

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201605078



# 采用亮通道先验的低照度 图像增强算法

贾存坤, 戴声奎, 卫志敏

(1. 华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021;  
2. 厦门市移动多媒体通信重点实验室, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 针对低照度彩色图像亮度偏低、对比度差等问题, 提出基于亮通道先验的低照度图像增强算法. 首先, 分析 Retinex 算法所存在的缺陷, 提出了亮通道先验. 然后, 将原 RGB 彩色图像转换到 HSV 彩色空间, 对亮度分量  $V$  使用亮通道先验和引导滤波估计光照分量和反射分量, 并且采用自适应对数校正对光照分量进行提升. 最后, 将增强后的图像转换到 RGB 彩色空间. 实验结果表明: 该算法快速有效, 能够很好地提升图像整体亮度和对比度, 图像细节得到增强, 克服了颜色失真和光晕等问题, 增强后的彩色图像更为明亮、自然.

**关键词:** 图像增强算法; 亮通道先验; 引导滤波; 自适应对数校正; HSV 彩色空间; Retinex 理论

**中图分类号:** TP 391.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5013(2018)04-0595-05

## Low Light Image Enhancement Algorithm Using Bright Channel Prior

JIA Cunkun, DAI Shengkui, WEI Zhimin

(1. School of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;  
2. Xiamen Key Laboratory of Mobile Multimedia Communication, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to improve the brightness and contrast of low illumination image, a low light image enhancement algorithm based on bright channel prior is proposed in this paper. Firstly, the proposed algorithm comes up with bright channel prior in order to deal with flaw of the Retinex algorithms. Then the original RGB color image is converted to HSV color space, and the illumination image of  $V$  component is evaluated by using bright channel and guided filter, as well as the contrast of the illumination image is enhanced by adaptive logarithm correction. Finally, the enhanced image is converted to RGB color space. The experimental results show that the proposed algorithm is fast and effective, the overall image brightness and contrast is increased, as well as the image detail. Furthermore, the proposed algorithm overcome the color distortion and halos, and the enhanced color image is more bright and beautiful.

**Keywords:** image enhancement algorithm; bright channel prior; guided filter; adaptive logarithm correction; HSV color space; Retinex theory

随着现代计算机的发展, 计算机视觉系统得到更加广泛的应用, 如视频监控、城市交通、卫星遥感等, 尤其是移动终端的广泛普及, 照片采集已经变得触手可及. 然而, 在低照度或者曝光不足的情况下,

**收稿日期:** 2016-05-24  
**通信作者:** 戴声奎(1971-), 男, 副教授, 博士, 主要从事图像处理、视频分析和模式识别的研究. E-mail: D. S. K@126.com.  
**基金项目:** 福建省科技计划重点项目(2013H0030); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(JB-ZR1145); 华侨大学研究生科研创新能力培育计划资助项目(1400401015)

往往会导致采集图像出现亮度偏低、细节模糊、色彩饱和度偏低及偏色等降质问题,给计算机视觉系统带来很多困难和挑战.因此,对低照度彩色图像的增强处理和研究很有必要.许多学者已对此进行了相关研究<sup>[1-10]</sup>.本文提出一种基于亮通道(BC)先验的低照度图像增强算法.

1 相关工作及分析

1.1 多尺度中心环绕 Retinex 算法

单尺度中心环绕 Retinex 算法,较其他 Retinex 算法,操作相对简单,运算速度更快.该算法指出,图像的光照分量是空间平滑的,对应的是图像的低频分量,相应反射分量对应图像的高频分量(即图像细节).因此,可以对原图像进行低通滤波(大多用高斯滤波)估计光照分量.然后,原图像与估计出的光照分量做除法,得到反射分量,即增强图像,其表达式为

$$\mathbf{R}(x,y)=\mathbf{S}(x,y)/\mathbf{L}(x,y),\quad \mathbf{L}(x,y)=\mathbf{F}(\mathbf{S}(x,y)).\tag{1}$$

式(1)中: $(x,y)$ 为图像像素的二维坐标; $\mathbf{S}(x,y)$ 为原图像; $\mathbf{L}(x,y)$ 为光照分量; $\mathbf{R}(x,y)$ 为反射分量,即增强后的图像; $\mathbf{F}(\cdot)$ 为低通滤波器.

基于单一平滑参数的单尺度 Retinex 算法无法同时保证细节增强与颜色保真.当单尺度的平滑参数较小时,细节增强效果较好,但颜色保真能力较差;当其平滑参数较大时,颜色保真能力较好,但细节增强效果较差.多尺度 Retinex 算法(MSR)能够改善这一问题,该算法采用不同的尺度参数进行线性加权平均,实现细节增强与颜色保真之间的平衡.一般情况下,MSR 取高、中、低 3 个不同的尺度参数.

1.2 传统算法的缺陷分析及改进

基于 Retinex 理论的图像分解,关键在于光照分量的估计,一般是采用低通滤波器对原图像进行滤波估计光照分量,继而得到反射分量.众所周知,反射分量是由成像物体的特性决定的,取值介于 0(全吸收)和 1(全反射)之间.而在采用低通滤波器对得到的反射分量,可发现反射分量的数值约 50%,大于 1,使增强后的图像细节信息有较多损失.因此,这些方法在某种程度上是不合理的.

为了避免反射分量大于 1 的情况,必须要保证原图像不大于光照分量.因此,文中在原来基础上增加新的先验信息,即亮通道先验.该先验条件具体有以下 3 个原则.

1) 对于 RGB 图像,根据 Retinex 理论,RGB 图像 3 个颜色通道的光照分量是相同的,只是 3 个颜色通道的反射系数不同.因此,选取颜色通道中最大值估计光照分量.

2) 根据图像空间连续性原则,在同一邻域内,像素值是稳定平滑的,那么邻域内它们的光照分量应该是相同的,这时选取邻域中最大的像素值估计该邻域的光照分量.

3) 对于边缘处,若采用空间连续原则,那么就会出现光晕效应.针对该问题,再次在邻域内进行最小值滤波,这样边缘处的光晕效应被抵消掉,且非边缘的区域依然保持不变.

采用亮通道估计光照分量,其数学表达式为

$$\mathbf{L}(x,y)=\min(\max(\max_{\Omega(x,y)}\max_{c\in\{r,g,b\}}\mathbf{S}^c(x,y))).\tag{2}$$

式(2)中: $\Omega(x,y)$ 是以像素 $(x,y)$ 为中心的邻域; $\mathbf{S}^c(x,y)$ 是原图像的 RGB 彩色图像.

这种算法因为是在邻域内进行操作,得到的光照分量有明显的块效应,图像边缘被模糊,整体模糊程度不够.因此,文中采用引导滤波再次对图像进行保边滤波,对光照分量进行细化,其数学表达式为

$$\mathbf{L}'(x,y)=\text{guidedfilter}(\mathbf{L}(x,y)).\tag{3}$$

式(3)中:guidedfilter()为引导滤波器<sup>[8]</sup>.

2 低照度增强算法

2.1 反射分量的估计

文中算法先将原图像转换到 HSV 彩色空间处理,在 HSV 彩色空间中,只需要对亮度分量 **V** 进行处理.其中,**V** 分量的数学表达式为

$$\mathbf{V}(x,y)=\max_{c\in\{r,g,b\}}\mathbf{S}^c(x,y).\tag{4}$$

显而易见,在 HSV 彩色空间对图像进行处理不仅颜色不易失真,而且运算更简便.由于 **V** 分量是

二维图像,且已是原图像 RGB 颜色通道的最大值,将式(4)带入式(2),(3)中,得到光照分量  $L'(x,y)$ ,再由式(1)得到反射分量  $R(x,y)$ .

图像反射分量的比较,如图 1 所示.由图 1 可知:图 1(b),(c)的细节模糊,亮度偏高;图 1(d)的效果细节清晰、自然.虽然在一些场合下,可以直接采用文中算法所得到的反射分量图像,但该算法得到的图像与预期的理论图像有一些差距,因此,需要进一步对光照分量处理.



图 1 图像反射分量比较

Fig. 1 Comparison of reflection component of images

### 2.2 光照分量的自适应对数校正

Retinex 理论估计光照分量,是基于假设为先验的,是一个病态问题求解.因此,该方法所求的反射分量并非预期的理想增强图像,需对光照分量再进行处理,最后,合成增强的图像.目前,针对低照度算法整体偏暗的特点,大多数采用对数或 Gamma 校正,使图像的亮度明显提升,对比度增强.然而,这种单一的校正却忽略图像本身较亮的部分,使图像中原本较亮的部分也被增强了,反而失去了亮部的细节信息.文献[11]针对此问题,先给定一个固定阈值,把图像分割成暗区与亮区,对两个区域采用不同的亮度调节,使暗区和亮区的灰度级都得到拉伸.在此基础上,提出一种自适应亮度校正,具体做法如下.

1) 先求出光照分量中暗部像素的均值,采用全局阈值处理,把图像的暗部分割处理,求其均值,再求出自适应阈值  $t$ ,即

$$t = 1 - \text{mean}(L_{\text{dark}}). \tag{5}$$

2) 根据阈值将图像分割成暗区与亮区,分别采用不同的映射,其函数表达式为

$$L'(x,y) = \begin{cases} W_L \cdot \log(L(x,y) + 1), & L(x,y) \leq t, \\ -W_H \cdot \log(D - L(x,y)) + \log D, & L(x,y) > t. \end{cases} \tag{6}$$

$$W_L = \frac{t}{D-1} \cdot \log D, \quad W_H = \frac{(1 - \frac{t}{D-1}) \cdot \log D}{\log(t-1)}. \tag{7}$$

式(6),(7)中: $D$  是图像的灰度级动态范围,对于 8 位图像系统,其值为 256.  $W_L$  和  $W_H$  分别表示为暗区与亮区的权值系数.

光照分量的自适应对数校正,如图 2 所示.由图 2 可知:对于图像中的高亮部分,其表现在图的右边区域,特别是对那些高动态图像,其高亮部分明显集中在图的右边很靠近 1 的位置,一般在 0.7~1.0.这时,若采用线性的恒等映射,其数值保持不变;若采用 Gamma 校正,其数值会变得更大,而且动态范围进一步缩小;采用文中方案,采用 S 型曲线,在对暗部亮度提升的同时,对于高亮部分,既可以降低其数值,又使其在动态范围上进一步拉伸,可以显示更多的细节信息.

### 2.3 增强图像的恢复

将处理后的反射分量和光照分量相乘,恢复增强后的图像,其数学表达式为

$$V'(x,y) = L'(x,y) \times R(x,y). \tag{8}$$

最后,将  $V'(x,y)$  替换原图像 HSV 彩色空间的  $V(x,y)$  分量空间,并将增强后的 HSV 彩色空间转换到 RGB 彩色空间中,得到最终的增强图像.

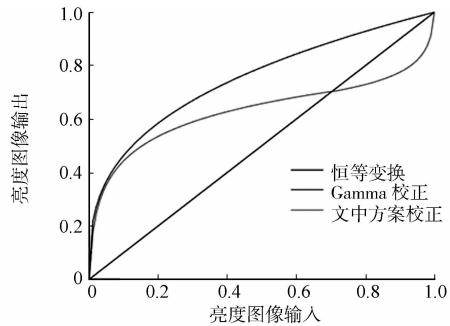


图 2 光照分量的自适应对数校正

Fig. 2 Adaptive logarithm correction of illumination component

3 实验结果与分析

为验证文中算法的有效性 与 先进性,在 Matlab 平台(CPU 为 Intel 双核,主频为 2.5 GHz)上,对几幅不同场景的彩色图像进行测试,如图 3 所示.由图 3 可知:增强图像动态范围得到压缩,提高图像全局亮度,细节清晰,特别是对亮度细节信息的增强,且增强图像整体自然,说明文中算法的有效性.



图 3 文中算法对不同场景的增强效果

Fig. 3 Enhancement effect of proposed algorithm for different images

采用文中算法与 MSRCR 算法,M. Elad 算法分别对同一低照度图像增强效果进行对比测试,结果如图 4,5 所示.

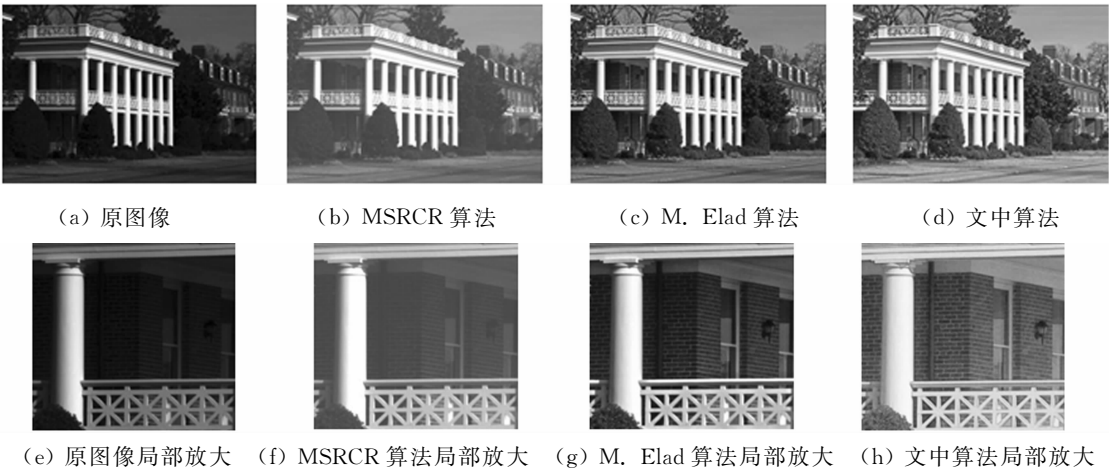


图 4 3 种算法增强效果比较

Fig. 4 Enhancement effect comparison of three kinds of algorithms



图 5 3 种算法增强效果比较

Fig. 5 Enhancement effect comparison of three kinds of algorithms

由图 4,5 可知:3 种算法对原图像在亮度上都有所提升,但是 MSRCR 算法所处理的图像颜色有所失真,细节模糊,白色柱子边界处还不同程度地出现光晕现象,图像整体有种被冲淡的感觉;M. Elad 算法虽然整体效果较好,但是对原图像的较暗处的亮度提升不够明显,导致细节信息被掩盖,对比度较差,

图像边界处有梯度反转,整体不够自然,而且颜色不够艳丽;而文中算法亮度提升最为明显,细节清晰、对比度强、颜色艳丽、不失真,且有效地克服了光晕和伪影现象,很好地抑制了噪声。

为了客观地评价文中算法的有效性,采用图像均值、对比度、信息熵、彩色熵处理时间等客观评价参数,对图 4,5 中不同算法的增强效果进行客观评价。图 4,5 的分辨率均为 1 312 px×2 000 px。增强结果客观性能对比,如表 1 所示。表 1 中: $t$  为处理时间。由表 1 可知:3 种算法对亮度提升都很明显,文中算法亮度提升最为明显。文中算法与 M. Elad 算法图像的标准差(即图像的对比度)都较高,说明文中算法与 M. Elad 算法能够很好提升图像的对比度。文中算法与 M. Elad 算法信息熵(即图像的细节表现力)数据较高,说明文中算法很好地处理图像细节。文中算法与 M. Elad 算法彩色熵(评价彩色图像的颜色增强程度)较高,说明文中算法在颜色增强方面有很好的效果。综合各个参数,文中算法远优于 MSRCR 算法的增强处理,效果与 M. Elad 算法接近,但 M. Elad 算法在处理时间上远高于文中算法。

表 1 增强结果客观性能对比

Tab. 1 Objective performance comparison of enhancement results

算法	均值		标准差		信息熵		彩色熵		$t/s$	
	图 4	图 5	图 4	图 5	图 4	图 5	图 4	图 5	图 4	图 5
原图	57.096 8	54.673 1	60.955 5	34.182 8	6.970 9	6.841 3	21.008 5	20.411 0	—	—
MSRCR	124.584 1	125.895 9	56.468 8	49.647 4	6.549 5	7.485 8	19.872 1	22.533 2	6.919 8	5.091 8
M. Elad	101.031 9	108.734 8	69.350 4	56.162 6	7.610 2	7.643 1	22.973 3	22.903 4	106.374 6	97.511 0
文中	120.189 6	119.095 0	70.031 4	58.272 0	7.645 4	7.587 2	23.197 7	22.801 8	5.711 5	4.856 7

4 结束语

分析传统增强算法的缺陷,提出亮通道先验估计光照分量和反射分量,进一步对光照分量进行自适应对数校正。通过效果测试和不同算法增强效果对比,验证了文中算法在提升全局亮度的同时,能克服光晕效应,抑制随机噪声,增强后的图像细节清晰、颜色艳丽、无失真、处理速度快,具有很好的视觉效果。但是,仍存在一些局限性,如低照度图像的噪声,文中算法去噪效果有限,这是今后研究的重点。

参考文献:

[1] LAND E H, MCCANN J J. Lightness and retinex theory[J]. J Opt Soc Am, 1971, 61(1): 1-11.

[2] BRAINARD D H, WANDELL B A. Analysis of the retinex theory of color vision[J]. J Opt Soc Am A, 1986, 3(10): 1651-1661. DOI:10.1364/JOSAA.3.001651.

[3] FAUGERAS O D. Digital color image processing within the framework of a human visual model[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1979, 27(4): 380-393. DOI:10.1109/TASSP.1979.1163262.

[4] HORN B K. Determining lightness from an image[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1974, 3(4): 277-299. DOI:10.1016/0146-664X(74)90022-7

[5] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODSELL G A. Properties and performance of a center/surround retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462. DOI:10.1109/83.557356.

[6] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODSELL G A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(7): 965-976.

[7] ELAD M. Retinex by two bilateral filters[C]// International Conference on Scale-Space Theories in Computer Vision. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 217-229. DOI:10.1007/11408031\_19.

[8] HE Kaiming, SUN Jian, TANG Xiaou. Guided image filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6): 1397-1409. DOI:10.1109/TPAMI.2012.213.

[9] PEI S C, LEE T Y. Nighttime haze removal using color transfer pre-processing and dark channel prior[C]// 19th IEEE International Conference on Image Processing. [S. l.]: IEEE Press, 2012: 957-960.

[10] 王晓. 基于 Retinex 理论的图像颜色校正算法[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014: 81-82.

[11] 赵晓霞. 基于 RETINRX 理论的视频图像增强系统研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2011: 30-45.