

基于色彩传递与扩展的图像着色算法

朱黎博 孙韶媛 谷小婧 夏如镜 叶茂镢

(东华大学信息科学与技术学院, 上海 201620)

摘 要 色彩的不均匀一直是色彩传递算法中没有解决的问题。一些传统的算法只是单独依靠像素点的匹配来进行色彩传递, 难以保证处理后图像色彩在空间上的连续性, 即某些像素点的色彩和它周围的色彩反差较大。针对此问题, 提出了一种基于色彩传递与扩展的图像着色算法, 先利用传统的色彩传递方法, 在 $l\alpha\beta$ 空间对灰度目标图像进行局部上色, 然后再利用色彩扩展的算法, 对其他未经过上色的区域进行色彩扩展, 完成整幅灰度目标图像的自动彩色化过程。实验得到了色彩细腻均匀的结果图像, 验证了算法的实用性。

关键词 色彩传递 $l\alpha\beta$ 空间 色彩扩展 图像着色

中图分类号: TP391 **文献标志码**: A **文章编号**: 1006-8961(2010)02-0200-06

Image Colorization Based on Color Transfer and Propagation

ZHU Li-bo SUN Shao-yuan GU Xiao-jing XIA Ru-jing YE Mao-qiao

(College of Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620)

Abstract The color uniformity is one of the important problems that haven't been solved with the color transferring technique yet. Some traditional methods of the color transferring between images are based on the pixels matching. These methods can't ensure that the color of the colorized image feels well. In other words, it means that the color of some pixels is distinct from the color of their neighbors in the colorized target images. This paper presents an image colorization method based on color transfer and propagation. First, it obtains a part-colored image from transferring color to the grayscale image using traditional technique in the $l\alpha\beta$ color space. Then, it makes the local colors be automatically propagated to produce a fully colorized image. In experiments, the color of the colorized images obtained is very good and the results demonstrate the practicality of this method.

Keywords color transfer; $l\alpha\beta$ color space; propagation; image colorization

0 引 言

近些年, 色彩传递在数字图像处理领域引起了人们越来越多的关注。色彩传递其实就是基于图像 A 和图像 B 合成一幅新的图像 B^* , 使 B^* 同时具有 A 的色彩和 B 的形状等信息, 即图像 B 在不改变它自身所表达的形状信息的情况下, 学习了图像 A 的

整体色彩基调^[1]。

色彩传递主要有两种, 一种是两幅彩色图像之间的色彩传递, 还有一种就是把彩色图像的色彩信息传递给一幅灰度图像, 使灰度图像彩色化, 使其更能符合人眼的视觉特性, 增强视觉效果。两种色彩的传递都有非常实际的意义, 前者的应用如, 把夏天拍摄的图片或视频处理成好像是在秋天拍摄的效果, 把早上拍的照片转变为具有黄昏效果的图像等,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60502042); 上海市启明星基金项目 (06QA14003)

收稿日期: 2008-08-14 **改回日期**: 2008-11-27

第一作者简介: 朱黎博 (1981—), 男。东华大学模式识别与智能系统专业硕士研究生。主要研究方向为数字图像处理。

Email: zhulibo@mail.dhu.edu.cn

选择不同的参考图像会得到具有不同效果的目标图像。后者的应用也比较多,如把早期拍摄的黑白电影处理成色彩丰富的彩色电影,把各种夜视仪拍到的灰度图片转变为更能让人眼接受的彩色图像,实现彩色夜视等。本文主要讨论后者,即灰度图像的彩色化。

许多学者致力于图像着色领域的研究^[1-9]。Reinhard等人提出了一种两幅彩色图像之间的色彩传递算法^[2],该算法属于全局传递算法,在 $l\alpha B$ 空间中利用统计信息(均值和标准差)进行颜色校正,使两幅图像各个通道的均值、方差具有相同的分布,从而达到色彩视觉上的相似,该算法简单,速度较快。实验结果表明,该算法适合于两幅图像色彩比较单一以及整体颜色结构信息比较类似的情况,而当参考图像和目标图像的色彩比较丰富时,传递效果难以理想。

Welsh等人提出了一种彩色图像与灰度图像之间的色彩传递算法^[3],对于目标图像的每个像素,在参考图像上找到一个与之匹配的像素,然后将该像素的色彩信息传递给目标图像中对应的像素,并保留目标图像的亮度信息。对于一些色彩比较丰富的图像,Welsh提出一种交互式的分块处理方法,这样有助于改善色彩传递的效果,不过分块处理的人为参与,使传递过程实施起来无法全自动,同时这种方法不能保证处理后的色彩在空间上的连续性,即本来相邻的、颜色相近的区域可能由于亮度的差异而被分配了截然不同的颜色。

最近,Zheng等人针对夜视图像的色彩化问题,提出了一种局部色彩传递方法^[4],该方法先对假彩色融合图像进行了分割,然后再选择不同的彩色参考图像来对各个图像块进行色彩传递,在色彩传递中除了用到亮度和标准差统计信息的匹配外,又加入了直方图的匹配,还实现了各分割区域对期望呈现色彩的自动选择。Zheng的方法可以获得比全局色彩传递更好的效果,但由于仍然是对假彩色图像进行色彩重映射,因此无法从根本上避免不自然色彩的产生,使一些区域的色彩看起来不是很真实。

Levin等人基于这样一种考虑,空间上相邻的像素若亮度相似,颜色一般也会比较类似,因此提出了一种直接给灰度图像上色的方法^[5]。该算法没有利用彩色参考图像,而是先人工在灰度图像的各个区域涂上一些适当的彩色线条,然后在 YUV 空间通过色彩扩展传播,完成整个灰度图像的彩色化过程。

Levin的方法可以取得相当不错的彩色化效果,得到的图像色彩比较均匀,但是,该方法需要人工地在灰度图像各个区域涂上适当的彩色线条,无疑阻碍了算法的实用性,当图像的色彩比较简单时,人为地加上一些彩色线条不是一件很困难的事情,但是,当图像的色彩和结构比较复杂时,就不是一件很容易处理的操作了。

虽然文献[5]中的色彩扩展传播算法由于人工的参与无法做到全自动,但该算法的色彩扩展传播结果的均匀性提供了很好的启发。针对传统算法难以保证处理后图像色彩在空间上的均匀连续性,即某些像素点的色彩和它周围的色彩反差较大的不足,提出了一种基于色彩传递与扩展的图像着色算法。先选择一幅彩色参考图像,利用传统的色彩传递方法,对目标灰度图像进行局部上色,保证局部色彩的准确性。然后再利用色彩扩展的算法,对其他未经过色彩传递的区域进行色彩扩展传播,完成整幅目标图像的色彩传递,保证了整幅图像色彩的均匀性,使彩色化的目标图像色彩看起来细腻均匀,且该算法不需要人为参与,整个过程,全部自动完成,保证了算法的实用性。

1 算法介绍

算法总体分为 2 个步骤。第 1 步为灰度目标图像局部上色过程,先采用传统的色彩传递算法,得到初步彩色化的目标图像,然后遍历目标图像全部像素,去掉“误传”像素点的颜色,得到局部上色的目标图像。第 2 步为色彩扩展过程,根据局部上色的目标图像,利用 Levin 算法,进行色彩扩展,完成整个色彩传递过程。图 1 为本文算法的流程图。

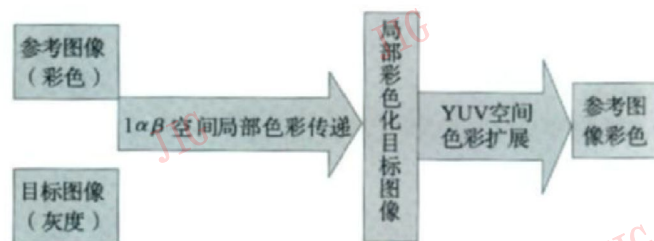


图 1 算法流程图

Fig 1 Process of the algorithm

图 2 可以说明算法的整个过程。其中图 2(a)为选择的彩色参考图像,图 2(b)为需要传递色彩的灰度目标图像,图 2(a)和图 2(b)图像来源于文献

[3], 图 2(c) 为初步色彩传递后的目标图像, 可以看到树丛中一些像素点被“误传”上了天空的颜色, 使树丛的色彩看起来不是很细腻, 图 2(d) 为经过局

部上色的目标图像, 去掉了“误传”像素点的色彩, 图 2(e) 为最终彩色化目标图像, 由图 2(d) 经过色彩扩展得到。



(a) 参考图像

(b) 目标图像

(c) 初步色彩传递结果

(d) 局部上色结果

(e) 最终上色结果

图 2 实验结果 1

Fig 2 Result 1 of the experiment

1.1 目标图像局部上色

首先, 利用传统的给灰度图像着色的 Welsh 算法^[3], 选取合适的彩色参考图像后, 在 $l\alpha\beta$ 空间完成初步色彩传递, 关于初步色彩传递的具体算法, 可以参考文献 [3]。考虑到在一幅图像中, 邻近的像素点若亮度相似, 色彩也应该相似, 因此, 在初步经过色彩传递后, 分别计算初步彩色化目标图像中每个像素点及其邻域的色彩差值, 若差值较小, 则保留该像素点的颜色, 反之, 若差值较大, 则认为该像素点的色彩为“误传”, 去掉该像素点的颜色, 仅保留该点的亮度信息。

这里应该注意邻域大小的选择, 邻域如果选得过小, 这时若初步色彩传递后色彩“误传”的像素点比较集中 (即这些色彩“误传”的像素点组成了一个色彩“误传”的图像块), 则其中一些色彩“误传”的像素点就会被忽略, 其颜色信息会被保留, 在进行色彩扩展时, 这些色彩“误传”的像素点会影响最终目标图像的色彩效果; 邻域如果选的过大, 一方面会影响算法的速度, 另一方面由于邻域范围的扩大, 会使邻域中加入一些与中心像素点相差比较大的色彩信息, 从而影响判断像素点色彩是否“误传”的准确性, 把一些正确的色彩认为是“误传”, 造成有用色彩的丢失。经过实验, 发现邻域大小取 5×5 的窗口比较合适, 得到的实验结果色彩比较自然均匀。

用传统的欧氏距离来衡量像素与其邻域的色彩差值。假设图像大小为 $m \times n$, 图像在任意点 $x(i, j)$ 处的色彩信息为 $H_{x(i, j)}$, 用该点所对应的 RGB 分量来表示,

$$H_{x(i, j)} = \{R_x, G_x, B_x\} \quad (1)$$

则点 $x(i, j)$ 和它邻域像素的色彩差值 $D(x_{ij})$ 可以表示为

$$D(x_{ij}) = \left| H_{x(i, j)} - \frac{1}{n} \sum_{y(p, q) \in L_x} H_{y(p, q)} \right| \quad (2)$$

式中, L_x 为 $x(i, j)$ 的邻域; n 为 L_x 中像素的总数; $y(p, q)$ 为 $x(i, j)$ 邻域 L_x 中的像素; $H_{y(p, q)}$ 为像素点 $y(p, q)$ 的色彩信息, 同样用该点对应的 RGB 分量 $\{R_y, G_y, B_y\}$ 表示。

然后, 需要设置一个阈值 T , 当 $D(x_{ij}) > T$ 时, 认为点 $x(i, j)$ 处的颜色为“误传”, 则把点 $x(i, j)$ 处的颜色清除, 使该点仅具有亮度信息。阈值 T 如果取得过大, 则传递的色彩中误传的现象可能还是比较多, 反之, 如果取得过小, 则传递的色彩信息可能不是很充分, 造成有用色彩的丢失, 即目标图像中本来应该具备的色彩没有目标图像中出现。

阈值可以用经过初步色彩传递后目标图像中所有像素和其邻域内像素的色彩信息差值的平均值 M 来表示。

$$M = \frac{1}{m \times n} \text{SUM} \{D(x_{ij})\} \quad (3)$$

式中, $m \times n$ 为目标图像中像素总数。

经过实验, 发现取阈值 $T = M / 2$ 可得到稳定的效果。

初步色彩传递后的目标图像经过色彩信息校正, 去掉“误传”像素点色彩后, 只有一部分像素得到色彩信息, 即完成了目标图像的局部上色过程。

1.2 目标图像色彩扩展

经过第 1.1 节的处理, 得到局部上色的目标图像, 就可以利用色彩扩展算法^[5]完成整幅图像的着

色过程。首先要对图像进行从 RGB 空间到 YUV 空间的色彩空间变换, YUV 是在彩色视频信号传输中较常用的一种色度空间, 其中 Y 代表亮度, 也就是图像的灰度值; U 和 V 代表色度, 用来描述图像的色彩和饱和度^[10]。

RGB 空间变换到 YUV 空间的变换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & 0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

局部上色的目标图像转换到 YUV 空间后, 只有那些彩色的像素点才有对应的色度值 u 和 v , 而仅有亮度信息的像素点则只有 y 值, 其对应的色度值 u 和 v 为零。

由于图像中空间上相邻的像素, 如果它们的亮度相近, 则它们应该具有相似的色彩^[5], 即使图像中所有像素 $r(i, j)$ 处的色彩值 (即 u 和 v 的值) 与其邻域像素 $s(p, q)$ 的色彩加权差的平方和都达到最小, 为此, 把局部上色的目标图像转换到 YUV 空间后, 在 UV 色度空间分别设定最小化目标函数 $J(U)$ 和 $J(V)$, 其中

$$J(U) = \sum_r |U_r - \sum_{s \in N_r} w_{rs} U_s|^2 \quad (5)$$

式中, N_r 为 $r(i, j)$ 的邻域; s 为 N_r 中的像素; U_r , U_s 分别为像素 $r(i, j)$ 和像素 $s(p, q)$ 的色度值; w_{rs} 为归一化的权值函数 (当像素 $r(i, j)$ 的亮度 Y_r 和像素 $s(p, q)$ 的亮度 Y_s 比较接近时, w_{rs} 较大; 反之, w_{rs} 较小)。 w_{rs} 可以取

$$w_{rs} \propto e^{- (Y_r - Y_s)^2 / 2\sigma_r^2} \quad (6)$$

或取

$$w_{rs} \propto 1 + \frac{1}{\sigma_r^2} (Y_r - \mu_r)(Y_s - \mu_r) \quad (7)$$

式中, μ_r 为像素 $r(i, j)$ 邻域内亮度的均值, σ_r 为 $r(i, j)$ 邻域内亮度的标准差。 w_{rs} 满足

$$\sum_{s \in N_r} w_{rs} = 1 \quad (8)$$

局部上色的目标图像转换到 YUV 空间中, 只有彩色像素点 $c(m, n)$ 处才具有色度值 $U_c = u_{mn}$, $V_c = v_{mn}$, 其他仅具有亮度信息的像素点色度值 u 和 v 未知。目的就是求出这些未知的色度值 u 和 v , 即满足 $U_c = u_{mn}$ 和 $V_c = v_{mn}$ 的色度矩阵 U 和 V 。

彩色像素点 $c(m, n)$ 处的色度值 $U_c = u_{mn}$ 为最小化目标函数式 (5) 的约束条件, 通过式 (5) 的求解, 可以求出满足 $U_c = u_{mn}$ 的色度矩阵 U 。

同样的方法可以求出满足 $V_c = v_{mn}$ 的色度矩阵 V 。

U 和 V 即为最终经过色彩扩展后彩色图像 YUV 空间中的色度矩阵, 然后再将图像变换到 RGB 空间, YUV 空间到 RGB 空间的转换矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.14 \\ 1 & -0.39 & -0.58 \\ 1 & 2.03 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (9)$$

至此, 即完成了色彩扩展过程, 得到最终的彩色化目标图像。

2 实验结果及分析

利用以上的色彩传递与扩展算法, 进行了多组图像的实验仿真。首先为了验证算法的有效性, 利用原始的彩色图像和它对应的灰度图像作为实验中的彩色图像源和目标图像, 分别得到传统算法的结果和本文算法的结果。图 3 是其中 3 组实验结果, 可以看出, 由于传统的 Welsh 算法只是依靠像素的亮度均值和标准差来寻找匹配像素, 进行色彩传递, 无法保证处理后图像色彩在空间上的连续性, 即本来相邻的、颜色相近的区域可能由于亮度差异而被分配了截然不同的颜色, 结果图像中明显有一些像素点的色彩和它周围的色彩反差较大。

从图 3(a) 可以看出, 灰度目标图像中路面和旁边的草地由于部分像素亮度比较接近, 在 Welsh 算法得到的结果图像中, 路面和旁边草地的颜色传递时出现了很多“误传”的像素点, 即草地中的部分像素被传上了道路的颜色, 而道路上的部分像素被传上了草地的颜色。而本文算法很好地避免了这种情况, 传递后的结果图像色彩细腻均匀。图 3(b) 中, 灰度目标图像中岩石的亮度和天空的亮度比较接近, 可以看到 Welsh 算法得到的图像中, 混淆了天空和岩石的颜色, 本文算法得到的图像色彩则比较真实。图 3(c) 中, 灰度目标图像中天空、湖面以及图像下部植物的部分亮度比较接近, Welsh 算法得到的结果中, 天空以及湖面部分像素被传递上植物的绿色, 形成了很多绿色斑点。本文算法得到的结果中天空和湖面色彩比较真实, 没有出现误传的现象。



图 3 一般灰度图像彩色化结果
Fig. 3 Colorization of the normal gray images

彩色夜视是色彩传递算法的一个重要应用领域,图 4 为对夜视图像进行彩色化的结果,灰度目标图像为红外和微光的夜视融合图像,图 4(a)主要场景内容为灌木树丛和道路。Welsh 算法得到的结果图像中有许多绿色的斑点,整体色彩不均匀;Zheng 的算法结果图像,在树丛中有明显的误传现象,一些树丛边缘被传上了暗红色;本文算法得到的结果中

则没有色彩误传的情况,颜色细腻均匀,色彩也比较真实。图 4(b)是另一组夜视图像的彩色化结果,Welsh 算法得到的结果中草原和烟雾中明显有很多误传的像素点,色彩显得很不均匀;在 Zheng 的算法得到的结果中,可以看到草原上的烟雾被误传为蓝色,与实际颜色不符;本文算法结果,颜色则比较均匀真实。

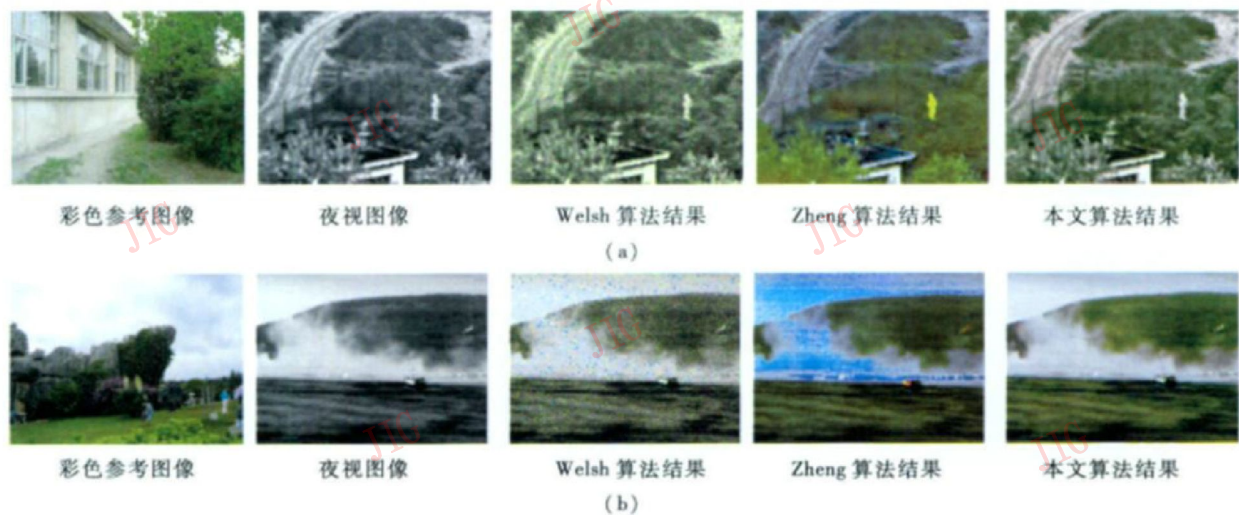


图 4 夜视图像彩色化结果
Fig. 4 Colorization of the night vision images

3 结 论

针对传统算法难以保证处理后图像色彩在空间上的均匀连续性, 即某些像素点的色彩和它周围的色彩反差较大的不足, 提出了一种基于色彩传递与扩展的图像着色算法。先经过传统的色彩传递算法得到一幅初步彩色图像, 再把“误传”的像素点的色彩信息清除, 保证了经过局部色彩传递像素色彩的准确性。在得到一幅具有局部色彩的目标图像后, 再用色彩扩展的方法完成色彩的扩展传播, 得到完整的彩色化目标图像, 整个算法无需人工参与, 自动完成。由实验结果可以看到, 本文算法得到的结果图像色彩比较细腻均匀, 克服了传统算法中的色彩有突变的不足。今后将进一步研究关于目标图像的局部上色过程, 除了要保证局部彩色化目标图像色彩的准确性外, 还要考虑算法的处理速度, 如果能够得到快速且有效的目标图像局部上色算法, 整个算法将会有更大的实用性。

参考文献 (References)

- [1] Hu Guo-fei, Fu Jian, Peng Qun-sheng. Adaptive color transfer [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(9): 1245-1249.
- [2] Reinhard E, Ashikhmin M. Color transfer between images [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34-40.
- [3] Welsh T, Ashikhmin M, Mueller K. Transferring color to grayscale images [C] // Proceedings of ACM SIGGRAPH. New York, NY USA: ACM Press, 2002: 277-280.
- [4] Zheng Yu-feng, Essock E A. A local coloring method for night-vision colorization utilizing image analysis and fusion [J]. Information Fusion, 2007, 9(2008): 186-199.
- [5] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. Colorization using optimization [C] // Proceedings of ACM SIGGRAPH. Los Angeles, USA: ACM Press, 2004: 689-693.
- [6] Sun Shao-yuan, Jing Zhong-liang, Liu Gang, et al. Transfer color to night vision images [J]. Chinese Optics Letters, 2005, 3(8): 448-450.
- [7] Alexander T. A colorizing single band intensified nightvision images [J]. Displays, 2005, 26(1): 15-21.
- [8] Li Guang-xin, Wang Ke. Applying daytime colors to nighttime imagery with an efficient color transfer method [J]. Proceedings of SPIE, 2007, 6559L: 1-12.
- [9] Zhang Yin, Rao Na, Zhang San-yuan, et al. Color transfer between images with auto selecting swatches [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(10): 1258-1263. [张引, 饶娜, 张三元等. 自动采集样本的图像色彩传递算法 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(10): 1258-1263.]
- [10] Keith J. Video Demystified [M]. Eagle Rock, Virginia, USA: LLH Technology Publishing, 2001: 16-17.