

## 基于参数估计的无参考型图像质量评价算法

南 栋\* 毕笃彦 查宇飞 张 泽 李权合  
(空军工程大学航空航天工程学院 西安 710038)

**摘 要:** 针对现有客观图像质量评价算法通用性差及人类主观感知相关性弱等问题, 该文提出一种基于参数估计的无参考型图像质量评价算法。该算法通过分析图像本身所蕴含的质量特征, 提取出图像结构信息、颜色信息和视觉信息的评价度量指标, 采用回归分析的方法估计出相应指标的参数。实验结果表明, 该算法与主观评价结果一致性好、鲁棒性强, 优于其它客观评价算法, 能够准确反映人类对图像质量的视觉感知效果。

**关键词:** 图像质量评价; 局部梯度向量; HSV 模型; 人类视觉系统; 主观标准评分

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2013)09-2066-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2012.01652

## A No-reference Image Quality Assessment Method Based on Parameter Estimation

Nan Dong Bi Du-yan Zha Yu-fei Zhang Ze Li Quan-he

(Institute of Aeronautics and Astronautics, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** Due to lack of adaptability to assess objective image quality and poor correlation between the existing assessment methods and subjective human perception, a no-reference image quality assessment method based on parameter estimation is proposed. In the method, the metrics of structural information, color information and visual information are extracted by analysing qualitative characteristics of the images themselves. Then, relevant parameter is estimated by regression analysis. Experimental results illustrate that the proposed method has better consistency and robustness with the subjective assessment of human beings than the other objective assessment methods, thus it can be used to describe the visual perception of the image effectively.

**Key words:** Image quality assessment; Local gradient vector; HSV format; Human visual system; Mean Opinion Score (MOS)

### 1 引言

随着数字图像和多媒体技术在航空、航天等领域的深入应用, 作为图像预处理性能评估的重要检测指标, 图像质量评价已成为当前研究的一个热点。国内外已经有诸多科研机构投入其中<sup>[1]</sup>并取得了相关成果, 但仍有许多问题尚未被发现和解决。

从数据分析角度出发, 图像质量评价可分为主观评价和客观评价。客观评价相比于主观评价更加自动、高效、易于系统集成, 是目前研究的重点。根据对原始图像的依赖程度, 将客观评价分为 3 种: (1)全参考型: 通过比较原始图像和待测图像之间的差异获取评价结果, 如峰值信噪比, 其计算直观、简单, 但未考虑人类视觉因素, 因此, 之后提出的

诸多算法均在一定程度上涉及人类视觉感知, 如 Mansoui 等人<sup>[2]</sup>于 2009 年提出的基于奇异值分解的特征值差异比较评价方法; (2)部分参考型: 对原始图像和待测图像的部分信息进行提取、比较, 获得评价结果, 如基于水印提取的评价方法; (3)无参考型: 无需原始图像, 直接依靠待测图像的信息获取评价结果, 其便于系统嵌入, 方便结果比对, 是目前研究人员最为关注的图像质量评价方法。

现有的无参考型图像质量评价方法主要包含 3 类: (1)从图像结构信息出发, 仅考虑图像的边缘梯度、纹理细节和对比度等信息。如 Ferzli 等人<sup>[3]</sup>在 2007 年提出的基于 Riemann 张量的无参考型图像清晰度计算方法, 清晰度随着图像模糊程度发生相应变化, 但无法对同时受噪声和模糊污染的图像做出质量评价; Hautiere 等人<sup>[4]</sup>在 2008 年提出的基于可见边缘的盲对比度增强评价, 通过获取可见边缘得到图像的对比度图, 从而得到图像的结构评价结果, 但其无法评价细节过度增强的图像。(2)从自然景物的颜色出发, 充分考虑视觉效果良好的自然景

2012-12-18 收到, 2013-03-15 改回

国家自然科学基金(61175029, 61203268, 61202339), 国防科技重点实验室基金(9140c610301080c6106, 9140c6001070801), 博士后特别项目(2012T50879)和博士后基金面上项目(2012M512144)资助课题

\*通信作者: 南栋 nd.tian\_53@163.com

物的统计信息，获取统计差异值得到评价指标。如 Cohen 等人<sup>[5]</sup>在 2010 年提出的一种基于自然图像统计的评价方法以及禹晶等人<sup>[6]</sup>在 2011 年提出的基于颜色恒常性的低照度图像视见度增强，从图像的颜色还原能力、色调还原能力和色彩自然度三方面来评估图像的颜色质量，但其对图像细节保真度不够敏感。(3)从人类视觉因素出发，模拟并量化 HVS 模型，得到评价结果。如 Zhai 等人<sup>[7]</sup>和 Liu 等人<sup>[8]</sup>分别在 2006 年和 2009 年利用 HVS 的对比度敏感度和掩盖效应提出了针对块效应的无参考型评价方法，取得了较好效果，但针对性过强。目前，也出现了一些具有综合性的无参考型图像质量评价方法，例如文献[9]在考虑结构信息的同时，也在一定程度上引入了颜色评价因素，但只是简单的相加，未考虑各个因素之间的权重联系。

本文借鉴了针对不同类型图像降质问题的评价思想，提出一种基于参数估计的无参考型图像质量评价方法。该方法综合考虑了图像质量的三大非相干特征：结构信息、颜色自然度和人类视觉因素；利用参数估计的思想，采用回归分析对 LIVE 图像数据库中的部分图像进行监督学习，在最小二乘法准则下得到了各个特征的权重因子，避免了参数的人为设定，并且确保了评价结果与人类主观认知相一致。

## 2 图像质量特征分析

对提出的三大特征进行分析，得到量化之后的图像质量性能指标。

### 2.1 图像结构信息

数字图像之所以区别于 2D 随机信号，是因为它的几何结构特征，这些几何特征构成了图像中的具体目标。梯度作为描述图像的局域结构特征的一项重要技术指标，若直接应用于图像结构特征度量，得到的结果并不精准，因为其容易受噪声的干扰。所以本文采用局部梯度向量进行图像结构的描述。

$$G_L(w) = [g_x \quad g_y]_{N \times N} \quad (1)$$

式中  $G_L(w)$  表示在  $N \times N$  的邻域  $w$  内的局部梯度向量， $g_x, g_y$  表示邻域内所有像素点的水平和垂直梯度分别沿图像的横轴和纵轴方向进行映射得到的水平和垂直列向量。为了判定局部梯度向量的最陡下降方向，可进一步求取它的局部协方差矩阵，并进行奇异值分解，如式(2)：

$$C_L = G_L^T(w)G_L(w) = USV^T = U \begin{bmatrix} \lambda_1 & \\ & \lambda_2 \end{bmatrix} [v_1 \quad v_2] \quad (2)$$

式中  $C_L$  表示局部梯度向量； $G_L^T(w)$  表示  $G_L(w)$  的转置矩阵； $U$  和  $V$  是正交矩阵；根据奇异值分解的思想，分解后可得到图像的能量分布： $v_1$  和  $\lambda_1$  表示局

部梯度变化的主要方向及其大小， $v_2$  和  $\lambda_2$  表示局部梯度变化的次要方向及其大小；为了兼顾局部特性和运算效率，文中选用  $7 \times 7$  的局部邻域。

降质图像中通常存在模糊和噪声这两类问题，针对这两种现象，采用文献[10]的思想，利用主、次能量的大小  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ ，定义出反映边缘梯度信息的一致性度量  $S_1$  和反映噪声信息的特征值度量  $S_2$ ，如式(3)：

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= (\lambda_1 - \lambda_2)^2 \\ S_2 &= \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中  $S_1$  和  $S_2$  均属于  $[0, 1]$ ； $S_1$  取值越大，表明  $\lambda_1 \gg \lambda_2$ ，也就是图像的梯度边缘越明显，说明其结构信息越明确； $S_2$  取值越大，表明  $\lambda_2$  趋向于零，也就是图像除主能量外其它方向能量趋于消失，说明噪声水平越低。实验中，对于彩色图像是先将其转换到 HSV 空间，然后对其亮度图像  $V$  求取结构度量指标。本文定义的融合图像边缘和噪声水平度量的图像的结构信息  $Q_1$  为

$$Q_1 = S_1 S_2 \quad (4)$$

最终，所求取的整幅图像结构信息度量就是对图像中每一子块的结构信息度量求均值。

### 2.2 图像颜色质量评估

HSV 模型由色调(Hue, H)、饱和度(Saturation, S)和亮度(Value, V)组成，其中，V 分量为图像亮度信息，与颜色无关，与人类视觉颜色感知相关联的只有 H 分量和 S 分量。HSV 模型如图 1(a)，其中：V 分量为坐标纵轴；H 分量的值对应指向该点的矢量与红色之间的夹角；S 分量的值与指向该点的矢量长成正比。在 HSV 空间，通过对同一幅图像颜色变化前后的 H 和 S 分量进行比对可发现：H 分量在变化前后基本保持不变；而 S 分量有较大变化，其信息量在颜色信息丰富的图像中要比颜色昏暗的图像中高出许多，如图 2。

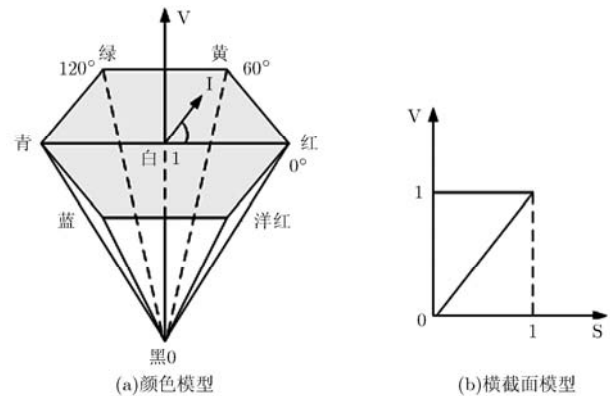


图 1 HSV 模型

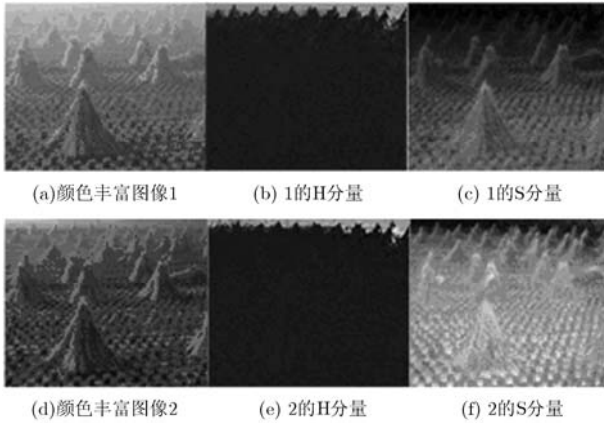


图 2 HSV 模型分量比对

在颜色空间中，由 RGB 模型向 HSV 模型的转换公式为<sup>[11]</sup>

$$\left. \begin{aligned} I_{\max} &= \max(I_R, I_G, I_B), \quad I_{\min} = \min(I_R, I_G, I_B) \\ \text{if } I_R &= I_{\max}, \quad I'_H = \frac{I_G - I_B}{I_{\max} - I_{\min}} \\ \text{if } I_G &= I_{\max}, \quad I'_H = 2 + \frac{I_B - I_R}{I_{\max} - I_{\min}} \\ \text{if } I_B &= I_{\max}, \quad I'_H = 4 + \frac{I_R - I_G}{I_{\max} - I_{\min}} \\ I_H &= I'_H \times 60, \quad I_S = (I_{\max} - I_{\min}) / I_{\max}, \\ I_V &= \max(I_R, I_G, I_B) \end{aligned} \right\} (5)$$

式中  $I_R, I_G$  和  $I_B$  表示图像  $I$  像素点在 RGB 空间 3 个通道的值； $I_H, I_S$  和  $I_V$  表示图像像素点在 HSV 空间 3 个分量的取值。失真图像的空间衰减模型可表示为<sup>[12]</sup>

$$U = Jm + e \quad (6)$$

式中  $J$  表示失真前图像， $U$  表示失真后图像， $m$  为引起图像对比度变化的乘性噪声， $e$  为引起图像颜色失真的加性噪声。由式(5)和式(6)可发现：彩色图像中产生的颜色失真，是由于加性噪声  $e$  的引入；

其在作用时是给 RGB 空间 3 个通道同时加上一个相应的增量，从而导致颜色发生变化；图像转换到 HSV 空间时，式(5)中计算 H 分量公式的分子和分母均需求取色彩通道之间的差值，因此加性噪声的引入并不影响其比值的变化；计算 S 分量的公式由于其分子不变，分母随加性噪声引入而增大，因而在颜色失真图像中其比值变小。根据模型 1(a)，在 H 分量保持不变时，沿着倒六棱锥上色面通过中心点的对角线切向棱锥顶点获得三角形的纵切面，取三角形的右半部分，如图 1(b)。获得的等腰三角形两条直角边分别表示 V 分量和 S 分量，三角形内 H 分量完全一致。在此情况下，由于 S 分量决定了人类视觉色感，因此，在满足颜色恒常性条件下，V 分量会随着 S 分量的取值发生变化，所以，大量的信息都集中在 S 分量上，导致其信息量增大。

为了验证上述结论，本文选取 100 幅受自然和人为因素影响颜色产生变化的图像(其中包含 50 幅受雾霾退化等自然因素影响的颜色昏暗图像和 50 幅人为造成颜色失真的图像)及其对应的 100 幅颜色自然、丰富的图像，图 3(a)为其中部分图像。在 HSV 空间，对 S 分量的信息熵进行计算，并归一化得到图 3(b)所示的统计结果。从图中可以看出：颜色正常图像的 S 分量信息熵普遍比颜色失真图像的 S 分量信息熵要高，因此，可用图像 S 分量的信息熵代表整幅图像的颜色质量指标  $Q_2$ ，如式(7)：

$$Q_2 = \frac{-\sum_{i=0}^{255} p(x_i) \lg(p(x_i))}{m} \quad (7)$$

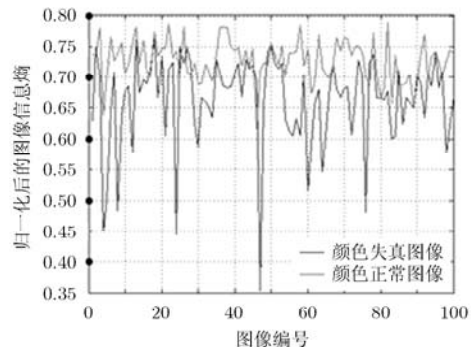
式中  $p(x_i)$  表示亮度为  $i$  的像素点的数量占整幅图像所有像素点的比例； $m$  为归一化因子，文中取 10。

### 2.3 基于人类视觉系统的图像质量评估

人类视觉系统(Human Visual System, HVS)对图像的视觉认知过程可体现为两大感知特征：中央凹(fovea)和对比敏感度(contrast sensitivity)。



(a) 示例图像



(b) 图像 S 分量信息熵统计

图 3 HSV 空间统计结果

(1)中央凹 Wandell<sup>[13]</sup>的中央凹理论认为：当图像映射到视网膜时，以中央凹为中心的特定区域，感知的空间频率分辨率较高，而离其较远的区域，感知的空间频率分辨率将变低。因此，在对图像进行观测时，图像的中心位置首先被注意，被观测区域离中心越近，其视觉分辨率越高，反之就比较低。本文采用文献[14]的思想，将人类视觉的中央凹特性对图像视觉分配权重的影响量化为空间位置函数  $Q_f$ ，如式(8)：

$$Q_f(i) = \frac{e_c}{e_c + e_{mi}} \quad (8)$$

式中  $Q_f(i)$ 为视觉所注意的第  $i$  个区域的空间位置函数值(值越大表示分配权重越大)， $e_{mi}$  为该区域中心点到图像中心的距离与图像边缘到中心最大距离的比值， $e_c$ 在文中取为 0.1。

(2)对比敏感度 对比敏感度表示 HVS 对视觉激励信号的敏感程度，定义为观察者能检测出激励与背景的最小对比度的倒数，本文采用对比敏感度函数(Contrast Sensitivity Function, CSF)来表示。不同实验所得的 CSF 表达式也不同，但基本上都表明其是可以仅由空间频率和方位的函数来表示，并具有一定的带通滤波器特性。文献[15]提出了 CSF 模型，可量化为对比敏感度函数  $Q_c$ ，如式(9)：

$$Q_c = 2.6 \times (0.192 + 0.114f^*)e^{[-(0.114f^*)^{11}]} \quad (9)$$

式中， $f^*$ 为归一化后的空间频率值，在 0 到 0.5 之间取值(周期/度)，可由式(10)计算：

$$f^* = \frac{f - f_{\min}}{2 \times (f_{\max} - f_{\min})} \quad (10)$$

式中，空间频率  $f = (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}$ ， $f_x, f_y$ 为水平方向空间频率和垂直方向空间频率； $f_{\max}$ 和  $f_{\min}$ 为空间频率的最大和最小值。

根据中央凹和对比敏感度的上述性质，定义出基于人类视觉系统的图像质量评估指标  $Q_3$  为

$$Q_3 = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N Q_f(i)Q_c(i) \quad (11)$$

式中  $N$ 为由  $n \times n$  的局域划分出的图像子块数量， $n$ 取 7， $Q_f(i)$ 为第  $i$  个子块的空间位置函数值， $Q_c(i)$ 为第  $i$  个子块的 CSF。式(11)将人类视觉的区域选择特性融入到 CSF 中，使得到的评价指标更具视觉导向性。

### 3 基于参数估计的无参考型图像质量评价方法

为了更准确地反映客观图像质量，本文通过引入图像处理模型、统计模型、视觉信息模型和机器学习理论，对图像质量评价进行了建模，避免了评

价对人工因素的需求。构建的质量评价指标  $Q$  为

$$Q = \sum_{i=1}^3 Q_i x_i \quad (12)$$

式中  $Q_i$ 为本文提出的表示图像质量特征的分指标， $x_i$ 为分指标所对应的参数权重，属于[0 1]， $Q$ 也属于[0 1]。在进行参数估计时，本文选用 LIVE 图像库中所对应类型的降质图像子库的 20%进行回归分析，剩余的 80%图像用于最终测试，进而采用最大似然估计的最小二乘法求取参数，如式(13)：

$$E = \min \left\{ \sum_{j=1}^N (Q(j) - O(j))^2 \right\} \quad (13)$$

式中  $N$ 为所选数据库中用于回归分析图像的数目， $Q(j)$ 为第  $j$  幅图像的客观评价结果， $O(j)$ 为第  $j$  幅图像的主观评价值。式(13)可以通过转换为在约束条件下的最优化问题，估计出对应数据库的参数。

## 4 实验结果及其分析

### 4.1 LIVE 数据库介绍及算法性能评价标准

LIVE 图像数据库包含 29 幅原始图像，以及其对应的 5 种失真类型图像<sup>[16]</sup>。包含的 5 种失真图像子库为：JPEG 压缩(JPEG, 175 幅)、JPEG2000 压缩(JPEG2000, 169 幅)、白噪声污染(WN, 145 幅)、高斯模糊(GBlur, 145 幅)和快速退化(FastFading, 145 幅)，数据库中的每幅图像都对应主观标准评分(Mean Opinion Score, MOS)，在 1 到 100 之间分布，数值越大说明其图像质量越好。

为了验证客观图像质量评价算法的准确性、单调性、一致性以及误差的无偏性，本文选用了以下 4 项指标度量其性能：(1)相关系数(Correlation Coefficient, CC)，反映客观评价算法的准确性，不随主客观评估尺度发生变化，属于[0 1]，数值越大说明客观评价算法越精准。(2)斯皮尔曼等级相关系数(Spearman Rank Order Correlation Coefficient, SROCC)，反映客观评价算法的单调性<sup>[17]</sup>，SROCC 取值越接近 1，表明被测的客观评价算法单调性越好。(3)差异值比例(Outlier Ratio, OR)，反映客观评价算法的一致性，OR 属于[0 1]，数值越小说明客观评价算法一致性越好。(4)均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)，反映客观评价方法误差的无偏性<sup>[17]</sup>，RMSE 取值越小，说明客观评价算法误差越小。

### 4.2 参数估计及仿真实验

对 LIVE 图像数据库 5 种失真子库中的部分图像进行学习，得到相应的参数估计；与有参考的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)、平均结构相似度(Mean Structural SIMilarity, MSSIM)

图像质量评价方法以及无参考的局部结构张量(Local Structure Tensor, LST)<sup>[18]</sup>图像质量评价方法分别进行测试对比,得到各自 cubic 拟合曲线,并求出算法的4项性能度量指标,从而证明本文算法的有效性。

(1)JPEG 图像子库 估计出的参数值为  $x_1=0.6157, x_2=0.1652, x_3=0.2453$ ,得到的散点分布如图4所示,性能评价指标如表1。从参数分配上可以看出本文算法在 JPEG 压缩图像子库中,对图像的结构信息比其它因素要敏感,这正是因为该子库的失真图像主要是由图像的块效应引起的。对于每一个图像子库的评价结果,取前两个最好的用粗体表示,可看出由于本文算法和 MSSIM 充分考虑了图像的结构信息,因而优于其它两种算法。

表1 各算法在 JPEG 图像子库下的性能比较

| 评价方法  | 有参考型          |               | 无参考型   |               |
|-------|---------------|---------------|--------|---------------|
|       | PSNR          | MSSIM         | LST    | 本文算法          |
| CC    | 0.8596        | <b>0.9283</b> | 0.8756 | <b>0.9372</b> |
| SROCC | <b>0.9299</b> | 0.8828        | 0.8921 | <b>0.9121</b> |
| OR    | 0.1886        | <b>0.0414</b> | 0.0822 | <b>0.0501</b> |
| RMSE  | 8.1700        | <b>5.9468</b> | 6.1586 | <b>5.2370</b> |

(2)JPEG2000 图像子库 参数值为  $x_1=0.3157, x_2=0.1652, x_3=0.4453$ 。由于该图像子库引入了模糊和振铃现象,因而在参数分配时更加侧重对人类质量评价因素的考虑,这点从参数分配上得以验证。好的评价算法的拟合曲线应平滑单调,沿曲线分布的点平均,在曲线两侧的点均匀分布,并充分的靠近曲线,图5和表2结果的一致,也验证了此结论。

表2 各算法在 JPEG2000 图像子库下的性能比较

| 评价方法  | 有参考型          |               | 无参考型          |               |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|       | PSNR          | MSSIM         | LST           | 本文算法          |
| CC    | 0.8962        | <b>0.9367</b> | 0.8712        | <b>0.9453</b> |
| SROCC | 0.8898        | <b>0.9317</b> | 0.8953        | <b>0.9213</b> |
| OR    | 0.0947        | 0.0751        | <b>0.0668</b> | <b>0.0617</b> |
| RMSE  | <b>6.2710</b> | 6.6706        | 7.1865        | <b>6.0023</b> |

(3)白噪声污染图像子库(WN) 参数值为  $x_1=0.4786, x_2=0.1513, x_3=0.3476$ 。由图6和表3,可以看出对原始图像叠加白噪声引起的降质现象,本文选用的4种算法均达到较好效果,PSNR和本文算法尤为突出。

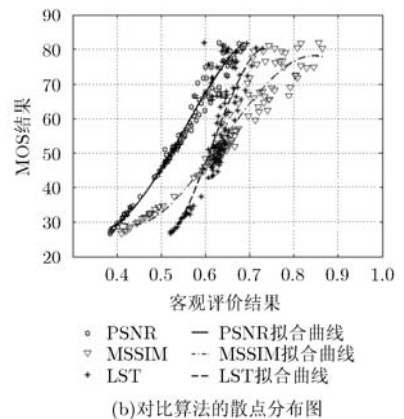
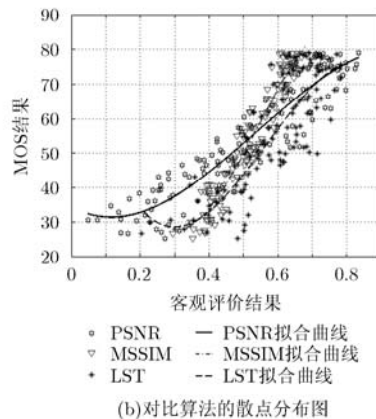
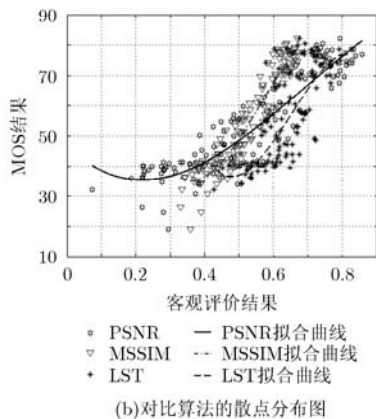
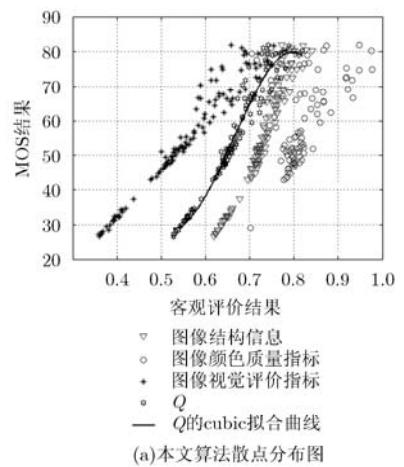
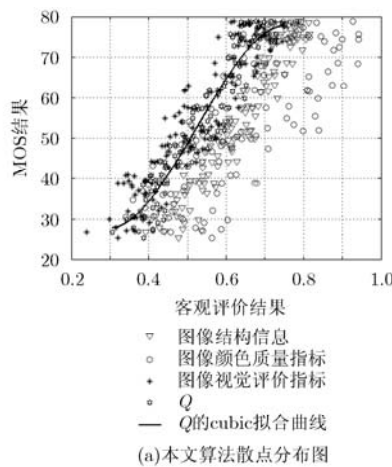
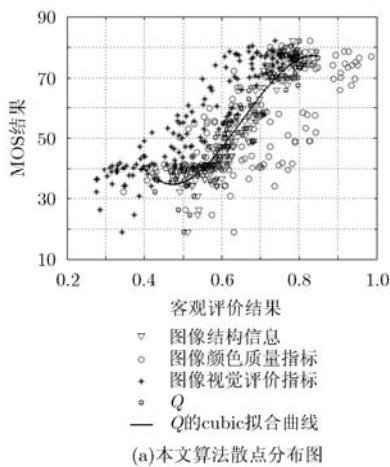


图4 JPEG 图像子库散点分布图

图5 JPEG2000 图像子库散点分布图

图6 WN 图像子库散点分布图

表 3 各算法在 WN 图像子库下的性能比较

| 评价方法  | 有参考型          |        | 无参考型          |               |
|-------|---------------|--------|---------------|---------------|
|       | PSNR          | MSSIM  | LST           | 本文算法          |
| CC    | <b>0.9094</b> | 0.8940 | 0.8751        | <b>0.9112</b> |
| SROCC | <b>0.9142</b> | 0.8727 | 0.8996        | <b>0.9027</b> |
| OR    | <b>0.0029</b> | 0.0072 | 0.0087        | <b>0.0045</b> |
| RMSE  | <b>5.7723</b> | 6.7916 | <b>6.6391</b> | 6.7735        |

表 4 各算法在 GBlur 图像子库下的性能比较

| 评价方法  | 有参考型          |               | 无参考型   |               |
|-------|---------------|---------------|--------|---------------|
|       | PSNR          | MSSIM         | LST    | 本文算法          |
| CC    | 0.8895        | <b>0.9428</b> | 0.8954 | <b>0.9153</b> |
| SROCC | <b>0.9411</b> | 0.8903        | 0.8827 | <b>0.9521</b> |
| OR    | <b>0.0541</b> | 0.9814        | 0.1225 | <b>0.0207</b> |
| RMSE  | 7.5258        | <b>6.2846</b> | 7.0154 | <b>5.9712</b> |

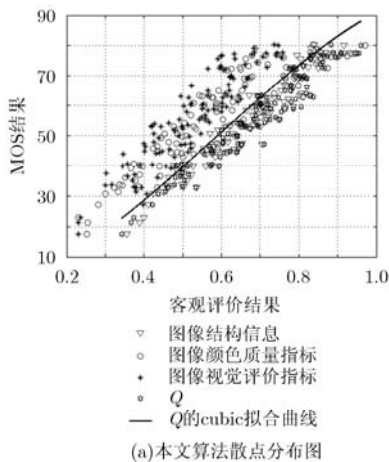
(4)高斯模糊图像子库(GBlur) 参数值为  $x_1=0.7302, x_2=0.1352, x_3=0.2141$ 。高斯模糊图像子库主要是由于图像边缘信息的丢失引起的降质,因此,本文算法分配较多的权重给图像结构因素, MSSIM 对边缘结构信息也较为敏感,由图 7 和表 4,可以看出上述两种算法的客观评价与主观认识是一致的。

(5)快速退化图像子库 参数值为  $x_1=0.6208, x_2=0.1636, x_3=0.1000$ 。该子库产生的失真由于码流丢失导致的图像内容的幅度和相位发生变化引起的。由图 8 和表 5,可以看出本文算法对这种混合失真的敏感性等同于 MSSIM 算法,强于其它两种算法。

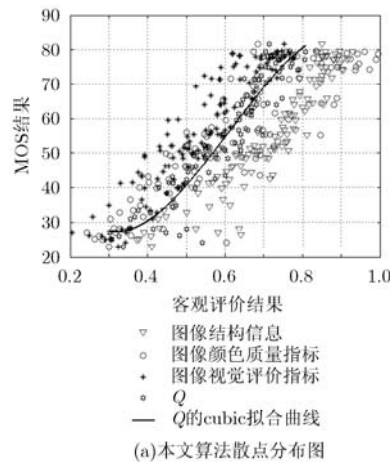
(6)LIVE 图像数据库 参数值为  $x_1=0.1224, x_2=0.0952, x_3=0.7540$ 。对 LIVE 图像数据库进行了交叉验证,从参数的分配上可以看出,在面向受多种复杂降质因素影响的图像时,图像的视觉评价指标性能作用突出,分配的权重较大,这与人类的视觉认知相一致。由图 9 和表 6,可以看出对多种失真图像组合的图像库,虽然各算法性能均有所下降,但本文算法还是表现出其强大的适应能力,取得了较好效果。

### 5 结束语

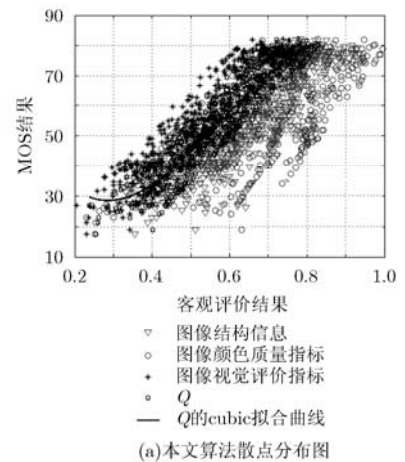
本文从已有评价算法的不足出发,提出一种基于参数估计的无参考型图像质量评价算法,结合了



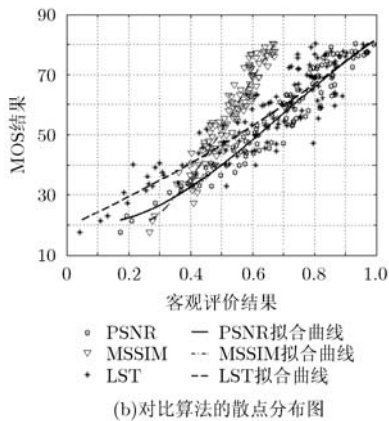
(a)本文算法散点分布图



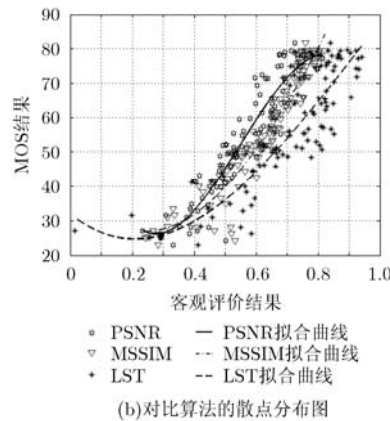
(a)本文算法散点分布图



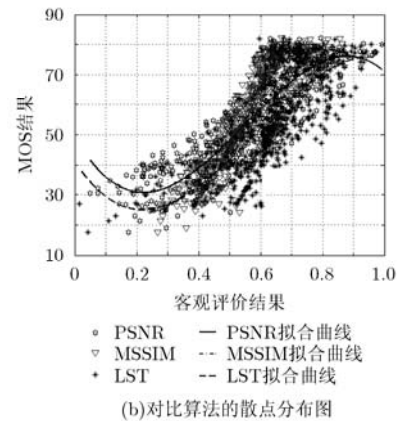
(a)本文算法散点分布图



(b)对比算法的散点分布图



(b)对比算法的散点分布图



(b)对比算法的散点分布图

图 7 GBlur 图像子库散点分布图

图 8 FastFading 图像子库散点分布图

图 9 LIVE 图像库散点分布图

表5 各算法在 FastFading 图像子库下的性能比较

| 评价方法  | 有参考型          |               | 无参考型   |               |
|-------|---------------|---------------|--------|---------------|
|       | PSNR          | MSSIM         | LST    | 本文算法          |
| CC    | 0.8421        | <b>0.8835</b> | 0.7941 | <b>0.8937</b> |
| SROCC | <b>0.8510</b> | 0.8197        | 0.8413 | <b>0.8695</b> |
| OR    | 0.0552        | <b>0.0138</b> | 0.1527 | <b>0.0091</b> |
| RMSE  | 9.1548        | <b>8.1673</b> | 9.6879 | <b>8.0163</b> |

表6 各算法在 LIVE 图像库下的性能比较

| 评价方法  | 有参考型          |               | 无参考型          |               |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|       | PSNR          | MSSIM         | LST           | 本文算法          |
| CC    | 0.7492        | <b>0.7995</b> | 0.7526        | <b>0.8103</b> |
| SROCC | 0.7593        | <b>0.8121</b> | 0.7938        | <b>0.8352</b> |
| OR    | 0.1054        | 0.0935        | <b>0.0854</b> | <b>0.0861</b> |
| RMSE  | <b>8.9673</b> | 9.286         | 9.0243        | <b>8.1437</b> |

图像的结构特性、颜色特性和人类感知特性,采用机器学习的思想,对各质量特性的分配权重进行了自适应学习。在大量测试图像上的实验结果表明本文算法与主观评价结果相关性强、鲁棒性好、符合人类认识过程,对图像的不同失真评价均能达到良好效果,但本文算法在评价之前需要获取与待评价图像相关类别图像的相应特征信息以实现参数估计,同时,文中的参数建模只是对获取的特征信息进行加权求和,无法反映出特征信息相关属性。因此,实现参数的无先验获取和构建更加精准的参数模型将是本文下一步研究的重点。

### 参考文献

- [1] 顾珊波,邵枫,蒋刚毅,等.基于支持向量回归的立体图像客观质量评价模型[J].电子与信息学报,2012,34(2):368-374. Gu Shan-bo, Shao Feng, Jiang Gang-yi, et al. Objective stereoscopic image quality assessment model based on support vector regression[J]. *Journal of Electronic & Information Technology*, 2012, 34(2): 368-374.
- [2] Mansouri A, Aznavah A, Torkamani-Azar F, et al. Image quality assessment using the singular value decomposition theorem[J]. *Optical Review*, 2009, 16(2): 49-53.
- [3] Ferzli R and Karam L J. A no reference objective sharpness metric using riemannian tensor[C]. 3rd International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics (VPQM), Scottsdale, AZ, USA, 2007: 25-26.
- [4] Hautièere N, Tarel J P, Aubert D, et al. Blind contrast enhancement assessment by gradient ratioing at visible edges[J]. *Image Analysis and Stereology Journal*, 2008, 27(2): 87-95.
- [5] Cohen E and Yitzhaky Y. No-reference assessment of blur and noise impacts on image quality[J]. *Signal, Image and Video Processing*, 2010, 4(3): 289-302.
- [6] 禹晶,李大鹏,廖庆敏.基于颜色恒常性的低照度图像能见度增强[J].自动化学报,2011,37(8):923-931. Yu Jing, Li Da-peng, and Liao Qing-min. Color constancy-based visibility enhancement of color images in low-light conditions[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2011, 37(8): 923-931.
- [7] Zhai G, Zhang W, Yang X, et al. Modeling blocking visual sensitivity profile[C]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Toronto, Ontario, Canada, 2006: 485-488.
- [8] Liu H and Heynderickx I. A perceptually relevant no-reference blockiness metric based on local image characteristics[J]. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2009, 12(5): 1-14.
- [9] 禹晶,徐东彬,廖庆敏.图像去雾技术研究进展[J].中国图象图形学报,2011,16(9):1561-1576. Yu Jing, Xu Dong-bin, and Liao Qing-min. Image defogging: a survey[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(9): 1561-1576.
- [10] Brox T, Weickert J, Burgeth B, et al. Nonlinear structure tensors[J]. *Image Vision Computing*, 2006, 24(1): 41-55.
- [11] Hung S C, Sen C H, and Ming H T. An efficient image retrieval based on HSV color space[C]. International Conference on Electrical and Control Engineering, Yichang, China, 2011: 5746-5749.
- [12] Caicedo J C, Kapoor A, and Kang S. Collaborative personalization of image enhancement[C]. Proceedings of 29th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Colorado Spring, CO, USA, 2011: 249-256.
- [13] Wandell B A. Foundations of Vision[M]. Stamford: Sinauer Associates Inc. 1995: 277-284.
- [14] Zhou Wang, Lu L G, and Bovik A C. Foveation scalable video coding with automatic fixation selection[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, 12(2): 243-254.
- [15] Mannos J L and Sakrison D J. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images[J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1974, 20(4): 525-536.
- [16] Sheikh H R, Wang Z, Bovikand A C, et al. Image and video quality assessment research at LIVE[EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/rese-arch/quality/>. 2008.3.10.
- [17] 周俊明,郁梅,蒋刚毅,等.利用奇异值分解法的立体图像客观质量评价模型[J].计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(5):870-877. Zhou Jun-ming, Yu Mei, Jiang Gang-yi, et al. A singular value decomposition based objective quality assessment model on stereoscopic images[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2011, 23(5): 870-877.
- [18] 邵宇,孙富春,刘莹.基于局部结构张量的无参考型图像质量评价方法[J].电子与信息学报,2012,34(8):1779-1785. Shao Yu, Sun Fu-chun, and Liu Ying. A no-reference image quality assessment method using local structure tensor[J]. *Journal of Electronic & Information Technology*, 2012, 34(8): 1779-1785.

南 栋: 男,1987年生,博士生,研究方向为图像处理与计算机视觉。

毕笃彦: 男,1962年生,教授,博士生导师,研究方向为图像处理与模式识别。

查宇飞: 男,1982年生,讲师,研究方向为目标跟踪与检测。