基于 FIR 数字滤波器的扫描图像去网

张 茜，刘 真
（上海理工大学，上海 200093）

摘要：针对扫描图像，提出了一种基于 FIR 数字低通滤波器的去网方法，该方法是将图像从空间域转换到频率域，对频率域图像进行 FIR 低通滤波处理，结合图像评价指标 PSNR，选择最优的滤波器参数。用该去网算法与常用的去网算法进行了比较，结果表明，该去网算法在达到去网效果的同时能够更好地保留边缘信息。

关键词：半色调去网；FIR 数字低通滤波；PSNR
中图分类号：TN713⁺.7；TN911.73 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2013)21-0114-04

Scanned-image Descreening Based on FIR Digital Filter

ZHANG Xi, *LIU Zhen*
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A descreening method for scanned image based on FIR digital low pass filter was put forward. The image was converted from the spatial domain to the frequency domain and the frequency domain was processed by FIR low pass filter. The optimal filter parameters were selected combined with image evaluation PSNR. The descreening algorithm was compared with other commonly used algorithms. The result showed that the algorithm has good descreening effect and can better maintain the edge information at the same time.

Key words: halftone image descreening; FIR low pass filter; PSNR

随着电子出版行业的迅速发展，有时需要将大量印刷文本扫描转换成电子文本。印刷文本通常包含文字部分和半色调图像部分，半色调图像以网点的形式表示连续变化的灰度，网点群具有周期性结构，当对半色调图像进行扫描再印刷时，就会因撞网而产生周期性的噪声成分[1-2]，称为龟纹。为去除网纹，一般扫描仪中都带有去网功能，但通常效果不是很理想，网纹不能有效去除，且处理后的图像非常模糊，因此改进半色调图像去网方法，得到去网效果好并且清晰的电子稿图像是非常有必要的。

半色调噪声主要集中在图像的高频区域，而图像能量主要集中在低频区域[3]，通过低通滤波模糊半色调图像达到去网效果是常用的方法，而常见的去网算法有局部平均法、超限像素平滑法、选择式掩模平滑法、时域高斯滤波器法、n 次 B 样条函数等[4-5]，但是这些去网方法在去除了大部分的半色调噪声的同时，也破坏了图像的边缘和细节信息，并不能达到理想的去网效果。基于此，笔者提出了一种基于 FIR 数字滤波的去网算法，FIR 数字滤波器可以通过调整参数达到去网效果和保留边缘信息间的平衡，具有其他滤波器不具有的灵活性与选择性。

1 基于 FIR 数字滤波的去网算法流程及数据分析

基于 FIR 数字滤波的去网算法实现由 3 部分组成，首先对图像进行傅里叶变换将图像从空间域转换到频率域，然后对转换后的频率域图像进行 FIR 低通滤波处理，借助 FIR 滤波器的选频功能，使图像低频通过，根据图像的评价参数峰值信噪比，选择最优的滤波器系数。算法流程见图 1。

1.1 傅里叶变换

由于设计的 FIR 低通滤波器是对频率域图像进行处理，因此首先需要把图像由空间域转换到频率域，这个过程的实现是用 MATLAB 对图像进行傅里叶变换得到图像的频谱图，然后对转换后的频域图像进行坐标变换，将图像的低频部分由频谱图的四角移

收稿日期：2013-08-08
作者简介：张茜(1990-)，女，山东人，上海理工大学硕士生，主攻数字图像处理与色彩。

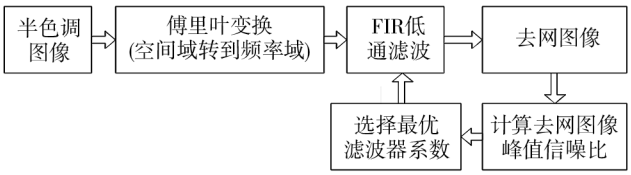
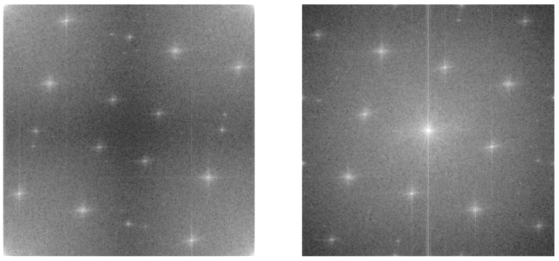


图 1　去网算法流程

Fig. 1 Descreening algorithm flowchart

到频谱图的中心。傅里叶变换后的频谱图及坐标变换后的频谱图见图 2。



a　低频在四周　　b　低频在中间

图 2　频谱图

Fig. 2 Spectrogram

通过频谱图可对图像进行初步分析，坐标移动后，频谱图的中心亮点即为扫描图像的主体部分，而四周的亮点则为周期噪声，也就是扫描图像的干扰网点，因此，在进行低通滤波时，有选择的将周围高频噪声部分滤掉就可以达到去除网点的效果。

1.2　FIR 滤波器的设计

FIR 滤波器单位脉冲响应 $f[n]$ 只有有限个数据点。Z 阶或者长度为 Z 的输出对应于输入时间序列 $x[n]$ 的关系由一种有限卷积数量形式给出[6]，具体形式见式(1)：

$$y(n)=x[n]*f[n]=\sum_{k=0}^{L-1}x[k]f[n-k] \tag{1}$$

其中从 $f[0]\neq 0$ 一直到 $f[L-1]\neq 0$ 均是滤波器的 Z 阶系数。

FIR 滤波器的基本结构可以理解为一个分节的延时线，把每一节的输出加权累加，可得到滤波器的输出[7]。FIR 滤波器设计的基本思想是，首先设计一个理想滤波器，通常它的冲激响应序列是无限长和非因果的，然后通过加窗，将理想的冲激响应序列变成有限长因果序列，具体设计步骤如下所述。

1）假设理想滤波器的频率响应函数为 $H_d(e^{j\omega})$，则其对应的单位脉冲响应序列为：

$$h_d(n)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi}H_d(e^{j\omega})e^{j\omega}d\omega \tag{2}$$

2）用有限长单位脉冲响应序列 $h(n)$ 逼近 $H_d(n)$，由于 $H_d(n)$ 是无限长非因果序列，所以用窗函数 $\omega(n)$ 将 $H_d(n)$ 截断，并进行加权处理，得到：

$$h(n)=H_d(n)\omega(n) \tag{3}$$

3）$h(n)$ 就作为实际设计的 FIR 数字滤波器的单位脉冲响应序列，其频率响应函数 $H_d(e^{j\omega})$ 为：

$$H_d(e^{j\omega})=\sum_{n=0}^{N-1}h(n)e^{j\omega n} \tag{4}$$

式中，N 为所选窗函数 $\omega(n)$ 的长度。

4）如果要求线性相位特性，则 $h(n)$ 还必须满足

$$h(n)=\pm h(N-1-n) \tag{5}$$

在进行低通滤波时，本算法选用了一个基于 Kaiser 窗的二维可分离的 FIR 低通滤波器。FIR 低通滤波器的窗函数种类多达几十种，例如 Hanning 窗、Hanming 窗、Blackman 窗等，这些窗函数能够达到较好的旁瓣抑制，但是其主瓣窄、过滤性不强，并且只能被动的接受相应的频率响应；而矩形窗的主瓣宽度很好却不能达到优良的旁瓣衰减。选择 Kaiser 窗是因为该窗函数可以自由调节 β 值，从而调节零阶贝塞尔函数，达到对主瓣宽度和旁瓣衰减的比例进行自由设置的目的，正是由于它明确了主旁瓣的交换关系，才具有不同于其他窗函数的灵活性与选择性。

Kaiser 窗函数定义为：

$$\omega_k(n)=\frac{I_0\left[\beta\sqrt{\left(\frac{M}{2}\right)^2-\left(n-\frac{M}{2}\right)^2}\right]}{I_0\left[\beta\frac{M}{2}\right]},0\leqslant n\leqslant M \tag{6}$$

式中，$I_0(x)$ 是零阶第一类修正贝塞尔函数，可以用幂级数展开式来生成

$$I_0(x)=1+\sum_{k=1}^{\infty}\left[\frac{\left(\frac{x}{2}\right)^k}{k!}\right]^2 \tag{7}$$

Kaiser 窗函数有 2 个参数，滤波器的阶 M 和控制窗函数形状的参数 β，通过调整这 2 个参数来调整主瓣宽度和旁瓣幅度之间的平衡。宽度为 $M+1$ 和不同 β 值的 Kaiser 窗见图 3，随着 β 增大 Kaiser 窗逐渐向中心收缩。

由于滤波器参数不同，处理后图像的去网效果和保留边缘信息的能力不同，运用控制变量法选择不同的滤波器参数对加网图像进行 FIR 滤波处理，结合图像峰值信噪比(PSNR)对处理后的图像进行评价，进而选择最优的滤波器系数。

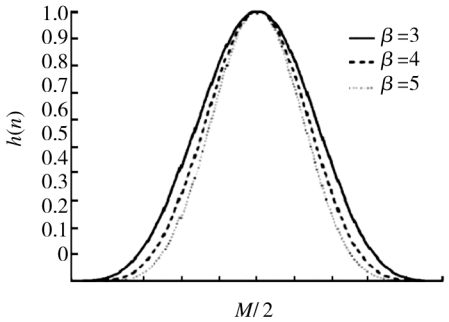


图 3 不同 β 值的宽度为 $M+1$ 的 Kaiser 窗的包络形状

Fig. 3 Shapes of the envelope of Kaiser window with width of $M+1$ and different β

峰值信噪比是一个表示信号最大可能功率和影响它的表示精度的破坏性噪声功率的比值的工程术语。经过处理后图像峰值信噪比越大,说明图像与原始图像越接近,即处理质量越好;反之,则越差。

假设原图像为 $g(x,y)$,处理后图像为 $f(x,y)$,x 和 y 的取值范围均从 0 到 $N-1$,于是新旧图像的均方误差为:

$$e^2(x,y)=\frac{1}{N^2}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}[f(x,y)-g(x,y)]^2 \tag{8}$$

相应的均方根信噪比为:

$$(\mathrm{SNR})_{\mathrm{rms}}=\sqrt{\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}\frac{f(x,y)^2}{\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}e(x,y)^2}} \tag{9}$$

峰值信噪比为:

$$\mathrm{PSNR}=10\lg\frac{255^2NN}{\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}[f(x,y)-g(x,y)]^2} \tag{10}$$

选择不同的滤波参数,得到图像信噪比的值见表 1。

表 1 不同 M,β 值对应图像的 PSNR 值

Tab. 1 Image PSNR with different M and β

M	β								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	17.751	17.150	16.780	16.594	16.510	16.474	16.459	16.452	16.450
4	19.452	19.211	18.872	18.412	17.844	17.211	16.541	15.857	15.180
5	18.479	18.405	18.293	18.157	18.006	17.850	17.695	17.539	17.393
6	19.872	19.744	19.632	19.534	19.433	19.326	19.205	19.066	18.905
7	18.801	18.677	18.582	18.516	18.453	18.395	18.337	18.276	18.212
8	19.899	20.028	19.962	19.874	19.797	19.731	19.672	19.615	19.555
9	18.810	18.890	18.833	18.757	18.689	18.632	18.585	18.544	18.506
10	19.177	19.748	19.977	20.044	20.033	19.991	19.939	19.885	19.833
11	18.548	18.776	18.875	18.893	18.869	18.827	18.780	18.733	18.690
12	18.839	19.262	19.613	19.833	19.965	20.032	20.053	20.046	20.023
13	18.529	18.649	18.755	18.835	18.880	18.894	18.887	18.867	18.839
14	18.801	18.980	19.231	19.493	19.687	19.831	19.933	20.000	20.038
15	18.472	18.569	18.657	18.732	18.797	18.845	18.877	18.892	18.895
16	18.590	18.787	18.973	19.171	19.369	19.557	19.690	19.800	19.887

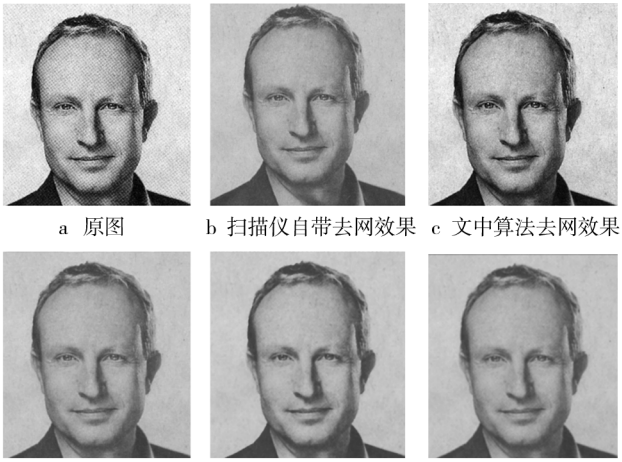
考虑到滤波器阶数越大,处理速度越慢的问题,在选择滤波器阶数时要尽可能小。通过表 1 中的数据可以看出当 $M=10$,β 为 6 或 7 时,图像的 PSNR 值基本达到第 1 次最大值,即滤波器参数为 $M=10$,β 值为 6 ~ 7 时,加网线数在 60 ~ 130 间的海报、报纸等印刷品能够达到较好的去网效果。

2 算法评价

选择高斯滤波、选择式掩模平滑、局部平均去网算法用 MATLAB 进行实现,结合主观目视效果与定量指标图像清晰度对文中提出的算法进行评价。不同去网算法对应的目视效果见图 4。

由目视效果来看,与传统的去网算法相比,笔者提出的基于 FIR 数字滤波器的算法去网效果是比较明显的。它较大程度地去除了斑点噪声,突出了原始图像的有用信息,同时又较大程度地保留了图像的边缘细节和纹理信息。

图像清晰度主要表现在图像的边缘上,而梯度值能较好地描述图像的边缘信息,所以可以采用图像梯度值来对图像清晰度进行定义。图像的边缘信息可以表示为:



a 原图　b 扫描仪自带去网效果　c 文中算法去网效果

d 高斯滤波　e 选择式掩模平滑　f 局部平均法

图 4　不同去网算法对应的去网效果

Fig. 4 Descreening effects with different algorithms

$$\nabla f(x,y)=[f(x+1,y)+f(x-1,y)+f(x,y+1)+f(x,y-1)]-4f(x,y) \tag{11}$$

可得评价函数如下：

$$L_K=\sum_{(x,y)\in I}\left|\nabla f(x,y)\right| \quad 其中\ k=1,2,\cdots,n \tag{12}$$

对于一幅模糊图像，在每一像素附近的灰度值变换小，则 L_K 较小；对于清晰图像，图像的轮廓鲜明，L_K 的值较大。即可用图像的清晰度来评价保留图像边缘信息的能力。

利用 MATLAB 计算图像清晰度指标，对其进行客观评价，计算得到的清晰度值见表 2。

表 2　清晰度比较

Tab. 2 Comparison of definition

去网算法	FIR 滤波算法	高斯滤波	局部平均法	中值滤波
清晰度	6 173 274	2 038 410	1 959 337	1 952 595

从表 2 中的数据可以清晰地看出，笔者提出的基于 FIR 低通滤波的去网算法清晰度明显高于另外 3 种去网算法，即文中去网算法能够更好地保留图像的边缘细节信息。

3　结语

扫描图像去网是实现印刷原稿数字化关键，笔者针对扫描图像提出了一种基于 FIR 数字低通滤波器的去网方法，运用控制变量法选择不同的 FIR 滤波器参数对扫描图像进行处理，结合 PSNR 对处理后的图像进行比较，得到了较为理想的 FIR 滤波器参数。通过与已有的几种去网算法和扫描仪自带的去网算法进行比较，结果表明，文中提出的去网算法要明显优于已有的去网算法，不仅去网效果明显而且具有较强的保留图像边缘细节的能力。

参考文献：

[1] 孙寅，杨松，瞿茹芸. 扫描半色调图像所产生龟纹的抑制[J]. 包装工程，2007，28(10)：14-16.
SUN Yin, YANG Song, QU Ru-yun. Suppression of Moire Patterns in Scanned Halftone Images[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10): 14-16.

[2] SHEN Mei-yin, KUO C C J. A Robust Nonlinear Filtering Approach to Inverse Halftoning[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2001, 12(2): 84-95.

[3] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 第 2 版. 北京：电子工业出版社，2009.
GONZALEZ R C. Digital Image Processing[M]. 2nd Edition. Beijing: Electronics Industry Press, 2009.

[4] 罗彬. 半色调去网方法的研究[D]. 西安：西安理工大学，2007.
LUO Bin. Study on Halftone Image Descreening[D]. Xi'an: Xi'an University of Techology, 2007.

[5] 刘仕伟，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 Engeneering, 2012, 33(13): 108-111.

[6] 赵颖，刘祖深，李胜寅. 基于 MATLAB 的 FIR 数字滤波器的方法设计[J]. 国外电子测量技术，2012，31(10)：35-37.
ZHAO Ying, LIU Zu-shen, LI Sheng-yin. The Design of Method for Digital Filter Based on MATLAB[J]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2012, 31(10): 35-37.

[7] 陈劲松，刘艳伟. 基于窗函数的 FIR 数字滤波器设计[J]. 制造业自动化，2012，33(1)：49-52.
CHEN Jing-song, LIU Yan-wei. Based on the Window Function of the FIR Digital Filter Design[J]. Manufacturing Automation. 2012, 33(1): 49-52.

[8] 陈丽娜，刘真. 基于半色调特性的图像质量评价方法研究[J]. 包装工程，2012，33(17)：98-101.
CHEN Li-na, LIU Zhen. Study of Quality Assessment Based on Halftone Characteristics[J]. Packaging Engeneering, 2012, 33(17): 98-101.

[9] THOMAS D K, NIRANJAN D V. A Fast, High-quality Inverse Halftoning Algorithm for Error Diffused Halftones[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1583-1592.