

基于超像素分割的扫描图像去网算法

张帆, 渠星星, 张偌雅, 李珍珍, 张新红
(河南大学, 开封 475001)

摘要: **目的** 研究一种扫描图像的去网算法, 以去除影响扫描图像质量的半色调网纹或者加网网纹。**方法** 首先基于 SLIC 超像素算法对扫描图像进行分割并对边界进行矢量化, 然后采用线性平滑滤波器和非线性平滑滤波器对图像进行逆半调处理, 得到平滑的背景图像, 最后把矢量边界与平滑背景整合在一起得到去网后的图像。**结果** 在去除网纹的同时有效保留了边界信息, 实验图像的峰值信噪比和结构相似度优于其他算法。**结论** 文中方法可以有效去除网纹, 与其他算法相比具有较好的去网效果。

关键词: 扫描图像; 去网算法; 超像素

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)09-0236-04

Descreening Algorithm of Scanned Images Based on Superpixel Segmentation

ZHANG Fan, QU Xing-xing, ZHANG Ruo-ya, LI Zhen-zhen, ZHANG Xin-hong
(Henan University, Kaifeng 475001, China)

ABSTRACT: The work aims to study a descreening algorithm of scanned image to remove the halftone pattern or the screen pattern which influences the quality of scanned images. Firstly, the scanned image was segmented based on SLIC superpixel algorithm and the boundary region of image was vectored. Then, the smooth background image was got by inverse halftone processing with linear smoothing filter and nonlinear smoothing filter. Finally, the vectored boundary and smooth background were combined together to get the descreened image. The boundary information was effectively retained at the time of descreening. The PSNR and the SSIM of experimental images were superior to other algorithms. The proposed method can effectively remove the screen patterns, and has better descreening performance compared with other algorithms.

KEY WORDS: scanned image; descreening algorithm; superpixels

随着计算机技术和网络技术的发展, 大量的印刷文本被转换为电子文档在网上传播。在印刷工业中, 半色调 (Halftone) 网点印刷技术被广泛使用。半色调技术是利用控制墨点的大小 (调幅加网) 或者墨点的密度 (调频加网) 来表现图像的灰度或者色彩^[1-3]。半色调图像以网点的大小或疏密网点表示连续变化的色调。当把半色调图像扫描转换为电子文本时, 经过扫描仪的扫描放大产生半色调网纹 (Halftone Pattern) 或者加网网纹 (Screen Pattern), 也称为龟纹。这些网纹会影响扫描图像的质量, 因此需要去网纹 (Descreening) 算法进行处理。去网算法一般可以分为 3 类: 空间域方法、频率域方法、频率域与空间

域混合方法^[4-8]。常见的去网算法有局部平均算法、时域高斯滤波器算法、B 样条函数算法等。扫描仪中自带的扫描软件中一般也具有去网功能。但是一些算法在去除网纹后会造成图像模糊, 图像的边缘和细节信息有较多的损失, 难以达到理想的去网效果^[9-10]。文中提出一种基于超像素分割的扫描图像去网算法, 在去除网纹的同时可以有效保留边界信息。

1 基于 SLIC 的图像分割

超像素 (Superpixels) 是近年来快速发展的一种图像处理技术。与像素相比, 超像素更有利于提取图像的局部特征, 准确表达图像的结构信息, 并且能够

收稿日期: 2016-10-15

基金项目: 河南省国际科技合作计划(144300510033); 河南省自然科学基金(162300410032)

作者简介: 张帆(1967—), 男, 博士, 河南大学教授, 主要研究方向为图像处理与模式识别。

降低计算复杂度, 因此目前在图像分割、模式识别等领域中得到了广泛地应用。通常可以把超像素分割算法分为 2 类: 基于图论的算法和基于梯度的算法^[11]。基于图论的算法是把图像中的像素点看作图的节点, 并赋予节点间的边以权值。这样可以把图分割问题转化为能量函数最小化的问题, 从而可以采用分割准则对图进行划分形成超像素。基于梯度的算法是预设一些均匀分布的初始中心, 从这些像素开始聚类, 采用梯度下降算法进行迭代, 直到收敛形成超像素^[12]。

SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) 算法, 是一种基于聚类的超像素分割方法^[13-14]。SLIC 算法利用 CIELAB 颜色空间以及位置坐标空间下的五维特征向量对像素进行聚类, 从而有效地生成大小一致且形状均匀的超像素。SLIC 算法生成的超像素具有较好紧凑性和边缘贴合度。SLIC 分割算法只需设定超像素数量即可开始运行, 运算速度快, 所占存储空间小, 可以加快现有基于像素的算法。SLIC 算法的流程见图 1。

1) 初始化超像素中心点。假设图像像素点有 M 个, 人工设定 K 个初始聚类中心 (超像素种子点)。如果这些初始聚类中心均匀分布。则每个超像素的大小约为 M/K , 那么各个超像素中心之间的距离约为 $S = \sqrt{M/K}$ 。为了避免超像素中心点的位置影响后续的聚类过程 (比如超像素中心点落在图像边界上), 计算超像素中心点 3×3 邻域的梯度, 将超像素中心点移动至梯度值最小的位置, 同时为每一个超像素中心点设定一个独立的标签。

2) 设定相似度衡量标准。为了把每一个像素点聚类于一个超像素中心点, 需要计算每一个像素点与距离最近的超像素中心点的相似度。相似度衡量的标准为:

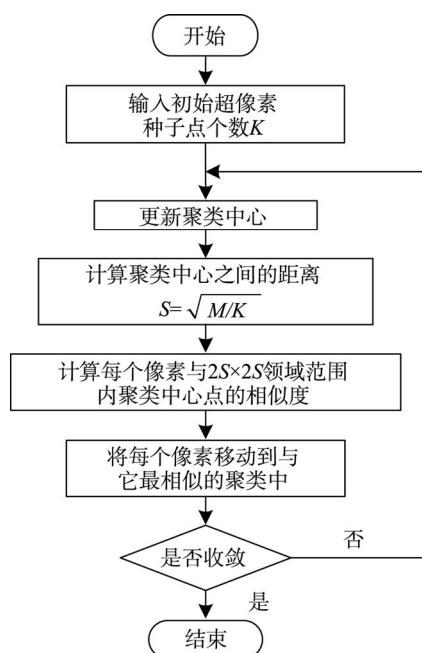


图 1 SLIC 算法流程

Fig.1 Flow chart of SLIC algorithm

$$D_{lab} = \sqrt{(l_k - l_i)^2 + (a_k - a_i)^2 + (b_k - b_i)^2} \quad (1)$$

$$D_{xy} = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2} \quad (2)$$

$$D_i = D_{lab} + \frac{m}{S} D_{xy} \quad (3)$$

式中: D_{lab} 为像素点之间的色彩差异性 (CIELAB 颜色空间距离); D_{xy} 为像素点之间的坐标空间距离; D_i 为颜色空间距离 D_{lab} 距离和坐标空间距离 D_{xy} 距离的加权和, 表示 2 个像素之间的相似度; S 为超像素中心点间的间距; m 为一个常数, 用来平衡 D_{lab} 距离和 D_{xy} 距离在相似度衡量中的作用。文中 m 的取值为 10, D_i 的值越大, 说明 2 个像素之间的相似度越高。

3) 根据相似度公式, 将每个像素点关联于与其最相似的一个超像素中心点区域内, 并将该区域中超像素中心点的标签赋给该像素。为了提高算法的运算速度, 对于每个超像素中心点聚类时, 不是在整个图像中进行搜索, 而是在超像素中心点的 $2S \times 2S$ 邻域范围内搜索, 见图 2。

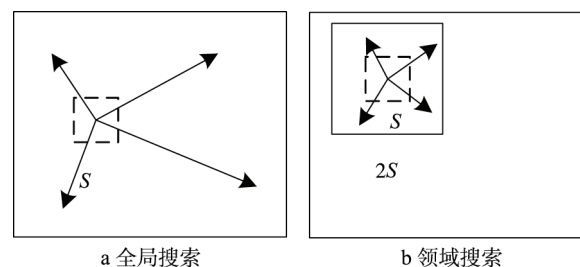


图 2 邻域范围内搜索

Fig.2 Search in neighborhood

4) 在分割出的超像素中重新计算超像素中心点的位置, 并计算与原聚类中心之间的误差。

5) 重复步骤 3) 和步骤 4), 当误差足够小时, 超像素分割完成。

文中采用 SLIC 算法对扫描图像进行分割, 形成超像素块, 见图 3。

2 边界提取与矢量化

文中的目的是使得扫描图像去除网纹, 同时保护图像中的边缘轮廓信息, 因此, 首先应该从扫描图像中提取出边缘轮廓信息。在基于 SLIC 算法对扫描图像进行分割的基础上, 文中采用水平集方法 (Level Set) 跟踪出边界轮廓区域。水平集方法是一种跟踪图像边界的数值技术, 其本质是用高一维曲面的等高线作为目标边界去分割低一维的目标^[15]。

假设图像中的曲线由 $y=f(x)$ 表示, 曲线的隐式表达式为:

$$\phi(x, y) = y - f(x) = 0 \quad (4)$$

给定一个封闭曲线作为初始曲线, 这个曲线可以不断向外或向内以一定的速度沿法线方向进行演化。

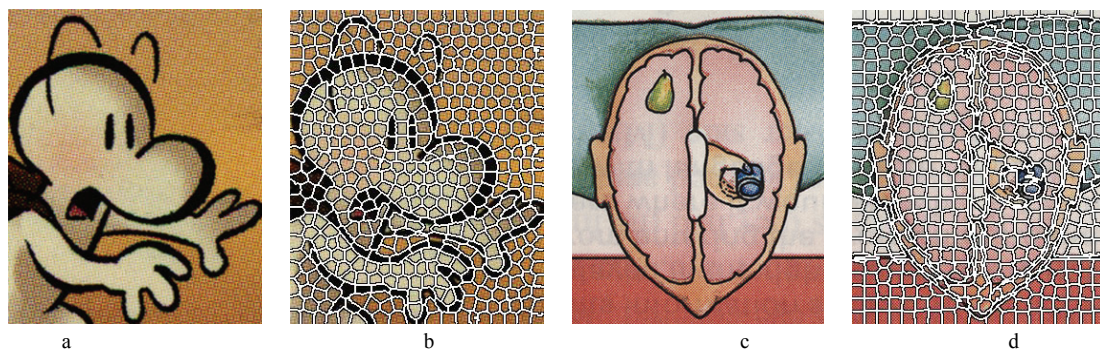


图3 原图及 SLIC 超像素分割图

Fig.3 Original images and the segmented image based on SLIC superpixels.

如果引入时间变量 t , 曲线的演化形成了随时间变化的曲线族。这个曲线族可以被看作是更高一维空间中曲面函数 ϕ 的零水平集。水平集就是曲面函数上函数值相同的点的集合, 而零水平集就是曲面上函数值取为 0 的所有点的集合。通常把随时间变化的水平集函数记为 $\phi(x, y, t)$ 。水平集函数的演化满足如下的偏微分方程:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F |\nabla \phi| \quad (5)$$

式中: $\nabla \phi$ 为水平集函数的梯度; F 为边界的法向速度。

文中采用 CV(Chan-Vese)水平集算法, 收敛阈值设置为 2, 控制水平集函数正则化的曲率项设置为 0.2。超像素块很好地贴合了图像的边缘轮廓, 与超像素算法相结合, 水平集函数可以快速收敛到图像边界。文中希望扫描图像去网后重建为高质量的电子文档, 以适用于高分辨率电子阅读设备, 因此对重建图像的质量有较高要求。基于像素的位图不能自由缩放, 无法满足电子设备对高质量图像的要求, 相比较而言, 矢量图像具有与分辨率无关、易于编辑、存储简单等优点。文中对基于 SLIC 超像素分割和水平集分割提取出的图像边界进行矢量化处理, 修复边缘的锯齿, 让图像边缘更圆滑。基于 SLIC 超像素分割和水平集分割提取出的图像边界及矢量化处理的结果见图 4。

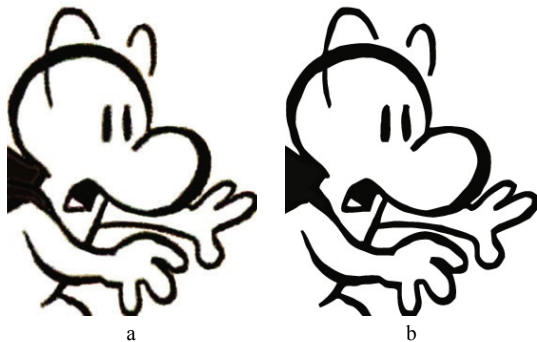


图4 图像边界与矢量化

Fig.4 Image boundary and vectorization

3 图像重构

文中对于扫描图像提取出边缘轮廓后剩余的部分进行逆半调处理, 以形成连续色调图像。文中选取一个 9×9 模板、方差 $\sigma^2=1.4$ 的高斯低通滤波器和一个 3×3 的中值滤波器对输入的半色调图像进行去噪处理, 得到平滑背景 S 。高斯低通滤波器是一个线性滤波器, 而中值滤波器是一个非线性滤波器, 通过 2 个滤波器可以在不模糊边缘的前提下消除噪声。把基于 SLIC 超像素分割和水平集分割提取并经过矢量化处理的图像边界与平滑背景 S 整合在一起得到去除半色调网纹的重构图像, 见图 5。

文中方法与其他方法的对比见图 6。为了定量地把文中方法与其他方法进行对比, 文中分别计算了实验图像的峰值信噪比(PSNR)和结构相似度(SSIM)并进行了比较。峰值信噪比经常用于图像处理对图像质量的评价指标。人眼在观察图像时, 很容易从图像中

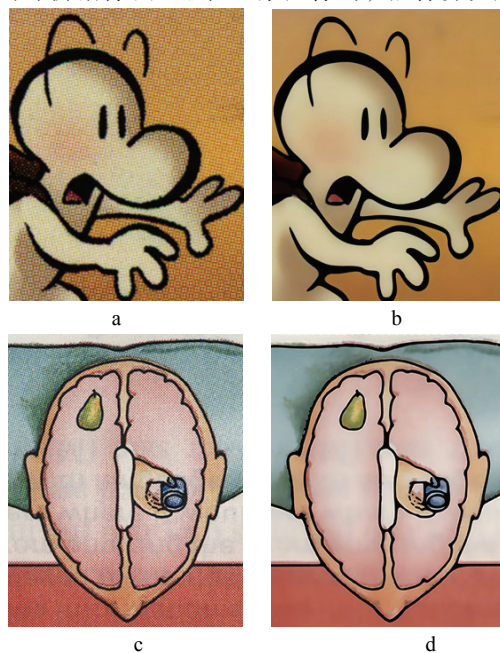


图5 原始图像及重构图像

Fig.5 Original image and reconstructed image

抽取出结构信息而不是图像像素点间的误差,因此结构相似度可以作为检测图像质量的评价指标。表 1 是图 6 中实验结果图像的峰值信噪比和结构相似度的对比。实验结果表明,文中方法的去网效果优于其他算法。

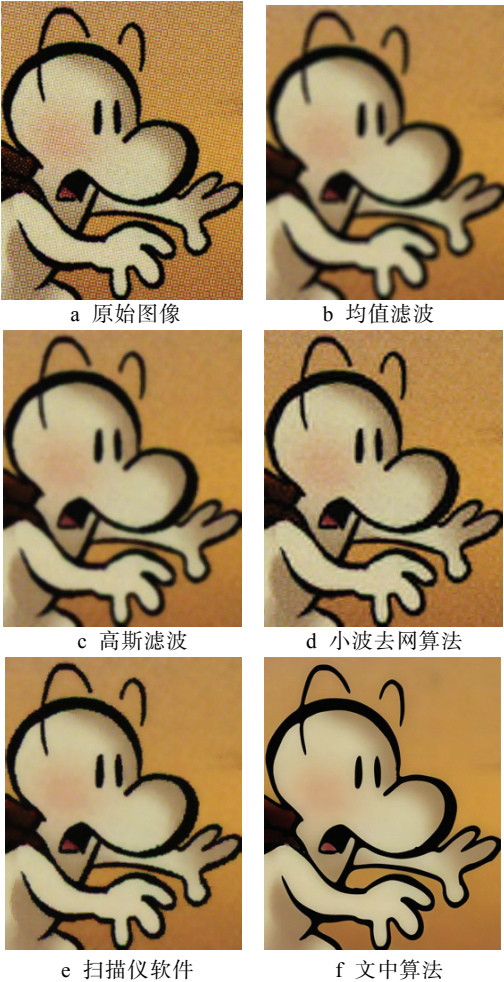


图 6 实验结果对比
Fig.6 Comparison of experimental results

表 1 实验结果对比
Tab.1 Comparison of experimental results

	PSNR	SSIM
均值滤波	26.7929	0.2482
高斯滤波	28.5124	0.2845
小波去网算法	28.6917	0.3027
扫描仪软件	29.1943	0.3074
文中算法	30.0162	0.3228

4 结语

超像素分割算法作为计算机视觉领域的一项重要工具,降低了算法复杂度,提高了图像处理效率。文中提出的基于 SLIC 超像素分割的扫描图像去网算法,去除半色调网纹的同时真实地还原了原始图像的边缘轮廓,具有较好的去网效果。

参考文献:

[1] LIU Y F, GUO J M. Dot-Diffused Halftoning With

Improved Homogeneity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(11): 4581—4591.

[2] SON C H, LEE K W, CHOO H. Inverse Color to Black-and-white Halftone Conversion Via Dictionary Learning and Color Mapping[J]. Information Sciences, 2015, 299: 1—19.

[3] LIAO J R. Theoretical Bounds of Direct Binary Search Halftoning[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(11): 3478—3487.

[4] GUO J M, PRASETYO H. Content-based Image Retrieval Using Features Extracted from Halftoning-based Block Truncation Coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(3): 1010—1024.

[5] KOPF J, LISCHINSKI D. Digital Reconstruction of Halftoned Color Comics[J]. Acm Transactions on Graphics, 2012, 31(6): 439—445.

[6] FUNG Y H, CHAN Y H. Blue Noise Digital Color Halftoning with Multiscale Error Diffusion[J]. Journal of Electronic Imaging, 2014, 23(6): 063013.

[7] 刘士伟, 卢鹏. 基于高斯滤波的扫描图像去网[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 108—111.

LIU Shi-wei, LU Peng. Scanned Image Descreening Based on Gaussian Filter[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 108—111.

[8] 张茜, 刘真. 基于 FIR 数字滤波器的扫描图像去网[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 114—117.

ZHANG Xi, LIU Zhen. Scanned-image Descreening Based on FIR Digital Filter[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 114—117.

[9] 周颖梅, 姜中敏, 郑亮. 基于噪声功率谱印刷图像质量分析[J]. 包装工程, 2014, 35(21): 91—95.

ZHOU Ying-mei, JIANG Zhong-min, ZHENG Liang. Image Analysis Based on Noise Power Spectrum[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(21): 91—95.

[10] 渠星星, 张帆, 刘斌, 等. 图像逆半调及其质量评价综述[J]. 计算机科学, 2016, 43(6): 110—114.

QU Xing-xing, ZHANG Fan, LIU Bin, et al. Survey on Image Inverse Halftoning and its Quality Evaluation[J]. Computer Science, 2016, 43(6): 110—114.

[11] 宋熙煜, 周利莉, 李中国, 等. 图像分割中的超像素方法研究综述[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(5): 599—608.

SONG Xi-yu, ZHOU Li-li, LI Zhong-guo, et al. Review on Superpixel Methods in Image Segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(5): 599—608.

[12] 王春瑶, 陈俊周, 李炜. 超像素分割算法研究综述[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(1): 6—12.

WANG Chun-yao, CHEN Jun-zhou, LI Wei. Review on Superpixel Segmentation Algorithms[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(1): 6—12.

[13] ACHANTA R, SHAJI A, SMITH K, et al. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2012, 34(11): 2274—2282.

[14] CHU J, MIN H, LIU L, et al. A Novel Computer Aided Breast Mass Detection Scheme Based on Morphological Enhancement And SLIC Superpixel Segmentation[J]. Medical Physics, 2015, 42(7): 3859—3869.

[15] MIN H, JIA W, WANG X F, et al. An Intensity-Texture Model Based Level Set Method for Image Segmentation[J]. Pattern Recognition, 2015, 48(4): 1547—1562.