

双通道分块同态滤波彩色图像增强算法

段 群, 吴粉侠, 李 红

(咸阳师范学院 图形图像处理研究所, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 为了有效增强由于光照不均的彩色图像, 文中在应用 HSV 彩色模型空间的基础上, 提出了一种基于双通道的分块同态滤波彩色图像增强算法。首先将光照不均源彩色图像从 RGB 色彩空间模型转换到 HSV 色彩空间模型。然后为了弥补光照不足引起的图像亮度不均, 对变换后的亮度分量做分块巴特沃斯高通同态滤波, 之后会出现轻微块效应, 为了去除块效应, 对相邻子图像边界处亮度值采用 3×3 邻域均值的亮度值代替; 接着为了提高图像的整体对比度, 对变换后的饱和度和分量做全局巴特沃斯高通同态滤波以便微调增强效果。最后, 再将图像从 HSV 色彩空间模型还原到 RGB 色彩空间模型。实验结果表明, 该算法不仅增加了图像暗区域明亮度, 而且颜色保持较好, 纹理更清晰。

关键词: HSV 颜色模型; 同态滤波; 彩色图像增强; 块效应; 截至频率

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2016)01-0082-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2016.01.017

An Enhanced Algorithm of Color Image Based on Block Homomorphic Filter in Two Channels

DUAN Qun, WU Fen-xia, LI Hong

(Institute of Graphics and Image Processing, Xianyang Normal University,
Xianyang 712000, China)

Abstract: A new enhanced method of non-uniform illumination color image based on block homomorphic filter in two channels was presented on basis of applying HSV color model space. First, a color image is transformed from RGB color space to HSV color space. Then, luminance channel is blocked and enhanced by Butterworth highpass homomorphic filter to compensate for the non-uniform illumination due to lack of light, and the block effect caused by blocking homomorphic filter process is removed by the method of averaging the 3×3 adjacent sub-images boundaries. The saturation channel is slightly enhanced by Butterworth highpass global homomorphic filter to increase image contrast. Last, the color image is transformed from HSV color space to RGB color space. Experiments illustrate that this algorithm can not only correct non-uniform illumination in images, but also maintain a good image color and the local details.

Key words: hue saturation value space; homomorphic filter; color image enhancement; block effect; cut-off frequency

0 引言

对彩色图像的增强是图像预处理中非常关键的一个环节, 它不仅能够很大程度上改善图像的视觉效果, 而且也能够有效地突出图像的特征, 以便对图像进行分割、识别、特征提取等后期处理。目前, 根据处理空间的不同, 图像增强可以分为“空域增强”处理和“频域增强”处理两种方法^[1], 前者直接对图像的像素进行处理, 而后者首先将图像变换到频域(如傅里叶变换), 再对其变换系数进行调整, 最后做相应的反变换, 以得到增强后的图像。对彩色图像的增强处理, 文献[2]中提出的方法是直接对彩色图像 R, G, B 三个分

量做直方图均衡化处理。此方法虽然可以有效改变图像亮度动态范围, 但使得图像模糊, 又由于在 R, G, B 三个分量直接处理, 会造成图像色彩严重偏离。文献[2-3]采用小波变换的方法增强图像, 取得了较好的效果, 此方法可以借鉴。文献[4-7]采用的是同态滤波增强, 可以有效增强图像的亮度, 但由于是对整个图像做滤波, 原来图像中较亮部分会出现过度增强现象, 丢失图像细节。文献[7-8]采用局部同态滤波方法, 解决了文献[4-7]的问题, 但由于只是对亮度分量进行处理, 色彩不丰富。文献[9-14]对饱和度和亮度分量都做全局同态滤波。

收稿日期: 2015-04-02

修回日期: 2015-07-15

网络出版时间: 2016-01-04

基金项目: 陕西省教育厅项目(14JK1802); 咸阳师范学院基金项目(13XSYK058)

作者简介: 段 群(1980-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为图像增强与降噪、并行计算。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160104.1608.076.html>

鉴于上述问题,文中提出了在彩色图像的 HSV 色彩空间,对亮度分量做自适应分块同态滤波,对饱和度分量做自适应全局同态滤波的增强算法,同时对调节系数对巴特沃斯高通滤波器的影响做了一定的研究。经过大量实验验证,此方法能有效解决图像亮度不均、色彩偏离、细节丢失等问题。

1 HSV 色彩空间模型

HSV 是在 1978 年由 A. R. Smith 根据颜色的直观特性创建的一种颜色空间,也称六角锥体模型^[1]。在这个模型中颜色有 3 个参数:色调(H),饱和度(S),亮度(V)。色调 H 用角度度量,取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$,按逆时针方向计算,红色为 0° ,绿色为 120° ,蓝色为 240° ,它们的补色是:黄色为 60° ,青色为 180° ,品红为 300° 。饱和度 S 的取值范围为 $0.0 \sim 1.0$,值越大,颜色越饱和。亮度 V 的取值范围为 0 (黑色) ~ 255 (白色)。

2 同态滤波器的设计

同态滤波对图像是在频率域中进行处理,主要是对图像的灰度范围进行调整。一幅自然景物的图像 $f(x,y)$,在形成时由光源的照度入射分量 $f_i(x,y)$ 和物体的反射分量 $f_r(x,y)$ 组成,用数学模型表示为^[1]:

$$f(x,y) = f_i(x,y) \times f_r(x,y), 0 < f_i(x,y) < \infty, 0 < f_r(x,y) < 1 \quad (1)$$

式中, $f_i(x,y)$ 照度分量在空间中的变化比较缓慢,而 $f_r(x,y)$ 反射分量在景物的交界处变化较剧烈,图像做同态滤波后,傅里叶变换的低频部分主要对应照度分量,而高频部分主要对应反射分量。因此,对 $f_i(x,y)$ 采取压缩低频部分, $f_r(x,y)$ 采取提高高频的方法,就能减弱入射分量、增强反射分量,最终使图像变得清晰。

同态滤波的巴特沃斯高通滤波器可以在傅里叶频率域有效压缩低频的动态范围,并能较好地保留更多的高频分量。同态滤波增强图像的流程如图 1 所示。

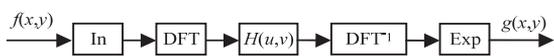


图 1 同态滤波增强图像流程

巴特沃斯高通滤波传递函数为:

$$H(u,v) = (r_H - r_L) \times \frac{1}{1 + \left[\frac{D_0}{D(u,v)} \right]^{2n}} + rL \quad (2)$$

式中, r_H 、 r_L 为调节系数, r_H 的值越小图像越亮,而 r_L 的值在不超过 r_H 的值的情况下对增强效果影响不大; n 越大,滤波函数衰减速度越快; $D(u,v)$ 为点 (u,v) 到傅里叶变换中心的距离, $D(u,v)$ 由式(3)计

算; D_0 为截至频率,值越小保留的低频越多,图像越暗,反之越亮。

$$D(u,v) = \sqrt{(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2} \quad (3)$$

式中, M 和 N 为图像行数和列数。

3 双通道分块同态滤波彩色图像增强

3.1 图像分块

图像做全局同态滤波处理后,会很大程度地提升图像的亮度,但是图像中原来清晰明亮的部分就会过度被增强,丢失了一些细节和边缘信息。为了解决此问题,可以对图像做分块同态滤波^[7-8],对不同的图像子块分别用不同截至频率进行滤波。文中做了大量实验,若将图像分成大小为 8×8 、 16×16 、 32×32 的子块,图像分块过多,块效应严重,去除效果不好;而如果将块大小确定为 128×128 甚至更大时,就起不到分块滤波的目的,反而因为少数块效应,滤波效果不如全局滤波好。因此,文中图像子块大小确定为 64×64 。

3.2 V 分量分块同态滤波增强

文中将真彩色图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间中,提取图像的亮度分量 V ,对 V 分量做分块同态滤波,以提升图像的亮度。

首先将图像分成 64×64 大小的一系列子图像;然后对每个子图像块做巴特沃斯高通同态滤波,式(2)中的 $r_H = 0.4$, $r_L = 0$, n 取值为 10,截止频率 $D_0 = a \times \text{median}(\text{median}(D'))$,其中 D' 为每个子块点 (u,v) 到傅里叶变换中心的距离, a 为调节系数, $a = 0.000\ 03 \sim 0.000\ 06$ ^[9],值越大,截止频率越大,低频系数通过的越少,图像细节保留的越少。文中做了大量实验, a 取值为 $0.000\ 03$;最后对滤波结果图像做伽马校正,以微调图像整体亮度到人眼舒适为止。

$$g = g^r \quad (4)$$

式中, $r = 0.8$, r 值越小,图像越亮。

3.3 V 分量分块滤波后消除块效应

对 V 分量做分块局部滤波后,在块的边界上会出现块效应(即子图像块水平、垂直方向出现白色的线条)。为了去除块效应,文献[7]采用了边界均值方法,文献[8]采用了重叠块加权方法,均能在一定程度上去除。

文中采取相邻块边界 $M \times N$ 邻域均值方法,并在计算均值时不包括块效应处的像素,能更有效地接近实际图像。设 L 、 R 是相邻子图像进行滤波后水平方向上的相邻图像像素, U 、 D 为垂直方向上的相邻图像像素,消除 4 个像素的块效应如式(5)-(8)。

$$L(u,v) = \frac{\sum_{k=-m_0, l=m_0}^{m_0} L(u+k, v+l)}{M \times N - 1} \quad (5)$$

$$R(u, v) = \frac{\sum_{k=-m_0, l=m_0}^{m_0} R(u+k+1, v+l)}{M \times N - 1} \quad (6)$$

$$U(u, v) = \frac{\sum_{k=-n_0, l=n_0}^{m_0} R(u+k, v+l)}{M \times N - 1} \quad (7)$$

$$D(u, v) = \frac{\sum_{k=-n_0, l=n_0}^{m_0} R(u+k, v+l+1)}{M \times N - 1} \quad (8)$$

其中,模板大小为 $M \times N, M=3, N=3, m_0 = \text{floor}(M/2), n_0 = \text{floor}(N/2)$ 。

3.4 S 分量同态滤波增强

在对 V 分量做分块同态滤波后,图像的亮度明显提高,但图像的对比度一定程度上降低了。为了提高图像的对比度,使得图像更加清晰、色彩更丰富,接下来再对 S 分量做全局巴特沃斯高通同态滤波,进行微调,以改善图像色彩视觉效果。

在式(2)中, $r_H = 0.9, r_L = 0, n$ 取值为 10,截止频率 $D_0 = a \times \text{median}(\text{median}(D))$,其中 $a = 0.000\ 03$ 。

4 文中算法流程

文中提出的算法是基于饱和度 S 和亮度 V 的双通道分块同态滤波彩色图像增强算法,步骤如下:

- (1) 读入光照不均的真彩色图像。
- (2) 将图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间。
- (3) 对亮度分量 V ,首先分为块大小为 64×64 的一系列子图像,再对每个子图像做自适应截止频率的巴特沃斯高通同态滤波,并进行伽马校正,最后采用邻域均值消除块效应。
- (4) 对饱和度分量 S 做全局巴特沃斯高通同态滤波。
- (5) 得到处理后图像 $HS'V'$ 。
- (6) 将图像从 HSV 空间还原到 RGB 空间。
- (7) 输出增强后的真彩色图像。

5 实验结果分析

图像的信息熵^[10,15]是衡量图像信息丰富程度的重要指标,其值越大,说明图像含有的信息量越多,图像越逼真,质量也就越好。文中采用 Matlab 2013 软件做模拟实验,选取两幅亮度不均、对比度低、细节不明显的真彩色图像。分别在 HSV 色彩空间做单通道(V 分量)全局同态滤波、双通道(V 分量和 S 分量)全局同态滤波,以及文中算法对图像做增强处理,以图像的信息熵作为客观评价指标。从表 1 的数据可以看出,文中算法的处理结果比全局同态滤波 V 分量的信息熵大,比单通道同态滤波 S 分量的信息熵大,说明文中算

法在亮度和对比度方面都有明显提高。

表 1 图像信息熵客观性能比较

图像	girl 图像		army 图像	
	S	V	S	V
原图像	7.735 7	7.325 2	6.583 6	6.334 0
全局单通道	7.735 7	7.359 9	6.583 6	7.010 0
全局双通道同态滤波	7.860 2	7.359 9	7.231 5	7.010 0
分块双通道同态滤波	7.860 2	7.400 2	7.231 5	7.118 9

另外从视觉上可以看出,对图像 V 分量做全局同态滤波可以使得图像整体变亮,但是图像中原有较亮的部分会被过度增强,丢失一些细节信息,如图 2(b) 中空天及其附近的树木部分和图 3(b) 左下角部分,尤其是图 2(a) 天空附近的树木部分,过度明亮,层次变得不清晰了,并且由于只对 V 分量进行增强,颜色也不够艳丽,如图 2(b) 车顶、女孩嘴唇和图 3(b) 士兵上衣部分。因而文中对光照不均的图像 V 分量做分块同态滤波,并对 S 分量也做同态滤波进行微调,不仅使得图像亮度提升,而且颜色也更明艳、丰富了,效果如图 2(d) 和图 3(d) 所示。

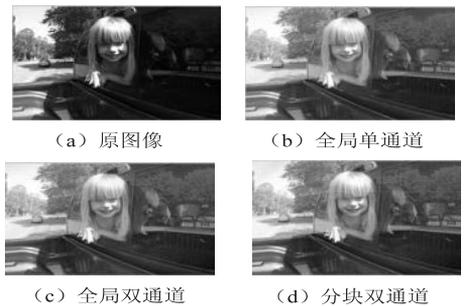


图 2 girl 图像增强效果比较

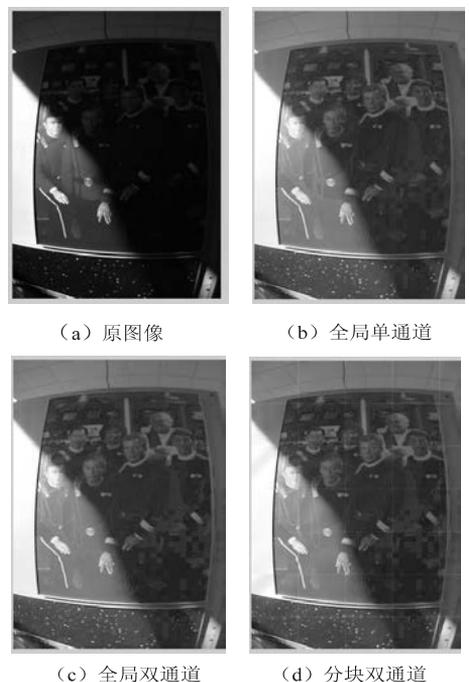


图 3 army 图像增强效果比较

6 结束语

文中方法能在提高图像的亮度的同时保持图像颜色基本上不偏离,适合增强光照不均或有部分暗区域的真彩色图像,不适合雨雾图像。下一步将继续寻找更有效的频域内调整函数,并且研究能适合范围更广的彩色图像增强的方法。

参考文献:

- [1] 刘 刚. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 陈守刚. 基于直方图均衡化的彩色图像增强研究[J]. 重庆三峡学院学报,2011,27(3):74-77.
- [3] Hanmandu M, Jha D. An optimal fuzzy system for color image enhancement [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(10):2956-2966.
- [4] 韩丽娜, 耿国华. 基于小波变换的真彩图像降噪与增强[J]. 计算机工程, 2010, 36(12):224-225.
- [5] Seow M J, Asari V K. Homomorphic processing system and ratio rule for color image enhancement [C]//Proceedings of the IEEE international joint conference on neural networks. Budapest, Hungary: IEEE, 2004:2507-2511.
- [6] Seow M J, Asari V K. Ratio rule and homomorphic filter for enhancement of digital color image [J]. Neurocomputing,

(上接第81页)

制参数可成为进一步改进该算法的一个目标。

参考文献:

- [1] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C]//Proceedings of IEEE international conference on neural networks. [s.l.]: IEEE, 1995:1942-1948.
- [2] 温 涛, 盛国军, 郭 权, 等. 基于改进粒子群算法的 Web 服务组合[J]. 计算机学报, 2013, 36(5):1031-1046.
- [3] 温 勇, 王 美. 基于粒子群算法的无线传感网络部署的研究[J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(4):202-205.
- [4] 田宏伟, 解 福, 倪俊敏. 云计算环境下基于粒子群算法的资源分配策略[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(12):22-25.
- [5] 潘丽姣, 吴红英. 混沌逃逸粒子群优化算法在 WSN 覆盖优化中的应用[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2014, 26(2):177-181.
- [6] 顾晓燕, 孙力娟, 郭 剑, 肖甫. 一种有向传感器网络改进粒子群覆盖增强算法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2011, 23(2):214-219.
- [7] 梁正友, 支成秀. 基于离散粒子群优化算法的网格资源分配研究[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(10):77-78.
- [8] Clerc M, Kennedy J. The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(1):

2006, 69:954-958.

- [7] Jobson D J, Rahman Z U, Woodell G A. The statistics of visual representation [C]//Proceeding of SPIE visual information. Washington: SPIE Press, 2002:25-35.
 - [8] 张亚飞, 谢明鸿. 基于 HSI 和局部同态滤波的彩色图像增强算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(12):303-307.
 - [9] 张亚飞, 谢明鸿. 基于分块 DCT 同态滤波的彩色图像增强算法[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(5):1752-1756.
 - [10] 韩丽娜, 熊 杰, 耿国华, 等. 利用 HSV 空间的双通道同态滤波真彩图像增强[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(27):18-20.
 - [11] 焦竹青, 徐保国. 基于同态滤波的彩色图像光照补偿方法[J]. 光电子·激光, 2010, 21(4):602-605.
 - [12] 焦竹青, 徐保国. HSV 变换和同态滤波的彩色图像光照补偿[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(30):142-144.
 - [13] 郑晓东, 王永强, 许增补, 等. 基于同态滤波彩色图像亮度不均校正方法[J]. 微计算机信息, 2009, 25(12-1):114-116.
 - [14] 刘燕君, 刘 奇. 基于同态滤波与直方图均衡化的超声图像增强[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(48):9031-9034.
 - [15] 周西柳, 章 洁. 基于聚类余弦变换的图像增强算法研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(2):216-219.
-
- [9] 孙 俊. 量子行为粒子群优化算法研究[D]. 无锡:江南大学, 2009.
 - [10] Yang S Y, Wang M, Jiao L C. A quantum particle swarm optimization [C]//Proc of IEEE congress on evolutionary computation. Portland, OR, US: IEEE Press, 2004:320-324.
 - [11] Schrödinger E. An adulatory theory of the mechanics of atoms and molecules [J]. Phys Rev, 1926, 28(6):1049-1070.
 - [12] Shi Y H, Eberhart R C. A modified particle swarm optimizer [C]//Proceedings of the IEEE international conference on evolutionary computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1998:69-73.
 - [13] Shi Y H, Eberhart R C. Fuzzy adaptive particle swarm optimization [C]//Proc of congress on evolutionary computation. Seoul, Korea: IEEE Service Center, 2001:101-106.
 - [14] Ling S H, Iu H H C, Chan K Y, et al. Hybrid particle swarm optimization with wavelet mutation and its industrial applications [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2008, 38(3):743-763.
 - [15] 高东慧, 董平平, 田雨波, 等. 一种改进的小波变异粒子群优化算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(21):145-147.
 - [16] 罗光坤. Morlet 小波变换理论与应用研究及软件实现[D]. 南京:南京航空航天大学, 2007.
 - [17] 丁 颖. 量子粒子群算法的改进及其在认知无线电频谱分配中的应用[D]. 南京:南京邮电大学, 2013.

双通道分块同态滤波彩色图像增强算法

作者: [段群](#), [吴粉侠](#), [李红](#), [DUAN Qun](#), [WU Fen-xia](#), [LI Hong](#)
作者单位: [咸阳师范学院 图形图像处理研究所, 陕西 咸阳, 712000](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名:
年, 卷(期): 2016(1)

引用本文格式: [段群](#). [吴粉侠](#). [李红](#). [DUAN Qun](#). [WU Fen-xia](#). [LI Hong](#) [双通道分块同态滤波彩色图像增强算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016(1)