

中图法分类号: TP911.73, TP751.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)10-1454-11

索引信息: 谢正祥, 王志芳, 熊兴良, 胡琴. 基于视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价和彩色图像质量最佳化[J].

中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1454-1464

# 基于视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价和彩色图像质量最佳化

谢正祥<sup>1)</sup>, 王志芳<sup>2)</sup>, 熊兴良<sup>1)</sup>, 胡琴<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(重庆医科大学 生物医学工程研究室, 重庆 400016) <sup>2)</sup>(重庆医疗器械质量检验中心, 重庆 401121)

**摘要:** 建立一种基于人类视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价方法用以评价含噪声图像的彩色图像质量。该方法用视觉感知图像质量的质量四参数: 信息熵、平均对比度、平均灰度和关键区域图像的标准差, 通过实验建立综合的彩色图像质量评价模型, 称为最好质量彩色图像评价函数。该函数的最大值对应最好质量彩色图像。该方法的评价结果更符合视觉感知效果。该方法基于图像质量四参数的独立计算, 不但不借助于任何参考图像, 还能用于评价参考图像质量。如果参考图像质量不够好, 还能通过称为 Zadeh-X 变换的灰度变换获得最好质量的彩色图像。

**关键词:** 噪声感知; 彩色图像质量评价; 信息熵; 平均对比度; 平均灰度

## Color image quality assessment based on noise model of human vision perception and color image quality optimization

XIE Zhengxiang<sup>1)</sup>, WANG Zhifang<sup>2)</sup>, XIONG Xingliang<sup>1)</sup>, HU qin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Biomedical Engineering, Chongqing Medical University, Chongqing 400016)

<sup>2)</sup>(Chongqing Medical Instrument Quality Inspection Center, Chongqing 401121)

**Abstract:** The object of this study is to establish a universal color image quality assessment method based on human vision function characteristics for perceiving noise in an image in order to assess color image quality including noisy color image. A comprehensive image quality assessment model called as the best quality assessment function for color images is established by means of four quality parameters of image quality, information entropy, averaging contrast, averaging gray and the standard deviation in a key region of an image. The maximum of the function corresponds to the color image with the best quality. The results assessed by this method agree with human vision perception. The method, which founds on auto-computation for four parameters characterizing image quality, is not only in no need any reference image but also can be used to assess the reference image quality. The method can be also used to acquire the color image with the best quality by means of a reference image through a gray transformation our called Zadeh-X transformation if the reference image quality is not good enough.

**Keywords:** noise perception; color image quality assessment; information entropy; averaging contrast; averaging gray

基金项目: 国家自然科学基金项目(60975008, 30670536)。

收稿日期: 2009-04-06; 改回日期: 2009-06-26

第一作者简介: 谢正祥(1938—), 男, 教授, 生物医学工程专业硕士博士研究生导师。1961年毕业于西南师范学院(现西南大学)物理系。研究方向为信号和图像处理。E-mail: bmezxxie@163.com。

## 0 引言

根据心理科学研究结果,人类获取知识 85% 靠视觉,10% 左右靠听觉,5% 靠其他感觉系统<sup>[1]</sup>。视觉感知的基础就是图像。图像质量评价是评价成像设备质量和成像设备监控,以及图像的识别和分类的基础和决策的关键,具有重要的军事、安全和民用意义,是困难而急需解决的重要科学基础问题<sup>[2]</sup>。现有图像质量评价分为:全参考图像质量评价(FR-IQA);无参考图像质量评价(NR-IQA);精简参考图像质量评价(RR-IQA)<sup>[3]</sup>。

图像质量评价在以下 4 个方面有重要意义:1) 用于图像/视频监控系统的监控图像质量;2) 用于调整图像/视频处理系统和算法;3) 用于嵌入图像/视频处理系统以最佳化算法和参数设置;4) 用于底层图像挖掘,变人类视觉不能分辨的图像为最佳可见图像<sup>[3]</sup>。当前的图像质量评价方法取得主要进展的是全参考图像质量评价(FR-IQA),无参考图像质量评价(NR-IQA)问题正在进行研究<sup>[3-4]</sup>。当前的无参考图像质量评价算法模型的参数需要主观人为地进行调节,以适应不同的情况,大大限制了其应用范围<sup>[4]</sup>。当前的大多数完全参考图像质量评价都是评价图像经过处理后的降质情况,其算法都需要参考图像和被评价图像进行交叉计算,不利于大型图像的质量评价。当前的图像质量评价大都集中在评价灰度图像的质量评价,少有涉及彩色图像质量评价<sup>[3, 5-8]</sup>。

当前虽提出了不少的改善图像质量的方法,如直方图均衡化、对比度拉伸等使图像质量变得更好的方法,但却未见有评价图像质量改善程度,或什么条件能获得最好质量图像文献报道<sup>[3, 5-8]</sup>。本文提出一种基于人类主观视觉对图像认知的功能特征,特别是对噪声认知的功能特征的通用的含有噪声彩色图像(noised color image,即噪化了的彩色图像,or color image with noise)的最好质量图像评价方法,建立了通用的基于图像质量四参数的彩色图像质量评价的数学模型(评价函数)。该方法具有很强的通用性,不仅适用于现在取得一些进展的全参考图像质量评价(FR-IQA),而且也适合现在尚未取得突破的无参考图像质量评价(NR-IQA),还适合精简参考图像质量评价(RR-IQA)。该方法基于对独立图像的质量特征四参数(信息量、平均对比度、平均

亮度、关键区域标准差)的独立计算(auto computation),而不像现有方法那样,在 FR-IQA 时,依赖于与参考图像特征的交叉计算(cross computation)。该方法的特点和优势还在于:1) 不必假定参考图像是质量最好的图像;2) 不但能评价参考图像的质量,还能通过称为 Zadeh-X 变换的灰度/色度变换,由参考图像产生质量最好的图像。

## 1 人类主观视觉对图像认知的功能特征提取

就人类视觉对图像的认知功能特征来说,首先,没有适当的光照度(多数情况是反射光强)就没有质量好的图像,在低光照的情况下,图像的质量差(暗视觉),甚至看不见任何图像。其次,要有适当的不同的灰度或色度的信息。再就是,要有适当的灰度/色度信息的适当的空间分布,这就是适当的同时对比度(simultaneous contrast)。第四,要有低的噪声水平。通过对人类视觉对图像质量的认知特征的这些分析,就对人类视觉对图像质量的认知特征有了初步的了解。人类视觉对图像质量的认知就是对一幅图像中上述 4 个视觉质量参量的分析和提取,然后进行综合做出对一幅图像质量的评价。现将人类视觉对图像质量的认知概括成如图 1 的框图。

通过这些分析得出的结论是:一幅质量好的图像,应有一些基本的可测的物理特征。这些特征是:适当的亮度(图像灰度),适当丰富的不同灰度/色度的信息,适当的对比度(灰度差),尽量少的噪声污染。图像的所有信息都藏于像素的灰度/色度的空间分布中,这就形成鲜明的图像结构。这可称为图像质量描述的 4 个基本的、可客观测量的物理参数,称为图像质量四参数。可以看出,对前 3 个参数的描述都是“适当的”,理想的情况可能是某个中间值。对第 4 个参数的描述是“尽可能少”,因为噪声污染使图像质量变差。这就建立了图像质量认知的(模糊的)概念模型。

要用计算机代替人的视觉判断图像质量(可称为一种“机器视觉”),并且还要利用计算机的优势,超过人的认知能力。为此,要建立描述这些参数的数学模型(参数描述的数学模型)和测量这些参数的方法学。

### 1.1 图像信息熵 $InEn$

不含不同灰度/色度信息的图像是质量最差的

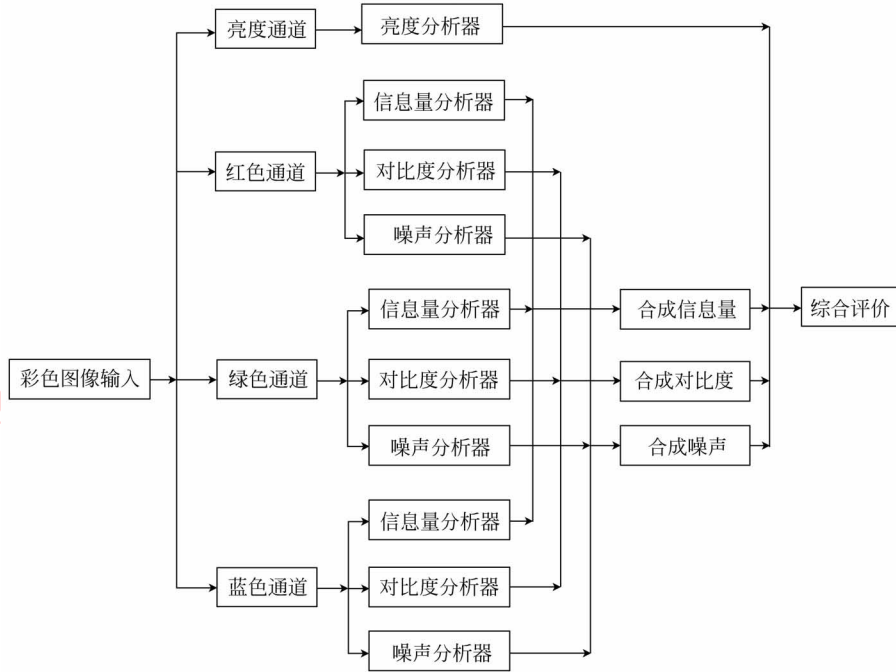


图 1 人类视觉认知彩色图像质量的示意图

Fig. 1 The scheme of human vision perception to color image quality

图像,没有多大意义。显然一幅图像含信息越丰富,质量越好。一幅视觉感知为质量好的自然景物图像,有接近 256 个不同的灰度/色度级的信息。用信息熵  $InEn$  客观描述一幅图像中所含的信息。

$$InEn = - \sum_{i=0}^{255} p(i) \log_2 p(i) \quad (1)$$

式中,  $p(i)$  表示第  $i$  灰度/色度级上像素数分布的概率。当  $p(i) = 0$  时,令  $\log_2 p(i) = 0$ 。具有均匀分布直方图的图像具有最大信息熵:

$$InEn = - \sum_{i=0}^{255} \frac{1}{256} \log_2 \frac{1}{256} = 8$$

仅具有一个灰度/色度值的图像的信息熵为 0:

$$InEn = - \sum_{i=0}^{255} 1 \times \log_2 1 = 0$$

对于用红绿蓝 (RGB) 表示的彩色图像,每一颜色分量都含有如式 (1) 计算的信息,总的信息量规格化计算如下:

$$InEn_c = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{InEn_r^2 + InEn_g^2 + InEn_b^2} \quad (2)$$

式中,  $InEn_c, InEn_r, InEn_g, InEn_b$  分别表示整幅图像的、红色分量的、绿色分量的和蓝色分量的信息熵。

### 1.2 图像平均对比度 AC

没有对比度就没有图像。即使一幅图像中有不同灰度的信息存在,如果没有达到人类视觉的对比

度分辨率阈值,也没有视觉认知的图像存在<sup>[9-11]</sup>。人类认识不同的事物就是认识其差异。这里讨论的对比度是与图像处理中不同灰度的空间分布有关的同时对比度 (simultaneous contrast)。关于对比度的定义,从来就有不同意见<sup>[12-13]</sup>。这里采用文献[14]关于灰度差的定义<sup>[14]</sup>:

$$C_{simul} = abs[L_t - L_b] \quad (3)$$

式中,  $C_{simul}$  表示同时 (simultaneous) 对比度。  $L_t$  与  $L_b$  分别表示目标和背景灰度,按 Windows 的 24 位位图规范,取值范围为  $[0, 255]$ 。

在式 (3) 的定义的基础上,采用式 (4) 计算一幅图像的  $x$  方向的平均对比度:

$$AC_x = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{y=0}^{N-2} \sum_{x=0}^{M-2} | Gray(x, y) - Gray(x+1, y) | \quad (4)$$

式中,  $Gray(x, y)$  为像素点  $(x, y)$  的灰度。  $M, N$  为  $x, y$  方向的像素数。

用类似的公式可计算一幅图像的  $y$  方向的平均对比度  $AC_y$ 。合成平均对比度为

$$AC = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{AC_x^2 + AC_y^2} \quad (5)$$

红绿蓝 3 个分量的平均对比度可分别用类似式 (5) 的公式计算。一幅彩色图像的总的平均对比度为

$$AC_C = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{AC_R^2 + AC_G^2 + AC_B^2} \quad (6)$$

式中,  $AC_C$ ,  $AC_R$ ,  $AC_G$  和  $AC_B$  分别表示整幅图像的、红色分量的、绿色分量的和蓝色分量的平均对比度。

### 1.3 图像的平均灰度 $AG$

一幅图像或照片过亮或过暗, 主观视觉都认为图像质量不好, 因此, 图像的好质量与适当的亮度(图像的灰度)相联系。一幅图像的亮度用平均灰度量度。彩色图像每一像素点的灰度用式(7)计算:

$$G(x, x) = 0.3Red(x, x) + 0.59Green(x, x) + 0.11Blue(x, x) \quad (7)$$

式中,  $G(x, y)$ ,  $Red(x, y)$ ,  $Green(x, y)$  和  $Blue(x, y)$  分别表示像素点  $(x, y)$  的灰度、红色分量的、绿色分量的和蓝色分量的色度。一幅图像的平均灰度计算如下:

$$AG = \frac{1}{M \times N} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} Gray(x, y) \quad (8)$$

式中,  $AG$  表示平均灰度。  $Gray(x, y)$  为像素点  $(x, y)$  的灰度。均匀分布直方图形成 0 到 255 的自然数序列, 按公差为 1 的等差序列计算其均值为 127.5 灰度级。平均灰度为

$$AG = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{255} i \times \frac{M \times N}{256} = 127.5$$

### 1.4 关键区域图像噪声

将图像噪声定义为图像灰度/色度值在均值附近的涨落, 用方差或标准差来测量。在 CT 中用均匀物体的成像的涨落来评价成像系统的质量。人类如何观察图像噪声? 人类观察图像噪声一般是观察均匀物体部分在图像中的表现, 如晴朗天空的蓝天, 静静湖面的绿水, 图像其他背景均匀部分在图像中的表现等。如果均匀的客观对象在所成的图像中明显不均匀, 则表明有图像噪声。在 1 维信号中, 如心电图是在等电位线处(如 T-P 段)观察噪声, 而不去变化剧烈的 R 波处去观察噪声。所有这些都提示, 要正确反映图像噪声, 应选图像中的均匀小块来测量。当前有噪图像质量评价中, 尚未发现有采用此思路的。如具有总结性的文献[3]没有用, 文献[7-8]也没用(用的是参数  $B/\mu$ )。在实践中, 如果在参考图像或一幅图像本身找不到合适的均匀块, 则搜索标准差最小的块。同一位置的图像块的标准差小者, 为噪声小的图像, 总的图像质量评价要结合其他指标综合评价。受噪声污染越重的图像是质量越不好的图像, 这是建立评价数学模型的指导

思想。

评价图像中一小块关键部分的质量称为 KR-IQA(关键区域图像质量评价)。评价一小块均匀区域的图像质量以评价整个图像质量, 只是 KR-IQA 应用的一个方面。在这里只使用 KR-IQA 分析结果中的灰度/色度标准差:

$$SD_K = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

式中,  $x_i$ ,  $\mu$  分别表示像素  $i$  的灰度/色度及图像的灰度/色度均值。对于彩色图像可按类似式(9)的形式分别计算 R, G, B 3 个颜色通道的相应值, 然后进行合成:

$$SD_{CK} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{SD_R^2 + SD_G^2 + SD_B^2} \quad (10)$$

式中,  $SD_{CK}$ ,  $SD_R^2$ ,  $SD_G^2$  和  $SD_B^2$  分别表示关键区域图像及其红色分量、绿色分量和蓝色分量色度标准差。

## 2 基本工具

### 2.1 图像灰度变换

如果对一幅图像的质量不满意, 可以通过灰度变换改善。建议用 Zadeh-X 变换和修改 Zadeh-X 变换作图像的灰度变换<sup>[15-16]</sup>。对一幅图像给以变换扰动, 研究上述前 3 个图像质量评价基本参数随变换参数变化的规律, 以探测图像质量。Zadeh-X 变换为

$$T(x, y) = K \frac{O(x, y) - Theta}{Delta} \quad (11)$$

约束条件:

$$T(x, y) = \begin{cases} 255 & T(x, y) > 254 \\ 0 & T(x, y) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

式中,  $T(x, y)$  和  $O(x, y)$  分别表示目标图像和原始图像在像素坐标为  $(x, y)$  点的灰度值。  $Theta \in [0, 255]$  和  $Delta \in [1, 255]$  称为变换参数, 分别表示变换起点和目标图像的灰度层次。  $k$  为空间伸缩因子。这里令  $k = 255$ 。  $Delta = 1$  为黑白二值化变换。

修改 Zadeh-X 变换为

$$T(x, y) = K \frac{O(x, y) - Theta}{Delta} + 255 \quad (13)$$

约束条件同式(12)。式(11)用于较暗(平均灰度远小于 127.5)图像, 式(13)用于较亮的(平均灰度远大于 127.5)图像。对于彩色图像, 则分别对 3 个颜色分量进行上述变换。

## 2.2 灰度谱非线性分级平坦化技术

称一幅图像的按灰度级的像素统计图为灰度谱。对于数字图像处理,该谱本质是离散的。提出的灰度谱非线性分级平坦化技术有一个像素的分辨率,它是灰度直方图和对数直方图不能比拟的<sup>[17-18]</sup>。

$$T(g) = \frac{O_m^{\frac{1}{m}}(g)}{\sum_{g=0}^{255} O_m^{\frac{1}{m}}(g)} \sum_{g=0}^{255} O(g) \quad (14)$$

式中,  $T(g)$  和  $O(g)$  分别表示目标图像和原始图像中灰度级  $g$  的像素数。 $m$  为正整数,称为平坦化级。人类视觉感知为好质量的图像有趋于均匀分布的灰度谱分布。

## 3 最好质量图像评价函数

这里不详细叙述根据上述图像质量四参数构建含“有噪图像”的综合最好质量图像评价函数  $NCAF$  (noised comprehensive assessment function of the best quality image) 的研究过程(可参见文献[9-11]),直接写出其一般表达式。

### 3.1 不考虑噪声时的综合最好质量图像评价函数

不考虑噪声时的综合最好质量图像评价函数  $CAF$  为

$$CAF = InEn_c^\alpha \times AC_c^\beta \times NGD^\gamma \quad (15)$$

式中,下标  $C$  表示彩色。经过大量实验,确定  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 1$ ,  $\gamma = 1$ 。 $CAF$  的值最大者对应的图像为最好质量图像。 $NDG$  称为归一化灰度差(normalized gray difference)。假定人类视觉认为的最佳平均灰度为  $AOG$ (averaging optimal gray),则

$$NGD = \frac{AOG - dist(gray(x,y) - AOG)}{AOG} \quad (16)$$

式中,  $dist(\cdot)$  为距离算符。本研究中,  $AOG$  取 127.5 灰度级,这是最适合的平均灰度值的理论推算结果。也可经过专门研究取得公认值。该值总会在 127.5 附近,对结果略有影响。

### 3.2 考虑噪声时的综合最好质量图像评价函数

考虑噪声时的综合最好质量图像评价函数为

$$NCAF = InEn_c^\alpha \times AC_c^\beta \times NDG^\gamma / SD_{CK}^\eta \quad (17)$$

经过大量实验,确定  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 1$ ,  $\gamma = 1$ ,  $\eta = 1/2$ 。这样变为

$$NCAF = InEn_c \times AC_c \times NDG / SD_{CK}^{1/2} \quad (18)$$

由于式(18)是基于一幅图像的视觉特征参数的独

立计算(auto-computation),不需要与任何参考图像的交叉计算(cross computation),所以属于真正的  $NR-IQA$ 。 $NCAF$  值大者为质量更好的图像,因此  $NCAF$  可用以估计改善图像质量的方法的功能,以及什么条件下可以得到最好质量图像,所以称  $NCAF$  为(噪化的)综合最好质量图像评价函数。另一方面,  $NCAF$  值小者为质量更差的图像,因此  $NCAF$  可用以估计经过某种处理(如传输)后图像质量变差的程度。

## 4 含有噪图像的质量评价结果

用文献[8]提供的彩色建筑图像的数据来完成含“有噪彩色图像”的彩色图像系列  $NR-IQA$ 。这里不讨论文献[8]的处理方法是否合理,只就其给出的结果进行(彩色有噪)图像质量评价。本文报告的方法的最大特点是不假定参考图像是质量最好的标准图像,而是根据评价结果再下结论!兹将评价结果列于表 1 并示于图 2。图 2 共有 7 幅子图(sub-image)。图 2 的每幅子图又由 3 部分组成。其中左上部为子图图像本身。右上部为图像对应红色分量的 2 阶灰度谱( $m = 2$ ;灰度谱的做法见文献[17-18]),左中部为绿色分量的 2 阶灰度谱,右中部为图像对应蓝色分量的 2 阶灰度谱。灰度谱可用以比较各图像的像素数按 RGB 色度的分布情况。下部为图名、参数  $NCAF$  的值及 R、B、G 谱的峰位置(灰度级)和峰值(像素数)即  $RPG$ 、 $GPG$ 、 $BPG$ 。图 2(a)是由参考图像(图 2(c))经式(11)表示的 Zadeh-X 变换后获得的图像,并命名为 Z-X 变换。

### 4.1 关键区域的噪声水平

在图 2 的每幅彩色图像的上中部的蓝天背景的亮度比较均匀区域选择左上角坐标为(123,5)的  $31 \times 8$  的像素块作为关键区域图像(KRI),列于表 1 的第 1 列,即名为小图(KRI)的列。计算出的每一关键区域图像的灰度标准差列于表 1 中的第 2 列,即名为  $SD_{CK}$  的列。图 2(a)的 0Z221 意为  $\Theta = 0$ ,  $\Delta = 221$  的 Zadeh-X 变换。

### 4.2 评价结果

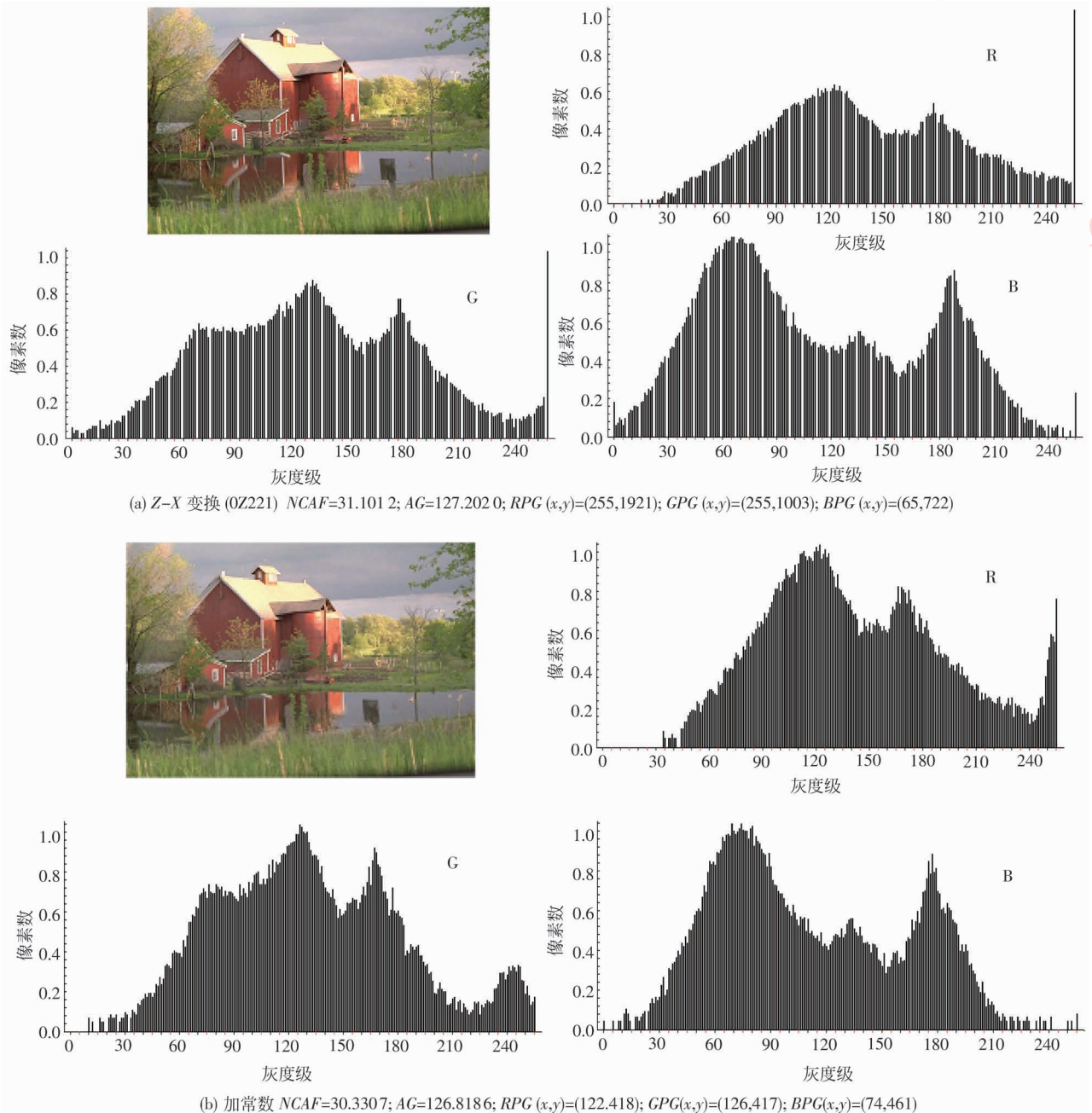
用式(18)的评价结果列于表 1、图 2。表 1 的第 7 列列出了图 2(a)~(g)各图像的  $NCAF$  值。表 1 的第 8、9 列列出了按本文方法和文献[8]评价结果的排序。

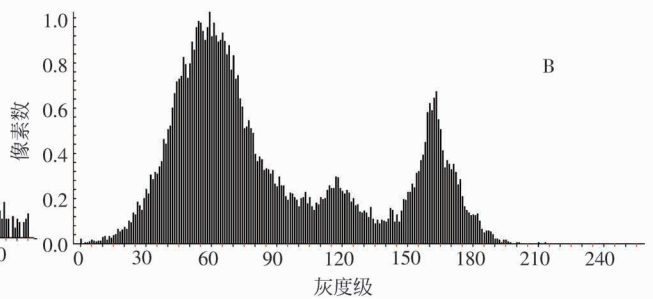
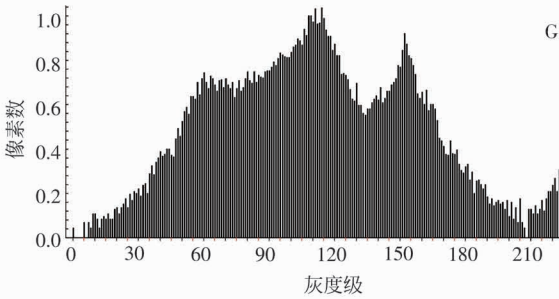
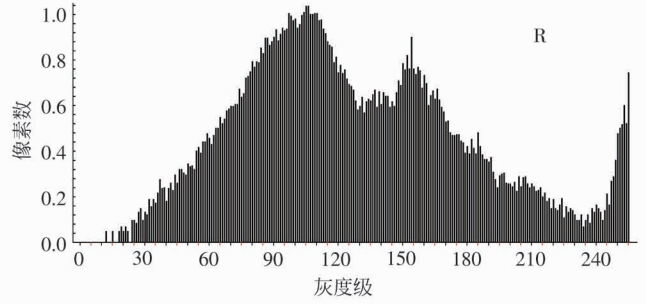
表 1 含有噪声图像的无参考图像质量评价数据

Tab.1 The data of no-reference image quality assessment including noise image

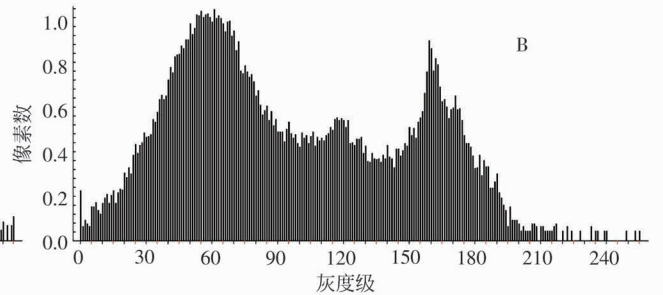
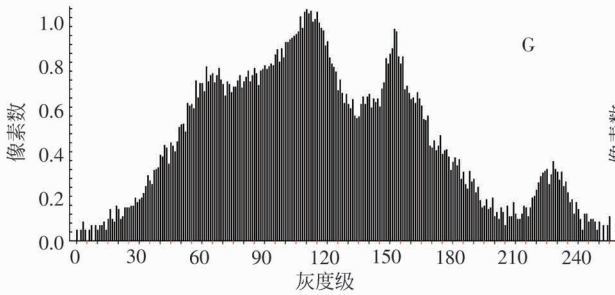
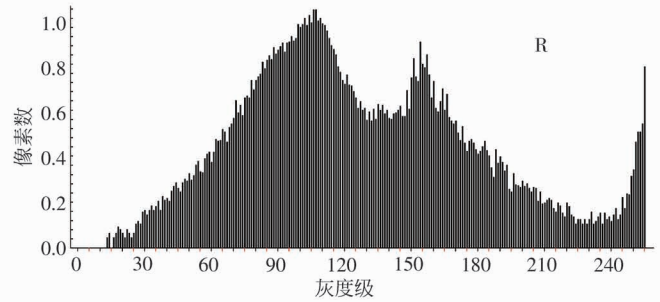
子图 (KRI) *	$SD_{CK}$	$SD_{CK}$ 序	图 2	AG	CAF	NCAF	本文方法的排序	文献[8]的排序
	2.782 8	2	(a)	127.202 0	87.381 9	52.381 8	0	/
	2.527 7	4	(b)	126.818 6	77.029 2	48.449 9	1	2
	2.492 9	5	(c)	111.478 3	68.293 7	43.254 2	2	1
	2.583 8	3	(d)	112.221 7	59.704 3	37.142 9	3	3
	7.991 0	0	(e)	148.925 4	88.699 8	31.377 8	4	4
	2.792 4	1	(f)	112.081 9	46.848 1	28.035 2	5	5
	1.778 5	6	(g)	111.966 8	17.844 3	13.380 5	6	6

注: \* KRI 意为关键区域图像,其大小为  $31 \times 8$  像素,其左上角在点 (123,5) 处。Zadeh-X 变换后的图像的原图是文献[8]中的参考图像。

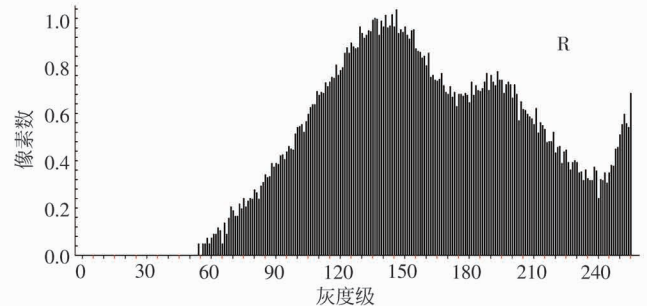




(c) 文献 [8] 的参考图像  $NCAF=28.940\ 0$ ;  $AG=111.478\ 3$ ;  $RPG(x,y)=(105,419)$ ;  $GPG(x,y)=(114,434)$ ;  $BPG(x,y)=(59,487)$



(d) JPEG 压缩  $NCAF=24.383\ 4$ ;  $AG=112.221\ 7$ ;  $RPG(x,y)=(106,454)$ ;  $GPG(x,y)=(110,423)$ ;  $BPG(x,y)=(61,484)$



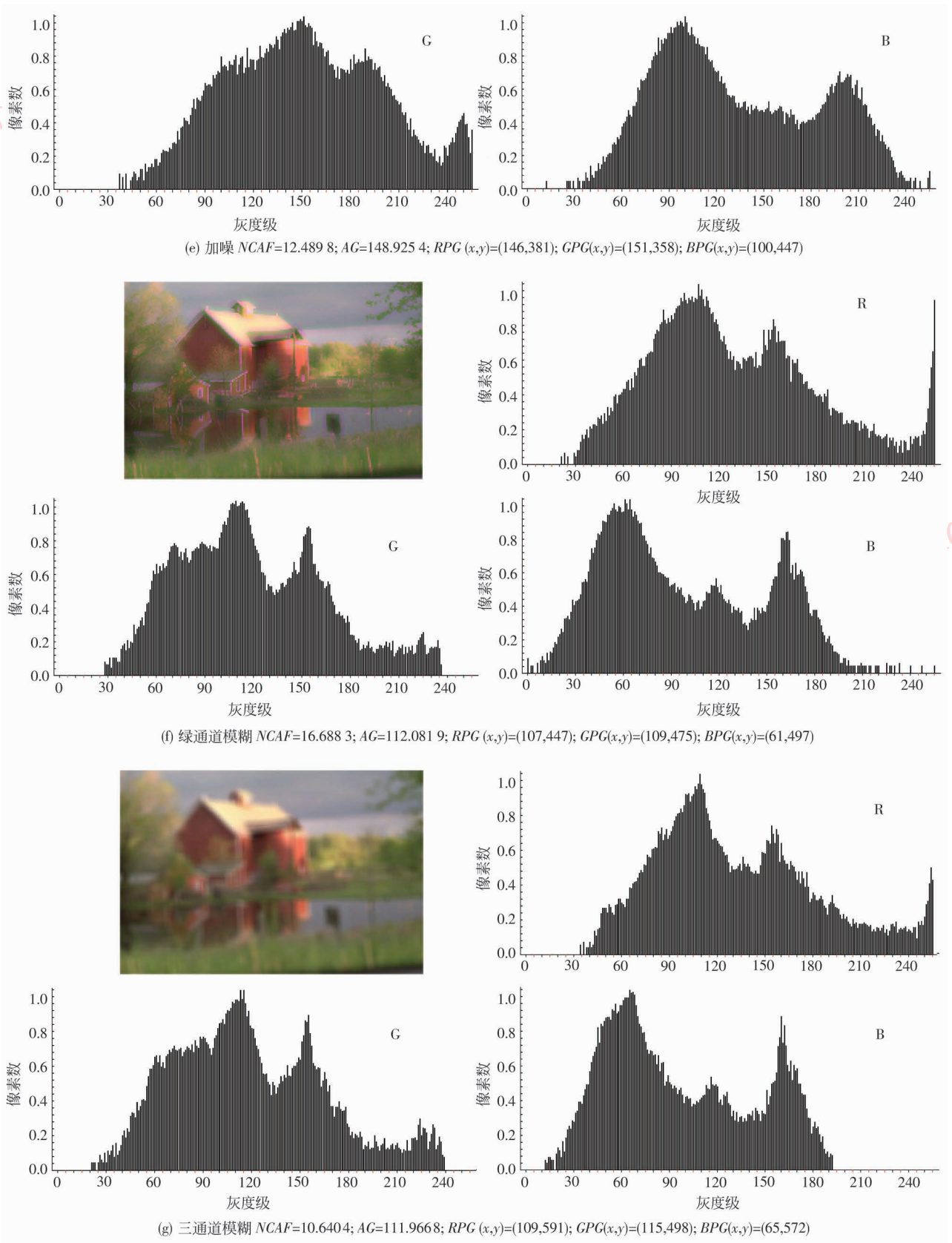


图 2 含有噪声图像的彩色图像质量评价(含 2 阶 RGB 色度谱)

Fig. 2 Color image quality assessment including noise image and their RGB chroma spectrum with order two

本文评价结果与文献[8]的评价结果的主要差异有:1) 加常数的图像图 2(b) 比参考图像图 2(c) 的质量更优,  $NCAF$  值为 48.449 9/43.254 2, 因为加了常数的图像有更适合亮度 126.818 6, 接近 127.5 的理想灰度。就是说, 按本文的评价标准, 文献[8]中给出的参考图像不是质量最好的图像, 这个结果更符合主观视觉评价。这个结果是现有的根据交叉计算的图像质量评价方法不可能得到的。2) 本文方法只根据图像自身的质量参数进行计算, 能客观地判定参考图像的质量, 因此也可用于各种改善图像质量的图像质量增强结果的评价。如用式(11)的 Zadeh-X 变换由参考图像图 2(c) 获得的图像图 2(a) 的质量既优于参考图像, 也优于加常数的图像图 2(b),  $NCAF$  值之比为 52.381 8:48.449 9:43.254 2。

### 4.3 灰度谱分析

图 2(a) ~ (g) 每幅子图 (sub-image) 中, 右上图为 2 阶红色谱 (R), 左下图为 2 阶绿色谱 (G), 右下图为 2 阶蓝色谱 (B)。由图 2(a) - (g) 的 2 阶 RGB 色度谱分析可知, 相对于参考图像而言, 谱分布失真最大的是模糊图像图 2(f) - (g)。图 2(f) 是绿色通道模糊的图像, 绿色通道的谱变窄, 由两端向中间收缩。图 2(e) 是噪化图像, 其谱带也变窄, 由低端向高端收缩。Zadeh-X 变换图像图 2(a) 和加常数图像图 2(b) 谱峰右移。Zadeh-X 变换图像图 2(a) 谱带变宽。就谱分布相似性而论, JPEG 压缩图像的图 2(d) 与参考图像具有最好相似性。从加常数图像图 2(b) 的谱峰右移量, 可以估计加常数约为 15。

与参考图像相比, 噪化图像的谱峰也明显右移, 也明显增加了亮度 (148.925 4/111.478 3)。这在理论上与加 0 均值噪声 (参见文献[8]) 的结果不符 (实际上不可能加 0 均值噪声)。

## 5 最好质量彩色图像的产生

由参考图像图 2(c) 产生通过式(11)表示的 Zadeh-X 变换获得了质量更好的图像图 2(a)。由

于参考图像不明显含有噪声, 所以我们只需用式(16)表示的  $CAF$  来评价其质量。

### 5.1 彩色图像质量的判定

#### 5.1.1 亮度法

用表示图像平均亮度的式(8)计算图 2(c) 表示的参考图像的平均亮度, 看它是否接近 127.5 的亮度 (灰度, 因为亮度公式就是彩色度变灰度图像彩色-灰度变换公式)。对图 2(c) 表示的参考图像的计算结果列于表 1 名为  $AG$  的第 5 列, 值为 111.4783。该值提示参考图像的质量有改善的余地。

#### 5.1.2 扰动法

用式(11)表示的灰度 (亮度) 变换法。因为参考图像的灰度 111.4783 显著小于理论最佳亮度 127.5, 所以用式(11)表示的灰度 (亮度) 变换法对参考图像进行试变换。根据大量的实验研究结果, 取变换参数的初始值为  $\Theta = 0$ ,  $\Delta \geq 1.7AG (= 189.4783)$ 。对图 2(c) 表示的参考图像分别对  $R$ 、 $G$ 、 $B$  3 通道进行变换, 计算变换产生的图像的  $CAF$ , 如果变换产生的图像的  $CAF$  大于参考图像的  $CAF$ , 就表明参考图像不是最好质量图像, 并可用变换法改善其质量。

### 5.2 彩色图像的最佳质量的判定和产生

#### 5.2.1 彩色图像的最佳质量的判定

根据大量实验结果,  $CAF$  是一个随  $\Delta$  变化且具有最大值的函数, 如表 2 所示, 而且其最大值对应于视觉最佳质量图像, 见图 3。  $\Theta = 0$  时的视觉最佳质量图像就是视觉最好质量图像。  $CAF$  及图像质量 3 参数 (信息熵、平均亮度、平均对比度) 随  $\Delta$  变化的情况列于表 2。图 3 给出了 0Z100、0Z222、0Z255 的图像, 显然图像 0Z222 的视觉质量最好。

#### 5.2.2 彩色图像的最佳质量的产生

从  $\Delta = 1.7AG_c$  起逐渐增加  $\Delta$  ( $\Theta = 0$ ), 进行 Zadeh-X 变换, 搜索  $CAF$  的最大值,  $CAF$  的最大值对应的图像即为该客观条件下的最好质量图像。

表 2 综合图像质量评价函数  $CAF$  值随变换参数  $\Delta$  的变化 (较暗图像)

Tab. 2 The variation of  $CAF$  values with transformation parameter  $\Delta$

$\Delta$	100	190	219	220	221	222	223	255
$InEn_c$	3.837 4	7.031 5	7.120 9	7.123 1	7.125 9	7.128 7	7.130 8	7.204 8
$AC_c$	14.255 6	14.014 6	12.437 1	12.386 2	12.336 7	12.286 5	12.233 9	10.841 2
$AG_c$	229.449 2	147.955 3	129.127 3	128.570 8	128.037 2	127.448 2	126.886 2	111.478 3
$CAF$	10.962 5	82.734 3	87.432 7	87.486 9	87.539 4	87.551 0	86.817 8	68.293 7



图 3 CAF 最大值对应最好质量图像

Fig. 3 The maximal CAF corresponds the best quality image

## 6 结 论

提出的图像质量评价方法建立在人类视觉对图像质量评价的基础上,评价参数取自人类视觉对图像的认知特征而不是数学方法的堆砌,因而评价参数意义明确,评价结果更符合人类的主观视觉。比如,根据人类观察图像噪声的方法,提出了计算图像中的关键区域图像的标准差的方法来评价图像的噪声,并指出这是 KR-IQA 的一种应用。

这里的图像质量评价函数  $NCAF$  是基于对一幅图像的视觉参数的独立计算 (auto-computation), 而不需依靠参考图像的参数交叉计算 (cross computation), 只有图像本身的 4 个质量参数决定对其质量的评价,因而是一种通用的图像质量客观评价方法,既可用于 NR-IQA, 也可用于 FR-IQA 以及 RR-IQA。

对于无噪灰度图像,计算可以简化,可以不用式(2)和式(6)的 3 分量合成计算,可以不考虑噪声因素,因而式(15)变成:

$$CAF = \ln E n^\alpha \times AC^\beta \times NGD^\gamma \quad (19)$$

式中,  $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$ 。

对于含有噪灰度图像的质量评价,再考虑式(9)表示的噪声因素,则式(17)变成:

$$NCAF = \ln E n^\alpha \times AC^\beta \times NDG^\gamma / SD_k^\eta \quad (20)$$

式中,  $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1, \eta = 1/2$ 。

本文方法不是被动评价图像质量,更提出了图像质量不够好时,产生最好质量图像的方法。本文提出的图像质量评价方法不需假定参考图像是质量最好的图像,如果参考图像质量不够好,还能根据参考图像通过 Zadeh-X 变换的灰度变换获得最好质量图像。根据亮度过高或过低两种情况给出了略微不

同的公式,即式(11)和式(13)。

由前面的叙述可知,与现有的目标是评价图像质量变差的图像质量评价方法的根本区别之一是:本文方法的目标是评价出质量最好的图像。鉴于当前图像增强方法多没有对增强效果进行严格的质量评鉴,因而该方法还可应用于图像质量增强或改善领域的效果评价,以期能达到最好的增强效果并获得最好质量图像。

## 参考文献 (References)

- [1] Zhou Xu, Yu Yonghai. On the perceptual characteristics of vision and packaging design representation [J]. Packaging World, 2002, (5): 76-78. [周旭,余永海. 论视觉感知特征与包装设计表现[J]. 包装世界, 2002, (5):76-78.]
- [2] Wang Z, Bovik A C, Lu L. Why is Image Quality Assessment So Difficult [EB/OL] [2002-05] [2009-04-06]. <http://www.cns.nyu.edu/~zwang/files/papers/icassp02a.pdf>.
- [3] Wang Z, Bovik A C. Modern Image Quality Assessment [M]. San Rafael, CA, USA Morgan & Claypool Publishers, 2006.
- [4] Zou Boxin, Ming Delie, Ao Zhengguang, et al. No-reference image quality assessment method of blurred image based on image structure and its restoration image [J]. Geometrics World, 2008, 6(1):13-20. [左博新,明德烈,敖争光,等. 基于图像结构的无参考图像及其复原图像质量评价方法[J]. 地理信息世界, 2008, 6(1):13-20.]
- [5] Chen Qiang, Chen Hexin, Li Wenjua. Quality measure of color image based on three dimensional matrix transform [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(11):1732-1735. [陈强,陈贺新,李文娟. 基于 3 维矩阵变换的彩色图像质量评价方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11):1732-1735.]
- [6] Chen Qiang, Chen Hexin, Sang Aijun, et al. Quality assessment of color images based on DSP in MPEG-21 [C] //Proceedings of IEEE International Conference on Information Acquisition, New York, NY, USA: IEEE, 2006: 268-273.
- [7] Chen Shaohua, Beghdadi A, Chetouani A. Color image assessment

- using extension to CIE DE2000 [C] //Proceedings of Digest of International Conference on Consumer Electronics. New York, NY, USA: IEEE, 2008: 1-2.
- [ 8 ] Wang Yuqing, Liu Weiya, Wang Rong. Color image quality assessment based on quaternion singular value decomposition [C] //Proceedings of CISP'08 Congress on Image and Signal Processing. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2008, 3:433-439.
- [ 9 ] Xie Zhengxiang, Hu Qin, Wang Zhifang, et al. A NR-IQA based on product of information entropy and contrast [C] // Proceedings of 2008 International Symposium on Information Science and Engineering ( ISISE2008 ). Los Alamitos, California, USA: IEEE Computer Society, 2008, 2: 608-611.
- [10] Xie Zhengxiang, Liu Yuhong, Hu Qin. A method of No-reference Image Quality Assessment Based on Information Entropy and Contrast; China, CN 101345891A[P] 2009-01-14. [谢正祥,刘玉红,胡琴. 基于信息熵和对比度的无参考图像质量评价方法: 中国, CN 101345891A[P]. 2009-01-14.]
- [11] Xie Zhengxiang, Wang Zhifang, Liu Yuhong, et al. A Method Acquiring the Best Image in Lower Layer Image Mining; China, CN 101419707A[P]. 2009-04-29. [谢正祥,王志芳,刘玉红,等. 底层图像挖掘中获取最佳图像的方法: 中国, CN 101419707A [P]. 2009-04-29.]
- [12] Wang Zhifang, Liu Yuhong, Xie Zhengxiang, et al. Measuring contrast resolution limitation of human vision based on digital image processing [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2008, 25(5): 998-1002. [王志芳,刘玉红,谢正祥,等. 基于数字图像处理的人类视觉对比度分辨率限制测定[J]. 生物医学工程学杂志, 2008, 25(5): 998-1002.]
- [13] Stevens S S. To honor fechner and repeal his law [J]. Science, 1961, 133 (3446): 80-86.
- [14] Sanchez-marin F J, Srinivas Y, Jabri K N, et al. Quantitative image quality analysis of a nonlinear spatio-temporal filter [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(2): 288-295.
- [15] Xie Zhengxiang, Wang Ying, Wang Zhifang, et al. An image hiding and mining technique based on Zadeh-X transformation [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2007, 24(1):13-15. [谢正祥,王颖,王志芳,等. 基于 Zadeh-X 变换的图像隐藏和挖掘技术[J]. 中国医学物理学杂志, 2007, 24(1):13-15.]
- [16] Xie Zhengxiang, Wang Ying, Wang Zhifang, et al. Hiding and Mining Method of Lower Layer Image and an Apparatus of Image Hiding and Mining Adopting the Method; China, ZL 200610054379.X [P]. 2008-06-04. [谢正祥,王颖,王志芳,等. 底层图像隐藏和挖掘方法及采用该方法的图像隐藏和挖掘装置: 中国, ZL 200610054379.X [P]. 2008-06-04.]
- [17] Xie Zhengxiang, Wang Zhifang, Liu Yanhuan, et al. The theory of gradually flattening gray spectrum [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2006, 23(6): 15-17, 36. [谢正祥,王志芳,刘燕欢,等. 灰度谱分级平坦化理论[J]. 中国医学物理学杂志. 2006, 23(6): 15-17, 36.]
- [18] Xie Zhengxiang, Wang Zhifang, Liu Yuhong, et al. Measuring Method of Image Gray And Color Specrum Used in Lower Layer Image Mining; China, ZL 200610054324 [P]. 2006-09. [谢正祥,王志芳,刘玉红,等. 用于底层挖掘的图像灰度/色度信息的高分辨检测方法: 中国, ZL 200610054324 [P]. 2006-09]