

一种改进的基于结构相似度的图像质量评价方法

糜靖峰¹, 李庆武^{1,2}, 朱 浩¹, 霍冠英^{1,2}

(1. 河海大学 物联网工程学院, 江苏 常州 213022;

2. 海洋与近海工程研究院, 江苏 南通 226019)

摘 要:基于结构相似度(SSIM)的图像质量评价方法简单高效,准确性较高,评价性能优于峰值信噪比(PNSR)和均方误差(MSE),但SSIM模型不能较好地评价严重失真和交叉失真类型的图像。文中提出了一种改进的基于结构相似度的图像质量评价方法(HSSIM),该方法将直方图信息作为图像的主要结构信息,根据人眼视觉特性,利用直方图集中度来表示图像模糊度,最终计算得到图像的结构相似度值。实验结果表明,HSSIM比SSIM模型更符合人眼视觉系统特性,能更好地评价失真图像的质量。

关键词:结构相似度;失真图像;直方图集中度;直方图结构相似度;人眼视觉系统

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)03-0067-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.03.017

An Improved Image Quality Assessment Method Based on Structural Similarity

MI Jing-feng¹, LI Qing-wu^{1,2}, ZHU Hao¹, HUO Guan-ying^{1,2}

(1. College of Internet of Things Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China;

2. Nantong Hohai University Marine and Offshore Engineering Research Institute, Nantong 226019, China)

Abstract:SSIM is an image quality assessment algorithm with the advantage of simplicity, high efficiency and better consistence. Its evaluation of performance is better than PNSR and MSE, however, it often fails when assessing badly distorted or cross distorted images. In this paper, an improved image quality assessment algorithm based on structural similarity (HSSIM) is proposed, which takes the histogram concentration as the main structural information of an image, according to the human visual characteristics, using histogram concentration to calculate the fuzzy degree of the image, obtaining the structure similarity value of the image finally. Experimental results show that, compared with the SSIM model, the proposed HSSIM model is more consistent with human visual system and can assess the quality of fault images more precisely.

Key words:SSIM; distorted image; histogram concentration; HSSIM; human visual system

0 引言

图像质量评价从方法上可以分为主观评价方法和客观评价方法。主观评价方法需要组织观察者主观感受图像的质量,在工程应用中耗时耗力,且不能直接应用于图像处理系统中。而客观评价方法通过建立数学模型,并由具体的公式计算图像的质量,具有简单、便于内置于图像处理系统中的优点,因此成为常用的图像质量评价方法。

峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)和均方误差(Mean Square Error, MSE)是最常用的两种

客观评价标准^[1-2],其计算简单高效、物理意义明确。但是由于这两种方法都是基于逐像素点比较图像差别,未考虑图像内容和位置信息的差异,只是对人眼主观视觉感觉的有限度的近似,所以这两种方法评价结果不够准确。

为了寻找更为有效的图像质量评价方法,许多学者结合人类视觉系统特性并将其融入图像质量评价中,提出了一些有效的算法。Stefan Winkler提出了PDM(Perceptual Distortion Metric)模型^[3],该模型将视觉空间、时间和色彩感知特性嵌入到质量评价系统中。

Wang 等人^[4-6]在分析了基于 HVS 模型评价方法的局限性后提出基于结构相似度图像质量评价方法 (SSIM), 参考人类视觉系统特性, 认为图像像素之间有很强的相关性, 其中包含大量的结构信息, 提取图像的结构信息, 从而通过测量图像结构信息的改变去衡量其质量的变化程度。SSIM 算法简单高效, 并且评价性能优于传统的 PSNR 和 MSE, 与一些经典的基于 HVS 的评价方法^[7]相比也具有优势。但是, SSIM 对不同降质类型的图像评价欠佳, 与人眼的主观感受有很大差异。很多学者对 SSIM 进行了深入研究, 并做了不同的改进, 如杨春玲等人^[8]使用梯度信息代替原方法中的 s 函数, 改进后的算法能很好地评价模糊图像的质量。除此之外, 一些方法从变换域角度出发, 如 DCT 域的结构相似度 (FSSIM)^[9]、小波域的结构相似度 (DWTSSIM)^[10-11]等; 还有一类方法是将 SSIM 和基于 HVS 特征的评价方法加权结合进行研究^[12-14], 这类方法主要是结合 HVS 特性, 将图像质量的评价划分为视觉感兴趣区和非感兴趣区的加权组合评价。但是由于其没有考虑视觉感兴趣区域中严重失真对人眼的影响, 得到的评价结果与人眼视觉感知还是有一定的出入。

文中提出一种改进的基于结构相似度的图像质量评价方法 (Histogram Structural SIMilarity, HSSIM), 图像质量越差越模糊, 直方图越向均值附近集中, 利用直方图上图像灰度均值附近灰度值出现的概率来表征图像的模糊度, 最终通过计算两幅图像的结构相似度得到评价价值。实验结果表明: 相比于 SSIM, HSSIM 方法评价失真图像结果更加的准确, 而且能够合理地评价不同失真类型的图像。

1 结构相似度

Wang Zhou 等人^[4]在多年对图像压缩、图像处理和图像质量评价工作的基础上提出的 SSIM 方法包括亮度、对比度和结构相似性三部分, 其模型定义为:

$$SSIM = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (1)$$

$$l(x, y) = \frac{2u_x u_y + c_1}{u_x^2 + u_y^2 + c_1} \quad (2)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \quad (3)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x \sigma_y + c_3} \quad (4)$$

式(1)中, $l(x, y)$, $c(x, y)$, $s(x, y)$ 分别为两幅图像的亮度相关函数, 对比度相关函数和结构相似度相关函数, 其中 μ_x, μ_y 为图像 x, y 的均值; σ_x, σ_y 为图像 x, y 的方差; σ_{xy} 为图像 x, y 的协方差; c_1, c_2, c_3 为很小的正常数, 以防止分母为零或接近于零而造成不稳定

现象; 参数 $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$, 一般取 $\alpha = \beta = \gamma = 1$, $c_1 = (k_1 L)^2, c_2 = (k_2 L)^2, c_3 = (c_2/2)^2, k_1 \ll 1, k_2 \ll 1$, L 是图像中像素值的取值范围, 对于 8 位灰度图而言, $L = 255$ 。结构相似度的值越高, 表示原图像 x 和降质 y 越相似。

为了提高评价结果的准确性, 对图像进行分块处理, 分别计算每块图像的 SSIM 值。整幅图像的平均结构相似度 (MSSIM) 是通过对所有图像块的 SSIM 值求均值得到的:

$$MSSIM = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j) \quad (5)$$

其中, M 为图像分块后的子图像数目。

实验结果表明, SSIM 评价方法优于 PSNR 和 MSE。但该方法也有其不足之处, 其对模糊图像尤其是严重模糊图像的质量评价不再准确。因此, 文中提出了一种改进的基于结构相似度的图像质量评价方法。

2 基于直方图集中度的结构相似度

图像直方图是图像处理中的一种十分重要的分析工具, 它描述了一幅图像的灰度级内容与各灰度级像素出现概率之间的关系, 任何一幅图像的直方图都包含了丰富的信息, 这些信息可以有效地使用在模糊度的判别上。文中采用给不同灰度值赋权值的方法, 并假定图像灰度均值具有最高的权值, 其他各灰度值对应权值的大小与此灰度值距离灰度均值的距离成反比, 来描述图像灰度值的集中程度, 计算出图像的模糊度, 然后参照结构相似度的方法, 对其进行改进得到新的算法。

2.1 图像模糊度

借鉴文献[15]中定义模糊度函数的方法, 对其进行改进得到新的模糊度函数 s 如下:

$$s = \sum_{x_i=0}^{255} p(x_i) w(i) \quad (6)$$

$$w(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i}{x_{av}} & x_i < x_{av} \\ \frac{255 - x_i}{255 - x_{av}} & x_i \geq x_{av} \end{cases} \quad (7)$$

其中, x_i 是图像的灰度级; x_{av} 是图像的灰度均值; $w(x_i)$ 是灰度值 x_i 在计算集中度时对应的权值; $p(x_i)$ 是 x_i 在图像中出现的概率, 对应直方图相应灰度值的纵坐标值。

2.2 基于直方图集中度的结构相似度

由于模糊度函数 s 可以很好地表征图像的模糊程度, 因此在结构相似度的基础上, 将 SSIM 模型中的结构相似度比较函数 $s(x, y)$ 用函数 $h(x, y)$ 替换, 即:

$$h(x,y)=\frac{2s_x s_y+c_3}{s_x^2+s_y^2+c_3}\tag{8}$$

其中, s_x,s_y 分别为原图像 x 和降质图像 y 的模糊度。

将式(1)中的 $s(x,y)$ 用 $h(x,y)$ 代替,得到基于直方图集中度的结构相似度:

$$\text{HSSIM}=[l(x,y)]^\alpha [c(x,y)]^\beta [h(x,y)]^\gamma\tag{9}$$

其中 α,β,γ 都等于1。文中对图像进行 $4*4,8*8$ 和 $16*16$ 分块分别进行处理,最终计算其均值 MH-SSIM。实验证明 $8*8$ 的分块效果最好,因为若分块过小则算法运行时间过长,不满足实时性,相反分块过大虽然提高了实时性,但是计算的结果不够精确。而 $8*8$ 分块既可以保证评价结果的准确性,又可以保证实时性。

3 实验结果与分析

为了验证上述方法的正确性和有效性,对标准图像库^[16]中的图片进行了大量的实验与分析。选取 Cameraman 标准图像,对其进行不同程度的模糊处理得到降质图像如图 1 所示,分别用 SSIM 和 HSSIM 方法对其进行评价,得到其评价指标值(值越大说明图像质量越好)如表 1 所示。



图 1 原图和模糊图像

表 1 不同算法对模糊图像的评价结果

	图 1(b)	图 1(c)	图 1(d)
SSIM	0.681 8	0.435 7	0.634 5
HSSIM	0.920 5	0.832 4	0.785 6

由表 1 可知图 1(b)、(c)、(d) 的 SSIM 值分别为 0.681 8,0.435 7,0.634 5,说明在这指标下,图 1(d) 的质量好于图 1(c),但从视觉效果看,其情况并非如此。由此说明了 SSIM 方法对严重失真的图像评价不再准确,而 HSSIM 方法其评价指标值与主观视觉效果保持

了很好的一致。

另外为了说明 HSSIM 方法相比于 SSIM 方法对评价不同失真类型图像的优越性,对标准 Lena 图像分别添加椒盐噪声、高斯噪声等,得到不同类型的失真图像如图 2 所示,测试结果如表 2 所示。



图 2 原图和不同失真类型图像

表 2 不同算法的评价结果

	图 2(b)	图 2(c)	图 2(d)
MSE	353.828 4	453.436 7	305.047 2
PSNR	22.642 9	21.569 8	23.287 1
SSIM	0.414 8	0.367 5	0.516 2
HSSIM	0.860 7	0.810 3	0.602 8

由表 2 可知:图 1(b) 的 MSE,PSNR,SSIM 的值分别为 353.828 4,22.642 9,0.414 8;图 1(d) 的 MSE,PSNR,SSIM 的值分别为 305.047 2,23.287 1,0.516 2。说明在这些指标的意义下,图 1(b) 的质量没有图 1(d) 的质量好。但从视觉效果看,图 1(b) 的质量明显好于图 1(d),因此 MSE,PSNR 和 SSIM 方法对交叉失真类型图像评价不再准确。而利用 HSSIM 方法得到的测试数据,其评价结果与视觉效果保持一致,可以对不同失真类型的图像进行交叉的评判。

在实际中,很多图像会不可避免地引入各种噪声,因此作为图像质量评价的指标其应该具有较强的抗噪性,即在有噪声干扰下评价结果依然较为准确。为了验证 HSSIM 算法评价模糊图像时具有良好的抗噪性,对有噪声干扰下的不同模糊程度的 Lena 图像(见图 3)用 HSSIM 方法进行质量评价,实验结果如表 3 所示。

表 3 HSSIM 对加噪模糊图像评价结果

评价模型	图 3(b)	图 3(c)	图 3(d)
HSSIM	0.742 1	0.684 6	0.502 1

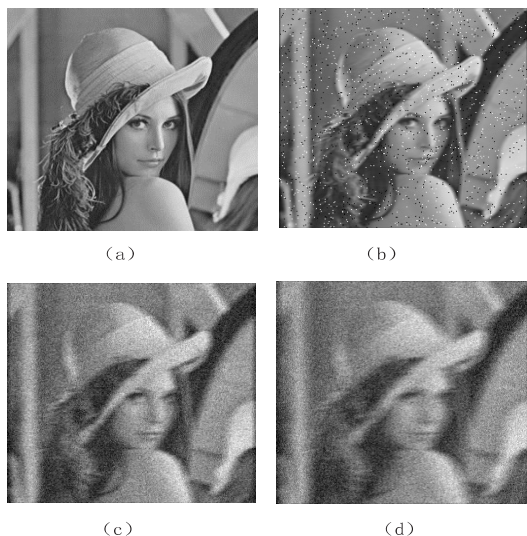


图 3 原图和加噪后模糊图像

从表 3 的评价数据可以看出, HSSIM 算法在对模糊图像进行质量评价时具有良好的抗噪能力, 得到的结果准确性高, 与主观评价基本保持一致。

4 结束语

在 SSIM 的基础上, 文中提出了一种新的图像质量评价方法 HSSIM。HSSIM 将直方图集中度所表示的图像模糊度应用到 SSIM 方法中, 对基于结构相似度的图像质量评价方法进行改进, 弥补了 SSIM 对严重失真图像和交叉失真类型评价不准确的不足, 并且具有较强的抗噪能力。实验结果表明, HSSIM 能更加准确地描述自然图像的质量特征, 同时也比较全面地考虑了影响图像质量的各种因素, 评价结果优于 MSE、PSNR 以及 SSIM, 且计算简单高效, 符合人眼视觉系统特性。

参考文献:

- [1] Mannos J L, Sakrison D J. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images[J]. IEEE transactions on information theory, 1974, 20(4): 525-536.
- [2] Liang Yanling, Yang Chunling, Yu Yingling. Arbitrary shaped ROI image coding based on HVS[J]. Journal of South China university of technology, 2005, 33(3): 44-49.

- [3] Winkler S. A perceptual distortion metric for digital color images[C]//Proc of international conference on image processing. [s. l.]: IEEE, 1998: 399-403.
- [4] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity[J]. IEEE transactions on image processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [5] Wang Zhou, Bovik A C, Lu L. Why is image quality assessment so difficult[C]//Proc of IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing. Orlando: [s. n.], 2002: 3313-3316.
- [6] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index[J]. IEEE signal processing letters, 2002, 9(3): 81-84.
- [7] Chou C H, Li Y C. A perceptually tuned subband image coder based on the measure of just-noticeable-distortion profile[J]. IEEE transactions on circuit and system for video technology, 1995, 5(6): 467-476.
- [8] 杨春玲, 陈冠豪, 谢胜利. 基于梯度信息的图像质量评判方法的研究[J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1313-1317.
- [9] 李航, 路羊, 崔慧娟, 等. 基于频域的结构相似度的图像质量评价方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(4): 559-562.
- [10] 杨春玲, 高文瑞. 基于结构相似度的小波域图像质量评价方法的研究[J]. 电子学报, 2009, 37(4): 845-849.
- [11] Sampat M P, Wang Zhou, Gupta S, et al. Complex wavelet structural similarity: A new image similarity index[J]. IEEE transactions on image processing, 2009, 18(11): 2385-2401.
- [12] 任雪, 孙涵, 张金国. 一种新的基于局部特征的图像质量评价方法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(8): 1236-1243.
- [13] Li Chaofeng, Bovik A C. Content-partitioned structural similarity index for image quality assessment[J]. Signal processing: Image communication, 2010, 25(7): 517-526.
- [14] 杨春玲, 徐小琳. 重视边缘区域的结构相似度图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(12): 2133-2139.
- [15] Firestone L, Cook K, Culp K, et al. Comparison of autofocus methods for automated microscopy[J]. Cytometry, 1991, 12(3): 195-206.
- [16] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE image quality assessment database[DB/OL]. [2006-03-07]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.

(上接第 66 页)

- [9] 龚静, 吴春明. S-CHOKe: 一种增强 CHOKe 公平性的主动式队列管理算法[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1100-1104.
- [10] Govindaswamy V V, Zaruba G, Balasekaran G. Analyzing the accuracy of CHOKe hits, CHOKe misses and CHOKe-RED drops[C]//Proc of CCECE. [s. l.]: [s. n.], 2008.
- [11] Dow C R, Lin P J. A study of recent research trends and ex-

- perimental guidelines in mobile ad-hoc network[C]//Proceedings of the 19th international conference on advanced information networking and applications. Taipei, Taiwan, China: IEEE Computer Society, 2005.
- [12] Govindaswamy V V, Zaruba G, Balasekaran G. RECHOKe: A scheme for detection, control and punishment of malicious flows in IP networks[C]//Proceedings of IEEE GLOBECOM'07. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2007: 16-21.

一种改进的基于结构相似度的图像质量评价方法

作者：

[糜靖峰](#)，[李庆武](#)，[朱浩](#)，[霍冠英](#)，[MI Jing-feng](#)，[LI Qing-wu](#)，[ZHU Hao](#)，[HUO Guan-ying](#)

作者单位：

[糜靖峰, 朱浩, MI Jing-feng, ZHU Hao \(河海大学 物联网工程学院, 江苏 常州, 213022\)](#)，[李庆武, 霍冠英, LI Qing-wu, HUO Guan-ying \(河海大学 物联网工程学院, 江苏 常州213022; 海洋与近海工程研究院, 江苏 南通226019\)](#)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

2014(3)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201403017.aspx