

基于 TV 与 SSIM 的图像质量评价方法

庞璐璐^a, 李从利^b, 罗 军^b

(解放军炮兵学院 a. 五系; b. 信息工程教研室, 合肥 230031)

摘 要: 提出一种基于全变分(TV)模型与结构相似度(SSIM)的图像质量评价方法。对待评价图像进行主动定量加噪, 得到降质图像, 利用自适应的 TV 去噪模型得到消噪图像, 采用 SSIM 方法对待评价图像与消噪图像进行全参考评价, 得到待评价图像的无参考评价指标。采用标准测试图像和 LIVE 库的降质图像进行实验, 结果表明, 该方法可在无参考图像的条件下对图像质量进行评估, 评价结果与主观评价结果具有较高的一致性。

关键词: 图像质量评价; 全变分; 结构相似度; 人眼视觉系统; 图像去噪

Image Quality Assessment Method Based on TV and SSIM

PANG Lu-lu^a, LI Cong-li^b, LUO Jun^b

(a. Five Department; b. Information Engineering T&R Section, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

【Abstract】 This paper proposes an image quality assessment method based on Total Variation(TV) model and Structural Similarity(SSIM). It adds noises to distorted image to quantitatively determine, and gets the degraded image. It uses the self-adaptive TV denoising model and gets denoising image, then uses the SSIM method to make reference evaluation between the distorted image and denoising image. The results is the no reference evaluating indicator. It uses the standard testing images and the degraded images from the LIVE database to make evaluate experiment, the results show that the method can judge the quality of images without explicit knowledge of the reference images, and it is highly consistent to the result of human visual.

【Key words】 image quality assessment; Total Variation(TV); Structural Similarity(SSIM); Human Visual System(HVS); image denoising

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.072

1 概述

对图像质量的正确评价是图像研究领域内的热点课题, 评价方法主要分 2 类: 主观方法和客观方法。主观评价方法受图像类别、环境因素影响较大, 而且不同观察者由于知识背景不同得出的评价结果差别很大。常见的客观质量评价方法可分为 3 类^[1]: (1)全参考质量评价; (2)无参考质量评价; (3)参考质量评价。客观方法具有判断速度快、成本低廉等优点, 但是大多数图像质量客观评价方法没有考虑人眼的视觉特性, 结果往往与主观判断不符。因此, 人们开始利用人眼视觉系统(Human Visual System, HVS)^[2]的某些特性对客观评价尺度进行修改。

文献[3]在结构信息概念的基础上提出一种基于 HVS 的图像质量评价方法——结构相似度(Structural Similarity, SSIM)。但这种方法必须借助原始的非失真图像作为参考, 在很多场合下都无法或较难获得参考图像进行对比, 其应用范围较窄。文献[4]结合 Contourlet 对该方法进行了改进。文献[5]利用基于变分原理的能量函数优化偏微分方程处理图像。基于变分原理的方法对图像的主要视觉特征(例如边缘、曲率等)建立能量函数, 将变分原理的优化过程转化为偏微分方程的各向异性扩散过程进行求解, 主要用于图像去噪和修复^[6]。文献[7]直接对某些图像特征的扩散过程建模, 对模型演化求解。

本文研究的是无参考图像的情况下的图像质量评价, 提出一种基于 TV 及 SSIM 的图像质量评价方法。

2 自适应的 TV 去噪模型

令 u 为原始清晰的图像, u^0 为被噪声污染的图像, 即

$u^0 = u + n$, 其中, n 是均值为 0、方差为 σ^2 的高斯噪声。现有的 3 种主要变分去噪模型^[8]表示如下:

- (1)基于 L^2 范数的各向同性扩散去噪模型;
- (2)基于 L^1 范数的 TV 去噪模型;
- (3)广义 TV 去噪模型。

以上 3 种模型各具优缺点。为添加、去除噪声, 克服边缘模糊、阶梯效应, 本文采用一种新的自适应 TV 去噪模型:

$$\min_u J_{p(x,y)}(u) = \frac{1}{p(x,y)} \int_{\Omega} |\nabla u|^{p(x,y)} dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |u - u^0|^2 dx dy \quad (1)$$

其中, $p(x,y)$ 定义为:

$$p(x,y) = 1 + \frac{1}{1 + |\nabla G_{\sigma} * u^0(x,y)|^2} \quad (2)$$

其中, G_{σ} 为高斯滤波器, $\sigma > 0$ 。由式(2)可知, $1 < p(x,y) < 2$ 。

$p(x,y)$ 取值与预处理图像的梯度大小 $|\nabla G_{\sigma} * u^0|$ 有关。在图像边缘处, $|\nabla G_{\sigma} * u^0|$ 值很大, 当 $|\nabla G_{\sigma} * u^0|^2 \rightarrow \infty$ 时, $p(x,y) \rightarrow 1$, 此时, 选择保边较好的 TV 模型; 在远离边缘区, $|\nabla G_{\sigma} * u^0|$ 的值很小, 当 $|\nabla G_{\sigma} * u^0|^2 \rightarrow 0$ 时, $p(x,y) \rightarrow 2$, 选择平滑较好的调和模型。从而, 该模型能自适应地选取参数 $p(x,y)$, 使其在接近边缘处自动选取保边较好的去噪模型, 而在远离边缘

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40876095)

作者简介: 庞璐璐(1987—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理; 李从利, 副教授; 罗 军, 博士

收稿日期: 2011-07-27 **E-mail:** lulu870618@126.com

处自动选取平滑较好的模型。

另外,该模型首先用一个高斯滤波器对噪声图像作预处理,其目的是去除一小部分噪声以减少将噪声当成假边缘的可能性。

与式(1)相对应的欧拉-拉格朗日方程为:

$$-\nabla \cdot (|\nabla u|^{p(x,y)-2} \nabla u) + \lambda(u - u^0) = 0 \quad (3)$$

该模型的梯度下降流为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (|\nabla u|^{p(x,y)-2} \nabla u) - \lambda(u - u^0) \quad (4)$$

该模型对应图像的每一个像素点, $p_{(x,y)}$ 的值是固定的,式(3)可看成是一个 p -Laplacian 方程。

3 SSIM 方法

假设 $x = \{x_i, i=1,2,\dots,N\}$ 是参考图像的对应像素点灰度, $y = \{y_i, i=1,2,\dots,N\}$ 是某结果图像的对应像素点灰度,那么结果图像的质量可以用 2 幅图的相似性度量 Q 来衡量^[3]:

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]} \quad (5)$$

度量 Q 从 2 幅图像像素灰度的均值相似性、对比度相似性和相关系数的角度刻画了 x 和 y 的相似性。由文献[3]的实验结果可以看出,这种相似性度量非常符合人类的视觉主观感知特性。

4 TV-SSIM 评价模型与算法实现

设待评价图像为 $f(x,y)$, 加噪后图像为 $f_1(x,y)$, 经 TV 模型去噪后图像为 $f_2(x,y)$ 。本文提出的 TV-SSIM 评价模型如图 1 所示。

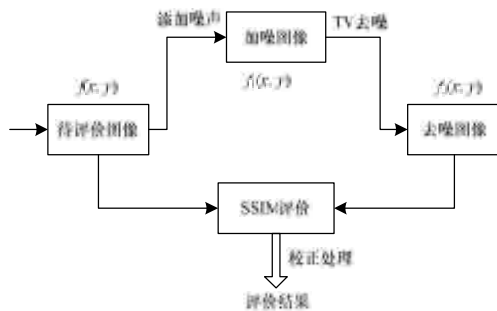


图 1 TV-SSIM 评价模型

根据此模型,评价过程算法描述如下:

Step1 对待评价图像 $f(x,y)$ 添加定量噪声,得到含噪图像 $f_1(x,y)$ 。

Step2 借助自适应 TV 去噪模型对含噪图像 $f_1(x,y)$ 进行去噪,得到消噪图像 $f_2(x,y)$ 。

Step3 将待评价图像 $f(x,y)$ 与消噪图像 $f_2(x,y)$ 进行全参考 SSIM 评价。

Step4 得出待评价图像 $f(x,y)$ 的无参考评价结果 SSIM1。

Step5 对结果进行校正处理,方法如下:

$$S_{TV-SSIM} = (1 - S_{SSIM1}) \times 100 \quad (6)$$

以上校正处理方法基于这样一个基本认知,一个质量好 Q_1 的图像受到一定程度 α 的降质影响,在主观感觉上要比质量低的 $Q_2 (Q_1 > Q_2)$ 图像受到同样降质因子 α 的影响要强烈一些,即一幅图像质量很差的图像尽管受到一定程度的降质影响,但人眼几乎觉察不出来;而一幅图像质量好的图像受到同样降质程度的影响却感受明显。因此,按照上述思

路,在 Step4 得出的结果 SSIM1 越大说明该图像质量越差,为与人们对图像质量的衡量相一致(质量越好,值越大),由此对式(6)进行了修正。

5 实验结果与分析

为验证本文评价模型的有效性,本文进行了 2 组试验。第 1 组实验针对受到不同高斯噪声干扰的标准测试图像 Lena 的评价情况。不同高斯噪声干扰的 Lena 加噪图如图 2 所示,其 TV 恢复结果如图 3 所示。



图 2 不同高斯噪声干扰的 Lena 图



图 3 Lena 加噪图的 TV 恢复结果

由图 2、图 3 可发现,叠加不同的高斯噪声,图像质量随之降低。Lena 图不同降质情况下的评价结果如表 1 所示。可以看出,本文对受到噪声污染的图像独立进行处理的结果和经典 SSIM 方法结果一致,也符合人眼主观判断。

表 1 Lena 图不同降质情况下的评价结果

图像	经典 SSIM 方法	TV-SSIM 方法
图 2(a)	0.769 3	17.65
图 2(b)	0.658 3	16.61
图 2(c)	0.280 5	8.92

第 2 组实验使用国际 LIVE 图像数据库^[9],选择一组 Sailing3 图像,这些图像分别被加以不同程度的高斯模糊。Sailing3 高斯模糊图见图 4,其 TV 恢复结果见图 5。

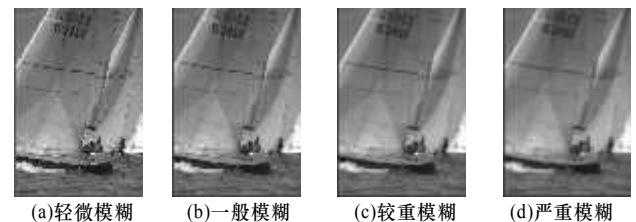


图 4 Sailing3 高斯模糊图

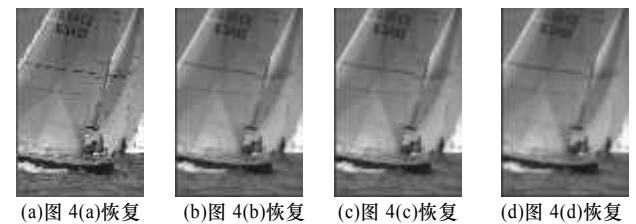


图 5 Sailing3 高斯模糊图的 TV 恢复结果

采用本文评价结果如表 2 所示,为方便比较,引入经典的 PSNR、SNR、DMOS 以及 SSIM 方法作比较。LIVE 给定的分值为原始图像主观分与加噪图像主观分的差值,值越大表明图像质量越差。

表2 Sailing3 高斯模糊后的评价结果

图像	SSIM	PSNR	SNR	DMOS	TV-SSIM
图 4(a)	0.993 9	36.935 1	30.949 5	12.802 7	1.80
图 4(b)	0.925 1	28.621 9	22.592 4	15.821 8	1.34
图 4(c)	0.834 8	26.316 3	20.244 9	52.154 6	1.09
图 4(d)	0.768 8	25.109 6	19.000 7	65.452 0	0.88

可以看出, 本文方法在不借助原始 Sailing3 图像的情况下, 得出的评价结果与经典 SSIM、PSNR、SNR 以及 DMOS 结果相一致, 同样也验证了本文方法的正确性。为进一步分析评价结果与主观一致性, 采用计算评价结果值与 DMOS 值的相关系数^[10]公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (7)$$

其中, m 为样本个数, x_i 、 y_i 分别为 DMOS 值和 P 值, \bar{x} 和 \bar{y} 分别为其均值, $R \in [0, 1]$, 当 $R=1$ 时两者相关性最强, 当 $R=0$ 时, 两者正交。分别对 SSIM、PSNR、SNR、本文方法进行求解, 所得结果如表 3 所示。

表3 DMOS 相关系数比较

评价方法	R
SSIM	0.968
PSNR	0.797
SNR	0.799
TV-SSIM	0.901

根据所得的实验数据求得本文算法与 DMOS 的相关程度为 0.901, 与人眼的视觉感知匹配程度高, 虽然低于经典 SSIM 方法, 但由于没有借助参考图像独立评价, 仍比 SNR、PSNR 的相关系数高, 因此可以说明本文的图像质量评价方法和人眼对图像质量的评价相一致。

6 结束语

本文提出一种基于 TV 与 SSIM 的图像质量评价方法, 实现在无法获得参考图像情况下的图像质量评价。实验结果表明, 该方法对图像受噪声干扰后的评价结果与 SSIM 的评价结果一致, 对通用 LIVE 库的模糊图像进行评价的结果与

(上接第 214 页)

彩色图像的局部变化细节, 比在单尺度下提供了更多有用的信息, 为信号局部处理提供了更多有用的信息, 获得对感知对象的准确理解, 因而检索精度有很大的提高, 取得了较理想的检索效果。

5 结束语

本文提出了一种利用多尺度相对矩对古钱币图像进行特征提取和检索的方法, 采用小波变换中的大尺度确定位置轮廓信息, 利用小尺度检测出细节信息, 进行物体与对象的识别。通过对多类数据库检索实验, 结果表明, 该方法具有较好的通用性和鲁棒性。下一步将引入相关反馈技术, 引入用户的爱好等主观因素, 进一步提高检索精度。

参考文献

- [1] 史婷婷, 吴明珠, 陈 勇. 基于二进制颜色相关矩阵的图像检索方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(1): 207-209.
- [2] 林克正, 张彩华, 刘丕娥. 基于分块主颜色匹配的图像检索[J]. 计算机工程, 2010, 36(18): 186-188.
- [3] 尚赵伟, 赵正辉, 庞庆堃, 等. 基于 NACT 和 HMT 模型的纹理图像检索[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 204-206.
- [4] Shanbehzadeh J, Eftekhari-Moghadam A M, Mahmoudi F. Image Indexing and Retrieval Techniques: Past, Present and Next[C]//

SSIM、PSNR、SNR 及 DMOS 的结果一致, 且与主观评价结果具有较高的一致性。但本文方法需要借助 TV 去噪模型及 SSIM 方法, 因此评价的运行速度较慢, 这也是下一步需要改进之处。

参考文献

- [1] Wang Zhou, Sheikh H R, Bovik A C. Objective Video Quality Assessment[M]//The Handbook of Video Databases: Design and Applications. Boca Raton, USA: CRC Press, 2003.
- [2] Winkler S. Vision Models and Quality Metrics for Image Processing Applications[D]. Lausanne, Switzerland: EPFL, 2000.
- [3] Wang Zhou, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [4] 杨春玲, 汪 凡. 基于结构相似度的 CT 域图像质量评价方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(14): 190-192.
- [5] Chan T F, Shen Jianhong. Image Processing and Analysis: Variational, PDE, Wavelet and Stochastic Methods[M]. Philadelphia, USA: SIAM, 2005.
- [6] 林云莉, 赵俊红, 朱学峰, 等. 基于图像分解的图像修复技术[J]. 计算机工程, 2010, 36(10): 187-189.
- [7] Rane S D, Sapiro G, Bertalmio M. Structure and Texture Filling in of Missing Image Blocks in Wireless Transmission and Compression Applications[J]. IEEE Trans. on Image Process, 2003, 12(3): 296-303.
- [8] Song Bing. Topics in Variational PDE Image Segmentation, Impainting and Denoising[D]. Los Angeles, USA: University of California, Los Angeles, 2003.
- [9] Sheikh H R, Wang Zhou, Cormack L, et al. Live Image Quality Assessment Database[DB/OL]. (2006-01-01). <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [10] Krzanowski W J, Marriott F H C. Multivariate Analysis: Kendall's Library of Statistics[M]. New York, USA: John Wiley & Sons, 1975.

编辑 顾姣健

Proc. of Storage and Retrieval for Media Databases. San Jose, California, USA: [s. n.], 2000.

- [5] 汪彦龙, 刘金华, 王丽萍. 基于对象空间关系的图像检索方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(1): 66-68.
- [6] Hu M K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1962, 8(2): 179-187.
- [7] Chen Chaur-Chin. Improved Moment Invariants for Shape Discrimination[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(5): 683-686.
- [8] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [9] Zenzo S D. A Note on the Gradient of a Multi-image[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986, 33(1): 116-125.
- [10] 王波涛, 孙景鳌, 蔡安妮. 相对矩及在几何形状识别中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(3): 296-300.
- [11] 韩 轩, 陈海山. 综合颜色和局部空间特征的彩色图像检索方法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(1): 122-125.
- [12] 田小忱, 杨 东, 杜春华. 综合颜色和 Contourlet 直方图的图像检索方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 224-226.
- [13] 孙兴华, 杨静宇. 基于子图像多特征组合的商标图像检索[J]. 模式识别与人工智能, 2002, 15(1): 14-20.

编辑 顾姣健

