

改进多尺度 Retinex 的彩色图像增强

唐宁, 赵鹏, 吴绍启

(桂林电子科技大学 广西 桂林 541004)

摘要: 由于假设入射光变化平稳, 基于 Retinex 理论的传统彩色图像增强算法也有一些局限性, 增强效果有限。在明暗对比度较强处, 引入颜色失真和出现光晕现象。考虑到这些限制, 本文提出了一种基于多尺度 Retinex 的改进算法。利用双边滤波进行亮度分量估计和局部对比度增强, 将增强后的亮度图像与原始图像 HSV 彩色空间的亮度图像 I 进行对比, 进行彩色图像恢复。实验结果表明, 该方法在增强图像时, 能够有效地避免颜色失真及抑制光晕。

关键词: Retinex 理论; 颜色失真; 光晕; 双边滤波

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2016)12-0168-04

Color image enhancement based on improved multi-scale Retinex

TANG Ning, ZHAO Peng, WU Shao-qi

(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: There are also some limitations on the effect of enhancement which traditional color image enhancement algorithm based on the Retinex theory due to its assumption which the incident light is changing smoothly. It brings color distortion and appears a halo phenomenon during the strong contrast between the light and the dark. Considered these limitations, it puts toward an improved algorithm based on the multi-scale Retinex in this paper. The brightness component is estimated by bilateral filtering and local contrast enhancement. We will compare the brightness of the image after increasing with the original image of brightness component I of HSV color space, for color image restoration. The experimental results prove that the method can efficiently avoid cross color and restrain the halo phenomenon when enhancing the image.

Key words: Retinex theory; cross color; halo; bilateral filtering

DOI: 10.14022/j.cnki.dzsjgc.2016.12.049

由于光线和设备的原因, 图像亮度不够明显, 以至于获取图像背景中的细节无法被人们感知, 需要经过图像处理来获得清晰度较高的图像。图像增强技术在改善图像质量中起着重要的作用^[1]。利用图像增强方法, 可以获得更佳效果, 方便人眼观察和计算机分析及处理。

目前, 图像增强算法主要包括传统的空域和频域图像增强算法。最近几年, 研究人员开始关注基于 Retinex 在图像增强中的应用, 并且在图像增强区域取得很大的进步, 对进一步图像处理提供更清晰, 更生动的图像。如基于多尺度 Retinex 的 B 超声波肝脏图像增强^[2]、基于多尺度 Retinex 的磁共振图像增强^[3]、以及基于多尺度 Retinex 遥感图像增强^[4]等。基于 Retinex 理论的增强方法^[5], 以及在此基础之上发展起来的单尺度 Retinex (SSR, Single-Scale Retinex) 算法、多尺度 Retinex (MSR, Multi-Scale Retinex) 和带彩色恢复多尺度 Retinex (MSRCR) 等改进算法。虽然在一定条件下符合人类的视觉效果, 但是会出现颜色失真和光晕现象^[6]。本文在多尺度 Retinex 的基础之上, 做出一定改进。利用双边滤波进行亮度分量估计和将每个像素点的亮度与其邻域平均亮度的大小

关系进行局部对比度增强。同时, 为了保证图像增强效果达到理想, 将增强后的亮度图像与原始图像 HSV 彩色空间的亮度图像 I 进行对比, 进行彩色图像恢复。

1 Retinex 增强算法

MSR 算法是基于中心/环绕 Retinex 算法的一种改进, 是一种图像增强算法, 它不仅可以实现图像动态范围压缩, 还能保证颜色一致性。

由于单尺度 Retinex 算法不能同时满足图像细节增强与颜色保真。故此提出多尺度 Retinex 算法, 在本质上, 它和单尺度 Retinex 算法几乎相同, 只不过是多个单尺度 Retinex 算法加权求和, 其数学表达式如下:

$$R_{MSR_i}(x, y) = \sum_{j=1}^N W_j R_{SSR_i} = \sum_{j=1}^N W_j \{ \lg I_i(x, y) - \lg [F(x, y)]^* I_i(x, y) \} \quad (1)$$

其中, $R_{MSR_i}(x, y)$ 表示第 i 个颜色通道多尺度输出分量; 若 $N=1$, 则输入灰度图像; 若 $N=3$, 则输入彩色图像; $*$ 表示卷积运算; W_j 表示与环绕函数相关的权重系数, 一般情况下, $W_1=W_2=W_3=1/3$; $F_j(x, y)$ 表示第 j 个中心/环绕函数, 其数学表达式如下:

收稿日期: 2015-07-07

稿件编号: 201507058

作者简介: 唐宁 (1964—), 男, 广西壮族自治区桂林人, 硕士研究生, 副教授。研究方向: 数字专用集成电路设计与测试、EDA 技术。

$$F_j(x,y)=K\exp[-(x^2+y^2)/2\sigma_j^2] \quad (2)$$

其中, σ_j 表示第 j 个中心/环绕函数的尺度参数, σ 的取值为: $\sigma_1=15, \sigma_2=80, \sigma_3=250$ 。 σ 表示高斯函数的标准偏差即尺度参数, 其大小直接影响增强图像的质量。 当 σ 取值较小时, 高斯模板较小, 动态范围的压缩能力越强, 图像细节的黑暗部分增强效应更好, 但是输出分量颜色失真严重。而当 σ 取值较大时, 高斯模板较大, 输出分量的颜色具有较高的保真度, 动态范围的压缩能力变弱, 局部细节模糊。 K 为归一化因子, 参数 K 的选择必须满足以下条件:

$$K=\frac{1}{\sum_x \sum_y F(x,y)} \quad (3)$$

在 MSR 的基础之上引入色彩恢复系数 C 得到的是带色彩恢复多尺度 Retinex 算法 (MSRCR), 从而很好地解决了颜色失真问题, 其改进算法如下所示:

$$R_{MSRCR_i}=C_i(x,y) \cdot R_{MSR_i}(x,y) \quad (4)$$

$$C_i(x,y)=\alpha \lg \left[A \cdot I_i(x,y) \right] \left/ \sum_{i=1}^N I_i(x,y) \right. \quad (5)$$

其中, $C_i(x,y)$ 表示第 i 个颜色通道的色彩恢复系数; $f(\cdot)$ 表示颜色空间的映射函数; 为保证色彩恢复系数为正数, 用 $\lg(1+x)$ 来代替 $\lg(x)$ 。

$$C_i(x,y)=\alpha \lg \left[1+A \cdot I_i(x,y) \right] \left/ \sum_{i=1}^N I_i(x,y) \right. \quad (6)$$

由于色彩恢复系数 C 为一个常数, 直接可以调整增益常数 α 的值来达到带颜色恢复多尺度 Retinex 算法的增强效果。与彩色恢复多尺度算法相比, 本文最终采用多尺度 Retinex 算法思想, 提高了算法的运行效率。

2 改进多尺度 Retinex 图像增强

为了更好地改善颜色失真, 抑制光晕现象。本文对传统的 MSR 作了改进, 其主要思想是: 首先, 它采用改进的 MSR 图像增强, 用双边滤波进行亮度分量估计; 其次, 将每个像素点的亮度与其领域平均亮度的大小关系进行局部对比度增强; 最后, 为了保证图像增强效果达到理想, 将增强后的亮度图像与原始图像 HSV 彩色空间的亮度图像 I 进行对比, 进行彩色图像恢复。改进算法的流程图如图 1 所示。

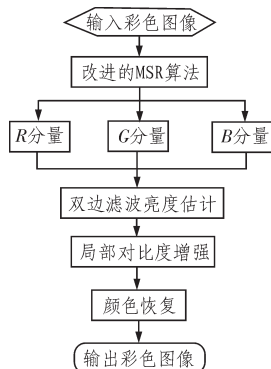


图1 改进算法的流程图

2.1 亮度分量估计

本文采用 Li 等在 DOG 模型^[7]的基础上提出三高斯模型, 通过添加第三个高斯核来代表大范围的去抑制区。基本思想是采用三高斯模型滤波和传统高斯滤波相结合的双边滤波来获得领域的平均亮度值。 这方法既能增强图像的边缘对比, 而且可以有效提升区域对比亮度和亮度梯度信息。 使估计出的亮度信息更加准确。首先, 将原始图像 RGB 空间转换成 HSV 颜色空间来提取亮度分量 I :

$$I(x,y)=\max[I_R(x,y), I_G(x,y), I_B(x,y)] \quad (7)$$

其中 $I_R(x,y), I_G(x,y), I_B(x,y)$ 分别表示彩色图像中点 (x, y) 处像素的 R, G, B 3 个分量的值, 即彩色图像的红色分量、绿色分量和蓝色分量。

利用双边滤波计算当前像素的平均亮度 $\bar{I}(x,y)$:

$$\bar{I}(x,y)=\sum_{i-j=-m}^m G_r G_v \lg[1+I(x_i, y_j)] \left/ \sum_{i=1}^m G_r G_v \right. \quad (8)$$

其中, $G_r(x,y)$ 是空间邻近三高斯核函数, $G_v(x,y)$ 是传统高斯核函数。

$$G_r(x,y)=\lambda_1 \exp[-(x^2+y^2)/2\sigma_1^2] - \lambda_2 \exp[-(x^2+y^2)/2\sigma_2^2] + \lambda_3 \exp[-(x^2+y^2)/2\sigma_3^2] \quad (9)$$

将 $r=x^2+y^2$ 代入得到表达式:

$$G_r(x,y)=\lambda_1 \exp(-r/2\sigma_1^2) - \lambda_2 \exp(-r/2\sigma_2^2) + \lambda_3 \exp(-r/2\sigma_3^2) \quad (10)$$

其中, r 表示高斯滤波器的区域半径; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 分别表示中央、四周和边缘的峰值系数; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 分别表示中央、四周和边缘的尺度系数。

$$G_v(x,y)=\exp\{-[I(x,y)-I(x_i, y_j)]^2/2\sigma_v^2\} \quad (11)$$

由于受尺度参数的个数和尺度参数值的影响, 不同的尺度参数, 多尺度 Retinex 算法会产生不同的增强效果。如果单纯地引用中心/环绕函数增强的话, 效果不理想。为了尽可能地使原始图像达到理想的增强效果, 可以引入一个增益常数 α , 则 $R_j(x,y)$ 的表达式为:

$$R_j(x,y)=\lg \left[\alpha \cdot \frac{I(x,y)}{F_j(x,y) * I(x,y)} \right] \quad j=1, 2, 3 \quad (12)$$

亮度分量 I 的增强结果:

$$I(x,y)=\sum_{j=1}^N W_j R_j = \frac{1}{3} (R_1 + R_2 + R_3) = \frac{1}{3} \left\{ \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \frac{I(x,y)^3}{G_1(x,y) \cdot G_2(x,y) \cdot G_3(x,y)} \right\}$$

式中, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别表示为 3 个不相等的增益常数, 为了计算方便可以用一个增益常数 α 来简化。

$$G_j(x,y)=F_j(x,y) * I(x,y) \quad (13)$$

因此, 亮度分量 I 的最终增强结果可以表示为:

$$I(x,y)=\frac{1}{3} \lg \left[\alpha \cdot \frac{I(x,y)^3}{G_1(x,y) \cdot G_2(x,y) \cdot G_3(x,y)} \right] \quad (14)$$

2.2 局部对比度增强

图像经过亮度对数变换后, 图像的动态范围压缩能力减弱, 对比度下降, 图像效果与预期相差较远, 需要采取相应的

措施来改善图像的对比度,可以依据每个像素点的亮度与其领域平均亮度的大小关系进行局部对比度增强,增强后的亮度图像 $I'(x,y)$ 如下所示:

$$I'(x,y)=A[I_m(x,y)-\bar{I}(x,y)]+\bar{I}(x,y) \quad (15)$$

其中, A 表示正值常数,局部线性关系的比例; $I_m(x,y)$ 表示对数变换后的图像;

由上式表达式可以知道,如果当前点的亮度高于领域平均亮度,则增强该点的亮度;反之,就降低该点的亮度。

全局亮度对数变换是对图像全局明暗程度进行非线性调整,完成对图像中暗区域增强和动态范围的压缩功能。其变换公式如下:

$$I_m(x,y)=\log[1+I(x,y)]/\log(256) \quad (16)$$

2.3 颜色恢复

图像经过局部对比度增强后,需要对颜色进行恢复。通过将增强后的亮度图像 $I'(x,y)$ 与原始图像 HSV 颜色空间的亮度 I 进行比较,线性调整恢复增强后图像的 RGB 信息,表达式如下所示:

$$I'_j(x,y)=I'(x,y) \cdot I_j(x,y)/I(x,y) \quad (17)$$

其中, $I_j(x,y)$ 表示原始图像中第 j 个颜色分量; $I'_j(x,y)$ 表示增强后第 j 个颜色分量, $j=r,g,b$ 。

3 实验结果分析

本文的实验是在 MATLAB12a 上完成的。实验选取了一幅彩色图像,根据上面所提出的改进算法对图像进行实验仿真,然后与直方图均衡化、MSR 算法、MSRCR 算法以及文献 [8] 算法的输出图像进行对比。如图 2 所示,图(a)是原始图像;图(b)是直方图均衡化,产生较大的色差,颜色失真较严重,且处理后图像整体亮度变暗,大量细节被较暗区域隐蔽;图(c)是由 MSR 算法得出的输出图像,颜色明显偏暗,图像细节部分得到增强,彩色失真较小,容易出现光晕现象,视觉效果不佳;图(e)是由 MSRCR 算法得出的输出结果,通过色彩恢复系数,带颜色的增强效果较明显,但是边缘细节增强效果较差,容易出现光晕现象;图(e)是文献[8]基于模糊同组划分的多尺度彩色图像增强算法^[8],输出图像细节突出,颜色鲜艳自然,减少颜色失真,扩大动态范围,在亮度提升和增强效果方面都不如本文改进算法;图(f)是本文算法,与之相比,本文提出的改进算法计算得到的输出图像不仅颜色明亮清晰,细节部分增强,而且颜色得到更好的实现,消除光晕现象。

为了更好地分析本文算法的增强效果,表 1 给出了不同方法增强后的均值、对比度、信息熵以及运行时间的数据对比,其中对比度(C)和熵(E)计算如下:

$$C=\sum_{\delta} \delta^2(i,j) \cdot P_{\delta}(i,j) \quad (18)$$

其中, $\delta(i,j)=|i-j|$ 表示相邻像素间的差值; $P_{\delta}(i,j)$ 表示相邻像素差 δ 的像素分布概率。

$$E=-\sum_{i=1}^{N-1} p_i \cdot \ln p_i \quad (19)$$

其中, N 表示图像的灰度级数; p_i 表示像素值为 i 的分布概率。信息熵值越大,则说明图像携带的信息量就越多。



图 2 本文算法与经典算法之间的对比

表 1 图像增强效果数据对比

	均值	对比度	信息熵	运行时间/s
原始图像	92.36	25.19	5.37	NONE
直方图均衡化	119.81	28.23	5.93	3.51
MSR 算法	131.35	27.15	6.34	7.28
MSRCR 算法	165.17	29.27	6.80	10.52
文献[13]算法	180.21	33.19	7.13	13.61
本文算法	196.35	36.39	7.86	15.34

在均值方面,从表 1 中本文算法的均值分别为直方图均衡化、MSR 算法、MSRCR 算法的 1.64 倍、1.49 倍和 1.19 倍。表明本文算法增强后图像的均值较高,整体的图像变亮。在对比度方面,从表 1 中本文算法的对比度明显要高于其他算法。对比度较高,信息熵较低的话,说明颜色失真较严重。在信息熵方面,从表 1 中本文算法增强后图像的信息熵分别为直方图均衡化、MSR 算法和 MSRCR 算法的 1.30 倍、1.21 倍和 1.14 倍。由此可见,本文算法的信息熵明显要优于其他算法,增强后图像所包含的信息量更丰富,图像空间信息能更好的保持。从表 1 中运行时间看直方图均衡化虽然处理时间最短,但其它增强效果较差。而本文算法与其他算法相比的话,需要增加颜色空间变换、滤波和颜色恢复额外的计算开销,因此它的运行时间最长。

4 结论

图像增强是图像处理的关键步骤。当传统的 Retinex 算法用于提高彩色图像时,在明暗对比度较强的地方,算法会导致颜色失真和出现光晕现象。此外,它也削弱了动态范围压缩的局部对比度。本文提出一种改进的多尺度 Retinex 算

法,利用双边滤波进行亮度分量估计和将每个像素点的亮度与其邻域平均亮度的大小关系进行局部对比度增强。同时,为了保证图像增强效果达到理想,将增强后的亮度图像与原始图像 HSV 彩色空间的亮度图像 I 进行对比,进行彩色图像恢复。其改进算法,在保持色彩恒常性,增强对比度及抑制光晕现象都取得很好的效果。

参考文献:

- [1] He L, Luo L, Shang J. An image enhancement algorithm based on Retinex theory[C]//2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science. IEEE Computer Society, 2009:350-352.
- [2] Zhang R, Huang Y, Zhao Z. A ultrasound liver image enhancement algorithm based on multi-scale Retinex theory [C]//Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference on. IEEE, 2011:1-3.
- [3] Hu H, Ni G. Magnetic resonance image enhancement based on multiscale Retinex algorithm [C]//Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference on. IEEE, 2010:345-348.

- [4] Wu H, Yang G, Xu Z, et al. Remote sensing image enhancement method based on multi-scale Retinex[C]//Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences, International Conference of. IEEE, 2011:15-18.
- [5] Zhang Z, Li K. Study on algorithm for panoramic image basing on high sensitivity and high resolution panoramic surveillance camera[C]//Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2013 10th IEEE International Conference on. IEEE, 2013:359-364.
- [6] Cui L Y, Xue B D, Cao X G. An improved Retinex image enhancement technique for dim target extraction in infrared images[J]. Image & Signal Processing. cisp. international Congress on, 2009:1-5.
- [7] 金小贤, 李卫军, 陈旭, 等. 一种基于视觉特性的仿生图像增强算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(3): 534-537.
- [8] 胡琼, 汪荣贵, 胡伟伟, 等. 基于直方图分割的彩色图像增强算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(9):1776-1781.

(上接第 167 页)

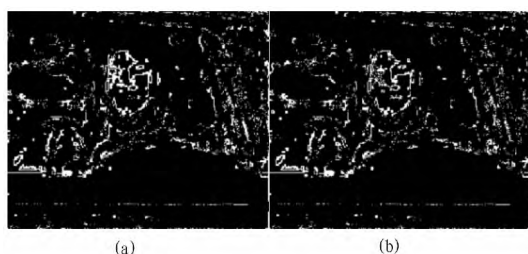


图5 混合差分

出了一种硬件流水线的快速结构,使得图像数据的处理都能按照流水方式进行,节省了大量的重复数据读取操作时间,同时也对目标检测系统中的算法做了硬件的实现,如中值、均值滤波、Sobel 检测等,通过实验证明了论文设计的有效性。

参考文献:

- [1] Dawson D, Lamond, N, Donkin K, et al. Quantitative similarity between the cognitive psychomotor performance decrement associated with sustained wakefulness and alcohol intoxication. In Hartley, L. R (Ed) Managing Fatigue in Trans-

portation Proceedings of the Third International Conference on Fatigue and Transportation, Fremantle, Western Australia [C]. Oxford UK. Elsevier Science Ltd, 1998.

- [2] LAL S K L, CRAIG A. Electroence Phalography Activity Associated with Driver Fatigue: Implications for a Fatigue Countermeasure Device[J]. Journal of Psychophysiology, 2001, 15(3):183-189.
- [3] LAL S K L, CRAIG A, BOORD P, et al. Development of an Algorithm for an EEG-based Driver Fatigue Countermeasure [J]. Journal of Safety Research, 2003, 34(3):321-328.
- [4] 傅天宇. 防疲劳驾驶系统的设计[J]. 森林工程, 2014, 2(30): 114-149.
- [5] 胡鸿, 易灿南, 廖远志, 等. 车载驾驶员疲劳驾驶预警与控制系统研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(11):101-106.
- [6] 袁翔, 孙香梅. 疲劳驾驶检测方法研究进展[J]. 汽车工程学报, 2012, 3(2):157-164.

欢迎订阅 2016 年度《电子设计工程》(半月刊)

国内邮发代号:52-142

国际发行代号:M2996

订价:15.00 元/期 360.00 元/年