

中图分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)04-0613-05

论文索引信息: 钱小燕, 李敏, 韩磊, 王帮峰. 一种快速颜色传输算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4): 613-617

# 一种快速颜色传输算法

钱小燕<sup>1)</sup>, 李敏<sup>1)</sup>, 韩磊<sup>2)</sup>, 王帮峰<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(南京航空航天大学民航学院, 南京 210016) <sup>2)</sup>(华为技术有限公司, 南京 210000)

**摘要:** 图像间的颜色传输是将一幅图像的颜色特征传输给另一幅图像,使目标图像具有与参考图像相似的色彩。提出一种自动的、快速颜色传输算法。在 HSV 空间模糊聚类生成代表不同色调特征的样本区域;通过计算各样本区域的特征向量间的距离,建立样本区域之间的匹配关系;利用图像在  $\alpha\beta$  空间的基本统计信息进行局部颜色传输;最后利用隶属度因子融合局部传输效果。对有效色调值进行加权聚类,大大降低聚类样本数量,在取得较好的颜色传输效果的同时,显著地提高了传输速度。

**关键词:** 颜色传输; 模糊聚类; 颜色空间

## A fast color transfer algorithm

Qian Xiaoyan<sup>1)</sup>, Li Min<sup>1)</sup>, Han Lei<sup>2)</sup>, Wang Bangfeng<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016 China)

<sup>2)</sup>(Ltd. Huawei, Nanjing 210000 China)

**Abstract:** Transferring color between images is a method that uses one image's color from another. This paper presents a fast auto color transferring method. Fuzzy clustering algorithm produces a certain number of sample patches with different hue characteristics. Then this method creates correspondence by computing the distance of feature vectors between sample patches in the reference and target images. The local color information is transferred from the matched sample patch in the reference image to the target one in  $\alpha\beta$  space. The weight clustering of effective hue cuts down the number of sample immensely. Therefore it improves the speed of color transfer significantly, and in the meantime does not damage the transfer quality.

**Keywords:** color transfer; fuzzy clustering; color space

## 0 引言

图像处理中的一个重要任务是改变图像的视觉效果。颜色是图像的重要视觉信息之一,有多种方式可以改变图像的颜色,其中颜色传输是比较有效的方法。颜色传输可以将一幅图像渲染成不同光照和色调的多幅图像,对于灰度图像可以实现伪彩色上色。其目标是改变源图像的颜色,使之与参考图

像具有相似的颜色统计信息。颜色传输在医学图像、影视制作及机场 X 射线行李检测系统等方面有着大量有意义的应用<sup>[1]</sup>。

近年来,人们对这个领域做了很多有意义的工作。Reinhard 等人<sup>[2]</sup>提出一种简单的全局颜色传输方法,利用图像的整体统计信息对源图像和目标图像进行颜色处理。对具有单一颜色基调图像的处理比较成功,对于多颜色基调的图像,却不能获得自然、真实的传输效果;Welsh 等人<sup>[3]</sup>引入  $L_2$  距离在图

收稿日期:2010-05-04;修回日期:2010-07-02

基金项目:中国博士后科学基金项目(20080431094)。

第一作者简介:钱小燕(1979—),女,讲师。2007年在南京理工大学获得计算机应用专业博士学位,研究方向为图像处理。E-mail:crystalhanlei@hotmail.com。

像间进行亮度和纹理匹配,在此基础上完成对灰度图像着色,但是这种算法在把一幅具有丰富颜色的图像和一幅灰度图像进行颜色传输时,结果图像并不符合自然景物的颜色;文献[4]引入高阶矩,利用斜度和峰度等高阶信息,通过幂变换和模变换获得更好的传输效果。但高阶信息依然不能充分代表图像的特征,合成图像的视觉效果不一定和参考图像类似;为此,文献[5]将模糊聚类引入颜色传输,实现了图像间的局部颜色传输,对相似性较差的图像有时仍能获得不错的传输效果。由于彩色图像的数据量很大,像素的数目随着图像尺寸和分辨率的增加而不断增加,直接对像素值进行聚类分析非常缓慢,影响了传输效率;文献[6-7]将图像像素邻域相关特性引入像素匹配过程,大大降低了搜索代价,提高了传输效率,同全局颜色传输算法一样,这些算法同样受限于目标图像与参考图像结构相近的情况。本文在前人工作的基础上,提出一种快速颜色传输算法,在 HSV 空间聚类得到具有代表性的不同颜色块;计算各样本区域特征向量,根据相似性对比建立子块对应关系;利用隶属度在  $\alpha\beta$  空间融合各对应块的局部传输效果。该算法利用 HSV 空间进行聚类分析,不仅可以较好地解决不确定性问题,获得自然平滑的传输效果,而且对有效色调值进行加权聚类,可以不受图像大小和分辨率的影响,大大降低聚类数目,加快了传输速度。

## 1 本文算法

颜色传输过程中,关键问题是样本区域的生成和参考图像同目标图像的样本区域间的传输方向。采用传统模糊  $C$  均值聚类算法生成样本区域的主要问题在于大数量样本使得运算开销很大,速度慢。因此如何提高聚类速度和确定样本区域间的传输方向是基于聚类颜色传输的关键。首先,将参考图像和目标图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间,将  $H$  分量作为聚类分析的主要依据。统计  $[0^\circ, 360^\circ]$  范围内的有效色调值权重,对有效色调值进行加权聚类,生成具有不同色调特征的样本区域;接着,根据各样本区域的特征向量建立参考图像与目标图像间样本区域的对应关系,确定传输方向;最后,将隶属度因子引入传输方程,对各样本区域间的传输结果进行融合,生成平滑、自然的颜色渲染效果。

### 1.1 基于 HSV 空间的样本区域选取

根据不同的应用目的,人们提出了多种颜色空间,RGB 空间是最常见的色彩空间。该空间对于图像在计算机中的存储很方便,但由于 RGB 3 个分量之间有很强的相关性,直接在该空间进行聚类生成样本区域通常不能取得好的效果; $\alpha\beta$  空间是由 Ruderman 等人<sup>[8]</sup>提出的各通道几乎完全独立的颜色空间,在该空间聚类能获得好的效果,但像素数目随着图像尺寸和分辨率的增加而不断增加,逐像素的分析使得算法速度很低;HSV 空间是比较接近人眼对颜色视觉感知的颜色空间,其中  $H$  为色调,取值为  $[0, 2\pi]$ ,  $S$  为饱和度,取值为  $[0, 1]$ ,  $V$  为亮度,取值为  $[0, 1]$ 。在 HSV 空间色调分量与人感受彩色的方式紧密相关,并且亮度  $V$  与图像的彩色信息无关。因此,采用此空间利用  $H$  分量作为样本区域的生成基础。通过统计相同色调值样本的数量,将其作为该类样本的权系数,而把  $[0^\circ, 360^\circ]$  范围内的色调值作为样本数据进行聚类。对于大小为  $L \times T$  的图像,其聚类搜索空间从  $L \times T$  降至  $360^\circ$  (一般远远小于  $L \times T$ ),从而大幅度减少聚类数目,提高样本区域的生成速度。应用 HSV 空间进行模糊聚类思想划分图像样本区域的基本思路如下。

设待处理图像的有效色调值个数为  $N$ ,用数组  $ValidH[i] (i=1, \dots, N)$  和  $HWeight[i] (i=1, \dots, N)$  分别记录待处理图像的有效色调值和对应的色调值像素个数;设把图像的色调值分为  $c$  类,聚类中心  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ ;用  $u_{ik}$  表示色调值  $h_k$  隶属于聚类中心  $v_i$  的隶属度,定义图像色调值的隶属度矩阵  $U = [u_{ik}]_{c \times N}$ 。对两幅图像进行模糊颜色聚类划分可归纳为以下几个步骤:

- 1) 把图像从 RGB 空间转换到 HSV 空间;
- 2) 统计图像的有效色调值及对应的像素个数,分别记录在数组  $ValidH$  和  $HWeight$  中;
- 3) 计算有效色调值  $h_k$  的权值系数

$$w_k = \frac{HWeight[k]}{\sum_{j=1}^N HWeight[j]} \quad \text{且} \quad \sum_{k=1}^N w_k = 1 \quad (1)$$

- 4) 初始化聚类基本参数:确定聚类类个数  $c$ , 加权指数  $m$ , 最大迭代次数  $LOOP$ , 终止误差  $\Sigma > 0$ 。

(1) 初始化聚类中心和隶属度矩阵;

(2) 当迭代次数  $IT < LOOP$ , 循环以下步骤:

① 计算隶属度矩阵

如果  $h_k = v_i, k = 1, 2, \dots, N$ , 则

$$\begin{cases} u_{ik} = 1 & h_k = v_i \\ u_{ik} = 0 & \text{其他} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, C \quad (2)$$

如果  $h_k \neq v_i$ , 则对于所有的  $v_i (i = 1, 2, \dots, C)$ :

$$u_{ik} = \left[ \sum_{j=1}^C (d_{ik}/d_{jk})^{2/(m-1)} \right]^{-1} \quad (3)$$

$$k = 1, 2, \dots, N$$

式中,  $d_{ik}$  为第  $k$  个色调值到第  $i$  个聚类中心的距离, 定义为色调分量的街坊 (街区) 距离。由于  $h_k, v_i \in [0, 2\pi]$ , 故

$$d_{ik} = \begin{cases} |h_k - v_i| & |h_k - v_i| \leq \pi \\ 360 - |h_k - v_i| & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

### ② 进行聚类划分, 计算新的聚类中心

从隶属度矩阵每列中, 选取隶属度最大的聚类中心作为对应点的归属域, 计算新的聚类中心和目标函数

$$v'_i = \frac{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m h_k w_k}{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m w_k} \quad i = 1, 2, \dots, C \quad (5)$$

$$J(V, V') = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C |v_i - v'_i| \quad (6)$$

③ 检查收敛情况: 若  $J(V, V') < \Sigma$ , 停止迭代计算; 否则, 返回步骤 4) 继续迭代计算。

## 1.2 样本区域的生成

模糊聚类后, 假设对于具有  $N$  个有效色调值的图像产生  $C$  个聚类中心。为了获得代表不同颜色特征的样本区域, 首先根据隶属度最大原则据式(7)选取隶属度最大的聚类中心  $v_i$  作为样本数据  $h_k$  的归属域;

$$v_i = \operatorname{argmax}_{v_i \in V} u_{ik} \quad k = 1, \dots, N \quad (7)$$

然后, 从加权的样本数据空间映射到图像像素空间, 获得  $C$  个代表不同颜色特征的样本区域。

由于具有相似色调值的像素可能属于不同的区域 (如天空、湖面等), 样本区域会呈现不规则的形状。图 1 给出了由 (a) 产生的 3 个样本区域, 可以看出, 湖面的部分像素与天空的部分像素被划分为同一个样本区域。

## 1.3 样本区域的匹配

为了实现参考图像与目标图像间样本区域的对应传输, 选取特征相似的样本区域作为匹配块。计算目标图像与参考图像各样本区域间特征向量  $CV$  的距离, 找出所有样本区域对距离和  $\Gamma = \sum_{i,j=1}^C D_{ij}$  最

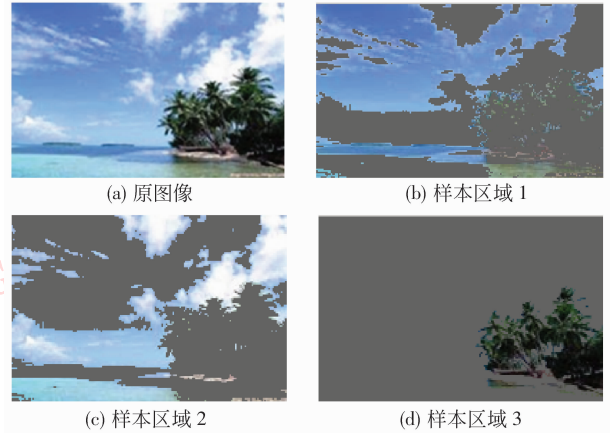


图 1 由 (a) 生成的 3 个样本区域

Fig. 1 Three samples from figure (a)

小时为样本区域最佳匹配关系。其中  $D_{ij}$  表示目标图像第  $i$  个样本区域特征向量与参考图像第  $j$  个样本区域特征向量的欧氏距离。

由于彩色图像不仅包含颜色信息, 还包含亮度信息, 因此, 需要分析样本区域的纹理特征和亮度特征。将色调、饱和度及亮度均值和标准差, 即  $\mu_H, \sigma_H, \mu_S, \sigma_S, \mu_V, \sigma_V$  作为样本区域特征向量中的各个分量来描述其特征, 即  $CV = [\mu_H, \sigma_H, \mu_S, \sigma_S, \mu_V, \sigma_V]$ 。由于色调统计分量的取值范围与其他各分量取值范围不同, 为了有效计算相似距离, 需要进行内部归一化处理。采用高斯归一化方法对特征向量各分量进行归一化。则目标图像第  $i$  个样本区域特征向量与参考图像第  $j$  个样本区域特征向量的欧氏距离可定义为

$$D_{ij} = \sqrt{\frac{1}{6} \left[ \sum_{i=H,S,V} (\mu_i^i - \mu_i^j)^2 + \sum_{i=H,S,V} (\sigma_i^i - \sigma_i^j)^2 \right]} \quad (8)$$

## 1.4 颜色传输

建立样本区域匹配关系后, 先采用全局颜色传输算法进行局部颜色渲染, 进而利用隶属度因子融合局部传输效果, 以解决图像中不确定性问题, 获得平滑的传输效果。 $\alpha\beta$  颜色空间各通道间几乎正交, 对于自然场景图像, 修改任一通道的值, 对另两个通道值的影响很小。因此, 将参考图像和目标图像由 RGB 空间转换到  $\alpha\beta$  空间, 在该空间实现局部颜色传输的融合。

假设匹配后生成  $C$  对匹配块, 目标图像的第  $k$  个样本区域与参考图像中第  $h$  个样本区域对应, 目

标图像中当前待处理像素  $p_i$  的值为  $\nu_T, \alpha_T, \beta_T$ , 则融合传输过程如下:

1) 分别计算参考图像和目标图像各样本区域 3 个通道中各自的均值和标准差, 分别记为  $\mu_{R_k}^l, \mu_{R_k}^\alpha, \mu_{R_k}^\beta, \mu_{T_k}^l, \mu_{T_k}^\alpha, \mu_{T_k}^\beta$  和  $\sigma_{R_k}^l, \sigma_{R_k}^\alpha, \sigma_{R_k}^\beta, \sigma_{T_k}^l, \sigma_{T_k}^\alpha, \sigma_{T_k}^\beta$  ( $k=1, \dots, C$ );

2) 依次在匹配区域间进行如下计算, 产生当前像素局部颜色传输后的新值

$$\begin{aligned} \nu_k &= \sigma_{R_k}^l / \sigma_{T_k}^l (\nu_T - \mu_{T_k}^l) \\ \alpha_k' &= \sigma_{R_k}^\alpha / \sigma_{T_k}^\alpha (\alpha_T - \mu_{T_k}^\alpha) \quad k=1, \dots, C \quad (9) \\ \beta_k' &= \sigma_{R_k}^\beta / \sigma_{T_k}^\beta (\beta_T - \mu_{T_k}^\beta) \end{aligned}$$

3) 利用聚类分析产生的隶属度因子, 融合各匹配样本区域的传输结果, 获得目标图像中待处理像素的最终传输值

$$\begin{aligned} \nu' &= \sum_{k=1}^C u_{ki} \times \nu_k \\ \alpha' &= \sum_{k=1}^C u_{ki} \times \alpha_k' \\ \beta' &= \sum_{k=1}^C u_{ki} \times \beta_k' \end{aligned} \quad (10)$$

式中,  $u_{ki}$  表示目标图像中元素  $p_i$  隶属于样本区域  $k$  的隶属度。

## 2 实验分析

实验环境为 Matlab7.5、Intel T2080、73 GHz CPU、1 GB 内存。选取两对图像进行实验验证本文算法的有效性, 首先观察实验图像的主要颜色特征种类, 初始化聚类中心个数, 并使用 Matlab 中的 ginput 函数初始化聚类中心。

实验 1 选取两幅颜色相差较大的图像作为实验对象, 图像大小为  $300 \times 225$ , 设置 2 个聚类中心。图 2(c) 为本文算法效果, 图 2(d) 为文献 [5] 的实验效果。可以看出, 本文算法能够获得类似于文献 [5] 的颜色传输效果, 将目标图像中春天的景象渲染成秋天的景象, 实现了季节的变换。

实验 2 选取两幅颜色较丰富的图像进行实验, 图像大小为  $188 \times 250$ , 设置 3 个聚类中心。从图 3 可以看出, 本文算法与文献 [5] 的算法都能够将目标图像中树叶的颜色渲染成红色, 较好地继承了参考图像的颜色特征。

由于本文采用色调值进行聚类, 减少了聚类样本数量, 提高了算法的速度。表 1 给出了实验中使用的参数, 可以看出, 本文算法在获得和文献 [5] 相近的效果的同时, 速度提高了 40% 左右。

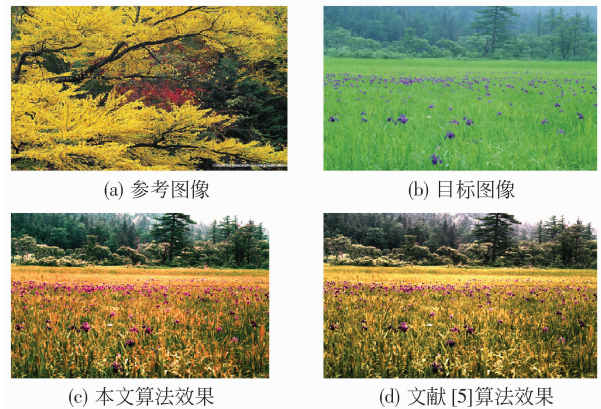


图 2 实验 1, class = 2

Fig. 2 Experiment 1, class = 2



图 3 实验 2

Fig. 3 Experiment 2

表 1 实验参数对比

Tab. 1 Contracting experiment parameters

		实验 1		实验 2	
		文献 [5]	本文算法	文献 [5]	本文算法
	$t/s$	$t = 83.9846$	$t = 57.1885$	$t = 74.0082$	$t = 45.3149$
聚类迭代次数	参考图像/次	8	4	8	6
	目标图像/次	5	3	6	2

### 3 结 论

提出一种快速颜色传输算法,在 HSV 空间利用色调信息进行模糊聚类生成样本区域;统计各样本区域的纹理和亮度统计信息形成特征向量;计算参考图像与目标图像中各样本区域特征向量间的距离,选择距离最小的样本区域作为匹配块;利用隶属度因子融合匹配块间的局部颜色传输结果,获得最终颜色传输效果。该算法利用色调值进行聚类,极大地减少了聚类样本数量,在取得较好的颜色传输效果的同时,提高了颜色传输速度。如何更好选择合适的参考图像,如何改善相似性不大时的处理效果值得进一步研究。

#### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Zhang Yin, Rao Na, Zhang Sanyuan, et al. Color transfer between images with auto selecting swatches [J]. Journal of Images and Graphics, 2005, 10(10): 1258-1263. [张引,饶娜,张三元,等.自动采集样本的图像颜色传递算法[J].中国图象图形学报,2005,10(10):1258-1263.]
- [ 2 ] Reinhard E, Ashikhmin M, Gooch B, et al. Color transfer between images [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34-41.
- [ 3 ] Welsh T, Ashikhmin M, Mueller K. Transfer color to greyscale images [C]//Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series. San Antonio, Texas: ACM SIGGRAPH, 2002:277-280.
- [ 4 ] Zhao Guoying, Xiang Shiming, Li Hua. Application of higher moments in color transfer between images [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(1): 62-66. [赵国英,向世明,李华.高阶矩在颜色传输中的应用[J].计算机辅助设计和图形学学报,2004,16(1):62-66.]
- [ 5 ] Qian Xiaoyan, Xiao Liang, Wu Huizhong. Application of fuzzy color cluster in color transfer between images [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(9): 1332-1336. [钱小燕,肖亮,吴慧中.模糊颜色聚类在颜色传输中的应用[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(9):1332-1336.]
- [ 6 ] Li Jianming, Ye Fei, Yu Shouqiu, et al. A fast algorithm of transferring color to greyscale images [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(3): 536-540. [李建明,叶飞,于守秋,等.一种快速灰度图像彩色化算法[J].中国图象图形学报,2007,12(3):536-540.]
- [ 7 ] Yang C K, Peng L K. Automatic mood transferring between color images [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2008, 28(2):52-61.
- [ 8 ] Ruderman D L, Cronin T W, Chiao C C. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding [J]. Journal of the Optical Society of America, 1998, 15(8): 2036-2045.