

# 一种基于颜色区域分割的图像修复算法

朱霞<sup>1</sup>, 李宏<sup>1</sup>, 张卫<sup>2</sup>

(1. 中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083; 2. 湖南大学建筑学院, 长沙 410082)

**摘要:** 现有的基于样本块纹理合成的数字图像修复技术在全局式搜索样本匹配块时可能选择错误的匹配块, 导致繁衍错误信息而使修复结果不理想。该文提出一种基于颜色区域分割的图像修复方法, 其目标匹配块的搜索限定在源样本块所覆盖的颜色区域中。实验结果表明这是一种更健壮、视觉效果更理想的修复算法, 可以有效修复各种破损情况, 尤其是具有复杂背景的较大区域填充。

**关键词:** 图像修复; 样本匹配; 颜色区域分割

## Image Inpainting Algorithm Based on Color Region Segmentation

ZHU Xia<sup>1</sup>, LI Hong<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083;

2. College of Architecture, Hunan University, Changsha 410082 )

**【Abstract】** Using exemplar-based inpainting method to search the source patch globally may lead to error match, and such error accumulates and propagates to other areas quickly, even makes the results completely unacceptable. This paper introduces an algorithm for digital inpainting based on color region segmentation. Patch matching is restricted within the relevant regions where the current patch overlaps. Experimental results show that the method can efficiently handle different cases especially large regions in complex background by producing visually more plausible effect.

**【Key words】** image inpainting; exemplars match; color region segmentation

### 1 概述

图像修复是当前计算机图形学和计算机视觉的研究热点之一, 其目的就是研究如何更好地根据图像受损区域周围的有效信息用图像修复算法自动对受损的图像进行恢复。其应用范围广泛, 不仅可以用于静态图像的修复以及障碍物的去除, 也可以对影视拷贝等动态影像进行修复。

数字图像修复技术(image inpainting)最早由Bertalmio<sup>[1]</sup>等引入到图像处理中, 其基本思想是利用待修复区域的边缘信息, 采用一种由粗到精的方法来估计等照度线(isophotes), 将待修补区域边界的外部信息沿轮廓法扩散到中间待修补的像素上, 考虑了各向异性的扩散。文献[2]提出了一种全变分的方法, 通过欧拉-拉格朗日方程约束和各向异性的扩散来保证修复区域和原始图像的无缝拼接。这类求解偏微分方程的方法对于小面积的图像缺失有较好的修复效果, 如多余的文字、瑕疵, 而对于大面积的纹理图像, 修复会产生模糊现象, 而且很难与修复部分周围的纹理特性保持一致性。

对于待修复区域是较大尺寸的情况, 可以借助类似纹理合成的方法<sup>[3]</sup>, 通过抽样和复制颜色值来构造新的纹理。然而这种方法所构造的纹理间的相互影响会导致填充块间边界可能出现不自然的痕迹。文献[4]提出的方法能修复结构纹理和其他纹理重叠的图像, 通过用户交互制定结构曲线, 并借助动态规划或置信度传递来引导恢复待修复的结构信息, 修复好重要的结构信息后, 剩余区域通过块纹理合成的方法修复, 取得了良好的效果, 不过计算过程复杂。

文献[5]提出了集纹理合成和inpainting技术于一体的基于样本块纹理合成的修复技术, 其算法的基本思想是从图像的源区域复制像素点填充到目标区域中, 使之包含已有的纹理和结构信息, 而区域之间的结构信息则通过改变像素点的

填充顺序得到, 既解决了同时生成纹理和结构信息的问题, 又保持了原有纹理合成算法高效的优点。但是此算法在搜索匹配块时采取的是全局式搜索方式, 可能导致出现错误的匹配块继而产生恶性繁衍, 而且会影响算法的整体性能。本文在此基础上提出一种基于颜色区域分割的图像修复算法, 使修复的结果图像更加符合人们的视觉期望, 提高了算法的性能, 并且最后用PSNR<sup>[6]</sup>和MSE两个性能指标对结果图像进行了对比。

### 2 图像修复

设输入图像  $I$  的修复区域为  $\Omega$ , 其边界为  $\partial$ , 已知区域为  $\Phi$ , 则  $\Phi = I - \Omega$ 。目标区域内沿轮廓线的方形模块  $\rho_p$  的大小默认为  $9 \times 9$  的像素块(实际应用中应设为比最大的可鉴别纹元略大)。中心点  $p$  在轮廓线  $\partial$  上, 模块  $\rho_p$  应包含一部分已合成的像素。

初始时, 手工选定待修复区域或待移除的目标, 算法流程如下:

(1)对输入的图像进行颜色区域分割(用户观察原始图像后粗略判断相近的颜色种类, 以此来决定  $K$  值, 也就是分割的区域数目, 一般为 4 类~6 类)。

(2)重复直直到待修复区域  $\Omega$  为空为止。

1)计算边界  $\partial$  上的优先权  $P(p)$ , 选出具有最大优先权的待修补块  $\rho_p$ 。

2)在相应的分割区域找到匹配块  $\rho_q$ 。

**基金项目:** 湖南省科技计划基金资助项目(2007FJ4201)

**作者简介:** 朱霞(1983-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像修复, 数据挖掘; 李宏, 副教授; 张卫, 教授

**收稿日期:** 2007-08-30 **E-mail:** vip\_zhuxia@126.com

- 3)将源样本匹配块的图像数据信息拷贝至目标样本块。
- 4)更新置信度  $C(p)$ 。

### 3 算法流程

#### 3.1 颜色区域分割

由于 Criminis 算法中搜索匹配的样本块是进行全局式搜索，而且源样本块与目标块之间相似性的度量仅依据目标块中已知像素点的特性与源样本块相应像素的特性之间的 L2 距离来决定，因此采取这种策略搜索到的源样本块只能保证与目标样本块中已知像素点的特性一致，而剩余部分的特性很有可能与人们预期的结果不符。一旦复制了一个错误的匹配块，将使之后的匹配块的搜索陷入一个恶性繁衍的过程中。

针对这个问题，根据马尔科夫随机场模型(MRF)，假设一张图像可以由 MRF 来描述，即由于图像具有局部统计特征，其任一部分可以由周围部分(邻域)完全决定，因此用一种本地搜索策略来代替全局搜索。在初始时对原图进行粗略的颜色分割，形成分割区域图，对接下来的匹配块搜索进行指导。采用 K 均值聚类方法进行分割，并且先从 RGB 色彩空间转换到一个正交空间  $lab$ ，消除空间各分量之间的强相关性，聚类分割完成之后再转换回 RGB 颜色空间。

假设整个图像表示为  $I$ ，被划分为  $N$  个区域，每个区域标识为  $T_i$ ，因此有：

$$I = \bigcup_{i=1}^N T_i \text{ 且 } T_i \cap T_j = \emptyset (i, j \in \Omega, N)$$

在合成过程中，搜索匹配块被限制在当前目标块所覆盖的相应区域内：

- (1)如果当前目标块完全覆盖在区域  $T_i$ ，则搜索被限制在  $T_i$  区域。
- (2)如果当前目标块覆盖  $K$  个区域  $T_{i_1} \sim T_{i+k}$ ，则搜索匹配块限制在  $k$  个联合区域  $T_{i_1} \cup T_{i_2} \cup \dots \cup T_{i+k}$  中进行。

图 1 的颜色信息非常丰富<sup>[4]</sup>，4 张椅子形状一致但颜色截然不同，为了移除图 1(a)中左边第 1 张淡蓝色的椅子，根据相应的分割区域(图 1(b))，本文的算法将匹配块的搜索区域限制在 5、6(树丛和草地)2 个分割块中。



图 1 颜色信息较丰富的图像

#### 3.2 优先权计算

优先级的大小取决于 2 部分因素：(1)该模块的数据值  $D(p)$ ，它反映了模块的结构信息强弱，从而保证线性结构部分的优先合成。(2)模块的置信度值  $C(p)$ ，要求优先填充那些含已填充像素较多部分的模块，因为填充这样的模块可以依

赖更多的已知像素。两者相互制约，共同构成优先级。

给定一个点  $p \in \partial$ ， $p$  的优先级用下面的公式计算：

$$P(p) = C(p)D(p) \quad (1)$$

其中，

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap (\cdot)} C(q)}{|\Psi_p|} \quad (2)$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\alpha} \quad (3)$$

其中， $C(q)$ 表示模块内像素点的置信值，初始化时，位于目标区域中的每个点的值设为 0，已知区域中的每个点的值设为 1； $|\Psi_p|$ 是模块  $p$  的面积； $\alpha$ 是一个标准化参数，对于一般的灰度图， $\alpha = 255$ ； $n_p$ 是轮廓线在  $p$  点的单位法向量； $\nabla I_p^\perp$ 是在点  $p$  的光辐透线的强度和方向。从式(2)和式(3)可以看出，包含较多已填充像素的模块，置信度值较大，因此，那些在目标区域中形成转角的模块将被优先填充；结构明显、包含线段突出的模块，数据值较大，像断线部分就可以优先顺利地连接。

#### 3.3 匹配块扩散纹理和结构信息更新置信度的搜索

在确定了当前优先权最高的匹配块  $\Psi_p$  之后，就根据分割区域图判断当前窗口中已知像素点所属的分割区域，然后到相应的分割区域去搜索最佳匹配图像块  $\Psi_q$ 。

2 个领域窗口  $\Psi_p, \Psi_q$  之间的匹配测度可以采用 RGB 颜色空间的欧几里德距离计算：

$$D = \sqrt{\frac{1}{M} \sum [(I_R - I'_R)^2 + (I_G - I'_G)^2 + (I_B - I'_B)^2]} \quad (4)$$

其中， $I, I'$  分别对应于领域窗口  $\Psi_p$  和匹配领域窗口  $\Psi_q$  中的已知像素点； $M$  为已知像素点的数目。最相似块  $\Psi_q$  由式(5)获得

$$\Psi_q = \arg \min_{\Psi_q \in \Omega} D(\Psi_p, \Psi_q) \quad (5)$$

最后将匹配块的图像内容复制到  $\Psi_p$  块的空缺位置，由此完成一次填充，包括纹理和形成的结构信息。

随着模块内剩余像素的填充完毕，重新更新该模块内像素的置信值(应全部置为 1，表示该点为已填充像素点)。用式(6)进行更新：

$$C(p) = \hat{C}(p) \quad \forall p \in \Psi_p \cap \Omega \quad (6)$$

### 4 实验结果分析及比较

本文算法以 Matlab7.0 为平台，在 AMDX2 2.0 GHz, 512 MB 内存的微机机上实现。

图 2 是用 Criminisi 方法移除图 1 中左边第 1 张淡蓝色的椅子后的效果图，可以看到草地和树丛的连接处有明显不自然的衔接。图 3 是本文所述方法进行修复后的结果，搜索匹配块被限制在草地和树丛 2 个区域块内，结果图像更为真实自然，符合人们视觉习惯的期望。



图 2 Criminisi 方法移除物体效果比较



图3 本文方法移除物体效果比较

由于在一些图像中修复结果的优劣不能仅仅依靠人们的主观判断来评价,因此使用文献[6]提到的通过计算 PSNR 值的方法来进行对比。

峰值信噪比 PSNR 即图像灰度的峰值与噪声方差之比(单位是 dB),值越高,传输量和量化误差越小,图像质量越高。其计算公式如下:

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{\frac{1}{B \times I} \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^I (u_{ij} - v_{ij})^2} \quad (7)$$

其中,  $B \times I$  是图像大小;  $u_{ij}$  是原图像在  $(i, j)$  位置的像素值;  $v_{ij}$  是修复图像在  $(i, j)$  位置的像素值。实际上,式(7)中的分母项是另一个常用的修复图像质量度量标准:均方误差(MSE)。因此,PSNR值越高,也就是MSE误差值越小时,修复图像的质量越高。这是对于灰度图像最常用的评价标准。对于彩色图像,由于颜色感知与人眼的视觉特征密切相关,对于不同的颜色以及颜色的不同变化方向,人眼的感知灵敏度是不一样的,因此颜色的度量是一个复杂的过程。这就使彩色图像质量的评价比灰度图像困难得多。为了简单、客观起见,仍然采用PSNR作为彩色图像修复质量的评价,本文将分别列出图像三色通道分量的PSNR和MSE进行比较。

用3幅原始图像通过掩码附加上一些破损区域,比如大块区域遗失(图4),添加任意划痕(图5)和大量文字(图6)<sup>[5]</sup>,构造出3幅破损图像。分别用Criminisi方法和本文方法进行修复,然后将结果图像与原始图像的PSNR和MSE值进行对比,具体数据见表1和表2。

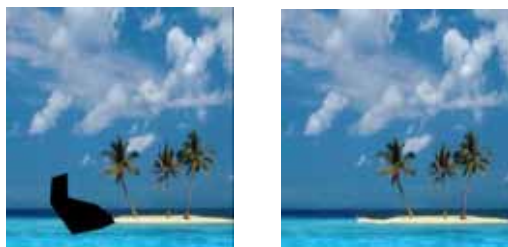


图4 海洋破损区域横跨了几条直线边界



图5 小狗图无规律的划痕的修复

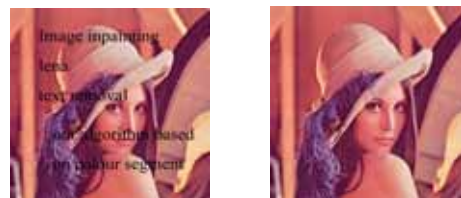


图6 莉娜图大量文字的去除效果

表1 修复图片的 PSNR 统计

图像名称	分割区域数	红色通道		绿色通道		蓝色通道		掩模像素数
		本文方法	Criminisi方法	本文方法	Criminisi方法	本文方法	Criminisi方法	
海洋	5	30.645 4	29.405 5	30.458 3	29.983 0	29.007 3	28.926 3	4 582
小狗	5	45.842 4	44.924 8	45.986 4	45.009 3	45.001 0	44.398 2	1 251
莉娜	6	41.431 9	39.691 2	39.829 3	39.691 2	40.635 4	40.333 7	7 112

表2 修复图片的均方误差 MSE 统计

图像名称	红色通道		绿色通道		蓝色通道	
	本文方法	Criminisi方法	本文方法	Criminisi方法	本文方法	Criminisi方法
海洋	56.046 0	74.565 0	58.513 1	65.280 4	81.723 7	83.262 7
小狗	1.693 7	2.092 2	1.638 5	2.051 9	2.055 8	2.361 9
莉娜	4.676 2	6.981 8	6.763 2	6.981 8	5.617 5	6.021 6

PSNR 值越高、MSE 值越小,修复图像与原始图像之间的误差越小,修复效果越好,由表1和表2可知,本算法适用于各种不同的破损情况,而且修复结果较优。

## 5 结束语

基于原有图像修复算法的优势和不足,本文提出一种新的思路,使用基于  $K$  均值聚类方法的颜色区域分割算法生成分割区域图,用以指导匹配块的搜索。实验结果证明了此方法的合理性,提高了修复图像的质量,得到了比较好的效果。将来的工作包括如何更准确地传播曲线结构部分的信息,提高具有复杂结构图像的修复质量;将此算法运用到三维物体或视频图像的修复和物体移除中去。

## 参考文献

- [1] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image Inpainting[C]//Proc. of SIGGRAPH '00. [S. l.]: IEEE Press, 2000: 417-424.
- [2] Chan T, Shen J. Mathematical Models for Local Non-texture Inpainting [J]. SIAM J. Appl. Math, 2001, 62(3): 1019-1043.
- [3] Liang L, Liu C, Xu Y Q, et al. Real-time Texture Synthesis by Patch-based Sampling[J]. ACM Trans. on Graphics, 2001, 20(3): 127-150.
- [4] Sun J, Lu Y, Jia J Y, et al. Image Completion with Structure Propagation[C]//Proc. of the ACM SIGGRAPH'05. Los Angeles, USA: ACM Press, 2005: 861-868.
- [5] Criminisi A P, Wrez P, Toyama K. Object Removal by Exemplar-based Inpainting[C]//Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE Press, 2003: 721-728.
- [6] Shih T K, Chang Rong-Chi, Lu Liang-Chen, et al. Adaptive Digital Image Inpainting[C]//Proc. of the 18th IEEE Int'l Conference on Advanced Information Networking and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2004: 71-76.