

对纹理敏感的误差扩散算法设计

王俊平¹, 刘真¹, 卢亮²

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 北京环球信息应用开发中心, 北京 100094)

摘要: 针对误差扩散算法输出中边缘易被模糊的问题, 对该算法的基本原理进行了分析, 认为原因是误差扩散改变了未处理像素在量化中的取值倾向。据此设计了一种对图像纹理敏感的误差扩散滤波器。因该滤波器在平滑渐变区域输出质量较差, 为此又设计了基于局部傅里叶分析的滤波器选择算法, 分别使用该滤波器与传统滤波器处理纹理丰富区、平滑渐变区。通过对该算法输出的测试图进行评价, 证明了算法对提高半色调输出质量有较明显的作用。

关键词: 纹理敏感; 局部傅里叶分析; 峰值信噪比; 结构相似度

中图分类号: TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)23-0137-04

Design of Texture Sensitive Error Diffusion Algorithm

WANG Jun-ping¹, LIU Zhen¹, LU Liang²

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Beijing Universal Information Application Development Center, Beijing 100094, China)

Abstract: Inspired by the edge blurred in output of error diffusion algorithm, the fundamental of error diffusion algorithm was analyzed; it was considered that the reason of edge blurred is that diffused error changes the edge pixels' value tendency. A new texture sensitive diffusion filter was designed according to the consideration. The quality of the new filter's output is bad on smooth areas, so a filter selection algorithm was designed bases on local Fourier analysis. The new filter and conventional ED filter was applied in texture areas and smooth areas respectively. The output test pattern was evaluated. Subjective evaluation showed that the new algorithm significantly improve the quality of halftone output.

Key words: texture sensitive; local Fourier analysis; PSNR; SSIM

误差扩散算法因其具有较高的输出质量与合理的复杂程度, 从而成为目前最常用的调频加网算法之一, 但是其依然存在一些问题, 如输出结果中会存在伪轮廓、与处理方向有关的人工纹理以及边缘被模糊等问题。文中针对误差扩散算法输出中边缘被模糊的问题, 从分析误差扩散算法的基本原理入手, 作了如下研究。

1 误差扩散算法

标准的误差扩散算法由 Floyd 在 1976 年提出, 其基本思想是逐像素对图像进行处理, 当前像素与一个固定的阈值(一般为像素取值范围的中值)比较, 大

于阈值的赋值为 1(即白点), 小于阈值的赋值为 0(即黑点), 产生的误差按照误差扩散滤波器扩散至邻近未处理像素。除第一个像素外, 每次处理的当前像素值都不是原图像的像素值, 而是原图像像素值与扩散至此像素的误差的和。标准误差扩散算法的原理见图 1^[1]。

其中:

$$G'(i, j) = G(i, j) + \sum_k^M \sum_l^N w_{k,l} E(i-k, j-l) \quad (1)$$

$$E(i, j) = G'(i, j) - B(i, j) \quad (2)$$

$$\sum_k^M \sum_l^N w_{k,l} = 1 \quad (3)$$

式中: $E(i, j)$ 为 (i, j) 处像素阈值化产生的误差;

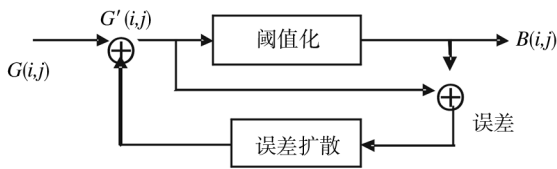


图1 标准误差扩散算法原理

Fig. 1 Schematic of standard error diffusion algorithm

M, N 分别为误差滤波器的行列数。

在标准误差扩散算法中使用的滤波器为 Floyd-Steinberg 滤波器,其后又有许多研究者提出了改进的扩散滤波器,较明显地提高了输出质量,如 Stucki 等滤波器也成为了应用广泛的经典滤波器^[2],这些滤波器结构见图2。

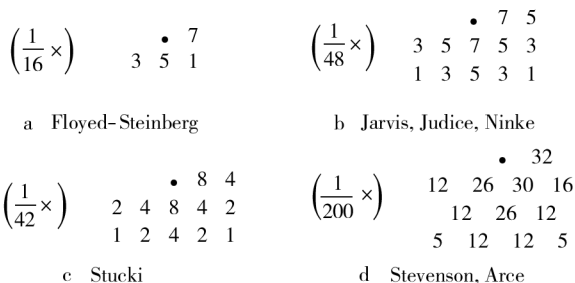


图2 常用的几种误差扩散滤波器

Fig. 2 Commonly used error diffusion filters

不难看出,由于使用这种固定权值的滤波器,量化误差无选择地扩散到当前像素附近的未处理像素,改变了这些像素在阈值量化中的取值倾向,这就是误差扩散算法易导致原图中的边缘被模糊,导致半色调输出结果中丢失很多纹理细节信息,降低输出质量的原因^[3,7]。

2 对纹理敏感的误差扩散算法设计

2.1 纹理敏感滤波器设计

由于误差扩散的目的是求得输出半色调图与原图的局部平均灰度接近,因此原图像边缘附近的像素阈值量化产生的误差按照标准传统滤波器向附近像素扩散会导致边缘模糊。为此文中根据误差扩散的基本原理,从当前像素附近未处理像素接受误差的角度来考虑,若误差为负值时,接受误差的未处理像素在阈值量化中被取白点的可能性就会降低;同样接受的误差为正值时,像素在阈值量化中被取为黑点的可

能性就会降低。由此文中提出一种算法,其基本思想是,在误差扩散时,若误差为正值则向灰度值大的点扩散比例也大,向灰度值小的像素扩散比例小;若误差为负值,则扩散比例相反。文中使用输出质量相对较好的 Stucki 扩散滤波器的扩散位置,但每次扩散前都计算各扩散位置的权值,计算方法如式(4):

$$\text{如果 } E > 0, \text{ 则 } w_{k,l} = \frac{I(k,l)}{R_{k,l}}$$

$$\text{否则 } w_{k,l} = \frac{1-I(k,l)}{R_{k,l}} \quad (4)$$

$$\text{然后 } W'_{k,l} = \frac{w_{k,l}}{\sum_k \sum_l w_{k,l}}$$

在计算过程中所使用的图像为归一化后的图像,其中 $I(k,l)$ 为接受误差的未处理像素的值; $w_{k,l}$ 为第1步按照各扩散位置对应的像素灰度值计算得到的扩散权值; $R_{k,l}$ 为扩散位置与当前像素的距离。为保证所有扩散位置的权值总和为1,最后再将计算获得的各权值除以所有权值的和求得最终的权值 $w'_{k,l}$,然后 $I(k,l)$ 按照计算获得的扩散权值 $w'_{k,l}$ 接收误差,如式(5):

$$I(k,l) = I(k,l) + w'_{k,l} \times E \quad (5)$$

另外注意,在实际处理过程中,接受误差的像素 $I(k,l)$ 的值可能会超出像素正常取值范围 $[0,1]$,这种情况应将小于0的像素值确定为0,大于1的像素值确定为1,将剩余误差继续扩散。

通过观察半色调输出结果发现,该滤波器对纹理具有很好的保护作用,但在平滑渐变区域的输出质量相对于 Stucki 滤波器反而有所下降,甚至产生较严重的人工纹理现象。由此文中提出一种基于图像局部纹理强度分析的滤波器选择算法,在误差扩散处理过程中自适应的选择合适的滤波器,以获取更好的半色调输出质量,具体如下节所述。

2.2 基于局部纹理强度分析的滤波器选择算法

图像经傅里叶变换后可方便地获知图像信息在频域中各频率范围内的能量分布,而均匀灰度图像、渐变图像、纹理图像的傅里叶谱是不同的,傅里叶幅度谱可以准确地反应原图像的平均灰度与纹理强度^[5],而均匀灰度图像是没有纹理的,因此文中建立一个判断图像是否具有纹理和纹理强度的模型。该模型的判断依据是计算被判断图像的傅里叶幅度谱与对比对象(一幅大小、平均灰度都与被判断图像相同的均匀灰度图像的傅里叶幅度谱)之间的差异获得

的数值。离散函数 F_1 是被判断图像经离散傅里叶变换的结果, $F_1(u, v)$ 是自变量取值为 u, v 时的函数值, $|F_1(u, v)|$ 为对 $F_1(u, v)$ 取模后得到的傅里叶幅度谱值, F_2 是一幅与被判断图像的平均灰度相同、大小相同的均匀灰度图像的离散傅里叶变换结果, $|F_2(u, v)|$ 是其傅里叶幅度谱值, 由均值不等式原理可推得式(6), 当 $|F_1(u, v)|$ 与 $|F_2(u, v)|$ 的值越接近时该式左右两侧越趋于相等。 $|F_1|$, $|F_2|$ 的实质也是一个矩阵, 若其大小为 $N \times N$, 则自变量 u, v 的取值范围皆为 $(0, 1, 2, \dots, N-1)$ 则可推得判断图像纹理程度的模型, 如式(7):

$$|F_1(u, v)|^2 + |F_2(u, v)|^2 \geq 2|F_1(u, v)||F_2(u, v)| \quad (6)$$

$$T = \frac{2 \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F_1(u, v)||F_2(u, v)|}{\sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} (|F_1(u, v)|^2 + |F_2(u, v)|^2)} \quad (7)$$

T 是纹理程度值, 范围是 $(0, 1)$, T 值越小说明该区域纹理越丰富。实际处理中, 截取当前像素的邻域局部图像作为被判断图像作傅里叶分析, 判断是否为纹理区域, 若为纹理区域则使用纹理敏感滤波器, 若为平滑渐变区域则使用 Stucki 滤波器。

最后得到对纹理敏感的误差扩散算法流程见图 3。

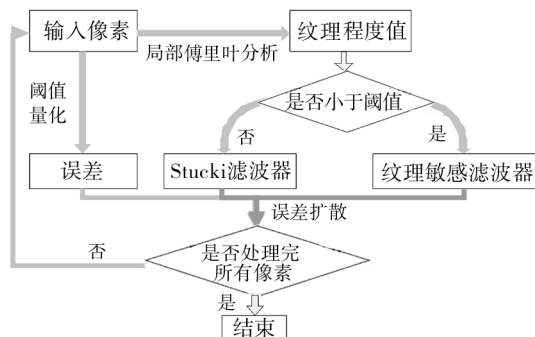


图 3 算法流程

Fig. 3 Flowchart of the algorithm

3 算法验证分析

下面是经不同误差扩散算法算法和文中算法输出的半色调图像(见图 4~6)。

肉眼观察这些图像可以较明显地感觉到, 纹理敏感滤波器输出结果和文中最终算法的输出结果对图像纹理的保存比 Stucki 算法的效果更好, 例如图 4 中的树叶和草、图 5 中头饰上的羽毛和图 6 中猫咪头像

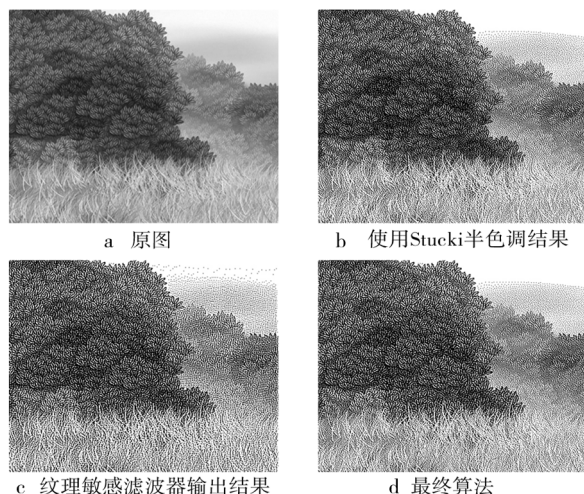


图 4 树木

Fig. 4 Tree



图 5 Lena

Fig. 5 Lena

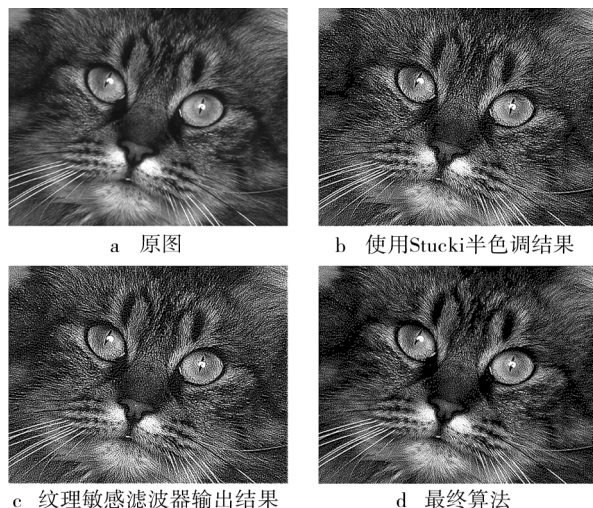


图 6 猫头

Fig. 6 Head of a cat

中的毛。另外由于纹理敏感滤波器在平滑渐变区域会带来较严重的人工纹理等质量问题,如图 5 中平滑渐变部分和图 4 中的天空部分,因而文中的最终算法有更好的输出效果。

使用文献[6]中 Zhou Wang 提出的图像结构相似度量算法对各算法半色调输出结果的质量进行了客观评价,计算结果见表 1。

表 1 图像纹理结构相似评价数据

图像	树	Lena 图	猫头
Stucki	0.1665	0.1224	0.0706
纹理敏感法	0.1543	0.1211	0.0987
最终算法	0.1897	0.1423	0.1066

由表 1 可以观察到,文中最终提出的算法在半色调输出过程中能够更好地保护原图的纹理不被模糊,获得更高的输出质量。

此外,文中又使用经典的峰值信噪比(PSNR)^[8]从图像的色调连续性方面测试半色调图像对原图像灰度的保持效果,结果见表 2。

表 2 图像峰值信噪比评价数据

Tab.2 PSNR evaluation data

图像	树	Lena 图	猫头
Stucki	7.6700	6.9671	9.0233
纹理敏感算法	7.6785	6.8423	8.8837
最终算法	7.6686	6.9464	8.9615

通过对比表 2 的评价结果可知,文中提出的算法与经典 Stucki 算法输出结果在灰度保持方面基本一致。

4 结论

误差扩散算法研究的一个重点问题就是如何更好地保护原图的细节纹理,为此提出了一种基于局部傅里叶分析和纹理敏感滤波器的新算法,并经试验验证了其有效性。由于该算法依然采用的是逐行扫描

与 Stucki 滤波器的误差扩散位置,因此还存在一定与扫描路径和误差扩散方向相关的人工纹理,进一步的研究应提出更好的扫描路径,并采用对称性更好的非时序滤波器^[4]。

参考文献:

[1] 李飞,唐正宁. 数字加网技术[J]. 包装工程,2005,26(5):49-52.
LI Fei, TANG Zheng-ning. Digital Screening Technology[J]. Packaging Engineering,2005,26(5):49-52.

[2] WOO B. A Survey of Halftoning Algorithms and Investigation of the Error Diffusion Technique[D]. USA:MIT,1984.

[3] LI Xin. Edge-directed Error Diffusion Halftoning[J]. IEEE Signal Processor Letters,2006,11(11):688-690.

[4] 史琳. 数字半色调技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2007.
SHI Lin. Research on Digital Halftoning Technique[D]. Xi'an:Xi'an Electronic and Engineering University, 2007.

[5] 玉振明,毛士艺. 用局部傅里叶变换进行图像融合[J]. 信号处理,2004,6(3):227-232.
YU Zhen-ming, MAO Shi-yi. Image Fusion Via Localized Fourier Transform[J]. Signal Processing,2004,6(3):227-232.

[6] WANG Zhou. Image Quality Assessment From Error Visibility to Structural Similarity[J]. Ieee Transaction on Image Processing,2004,8(4):600-612.

[7] 叶玉芬. 数字半色调技术中的误差扩散算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.
YE Yu-fen. Research on Error Diffusion Algorithm in Digital Halftoning[D]. Xi'an:Xi'an Electronic and Engineering University,2006.

[8] 刘长鑫,刘真. PSNR 在网目调数字图像质量评价中的应用研究[J]. 包装工程,2012,33(7):108-112.
LIU Chang-xin, LIU Zhen. Application Study of PSNR in Quality Evaluation of Digital Halftoning Image[J]. Packaging Engineering,2012,33(7):108-112.

(上接第 132 页)

[5] 程帅,董云开,张向军. 规则粗糙固体表面液体浸润性对表观接触角影响的研究[J]. 机械科学与技术,2007,26(7):822-827.
CHENG Shuai, DONG Yun-kai, ZHANG Xiang-jun. Study of the Influence of Apparent Contact Angle on Regular Rough Surface Considering LiquidWetting Properties[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engi-

neering,2007,26(7):822-827.

[6] 屈贞财,陈广学. 喷墨纸印刷适性评价体系的研究[J]. 中华纸业,2002,33(2):47-50.
QU Zhen-cai, CHEN Guang-xue. On Evaluation System for Ink-jet Paper Printability[J]. China Pulp & Paper Industry, 2002,33(2):47-50.