算法分析

Retinex 算法增强效果受制于高斯滤波算法，增强后的图像明显出现边缘模糊，高频细节信息保护效果不佳、斑点噪声明显，色彩出现明显偏差，影响图像的实用价值。真实低照度图像都含有大量包括高斯噪声在内的多种噪声，要得到高价值的实用图像，必须清除图像中叠加的各类噪声。所提算法从消除高斯噪声开始，引入改进后的双边滤波算法替换高斯滤波算法，以保护图像的纹理结构和边缘细节信息。

#### 3.1 改进后的双边滤波算法替换高斯滤波算法

高斯滤波算法是一种线性平滑滤波算法，通过权值来控制某一个点周边像素值对该点像素值的贡献值，会不加区分地将噪声与图像边缘等细节信息一起平滑处理。而双边滤波算法是高斯滤波算法进行改

进后的非线性的滤波算法,在高斯滤波算法的基础上,双边滤波算法引入了像素相似性的权值,且在滤波的同时,考虑了像素间的距离和像素的相似性,能更好地保留图像边缘。

设原始含噪声图像为  $G(i, j)$ , 双边滤波后图像为  $g(i, j)$ , 双边滤波后图像像素值表达式为<sup>[8]</sup>

$$g(i, j) = \frac{\sum_z w_s(k, l) w_g(k, l) G(i, j)}{\sum_z w_s(k, l) w_g(k, l)}。$$

式中:  $(k, l)$  为  $(i, j)$  邻域像素的位置,  $z$  为滤波器大小,  $w_s(k, l)$  和  $w_g(k, l)$  分别为空间权重和灰度相似性权重。  $w_s(k, l) = \exp(-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_s^2})$ ,  $w_g(k, l) = \exp(-\frac{|G(i, j) - G(k, l)|^2}{2\sigma_g^2})$ 。式中:  $\sigma_s$  和  $\sigma_g$  分别为空间标准差和灰度标准差,  $w(i, j)$  为中心像素点  $(i, j)$  位置对应的像素灰度值。

上述双边滤波算法每个像素都是直接引用邻域像素值, 导致双边滤波算法增强效果不佳。所提算法改进为用上下采样的方式引用邻域像素以提高滤波效果。具体做法: 创建 2 个三维矩阵  $w$  和  $wI$ ,  $p$  是邻域中任一像素点  $(k, l)$  的位置,  $I_p$  是邻域像素点  $p$  的亮度,  $q$  为该邻域中心坐标,  $I_q$  是邻域像素点  $q$  的亮度, 对矩阵  $w_q$  和  $w_q I_q$  进行下采样, 得到下采样矩阵  $w_{\downarrow}$  和  $w_{\downarrow} I_{\downarrow}$ ; 对矩阵  $w_{\downarrow}$  和  $w_{\downarrow} I_{\downarrow}$  上采样, 得到  $w_{\downarrow \uparrow}$  和  $w_{\downarrow \uparrow} I_{\downarrow \uparrow}$ , 得到双边滤波算法需要的新像素公式  $I_p^{\downarrow \uparrow} = w_{\downarrow \uparrow} I_{\downarrow \uparrow} / w_{\downarrow \uparrow}$ 。

高斯滤波算法、双边滤波算法和改进后的双边滤波算法对低照度肝脏彩色和灰度肝脏图进行增强, 增强后的效果如图 3 所示。

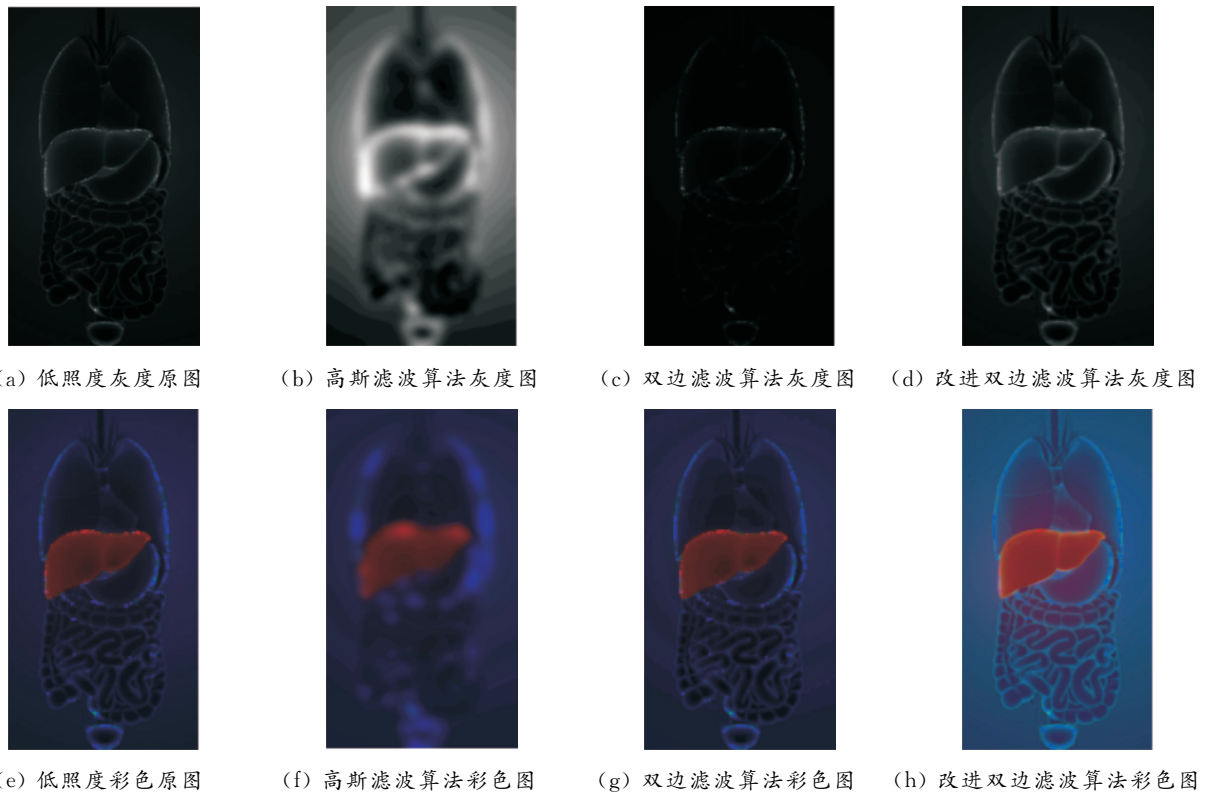


图 3 图像经不同滤波算法增强后的效果

在图 3 中, 对低照度两张原图采用模板半径为 7、标准差为 0.5 的高斯滤波和模板半径为 7、空域标准差为 0.5、值域标准差为 3 的改进的双边滤波进行增强。低照度灰度图高斯滤波后出现大面积光晕和边缘严重模糊; 低照度彩色图像双边滤波算法增强后出现严重的色斑、光晕等, 改进的双边滤波效果图实用性虽然得到提高, 但图像仍有噪声、图像偏暗, 光照不均等。

### 3.2 引入形态学骨架提取算法分割图像

所提算法引入形态学骨架提取算法提取图像中明亮区域,防止明亮区域在图像增强过程中局部曝光过度。

形态学骨架提取算法表达式为<sup>[8]</sup>

$$\begin{cases} S_\rho(x) = X \ominus \rho B - X \ominus \rho B \circ B, \\ X \circ B = (X \ominus B) \oplus B. \end{cases}$$

式中: $X$  为待处理图像, $B$  为骨架提取半径取为 1 的最小单位圆盘, $\rho B$  为半径为  $\rho$  的圆盘, $S_\rho(x)$  为  $\rho B$  所提取的骨架点, $\circ$  是开运算算子。对一幅图像的像素进行腐蚀运算再取其腐蚀运算结果的最大值点,即是一个骨架点,采用不同半径的  $\rho B$  对原图像进行处理,得到不同骨架点集合,可得到其形态学骨架,其公式可表达为  $S(x) = \bigcup_{\rho \geq 1} S_\rho(X)$ 。

图 4(a)是改进后双边滤波彩色图,引入形态学骨架提取算法分割该图,获得该图的灰度梯度图 4(b),由图 4(b)可以明显发现图像中过亮部分和过暗的部分,用白色对图中过亮部分进行了标记。图 4(c)是标记后的骨架图,以便后继利用 Gamma 变换调整图像局部的明暗度。



(a) 改进双边滤波彩色图 (b) (a) 图的梯度图 (c) (a) 图的骨架图

图 4 图像明度骨架提取效果

### 3.3 引入 Gamma 变换并改进

Gamma 变换表达式为<sup>[6]</sup>  $f(x) = x^\gamma$ 。式中: $f(x)$  是输出图像, $\gamma$  是图像增强参数。Gamma 变换实现图像全局增强,没有考虑到图像中局部过暗或过亮,可能导致过亮区域图像曝光过度。引入形态学骨架提取算法提取图像中明亮区域后,再利用 Gamma 变换对低照度区域的像素进行非线性调整,提升图像的视觉效果。为防止调整后图像在景物边缘出现色彩差异,将 Gamma 变换修改为

$$\begin{cases} F(x) = (f(x))^\gamma, \\ \gamma = (2 + i(x))^{2 \times i(x) - 1}. \end{cases}$$

式中: $F(x)$  为 Gamma 变换后的图像, $i(x)$  为第  $i$  通道, $\gamma$  为图像增强参数的中间量。

根据图 4(c)标记,利用 Gamma 变换和改进的 Gamma 变换对图 4(a)进行明暗度调整,结果如图 5(b)(c)所示。从视觉效果看,改进的 Gamma 增强图要明显优于 Gamma 增强图像。但调整后的两图都存在块状噪声、图像背景和前景都有明显的光晕。

### 3.4 引入非局部均值滤波算法并改进

引入非局部均值滤波算法。设大小为  $M \times N$  的低照度图像  $f(x, y)$  由无噪声图像叠加噪声信号构成, $\psi_p$  是以像素点  $p$  为中心,大小为  $w \times w$  的搜索窗; $S$  是大小为  $l \times l$  的  $\psi_p$  内相似窗; $w_p$  是以像素点  $p$  为中心,大小为  $\frac{l}{2} \times \frac{l}{2}$  的中心图像区域。从视觉角度观察图像中噪声密集程度,以相似窗在搜索窗中进行单像素或多像素移动,得到图像块组  $\{w_i | i \in \psi_p\}$ 。

利用图像的自相似,计算出搜索窗内中每个像素点  $p$  与相似窗中像素点  $i$  的欧氏距离  $d(p, i)$ ,  $d(p, i)$  的值越小说明图像块相似度越高。 $d(p, i)$  可表示为<sup>[10]</sup>  $d(p, i) = \|V(p) - V(i)\|^2 / \omega^2$ 。式中:  $V(p)$  和  $V(i)$  分别为以像素点  $p$  和  $i$  为中心的相似图像块的灰度值。



(a) 改进双边滤波彩色图 (b) Gamma 增强图 (c) 改进的 Gamma 增强图

图 5 图像明暗度调整效果图

进一步确定每个像素点的权重  $\omega(p, i)$ , 其表达式为

$$\omega(p, i) = \frac{1}{\sum_{i \in S} \exp(-d(p, i)/h^2)} \exp(-d(p, i)/h^2)。$$

式中:  $h$  为滤波系数, 其与图像噪声的标准差  $\sigma$  之间存在线性关系。

将搜索框内的每个像素点赋予相应的权值后, 得到降噪后的像素点  $p$  的灰度值:

$$Q(p) = \sum_{i \in S} \omega(p, i) V(i)。$$

式中:  $V(i)$  为降噪前像素点  $i$  的灰度值。非局部均值滤波算法增强图像时没有考虑图像的色彩影响, 所提算法引入图像局部色彩方差作为非局部均值滤波算法中另一个判断条件, 以提高图像增强的效果。

引入图像局部色彩方差。因图像局部色彩方差能反映图像细节复杂度, 故引入图像局部色彩方差  $S(p)$ , 作为非局部均值滤波条件的一部分, HSV 图像模式空间各分量相对独立, 因此将 RGB 等颜色模式转换为 HSV 图像模式。设  $S(\omega_p)$  是像素点  $p$  中心图像区域  $\omega_p$  的色彩均值,  $S(\omega_i)$  是像素点  $i$  相似窗中色彩均值, 两个窗口的块局部色彩方差<sup>[11]</sup>  $S(p) = \sum_{i \in S} (S(\hat{\omega}_p) - S(\hat{\omega}_i))^2 / |S(\hat{\omega}_p)|$ 。

将改进后 Gamma 增强的图像使用非局部均值滤波和引入图像局部色彩方差后改进的非局部均值滤波图进行增强, 增强后的效果如图 6 所示。



(a) 改进双边滤波 (b) 非局部均值滤波 (c) 改进非局部均值滤波

图 6 增强效果图

由图 6 可知, 经过非局部均值滤波算法增强后的图像, 肺叶间的噪声斑块和图像背景的光晕得到清除, 图像实用价值得到提升; 经过改进后非局部均值滤波算法增强的图像不仅清除了肺叶间的噪声斑块和

图像背景的光晕,而且左侧肺叶上的线条更清晰。

为进一步论证本文所提算法的效果,利用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio,PSNR)、结构相似度(Structural Similarity,SSIM)、图像边缘保持指数(Edge Preservation Index,EPI)<sup>[12]</sup>、图像等效视数(Equivalent Number of Looks,ENL)<sup>[12]</sup>和图像增强所用时长作为图像增强效果的评价标准。PSNR 值越大,图像中所含噪声越低,图像更清晰;SSIM 值越大,图像的失真度就越小;EPI 值越大,说明滤波后边缘保留效果越好;ENL 值越大,则表示该滤波算法的抑斑能力越强;图像增强运行时长越短,表明所使用的算法执行的效率就越高。将图 2 中正常场景拍摄图像和低照度图利用本文所提算法将图 2 中低照度图像进行增强,增强后的最终图像与正常场景拍摄的图像进行比较,比较的主要指标有 PSNR、SSIM、EPI 和 ENL,结果如表 1 所示。由表 1 可知,低照度图用本文所提算法增强后和正常拍摄图的 PSNR、SSIM、EPI 和 ENL 4 个指标非常接近。

表 1 低照度增强后图像与正常拍摄的图像相关指标比较

评价标准	本文算法增强后图	正常拍摄图	评价标准	本文算法增强后图	正常拍摄图
PSNR	13.26	12.33	EPI	2.71	2.72
SSIM	0.75	0.79	ENL	0.13	0.11

#### 4 真实低照度医学图像增强算法验证

为验证本文所提算法的有效性,选取 3 张不同照度的人体头部断层图、小脑切面图和直肠图等低照度医用彩色图像进行增强实验,并与其他文献算法进行比较,结果如图 7 所示。从视觉效果方面分析,图 7 中,文献[1]算法增强的效果图中色彩出现明显色差,图像对比度偏低;文献[2]算法增强的效果图中存在大量的噪声斑点,文献[5]算法增强的效果图中存在色斑,文献[6]算法增强的效果图中较文献[5]算法有明显改善,但存在噪声和色斑,所提算法增强效果明显最佳。

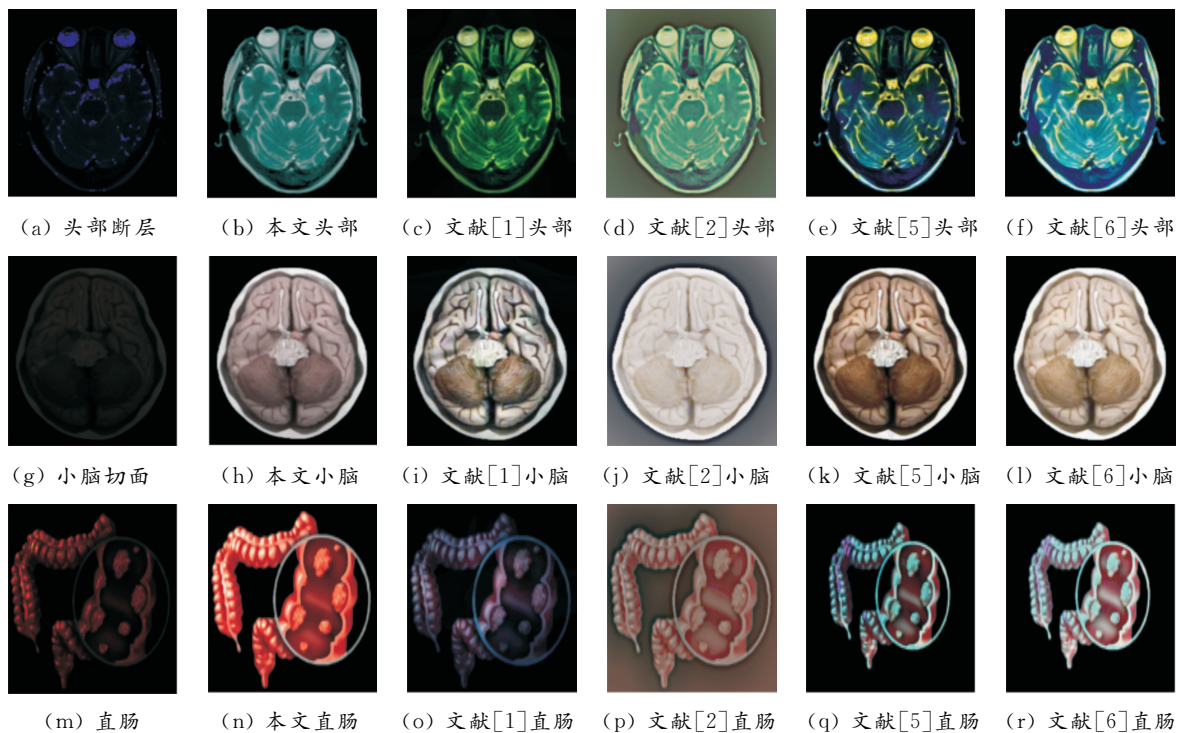


图 7 主流算法低照度图像增强效果比较

对增强前后图像的 PSNR、SSIM、EPI、ENL 和图像增强用时进行比较分析,增强前后图像的相应数

据如表 2 所示。由表 2 可知,在不同算法增强前后的人体头部断层图相关数据中,文献[5]增强后图像结构相似度最高,但图 7(e)中眼球区域色斑明显,结合视觉角度判断,本文所提算法最优;增强前后小脑切面图数据表明,本文所提算法最优;增强前后直肠图相关数据中,文献[1]算法图像边缘保持指数数值最高,该算法增强后的图像照度严重偏低,图像色差明显;上述图像增强运行所用时间比较,本文所提算法最少。实验表明,本文所提算法具有良好的通用性。

表 2 图像增强前后相关数据分析

图片名称	算法来源	PNSR	SSIM	EPI	ENL	图像增强用时/s
头部断层图	本文	28.187 5	0.495 3	0.286 6	0.659 6	21.85
	文献[1]	27.456 3	0.248 0	0.285 9	0.463 5	33.45
	文献[2]	24.072 5	0.016 3	0.211 6	0.565 3	32.78
	文献[5]	28.184 5	0.535 3	0.176 2	0.324 1	29.34
	文献[6]	27.546 4	0.482 8	0.162 0	0.565 7	22.78
	本文	26.236 6	0.376 2	0.149 8	1.283 6	16.42
小脑切面图	文献[1]	25.930 0	0.124 9	0.085 0	1.071 3	21.56
	文献[2]	24.096 3	0.052 2	0.149 3	1.166 4	20.21
	文献[5]	26.233 3	0.359 4	0.098 0	0.820 3	18.35
	文献[6]	26.133 5	0.353 1	0.112 7	1.244 3	16.99
	本文	30.014 0	0.781 2	0.435 1	1.212 5	32.53
直肠图	文献[1]	29.959 2	0.676 9	0.607 4	0.254 9	41.02
	文献[2]	26.031 7	0.403 4	0.406 6	1.124 4	39.78
	文献[5]	29.838 9	0.751 3	0.247 0	0.215 2	34.81
	文献[6]	29.614 4	0.717 2	0.245 8	0.313 3	33.41
	本文	30.014 0	0.781 2	0.435 1	1.212 5	32.53

## 5 结论

本文所提算法解决了低照度彩色图像增强问题。先以单张真实的低照度医用彩色图像为例,对低照度医用图像进行改进后的两边滤波算法处理、改进后的 Gamma 明暗度调整、改进后的非局部均值滤波,成功地实现低照度医用彩色图像增强。在对低照度彩色图像增强方面,从视觉效果、SSIM、PSNR、EPI、ENL 和图像增强用时等方面与当前多种主流算法图像增强效果进行比较,结果表明,本文所提算法具有明显的低照度图像增强优势。

## 参考文献:

- [1] WANG X H, DAI F, MA Y K, et al. Near-infrared image guided neural networks for color image denoising[C]. ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Brighton: IEEE, 2019.
- [2] JANG Y I, KIM Y, CHO N I. Dual path denoising network for real photographic noise[J]. IEEE signal processing letters, 2020, 27: 860-864.
- [3] 汤浩,朱泓宇,谢超. 低照度图像增强方法综述[J]. 林业机械与木工设备, 2022, 50(7): 4-10.
- [4] 吕伏,崔向燕,刘铁. 亮度均衡与边缘强化的多尺度低照度图像增强算法[J]. 激光与光电子学进展, 2024, 61(12): 1237010.
- [5] 仲会娟,马秀荣,董亚梦. 基于 Retinex 和双边滤波的 NSCT 域遥感图像去雾[J]. 光电子·激光, 2024, 35(10): 1013-1049.

- [6] 王文韞,舒晨洋,朱龙涛,等.基于 Retinex 和 Gamma 变换的低照度图像增强方法[J].湖南大学学报(自然科学版),2024,51(10):136-144.
- [7] LAND E H, MCCANN J J. Lightness and Retinex theory[J]. Journal of the Optical Society of America,1971,61(1):1-11.
- [8] 顾文娟,丁灿,魏金,等.基于双边滤波 MSR 与 AutoMSRCR 融合的低光照图像增强[J].光学精密工程,2023,31(24):3606-3617.
- [9] 曾杰.基于波形相似度与形态学骨架的变压器差动保护算法研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [10] 龙云淋,吴一全,周杨,等.结合 NSST 和快速非局部均值滤波的刀具图像去噪[J].信号处理,2017,33(11):1505-1514.
- [11] 王永飞.一种图像缺损修复算法分析[J].激光与光电子学进展,2020,57(12):121005.
- [12] 李光鑫.基于耦合相似性与迭代强化的 SAR 图像相干斑抑制算[D].大连:大连海事大学,2021.

## Low illumination medical color image enhancement algorithm based on improved Retinex algorithm

WANG Yongfei<sup>1</sup>, WANG Chun<sup>2</sup>

(1. *Department of Information Technology, Tongling Polytechnic, Tongling 244061, China;*  
2. *The First Affiliated Hospital of Shantou University Medical College, Shantou 515041, China*)

**Abstract:** The algorithm is designed for the needs of low illumination medical color image enhancement in this paper. The algorithm is based on the Retinex algorithm, and introduces an improved bilateral filtering algorithm to replace Gaussian filtering, removing Gaussian noise and so on in low illumination images while preserving image details; introduces the Morphological skeleton algorithm to segment the image and the improved Gamma transform, which enhances the image lighting effect; Introduces the non-local mean filtering algorithm to smooth the enhanced image, maintain image clarity and details, increase local color variance as the criterion for non-local mean filtering algorithm, and eliminate local color difference in the enhanced image. The improved algorithm overcomes the shortcomings of Retinex algorithm in enhancing low illumination medical color images and realizes high-quality enhancement of low illumination images. Combining cases of low illumination medical color images, and comparing and analyzing the enhanced effect with other mainstream algorithms, the results show that this algorithm has more advantages in the enhancement of accuracy and can effectively improve the actual value of low illumination images.

**Keywords:** image enhancement; Retinex algorithm; morphological skeleton extraction algorithm; Gamma transform; non-local mean filtering algorithm; image local color variance

(责任编辑:王新亮)

**引用格式** 王永飞,王春.基于改进 Retinex 算法的低照度医用彩色图像增强算法[J].山东航空学院学报,2025,42(2):52-60.  
WANG Y F, WANG C. Low illumination medical color image enhancement algorithm based on improved Retinex algorithm[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2025, 42(2): 52-60.