

文章编号: 1001-9081(2010)08-2091-03

## 改进的多尺度 Retinex 图像增强算法

王小明<sup>1,2</sup>, 黄 昶<sup>1</sup>, 李全彬<sup>1</sup>, 刘锦高<sup>1,3</sup>

(1. 华东师范大学 信息科学技术学院, 上海 200241; 2. 浙江师范大学 教师教育学院, 浙江 金华 321004;

3. 上海建桥学院 电子工程系, 上海 201319)

(zsdwmx@gmail.com)

**摘 要:** 针对多尺度 Retinex 算法在图像增强的过程中, 存在着算法运算量大的问题, 提出了一种基于快速二维卷积和多尺度连续估计的算法。该算法充分利用二维图像高斯卷积的可分离性和多尺度照射光连续估计的可行性, 降低了 Retinex 算法的复杂度。同时对于增强后图像色彩容易失真的现象, 提出了一种去极值的直方图裁剪法, 用于保持图像色彩信息和提高对比度。实验结果表明, 这些改进可以有效提高算法运行速度和改善图像增强效果。

**关键词:** 多尺度 Retinex; 图像增强; 动态范围压缩; 直方图裁剪

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

## Improved multi-scale retinex image enhancement algorithm

WANG Xiao-ming<sup>1,2</sup>, HUANG Chang<sup>1</sup>, LI Quan-bin<sup>1</sup>, LIU Jin-gao<sup>1,3</sup>

(1. College of Information Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. College of Teacher Education, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang 321004, China;

3. Department of Electronic Engineering, Shanghai Jianqiao College, Shanghai 201319, China)

**Abstract:** For the existing problems of expensive calculation in the process of image enhancement with multi-scale Retinex, this paper presented an improved algorithm on the basis of fast two-dimensional convolution and multi-scale continuous estimation. Compared with the original algorithm, the new one was simpler for its superiority of making full use of the separability of the image Gaussian convolution and the feasibility of multi-scale continuous illumination estimation. Meanwhile, a histogram clipping method with removing extremum was proposed to deal with the color distortion of enhanced image, which could restore image color information and enhance image contrast. The experimental results demonstrate that the proposed method can efficiently increase the running speed while improving image quality.

**Key words:** Multi-Scale Retinex (MSR); image enhancement; dynamic range compression; histogram clip

## 0 引言

Retinex(视网膜 Retina 和大脑皮层 Cortex 的缩写)理论是 Land 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种关于人类视觉的光亮度和色彩感知的模型<sup>[1]</sup>。它被广泛应用于图像增强领域,包括遥感、医学、去除云雾干扰、消除图像不均匀等<sup>[2-4]</sup>。自 Land 等人提出 Retinex 理论以后,许多学者从不同的角度发展了 Retinex 算法。其中包括单尺度 Retinex(Single Scale Retinex, SSR)算法、多尺度 Retinex(Multi-Scale Retinex, MSR)算法和带色彩恢复的 Retinex(Multi-Scale Retinex with Color Restore, MSRCR)算法<sup>[5-9]</sup>。与其他的图像增强算法相比, Retinex 算法具有锐化、动态范围压缩大、颜色恒常性、色彩保真度高等优点。

Retinex 算法涉及到对图像照射光的估计<sup>[6]</sup>,目前对照射光的估计一般是通过将原始图像进行某种卷积运算得到。由于卷积运算涉及复杂的计算,因此,如何提高 Retinex 算法的运算速度一直是一个亟待解决的问题。本文提出了一种快速的多尺度 Retinex 算法,该算法利用两次一维高斯卷积代替图像的二维高斯卷积,并且将大尺度照射光估计建立在小尺度照射光估计的基础上进行,降低了运算量,提高了算法的运行速度。同时本文针对 Retinex 增强后的图像容易产生灰度化

的现象<sup>[10]</sup>,在分析图像数据的直方图分布的基础上,提出了一种改进的去极值的直方图裁剪法对图像数据进行归一化,用于改善增强图像存在的灰度化现象。实验结果表明,这些改进可以有效提高算法运行速度和改善图像增强效果。

## 1 多尺度 Retinex 图像增强算法

### 1.1 基本的多尺度 Retinex 算法

多尺度 Retinex 算法的表达式为:

$$R_i(x, y) = \sum_{k=1}^K W_k (\log I_i(x, y) - \log [F_k(x, y) * I_i(x, y)]) \quad (1)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, N$  表示波段号。对于灰度图像,  $N = 1$ ; 对于彩色图像,  $N = 3$ , 分别对应彩色图像的  $R, G, B$  分量,同时也对应光谱的长波、中波、短波。 $R_i(x, y)$  表示第  $i$  个波段的 Retinex 增强图像,  $I_i(x, y)$  表示第  $i$  个波段的原图像。 $*$  表示卷积操作,  $K$  表示环绕函数个数,也就是尺度的个数。 $W_k$  是对应第  $k$  个尺度的权重因子。 $F_k$  表示第  $k$  个环绕函数,一般  $F_k$  取高斯函数,其二维表达式为:

$$F(x, y) = C \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

其中:  $\sigma$  为标准差,它的值的选择可以参考文献 [11]。 $C$  为归

收稿日期: 2010-01-18; 修回日期: 2010-03-22。 基金项目: 上海市 2007 年科技攻关重点项目(075115002)。

作者简介: 王小明(1977-),男,浙江台州人,讲师,博士研究生,主要研究方向: 数字图像处理、计算机视觉; 黄昶(1970-),男,上海人,副教授,博士,主要研究方向: 信号处理、数字图像处理; 李全彬(1977-),男,山东临沂人,讲师,博士研究生,主要研究方向: 人工智能、网络信息系统; 刘锦高(1948-),男,上海人,教授,博士生导师,主要研究方向: 信号处理、通信与信息系统。

一化因子。多尺度 Retinex 是单尺度 Retinex 在多个尺度上的综合,它使图像在动态范围压缩和色彩呈现方面有良好的平衡。但是实验发现,MSR 算法处理后的图像还是存在颜色失真和图像淡化的现象,出现这种现象的原因是增强后图像的  $R、G、B$  分量的比值与原图像的  $R、G、B$  比值不一样<sup>[10]</sup>,因此又发展出了带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法 MSRCR。

1.2 带色彩恢复的多尺度 Retinex 算法

MSRCR 算法的表达式为:

$$R_{MSRCR_i}(x,y) = \alpha_i(x,y) \cdot R_{MSR_i}(x,y) \tag{3}$$

其中:  $\alpha_i(x,y) = \log\left(\beta \frac{I_i(x,y)}{\sum_{n=1}^N I_n(x,y)}\right)$ ,  $N$  为波段数目,  $I_i$  为

第  $i$  个波段的图像,  $\beta$  为调整参数,一般  $\beta$  可取 125。从式 (3) 可以看出,MSRCR 算法是在 MSR 算法的基础上,加入调整因子  $\alpha_i(x,y)$  得到的,该因子考虑了原图像中  $R、G、B$  分量的比值。通过这个因子对 MSR 增强后的图像进行补偿,从而使得 MSRCR 输出的图像更好地保持原有颜色不失真。

1.3 改进的 Retinex 输出图像的归一化

要将 MSRCR 算法增强后的图像数据显示出来,必须考虑图像数据的归一化。归一化策略的选择,直接影响最终被增强图像的显示效果,本文从归一化的角度对 MSRCR 算法进行了改进。

对 MSRCR 输出数据进行归一化一般有两种方法:一种是根据输出数据最大值  $Max$  和最小值  $Min$  直接将数据拉伸到  $[0, 255]$  这里称它为直接归一化法。这样处理后的图像对比度一般不能达到最佳,图像整体偏白。另一种是对 MSRCR 输出数据进行直方图裁剪<sup>[11]</sup>。该方法假设输出数据满足高斯分布,然后取  $[\mu - k\sigma, \mu + k\sigma]$  内的数据进行线性对比度拉伸,其中  $\mu$  为输出数据的均值,  $\sigma$  为标准差,  $k$  为常数,一般取  $1 \sim 3$ 。  $k$  值太大不能改善图像对比度,而  $k$  值太小,图像细节容易丢失。本文  $k$  取 2.5。本文在对大量 MSRCR 输出图像数据的直方图进行分析的基础上,发现有些 MSRCR 输出图像数据中,最小值或者最大值处的像素点比较多,而这些图像数据在利用直方图裁剪法归一化后,在对比度和色彩保持上效果比较差。基于此,本文提出了一种去极值的直方图裁剪法对图像进行归一化。图 1 是一幅  $479 \times 665$  大小的图像的 MSRCR 输出数据的  $R$  分量直方图分布。

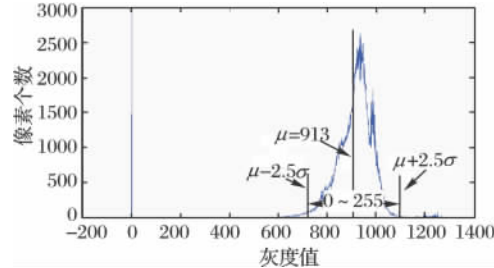


图 1 直方图分布

从图 1 中可以看出,灰度值为  $Min = 0$  的像素点有 7361 个(为了突出主体像素点,图中最高显示为 3000)。这部分像素点始终是图像中的黑点,但它们对灰度值的分布统计会产生较大影响:如果考虑这些像素点,图像平均灰度值为 892,标准差为 154;如果不考虑这些像素点,则图像平均灰度值为 913,标准差为 71,如图 1 所示。显然,忽略灰度值为零的像素点,统计结果更符合图像整体高斯分布的假设。同样道理,最大值处的像素点也容易影响高斯分布的假设。因此在统计

分析时舍弃极值处的像素点将使得归一化之后的图像有更好的显示效果。

2 多尺度 Retinex 算法的实现

2.1 基于快速二维卷积的照射光估计

要实现 Retinex 算法,首先需要对照射光进行估计。目前,对于照射光的估计一般采用将图像与二维高斯函数进行卷积得到。由于二维高斯函数等于两个一维高斯函数的乘积,因此二维卷积也可以分成两步一维卷积进行:先对图像的行数据逐行进行一维高斯卷积,然后再对得到的结果逐列进行一维高斯卷积。如对于  $[2N + 1] \times [2N + 1]$  大小的二维高斯卷积窗口,可以看成两次  $[2N + 1]$  的一维卷积,这就使得算法的复杂度从原来的  $O(N^2)$  下降为  $O(N)$ ,大大减少了运算量。卷积运算时还需要考虑边界问题,一般对边界的处理有两种方法:一种是不对边界数据进行处理;另一种是将边界数据进行扩展。本文采用后者,对边界数据的扩展见图 2。扩展方法:以边界为中心,向外对称扩展数据,每一边的扩展宽度为高斯核半径。

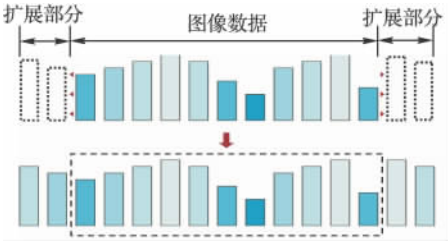


图 2 数据的扩展

高斯核窗口大小的选择直接影响着对照射光进行估计的运算速度。一般理论上可以选择高斯核半径  $r = 3\sigma$ 。实验中发现当取  $r = \sigma$  时,既提高了运算速度,又对照射光的估计影响很少,因此本文取  $r = \sigma$ 。图 3 给出了图像的二维高斯卷积算法流程,经过卷积后的图像也就是对原图像进行照射光估计的图像。

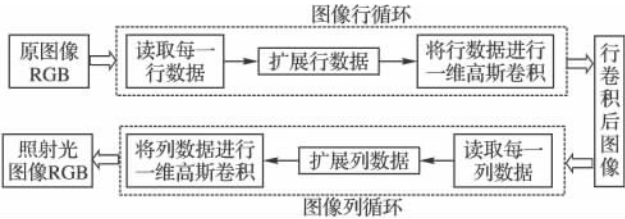


图 3 二维高斯卷积算法流程

2.2 多尺度照射光的连续估计

采用高斯卷积对原图像进行照射光估计相当于对原图像进行高斯模糊操作。在式 (2) 中,选取不同的  $\sigma$ ,也就是对原图像进行不同程度的模糊处理。假设  $\sigma_L < \sigma_M < \sigma_H$ ,先做尺度为  $\sigma_L$  的照射光估计,然后在此基础上再进行标准差为  $\sigma'$  的高斯模糊得到对应尺度  $\sigma_M$  的照射光估计,显然  $\sigma' < \sigma_M$ 。由于实际计算中高斯半径  $r$  取  $\sigma$ ,这样  $\sigma$  越小,高斯核半径越小,卷积的运算量也就越小,所以多尺度连续估计可以有效减少算法的计算量。同样,尺度  $\sigma_H$  的照射光估计也可以在尺度  $\sigma_M$  的照射光基础上进行,从而进一步减少计算量。

2.3 MSRCR 算法的流程

图 4 给出了 MSRCR 算法实现的流程。该流程中,各个尺度的照射光估计采用快速二维卷积方法,不同尺度之间采用连续估计思想。 $R、G、B$  分量根据式 (3) 进行各个尺度的加权

组合,然后利用去极值的归一化方法分别对  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量归一化,最后得到本文的多尺度 Retinex 输出。

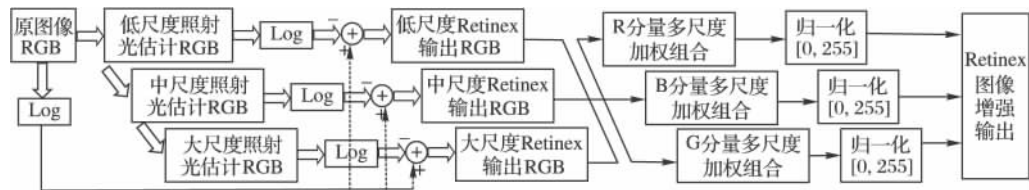
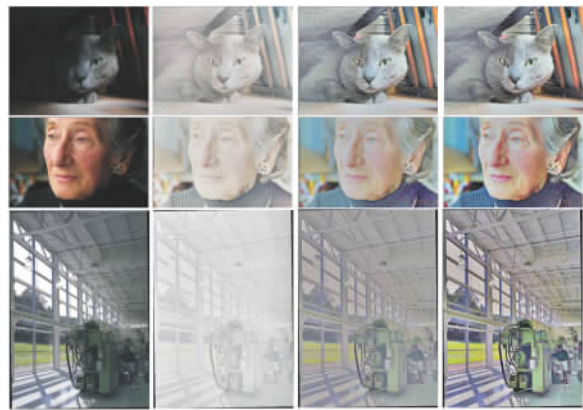


图 4 MSRCR 算法流程

3 实验结果与分析

为了比较算法的性能,本文对一系列图像进行了实验。实验环境为 Pentium 4 ,CPU2.0 GHZ、内存为 2 GB 的个人计算机 ,Delphi 编程。图 5 给出了利用直接归一化法 MSR、直方图裁剪法 MSRCR、去极值的直方图裁剪法 MSRCR 算法进行图像增强的效果比较。从图中可以看出 ,MSR 算法虽然增强了图像 ,尤其是阴影处的细节信息得到了很大的增强 ,但是增强后图像颜色失真比较严重 ,有比较明显的灰度化现象发生。加入颜色恢复因子的 MSRCR 算法 ,利用直方图裁剪法归一化后 ,在保持图像增强的同时 ,颜色信息得到了很大的还原。但是从图 5 的 (c) 列(尤其是第 2 行和第 3 行的图) 可以看到 ,图像还是有些偏色 ,而且图像整体的对比度有所下降。应用本文提出的去极值的直方图裁剪法后 ,不仅压缩了动态范围 ,使图像阴影处信息得到增强 ,同时图像的色彩保持良好 ,对比度也有所提高 ,图像达到了更好的视觉效果。



(a) 原图 (b) MSR (直接归一化) (c) MSRCR (直方图裁剪法) (d) MSRCR (本文归一化方法)  
图 5 Retinex 算法增强效果对比

表 1 给出了图 5 中 3 幅原图在经过 MSRCR 算法增强后 (未归一化之前) 的图像数据中灰度值为零的像素点统计。结合表 1 和图 5 可以看出 ,当图像数据中灰度值为零的像素点占的比例比较少时 ,本文提出的去掉极值再进行统计归一化的算法没有体现出优势 ,但是当这个比例比较大时 ,采用本文的归一化算法将使图像明显有更好的增强效果 ,较好地解决了灰度化现象。

表 1 图像灰度值为零的像素统计

图像	大小	R 分量		G 分量		B 分量	
		像素数	百分比/%	像素数	百分比/%	像素数	百分比/%
猫	409×306	876	0.7	876	0.7	859	0.7
老人	338×224	3510	4.6	4608	6.1	3778	5.0
车间	479×665	7361	2.3	7359	2.3	7359	2.3

在算法运行速度方面 ,表 2 给出了几幅典型大小的图像在直接二维卷积、分步卷积和分步卷积结合多尺度连续估计这 3 种算法作用下增强所需要的时间。表 2 中数据运行时参

数如下:3 个尺度的高斯函数标准差分别为 10、70、130; 高斯核的大小为 21、141、261; 彩色图像浮点数运算。从表 2 中可以看出 ,本文采用两步一维卷积代替二维卷积 ,以及利用各个尺度之间的照射光连续估计大大减少了算法运算量 ,提高了运算速度。

表 2 增强算法的运行时间比较

图像大小	直接二维卷积	分步卷积	分步卷积、连续估计
1 200×1 200	5 937.40	10.68	8.04
800×600	1 846.60	3.55	2.75
640×480	1 120.40	2.26	1.76
320×240	225.17	0.56	0.43

4 结语

本文提出了利用快速二维卷积和多尺度连续估计的算法 ,降低了多尺度 Retinex 算法的运算复杂度。同时提出一种去极值的直方图裁剪法对增强图像进行归一化 ,用于改善图像的灰度化现象。分析和实验结果表明 ,本文算法对于加强图像的增强效果和提高算法的运行速度有明显的改善。

参考文献:

[1] LAND E H, MOCANN J J. Lightness and retinex theory[J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1-11.

[2] 赵忠明,朱重光. 遥感图像中薄云的去除方法[J]. 遥感学报, 1996, 11(3): 195-199.

[3] 张甲杰,陈树越,刘瑞剑,等. 基于多尺度 Retinex 的医学图像增强方法研究[J]. 中国医学影像技术,2007,23(11): 1724-1726.

[4] RAHMANZIA Z-U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Retinex processing for automatic image enhancement[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 100-110.

[5] BRAINARD D H. WANDELL B A. Analysis of the Retinex theory of color vision[J]. Optical Society of America, 1986, 3(10): 1651-1661.

[6] JOBSON D J, RAHMAN Z-U, WOODDELL G A. Properties and performance of a center/surround Retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.

[7] LAND E H. An alternative technique for the computation of the designator in the Retinex theory of color vision[J]. Physics, 1986, 83: 3078-3080.

[8] RAHMAN Z-U, JOBSON D J, WOODDELL G A. Multi-scale Retinex for color image enhancement[EB/OL]. [2009-12-15]. [ftp://vipsun.larc.nasa.gov/pub/papers/icip96\\_multir](http://vipsun.larc.nasa.gov/pub/papers/icip96_multir).

[9] JOBSON D J, RAHMAN Z-U, WOODDELL G A. A multi-scale Retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. IEEE Transactions on Image Processing: Special Issue on Color Processing, 1997, 6(7): 965-976.

[10] 赵全友,潘保昌,郑胜林,等. 一种颜色保持的彩色图像增强新算法[J]. 计算机应用,2008,28(2): 448-451.

[11] 刘茜,卢心红,李象霖. 基于多尺度 Retinex 的自适应图像增强方法[J]. 计算机应用,2009, 29(8): 2077-2079.