

Image Quality Assessment Based on Multiscale Geometric Analysis **基于多尺度几何分析的图像质量评估**

Xinbo Gao, *Senior Member, IEEE*, Wen Lu, Dacheng Tao,
Member, IEEE, and Xuelong Li, *Senior Member, IEEE*



目录

- *Introduction & Motivation*
- *Multiscale Geometric Analysis*
- *Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment*
- *Performance Evaluation*
- *Conclusion*



01

Introduction & Motivation

简介与动机



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



Introduction

- IQA方法可分为主观方法和客观方法。主观方法：图像质量的最佳方法；既昂贵又费时。客观方法分为三类：全参考（FR），无参考（NR）和缩减参考（RR）方法。
- FR方法：通常提供最精确的评估结果；与感知质量测量不一致，需要相应的原始或完美图像作为参考。
- NR方法：依赖强大的假设。
- 在FR和NR之间取得折中，设计RR方法。

Motivation

- 在RR IQA中，失真图像的视觉质量只使用从原始图像中提取的部分信息来评估。
- 缩减参考（RR）图像质量评估（IQA）已被认为是预测失真图像视觉质量的有效方法。
- 当前标准是小波域自然图像统计模型（WNISM），在参考图像和失真图像的小波系数的边际分布之间应用Kullback-Leibler散度来测量图像失真。
- WNISM未能考虑不同子带中小波系数的统计相关性以及哺乳动物皮质简单细胞的视觉反应特征。
- 无法显式提取图像几何信息，例如直线和曲线。
- 对于平滑的图像边缘轮廓，小波系数很密集。

结合多尺度几何分析（MGA），对比敏感度函数（CSF）和JDN(最小可察觉误差)的优点，提出了一种新的IQA框架来模仿人类视觉系统（HVS）

02

Multiscale Geometric Analysis

多尺度几何分析



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



Multiscale Geometric Analysis

- MGA提供了一系列变换，包括小波，Curvelet, bandelet, Contourlet，基于小波的Contourlet变换（WBCT），以及混合小波定向滤波器组（HWD），并且不同的变换捕获不同类型的图像几何信息。

表1：不同的MGA变换捕获的主要特征

| 变换 | MGA 方法捕获的主要特征 |
|-------|--|
| 小波变换 | 点 |
| 曲波变换 | 在光滑平面 C^2 上的连续闭合曲线 |
| 条带波变换 | 在光滑平面 $C^\alpha (\alpha > 2)$ 上的连续闭合曲线 |
| 轮廓波变换 | 分段光滑轮廓的区域 |
| WBCT | 具有光滑轮廓的区域 |
| HWD | 带角度的光滑轮廓区域 |

03

Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

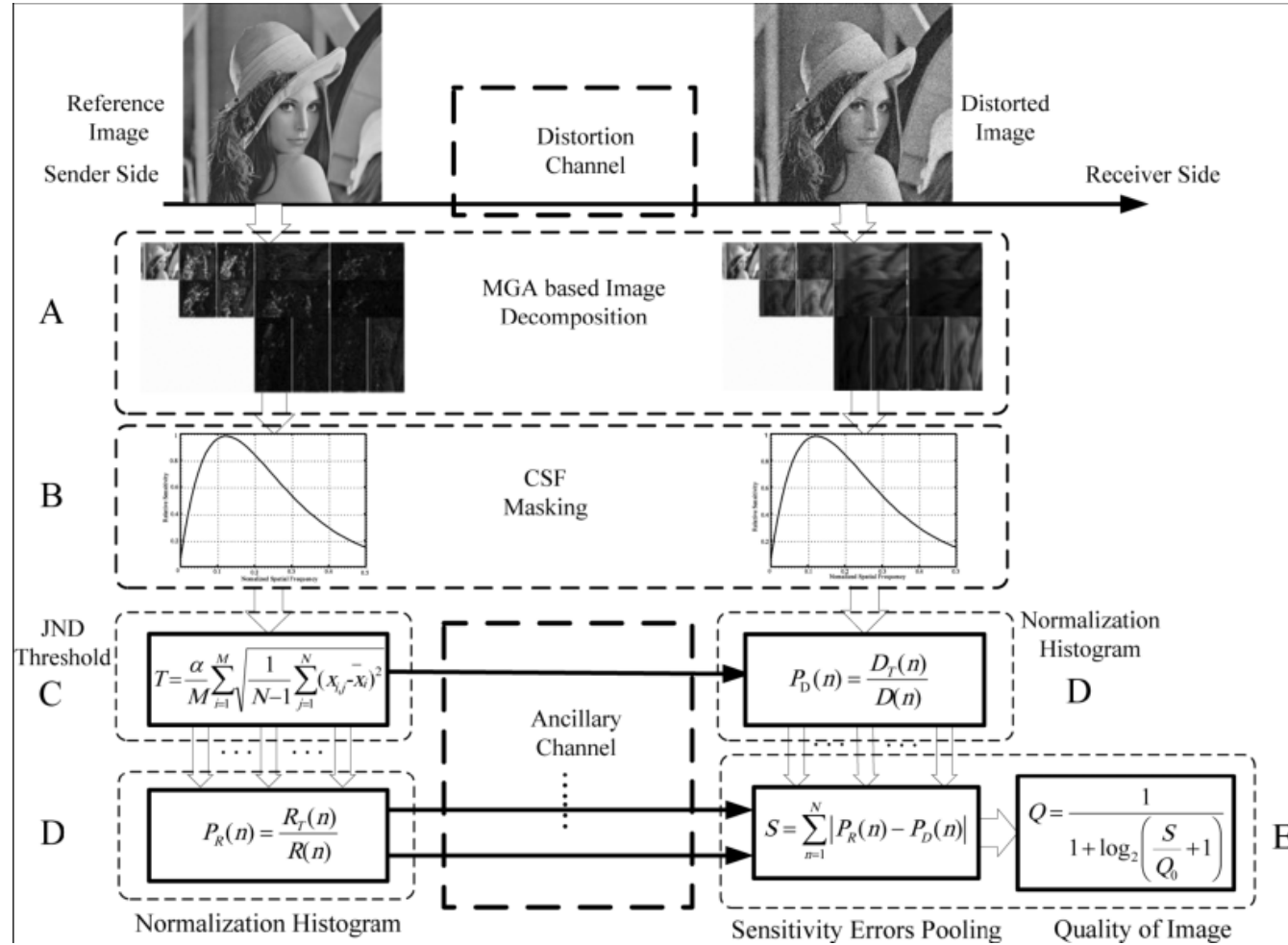
基于多尺度几何分析的图像质量评估



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment



Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

- A : MGA分解图像以进行特征提取以模仿HVS的多通道结构,
- B : CSF重新加权MGA分解系数以模仿HVS固有的非线性,
- C : JND产生明显的感官体验变化。
- D : 构建直方图来表示图像, 每个直方图直方图对应于所选子带的视觉敏感系数的数量, 最后将归一化步骤应用于直方图;
- E : IQA结果是参考图像和失真图像的归一化直方图之间的变换曼哈顿距离。
- 通过比较原始图像和失真图像之间的计算系数, 建立失真图像的评估测量。

Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

- A : 基于MGA变换的特征提取

HWD变换为例:

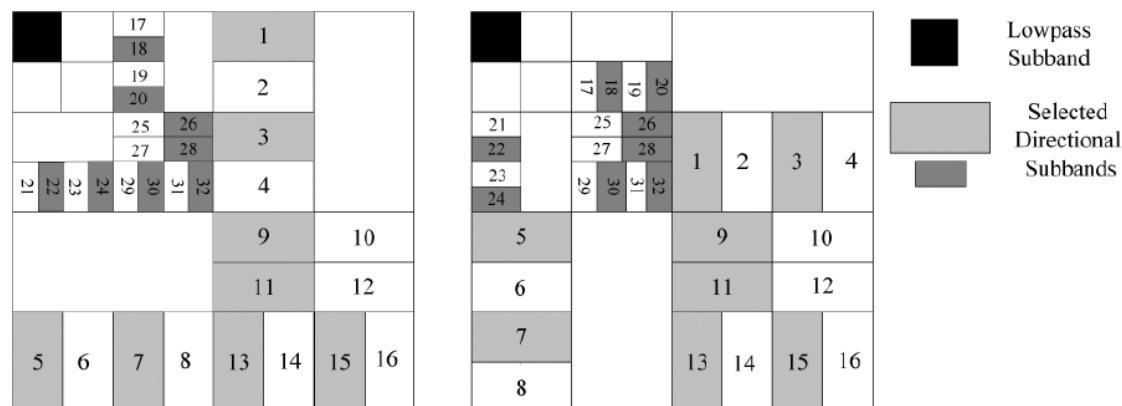


图 2: 基于 HWD 的图像分解

Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

- B : 对比灵敏度掩膜

CSF掩膜系数是由调制传递函数 (MTF) 获得的:

$$H(f) = a(b + cf)\exp(-cf)^d$$

$$f = f_n \cdot f_s \qquad f_s = \frac{2 \cdot v \cdot \tan(0.5^\circ) \cdot r}{0.0254}$$

f_n 是归一化的频率, f_s 是以像素/度为单位的采样频率。

a, b, c, d分别取2.6, 0.192, 0.114, 1.1。

Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

- C : JND阈值

CSF掩膜使系数在不同频率子带中具有相似的感知重要性，然后计算JND以获得阈值以去除视觉上不敏感的系数。

视觉敏感系数的数量反映了重建图像的视觉质量。JND阈值越低，用于图像重建的系数就越多，并且重建图像的视觉质量越好。

JND阈值定义为

$$T = \frac{\alpha}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^{N_i} (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2}$$

Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

- D :用于图像表示的归一化直方图

通过使用JND阈值 T ，我们可以计算第 n 个所选择子带中视觉敏感系数的数量，并将该值定义为 $C_T(n)$ 。所选子带中的系数数目为 $C(n)$ 。

对于给定的图像：

$$P(n) = \frac{C_T(n)}{C(n)}$$

Multiscale Geometric Analysis-based Image Quality Assessment

- E : 灵敏度误差池

基于 (4) , 我们可以获得参考图像和失真图像的归一化直方图, 分别为 $P_R(n)$ 和 $P_D(n)$ 。

失真图像质量的指标定义为:

$$Q = \frac{1}{1 + \log_2\left(\frac{S}{Q_0} + 1\right)}$$

$S = \sum_{n=1}^L |P_R(n) - P_D(n)|$ 为 $P_R(n)$ 和 $P_D(n)$ 的曼哈顿距离, Q_0 是用于控制失真量度的常数。设置 $Q_0 = 0.1$ 。
距离和 \log 的底数也可其他类似的代替。

04

Performance Evaluation

性能评估



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



Performance Evaluation

表 2: 在 LIVE 数据库上的 PSNR, MSSIM 和 WNISM 的性能

| Metric | Type | CC | ROCC | OR | MAE | RMSE |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PSNR | FR | 0.9273 | 0.8957 | 0.1366 | 6.846 | 8.878 |
| MSSIM | FR | 0.9594 | 0.9429 | 0.0552 | 5.2211 | 6.5495 |
| WNISM | RR | 0.7968 | 0.7651 | 0.3140 | 10.614 | 13.096 |

表 3: 提出的框架中使用 MGA 变换的性能

| Transform | α | CC | ROCC | OR | MAE | RMSE |
|------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Wavelet | 4 | 0.9426 | 0.9113 | 0.098 | 5.82 | 7.696 |
| Curvelet | 3 | 0.9083 | 0.9104 | 0.1192 | 6.0884 | 7.8426 |
| Bandelet | 5 | 0.9531 | 0.9342 | 0.0669 | 5.2014 | 6.7907 |
| Contourlet | 5 | 0.9353 | 0.8999 | 0.107 | 6.2535 | 8.1106 |
| WBCT | 3 | 0.9599 | 0.9376 | 0.061 | 5.0068 | 6.6216 |
| HWD1 | 2 | 0.96 | 0.9397 | 0.061 | 4.9836 | 6.5327 |
| HWD2 | 3 | 0.9624 | 0.9418 | 0.055 | 4.8445 | 6.3657 |

所提出框架中的具有不同MGA变换的框架的性能优于标准RR IQA方法（例如WNISM）。
所提出框架中的基于WBCT和HWD的IQA框架的性能甚至比标准FR IQA方法（例如MSSIM）更好。

Performance Evaluation

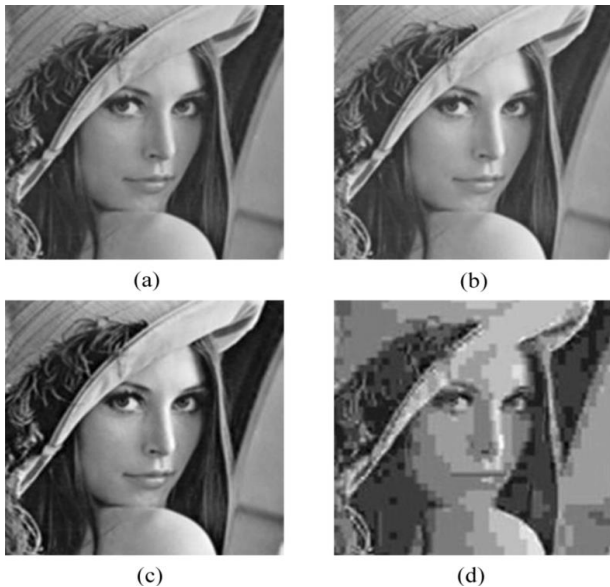


表 4: 莱娜图像的结果 (图 3 中图像的不同指标值)

| 指标 | (b) | (c) | (d) |
|-------|---------|---------|---------|
| PSNR | 24.8022 | 24.8013 | 24.8041 |
| MSSIM | 0.9895 | 0.9458 | 0.6709 |
| 小波 | 1.0000 | 0.3208 | 0.2006 |
| 曲波 | 1.0000 | 0.1510 | 0.1369 |
| 条带波 | 1.0000 | 0.2947 | 0.2125 |
| 轮廓波 | 1.0000 | 0.2960 | 0.2423 |
| WBCT | 1.0000 | 0.2345 | 0.1929 |
| HWD1 | 1.0000 | 0.2740 | 0.2166 |
| HWD2 | 1.0000 | 0.2407 | 0.2094 |

具有相同PSNR值但是不同感知质量的莱娜图像。a)参考图像；b)mean shif；c)contrast stretching；d)JPEG 压缩。

所提出框架的客观评估与主观感知一致。

05

Conclusion

总结



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China



Conclusion

- 结合多尺度几何分析 (MGA) , 对比敏感度函数 (CSF) 和JDN(最小可察觉误差)的Weber定律的优点
- 提出的方法与人类视觉系统有很强的联系 (HVS) : 稀疏图像表示用于模拟HVS的多通道结构, CSF用于平衡由MGA获得的系数的大小以模拟HVS的非线性, 而JND用于产生感官体验的明显变化。
- 图像由归一化的直方图表示, 其对应于视觉敏感系数。通过比较失真图像和参考图像的归一化直方图来测量失真图像的质量。

Conclusion

该框架的优点：

1. 通用。可以在所提出的IQA框架中应用许多不同的变换，例如小波，curvelet, bandelet, contourlet, WBCT和HWD，以进行图像分解。所有这些变换都可以很好地用于不同的图像失真，WBCT和HWD的性能要比其他变换好得多。
2. 所提出框架的客观评估与主观感知一致。特别是，通过将WBCT和HWD应用于图像分解，该框架不仅在CC, ROCC, OR, MAE和RMSE方面具有比精简参考方法WNSIM更好的有效性，而且还具有比MSSIM的完全参考方法更好的有效性。
3. 灵活应对各种失真。自由参数 α 对应于不同的失真，以计算JND阈值。在相同的扭曲下 α 与不同的图像相同。实证研究表明，通过调整 α 针对不同的失真，我们可以为IQA获得更好的性能。



谢谢！

Thanks for watching !



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

