

彩色图像质量自适应最佳化方法

郑 凡¹, 谢正祥², 吕霞付¹, 陈 勇¹

(1 重庆邮电大学 自动化学院, 重庆 400065; 2 重庆医科大学 生物医学工程学院, 重庆 400016)

摘 要: 光照度过低或过高, 都会对图像的质量产生很大的影响. 针对该问题, 提出了一种自适应求取彩色图像质量最佳化的方法. 该方法通过人类视觉感知图像质量的四参数(信息熵、平均灰度、平均对比度、层次因子)对彩色图像质量评价, 继而建立了基于 Zadeh-X 变换的最佳变换参数自动寻优模型, 最后实现了自适应于不同光照条件下的彩色图像的最佳化效果. 实验表明, 处理后的彩色图像的质量得到明显的改善, 具有更好的视觉效果, 同时明亮区域或黑暗区域的可视细节显著提高, 实现了彩色图像质量最佳化.

关键词: 光照度; 彩色图像质量评价; Zadeh-X 变换; 彩色图像增强; 自动寻优

中图分类号: TP317.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)06-0131-06

Adaptive Optimization Method of Color Image Quality

ZHENG Fan¹, XIE Zheng-xiang², LV Xia-fu¹, CHEN Yong¹

(1 School of Automation, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2 School of Biomedical Engineering, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

Abstract: Too low or too high illuminance directly impacts on the image quality. Concerning this issue, an improved adaptive optimization method of color image quality was put forward. This method applied to image quality assessment based on four important parameters of the human visual perception about the image quality, including information entropy, average gray level, average contrast and the hierarchy factor. Then, the best transform parameter automatic optimization model had been established built on Zadeh-X transform and the optimal effect of color image was realized in different light conditions finally. The experiment results show that the quality of the processed images is significantly improved and presents better visual effect. Meanwhile, the visible detail in bright and dark region is increased remarkably and the image quality optimization is realized.

Key words: intensity of illumination; color image quality assessment; Zadeh-X transformation; color image enhancement; automatic optimization

1 引言

目前, 数字图像处理的理论和方法都是针对灰度图像提出的. 通常情况下, 灰度图像增强技术不能直接应用于彩色图像的, 因此对彩色信息的特殊处理是必要的. Buzuloiu 等人^[1]采纳邻域直方图均衡化的方法增强彩色图像, 但彩色图像的细节部分有损失, 对比度的提高是以损失图像的色度均值为代价的. Li 等人^[2]提出了 AINDANE 算法, 通过全局

对比度增加提高图像的整体质量, 但对于对比度不高的彩色图像就失去了优势, 具有很大的局限性. Wang 等人^[3]采用亮度调整、对比度校正、色彩增强等方法解决了曝光不足和色彩偏色问题, 但对于曝光过度的图像无能为力. Clement 等人^[4]研究出一种基于 DCT 压缩域的图像增强法, 由于只提高彩色图像的暗区域和亮区域, 图像整体视觉效果并不理想. 李学明^[5]在多尺度 Retinex 彩色图像恢复 (MSRCR) 基础上改了进了 MSRCR, 在修正偏色、

还原物体色彩方面有优势,它增强图像的高频成分,但大部分低频成分被滤掉,导致图像内容信息丢失,另外还存在计算复杂度过高,耗时巨大的问题.另外,信息保真性问题,很少有文献讨论.结果是否最佳的问题,很少有客观定量指标判定.本文从人类视觉感知图像质量模型出发,将人类视觉特征与图像增强相结合,对不同光照条件下的彩色图像采用参数自动寻优的 Zadeh-X 变换产生最佳质量的彩色图像.处理后彩色图像达到了适宜观察的对比度,图像中的信息易于被人眼视觉所识别.

2 彩色图像最佳化的理论基础

2.1 Zadeh-X 变换

光照条件不理想下的彩色图像,由于图像对比度低而使得图像很难被人眼所识别或视觉效果不佳,可采用 Zadeh-X 变换对图像进行增强. Zadeh-X 变换^[6]为

$$T(x, y) = K \frac{O(x, y) - \text{Theta}}{\text{Delta}} + \begin{cases} \text{Theta} = 0, & AG \leq 127.5 \\ \text{Theta} = 255, & AG > 127.5 \end{cases} \quad (1)$$

约束条件:

$$T(x, y) = \begin{cases} 255, & T(x, y) > 255 \\ 0, & T(x, y) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $O(x, y)$ 和 $T(x, y)$ 表示原始图像和目标图像在像素坐标 (x, y) 点的灰度/色度值. $\text{Theta} \in [0, 255]$ 和 $\text{Delta} \in [1, 255]$ 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 $K = 255$. $\text{Theta} = 0, \text{Delta} = 255$ 的变换结果为原图像,可用以计算原图像的视觉参量.对于彩色图像,分别对 RGB 三个颜色分量同时进行上述变换.

2.2 标准化变换

采用 Zadeh-X 变换对图像进行增强的过程中,如何确定变换参数,使采用 Zadeh-X 变换后的图像达到最佳化,是一个既具有理论价值又具有实用价值的重要问题.

研究发现,灰度/色度谱^[7]较宽的图像,具有较好的视觉质量.由此提出了图像的标准化变换.

对于 24 位的彩色图像,每一个颜色分量色度谱分别有 0~255 共 256 级,因此最大谱宽度为 256.谱带的宽度不同,图像的质量明显不同.我们定义一个

谱带宽度因子 BWF(Band Width Factor) 描述这种视觉特征. BWF 定义为

$$BWF = \frac{\text{Right} - \text{Left} + 1}{256} \quad (3)$$

式中, Right 与 Left 分别表示色度谱的右边界值(最大亮度值)和左边界值(最小亮度值).具有带宽 256(色度级)的图像称为标准化图像.

针对图像色度带宽越大,图像质量越好的特点,增大图像的色度带宽.在 Zadeh-X 变换中,我们把 Theta 等于图像色度谱的左边界值, Delta 等于图像色度谱带宽称为图像的标准化变换.公式如下:

$$T(x, y) = K \frac{O(x, y) - \text{Left}}{\text{Right} - \text{Left}} \quad (4)$$

式中, K 值取 255, Left 和 Right 分别表示图像色度谱的左边界值和右边界值.标准化变换将原始图像的色度带宽提高到 256 个色度级,对图像本身也起到了一定增强效果,图像质量得到一定改善.为 Zadeh-X 变换提供了一个全色度谱带宽,完善了 Zadeh-X 变换.标准化变换的目的就是使 $BWF = 1$,

为图像质量最佳化建立了统一的计算基础,即根据标准化图像,建立图像质量最佳化模型.

3 人类视觉感知图像质量模型

人眼作为一种较理想的图像传感器,通过此传感器通道,能接受大部分外界信息,但也受时间、空间和灵敏度等方面的限制.现代光学与光电成像技术的发展为扩展人眼视觉特性开辟了技术途径,人眼视觉系统特性是图像显示、处理、理解等技术的重要依据^[8].由于图像的最终接受者是人,所以在评价图像质量时应考虑人类视觉系统 HVS(human vision system) 特性.把一些视觉特性进行定量的物理描述,以便进行客观的测量.在不考虑噪声的条件下,根据科学实验筛选人类视觉感知图像质量的客观评价四参数体系.文献[9]中详细介绍了平均灰度 AG 和总的信息熵 InEnc 二参数的物理物理特征量及含义.基于 AG, InEnc 、物理对比度级 PACL_C 和层次因子 HF_C ,建立了彩色图像质量评价函数.

3.1 图像对比度 AC (average contrast)

对比度是色度场的梯度,其方向是纹理的法线方向.

$$\vec{C}(x, y) = \frac{\partial L(x, y)}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial L(x, y)}{\partial y} \vec{j} \quad (5)$$

一幅图像的对比度,用平均对比度 AC 量度:

$$AC = \frac{1}{(M-1) * (N-1)} \sum_{y=0}^{N-2} \sum_{x=0}^{M-2} \| \vec{C}_c(x, y) \| \quad (6)$$

式中, $L(x, y)$ 为像素点 (x, y) 的亮度, $\vec{C}_c(x, y)$ 为像素点 (x, y) 的色度梯度. 没有对比度就没有图像的结构: 纹理和边沿.

一副彩色图像用式(6)分别计算 RGB 三分量的平均对比度, 彩色图像总的平均对比度 AC_c 为

$$AC_c = \frac{\sqrt{AC_R^2 + AC_G^2 + AC_B^2}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

人类视觉感知和客体之间的关系是非线性的. 我们定义平均物理对比度级 PACL (physical average contrast level) 描述它们之间的关系:

$$PACL = \log_2(AC_c) \quad (8)$$

3.2 层次因子 HF (hierarchy factor)

人类视觉只能感觉图像是否柔和, 这间接反映色度层次. 图像色度层次用图像色度谱的谱线数表示. 对于 24 位彩色图像系统, 每个颜色分量有 256 色度层次. 图像层次因子用百分图像层次 (谱线数) 表示. 假如一幅图像有 n 条谱线, 图像层次因子 HF 定义为

$$HF = \frac{n}{256} \quad (9)$$

一副彩色图像用式(9)分别计算 RGB 三分量的层次因子, 彩色图像总的平均层次因子 HF_c 为

$$HF_c = \frac{HF_R + HF_G + HF_B}{3} \quad (10)$$

3.3 彩色图像质量评价函数

人类视觉可评价一幅图像的好或差. 以人类视觉的主观评价结果为基础, 根据上述的人类视觉感知图像质量的客观评价参数, 不考虑噪声时, 文献[9]中叙述了综合最佳质量图像评价函数 CAF (Comprehensive Assessment Function of the optimal quality image). 考虑到 PACL 和 HF_c , 改进的 CAF 为

$$CAF = InEn_c * (\log_2 AC_c)^\beta * NGD^\gamma * HF_c^\delta \quad (11)$$

式中, $InEn_c$ 为总的信息熵, AC_c 为总的平均对比度, HF_c 为总的平均层次因子, NGD 称为归一化色度差. α, β, γ 和 δ 为待定加权指数. 函数 CAF 的权值 α, β, γ 和 δ 影响了图像质量四参数的综合评价结果, 需要由心理物理实验 (主观评价) 验证. 通过主观感知比较不同权值, 基于统计性实验测定结果为 $\alpha = \beta = \gamma = 1, \delta = 0.25$, 即:

$$CAF = InEn_c * PACL * NGD * HF_c^{0.25} \quad (12)$$

CAF 最大值所对应的图像为最佳质量图像, 也是判断图像质量的定量依据.

4 彩色图像自适应最佳化

Zadeh-X 变换是双变量函数, 变换参数是 Δ 和 Θ , 所以变换后彩色图像的质量也是 Δ 和 Θ 函数.

4.1 图像视觉质量随 Δ 的变化

一幅彩色图像先标准化变换再进行 Zadeh-X 变换后, 对于任意给定 Θ , 当 Δ 从 1 逐渐增加时, 图像视觉质量逐渐变好, 直至达到最好质量, 然后又逐渐变差. 即变化后图像的视觉质量随 Δ 的变化有凸型特征, 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. 此时, CAF 所对应的 Δ 值为 Zadeh-X 的最佳变换参数.

4.2 图像视觉质量随 Θ 的变化

对于每一个 Θ , 都可获得一幅最佳视觉质量图像. 一幅彩色图像先标准化变换再进行 Zadeh-X 变换, 变换后图像的视觉质量随 Θ 的变化也有凸型特征, CAF 可取得最大值. 我们把这些最佳质量图像中的最好者, 称为最好质量图像. 对于标准化后的较暗 ($AG \leq 127.5$) 图像, 取 $\Theta = 0$ 时的最佳质量图像即为最好质量图像. 对于标准化后的过亮 ($AG > 127.5$) 图像, 取 $\Theta = 255$ 时的最佳质量图像即为最好质量图像. 我们的图像质量自适应最佳化理论都是建立在标准化图像的基础上.

4.3 建立最佳变换模型

一般的图像都有全带宽的色度谱 (标准化变换后色度谱保持不变). 如果有图像色度谱不是全带宽, 用图像的标准化变换使之具有全带宽色度谱, 求出灰度的平均值 AG_0 , 其次对彩色图像 RGB 三通道同时进行 Zadeh-X 变换, 继而计算最佳质量图像的 CAF 值, 最后求出对应的最佳变换参数 Δ 的值. 大量实验研究发现, 最佳化变换参数 Δ 与标准化图像的平均灰度 AG_0 有一定的函数关系, 获取两者间的模型, 就能实现彩色图像处理自适应最佳化. 自适应最佳化模型的建立过程如图 1 所示. 选取 AG_0 小于 127.5 彩色图像图像 25 幅. 通过如图 1 的方法, 建立最佳变换参数 Δ 的模型. 根据数理统计中回归分析法绘制的曲线如图 2 所示, 横坐标为标准化后彩色图像的平均灰度 AG_0 , 纵坐标为最佳变换参数 Δ . 图 2 中的方形点为实验点, 黑色曲线为拟合曲线, 拟合优度 R^2 为 0.999 45, 拟合标准差 (Standard deviation) 为

2. 198 1, 函数呈指数函数特性.

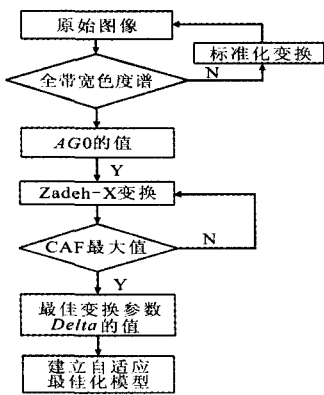


图 1 建立自适应最佳化模型

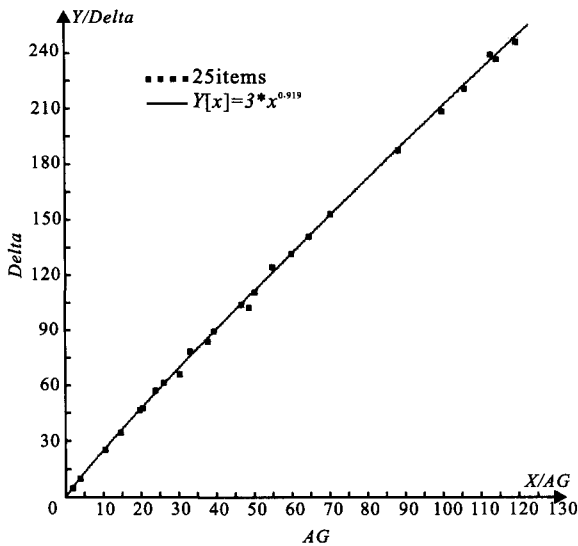


图 2 Delta 与 AG0 的拟合函数

拟合的自适应最佳化函数为

$$Y(x) = 3 * x^{0.919} \tag{13}$$

这是一个统计结果. 类似于 AG0 小于 127.5 的彩色图像自适应最佳化的建立过程, 当 AG0 大于 127.5 时, 自适应最佳化函数为

$$Y(x) = 3 * (255 - x)^{0.919} \tag{14}$$

综合可得自适应最佳化函数如下函数为

$$Y(x) = \begin{cases} 3 * x^{0.919}, & AG0 \leq 127.5 \\ 3 * (255 - x)^{0.919}, & AG0 > 127.5 \end{cases} \tag{15}$$

称式(15)为最佳变换函数. 式(13)~(15)中, x 为原始彩色图像标准化变换后的平均灰度 AG0, $Y(x)$ 为最佳变换参数 Δ . 建立自适应最佳化模型后, 对彩色图像 RGB 三通道同时用同一 Δ 参数进行 Zadeh-X 变换, 这样可以保证三通道颜色关系不变(经历相同参数的变化), 以自适应地产生最

佳质量的彩色图像.

5 实验结果与分析

图像质量评价的金标准仍然是人类视觉的主观评价. 为了验证对图像进行标准化变换的必要性, 利用灰度谱分级平坦化理论^[7] 分析图 3(b) 和图 3(d) 的色度谱(自上而下依次 RGB 三分量 4 阶色度谱), 图 3(b) 的色度谱集中在相对狭窄的色度范围内, 而图 3(d) 的色度谱带宽提高到 256. 从图 3(a) 和图 3(c) 中看出, 图像的视觉效果改善, 提高了图像的对比度, 使得图像层次更加分明, 因此, 如果一幅图像没有全带宽的色度谱, 对其进行标准变换很有意义.

为了测试本文算法的性能, 对比分析图像取不同 Δ 值时的变换结果, 增强的效果如图 4 和图 5 所示. 通过客观评价参数进行比较, 验证本文方法有效性. 图 4(b) 的 0Z3 意为 $\theta = 0, \Delta = 3$ 的 Zadeh-X 变换.

在图 4 中, 图 4(a) 为原始图像. 主观上图 4(b)~图 4(d) 这三幅图像都提高了亮度, 能够看清楚原图 4(a) 中暗区域的车牌, 但图 4(d) 明显好于图 4(b) 和图 4(c). 结合表 1 中的参数, 图 4(b) 的亮度过高, 图像偏白, 图像不够柔和, 边缘模糊. 图 4(c) 的亮度不足, 图像的细节有所缺失. 图 4(d) 为本文所提方法增强后的效果, 虽然图 4(a) 的 HFc 比较大, 但由于人眼对比度分辨率的限制, 很难识别图像中的有用信息. 以信息熵和层次因子换取整体的亮度和对比度是合理的. 图 4(d) 为图 4(a) 的最佳质量图像. 比较表 1 中图 4(a)~图 4(d) 中的 CAF, 图 4(d) 的 CAF 最大.

表 1 算法性能评价参数分析

图像	InEnc	PACL	AG	HF _c	CAF
图 4 (a)	2.77	0.02	3.6	0.56	0.002
图 4 (b)	1.95	5.11	166.95	0.02	2.57
图 4 (c)	2.75	1.7	12.78	0.27	0.34
图 4 (d)	2.54	4.66	104.10	0.04	4.18
图 5 (a)	5.86	1.64	216.94	0.4	0.91
图 5 (b)	5.86	2.5	185.77	0.4	4.58
图 5 (c)	3.50	3.51	56.18	0.16	3.43
图 5 (d)	5.81	3.37	127.49	0.3	14.52

在图 5 中, 图 5(a) 为原始图像, 图 5(b) 相对于原图有所改善. 图 5(c) 中, 亮度过低, 海水隐藏, 细节丢失严重. 图 5(d) 为图 5(a) 的最佳质量图像, 视觉效果最好. 类似于图 4, 结合表 1 中的参数, 图 5

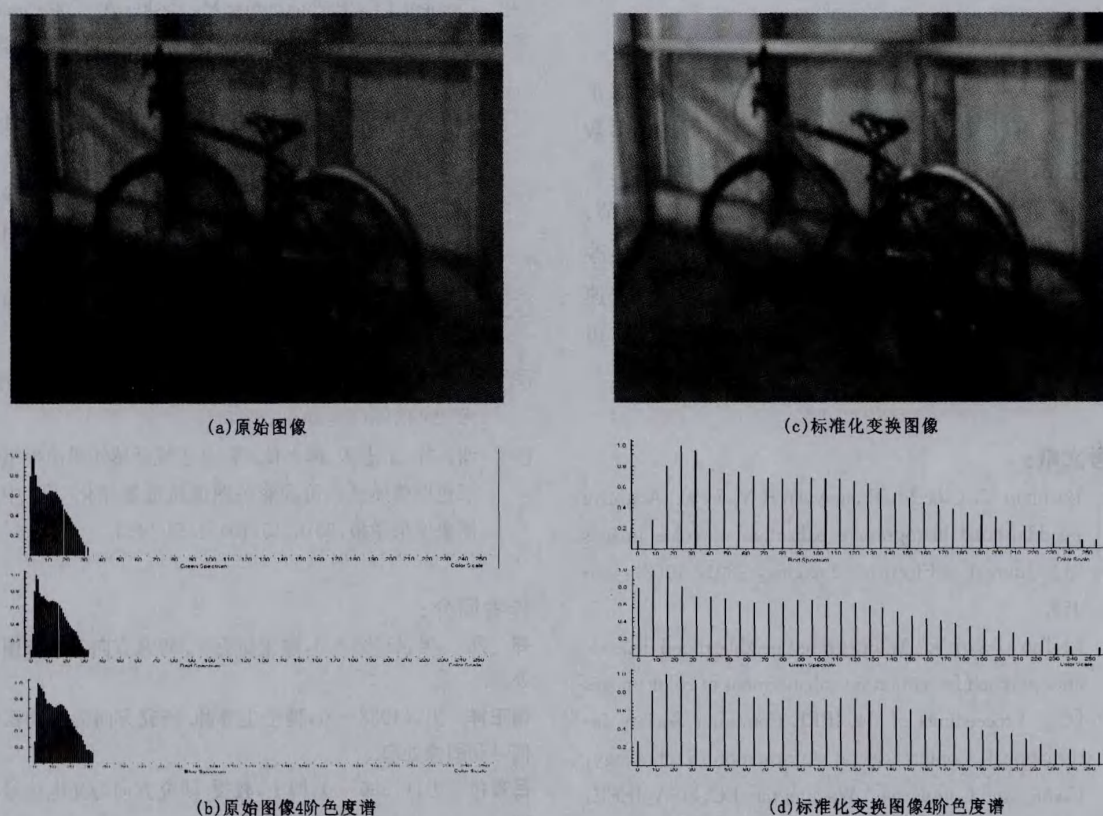


图 3 标准化变换及色度谱图

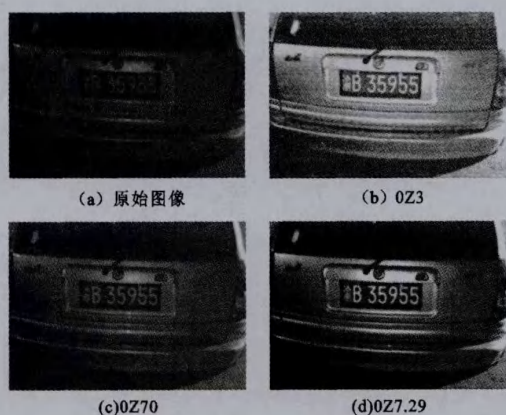


图 4 不同 Delta 值的图像变换结果(暗图像)

(d) 的 CAF 值最大,也就是说,图 5(d) 的图像质量优于图 5(b) 和图 5(c)。

由于不同的 Delta 对客观评价的四参数都有影响,如果 Delta 取值不当,将对图像的质量产生很大影响,增强后图像过亮或过暗,图像质量不佳。采用本文方法所讲的最佳变换模型,快速的求出 Delta 的值,进行 Zadeh-X 变换得到质量最佳化的图像,不仅增强效果显著,图像的色彩保持较好,且图像的

图 5 不同 Delta 值的变换效果(亮图像)
质量大幅提升。

6 结束语

根据人类视觉特性,在不同光照条件下,提供了一种对标准化图像 RGB 三分量用同一 Delta 参数进行 Zadeh-X 变换来增强图像的方法. 实验结果表明,增强了彩色图像的对比度,丰富了图像的细节,获取了更多的有用信息,彩色图像质量得到明显改善. 采用基于图像质量评价的自动寻优方法,可快速的求出 Delta 的值来实现图像的增强,算法简单,可在视频监控系统中应用.

参考文献:

- [1] Buzuloiu V, Ciuc M, Rangayyan R M, et al. Adaptive neighborhood histogram equalization of color images [J]. Journal of Electronic Imaging, 2001, 10(2):445-459.
- [2] Li Tao, Asari V. An integrated neighborhood dependent approach for nonlinear enhancement of color images [C]//Proceedings of the IEEE Computer Society International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Washington, DC, USA: IEEE, 2004:138-139.
- [3] Wang Yanfang, Luo Yupin. Adaptive color contrast enhancement for digital images[J]. Optical Engineering, 2011,50(11):117006-117006.
- [4] Clement J C, Parbukunmar M, Basker A. Color image enhancement in compressed DCT domain[J]. ICGST GVIP, 2010,10(1): 31-38.
- [5] 李学明. 基于 Retinex 理论的图像增强算法[J]. 计算机应用研究, 2005,22(2):235-237.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 周燕,金伟其. 人眼视觉的传递特性及模型[J]. 光学技术, 2002,28(1):57-59,62.
- [9] 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.

作者简介:

郑凡 男, (1983—), 硕士研究生. 研究方向为视频图像处理.

谢正祥 男, (1938—), 博士生导师. 研究方向为生物医学信号和图像处理.

吕霞付 男, (1966—), 博士, 教授. 研究方向为光电信号处理.

陈勇 男, (1963—), 博士, 教授. 研究方向为视频图像处理及应用.