

# 一种新的部分参考型图像质量评价方法

王体胜, 高新波, 路文, 李广东

(西安电子科技大学 电子工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:** 根据图像失真会引起图像内视觉敏感系数变化的特点, 提出了一种新的部分参考型图像质量评价方法. 利用 Contourlet 分解实现对图像内视觉敏感系数的提取, 通过统计比较失真图像和原始图像视觉敏感系数的关系, 得到对失真图像的质量评价测度. 实验结果表明, 该方法与主观评价方法有很好的 consistency, 能很好地反映人们对人眼图像的视觉感知效果.

**关键词:** 部分参考型; 图像质量评价; Contourlet

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2008)01-0101-04

## A new method for reduced-reference image quality assessment

WANG Ti-sheng, GAO Xin-bo, LU Wen, LI Guang-dong

(School of Electronic Engineering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Based on the characteristic that image distortion results in the change of visual sensitivity coefficients of image, a new reduced-reference (RR) image quality assessment metric is proposed. Contourlet is applied to extract the visual sensitivity coefficients of the image. Summarizing the difference of visual sensitivity coefficients between the distorted image and the reference image, we can get the measurement of the distorted image. Experimental results illustrate that the proposed method has a good consistency with the subjective assessment of human beings, and can reflect the visual perception of the image effectively.

**Key Words:** reduced reference; image quality assessment; Contourlet

数字图像质量的客观评价已经越来越为人们所重视, 并已形成了许多完整有效的算法体系. 从现有文献看, 根据对原始图像的参考程度, 图像质量的客观评价可分为 3 种: 全参考型 (FR)、部分参考型 (RR) 和无参考型 (NR) 3 种<sup>[1]</sup>. FR 虽然是 3 者中最精确的方法, 但在很多情况下, 都不可能得到原始图像, 而现有的 NR 对图像的评价都有很大的局限性, 评价效果也不理想, 在实际中很难应用. RR 是一种只利用原始图像部分信息的图像质量评价方法, 并且好的 RR 评价方法能很好地反映人类对图像的感知效果, 已经成为该领域的研究热点. 文献[2]给出了 RR 的结构模型.

如何有效地描述图像的视觉信息是许多图像处理任务的核心问题, 比如图像压缩、图像降噪和图像特征提取等. 推动小波分析发展的先驱者 Daubechies, Mallat, Albert Cohen, Donoho, Vetterli 等对发展新的高维函数的最优表示方法做出了不懈的努力, 他们提出了多尺度几何分析的概念<sup>[3]</sup>. 对于二维图像信号, 最优表示这种信号的多尺度几何分析方法应该具有以下特征<sup>[4]</sup>: (1) 多分辨: 能够对图像从粗分辨率到细分辨率进行连续逼近, 即“带通”性; (2) 局域性: 在空域和频域, 这种表示方法的“基”应该是“局部”的; (3) 方向性: 其“基”应该具有“方向”性, 不仅仅局限于二维可分离小波的 3 个方向. 在图像质量评价中也常常需要利用这样的图像表示方法来对视觉信息进行通道分解和特征提取.

2002 年, Minh. N. Do 和 Martin Vetterli 提出来了一种“真正”的图像稀疏表示方法<sup>[5]</sup>: Contourlet 变

收稿日期: 2007-03-29

基金项目: 国家部委预研基金资助(9140A06050107DZ0113); 新世纪优秀人才支持计划资助(NCET-04-0948); 教育部长江学者和创新团队支持计划资助(IR T0645)

作者简介: 王体胜(1981-), 男, 西安电子科技大学硕士研究生, E-mail: wangts201@sohu.com.

换,也称塔形方向滤波器组(PDFB). Contourlet 是一种多分辨的、局域的、方向的图像表示方法. Contourlet 变换将多尺度分析和方向分析分拆进行,首先由拉普拉斯塔形(LP)变换<sup>[6]</sup>对图像进行多尺度分解以“捕获”奇异点,接着由完全重构方向滤波器组(DFB)<sup>[7]</sup>将分布在同方向上的奇异点合并. Contourelet 变换的最终结果是用类似于线段的基结构来逼近原图像.

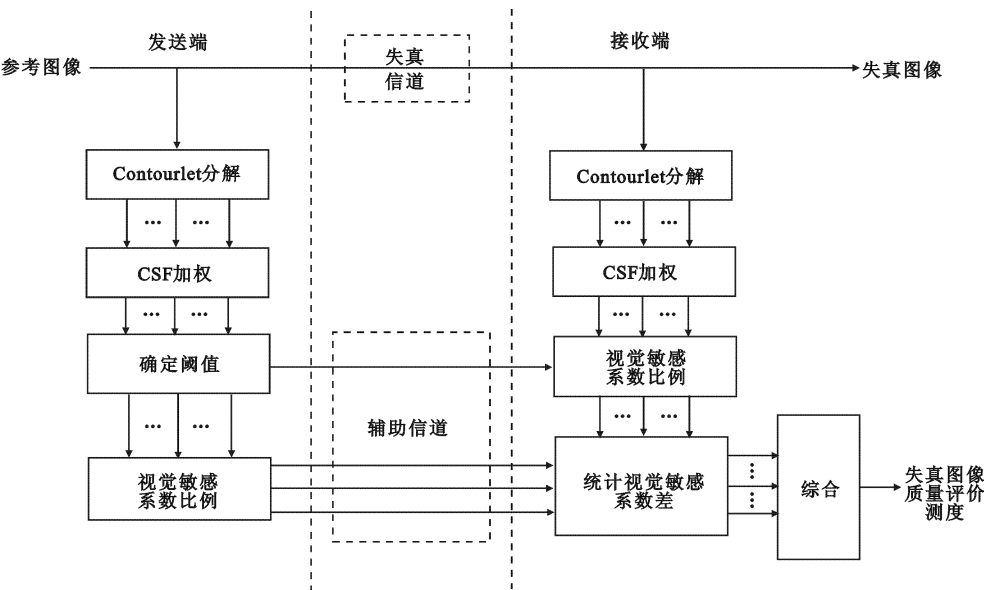


图 1 笔者提出的评价方法的系统模型

Contourlet 能有效地反映图像的视觉感知特性,能够有效地提取图像的视觉敏感系数. 根据图像失真会导致图像视觉敏感系数变化的特点,笔者提出了一种利用新的部分参考型图像质量评价方法. 该方法框架模型如图 1.

1 基于 Contourlet 的图像质量评价方法

提出了一种新的部分参考型图像质量评价方法,利用 Contourlet 将图像分解到不同的尺度和方向子带,为使入眼对图像不同尺度具有相同的感知能力,对各方向子带按其所在尺度进行对比度感知函数(CSF)加权,根据视觉感知特性,确定一定阈值,从而得到各子带中的视觉敏感系数,统计失真图像和原始图像的视觉敏感系数关系,最终得到对失真图像的评价测度.

1.1 Contourlet 分解

利用 Contourlet 时,对图像进行 3 层 LP 变换,各层由细到粗依次采用 4 级、3 级、3 级 DFB 分解. 根据 DFB 的性质,这里仅选取一半的高频子带(如图 2 所示)进行分析.

1.2 CSF 子带加权

由于人眼对不同(空间)频率的图像信号感知程度不同,因而要对不同频率上变换子带系数进行加权,使加权后的不同尺度上系数对于人类感知具有相同的意义. CSF 则描述了人类这种对(空间)频率感知的不同<sup>[8]</sup>. 最原始的亮度(灰度)CSF 模型是由 Mannos 和 Sakrison 提出的<sup>[9,10]</sup>. 其数学形式为

$$H(f) = 2.6 \cdot (0.192 + 0.114f) \cdot \exp[-(0.114f)^{1.1}] \quad (1)$$

这里空间频率  $f = (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$ .  $f_x$  和  $f_y$  分别为水平和垂直方向的空间频率. 对空间频率归一化得

$$f = f_n \cdot f_s \quad (2)$$

其中,  $f_n$  为归一化后的空间频率,  $f_s$  为采样频率,求法如下<sup>[11]</sup>

$$f_s = 2 \cdot v \cdot \tan(0.59 \cdot r \cdot 0.0254) \quad (3)$$

其中  $v$  为观看距离,这里取显示器高度的 2.0 ~ 2.5 倍(文中取 0.8 m),  $r$  为显示器的分辨率. 这里显示器的尺

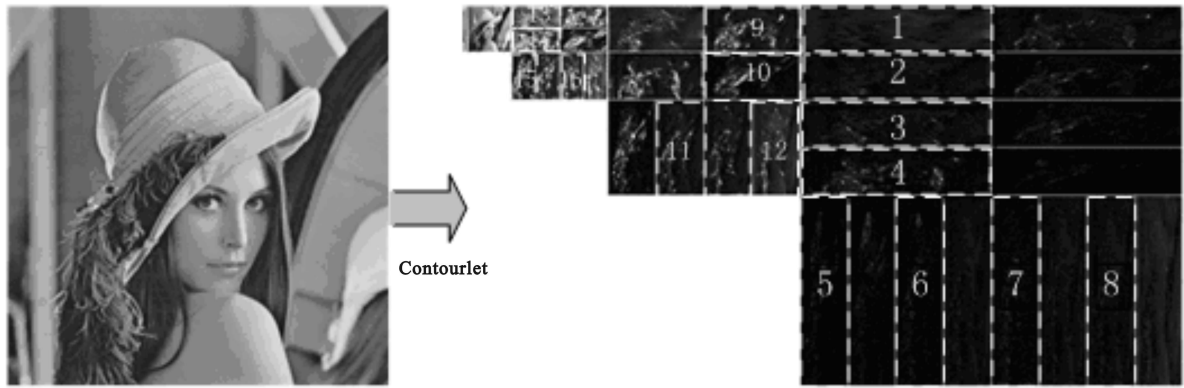


图 2 Contourlet 变换的空域分解及子带选择示意图

寸为 533.4 mm,分辨率为  $1024 \times 768$ ,则  $r = (1024^2 + 768^2)^{1/2} / 533.4 = 2.4$ .

### 1.3 确定阈值

通过对各子带的加权使得所有子带系数对于人的感知具有相同的意义,但笔者认为只有幅值较大的变换系数的变化才对图像质量有影响.利用原始图像,确定了一个阈值  $T$ ,大于该阈值的系数被认为是人眼视觉较敏感系数.  $T$  定义如下

$$T = \frac{1}{M \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2)^{1/2}, \quad (4)$$

其中  $x_{i,j}$  为最精细尺度上第  $i$  个方向子带的第  $j$  个系数,  $\bar{x}_i$  为第  $i$  个方向子带系数的均值;  $N$  为每个子带中的系数的总个数,  $M$  为所选方向子带的数目,  $\alpha$  为调解因子.

### 1.4 视觉敏感系数比例

计算参考图像和失真图像各个方向子带中视觉敏感系数在该子带内所占的比例为

$$P_R(n) = \frac{R_T(n)}{R(n)}, \quad (5)$$

$$P_D(n) = \frac{D_T(n)}{D(n)}, \quad (6)$$

其中  $R_T(n)$  和  $D_T(n)$  分别为参考图像和失真图像中第  $n$  个对应所选子带中视觉敏感系数的个数.  $R(n)$  和  $D(n)$  分别为对应第  $n$  个对应子带中的系数个数.

### 1.5 失真图像的评价测度

$P_R(n)$  和阈值  $T$  被作为参数传输到接收端,  $P_D(n)$  由接收端得到. 利用

$$S = \sum_{n=1}^L |P_R(n) - P_D(n)| \quad (7)$$

计算参考图像和失真图像的  $P_R(n)$  和  $P_D(n)$  绝对差的和  $S$ . 并得到失真图像的质量评价测度为

$$Q = 1 - \frac{S}{1 + \log_2 \frac{S}{Q_0} + 1}, \quad (8)$$

式中  $Q_0$  为  $Q$  动态范围的调节因子. 实验中,  $Q_0$  取 0.1.  $L$  为被选取子带的总个数.

## 2 实验结果及分析

为了测试文中方法的合理性和有效性,做了该方法的主客观一致性实验.使用 LIVE 图像质量评估数据库<sup>[12]</sup>.数据库包含 29 幅高分辨率的 RGB 图像和通过 JPEG 和 JPEG2000 压缩得到的一系列失真图像,其中 JPEG 图像 175 幅, JPEG2000 图像 169 幅,同时还给出了每幅图像的主观评价(MOS)等信息.为了测试文中提出的图像质量客观评价结果与主观感知的一致性,选择了以下 3 种度量准则<sup>[13]</sup>: (1) 反映客观评价方法预测精确性的相关系数(CC); (2) 反映客观评价成绩预测单调性的 Spearman 等级次序相关系数(ROCC); (3) 反映客观评价方法预测稳定性的离出率(OR).

实验采用数据库中的J P E G 和 J P E G 2 0 0 0 图像分别进行测试 ,用来比较的方法有全参考型方法 (PSNR) 和典型的部分参考型方法 (RR- W SIM)<sup>[2]</sup> ,试验结果见表 1 和图 3.

表 1 文中提出方法和比较方法的主客观一致性评价对比

MODEL	Type	J P E G			J P E G 2 0 0 0		
		CC	ROCC	OR	CC	ROCC	OR
PSNR	FR	0. 922 9	0. 890 5	0. 188 6	0. 933 0	0. 904 1	0. 094 7
RR- W SIM	RR	0. 929 1	0. 906 9	0. 148 6	0. 926 1	0. 913 5	0. 118 3
Q	RR	0. 949 3	0. 930 9	0. 102 9	0. 945 1	0. 927 3	0. 071 0

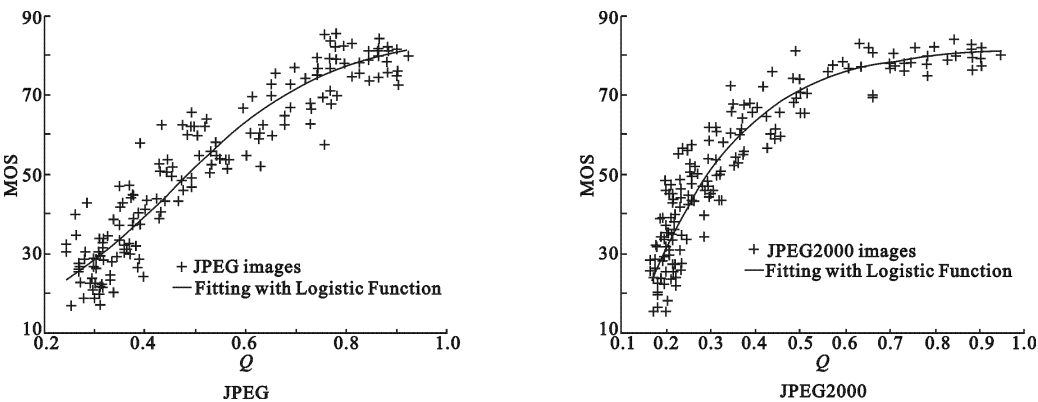


图 3 文中方法对 MOS 值的预测

由实验结果得知 :文中方法与主观评价方法有很好的的一致性 :较高的预测精确性 (CC)、预测单调性 (ROCC)和较低的预测稳定性 (OR) . 所以 ,文中方法是一种新的有效的部分参考型图像质量评价方法.

3 结 束 语

提出了新的部分参考型图像质量评价方法 ,利用 Contourlet 提取图像的视觉敏感系数 ,比较原始图像和失真图像的这些信息 ,得到对失真图像的评价侧度 . 实验表明 ,该方法是一种有效的部分参考型图像质量评价方法.

参考文献 :

[1] Wang Z, 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.

[2] Wang Z, Simoncelli E P. Reduced-reference Image Quality Assessment Using a Wavelet-domain Natural Image Statistic Model[J]. Human Vision and Electronic Imaging X Proc, 2005, 5 666(1): 149-159.

[3] 焦李成,谭山. 图像的多尺度几何分析:回顾和展望[J]. 电子学报, 2003, 31(Z1): 1975-1981.

Jiao Licheng, Tan Shan. Development and Prospect of Image Multiscale Geometric Analysis[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(Z1): 1975-1981.

[4] Donoho D L, Flesia A G. Can Recent Innovations in Harmonic Analysis ' Explain ' Key Findings in Natural Image Statistics [J]. Network: Computation in Neural Systems, 2001, 12 (3): 371- 393.

[5] Do M H, Vetterli M. The Contourlet Transform: an Efficient Directional Multiresolution Image Representation [J]. IEEE Trans on Image Processing. 2005, 14(12): 2091- 2106.

[6] Burt P J, Adelson E H. The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code [J]. IEEE Trans on Communication, 1983, 31 (4): 532-540.

[7] Bamberger R H, Smith M J T. A Filter Bank for the Directional Decomposition of Images [J]. IEEE Trans on Theory and Design, 1992, 240(4): 882- 893

## 参考文献:

- [1] Office of State Commercial Cipher Administration. Block Cipher for WLAN Products—SMS4[EB/OL]. [2006-12-23]. <http://www.oscca.gov.cn/UpFile/2006021016423197990>.
- [2] 张蕾, 吴文玲. SMS4 密码算法的差分故障攻击[J]. 计算机学报, 2006, 29(9): 1594-1600.
- [3] Daemen J, Knudsen R L, Rijmen V. The Block Cipher Square[C]// Fast Software Encryption. Berlin: Springer-Verlag, 1997: 149-165.
- [4] Daemen J, Rijmen V. AES Proposal: Rijndael Version 2[EB/OL]. [2006-11-10]. <http://www.east.kuleuven.ac.be/~rijmen/rijndael>.
- [5] Barreto P, Rijmen V. The ANUBIS Block Cipher[EB/OL]. [2005-08-23]. <http://www.cryptonessie.org>.
- [6] Ferguson N, Kelsey J, Schneier B, et al. Improved Cryptanalysis of Rijndael [C]// Proceedings of Fast Software Encryption Workshop: Vol 1978. Berlin: Springer-Verlag, 2000: 213-230.
- [7] Gilbert H, Minier M. A Collision Attack on 7 Rounds of Rijndael[EB/OL]. [2006-10-15]. <http://csrc.nist.gov/eccryption/aes/round2/conf3/aes3papers.html>.
- [8] 韦宝典, 刘东苏, 王新梅. 一种新的 Square 攻击[J]. 西安电子科技大学学报, 2003, 30(4): 473-476.  
Wei Baodian, Liu Dongsu, Wang Xinmei. A New Type of Square Attack[J]. Journal of Xidian University, 2003, 30(4): 473-476.
- [9] 李清玲, 李超. 变种 Camellia 对 Square 攻击的安全性[J]. 应用科学学报, 2006, 24(5): 485-490.

(编辑: 齐淑娟)

(上接第 104 页)

- [8] Wandell B A. Foundations of Vision. Sinauer Associates [M]. First Edition. Sunderland: Sinauer Associates, Inc, 1995.
- [9] Imgeun L, Jongsik K. Wavelet Transform Image Coding Using Human Visual System [C]// IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. Taipei: IEEE, 1994: 619-623.
- [10] Miloslavski M, Ho Y S. Zerotree Wavelet Image Coding Based on the Human Visual System Model [C]// IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. Chiangmai: IEEE, 1998: 57-60.
- [11] Nadenau M J, Julien R, Murat K. Wavelet-Based Color Image Compression: Exploiting the Contrast Sensitivity [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2003, 12(1): 58-70.
- [12] Sheikh H R, Wang Z, Bovik A C, et al. Image and Video Quality Assessment Research at LIVE [DB/OL]. [2003-10-12]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/>.
- [13] VQEG. Final Report from the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment [DB/OL]. [2003-03-12]. <http://www.vqeg.org/>.

(编辑: 齐淑娟)