

基于像素重排比对的灰度图彩色化算法研究

庞 概, 周 平

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘 要: 灰度图的快速彩色化能够快速自动实现灰度图的上色处理, 广泛应用于医学、微生物识别等领域中。提出一种基于像素重排比对的灰度图彩色化算法, 其原理是按像素值分布分别进行重新排列渲染彩色图和被渲染灰度图, 并对重排后的彩色图进行均衡化处理, 适当弱化过亮和过暗的饱和区比例, 利用颜色转移算法进行像素值的比对应来实现灰度图的彩色化。对 381 张灰度图的实验结果表明, 该方法思路简洁, 染色过程和效果快捷有效, 可进一步用于多目标物的自动染色增强。

关键词: 彩色增强; 颜色转移; 像素重排; 均衡化拉伸

中图分类号: TP312 **文献标志码:** A

0 引 言

灰度图快速彩色化技术在智能图像处理方面是一个研究热点, 它是将一幅彩色图像的颜色信息传递给一幅灰度图像, 使该灰度图像具有与彩色图像相似的颜色分布。灰度图彩色化是属于颜色转移的一种实用性较强的技术, 目前已存在较多的实现方法^[1-3]。

传统的灰度图彩色化方法侧重颜色信息。如 Welsh 等^[4]提出基于颜色分量统计的灰度图彩色化算法, 但是背景引起的误差大, 容易模糊掉细节。Pitie 等^[5]在此基础上增加了 N 维概率密度函数匹配获得了更相似的色彩分布, 但是耗时相对长, 同样背景误差影响大。赵国英等^[6]增加了高阶矩的幂变换来对源图像数据的斜度进行调整, 保持了图像的细节, 但计算复杂度大。Irony 等^[7]提出基于纹理匹配的彩色化算法, 在目标图和模板图亮度一致的情况下能获得较好的染色效果, 但是在光照差异大的情况下, 染色效果并没有明显改进。Li 等^[8]提出基于 wavelet 的灰度图彩色化算法等等。目前效果较好的是基于人工干预的彩色化方法。如 Li 等^[9]提出一

种基于学习的灰度图彩色化方法, 但是容易造成颜色失真。Levin 等^[10]提出的基于色度统计的彩色化方法, 但是在复杂纹理的情况下容易产生相互干扰。Qu 等^[11]和 Luan 等^[12]在这些彩色化算法框架基础上增加了纹理相似性约束, 减小了复杂纹理的误扩散问题, 但是增加了染色的时间消耗。此外还有胡国飞等^[13]提出自适应的彩色化算法。Horiuchi 等^[14]提出基于概率松弛的彩色化算法, 但是同样不适用复杂纹理。Liu 等^[15]提出基于亮度直方图拟合的彩色化算法, 但是在直方图分布差异较大时效果不好。

本文提出了一种基于像素重排的灰度图彩色化算法。首先对彩色图像和灰度图像分割后提取目标区域进行像素重排, 对重新排列的彩色图像进行均衡化调整。其次, 针对彩色图像的过亮或者过暗区域进行比例性调整, 作为彩色化的样板。最后, 利用颜色迁移算法进行匹配实现灰度图彩色化。

1 像素重排技术

1.1 颜色空间

RGB 三基色原理是色度学的基本原理, 3 种基

色相互独立。在文章中,将在各个颜色空间中进行像素重排实验,因此就需要将图像在各个颜色空间之间进行转换。将彩色图像转换成灰度图像如式(1)所示:

$$Gray=0.299 * R+0.587 * G+0.114 * B \quad (1)$$

在 Lab 颜色空间跟 RGB 颜色空间转换过程中,还需要 XYZ 空间作传递,从 RGB 颜色空间转换到 XYZ 颜色空间的转换如式(2)所示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.433\ 910 & 0.376\ 220 & 0.189\ 860 \\ 0.212\ 649 & 0.715\ 169 & 0.072\ 182 \\ 0.017\ 756 & 0.109\ 478 & 0.872\ 915 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{R}{255} \\ \frac{G}{255} \\ \frac{B}{255} \end{bmatrix} \quad (2)$$

XYZ 颜色空间可以通过式(3)和式(4)转换到 Lab 颜色空间:

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & (t > 0.008\ 856) \\ 7.787 * t + \frac{16}{116} & (t \leq 0.008\ 856) \end{cases} \quad (3)$$

$$L = \begin{cases} 116 * Y^{\frac{1}{3}} & (Y > 0.008\ 856) \\ 903.3 * Y & (Y \leq 0.008\ 856) \end{cases} \quad (4)$$

$$a = 500 * (f(X) - f(Y))$$

$$b = 200 * (f(Y) - f(Z))$$

在文章中,HSV 颜色空间和 RGB 颜色空间的转换如式(5)所示:

$$\max D = \max(R, G, B)$$

$$\min D = \min(R, G, B)$$

$$V = \max D$$

$$S = (\max D - \min D) / \max D$$

$$H = \begin{cases} (G-B)/(\max D - \min D) * 60; \\ (\max D = R) \\ 120 + (B-R)/(\max D - \min D) * 60; \\ (\max D = G) \\ 240 + (R-G)/(\max D - \min D) * 60; \\ (\max D = B) \\ H + 360; (H < 0) \end{cases} \quad (5)$$

1.2 像素重排

像素是指基本原色素及其灰度的基本编码,每一幅图像都包含大量的像素点。在进行像素重排之前,需要分割出目标。在文章中,大部分图像

都是单一背景的,因此本文的分割方法相对简单。先手动使用 R、G、B 容差分别都是 30 的漫水填充方法对背景区域进行染色,将区域染成纯黑色,然后将所有非纯黑颜色的区域染色成纯白色,接着运用边缘检测结合小面积过滤技术处理图像,就可以得到图像的目标区域了。最后对图像的目标区域,通过不同颜色通道的强度值排序,就可以快速实现像素的重新排列。例如有一副 5 * 5 像素的灰度图像,亮度值为 0 的区域是背景区域,按照目标区域的像素的亮度值排序结果如图 1(b)所示。

0	0	0	0	0
0	254	148	155	0
0	135	255	253	0
0	158	168	250	0
0	0	0	0	0

(a) 原图

135	250	0	0	0
148	253	0	0	0
155	254	0	0	0
158	255	0	0	0
168	0	0	0	0

(b) 排序后图片

图 1 示例灰度图像的亮度值排序

对于一幅如图 2(a)所示的彩色图像,其中红色轮廓线内的为目标区域,轮廓线外为背景区域,各个颜色空间进行像素重排结果如图 2(b)~图 2(t)所示。其中图 2(b)、图 2(c)和图 2(d)分别是在 RGB 颜色空间中对 R 分量、对 G 分量和对 B 分量进行排序后的结果;图 2(e)、图 2(f)和图 2(g)分别是在 Lab 颜色空间中对 L 分量、a 分量和 b 分量进行排序后的结果;图 2(h)是在 Lab 颜色空间中,先对 L 分量排序,在 L 分量相同的情况下,再对 a 分量排序,接着对 b 分量排序的结果;同理,在 L 相同 a 又相同时,对 b 分量排序的结果;图 2(i)类似于图 2(h),是先 L 再 b 再 a 排序的结果;图 2(j)是将彩色图像用公式(1)灰度化后,再根据亮度值排序的结果;图 2(k)、图 2(l)和图 2(m)分别是在 HSV 颜色空间中对 H 分量、S 分量和 V 分量进行排序后的结果;图 2(n)和图 2(o),类似于图 2(h)和图 2(i),分别是先 H 再 S 再 V 排序的结果和先 H 再 V 再 S 排序的结果;图 2(p)、图 2(q)和图 2(r)分别是在 YCbCr 颜色空间中对 Y 分量、Cb 分量和 Cr 分量进行排序后的结果;图 2(s)和图 2(t)分别是先 Y 再 Cb 再 Cr 排序的结果和先 Y 再 Cr 再 Cb 排序的结果。

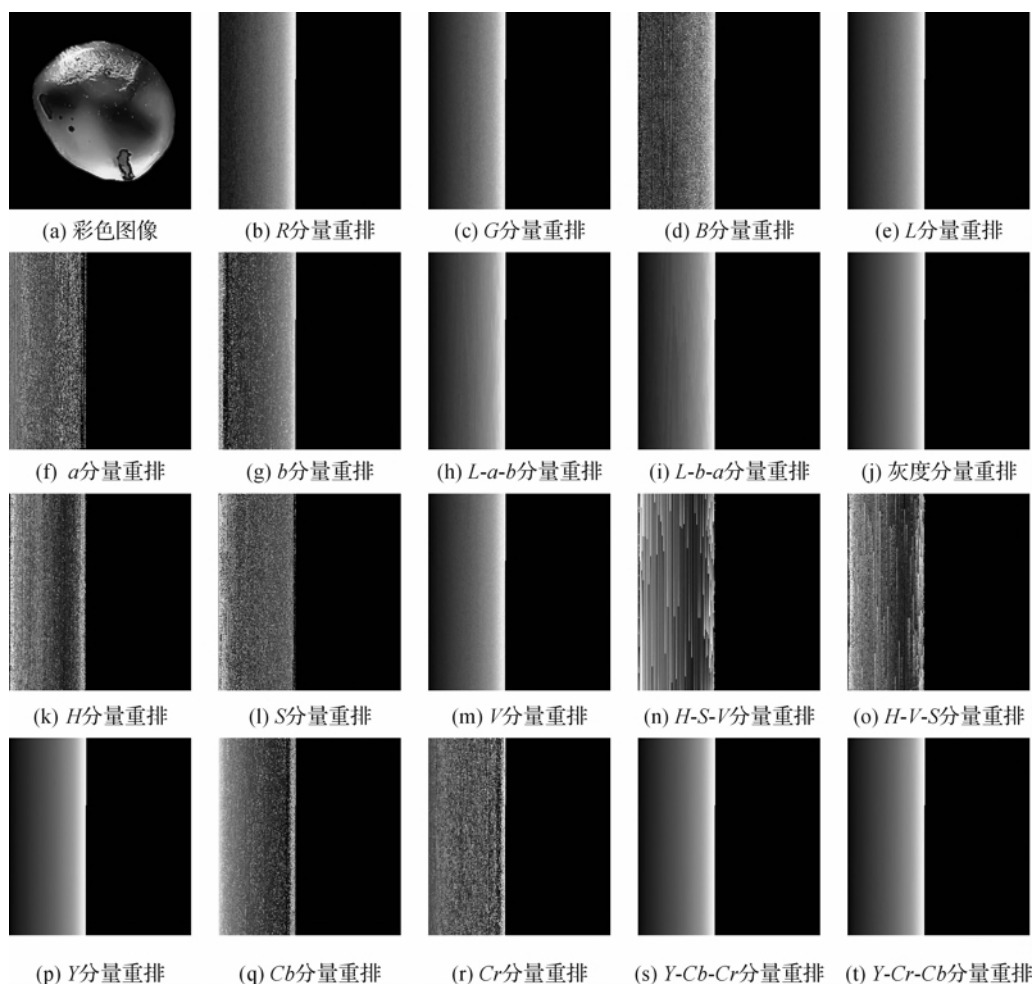


图 2 彩色图像的像素重排图像

2 均衡化调整

2.1 均衡化调整

经过以上各种实验,可以发现,仅仅按照各自像素的不同分量重新排列,即便是改变颜色空间,或者通过转换公式进行其他变量化的组合排列,都难以消除像素重排后图像的颗粒感,运用含有颗粒感的图像进行染色,染色后的图像也会含有明显的颗粒感。为了解决这个问题,运用了均衡化调整方法。

均衡化调整方法,就是将各个像素的 R 、 G 、 B 值分开处理,每个通道各自进行从小到大排列,再重新组合在一起,形成了一组全新的像素组合。例如,在图像的目标区域中存在两个像素 $X_1(R_1, G_1, B_1)$ 和 $X_2(R_2, G_2, B_2)$,其中 $R_1 > R_2, G_1 < G_2, B_1 > B_2$ 。首先,对 R 分量进行排列,结果是: R_2, R_1 ; 然后 G 分量进行排列,结果是: G_1, G_2 ; 再 B 分量进行排列,结果是: B_2, B_1 。再对三组排序结果进行重新组合,合成新的像素,所以均衡化调整以后的结果是:

$X_1(R_2, G_1, B_2)$ 和 $X_2(R_1, G_2, B_1)$ 。

对 5 幅彩色图像进行了均衡化调整尝试,并对处理结果进行了图形分析,结果如图 3 所示。其中图 3(b)分别是图 3(a)均衡化调整以后的结果,图 3(c)是图 3(a)目标区域像素的分布图,图 3(d)是图 3(b)目标区域像素的分布图。

特别是对于彩色图 3(a),在这幅图像中,将橘色跟绿色分开处理。在均衡化处理橘色时,将绿色区域作为背景区域;同理,在均衡化处理绿色区域时,将橘色区域作为背景区域。在各自处理完成之后,再合成到一张图像中,结果如图 3(b)所示。因为均衡化调整是一种保持目标区域主色调的方法,因此当处理目标区域的颜色主次区分不够清楚时,若不分开处理,容易造成颜色的丢失。而分开处理可以很好得保持各种颜色的主色调,并且一般对多种颜色的彩色图像进行颜色转移操作时,本身就是需要分区块染色的。

2.2 均衡化调整改进和颜色转移算法

均衡化调整以后的像素重排图像很容易包含一

些过亮(过白)跟过暗(过黑)区域,这样映射染色以后很容易造成这一部分区域的细节模糊甚至丢失。因此在染色前希望尽量减少这部分区域,以免影响染色效果。

在实验中,尝试了两种改进方法。均衡化方法 1 是盲目去除方法:直接去除掉过暗以及过亮区域,盲目判定过暗点,去除 R 、 G 、 B 同时小于 10 的像素点;以及盲目判定过亮点,去除 R 、 G 、 B 同

时大于 245 的像素点。均衡化方法 2 是比例调整方法:按照对应的比例对像素重排图像进行适当的拉伸或者压缩,将排序后最开始跟最后的 10% 的像素进行压缩,通过间隔采样压缩到原来的一半大小,再将中间的 80% 的主体颜色部分进行拉伸,拉伸采用的方法为插值,插值比例是 $9/8$,从而将过亮跟过暗区域的像素降低到了 10%,将主体颜色拉伸到了 90%。

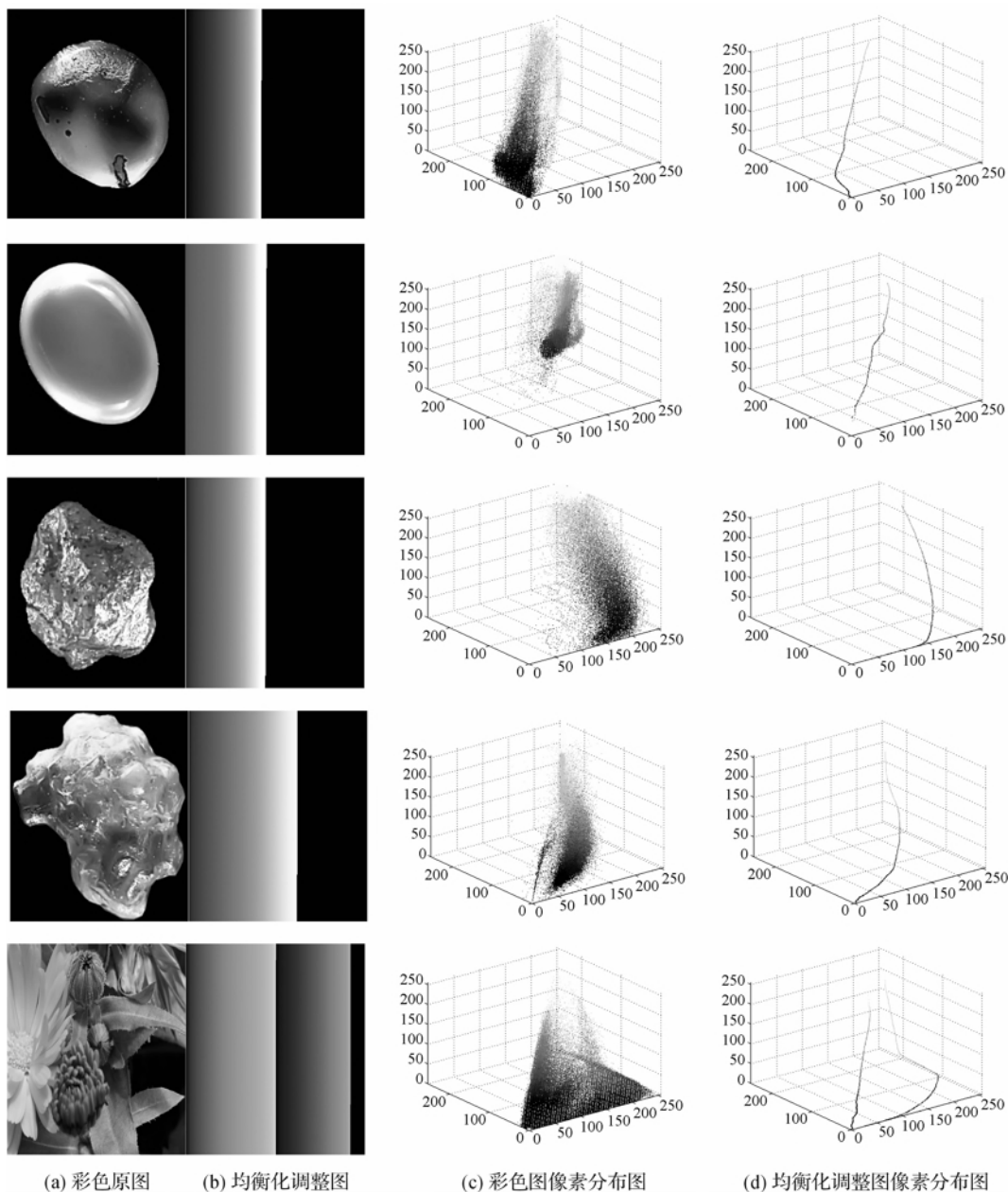


图 3 5 幅彩色图像的均衡化调整图

对 381 张实验效果图进行比较,可以得出结论:均衡化改进方法 2 可以明显改进过亮以及过暗区域的图像模糊问题,并且良好的保留了图像的主体颜色,特别是对于包含高亮度颜色或者低亮度颜色的

图像,可以明显提高染色效果。

比例调整算法示意图和彩色图与灰度图之间的颜色转移算法示意图如图 4 所示。

3 实验结果与分析

在不同的颜色空间中,使用像素重排染色结果比较如图5所示。

图5(c)是RGB颜色空间中的G通道进行像素重新排序后直接染色的结果,图5(d)是Lab颜色空间中的L,a,b三通道结合进行像素重新排序后直接染色的结果,图5(e)是应用灰度化变量Gray进行像素重新排序后直接染色的结果,图5(f)是HSV颜色空间中的HSV三通道结合进行像素重新排序

后直接染色的结果,图5(g)是Y,Cb,Cr颜色空间中的Y,Cb,Cr三通道结合进行像素重新排序后直接染色的结果,图5(h)是均衡化调整结合比例调整方法处理之后染色的结果。由实验结果可以看出,直接进行染色如图5(c)—图5(g),明显存在颜色过度不自然,颗粒感明显的问题;均衡化调整以后再进行染色如图5(h),完全解决了染色后颜色过度不自然,存在颗粒感的问题,又在保留了图像鲜明对比度的同时,明显改进了过亮或过暗区域的纹理模糊化问题,达到了最好的实验效果。

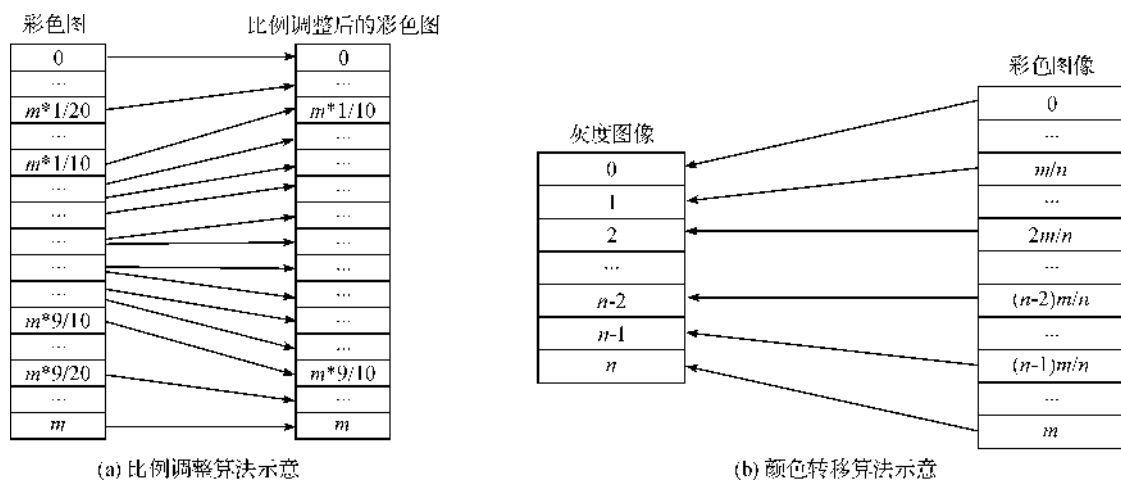


图4 算法示意

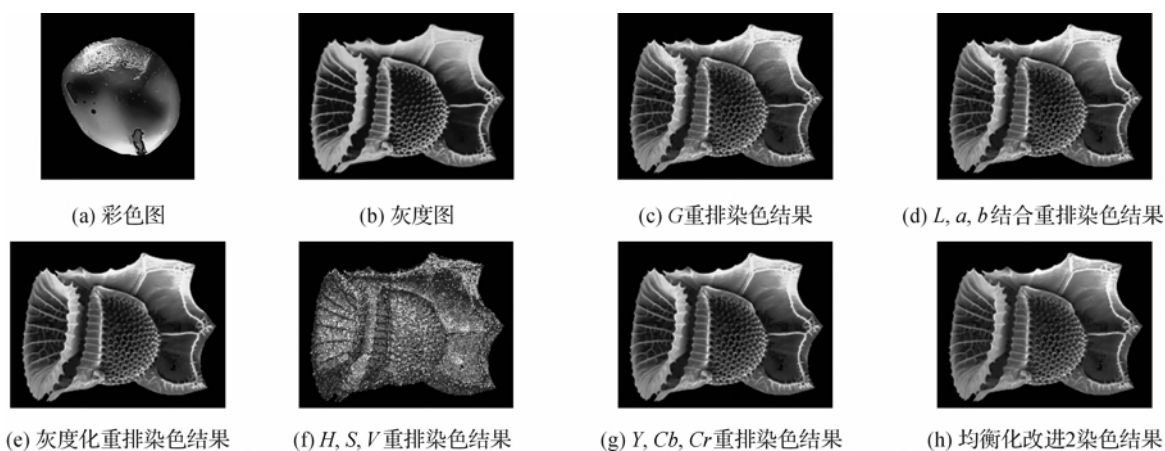


图5 实验结果

图6(a)为采用welsh彩色化算法的实验效果图,图6(b)为采用Liu彩色化算法的实验效果图,6(c)图为采用本文的基于像素重排序的结合均衡化调整和比例调整的彩色化算法的实验效果图。welsh算法是在全局或者目标区域内,逐次在彩色图中查找与灰度图相匹配的点,需要多次重复遍历图像,耗时长,效率低^[4]。Liu算法需

要人工干预拟合曲线,效率很低,容易出现颜色跳变^[15]。而本文算法只需要依次遍历图像,时耗更少(如表1所示),效率更高,相比颜色过渡更加自然,没有颗粒感存在,过亮和过暗区域的纹理更加清晰。

将如下彩色图像和灰度图像作为参考图像,进行灰度图像彩色化实验,结果如图7所示。

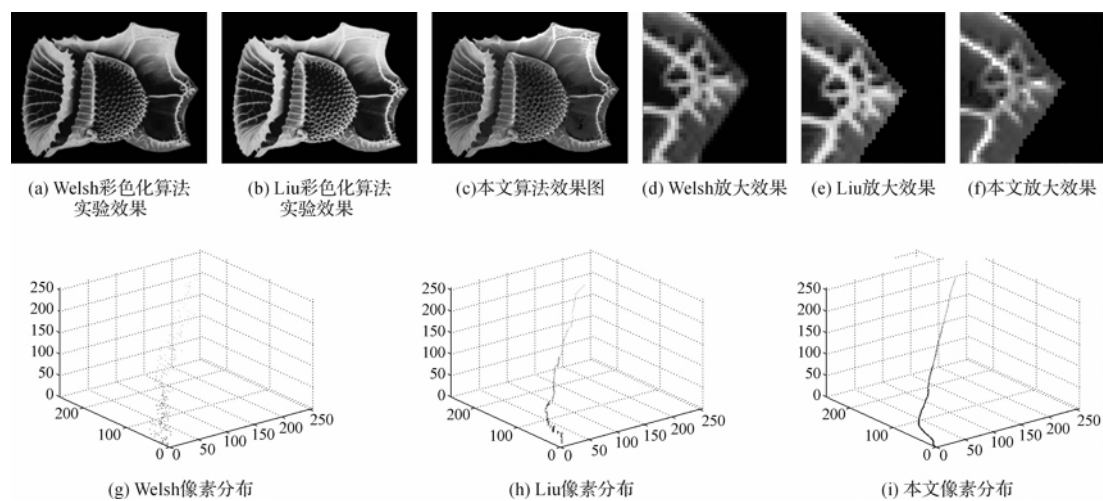


图 6 3 种颜色转移算法实验效果对比

表 1 3 种彩色化算法耗时比较

	Welsh 彩色化算法	Liu 彩色化算法	本文算法
耗时/s	69	90	2

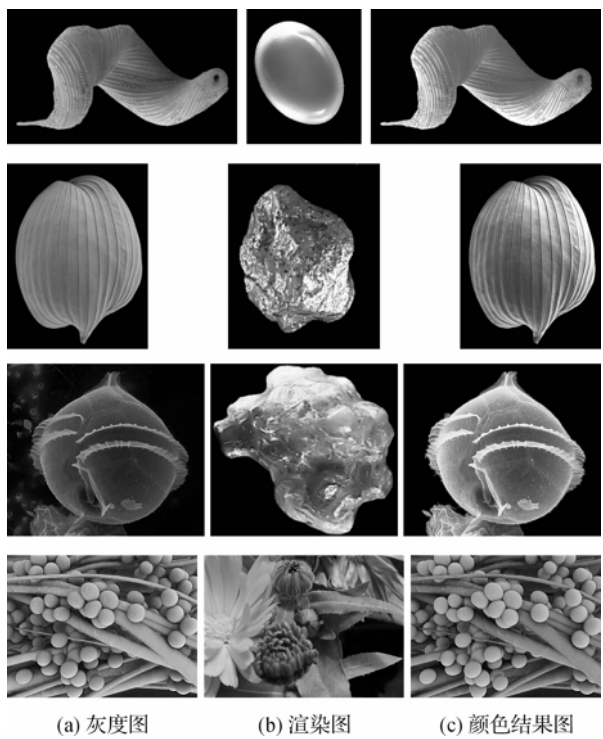


图 7 本文算法的实验效果

本文算法对彩色图色彩比较单一的图像提取颜色主题效果比较好(如图 7),因为均衡化处理只提取了彩色图的主体颜色,过程中可能会造成了部分颜色的丢失,除非将颜色区分开来,分别处理。如图 5(h)中并没有图 5(a)的高亮颜色中的黄色成分。

4 结 论

本文提出了一种基于像素重排的灰度图彩色化方法,该方法比较适用于作为染色样板的彩色图的

颜色种类较为单一的情况,并对此进行了实验,该方法尝试了均衡化处理和比例调整结合的彩色化方法。较好地解决了染色过渡不自然,存在颗粒感的问题,同时算法效率高,时耗少。但是仍然存在丢失部分颜色的问题,因而能分区块分颜色自适应的染色将是新的研究方向。

参考文献:

[1] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. Image processing, analysis, and machine vision[J]. Thomson Learning, Toronto, 2008, 12(12): 1025-1028.

[2] Zhang H, Li Y, Chen H, et al. Perceptual contrast enhancement with dynamic range adjustment[J]. Optik, 2013, 112(8): 5906-5913.

[3] Khan M F, Khan E, Abbasi Z A. Segment selective dynamic histogram equalization for brightness preserving contrast enhancement of images[J]. Optik, 2014, 125 (3): 1385-1389.

[4] Welsh T, Ashikhmin M, Mueller K. Transferring color to greyscale images[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2002, 21(3): 277-280.

[5] Pitie F, Kokaram A C, Dahyot R. N-dimensional probability density function transfer and its Application to color transfer[C]//Computer Vision, ICCV 2005, IEEE, 2005, 2: 1434-1439.

[6] 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.

[7] Irony R, Cohen O D, Lischinski D. Colorization by example[C]//Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering, 2005, 21: 201-210.

[8] 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.
- [9] Li J, Hao P. Transferring colours to grayscale images by locally linear embedding[C]// British Machine Vision Conf(BMVC), UK, Leeds, 2008, 8(5): 835-844.
- [10] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. Colorization using optimization [C]//ACM Transaction on Graphics (TOG), 2004, 23(3): 689-694.
- [11] Qu Y, Wong T T, Heng P A. Manga colorization [C]//ACM Transactions on Graphics (TOG), 2006, 25(3): 1214-1220.
- [12] Luan Q, Wen F, Cohen O D, et al. Natural image colorization on[C]//Proceedings of the 18th Eurographics conference on Rendering Techniques. Eurographics Association, 2007, 32(12): 309-320.
- [13] 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.
- [14] Horiuchi T, Hirano S. Colorization algorithm for grayscale image by propagating seed pixels[J]. Image Processing, 2003, 28(13): 516-521.
- [15] Liu S, Zhang X. Automatic grayscale image colorization using histogram regression[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(13): 1673-1681.

Colorization Algorithm Research for Grey-Scale Image Based on Pixel Rearrangement Comparison

PANG Gai, ZHOU Ping

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Quick colorization of grey-scale image can fast automatically achieve coloring of grey-scale image. Thus, it is widely applied in medical science and microorganism recognition. This paper puts forward grey-scale image colorization algorithm based on pixel rearrangement comparison. The principle is as follows: rendering color mages and rendered grey-scale image are rearranged according to pixel value distribution, and equalization treatment is done for rearranged color images to properly weaken the proportion of excessively bright and excessively dark saturation region; color transfer algorithm is utilized for comparison and matching of pixel value to achieve colorization of grey-scale image. Experimental results of 381 grey-scale images show that this method is concise and clear; the dyeing process and effect is fast and effective. Therefore, it can be further used in automatic color enhancement for multiple targets.

Key words: color enhancement; color transfer; pixel rearrangement; equalization extension

(责任编辑: 陈和榜)

(上接第 546 页)

Design of Wide Band Planar Monopole Antenna

YANG Jun-xiu, ZHAO Wen-lai, LI Lin

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A wide band planar monopole antenna was designed, whose material was FR4 with relative permittivity of 4.4, and the magnitude of dielectric substrate was 80.0 mm×70.0 mm×1.6 mm. The antenna was simulated based on HFSS. The results show that the working bandwidth of antenna can reach 0.79—2.81 GHz ($\text{dB}(S(1,1)) \leq -10 \text{ dB}$, $\text{VSWR} \leq 2$); relative bandwidth reaches 112%; it covers GSM900, CDMA800, DCS1800 and PCS1900 communication bands, including the WLAN band of 2.45 GHz. The antenna has good radiation direction and gains in working frequency band, and can be considered as a good candidate for mobile signal shielding device antenna. The results also show that the size of ground plane imposes larger impacts on bandwidth of antenna than the change of ground plane dimension.

Key words: return loss; ultra-wide band monopole antenna; high frequency structure simulator; voltage standing wave ratio

(责任编辑: 陈和榜)