

自动采集样本的图像颜色传递算法

张引 饶娜 张三元 叶修梓

(浙江大学计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

摘要 图像的颜色传递是将一幅图像的颜色特征传递给另一幅图像,使目标图像具有与源图像相似的色彩。提出了一种自动采集样本的图像颜色传递方法,利用无监督学习聚类把目标图像和源图像分别分成一定数量的色彩相近的子块,通过计算各子块的纹理特征和亮度统计值,建立样本块之间的对应关系。从各子块中取出数据点密度较大的像素组成样本块。进而利用最佳匹配算法,查找目标样本块的像素在源图像对应样本块中的最佳匹配像素,将其颜色值传给目标像素。以目标图像中已完成颜色传递的样本块作为参考样本,使用纹理对比方式完成样本块以外其它像素的颜色传递。该自动采集样本算法既可用于彩色图像间颜色传递,也适用于灰度图像与彩色图像间颜色传递。在目标图像和源图像的各子块有明显纹理和亮度特征时,该算法可方便地用于批处理和视频中。

关键词 自动采集样本 颜色传递 样本块 聚类

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)10-1258-06

Color Transfer between Images with Auto Selecting Swatches

ZHANG Yin, RAO Na, ZHANG San-yuan, YE Xiu-zi

(College of Computer Science & Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Transferring color between images is a method that borrows one image's color characteristics from another. This paper introduces a technique for transferring color with auto selecting swatches. It uses unsupervised clustering to partition the target and the source image data into a certain number of subsets with similar color, then selects certain larger density pixels in each subset to construct corresponding swatch. It creates optimized correspondence by matching texture character and luminance between subsets. The color information is transferred from the matched pixel in source swatch to the target one. When color transmission is done between the source and the target swatches, the final colors are assigned to each pixel of the target image by matching pixel to pixel in the target swatches in the way of comparing texture characteristics. The proposed auto selecting swatches algorithm can be used to transfer color not only between two color images but also between a grey image and a color image. Because this technique can automatically perform color transfer process without user selecting swatches, it can be conveniently applied to batch process and video, provided that composition, texture and luminance are sufficiently distinct.

Keywords auto selecting swatches, color transfer, swatches, clustering

1 引言

数字图像领域中,最常见的图像处理方法之一就是改变图像的色彩。图像颜色传递就是改变图像

色彩的方法之一,它是将一幅图像的颜色特征传递给另一幅图像,使目标图像具有与源图像相似的色彩。

图像颜色传递大体可分为彩色图像间颜色传递和灰度图像与彩色图像间颜色传递。彩色图像间颜

基金项目:国家自然科学基金项目(60473106,60273060,60333010);教育部博士点学科基金项目(20030335064);浙江省教育厅科研项目(G20030433)

收稿日期:2004-08-02;**改回日期:**2005-04-08

第一作者简介:张引(1970~),女,博士,副教授,硕士生导师。主要研究方向为图形图像、多媒体信息处理、生物医学信息处理。
E-mail: yinzhang@cs.zju.edu.cn

色传递可以用于颜色校正;灰度图像与彩色图像间颜色传递是一种图像增强技术。给灰度图像添加颜色可以提高图像的视觉效果,例如给黑白电影和科学图表添加颜色,以及应用于机场 X 射线行李检测系统得到伪彩色灰度图像。一些科学图像通过用不同颜色及亮度进行处理,其中的信息可以明显地增强。在医学方面,将 MRI、X 射线和 CT 等得到的灰度图像彩色化,可以加强图像的说明效果。图像颜色传递不仅可以实现两幅图像的色彩传递,还可以应用于视频当中,通过对视频文件每个帧分别进行颜色传递来实现整个视频的颜色传递。因此,图像颜色传递在许多领域都有很大的潜在可用性。

彩色图像间颜色传递首先由 Reinhard 等人提出^[1]。该算法依赖用户的视觉操作,由用户从目标图像和源图像中分别选出适当大小、位置与数量的样本块,并指定目标图像样本块与源图像样本块的对应关系。Tomihisa 等人又把颜色传递扩展到灰度图像的彩色化^[2],即将一幅彩色图像的颜色特征传给灰度图像。该算法同样需要由用户选出样本块,并指定样本块间对应关系。

近年来,图像颜色传递技术正日益得到广泛关注,也取得了较大的进展,如一种新的对灰度人脸图像上色的算法^[3];彩色化素描画的算法^[4];将图像颜色传递技术扩展到视频文件中的算法^[5,6];改进自适应的颜色空间转换的过渡矩阵,提出的自适应颜色迁移算法^[7];简化了颜色传递的过程,只需给出一幅目标图像,由用户在图像上做出简单的颜色标记线来完成整幅图像的彩色化的算法^[8];利用图像分割、颜色预测和概率松弛法等技术,实现了不需要用户交互的无监督彩色化灰度卡通图片^[9]算法,它要求卡通图片的前景轮廓清晰,而且目标图像与源图像必须有相似的形状,彩色化过程中卡通图片的背景保持不变,仅对前景物体和人物进行彩色化处理。

已有图像颜色传递算法,尽管算法简单直观,但大多都仍存在如下问题:(1)进行颜色传递之前需要适当的用户交互,如选取样本块或调整图像的域值等;(2)交互式操作虽然在一定程度上能够提高颜色传递的准确性,但是其执行效率太低,而且还受到主观因素的影响^[5];(3)当图像颜色或亮度种类较多时,用户不能精确地判断出需要选取的样本块数目,而且受块状选取样本的限制不便于准确地选取所需的样本块;(4)交互式方法给批处理视频

的颜色传递带来了较大的麻烦。本文提出了一种基于聚类的自动采集样本图像颜色传递算法,从聚类得到的子块中选出颜色值具有代表性的像素组成样本块,计算各子块特征向量,根据相似性对比建立子块对应关系。这种自动采集样本算法既可用于彩色图像间颜色传递,也适用于彩色图像与灰度图像间颜色传递,在不需要用户交互选取样本块的情况下快速实现了颜色传递,同无监督彩色化灰度卡通图片算法^[9]一样,该算法同样受限于目标图像与源图像结构相近的情况。

2 自动采集样本颜色传递算法

在颜色传递过程中,关键问题是选取样本块和构造目标图像同源图像样本块的对应关系。这种对应关系在交互式颜色传递过程中是由用户指定的。因此如何选取样本块和构造最佳样本块对应关系是自动颜色传递的关键。为了描述方便,下面称聚类结果中的每一个类为一个子块。首先通过无监督学习聚类对图像颜色进行聚类,得到代表不同颜色或亮度的子块,并提取每个子块的特征。接着,根据各子块的特征建立目标图像和源图像子块的最佳对应关系。然后,从各子块中选取数据点密度较大的像素作为该子块的样本块。进而,在每对样本块间进行颜色传递。最后,以目标图像中已完成颜色传递的样本块为参考样本,使用纹理对比方式完成样本块以外其他像素的颜色传递。由于彩色图像像素值可以表示为一个亮度通道值和两个颜色通道值,而灰度图像只有一个亮度信息,且通常一幅图像中不同组成部分像素的亮度值也不同。由此,建立样本块间对应关系时只利用图像的灰度值和亮度信息来计算。不过,这也就限制了该算法只适用于目标图像和源图像各子块的亮度值和纹理特征有较明显差别的情况。

2.1 样本块的选取

样本块由图像中颜色值具有代表性的像素组成,能够表现该图像主要色调及纹理特征。

样本块选取的过程如下:

(1) 预处理

在进行子块特征提取以前,需要对图像进行预处理,主要是颜色空间转换。常用的颜色空间有 RGB, XYZ, YIQ, CMY, lab 等。在不同的颜色空间表示中, lab 空间^[10]最符合人的视觉感知(l 表示亮

度值, α 和 β 分别定义颜色的饱满程度), 并且各通道几乎完全独立, 改变任一通道的值, 对另两个通道值的影响最小。因此, 将目标图像和源图像由 RGB 空间转换到 $l\alpha\beta$ 空间。其转换过程参见文献[1]。为能在目标图像和源图像间建立更准确的对应关系, 将源图像亮度采用下式进行归一化^[11], 使源图像和目标图像具有相似的亮度分布区间:

$$Y(p) \leftarrow \frac{\sigma_T}{\sigma_S}(Y(p) - \mu_S) + \mu_T \quad (1)$$

式中, p 是源图像中一个像素点, $Y(p)$ 是源图像中像素的亮度值, μ_S 和 σ_S 是源图像的亮度均值和标准差, μ_T 和 σ_T 是目标图像的亮度均值和标准差。

(2) 基于无监督学习聚类的子块特征提取

对预处理后的目标图像和源图像分别进行无监督学习颜色聚类。由于目标图像和源图像颜色传递过程中, 样本块是一对一地传递, 因此目标图像和源图像聚类得到的子块数目必须保持一致。但是无监督学习聚类不能保证两幅图像聚类后子块数目一致。为此对聚类结果进行修正, 使两幅图像子块数目一致: 假设目标图像分为 c_1 个子块, 源图像分为 c_2 个子块。若 $c_1 \neq c_2$, 假设 $c_1 > c_2$, 那么调整目标图像的聚类数目至 c_2 , 对其重新进行聚类; 反之, 若 $c_1 < c_2$, 那么调整源图像的聚类数目至 c_1 , 对源图像重新聚类。

分析聚类结果, 将子块纹理特征和亮度统计值作为子块特征向量分量, 用于建立后续子块对应关系。具体算法如下:

由于目标图像和源图像各类组成相近, 为了减少计算量, 将目标图像和源图像转换成灰度图像来处理。子块纹理特征的提取以灰度共生矩阵为基础, 灰度共生矩阵的各种统计量可作为子块纹理特征的度量^[12]。在通常的图像中, 灰度级数大小为 256, 为了减少在特征向量计算上花费的时间, 常常在求灰度共生矩阵之前, 根据直方图的平坦化等灰度分布的标准化, 事先把图像的灰度级变换成 16 级或 64 级^[13]。为了减少计算时间同时又保证灰度共生矩阵更好地体现出子块的纹理特征, 将图像的亮度分量分成 64 个灰度级。构造各子块 4 个方向的共生矩阵, 即 $M_{(1,0)}$ 、 $M_{(0,1)}$ 、 $M_{(1,1)}$ 、 $M_{(1,-1)}$ (共生矩阵 $M_{(\Delta x, \Delta y)}(h, k)$ 中位于 (h, k) 的元素值 m_{hk} , 表示一个灰度为 h 而另一个灰度为 k 的两个相距为 $(\Delta x, \Delta y)$ 的像素对出现的次数), 然后分别计算这 4 个共生矩阵的 3 个纹理参数如下:

反差

$$G = \sum_h \sum_k (h - k)^2 m_{hk} \quad (2)$$

对于粗纹理, 由于 m_{hk} 的数值较集中于主对角线附近, 此时 $(h - k)$ 的值较小, 所以相应的 G 值也较小; 相反, 对于细纹理, 相应的 G 值较大。

能量

$$J = \sum_h \sum_k (m_{hk})^2 \quad (3)$$

能量 J 是对图像灰度分布均匀性的度量。当 m_{hk} 的数值较集中于主对角线附近, 相应的 J 值较大; 反之, J 值较小。

熵

$$S = - \sum_h \sum_k m_{hk} \log m_{hk} \quad (4)$$

当灰度共生矩阵中各 m_{hk} 数值相差不大且较分散时, S 值较大; 反之, 当 m_{hk} 的数值较集中时, S 值较小。

以各子块 4 个方向共生矩阵的纹理参数中各个参数均值和标准差及子块亮度 ($l\alpha\beta$ 空间的 l 值) 均值和标准差, 即 $\mu_G, \sigma_G, \mu_J, \sigma_J, \mu_S, \sigma_S, \mu_l, \sigma_l$ 作为子块特征向量中的各个分量。由于以上 8 个分量物理意义和取值范围不同, 需对它们进行内部归一化, 这样在计算相似距离时, 可使各分量具有相同权重。采用高斯归一化方法对各子块特征向量各分量进行归一化。高斯归一化方法是较好的归一化方法, 其特点是少量超大或超小的元素值对整个归一化后元素值的分布影响比较小^[14]。

(3) 建立样本块对应关系

在交互式图像颜色传递中, 样本块间对应关系是由用户指定的。虽然, 用户指定对应关系相对灵活, 可以得到各种效果。但是, 用户交互受到主观因素的影响, 不同用户或选择不同的样本块得到的颜色传递结果都将不同, 而且图像由多个颜色和亮度分类组成时, 用户交互选取样本块就有一定的难度。通过分析一般用户的需求, 发现当目标图像和源图像组成较相近时, 可利用两幅图像各子块的特征建立起对应关系。这里利用各子块纹理特征和亮度特征建立子块间对应关系, 这种方法既适用于彩色图像间颜色传递又可用于彩色图像与灰度图像间颜色传递。

计算目标图像与源图像各子块间距离, 找出所有子块对距离和最小的对应关系。假设目标图像第 i 个子块对应源图像第 j 个子块, $\Gamma = \sum_c D_{ij}$ 最小时为子块最佳对应关系。式中, c 为目标图像和源图像聚类后子块数目, D_{ij} 为目标图像第 i 个子块特征

向量与源图像第 j 个子块特征向量的欧氏距离。样本块对应关系与子块对应关系一致。

(4) 样本块选取

计算目标图像和源图像各像素的数据点密度^[15], 像素 x_i 的数据点密度定义为 x_i 所属子块内与 x_i 的距离不大于 r 的像素个数。先定义函数

$$u(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x_0 < 0 \end{cases} \quad (5)$$

x_i 的数据点密度为

$$D(x_i) = \sum_{j=1}^b u(r - \|x_i - x_j\|) \quad (6)$$

式中, b 为 x_i 对应子块中像素个数; x_j 为该子块中像素; 一般情况下, 彩色图像间颜色传递时, r 为子块像素 l, α, β 各分量上标准差的最大值, x_i 和 x_j 的距离为 l, α, β 3 个通道的欧氏距离, 灰度图像彩色化时, r 为子块像素亮度 l 的标准差, x_i 和 x_j 的距离为亮度 l 的差值。对比较复杂的图像, r 的值可适当取大一些, 如标准差的两倍。

从图像中选出的样本块必须由具有代表性的像素点组成, 并最好能够覆盖到图像的所有颜色和亮度范围。由此, 取各子块数据点密度较大的 n 个像素作为样本点, 记为 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 依次由各子块数据点密度最大的像素开始选取。假设当前取到第 i 个样本点 x_i , 选取的下一个样本点 x_{i+1} 为数据点密度最大的与 x_i 的距离大于 r 的像素。直到选取出的样本点亮度范围覆盖整个子块亮度范围为止。

2.2 颜色传递

建立样本块对应关系后, 先进行样本块间颜色传递, 进而利用目标图像中已传递颜色的样本块作为参考对样本块以外其他的像素进行颜色传递。由于灰度图像只有亮度信息, 颜色传递过程只能利用亮度信息在源图像中查找最佳匹配像素, 而彩色图像间颜色传递时必须考虑目标图像原有的颜色信息, 否则颜色传递结果不能保持原目标图像的纹理细节。因此, 彩色图像间颜色传递和灰度图像与彩色图像间颜色传递对应不同的颜色传递过程。

2.2.1 灰度图像与彩色图像间颜色传递

灰度图像与彩色图像间颜色传递主要通过查找最佳匹配像素进行颜色传递, 具体算法如下:

(1) 在对应源图像样本块中依次查找目标样本块各像素最佳匹配像素。最佳匹配原则为源图像样本块中像素与目标样本块像素的亮度值和邻域亮度标准差加权距离最小。邻域亮度标准差是当前像

素邻域亮度标准差, 邻域大小取 5×5 。像素亮度值和邻域亮度标准差权重各为 50%。

(2) 所有目标图像样本块颜色传递成功后, 按扫描线顺序依次处理目标图像中样本块以外其他像素。在其所属子块对应的样本块中利用纹理对比查找最佳匹配像素。计算目标像素与对应样本块中像素的 L_2 距离

$$L_2(N, N_i) = \sum_{p \in N} [I(p) - T(p)]^2 \quad (7)$$

式中, N 为目标像素的邻域, N_i 为样本块中像素的邻域, $I(p)$ 为目标像素邻域内一像素的亮度值, $T(p)$ 为样本块中像素的邻域内一像素的亮度值。与目标像素距离最小的像素为其最佳匹配像素, 将最佳匹配像素的颜色值, 即 α, β 值, 传给目标像素, 保持 l 值不变。

(3) 将颜色传递后的目标图像由 $l\alpha\beta$ 空间转换到 RGB 空间。

2.2.2 彩色图像间颜色传递

彩色图像间颜色传递过程如下:

(1) 分别计算目标图像和源图像各样本块 l, α, β 各自的均值和标准差, 分别记为 $\bar{l}_T, \bar{\alpha}_T, \bar{\beta}_T, \bar{l}_S, \bar{\alpha}_S, \bar{\beta}_S, \sigma_T^l, \sigma_T^\alpha, \sigma_T^\beta$ 和 $\sigma_S^l, \sigma_S^\alpha, \sigma_S^\beta$ 。

(2) 依次在对应样本块间进行如下计算:

$$\begin{cases} l_T^* = l_T - \bar{l}_T \\ \alpha_T^* = \alpha_T - \bar{\alpha}_T \\ \beta_T^* = \beta_T - \bar{\beta}_T \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} l'_T = \frac{\sigma_T^l}{\sigma_S^l} l_T^* + \bar{l}_S \\ \alpha'_T = \frac{\sigma_T^\alpha}{\sigma_S^\alpha} \alpha_T^* + \bar{\alpha}_S \\ \beta'_T = \frac{\sigma_T^\beta}{\sigma_S^\beta} \beta_T^* + \bar{\beta}_S \end{cases} \quad (9)$$

式中, $l'_T, \alpha'_T, \beta'_T$ 为目标样本块颜色传递后的值。

(3) 利用已传递颜色的样本块为参考, 按扫描线顺序依次处理样本块以外其他像素。查找各像素在所属于子块样本块中距离最小的像素, 接着进行如下运算:

$$\begin{cases} l' = \frac{l'_T}{l_T} l \\ \alpha' = \frac{\alpha'_T}{\alpha_T} \alpha \\ \beta' = \frac{\beta'_T}{\beta_T} \beta \end{cases} \quad (10)$$

式中, l, α, β 为目标像素值, l_T, α_T, β_T 为样本块中与目标像素距离最小的像素值, $l'_T, \alpha'_T, \beta'_T$ 为样本块像素颜色传递后的值, l', α', β' 为目标像素颜色传递后的值。

(4) 将颜色传递后的目标图像由 $l\alpha\beta$ 空间转换到 RGB 空间。

综上所述, 自动采集样本图像颜色传递的方法如下:

(1) 将目标图像和源图像从 RGB 空间转换到 $l\alpha\beta$ 空间, 并将源图像亮度分布映射到目标图像亮度区间;

(2) 分别对目标图像和源图像进行无监督学习聚类, 并将两幅图像聚类数目调整至相等;

(3) 计算各子块的特征值;

(4) 根据各子块特征值建立最佳子块对应关系;

(5) 计算各像素在对应子块中数据点密度, 取出一定数量的数据点密度较大的像素组成样本块;

(6) 在对应样本块间进行颜色传递, 进而利用目标图像中已完成颜色传递的像素作为参考样本对样本块以外其他的像素进行颜色传递。

3 实验分析

选用快速模糊 C 均值聚类^[16]算法测试, 该算法不需事先确定聚类数目并且聚类结果较好, 模糊 C 均值聚类选用 $l\alpha\beta$ 空间。通过选取大量不同类型的图像进行实验, 本文算法建立子块间对应关系的成功率大约是 75%。经过分析大量的数据, 得出如果建立对应关系后, 两幅图像对应子块间距离有大于 5 的数值, 则认为这两幅图像不适合本文算法。建立错误的对应关系通常是由目标图像和源图像组成结构上相差较大引起, 如果在图像子块间最小距离满足要求时建立了错误的对应关系, 则可根据用户要求由用户指定子块间的对应关系, 否则仅依据建立的对应关系完成颜色传递。由用户指定子块间对应关系的操作仅作为本文算法不能正确建立对应关系的一种补充。

图版 I 图 1 选用文献[2]中的例子说明本文算法的有效性。由于文献[2]中的算法结果与用户选取的样本块有很大关系, 即颜色传递结果存在很大的主观性, 所以这里不对两个算法的结果进行定量的比较。图版 I 图 1 中图 a-1 为源图像及用户选取

的样本块; 图 a-2 为目标图像及用户选取的样本块; 图 a-3 为用户交互颜色传递结果; 图 b-1 为源图像; 图 b-2 为目标图像; 图 b-3 为本文算法得到的结果; 图 b-4 为源图像聚类结果, 图 b-5 为目标图像聚类结果, 对应关系为源图像黑色区域对应目标图像灰色区域; 图 b-6 中红色像素为源图像中选取出的样本点; 图 b-7 中红色像素为目标图像中选取出的样本点。图版 I 图 1 目标图像和源图像大小均为 150×110 , 聚为 2 类, 选取样本块时, 取 r 为子块像素亮度 l 的标准差。图版 I 图 2 为彩色图像间自动采集样本颜色传递结果, 图像大小为 200×150 , 聚为 3 类, 选取样本块时, 取 r 为子块像素 l, α, β 各分量上标准差最大值的两倍。图版 I 图 2 第 1 行分别为源图像、目标图像和颜色传递结果图像; 第 2 行分别为源图像聚类结果、目标图像聚类结果、源图像选取的样本点、目标图像选取的样本点, 对应关系为灰度相同的区域互相对应。图版 I 图 3 给出了图像分为较多类的颜色传递结果, 图像大小为 200×150 , 聚为 10 类, 选取样本块时, 取 r 为子块像素 l, α, β 各分量上标准差最大值, 取出的样本点数量较多, 如果要减少计算时间可以将 r 值取大一些。图版 I 图 3 第 1 列分别为源图像、目标图像和颜色传递结果图像; 第 2 列分别为源图像聚类结果、目标图像聚类结果; 第 3 列为源图像和目标图像建立对应关系后示意图, 相同的颜色区域为对应子块; 第 4 列分别为源图像选取的样本点、目标图像选取的样本点。从图版 I 图 3 可以看出, 当图像的颜色和亮度分类较多而且分布较分散时, 肉眼不能直接区分出各类, 本文算法可以精确地区分出各个颜色类, 并选取出分散的、有代表性的样本点。

本文算法对一些图像的颜色传递结果较令人满意, 但是并不是对所有图像都适用。如果目标图像和源图像的组成、纹理特征和亮度存在较大的差异时, 结果将不太理想。但是只要目标图像和源图像各子块的亮度和纹理特征较明显, 聚类的结果较好时, 本文算法颜色传递的结果是较令人满意的。

4 结 论

本文提出的自动采集样本图像颜色传递算法是基于聚类的图像颜色传递算法。交互式操作虽然在一定程度上能够提高颜色传递的准确性, 但是其执行效率太低, 当图像颜色或亮度种类较多时, 用户不

能精确地判断出需要选取的样本块数目,而且受块状选取样本的限制不便于准确地选取出所需的样本块,但是,本文算法只需要增加聚类的数目便可以很好地解决这一问题。在需要对多幅图像进行批处理时,采用交互式方法也很难完成这种操作。此外,交互式方法还具有一定的主观性,不易于实时地实现对视频图像的颜色传递。本文利用无监督学习聚类把图像数据分成一定数量的子块,并从各子块中取出一定数量的颜色值具有代表性的像素组成样本块,进而利用子块特征值建立样本块最佳对应关系,从而利用样本块进行颜色传递。这种自动采集样本算法既适用于彩色图像间颜色传递,也可用于灰度图像与彩色图像间颜色传递,但两种情况下颜色传递过程不同。实验结果表明,当目标图像和源图像组成相近的情况下,尽管没有交互式采集样本操作,本文算法也可以得到令人满意的结果。今后将进一步研究更有效地建立子块间对应关系的方法,以扩展自动采集样本的图像颜色传递算法的适用范围。

参考文献 (References)

- 1 Erik R, Michael A, Bruce G, *et al.* Color transfer between images [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, **21**(5): 34 ~ 40.
- 2 Tomihisa W, Michael A, Klaus M. Transferring color to greyscale images [A]. In: *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002* [C], San Antonio, Texas, USA, 2002: 341 ~ 346.
- 3 Zhao G Y, Li H. Improvement of colorizing algorithm for greyscale face image [J]. *Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics*, 2004, **16**(8): 1051 ~ 1056. [赵国英, 李华. 人体脸部灰度图像上色的改进算法 [J]. *计算机辅助设计与图形学报*, 2004, **16**(8): 1051 ~ 1056.]
- 4 Qiu J, Seah H S, Tian F, *et al.* Computer-assisted auto coloring by region matching [A]. In: *Proceedings of Pacific Conference on Computer Graphics and Applications* [C], Canmore, Alberta, Canada, 2003: 175 ~ 185.
- 5 Wang C M, Huang Y H. A novel color transfer algorithm for image sequences [J]. *Journal of Information Science and Engineering*, 2004, **20**(6): 1039 ~ 1056.
- 6 Pan Z, Dong Z, Zhang M. A new algorithm for adding color to video or animation clips [A]. In: *Proceedings of WSCG—International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision* [C], West Bohemia, Czech Republic, 2004: 515 ~ 519.
- 7 Hu G F, Fu J, Peng Q S. Adaptive color transfer [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2004, **27**(9): 1245 ~ 1249. [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.]
- 8 Anat L, Dani L, Yair W. Colorization using optimization [J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2004, **23**(3): 689 ~ 694.
- 9 Deniel S, Jan B, Jiri Z. Unsupervised colorization of black-and-white cartoons [A]. In: *Proceedings of Non-Photorealistic Animation and Rendering* [C], Annecy, France, 2004: 121 ~ 127.
- 10 Daniel L R, Thomas W C, Chuan-Chin C. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding [J]. *Optical Society of America*, 1998, **15**(8): 2036 ~ 2045.
- 11 Aaron H, Charles E J, Nuria O, *et al.* Image analogies [A]. In: *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH* [C], Los Angeles, California, 2001: 327 ~ 339.
- 12 Zhang Y J. *Image Engineering (volume 1)—Image Processing and Analyzing* [M]. Beijing: Tsinghua Publish House, 1999. [章毓晋. 图象工程(上册)——图象处理和分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.]
- 13 Tian C X X. *Computer Image Processing* [M]. Translated by Jin Xi-zi, Qi Shuang, Beijing: Science Press, 2004: 183 ~ 190. [(日)田村秀行编著. 计算机图像处理 [M]. 金喜子, 乔双译, 北京: 科学出版社, 2004: 183 ~ 190.]
- 14 Ortega M, Rui Y, Chakrabarti K, *et al.* Supporting similarity queries in MARS [A]. In: *Proceedings of ACM Multimedia* [C], Seattle, WA, USA, 1997: 403 ~ 413.
- 15 Tao C W. Unsupervised fuzzy clustering with multi-center clusters [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2002, **128**(3): 305 ~ 322.
- 16 Lin K Y, Xu L H, Wu J H. A fast fuzzy C-Means clustering for color image segmentation [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, **9**(2): 159 ~ 163. [林开颜, 徐立鸿, 吴军辉. 快速模糊 C 均值聚类彩色图像分割方法 [J]. *中国图象图形学报*, 2004, **9**(2): 159 ~ 163.]

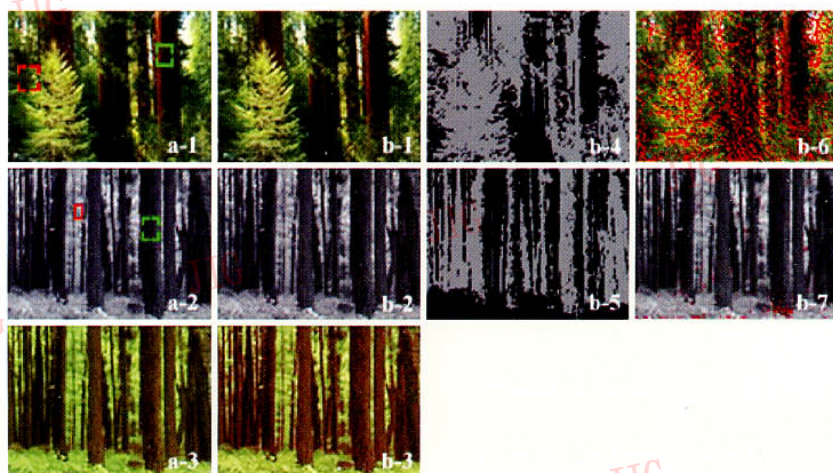


图1 交互式颜色传递结果与自动分块采集样本颜色传递结果
Fig.1 Color transfer results with user intervention and auto selecting swatches

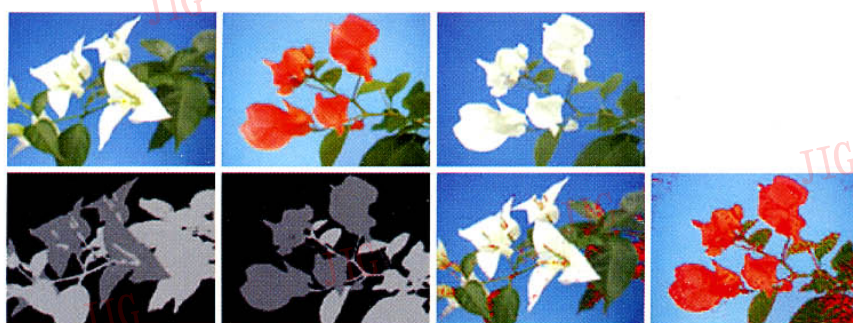


图2 彩色图像间自动采集样本颜色传递
Fig.2 Color transfer results between color images with auto selecting swatches

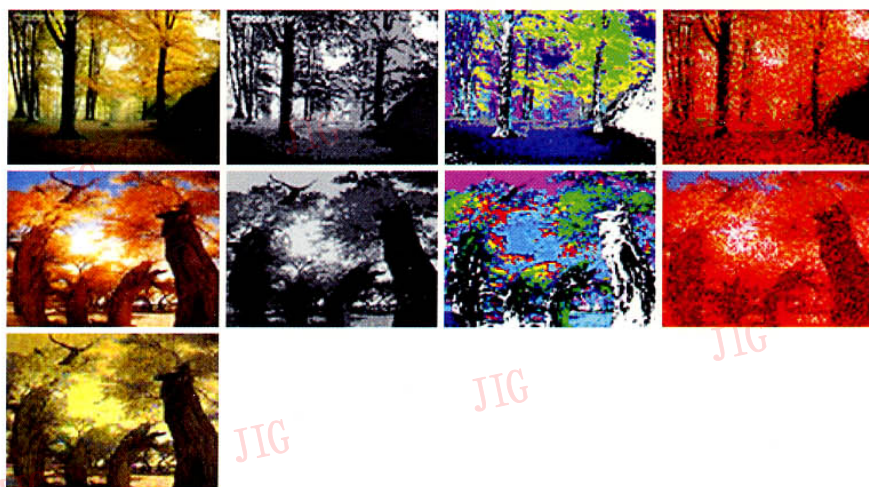


图3 颜色分类较多的彩色图像间自动采集样本颜色传递
Fig.3 Color transfer results between complex color images with auto selecting swatches