

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.02.017

基于滤波器和阈值选取的误差扩散法

龚振亮, 占红武, 郝家春

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要:文章针对误差扩散算法应用到嵌入式打印系统时,由于点增益导致打印输出的半色调图像产生严重人工纹理这一问题,提出了一种新的误差扩散滤波器和阈值选取方法。该误差扩散滤波器,通过重新设置误差分散权重,将当前点产生的量化误差分散到其远离邻近的像素上,产生无点增益的点聚集半色调图像;阈值选取,选取一个最合适的阈值,使输出图像在中间调区域无明显结构性纹理。实验结果表明,使用新滤波器和阈值选取方法处理过的图像经打印机输出后整体上更加柔和,在图像的渐变区域无明显人工纹理,效果更好。

关键词:数字印刷;数字半色调;误差滤波器;阈值;人工纹理

中图分类号:TS865

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)02-0066-04

Research of Error Diffusion Method Based on Filter and Threshold Selection

GONG Zhenliang, ZHAN Hongwu, HAO Jiachun

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: A new error diffusion filter and threshold selection method was presented, since the dot-gain resulting halftone image generated severe artificial textures, when the traditional algorithm was applied to the embedded printing system. The error diffusion filter, through resetting the error diffusion weights, diffused the quantization error of the current point to neighboring pixels away from current point, and it could produce point gathered halftone image with no dot-gain. Threshold selection selected the most appropriate threshold, and made the output image having no obvious structural texture in the mid-tones. The experimental results show that this error diffusion filter and threshold selection method can get better visual quality than the previously published known results.

Key words: digital printing; digital halftone; error filter; threshold; artificial texture

数字半色调^[1-2]是一种将连续色调图像转换成黑白二值图像的技术。这项技术主要应用在打印设备输出连续调图像中。在目前的数字半色调领域中误差扩散法是使用最频繁的一种方法。它是将当前像素产生的量化误差根据误差扩散滤波器扩散到与之相邻没有处理的像素上,这样该像素产生的误差在邻近像素上获得了补充,形成一个反馈系统,使产生的半色调图像在视觉效果上更接近于原图像。目前比较流行的误差扩散算法是Floyd和Steinberg提出的Floyd-Steinberg滤波器,该算法开始提出时主要针对显示设备,没有充分考虑到打印输出设备,因此产生的半色调图像具有较好的视觉效果,并且有较细的颗粒度。但是在打印

机输出时,较多的细小点由于点增益会导致打印出的半色调图像产生明显的结构性纹理。针对这一问题,前人基于误差扩散算法的基础上做了一些改进,在改进的过程中主要有3点:①误差滤波器系数权重以及分布方式;②阈值选取方法;③读取图像数据时的扫描路径。如田玉敏,柯丽芳等提出一种改进的基于蓝噪声的误差分散算法^[3]是通过改变误差分散系数实现的,Levien提出developed Error Diffusion with Output Dependent Feedback(EDODF)^[4]是通过基于先前位置的输出来修改阈值实现的,Velho和Gomes使用半色调空间填充曲线的扫描路径^[5]实现的。上面提出的各种方法,虽然在一定程度上改善了半色调输出图像,

收稿日期:2013-09-15;修回日期:2013-10-11

基金项目:浙江省重大科技专项(2010C11021);浙江省教育厅科研项目(Y201018534)

作者简介:龚振亮(1986),男,山西浑源人,硕士研究生,主要研究方向为可变数字印刷技术。E-mail: liangzhengong@126.com

但是仍然存在由于点增益产生的结构性纹理和方向特性,尤其是在中间调部分。

对于存在的各种问题,文章在误差扩散法的基础上提出一种新的误差扩散滤波器和阈值选取方法,新的误差滤波器主要是解决点增益和人工纹理;最优阈值选取方法主要解决中间调的结构性纹理。实验结果表明,通过使用新的误差滤波器和阈值选取方法可以产生具有聚集点的半色调图像,细小的颗粒明显减少,打印输出半色调图像在中间调部分无明显的人工纹理和方向性特点,效果上更接近原图像。

1 新误差扩散滤波器

1.1 传统误差扩散滤波器

最早出现的滤波器是 Floyd-Steinberg 滤波器,后来基于此提出的有 Stucki 滤波器^[6]、Jarvis 滤波器^[7]等,其主要思想是:将当前像素产生的量化误差,按一种固定比例的系数分配到未处理的相邻像素上(如图1所示)。由于其权值分布相当于一个低通滤波器,因而处理效果好,产生的半色调图像具有较细颗粒度,整体的视觉效果也比较好。

		error	7/16		
3/16	5/16	1/16			

		error	8/42	4/42	
2/42	4/42	8/42	4/42	2/42	
1/42	2/42	4/42	2/42	1/42	

(a) Floyd-Steinberg 滤波器

(b) Stucki 滤波器

图1 传统误差滤波器

Figure 1 Traditional error filter

然而在实际的喷墨打印系统中,由于点增益(即:打印在承印物上的点要比预想的点大,大多少取决于打印设备,承印物,墨汁及视觉角度)。这样打印产生的半色调图像会比原半色调图像暗,因此半色调图像在打印的过程中一定要避免点增益这一缺点。Floyd-Steinberg 滤波器、Stucki 滤波器等输出的半色调图像具有很多细小的、分散的点,在实际打印过程中,这些孤立的点极容易形成点增益,导致打印输出的图像具有明显的人工纹理现象。

1.2 改进的误差扩散滤波器

基于上述问题,文章在传统扩散滤波器的基础上,做进一步改进,提出了一种新的误差滤波器,该滤波器产生的半色调图像具有点聚集的特点,无分散的孤立的点,这在打印的过程中很大程度上减少了点增益带

来的纹理缺陷。新滤波器的主要思想是:将当前像素产生的量化误差,按照一定的权重分配到远离其邻近的像素上(图2所示)。并没有分配量化误差到邻近的像素,因为相邻像素与当前像素具有相近的灰度等级。因此,当不分配量化误差到相邻像素时,可能使得相邻像素产生与当前像素相同的颜色。

		error	0	6/56	4/56
1/56	4/56	0	0	4/56	2/56
	5/56	6/56	3/56	5/56	1/56
	2/56	5/56	2/56	4/56	2/56

图2 新的误差滤波器

Figure 2 New error filter

详细讨论该误差滤波器的设计思想,主要有3点:

1) 无误差分散区

该滤波器在 2×2 区域不分配量化误差,其中包括当前像素(用“error”表示)。此区域的大小可能会直接影响半色调图像中点群的大小。然而,当面积大于 2×2 ,半色调图像由于增加孤立点导致质量降低。因此,将此区域的大小设计为 2×2 。

2) 对称的滤波器权重

我们把误差滤波器分为五个部分,如图2粗线条所示。在左边和右下区域的误差权重和是相等的。中间底部和右上侧区域的误差权重和也是相等的,因为,如果这两个区域的和不相等,产生的半色调图像会产生纹理。

3) 滤波器的权重比

考虑在误差滤波器中五个区域(用粗线表示)的比率,中间底部区域和右下区域之间的误差权重和之比为 $4:3$,这个比率可以影响聚集点的形式。图3给出不同比率半色调图像的差异,(顶部)的比率 $= 2:1$,簇点形成对角线集群。(底部)的比率 $= 1:1$,图像出现人工纹理在中间调。(中间)的比率 $= 4:3$,实验表明,该比为 $4:3$,可产生最佳的半色调图像。

2 阈值选取方法的改进

2.1 最大类间方差法^[8](OTSU)

阈值选取基本原理主要依据于最大类间方差法(OTSU),假设一幅 $N \times M$ 的图像灰度级为 A ,设 $g(x, y)$ 为图像中一点 (x, y) 的值,并且其在 $[0, A-1]$ 范围内取值,令 $H_A = \{0, 1, 2, \dots, A-1\}$ ^[9]。设 $g(x, y)$ 中灰度级为 i 的概率为 $U(i)$,则 $U(i)$ 为

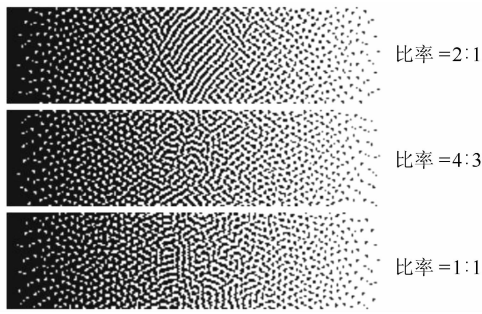


图3 不同比率半色调图像的差异

Figure 3 The differences different ratios between halftone image

$$U(i) = \frac{1}{MN} \sum_{f(x,y)=i} g(x,y) \quad i \in H_A$$

假设将图像划分为2个部分,并且选取 t 为其分割阈值,就得到两个区域 O 和 B ,用 $\{g(x,y) \leq t\}$, $\{t < g(x,y) < A\}$ 表示,区域 O 的像素概率,像素均值分别用 $w_0(t)$, $\mu_0(t)$ 表示;区域 B 的像素概率,像素均值分别用 $w_1(t)$, $\mu_1(t)$ 表示,则有

$$w_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} U(i)$$

$$w_1(t) = \sum_{t < i \leq A-1} U(i)$$

$$\mu_0(t) = \sum_{0 \leq i \leq t} \frac{iU(i)}{w_0(t)}$$

$$\mu_1(t) = \sum_{t < i \leq A-1} \frac{iU(i)}{w_1(t)}$$

最大类间方差法选取阈值的方法是定义 $y^2(t)$, 则有

$$y^2(t) = w_0(t) \cdot w_1(t) (\mu_0(t) - \mu_1(t))^2$$

2.2 改进的阈值选取方法

实验表明,尽管使用上述方法选取的阈值能使半色调图像效果改善,但是在打印输出图像的中间调部分可以看到明显的纹理缺陷。针对这一问题,文献[10-13]对OTSU算法进行改进,但是在一定的程度仍然存在上述问题。通过分析最大类间方差法可知,当 $|\mu_0(t) - \mu_1(t)|$ 最大时,产生的阈值效果会好些。为表示两者之间的距离,假设距离度量 $z^2(t)$,则

$$z^2(t) = (\mu_0(t) - \mu_1(t))^2$$

可见, $z^2(t)$ 越大, $\mu_0(t)$ 与 $\mu_1(t)$ 间距离就越大。

同时,阈值分割的两部分中,各个部分的像素和该部分的中心距离越小越好,即证明像素具有较好的聚集性,为了衡量这一特性,引入平均方差概念。

$$\bar{\sigma}_0^2(t) = \frac{1}{w_0(t)} \sum_{0 \leq i \leq t} (i - \mu_0(t))^2 U(i)$$

$$\bar{\sigma}_1^2(t) = \frac{1}{w_1(t)} \sum_{t < i \leq A-1} (i - \mu_1(t))^2 U(i)$$

显然, $\bar{\sigma}_0^2$ 和 $\bar{\sigma}_1^2$ 越小,各个部分中的像素聚集性越好,产生的效果就越好。

为了得到最优的阈值,必须同时考虑这两个要求,基于此文中提出了一种新的阈值选取方法,阈值计算公式如下

$$G(t) = \frac{z^2(t)}{\bar{\sigma}_0^2 + \bar{\sigma}_1^2} = \frac{(\mu_0(t) - \mu_1(t))^2}{\bar{\sigma}_0^2 + \bar{\sigma}_1^2}$$

当 $G(t)$ 取最大值时所对应的灰度级为所求的最佳阈值 T_h ,即

$$T_h = \arg \max [G(t)] \quad t \in H_A$$

3 实验仿真与打印结果

3.1 仿真结果

文章使用的实验仿真环境是MATLAB 7.1,并选取图片人物和景观作为验证对象,对两幅图分别采用传统的误差扩散算法、EDODF算法和文中提出的算法进行仿真验证^[14]以及处理后评价标准对比。图4所示为传统误差扩散算法的图像。

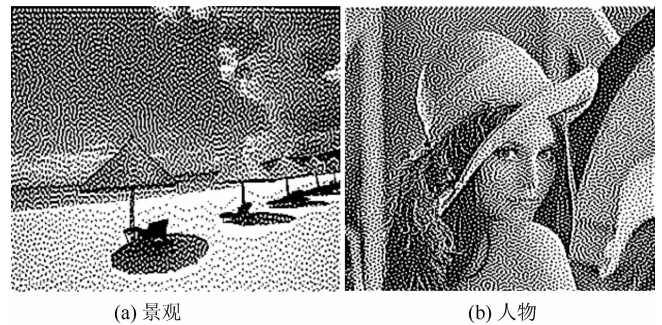


图4 传统算法仿真图像

Figure 4 Fraditional algorithm simulation image

表1给出了各种算法在峰值信噪比(η_{PSNR})、信噪比(η_{SNR})上的比较。可看出,文中提出的算法在 η_{PSNR} 和 η_{SNR} 上的提升很明显,并且降低图像的失真度,整体效果有所改善^[14]。

表1 各种算法对比结果

Table 1 Comparison of various algorithms

算法	图	$\eta_{\text{PSNR}}/\text{dB}$	$\eta_{\text{SNR}}/\text{dB}$
Floyd-Steinberg	人物	6.392 1	1.081 7
	景观	7.085 7	2.469 6
Stucki	人物	6.483 8	1.173 4
	景观	7.141 4	2.525 3
EDODF	人物	6.443 2	1.162 1
	景观	7.109 6	2.493 5
文中提出	人物	6.573 3	1.262 9
	景观	7.241 1	2.625 0

3.2 打印结果

图像打印验证的硬件平台是由 ARM 上位机和 FPGA 下位机两部分组成。ARM 上位机实现对图像文件的解析解码、色彩空间转换、数字加网以及处理后的数据传输;FPGA 下位机实现对上位机数据的缓存接收,并经过生成打印头时序、实现位置环等一系列的处理后,将数据按照一定的时序发送到打印头进行打印。上位机与下位机之间的数据传输通过 EBI 总线接口实现,硬件实验平台如图 5 所示。

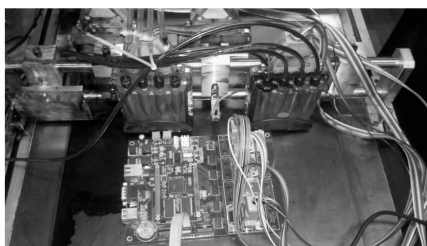


图 5 硬件实验平台

Figure 5 Hardware experimental platform

在打印的程序设计过程中,主要涉及到 3 个问题:误差滤波器、阈值的选取和读取图像时的扫描路径。在打印系统中使用的误差滤波器和阈值选取是上文提出的,扫描方式使用目前比较流行的一种——“蛇型”扫描路径(如图 6 所示)。

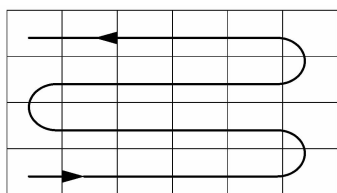


图 6 蛇型扫描路径

Figure 6 Snake-type scan path

为了方便对比,选取 EDODF 算法和文中提出的算法对人物图片进行打印,如图 7 所示,可以看到使用 EDODF 算法打印出来的图片具有明显的结构纹理和方向特性,而使用文中提出的误差滤波器和阈值选取方法,打印出来的图片效果较好,并且在视觉无明显的人工纹理和方向特性。

4 结语

针对现有的误差扩散滤波器和阈值选取方法应用到嵌入式打印系统时存在的问题,提出了一种新的误差扩散滤波器和阈值选取方法,实验和打印结果表明,使用新的滤波器和阈值选取方法产生的半色调图像,无明显的人工纹理和方向性特点等缺陷,具有较好的视觉效果,图像输出再现能力强。



(a) EDODF 算法

(b) 文中提出的算法

图 7 人物打印图像

Figure 7 Lena print image

参考文献:

- [1] FLOYD R W, STEINBERG L. An adaptive algorithm for spatial grey scale [J]. Society for Information Display, 1976, 17(2): 75-77.
- [2] LAU D, ARCE G. Modern digital halftoning [M]. 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2008.
- [3] 田玉敏,柯丽芳,马勇. 一种改进的基于蓝噪声的误差分散算法[J]. 计算机工程与应用, 2006(26): 60-62.
- [4] LEVIEN R. Output dependent feedback in error diffusion halftoning [J]. SPIE Milestone Series, 1999, 154: 389-392.
- [5] VELHO L, GOMES J M. Digital halftoning with space filling curves [J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1991, 25(4): 81-90.
- [6] STUCKI P. MECCA: A multiple-error correction computation algorithm for bi-level image hardcopy reproduction [M]. New York, USA: IBM Thomas J. Watson Research Center, 1991.
- [7] JARVIS J F, JUDICE C N, NINKE W H. A survey of techniques for the display of continuous tone pictures on bilevel displays [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1976, 5(1): 13-40.
- [8] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [9] 蔡梅艳,吴庆亮,姜长生. 改进 Otsu 法的目标图像分割[J]. 光电与控制, 2007, 14(6): 118-119.
- [10] 范九伦,赵凤. 灰度图像的二维 Otsu 曲线阈值分割法[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 751-755.
- [11] WANG Lei, DUAN Huichuan, WANG Jinling. A fast algorithm for three-dimensional otsu's thresholding method [C]//IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education. Xiamen: IEEE, 2008: 136-140.
- [12] 吴成茂,田小平,谭铁牛. 二维 Otsu 阈值法的快速迭代算法[J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(6): 746-757.
- [13] 周云燕,杨坤涛,黄鹰. 基于最小类内离散度的改进 Otsu 分割方法的研究[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2): 101-103.
- [14] 梅灿华,占红武,俞丛晴. 基于自适应滤波和 MBVC 的矢量误差扩散法[J/OL]. 计算机工程与应用, (2012-10-22) [2013-09-10]. [http://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx? filename=JSGG20121022001&dbname=CAPJLAST&dbcode=CJFQ&urlid=&yx=&v=MTgwMzV2RnlqbFVydKpKRjA9THo3TWFiRzRIOVB0ejQxSFpC09ZdzlNem1SbjZqNTdUM2ZscVdNMENMTDdSN3FIWk9k](http://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=JSGG20121022001&dbname=CAPJLAST&dbcode=CJFQ&urlid=&yx=&v=MTgwMzV2RnlqbFVydKpKRjA9THo3TWFiRzRIOVB0ejQxSFpC09ZdzlNem1SbjZqNTdUM2ZscVdNMENMTDdSN3FIWk9k).