

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)04-475-07

论文引用格式: Wang D ,Zeng J S ,Wu J Z ,Du J Y ,Liu C X. Color edit propagation by efficient resampling[J]. Journal of Image and Graphics 2016 , 21(4) : 475-481. [王栋 ,曾嘉晟 ,吴金中 ,杜骏毅 ,刘财兴. 有效重采样的颜色编辑扩散[J]. 中国图象图形学报 2016 21(4) : 475-481.] [DOI: 10.11834/jig.20160409]

有效重采样的颜色编辑扩散

王栋,曾嘉晟,吴金中,杜骏毅,刘财兴

华南农业大学数学与信息学院 广州 510642

摘要: 目的 颜色编辑扩散是图像处理领域中的一个重要研究内容。以往方法中,为了取得期望的编辑效果,要求交互选定的样本颜色尽可能丰富。为了降低输入条件,提出一种新的有效重采样的颜色编辑扩散技术。方法 首先对图像做超像素分割并提取每个超像素中心作为重采样样本。遵循超像素中心非边缘像素,只服从一种编辑模式的原则,计算其与每种编辑模式的相似度,如果与某种编辑模式相似度绝对占优,则该样本的编辑模式直接确定。对于待定样本,依照相邻相似样本服从相同编辑模式的思想来判断其归属。然后将重采样样本的颜色编辑遵循相似颜色编辑后仍相似的原则采用增量的方式扩散到整幅图像。扩散时每个像素自适应地选择样本的数量,以避免相似度低样本的干扰。结果 与以往的方法进行比较,该方法对输入条件的敏感度较低,且在相同的相对简单的输入条件下能取得更好的视觉效果,可视化的梯度显示细节保持也更理想。结论 该方法能有效简化用户交互,将稀疏的画笔像素的扩散转化为颜色信息相对丰富的超像素中心样本的扩散,且生成的图像能忠于编辑颜色及较好地保持图像细节。

关键词: 图像编辑;超像素分割;稀疏交互;编辑扩散;细节保持

Color edit propagation by efficient resampling

Wang Dong , Zeng Jiasheng , Wu Jinzhong , Du Junyi , Liu Caixing

College of Mathematics and Informatics , South China Agricultural University , Guangzhou 510642 , China

Abstract: **Objective** Edit propagation is an important operation in image processing. Previous methods require that the samples selected interactively should have a sufficiently large number of colors. In this study , we propose a new robust edit propagation technique by efficient resampling , which may reduce the requirement of interactive operation. **Method** First , the image is segmented into superpixels and the center pixel of each superpixel is considered a new sample. Following the rule that each sample obeys one kind of editing mode , we calculate the edited color of each new sample by the similarity between the sample and editing modes and the similarity between those samples and its neighbors. The sample whose similarity to several editing modes is evidently high directly belongs to the corresponding editing mode. Otherwise , the editing mode of the current sample is determined by the neighboring samples with high similarities to the current sample. Then , the edited colors of all samples are propagated into the entire image based on the policy that similar colors are still similar after editing. Based on the similarity of the pixel and the samples , we select the number of samples adaptively for each pixel to reduce the interference of those samples with low similarity. **Result** Compared with previous methods , our solution is less

收稿日期: 2015-09-24; 修回日期: 2015-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(61202294); 国家自然科学基金—广东省联合基金项目(U1301253)

第一作者简介: 王栋(1977—),女,副教授,2012年于香港城市大学获计算机专业博士学位,主要研究领域为图形图像处理、计算摄影学。E-mail: wdnng@163.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China(61202294)

sensitive to the input strokes. With the same simple strokes, our results exhibit better vision and details. **Conclusion** The method can effectively simplify the user interaction by replacing the sparse input samples with many colors resamples. Moreover, the experiments and comparisons show that the method can preserve the edited colors and its details.

Key words: image editing; superpixel segmentation; sparse interactive; edit propagation; detail-preserving

0 引言

颜色编辑扩散是将用户采用交互方式选择的样本所给定的一种或多种编辑模式,按照相似颜色遵循相似变换的原则扩散到整幅图像^[1],从而来改变给定图像的颜色。和自动的方法相比,其更灵活,更易表达用户的意图。颜色编辑扩散在外观矫正或设计中具有广泛的应用,比如同一款模型设计不同的色调,调整照片的亮度等。

目前编辑扩散已有不少相关工作。Levin 等人^[2]基于相邻相似的像素编辑后仍相似的原则构建二次优化函数将用户交互输入的编辑方式扩散到整幅图像实现灰度图像彩色化。Lischinski 等人^[3]采用边缘保持的能量最小化方法将画笔的新色调向外扩散止于显著边缘区域。这两种方法只能将编辑扩散到颜色相似的局部区域。类似 Levin 的思想, An 等人^[1,4]通过将编辑策略作用于所有像素对上建立了一个不同的优化函数,其允许编辑扩散跨越不连续区域。但该方法需要求解一个大型的非稀疏的线性方程, Xu 等人^[5]采用聚类的方法来减少线性系统的维数; Bie 等人^[6]将问题分解为两个步骤,首先采用文献[1]中的方法将有效采样的画笔上的编辑扩散到数量有限的聚类中心上,然后再基于插值技术将聚类中心的编辑扩散到每个像素。文献[4-6]皆基于文献[1]的方法,其通过量化指标要求编辑后的整幅图像均保持原有细节,当出现不同编辑模式的编辑幅度差异比较大时不同编辑模式的边缘将出现明显的虚假现象。Li 等人^[7]提出了一种基于径向基函数(RBF)的快速编辑扩散技术,当当前像素的颜色和画笔上所有样本的颜色相似度都不高时其新颜色是这些颜色的混合,呈现明显不真实的情况。Chen 等人^[8]给出了一种基于局部线性嵌入(LLE)的编辑扩散技术,为了取得自然的边缘效果, K 近邻的 K 值较大,这样所引起的问题是最终生成的编辑图像的颜色和期望的有差距。Hwang 等人^[9]提出了一种概率移动最小二乘(PMLS)的颜色

转换,其要求原图像和参考场景的内容基本一致。

考虑到扩散的效果通常依赖于初始数据颜色的丰富性,以往很多方法要求画刷精确地选择样本颜色以取得理想的编辑效果。为了减少对交互输入数据的依赖性,本文提出了一种基于重采样的稀疏交互的颜色编辑扩散技术。提取非边缘像素——超像素中心作为重采样样本,其具有交互输入样本的编辑特征,即每个样本只属于一种编辑模式。重采样样本的编辑模式依赖于其与输入样本的相似性及邻域重采样样本的相似性。首先将输入样本的编辑模式映射到具有高相似度的重采样样本上,然后根据相邻相似的样本具有相同编辑模式的思想将已知重采样样本的编辑模式扩散到未知编辑模式的重采样样本上。

最后为保证未编辑模式像素颜色保持不变,本文遵循相似颜色增量也相似的原则将这些重采样样本的编辑扩散到图像的所有像素中。同时避免低相似度样本带来的副作用,扩散时每个像素自适应地选择样本的数量。本文方法的优点是:1) 简化用户交互,将稀疏的画笔像素的扩散转化为颜色信息相对丰富的超像素中心样本的扩散,而且提供了一种有效的重采样样本编辑方式的计算;2) 转换后的图像忠于用户指定的编辑颜色且具有较好的细节保持特性。

1 重采样样本颜色编辑及扩散

编辑扩散是一种交互式操作方式,首先用户通过画刷交互地选择每种编辑模式的样本并提供相应的编辑方式,如图1所示,黑色画刷是一种编辑模式,其保持原颜色不变,粉色画刷将选择的像素颜色转换为粉色;而样本的位置、颜色等特征对编辑结果具有重要的影响。为了减少对输入样本的依赖性,采用基于重采样的二次扩散的方法。考虑到超像素中心像素的颜色具有代表性且其编辑模式单一,本文以这些中心像素作为重采样样本。首先将输入样本的编辑模式扩散到这些重采样样本上。在这些重

采样样本中,有的和输入样本高度相似,其编辑模式可以根据相似度直接确定,这些样本称为确定样本。而有的简单依靠重采样样本和输入样本之间的相似度可能引起误匹配,其编辑模式需要借助于与邻域重采样样本的相似度及编辑模式依据相邻相似的样本遵循相同编辑模式的思想进一步确定,这些样本

称为待定样本。最后基于这些重采样样本的编辑模式,依据相似颜色编辑后仍相似的原则,将用户交互指定的编辑模式采用增量的方式扩散到整幅图像。系统流程如图1所示。从图1中的画刷颜色分布和重采样样本颜色分布可以看出,重采样样本的颜色更为丰富,更具有代表性。

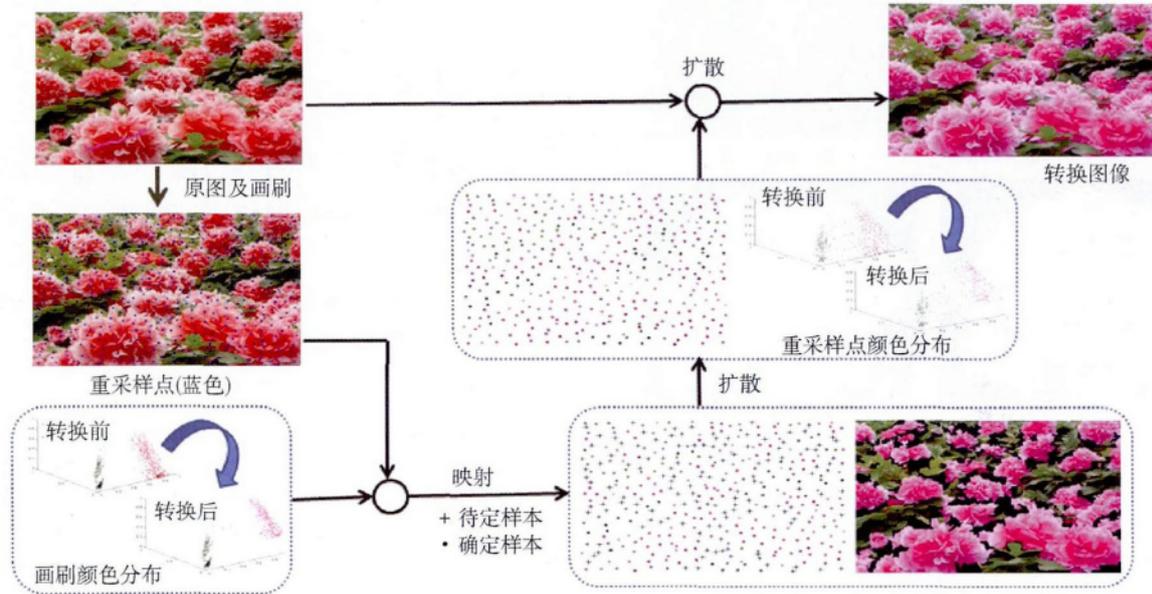


图1 系统流程

Fig. 1 Overview

1.1 重采样编辑

为取得期望的编辑扩散效果,通常需要具有广泛代表性的颜色丰富的样本。但从用户的角度考虑,大家期望简单的交互方式。为此,本文提出一种基于重采样的二次扩散思路,首先将简单输入样本 R 的编辑模式 E 映射到重采样样本 P 上,然后再基于重采样样本扩散。由于同一超像素内的像素具有较高的相似度,而超像素中心像素通常隶属于一种编辑模式,故每个超像素中心像素可以作为理想的重采样样本。本文采用文献[10]中的算法对图像做超像素分割。对每个超像素,依据超像素内像素位置的连续性及其沿 X 方向和 Y 方向的最值近似估计中心像素的位置。

对重采样样本 P ,为取代输入样本 R 的角色,每个重采样样本应只隶属于一种编辑模式。最直接的获取方式是依据每个重采样样本 p_i (p_i 为样本颜色值)与每种编辑模式 e 的相似度 $s(p_i, e)$,实际上是与对应的交互输入的样本的相似度。在计算该相似度时,考虑到每种编辑模式所提供的交互输入样本

颜色并不一定单一,简单的均值会带来偏差;而直接用相似度最高的一个样本亦不具有代表性。采用一种折中的方式分两步处理。首先从每种编辑模式中提取前 m 个相似度高的输入样本 $\{r_1, r_2, \dots, r_m\}$; 然后计算样本 p_i 与这 m 个样本均值 $\bar{r} = \sum_{i=1}^m r_i/m$ 的相似度 $s(p_i, \bar{r})$,将其作为重采样样本与相应编辑模式的相似度。数据 a 和 b 之间的相似度计算为

$$s(a, b) = \frac{1}{(a - b)^2 + \tau} \quad (1)$$

式中, τ 的作用是为了避免分母为 0,在实验中 τ 取值 10^{-8} 。

在实验中发现这种方案对部分数据是可行的,但当颜色受阴影、光照等外界因素干扰时,其相似度值将会受到影响进而可能映射到错误的编辑模式,如图2(b)所示,一些花的像素被误归为叶子的编辑模式。事实上一个重采样样本所属编辑模式不仅和其本身的颜色有关,也和其邻域样本的相似性有联系。Bie 等人^[6]引入了邻域样本的影响,每个重采

样样本的编辑模式可以看做交互输入样本和邻域重采样样本编辑模式的一种混合,其用一种平滑的方案优化编辑值,所带来的问题是进而平滑了编辑结果,影响了图像的细节。

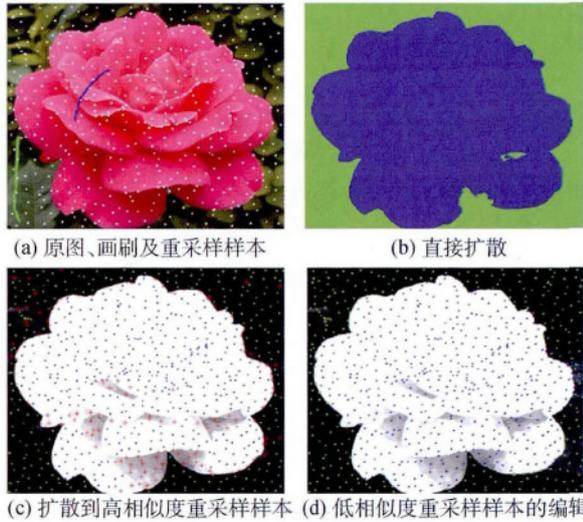


图2 样本编辑扩散

Fig.2 Propagating the editing of samples ((a) source image, strokes and resamples; (b) directly propagating; (c) propagating to resamples with high similarity; (d) editing of resamples with low similarity)

本文提供一种不同的解决方案,将重采样样本的编辑模式分两种情况考虑:

1) 如果当前样本 p_c 与编辑模式 e_b 的相似度 $s(p_c, e_b)$ 明显高于与其他编辑模式的相似度,即相似度归一化后的 $s(p_c, e_b)$ 大于给定阈值 ε ,则当前样本 p_c 服从编辑模式 e_b ,如图 2(c) 中的已确定样本。

2) 如果情况 1) 不满足,如图 2(c) 中红色待定样本,则当前样本 p_c 的编辑模式需要借助于邻域样本。本文的解决方案是:对当前样本 p_c ,假设在其连通区域内存在一样本 p_m ,与其具有高相似度,且该样本与编辑模式 e_b 满足相似度 $s(p_m, e_b) > \varepsilon$,则当前样本 p_c 亦服从编辑模式 e_b 。此时问题转化为寻求样本 p_m ,其可以看做当前样本 p_c 局部区域内与所属编辑模式 e_b 相似度的极大值点。

为寻求样本 p_m ,遵循相邻相似的样本服从相同编辑模式的思想,在当前样本 p_c 的 1 维邻域内查找与其相似度最高的样本 h_j ,如果 h_j 是某种编辑模式的极值点 p_m ,则结束,否则将 h_j 作为新的当前样本 p_c ,在其 1 维邻域内以相同的方式继续搜索。

为保持图像的细节,同一编辑模式的样本具有

相同的增量。一旦确定了重采样样本的编辑模式,将根据对应输入样本的编辑增量来计算重采样样本的编辑值。设编辑模式 k 输入样本的颜色均值为 \bar{u}_k ,相应的期望输出的颜色为 \bar{v}_k ,则有编辑增量 $d_k = \bar{v}_k - \bar{u}_k$ 。而同一编辑模式样本颜色差异比较大的情况出现在编辑模式不变时,此时 $\bar{v}_k = \bar{u}_k, d_k = 0$ 。对重采样 P 内任一样本 p_c ,所属编辑模式 k ,不考虑颜色改变后方差的变化,根据文献[11],其期望的新颜色值

$$\hat{p}_c = p_c + d_k \tag{2}$$

即新的编辑值是在原编辑值基础上添加一个增量,使得位置空间相邻编辑模式相同的像素尽可能保持细节不变。重采样样本的编辑值计算方法如下:

输入 ε ,重采样样本 $p_c, c = 1, 2, \dots, N$,编辑模式 e_i 及编辑增量 $d_i, i = 1, 2, \dots, K$ 。

输出每个重采样样本的编辑值 \hat{p}_c 。

for 每个采样点 p_c 。

计算 p_c 与每种编辑模式 e_i 的相似度 $s(p_c, e_i)$;

$s_b = \max s(p_c, e_i)$

$p_t = p_c$

while $s_b < \varepsilon$

在 p_t 1 维邻域内查找相似度最高的样本 h_j ;

$s_b = \max s(h_j, e_i)$

$p_t = h_j$

end while

$e_b = \arg \max_{p_c} s(p_t, e_i)$

$\hat{p}_c = p_c + d_b$

end for

1.2 增量式的颜色编辑扩散

编辑扩散后图像中的物体应尽可能地保持原细节,其所遵循的原则是相似的颜色编辑后仍相似。本文拟采用一种增量的扩散方式,即与原样本颜色相似的像素编辑后具有相似的增量。对于任给定的待编辑像素 i ,设其原颜色为 c_i ,新颜色 \hat{c}_i ,颜色增量 $\Delta \hat{c}_i = \hat{c}_i - c_i$;重采样样本 P 的个数为 n ,样本 j 的原颜色为 p_j ,新颜色 \hat{p}_j ,颜色增量 $\Delta \hat{p}_j = \hat{p}_j - p_j$,期望满足

$$\sum_{j=1}^n s(c_i, p_j) (\Delta \hat{c}_i - \Delta \hat{p}_j)^2 \tag{3}$$

具有最小化。最小化方程(3)可得像素 i 的近似解

$$\Delta \hat{c}'_i = \frac{\sum_{j=1}^n s(c_i, p_j) \Delta \hat{p}_j}{\sum_{j=1}^n s(c_i, p_j)} = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \Delta \hat{p}_j \tag{4}$$

式中, $\alpha_{ij} = s(c_i, p_j) / \sum_{j=1}^n s(c_i, p_j)$ 即像素 i 的颜色增量 $\Delta c'_i$ 可表示为样本颜色增量的加权平均。而像素 i 新颜色 \hat{c}_i 可表示为

$$\hat{c}_i = c_i + \Delta c'_i \quad (5)$$

当编辑模式不变时, $\Delta p_j = 0, j = 1, \dots, n, \Delta c'_i = 0, \hat{c}_i = c_i$, 即可以保持颜色不变。

式(4)中相似度高的样本和像素 i 的变换关系起正作用, 而相似度低的样本则起反作用。同时为了保证像素之间光滑过度, 要求一定量的样本。本文提供了一种自适应的样本选择策略, 即对于一个给定的阈值 τ , 如果 $\alpha_{ij} > \tau$, 样本 j 被选择, 否则被抛弃。

2 实验结果分析

实验在 Matlab 环境下编程实现。借鉴以往经验及实际验证, 实验中涉及的参数设置如下: 超像素个数 $n = 1000, \epsilon = 0.2, \delta = 0.2, \tau = 0.9$ 。图3给出了一组实验结果, 可以看出, 交互易操作, 期望的颜色转换正确, 图像的细节保持很好。



图3 实验结果

Fig. 3 Example results

((a) source image and strokes; (b) color transfer results)

从两方面比较说明样本点在扩散过程中的重要性。一是直接扩散和重采样扩散的比较, 图4提供了一组例子, 图4(b)是基于画刷上的样本扩散结果, 图4(d)是基于重采样样本扩散的结果。重采样样本颜色相对丰富, 扩散的结果与期望的一致, 而

图4(b)中花心部分和花的边缘部分区域未能正确转换。二是重采样时不同采样点个数对扩散结果影响的比较。



图4 基于画刷直接扩散与重采样扩散比较

Fig. 4 Comparison of propagation based on strokes and based on resamples ((a) source image and strokes; (b) propagation result based on strokes; (c) source image and resamples; (d) propagation result based on resamples)

如图5所示, 图5(a)中由于采样点颜色不够丰富, 出现瑕疵。图5(a)上图中边缘有原红色出现, 而下图所框叶子区域有蓝色出现, 而所框的花朵区域颜色过渡不自然。而图5(b)中这些问题不明显。

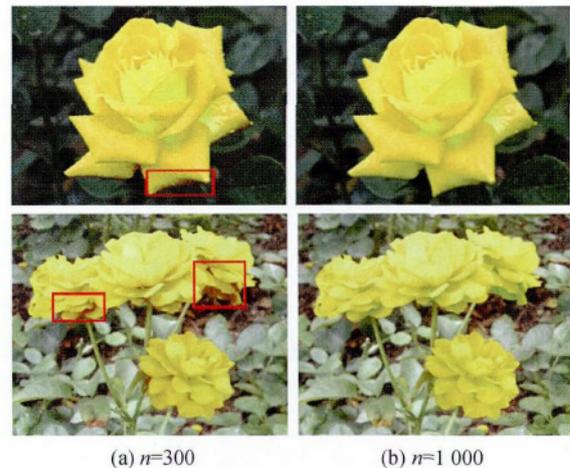


图5 重采样样本个数的影响

Fig. 5 Propagation results affected by the number of resamples ((a) $n = 300$; (b) $n = 1000$)

为了进一步说明方法的效果, 与现有的方法进行比较, 结果如图6所示。图6(b)是基于局部线性

嵌入的编辑扩散结果,其细节和边缘都处理得不错,但颜色和期望的有偏差。图 6(c) 是径向基函数插值的结果,由于提供的画刷稀疏,采样点表达的颜色信息量不足,框中的叶子因与图中花的采样点具有高相似度,编辑颜色呈现失真现象;图 7(b) 具有同样的情况。图 6(d) 是有效重采样的结果,在从画刷颜色映射到重采样点及从重采样点颜色扩散到整幅图像都是采用混合技术,细节呈现明显的损失。图 7(c) 采用移动最小平方插值的结果,同样由于样本不足,部分像素与对应编辑模式样本相似度偏低导致出现未期望的结果,如图中所框区域。

本文方法的一个特点是对输入画刷的依赖性较

低,这点可以通过和现有方法的比较说明。图 8 中提供了两种输入方式,并分别与文献[7,9]的结果做了比较。可以看出,在不同输入情况下,本文方法结果都比较理想;而文献[7,9]对不同输入的结果差异较大,当输入的样本颜色信息比较丰富时,结果相对比较理想,否则,存在的问题比较明显。

本文方法的结构和文献[6]的类似,为此进一步与其做了比较分析,细节保持情况如图 9 所示,实验中提取的样本数一样,参数的取值亦一样。细节用梯度度量,通过对原图和结果图做梯度差比较细节保持情况。可以看出,本文方法的梯度差大部分逼近 0,细节保持效果比文献[6]的更理想。



图 6 和现有方法的效果比较

Fig. 6 Compare our method with the state-of-the-art approaches ((a) source image and strokes; (b) manifold preserving method^[8]; (c) RBF interpolation^[7]; (d) efficient sampling method^[6]; (e) the proposed method)

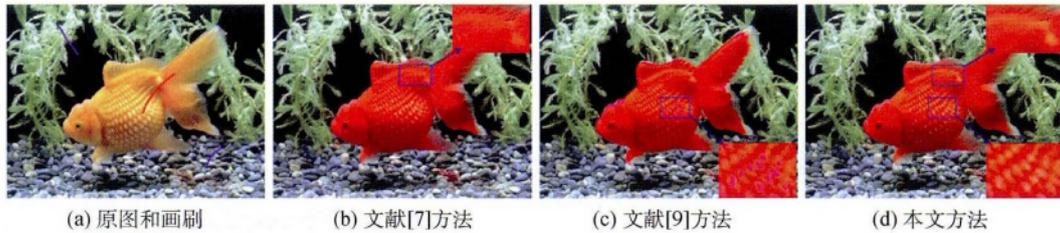


图 7 和现有方法的效果比较

Fig. 7 Compare our method with the state-of-the-art approaches ((a) source image and strokes; (b) RBF interpolation method^[7]; (c) PMLS method^[9]; (d) the proposed method)

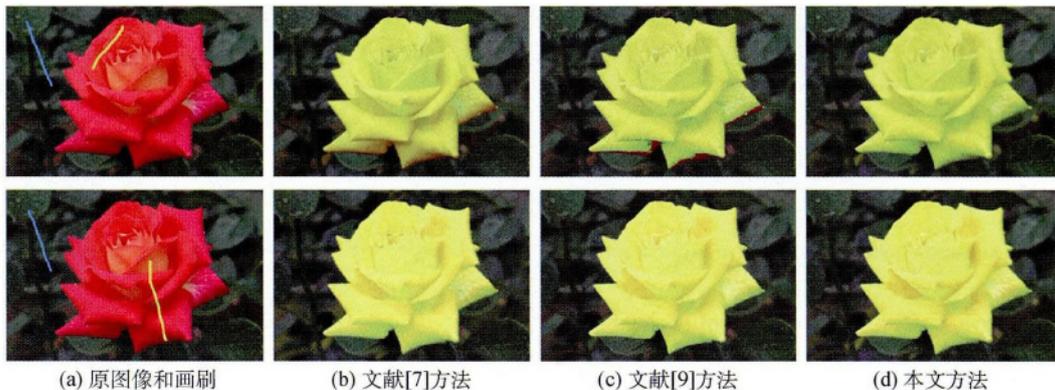


图 8 方法对交互的依赖比较

Fig. 8 Compare our method with the state-of-the-art approaches ((a) source image and strokes; (b) RBF interpolation method^[7]; (c) PMLS method^[9]; (d) the proposed method)



(a) 文献[6]方法的结果及与原图的细节差异 (b) 本文方法的结果及与原图的细节差异

图9 与文献[6]方法的比较

Fig. 9 Further comparison with efficient sampling method in reference [6] ((a) the result in reference [6] and the detail difference between the result and the source image; (b) our result and the detail difference)



(a) 原图 (b) 转换结果

图10 失败的情况

Fig. 10 Failure case ((a) source image; (b) results)

3 结论

本文提出了一种基于重采样的稀疏交互的颜色编辑扩散技术。遵照超像素中心像素服从一种编辑模式的思想,利用颜色相似性和局部相似性确定每个重采样样本所对应的编辑模式。然后采用增量的方式将重采样样本的编辑方式遵照相似颜色编辑后仍相似的原则扩散到整幅图像。实验及比较结果表明该方法对输入样本的依赖性较低,且生成的颜色转换图像不仅具有良好的细节保持特性而且色调与用户的期望一致。

事实上,颜色混合的方法并不能完全确保所有像素颜色得到正确转换,即使样本颜色转换完全正

确。如图10所示,图10(a)样本颜色转换理想,但图10(b)框中部分像素颜色更偏向叶子的转换方式,这是因为它与某些叶子样本的颜色更接近,即使它们空间距离比较远。接下来的研究试图将样本按照颜色相似原则直接扩散到邻近区域。

参考文献(References)

- [1] An X B, Pellacini F. AppProp: all-pairs appearance-space edit propagation[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2008, 27(3): 40:1-40:9. [DOI: 10.1145/1360612.1360639]
- [2] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. Colorization using optimization[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004, 23(3): 689-694. [DOI: 10.1145/1015706.1015780]
- [3] Lischinski D, Farbman Z, Uyttendaele M, et al. Interactive local adjustment of tonal values[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2006, 25(3): 646-653. [DOI: 10.1145/1141911.1141936]
- [4] An X B, Pellacini F. User-controllable color transfer[J]. *Computer Graphics Forum*, 2010, 29(2): 263-271. [DOI: 10.1111/j.1467-8659.2009.01595.x]
- [5] Xu K, Li Y, Ju T, et al. Efficient affinity-based edit propagation using k-d tree[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2009, 28(3): 118:1-118:6. [DOI: 10.1145/1618452.1618464]
- [6] Bie X H, Huang H D, Wang W C. Real time edit propagation by efficient sampling[J]. *Computer Graphics Forum*, 2011, 30(7): 2041-2048. [DOI: 10.1111/j.1467-8659.2011.02059.x]
- [7] Li Y, Ju T, Hu S M. Instant propagation of sparse edits on images and videos[J]. *Computer Graphics Forum*, 2010, 29(7): 2049-2054. [DOI: 10.1111/j.1467-8659.2010.01791.x]
- [8] Chen X W, Zou D Q, Zhao Q P, et al. Manifold preserving edit propagation[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2012, 31(6): 132:1-132:7. [DOI: 10.1145/2366145.2366151]
- [9] Hwang Y, Lee J Y, Kweon I S, et al. Color transfer using probabilistic moving least squares[C]//*Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Columbus, OH: IEEE, 2014: 3342-3349. [DOI: 10.1109/CVPR.2014.427]
- [10] Achanta R, Shaji A, Smith K, et al. SLIC superpixels[R]. EPFL Technical Report No. 149300, 2010.
- [11] Reinhard E, Adhikhmin M, Gooch B, et al. Color transfer between images[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21(5): 34-41. [DOI: 10.1109/38.946629]