

一种新型自适应 Retinex 图像增强方法研究

汪荣贵, 张 璇, 张新龙, 傅剑峰

(合肥工业大学计算机与信息学院, 安徽合肥 230009)

摘 要: 提出一种新的基于无限冲激响应(IIR)低通滤波的 Retinex 图像增强算法, 该算法具有边缘保留功能, 不会产生光晕效应, 而且计算量较小. 并将该算法与实数编码遗传算法相结合, 使其具有针对不同图像特点自适应选择参数的功能. 通过对低照度图像和雾天图像的实验表明, 该算法能够根据图像的特点自动选择出较合理的参数, 处理后的图像在清晰度和色彩上较 MSR 及 MSRCR 算法具有更好的效果.

关键词: 图像增强; Retinex 算法; 无限冲激响应低通滤波; 遗传算法; CIELab 色彩空间

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 12-2933-04

A Novel Adaptive Retinex Algorithm for Image Enhancement

WANG Rong-gui, ZHANG Xuan, ZHANG Xin-long, FU Jian-feng

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: A novel Retinex algorithm based on IIR low-pass filter is presented, this method can preserve sharp edges in images, so it doesn't produce halo. And it is combined with a real-coded Genetic Algorithm. Thus images with different characteristic can be enhanced with parameters choosed automatically. Compared to MSR and MSRCR, results on a series of low-light condition and foggy images show the efficiency of the proposal approach in both clarity and color.

Key words: image enhancement; retinex; IIR low-pass filter; genetic algorithm; CIELab color space

1 引言

Retinex 方法^[1~4]是一种图像增强的新方法. 多尺度 Retinex (MSR, Multi-Scale Retinex) 和带色彩恢复的 MSR (MSRCR, Multi-Scales Retinex with Color Restoration) 是其中得到广泛应用的两种方法, 然而这两种算法对有多光源的图像处理效果不好, 且易产生光晕伪影.

近年来, 很多学者提出了不同的改进方法. M Ogata 提出了一种 ϵ -滤波器^[5], 为模板内的像素比较设定阈值, 以提高照度估计的精确度; Vivek Agarwal 提出了一种基于视频的照度估计方法^[6], 通过计算图像序列的线性相关性进行照度估计; Doron Shaked 提出了一种基于子采样的非线性滤波^[7], 对图像不同分辨率采用不同采样方式, 以加快算法速度; Doo Hyun Choi 提出了一种基于恰辨差异 (JND, Just Noticeable Difference) 的非线性滤波器^[8], 将人眼感觉到的恰辨差异作为亮度比较的阈值, 改变比较模板的权值以消除光晕伪影; 孙波提出一种带亮度修正的 Retinex 算法^[9], 通过 Canny 算子检测边缘信息, 再利用主成分分析进行照度估计; 王文提出了一种 MSR 的加速算法^[10], 对高斯模板进行算术修正, 提

高卷积速度.

上述各种改进算法均需要手工调节参数, 为此, 本文提出一种新的基于无限冲激响应 (IIR, Infinite Impulse Response) 低通滤波的 Retinex 图像增强算法, 并将其与遗传算法相结合, 使用遗传算法自动生成算法参数. 本文算法不仅具有较好的自适应性, 而且具有边缘保留的功能, 不会产生光晕伪影, 计算量也较小.

2 IIR 低通滤波 Retinex 算法

Retinex 算法易在高亮度目标周围产生伪影. 为此, 本文创造性地将带边缘保留的 IIR 低通滤波器对图像进行照度估计, 然后调整入射光分量的动态范围, 改善亮度效果; 增强反射光分量细节, 改善清晰度, 将两者的处理结果合成得到最终增强图像. 基本流程如图 1 所示.

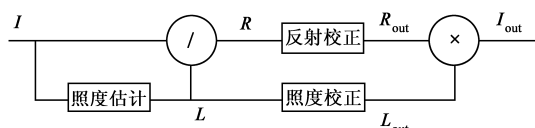


图1 算法流程

2.1 照度估计

首先改进 IIR 滤波器如下:

$$y(n) = \alpha y(n-1) + (1-\alpha)x(n) \quad (1)$$

将 $M \times N$ 输入图像的行向量作为 IIR 滤波器的输入, 进行正向滤波:

$$L_i^+(x) = \alpha L_i^+(x-1) + (1-\alpha)I_i(x) \quad (2)$$

$I_i(x)$ 为输入的行向量, $L_i(x)$ 为输出的行向量, i 取 1 到 M 的自然数. 为了实现 IIR 滤波器带边缘保留的低通特性, 改进参数 α 如下:

$$\alpha^+(x) = \frac{d^+(x)}{d^+(x) + 1} \quad (3)$$

$$d^+(x) = \frac{H}{(\log \frac{\delta + I_i(x-1)}{\delta + I_i(x)})^2 + \delta}$$

其中 H 为冲击响应强度. 为了消除相位失真, 同理再进行反向滤波得到 $L_i^-(x)$.

由式(2)式和式(3)可以看出, 若 $I_i(x-1)$ 与 $I_i(x)$ 的值相近, 则说明当前像素点为目标区域内部点, 此时 $\alpha(x) \rightarrow 1$, $L_i(x) \rightarrow L_i(x-1)$, 滤波器表现为低通特性; 若 $I_i(x-1)$ 与 $I_i(x)$ 的值差异很大, 说明当前像素点为边界点, 此时 $\alpha(x) \rightarrow 0$, $L_i(x) \rightarrow I_i(x)$, 滤波器表现为边缘保留特性.

为保证入射照度总是大于或等于输入图像亮度, 将 L_i^+ 、 L_i^- 的计算结果修正为:

$$L_i^+(x) = \max\{\alpha^+(x)L_i^+(x-1) + (1-\alpha^+(x))I_i(x), I_i(x)\}$$

$$L_i^-(x) = \max\{\alpha^-(x)L_i^-(x-1) + (1-\alpha^-(x))I_i(x), I_i(x)\}$$

$$L_i(x) = \frac{L_i^+(x) + L_i^-(x)}{2} \quad (4)$$

L_i 即为行向量处理结果. 同理可对 L_i 的列向量进行正反向 IIR 滤波处理, 得到入射光分量.

照度估计为算法核心步骤. MSR 算法采用高斯滤波进行照度估计, 在空域上操作的时间复杂度为 $O(\sigma^4)$, 其中 σ^2 为模板的大小^[11]. 当卷积模板尺度较大时, 算法复杂度较高. 而本文算法的时间复杂度为 $O(M * N)$, 计算量与 σ 无关, 其中 M 和 N 分别为图像的宽和高. 因此, 本文算法比 MSR 的计算复杂度有了较大降低.

2.2 照度校正

入射光分量表现为图像照度信息, 调整其动态范围可以改善整体亮度. 首先将入射光分量归一化, 然后进行类似 Gamma 校正的操作:

$$l = l^* l + \gamma \quad (5)$$

其中 γ 为调节亮度的关键

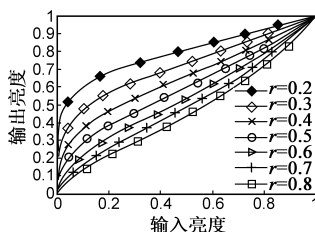


图2 对于各种 γ 值, 输入亮度与输出亮度的函数图

参数. 图2为当 γ 取不同的值时, 输入亮度与输出亮度的函数图.

由图2可以看出, 当 $\gamma \in [0.2, 0.6]$ 时, 图像能够得到较好的动态范围调整.

2.3 反射分量的计算及校正

将输入图像除以经照度估计后提取出的入射光分量即可得到反射光分量, 即

$$r(x, y) = \frac{I(x, y) + \delta}{L(x, y) + \delta} \quad (6)$$

增强反射光分量能够提高图像的清晰度, 丰富图像细节. 对对数域中的反射光分量使用改进的 Sigmoid 函数分段非线性对比度拉伸, 如式(7)所示.

$$R_{\text{out}} = \begin{cases} \beta^{1-\mu} r^\mu, & 0 \leq r < d_1 \\ Ar + B, & d_1 \leq r \leq d_2 \\ 1 - (1-\beta)^{1-\mu} (1-r)^\mu, & d_2 < r \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

$$A = \frac{1 - (1-\beta)^{1-\mu} (1-r)^\mu - \beta^{1-\mu} r^\mu}{d_2 - d_1}$$

$$B = \frac{d_2 \beta^{1-\mu} d_1^\mu - d_1 (1 - (1-\beta)^{1-\mu} (1-d_2)^\mu)}{d_2 - d_1}$$

R_{out} 函数图如图3

所示.

由图3可以看出, 横坐标轴两端的值表现为特别黑暗和特别明亮的点, 这些点包含的细节信息很少, 可将其压缩. 中间包含大量细节信息的部分需要被增强, 以突显出我们感兴趣的特征. $[d_1, d_2]$ 范围内的数据一般表现为效果良好, 对该范围内的数据进行线性拉伸, 以抑制噪声的产生. 这一范围一般集中在 0.5 附近.

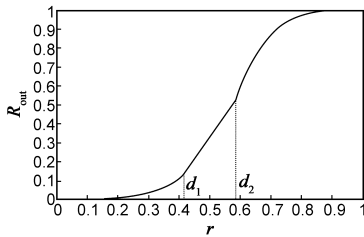


图3 R_{out} 函数图

3 参数的自适应求解方法

算法包含了 5 个直接影响处理结果的参数: $\gamma, \beta, \mu, d_1, d_2$. 本文通过遗传算法来寻找适用于不同图像的最优参数.

3.1 编码及初始种群

本文采用染色体为实数编码的遗传算法, 避免因二进制编码解码操作而增加计算时间. 每条染色体的结构为包含 $\gamma, \beta, \mu, d_1, d_2$ 这 5 个实数元素的向量, 每个实数元素作为一个基因. 下面介绍各参数可能的取值范围.

通过图2的分析, γ 参数在 $[0.2, 0.6]$ 之间取值; 在式(7)中, β, μ 取不同值时所对应的 Sigmoid 函数曲线如图4所示, 本文中 β 取值范围为 $[0, 1]$, μ 取值范围为 $[3, 10]$. 而 d_1 和 d_2 的取值范围由 2.3 节分析易知,

$d_1 \leq 0.5, d_2 \geq 0.5$.

对上述五个参数分别在其取值范围内取随机数,生成规模为 20 条染色体的初始种群.

3.2 选择、交叉与变异

本文采用锦标赛制进行选择操作.随机选出两条染色体,代表两组可能的参数解,应用这两组参数分别得到增强后的图像,利用适应度函数评价输出图像的效果.输出图像效果较好的染色体被保留到下一代.

适应度函数的判定空间设定在 CIELab 绝对色彩空间,该空间有一特性:即单位体积内所包含的可识别色彩信息是相等的^[12].要使得图像包含最大可识别色彩信息(MRCI, Maximum Realized Color Information),像素点在 CIELab 空间内必须尽量呈均匀分布,这与直方图均衡化中 RGB 三个通道的均衡标准是有区别的^[13].

适应度函数的构造具体过程:首先,将各个参数应用于输入图像,将得到的输出图像转换到 CIELab 空间;然后,将直角坐标系转换为柱坐标系 $L^*c^*h^*$,计算图像在该空间下的分布 $q(L, c^*, h^*)$;最后,设 $p(L, c^*, h^*)$ 为空间上的均匀分布,计算 p, q 之间的 3-D Kullback-Leibler 距离,适应度函数即为

$$F = \frac{1}{\sum_{L, c^*, h^*} p(L, c^*, h^*) \log(\frac{p(L, c^*, h^*)}{q(L, c^*, h^*)})}$$
 (8)

若 q 的分布越接近与均匀分布 p ,K-L 距离越小,则适应度函数的值越大.

本文选择算数交叉算子进行交叉操作,交叉概率为 0.9.算术交叉算子不会改变父代和子代基因之间的大小关系,反射光分量校正过程中使用的参数 d_1 和 d_2 ,始终能够满足 $d_1 < d_2$.

变异操作具体做法如下: γ, β 随机加上一个 $[0, 1]$ 之间的常数; μ 随机加上一个 $[2, 4]$ 之间的常数; d_1 和 d_2 各加上一个 $[0, 0.1]$ 之间的常数.变异概率为 0.1.

4 实验结果和分析

本文实验主要针对低照度图像和雾天图像.低照度图像色彩信息保留的较完整,可以转换到 HSI 空间,只对 I 分量进行增强操作.雾天图像色彩退化非常严重,在 RGB 三个通道处理要优于仅对 I 分量处理.

4.1 低照度图像

图 5 给出了低照度图像经不同算法处理后的结果.图 5 中 MSR 与 MSRCR 处理时在白塔周围出现了光晕伪影.本文算法在照度估计中加入了边缘保留的功能,则不会产生伪影,且色彩也更自然.

表 1 给出了各处理结果的均值,标准差和熵.均值

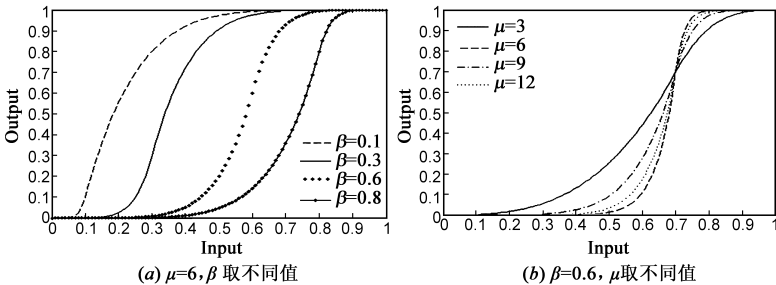


图4 β, μ 不同取值对应的Sigmoid曲线

反映了图像的平均亮度,标准差反映了对比度,熵反映了图像所包含的信息量.

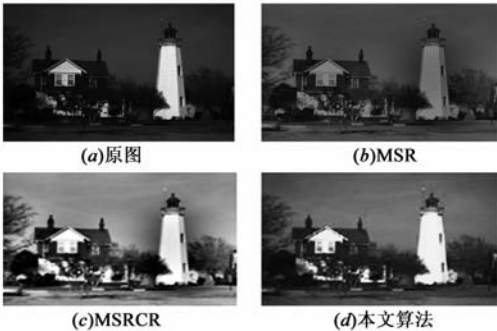


图5 White tower处理结果比较

表 1 White tower 的数据对比

White tower	均值	标准差	熵
原图	58.2352	6.2205	6.5996
MSR	71.2682	7.6936	6.7642
MSRCR	117.6846	9.9084	7.0881
本文算法	93.3311	9.1548	7.1077

由表 1 可以看出,通过遗传算法选择参数处理后的图像,其统计数据也相对较好

4.2 雾天图像

图 6 为各算法的雾天图像处理结果.



图6 Board处理结果比较

雾天图像的特点为亮度较高但色彩丢失严重.MSR 处理图像显得灰度化.MSRCR 考虑 R、G、B 各通道在原图像中所占比例进行色彩校正,由于原图像色彩已经失真,处理后的图像在某些区域会产生色彩失真.本文算法在 CIELab 色彩空间对结果进行选择优化,最终得到亮度、色彩、细节相对平衡的图像.

表 2 给出了各处理结果的数据对比.

表 2 Board 的数据对比

Board	均值	标准差	熵
原图	135.9222	6.4062	5.4227
MSR	131.3470	9.0983	7.3053
MSRCR	145.0735	9.1560	7.3058
本文算法	153.5514	10.1070	7.4943

4.3 不同光照条件图像

根据遗传算法的特点,当图像处于不同的光照条件下时,本文算法都能选择相应的优化参数,得到较好的处理结果.处理结果更为稳定.如图 7 所示.

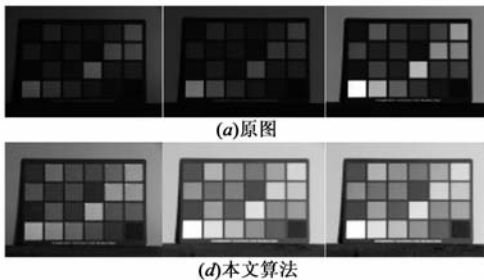


图 7 不同光照条件下, Block 的处理结果

5 结论

针对现有 Retinex 算法不能自动选择参数,提出一种基于无限冲激响应低通滤波的 Retinex 图像增强算法,并使用遗传算法自动生成算法参数.彩色图像的 R、G、B 三个通道之间存在紧密的联系,将它们分开处理不符合人类视觉模型.本文作者将探索如何将 Retinex 算法作用于更符合人类视觉模型的色彩空间.

参考文献:

- [1] E Land, J McCann. Lightness and retinex theory[J]. Opt Soc Amer, Jan, 1971, 61(1): 1 - 11.
- [2] B Funt, F Ciurea, J McCann. Retinex in Matlab[A]. Proceedings of the IS&T/SID English Color Imaging Conference[C]. Scottsdale: CIC, 2000. 112 - 121.
- [3] D Jobson, G Woodell. Properties and performance of a center/surround Retinex[J]. IEEE Trans Image Process, 1997, 6(3): 451 - 462.
- [4] R Kimmel, M Elad, D Shaked, et al. A variational framework for Retinex [J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(1): 7 - 23.
- [5] M Ogata, T Tsuchiya, T Kubozono, et al. Dynamic range compression based on illumination compensation[J]. IEEE Trans Consumer Electron, 2001, 47(3): 548 - 558.
- [6] V Agarwal. Achieving color constancy and illumination compensation[A]. ECE 574[C]. Corvallis: Oregon State University, 2003. 1 - 29.

- [7] D Shaked. Interpolation for non-linear retinex type algorithms [A]. Proceedings of SPIE, the Int Society for Optical Engineering[C]. Bellingham: SPIE, 2007. 649312. 1 - 649312. 7.
- [8] D H Choi, I H Jang, M H Kim, et al. Color image enhancement based on single-scale retinex with a JND-based nonlinear filter [A]. Proc IEEE Int Symp Circuits and Syst[C]. New Orleans, USA: IEEE, 2007. 3948 - 3951.
- [9] Bo Sun, Weifang Chen, Hongyu Li, et al. Modified luminance based adaptive MSR [A]. International Conference on Image and Graphics 2007[C]. Chengdu: ICG, 2007. 116 - 120.
- [10] Wen Wang, Bo Li, Jin Zheng. A fast multi-scale retinex algorithm for color image enhancement[A]. Proceedings of the International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition[C]. HK: IEEE, 2008. 30 - 31.
- [11] Q Zhou, J P Oakley. Low cost implementation for the multi-scale retinex filter[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 48 - 57.
- [12] V Tsagaris, G Christoulas, V Anastasopoulos. A measure for evaluation of the information content in color images [A]. IEEE Digital Object Identifier [C]. Genoa, Italy: IEEE, 2005. 417 - 420.
- [13] 黄凯奇, 王桥, 吴镇扬. 基于视觉特性和颜色空间的多尺度彩色图像增强算法[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 673 - 676.
Huang Kaiqi, Wang Qiao, Wu Zhenyang. Multi-scale color image enhancement algorithm based on color space and human visual system[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(4): 673 - 676. (in Chinese).

作者简介:



汪荣贵 男, 1966 年生于安徽池州, 计算机应用技术专业博士, 合肥工业大学计算机与信息学院教授、硕士生导师. 主要研究方向为智能视频处理与分析、车载视觉增强系统、多媒体技术.



张璇(通信作者) 女, 1984 年出生于安徽安庆. 2007 年获得合肥工业大学信息安全学士学位, 2010 年获得合肥工业大学计算机科学与技术硕士学位. 主要研究方向为智能视频处理与分析、车载视觉增强系统、多媒体技术.

E-mail: zhangxuan_hf@163.com