

PSNR 在网目调数字图像质量评价中的应用研究

刘长鑫¹, 刘真¹, 杨晟炜¹, 卢亮²

(1. 南京林业大学 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室, 南京 210037; 2. 北京环球信息应用开发中心, 北京 100094)

摘要: 详细论证了峰值信噪比(PSNR)在网目调数字图像质量评价中的缺陷, 并对 PSNR 算法进行了改进, 提出了分块的峰值信噪比(BPSNR, Block PSNR)这一方法, 降低了 PSNR 对图像阶调分布的依赖性, 提高了评价结果与视觉感受的一致性。实验证明, 这一方法可以用于网目调数字图像的质量评价。

关键词: 峰值信噪比; 网目调图像; 分块峰值信噪比

中图分类号: TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0108-04

Application Study of PSNR in Quality Evaluation of Digital Halftone Image

LIU Chang-xin¹, LIU Zhen¹, YANG Sheng-wei¹, LU Liang²

(1. Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Beijing Global Center of Information Application and Development, Beijing 100094, China)

Abstract: The disadvantages of PSNR in digital halftone image's quality evaluation were demonstrated. Algorithm of PSNR was improved and blocked PSNR was put forward to decrease the dependence of tone distribution and increase the consistency between evaluation result and people's visual receipt. Experimental result showed that method is available in evaluation of digital halftone images.

Key words: PSNR; halftone image; BPSNR

图像网目调就是利用数字图像处理技术,把多灰度级的连续调图像转化为二级或有限灰度级图像,并以网点的大小或聚集形式来表现图像阶调的过程。网目调图像利用了人眼的低通滤波特性,当人们在一定距离下观察图像时,人眼所获得的局部平均灰度值近似于原始图像的局部平均灰度值,并在整体上产生图像多级灰度的感觉,从而在视觉上达到连续调的效果^[1-2]。因此,网目调图像在视觉上能否与原图一致,很大程度上依赖于图像像素相互之间的光学作用及其在人眼视觉上产生的影响。数字网目调图像的质量直接决定输出印刷品的质量,因此对网目调图像进行评价,有利于比较网目调算法的优劣,促进算法的改进,并最终改善输出质量^[3-4]。近年来,针对网目调图像进行客观评价的研究大都引入了数字信号学中的峰值信噪比(PSNR)这一概念,但使用 PSNR 评价网目调图像存在很多不足之处,所得到的 PSNR 数值不能直接作为网目调图像质量的评价指标。

1 PSNR 在网目调图像评价应用中的缺陷

峰值信噪比(PSNR)是客观衡量被测图像与原图像整体偏差的数值,以单个像素为单位,计算峰值顶点信号与各信号均方误差的比值,是对图像所有像素灰度偏差进行统计和平均。其计算公式如下:

$$PSNR = 10 \lg \frac{D^2}{\frac{1}{MN} \sum_M \sum_N [f(m,n) - g(m,n)]^2}$$

(1)

式中: $f(m,n)-g(m,n)$ 是原图像与被测图像在 (m,n) 处的像素灰度值之差; M 和 N 表示图像横向和纵向上总的像素数; D 是指连续调图像最大灰度级。PSNR 在连续调图像的评价中可以客观说明两幅图像整体统计特性的差别,间接反映二者在图像层次上的一致性。在对网目调图像的评价中,通常做法

收稿日期: 2011-08-17
作者简介: 刘长鑫(1986—),男,江苏徐州人,南京林业大学硕士生,主攻数字图像加网。

是:将不同算法获得的网目调图像分别与原连续调图像结合,求出它们的 PSNR 值,随后通过比较 PSNR 值的大小评判网目调图像的优劣。这种做法存在一些不足之处,具体表现为:

1) PSNR 忽视人眼的低通滤波特性,而网目调图像成像恰恰依靠人眼的这一特性,正是因为人眼具有低通滤波特性,所以在一定观察条件下,网目调图像会给人一种连续调的视觉感受。如果完全忽略人眼的这一特性,那么所得到的两幅图像一致性的数值很可能会与人眼感受产生较大偏差^[5-6]。

实验一:分别用误差扩散算法和阈值抖动算法对 lena 灰度图像进行网目调处理,计算其 PSNR 值,并与主观感受相比较。

经过计算,图 1 中 2 张图像的 PSNR 值见表 1,

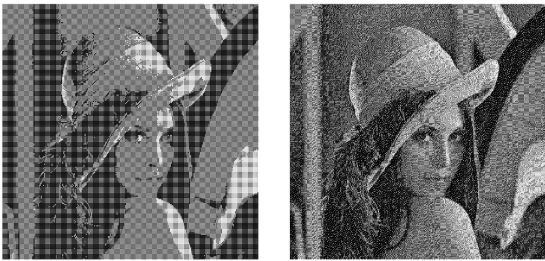


图 1 阈值抖动算法和误差扩散算法处理的 lena 图像
Fig. 1 Lena Images processed by Bayer algorithm and Floyd-Steinberg

表 1 2 种网目调方法获得的图像 PSNR 值
Tab.1 PSNR of images with two kinds of halftoning method

图像	PSNR 值
P_{fs}	7.026 5
P_{bayer}	6.448 3

其中, P_{fs} 是指利用 Floyd-Steinberg 误差扩散算法获得的网目调图像, P_{bayer} 是指利用 Bayer 矩阵抖动算法获得的网目调图像。可以看出,两张主观上网目调质量差别非常明显的图像,其 PSNR 值却相差不大,与实际情况不符。

2) PSNR 没有考虑网目调图像与原图像部分像素偏差较大的情况,而是将所有像素同等对待,计算其差值的平均值。在评价网目调图像时,由于原图像已经被二值化,多数像素都会与原图像的像素灰度值相差很大,这会造成 PSNR 值不稳定,对图像的阶调分布状况有较大依赖。不同阶调分布的图像采用同一网目调算法进行二值化,计算所得图像与原图像的

PSNR 值可能会有很大差别。针对不同阶调分布的图像,PSNR 无法获得一个固定值作为参考,即无法用 PSNR 来衡量某种网目调算法的优劣^[7-8]。

实验二:对以偏暗调、中间调和偏亮调为主要阶调的 lena 图像,采用 Floyd-Steinberg 算法得到其网目调图像,见图 2。分别计算和比较其 PSNR 值,PSNR 值见表 2。



图 2 不同阶调分布的 lena 图像及其网目调图像
Fig. 2 Images and halftone images of lena with different tone distribution

表 2 3 组图像的 PSNR 值
Tab.2 PSNR of three groups of image

图像	PSNR 值
P_{light}	11.094 4
P_{shadow}	14.403 9
P_{middle}	7.027 5

表 2 中, P_{light} , P_{shadow} 以及 P_{middle} 分别表示图 2 中以暗调、中间调和亮调为主要阶调的图像。可见,对于中间调居多的图像,其结果较小;而对于偏亮调和偏暗调的图像,PSNR 值则较大。这说明网目调图像的 PSNR 值对图像阶调分布有着很强的依赖性。实验证明,对其它图像也存在这一现象。

3) PSNR 不能反映图像局部偏差和细节表现,无法体现网目调图像中经常存在的纹理现象。不同的网目调算法所得到的二值图像具有不同的特性和纹理,网目调图像中经常会出现“龟纹”和“蠕虫”等现象。由于 PSNR 是基于整体的灰度值统计和平均,因此无法体现图像中是否会有此类条纹,也不能确定这些条纹会对 PSNR 值产生怎样的影响。基于以上 3 点,可以认为单纯地将 PSNR 直接应用于网目调图像

的评价,其结果不具备参考价值。

3 分块峰值信噪比方法的应用研究

对于一幅 8 位的图像,在其经过二值化以后,每个像素的灰度值非 0 即 255。对应原图上像素值为 0 或 255 的点,二值化以后该点像素值不变,偏差为 0;而对应原图上像素值为 127 的点,二值化以后,其像素值为 0,偏差为 127。原图与被测图中存在着大量类似的像素点,这些点会对 PSNR 值产生不可预见的影响,使结果失去稳定性。因此,如果可以消除这些差值较大和较小的点对 PSNR 值的影响,使结果具有稳定性,就有利于形成一个标准值以供参考。此外,如果能够考虑到像素之间在成像时的相互影响,一定程度上符合人眼的视觉特性,就可以提高客观评价结果与主观视觉上的一致性。

因此,提出分块峰值信噪比方法(BPSNR),该方法是将图像分成若干小块(例如以 3×3 像素作为一个小块),自上而下,自左而右,依次对原图与被测图像的小块的灰度值进行求和平均运算,然后按块计算其峰值信噪比。这一方法仍采用峰值信噪比的思想,但并非对单一像素进行运算,而是将某一区域的像素求和平均后作为一个较大的“像素”进行运算,适当考虑了像素与像素之间在成像时的相互影响,其结果在一定程度上更为符合人眼视觉特性,提高了与主观评判的一致性。其次,这种方法中每个像素块都可以看作一个较大的 255 级的像素,不会出现较大差值的现象,其结果对被测图像阶调分布的依赖较小,可以获得较为稳定的参考标准。计算 BPSNR 的公式如下:

BPSNR = 10lg \frac{D^2}{\frac{1}{n} \sum \bar{V}(k,l)^2} (2)

式中:D 表示图像最大灰度级;n 为所计算的像素块(包括边缘像素)总个数;\bar{V}(k,l)表示两幅图像在 (k,l)方向上对应分块像素的灰度值之差。

假设被测 8 位图像大小为 M×N,以 3×3 为块“分割”图像,得到新的大“像素”总数为 MN/(3×3)。当 M/3 和 N/3 不能整除时,边缘会有剩余的行和列,在选取的像素块较小的时候,可以将边缘像素单个运算。设 C_m 为行剩余数,C_n 为列剩余数,则边缘剩余像素数为 MC_n + NC_m - C_mC_n,即总的计算个数为:

n = \frac{MN}{3 \times 3} + MC_n + NC_m - C_mC_n (3)

原连续调图像与网目调图像每个分块中的像素平均值之差为:

\bar{V}(k,l) = \frac{1}{3 \times 3} \sum_{i=1}^{k+1} \sum_{j=1}^{l+1} [f(i,j) - g(i,j)] (k,l=2,5,8\cdots) (4)

由式(2)和(3)可知,所求的 BPSNR 为:

BPSNR = 10lg \frac{D^2}{\frac{1}{n} \sum_0^M \sum_0^N \bar{V}(3k+2,3l+2)^2} (5)

其中:M,N 分别为图像行和列像素数。用 BPSNR 再次重复前面两个实验,结果见表 3—4。

表 3 两种网目调方法获得的图像 BPSNR 值
Tab.3 BPSNR of images with two kinds of halftoning method

图像	BPSNR-2	BPSNR-3	BPSNR-4	BPSNR-8
B _{fs}	31.256 1	32.755 7	32.456 2	34.253 1
B _{bayer}	23.087 4	22.670 1	21.998 1	30.022 9

表 4 三组图像的 BPSNR 值
Tab.4 BPSNR of three groups of image

图像	BPSNR-2	BPSNR-3	BPSNR-4	BPSNR-8
B _{light}	38.154 2	39.494 9	38.313 6	42.271 7
B _{shadow}	35.008 2	36.744 7	35.871 9	36.155 6
B _{middle}	34.195 4	34.755 7	34.968 2	39.745 7

表 3 和表 4 中,BPSNR-2,BPSNR-3,BPSNR-4 和 BPSNR-8 分别表示采用 2×2,3×3,4×4 以及 8×8 个像素作为一个像素块进行计算所获得的 BPSNR 值。实验证明,采用 2×2 或者 4×4 的窗口作为一个像素块,对 BPSNR 值影响不大。而窗口过大则会使结果变化过大,因为窗口过大会使得求均方差的意义变小,从而使平均值产生较大偏差。

对另外 3 幅测试图像分别用 Floyd-Steinberg 误差扩散算法以及 Bayer 抖动算法进行处理,并分别计算其与连续调图像的 PSNR 和 BPSNR 值,比较这两种评价指标与图像主观评价的吻合程度,从而验证 BPSNR 是否更适合用于网目调图像的评价。

图 3 中,第 1 排为 3 幅原图,中间一排为使用误差扩散网目调后的图像,而第 3 排为分别使用 Bayer2 阶、4 阶及 8 阶矩阵抖动获得的网目调图像。

表 5 中,主观评价按照网目调图像与原图的一致性分为“优”、“良好”、“一般”、“差”、“较差”5 个等级。由两组评价人员打分,每组 5 人,其中一组具有一定图像处理、识别经验,另一组不具备相关经验。

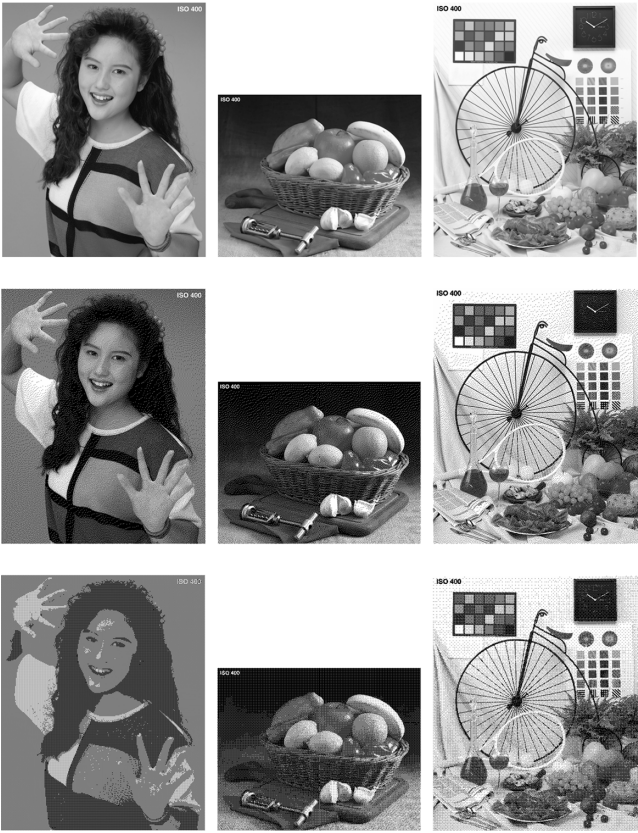


图 3 三组测试图原图和网目调图结果对比
Fig. 3 Comparison of 3 groups of original and halftone image

表 5 测试图评价结果对比

Tab.5 comparison of evaluation result of 3 groups image

图像		主观评价	PSNR	BPSNR
测试图 N1	误差扩散	良好	8.386 2	32.936 2
	2 阶 Bayer	较差	7.304 1	23.597 6
测试图 N2	误差扩散	良好	8.477 3	33.493 6
	4 阶 Bayer	差	8.077 8	26.496 9
测试图 N3	误差扩散	良好	8.849 4	33.453 2
	8 阶 Bayer	一般	8.440 3	28.451 9

通过表 1 和 3 可以看出:PSNR 对主观上差别较大的图像,很难通过数值大小加以区分。通过比较表 2 和 4 可以看出:BPSNR 值的评判结果相比 PSNR,对阶调分布具有更低的依赖性。结合表 5 和图 3 可以看出,主观良好的图像的 BPSNR 值一般会稳定在 30 以上,而主观上相差较大的网目调图像,其 BPSNR 值也相差较大,这更有利于形成标准,以鉴定网目调图像的优劣。

4 结语

网目调图像是由微小的二值点构成,它依靠人眼的低通滤波特性而呈现出连续调图像的视觉感受,因此对连续调和网目调数字图像的客观评价方法也不尽相同。论证了峰值信噪比(PSNR)不适用于网目调图像评价的 3 个主要原因,并且对其进行了适当改进,提出了采用分块的峰值信噪比(BPSNR)评价网目调数字图像。该方法能够较好地解决前两个问题,更适用于网目调图像的评价。但是目前对网目调数字图像进行客观评价的方法,都未能很好地解决第 3 个问题,即无法客观体现网目调图像局部细节上与原图的一致性。后续研究可以将结构相似度(SSIM)^[9]评价方法针对网目调图像进行改进,并与 BPSNR 相结合,以期得出对网目调图像纹理细节上的客观评价结果。

参考文献:

[1] 周弈华. 数字加网图像质量评价方法的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 116—117.
ZHOU Yi-hua. Study of the Quality Assessment Methods of Halftoned Images [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 116—117.

[2] 姚莉. 数字半调技术及其评价方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(3): 4—8.
YAO Li. Review on Digital Halftoning and Quality Assessment Schemes[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(3): 4—8.

[3] 蒋刚毅. 图像质量评价方法研究进展 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 219—225.
JJANG Gang-yi. Overview on Image Quality Assessment Methods. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(1): 219—225.

[4] LAU D L. Modern Digital Halftoning. Signal Processing and Communication Series[M]. (余不详)

[5] 赵小梅. 数字加网图像的质量评价研究 [J]. 包装工程, 2009, 30(1): 93—95.
ZHAO Xiao-mei. Study of Quality Assessment on Halftoned Images [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 93—95.

[6] 李红蕾. 关于图像质量评价指标 PSNR 的注记[J]. 广东工业大学学报, 2004, 21(3): 74—78.

- Structural Shell by Means of Finite Element Analysis [J]. Noise and Vibration Control, 2009(3):140-143.
- [13] 邵文全, 计宏伟, 李砚明, 等. 信号采集仪运输包装件缓冲性能研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3):11-14.
- SHAO Wen-quan, JI Hong-wei, LI Yan-ming, et al. Research on Cushioning Properties of the Signal Acquisition Instrument Package[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3):11-14.
- [14] 刘乘, 沈训乐, 李勤. 跌落试验数据采集及分析系统研究[J]. 包装工程, 2010, 31(17):1-3.
- LIU Cheng, SHEN Xun-le, LI Qin. Research on Drop Test Data Acquisition and Analysis System[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17):1-3.
- [15] 于君, 王洋, 焦新泉, 等. 基于冲击振动信号的响应谱分析研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9):1-3.
- YU Jun, WANG Yang, JIAO Xin-quan, et al. Research of Shock Response Spectrum Based on Shock and Vibration Signal[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9):1-3.
- [16] 肖集雄. 混响室条件下小尺寸屏蔽壳体电磁耦合作用规律的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- XIAO Ji-xiong. Research on the Electromagnetic Coupling Law of Small Shielding Enclosure under Reverberation Chamber Condition[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.
- [17] 安静, 武俊峰, 吴一辉. 孔缝对内置电路板壳体屏蔽效能的影响[J]. 微波学报, 2011, 27(2):34-37.
- AN Jing, WU Jun-feng, WU Yi-hui. Influence of Apertures on Shielding Effectiveness for Shell of Loaded PCB [J]. Journal of Microwaves, 2011, 27(2):34-37.
- [18] 朱占平. 带缝金属腔体、电子线路的微波耦合特性分析与基本电路的微波注入效应实验研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- ZHU Zhan-ping. Theoretical Analysis on the Characteristics of Microwave Coupling into the Cavity with Slots and into the Circuit and Experimental Study of Microwave Injection into the Basic Circuit[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011.
- [19] 李海良. 多层微波电路通孔结构的建模与电磁特性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- LI Hai-liang. Research on Electromagnetic Characteristics and Modeling of Typical Through-hole Via in Multi-layered Microwave Circuit [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2010.
- [20] 李水利. 壳体传感一体化电子测压器研究[D]. 太原: 中北大学, 2009.
- LI Shui-li. The Integrated Pressure Testing Device of Sensor and Shell Designing [D]. Taiyuan: North University of China, 2009.
- [21] 翁志能. 传感与壳体一体化微型电子测压器的设计及校准技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2011.
- WENG Zhi-neng. The Design of Sensing and Shell Integration Miniature Electronic Pressure Test Device and the Calibration Technology Research [D]. Taiyuan: North University of China, 2011.
- [22] 兰爽. 基于改进的 FUZZY 法的包装产品评价模式探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(7):37-39.
- LAN Shuang. Primary Investigation on Packaging Product Evaluation Mode Based on Improved FUZZY Method [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):37-39.

(上接第 111 页)

- LI Hong-lei. The Exegesis of the Quality Assessment PSNR of Images[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2004, 21(3):74-78.
- [7] 赵小娥. 网目调图像质量评价研究[J]. 西安工程科技大学学报, 2006, 20(3):347-350.
- ZHAO Xiao-e. Study on the Quality Evaluation of Half-tone Image [J]. Journal of Xi'an University of Engineering Science and Technology, 2006, 20(3):347-350.
- [8] KANG H R. Digital Color Halftoning. SPIE/IEEE Series on Imaging Science & Engineering[M]. New York: IEEE Press, 1999.
- [9] 佟雨兵. 基于 PSNR 与 SSIM 联合的图像质量评价模型[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(2):1758-1763.
- Tong Yu-bing. Image Quality Assessing by Combining PSNR with SSIM [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(2):1758-1763.