

基于参考纹理与自身色彩的图像修复

杨 苏^{1,2*}, 杨兆中¹

(1. 西南石油大学 石油与天然气工程学院, 成都 610500; 2. 中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083)

(* 通信作者电子邮箱 ysswpupaper@gmail.com)

摘 要:传统的图像修复工作仅仅利用破损图像本身的信息完成, 破损面积较大并且结构比较复杂时, 破损图像不能提供足够的信息导致修复效果不理想。针对这个问题提出了基于参考图像纹理与破损图像自身颜色的修复算法。该算法在图像库中通过图像检索智能筛选相似参考图像, 并选择最优区域填充破损图像区域, 利用参考图像样块与自身未破损区域的纹理信息保证修复边界的平滑性, 再结合颜色迁移与扩展算法使破损图像修复区域与完好区域的色彩协调一致。实验结果表明新提出的修复算法使得图像修复区域过渡更加自然, 能在视觉上有很好的效果。

关键词:大规模图像修复; 参考图像; 图像检索; 区域划分; 颜色迁移

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Image inpainting using reference image texture and distress image color

YANG Su^{1,2*}, YANG Zhaozhong¹

(1. School of Petroleum and Natural Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China;

2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: While dealing with a target image of large damaged area and complex structure, the traditional image restoration algorithms cannot get sufficient information from it, leading to unsatisfactory repair effects. An algorithm based on the texture of reference image and the color of target image was proposed to overcome this defect. First, the suitable reference image was obtained by using intelligent search from similar images in image database and the template fill was performed on the damaged regions by selecting appropriate content from reference image. Then, the restored boundary was smoothed by the texture information of both reference image and target image. Color transfer and colorization was implemented to make the appearance of repaired part in accordance with its surroundings. The experimental results show that this approach can obtain better results and keep smooth region boundaries in visual effect.

Key words: image inpainting of large-scale ruined region; reference image; image retrieval; segmentation; color transfer

0 引言

目前, 破损图像修复技术的发展主要集中在两个方向: 小面积破损图像修复和大尺度丢失信息图像修复。

针对小面积破损图像的修复大多采用偏微分方程 (Partial Differential Equation, PDE) 修复算法^[1], 并在后人的改进中发展比较成熟, 因此破损图像修复的研究热点和难点主要集中在大规模丢失信息的图像修复算法。最经典的大尺度丢失信息图像修复算法由 Criminis 等^[2]提出, 在偏微分方程修复方法的基础上融入纹理合成技术, 能够在大面积丢失信息的图像中提供物体的简单边界轮廓特征, 还原图像的纹理信息, 但是并没有考虑到修复精度和时间复杂度问题, 因此后续的大部分算法都是在此算法基础上进行改进。例如, 基于图像分区的修复算法^[3]将破损图像未破损的区域分为几个相对独立的子区域, 采用分割映射图自动挑选最优先的图像补丁完成修复, 从而减小搜寻目标, 但是其没有考虑到修复样本块之间由于不属于同一子区域导致的连续性问题; Liu 等^[4]通过优化全局能量函数保证了修补边界重建的连续性和重建区域的视觉连贯性, 在一定程度提高了大区域破损图像的修复效果, 但是算法复杂度导致时间复杂度加大; 针对修复模板尺寸小精度会提高但复杂度增加, 模板尺寸大精度

降低复杂度减小的问题, 文献[5]提出了根据模板与样本块间的匹配情况创建自适应模板的方法, 提高了图像修复的速率, 但是同样没有考虑到样本块间的连续问题。当图像丢失大规模信息时, 以上利用本身未破损区域信息修补破损区域图像的算法不能获得较好的修复效果, Hays 等^[6]通过融合最大流最小割算法^[7]和泊松混合^[8]方法, 提出了利用其他相似图像的信息进行破损图像补全算法, 为大面积丢失信息图像修复算法开辟了一个新的领域, 但是此算法并没有解决图像破损区域修复后与未破损区域之间色彩不连续问题。

在现有算法的研究基础上, 本文提出了一种结合相似参考图像纹理信息和破损图像本身颜色信息进行图像修复的算法, 在一定程度上克服了破损图像修复面积过大提供信息太少导致的修复效果不理想的缺陷。

1 设计方案

总体设计方案的具体步骤如下:

第 1 步 利用空间分布差异度的分块色彩直方图对参考图像集进行智能筛选, 获得最相似的参考图像。

第 2 步 确定破损图像的破损部分所在的子图像区域, 在参考图像对应的子图像区域通过覆盖移位匹配法获得最佳的匹配块。

收稿日期: 2013-12-06; 修回日期: 2014-02-25。 基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (5121110001)。

作者简介: 杨苏 (1987 -), 男, 河南濮阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 数值模拟、数字图像处理; 杨兆中 (1969 -), 男, 四川泸州人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 数值模拟、油气田增产改造。

第3步 将参考图像最佳匹配块填充进破损图像,结合参考图像样块与自身未破损区域的纹理信息对重叠区域进行修补,保证图像平滑性。

第4步 最大期望(Expectation Maximization, EM)算法迭代求解最优的高斯混合模型对破损图像未破损部分和修复部分进行色彩的颜色划分,并建立匹配机制,将未破损区域的色彩迁移并扩展到新填充区域,获得最终修复结果。

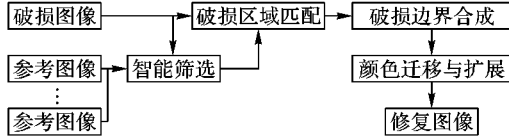


图1 总体设计方案

2 算法描述

2.1 参考图像的智能筛选

基于颜色直方图的图像检索方法计算简单,但是没有记录颜色空间分布信息,因此利用空间分布差异度的分块色彩直方图方案对参考图像进行筛选^[9],步骤如下:

1) 将图像转换到 HSV 空间并进行量化处理:

$$H = \begin{cases} 0, & h \in [0, 20] \cup [316, 360) \\ 1, & h \in [21, 40] \\ 2, & h \in [41, 75] \\ 3, & h \in [76, 155] \\ 4, & h \in [156, 190] \\ 5, & h \in [191, 270] \\ 6, & h \in [271, 295] \\ 7, & h \in [296, 315] \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, s \in [0, 0.2] \\ 1, s \in (0.2, 0.7) \\ 2, s \in [0.7, 1] \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} 0, v \in [0, 0.2] \\ 1, v \in (0.2, 0.7) \\ 2, v \in [0.7, 1] \end{cases}$$

2) 三维特征矢量转换到一维特征矢量:

$$C = HQ_s Q_v + SQ_v + V$$

其中 Q 表示量化级数,因此, $Q_s = 3, Q_v = 3$ 。

3) 将图像分割成同样大小的 4×4 个子图像,计算每个子图像的一维特征矢量平均差:

$$\delta = \left(\frac{1}{l \times k} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k (C(i, j) - \mu)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{且 } \mu = \frac{1}{l \times k} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k C(i, j)$$

其中 $l \times k$ 表示子图像中像素点数目。如果子图像中有破损区域,则破损区域的像素点不计入 $l \times k$ 中。

4) 设定两个阈值 $\delta_{\max} = 10$ 和 $\delta_{\min} = 2$,判断该子图像属于背景区域、纹理区域还是边缘区域。

$$\begin{cases} \delta \geq \delta_{\max}, & C \in \text{背景区域}, P = 0 \\ \delta_{\min} < \delta < \delta_{\max}, & C \in \text{纹理区域}, P = 1 \\ \delta \leq \delta_{\min}, & C \in \text{边缘区域}, P = 2 \end{cases}$$

5) 对比破损图像 A 与参考图像 B 子图像之间空间分布差异度:

$$DIM(P_A, P_B) = [(P_A, P_B, |P_A - P_B|)]$$

6) 计算破损图像 A 与参考图像 B 子图像之间的权重:

$$w = 2^{\max(P_A, P_B)} 2^{|P_A - P_B|} \lambda; \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 w_{i,j} = 1$$

7) 在直方图相交距离^[10] $\text{sim}(A_i, B_i)$ 的基础上,对破损图像 A 与参考图像 B 子图像相似度加权累加获得两个图像之间的整体相似度:

$$\text{SIM}(A, B) = \sum_{i=1}^{4 \times 4} w_i \text{sim}(A_i, B_i)$$

2.2 局部匹配

定义破损图像 A 破损区域周围 20 个像素点的范围作为过渡带,以过渡带作为掩模在参考图像 B 中覆盖移位匹配,匹配测度采用的是欧几里得距离公式:

$$D = \sqrt{\frac{1}{M} \sum [(H_A - H_B)^2 + (S_A - S_B)^2 + (V_A - V_B)^2]}$$

其中 M 为过渡带中像素点的数目。掩膜覆盖的参考图像像素点与掩膜之间的欧几里得距离最小时,将参考图像掩膜包围的内容填充入破损图像的破损区域。

2.3 加权样块的边界合成

直接将参考图像匹配块内容填充入破损区域图像中会导致过渡带重叠区域间断不完整,因此,结合参考图像样块与自身未破损区域对重叠区域进行修补来保证图像的平滑性。

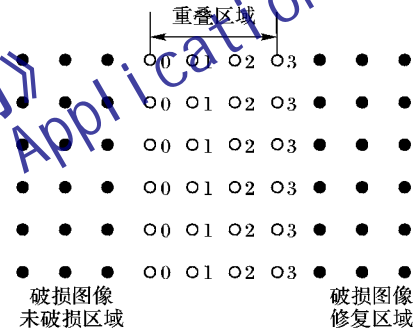


图2 破损图像的重叠区域

一般来说:越靠近完好图像区域边界,图像信息与已有部分的关系越紧密;越靠近破损区域,与图像未破损区域的联系就越小。 P 为重叠区域中像素点的集合, D 表示相邻像素点间的距离, Q_1 表示未破损区域与重叠区域交界处像素点集合, Q_2 表示修复区域与重叠区域交界处像素点集合,定义重叠区域相关度如下:

$$C(p) = \frac{\min_{q_1 \in Q_1} D(p, q_1)}{\min_{q_1 \in Q_1, q_2 \in Q_2} D(q_1, q_2)}$$

设重叠区域中 ψ_1 为破损图像重叠区域中的已知像素点集, ψ_2 是参考图像处于重叠区域的像素点集,得到重叠区域的合成结果:

$$\psi = (1 - C(p)) \psi_1 + C(p) \psi_2$$

2.4 颜色不均修复

破损区域融合之后,修护区域与未破损区域在色彩上存在一定差异。为了消除这种差异,采用区域颜色迁移算法改进修复区域色彩,其算法步骤如下:

1) 对图像修复区域部分 S 进行亮度重映射,使之与未破损图像部分 I 的灰度直方图分布保持一致:

$$\tilde{l} = \frac{\sigma_l}{\sigma_s} (l - \mu_s) + \mu_l$$

2) 采用 EM 算法迭代求解最优的高斯混合模型^[11] 来对破损本质图像进行色彩区域划分。假设图像未破损部分 I 划分为 N 个色彩区域,根据图像分割的大致轮廓分析过渡带重

叠区 Ψ 中像素点属于哪 $M (M \leq N)$ 个色彩区域, 将修护区域图像 $\Omega + \Psi$ 划分为 M 个色彩区域。

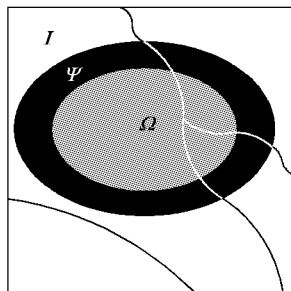


图3 修复部分区域划分

3) 计算未破损图像部分 I 和修护区域图像 $\Omega + \Psi$ 在 RGB 空间的色彩聚类中心:

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{y \in I} y; \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$\mu_j = \frac{1}{N_j} \sum_{y \in \Omega + \Psi} y; \quad j = 1, 2, \dots, M$$

4) 定义确定修护区域图像部分 M 个色彩区域与未破损图像 I 区域之间的距离关系:

$$f = (\mu_{I_i(k)} - \mu_j)^2; \quad 1 \leq k \leq N, 1 \leq j \leq M$$

根据以上关系寻找最小距离, 确定修护区域图像部分与未破损图像间的最佳匹配区域。

5) 统计修护区域图像部分和未破损图像部分的区域像素点个数, 分别记为 $num_{11} \sim num_{1M}$ 和 $num_{21} \sim num_{2M}$, 将对应分类结果的 α 、 β 均值和方差按下式进行加权:

$$\mu_{\kappa m} = \frac{\mu_{1\kappa m} \times num_{1m} + \mu_{2\kappa m} \times num_{2m}}{num_{1m} + num_{2m}}$$

$$\delta_{\kappa m} = \frac{\delta_{1\kappa m} \times num_{1m} + \delta_{2\kappa m} \times num_{2m}}{num_{1m} + num_{2m}}$$

其中 $\kappa = \alpha, \beta$ 。

6) 对修护区域图像部分 Ω 中属于第 m 类的像素点进行颜色迁移:

$$\alpha^* = \frac{\delta_{\alpha m}}{\delta_{1\alpha m}} |(\alpha - \mu_{1\alpha m})| + \mu_{\alpha m}$$

$$\beta^* = \frac{\delta_{\beta m}}{\delta_{1\beta m}} |(\beta - \mu_{1\beta m})| + \mu_{\beta m}$$

其中 $m = 1, 2, \dots, M$ 。

7) 获得修护区域图像部分 Ω 中每个区域的加权平均色:

$$\bar{C}_m = \frac{\sum_{p \in \Omega_m} W(p) C(p)}{\sum_{p \in \Omega_m} W(p)}$$

假如区域 $\Omega_m (m = 1, 2, \dots, M)$ 中的像素点 p 的色彩 $C(p)$ 趋近于 \bar{C}_m , 认为像素点 p 未最优上色效果, 并保留其色彩; 反之, 像素点 p 的色彩 $C(p)$ 不趋近 \bar{C}_m , 说明存在误差, 消除其迁移的色彩。

8) 利用保留的色彩通过颜色扩展方法^[12] 对未着色部分上色。

3 实验结果及分析

算法以 Matlab2010b 为平台, 将互联网下载的 300 幅裁剪成 256×256 像素的图像作为实验数据, 对其中的 10 幅图像构造了约 40% 的破损区域, 利用空间分布差异度的分块色彩直方图方案在剩下的 290 幅图像中获得与破损图像最相似的

参考图像。本文算法与 Criminis 算法^[2] 和 Hays 算法^[6] 进行了对比。

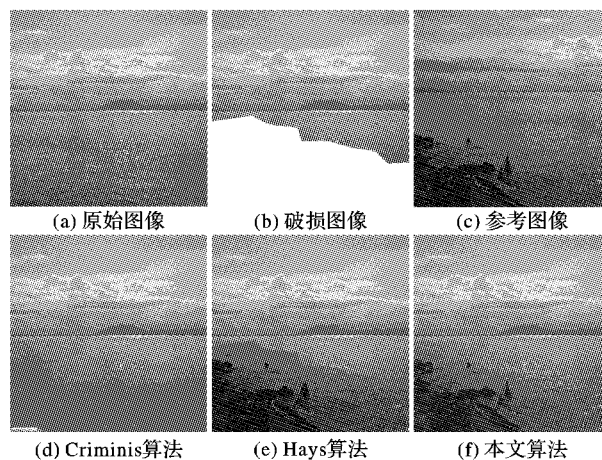


图4 修复结果比较一

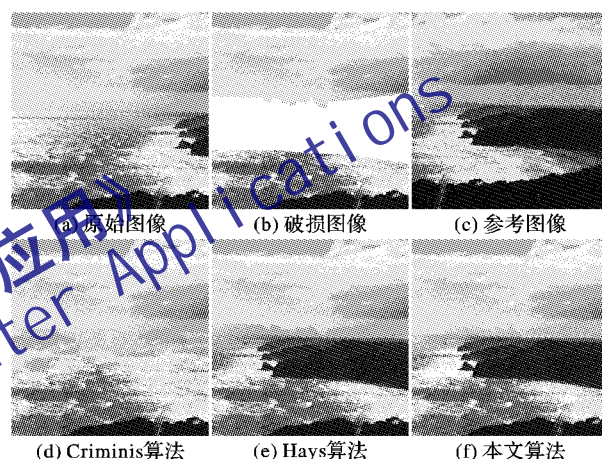


图5 修复结果比较二

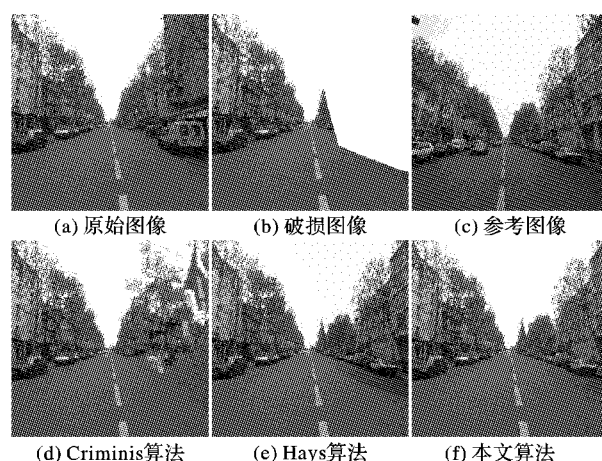


图6 修复结果比较三

采用结构相似度 (Structural SIMilarity, SSIM)^[13] 客观评价 3 种修复算法, 结果如表 1 所示。

表1 3种算法 SSIM 比较

图像	Criminis 算法 ^[2]	Hays 算法 ^[6]	本文算法
图4	0.7465	0.7239	0.7648
图5	0.7142	0.7294	0.7767
图6	0.6280	0.7393	0.8070

(下转第 1734 页)

进行变换,未引入方向等信息增加计算复杂度并改善结果。本文方法普遍适用于单目标或间距较大的多目标图像,对于间距较小的多目标图像,显著区域提取结果仅将多目标作为整体凸显出来,未能分辨出每个目标。

3 结语

本文提出一种基于频域的多分辨率尺度提取图像显著区域的方法,通过图像在不同分辨率尺度下的频域变换并融合来提取显著图像,具有较好的视觉效果。通过仿真实验证明,本文方法能够解决单一尺度下边缘模糊及内部细节不充实等问题。同时,在 ROC 曲线下面积评价方法中较传统 Itti 方法和同样基于频域的 SR 方法均有提高。

参考文献:

- [1] TU X. Image saliency and its evaluation[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011(涂小坡. 图像显著性算法和评价研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.)
- [2] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [3] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph - based visual saliency [EB/OL]. [2012-10-10]. <http://papers.nips.cc/paper/3095-graph-based-visual-saliency.pdf>.
- [4] CHENG M, HUANG X, HU S, et al. Global contrast based salient region detection[C]// Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2011: 409-416.
- [5] HOU X, ZHANG L. Saliency detection: a spectral residual approach[C]// Proceedings of the 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2007: 1-8.
- [6] MARTINS P, CARVALHO P, GATTA C. Stable salient shapes [C]// Proceedings of the 2012 International Conference on Digital Image Computing Techniques and Applications. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1-8.
- [7] PERAZZI F, KRAHENBUHL P, PRITCH Y, et al. Saliency filters: contrast based filtering for salient region detection[C]// Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2012: 733-740.
- [8] SUN X, LIU X. Learning based saliency weighted structural similarity[C]// Proceedings of the 2012 International Workshop on Image Processing and Optical Engineering. Bellingham: SPIE Press, 2012: 8335.
- [9] BORJI A, ITTI L. State-of-the-art in visual attention modeling[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(1): 185-207.
- [10] BARLOW H B. Possible principles underlying the transformation of sensory messages[EB/OL]. [2012-10-10]. <http://www.trin.cam.ac.uk/horacebarlow/21.pdf>.
- [11] RUDERMAN D L. The statistics of natural images[J]. Network: Computation in Neural Systems, 1994, 5(4): 517-548.
- [12] HOU X D. Spectral residual: the intuition[EB/OL]. [2013-07-15]. <http://www.klab.caltech.edu/~xhou/projects/spectralResidual/spectralresidual.html>.
- [13] SMITH W D, DUTTON B C, SMITH N T. A measure of association for assessing prediction accuracy that is a generalization of non-parametric ROC area[J]. Statistics in Medicine, 1996, 15(11): 1199-1215.
- [14] TISFAL G. Graph cuts[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(5): 1699-1711.
- [15] ZHAI D, XIAO J, YU J, et al. Image inpainting algorithm based on adaptive template[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(10): 2891-2894. (翟东海, 肖杰, 鱼江, 等. 基于自适应模板的图像修复算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(10): 2891-2894).
- [16] HAYS J, EFROS A A. Scene completion using millions of photographs[C]// Proceedings of the SIGGRAPH 2007. New York: ACM Press, 2007: 87-94.
- [17] KWATRA V, SCHODL A, ESSA I, et al. Graphcut textures: Image and video synthesis using graph cuts[J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 277-286.
- [18] PEREZ P, GANGNET M, BLAKE A. Poisson image editing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 313-318.
- [19] CHEN X, TAN J. Color block-histogram image retrieval based on difference degree of spatial distribution[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 32(6): 1539-1543. (陈骅, 檀结庆. 基于空间分布差异度的分块彩色图像检索方法[J]. 计算机应用, 2012, 32(6): 1539-1543).
- [20] SWAIN M J, BALLAR D H. Color indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [21] YAO X, BEIJI Z, HONG L. Selective color transfer with multi-source images[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(7): 682-689.
- [22] LEVIN A, LISCHINSKI D, WEISS Y. Colorization using optimization[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 689-694.
- [23] WANG Z, BOVIKA C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.

(上接第1726页)

由表1可知,本文算法考虑到图像破损区域修复后与未破损区域之间色彩不连续问题,因此 SSIM 值要比 Hays 算法^[6]高。当图像破损面积较大但结构色彩简单时,如图4所示,利用破损图像本身信息的 Criminis 算法能够获得比较好的修复结果。当图像结构复杂色彩丰富时,如图6所示, Criminis 算法^[2]的 SSIM 值比本文算法和 Hays 算法^[6]要低,影响图像的修复效果。因此,本文算法能够在图像破损面积较大、结构复杂、色彩丰富的情况获得比较好的修复效果。

4 结语

在大尺度丢失信息图像修复算法中,针对图像自身信息量不足的问题,本文提出了基于参考图像纹理与破损图像自身颜色的修复算法。该算法利用相似参考图像中最优区域填充破损图像区域;同时,根据未破损部分的颜色信息采用颜色迁移与扩展算法使修复区域与未破损区域的色彩保持协调。其实验结果表明,在破损区域较大、色彩纹理复杂的图像修复中,本文算法能够获得较好的效果。

参考文献:

- [1] BERTALMIO M, SAPIRO G, CASELLES V, et al. Image inpainting[C]// Proceedings of the ACM SIGGRAPH 2000. New York: ACM Press, 2000: 417-424.
- [2] CRIMINISI A, PEREZ P, TOYAMA K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1200-1212.
- [3] LEE J, LEE D, PPARK R H. Robust exemplar-based inpainting algorithm using region segmentation[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2012, 58(2): 553-561.
- [4] LIU Y, CASELLES V. Exemplar-based image inpainting using mul-