

基于纹理尺寸自适应的 Criminisi 图像修复改进算法

饶 岫, 杨志平

(浙江交通职业技术学院, 杭州 311112)

摘 要: 针对 Criminisi 图像修复算法中样本块选择的随意性, 导致图像修复效果欠佳的缺陷, 提出一种针对纹理图像的 Criminisi 改进算法。该算法通过对纹理图像预处理后获得的二值化图像进行统计分析, 获得图像的行和列纹理曲线, 进而得到纹理曲线的极值点变化曲线, 并最终获得样本块的近似尺寸。仿真实验表明, 将本文获取的样本尺寸作为 Criminisi 修复算法的样本尺寸, 获得了较传统 Criminisi 算法更好的视觉效果。

关键词: Criminisi; 图像修复; 样本块; 纹理

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1671-234X.2013.04.007

文章编号: 1671-234X (2013) 04-0028-06

0 引 言

图像修复技术, 是根据图像的结构和纹理信息对图像中缺损部分进行填补, 从而让观察者用肉眼无法察觉的一种图像复原技术, 是当前图像复原领域的研究热点。图像修复技术的应用范围广泛, 在文物保护、照片翻新、影视后期处理中都具有很高的实际应用价值。

当前的图像修复技术按照适用范围, 主要分为基于小尺度缺损的图像修复技术和基于大尺度缺损的图像块填补技术。第一类修复算法主要是对图像中的缺损区域比较小的图像进行修复, 其思想最早由 Bertalmio 等人提出^[1], 主要是借鉴流体扩散的思想将缺损区域周围的图像信息扩散到缺损区域内部, 实现缺损区域的修补, 如 CDD (curvature driven diffusions) 模型^[2]和 TV (total variation) 模型^[3]

等都属于这类方法。第二类修复算法主要对图像中缺损区域比较大的图像进行修补。为了不破坏图像的整体信息, 这类方法大多采用图像块作为修复的最小单位, 通过在图像中未损坏区域查找与缺损块相似的图像块来填补缺损区域, 实现对缺损区域的修复。这类算法中典型的算法是由 Criminisi 等人提出的基于样本的图像修复算法^[4], 该算法能够在修复图像的同时保留图像的纹理信息, 且由于修复的最小单位是图像块, 因此大大提高了图像的修复速度。Martinez-Noriega 等对 Criminisi 算法进行了改进, 通过保留线性边界来减少误差传播, 并提高了算法的效率^[5]; 任澍等通过引入差别因子, 改进优先权模型, 克服 Criminisi 算法易产生瑕疵点的不足, 完善了修复效果^[6]。虽然上述文献对 Criminisi 算法进行了改进, 也取得了较好的效果, 但其样本块的大小都是依据经验设置的。实际上, 对于纹理图像而言, 样本块的大小设定对于最终的修复效果具有重

收稿日期: 2013-10-19

基金项目: 浙江交通职业技术学院科技研究基金计划项目 (2013YK03); 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划 (2013R435007)

作者简介: 饶 岫 (1986-), 女, 江西抚州人, 讲师, 硕士, E-mail: raoshen@zjvtit.edu.cn。

要影响。本文通过对图像中的纹理像素进行统计分析, 动态获取纹理单元, 作为样本块的大小, 进而通过 Criminisi 算法进行图像修复, 取得了比传统 Criminisi 算法更好的修复效果。

1 基于纹理尺寸自适应的图像修复算法

1.1 Criminisi 算法简介

如图 1 所示, 设 I 为整幅图像, Ω 为破损区域, 也就是待修复区域, Φ 为未损坏区域 ($\Phi = I - \Omega$), p 为修复边界 $\partial\Omega$ 上的一点, Ψ_p 为以点 p 为中心的待修补图像块, m 是 Ψ_p 内梯度最大的点, 则点 p 的优先级计算公式如下所示:

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

其中 $C(p)$ 为 p 点的置信度, 其计算公式如下:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p} C_{\text{pixel}}(q)}{\text{Size}(\Psi_p)}, C_{\text{pixel}}(q) = \begin{cases} 0, & q \in \Omega \\ 1, & q \in \Phi \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\text{Size}(\Psi_p)$ 表示待修补图像块 Ψ_p 的像素个数。

公式 (1) 中 $D(p)$ 是图像中结构信息的度量, 反映了 p 点处图像边缘的强度, 其计算公式如下:

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

其中 ΔI_p^\perp 为点 p 处的等照度线向量, n_p 是点 p 处的单位法向量, α 是归一化参数, 为了防止 $D(p)$ 为 0, 影响点 p 优先级的计算, 这里加上了一个极小的常数 ϵ 。

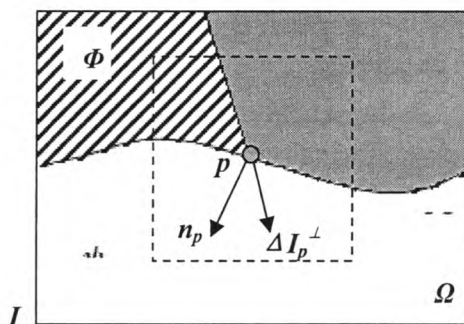


图 1 待修补块的选择示意图

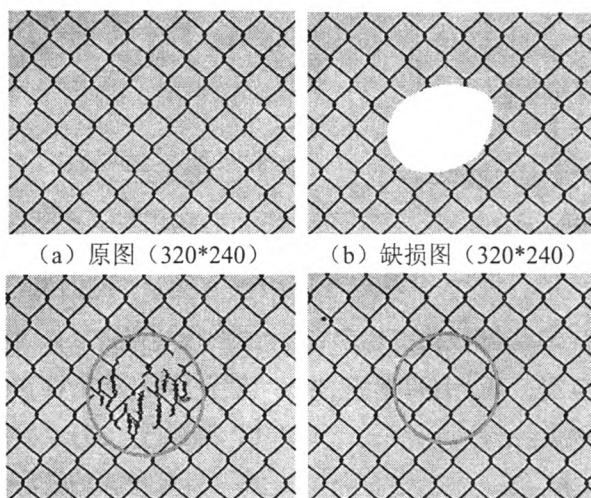
根据公式 (1) 找到修复边界 $\partial\Omega$ 上优先级最高的点 p 后, 得到以点 p 为中心的待修补块 Ψ_p , 然后根据相似度函数找出与 Ψ_p 最相似的图像块 Ψ_q , 作为修补块填充到 Ψ_p 中, 直到 Ω 为空。图像块相似度函数如下所示:

$$\Psi_q = \operatorname{argmin}_{\Psi_r \in \Phi} d(\Psi_p, \Psi_r) \quad (4)$$

其中 $d(\Psi_p, \Psi_r)$ 为图像块 Ψ_p 和 Ψ_r 内对应像素颜色差值的平方和。

1.2 Criminisi 算法中修复块的影响

Criminisi 算法虽然能够修复存在较大缺损的图像, 但其修复效果很大程度上依赖于修复块与图像纹理块大小的匹配程度。如果匹配不够好的话, 则在修复区域会产生纹理的“错配”现象, 大大影响修复图像的视觉效果, 如图 2 (c) 所示。图 2 (c) 的修复块尺寸与原图中的纹理尺寸相差较大, 所以修复区域产生“错配”现象, 而图 2 (d) 的修复块尺寸由于和原图的纹理尺寸相近, 因此修复区域较好的保留了原图的纹理特征。从图 2 可以看出, 针对 Criminisi 修复算法, 不同的修复块大小对于修复的效果影响明显。



(c) Criminisi 修复效果 (修复块 9*9) (d) Criminisi 修复效果 (修复块 55*55)

图 2 修复图像块对 Criminisi 算法修复效果的影响

1.3 纹理尺寸自适应算法

1.3.1 图像预处理

为了获得纹理图像中的样本块近似尺寸,使得采用 Criminisi 算法进行图像修复过程中能够更好的保留图像的纹理信息,首先需要对图像进行预处理,提取出纹理的规则信息。本文首先将图像转换

成灰度图像,然后采用 Sobel 算子对灰度图像进行边缘检测,得到图像的边缘信息。为了便于后续的分析,需要将该边缘图像进行二值化处理,其阈值根据经验选取,本文选取灰度图像的最亮点与最暗点的平均值作为二值化处理的阈值。如图 3 所示,其中白色区域为待修补区域 Ω 。

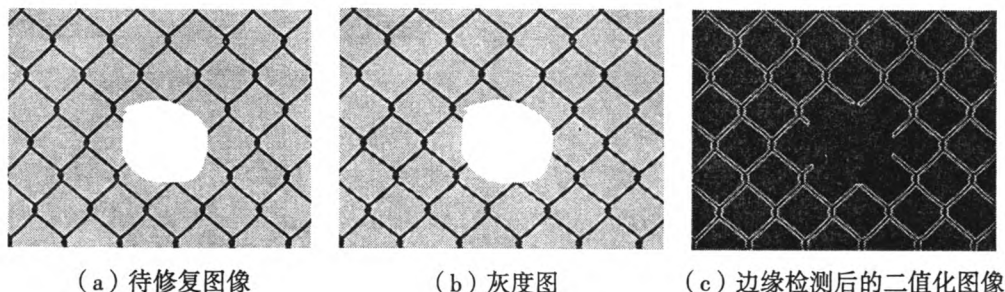


图 3 图像预处理示意

1.3.2 纹理的统计分析

由于纹理图像中的纹理一般都具有一定的重复性,因此从其像素分布上会呈现出一定的规律性。本文对上节处理好的二值化图像,计算每列中亮点的个数,并以对应的列号为横坐标,亮点个数为纵坐标,得到图像的列纹理曲线,如图 4 (a) 所示。从图中可以清晰的看出,曲线呈现周期性的剧烈波

动,这是由于图像中纹理的复杂性导致图像中每列像素点个数发生剧烈变化,而相邻两组剧烈波动之间的距离,就对应纹理图像中最小纹理块的高度。同理,可以计算出图像的行纹理曲线,其相邻两组剧烈波动之间的距离即对应最小纹理块的宽度,如图 4 (b) 所示。

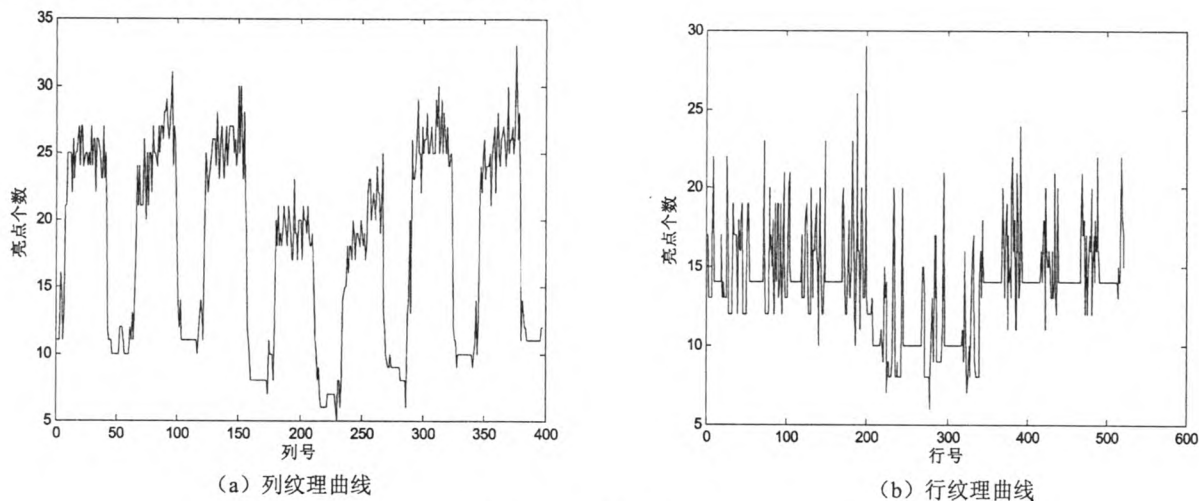


图 4 纹理统计分析图

由于曲线的波动越剧烈,其局部极值点越多,因此,为了获得曲线的波动范围,首先计算曲线的极值点,即其一阶导数为零的点:

$$\begin{cases} f'(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} \\ f'(x_0) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

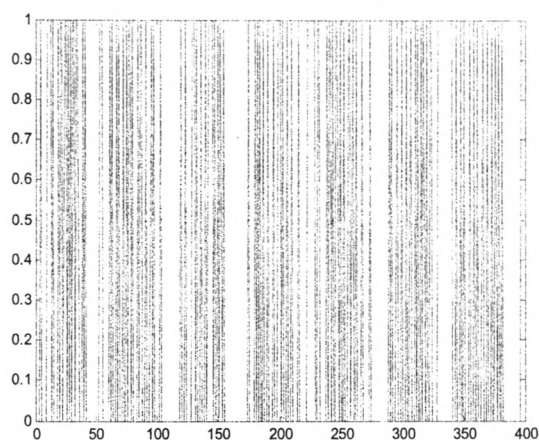
其中 $f(x)$ 表示纹理曲线。以行(列)纹理曲

线的行(列)号作为横坐标,行(列)纹理曲线在该行(列)号处存在极值点则纵坐标取 1,否则取 0,得到行(列)纹理曲线的极值点曲线图。根据图 4 计算出来的极值点曲线图如图 5 所示:

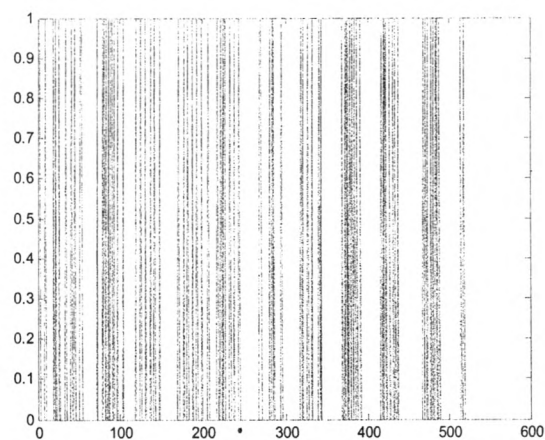
对极值点曲线横坐标上的每一个坐标点,统计其附近一定区域内的极值点 ($y = 1$) 个数,即得到

极值点的变化曲线, 如图 6 所示 (此处统计范围取为 5, 该值为经验数值, 其取值大小将影响极值点

变化曲线的平滑程度, 该值只要相对图片的尺寸来说不太大即可, 对最终极值点变化曲线影响不大)。

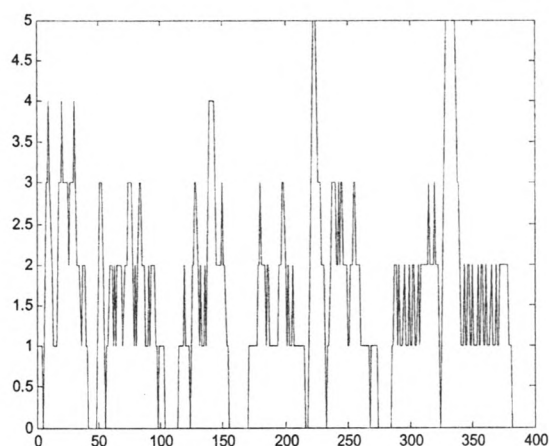


(a) 列纹理曲线的极值点曲线

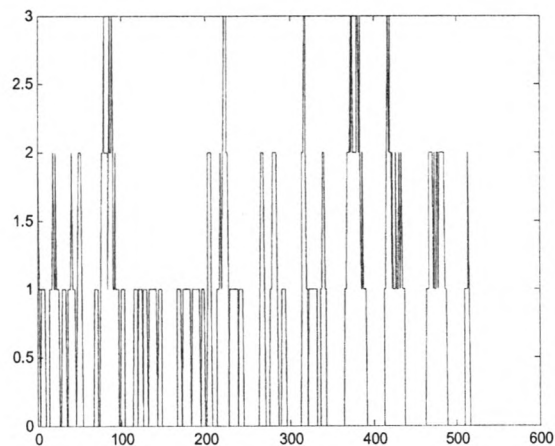


(b) 行纹理曲线的极值点曲线

图 5 极值点曲线图



(a) 列纹理曲线的极值点变化曲线



(b) 行纹理曲线的极值点变化曲线

图 6 极值点变化曲线图

以图 6 (a) 为例, 从左往右对曲线进行扫描, 在 x 轴上 ($y = 0$) 找到第一个波峰两侧的两点 (如图 7 中的红点), 计算这两点之间的距离, 记为 λ_0 , 同理计算出 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, 则最终 $\bar{\lambda} = \sum_{i=0}^n \lambda_i / n$, 即为纹理块的近似高度, 其中 n 为扫描后得到的 λ 个数。同理, 对图 6 (b) 进行扫描计算, 可得到纹理块的近似宽度。以该纹理块的高度和宽度作为 Criminisi 算法中的样本块尺寸来对缺损图像进行修补, 可显著改善 Criminisi 算法对纹理图像的修复效果, 减少“错配”现象。

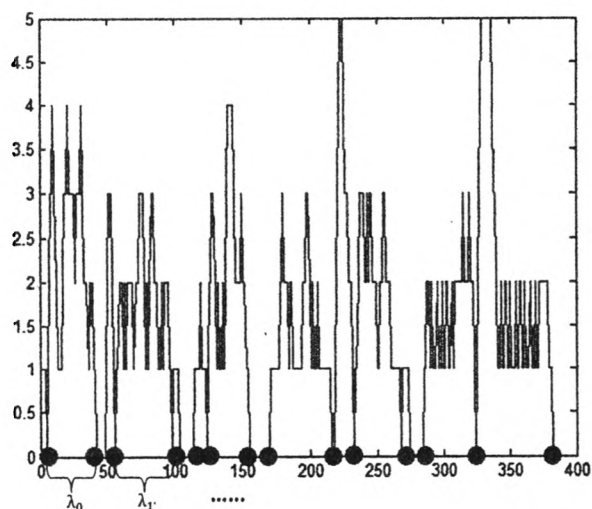


图 7 计算波峰跨度的距离

2 仿真实验与分析

为了验证本文算法的有效性,在计算机上进行了模拟实验。实验中软件环境为 Windows 7 操作系统和 Matlab2012b,硬件环境为笔记本电脑,其中 CPU 为 Intel (R) Core (TM) i5 - 2410M, 2.3GHz * 4, 内存为 4GB。图 8 (a) 为待修复图像,其中白

色区域为待修复区域,图 8 (b) 为采用传统的 Criminisi 算法 (样本块为 9×9 像素) 进行修复的效果图,图 8 (c) 为采用本文算法的修补效果图。从图中可以看出,采用本文算法进行修复的效果图,较传统 Criminisi 算法保留了更多源图像的纹理特征,纹理信息在细节处更完整,更符合人们的视觉体验,图像的修复效果也更好。

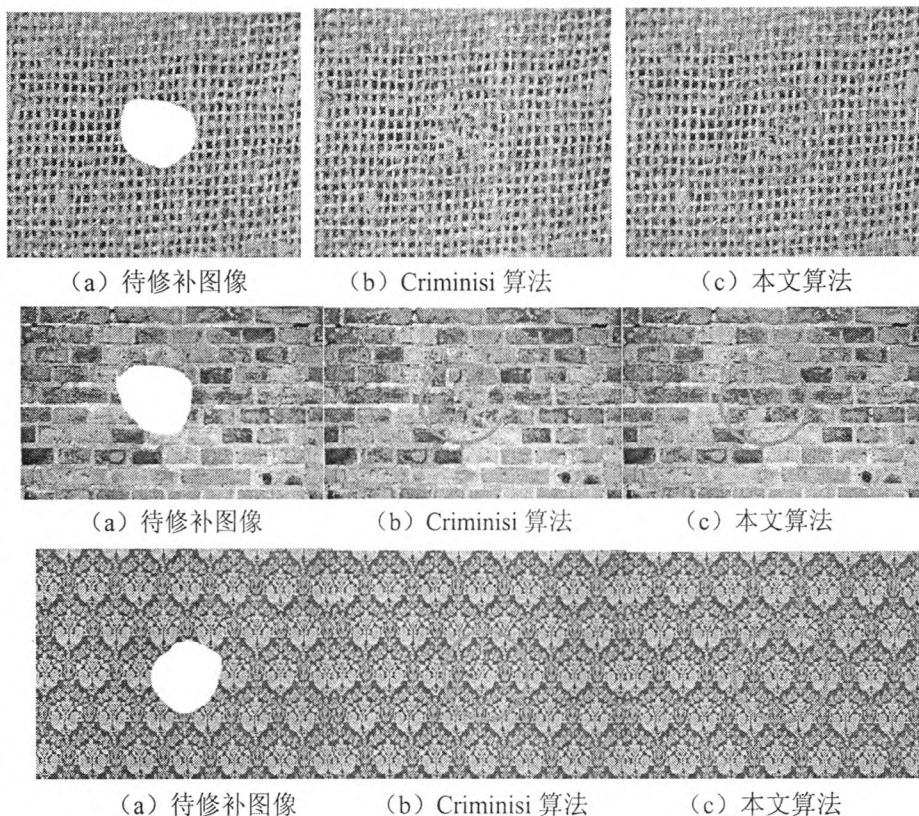


图 8 本文算法与 Criminisi 算法的修复效果图

3 结 语

针对传统 Criminisi 算法对纹理尺寸不敏感,导致纹理图像修复效果欠佳的不足,从分析纹理图像特征入手,对图像的纹理信息进行统计分析,得到

图像的行纹理曲线和列纹理曲线,并通过纹理曲线获取纹理单元的尺寸,进而得到修复样本块的大小,从而对 Criminisi 算法进行改进。仿真实验表明,本文改进算法能够更好保留图像的整体纹理信息,修复结果更符合人们的视觉体验,相比原算法获得了更好的修复效果。

参考文献:

- [1] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image inpainting [A]. In: Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques [C]. New Orleans, Louisiana, USA, 2000: 417 – 424.
- [2] Chan T F, Shen J H. Non – texture inpainting by curvature – driven diffusions (CDD) [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation. 2001, 12 (4): 436 – 449.
- [3] Tai X, Borok S, et al. Image denoising using TV – stokes equation with an orientation – matching minimization [A]. International Conference on Scale Space and Variational Methods in Computer Vision [C]. Voss, Norway, 2009: 90 – 501.
- [4] Criminisi A, Pérez P, et al. Region filling and object removal by exemplar – based image inpainting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13 (9): 1200 – 1212.
- [5] Martínez – Noriega R, Roumy A, et al. Exemplar – based image inpainting: fast priority and coherent Nearest Neighbor search [C]. 2012 IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MACHINE LEARNING FOR SIGNAL PROCESSING, Santander, SPAIN, 2012: 1 – 6.
- [6] 任澍, 唐向宏, 康佳伦. 利用纹理和边缘特征的 Criminisi 改进算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17 (9): 1085 – 1091.

An Improved Algorithm for Criminisi Based on Adaptive Texture Size

RAO Shen, YANG Zhi – Ping

(Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China)

Abstract: Because of the casualness of exemplar patch selection, Criminisi algorithm leads to the effect of image completion not well. To avoiding it, this paper put forward an improved algorithm for Criminisi according to texture image. By analyzing the binary image obtained through preprocessing texture image, it gets row and column texture curve. Furthermore, it gets the extreme point curve. Finally, it gets approximate size of exemplar patch. Simulation results show that the improve algorithm can obtain better visual effect than traditional Criminisi.

Key words: Criminisi; image completion; exemplar patch; texture