

基于结构相似性的全参考图像质量评价

朱丽娟, 赵青兰

(湖北文理学院, 湖北 襄阳 441053)

摘要: 已有的基于误差统计量的评价算法存在误判的缺点, 因此提出基于结构相似性的全参考图像质量评价算法。算法通过实际图像和原始参考图像的亮度项、对比度项、结构相似度项三个方面信息的比较, 评价失真图像的质量。实验结果表明, 提出的算法优于 MSE 和 PSNR。

关键词: 结构相似性; 图像质量评价; 均方误差; 峰值信噪比

中图分类号: TP391.2 文献标识码: A 文章编号: 1673-1131(2013)01-0001-02

A Full Reference Image Quality Assessment Algorithm based on SSIM

Zhu Lijuan, Zhao Qinlan

(Hubei University of Art and Science, Xiangyang, Hubei, 441053, China)

Abstract: Existing error statistics based algorithms have a disadvantage of erroneous judgment, so a full reference image quality assessment algorithm based on SSIM is proposed to overcome the disadvantage. The computation of luminance term contrast term and structure term in both actual image and original reference image is performed and gives a quality assessment value. Experimental results show that the proposed algorithm outperform both MSE and PSNR algorithms.

Key words: structural similarity index; image quality assessment; MSE; PSNR

0 引言

图像质量评价是图像处理系统中算法优劣和参数优化的重要指标, 随着图像视频软硬件的广泛应用, 图像质量评价算法的研究具有广阔的应用前景。已有的算法分为主观评价和客观评价两类^[1-2], 前一类方法通过人的主观感受试验进行, 存在费时费力、不便应用的缺点; 后一类方法通过设计评价模型并给出的量化指标进行, 具有简单、方便、易于嵌入应用等优点, 是当前学术界的研究主流。客观评价方法又可以分为全参考评价算法、半参考评价算法和无参考评价算法三类^[1-2], 其中全参考算法利用经过优化处理的高质量原始图像作为参考图像, 通过量化参考图像和实际失真图像的差异作为质量评定标准; 部分参考图像质量评价算法通过一些实验手段获取原始图像的部分信息作为图像质量评价的参考; 无参考图像质量评价是在没有任何原始图像参考下通过对实际失真图像的特征统计建模进行, 本文研究的是全参考客观评价算法。目前应用较多的是均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)等基于误差统计量的评价算法, 主要不足是仅注重衡量失真图像和参考图像之间的差异, 并没有考虑这些差异对人的视觉感知特性的影响, 评价值和主观评价值之间有较大的差异。基于以上不足, 本文利用文献[3]提出的融合人的视觉感知特性的结构相似算法(SSIM), 对图像滤波实验进行质量评价, 并与传统评价算法进行对比。

1 基于结构相似性的图像评价算法

为了获得实际图像, 选取高质量原始图像进行噪声添加来产生噪声图像, 通过滤波算法进行去噪进而得到实际图像。下面将简要叙述使用的噪声分布与滤波算法。

1.1 噪声分布与滤波算法

图像中包含的噪声主要有高斯白噪声和椒盐噪声两类。高斯噪声主要来自于电子电路噪声和低照明度(或高温)带来的传感器噪声, 概率密度函数服从高斯分布, 即

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

其中 z 代表灰度值, μ 是灰度均值, σ 是灰度标准差。

椒盐噪声是由图像传感器、传输信道、解码处理等产生的黑白相间的亮暗点噪声, 其概率密度函数如下所示:

$$P(z) = \begin{cases} P_a, & z = a \\ P_b, & z = b \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (2)$$

如果 $b > a$, 灰度值 b 在图像中显示为一亮点, a 值显示为一暗点。如果 P_a 和 P_b 均不为零, 在图像上的表现类似于随机分布图像上的胡椒和盐粉微粒。

采用邻域平均法^[4]进行图像滤波处理。邻域平均法的思想是通过一点和邻域内的像素点求平均值来去除突变的像素点, 从而滤掉一定的噪声, 其公式如下

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(i,j) \in M} f(i, j) \quad (3)$$

其中, $f(i, j)$ 为原始有噪声的图像, $g(x, y)$ 为处理后的图像, M 是邻域内的点数。

1.2 结构相似性评价算法

自然图像是高度结构化的, 图像中相邻的像素点之间表现出很强的结构依赖性, 人类视觉系统对于图像结构的变化具有高度敏感特性, 结构相似性评价算法通过模仿人眼提取视觉场景中结构信息的能力, 得到和人眼主观感知非常接近的图像评价结果。算法通过失真图像信号和原始参考图像信号的亮度项、对比度项、结构相似度项三个方面信息的比较, 全面评价失真图像信号的质量。

定义参考图像和失真图像间的亮度项的比较函数为:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad (4)$$

其中, μ_x 和 μ_y 表示图像 X 、 Y 方向的灰度均值, 常数 $c_1 = (K_1L)^2$ 保证当 $\mu_x^2 + \mu_y^2$ 接近于 0 时 $l(x, y)$ 有意义, 一般常数 $k_1=1$, L 为像素灰度值的动态范围。

对比度项的比较函数定义为:

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \quad (5)$$

其中 σ_x 和 σ_y 表示图像 X, Y 方向的灰度方差, $c_2 = (K_2L)^2$ 含义同上文 c_1 。

结构项的比较函数定义为:

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x \sigma_y + c_3} \tag{6}$$

其中 $c_3 = C_2/2, \sigma_{xy}$ 表示灰度协方差。

将亮度项,对比度项,结构相似度项进行综合,可以得到信号 x 和 y 的总体结构相似性度量指标:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \tag{7}$$

其中,参数 $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$ 用来调整三部分的相关性权重,令 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 得到

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \tag{8}$$

利用公式(8),就可以对实际图像质量进行客观的质量评价。SSIM 值越大 表示图像的质量越好。

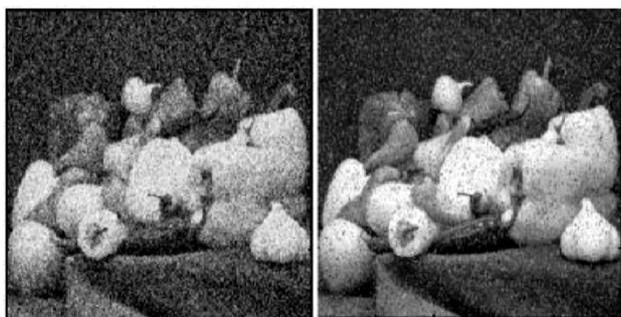
2 实验仿真与讨论

为了验证本文算法的性能,在 Matlab 环境下进行仿真实验,选用 MSE 和 PSNR 评价指标与本文算法进行对比。

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (f_{ij} - f'_{ij})^2 \tag{9}$$

$$PSNR = 10 \log_{10} (L^2 / MSE) \tag{10}$$

其中, M, N 分别是图像 x 方向和 y 方向像素个数, f_{ij} 和 f'_{ij} 分别是原始图像和失真图像在点(i, j)上的灰度值, L 是图像中灰度取值的范围。MSE 值越大图像质量越差, PSNR 值越大图像质量越好。



(a)MSE =462.76 PSNR=21.51 SSIM=0.76
(b) MSE = 523.35 PSNR = 21.17 SSIM=0.789

图 1 不同指标的评判结果图

选用 peppers 图像作为实验参考图像,分别给图像加入高斯噪声均值为 0,方差为 0.02、0.05 和 0.08 的高斯噪声,得到 MSE 和 PSNR 的评价值分别为 444.57,475.27,503.81。PSNR 的评价值分别为 21.65,21.36,21.10,实验结果和人眼的主观感觉评价一致。同样给原始图像加入噪声密度为 0.02、0.05 和 0.08 的椒盐噪声,同样可以得到和人眼的主观感觉评价一致的实验结果。

接着对 peppers 图像分别加入高斯噪声和椒盐噪声,利用人眼的主观感觉,可以看出高斯噪声失真 peppers 图像的质量主观感觉不如椒盐噪声失真 peppers 图像的质量,然而 MSE 却给出了错误的判断,对于高斯噪声图像的 MSE 值小于椒盐噪声图像的 MSE 值,显然这个结果是不准确的。PSNR 与 MSE 从本质上是一样的,也会给出同样的错误判断。而使用 SSIM

评价指标,图 1(a)的值小于图(b)的值,得到和人眼的主观感觉评价一致的结果。

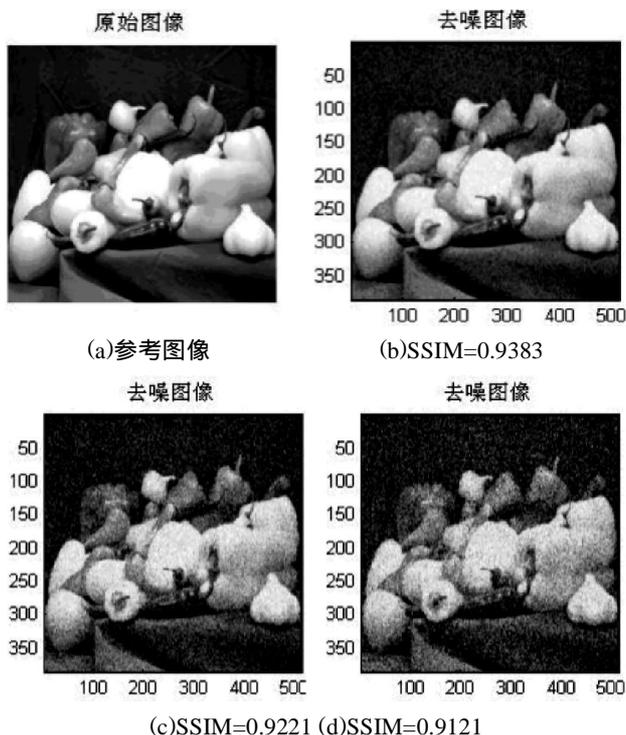


图 2 SSIM 滤波图

最后对 peppers 图像分别加入高斯噪声和椒盐噪声,利用邻域平均法进行滤波(效果图如 2),分别采用 MSE, PSNR 和 SSIM 指标进行评价。SSIM 指标采用结构相似性信息可以提供与人眼主观感知图像失真非常接近的一种客观评价,而 MSE, PSNR 有时候会出现评价结果的不准确,因此 SSIM 指标优于 MSE 和 PSNR。

3 结语

本文提出了基于结构相似性的全参考图像质量评价算法,并通过大量仿真实验得出各个评价值,实验结果表明结构相似度评价矩阵比均方差和峰值信噪比指标更有优势,更适合图像质量评价。论文不足之处在于仅考虑了去噪任务下的图像质量评价,没有更广泛地研究图像模糊、图像压缩等情况下的质量评价问题,这将是作者下一步的努力方向。

参考文献:

[1] 蒋刚毅,黄大江,王旭等.图像质量评价方法研究进展[J].电子与信息学报,2010,32(1):219-226
[2] 周景超,戴汝为,肖柏华.图像质量评价研究综述[J].计算机科学,2008,35(7):1-4
[3] Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Trans. Image Process, 2004, 13(4):600 - 612
[4] 何一鸣,张刚兵,钱显毅.基于邻域均值的去椒盐噪声算法[J].南京理工大学学报,2011,35(6):765-767

作者简介:朱丽娟(1981-),女,吉林长春人,硕士,研究方向为光学图像处理和光学系统设计。