

基于亮度分区的显微镜灰度图像彩色化算法的研究

朱美娇, 周 平

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘 要: 电子显微镜下细胞成像为灰度图像, 不便于观察和研究, 由此提出一种电子显微镜下灰度图像的彩色化算法。对彩色和灰度图像的亮度直方图分别进行高次 B 样条最小二乘曲线拟合, 对拟合的曲线分别求取极值点, 通过自动地将彩色图像和灰度图像的极值点的个数调整一致, 以此作为图像的分区, 利用带有权重的颜色迁移算法进行分区映射实现灰度图像的彩色化。实验结果证明, 此方法取得了较好的色彩效果。

关键词: 图像直方图; B 样条最小二乘法; 拟合; 极值调整; 权重颜色迁移

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

0 引 言

色彩迁移技术的发展在计算机图像处理方面是一个研究热点, 它通过将一幅彩色图像的颜色特征传递给另一幅图像, 使该图像具有与参考图像相似的色彩信息。色彩迁移可以在两幅彩色图像或者彩色图和灰度图上实现, 目前已存在较多的研究方法。

基于均值和标准差低阶矩的全局颜色传递算法最早是由 Reinhard 等^[1]提出, 该算法在颜色鲜艳的图像之间传递时, 效果不好, 易产生噪声。赵国英等^[2]在此基础上提出了高阶矩在颜色迁移中的应用, 利用幂变换和模变换对源图像数据的斜度和峰度进行调整, 能较好保持图像的细节, 但增加了计算复杂度。Wang 等^[3]提出了图像系列的颜色转移算法, 在 Reinhard 算法基础上, 增加了加权因子 A、B, 同时提出广义的颜色变化曲线(gcvc)。Xiang 等^[4]提出了图像区域的颜色分布高斯混合模型的多源图像和选择性转移的方法。Li 等^[5]提出基于小波变换的颜色转移算法。胡国飞等^[6]提出了基于统计学的自适应图像颜色迁移合成技术, 利用局部统计值对比完成局部光亮度 and 纹理的迁移。Li 等^[7]提出一种基于学习的灰度图彩色化方法。Welsh^[8]在

Reinhard 基础上提出基于像素点的亮度值及邻域像素的亮度标准方差进行搜索匹配的灰度图彩色化的迁移算法。Pitie 等^[9]提出将 N 维概率密度函数运用在颜色迁移领域。Levin 等^[10]提出了使用优化进行计算机着色的方法。

本文研究的是电子显微镜下的灰度细胞图像的彩色化。电子显微镜下细胞成像为灰度图像, 不便于研究人员对细胞的形态结构进行观察, 传统的试剂染色方法对研究人员及设备成本要求高, 耗时长, 因而本文提出一种基于软件方法的细胞彩色化方法。本文的算法针对背景单一彩色图和灰度图的实验效果很好。本文的研究方法主要是基于直方图分区的(算法流程图见图 1), 采用 B 样条函数对图像的亮度直方图进行拟合, 通过求取极值点, 对图像进行自动分区, 通过自动调整极值点的个数, 使彩色图像和灰度图像的分区个数相同, 然后采用带权值的颜色迁移算法^[11]。理论研究与实验结果证明, 此方法获得不错的染色效果, 同时克服了因颜色突变引起的不自然问题。

1 基于 B 样条最小二乘拟合的直方图分区技术

图像的直方图代表的是图像中的像素出现的个

收稿日期: 2013-09-06

作者简介: 朱美娇(1988-), 女, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究。

通信作者: 周 平, E-mail: zp@zstu.edu.cn

数,如果能够找到彩色图像的直方图和灰度图像的直方图对应的匹配分区点,那么就可以找到一种方法将彩色图像的颜色信息转移到灰度图像。为了使图像的匹配连续,先分别对彩色图像和灰度图像的亮度直方图进行拟合。首先对于直方图进行坐标系设定,然后采用最小二乘法 B 样条函数对直方图上的数据进行拟合。

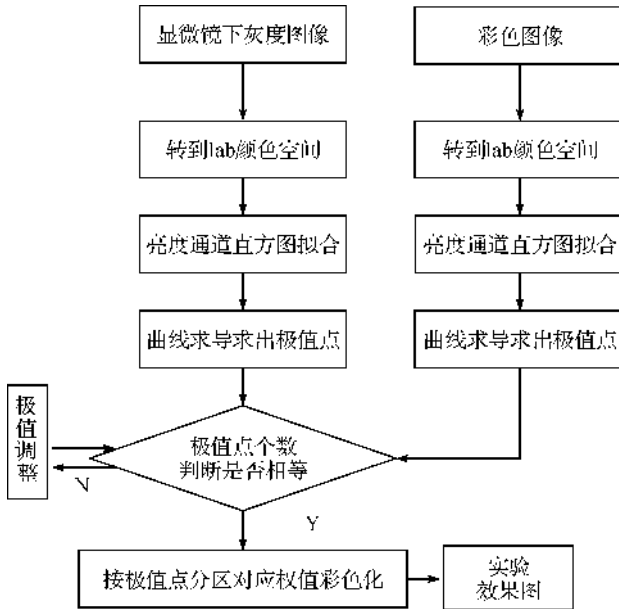


图1 本文算法的流程图

曲线拟合是为了寻找一个合适的函数 $y = f(x)$, 使 $f(x)$ 在符合某种规则的情况下与所有的数据点最接近, 这样的曲线拟合的效果最好。而最小二乘法是指: 使所有的数据点到拟合得到的曲线的距离平方和最小。即求函数 $f(x)$, 使 $\epsilon = \sum_{i=0}^n (f(x_i) - y_i)^2$ 的值最小^[12]。

B 样条函数具体的说是是指在给定 $m+n+1$ 个平面或者空间的多个点 $p_i (i=0, 1, 2, \dots, m+n)$, 则称 n 次参数的曲线段:

$$p_{k,n}(t) = \sum_{i=0}^n p_{i+k} G_{i,n}(t), t \in [0, 1] \quad (1)$$

为第 k 段的 n 次 B 样条曲线段 $i=0, 1, \dots, n$, 而这些曲线段的全体则称为 n 次 B 样条曲线, 其顶点 $p_i (i=0, \dots, n+m)$ 所组成的多边形则称为 B 样条曲线的特征多边形。 $G_{i,n}(t), (i=0, \dots, n+m)$ 则称为 k 阶 ($k-1$ 次) B 样条基函数, 而其中的每一个则称为 B 样条, 它是一个节点矢量, 定义为:

$$G_{i,n}(t) =$$

$$\frac{1}{n!} \sum_{j=0}^{n-i} (-1)^j C_{n+1}^j (t+n-i-j)^n, \\ t \in [0, 1], i = 0, 1, \dots, n \quad (2)$$

对于需要进行拟合的数据点 $\{(t_i, y_i)\}_{i=1}^n$, $s_k(\Delta)$ 为 k 次 B 样条基函数 $\{G_{i,n}(t)\}_{i=0}^n$ 形成的空间, B 样条最小二乘法数据拟合的问题是在 $s_k(\Delta)$ 中, 寻找函数 $p_{k,n}(t)$, 使

$$\sum_{i=1}^n (p_{k,n}(t) - y_i)^2 = \min_{s(t) \in s_k(\Delta)} \sum_{i=1}^n (s(t_i) - y_i)^2 \quad (3)$$

这样求函数 $p_{k,n}(t)$ 的问题即转化为求 B 样条的系数 $\{p_i\}_{i=0}^n$ 的问题。

对图像的直方图进行 B 样条函数拟合后, 首先对拟合的曲线函数进行求导运算, 通过求函数一阶导数为 0 处的横坐标 x 的值, 即 $f'(x) = 0$, 就是像素灰度拟合曲线分布的局部极值。然后对图像直方图拟合成的曲线函数进行二次求导运算, 通过求取函数二阶导数为 0 处的横坐标的值, 即 $f''(x) = 0$, 这样就求出了拟合曲线的所有的极值点。 $f''(x) > 0$ 即为拟合曲线的极小值; $f''(x) < 0$ 即为拟合曲线的极大值, 通过求导运算就求出直方图的局部极大极小值(极值标注见图 2), 极值标注用于后续实验的自动分区^[11]。

对直方图曲线拟合求出极值点后, 需要将两幅图的极值点调整成一致, 使两幅图像分区一样, 这样就可以按分区进行颜色迁移。本文中采用的是自动的调整方法, 计算机按照以下规则(如图 3)自动调整极值点: 首先判断两个亮度通道的直方图拟合曲线的极值点是否相等, 如果不等就调整极值个数多的, 如果两者差值为奇数, 则首先将差值调整成偶数。对于极值个数多的曲线, 首先判断第一个极值点为极大极小的情况是否与极值点少的曲线的一致, 如果一致就去掉极值个数多的曲线的最后一个极值点, 如果不一致则去掉第一个极值点。这样做的目的是保证两个拟合的曲线的极大极小值交替性是一致的, 这样就将两个曲线的极值点差数调整成偶数个。当两个曲线极值点个数差值为偶数个时, 将极值个数多的曲线的每个极值点与相邻的极值点取绝对值差, 并将绝对值差最小的两个极值点去掉, 即每次删除掉一对极值点, 这样就不会改变曲线极大极小的交替性, 最后将两个曲线的极值点个数调整成一致。

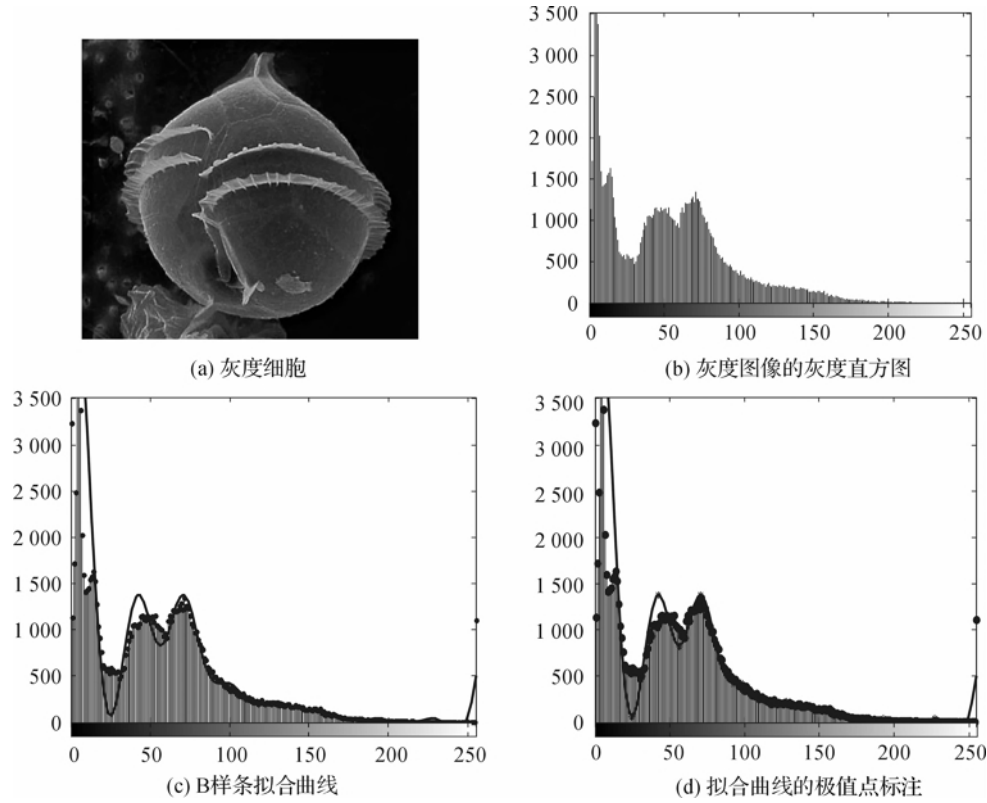


图 2 直方图 B 样条拟合曲线的极值标注图

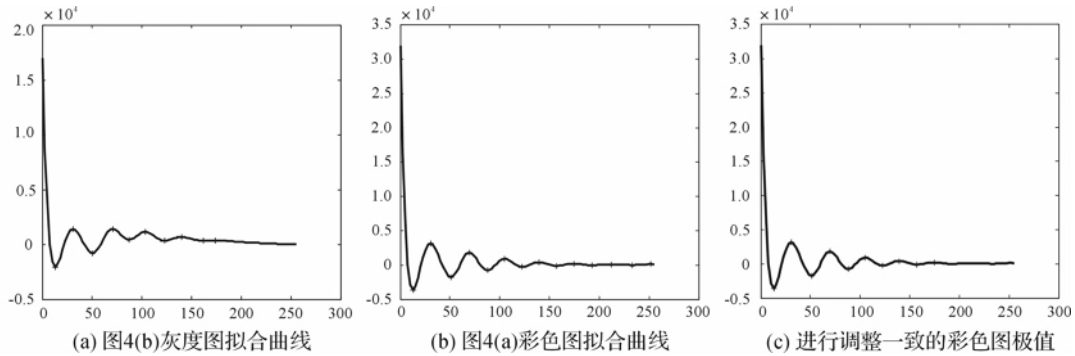


图 3 极值点调整规则

2 带权值的彩色化算法

经过以上步骤,彩色图和灰度图各通道的极值点个数自动调整一致,即两幅图的分区相同。由于 lab 颜色空间亮度值和色度值是分开的,且最接近人眼视觉,本文采用的 lab 颜色空间进行灰度图彩色化。首先计算彩色图的每个亮度值对应的色度的均值 $H_s(l_s)$,然后采用带有权值 w 的彩色化方法。

$$w(i, j, k) = \exp\left(-\frac{\|i - j\|^2}{2k^2}\right)$$

$$j = (l - n_t) \frac{\partial(s_s)}{\partial(s_t)} + n_s k = \frac{\partial(s_s)}{\partial(s_t)} \quad (4)$$

式(4)中 j, k 分别代表中心值和宽度, l 代表亮度值;

n_s, n_t 分别代表彩色图像和灰度图像亮度分割对应区域 s_s, s_t 的最小值, $\partial(s_s), \partial(s_t)$ 分别代表彩色图像和灰度图像对应区域的方差。该权值类似高斯平滑,能够保证颜色不会突变,过渡线性。为了保留灰度图的纹理信息,本文保持灰度图的亮度值不变,在对应的亮度分区,将灰度图对应的彩色图的色调值按权值比例赋给灰度图,对于灰度图中任何一点的亮度值是 l_t ,则令该点的色调为 $H_t(l_t)$ 。

$$H_t(l_t) = \frac{\sum_{l_s=0}^{l_s=255} \left(w(l_s, (l_t - n_t) \frac{\partial(s_s)}{\partial(s_t)} + n_s, \frac{\partial(s_s)}{\partial(s_t)}) * H_s(l_s) \right)}{\sum_{l_s=0}^{l_s=255} w(l_s, (l_t - n_t) \frac{\partial(s_s)}{\partial(s_t)} + n_s, \frac{\partial(s_s)}{\partial(s_t)})} \quad (5)$$

3 实验结果

本文采用高清彩色图像作为源图像,灰度显微图像图作为参考图像(图4所示),进行彩色化实验。

以上实验中,采用4次B样条拟合,图5为直方图拟合按照亮度分区彩色图和灰度图的对应区域,颜色

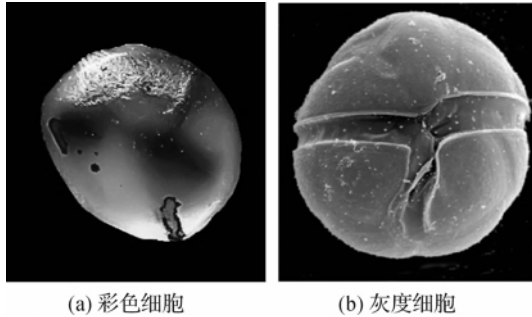


图4 源彩色图像和灰度细胞图像

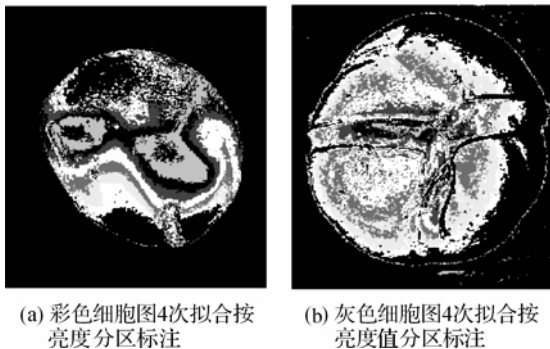


图5 彩色图和灰度图亮度直方图4次拟合按颜色标注对应的分区图

标记相同的即为对应的区域。图6(a)为彩色图和灰度图对应区域直接彩色化效果图,图中出现颜色的跳变,不自然的现象;图6(b)中采用加权值的彩色化方法,颜色过渡是线性平滑的,克服了区域之间颜色突变、出现假色的缺点。同时实验中随着直方图拟合次数逐渐的变大,拟合程度会更好,则分成的亮度区域会更精确,针对图4所示的实验图,本文采用15次函数进行拟合(通过手动调整),达到最好的实验效果(如图7(c))。

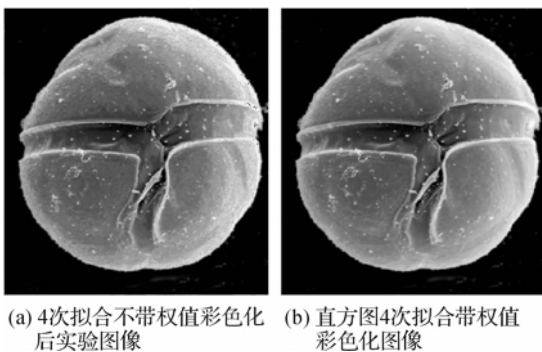


图6 权值结果对比图像

图7(a)为采用Li等算法^[7]的实验效果图,图7(b)为采用welsh算法的实验效果图,图7(c)图为本为本文采用15次拟合带权值的实验效果图。welsh算法是在彩色图中逐像素点搜索与灰度图相匹配的

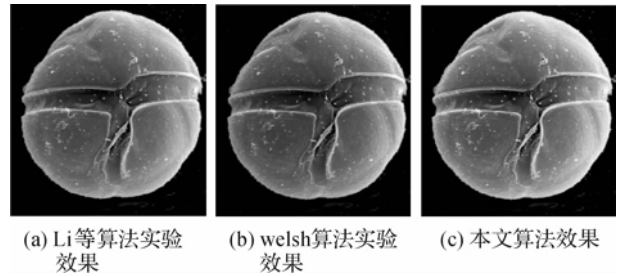


图7 各种算法实验效果图像

像素点,是对彩色图整个像素点的遍历,时间上耗费多,效率低^[8]。图7中welsh算法耗时5 min,而本文算法耗时2 min,耗时少,效率高。与Li等算法实验图相比,本文的方法的效果图颜色自然,色彩分布明显,层次感强。

本文算法对背景单一的灰度细胞图的彩色化效果也不错(如图8),但手动调整拟合极值的方法,需要改进,同时按照亮度值分区存在亮度相同而颜色不同的部分分在一个区域,从而彩色化的时候染成一样的颜色,同时也造成彩色图中色彩不能全部迁移到灰度图中,彩色图中色彩丢失。如图9中,源彩色细胞图中的黄色(图9(c))没有迁移到灰度图中,同时图9(d)中背景颜色染上目标的颜色。

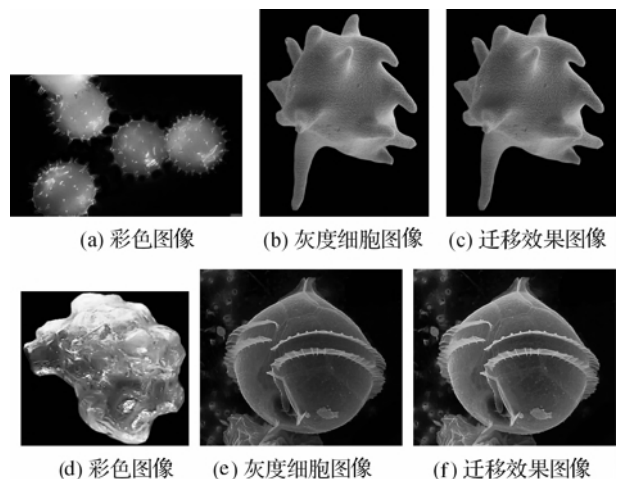


图8 本文方法实验效果图像

4 结 语

本文提出了一种灰度图彩色化方法,该方法基于B样条直方图拟合分区带权值彩色化的方法。该方法适用于背景单一的灰度细胞图,并对此进行

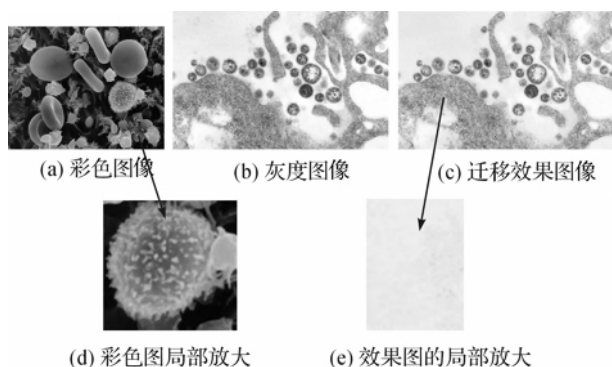


图9 本文方法实验效果

了实验,能够克服分区存在的颜色突变引起的不自然的缺点,同时处理时间短。但是仍需手动调整极值和存在不同颜色亮度值相同分在同一区域的问题,因而在后续研究中将进行自适应的极值选取和基于分割后彩色化再按亮度分区域。

参考文献:

- [1] Reinhard E, Adhikhmin M, Gooch B, et al. Color transfer between images[J]. Computer Graphics and Applications, IEEE, 2001, 21(5): 34-41.
- [2] 赵国英, 向世民, 李 华. 高阶矩在颜色传输中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形图像学报, 2004, 16(1): 62-66.
- [3] Wang C M, Huang Y H, Huang M L. An effective algorithm for image sequence color transfer[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2006, 44(7): 608-627.
- [4] Xiang Y, Zou B, Li H. Selective color transfer with multi-source images[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(7): 682-689.
- [5] Li Z, Jing Z, Yang X, et al. Color transfer based remote sensing image fusion using non-separable wavelet frame transform[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(13): 2006-2014.
- [6] 胡国飞, 傅 健, 彭群生. 自适应颜色迁移[J]. 计算机学报, 2004, 27(9): 1245-1249.
- [7] Li J, Hao P, Zhang C. Transferring colours to grayscale images by locally linear embedding [C]//BMVC. 2008: 835-844.
- [8] Welsh T, Ashikhmin M, Mueller K. Transferring color to greyscale images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 277-280.
- [9] Pitie F, Kokaram A C, Dahyot R. N-dimensional probability density function transfer and its application to color transfer[C]//Computer Vision, 2005: ICCV 2005. 10th IEEE International Conference on. IEEE, 2005, 2: 1434-1439.
- [10] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. Colorization using optimization [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2004, 23(3): 689-694.
- [11] Liu S, Zhang X. Automatic grayscale image colorization using histogram regression[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(13): 1673-1681.
- [12] 梁忠伟, 叶邦彦, 彭锐涛, 等. 基于灰度直方图拟合曲线的数字图像多阈值分割技术研究[J]. 现代制造工程, 2007, 33(9): 103-106.

Research on Colorizing Algorithm of Microscope Grayscale Images Based on Brightness Partition

ZHU Mei-jiao, ZHOU Ping

(School of Informatics & Electronics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Cell image is grayscale images under the microscope, so it is not easy to observe and research it. Thus, this paper offers an algorithm to colorize the grayscale image under the electron microscope. This paper adopts B-spline least squares curve fitting for the luminance histogram of the color image and grayscale image respectively, then finds the extreme point of the curve fitted and adjusts the number of the extreme points to be equal which are used as the partition of the images. Color transfer algorithm with weight is applied for partition mapping so as to achieve colorization of grayscale images. The experimental results show this approach can gain good color effects.

Key words: image histogram; the B-spline least squares curve fitting; extreme value adjustment; color transfer with weight

(责任编辑: 陈和榜)