

文章编号:1001-9081(2008)09-2315-03

基于纹理方向的图像修复算法

魏琳,陈秀宏

(江南大学 信息工程学院,江苏 无锡 214133)

(weilinsina@126.com)

摘要:在使用基于样本的纹理合成技术的图像修复算法中,搜索纹理的匹配块时,利用纹理的方向特性,可以将搜索过程约束到沿着纹理的方向进行。在 Criminisi A 的算法基础上,加入了确定纹理方向过程,优化了纹理块的优先权和大小的计算方法。实验结果表明,该方法在处理强方向性的纹理图像的修复时有很好的效果,明显地提高了计算效率。

关键词:图像修复;纹理方向;纹理合成;目标去除

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Algorithm of image inpainting based on texture orientation

WEI Lin, CHEN Xiu-hong

(School of Information Technology, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

Abstract: The method was introduced to compute the main direction of the texture and complete the image by limiting the search to one direction to carry out image completion based on Exemplar-Based image completion. The method computed the main direction of the texture and improved the template window's priority and size based on Criminisi A's algorithm. A number of examples were given to demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm on dealing with the image with strong orientation of texture distribution and raising efficiency obviously.

Key words: image inpainting; texture orientation; texture synthesis; object removal

0 引言

图像修复是指利用待修补区域的邻域信息或动态图像的前后帧的信息来估算待修补区内缺损信息的过程,主要目的是对破损的图像进行修复,以构造人眼主观系统可以接受的图像。目前,数字图像修复技术的发展主要集中在两个领域:第一个是基于非纹理结构的图像修复,主要是数字图像的小尺度裂痕的修补技术,首先是由 Bertalmio 等^[1]提出的,他们利用基于偏微分方程(Partial Differential Equation, PDE)的方法来修补受损的图像。其主要思想是,利用待修补区域的边缘信息,确定扩散信息和扩散方向,从区域边界各向异性地向边界内扩散。该方法能很好地修复图像的线结构,如目标轮廓,但不能恢复纹理细节。第二个领域是从样本纹理中生成大的图像区域的纹理合成技术。它又包含两种方法:一种是基于图像分解的修复技术,其主要思想是将图像分解为结构部分和纹理部分,结构部分用修补算法修补,纹理部分用纹理合成方法填充;另一种是基于样本的纹理合成技术,从待修补区域的边界上选取一个像素点,以该点为中心,根据图像的纹理特征,选取大小合适的纹理块,然后在待修补区域的周围寻找与之最相近的纹理匹配块,来替代该纹理块。基于纹理合成的大区域丢失信息的图像修补技术得到了广泛的研究和应用,本文主要针对基于样本的纹理合成技术展开研究。

近年来,许多研究者开始考虑结合以上两类方法的优点,来达到图像修补的效果。将原始图像分解成结构与纹理两部分,然后分别对其进行修补和纹理合成,输出的图像就是这两部分的和。但是,由于修补技术中的扩散过程会模糊被

填充的区域,因此,该法也只能去除一些小尺度裂痕。文献[2]能在“纯纹理”和“纯结构”之间自动切换修复方法但仍不能避免这个问题。文献[3]在基于样本的细节合成中,插入一个平滑逼近,来达到全图像的作用。该算法非常的慢,并且还模糊图像。文献[4]利用局部边界的等照度线方向与方法方向之间的角度,来定义块的搜索次序,使得丢失区域的结构部分先于纹理填充。这种方法在修补细小裂痕和填充大块的丢失区域方面无论视觉效果还是计算效率上都要大大优于先前的方法。尽管如此,它们仍然存在一些缺点。首先,这些方法都是采用在整个图像区域寻找合适的纹理匹配块。这种全局搜索方法不但耗时,而且忽略了自然图像的局部相似性。另外,图像的修复质量,极大依赖于待修补块的合成次序以及纹理模板大小的选取。因此,根据以上分析,本文提出一种基于方向性纹理合成的图像补全算法。该算法从划分纹理区域、寻找纹理匹配块的搜索范围、纹理块修复的优先次序以及纹理块大小的自适应选取等方面着手,充分利用图像的局部特征,改进了现有算法运行速度慢、易产生误匹配以及引入模糊等缺点,有效地改善了图像修补的视觉效果,加快了图像修补的速度。

1 算法介绍

算法的目的是填补图像去除特定景物后留下的“空洞”,到达人眼无法察觉的效果。根据图像的纹理特征选取大小合适的纹理块,然后在待修补区域的周围寻找与之最相近的纹理匹配块,来替代该纹理块。自然景观中很多图像都呈现很强的方向性,可以利用将搜索过程约束到沿着纹理的方向进

收稿日期:2008-03-31;修回日期:2008-06-02。

作者简介:魏琳(1981-),男,山东平邑人,硕士研究生,主要研究方向:模式识别、图像处理; 陈秀宏(1964-),男,江苏淮安人,教授,博士,主要研究方向:优化理论与方法、模式识别、图像处理。

行。本文在文献[4]算法基础上,加入了确定纹理方向过程,优化了纹理块的优先权和大小的计算方法。大量实验表明:该方法在处理强方向性的纹理图像的修复时有很好的效果,明显地提高了计算效率。

1.1 算法思想

1.1.1 计算纹理的方向

纹理的方向可以通过傅立叶变换求得,在这里首先使用 Soble 边缘检测器提取纹理的边缘图像,然后对边缘图像进行二维傅立叶变换,得到图像的频谱图 $F(u,v)$ (图 1(b))。求频谱图的功率为 $P(u,v) = |F(u,v)|^2$ 。将功率的直角坐标表示方式转换为极坐标表示 (r,θ) ,固定所有的 θ 值,将其对应的 r 值的求绝对值的和,即 $\sum_r |F(u,v)|^2$,其峰值对应的 θ 值就是纹理的方向。利用边缘图像求纹理方向的估值好处是:1)降低运算量;2)可以降低噪声对纹理的影响,提高估算精度。

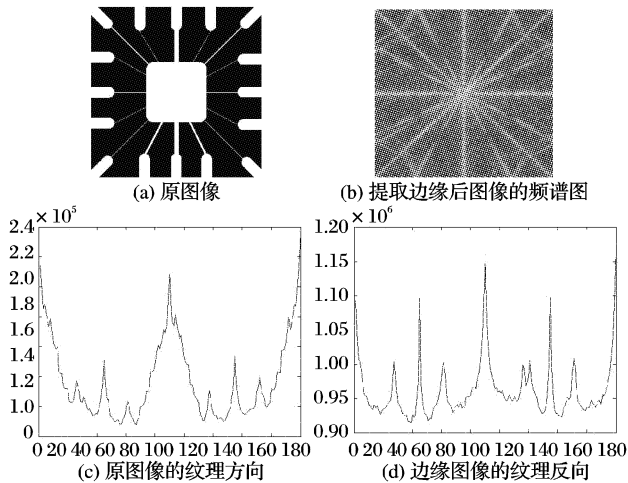


图 1 提取纹理边缘前后计算纹理方向的比较

将图 1(c) 和图 1(d) 的结果相比较可以看出,使用边缘图像计算纹理方向的精度明显高于使用原图像计算的结果。

1.1.2 优先权的计算

本文图像修补算法的过程是一个等照度线驱动的形象取样过程,首先做如下定义,如图 2^[4]所示, ϕ 为源区域, Ω 为目标区域, $\delta\Omega$ 为目标区域边界, p 为边界上的像素点, ψ_p 为 p 点对应的像素块。算法是基于像素块进行的而不是基于像素点,首先检测边界上的像素点,得到以每个像素点为中心的像素块,像素块的大小一般大于区域中最大的纹理元,这里使用大小为 9×9 的块。然后计算每个块的优先权,根据文献[4],优先权定义为: $P(p) = C(p)D(p)$,由两部分组成,表示 ψ_p 中包含属于源区域的像素数量的度量 $C(p)$ 和表示 ψ_p 包含的结构信息量 $D(p)$ 。它们的定义如下:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \psi_p \cap (\tau - \Omega)} C(q)}{|\psi_p|} \quad (1)$$

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot np|}{\alpha} \quad (2)$$

如图 2,其中 ψ_p 表示边界上像素点 p 点的像素块, $|\psi_p|$ 表示像素块的面积,即像素点的个数,默认为 $9 \times 9 = 81$ 。 $C(q)$ 表示 q 点的置信度,初始化为 $C(q) = \begin{cases} 0, & q \in \Omega \\ 1, & q \in \phi \end{cases}$ 。 np 为 p 点的法向量。 ∇I_p^\perp 为 p 点的等照度线方向,计算公式为:

$$\nabla I_p^\perp = \frac{(-I_y, I_x)}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2}}$$

其中 I_x, I_y 分别表示 p 点在 x 和 y 方向上

的偏微分。 α 为归一化因子,这里取 $\alpha = 255$ 。由式(1)可以看出, ψ_p 中包含的源区域中的像素数越多, $C(q)$ 的值越大。由式(2)可知, ∇I_p^\perp 和 np 的夹角越小, ∇I_p^\perp 的值越大,像素块的优先权越大。

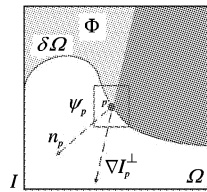


图 2 符号图标

文献[5]指出,随着修补的进行, $D(p)$ 的值迅速下降至零,而 $C(q)$ 呈总体上升趋势,所以,由 $P(p) = C(p)D(p)$ 计算得到优先权值变得不可信,本文使用求两者和的方式,即 $P(p) = C(p) + 2D(p)$ 。为了体现出结构信息的重要性,将 $D(p)$ 的权重变为 $C(q)$ 的两倍。

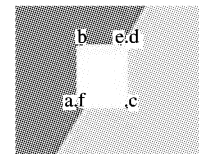


图 3 优先权示意图

图 3 中 a, b, c, d 四点分别是矩形待修补区域边界上四个角的顶点, e 和 f 点是两种颜色变化分界线与待修补区域的交点。根据上述算法计算出的六个点对应像素块的优先权如表 1 所示。

表 1 各像素点所在块的优先权值

像素点	优先权
a	1.1265
b	1.1916
c	1.5579
d	1.6643
e	2.4004
f	2.3006

而位于矩形四条边上其他像素点对应的像素块的优先权数据范围是 $[0.5347, 1.1142]$,所以 e 点所在像素块首先被填充,保障了图像纹理和结构填充顺序的正确性。

1.1.3 模板窗口大小的选择

由于梯度的变化可以反映图像空间频率的变化,而空间频率的大小决定了图像包含信息的多少。频率小的区域,图像比较平滑,可以选择大的模板。频率大的区域,图像包含比较复杂的结构和纹理信息,应该选择小的模板。本文根据梯度的变换 $\nabla I(p)$ 给出求模板大小的公式:

$$size(p) = \begin{cases} 2 \cdot \text{round}(\frac{1}{|\nabla I(p)|}) + 1 & \\ 9, & |\nabla I(p)| \leq 0.25 \\ 3, & |\nabla I(p)| \geq 1.00 \end{cases} \quad (3)$$

$size(p)$ 的值被限定在 3 ~ 9 的奇数中,即模板的大小有四个选择: $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ 。根据 $\nabla I(p)$ 自动选择模板大小可以尽量提高修复的视觉效果。

1.1.4 相似纹理块的匹配

根据基于马尔可夫随机场的纹理结构模型^[6]的描述,我们认为像素点颜色值的概率分布与它空间相邻的像素的颜色值是相互独立的。设 A_p 为目标块,最相似块为 A_j, ϕ 为 ϕ 上

沿纹理方向的搜索区域,则有: $A_p = \arg \min_{A_s \in \Phi} d(A_p, A_s)$ 。

$$d(A_p, A_s) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [(p_{ij}^r - q_{ij}^r)^2 + (p_{ij}^g - q_{ij}^g)^2 + (p_{ij}^b - q_{ij}^b)^2]} \quad (4)$$

其中: $p_{ij}^r, q_{ij}^r, p_{ij}^g, q_{ij}^g, p_{ij}^b, q_{ij}^b$ 分别是 A_p 和 A_s 中像素点的红,绿,蓝三个分量的值, $m \times m$ 为像素块的大小。

1.2 算法流程

1) 首先,用户选择要去掉并填充的目标区域 Ω 。本文用白色标注目标区域。

2) 根据待修补区域周围信息,选择一块具有主纹理方向的纹理图像做输入图像。利用“Soble”边缘检测器得到该输入图像的边缘图像。

3) 通过傅立叶变换求出边缘图像的方向,即纹理的主方向 θ 。

4) 提取目标区域 Ω 的边界点,按默认窗口大小确定每个点对应的像素块 ψp 并计算它们的优先权。确定首先被填充的像素点 p 。

5) 根据 p 点梯度的变化得到新的模板大小 $size(p)$, 使用新的模板 A_p 在源区域中沿纹理主方向 θ 搜索最相似块 A_p , 将 A_p 中属于目标区域的像素点的位置用 A_p 中对应像素的值填充。

6) 填充新的像素后,更新优先权。重复 4) ~ 6), 直到目标区域 Ω 中像素数为零,图像修补完成。

2 实验结果及分析

根据实验表明,本文算法在修复具有强纹理方向的图像,去除图像中的大目标时,有较好的修复效果。图 4 给出了结构图像的区域填充结果,表明本文算法在填充结构信息时的正确性。图 5 给出了算法在去除大目标区域以及修复的结果,表明本文算法不仅能修复结构信息,在纹理的合成方面也取得了较好的结果。图 6 为本文算法和其他算法的效果比较。实验结果表明,本文算法在修复质量上明显优于前者。

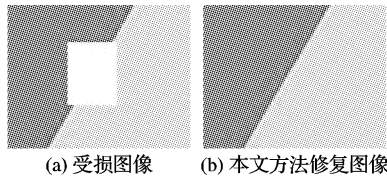


图 4 简单结构图像的修补

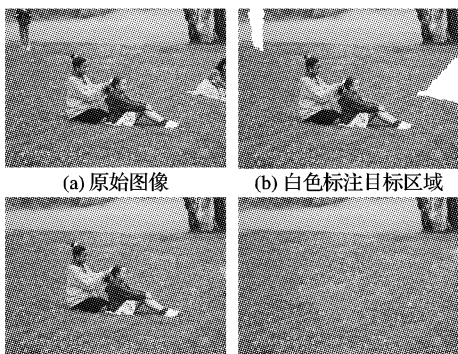


图 5 大目标的去除和修补

实验环境是: Inter Pentium 4 CPU 2.93 GHz, 内存为 512 MB 的硬件配置。仿真环境是 Matlab 7.0.4。表 2 给出了本

文算法和文献[4]算法所用时间的比较。从表 2 可以看出:在不降低修补质量的同时,文本算法比文献[4]算法要快得多。

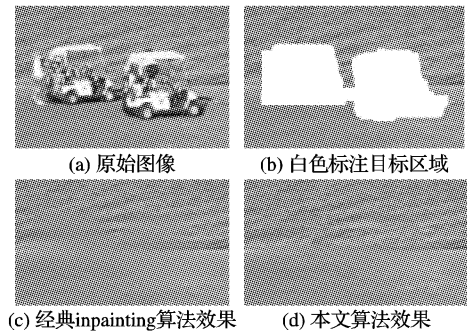


图 6 本文算法和经典 inpainting 算法效果比较

表 2 本文算法与文献[4]算法计算时间比较

原始图像大小	目标区域所占大小/%	文献[4]算法/s	本文算法/s
图 4 123 × 97	11.3	17.4	5.0
图 5 523 × 376	16.2	178.9	51.1
图 6 172 × 100	27.5	63.0	18.5

3 结语

本文利用局部边界的等照度线方向与法向量方向之间的角度,来定义块的搜索次序,使得丢失区域的结构部分先于纹理填充的基础上,提出了一种利用纹理方向来约束块的搜索方向的方法,并优化了块优先权的计算方法。实验结果证明:该方法在处理强方向性的纹理图像效果很好,有效地提高了计算的效率。但是在处理纹理方向不明显的图像时效果不好,误差较大。下一步的工作将尝试将输入图像按不同纹理分割后分别使用本文算法,从而扩展该算法的适用范围。

参考文献:

- [1] BERTALMIO M, SAPIRO G, CASELLES V, *et al.* Image inpainting[C]// Proceedings of ACM SIGGRAPH2000. New York: ACM Press, 2000: 417 - 424.
- [2] RANE S D, SAPIRO G, BERTALMIO M. Structure and texture filling-in of missing image blocks in wire less transmission and compression applications[J]. IEEE Transactions on image Processing. 2003, 12 (3): 29 6 - 03.
- [3] IDDO D, DANIEL C, HEZY Y. Fragment based image completion [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 30 3 - 312.
- [4] CRIMINISI A, PEREZ P, TOYAMA K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting[J]. IEEE Transaction son Image Processing, 2004, 13(9): 1200 - 1212.
- [5] CHENG W H, HSIEH C W, LIN S K, *et al.* Robust algorithm for exemplar-based image inpainting[C]// The International Conference on Computer Graphics, Imaging and Vision (CGIV2 005). Beijing: [s. n.], 2005: 64 - 69.
- [6] EFROS A A, LEUNG T K. Texture synthesis by nonparametric sampling[C]// Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 1033 - 1038.