

文章编号 1004-924X(2008)04-0706-08

# 基于视觉掩盖效应和奇异值分解的图像质量评测方法

袁 飞, 黄联芬, 姚 彦

(厦门大学 信息科学与技术学院通信工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 将人眼视觉特性和图像本征特性相结合, 设计了一套基于视觉掩盖和奇异值分解的图像质量评测方法。根据人眼的视觉敏感性函数(CSF)将参考图像和待测图像做噪声掩盖处理, 剔除视觉敏感区外的图像信息; 然后, 根据人眼视觉特性提取参考图像的纹理区和平坦区, 并作为待测图像检测区的划分依据, 分别计算参考图像和待测图像在各自纹理区和平坦区的奇异值; 最后, 通过奇异值测度得到待测图像在纹理区和平坦区的质量劣化程度。实验表明: 通过纹理区和平坦区的区分检测, 可提高检测敏感度并据此判断劣化及影响程度。同时, 检测结果的主观相似性(CC)可达到 0.896, 均方根误差(RMSE)为 5.58, 较 PSNR 和 SSIM 具有更好的性能。该方法实现简单, 便于系统集成, 可在涉及视频及图像质量检测的领域得到较好应用。

**关键词:** 图像质量; 奇异值分解; 视觉掩盖; 客观评价

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

## Image quality evaluation based on visual masking effect and singular value decomposition

YUAN Fei, HUANG Lian-fen, YAO Yan

(Communication Engineering Department of Information and Engineering Institute, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** A image quality evaluation method based on visual masking effect and singular value decomposition is proposed. According to the Contrast Sensibility Function (CSF), the original image and the processed image are preprocessed to remove the signals outside the sensible region. On the basis of the property of the Human Visual System (HVS), the texture and plat regions of the original image are extracted to used as a division standard. Then, the singular values of the original and processed images are calculated both in texture and plat regions. Finally, by measuring the difference between the singular value metrics of the original and the processed images, the image quality can be evaluated. The experimental results show that this method is sensible to the errors perceived by human-being and can improve discrimination for the distortion region. The correlation between the result and the subjective score is 0.896 and the root mean square error (RMSE) is 5.58, which shows the method can be realized easily and can be embedded into the application system.

**Key words:** image quality; singular value decomposition; visual masking; objective evaluation

收稿日期: 2007-11-01; 修订日期: 2008-01-04.

基金项目: 广州京信研究基金资助项目(No. K81004)

## 1 引言

数字图像在图像的获取、压缩、存储、传输和重现过程中,往往会产生不同类型的失真。这些失真是普遍存在且不可避免的。对视频和图像工程的研究人员来说,准确了解图像的质量是进行系统设计、参数优化等环节的重要前提。在工程实践中,对视频图像的评价主要有两种形式:主观评测方式和客观评测方式。主观评测需要一定数量的观测人员按规定测试流程进行,其方法复杂费时且评测结果易因人因时而异;客观评价是由软件或仪器进行评估,其结果具有数值性、易操作性和可重复性等特点,但评测结果常与人的主观相似性存在偏差。研究与人的主观感受具有更好相关性的图像质量评测方法日益成为业界关注的课题。国内外越来越多院校及科研机构从事该领域的研究工作,如 Intel、美国宇航局(NASA)、美国电信和信息管理局(NTIA)、泰克仪器、皇家飞利浦等企业及机构在相关技术的研究上均投入了大量人力物力,并取得一定成果;此外,如 ITU-T 的 SG9 和 SG12, ITU-R 的 WP6Q, ANSI 的 T1A1, IEEE 的广播技术协会以及 1997 年由 ITU-T 和 ITU-R 联合成立的专门进行视频质量评测方法研究的 VQEG(Video Quality Experts Group)等国际标准化组织也在积极开展相关领域的标准化研究及测试,以期早日制定适合当前发展需求的视频质量客观评价标准。

在过去的几十年内,大量的文章提出过许多图像客观评测的方法<sup>[1-9]</sup>。这些方法主要可分成三大类型:第一类型即以 MSE 和 PSNR 等为代表的基于全像素统计理论的评测方法。该方法统计参考图像和待测图像在像素层面的绝对差值,并将累计的差值作为图像的质量度量。其评测理论完全忽略人眼视觉特性对图像质量评测结果的影响,因此算法虽然实现简单,但其评测结果常与人的主观感受相偏离。第二类型即以 PQS<sup>[1]</sup>、JDM<sup>[5]</sup>、PDM<sup>[3]</sup>、DVQ<sup>[4]</sup>等为代表的基于 HVS 特性仿生理理论的评测方法。该类方法的思路是模仿人眼对像素层绝对差值的认知机制,通过掩盖低于人眼感知能力的差异,修正评测结果。其方法从原理上较好地体现了人眼对图像质量的感知机制,但由于目前对人眼视觉感知机制的认识还

很有限,仿生模型的实现通常非常复杂,且模型性能并不比传统 PSNR 等具有明显的优越性。第三类型即以 SSIM<sup>[7]</sup>、VIF<sup>[8]</sup>、VQM<sup>[9]</sup>等为代表的基于特征参数检测的评测方法。该类方法利用人眼视觉机制的特点,通过设计和检测能典型代表图像特性的单个或多个特征参数来体现图像质量。其算法实现上较第二类方法简便,同时也充分利用了人眼视觉特性,因此具有较好的应用前景。本文的评测方法是以第三类为主,充分利用人眼视觉特性,并通过设计图像特征的 SVD 参数测度,实现对图像质量的自动评测。

## 2 视觉掩盖效应

视觉掩盖效应是人眼视觉系统的一个重要特性。在图像处理,特别是在描述视觉激励相互作用时起到非常重要的作用。当一种激励的存在使得另外一种激励不可见时,就产生了视觉掩盖效应<sup>[10-11]</sup>。

通过测量激励光的门限值随掩盖背景对比度的变化,可量化地体现空间的掩蔽效应。在图 1 中,横轴表示掩盖背景的对数对比度  $C_M$  的对数值;纵轴表示激励光在可见门限值处的对数对比度(激励与背景之间的对比度)  $C_T$  的对数值。 $C_{T0}$  表示没有任何背景掩盖时候目标激励的可见门限值。

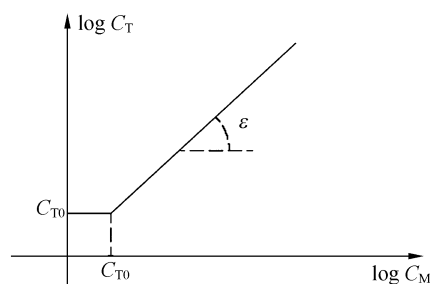


图 1 视觉掩盖效应示意图

Fig. 1 Sketch of visual masking effect

当掩盖背景的对数对比度大于  $C_{T0}$  时,目标激励的可见门限值随掩盖背景对比度的增大而增大。通常使用非线性传递函数模型来近似掩盖效应,其表达式如公式(1)所示。

$$C_T = \begin{cases} C_{T0} & C_M < C_{T0} \\ C_{T0} \left( \frac{C_M}{C_{T0}} \right) & C_M > C_{T0} \end{cases} \quad (1)$$

### 3 奇异值分解及其特性

奇异值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) 是一种有效的代数特征提取方法。矩阵的奇异值分解, 可以将任意一个矩阵分解成只含几个非零值的奇异值矩阵。该方法不仅可以实现图像的奇异值特征提取, 还可以对图像特征向量进行有效压缩。

设矩阵  $A$  为  $m \times n$  ( $m \geq n$ ) 的非负阵。设  $U = [u_1, u_2, \dots, u_m] \in \mathbb{R}^{m \times m}$ ,  $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]^T \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , 且满足  $U^T U = V^T V = I$ 。则矩阵  $A$  的奇异值分解定义如式(2)、式(3)所示:

$$U^T A V = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_p) \in \mathbb{R}^{m \times n}, \quad (2)$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_{p-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \sigma_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

奇异值  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_p > 0, p = \min(M, N)$ 。通常, 非零奇异值个数等于矩阵的秩, 矩阵  $A$  会有许多小奇异值, 这使得矩阵可以用较低秩的矩阵近似。奇异值具有以下重要特性: 首先, 奇异值具有稳定性, 即如果矩阵  $A$  有微小的扰动, 奇异值的变化不大于扰动矩阵的 2 范数。因此其对图像噪声和图像光照条件改变的引发的灰度变化等不敏感。其次, 奇异值具有比例不变性, 即如果对矩阵  $A$  和比例缩放后的矩阵的奇异值进行标准化处理, 可以实现奇异值的比例不变性。因此, 对于不同分辨率引发的图像尺度变化具有良好的适应性。再次, 奇异值具有旋转不变性, 即对一定角度差的图像之间的识别问题具有不敏感的特性。此外, 奇异值还有转置不变性、平移不变性以及镜像不变性等特点<sup>[13-15]</sup>。

### 4 评测算法描述

#### 4.1 算法原理

从上述分析可见, 图像奇异值是图像本身内蕴的特征信息而非视觉特性, 因此, 非常适合将其作为图像质量评测的典型特征参数。A. Shnayderman 等<sup>[13]</sup>在其论文中介绍了一种利用两幅图像奇异值分解后特征向量的距离作为图像质量的

评测尺度的方法, 并将其与 PSNR、UQI、MSSIM 等方法进行了对比。分别对加入不同程度高斯噪声、模糊、锐化、平移、JPEG 压缩、JPEG2000 压缩的图像进行测试。从其实验结果可见 SVD 方法比 PSNR、UQI、MSSIM 等方法具有更好的评测性能。

从引言叙述可知, 传统 PSNR 方法最大的缺陷在于其对小的噪声扰动及几何变化非常敏感, 因此常偏离主观质量感受。从这个角度而言, 基于 SVD 的评测方法可较好地克服检测过度敏感的问题。然而, SVD 对一定程度噪声扰动、比例变化、旋转、平移等具有较好稳定性, 这使得其在评测中无法较敏感地捕捉一些视觉上已很明显的劣化形态。因此, 必须将 HVS 特性和奇异值检测相结合, 以提高对视觉敏感性劣化的检测敏感度。

基于上述考虑, 本文提出基于视觉掩盖效应及奇异值分解的图像质量评测方法。其主要目的是充分利用 SVD 对一定范围的噪声扰动及几何失真具有稳定性的优点, 并融合人眼视觉特性以提高对视觉易感之劣化的检测敏感性。其思路并不是直接对整幅图像进行奇异值分解, 而是先通过视觉掩盖效应, 估算图像中的人眼兴趣区; 然后, 掩盖非兴趣区的图像信息; 通过对掩盖后的参考图像和待测图像进行奇异值分解, 得到两幅图像在兴趣区上的奇异值分解的特征向量; 最后, 再通过计算这些特征向量的距离, 得到质量评测结果。测试流程如图 2 所示:

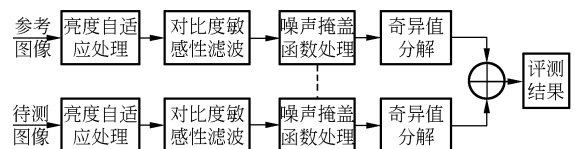


图 2 算法流程示意图

Fig. 2 Algorithm flowchart

#### 4.2 噪声掩盖设计

根据对人眼视觉掩盖效应的分析可知: 图像的边缘和部分纹理区域通常是其轮廓的重要组成部分, 代表了图像的重要特征信息, 也是人眼特别关注的区域。因此, 这些区域包含了图像的主要信息, 可视为人眼的兴趣区域。

噪声掩盖函数 (Noise Visibility Function,

NVF) 常用于体现纹理掩盖性。根据不同图像的统计模型(非平稳高斯模型和平稳高斯模型),纹理掩盖函数主要有式(4)、式(5)两种定义:

$$NVF(i, j) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(i, j)}, \quad (4)$$

$$NVF(i, j) = \frac{\sigma_x(i, j)}{\sigma_x(i, j) + \sigma_x}, \quad (5)$$

其中式(4)针对的图像统计模型为非平稳高斯(nSG);公式(5)针对的图像统计模型为平稳的广义高斯(SGG)。 $\sigma_x^2(i, j)$ 为图像的局部方差; $\sigma_x(i, j) = \sqrt{\frac{1}{r(i, j)} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{r(i, j)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x}(i, j))^2}{2\sigma_x^2(i, j)}} dx}$ ,  $r(i, j) = \frac{\sigma_x^2(i, j)}{\int_0^{\infty} e^{-u} u^{t-1} du}$ ,  $t = \frac{\sigma_x^2(i, j)}{\sigma_x^2}$ ,  $\sigma_x$ 和 $\sigma_x^2$ 分别为图像像素点灰度值的均值和方差。形状参数  $t$  用来描述图像的灰度值的概率分布。具体参数定义参考[12]。图像局部纹理的 NVF 分布在 0 和 1 之间,本文利用其作为图像纹理掩盖特性的检测工具。其值越接近 1 表示该区域越平坦,值越靠近 0 则表示该区域越靠近图像轮廓,因此可通过诸如求均值等方式确定分割门限,以便对兴趣区和平坦区进行有效划分。

以 Lena.bmp 为例,其 NVF 掩盖效果如图 3 所示。图中浅色区为图像中较平坦区域,深色区为图像的纹理及边缘区。从图中可以得到以下启示:首先,纹理乃至边缘区域包含了图像轮廓,因此其基本体现了图像的主要关注目标;其次,平坦区域如出现劣化通常较容易引起人的注意。因此,本研究将轮廓区和平坦区检测相结合,利用对轮廓区的检测度量图像目标主体的劣化程度,利用对平坦区的检测度量图像背景客体的劣化程度。

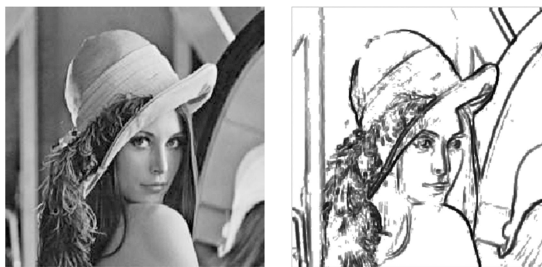


图 3 噪声掩盖效果示意图

Fig. 3 Noise visibility function effect

### 4.3 算法步骤

为便于描述,记参考图像为  $S_{rc}(i, j)$ , 待测图像为  $H_{rc}(i, j)$ , 算法步骤如下表述:

(1) 在进行噪声掩盖操作前,先利用人眼视觉系统特性,简单仿生诸如亮度自适应、空域对比度敏感性函数等质量感知的重要机制,从而消除噪声对质量检测的影响。经过一系列预处理过程后的参考图像和待测图像分别记为  $PS_{rc}(i, j)$  和  $PH_{rc}(i, j)$ 。

(2) 按照 4.2 的介绍对  $PS_{rc}(i, j)$  进行噪声掩盖计算,分别计算参考图像的兴趣区和平坦区,得到相应的映射图,表达如式(6)、式(7)。其中  $T_1, T_2$  为检测门限(门限设置根据测试实验,并结合 NVF 掩盖图的均值、方差等统计值进行配置); $NVF[PS_{rc}(i, j)]$  表示将  $PS_{rc}(i, j)$  进行 NVF 计算。

$$outlineMap(i, j) = \begin{cases} 1 & NVF[PS_{rc}(i, j)] < T_1 \\ 0 & NVF[PS_{rc}(i, j)] > T_1 \end{cases}, \quad (6)$$

$$flatMap(i, j) = \begin{cases} 1 & NVF[PS_{rc}(i, j)] > T_2 \\ 0 & NVF[PS_{rc}(i, j)] < T_2 \end{cases}. \quad (7)$$

(3) 利用映射图对图像进行掩盖。如果  $NVF[PS_{rc}(i, j)]$  小于门限,表示该像素点为较高纹理区,属于关注像素点;反之则属于较平坦区。设经掩盖后的参考图像和待测图像的表达式分别为式(8)~(11):

$$oS_{rc}(i, j) = outlineMap(i, j) \times FS_{rc}(i, j), \quad (8)$$

$$oH_{rc}(i, j) = outlineMap(i, j) \times PH_{rc}(i, j), \quad (9)$$

$$FS_{rc}(i, j) = flatMap(i, j) \times PS_{rc}(i, j), \quad (10)$$

$$oH_{rc}(i, j) = flatMap(i, j) \times PH_{rc}(i, j). \quad (11)$$

(4) 对上述掩盖后的图像分别计算各自的 SVD 分解向量,分别记为式(12)、式(13)。其中  $MS_{rc}$  和  $MH_{rc}$  分别用以代表上述掩盖后的值,即  $MS_{rc}$  代表  $oS_{rc}$  或  $FS_{rc}$ ;  $MH_{rc}$  代表  $oH_{rc}$  或  $FH_{rc}$ 。

$$S_v = SVD\{HS_{rc}(i, j)\}, \quad (12)$$

$$H_v = SVD\{MH_{rc}(i, j)\}. \quad (13)$$

(5) 计算基于  $S_v$  和  $H_v$  的质量评测指标,实现对质量的评测操作。

### 4.4 基于 SVD 的质量评测指标

根据 SVD 的性质,在 4.3 中步骤(5)得到的

$S_v$  和  $H_v$  可看作两个向量形式。Qian 等<sup>[16]</sup>在其论文中提出了以两个向量所张成的空间线性相关度作为质量的评测度量指标,向量间的张角越大说明偏差也越大,质量则越差。本文则在此基础上进一步修正其评测度量指标,即将上述向量夹角以度数为单位进行表达,由此可使数值上相差不大的弧度值在度数坐标上具有一定的可分辨性。

设  $S_v(p) = \{s_1, s_2, \dots, s_p\}$ ,  $H_v(p) = \{h_1, h_2, \dots, h_p\}$ , 其中  $s_1, s_2, \dots, s_p > 0$ ,  $h_1, h_2, \dots, h_p > 0$ , 则质量度量指标表达如公式(15)、公式(16)所示:

$$Q_{\text{ImgsVD}} = \arccos \frac{\sum_{i=1}^k (S_v \times H_v)}{\sqrt{\sum_{i=1}^k (S_v \times S_v)} \sqrt{\sum_{i=1}^k (H_v \times H_v)}} \quad (15)$$

$$Q_{\text{SVD}} = \frac{Q_{\text{ImgsVD}}}{(\pi/2)} \times 90 \quad (16)$$

## 5 实验结果及讨论

### 5.1 实验方案设计

为测试算法性能,使用了相应的验证素材。素材内容包括典型的测试图像以及由德州大学 Austin 分校<sup>[7]</sup>提供的素材库。受篇幅限制只列举以下素材具体进行算法性能的描述说明,分别是 Lena. bmp, Mom & daughter. bmp, Bridge. bmp 以及 Clown. bmp, 如图 4 所示。



图 4 部分实验素材示意图

Fig. 4 Parts of the test images

表 1 劣化类型及等级对照表

Tab. 1 Deterioration type and degree

类型/等级	高斯白噪声	椒盐噪声	斑点噪声	高斯模糊	JPEG压缩
等级 1	0.005	0.005	0.005	1	10%
等级 2	0.01	0.01	0.01	2	20%
等级 3	0.02	0.02	0.02	3	30%
等级 4	0.03	0.03	0.03	4	50%
等级 5	0.05	0.05	0.05	5	75%

每类素材制作了高斯噪声、椒盐噪声、斑点噪声、滤波模糊、JPEG 压缩 5 种劣化类型。其中每种类型的劣化又划分成 1~5 个不同等级,如表 1 所述。表 1 中前 4 类劣化从等级 1 到等级 5 表示外在噪声强度逐步增加,因此其劣化逐渐明显;JPEG 类的等级 1 到等级 5 分别表示其质量百分比,因此随等级增加其劣化逐渐减小。对上述 4 (图像素材) × 5 (劣化类型) × 5 (劣化等级) 共 100 个测试素材分别进行主观评测,获得了质量的损伤值(即将劣化素材与参考素材进行对比,根据劣化的主观感受划分成相应等级)。本测试采用 10 分制进行统计,即完全没有差别定义为 10 分,最差则给 0 分。

### 5.2 结果分析

本实验中对每次评测素材按式(16)分别计算各自的  $Q_{\text{SVD}}$ ,并按训练结果进行拟合可得到检测值与主观感受的映射关系。

受篇幅所限,以 Lena 素材为例分析算法在几类噪声劣化下的检测情况,如表 2 所示。表 2 中的等级与表 1 相同,其中数值表示的是偏离角度,即图像质量越好,角度偏离值越小。每类劣化形态都按 4.3 步骤分别计算其边缘和平坦区的评测值。从表 2 中可以看到,不论边缘检测还是平坦区检测,其结果与噪声的劣化等级都具有较大的相关性。对不同类型的噪声劣化,边缘检测和平坦区域检测具有不同的检测灵敏度。边缘检测主要对图像主体信息的失真具有较好的敏感性;平坦区检测则主要对图像背景信息的失真具有较好的敏感性。二者互补能较好反映图像主、客体区对质量影响的强弱程度。

表 2 劣化类型实验数据

Tab. 2 Experiment data of deterioration type

类型/等级	等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5	
高斯	边缘区	0.398 9	0.625 9	0.961 8	1.286	1.799 3
	平坦区	1.168 8	2.144 3	4.001 1	5.601 5	7.925 9
椒盐	边缘区	0.248 7	0.493 4	0.427 7	0.533 1	0.787 1
	平坦区	0.420 3	0.741 4	1.540 9	2.132 5	3.435 3
斑点	边缘区	0.258 3	0.251 6	0.473	0.427 6	1.005 5
	平坦区	0.290 2	0.513 3	1.006	1.426	2.272 1
模糊	边缘区	1.029 4	1.589	1.699 7	1.946 4	2.203 3
	平坦区	0.126 1	0.334 2	0.662 5	1.046 7	1.446 3
JPEG	边缘区	0.660 3	0.274 2	0.413 4	0.193 8	0.125
	平坦区	0.277 6	0.160 4	0.095 1	0.062 4	0.030 3

为对比该算法与其他方法的性能,对上述几种劣化结果使用 PSNR 和 SSIM 进行计算,仍以 Lena 为例结果如表 3 所示。其中 PSNR 是以 dB 为单位,图像质量越好则 PSNR 值越高;SSIM 在 0~1 之间分布,图像质量越好则 SSIM 值越靠近 1。从表 2 和表 3 的对比可见,3 个方案的总体结果都能反映出质量等级的变换程度。对几类的噪声形态,算法都能随着劣化等级的变化而体现出相应的检测结果。

表 3 PSNR 和 SSIM 测试结果

Tab. 3 PSNR and SSIM of Lena

类型/等级	等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5	
高斯	PSNR	23.131	20.297	17.439	15.839	13.954
	SSIM	0.488 6	0.374 7	0.269 7	0.223 6	0.166 7
椒盐	PSNR	28.242	25.246	22.126	20.611	18.237
	SSIM	0.893 1	0.802 8	0.670 3	0.553 9	0.407 6
斑点	PSNR	30.258	27.243	24.262	22.515	20.401
	SSIM	0.790 5	0.700 8	0.601 9	0.542 4	0.469 5
模糊	PSNR	33.802	28.433	25.691	24.065	22.919
	SSIM	0.967 3	0.884 3	0.790 4	0.716 4	0.660 2
JPEG	PSNR	28.508	31.571	33.220	39.210	43.769
	SSIM	0.831 8	0.906 2	0.933 2	0.982 9	0.993 4

以模糊劣化为例,图 5 按从左到右,从上到下的顺序分别为劣化等级为 1 级(MOS 分 8.756)、2 级(MOS 分 6.451)、4 级(MOS 分 4.674)和 5 级(MOS 分 2.231)的处理效果。

从图 5 中可以看到,模糊劣化程度到 2 级以上质量存在明显的劣化阶跃,当模糊程度达到 4



图 5 Lena 主观效果示意图

Fig. 5 Subjective results of Lena

级以上主观感受已经相当差。PSNR 对等级 1~5 的检测结果基本稳定在 23 dB 以上;SSIM 对等级 1 和等级 2 的劣化阶跃现象并不敏感,且其最差的检测值亦达到 0.67,与主观感受存在一定偏差。由此可见,PSNR 和 SSIM 对图像模糊的检测不够敏感,其检测结果不能较好地体现主观上的感受。本算法通过边缘区和平坦区两套检测机制能灵敏地体现上述的主观特征,如算法在等级 1 到等级 2 变化时,其平坦区偏差角度增加一倍多;而对等级 5 则两个检测结果均显示得到 > 2 的较大偏差角。

对 100 个劣化素材进行主观相似性统计(CC)和 RMSE 计算<sup>[15]</sup>,得到的平均对比值如表 4 所示。其中 CC 值表示评测结果与主观 MOS 分的相关性,其值越大说明算法性能越好;RMSE 表示评测结果与主观 MOS 分的误差,其值越小则算法性能越好。可见,本算法相比 PSNR 和 SSIM 的性能都有所提升。

表 4 算法性能比较

Tab. 4 Comparison of algorithm performance

测试类别/算法	PSNR	SSIM	QSVD
相似性(CC)	0.712	0.831	0.896
RMSE	9.71	7.86	5.58

## 6 结 论

本文利用人眼视觉掩盖效应构建图像的轮廓区和噪声易察觉区的映射图;在评测过程中则利用映射图,分别计算待测图像和参考图像在上述两个区域的奇异值向量偏差;最后通过线性加权得到综合测试结果。

本方法将视觉掩盖特性与奇异值分解理论结合,弥补了奇异值分解仅对图像内蕴信息敏感而对视觉明显的劣化形态较不敏锐的缺陷。通过实

验证明,算法对不同畸变类型及不同劣化程度具有较好的检测敏感性和结果可分辨性。对劣化规律性特性的检测结果与人的主观感受具有较好的一致性,算法对相同失真类型的不同等级检测具有较好的主观相似性(主观相似系数为 0.896,均方根误差为 5.58),说明算法对劣化的检测是切实有效且敏感的,但算法结果的表达不利于不同类型畸变图像的横向比较。讨论结果表明,偏差的原因主要在于算法结果的训练及表达上,因此,对评测结果的归一化设计和训练是需要进一步研究和改进之处。

## 参考文献:

- [1] MIYAHARA M, KOTANI K, ALGAZI V R. Objective picture quality scale (PQS) for image coding [J]. *IEEE Trans. Communications*, 1998, 46(9):1215-1225.
- [2] LUBIN J. Method and apparatus for assessing the visibility of differences between two image sequences:US[P]. 1999.
- [3] WINKLER S. A perceptual distortion metric for digital color video [J]. *SPIE*, 1999, 3644:175-184.
- [4] WATSON A B. Toward a perceptual video quality metric [J]. *SPIE*, 1998: 139-147.
- [5] ITU-T. Objective perceptual assessment of video quality Full reference television [R]. [www.itu.int/itu-t](http://www.itu.int/itu-t), 2004.
- [6] 佟雨兵,胡薇薇. 视频质量评价方法综述[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2006, 18(5):735-741.  
TONG Y B, HU W W. A review on video quality assessment methods [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2006, 18(5):735-741. (in Chinese)
- [7] BOUIK A. *Handbook of Image and Video Processing*[M]. New York: Academic press, 2000.
- [8] SHEIKH H R, BOVIK A C, VECIANA G D. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2005, 14(12):2117-2128.
- [9] WOLF S, PINSON M. Video quality measurement techniques [R]. *N TIA Report 02-392*, [www.its.bldrdoc.gov/n3/video](http://www.its.bldrdoc.gov/n3/video). 2002.
- [10] 赵辉,鲍歌堂,陶卫. 图像测量中自动调焦函数的实验研究与分析[J]. *光学 精密工程*, 2004, 12(5):531-536.  
ZHAO H, BAO G T, TAO W. Experimental research and analysis of automatic focusing function for imaging measurement[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(5):531-536. (in Chinese)
- [11] 叶东,徐巧玉,车仁生. 视觉测量系统的相机校准[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(5):883-890.  
YE D, XU Q Y, CHE R SH. Camera calibration technique for vision measurement system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 16(5):883-890. (in Chinese)
- [12] VOLOSHYNOVSKIY S, HERRIGEL A, BAUMGAERTNER N. A stochastic approach to content adaptive digital image watermarking [C]. *Proc. Third International Workshop on Information Hiding*, 1999:211-236.
- [13] SHNA YDERMAN A, GUSEV A. An SVD-based grayscale image quality measure for local and global assessment [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(2):422-429.
- [14] 汪源源,孙志民,蔡铮. 改进的奇异值分解法估计图像点扩散函数[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(3):520-526.  
WANG Y Y, SUN ZH M, CAI ZH. Estimation of PSF of image system using modified SVD method [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):520-526. (in Chinese)

- [15] 吴晓波,安问斗,杨钢. 图像测量系统中的误差分析即提高测量精度的途径[J]. 光学 精密工程, 1997, 5(1): 133-141.  
WU X B, AN W D, YANG G. Error analysing and approaches of improving measuring precision in image measuring system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1997, 5(1): 133-141. (in Chinese)
- [16] 蹇森,朱剑英. 基于奇异值分解的图像质量评价[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2006, 35(4): 643-646.  
QIAN S, ZHU J Y. Image quality measure using singular value decomposition [J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2006, 35(4): 643-646. (in Chinese)

作者简介:袁 飞(1979 - ),男,福建福州人,博士研究生,主要从事无线视频传输、信号处理等方面的研究。E-mail: yuanfei @xmu. edu. cn

黄联芬(1963 - ),女,高级工程师,硕士生导师,研究方向为无线通信及数字信号处理等。E-mail: lfhuang @ xmu. edu. cn

姚 彦(1938 - ),男,浙江兰溪人,教授,博士生导师,主要从事无线通信理论与技术、个人无线通信系统、无线通信的抗衰落与抗干扰等方面的研究。E-mail: yaoy @tsinghua. edu. cn

## 下期预告

# 基于 ARM920T 模块的深孔表面多点 粗糙度自动检测装置

张仁杰,汤 林,郑 哲

(上海理工大学 光学与电子信息学院,上海 200093)

要完成深孔表面多母线粗糙度的检测,应实现被测件或测杆的旋转,解决加长测杆自重对检测触针接触力的影响,实现多点粗糙度分布情况的统计分析与显示等。同时,在满足上述要求前提下,还必须使整个检测装置小型化,以便生产现场使用。借助以 ARM920T 为核心的嵌入式模块,给出了对零部件深孔表面粗糙度实施多点自动检测的机电结构整体的紧凑设计,给出了检测装置的整体设计、嵌入式模块硬件电路接口、多点粗糙度综合参数的描述与计算方法等。该检测装置可对 16~25 mm 长度为 120~180 mm 的内孔表面,实施多达 24 条母线 512 点的自动检测。经实际测试验证,该检测装置的极限误差 < 3%。