

文章编号 1004-924X(2013)03-0742-09

视觉感知的彩色图像质量积极评价

陈 勇^{1*}, 李 愿¹, 吕霞付¹, 谢正祥², 冯 鹏¹

(1. 重庆邮电大学 工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065;
2. 重庆医科大学 生物医学工程研究室, 重庆 400016)

摘要:针对现行的被动(消极)彩色图像质量评价方法存在的问题,深入研究了人类视觉感知彩色图像特征的质量参数:彩色图像平均对比度、彩色图像平均信息熵、彩色图像平均亮度(平均灰度)、彩色图像平均层次因子和彩色图像平均带宽因子。以上述研究为基础,构建了基于扰动变换的主动(积极)彩色图像综合质量评价函数(CAF)。研究发现 CAF 是扰动参数 Delta 和 Theta 的函数,通过对扰动参数进行变换,可以使 CAF 达到最大值,从而实现对单幅彩色图像的质量评价和质量改善。分别对窄带谱、宽带谱和全带谱 3 种不同色度谱类型的彩色图像进行了积极评价,结果表明,纳入平均带宽因子和平均层次因子两个参数的彩色图像质量积极评价方法符合人类视觉主观评价要求,可使扰动变换获得的彩色图像更加柔和、更富有层次感。该方法不仅能评价单幅彩色图像质量的好坏,还可以通过扰动变换改善彩色图像质量。

关键词:视觉感知;彩色图像质量;积极评价;扰动变换;平均带宽因子;平均层次因子

中图分类号:TP391.4; TP751.1 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132103.0742

Active assessment of color image quality based on visual perception

CHEN Yong^{1*}, LI Yuan¹, LÜ Xia-fu¹, XIE Zheng-xiang², FENG Peng¹

(1. *Key Laboratory of Industrial Internet of Things & Network Control of the Ministry of Education, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;*
2. *Laboratory of Biomedical Engineering, Chongqing University of Medical Sciences, Chongqing 400016, China*)

* *Corresponding author, E-mail: chen Yong@cqupt.edu.cn*

Abstract: According to the shortages existing in passively color image quality assessment currently, this paper researched the five parameters of color image feature quality perceived by human visual: average contrast, average information entropy, mean brightness(gray level), average level factor, and average bandwidth factor. On the basis of research mentioned above, the quality assessment function of color image(CAF) actively based on disturbance transform was constructed. It found that CAF was the functions of disturbance parameters Delta and Theta. Through the transformation of disturbance parameters, the overall quality evaluation function of color image would achieve the maximum value of CAF, so that the single color image quality could be assessed and improved. Several kinds of color im-

收稿日期:2012-10-15;修订日期:2012-11-27.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(NO. 60975008)

ages with narrower band, wider band and whole band spectra were assessed, and it demonstrates that the active assessment method of color image quality by considering the average bandwidth factor and average hierarchy factor conforms to the requirement of human visual subjective evaluation, and can allow the color image obtained by disturbance transformation to be more soft and more hierarchical. This method can not only evaluate the quality of single color image, but also can improve the color image quality by disturbance transformation.

Key words: vision perception; color image quality; active assessment; disturbance transformation; Average Bandwidth Factor (ABWF); Average Hierarchy Factor (AHF)

1 引言

图像质量评价是图像信息处理中十分重要的研究内容,也是图像处理领域中至关重要的一个环节。现有的图像质量评价(Image Quality Assessment: IQA)方法分为主观评价方法和客观评价方法,前者凭借实验人员的主观感知来评价对象的质量;后者依据模型给出的量化指标,模拟人类视觉系统的感知机制衡量图像质量^[1-2]。客观评价方法分为全参考图像质量评价(Full-reference IQA: FR-IQA)、精简参考图像质量评价(Reduced-reference IQA: RR-IQA)和无参考图像质量评价(No-reference IQA: NR-IQA)^[3-6]。FR-IQA实际上是评价目标图像与预先给出的参考图像的差异,需要参考图像的全部信息,不论比参考图像质量好的还是质量差的,都获得小于1的评价函数值;RR-IQA与FR-IQA的区别是只需从参考图像中提取部分统计量用于比较,因此这2种方法都不适用于评价通过图像质量增强系统(包括去模糊系统)后的图像质量改善。就通用图像质量评价而言,尚在探索的NR-IQA^[7-11]是图像质量评价方法的研究方向之一。从文献所知目前的图像质量评价都是被动的(或消极的)图像质量评价。被动的图像质量评价有两个方面的含义:一是只消极评价图像质量变差(降质,退化),而不评价图像质量变好(增强,改善);二是只消极评价图像质量本身,而不能积极改善图像质量并达到最佳化^[12]。

本文将在研究影响彩色图像质量的视觉参数,包括彩色图像的亮度、信息熵、对比度、谱带宽和层次(谱线数)的基础上,建立一种包括带宽因

子和层次因子的积极主动的彩色图像质量评价模型,该方法不仅可以用于评价降质后的彩色图像质量,也可以评价直方图均衡化、对比度拉伸等彩色图像质量增强方法的性能优劣,更可在评价的基础上通过扰动变换的方法获得最好彩色图像质量。

2 彩色图像视觉特征模型及最好质量产生方法

2.1 人类视觉感知彩色图像特征的模型

人类视觉问题属于心理物理问题,图像质量评价也是心理物理问题。迄今,图像质量评价的标准仍然是人类视觉的主观评价。就图像质量而言,视觉的特性是非线性的,过亮或过暗图像其质量都不好,因此适当的亮度是人类视觉评价图像质量的最重要的参数;其次是要有适当的不同亮度的像素信息;第三要有可感知的对比度的图像,对比度太大或太小其图像质量都不会太好。因而这3个参数构成图像质量评价模型的基本参数,可称为图像质量评价建模的三基参。我们分别用彩色图像平均对比度(Average Contrast, AC)、彩色图像平均信息熵(Average Information Entropy, AIE)和彩色图像平均亮度(Average Luminance, AL)(平均灰度)表示彩色图像质量评价三基参^[13]。

通过研究发现彩色图像的层次(色度谱的级数)和彩色图像带宽(亮度的跨距如0~255)两个参数同样会影响彩色图像的视觉质量。因此,本文建立了上述5个参数构成的图像质量评价的模型,简称彩色图像质量五参数。

2.1.1 彩色图像层次

彩色图像层次用色度谱的谱线数表示,色度谱的谱线数是一个导出参量。人类视觉只能感觉

彩色图像是否柔和,它间接反映了色度层次。谱线数多的彩色图像(如图 1(a) R、G、B 三分量的谱线数分别为 19、19、19)与谱线数少的彩色图像相比(如图 1(b) R、G、B 三分量的谱线数分别为 4、4、4),看起来更柔和。[字符串说明:图中及论文的描述中,字符串“#Z*”的具体含义:“#”—Theta,“Z”—Zadeh-X 变换,“*”—Delta,图像名称中“T”—变换。]

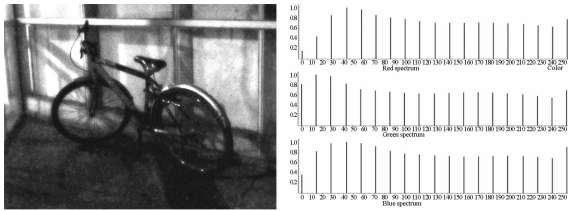
对于 8 位彩色图像系统,三分量分别有 256 色度层次。设彩色图像某一颜色分量谱线数为 NSL(Number of Spectral Line),则彩色图像层次因子 HF(Hierarchy Factor)定义为:

$$HF_{ch} = NSL/256, \quad (1)$$

一幅彩色的图像平均层次因子为:

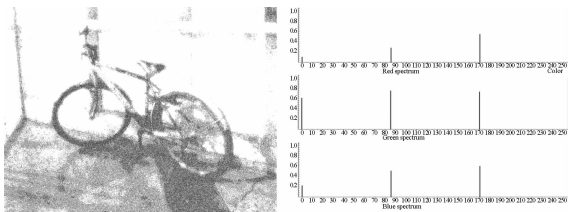
$$AHF = (1/\sqrt{3}) \sqrt{HF_R^2 + HF_G^2 + HF_B^2}. \quad (2)$$

式中, $ch \in (R, G, B)$, HF_R 、 HF_G 、 HF_B 分别表示红色分量、绿色分量和蓝色分量的层次因子。



(a)Bicycle-T 0Z18 及 4 级色度谱

(a)Bicycle-T 0Z18 and it's 4 level chroma spectrum



(b)Bicycle-T 0Z3 及 4 级色度谱

(b)Bicycle-T 0Z3 and it's 4 level chroma spectrum

图 1 Bicycle 不同图像的色度层次

Fig. 1 Chromaticity level of different Bicycle images

2.1.2 彩色图像带宽

同样的谱线数,如图 2(b)所示带宽的彩色图像 R、G、B 三分量色度谱线数分别为 49、42、42,谱宽分别为 256、256、256;如图 2(a)所示带窄的彩色图像 R、G、B 三分量色度谱线数分别为 49、42、42,谱宽分别为 75、65、64。通过比较,带宽的彩色图像显示出明显的结构,视觉质量好些。

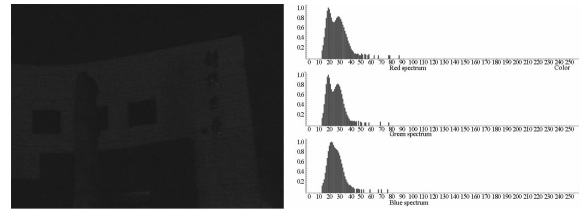
说明图像质量与谱宽有关。用带宽率 BWF(百分带宽)表示:

$$BWF_{ch} = [Right(ch) - Left(ch) + 1]/256. \quad (3)$$

一幅彩色图像的平均带宽因子为:

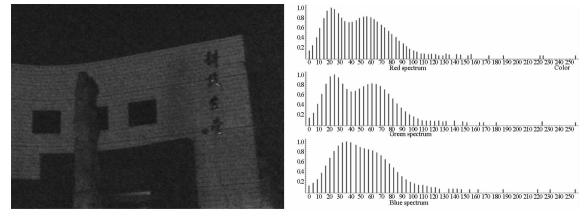
$$ABWF = (1/\sqrt{3}) \sqrt{BWF_R^2 + BWF_G^2 + BWF_B^2}. \quad (4)$$

式中, $Right(ch)$ 和 $Left(ch)$ 分别表示某一颜色分量色谱的左边带和右边带, $ch \in (R, G, B)$, BWF_R 、 BWF_G 和 BWF_B 分别表示红色分量、绿色分量、蓝色分量的带宽因子。



(a)KJHT-0Z255 及 4 级色度谱

(a)KJHT-0Z255 and it's 4 level chroma spectrum



(b)KJHT-T 全带宽变换及 4 级色度谱

(b)KJHT-T full bandwidth transform and it's 4 level chroma spectrum

图 2 相同谱线数不同图像质量的色度谱带宽

Fig. 2 Chroma spectrum bandwidth of different image quality with same spectrum line number

2.2 彩色图像最好质量产生工具

2.2.1 灰度/色度谱分级平坦化

本文提出了一种灰度/色度谱分级平坦化方法^[14]:

$$P(g) = O^{1/m}(g) / \sum_{g=0}^{255} O^{1/m}(g) \cdot \sum_{g=0}^{255} O(g). \quad (5)$$

式中, $O(g)$ 和 $P(g)$ 分别表示平坦化变换前后的灰度级或某一通道为 g 的像素数(即产生概率)。它具有比一般的灰度/色度直方图更高的精度。 $P(g)$ 是平坦化级 m 的函数:

$$P(g) = f(m). \quad (6)$$

当 $m=1$ 时,就得到一般的灰度/色度直方图,当 $m \rightarrow \infty$ 时, $P(g) = M \times N/256$ (对 8 位系

统),即得到等概率灰度/色度谱,其中, M 和 N 是图像的行列数。这时各灰度/色度级的像素数相同。而概率密度函数 $P(g)=1/256$ 。图 2 (a)不同级的 RGB 色度谱如图 3 (a)和 3(b)所示。

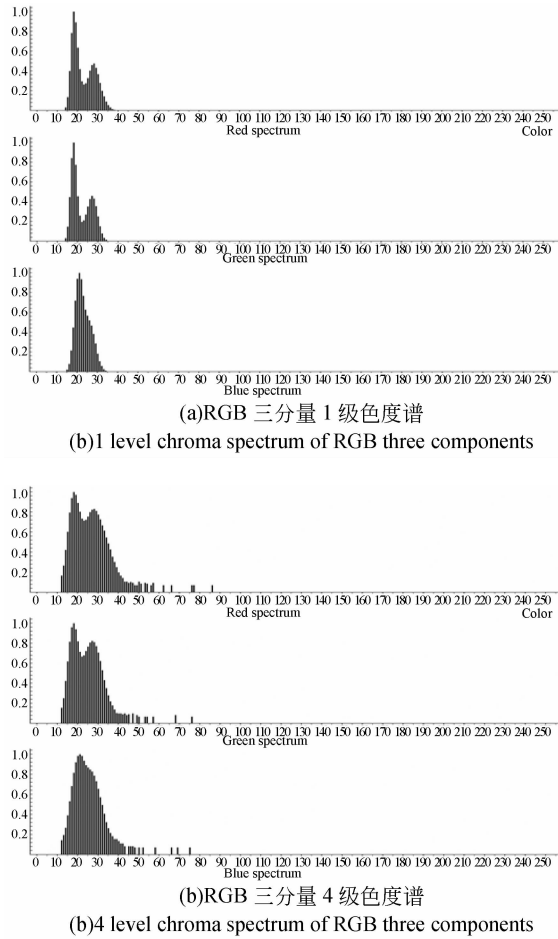


图 3 RGB 三分量色度谱

Fig. 3 Chroma spectra of RGB three components

2.2.2 Zadeh-X 变换

Zadeh-X 变换是一种修改的灰度/色度变换^[13],其变换式如下:

$$T(ch, x, y) = K \frac{O(ch, x, y) - Theta}{Delta}. \quad (7)$$

约束条件为:

$$T(ch, x, y) = \begin{cases} 255, & T(ch, x, y) > 255 \\ 0, & T(ch, x, y) < 0 \end{cases}. \quad (8)$$

式中, $T(ch, x, y)$, $O(ch, x, y)$ 分别表示一种颜色分量的像素点变换前后的色度值。 K 值决定变换后图像的右(边界)值。令 $K=255$ 使得变换后图像的右值为 255,变换后图像具有 $0\sim 255$ 的带宽。 $T(ch, x, y)$ 为一双变量函数。 $Theta$ 和 $Del-$

ta 称为变换参量, $Theta \in [0, 255]$, $Delta \in [0, 255]$ 。 $Theta$ 确定变换的起点灰度/色度,一般取原图像灰度/色度的左值(最小值),该值对应变换后图像色度的零值。 $Delta$ 决定变换后图像的层次,对于有连续灰度/色度分布的原始图像,变换后图像的谱线数等于 $Delta + 1$, $Delta$ 的初值一般取灰度/色度谱的带宽值。

3 积极的彩色图像质量评价模型

3.1 彩色图像综合质量评价函数

人类视觉可以评价单幅图像质量的好坏。以人类视觉的主观评价结果为基础,根据前述的人类视觉感知彩色图像质量的基本视觉参数,建立评价单幅图像质量的基本评价函数 CAF,其一般表达式如下:

$$CAF = AIE^\alpha \times APCL^\beta \times NNF^\gamma \times AHF^\delta \times ABWF^\lambda. \quad (9)$$

式中,APCL 称为平均物理对比度级(Average Physical Contrast Level),用来描述人类视觉感知和彩色图像客体之间的非线性关系,其定义:

$$APCL = \text{Log}_2(AC) \text{ (bit)}. \quad (10)$$

NNF 称为归一化邻近距离,是定义的一个分段平滑的线性函数 NNF(Normalized Neighborhood Function),用来描述图像的平均亮度 AL 与最佳视觉亮度 127.5 的邻近程度:

$$NNF = f(AL) = 1 - \text{abs}(AL - 127.5)/127.5. \quad (11)$$

当 $AL=127.5$ 时, $NNF=1$,表示图像质量可能最好,即表示的物体在这样的光照条件下,某一成像设备可能获得的最好图像质量,并不是最佳视觉亮度(OVL)接近 127.5 亮度级,或 NNF 接近于 1 就是质量好的图像。

式中 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 和 λ 为待定加权指数。经过大量的实验与主观 IQA 结果的比较,其 $\alpha=\beta=\gamma=\delta=\lambda=1$,即:

$$CAF = AIE \times APCL \times NNF \times AHF \times ABWF. \quad (12)$$

最大值 CAF 对应人类视觉主观认知的最佳图像。

3.2 变换参数对 CAF 的影响

彩色图像经 Zadeh-X 变换后会引引起图像的视觉质量改变,Zadeh-X 变换的 2 个变换参量为 Delta 和 Theta,所以变换后图像的质量也是 Delta 和 Theta 的函数。已经发现,彩色图像的视觉参量 AL、AC、AIE、ABWF 和 AHF 是 Delta 和 Theta 的函数(见表 1,详述从略),所以彩色图像综合质量评价函数 CAF 也是 Delta 和 Theta 的函数。

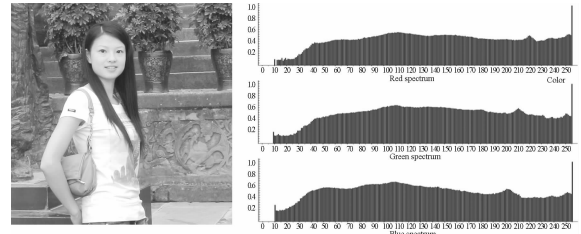
3.2.1 彩色图像视觉质量随 Delta 的变化

给定 Theta,从大到小改变 Delta,发现彩色图像的视觉质量随 Delta 的降低而增加,直达到达到最佳质量,然后视觉质量又随 Delta 降低而降低,即变化后彩色图像的视觉质量随 Delta 的变化有凸型特征。

3.2.2 彩色图像视觉质量随 Theta 的变化

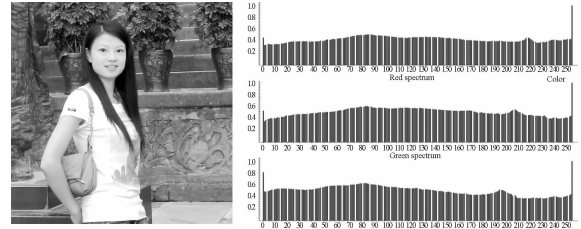
同样,给定 Delta,我们发现,随 Theta 的增加图像的质量变好,当达到某一个 Theta 值,图像质量达到最好,然后随 Theta 值继续的增加图像的质量反而变差。即,彩色图像的视觉质量随 Theta 值的变化也具有凸型特征。

表 1 与图 4 (a)至图 4(c)说明上述现象。图中 Theta 和 Delta 分别为 0/255、40/210 和 100/150,随着 Delta 的减小,彩色图像质量由好变差;随着 Theta 的增加,彩色图像质量由好变差。我们把最好质量图像中的最佳者,称为具有最好质量的彩色图像如图 4 (b)。



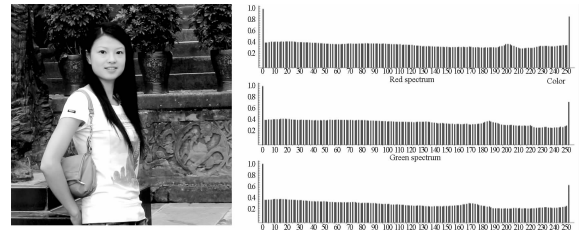
(a)ZYY-0Z255 及 4 级色度谱

(a)ZYY-0Z255 and 4 level chroma spectrum



(b)ZYY-T 40Z210 及 4 级色度谱

(b)ZYY-T 40Z210 and 4 level chroma spectrum



(c)ZYY-T 100Z150 及 4 级色度谱

(c)ZYY-T 100Z150 and 4 level chroma spectrum

图 4 图像随视觉参数 Delta 和 Theta 变化

Fig. 4 Image varies with visual parameters Delta and Theta

表 1 图像随视觉参数 Delta 和 Theta 变化

Tab. 1 Changed images by visual parameters Delta and Theta

名称	变换	AL	AIE	AC	AHF	ABWF	CAF	
图 4 (a)ZYY	0Z255	144.101 2	7.503 1	6.104 1	0.960 9	0.962 2	15.748 8	略亮
图 4(b)ZYY-T	40Z210	126.267 5	7.305 4	7.343 7	0.750 0	1.000 0	17.115 9	最好
图 4 (c)ZYY-T	100Z150	86.470 1	5.873 7	7.624 7	0.371 0	1.000 0	6.886 1	略暗

4 扰动变换的彩色图像质量积极评价

4.1 单幅彩色图像质量评价的扰动变换法

人类视觉可对单幅彩色图像的质量做出评价,如认为图 1(b)的质量差。人类评价依据长

期的学习和积累,机器的评价基于对视觉特征的分解构建的彩色图像综合质量评价函数,如前述的 CAF。对单幅彩色图像质量评价的机器视觉依赖于式(7)的扰动变换。其单幅图像扰动变换流程如图 5 所示,具体说明分析如下。

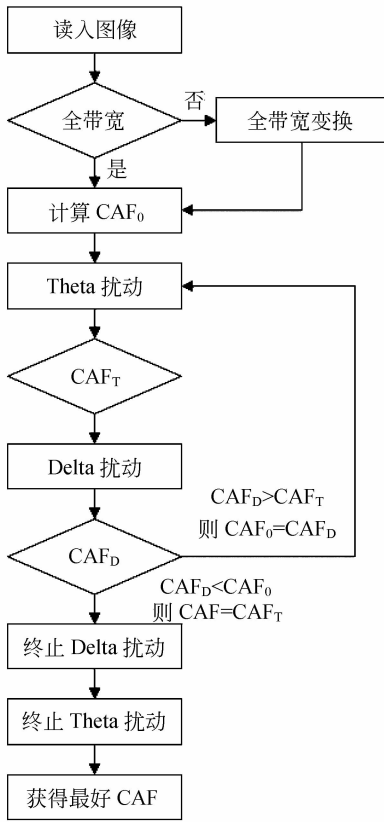


图 5 单幅图像扰动变换流程

Fig. 5 Disturbance transformation of single image

4.1.1 全带宽的变换

当全带宽变换为一初始变换,计算机可以计算出一幅彩色图像的视觉基本参数。首先判断 ABWF 是否为 1,若 $ABWF < 1$,则进行色度谱展宽成全带宽的变换。令 $\theta = \text{Left}$, $\Delta = \text{Right-Left}$,即可完成将任一幅图像的灰度/色度谱展宽成全带宽的变换。若原始图像本身为全带宽,则可略去这一步。

4.1.2 Delta 扰动

在全带宽变换的基础上,计算全带宽图像的 CAF 的 CAF_0 , CAF_0 为原始图像的评价值。首先令 $\theta = \text{Left}$,对 Δ 逐渐减量,完成 Zadeh-X 变换,若变换后图像的 $CAF > CAF_0$,则继续扰动,直至获得 CAF 的极大值,即获得 $\theta = \text{Left}$ 时的最佳质量图像。若变换后图像的 $CAF < CAF_0$,则终止 Δ 扰动。

4.1.3 Theta 扰动

在 Δ 扰动的基础上完成 θ 扰动。对 θ 逐渐增量,完成 Δ 扰动,直至获得 CAF 的最大值,此时的 θ 和 Δ 对应的变换后图像即为最好质量图像。

本文目的就要通过对变换参数 θ 和 Δ 进行扰动,使彩色图像综合评价函数 CAF 达到最大值,从而使彩色图像具有最好质量。

5 实验验证

本文使用 CAF 对 3 类不同色度谱分布的彩色图像进行积极评价,进一步验证本文所提的方法的适用性和广泛性。图 6(a)具有窄带色度谱(谱线只占谱空间的小部分,小于 1/2 宽度)。图 8(a)和图 9(a)是选自美国 TEXAS 大学 Laboratory for Image and Video Engineering(LIVE)图像库^[15]的原始图像 caps 和 churchandcapitol,具有宽带色度谱(谱线占谱空间的大部分,大于 1/2 宽度)和全带色度谱(谱线占据 0~255 的全部空间)。

5.1 窄带谱彩色图像质量评价

原始图像如图 6(a)具有窄带谱,其平均带宽因子 ABWF 为 0.187 5、平均亮度 AL 为 7.296 5(见表 2),亮度过暗。采用不同增强方法:加常数(加 15)、伽马变换($\gamma=1.5$)、全带宽变换、直方图均衡化及本文的扰动变换(OZ85),对如图 6(a)进行处理,其效果如图 6(b)~6(f)所示。由图 6 和表 2 可知,彩色图像综合质量评价函数 CAF 和人类视觉感知图像质量一致。扰动变换后原始图像扩展成了全带谱,ABWF 为 1.000 0(见图 7 和表 2)。经扰动变换后的图像(图 6(f))与图 6(a)~(e)相比,其 CAF 分别增加了 1 861.200 0、517.700 0、3.233 5、0.939 5、0.774 3(单位:100%),扰动变换图像的质量优于其他 4 种增强图像(对应的 CAF 值更大)。

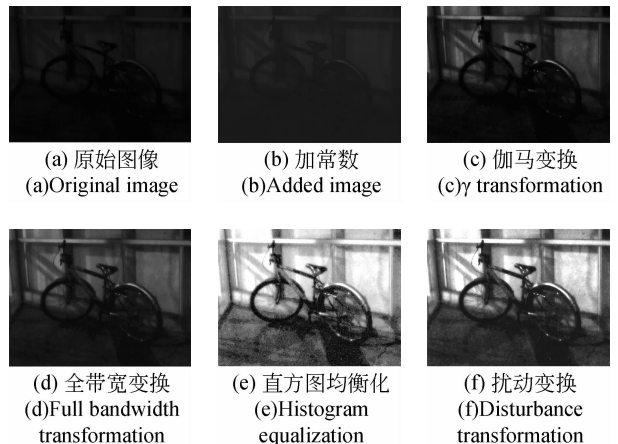


图 6 窄带谱彩色图像质量评价

Fig. 6 Assessment of color image quality with narrow spectrum

表 2 窄带谱彩色图像质量评价结果

Tab. 2 Assessment results of image quality with narrow spectrum

图像	AL	AIE	APCL	AHF	ABWF	CAF
图 6(a)	7.296 5	4.006 3	-0.084 8	0.156 3	0.187 5	-0.000 5
图 6(b)	22.257 0	4.086 1	-0.084 8	0.160 2	0.185 7	-0.001 8
图 6(c)	24.073 4	4.006 3	1.956 2	0.148 5	1.000 0	0.219 7
图 6(d)	39.589	4.086 1	2.360 4	0.160 2	1.000 0	0.479 7
图 6(e)	128.948 9	3.1741	4.133 9	0.040 4	1.000 0	0.524 2
图 6(f)	105.675 5	3.913 5	3.670 4	0.078 1	1.000 0	0.930 1

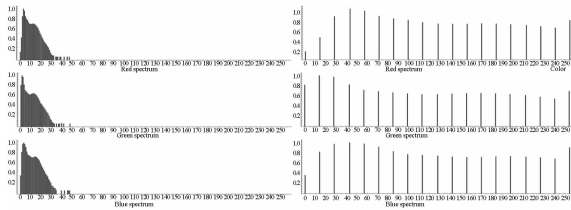


图 7 图 6 (a)和图 6 (f)4 级色度谱

Fig. 7 4 level chroma spectra of Fig. 6 (a) and Fig. 6 (f)

5.2 宽带谱彩色图像质量评价

图 8(a)~8(f)分别为选用 LIVE 图像库 ‘caps’ 原始图像以及不同降质下的图像,每幅图像对应的差分平均主观分数值(Difference Mean Opinion Scores, DMOS)见表 3。由图 8 和表 3 可知,彩色图像综合质量评价函数 CAF 随着 DMOS 增大而减小,符合人类主观视觉感知,且原始图像的质量优于 JPEG、JPEG2000、模糊和快速衰落 4 种降质图像。分析可知,图 8(a)是宽带谱图像,其平均带宽因子 ABWF 为 0.975 9,平均亮度 AL 为 97.919 8(见表 3),亮度略暗,但视觉感知不是最

好质量图像,经过扰动变换(0Z185)后,扩展成了全带谱,ABWF 为 1.000 0(如图 8(f)和表 3)。扰动变换图像图(图 8(f))与(a)~(e)相比,CAF 分别增加了 0.210 3、0.272 6、0.724 7、1.993 5、25.004 9(单位:100%),CAF 值更大,图像的视觉质量得到了改善。

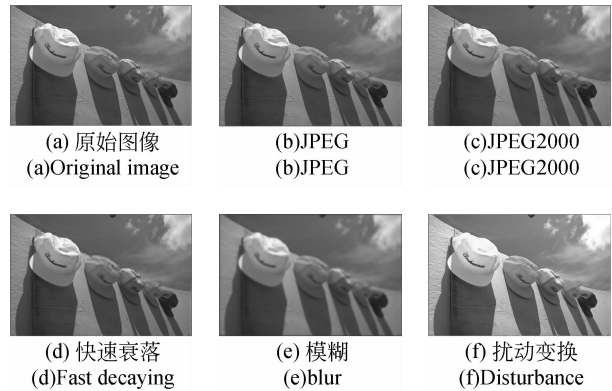


图 8 宽带谱彩色图像质量评价

Fig. 8 Assessment of color image quality with wide spectrum

表 3 宽带谱彩色图像质量评价结果

Tab. 3 Assessment results of color image quality with wide spectrum

图像	图像(a)	图像(b)	图像(c)	图像(d)	图像(e)	图像(f)
DMOS	0	28.307 8	46.584 3	50.708 9	60.833 1	/
AL	97.919 8	97.959 9	97.940 8	97.967 2	97.152	127.475 3
AHF	0.929 1	0.941 8	0.940 6	0.921 3	0.859 1	0.708 8
ABWF	0.975 9	0.957 9	0.983 2	0.931 8	0.856 3	1.000 0
CAF	9.195 5	8.745 5	6.453 1	3.718 0	0.428 0	11.130 1

5.3 全带谱彩色图像质量评价

如图 9(a)中的图像具有全带谱,其平均带宽因子 ABWF 为 1.000、平均亮度 AL 为 133.506 8(见表 4),亮度偏亮。分别对图 9(a)~9(e)进行评价,其结果见表 4,CAF 评价结果与文献[16]

的评价结果一致,说明 CAF 能够客观地判定图像的质量,且符合人类视觉主观评价。同时,对图 9(a)采用扰动变换(8Z247)获得图 9(f),且如表 4 所示其 CAF 值最大,优于上述其他几种彩色图像。

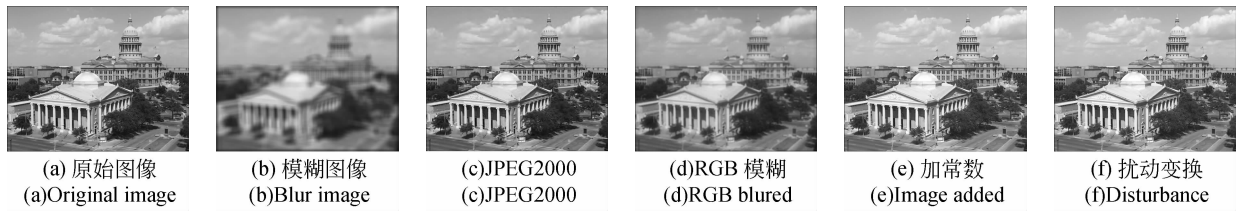


图9 全带谱彩色图像质量评价

Fig. 9 Assessment of color image quality with full spectrum

表4 全带谱彩色图像质量评价结果

Tab. 4 Assessment results of color image quality with full spectrum

名称	图 9(a)	图 9(b)	图 9(c)	图 9(d)	图 9(e)	图 9(f)
AL	133.506 8	131.959 3	133.806 7	132.569 5	148.466 4	129.651 9
ABWF	1.000 0	0.964 8	1.000 0	0.967 8	0.941 4	1.000 0
CAF	23.485 1	4.029 9	22.600 6	11.165 9	18.147 7	23.582 5
本文排序方法	0	4	1	3	2	最好
文献[16]排序方法	/	4	1	3	2	

6 结 论

本文根据人们对彩色图像质量评价要求,研究了人类视觉感知彩色图像质量五参量的量化方法,并建立了以五参量为基础的无参考图像质量评价模型。介绍了扰动变换的工作原理,提出了基于扰动变换的积极的彩色图像质量评价方法。实验中分别对窄带谱、宽带谱和全带谱3种

不同色度谱类型的彩色图像进行了积极评价。实验结果证明:论文所提出的彩色图像综合质量评价方法CAF对不同类型彩色图像及其采用不同处理方法获得的彩色图像进行评价都是可行的,说明该方法具有一定的实用性。通过实验进一步表明,该方法不仅能判定彩色图像质量好坏,还能通过扰动变换改善彩色图像的质量。综上所述论文所提出的彩色图像综合质量评价方法具有一定的适应性和广泛性。

参考文献:

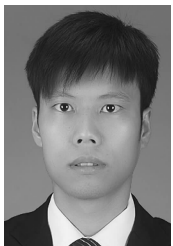
- [1] 胡许明,张登福,南栋,等. 基于人眼视觉特性的图像视觉质量评价方法[J]. 计算机应用,2012, 32(7):1882-1884, 1889.
HU X M, ZHANG D F, NAN D, *et al.*. Method of image visual quality evaluation based on human visual characteristics [J]. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(7): 1882-1884, 1889. (in Chinese)
- [2] NIVEDITTA T, SWAPNA D. A new method for color image quality assessment [J]. *International Journal of Computer Applications*, 2011, 15(2): 10-17.
- [3] ZHANG J, LE T M, ONG S H, *et al.*. No-reference image quality assessment using structural activity [J]. *Signal Processing*, 2011, 91(11): 2575-2588.
- [4] ZHU J Y, WANG N C. Image quality assessment by visual gradient similarity [C]. *Image Processing, Wuhan, P. R. China: IEEE*, 2012: 919-933.
- [5] CUI X N, SHI Z Y, LIN J A, *et al.*. The research of image quality assessment methods [J]. *Physics Procedia*, 2012, 25: 485-491.
- [6] 陈志刚,尹福昌. 基于Contourlet变换的遥感图像增强算法[J]. 光学精密工程,2008, 16(10):2030-2037.
CHEN ZH G, YIN F CH. Enhancement of remote sensing image based on contourlet transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10): 2030-2037. (in Chinese)
- [7] OUNI S, ZAGROUBA E, CHAMBAH M, *et al.*. No-reference image semantic quality approach using neural network [C]. *Signal Processing and Information Technology, Ariana, P. R. Tunisia: IS-SPIT*, 2011: 106-113.
- [8] 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.
- 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)
- [9] MITTAL A, MURALIDHAR G S, GHOSH J, *et al.*. Blind image quality assessment without human training using latent quality factors[C]. *Signal Processing Letters, TX, USA: IEEE*, 2012: 75-78.
- [10] LIN X Y, TIAN X, CHEN Y W. No-reference video quality assessment based on region of interest [C]. *Consumer Electronics, Communications and Networks, Hangzhou, P. R. China: CEC-Net*, 2012: 1924-1927.
- [11] 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)
- [12] 蒋刚毅, 黄大江, 王旭, 等. 图像质量评价方法研究进展[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 219-225.
- JIANG G Y, HUANG D J, WANG X, *et al.*. Overview on Image quality assessment method [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*. 2010, 32(1): 219-225.
- [13] 谢正祥, 王志芳, 熊兴良, 等. 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.
- XIE ZH X, WANG ZH F, XIONG X L, *et al.*. Color image quality assessment based on noise model of human vision perception and color image quality optimization [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(10): 1454-1464. (in Chinese)
- [14] 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): 405-407, 426.
- XIE ZH X, WANG ZH F, LIU Y H, *et al.*. The theory of gradually flattening gray spectrum [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2006, 23(6): 405-407, 426. (in Chinese)
- [15] SHEIKH H, WANG Z, CORMACK L, *et al.*. LIVE image quality assessment database, release2 [EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>, (2008-03-21) [2008-03-27].
- [16] WANG Y Q, ZHU M. Color image quality assessment based on image quaternion representation for the local variance distribution of RGB channels [C]. *Image and Signal Processing, Tianjin, P. R. China: CISP*, 2009: 1-6.

作者简介:



陈勇(1963—),男,四川成都人,博士,教授,1995年、2003年于重庆大学分别获得硕士、博士学位,主要研究方向为视频图像处理及应用。E-mail: chen Yong@cqupt.edu.cn



李愿(1986—),男,四川南充人,硕士研究生,2010年于攀枝花学院获得学士学位,主要研究方向为视频图像处理及应用。E-mail: liyuanzengyan@163.com



吕霞付(1966—),男,安徽六安人,博士,教授,1995年、1999年于重庆大学分别获得硕士、博士学位,主要从事机器视觉及智能仪器仪表方面的研究。E-mail: lvxf@cqupt.edu.cn



谢正祥(1938—),男,四川郫县人,教授,博士生导师,1961年毕业于西南师范学院(现西南大学)物理系,主要研究方向为生物医学信号和图像处理。E-mail: bmezxxie@163.com



冯鹏(1987—),男,山东东营人,硕士研究生,2011年于西南大学育才学院获得学士学位,主要研究方向为视频图像处理及应用。E-mail: fengpengrual@163.com