

文章编号:1001-9081(2008)05-1310-03

基于感兴趣区域的图像质量评价方法

杨 琬, 吴乐华, 李淑云, 范 晔

(重庆通信学院 军事信息工程系, 重庆 400035)

(wyangxy@126.com)

摘 要:将图像质量的评价划分为感兴趣区域与非感兴趣区域的加权组合评价,在感兴趣区域内使用梯度算子改进结构相似评价方法,非感兴趣区域沿用经典的结构相似评价。实验结果表明,该方法能较好地考虑感兴趣区域的重要性,更符合人的主观视觉质量。

关键词:图像质量评价; 结构相似度; 人类视觉系统; 感兴趣区域

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Method of image quality assessment based on region of interest

YANG Wan, WU Le-hua, LI Shu-yun, FAN Ye

(Department of Military Information Engineering, Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, China)

Abstract: Image quality assessment proposed in this article was weights-taxed combination of regions of interest and backgrounds. A gradient-based structural similarity model was used among regions of interest, while the classical Structure Similarity (SS) model was followed in other regions. Experimental results show that our model considers more about the importance of regions of interest and is more consistent with perceived image quality.

Key words: image quality assessment; Structure Similarity (SSIM); Human Visual System (HVS); Region Of Interest (ROI)

0 引言

客观图像质量评价是图像处理系统的重要指标,对于监控和调整图像质量、优化算法及检验系统意义重大。根据原始图像的可用程度,客观质量评价可分为:全参考质量评价、弱参考质量评价和无参考质量评价。

目前客观质量评价方法主要有四类:均方差(Mean Squared Error, MSE)峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)方法、基于人类视觉系统(Human Visual System, HVS)的方法、基于质量相关因素的方法和基于结构失真的方法。MSE/PSNR是目前最简单应用最广泛的全参考质量评价指标,数学计算简单,物理意义清晰,但不能很好地和视觉质量相吻合^[1-3]。基于HVS的图像质量评价利用已知的HVS特性,通过测量感知误差来评价质量,但由于目前对HVS认知有限,该方法需要基于多个假设前提,另外使用简单模拟的模型来预测自然界的复杂图像也存在诸多问题^[3-6]。基于质量相关因素的评价通过构造多维空间,计算点间的欧式距离来判定质量,虽能清楚显示影响图像质量的原因,但是算法复杂,在通常的图像畸变情况下优势不是十分明显^[7-9]。基于结构失真的图像质量评价(Structure Similarity, SSIM),评价由待评图像和原始图像之间的亮度比较、对比度比较和结构相似性比较三部分构成,简单直观,与图像的主观视觉质量基本一致^[2,3]。

传统的图像处理算法都是针对全图,没有考虑观察者对图像不同区域的需求,在有些场合也难以发挥算法的最高效率。实际上,人眼对不同图像区域的感受往往不同,在不同的应用中,图像不同区域的重要性也不同。对应用起主要作用

的区域即为感兴趣区域(Region Of Interest, ROI),相应的其他区域为非感兴趣区域或背景区域(Background, BG)。近年来,基于ROI的图像处理技术在网络传输、无线通信等应用中发挥着越来越大的作用。对于给定图像,人眼往往对感兴趣区的失真更敏感,因而有必要采用更能体现感兴趣区真实质量的评价方法。基于感兴趣区的质量评价已成为图像质量评价研究的新课题,目前的研究主要是通过分析影响兴趣性的各种因素,得出不同区域的兴趣加权系数,在PSNR基础上进行改造。这无法克服PSNR的固有缺陷,与主观质量匹配性较差。本文将SSIM应用于感兴趣区域图像,提出一种基于感兴趣区域的图像质量评价方法。实验表明,该方法能够克服传统方法的弊端,针对感兴趣区域取得符合主观视觉质量的结果。

1 基于结构失真的图像质量评价

文献[2,3,5,10-12]提出并发展了一种基于结构失真衡量图像质量的评价方法:SSIM。这种方法的依据是:HVS高度适合于提取视觉场景中的结构信息,从而使测量结构信息的改变与感知图像质量的变化非常接近。通过与感知误差方法的比较可以更清楚地理解这种方法^[3,13]:1)感知误差方法通过量化感知误差来评价图像质量,而SSIM通过感知结构信息的改变来评估图像失真;2)感知误差方法是一种自下而上的方法,先模拟HVS各组成部分的功能,再将其组合来实现整个HVS;而SSIM试图从整体上直接模拟HVS提取视觉对象结构的功能;3)SSIM在某种程度上绕开了自然图像内容的复杂性及多通道去相关问题,没有从神经和生理学的角度通过整合误差来评估图像质量,而是直接比较两幅图像的

收稿日期:2007-11-13;修回日期:2007-12-28。 基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(2005BB2207)。

作者简介:杨琬(1983-),女,河南信阳人,助教,硕士研究生,主要研究方向:图像编码、码率控制; 吴乐华(1965-),女,浙江诸暨人,教授,主要研究方向:图像通信、模式识别; 李淑云(1981-),女,河北沧州人,助教,硕士研究生,主要研究方向:数字水印、信息隐藏; 范晔(1980-),男,重庆人,讲师,硕士,主要研究方向:图像编码。

结构差别。SSIM 原理如图 1 所示。

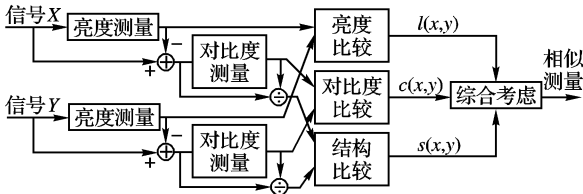


图1 SSIM 原理

设 x 和 y 为两个非负图像信号,该方法把评价分为待评图像和原始图像之间的亮度比较、对比度比较和结构相似性比较三个部分。

假设 x, y 均为离散信号,则均值定义为:

$$u_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$u_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (2)$$

标准差定义为:

$$\sigma_x = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - u_x)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\sigma_y = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - u_y)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

协方差定义为:

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - u_x)(y_i - u_y) \quad (5)$$

$S(x, y) = f(l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot s(x, y))$ 为核心函数,其中 $S(x, y)$ 为测量原始图像与失真图像相似性的测量信号; $f(\cdot)$ 为整合函数; $l(x, y), c(x, y), s(x, y)$ 分别为亮度函数、对比度函数、结构函数;三个函数相互独立且需满足以下特性:

- 1) 对称性: $S(x, y) = S(y, x)$;
- 2) 有界性: $S(x, y) \leq 1$;
- 3) 最大值唯一性: 当且仅当 $x = y$ 时 $S(x, y) = 1$ 。

亮度函数、对比度函数和结构函数分别定义如下:

$$\text{亮度函数: } l(x, y) = \frac{2u_x u_y + C_1}{u_x^2 + u_y^2 + C_1} \quad (6)$$

$$\text{对比度函数: } c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (7)$$

$$\text{结构函数: } s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3} \quad (8)$$

其中: C_1, C_2, C_3 是为了避免分母为零而设的小常数, $C_1 = (K_1 L)^2, C_2 = (K_2 L)^2, K_1, K_2 \ll 1, L$ 是像素值的动态范围(若为 8 位灰度图像则 $L = 255$)。

文献[3]研究表明,上述三个函数均符合 HVS 的相关特性,因此定义 SSIM 为:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (9)$$

其中 $\alpha, \beta, \gamma > 0$, 可利用这三个参量对亮度、对比度和结构信息进行重要性调整。

2 基于感兴趣区域的图像质量评价方法

在整个评价过程中,本文采用局部计算 SSIM 指标的思路,主要基于 4 点考虑:1) 图像统计特性通常是高度空间可变的;2) 图像失真无论是否与局部统计特性有关,仍可能是空间变化的;3) HVS 具有中央凹特性^[14],因此在典型的观测环境中,图像每次只可能有部分区域以高分辨率被人眼感知;4) 局部的质量测量能反映图像质量的空间变化,可以提供更多的对应用有用的图像降质信息。

在文献[2]中, $u_x, \sigma_x, \sigma_{xy}$ 和 SSIM 值都是在 8×8 窗口中

计算的,窗口按像素在整幅图像里移动。最后对所有窗口的 SSIM 求均值,就得到整幅图像的评价值。但由这种方式计算得到的 SSIM 指标图常会出现不期望的“块效应”。文献[3]采用一种标准差为 1.5 的 11×11 归一化圆对称高斯函数 ($\sum w_i = 1$) 的 $u_x, \sigma_x, \sigma_{xy}$ 重新定义如下:

$$u_x = \sum_{i=1}^N w_i x_i \quad (10)$$

$$\sigma_x = \left[\sum_{i=1}^N w_i (x_i - u_x)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$\sigma_{xy} = \sum_{i=1}^N w_i (x_i - u_x)(y_i - u_y) \quad (12)$$

虽然 SSIM 评价性能较好,但不能较好地评价严重模糊的图像,这对于评价整体质量尚可而感兴趣区较模糊的图像是不利的。而梯度可以很好地反映图像微小的细节反差和纹理特征变化,可以用来评价图像的清晰程度^[15]。因此本文将图像分成感兴趣区和非感兴趣区,对非感兴趣区域,采用文献[3]的算法直接计算所包含的局部窗的 SSIM 值;对于感兴趣区域,将梯度作为图像的主要结构信息,在本文中采用 Sobel 算子,梯度幅值为:

$$G_x(i, j) = \left| \frac{\partial x(i, j)}{\partial i} \right| + \left| \frac{\partial x(i, j)}{\partial j} \right| \quad (13)$$

其中 $\frac{\partial x(i, j)}{\partial i}, \frac{\partial x(i, j)}{\partial j}$ 分别为用水平边缘算子和垂直边缘算子计算得到的梯度分量,则图像块 x 和 y 的梯度相似度为:

$$g(x, y) = \frac{2 \sum_i \sum_j G_x(i, j) G_y(i, j) + C_3}{\sum_i \sum_j [G_x(i, j)]^2 + \sum_i \sum_j [G_y(i, j)]^2 + C_3} \quad (14)$$

式中 $G_x(i, j), G_y(i, j)$ 分别为原图像块 x 和失真图像块 y 的梯度幅值,将式(9)中的 $s(x, y)$ 用 $g(x, y)$ 替代,则感兴趣区域内局部窗的 SSIM 用式(15)计算:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [g(x, y)]^\gamma \quad (15)$$

取 $C_3 = C_2/2, K_1 = 0.01, K_2 = 0.03$ 。由于 SSIM 对这些参数的变化并不敏感,这样粗略的设置是可行的。 α, β, γ 的取值根据图像各部分失真的不同取值不同,一般图像可简单地取为 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 。在得到每个窗的 SSIM 值后,最后以式(16)计算图像的 SSIM 指标:

$$MSSIM_ROI(X, Y) = \frac{1}{M} \left[\lambda_0 \sum_{(x_j, y_j) \in A_0} SSIM(x_j, y_j) + \sum_k \lambda_k \sum_{(x_j, y_j) \in A_k} SSIM(x_j, y_j) \right] \quad (16)$$

其中, X, Y 是原始图像和失真图像, x_j, y_j 为第 j 个局部窗口的内容, M 为局部窗口的数量。设图像有 N 个感兴趣区域, $A_0, A_k (k = 1, 2, \dots, N)$ 分别为非感兴趣区和感兴趣区, $\lambda_0, \lambda_k (k = 1, 2, \dots, N)$ 为非感兴趣区和感兴趣区的权重系数。

3 实验结果

实验中,本文利用美国 UTEXAS 大学的 JPEG 和 JPEG2000 图像库^[16],结合感兴趣区域,用主观评价(Mean Opinion Score, MOS)、PSNR、文献[2]中的 UQI 方法(Universal Image Quality Index, UQI)、文献[3]的 SSIM 方法和本文的 SSIM_ROI 方法分别对图像进行质量评估,并从非线性回归条件下的绝对误差均值(Mean Absolute Error, MAE)、均方差平方根(Root Mean Square Error, RMS)和离散率(Outlier Ratio, OR)三个方面比较它们的性能^[17]。非线性回归函数采用文献[18]中的 Logistic 函数。MAE 和 RMS 值越小,说明该客观评价指标越好。OR 表示客观评分对主观评分的估计值和主观评分的一致性,

值越小表示客观评价性能越好。

图 2 给出了一幅 JPEG2000 的原始图像和降质图像,及相应的主观评分 MOS 、 $PSNR$ 、 UQI 、 $SSIM$ 和 $SSIM_ROI$ 客观评分值,其中: $MOS = 83.5635$, $PSNR = 26.0902$, $UQI = 0.7072$, $SSIM = 0.6773$, $SSIM_ROI = 0.8974$ ($\lambda_0 = 0.1$, $\lambda_1 = 0.9$)。



(a) 原始JPEG2000图像 (b) 降质图像(包含感兴趣区域)

图 2 JPEG2000 样本图像

图 3 为 $PSNR$ 、 UQI 、 $SSIM$ 和 $SSIM_ROI$ 对图像评价的 MOS 散点图。从图 3 可知,改进的 $SSIM_ROI$ 模型与针对感兴趣区域的主观评价更为接近。

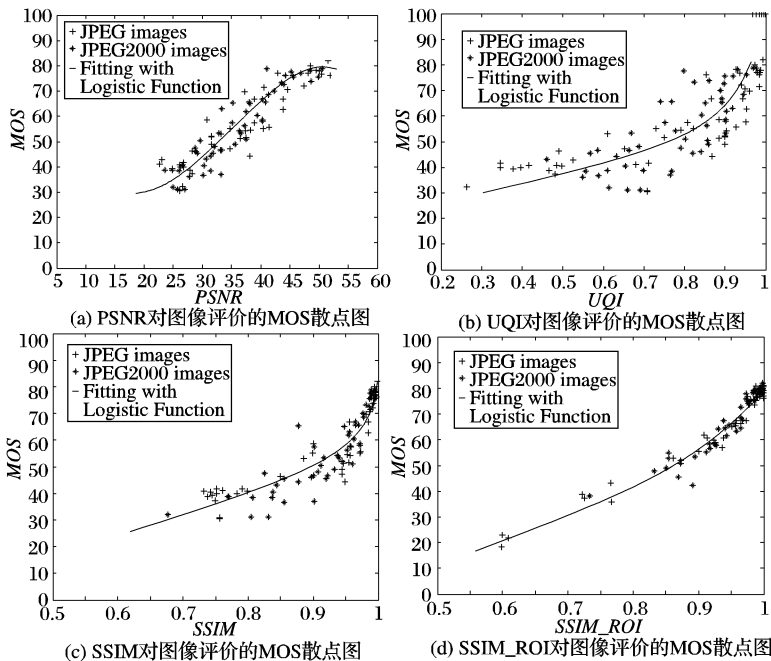


图 3 各个评价模型的 MOS 散点图

表 1 为 $PSNR$ 、 UQI 、 $SSIM$ 和 $SSIM_ROI$ 模型的性能比较。由表 1 可知, $SSIM_ROI$ 模型性能优于 $PSNR$ 、 UQI 和 $SSIM$ 模型。

表 1 $PSNR$ 、 UQI 、 $SSIM$ 和 $SSIM_ROI$ 模型性能比较

评价模型	非线性回归		
	MAE	RMS	OR
$PSNR$	6.7561	8.7437	0.4830
UQI	7.3075	8.9543	0.4928
$SSIM$	4.1037	5.1348	0.4627
$SSIM_ROI$	3.7754	4.6762	0.3613

4 结语

本文在 $SSIM$ 基础上,针对感兴趣区域图像提出一种新的图像质量评价方法。由于梯度幅值可以近似表示该相邻图像区域的灰度变化程度,本文引入梯度算子改进感兴趣区域的评价,并通过加权强化感兴趣区评价在总评价中的比重。仿真实验表明,该方法与传统的 $PSNR$ 及一般的 $SSIM$ 相比,更能反映感兴趣区域图像的真实质量。但是,把 $SSIM$ 固定为三者乘积的形式仍会产生误差;另外,在与主观评价的关联图中还存在一些“野点”需要考虑和校正。这些问题值

得我们进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] ESKICIOGLU A M, FISHER P S. Image quality measures and their performance[J]. IEEE Transactions on Communication, 1995, 43 (12): 2959 - 2965.
- [2] WANG Z, BOIVK A C. A universal image quality index[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81 - 84.
- [3] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error measurement to structural similarity[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2004, 13(4): 600 - 612.
- [4] MANNOS J L, SAKRISON D H. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1974, 20(4): 525 - 536.
- [5] WANG Z, SHEIKH H R, BOVIK A C. Objective video quality assessment[EB/OL]. [2007 - 11 - 01]. http://www.ece.uwaterloo.ca/~z70wang/publications/QA_hvd_bookchapter.pdf.
- [6] SILVERSTEIN D A, FARRELL J E. The relationship between image fidelity and image quality[C/OL]. Proceedings of International Conference on Image Processing, 1996. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1996, 881 - 884[2007 - 11 - 10]. <http://scien.stanford.edu/jfsite/Papers/ImageQuality/FidQual.pdf>.
- [7] 徐鲁安, 叶懋冬, 章琦. 一种新的图像质量评价方法[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(3): 418 - 420.
- [8] 王正友, 黄隆华. 基于对比度敏感度的图像质量评价方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1857 - 1859.
- [9] 刘明晶, 叶懋冬, 刘国栋, 等. 一种基于视觉感知的图像质量评价方法[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(2): 470 - 472.
- [10] WANG Z, LU L, BOVIK A C. Video quality assessment using structural distortion measurement[C]// Proceedings of the 2002 International Conference on Image Processing (ICIP 2002). Washington, DC: IEEE Computer Society, 2002, 3: 65 - 68.
- [11] WANG Z, LU L, BOVIK A C. Video quality assessment based on structural distortion measurement[J]. Signal Processing: Image Communication, special issue on Objective video quality metrics, 2004, 19(2): 121 - 132.
- [12] WANG Z, BOVIK A C, SIMONCELLI E P. Structural approaches to image quality assessment to appear in handbook of image and video processing[M]. 2nd ed. New York, USA: Academic Press, 2005: 1 - 33.
- [13] 佟雨兵, 胡薇薇, 杨东凯, 等. 视频质量评价方法综述[J], 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(5): 735 - 741.
- [14] WANG Z, BOVIK A C. Embedded foveation image coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1397 - 1410.
- [15] 杨春玲, 旷开智, 陈冠豪, 等. 基于梯度的结构相似度的图像质量评价方法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006, 34(9): 22 - 25.
- [16] SHEIKH H R, WANG Z, CORMACK L, et al. Live image quality assessment database release 2[EB/OL]. [2007 - 11 - 10]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/>.
- [17] WEBSTER A, SPERANZA F. Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment[EB/OL]. [2007 - 10 - 30]. <http://www.vqeg.org/>.
- [18] SHEIKH H R, SABIR M F, BOVIK A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11): 3441 - 3452.