

文章编号 1004-924X(2013)02-0469-10

评价彩色图像质量的四元数矩阵最大奇异值方法

王宇庆*, 朱 明

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要:针对传统的图像质量评价方法忽略颜色信息以及与人眼感知信息一致性差的问题,提出了一种全面利用彩色图像颜色信息,突出人眼敏感图像结构的彩色图像质量客观评价方法。将图像中人眼敏感的结构分为细节,亮度和颜色 3 方面因素,将四元数矩阵作为载体,构造了一种用于彩色图像质量评价的四元数矩阵,并对其进行奇异值分解。将最大奇异值作为度量图像结构相似性的主要参数,通过分析图像结构差异映射图谱得到了最终的量化评价结果。采用 LIVE 数据库中包含 5 种失真类型的 982 张测试图片验证了提出的算法,得到的交叉失真实验非线性拟合均方根误差 (RMSE) 值为 9.176, Spearman 等级相关系数 (SROCC) 值为 0.929 6, 而结构相似度 (SSIM) 方法的 RMSE 值为 9.299, SROCC 值为 0.925 6。试验结果表明,该方法采用四元数矩阵描述彩色图像的结构信息,考虑了彩色图像的多方面结构特征,与人眼视觉感知特性的一致性优于传统方法。

关键词:彩色图像;像质评价;四元数矩阵;局部方差;奇异值分解

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132102.0469

Maximum singular value method of quaternion matrix for evaluating color image quality

WANG Yu-qing*, ZHU Ming

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding author, E-mail: wyq7903@yahoo.com.cn

Abstract: A new color image assessment method is proposed to solve the problem of neglecting color information and a poor consistent behavior with the human visual system in traditional image quality assessment methods. The human eye sensitive image structure is enhanced and full color information is used in this method. Three important parts are taken into account in this structure, which are detail information, luminance information and color information. Quaternion is taken as a tool to perform the task. A quaternion matrix is constructed to evaluate color image quality. Then singular value decomposition is performed on the quaternion matrix. Max singular value is used to describe image structure information. Numerical results are obtained by using distortion map. 982 images in LIVE database including five types of distortion are used to investigate the behaviors of the proposed method. The nonlinearity property of the proposed method in the cross-distortion experiment is that the Root Mean Square Error (RMSE) value is 9.176, and Spearman Rank Order Correlation Coefficient (SROCC) value is 0.929 6, however, those of from Structural Similarity Index (SSIM)

收稿日期:2012-10-21;修订日期:2012-11-22.

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(No. 20080441004)

method are 9.299 and 0.925 6, respectively. The results show that proposed method is more consistent than the traditional methods because of the considering of more image properties and using a quaternion matrix.

Key words: color image; quality assessment; quaternion matrix; local variance; singular value decomposition

1 引言

各种图像处理算法、图像处理装置输出图像质量的优劣是衡量其性能的重要指标之一,因此,图像质量的正确评价对于分析和研究相应图像处理系统的特点,提高其性能都具有重要的指导意义,是目前图像处理领域的研究热点。

主观评价和客观评价都是图像质量评价中经常采用的方法。前者的难点在于:由于受到环境以及个人喜好等诸多因素的影响,一个或者少数个体的主观评价结果往往缺少说服力,尤其对于复杂图像更是如此,而组织大规模的主观观测活动实施难度大,更无法和图像处理系统结合使用。图像质量评价领域的研究重点是客观评价方法,目前客观评价方法有多种分类方式,按照评价数据源分类可以分为有参考质量评价和无参考质量评价 2 种方法。虽然无参考图像质量客观评价比较符合实际情况,但是由于没有参考数据源,无法找到降质图像的比较数据,因此难度较大。目前的研究主要集中于固定类型的图像质量评价,例如 JPEG2000 压缩图像^[1-3]、清晰度评价^[4]等,也出现了一些针对所有降质图像的无参考评价方法^[5-6],但是其性能与现有的全参考图像质量评价方法相比有一定差距。全参考的图像质量客观评价方法可以通过比对降质图像与源参考图像的结构相似程度实现质量评价,算法易于实现,是目前讨论的热点。除上述分类方法外,按照评价图像的类型分类,还可以将图像质量评价方法分为特殊型评价方法和通用型评价方法 2 种,前者针对失真类型可以描述的、有规律的某一特殊失真类型的图像,不仅应用在无参考图像质量评价中,在有参考图像质量评价中也有广泛应用,例如几何失真图像^[7]、JPEG2000 压缩图像^[1-3]、图像清晰度评价^[4]以及针对光学成像系统的评价方法^[8-9]等。通用型评价方法则是指针对所有失真类型的图像质量客观评价方法,以全参考的质量评价为研究重点,比较典型的方法有传统的均方误差

(Mean Square Error, MSE)方法、结构相似度 (Structural Similarity Index, SSIM)方法^[10-11]以及各种模拟人类视觉系统 (Human Visual System, HVS)方法^[12-13]等。这些简单的统计计算模型在实际应用中取得了一定效果,但是也存在较多缺点,例如 SSIM 方法对模糊失真类型的敏感程度低^[14-15],MSE 方法与 HVS 一致性差等问题^[11,16]。上述问题出现的根本原因在于这些方法大都只计算参考图像与降质图像之间的点对点像素误差,或者与之相关的某种分布特征,而人眼对图像信号的感知并不是逐点进行的,统计点对点像素误差的方法与人眼的视觉感知并不一致。由于视觉心理学以及视觉生理学发展的制约以及相关数学建模技术和数据库有待完善,模拟 HVS 的方法无法完整模拟人眼的视觉感知过程,其效果并不理想^[16]。针对上述缺点,考虑到图像的视觉感知中较多未知因素的存在,一些复杂图像特征的应用给图像质量评价的研究提供了新的思路,例如奇异值分解 (Singular Value Decomposition, SVD)方法^[16-19]、向量分析方法^[20]、各种基于复杂数学变换方法^[21-22]等。对于各种评价方法的性能分析,早期的研究主要以算法描述分析以及简单实验验证为主,后期出现了用于测试各种评价方法的主观评价数据库^[23],这给各种图像质量客观评价方法的验证提供了有力工具。

与人眼主观观测结果的一致程度是衡量各种客观评价方法性能的重要指标^[24]。各种评价方法在深入分析图像统计特征的基础上,多追求评价结果与主观评价数据库的一致程度,从而来验证评价方法的优劣。这就要求在算法设计过程中充分考虑人眼感知图像的生物机制。由于受到计算机的计算能力以及现在图像处理技术的制约,传统的评价方法大多以灰度图像作为数据源。虽然彩色图像的大多数信息包含在其亮度分量中,但是对颜色信息的忽略也会在一定程度上影响评价结果。事实上,人眼感知到的图像本身就是彩色图像,直接以彩色图像作为评价数据源更为合理。制约彩色图像质量评价技术发展的原因之一

是彩色图像的表示,传统的方法普遍存在着数据量大,数据合并不合理,数学特征计算难度大等特点。针对以上问题,本文采用四元数^[25]表征彩色图像的结构信息,将四元数的数据结构用于表示彩色图像的结构信息,计算两四元数矩阵对应分块的奇异值特征向量,将其最大值作为该分块图像信息的表征,比较两图像奇异值特征向量的最大值,从而实现了而降质图像的质量评价。采用LIVE数据库^[23]验证了该算法,实验结果表明,所提的方法优于传统方法。

2 彩色图像结构信息的四元数表示

本文所设计的彩色图像质量客观评价方法的基本原理可以描述为以下2个方面:

(a) HVS敏感图像结构信息的描述

在人眼感知到的图像信息中,存在着对HVS刺激程度不同的各种成分,与需要有目的性的获取图像中某些感兴趣内容的几何信息的图像处理问题不同,图像质量评价的目的在于获取图像的整体感知信息,这就需要采用一种能够表征图像中人眼敏感结构信息的描述方法,通过该方法得到的数据也应兼顾所忽略的其余未知信息。

(b) 结构相似性的度量

进行图像质量评价的目的在于能够快速准确地得到待测图像的量化质量评价结果,因此,需要对包含HVS敏感图像结构信息的数据进行量化处理,采用合适的度量方法得到评价结果的具体数值。

对于彩色失真图像,这里将其主要结构损失定义为以下3方面因素:

(a) 细节损失

图像中人眼敏感的主要结构信息通常由图像的细节信息组成,因此,细节损失是造成图像质量下降的主要原因之一。对于彩色图像,这里讨论的图像细节指的是其亮度分量的细节信息。

(b) 亮度损失

图像的亮度也是影响图像质量的一个重要因素,对于整体亮度过低或者过高的图像,即使其统计意义上的细节信息保留的较为完整,由于人眼无法适应图像亮度的失真,也就很难从图像的感知信息中获取任何有意义的内容。

(c) 颜色损失

人眼所感知的图像是彩色图像,所能辨别的颜色的数量也远远多于所能辨别的灰度级的数量,因此,在图像质量评价中,颜色损失也是造成图像质量下降的一个重要因素,颜色信息也应作为反映图像主要结构信息的一个重要特征。

由于现有视觉生理学以及视觉心理学相关知识的局限,复杂的HVS处理上述三方面信息的生物学机制难以用精确的统计学模型描述。事实上,人眼对图像信号的感知是一个复杂的自组织过程,具有潜在的并行性特征,绝非逐点进行的信息处理或者通过一般意义上的计算得到的某种图像特征。因此,这里需要探究能够尽可能全面反映图像本质特征的数学参数,其中,图像结构信息的表示是一个重要环节。

在彩色图像的各种表示方法中,四元数方法目前得到了广泛关注。四元数最早由Hamilton于1843年提出^[25],一个四元数 q 的基本形式可以表示为

$$q = a + bi + cj + dk,$$

其中: a, b, c, d 为实数, i, j, k 、分别代表四元数的3个虚部的单位向量,并且满足如下关系:

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1, ij = -ji = k$$

$$ki = -ik = j, jk = -kj = i$$

如果四元数 q 的实部为0,则称 q 为纯四元数,由四元数组成的矩阵称为四元数矩阵。

四元数最初的提出与彩色图像并没有直接关系,直到Soo-Chang Pei等人发现了四元数的数据结构与彩色图像像素的对应关系^[26]之后才使得该技术在彩色图像处理领域得到了广泛关注。对于彩色图像的四元数表示,目前普遍采用文献[26]的方法:令四元数的3个虚部分量分别代表红(R),绿(G),蓝(B)三基色分量,实部为0,这样可以把彩色图像的每个像素都表示为一个纯四元数:

$$q(x, y) = r(x, y)i + g(x, y)j + b(x, y)k, \quad (1)$$

其中: $r(x, y), g(x, y), b(x, y)$ 分别表示图像中位于 (x, y) 点处的红、绿、蓝的灰度值。这样,一幅 $N \times M$ 的彩色图像就可以看作是一个大小 $N \times M$ 的纯四元数矩阵。

矩阵的奇异值特征向量表征了矩阵的主要能量特征,根据这一理论,文献[16]提出了一种基于奇异值分解的彩色图像质量评价方法。但是对于数字图像而言,图像矩阵的能量特征与HVS敏

感的视觉特征并不一致^[17,19],即图像矩阵奇异值特征向量与人眼敏感图像结构信息的关联性较差。为了突出彩色图像四元数矩阵中的 HVS 敏感结构信息,同时也保证相应的四元数矩阵能够包含细节损失,亮度损失和颜色损失,本文将式(1)的表示方法进行修改,采用四元数矩阵表征彩色图像的三方面结构特征,其中,对应于彩色图像每一像素的四元数可以描述为:

$$q(x,y) = \text{Var}(x,y) + Y(x,y)i + Cb(x,y)j + Cr(x,y)k, \quad (2)$$

式中: Y, Cb, Cr 的计算采用文献[27]的方法得到。根据文献[14]分析的灰度图像矩阵局部方差分布的特点,该分布能较好地反映图像的细节损失。文献[15]通过实验发现,局部方差分布虽然对于模糊失真的敏感程度高,但是对于噪声污染的敏感程度较低,因此,这里将局部方差作为四元数的实部。 $\text{Var}(x,y)$ 为图像矩阵 (x,y) 处像素亮度分量 Y 的局部方差,即以亮度值为 $Y(x,y)$ 的像素点 (x,y) 为中心的局部区域的方差,具体分块方法为:采用滑动窗口对 Y 分量进行互不重叠的分块,得到每一分块的方差,即图像的局部方差。对于图像中包含 L 个像素的图像分块 (x,y) ,其内部像素为 η_p ,局部方差可以表示为:

$$\text{Var}(x,y) = \frac{1}{L} \sum_{p=1}^L (\eta_p - \bar{Y}(x,y))^2, \quad (3)$$

其中: $\bar{Y}(x,y)$ 为图像分块内部像素的均值。考虑到分块结构对图像整体结构的影响,对于包含在 (x,y) 处分块内的像素 η_p ,采用文献[11]中提到的高斯加权的方法计算每一分块的均值和方差,表示为:

$$\bar{Y}(x,y) = \frac{\sum_{p=1}^L \omega_p \eta_p}{\sum_{p=1}^L \omega_p},$$

则式(3)可以写为:

$$\text{Var}(x,y) = \frac{\sum_{p=1}^L \omega_p (\eta_p - \bar{Y}(x,y))^2}{\sum_{p=1}^L \omega_p}. \quad (4)$$

采用上述方法得到的四元数矩阵突出了彩色图像中 HVS 敏感的图像结构信息。四元数应用于彩色图像处理的优势之一是实现了彩色图像颜色信息的并行处理。在公式(2)中, $\text{Var}(x,y)$ 对应于图像的细节信息, $Y(x,y)$ 对应于图像的亮度

信息, $Cb(x,y)$ 和 $Cr(x,y)$ 对应于图像的颜色信息,因此,对于本文的算法,四元数的应用实现了图像细节信息,亮度信息和颜色信息比较的并行处理,同时也可以使相应四元数矩阵奇异值特征向量所表示的矩阵能量特征与 HVS 敏感图像结构特征的一致性进一步增加。

3 图像结构相似性度量

由于一般意义上实数或复数的矩阵求秩运算不能直接应用于四元数矩阵,所以不能用复数域里的行列式计算方法。根据文献[28]给出的一种复数伴随矩阵定义,可以将四元数矩阵的运算转换为复数矩阵运算,从而可以利用一般意义上的复数矩阵运算方法求解。文献[28]详细介绍了四元数以及四元数矩阵,并且证明了四元数矩阵可以做奇异值分解。根据四元数矩阵奇异值分解的定义^[29],对于任意一个秩为 r 的四元数矩阵 $A \in H^{N \times M}$,必存在两个四元数酉矩阵 U, V ,使得:

$$A = U \begin{pmatrix} \Sigma_r & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} V^{\triangleleft},$$

式中:“ \triangleleft ”表示共轭转置; $\Sigma_r = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$, $\sigma_i (1 \leq i \leq r)$ 为实数,为 A 的奇异值, U, V 分别称为四元数矩阵 A 的左、右奇异值矩阵。

设 $x = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r, 0, \dots, 0)^T$,称 x 为四元数矩阵 A 的奇异值特征向量。文献[29]给出了一种根据复数伴随矩阵对四元数矩阵进行奇异值分解的方法,本文根据该方法求得四元数矩阵的奇异值特征向量,将其作为评价对应于该四元数矩阵的彩色图像质量的一个重要参数。

对于参考图像和待测图像,需要分别将其对应的四元数矩阵分为若干个大小为 $k \times k$ 的分块,分别进行奇异值分解,得到相应的奇异值特征向量。文献[16]的方法通过度量对应分块奇异值特征向量的差异得到反映图像结构差异的映射图谱:

$$D_i = \text{Sqrt} \left[\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \hat{\sigma}_i)^2 \right]. \quad (5)$$

这里需要注意的是,本文将四元数作为载体表征彩色图像的结构信息,在构造该结构的过程中已经突出描述了人眼敏感的图像结构信息,也可以认为是对四元数矩阵中的 HVS 敏感图像结构信息的增强,并不是与彩色图像像素一一对应

的彩色图像表示。考虑到奇异值特征向量的主要能量集中于数值较大的几个元素,因此,本文将奇异值特征向量中的最大奇异值作为图像主要结构信息的表征,将式(5)的方法修改为:

$$D_i = |\sigma_{i_{\max}} - \hat{\sigma}_{i_{\max}}| \quad (6)$$

针对由式(6)得到的失真映射图谱,采用文献[16]的方法得到量化评价指标 Max-SVDQ 为:

$$Max_SVDQ = \frac{\sum_{i=1}^{(N/k) \times (M/k)} |D_i - D_{\text{mid}}|}{\left(\frac{N}{k}\right) \times \left(\frac{M}{k}\right)} \quad (7)$$

其中: D_{mid} 为映射图谱的中值。上述方法的具体工作流程如图 1 所示。

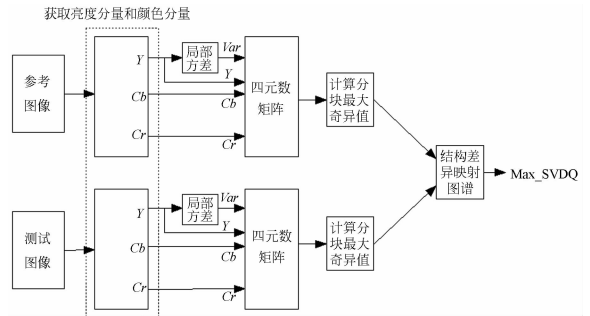


图 1 Max-SVDQ 方法流程图

Fig. 1 Framework of Max-SVDQ method

图 2 给出了一组比较实验。其中,图 2(a)为参考图像,图2(b)和图2(c)为降质图像,分别为



(a)参考图像

(a)Reference image



(b)模糊失真图像

(b) Blurred image



(c)噪声污染图像

(c) Distorted image with additive noise



(d)采用 Max_SVDQ 方法得到的模糊图像的失真映射图谱(放大后的图像)

(d)Distortion map for blurred image by Max_SVDQ (Zoomed in)



(e)采用 Max_SVDQ 方法得到的噪声污染图像的失真映射图谱(放大后的图像)

(e) Distortion map for distorted image with additive noise by Max_SVDQ(Zoomed in)



(f) 采用 MSVD 方法得到的模糊图像的失真映射图谱
(放大后的图像)

(f) Distortion map for blurred image by MSVD
(Zoomed in)



(g) 采用 MSVD 方法得到的噪声污染图像的失真映射图谱(放大后的图像)

(g) Distortion map for distorted image with additive
noise by MSVD(Zoomed in)

图 2 失真映射图谱的比较

Fig. 2 Comparison of distortion maps

模糊失真图像和噪声污染图像。上述 3 幅图像均来源于 LIVE 数据^[23]。采用 Max_SVDQ 方法和文献[16]的奇异值分解方法(MSVD)方法分别得到了相应的结构差异映射图谱,如图 2(d)、图 2(e),图 2(f)和图 2(g)所示。为了便于观察,将小尺寸的失真映射图谱适当放大。

实验中采用了 8×8 分块,即式(7)中的 $k=8$ 。通过对失真映射图谱的主观观测,可以感知到不同失真类型失真图像的特点,区分度越大,说明效果越明显。从图 2(d)和图 2(e)可以看出,Max_SVDQ 方法得到的映射图谱所反映的两种类型失真图像的图像视觉效果有很大差异,对于噪声污染图像(图 2(e)),已经无法辨清图像结构,与模糊图像所反映的映射图谱(图 2(d))有很大区别。而文献[16]得到的失真映射图谱对于两种失真图像的反映则有相近的视觉效果。因此,对于图 2 中的测试图像,Max_SVDQ 方法能较理想地区分失真图像的失真类型。

4 实验结果

实验中采用美国 TEXAS 大学视频工程实验室的 LIVE 图像数据库^[23]验证所提方法的性能。该数据库包含 982 张图片,各种失真图像涵盖了 5 种常见失真类型,分别为 JPEG2000 压缩图像、JPEG 压缩图像、噪声污染图像、高斯模糊失真图像以及 Rayleigh 衰落(Fast Fading, FF)信道模型

下的 JPEG2000 比特流传输误差失真图像。各种失真图像均由 29 张参考图像经过人工方法降质得到。该数据库的重要意义在于它包含了所有图像的主观差异评分值(Difference Mean Opinion Scores, DMOS),该数值经过复杂的主观观测得到,可以作为这些测试图像的图像质量主观评价结果,DMOS 值越小,图像的主观观测质量越好。考虑到客观评价结果与主观评价结果之间的非线性关系,采用文献[30]中的 Logistic 函数进行非线性补偿,如式(8)所示

$$DMOS_q = \frac{b_1}{1 + \exp(-b_2 \times (Max_SVDQ - b_3))}, \quad (8)$$

对 982 张包含多种失真类型的测试图像进行的交叉失真测试,将本文的算法与 MSE 方法, MSSIM (Mean Structural Similarity Index) 方法^[11]和文献[16]的 MSVD 进行了比较,结果如图 3 所示。

从图 3 的 Logistic 非线性拟合结果可以看到,Max_SVDQ 方法的散点分布比较集中,非线性拟合效果明显好于其余 3 种方法。为了更精确地分析所提算法的性能,采用量化指标比较上述几种质量评价方法的性能,结果在表 1 中给出,这两种评价指标分别为:

(a) SRCC

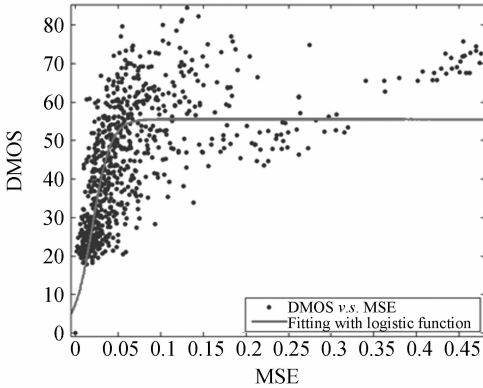
Spearman 等级相关系数(Spearman Rank Order Correlation Coefficient, SRCC)的值越大,

说明二者的相关性越好,对于输入信号 x, y , SROCC 的计算公式为:

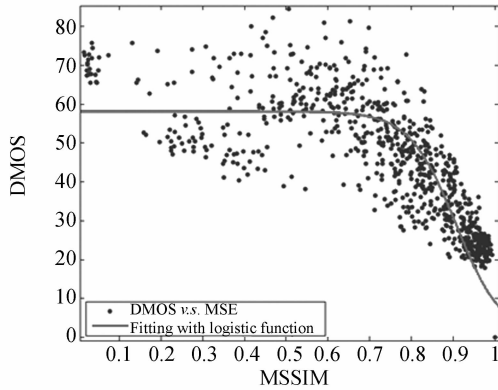
$$\rho(x, y) = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^2(n^2 - 1)},$$

其中: $d_i = x_i - y_i$, 输入信号对的差值。

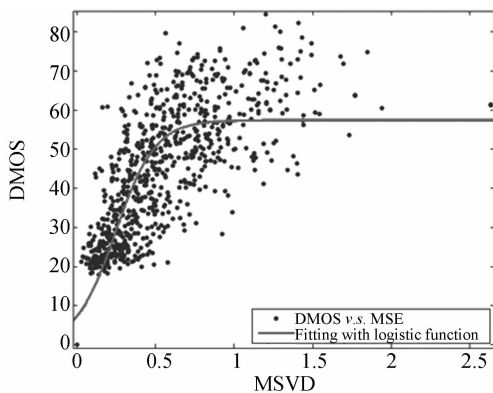
(b) RMSE



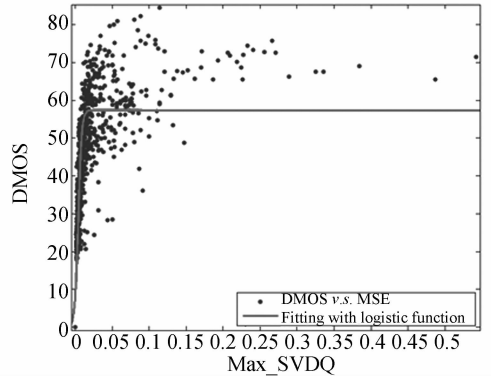
(a) MSE 方法
(a) MSE method



(b) MSSIM 方法
(b) MSSIM method



(c) SVD 方法
(c) SVD method



(d) Max_SVDQ 方法
(d) Max_SVDQ method

图 3 Logistic 非线性拟合比较实验结果

Fig. 3 Comparison of image quality assessment methods with logistic nonlinear regression

均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSE) 的数值越小,说明待测算法性能越好。对于输入信号 x, y , RMSE 的计算公式为:

$$RMSE(x, y) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x - y)^2}.$$

表 1 图像质量评价方法性能比较

Tab. 1 Performance comparison of image quality assessment methods

	MSE	MSSIM ^[11]	MSVD ^[16]	Max_SVDQ
SROCC	0.867 6	0.925 6	0.879 7	0.929 6
RMSE	11.09	9.299	10.59	9.176

由表 1 中的评价结果可以看到,对于度量 DMOS 评价结果与各种客观评价方法评价结果相关程度的量化指标 Spearman 等级相关系数, MSE 和 MSVD 方法较差, SSIM 和 Max_SVDQ 方法较好,其中, Max_SVDQ 方法优于 MSSIM 方法。在均方根误差这一评价指标中,同样是 MSE 和 MSVD 方法较差,但是 MSVD 方法略好于 MSE 方法, SSIM 方法和本文提出的 Max_SVDQ 方法的均方根误差较小,而 Max_SVDQ 方法要好于 SSIM 方法。

对于上述几种图像质量评价算法的计算时间,本文也给出了一组比较结果。实验中用于测试的计算机 CPU 型号为 i3M350, 主频为 2.27 GHz, 内存为 4G。采用 LIVE 数据库中一幅大小为 $453 \times 618 \times 3$ 的彩色失真图像

(JPEG2000 压缩后的“dancer”图像)进行了测试,各种算法的运算时间在表 2 中给出。

表 2 图像质量评价方法计算时间比较

Tab. 2 Comparison of computation time (s)

Method	MSE	MSSIM ^[11]	MSVD ^[16]	Max_SVDQ
Time	0.030 4	0.124 0	0.575 8	3.494 716

在实际应用中,很多因素都可能对算法的运行时间造成影响,表 2 给出的是几种算法运行时间的相对比较结果。在该项测试中,Max_SVDQ 方法未进行任何代码优化,而且,由于考虑了彩色图像的颜色信息,以及在计算过程中采用四元数矩阵等较多因素的影响,Max_SVDQ 方法的运行时间要多于其余方法。例如在进行四元数奇异值分解过程中,需要将 $N \times M$ 的四元数矩阵变换为 $2N \times 2M$ 的复数矩阵进行奇异值分解,这些计算都需要耗费较多时间,而一般的流行方法仅仅计算 $N \times M$ 大小的灰度图像矩阵。但是从测试结果看,其时间消耗仍然在可以接受的范围内,而且,由于本文所设计的方法主要针对静态图像,因此,目前的算法运行时间在大多数实际应用中对算法性能的影响不大。

5 结 论

人眼对图像信号的感知是一个下意识的过

程,其复杂性难以用精确的数学模型描述,因此,对于图像结构的分析需要深入挖掘图像矩阵的复杂数学特征,使其尽可能能够表达人眼视觉感知信息中的敏感因素。

采用四元数方法可以更丰富地表达彩色图像的结构信息。传统的彩色图像四元数表示方法的意义主要体现在两方面:首先,采用四元数方法表示彩色图像实现了彩色图像 RGB 三通道信息的并行处理,这与单独处理亮度分量、三分量分别处理取平均值等方法有很大区别。除此以外,更重要的意义在于,通过四元数矩阵的计算得到的传统的数学特征所表征的含义与实数以及复数矩阵有较大不同,尤其对于彩色图像而言,各种数学特征得到的分布规律与彩色图像本身的特点直接相关联。本文利用了这一特点,将四元数的数据结构作为一种载体表示彩色图像的结构信息,将局部方差作为四元数的实部丰富了四元数矩阵中 HVS 敏感结构信息,因此,奇异值特征向量所反映的矩阵能量信息与图像结构信息的关联性得到了增强,所保留的亮度信息和颜色信息又使得图像结构信息的表示进一步完善。最后,通过计算失真映射图谱得到了评价结果,采用 LIVE 数据库验证了所提的方法,交叉失真实验非线性拟合的 RMSE 值为 9.176, SROCC 值为 0.929 6,均优于传统的 MSE, MSSIM 以及 SVD 方法。

参考文献:

- [1] PARVEZ SAZZAD Z M, KAWAYOKE Y, HORITA Y. No reference image quality assessment for JPEG2000 based on spatial features [J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2008, 23(4): 257 - 268.
- [2] ZHANG J, LE THINH M. A new no-reference quality metric for JPEG2000 images[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(2):743-750.
- [3] BABUA R V, SURESH S, PERKISC A. No-reference JPEG-image quality assessment using GAP-RBF [J]. *Signal Processing*, 2007, 87(6):1493-1503.
- [4] 范媛媛, 沈湘衡, 桑英军. 基于对比度敏感度的无参考图像清晰度评价[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(10):2485-2493.
- [5] FAN Y Y, SHEN X H, SANG Y J. No reference image sharpness assessment based on contrast sensitivity [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(10): 2485-2493. (in Chinese)
- [6] SURESH S, BABU R V, KIM H J. No-reference image quality assessment using modified extreme learning machine classifier [J]. *Applied Soft Computing*, 2009, 9(2):541-552.
- [7] SHEN J, LI Q, ERLEBACHER G. Hybrid no-reference natural image quality assessment of noisy, blurry, JPEG2000, and JPEG images [J]. *IEEE Transactions Image Processing*, 2011, 20(8):2089-2098.
- [7] ANGELA D, LI Z P, MAURO B. A full-reference quality metric for geometrically distorted images

- [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2010,19(4):867-881.
- [8] 迟学芬,韩昌元.基于信息理论的采样成像系统评价方法[J].*光学精密工程*,2003,11(2):207-211.
CHI X F, HAN C Y. Assessment of sampled imaging system based on information-theory [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(2):207-211. (in Chinese)
- [9] 马冬梅,陈土泉,刘志祥,等.位相复原技术在光学成像质量测评中的应用[J].*光学精密工程*,2009,17(12):2912-2918.
MA D M, CHEN T Q, LIU Z X, *et al.*. Application of phase retrieval technology in evaluation of optical imaging system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(12):2912-2918. (in Chinese)
- [10] WANG Z, BOVIK A C. A universal image quality index[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9(3):181-184.
- [11] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, *et al.*. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004,13(4):600-612.
- [12] FERNANDEZ M, LARABI C, BRINGIER M C, *et al.*. Spatio-temporal characteristics of the human color perception for digital quality assessment [C]. *International Symposium on Signals, Circuits and Systems, New York*, 2005:203-206.
- [13] MAURO B, FRANCO B, ALESSIA D R. HVS modelling for quality evaluation of art images [C]. *IEEE 14th International Conference on Digital Signal Processing, Santorini, Greece*, 2002:91-94.
- [14] SANTIAGO A F, RAUL S J E, CARLOS A L, *et al.*. Image quality assessment based on local variance [C]. *Proceedings of 28th IEEE Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society. New York City, USA*, 2006:4815-4818.
- [15] 王宇庆,刘维亚,王勇.一种基于局部方差和结构相似度的图像质量评价方法[J].*光电子·激光*, 2008,19(11):1546-1553.
WANG Y Q, LIU W Y, WANG Y. Image quality assessment based on local variance and structure similarity [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2008, 19(11):1546-1553. (in Chinese)
- [16] ALEKSANDR S, ALEXANDER G, AHMET M E. An SVD-based grayscale image quality measure for local and global assessment [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(2):422-429.
- [17] NARWARIA, M, LIN W S. Scalable image quality assessment based on structural vectors [C]. *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, Rio de Janeiro, Brazil*, 2009:1-6.
- [18] 袁飞,黄联芬,姚彦.基于视觉掩盖效应和奇异值分解的图像质量评测方法[J].*光学精密工程*, 2008,16(4):706-713.
YUAN F, HUANG L F, YAO Y. Image quality evaluation based on visual masking effect and singular value decomposition [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(4):706-713. (in Chinese)
- [19] NARWARIA M, LIN W S. Objective image quality assessment based on support vector regression [J]. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2010,21(3):515-519.
- [20] ALESSIO D A, ANTONIO M, FABRIZIO R, *et al.*. A vector approach for image quality assessment and some metrological considerations [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2009, 58(1):14-25.
- [21] GAO X B, LU W, TAO D C, *et al.*. Image quality assessment based on multiscale geometric analysis [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009,18(7):1409-1423.
- [22] BEGHDAI A, PESQUEST-POPESCU B. A new image distortion measure based on wavelet decomposition [C]. *Seventh International Symposium on Signal Processing and Its Applications, Paris, France*, 2003:485-488.
- [23] SHEIKH H R, WANG Z, CORMACK L, *et al.*. LIVE image quality assessment database release 2 [OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [24] SHEIKH H R, SABIR M F, BOVIK A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006,15(11):3441-3452.
- [25] HAMILTON W R. On quaternions [C]. *Proceeding of the Royal Irish Academy*, 1844:1-16.
- [26] PEI S C, CHENG C. A novel block truncation coding of color images by using quaternion moment preserving principle [J]. *IEEE Transactions on*

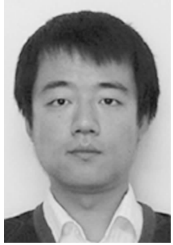
Communications, 1997, 45(5):583-595.

- [27] ITU-R Recommendation BT. 601-5: Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and widescreen 16:9 aspect ratios [R]. 1995, Section 3.5.
- [28] ZHANG F. Quaternion and matrices of quaternion [J]. *Lin. Alge. Appl.*, 1997, 215:21-57.
- [29] NICOLAS L B, JEROME M. Singular value decomposition of quaternion matrices; a new tool for

vector-sensor signal processing [J]. *Signal Processing*, 2004, 84(7):1177-1199.

- [30] ROHALY A M, LIBERT J, CORRIVEAU P, *et al.*. Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment [OL]. http://www.its.bldrdoc.gov/vqeg/projects/frtv-phaseII/downloads/VQEGII_Final_Report_2000.

作者简介:



王宇庆(1979—),男,吉林长春人,助理研究员,2002年、2005年于吉林大学分别获得学士、硕士学位,2008年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事图像质量评价、图像增强、图像融合、FPGA设计、群体智能等方面的研究。E-mail: wyq7903@yahoo.com.cn



朱明(1964—),男,江西南昌人,研究员,博士生导师,1985年于南京航空航天大学获得学士学位,1991年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事各种图像处理器的研制 and 开发方面的研究。E-mail: zhu_mingca@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)