

一种简单的块匹配图像修复算法

丁西明¹, 段汉根², 吴长勤²

(1. 安徽科技学院 工学院, 安徽 凤阳 233100;

2. 安徽科技学院 理学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 图像修复是对图像的破损区域的复原, 实现对图像的小区域的重建。对图像修复的主要方法有两类: 一种是基于偏微分方程(PDE)的修复方法, 另外一种为基于纹理合成的修复算法。大多数现有图像修复算法都非常复杂, 修复速度慢。基于纹理合成算法主要是搜索的范围太大导致效率低, 为了在修复效果和效率之间取得折中, 文中提出了一种简单的基于块匹配修复算法, 应用不同的修复模板, 根据图像的空间连续性, 缩小了匹配块的搜索范围, 大大提高了修复效率。该算法实现简单, 修复速度快, 对空间较连续的图像修复效果较好。

关键词: 图像修复; 块匹配; 纹理合成; 偏微分方程

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)11-0080-04

Image Inpainting Based on Simple Block Matching

DING Xi-ming¹, DUAN Han-gen², WU Chang-qin²

(1. College of Engineering, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2. College of Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: Digital inpainting provides a means for reconstruction of small damaged portions of an image. Although the inpainting basics are straightforward, now the image inpainting have two main kinds: one based on partial differential equations (PDEs) and the second based on texture synthesis. Most inpainting techniques published in the literature are complex to understand and implement. The exhaustive searching strategies used in previous work are the main source of inefficiency, in order to make a tradeoff between time and quality, propose a simple image inpainting algorithm based on texture synthesis and spatial continuity, use different masks, searching local area. The algorithm is very simple to implement, fast and can produce comparable results.

Key words: image inpainting; block matching; spatial continuity; PDE

0 引言

数字图像修复(Image Inpainting)是由 Marcelo Bertalmio等^[1]在2000年提出的一种图像处理技术, 主要指对图像进行修改且不让人觉察到修改。图像修复技术范围很广: 包括从场景中去除某一选定的物体, 对老照片或者老电影中损坏的部分修补。目的是对修改区域跟原图像之间为无缝连接, 使修改后的图像看起来非常自然。图像修复的应用主要有: 对一些古文物的复原、电影特技制作、电视广告等方面。

传统的图像修复都是由一些经验丰富的艺术家手

工完成的, 自从2000年数字图像修复技术提出以来, 在过去的10年中, 各国学者提出了各种不同的方法来解决这一复杂的问题, 其中有代表性的为 Bertalmio、Chan、Shen等人^[1~3]提出的基于偏微分方程(PDES)图像修复算法及 Criminisi^[4]提出的基于纹理合成的图像修复算法。

基于偏微分方程(PDES)方法的基本思想是模拟物理学中热扩散现象, 利用待修复区域边界周围的已知信息, 按照等照度线方向进行插值, 对未知区域扩散, 最终实现对破损图像复原。纹理合成^[5~7]是应用图像中的一些小样本的结构信息建立大图像的一种算法, 该方法可以用来对图像填充, Criminisi应用纹理合成技术, 按照等照度线优先原则利用MRF场原理和块匹配方法进行修复, 该方法对破损区域较大的图像修复效果较好, 同时很好地保留图像的等照度线。我国学者应用各种方法, 对图像修复做了很多有意义的工作^[8~12]。

收稿日期: 2010-02-21; 修回日期: 2010-05-02

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(KJ2010B296, KJ2009 B121Z); 安徽科技学院引进(稳定)人才专项基金(ZRC2008180, ZRC2008179, ZRC2008181)

作者简介: 丁西明(1974-), 女, 硕士, 研究方向为电路和系统、数字图像处理。

1 算法原理及实现

1.1 基于马尔可夫随机场(MRF)模型修复原理

马尔可夫随机场(Markov Random Field, MRF)在图像处理领域的原理如下:对于一个二维图像 X , 把它看为一个二维随机场 X , 如果该随机场 X 满足:

$$p(X_{ij} = x_{ij} | X_{kl} = x_{kl}, (k, l) \neq (i, j)) = p(X_{ij} = x_{ij} | X_{ij} = x_{ij}, (k, l) \in \eta_{ij}) \quad (1)$$

这里 $p(X = x) > 0, x$ 是以 η 为邻域系统的马尔可夫随机场(MRF)。这里 x 和 $x_{i,j}$ 分别表示随机场和随机变量的 1 个实现, $\eta_{i,j}$ 是点 (i, j) 的邻域系统。把图像理解为点阵上的随机过程, 马尔可夫随机场揭示了图像像素之间的相互依赖性: 即一个像素可以由其周围的像素集合确定。

利用马尔可夫随机场理论进行图像处理, 先定义原图像, 待修复区域, 修复模板, 遍历块, 最佳匹配块。

原图像: 由已知区域和未知区域构成的图像, 在这里, 用一个 $M \times N$ 矩阵 u 表示一幅由 $M \times N$ 个像素组成的图像

$$u = \{u_{i,j} | 0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N\} \quad (2)$$

如果是彩色图像, 用 RGB 颜色空间, 分别用三个矩阵表示一幅图像。

待修复区域: 在原图像中需要修改的区域 Ω , 如果存在某个像素 $u_{i,j} \in \Omega$, 则称 $u_{i,j}$ 为待修复点, 为了区分图像中的已知区域和待修复区域, 用下面公式对其做出标记:

$$f = \{f_{i,j} | 0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N\} \quad (3)$$

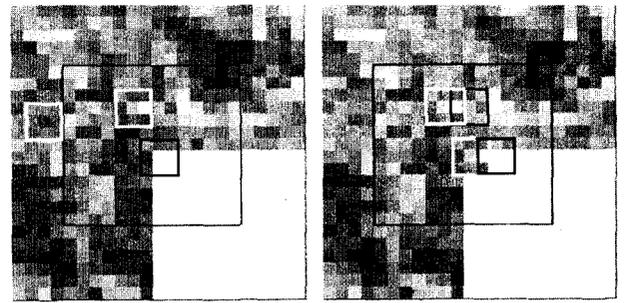
若 $f_{i,j} = 1$, 像素点 $u_{i,j}$ 是已知点(在处理过程中保持不变的点); 若 $f_{i,j} = 0$, 则像素点 $u_{i,j}$ 是需要修改的。

修复模板: 修复模板为一个大小为 $S \times S$ 个像素的局部窗口, S 一般为奇数, 其内部包含已知点和未知点, 在更多情况下, 还可以用 L 形、加号形及 X 形等模板。而且模板的大小也可以根据试验效果调整。

遍历块: 位于图像中已知区域的和修复模板大小形状都一样的窗口, 其内部所有像素点都是已知的, 遍历块可以按照行顺序或者列顺序在图像已知区域移动, 目的是寻找最佳匹配块。

最佳匹配块: 计算遍历块和修复模板中对应已知点距离, 遍历块和修复模板中未知点的距离为 0, 距离相差最小的遍历块称为最佳匹配块。具体的距离计算公式可以用欧几里德距离, 若最佳匹配块不止一个, 可以从中任选一个作为最佳匹配块。

如图 1, 图中白色区域表示待修复区域, 灰色区域为完好的区域。右下的框表示修复模板, 左边框表示遍历块, 中间框表示最佳匹配块。



(a) 寻找匹配块 (b) 填充

图 1 纹理合成修复算法过程图

基于 MRF 模型的纹理合成修复算法的主要步骤如下:

- (1) 读入原图像。
- (2) 确定待修复区域, 这个需要手工确定。
- (3) 确定模板块、遍历块的大小。
- (4) 遍历块按一定的顺序(行顺序或列顺序)在图像已知区域游动, 对每一个遍历块按上述方法计算其于修复模板之间的欧几里德距离, 选择距离最小的遍历块作为最佳匹配块。
- (5) 任意选择一个最佳匹配块, 填充修复模板中的待修复像素点, 修复模板中的已知的像素点保持不变, 将待修复模板图像中已经填充好的像素点的标记 f 置 1。

(6) 按照从左往右、从上往下的顺序移动修复模板, 重复(4)和(5), 直到图像中所有的像素点的标记 f 都是 1 的时候, 修复过程结束。

1.2 Criminisi 算法

Criminisi 对上述算法做了改进, 考虑了图像的结构信息对修复结果的影响, 对填充的顺序及修复模板中已知像素点的个数有限制。

基本原理如下:

如图 2 所示, $\psi(p)$ 表示以 P 为中心的给定的待修复块, n_p 是在 $\psi(p)$ 内与 $\partial\Omega$ 正交的单位向量, I 表示原图像, Ω 为待修复的区域, $\partial\Omega$ 为 Ω 的边界, ϕ 代表原图像中已知区域(在整个算法中保持不变), $\phi = I - \Omega$ 。

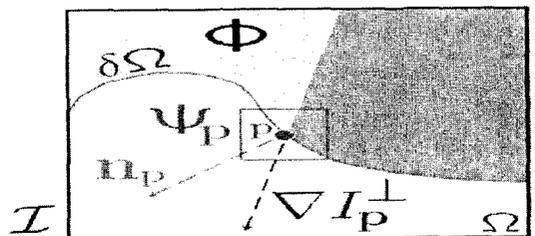


图 2 符号定义图

给定一个点 $p \in \partial\Omega$, 用式 $P(p) = C(p)D(p)$ 计

算 P 点的优先权, $C(p)$ 为置信项, 表示待修复模板中的包含的已知点信息, $D(p)$ 为数据项, 代表图像的结构信息, 具体由下式计算:

$$C(p) = \frac{\sum q \in \psi_p \cap \bar{\Omega}c(q)}{|\psi_p|} \quad (4)$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \times n_p|}{\alpha} \quad (5)$$

$|\psi(p)|$ 为 $\psi(p)$ 的面积, α 为归一化系数(对于一般的灰度图像 α 取 255), 令 $C(p) = 0 (\forall p \in \Omega)$, $C(p) = 1 (\forall p \in I - \Omega)$, 对修复边界 $\partial\Omega$ 上的每一边界点的优先级进行初始化, 由上式可以看出, 周围可靠信息多且结构性较强的点将先被填充, 按照优先权顺序进行填充可以较好地消除修复后图像中的块效应。

图 3 为算法修复过程, 图中 $\psi(q)$ 表示遍历块, 从图像已知的部分寻找最佳匹配块, 用其对 $\psi(p)$ 进行修复。用到的距离公式为:

$$ssd(\psi_p, \psi_q) = \sum (p - q)^2 (\forall p \in \psi_p, \forall q \in \psi_q) \quad (6)$$

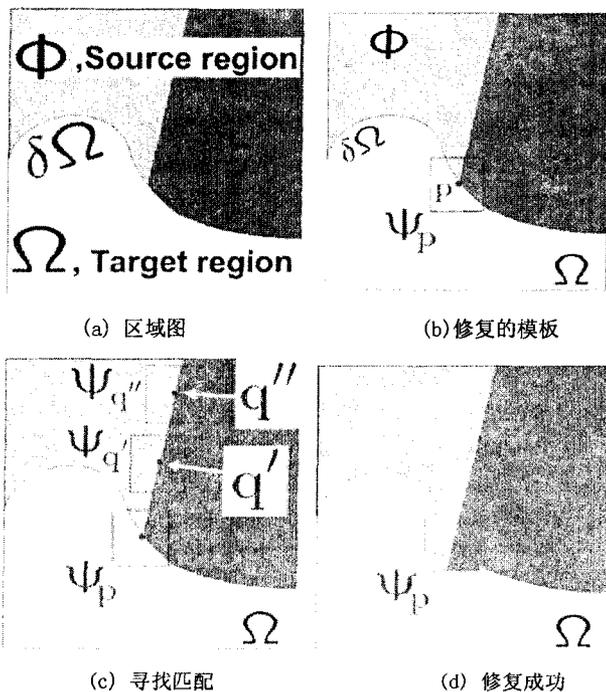


图 3 算法修复过程图

算法的主要流程:

- (1) 通过循环对 Ω 判断, 如果 $\Omega = \varphi$, 表明修复完成, 结束循环。
- (2) 计算待修复边界 $\partial\Omega$ 上的所有像素点的 $P(p)$ 。
- (3) 选取 $P(p)$ 的最大值优先修复。
- (4) 用公式(5)算出和 $\psi(p)$ 相差最小的 $\psi(q)$, 用 $\psi(q)$ 对 $\psi(p)$ 进行填充。

(5) 更新修复边界, 返回(1)。

1.3 文中的算法

Criminisi 的算法虽然取得了较好的效果, 但是不断地更新待修复边缘的修补顺序, 而且搜索最佳匹配块的范围太大, 故该算法修复效率很低。为了在修复效果和效率之间折中, 可以用一种比较简单的算法来实现图像的修复, 该算法对于待修复区域结构性不太强的图像取得了较好的效果, 且大大提高了修复速度。

设修复的模板为 $n \times n$, 在找匹配块时加了两个限制条件:

$$\sum q \in \psi_p \cap \bar{\Omega}c(q) > n * n/2 + 1 \quad (7)$$

这样保证模板中含有已知信息要多于未知的像素点的个数, 充分利用了图像已知的边缘信息。在搜索匹配块时, 利用图像空间连续性, 将搜索范围控制在模板的大小的三倍或五倍的区域内, 减少了搜索空间, 节省了搜索的时间。

文中用到的颜色空间为 RGB 空间, 用欧几里德距离公式计算匹配块之间的距离。只对已知像素点计算, 对未知部分记为 0。

$$d(\psi_p, \psi_q) = \sum (|R_p - R_q| + |G_p - G_q| + |B_p - B_q|) \quad (8)$$

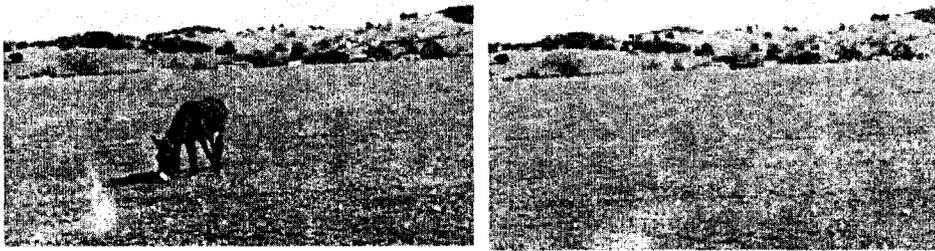
算法基本步骤:

- (1) 找到图像中待修复区域。
- (2) 判断待修复块中已知像素点的个数, 若满足(4)式, 转第(3)步, 否则返回(1)。
- (3) 在模板的三倍区域内寻找和 $\psi(p)$ 相差最小的 $\psi(q)$, 用 $\psi(q)$ 对 $\psi(p)$ 进行填充。
- (4) 对填充过的区域做标记, 返回(1), 直到全部修复结束。

2 实验结果

用中心为 k 的 $N \times N$ 窗口, N 为奇数, 用户标出待修复区域。算法用 MATLAB 7.01 实现, 硬件配置为: CPU P(R)D 300GHz 内存: 1GB。

在实验过程中, 模板块的大小的选择很重要, 笔者发现, 对于不同的图像, 其模板的选择不一定相同, 比如图 4 选择 9×9 的匹配块, 图 5 选择 7×7 匹配块比较合适, 这需要反复比较, 最后找到最优的模板。从试验结果可以看出, 对于结构性不强的图像, 上述方法取得了较好的效果, 且该算法实现简单、速度快。三个图像修复的时间分别为: 32.055、41.653、23.036 秒, 但是从图 6 可以看出, 修复结果图像中间的绿色部分不能完全修复成水平线, 中间有一小块凸起, 所以对结构性强的图像的修复不能满足人的视觉效果。



(a) 原图像

(b) 我们算法修复的结果

图 4 草地



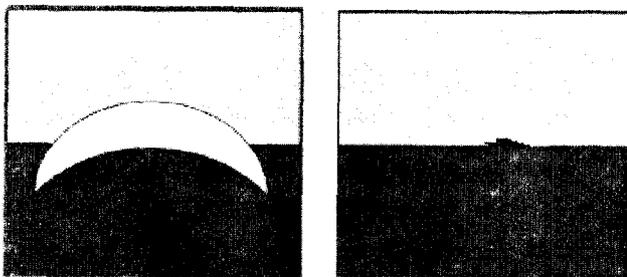
(a) 原图像

(b) 修复结果

图 5 小溪

3 结束语

提出了一种简单、快速的图像修复算法。该算法易于实现,但对于结构性较强的图像,修复结果会产生块效应(见图 6),不满足视觉效果,主要是由于该算法是基于局部范围的近似,不能精确地保持等照度线方向。



(a) 原图像

(b) 修复结果

图 6 矩形

由于图像本身的复杂性和多样性,目前还没有形成图像修复的通用算法,如何将各种不同的修复算法结合,对不同的图像修补达到效果好、速度快仍然是今后努力的方向。

参考文献:

[1] Bertalmio M, Bertozzi A L, Sapiro G. Navier - Stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting [C] // In Proc. Conf. Comp. Vision Pattern Rec. Hawaii: [s. n.], 2001: 355 - 362.

[2] Chan T F, Shen J. Non - texture inpainting by curvature - driven diffusions (CDD) [J]. Visual Comm. Image Rep., 2001, 4 (12): 436 - 449.

[3] Bertalmio M, Vese L, Sapiro G, et al. Simultaneous structure and texture image inpainting [EB/OL]. 2002. <http://mountains.ece.umn.edu/guille/inpainting.htm>.

[4] Criminisi A, Perez P, Toyama K. Object Removal by Exemplar - Based Inpainting [C] // Proc. of 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Madison, Wisconsin: [s. n.], 2003: 18 - 23.

[5] Efros A, Freeman W T. Image quilting for texture synthesis and transfer [C] // In Proc. ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). Eygebe Fiume: [s. n.], 2001: 341 - 346.

[6] Heeger D J, Bergen J R. Pyramid - based texture analysis/synthesis [C] // In Proc. ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). Los Angeles, CA: [s. n.], 1995: 229 - 233.

[7] Harrison P. A non - hierarchical procedure for re - synthesis of complex texture [C] // In Proc. Int. Conf. Central Europe Comp. Graphics, Visua. and Comp. Vision. Plzen, Czech Republic: [s. n.], 2001.

[8] 段汉根,汪继文. 基于邻域滤波的图像修复[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 34 - 36.

[9] 杨勇,汪继文. 基于求解泊松方程和梯度的图像修复的研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(2): 98 - 100.

[10] 丁雯. 一类非线性扩散问题及其在图像修复中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(1): 153 - 156.

[11] 邵肖伟,刘政凯,宋璧. 一种基于 TV 模型的自适应图像修复方法[J]. 电路与系统学报, 2004, 9(2): 113 - 117.

[12] 周廷方,汤锋,王进,等. 基于径向基函数的图像修复技术[J]. 中国图像图形学报, 2004, 9(10): 1190 - 1196.