

基于掩盖效应的无参考数字图像质量评价

王正友, 肖文

(江西财经大学 信息管理学院, 江西 南昌 330013)

(wangzhengyou@jxufe.edu.cn)

摘 要:针对数字图像的客观质量评估,从噪声检测的角度,提出了一种基于掩盖效应的无参考图像质量评估方法。首先对 Hosaka 分块进行了改进,取消了该方法对图像尺寸的限制。通过分块,将图像以不同的频率成分区分开来。然后计算各个子块的噪声。根据图像的污染程度,提出了基于掩盖效应的无参考图像峰值信噪比 NPSNR。实验结果表明,该方法具有无参考、运算复杂度低、主客观较一致等特点。

关键词:图像质量评价;人类视觉系统;无参考;掩盖效应

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

No-reference digital image quality evaluation based on perceptual masking

WANG Zheng-you, XIAO Wen

(School of Information Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: From the angle of noise detection, this paper presents a mask-based no-reference approach of image quality assessment. Firstly, the approach improved Hosaka plots method and wiped out the limits on image size. Then this improved method was applied to the image to make plots and modified directional gradients were employed to abstract sub-blocks' noises. Finally, a new image PSNR was computed according to the pollution degree. Experimental results show that this no-reference approach can not only make the subjective assessment in line with the objective one, but also feature a low computational load.

Key words: image quality evaluation; Human Visual System (HVS); no-reference; masking

0 引言

在图像质量评价方法中,主要采用两种方法:主观评价和客观评价。主观质量评价的缺点是无法应用数学模型对其进行描述,不易定量准确测量,易受客观因素的影响,而且太过费时费力,无法实现嵌入式处理或实时处理等。在实际应用中,图像的主观质量评价方法受到了严重限制,甚至根本不适用于某些应用场合,如实时传输、人脸识别系统等。

目前的客观质量评价方法可分为三类^[1]:1)全参考质量评价(Full-Reference QA),需要将评价的“失真”图像与“标准”参考图像进行比较得到评价结果,而理想的“标准”图像通常来自高质量的采集系统;2)无参考质量评价(No-Reference QA),需要在不借助任何参考图像的前提下,对“失真”图像质量进行评估;3)弱参考质量评价(Reduced-Reference QA),其参考图像可以得到部分的特征信息,然后通过这部分信息完成“失真”图像的质量评估。

传统的客观质量评价是基于对随机误差的统计平均,计算简单快速,易于系统处理,常用的方法有均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)、加权均方误差(WMSE)等,VQEG^[2]规定其中的PSNR和MSE参数作为标准。由于PSNR和MSE是基于图像的纯数学统计特性,所以它的预测往往不能很好地反映人眼对图像的主观感受^[3],这是传统客观质量评价方

法的最大缺陷。有许多例子表明,即使MSE或PSNR的值完全相同,人的主观感觉却完全不一样甚至可能相反^[1]。

近来,出现了许多基于人眼视觉特性的全参考客观质量评价方法和模型^[3],整个过程中综合考虑了人眼的视觉非线性、对比度敏感性、多通道特性和掩盖效应等因素,通过误差综合模拟人脑对来自各个视觉通道的神经信号的总体处理和认知结果,其最终的结果与主观评价较吻合。但这种方法必须借助原始的非失真图像作为参考,而事实上在很多场合下都无法或较难获得参考图像进行对比,如成像系统,用户终端等,因此限制了它的应用范围。而无参考的图像质量评价相对来说还是一个较新的领域,由于目前对HVS特性和大脑认知过程的认识不足,为无参考图像建立视觉模型比较困难,因而研究相对较少,一般是针对压缩图像或特定失真,如采用DCT压缩的JPEG图像最常见的块化效应,采用小波压缩的JPEG2000图像可能产生的振铃效应,还有各种噪声、模糊等。随着社会数字化产品的应用越来越广泛,对无参考图像及其质量评价的要求日益迫切,该领域表现出巨大的发展潜力,应用前景广阔^[4-9]。

1 无参考的图像质量评价

实际上,人们往往并不需要参考图像就能判定图像的质量,但由于人们视觉心理、生理的许多非量化因素,使无参考

收稿日期:2006-06-14 **基金项目:**国家自然科学基金资助项目(60665001);江西省自然科学基金资助项目(0611025,0611036);江西省教育厅教育科技资助项目(赣教技字[2006]232);江西省高性能计算技术重点实验室开放基金资助项目(JXHC-2005-004);江西财经大学创新基金

作者简介:王正友(1972-),男,湖南宁乡人,教授,博士,主要研究方向:信息融合与数据挖掘、图像处理与机器视觉;肖文(1976-),男,江西抚州人,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理。

的客观图像质量评价过程更加困难。文献[4]提出,通过边缘锐化程度、随机噪声程度、结构性噪声程度三个客观尺度来综合评价图像质量。对于 JPEG 压缩图像的评价,文献[5]先对 JPEG 图像沿水平线计算差分信号,通过块边缘的平均差分估计块效应,使用图像差分信号的过零点比率确定块的活跃性,结合块效应估计图像的模糊程度,垂直方向作同样处理之后得到三个指标,使用非线性回归分析获得最佳参数。在文献[6]中,作者把块化效应作为 2-D 阶跃函数建模,由此直接对 JPEG 压缩图像的 DCT 系数进行计算,实现在 DCT 域中对图像进行质量评价。文献[7]将 JPEG2000 压缩图像的所有边缘点视为两类:“失真”和“非失真”,提出采用主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)方法来提取给定边缘点的局部特征进行区分,并建立相应的局部失真模型指标。文献[8]的作者认为,图像的模糊将导致边缘的平滑效应,边缘的宽度相应增加,于是通过边缘检测算子得到边缘,求出对应边缘宽度,即可得到图像的模糊程度。针对噪声现象,文献[9]先对图像的每个像素计算其定义的梯度,然后在 3×3 的正方形窗口内依据边缘的结构特性区分噪声,获取的噪声像素通过 BP 神经网络训练建立一个无参考图像的质量评价指标。

本文只考虑噪声这一类失真现象,由于成像系统、传输信道、用户终端、处理过程等都可能产生噪声,类型各种各样,分布也不相同,是一种常见的失真现象,有必要对噪声进行评估,这也有利于将其作为一个性能参数嵌入图像综合评价系统中。

由形成机制看,图像中的噪声各有差别,本文不考虑噪声的成因和形式,而直接考虑对最终形成图像的估计,因而具有普适性。

2 基于掩盖效应的噪声检测与图像质量评估

在关于视觉的大多数应用中,首先应关注的是图像如何更好地被人眼所感知而不是与原图多么接近,因此无参考图像评价模型的设计应考虑匹配人眼视觉系统的感受。众所周知,由于视觉掩盖,在图像平坦区域的高频噪声更易被人眼可见,因此需要给予更多的关注。为此,我们提出一种基于掩盖的无参考图像质量评价模型,采用 Hosaka 分块方法^[10],其基本思想是:分块的大小体现出块内图像的主要频率成分。该方法始用于有参考的图像质量评价,且需假定图像的尺寸为 2^n ,限制了其应用范围,本文对该方法作了必要的修改,去除该约束条件并用于无参考的图像质量评价。

2.1 分块原理

我们知道,图像中的高频成分变化比较剧烈,而低频成分变化相对缓慢。当图像中包含的高频成分较多时,其均方差值较大,因此可根据均方差的大小将图像分为频率成分不同,尺寸大小不等的子块,其中较大的子块内低频成分相对较多,对应图像中的平坦区域;较小的子块内高频成分相应较多,对应图像中的细节部分。由 HVS 的掩盖效应可知,变化剧烈的部分中出现的噪声更不易被人眼所感知,因此,对于不同的子块内出现的噪声采取不同的权值,能体现出 HVS 的掩盖效应,更加符合人的视觉感知。

对于一幅 $M \times N$ 的灰度图像,计算均方差(对于彩色图像可计算其亮度分量):

$$MSE = \frac{\sum_{0 \leq i \leq M} \sum_{0 \leq j \leq N} (f_{ij} - \bar{f})^2}{M \times N} \quad (1)$$

如果该均方差值超过某一设定阈值,说明图像中存在着较多的高频成分,需要继续分块,则将图像从中间进行四分,即对长、宽分别等分(实验中阈值设定为 300)。重复该分块过程,直到均方差小于阈值或图像的长或宽之一小于 8 则停止。此时,图像分为各个不同大小的子块,分别代表图像不同类型的区域,高频区域因为变化丰富而分块相对较小,低频区域则相反。

2.2 噪声检测

从人的视觉感知来看,噪声的一般表现为与周围像素灰度值的显著不同而对人们的视觉产生干扰的现象。虽然边缘和噪声都属于高频成分,均具有较高的梯度值,但其不同在于边缘具有明显的结构特征。因此根据结构特征可将噪声从边缘中提取出来。

(1) 块内噪声检测:首先修改像素梯度 $g(x, y)$ 的定义,对于块内的任一像素,先定义该像素四个方向的方向梯度值。水平梯度 $h(x, y)$:

$$h(x, y) = |h_1(x, y) - h_2(x, y)| \quad (2)$$

其中:

$$h_1(x, y) = |f(x, y + 1) - f(x, y)| + |f(x, y) - f(x, y - 1)| \quad (3)$$

$$h_2(x, y) = |f(x, y + 1) - f(x, y - 1)| \quad (4)$$

相应地,可分别定义该像素的垂直方向梯度 $v(x, y)$,两个对角方向梯度 $d1(x, y)$ 和 $d2(x, y)$,然后取四个方向梯度的较小者为该像素的梯度值:

$$g(x, y) = \min(h(x, y), v(x, y), d1(x, y), d2(x, y)) \quad (5)$$

边缘像素具有的结构特征,使得它在四个方向当中必定会有一个方向梯度值较小,当某像素梯度值 $g(x, y)$ 大于预设阈值时即可将该像素划归为噪声。由于从四个方向来判断像素的结构特征,使得在区分边缘和噪声时更具有鲁棒性。实验中取为 $threshold = 50$,则子块内噪声的污染程度为:

$$G(x, y) = \sum (g(x, y) - threshold) \quad (6)$$

(2) 图像的噪声污染程度定义为:

$$K = \frac{\sum \lambda_i G_i}{M \times N} \quad (7)$$

其中, G_i 表示各个块内检测到的噪声污染程度, λ_2 是相应的块类型或块大小所对应的掩盖权值

$$\lambda = \log_2(\min(m, n)) \quad (8)$$

m 和 n 分别表示块图像的长和宽。

2.3 基于掩盖的无参考图像信噪比

根据图像的噪声污染程度,我们提出一种无参考图像的峰值信噪比:

$$NPSNR = 10 \log_{10} \frac{l \times l}{K} \quad (9)$$

其中, l 为图像的灰度级数。

3 实验结果

本文实验包括三个部分,实验 1 说明本文方法与主观评价的一致性,实验 2 与传统的客观评价方法 PSNR 进行了对比,实验 3 体现了 HVS 的掩盖效应的影响,文中均使用 LIVE

的标准图像数据库^[11]。

实验 1: 首先选择一组 womanhat 图像, 这些图像分别被加以不同程度的白噪声, 采用本文方法所得结果与 LIVE 给定的 DMOS 分值(原始图像主观分与加噪图像主观分的差值)相比较如表 1 所示, 两者为负相关, 相关程度为 0.8805。



图 1 施加不同程度高斯噪声的 womanhat 图

表 1 womanhat 图像的得分对比

得分	图 1(a)	图 1(b)	图 1(c)	图 1(d)	图 1(e)	图 1(f)
DMOS	0	25.0127	37.3577	45.1643	48.9546	67.5793
NPSNR	74.2139	73.2478	71.3046	55.8407	50.4696	40.3479

实验 2: 对于不同的噪声类型, 我们使用 caps 图像分别加以高斯噪声, 椒盐噪声和随机噪声, 所得结果与 PSNR 的比较如表 2 所示。

表 2 caps 图像的得分对比

得分	随机噪声	高斯噪声	椒盐噪声
PSNR	25.7886	20.1116	20.7210
NPSNR	62.9062	48.2912	41.0991

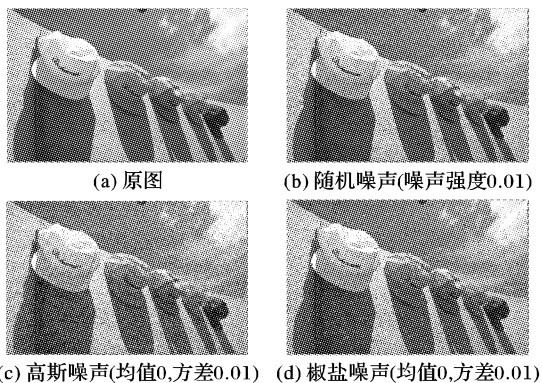


图 2 施加不同噪声的 caps 图

图 2(d) 采用了椒盐噪声, 得分较低是因为该类噪声对人眼的视觉干扰更大些, 由于本文方法较多地从视觉感知考虑, 因而结果相对 PSNR 更符合人眼的感受, 在不知道噪声的先验知识的情况下也能取得较合理的结果。

实验 3: 为了表现出本文中方法所体现的掩盖效应, 选择图像区域差别较大的 plane 图像, 由于该图像的上、下部分的频率成分有较大差异, 上部较为平坦, 而下部纹理部分较多,

因此分别对上、下部分施加相同程度的噪声后, 对于人眼的视觉感知应该是不一样的(实验中采用了均值为 0, 方差为 0.01 的随机噪声)。

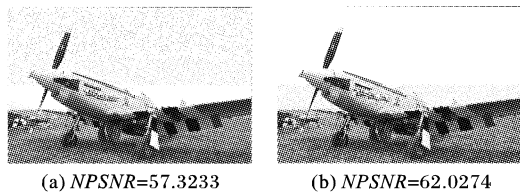


图 3 掩盖效应影响的 plane 图

4 结语

无参考评价是一个相对较新的领域, 很多问题都有待研究。本文提出了一种基于掩盖效应的无参考图像质量评价方法, 首先对图像进行 Hosaka 分块, 由此可将图像分为不同频率成分的子块, 块内噪声通过修改的梯度计算使得其对边缘与噪声更具有鲁棒性, 对于不同类型区域中出现的噪声采取不同的权值, 能体现出 HVS 的掩盖效应。实验表明, 该方法在无参考的条件下能取得与主观较一致的效果, 优于传统的客观质量评价方法, 而且由于本文方法对图像作用于空域, 不需变换到频域, 因此速度较快。今后进一步的研究将考虑更多的失真类型, 如模糊现象等。

参考文献:

- [1] WANG Z, SHEIKH HR, BOVIK AC. Objective video quality assessment, The Handbook of Video Databases: Design and Applications[M]. CRC Press, 2003. 1041 - 1078.
- [2] VQEG. Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment[R]. 2000.
- [3] WINKLER S. Issues in Vision Modeling for Perceptual Video Quality Assessment[J]. Signal Processing, 1999, 78(2).
- [4] LI X. Blind image quality assessment[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C]. New York: IEEE, 2002, Vol 1: 477 - 480.
- [5] WANG Z, SHEIKH HR, BOVIK AC. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C]. New York: IEEE, 2002, Vol 2: 3 - 6.
- [6] LIU S, BOVIK AC. DCT domain blind measurement of blocking artifacts in DCT-coded images[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing[C]. Salt Lake City, UT, 2001, Vol 3: 1725 - 1728.
- [7] TONG HH, LI MJ, ZHANG HJ, et al. No-reference quality assessment for JPEG2000 compressed images[A]. International Conference on Image Processing[C]. Singapore, 2004.
- [8] MARZILLANO P, DUFAUX F, WINKLER S, et al. A no-reference perceptual blur metric[A]. International Conference on Image Processing[C]. Rochester, NY, 2002, Vol 3: 57 - 60.
- [9] DU J, YU YL, XIE SL. NR Objective Quality Assessment of Digital Image/Video: a Neural-network Approach[J]. Journal of Information & Computational Science, 2004, 1(1): 21 - 27.
- [10] HOSAKA K. A New Picture Quality Evaluation Method[A]. Proceedings of the International Picture Coding Symposium[C]. 1986.
- [11] SHEIKH HR, WANG Z, CORMACK L, et al. LIVE image quality assessment database[DB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>, 2006.