

加网参数和类型不确定的小波变换逆半调研究

周涛¹, 钟云飞¹, 付芦静²

(1. 湖南工业大学, 株洲 412007; 2. 江南大学, 无锡 214122)

摘要: 针对不同加网类型和参数的彩色印刷图像, 提出了一种基于加网参数和类型不确定的小波变换逆半调算法。首先在 RGB 颜色空间中分离了颜色通道, 选择了 B 样条小波作为小波变换基函数; 然后对图像实施了二层小波分解, 利用小波阈值去噪策略, 去除了半色调网点噪声; 最后对图像进行了小波重构, 得到了逆半调图像。实验结果表明, 该逆半调算法适用于调频加网和调幅加网图像, 同时逆半调图像具有很好的视觉效果。

关键词: 小波变换; 逆半调; B 样条; 小波阈值去噪; 调频-调幅加网

中图分类号: TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)23-0101-04

Research of Inverse Halftoning Based on Wavelet Transform for Indeterminacy Screening Parameters and Types

ZHOU Tao¹, ZHONG Yun-fei¹, FU Lu-jing²

(1. Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China; 2. Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: An inverse halftoning algorithm based on wavelet transform for indeterminacy screening parameters and types was proposed for color printing image of different types and parameters in screening. First, the color channels in RGB color space were separated and B-spline wavelet was selected as basis function in wavelet transform. Then, 2 layers wavelet decomposition was carried out on the images and the halftone noise was removed through wavelet threshold denoising strategy. Finally, the inverse halftoning image was obtained after wavelet reconstruction. The experimental results showed that the inverse halftoning algorithm is proper to frequency modulation (FM) screening and amplitude modulation (AM) screening; meanwhile, it has better visual effect for inverse halftoning image.

Key words: wavelet transform; inverse halftoning; B-spline; wavelet threshold denoising; FM-AM screening

逆半调俗称去网,是指由半色调图像重建连续色调图像,在印刷、打印、扫描图像输入等应用中,如果需要对半色调图像进行识别、压缩、增强、缩放时,首先需对图像进行逆半调处理^[1]。目前,灰度图像的逆半调技术如查找表、误差扩散^[2-3]等方法应用比较广泛且技术相对成熟。而由于彩色图像中包含丰富的色彩信息,越来越多的研究人员开始对彩色图像逆半调技术进行研究,也提出了很多基于彩色图像的逆半调算法,如中值金字塔^[4-5]、基于人眼视觉特性逆半调算法^[6]、小波变换^[7]、高斯滤波^[8]等。

小波变换具有多分辨率分析特性,可以通过小波系数尺度相关性以及软、硬阈值等方法对图像进行去噪,因而小波变换也广泛的应用于图像逆半调处理中。Xiong 等人^[9]提出利用小波变换对图像实施逆半调,通过非正交小波对图像进行小波分解,然后对图像低频部分进行保边缘去噪,同时提取图像高频部分边缘完成图像逆半调处理。Djebbouria 等人^[10]提出一种基于误差扩散半色调的逆半调算法,算法首先利用反卷积算子得到图像半调噪声分布,然后利用小波阈值去噪实现逆半调过程。Neelamani 等人^[11]建立

收稿日期: 2012-09-06

基金项目: 2011 年度湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(湘教通[2011]272 号);2011 年度湖南工业大学大学生研究性学习和创新性实验计划项目(湖工大教字[2011]12 号);2011 年度湖南工业大学自然科学研究项目(2011HZX03);湖南省自然科学基金省市联合基金项目(12JJ9043)

作者简介: 周涛(1989-),男,天津南开人,湖南工业大学本科生。

通讯作者: 钟云飞(1975-),男,白族,湖南慈利人,湖南工业大学副教授,主要研究方向为图像处理和模式识别。

一个线性误差扩散半色调估计模型,结合模型和反卷积算子能自适应的估计各种误差分散半色调的噪声分布,再利用小波域标量收缩得到逆半调图像。付芦静等人^[12]提出一种基于 B 样条小波变换的逆半调算法,实现了对彩色印刷扫描图像逆半调处理。

由于调频加网和调幅加网图像具有不同的图像特性,因此在对印刷图像进行逆半调处理过程中,如何使逆半调算法对 2 种不同加网图像具有更好的鲁棒性是印刷图像逆半调处理的关键。Yong 等人^[13]提出了一种针对调幅加网参数估计的逆半调算法,算法首先提取图像网点区域,然后对网点区域的加网参数进行估计以确保逆半调处理的稳定性,最后利用逐像素滑动窗口逆变换得到逆半调图像。本文在文献^[12]的基础上,提出一种针对加网类型和参数不确定的彩色图像逆半调算法。首先提出基于 B 样条小波变换的逆半调算法,然后利用调频加网和调幅加网图像验证提出逆半调算法的可行性,最后通过未知加网参数的调幅加网印刷图像对逆半调算法性能进行评价。

1 B 样条小波变换逆半调算法

B 样条小波变换逆半调算法流程见图 1。以扫描



图 1 小波变换逆半调算法

Fig. 1 Wavelet transform inverse halftoning algorithm

输入图像为原始图像,首先对图像进行预处理,去除扫描噪声;接着在 RGB 颜色空间中分离颜色通道,对各单色颜色通道分别利用 B 样条小波变换逆半调算法进行逆半调处理;最后合并各单色逆半调图像,得到彩色印刷图像的逆半调图像。

1.1 小波函数选取

为了实现小波变换良好的时-频特性,通常要求小波函数具有对称性好、紧支集以及线性相关等特性,因此选择和构造具有良好的时-频特性的小波基是小波变换的关键。然而通过研究发现,不存在具有连续紧支集的对称小波。张义荣等人^[14]根据多分辨率分析理论,构造了一个具有良好时-频局部化的 B 样条双正交小波,并通过实验表明,当 $N=3, \tilde{N}=7$ 时,

是一个最优时-频分析特性的双正交小波。因此,选择 bior 3.7 小波函数作为小波变换的小波基函数。

1.2 小波分解尺度

小波分解尺度应该确保能在去除噪声的同时最大程度保留图像的边缘和局部细节特性。所选试验图像二层小波分解示意图见图 2,从图 2 中可以知道,

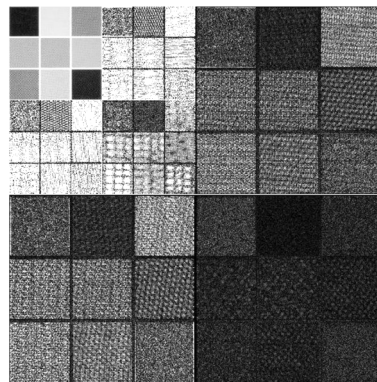


图 2 二层小波分解

Fig. 2 2 layers wavelet decomposition

半色调网点噪声主要集中在二层小波分解的水平、垂直、对角系数上。而在二层,近似图像中基本没有网点噪声,水平、垂直、对角系数上也只包含少量噪声,因此利用二层小波分解能够实现对半色调网点噪声系数的衰减。

1.3 小波系数调整

通过小波分解图可知,半色调网点噪声基本上集中在二层分解图像中,二层分解图上只包含少量网点。为了能够更好的去除网点并保留更多的图像信息,在小波系数调整过程中,选择直接对二层小波系数进行重构,以保留二层小波分解中的图像信息。而对一层分解中的水平、垂直和对角系数运用软阈值去噪策略,去除网点噪声。由于网点噪声分布和每层小波分解过程中信号与噪声传播的随机性,因此每层小波分解系数所采用的去噪阈值是不同的。而在软阈值去噪过程中,其去噪阈值可以根据小波系数的变化而变化,其计算过程如下:

1) 首先进行噪声强度计算。

$$\sigma = \frac{1}{0.6745N} \sum_{i=0}^{M-1} |D_i^k| \quad (1)$$

其中: D_i^k 为第 k 层小波系数 ($1 < k < M$); N 为该层小波系数个数; M 为小波分解最高尺度。

2) 阈值计算。本文的阈值选择的是通用阈值,其计算公式为:

$$T = \sigma \sqrt{2 \ln N} \quad (2)$$

3) 最后,调整后的小波系数可以表示为:

$$D_1 = \begin{cases} D_0 - T & D_0 \geq T \\ 0 & D_0 < T \end{cases} \quad (3)$$

式中: D_0 为原小波系数; D_1 为调整后小波系数。虽然软阈值去噪会使一层分解图像中的边缘模糊,但由于很好的保留了二层分解图像中的信息,因此图像质量得到很好恢复。

1.4 小波重构

在小波重构中,由于 B 样条小波是一种双正交小波基,因此先对二层分解系数进行重构,得到一层分解的低频系数 $ca1$ 。

$$ca1 = \text{conv2}(l, l, ca2) + \text{conv2}(l, h, ch2) + \text{conv2}(h, l, cv2) \quad (4)$$

其中: $\text{conv2}(a, b, x)$ 表示滤波器 a, b 对 x 作二维卷积; $ca2, ch2, cv2$ 为二层小波分解的低频、水平高频和垂直高频系数; l, h 为低频和高频重构滤波器。然后用同样的方法对第一层系数重构,重构后图像即为逆半调图。

2 验证及分析

2.1 验证实验

实验选择调幅加网和调频加网图像进行逆半调算法验证实验,以判断算法是否对调频加网和调幅加网图像逆半调处理都有很好的适应性。调幅加网和调频加网逆半调实验图像见图 3。

实验还利用峰值信噪比 (PSNR) 和结构相似度 (SSIM) 图像质量评价算法对实验所得逆半调图像进行图像质量评价,实验结果见表 1。

表 1 逆半调图像质量评价

Tab. 1 Inverse halftoning image quality evaluation value

加网类型	PSNR 值/dB	SSIM 值
调幅	15.2640	0.6617
调频	17.5148	0.7926

从实验图像和表 1 可以知道,调频加网逆半调图像质量要好于调幅加网逆半调图像。这是因为在调频加网中,网点大小相等,在图像中间调和暗调部分都有网点并列形式存在。而调幅加网却更多的以网点重叠形式存在,去除网点后图像中间调和暗调图像损失严重,影响逆半调图像恢复质量。



图 3 调幅加网和调频加网逆半调实验图像

Fig. 3 Experimental images of

inverse halftoning of FM and AM screening

2.2 逆半调图像质量评价

实验最后选择 ECI 2002 色标靶作为逆半调实验图像,加网参数未知。通过扫描输入后进行逆半调处理最后得到逆半调图像,实验图像见图 4。

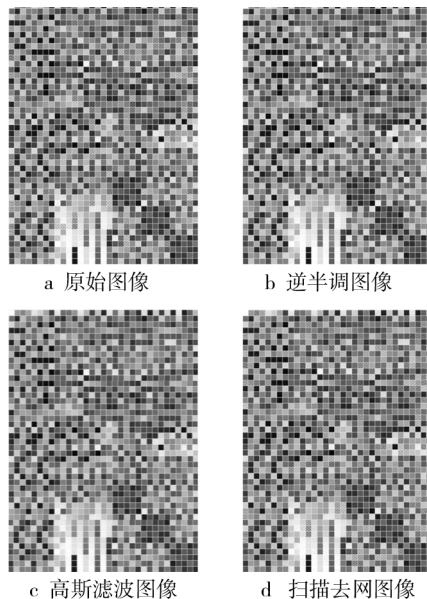


图 4 逆半调实验图像

Fig. 4 Experimental image of inverse halftoning

实验同时选择 PSNR 和 SSIM 图像质量评价算法对逆半调图像质量进行评价和分析,结果见表 2。

通过图 4 和表 2 可知,所选的逆半色调算法在去除半色调网点的效果要明显由于高斯滤波和扫描仪去网,网点得到了有效去除。而在高斯滤波中,网点

表 2 PSNR 和 SSIM 图像质量评价参数
Tab.2 Parameters for PSNR and
SSIM image quality evaluation

逆半调方法	PSNR(dB)	SSIM
B 样条小波	28. 8457	0. 9187
高斯滤波	23. 2649	0. 7678
扫描去网	18. 1637	0. 5273

虽然得到了一定程度去除,但图像明显模糊不清。而扫描仪去网则还残留有部分网点。

3 结论

提出了一种针对加网类型和参数不确定的小波变换逆半调算法,实验结果表明,该算法能够对调频加网、调幅加网以及加网参数未知的调幅加网彩色印刷图像具有很好的去除半色调网点的功能,提高逆半调算法的适应性。由于网点形状和加网线数也将对逆半调图像质量产生较大影响,下一步将研究逆半调算法对同一加网类型中不同加网参数的彩色印刷图像的半色调网点去除效果。

参考文献:

[1] 孔月萍,曾平,吴自力. Karhunen-Loeve 及多尺度金字塔联合变换的彩色逆半调算法[J]. 光学学报,2007,27(10):1745-1750.
KONG Yue-ping,ZENG Ping,WU Zi-li. Color Inverse Halftoning Algorithm Based on K-L and Multi-scale Pyramid transform[J]. Acta Optica Sinica,2007,27(10):1745-1750.

[2] CHUNG Kuo Liang,WU Shih Tung. Inverse Halftoning Algorithm Using Edge-Based Look up Table Approach[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(10): 1583-1589.

[3] HUANG Yong Huai,CHUNG Kuo Liang,DAI Bi Ru. Improved Inverse Halftoning Using Vector and Texture-look up Table-based Learning Approach[J]. Expert Systems with Applications, 2011,38:15573-15581.

[4] KONG Yue-ping,ZENG Ping,WU Zi-li,et al. Inverse Halftoning via Median Interpolating Pyramid[C]. ICSP 2006 Proceedings,2006,2:16-20.

[5] ZHONG Yun-fei,FU Lu-jing,ZHOU Tao. Based on Median Pyramid Transform of the Color Image Inverse Halftoning[J]. Applied Mechanics and Materials,2012,200:724-729.

[6] 刘晓虹,刘晓光,马占飞. 基于人眼视觉系统模型的彩色图像逆半调算法[J]. 液晶与显示,2008,23(6):783-786.
LIU Xiao-hong,LIU Xiao-guang,MA Zhan-fei. Inverse Halftoning Algorithm for Color Image Based on Human Visual System Model[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays,2008,23(6):783-786.

[7] ZHANG Er-hu,MA Hua-bing,HE Meng,et al. An Improved Descreening Algorithm for Color halftone Image Based on wavelet Decomposition[C]. Congress on Image and Signal Processing,2008:242-246.

[8] 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.

[9] XIONG Zi-xiang, ORCHARD M T, RAMCHANDRAN K. Inverse Halftoning Using Wavelets[J]. IEEE Transactions on Image Processing,1999,8(10):1479-1483.

[10] DJEBBOURIA M, DJEBBOURIB D, NAOUMA R. Wavelet-based Inverse Halftoning for Error Diffused Halftones[J]. Internation Journal of Electronics and Communications, 2005,59:128-133.

[11] NEELAMANI R,NOWAK R D,BARANIUK R G. WInHD: Wavelet-based Inverse Halftoning via Deconvolution[J]. Rejecta Mathematica,2009,1(1):86-103.

[12] 付芦静,钟云飞,周涛. 基于 B 样条小波的彩色印刷扫描图像逆半调[J/OL]. 计算机工程与应用,(2012-04-25). <http://www.cnki.net/KCMS/detail/11.2127.TP.20120425.1721.051.html>.
FU Lu-jing,ZHONG Yun-fei,ZHOU Tao. B-spline Wavelet Based Color Printing Scan Images Inverse Halftoning[J/OL]. Computer Engineering and Applications,(2012-04-25). <http://www.cnki.net/KCMS/detail/11.2127.TP.20120425.1721.051.html>.

[13] YONG Xu-dong, SONG Yong-hong, ZHANG Yuan-lin. A Robust Inverse Halftoning Algorithm Based on Parameter Estimation for AM Halftone Image[C]. 2011 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing,2011:1-4

[14] 张义荣,鲜明,肖顺平. 根据时-频分辨特性的 B 样条双正交小波选择[J]. 计算机学报,2002,25(4):430-437.
ZHANG Yi-rong,XIAN Ming,XIAO Shun-ping. The Choice of B-spline Biorthogonal Wavelets According to Time-frequency Resolution Property[J]. Chinese Journal of Computers,2002,25(4):430-437.