

文章编号:1007-2780(2018)12-1019-07

基于 S 曲线全局动态调光的改进算法

童 正^{1,3}, 吴 磊^{1,3}, 赵 晨^{2,3}, 吕国强^{3*}

(1.合肥工业大学 电子科学与应用物理学院, 安徽 合肥 230009;

2.合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009;

3.合肥工业大学 特种显示技术国家工程实验室 现代显示技术省部共建国家重点实验室
光电技术研究院, 安徽 合肥 230009)

摘要: S 曲线全局动态调光算法可以降低 LED 液晶显示器的功耗, 同时能够提高显示图像的静态对比度, 但该算法会造成部分图像色彩失真和细节丢失。针对这一问题, 本文提出一种图像细节层分离与视觉显著性理论相结合的 S 曲线改进算法。首先, 将原始图像转换至 HSV 色彩空间进行亮度和色度分离; 然后, 在图像亮度分量上采用双边滤波得到图像的基础层与细节层, 基础层采用 S 曲线进行动态范围拉伸, 实现像素补偿, 细节层则运用视觉显著性理论进行分区与权值增强, 弥补由像素补偿带来的细节损失; 最后, 将处理后的各层图像转换至 RGB 空间显示。将本文算法的仿真结果与原 S 曲线算法的结果进行对比。结果显示, 本文算法在维持原算法功耗降低和静态对比度提升水平不变的基础上, 解决了原算法在部分图像中出现的色彩失真和细节丢失问题, 提升了图像的视觉显示效果, 同时本文算法的仿真结果具有更大的信息熵和平均梯度。

关键词: 全局调光; 液晶显示; 视觉显著性; 对比度

中图分类号: TP391; TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183312.1019

Improved algorithm based on S-curve global dynamic dimming

TONG Zheng^{1,3}, WU Lei^{1,3}, ZHAO Chen^{2,3}, LV Guo-qiang^{3*}(1. School of Electronic Science & Applied Physics, Hefei University of Technology,
Hefei 230009 China;2. School of Instrument Science & Opto-electronics Engineering,
Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;3. National Engineering Laboratory of Special Display Technology,
National Key Laboratory of Advanced Display Technology,
Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology,
Hefei 230009, China)

Abstract: The S-curve global dynamic dimming algorithm can reduce the power consumption of the LED liquid crystal display, and at the same time improve the static contrast of the displayed image, but the

收稿日期: 2018-07-05; **修订日期:** 2018-09-07.

基金项目: 安徽省科技重大专项 (No.17030901003)

Supported by Anhui Province Science and Technology Major Project (No.17030901003)

* 通信联系人, E-mail: guoqianglv@hfut.edu.cn

algorithm will cause partial image color distortion and detail loss. To solve this problem, this paper proposes an improved S-curve algorithm combining image detail layer separation and visual saliency theory. Firstly, the original image is converted to the HSV color space for luminance and chrominance separation; then, the base layer and the detail layer of the image are obtained by bilateral filtering on the image luminance component, and the base layer is subjected to dynamic range stretching using the S curve to realize pixel compensation. The detail layer uses the visual saliency theory to perform partitioning and weight enhancement to compensate for the loss of detail caused by pixel compensation. Finally, the processed layers are converted to RGB space display. The simulation results of the algorithm are compared with the results of the original S-curve algorithm. The results show that the proposed algorithm solves the problem of color distortion and detail loss in some images based on the original algorithm's power consumption reduction and static contrast enhancement level, and improves the visual display effect of the image. The simulation results of the algorithm have greater information entropy and average gradient.

Key words: global dimming; liquid crystal display; visual saliency; contrast

1 引言

液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)是一种非自主发光显示器件,需要搭配背光模组才能实现显示功能^[1]。液晶自身原理性的漏光问题会导致低亮度区域的光泄露更加明显,从而使图像整体对比度下降,影响显示效果。同时,背光源占据着液晶显示器大量的功耗比,由此便产生了动态调光技术。动态调光技术即根据图像源的内容动态地改变背光亮度,再通过像素补偿算法合理地降低背光后的图像进行像素补偿,以实现降低功耗的同时提升显示图像的静态对比度。动态调光技术根据背光模组的控制方式主要分为全局动态调光和区域动态调光两种。全局调光技术即根据图像内容整体调整背光亮度。区域调光技术对背光模组进行分区,独立地根据每个区域的图像内容调整相应区域内的背光亮度。相比之下,区域调光算法虽然有更好的节能和对比度提升效果,但是存在成本高,硬件控制困难和算法结构复杂等问题^[2]。因此,我们将目光聚焦于全局调光算法。

在背光亮度确定方面,现有的全局调光算法都可以很好地根据图像内容匹配一个合理的背光值。但其像素补偿方式多种多样,大多采用直方图调整或线性补偿^[3-6],这种补偿方式会产生像素溢出,且静态对比度无法有效提升。一种基于 S 曲线的全局动态调光算法^[7-9]采用非

线性补偿的方式,可以有效地在降低液晶显示器功耗的同时提升显示图像的静态对比度,但是会造成部分图像色彩失真和细节信息丢失。

针对这一问题,本文在原 S 曲线全局动态调光算法的基础上提出一种基于细节层分离和视觉显著性的改进算法。首先将输入图像进行亮度和色度分离,只对亮度分量进行强度变换,而后通过双边滤波将亮度分量分解为基础层和细节层,对基础层采用 S 曲线调光算法进行像素补偿,同时对细节层基于视觉显著性进行权值增强。最后,将各层合并至 RGB 空间显示,以解决原算法出现的色彩失真和细节丢失问题,并进一步优化视觉效果。

2 S 曲线全局动态调光算法

亮度是指发光面在指定方向上的发光强度与发光面在垂直于所取方向的平面上的投影之比^[10],对于 LCD 显示的图像来说,眼睛所感受到的亮度由背光强度和液晶屏透射率两个参数决定。每个像素的亮度可以表示为:

$$l = t(x)B = t(x)B_{\max}b, \quad (1)$$

其中: l 是人眼感知到的亮度, $B_{\max}$ 表示最大背光亮度, $t(x)$ 是透射率, b 表示背光因子。

因此, S 曲线全局动态调光算法主要包括两个部分,背光亮度确定和 S 型曲线的像素补偿。

2.1 背光亮度确定

根据输入图像像素灰度的平均值、最大值与平均值差来确定背光亮度,如下:

$$\begin{cases} K_{\text{BLU}} = (P_{\text{avg}} + 0.5 \times (P_{\text{diff}} + \frac{P_{\text{diff}}}{255})) / 255, \\ P_{\text{diff}} = P_{\text{max}} - P_{\text{avg}} \end{cases} \quad (2)$$

其中: K_{BLU} 为最终的背光亮度, P_{max} 为统计画面中像素的最大灰度值, P_{avg} 为所有像素的平均灰度值。

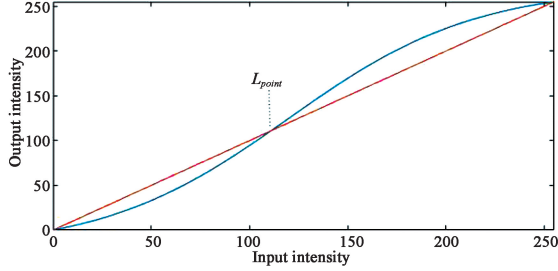


图 1 S 曲线

Fig.1 S-curve

2.2 S 曲线像素补偿

S 曲线如图 1 所示,通过 S 曲线对图像动态范围扩展,使高亮度的像素更亮,低亮度的像素更暗,以此实现像素补偿的同时有效提升静态对比度,并避免像素溢出。其公式如下:

$$y = \frac{255}{1 + e^{a(L_{\text{point}} - x)}}, \quad (3)$$

$$L_{\text{point}} = \frac{L_{25} + L_{50}}{3}, \quad (4)$$

式中: a 为 S 曲线的曲率参数,用以调整曲线的曲率来控制输出图像整体动态范围以实现像素补偿。 L_{25} 是灰度直方图累加到像素点总数 25% 处对应的值,同理 L_{50} 是累加到像素点总数 50% 处对应的灰度值, L_{point} 是 S 曲线的拐点,以决定像素调节的范围。

而后,根据 S 曲线得到点 i 处的像素补偿因子 $K(i)$ 作用于红绿蓝子像素 $(R, G, B)_{(i)}$ 确定最终像素输出值 $R', G', B'_{(i)}$ 。

$$\begin{cases} K(i) = \frac{y(i)}{x(i)} \\ (R', G', B')_{(i)} = (R, G, B)_{(i)} \cdot K(i) \end{cases} \quad (5)$$

3 本文的改进算法

为实现预期效果,本文对 S 曲线全局调光算法的像素补偿方式提出改进算法,主要可分为 4 个部分:(1)色度亮度分离;(2)细节层分

离与基础层像素补偿;(3)显著性图获取;(4)细节层显著性权值增强。最终将各层合并获得最终输出图像,图 2 所示为本文改进算法的整体框架。

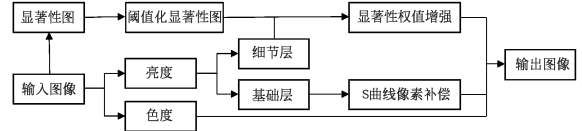


图 2 本文方法的整体框架

Fig.2 Entire framework of the proposed method

3.1 色度亮度分离

对彩色图像进行强度变换的同时需要考虑到对其色彩信息的改变。由此,可以预先将输入图像转换至 HSV 颜色模型进行处理。HSV 颜色模型中,色调(H)和饱和度(S)表示颜色内容,而值(V)则表示亮度强度。在利用 HSV 颜色模型进行彩色图像强度变换时,可以将原始图像的色差和色度信息解耦,以保持颜色分布^[11]。本文算法处理时对输入图像保留色调(H)和饱和度(S),只将强度变换应用于亮度分量(V)上。

3.2 细节层分离与基础层像素补偿

为防止在扩展动态范围进行像素补偿时细节信息的丢失,本文算法使用双边滤波将输入图像亮度分离为基础层(V_b)和细节层(V_d)^[12]。双边滤波定义如下^[13]:

$$I_D(i, j) = \frac{\sum_{k, l} I(k, l) \omega(i, j, k, l)}{\sum_{k, l} \omega(i, j, k, l)}, \quad (6)$$

$$d(i, j, k, l) = e^{-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2}}, \quad (7)$$

$$r(i, j, k, l) = e^{-\frac{\|I(i, j) - I(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2}}, \quad (8)$$

$$\omega(i, j, k, l) = d(i, j, k, l) \cdot r(i, j, k, l). \quad (9)$$

通过设置平滑参数 σ_d (细节权重) 和 σ_r (边缘权重) 的值来调整细节层所含的细节信息和边缘信息。为了准确提取细节层信息,我们进行了大量仿真测试,最终将 $[\sigma_d, \sigma_r]$ 设置为 $[5, 0.1]$ 。

基础层和细节层分离后,利用 S 型曲线对基础层进行动态范围拉伸以实现像素补偿和静态对比度提升,即:

$$V'_b(i) = V_b(i) \cdot K(i), \quad (10)$$

$V_b(i)$ 是点 i 处基础层处理前的亮度, $V'_b(i)$ 是处

理后的亮度, $K(i)$ 是像素补偿因子, 由式(3)~(5)获得。图 3 为细节层和基础层分离示意图。

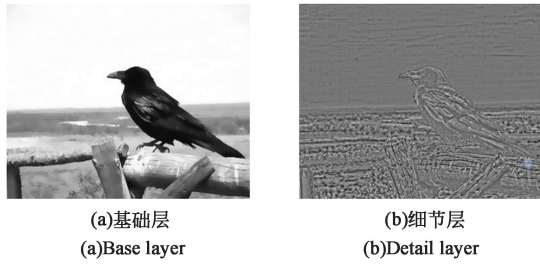


图 3 层分离结果

Fig.3 Layer separation results

3.3 视觉显著性

图像显著性是图像中十分重要的视觉特征, 体现了人类视觉对一幅图像中各区域的感兴趣程度, 近年来发展出了多种显著性检测算法^[14-18]。显著性检测算法可以将一幅图中各个位置的显著性信息映射为各个像素点的显著值大小, 从而构建出一幅图像的显著性图。然而, 由于不同的目的以及不同的检测机理, 各种显著性检测算法会呈现出不同的显著性图。本节对各类显著性检测算法进行分析, 以期合理利用视觉显著性理论对细节层进行更适于 HVS (人类视觉系统) 的处理。以下分析了 3 种不同机制的显著性算法。第一种是结合底层视觉特征和生物视觉原理的基于图论的显著性检测算法(GBVS)^[14]; 第二种是基于频域特征的频谱残

差法(SRA)^[15]; 第三种是基于直方图的全局对比度显著性检测算法(HC)^[16]。图 4 所示为 3 种算法的处理结果。

GBVS 算法基于生物视觉原理, 其显著性图主要揭示生物注意的机制, 但其显著性图表现模糊, 分辨率低。频谱残差法基于频域特征, 主要目的是将背景与目标分离, 其显著性图中主要标定了目标轮廓与细节特征。HC 算法可以得到高精度的显著性图, 并且其显著性图准确地标定了每个像素点的显著值大小, 可以在复杂环境下准确地分割出显著性的区域。我们的目的是利用视觉显著性理论对图像进行感兴趣区域划分和显著性权值增强, HC 算法的这种特点给予了我们利用其显著性图的信息进行显著性加权增强的空间。其算法的主要实现方法如下:

HC 算法将某一像素点的显著性定义为该像素点与图像中其他所有像素的颜色对比度。图像 I 中像素点 I_k 的显著性 $S(I_k)$ 定义为:

$$S(I_k) = \sum_{\forall I_i \in I} D(I_k, I_i), \quad (11)$$

$$S(I_k) = D(I_k, I_1) + D(I_k, I_2) + \dots + D(I_k, I_N), \quad (12)$$

$$S(I_k) = S(c_l) = \sum_{j=1}^n f_j D(c_l, c_j), \quad (13)$$

其中: $D(I_k, I_i)$ 为像素 I_k 和像素 I_i 在 $L^*a^*b^*$ 空间的色度距离度量, N 为图像 I 的像素数, c_l 为像素 I_k 的色度值, n 为图像中所含的色度总数, f_j 为 c_j 在图像 I 中出现的概率。

3.4 细节层处理

通过 HC 算法得到了输入图像的显著性图, 它包含了图像中各个位置像素点的显著值(即量化了人眼感兴趣的程度)。本节利用显著性图的信息来增强细节层中对人眼有吸引力的区域, 以反向补偿背光下降导致的细节信息丢失的问题并进一步优化输出图像的视觉效果。首先, 为了避免对细节层无用信息和噪声的放大, 根据各个像素点的显著值计算出一个阈值 T_c , 对阈值以下的细节信息保留, 不做处理。对于阈值以上的区域, 即认为是人眼所感兴趣的区域。而后, 将每个像素点的显著值量化为对该像素点增强的权重因子, 使细节层的感兴趣区域得到更适于人眼感知效果的提升, 同时令细节层中人眼所感兴趣的区

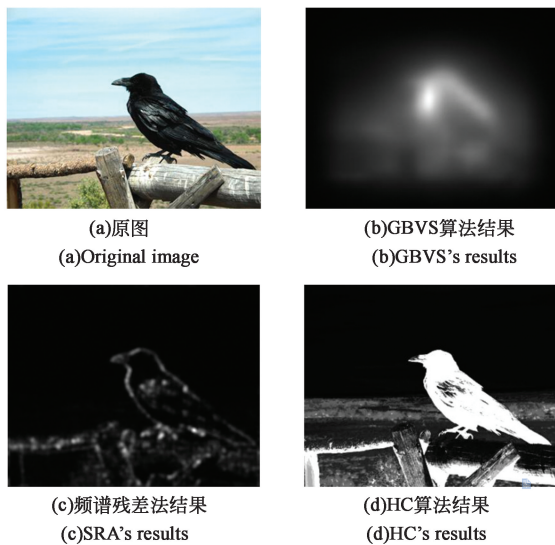


图 4 各算法生成的显著性图

Fig.4 Saliency map generated by each algorithm

域相对于非感兴趣区域更加凸显。具体方法如下:

$$\beta_i = \frac{sal_i - sal_{\min}}{sal_{\max} - sal_{\min}}, \quad (14)$$

$$V'_d(i) = \begin{cases} \left(1 + \frac{a}{0.021} \cdot \beta_i\right) V_d(i), & sal_i \geq T_c \\ V_d(i), & sal_i < T_c \end{cases}, \quad (15)$$

其中: $V_d(i)$ 是细节层点 i 处原本的相对亮度, $V'_d(i)$ 是该点处理后的相对亮度, sal_i 是点 i 处的显著值, $sal_{\max}$ 和 $sal_{\min}$ 分别是输入图像的显著值最大值和最小值。通过式(14)可以自适应地获得点 i 处的显著性权重因子 β_i , a 是式(3)中 S 曲线的曲率。阈值 $T_c = sal_{\text{avg}}/2$, sal_{avg} 是所有像素点的显著值平均值,如图 5 中虚线所示。例:图 5 为图 4(d)的显著值分布直方图。

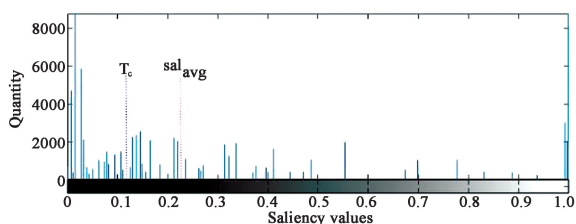


图 5 显著值分布直方图

Fig.5 Distribution histogram of saliency values

4 实验及分析

为了验证本文改进算法的有效性,本节将改进的算法与 S 曲线全局动态调光算法结合主观分析和客观评价进行对比实验。两种算法均以公式(2)模拟背光下降(由于背光下降一致,两种动态调光算法对于降低显示器背光的功耗一致),公式(3)中 a 值均为 0.021(曲率参数 a 相同,用于像素补偿所扩展的动态范围相同,即画面静态对比度的提升能力一致)。实验平台为 Windows7 操作系统,处理器为 Intel(R) Core(TM) i7-3770, 16GB 内存,仿真环境为 Matlab R2016a。

4.1 主观分析

图 6~8 所示为两种算法仿真结果图。相较于原图, S 曲线调光算法出现了颜色失真和细节丢失的现象。本文改进后的算法很好地还原了原始图像的颜色和细节信息。图 6 中的花瓣和图 8 中的天空可以明显看出颜色差异,图 7 中烟花和水面可以明显看出细节信息的保留。并且,本文改进算法进一步优化了图像的视觉效果。

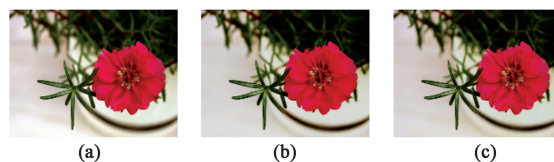


图 6 仿真结果。(a)原图;(b)原算法;(c)本文算法

Fig.6 Simulation results. (a)Original image;(b)Original algorithm;(c)The proposed algorithm



图 7 仿真结果。(a)原图;(b)原算法;(c)本文算法

Fig.7 Simulation results. (a)Original image;(b)Original algorithm;(c)The proposed algorithm



图 8 仿真结果。(a)原图;(b)原算法;(c)本文算法

Fig.8 Simulation results. (a)Original image;(b)Original algorithm;(c)The proposed algorithm

4.2 客观评价

本节引入两个客观评价因子,平均梯度和信息熵。

灰度平均梯度指图像边界或影线两侧附近的灰度变化率,反映了图像微小细节反差和纹理变化特征以及清晰度。灰度平均梯度越大,图像层次越丰富,变化越多^[19]。

$$GMG = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \times \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{\frac{(f(i+1,j) - f(i,j))^2 + (f(i,j+1) - f(i,j))^2}{2}}, \quad (16)$$

式中： $f(i, j)$ 是图像在点 (i, j) 处的灰度值, M 、 N 为图像总行数和列数。

信息熵由香农于热力学中引进的信息度量标量。信息熵常用于描述图像中包含信息量的大小, 可以客观反映出图像中细节信息的多少。信息熵越大, 细节信息越多^[20]。

$$\text{Entropy} = - \sum_{i=1}^N p(x_i) \cdot \log_2(p(x_i)),$$

(17)

式中： $p(x_i)$ 是图像灰度 i 出现的归一化频率。表 1, 表 2 为本文改进算法与 S 曲线动态调光算法对于多幅图像 (figure1~figure8, 选自图像集 TID2013, 包含人物, 房屋, 自然景观等) 的仿真数据结果。

由表 1 和表 2 中数据可知, 本文改进后的算法对于各幅图片处理后的平均梯度, 信息熵均大于原算法。

表 1 仿真结果的灰度平均梯度

Tab.1 GMG of simulation results

	原算法	本文算法
figure1	16.710 6	17.954 2
figure2	8.064 3	8.753 6
figure3	6.687 6	7.369 1
figure4	18.943 2	19.295 3
figure5	6.336 8	6.858 6
figure6	6.700 5	7.662 8
figure7	11.329 3	11.803 3
figure8	15.371 5	16.134 5

表 2 仿真结果的信息熵

Tab.2 Entropy of simulation results

	原算法	本文算法
figure1	7.109 6	7.224 7
figure2	7.309 4	7.378 6
figure3	6.089 6	6.236 6
figure4	7.481 9	7.624 2
figure5	6.986 5	7.203 0
figure6	5.692 7	6.407 4
figure7	7.254 2	7.320 3
figure8	7.456 5	7.508 8

5 结 论

本文针对 S 曲线全局动态调光算法在部分画面产生色彩失真和细节丢失的问题提出了一种改进算法。将输入图像色度分离后, 对亮度分量的基础层和细节层分开处理, 基础层应用 S 曲线进行像素补偿, 细节层结合视觉显著性理论进一步优化。实验结果表明, 本文改进算法在保持原算法实现功耗降低与静态对比度提升的基础上, 可以有效解决原算法在部分图像出现色彩失真和细节丢失的问题, 并增强了图像的视觉效果。相较于原算法, 本文算法处理后的图像具有更大的信息熵和平均梯度。同时, 本改进算法亦可应用于分区动态调光, 全局调光仅是分区数为 1 的分区动态调光方法的特例。

参 考 文 献:

[1] 常军, 杨东升, 孙智慧, 等. 应用在大尺寸 LCD 背照明的 LED 元件设计[J]. 发光学报, 2008, 29(1): 195-199.
CHANG J, YANG D S, SUN Z H, *et al.* LED design using for large dimension LCD backlight [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2008, 29(1): 195-199. (in Chinese)

[2] 张磊. 基于图像分析的液晶显示动态调光问题研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.
ZHANG L. Research on liquid crystal display dimming issues based on image analysis [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016. (in Chinese)

[3] JIN Y, KIM J, LEE H J. Reduction of quantization errors caused by dynamic LCD backligth scaling[J]. *Ieice Electron Express*, 2009, 6(9): 535-539.

[4] JIN J C, KIM Y J. Human visual system-aware dimming method combining pixel compensation and histogram specification for TFT-LCDs [J]. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 2017, 11(12): 5998-6016.

[5] CHAN W C S, CHOI W P I, LAI W Y S. Methods and apparatus of dynamic backlight control: US, 8102360 [P].

- 2012-01-24.
- [6] CHEN J Z, MA B P, LI R, *et al.* Image dimming perceptual model based pixel compensation and backlight adjustment [J]. *Journal of Display Technology*, 2015, 11(9): 744-752.
 - [7] 冯奇斌,何会杰,张伟伟,等.用于侧出式发光二极管背光的全局动态调光算法[J].*光学精密工程*, 2012, 20(7): 1455-1462.
FENG Q B, HE H J, ZHANG W W, *et al.* Global dimming algorithm for side-lit LED backlights [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(7): 1455-1462. (in Chinese)
 - [8] 何会杰,冯奇斌,张磊,等.基于图像分类的全局动态调光算法[J].*光学学报*, 2013, 33(8): 0823002.
HE H J, FENG Q B, ZHANG L, *et al.* Global dimming algorithm based on image classification [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(8): 0823002. (in Chinese)
 - [9] 向艳,冯奇斌,吕国强.侧出LED背光动态调光算法研究[J].*液晶与显示*, 2014, 29(2): 293-297.
XIANG Y, FENG Q B, LV G Q. Dynamic dimming algorithm in side-lit LED backlights [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 293-297. (in Chinese)
 - [10] 黄晞.显示技术中几个与心理学有关的问题[J].*发光与显示*, 1982(4): 73-78.
HUANG X. Several psychology-related issues in display technology [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 1982(4): 73-78. (in Chinese)
 - [11] HANMANDLU M, VERMA O P, KUMAR N K, *et al.* A novel optimal fuzzy system for color image enhancement using bacterial foraging [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2009, 58(8): 2867-2879.
 - [12] DURAND F, DORSEY J. Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images [C]//*Proceedings of the 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. San Antonio, Texas: ACM, 2002: 257-266.
 - [13] TOMASI C, MANDUCHI R. Bilateral filtering for gray and color images [C]//*Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision*. Bombay, India, India: IEEE, 1998: 839-846.
 - [14] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph-based visual saliency [C]//*Proceedings of the 19th International Conference on Neural Information Processing Systems*. Canada: ACM, 2006: 545-552.
 - [15] HOU X D, ZHANG L Q. Saliency detection: a spectral residual approach [C]//*Proceedings of 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Minneapolis, MN, USA: IEEE, 2007: 1-8.
 - [16] CHENG M M, ZHANG G X, MITRA N J, *et al.* Global contrast based salient region detection [C]//*Proceedings of CVPR 2011*. Colorado Springs, CO, USA: IEEE, 2011: 409-416.
 - [17] LIU Z, ZOU W B, LE MEUR O. Saliency tree: a novel saliency detection framework [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(5): 1937-1952.
 - [18] YANG J, YANG M H. Top-down visual saliency via joint CRF and dictionary learning [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2017, 39(3): 576-588.
 - [19] 赵青,何建华,温鹏.基于平均梯度和方向对比度的图像融合方法[J].*计算机工程与应用*, 2012, 48(24): 165-168.
ZHAO Q, HE J H, WEN P. Image fusion method based on average grads and wavelet contrast [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2012, 48(24): 165-168. (in Chinese)
 - [20] 杜欣宇,陈丽芳,刘渊.基于分块信息熵的彩色图像融合算法[J].*计算机系统应用*, 2015, 24(7): 22-28.
DU X Y, CHEN L F, LIU Y. Color image fusion algorithm based on block information entropy [J]. *Computer Systems & Applications*, 2015, 24(7): 22-28. (in Chinese)

作者简介:童正(1994—),男,安徽宿州人,硕士研究生,主要从事信息显示技术与器件等方向的研究。E-mail: tongzheng@mail.hfut.edu.cn

吕国强(1962—),男,浙江新昌人,教授,博士生导师,1983年和1986年于浙江大学分别获得学士、硕士学位,主要从事立体显示、液晶显示等方向的研究。E-mail: guoqianglv@hfut.edu.cn