

基于人眼视觉特性的 X 线图像质量评价方法 *

王一秀, 韩 焱

(中北大学 信息探测与处理技术研究所, 山西 太原 030051)

摘 要: 图像质量评价是图像处理技术的基础。由于图像处理结果的最终接受者是人, 因此在评价图像质量时必须考虑到人类视觉系统的特性。为此利用小波的多分辨率分析方法与人眼视觉系统(HVS)信息处理特性相类似的特点, 结合对比敏感度函数的带通特性, 提出了一种无参考的客观图像质量评价方法。实验结果表明, 该评价方法优于传统的质量评价方法, 而且能较好地与人的主观视觉感受保持一致。

关键词: 图像质量评价; 小波变换; 人类视觉系统; 对比敏感度函数

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

A criterion of X-ray image quality assessment based on HVS property

WANG Yi Xiu, HAN Yan

(Institute of Signal Capturing & Processing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Image quality assessment is the base of image processing technology. Since human being is the final receiver of the image, the key point of the image assessment is that it must be taken into account match the characteristics of human visual system. In this paper, wavelet multi-resolution analysis is used. That is because it matches well with the model of HVS. Combined with the band-pass property of contrast sensitivity function, a no-reference objective image quality assessment method was proposed. The experimental results show that the new assessment method is superior to the traditional assessment method and it is better consistent with human subjective sensation.

Key words: image quality assessment; wavelet transform; human visual system(HVS); contrast sensitivity function(CSF)

图像质量评价是图像处理系统中基础研究课题之一, 是判断图像处理、编码和传输后所得图像质量好坏的重要依据^[1]。现有的图像质量评价分为主观评价和客观评价两类。主观评价充分地考虑了观察者对图像的理解效果, 相对较为准确, 但从工程的角度, 其实时性、稳定性、可移植性较差, 且难以用数学模型来表达。客观评价容易应用于工程实践而受到广泛关注, 客观评价方法根据是否具有原始参考图像, 可以分成全参考、部分参考和无参考 3 种方法^[2]。全参考和部分参考都需要依靠一个原始的且无失真的图像作为参考。然而在许多情况下, 这种原始的无失真的图像很难获得或者根本就不存在。无参考型期望模拟人来评价图像, 因而更有意义。本文提出一种无参考的客观图像质量评价方法, 并通过实验, 表明了该方法能较好地反映人的主观视觉感受。

1 HVS 模型

X 线图像质量是由对比度、清晰度、噪声、伪影及畸变等多种因素综合体现出来的。通常用方差来反映图像的对比度, 由梯度函数来评价图像的清晰度, 用熵来反映图像的信息量。传统评价方法通过直接计算图像的这些评价指标来判断质量好坏, 这样虽然计算简单方便, 但不符合人的主观感受^[3]。由于对图像的质量评价最终取决于观察者的感受, 所以更接近图像实际质量的评价方法也必须考虑到人的视觉特性, 建立基于人眼视觉特性的计算机模型来进行评价。

研究表明, HVS 具有视觉非线性、多通道结构、对比敏感度带通性和掩盖效应等特性^[4]。特别是对比敏感度函数 CSF(Contrast Sensitivity Function)能较全面、客观地评价视觉功能, 亦称为人眼视觉系统空间调制转移函数。Mannos 和 Sakrison 等人已通过大量的实验建立了

* 基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(2007012003)

CSF 的近似曲线^[5],其模型描述如下:

$$A(f)=2.6(0.019 2+0.114f)\exp[-(0.001f)^{1.1}] \quad (1)$$

式中,空间频率 $f=\sqrt{f_x^2+f_y^2}$ (周期/度), f_x, f_y 分别为水平和垂直方向的空间频率。为了使表示更加直观,采用归一化频率 f_n 的表示方法, $f_n=f/f_s$ 。常用的 CSF 函数响应曲线如图 1 所示,由图可见,CSF 具有带通滤波特性。

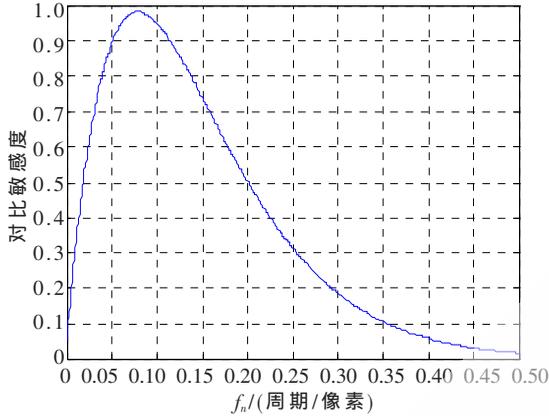


图 1 CSF 的归一化空间频率特性曲线

2 基于小波多分辨率和 CSF 特性的质量评价方法

小波分析可以通过伸缩和平移等运算功能对信号进行多尺度细化分析。一般随着尺度由大到小的变化,图像的这种由粗到细的多分辨率分析过程,是通过将 $N \times N$ 的图像进行 \log_2^N 级分解来实现。研究表明^[6],人眼视网膜图像是被分解到在对数尺度上具有近似相等带宽的不同频带上进行处理。实际上,小波的多分辨率分析方法与 HVS 信息处理机制相类似。

基于上述分析,结合人眼视觉特性,本文建立了一种简单有效的无参考质量评价方法。其具体步骤如下:

(1)对待评价图像进行 5 级小波分解(这里选用 rbio 2.4 小波)。分解后可得到 6 个频带,除了第 6 频带只有 1 个低频分量外,其他的 5 个频带各有 3 个高频分量,分别为水平、垂直和对角线分量。

(2)利用下述公式分别计算这 16 个分量的方差、梯度和熵。

$$\sigma^2 = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i,j) - \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i,j))^2 \quad (2)$$

$$F = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \sqrt{([I(x,y)-I(x+1,y)]^2 + [I(x,y)-I(x,y+1)]^2)} \quad (3)$$

$$E = - \sum_{m=0}^{255} P_m \log(P_m) \quad (4)$$

(3)将各个频带所包含分量的计算结果分别求和。

$$d_i = \ln\left(\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N \delta^2\right) \quad (5)$$

$$f_i = \ln\left(\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N F\right) \quad (6)$$

$$e_i = \ln\left(\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N E\right) \quad (7)$$

其中, i 为频带个数, N 为频带中所包含的分量个数,除了第 6 个频带只包含 1 个低频分量($N=1$)之外,其余 5 个频带均包含 3 个高频分量($N=3$)。

(4)将上述每个频带的 3 个特征值归一化、合并后得到一个综合评价指标,6 个频带便可得到 6 个综合评价指标。

$$r_i = \sqrt{d_i^2 + f_i^2 + e_i^2} \quad (8)$$

(5)利用 CSF 的非线性带通特性,对不同空间频带的计算结果进行加权,加权值为在相应频带内 CSF 曲线的平均值。对于 5 级小波分解,整个频带划分为 6 个,根据 CSF 特性曲线对应可得到如图 2 所示的 6 个加权值,即: $\omega_i = [0.249 1, 0.576 9, 0.854 9, 0.945 9, 0.570 1, 0.108 0]$ 。将 6 个综合评价指标进行加权得到一个最终的评价指标。

$$R = \sum_{i=1}^6 r_i \times \omega_i \quad (9)$$

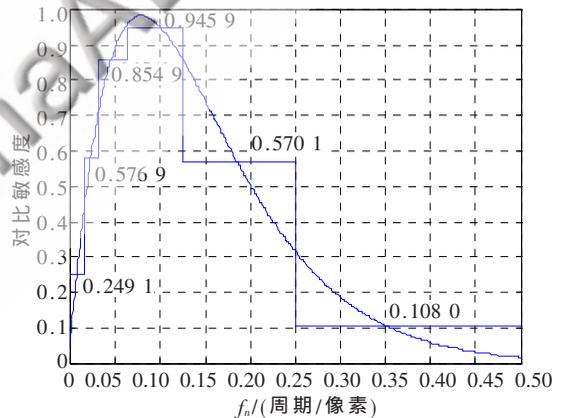


图 2 带有加权值的 CSF 特性曲线

3 实验结果与分析

本文选用 5 幅不同曝光条件下鲤鱼的 X 光图像作为待评价图像,如图 3 所示。由图可以看出,图 3(a)和图 3(b)曝光不足,鱼刺无法从较黑的背景中分辨出来,图 3(e)过分曝光,鱼鳃处(较白背景处)的鱼刺细节丢失,图 3

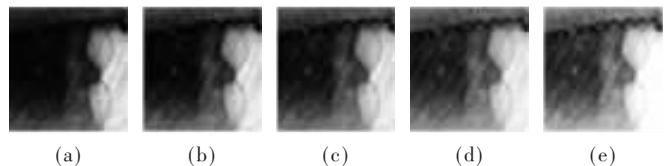


图 3 鲤鱼 X 光图像

(c)和图 3(d)均没有细节的丢失,但是图 3(d)明显比图 3(c)清晰,较黑背景与较白背景中的鱼刺都更容易分辨。

表 1 为传统的采用方差、梯度和熵的方法与本文所用方法(结果用 RHVS 来表示,其值越大表示图像质量最好)的性能比较。可以看出,图 3(e)的方差和梯度计算结果最大,但是从图像上可以看出图 3(e)有细节的丢失,其质量并非最好;图 3(c)和图 3(d)的熵值相同,无法判断出哪一幅的质量更好些。而用本文方法计算所得图 3(d)的 RHVS 值最大,即图像质量最好,此结果能较好地与人眼的主观感觉保持一致。

表 1 本文方法与传统方法的比较

评价方法	3(a)	3(b)	3(c)	3(d)	3(e)	
传统方法	方差	71.979 0	238.370 0	643.184 7	2 029.7 5	802.9 3
	梯度	1.050 6	2.204 7	3.998 2	8.142 5	14.453 3
	熵	4.127 5	5.199 7	6.173 5	6.173 5	5.777 6
本文方法	RHVS	0.916 2	2.287 4	4.481 9	5.365 8	4.150 0

注:以图 3 为例

本文根据人类视觉特性,结合对比敏感度函数,提出了一种基于 HVS 模型进行客观无参考的图像质量评价方法。实验结果证明,该方法比传统评价方法更能反映人的主观感受。该计算模型简单快速,能够实现图像质量的实时评价,而且无需标准图像做参考,特别适合于无法得到或不存在标准图像的场所对图像质量进行

评价。

参考文献

- [1] 魏崇奎.基于 HVS 图像质量评价模型的方法研究[M].长沙:国防科学技术大学,2003:2-6.
- [2] ESKICIOGLU A M. Image quality measures and their performance [J]. IEEE Transactions on Communication, 1995,43(12):2959-2965.
- [3] 丁艺芳.基于小波变换和视觉系统的图像质量综合评价新算法[M].上海:上海大学,2001:43-50.
- [4] COME S, MACQ B. Human visual quality criterion. In: SPIE Visual Communication and Image Processing [J]. San Jose, USA, 1990,1360:2-7.
- [5] 马文波,赵保军,任宏亮,等.基于小波频带划分及 CSF 特性的图像质量评价方法[J].激光与红外,2007,37(7):687-690.
- [6] MANNOS J L, SAKRISON D J. The effect of a visual fidelity criterion on the encoding of images[J]. IEEE Transactions on Inform. Theory, 1974,20(2):525-536.

(收稿日期:2009-12-09)

作者简介:

王一秀,女,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理。

韩焱,男,1957年生,教授,博导,主要研究方向:数字图像处理、信息对抗与信息安全。