

8-7-2020

Color Transfer Based on K-means Clustering Algorithm and Region Matching

Ziying Zhang

1. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;;2. Engineering Research Center of Virtual Reality and Applications, Ministry of Education, Beijing 100875, China;;

Mingquan Zhou

1. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;;2. Engineering Research Center of Virtual Reality and Applications, Ministry of Education, Beijing 100875, China;;

Wuyang Shui

1. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;;2. Engineering Research Center of Virtual Reality and Applications, Ministry of Education, Beijing 100875, China;;

Zhongke Wu

1. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;;2. Engineering Research Center of Virtual Reality and Applications, Ministry of Education, Beijing 100875, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Color Transfer Based on K-means Clustering Algorithm and Region Matching

Abstract

Abstract: For color transfer between colorful images, *we used K-means clustering to classify image pixels and we also proposed nearest region matching algorithm. This algorithm can avoid the problem that multiple regions matched to the same region, and it can get the best match results between the two images.* Translate the color space from RGB to for the two images. Divide color image and luminance mapped shape image using K-means models into the same number of classes. Determine the relationship between regions of the two images using Euclidean distance and the nearest region matching algorithm. Complete color transfer from color image to the shape image. Experimental results show that the algorithm can achieve the color transfer better for colorful images.

Keywords

K-means clustering, region matching, color transfer, colorful image

Authors

Ziying Zhang, Mingquan Zhou, Wuyang Shui, Zhongke Wu, and Zheng Xia

Recommended Citation

Zhang Ziying, Zhou Mingquan, Shui Wuyang, Wu Zhongke, Zheng Xia. Color Transfer Based on K-means Clustering Algorithm and Region Matching[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2359-2364.

基于 K 均值聚类和区域匹配的颜色迁移技术

张子迎^{1,2}, 周明全^{1,2}, 税午阳^{1,2}, 武仲科^{1,2}, 郑霞³

(1. 北京师范大学信息科学与技术学院, 北京 100875; 2. 虚拟现实应用教育部工程研究中心, 北京 100875;
3. 浙江大学文物与博物馆学系, 杭州 310058)

摘要: 针对色彩丰富的图像之间的颜色传递问题, 利用 K 均值聚类对图像进行分析, 并提出最近区域匹配算法, 该算法可以避免多个区域匹配到同一个区域的问题, 从而更好的实现两幅图像的颜色迁移。将两幅图像从 RGB 颜色空间转换到 $l\alpha\beta$ 颜色空间中; 用 K 均值模型分别对颜色图像和亮度重映射后的形状图像进行同类数的聚类分析; 利用欧式距离和最近区域匹配算法确定两幅图像的区域匹配关系; 完成颜色迁移。实验结果表明: 该算法能较好地实现色彩丰富图像之间的色彩迁移。

关键词: K 均值聚类; 区域匹配; 颜色迁移; 色彩丰富图像

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 10-2359-06

Color Transfer Based on K-means Clustering Algorithm and Region Matching

Zhang Ziyi^{1,2}, Zhou Mingquan^{1,2}, Shui Wuyang^{1,2}, Wu Zhongke^{1,2}, Zheng Xia³

(1. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. Engineering Research Center of Virtual Reality and Applications, Ministry of Education, Beijing 100875, China;
3. Department of Culture Heritage and Museology, Hangzhou 310058, China)

Abstract: For color transfer between colorful images, we used K-means clustering to classify image pixels and we also proposed nearest region matching algorithm. This algorithm can avoid the problem that multiple regions matched to the same region, and it can get the best match results between the two images. Translate the color space from RGB to $l\alpha\beta$ for the two images. Divide color image and luminance mapped shape image using K-means models into the same number of classes. Determine the relationship between regions of the two images using Euclidean distance and the nearest region matching algorithm. Complete color transfer from color image to the shape image. Experimental results show that the algorithm can achieve the color transfer better for colorful images.

Keywords: K-means clustering; region matching; color transfer; colorful image

引言

图像间的颜色传输是数字图像处理的一个重要领域。颜色迁移是基于颜色图像 A 和形状图像

B, 通过颜色遗传合成新图像 C, 图像 C 的特性是同时具有图像 B 的形状信息和 A 的颜色信息。其中颜色图像 A 也称为源图像, 形状图像 B 也称为目的图像。颜色迁移的本质是将颜色图像 A 的色彩迁移到形状图像 B 中的算法。

由于计算机色彩理论中的一种颜色有多种不同的表达形式, 从而带来各种不同颜色空间的存在。1998 年, $l\alpha\beta$ 颜色空间的提出, 为颜色迁移的研究提供了很好的契机^[1]。2001 年, Reinhard 等人^[2]提出了经典的颜色迁移技术, 该算法的基本思



收稿日期: 2015-06-13 修回日期: 2015-07-24;
基金项目: 国家自然科学基金(61202198, 61402042);
中央高校基本科研业务费(2013YB72);
作者简介: 张子迎(1987-), 女, 安徽, 博士, 研究方向为数字图像处理; 周明全(1954-), 男, 陕西, 博士, 教授, 研究方向为三维可视化技术; 税午阳(1983-), 男, 陕西, 博士, 研究方向为文化遗产数字化。

<http://www.china-simulation.com>

• 2359 •

想就是根据着色图像的统计分析确定一个线性变换,使得颜色图像和形状图像在 $l\alpha\beta$ 空间中具有同样的均值和方差。胡国飞等人^[3]提出了基于即时颜色空间转换矩阵的自适应颜色迁移算法,该算法在整体颜色基调迁移公式中引入局部的纹理信息。这些算法对颜色较为单一的彩色图像之间的颜色迁移效果很好,并有了较好的改进。对色彩较丰富的图像,向遥等人^[4]针对具有多种颜色区域图像的颜色迁移合成问题,提出了基于高斯混合模型的区域颜色迁移算法,该算法能较好的用到建筑彩绘的块状色彩修复中。但是对过渡色彩丰富的油画,颜色迁移结果并不十分理想。

近年来,许多研究人员提出用聚类算法来分割图像^[5],并取得了较好的实验结果。但如何对样本进行分类以及选择代表点将直接影响分割的效果。在以往的研究中,基于 K 均值聚类及其改进算法的图像分割技术受到了广泛关注^[6]。 K 均值

聚类是聚类方法中一种无监督动态算法,具有一定的自适应性。

对于色彩丰富的图像之间的颜色迁移,为了对不同色彩区域更好的进行颜色转换,可以先对图像像素进行聚类分析,再分区域进行颜色迁移。本文通过 K 均值聚类分析分别对颜色图像和形状图像进行分类,再利用提出的最近区域匹配算法对聚类后的区域进行最佳匹配,最后对匹配区域之间进行色彩迁移。将该算法应用到色彩丰富的油画之间,取得了较好的颜色迁移实验效果。

1 算法描述

颜色迁移通常基于颜色图像和形状图像具有相似的内容,便可认为颜色图像和形状图像对应的颜色区域具有相似的颜色分布。颜色迁移可表示为一种变换,变换可以通过 T , $C(i, j) = T(A(i, j)B(i, j))$ 方式经过计算实现。图 1 为本文算法结构图。

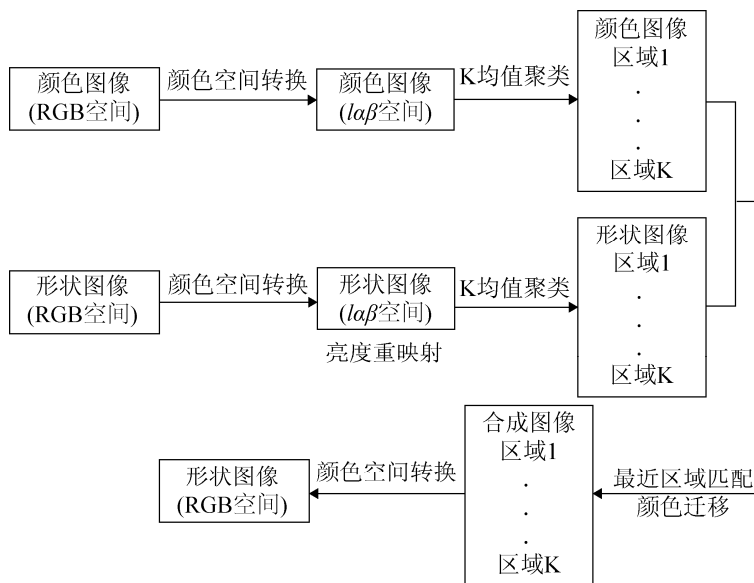


图 1 算法结构图

颜色迁移时,选择合适的颜色空间对于颜色迁移效果有比较大的影响。常用的颜色空间 RGB、LMS 各分量间存在相关性,带来的影响是一个分量值的改变,必将影响其他分量值。而 $l\alpha\beta$ 空间各分量近似正交,相关性基本消除,当改变其某一分量值时,其余分量值受到影响较小。基于这些特征,

$l\alpha\beta$ 空间是颜色迁移一般选取的颜色空间。

本文基于 K 均值聚类的颜色迁移算法首先将颜色图像和形状图像从 RGB 空间转换到 $l\alpha\beta$ 颜色空间;然后使用 K 均值聚类模型分别对颜色图像和已进行亮度重映射的形状图像进行相同分类数的聚类分析;其次,利用欧式距离和最近区域匹配

算法确定颜色图像和形状图像的最佳区域匹配关系, 以实现颜色图像与形状图像匹配区域之间的颜色迁移; 最后, 将得到的合成图像从 $l\alpha\beta$ 颜色空间转换回到 RGB 颜色空间。

2 K 均值聚类

K 均值聚类由于其算法的简洁和高效率而成为最广泛使用的聚类算法之一。该算法的目的是使各个样本与所在类均值的误差平方和达到最小, 这也是评价 K 均值聚类算法最后聚类效果的评价标准。

K 均值聚类算法的基本思想是先随机选取 k 个对象作为初始的聚类中心; 然后计算每个对象与各个聚类中心之间的距离, 把每个对象分配给距离它最近的聚类中心; 聚类中心以及分配给它们的对象就代表一个聚类, 一旦全部对象都被分配了, 每个聚类的聚类中心会根据聚类中现有的对象被重新计算; 这个过程将不断重复直到满足各个样本与所在类均值的误差平方和达到最小这个终止条件。

彩色图像具有三维颜色空间, 因此图像的每个像素点可以由三维的颜色矢量来表示。这样每幅彩色图像就可以看作是三维颜色矢量的集合。那么对彩色图像进行的分割就可以转化为对三维颜色矢量几何进行聚类划分。对图像进行 K 均值聚类分析的步骤如下:

(1) 将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 $l\alpha\beta$ 颜色空间, 则每个像素点的三维颜色矢量为 l, α, β 三通道。

(2) 初始化。输入表示整幅彩色图像的三维颜色矢量的集合作为对象集 x , 输入设定的聚类数目 k , 并随机选择 k 个颜色样本点作为初始聚类中心。

(3) 进行迭代。根据相似度准则将图像三维颜色矢量对象分配到最接近的聚类中心。

(4) 更新聚类中心。然后以每一类的平均值作为新的聚类中心, 重新分配图像矢量对象。

(5) 反复执行第(3)步和第(4)步直到满足各个样本与所在类均值的误差平方和达到最小这个终

止条件。

设定迭代中止条件为各个样本与所在类均值的误差平方和达到最小。 J_e 是像素点集合和类别集合的函数, 代表误差平方和准则, 公式如下:

$$J_e = \sum_{i=1}^k \sum_{y \in x} \|y - m_i\|^2 \quad (1)$$

其中: x 是每幅图上的像素集合; k 个聚类中心; m 为聚类中心。若连续迭代 J_e 不改变, 则停止。

3 区域匹配

在区域匹配过程中, 颜色图像和形状图像各像素点的亮度分布差别很大的情况往往会对匹配结果造成较大的影响, 因此在匹配之前, 我们先对形状图像的亮度分量 l_s 进行了亮度重映射^[7]。设亮度重映射后的形状图像的亮度分量为 l'_s , 则亮度重映射公式为:

$$l'_s = \frac{\sigma_c^l}{\sigma_s^l} (l_s - \bar{l}_s) + \bar{l}_c \quad (2)$$

其中 \bar{l}_c 与 \bar{l}_s 分别为颜色图像和形状图像的 l 通道的均值, σ_c^l 与 σ_s^l 分别为颜色图像和形状图像的 l 三通道的标准差。

根据上述 K 均值算法将颜色图像和形状图像都划分为 k 个颜色区域。通过计算颜色图像区域 $i(i=1,2,\dots,k)$ 的颜色均值矢量 m_{ci} 和形状图像区域 $j(j=1,2,\dots,k)$ 的颜色均值矢量 m_{sj} 之间的欧式距离作为依据进行判断, 距离最小的两个区域即为匹配区域。颜色图像区域和形状图像区域的颜色均值之间的距离计算公式如下:

$$d_{i,j} = (m_{ci} - m_{sj})(m_{ci} - m_{sj})^T \quad (3)$$

在区域匹配时, 经常会出现形状图像的多个区域同时对应颜色图像的同个区域的情况。此时我们提出最近区域匹配算法, 该算法先对区域匹配中形状图像的多个区域同时对应颜色图像的同个区域的情况进行判断检测, 再分别将形状图像的这个多个区域和颜色图像的同个区域之间的欧

式距离计算出来, 优先匹配最接近的区域; 再将最近区域匹配算法依次对剩下的形状图像的区域和剩下的颜色图像的区域进行匹配, 最后可以达到最佳的匹配结果。

4 颜色迁移

区域匹配之后, 就要将每个颜色图像区域的颜色迁移到对应匹配的形状图像区域中。Reinhard 算法^[2]根据 $l\alpha\beta$ 颜色空间中各通道互不关联的特点, 较好的实现了彩色图像之间的颜色迁移。给出如式(4)(5)(6)的一组适用于各颜色分量的色彩迁移公式

$$l' = \frac{\sigma_c^l}{\sigma_s^l} (l_s - \bar{l}_s) + \bar{l}_c \quad (4)$$

$$\alpha' = \frac{\sigma_c^\alpha}{\sigma_s^\alpha} (\alpha_s - \bar{\alpha}_s) + \bar{\alpha}_c \quad (5)$$

$$\beta' = \frac{\sigma_c^\beta}{\sigma_s^\beta} (\beta_s - \bar{\beta}_s) + \bar{\beta}_c \quad (6)$$

其中: l_s, α_s, β_s 为形状图像的 $l\alpha\beta$ 三通道值; l', α', β' 为合成图像的 $l\alpha\beta$ 三通道值; $\bar{l}_c, \bar{\alpha}_c, \bar{\beta}_c$ 与 $\bar{l}_s, \bar{\alpha}_s, \bar{\beta}_s$ 分别为颜色图像和形状图像的 $l\alpha\beta$ 三通道的均值; $\sigma_c^l, \sigma_c^\alpha, \sigma_c^\beta$ 与 $\sigma_s^l, \sigma_s^\alpha, \sigma_s^\beta$ 分别为颜色图像和形状图像的 $l\alpha\beta$ 三通道的标准差。

我们考虑到, 在 $l\alpha\beta$ 颜色空间, 人的视觉对亮度最敏感。因此, 图像在亮度上的连续性非常重要, 而每个区域分别进行亮度匹配会得到亮度差别很大的区域组合的图像, 结果会很奇怪。因此亮度分量 l 的迁移依然采用公式(4), 颜色分量 α, β 则用公式(7)(8)计算。

$$\alpha' = \frac{\sigma_{c_i}^\alpha}{\sigma_{s_j}^\alpha} (\alpha_s - \bar{\alpha}_s^j) + \bar{\alpha}_c^i \quad (7)$$

$$\beta' = \frac{\sigma_{c_i}^\beta}{\sigma_{s_j}^\beta} (\beta_s - \bar{\beta}_s^j) + \bar{\beta}_c^i \quad (8)$$

其中: i 为颜色图像区域; j 为与 i 区域匹配的形状图像区域。

将每个颜色图像区域的颜色迁移到对应匹配的形状图像区域之后, 即可将各区域颜色迁移结果图像合成为完整的图像。最后, 还需要将合成的图像从 $l\alpha\beta$ 颜色空间转换回 RGB 颜色空间。

5 实验

本文采用 MATLAB 编译环境实现算法。将该算法应用到色彩较简单的风景照片和色彩丰富的油画之间的颜色迁移, 并选取了相关的两类图像样本作为颜色图像和形状图像进行实验。

实验 1 针对色彩较简单的风景照片进行颜色迁移实验。图 2 给出了我们将要进行实验 1 的形状图像和颜色图像。这两幅图具有相似的内容, 色彩较简单。

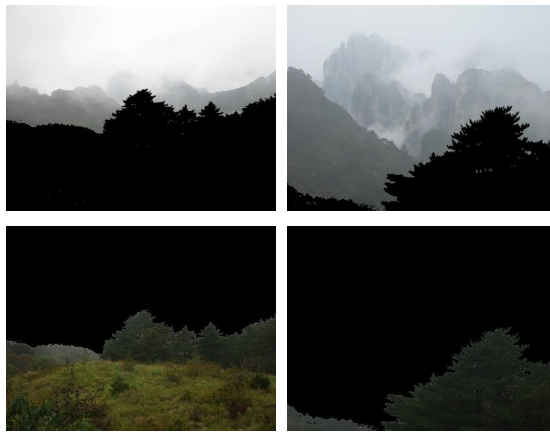


(a) 形状图像 (b) 颜色图像

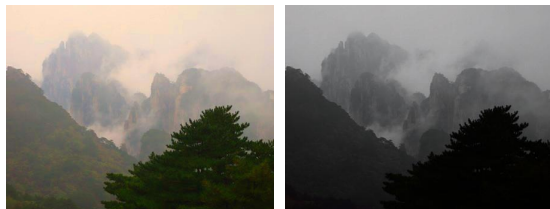
图 2 实验 1 测试图像

图 3 给出了形状图像和颜色图像在 $l\alpha\beta$ 颜色空间 K 均值聚类结果。可以看到, 形状图像中天空和山被分为一个区域, 草地和树木被分为一个区域; 同样对颜色图像, 天空和山也被分为一个区域, 草地和树木被分为一个区域。该聚类结果很好得分割了形状图像和颜色图像。在进行区域匹配时, 由于聚类个数并不多, 因此直接区域匹配即可得到较好的匹配结果。最后进行区域之间颜色迁移。

图 4 给出了本次实验 Reinhard 算法的颜色迁移结果和 K 均值聚类的颜色迁移结果。进行比较之后可以看到利用 Reinhard 算法的颜色迁移结果使得合成图像覆盖了一层红色的不真实的结果, 而基于 K 均值聚类的颜色迁移后的天空和树木更符合实际的情况。



(a) 形状图像 (b) 颜色图像

图 3 实验 1 图像在 lab 颜色空间 K 均值聚类结果

(a) Reinhard 算法 (b) K 均值聚类

图 4 实验 1 的颜色迁移结果

实验 2 针对色彩丰富的油画进行颜色迁移实验。图 5 给出了我们将要进行实验 2 的形状图像和颜色图像。这两幅图具有相似的内容, 且颜色丰富, 适于我们进行基于聚类分析的颜色迁移实验。

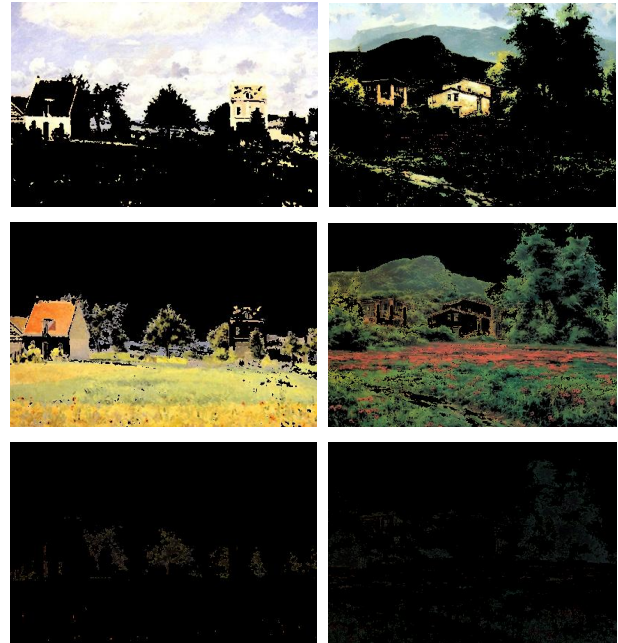


(a) 形状图像 (b) 颜色图像

图 5 实验 2 测试的图像

图 6 给出了形状图像和颜色图像在 lab 颜色空间 K 均值聚类结果。可以看到, 形状图像被分割为浅蓝色的天空, 黄绿色的草地和深绿色的树木三个颜色区域, 而颜色图像被分割为淡绿色的天空, 蓝色和红色的草地和深绿色的树木。在区域匹配时, 会出现形状图像的蓝天和草地都匹配颜色图像的天空, 这是由于形状图像的蓝天和草地区域的

中心值与颜色图像的天空区域的中心值都较为接近, 而形状图像草地区域的中心值和颜色图像的草地区域的中心略远引起的。所以在进行匹配时, 我们先选择最匹配的区域, 然后将剩下的区域进行匹配就可以得到三个区域之间正确的匹配关系。



(a) 形状图像 (b) 颜色图像

图 6 实验 2 中图像在 lab 颜色空间 K 均值聚类结果

图 7 给出了本次实验 Reinhard 算法的颜色迁移结果和 K 均值聚类的颜色迁移结果。进行比较之后可以看到基于 k 均值聚类的颜色迁移后的天空和草地更符合实际的情况。并且房子的颜色较好的保留了原来的亮度, 这是由于在聚类时将房子较明亮的部分划分为天空, 从而避免了颜色图像中草地的暗绿色的覆盖。



(a) Reinhard 算法 (b) K 均值聚类

图 7 实验 2 中颜色迁移结果

6 结论

本文针对色彩丰富的图像之间的颜色传递问题,利用 K 均值聚类对图像像素点进行聚类分析,并提出最近区域匹配算法。本文算法使用 K 均值聚类模型分别对颜色图像和形状图像进行相同类数的分割,并利用最近区域匹配算法确定颜色图像和形状图像的颜色匹配关系,从而完成颜色图像到形状图像的颜色迁移。K 均值聚类模型可以有效得对色彩丰富的图像进行分割,并分别进行颜色迁移,因此迁移合成的图像具有较好的颜色及空间平滑性。本文提出的最近区域匹配算法可以避免多个区域匹配到同一个区域的问题,从而更好的实现两幅图像多个区域之间的最佳匹配结果。颜色迁移技术有广泛的应用,目前主要应用于古建筑彩绘图案的修复^[8]、褪色照片修复^[9]、医学图像上色^[10-11]等。

参考文献:

- [1] 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 A* (S1520-8532), 1998, 15(8): 2036-2045.
- [2] Reinhard E, Ashikhmin M, Gooch B, *et al.* Color Transfer between Images [J]. *IEEE Computer Graphics and Applications* (S0272-1716), 2001, 21(5): 34-41.
- [3] 胡国飞, 傅健, 彭群生. 自适应颜色迁移 [J]. *计算机学报*, 2004, 27(9): 1245-1248.
- [4] 向遥, 李宏, 谢政, 张卫. 基于高斯混合模型的区域颜色迁移 [J]. *中国图象图形学报*, 2006, 11(11): 1728-1732.
- [5] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, *et al.* Color Image Segmentation: Advance and Prospects [J]. *Pattern Recognition* (S0031-3203), 2001, 34(12): 2259-2281
- [6] 王慧, 申石磊. 基于改进的 K 均值聚类彩色图像分割方法 [J]. *电脑知识与技术*, 2010, 6(4): 962-964.
- [7] Hertzmsnn A, Jacobs C, Oliver N, *et al.* Image Analogies [C]// *Proceedings of the SIGGRAPH 2001*. New York, USA: ACM Press, 2001: 341-346.
- [8] 向遥. 古建筑虚拟色彩修复及漫游技术研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [9] 张栋, 汪世刚, 吕东辉, 等. 基于颜色转移的照片色彩修复技术 [J]. *微计算机信息*, 2010, 26(8): 190-192.
- [10] 丘赞立, 蒋先刚, 范德营. 多种搜索算法在医学图片彩色迁移上的应用与分析 [J]. *华东交通大学学报*, 2012, 3(29): 61-66.
- [11] Jiang Xiangang, Qiu Yanli, Fan Deying. Medical Slice Image Color Transferring and 3D Reconstruction Based on Improved Particle Swarm Optimization [J]. *Computer Engineering and Design* (S1000-7024), 2013, 2(34): 556-560.
- [12] Journal of Nonlinear Science (S1054-1500), 2010, 20(1): 17504.
- [13] Miron P, Vétel J, Garon A, *et al.* Anisotropic mesh adaptation on Lagrangian coherent structures [J]. *Journal of Computational Physics* (S0021-9991), 2012, 231(19): 6419-6437.
- [14] Conti C, Rossinelli D, Koumoutsakos P. GPU and APU computations of Finite Time Lyapunov Exponent fields [J]. *Journal of Computational Physics* (S0021-9991), 2012, 231(5): 2229-2244.
- [15] Leung S. An Eulerian approach for computing the finite time Lyapunov exponent [J]. *Journal of computational physics* (S0021-9991), 2011, 230(9): 3500-3524.
- [16] Sadlo F, Peikert R. Efficient visualization of Lagrangian coherent structures by filtered AMR ridge extraction [J]. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on* (S1077-2626), 2007, 13(6): 1456-1463.
- [17] Garth C, Gerhardt F, Tricoche X, *et al.* Efficient computation and visualization of coherent structures in fluid flow applications [J]. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on* (S1077-2626), 2007, 13(6): 1464-1471.
- [18] Lipinski D, Mohseni K. A ridge tracking algorithm and error estimate for efficient computation of Lagrangian coherent structures [J]. *Chaos: An Interdisciplinary*

(上接第 2358 页)