

基于改进的 CLAHE 显微细胞图像增强算法

魏德志¹, 梁光明²

(1. 湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105;
2. 湖南友哲科技有限公司, 湖南 长沙 410075)

摘要: 限制对比度自适应直方图均衡化(CLAHE)是一种常用的低对比度图像增强算法。为了解决医疗器械设备采集的低对比度显微血细胞图像增强问题,给出一种改进的 CLAHE 显微血细胞图像增强处理算法。将图像从 RGB 空间变换到 HSV 空间,仅对亮度分量进行限制对比度自适应直方图均衡化增强,接着对原图像做灰度变换,之后对变换后的图像做直方图均衡化,然后将图像归一化,最后做 RGB 输出。该算法在传统的 CLAHE 算法的基础上,通过改变每个子块的像素点分配方式,达到增强图像细节的目的。局部的直方图均衡化,增强了整体细节的对比度。运用限制对比度自适应直方图均衡化算法对显微血细胞图像进行增强,并对增强处理后的图像质量进行客观评价。实验结果表明,该算法在信息熵、平均梯度、标准差等指标上具有明显的优越性,可以有效增强显微细胞的对比度,同时也能保留更多的图像细节信息。

关键词: 图像增强;对比度自适应;直方图均衡化;增强算法

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2018)10-0111-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.10.023

A Microscopic Cell Image Enhancement Algorithm Based on Improved CLAHE

WEI De-zhi¹, LIANG Guang-ming²

(1. School of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China;
2. Hunan USER Technology Co., Ltd., Changsha 410075, China)

Abstract: A contrast adaptive histogram equalization (CLAHE) is a common low contrast image enhancement algorithm. In order to solve the problem of low contrast microblood cell image enhancement in medical device acquisition, we present an improved CLAHE microblood cell image enhancement algorithm. The image is transformed from RGB space to HSV space, and only the brightness components are conducted in restricted contrast adaptive histogram equalization enhancement. Then the original image is transformed with gray scale, and then histogram equalization is done for the transformed image. Then the image is normalized and finally RGB output is made. On the basis of the traditional CLAHE algorithm, it can improve the details of the image by changing the pixel distribution mode of each sub block. Local histogram equalization enhances the overall details of the contrast. The limitation of adaptive histogram equalization algorithm is used to enhance the contrast of the microscopic image of blood cell, and the quality of enhanced image processing is evaluated. The experiment shows that the proposed algorithm has more obvious advantages in information entropy, average gradient and standard deviation index, which can effectively enhance the contrast of the micro cell, and also retain more image details.

Key words: image enhancement; contrast self-adaptation; histogram equalization; enhancement algorithm

0 引言

显微图像增强是目前比较热门的一个研究领域^[1]。其目的是为了提高图像的显示效果,方便在后期处理中更易于人机识别^[2-3]。

目前,显微镜采集到的图像大多是 RGB 三通道的彩色图像。考虑到 RGB 三种色彩的相关性,因此一般

在操作前转换到其他空间模型,如 HSV、HIS、YCrCb 等。HSV 空间模型是由色调(H)、饱和度(S)和亮度(V)参数组成的空间模型。这种颜色模型用 Munsell 三维空间坐标系统表示^[4],有较强的感知度,因此应用 HSV 颜色空间模型更符合人的肉眼判断。无论是 RGB 空间模型还是 HSV 空间模型,直方图均衡化

收稿日期: 2017-11-10

修回日期: 2018-03-13

网络出版时间: 2018-05-28

基金项目: 湖南省自然科学基金(2016GK4014)

作者简介: 魏德志(1988-),男,硕士研究生,研究方向为图形图像处理;梁光明,教授,硕导,研究方向为图像处理、模式识别。

网络出版地址: <http://jns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180525.1558.028.html>

(histogram equalization, HE) 都是常用的增强方法。直方图均衡化主要分为全局增强和局部增强, 全局直方图均衡是对图像的整体增强, 容易实现, 但在低对比度图像处理中效果不佳。一般的全局直方图均衡化算法存在过度增强和放大噪声或引入噪声的问题^[5-6], 因此增强的效果不是很理想。局部增强方法考虑了像素点的位置和灰度信息, 增强的效果往往优于全局增强。局部增强算法有双直方图均衡 (Brightness preserving bihistogram equalization, BBHE)^[7]、等面积双远子图均衡 (equal area dualistic sub-image histogram equalization, DSIHE)^[8]、彩色视网膜图像 CLAHE 增强 (color retinal image enhancement using CLAHE)^[9] 等, 其中较经典的是受限对比度自适应直方图均衡化 (contrast limited adaptive histogram equalization, CLAHE)^[10]。CLAHE 结合了直方图均衡化和低对比度受限两项技术的优点, 特别适用于低对比度图像增强。

文中将低对比度显微细胞图像分别转换到灰度图像和 HSV 颜色空间, 然后在传统 CLAHE 算法的基础上, 改变每个子块的像素点重新分配的范围, 从而提出了一种改进的 CLAHE 算法。

1 限制对比度直方图均衡化

CLAHE 是一种限制图像对比度提高的局部直方图增强算法^[11-12], 基本过程如下:

(1) 输入一幅图像, 将该图像平均分成大小一样的连续不重叠的子区域。

(2) 对分割好的区域进行直方图裁剪, 计算平均分配像素数的平均值, 公式如下:

$$\text{Ave} = u_x u_y / N_{xy} \quad (1)$$

其中, N_{xy} 为该局部子区域中灰度级数; u_x 、 u_y 分别是该子区域 x 和 y 方向的像素个数。

计算对比度受限值:

$$\text{Cl} = N_{\text{clip}} \text{Ave} \quad (2)$$

其中, N_{clip} 为设定的裁剪系数。

设裁剪后像素的总个数为 S , 则平均分配的像素数为:

$$a_v = S / N_{xy} \quad (3)$$

计算分配剩余像素数步长:

$$L = L_G / S \quad (4)$$

其中, L 为分配像素步长; L_G 为灰度范围长度。

按步长循环搜索灰度级小于裁剪阈值的位置并分配一个像素值。如果没有分配完像素, 则重新计算步长和循环搜索, 直到分配完所有剩余像素。

(3) 对每个子区域对比度受限后的灰度值直方图进行均衡化。

(4) 获得每个子区域中心点, 将其作为样本点。

(5) 进行灰度双线性插值, 即在垂直与水平 2 个方向进行线性插值计算。

假设函数 $f(x)$ 与函数上已知 4 个点的值: $Q_{11} = (x_1, y_1)$, $Q_{12} = (x_1, y_2)$, $Q_{21} = (x_2, y_1)$, $Q_{22} = (x_2, y_2)$, 在 $f(x)$ 上的点 $p = (x, y)$ 可通过线性插值近似求出。

首先在 x 方向进行线性插值, 得到:

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \quad (5)$$

$$R_1 = (x, y_1) \quad (6)$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \quad (7)$$

$$R_2 = (x, y_2) \quad (8)$$

然后在 y 方向进行线性插值, 得到:

$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \quad (9)$$

$$R_1 = (x, y_1) \quad (10)$$

$$R_2 = (x, y_2) \quad (11)$$

将上式应用于图像增强, 其中 $f(Q_{11})$ 、 $f(Q_{12})$ 、 $f(Q_{21})$ 和 $f(Q_{22})$ 分别表示输入像素在相邻 4 个子块中均衡后的直方图的灰度值, 其系数分别表示输入像素点到相邻块的距离。

通过双线性插值计算, 解决了 CLAHE 产生的块效应。CLAHE 算法分配方式如图 1 所示。

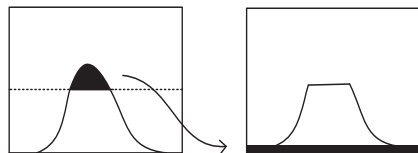


图 1 裁剪分配示意图

2 改进的 CLAHE 显微图像增强

算法流程如图 2 所示。

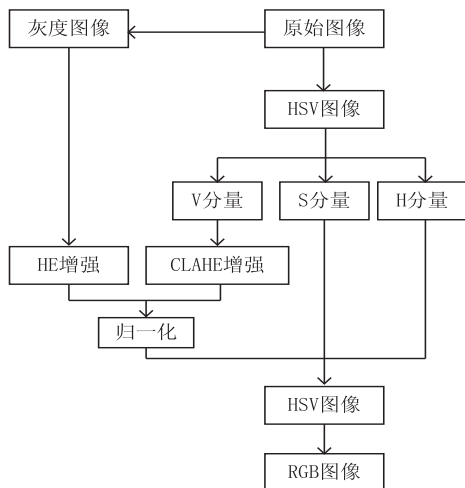


图 2 文中算法流程

2.1 颜色空间转换

RGB 转化到 HSV 的公式如下:

$$H' = \cos^{-1} \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (12)$$

$$H = \begin{cases} H' & \text{if } B \leq G \\ 360^\circ - H' & \text{if } B > G \end{cases} \quad (13)$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (14)$$

$$V = \max(R, G, B) / 255 \quad (15)$$

HSV 转化到 RGB 的公式如下:

$$h_i = \lfloor \frac{H}{60} \rfloor \bmod 6 \quad (16)$$

$$f = \frac{H}{60} - h_i \quad (17)$$

$$p = V \times (1 - S) \quad (18)$$

$$q = V \times (1 - f \times S) \quad (19)$$

$$t = V \times (1 - (1 - f) \times S) \quad (20)$$

$$(R, G, B) = \begin{cases} (V, t, p) & \text{if } h_i = 0 \\ (q, V, p) & \text{if } h_i = 1 \\ (p, V, t) & \text{if } h_i = 2 \\ (p, q, V) & \text{if } h_i = 3 \\ (t, p, V) & \text{if } h_i = 4 \\ (V, p, q) & \text{if } h_i = 5 \end{cases} \quad (21)$$

2.2 基于 CLAHE 的改进算法

(1) 将待处理的图像均分成 x 行、 y 列的子图像, x 和 y 分别为子图像的行数和列数。

(2) 统计子图像灰度直方图, 求出平均像素数为:

$$\bar{N} = (N_x N_y) / N_{\text{gray}} \quad (22)$$

其中, N_{gray} 表示子图像的灰度级个数; N_x 表示子图像 x 轴方向的像素个数; N_y 表示子图像 y 轴方向的像素个数。

(3) 在每个截取的子图像中将大于裁剪值 ($\bar{N} \times K$) 的像素数截取掉 (K 为截取系数), 并求出截取部分的像素总数, 截取过程如图 3 所示。再利用 $\sum N_v / (N_{\text{gray}} - N_0)$ (其中 N_0 为灰度级为 0 的个数) 求出截取到的像素总数, 均匀分配到不为 0 的每个灰度级上。

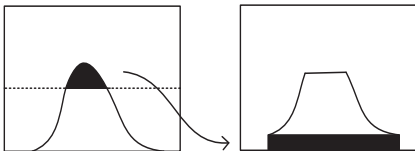


图 3 改进后裁剪分配示意图

(4) 对经过以上处理后的子图像进行直方图增强, 最后使用双线性插值变换函数得到新的像素值。

2.3 灰度图像直方图均衡化

传统的直方图增强在医学细胞图像处理的过程中, 当一些区域接近纯色时, 这些区域很多情况下都是

图像背景, 因此不希望这些背景区域被增强。改进算法的具体步骤如下:

(1) 求以原始图像 $f(x, y)$ 为中心的区域梯度值。若梯度值大于阈值 K , 则说明当前像素点有内容, 参与直方图均衡化。

$$\max |N_u| > K \quad (23)$$

(2) 统计所有参与直方图均衡化的灰度级概率密度函数:

$$P(r_k) = \frac{n_i}{N} \quad (24)$$

(3) 计算各灰度级的变换函数, 公式如下:

$$S_k = P(r_k) = \sum_{i=0}^k P(r_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{N} \quad (25)$$

(4) 建立灰度映射表: $r_k \sim s_k (k=0, 1, \dots, L-1)$ 。

(5) 根据步骤 4 中映射表完成新图像映射变换。

2.4 归一化调整

经过 CLAHE 和直方图均衡化之后, 图像细节得到增强。为了保证增强后的图像纹理流畅平滑过渡, 对图像做归一化处理, 归一化方法如下:

$$f(x, y) = (V_c + V_L) / 2 \quad (26)$$

3 实验结果与分析

从显微细胞图像数据库中挑选了 3 张对比度偏低、细节不明显的显微细胞图像作为本次的实验对象。

3.1 评价指标

为了客观评价图像增强效果, 采用的评价指标是图像的标准差^[13]、平均梯度^[14]和信息熵^[15], 分别为:

$$\text{std} = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{1/2} \quad (27)$$

$$\text{TDavg} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sqrt{G_x^2 + G_y^2} / (M \times N) \quad (28)$$

$$E = - \sum_{i=0}^{255} p_i \lg p_i \quad (29)$$

3.2 实验结果

为了验证文中算法的有效性, 将其与 CLAHE、文献[8]等算法作比较, 从主观和客观两个方面来验证增强效果, 如图 4 所示。

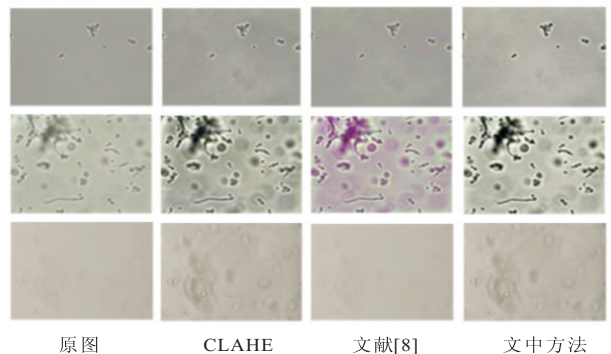


图 4 图像增强效果

通过人眼视觉观察发现,图像整体对比度都有所增加。文献[8]算法产生了色彩的偏移现象,文中算法在图像信息丰富程度和视觉效果上优于传统的 CLAHE 和文献[8]算法,图像包含更多信息,拥有更好的对比度,更适合人眼观看。

3.3 实验分析

实验结果表明,文中算法和 CLAHE、文献[8]算法在标准差、平均梯度和信息熵三个评价指标上都有明显提高,说明都对原始图像起到了很好的增强作用,即图像信息的丰富程度变大,提高了图像清晰度,减小了图像噪声。

根据表 1 的数据可以得出,三种算法在对图像处理的过程中都起到了增强效果,而且文中算法得出的 3 项评价数据都明显优于 CLAHE、文献[8]算法。

表 1 实验结果

指标	原图	CLAHE	文献[8]算法	文中算法
标准差	5.363 9	9.260 4	7.519 3	7.519 3
	17.149 5	17.149 5	17.149 5	17.149 5
	5.815 9	5.815 9	5.815 9	5.815 9
平均梯度	0.731 7	0.731 7	0.731 7	0.731 7
	1.673 4	1.673 4	1.673 4	1.673 4
	1.259 0	1.259 0	1.259 0	1.259 0
信息熵	3.259 3	3.259 3	3.259 3	3.259 3
	5.536 5	5.536 5	5.536 5	5.536 5
	4.446 2	4.446 2	4.446 2	4.446 2

分别测试到三种增强算法的运行耗时如表 2 所示。可以看出,文中算法耗时较多于传统的 CLAHE 和文献[8]算法,主要原因是文中算法在灰度图像局部直方图均衡和归一化时所需耗时长。这也是文中算法存在的不足,需要在后续工作中优化其执行效率,以更好地应用到工程项目中。

表 2 运行时间 s

CLAHE	文献[8]算法	文中算法
0.042 2	0.020 2	0.349 0
0.049 0	0.020 0	0.346 1
0.374 6	0.186 1	3.577 1

4 结束语

提出了一种改进的 CLAHE 与直方图均衡血细胞增强算法,并依据标准差、平均梯度和信息熵等纹理分析的定量标准,对增强后的图像做了对比分析。实验结果表明,改进算法效果优于传统的 CLAHE 算法,证明了它的有效性。同时,可以有效提高低对比度显微细胞图像的视觉效果,具有很好的工程应用,为医疗器械

的后期分割、识别处理奠定基础。但是该算法也有不足之处,就是处理时间较长,所以下一步的研究重点是对算法进行优化,以达到更好的效率。

参考文献:

[1] GONZALEZ R C. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2003.

[2] RABINER L R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition[M]//Readings in speech recognition. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. ,1989:267-296.

[3] KO H R,CAVALIN P R,SABOURIN R,et al. Leave-one-out-training and leave-one-out-testing hidden Markov models for a handwritten numeral recognizer: the implications of a single classifier and multiple classifications[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence,2009,31(12):2168-2178.

[4] 黄东军,安琪. 基于 HSV 空间模型的视频场景切分[J]. 计算机技术与发展,2009,19(9):9-12.

[5] JAFAR I,YING Hao. Image contrast enhancement by constrained variational histogram equalization[C]//IEEE international conference on electro/information technology. Chicago,IL,USA:IEEE,2007:120-125.

[6] YEGANEH H,ZIAEI A,REZAIE A. A novel approach for contrast enhancement based on histogram equalization[C]//International conference on computer and communication engineering. Kuala Lumpur,Malaysia:IEEE,2008:256-260.

[7] KIM Y T. Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,1997,43(1):1-8.

[8] WANG Yu,CHEN Qian,ZHANG B. Image enhancement based on equal area dualistic subimage histogram equalization method[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,1999,45(1):68-75.

[9] SETIAWAN A W,MENGKO T R,SANTOSO O S,et al. Color retinal image enhancement using CLAHE[C]//International conference on ICT for smart society. Jakarta,Indonesia:IEEE,2013:1-3.

[10] 杨有,李波. CLAHE 和细节放大相结合的档案图像增强方法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(4):522-527.

[11] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 第 2 版. 北京:电子工业出版社,2007.

[12] 张丽. 对比度受限自适应直方图均衡方法[J]. 电脑知识与技术,2010,6(9):2238.

[13] 张小利,李雄飞,李军. 融合图像质量评价指标的相关性分析及性能评估[J]. 自动化学报,2014,40(2):306-315.

[14] 徐少平,杨荣昌,刘小平. 信息量加权的梯度显著度图像质量评价[J]. 中国图象图形学报,2014,19(2):201-210.

[15] 杜欣宇,陈丽芳,刘渊. 基于分块信息熵的彩色图像融合算法[J]. 计算机系统应用,2015,24(7):22-28.