

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.04.017

# 基于自适应中值滤波的逆半调算法

孙东伟, 朱文球, 文志强

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 针对误差分散半调图像, 提出了一种基于自适应中值滤波的逆半调算法。该算法是在传统低通滤波逆半调算法基础上进行改进, 先用一个大小为  $11 \times 11$ 、方差为 1.3 的高斯低通滤波器对半调图像 A 进行平滑处理, 利用自适应中值滤波器得到图像 B, 在平滑非脉冲噪声的同时试图保留细节; 然后通过带通滤波器得到图像 B 的边缘, 并对边缘进行去噪增强处理, 得到边缘图像 F; 最后把处理后的边缘图像 F 以一定的增益倍数与图像 B 进行线性相加, 得到最终逆半调图像。试验结果表明, 该算法在进行图像平滑的同时有效地保留了图像细节, 处理后的图像的峰值信噪比比传统低通滤波方法高, 图像的信息熵也有了提高。

**关键词:** 误差分散; 逆半调; 自适应中值; 滤波

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)04-0085-04

## Inverse Halftoning Algorithm Based on Adaptive Median Filter

Sun Dongwei, Zhu Wenqiu, Wen Zhiqiang

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** In view of error diffusion halftone image, an inverse halftoning algorithm based on adaptive median filter is proposed, which improved from the traditional low-pass filtering inverse halftoning algorithm. Firstly, the algorithm smoothes the halftone image A with a Gaussian low-pass filter whose size is  $11 \times 11$  and variance is 1.3, obtains the image B by adaptive median filter and smoothes non-impulse noise while trying to preserve the details. Secondly, gets the edge of image B by band-pass filter and the edge image F by de-noising and enhancing the edge of image B. Finally, obtains the final inverse halftoning image by integrating F and B in a certain gain multiple. The experimental results show that the algorithm can not only make the image smoothly but also retain the details of the image, and the PSNR and IN of the processed image is better than the traditional low-pass filtering.

**Keywords:** error diffusion; inverse halftoning; filtering; adaptive median

## 0 引言

半调是一种将连续色调图像转化为二值图像, 使其看起来像连续图像的技术, 在书籍、杂志、打印输出等中经常被使用。从空域角度看, 半调是对连续图像灰度进行量化的过程, 输入

的连续色调图像通常有 256 个灰度级, 经过半调处理后的图像被量化为 2 个灰度级; 从频域角度看, 半调实际上是对连续色调图像引入量化噪声的过程, 使输出图像值为二值数值。逆半调是半调的逆过程, 是半调图像重构成连续色调图像的过程。逆半调技术的产生是为了满足某些图像处理中对连续图像的需求, 在传

收稿日期: 2013-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170102), 湖南省教育厅科研基金资助项目(12A039)

作者简介: 孙东伟(1988-), 男, 河北石家庄人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为数字图像处理,

E-mail: 360822722@qq.com

真、纸质图书数字化应用中,人们只能获得半色调图像,如需对这些图像进行压缩、渲染等处理,就必须先对半调图像进行逆半调处理。

目前,较为成熟的逆半调方法主要分为3大类:机器学习法<sup>[1-2]</sup>、估值法<sup>[3-4]</sup>和滤波法<sup>[5-6]</sup>。机器学习法虽然没有局限于只能运用于某种半调方法,但是该方法需要大量的样本集去训练,启动时间较长,而且边缘信息损失严重;估值方法是基于迭代,而迭代需要以误差分散半调核为先验知识,其运算量大;滤波法的缺点是保持图像细节的能力较差,但其算法复杂度较低。

在滤波逆半调算法中,低通滤波逆半调是一种简便易实施的逆半调算法。传统的低通滤波逆半调算法只注重图像的平滑,在图像的细节恢复方面存在较大的不足,而自适应滤波可以处理具有更大概率的脉冲噪声,还能减少诸如物体边缘细化或粗化等失真现象。因此,本文提出了将自适应中值滤波应用于图像逆半调中,该算法可在平滑图像的同时尽可能多地保留图像细节。

## 1 传统低通滤波算法

低通滤波算法<sup>[7]</sup>就是用低通滤波器将半调图中的噪声去除,其关键是滤波器的选取。传统低通滤波法分为4个阶段:

第一阶段 对半调图像A进行去噪处理。依次选取一个线性滤波器和一个非线性滤波器对半调图像A进行去噪处理,得到图像B。该阶段选取的线性滤波器为 $9 \times 9$ 、方差为1.4的高斯低通滤波器,而非线性滤波器为 $3 \times 3$ 的中值滤波器。

第二阶段 对图像B进行边缘提取。引入一个 $13 \times 13$ 的带通滤波器估计图像B的梯度。带通滤波器是通过2个 $7 \times 7$ 的高斯滤波器实现,其方差分别为 $\sigma^2=1.0$ 和 $\sigma^2=0.5$ 。其分别对图像B进行处理后,得到图像C和图像D,再将2幅图像相减,得到差值图像E,该图像就是提取图像B的边缘图像。

第三阶段 对图像E进行处理。去除边缘信息中的噪声点,并增强图像边缘,得到边缘图像F。

第四阶段 计算得到逆半调图像。将边缘图像F以一定的倍数与图像B进行线性相加,得到逆半调图像。

## 2 算法设计

### 2.1 自适应中值滤波器构造

用中值滤波器处理图像时,如果脉冲噪声的空

间密度不大,其处理图像的效果较好;但如果脉冲噪声的概率较大,其处理图像的效果就不那么理想。因此,本文提出了用自适应滤波器<sup>[8]</sup>对图像进行处理。自适应中值滤波器在平滑非脉冲噪声时,试图保持图像的细节,这是传统的中值滤波器所做不到的。该滤波器的工作区域限制在一个以点 $(x, y)$ 为中心的矩形区域 $S_{xy}$ 内,滤波处理时还可以根据某些条件改变 $S_{xy}$ 的尺寸,滤波器的输出值将替换原像素点 $(x, y)$ 值。

假设 $Z_{\min}$ 为 $S_{xy}$ 中的最小灰度值, $Z_{\max}$ 为 $S_{xy}$ 中的最大灰度值, $Z_{\text{med}}$ 为 $S_{xy}$ 中的灰度中值, $Z_{xy}$ 为像素点 $(x, y)$ 处的灰度值, $S$ 为 $S_{xy}$ 的当前尺寸, $S_{\max}$ 为 $S_{xy}$ 允许的最大尺寸。自适应中值滤波器是通过2个进程来实现,即进程A和进程B。

进程A:

$$\begin{aligned} A_1 &= Z_{\text{med}} - Z_{\min}, \\ A_2 &= Z_{\text{med}} - Z_{\max}. \end{aligned} \quad (1)$$

如果 $A_1 > 0$ 且 $A_2 < 0$ ,则转到进程B,否则增大窗口 $S_{xy}$ 的尺寸 $S$ ,重新计算该窗口的3个值 $Z_{\min}$ , $Z_{\max}$ , $Z_{\text{med}}$ ;如果窗口 $S_{xy}$ 的 $S \leq S_{\max}$ ,则重复进程A的操作,否则输出 $Z_{\text{med}}$ 。

进程B:

$$\begin{aligned} B_1 &= Z_{xy} - Z_{\min}, \\ B_2 &= Z_{xy} - Z_{\max}. \end{aligned} \quad (2)$$

如果 $B_1 > 0$ 且 $B_2 < 0$ ,则输出 $Z_{xy}$ ,否则输出 $Z_{\text{med}}$ 。

### 2.2 算法流程

自适应中值滤波器的算法流程如图1所示。

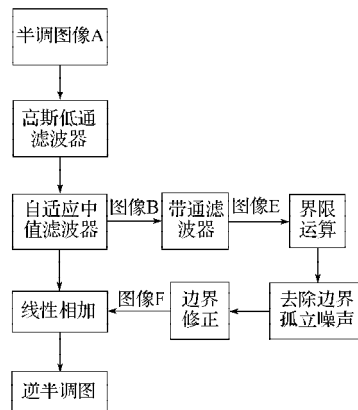


图1 算法流程图

Fig. 1 The algorithm flowchart

1) 利用大小为 $11 \times 11$ 、方差为1.3的高斯低通滤波器对半调图像A进行平滑处理,再利用自适应中值滤波对平滑后的图像进行处理,得到图像B。其中,自适应中值滤波器的窗口初始尺寸为 $3 \times 3$ ,窗口最大值 $S_{\max}$ 设为 $7 \times 7$ 。

2) 对图像B进行边缘提取。同传统低通滤波法

一样,引入一个  $13 \times 13$  的带通滤波器来估计图像 B 的梯度。该带通滤波是由 2 个  $7 \times 7$  的高斯滤波器实现,其方差分别为  $\delta^2=1.0$  和  $\delta^2=0.5$ ,对图像 B 进行处理后,得到图像 C 和图像 D,计算两幅图像的差值图像 E,即为图像 B 的边缘图像 E。

3) 对边缘图像 E 做进一步处理,以得到更准确的边界。

界限运算。用界限函数  $T$  对图像 E 进行界限运算,得到边缘映像图  $E_1$ , 即

$$E_1(i, j) = \begin{cases} 1, \text{if } |E(i, j)| > t, t \in \{0, 1, 2, 3\}; \\ 0, \text{else.} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $E(i, j)$  为图像 E 在  $(i, j)$  处的像素值;  $t$  在试验中取值为 1。

去除边缘孤立噪声点。边界映像图  $E_1$  中可能会存在一些孤立的噪声点,本文根据噪声点的孤立性将其剔除。对于图  $E_1$  中的每一个像素点,以其为中心的  $5 \times 5$  区域,统计像素值为 1 的像素点个数  $n$ ,再去掉边缘孤立噪声点,得到边界映像  $E_2$ , 即

$$E_2(i, j) = \begin{cases} 1, n \geq 13; \\ 0, \text{else.} \end{cases} \quad (4)$$

边缘修正。通过式 (3) 和式 (4) 可知,图  $E_1$  所映像的不一定都是边缘,需要用  $E_1$  与  $E_2$  相与得到修正后的边缘图像 F。

4) 图像线性相加。将图像 B 与图像 F 以一定的方式进行线性相加, 即

$$G(i, j) = B(i, j) + g \times F(i, j), \quad (5)$$




式中,  $g$  为边界增益倍数,  $g=7$ 。

### 3 仿真试验

将  $256 \times 256$  的 lena 灰度图像作为素材, 分别用 6 种误差分散核对 lena 图像进行半调处理, 得到其相应的半调图, 再对 6 幅半调图分别进行传统的低通滤波逆半调和基于自适应中值滤波的逆半调处理, 仿真试验结果见表 1。

表 1 算法对比试验结果

Table 1 The experimental results for the algorithms comparison

半调图	低通逆半调图	本文算法
		
Jarvis半调核		

续表

半调图	低通逆半调图	本文算法
		
Burkers半调核		
		
Floyd-Steinberg半调核		
		
Sierra半调核		
		
Stevenson半调核		
		
Stucki半调核		

由表 1 可知, 利用本文算法对 6 幅半调图像进行处理, 其逆半调图像在细节方面明显优于利用传统低通滤波算法所得图像; 而经 Sierra 半调核处理的半调图像有明显的条形纹理, 经本算法处理后, 所得逆半调图像的平滑度明显降低, 但平滑条形纹理效果不太理想。

为了能更加客观地对图像效果进行评价, 本文采用图像的峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR) 和信息熵 (information entropy, IE)<sup>[9]</sup>。图像的峰值信噪比为

$$\eta_{\text{PSNR}} = 10 \times \lg \frac{255^2}{\delta_{\text{MSE}}}, \quad (6)$$

式中,  $\varepsilon_{\text{MSE}}$  为均方误差, 即

$$\varepsilon_{\text{MSE}} = \frac{1}{M \times N} \sum_{0 \leq i < M} \sum_{0 \leq j < N} (f_{ij} - f'_{ij})^2,$$

其中,  $M, N$  分别为图像的长和宽,  $f_{ij}$  为原始图像的像素值,  $f'_{ij}$  为降质后的图像像素值。

图像的信息熵可以反映图像信息的丰富程度, 即熵的大小反映了图像携带信息的多少, 因此, 通过图像的信息熵可对比图像间的细节表现能力, 其表达式为

$$\sigma_{\text{IE}} = -\sum_{g=0}^{L-1} p(g) \ln p(g),$$

式中:  $L$  是图像总的灰度级数;

$p(g)$  是灰度值  $g$  的像素数与图像总像素比值, 反映了图像中灰度值  $g$  的像素的概率分布情况。

经逆半调处理后的图像峰值信噪比和信息熵如表 2 所示。从表中可以看出, 经本文算法处理后的逆半调图像的信息熵都比经传统低通滤波算法处理后的高, 这说明了本算法能保留更多的图像的细节; 除了 Sierra 半调图, 其它经本算法处理后的逆半调图像的峰值信噪比都经传统低通滤波算法处理后的高, 这说明了本算法处理有条形纹理的图像不理想。

表 2 试验结果评价表

Table 2 The evaluation of experimental results

半调核	逆半调方法	评价指标	
		PSNR	IE
Jarvis	传统低通滤波	25.593 027	7.533 800
	本文算法	26.179 380	7.564 378
Burkers	传统低通滤波	25.895 880	7.499 232
	本文算法	26.271 236	7.510 407
Floyd-Steinberg	传统低通滤波	25.550 488	7.472 716
	本文算法	26.132 303	7.504 146
Sierra	传统低通滤波	25.383 695	7.570 100
	本文算法	24.896 272	7.596 440
Stevenson	传统低通滤波	25.030 371	7.608 222
	本文算法	25.833 257	7.648 407
Stucki	传统低通滤波	25.619 124	7.516 430
	本文算法	26.199 174	7.546 895

## 4 结语

为了使半调图像经逆半调处理后能保留更多的图像的细节, 本文提出了基于自适应中值滤波的逆半调算法。试验结果表明, 所提出的算法在对误差分散类半调图像进行逆半调处理时, 能较好地保留图像细节, 且得到的逆半调图的峰值信噪比和信息熵值也有了明显的提高。但对于有明显条形纹理的

半调图像, 本算法处理效果较差, 因此, 本算法在图像平滑方面还有所欠缺, 这是下一阶段需要解决的问题。

## 参考文献:

- [1] 孔月萍, 曾平. 模式识别与 LUT 相结合的误差分散类逆半调方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(增刊 3): 177-181.  
Kong Yueping, Zeng Ping. Inverse Halftoning for Error Diffusion Based on Pattern Recognition and Look-Up Table [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(S3): 177-181.
- [2] 孔月萍, 曾平, 何波, 等. LUT 与 Elman 网络相结合的图像逆半调算法[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(11): 1988-1991.  
Kong Yueping, Zeng Ping, He Bo, et al. Inverse Halftoning Algorithm Based on Look Up Table and Elman Network[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(11): 1988-1991.
- [3] Stevenson R L. Inverse Halftoning Via MAP Estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(4): 574-583.
- [4] Wong P W. Inverse Halftoning and Kernel Estimation for Error Diffusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(4): 486-498.
- [5] Xiong Z, Orchard M T, Ranchandran K. Inverse Halftoning Using Wavelets[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(10): 1479-1483.
- [6] Shen Meiyin, Kuo C C J. A Robust Nonlinear Filtering Approach to Inverse Halftoning[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2001, 12(1): 84-95.
- [7] Kite T D, Venkata N D, Evans B L, et al. A Fast, High-Quality Inverse Halftoning Algorithm for Error Diffused Halftones[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1583-1592.
- [8] Gonzales R C, Woods R E. Digital Image Processing[M]. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007: 209-210.
- [9] 黄君. 图像质量评价的研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.  
Huang Jun. The Research on Image Quality Assessment [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2012.

(责任编辑: 邓彬)