

## 基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法

赵晨, 吕国强, 吴磊, 诸黎明, 冯奇斌

引用本文:

赵晨, 吕国强, 吴磊, 等. 基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法[J]. 液晶与显示, 2020, 35(3): 234–241.

ZHAO Chen, LYU Guo-qiang, WU Lei, et al. Dynamic dimming algorithm for liquid crystal display based on local brightness of image[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(3): 234–241.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0234>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 基于S曲线全局动态调光的改进算法

Improved algorithm based on S-curve global dynamic dimming

液晶与显示. 2018, 33(12): 1019–1025 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183312.1019>

### 一种基于LCD-LED双调制显示器的HDR图像显示方法

HDR image display algorithm based on LCD-LED dual modulation HDR display

液晶与显示. 2019, 34(1): 14–23 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0014>

### 基于液晶显示屏的低功耗驱动技术

Low power driver method based on TFT-LCD

液晶与显示. 2016, 31(3): 290–294 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163103.0290>

### 一种LED灯串故障自检测电路的设计与实现

Design and implementation of a fault self-detection circuit for LED string

液晶与显示. 2019, 34(4): 402–409 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193404.0402>

### 侧入式局域动态调光背光聚光特性研究

Spotlight characteristics of local dynamic dimming for side-lit backlight

液晶与显示. 2018, 33(11): 905–910 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183311.0905>

文章编号:1007-2780(2020)03-0234-08

# 基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法

赵 晨<sup>1,2</sup>, 吕国强<sup>1,2</sup>, 吴 磊<sup>1,3</sup>, 诸黎明<sup>1,2</sup>, 冯奇斌<sup>1\*</sup>

(1.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;

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 电子科学与应用物理学院 安徽 合肥 230009)

**摘要:**为了合理降低液晶显示器的背光功耗,抑制像素补偿导致的截断噪声,减少显示图像的颜色和亮度失真,对基于图像特征的液晶显示器动态调光算法进行研究。首先,根据液晶显示器特性介绍了区域调光算法处理过程,分析了截断噪声产生的原因。提出了基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法,即基于最大值法得到初始背光值,根据图像局部区域亮度与初始背光分布图对应区域亮度的相似程度修正初始背光值,通过模糊-掩模方法模拟背光的混光扩散过程,结合像素补偿得到调光图像。实验结果表明,使用基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法处理后,背光功耗平均降低约 31.54%;截断噪声平均低至像素总和的 1.17%; $L^*a^*b$  颜色空间峰值信噪比(LabPSNR)平均达到 37.11dB。应用该算法能够合理降低显示器的背光功耗,使图像的截断噪声得到显著抑制,颜色和亮度失真明显改善,对于各类图像都具有良好的适用性。

**关键词:**液晶显示;动态调光;区域调光;截断噪声;局部亮度

**中图分类号:**TN27; TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/JYXS20203503.0234

## Dynamic dimming algorithm for liquid crystal display based on local brightness of image

ZHAO Chen<sup>1,2</sup>, LYU Guo-qiang<sup>1,2</sup>, WU Lei<sup>1,3</sup>, ZHU Li-ming<sup>1,2</sup>, FENG Qi-bin<sup>1\*</sup>

(1. National Engineering Lab of Special Display Technology,

National Key Lab of Advanced Display Technology,

Academy of Photoelectric Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. School of Instrumentation and Opto-Electronics Engineering,

Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

3. School of Electronic Science &amp; Applied Physics,

Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** In order to reasonably reduce the backlight power consumption of the liquid crystal display, suppress the clipping noise caused by pixel compensation and reduce the color and brightness

收稿日期:2019-08-30;修订日期:2019-10-28.

基金项目:安徽省科技重大专项(No.18030901002)

Supported by Major Science and Technology Projects of Anhui Province(No.18030901002)

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

distortion of the display image, the dynamic dimming algorithm of the liquid crystal display based on image features is studied. Firstly, according to the characteristics of liquid crystal display, the process of regional dimming algorithm is introduced, and the cause of clipping noise is analyzed. Then, the dynamic dimming algorithm of liquid crystal display based on local brightness of image is proposed to obtain the initial backlight value based on the maximum value method. The initial backlight value is corrected according to the similarity between the brightness of the local area of the image and the brightness of the corresponding area of the initial backlight distribution image. Through the Blur Mask Approach, the mixed light diffusion process of the backlight is simulated, and combining pixel compensation, a dimming image is obtained. The experimental results show that the backlight power consumption is reduced by about 31.54% on average, the truncation noise is as low as 1.17% of the total pixel, and the  $L^*a^*b$  color space peak signal-to-noise ratio(LabPSNR) is 37.11 dB on average. The application of the algorithm can reasonably reduce the backlight power consumption of the display, so that the truncation noise of the image is significantly suppressed, the color and brightness distortion are obviously improved, and the applicability is good for various images.

**Key words:** liquid crystal display; dynamic dimming; local dimming; clipping noise; local brightness

## 1 引言

具有高动态范围(High dynamic range, HDR)技术的液晶显示器(LCD)能够显示更高的对比度(CR)、更暗的黑态和更生动的色彩<sup>[1]</sup>。只有满足以下3个基本要求,才能实现HDR技术:(1)高CR;(2)优良的黑态和高峰值亮度;(3)精确控制不同的明暗色度以及在什么位置应用于显示的图像<sup>[2]</sup>。HDR显示技术一般要求有效CR大于100 000:1,若峰值亮度为1 000 cd/m<sup>2</sup>,黑态亮度则要小于0.01 cd/m<sup>2</sup>。有机发光二极管(OLED)显示器能够轻易获得符合要求的黑态,但是持续产生大于1 000 cd/m<sup>2</sup>的亮度会缩短它的寿命<sup>[3]</sup>。LCD不自发光,它的亮度来自基于LED的背光模组<sup>[4]</sup>,峰值亮度很容易达到1 000 cd/m<sup>2</sup>,缺点是将黑态降低到小于0.01 cd/m<sup>2</sup>十分具有挑战性。因为LCD在显示低灰度像素时无法通过闭合液晶完全阻止背光泄露,在显示时会受到漏光问题的影响<sup>[5]</sup>。漏光现象会导致图像低灰度区域不够暗,难以显示符合HDR技术指标的黑态,降低了显示对比度也浪费了不必要的能耗<sup>[6]</sup>。为了解决上述问题的影响,研究者引入了动态调光技术,根据图像内容动态调节背光亮度。经过不断发展,具有该技术的新型LCD正在逐步替代传统LCD。

动态调光主要有两种解决方案:全局调光和

区域调光。应用全局调光方案的液晶显示器结构简单,但显示效果远不及区域调光效果。区域调光需要将背光模组分割成独立控制的不同区域,根据输入图像特征分别确定各个区域的背光大小,不但能够有效抑制漏光、提升对比度,而且能够大幅降低液晶显示器功耗<sup>[7-13]</sup>。区域调光又可分为直下式和侧入式两类,侧入式能够使调光系统更加轻薄,但直下式具有更好的高动态范围性能。本文区域调光研究对象主要针对直下式区域调光。

区域调光算法的核心问题是如何根据被显示图像特征确定每个分区的背光亮度。均值法(Avg)、均方根法(Sqrt)、误差修正法(Diff)和最大值法(Max)是目前较为常用的背光提取算法<sup>[14-17]</sup>,Avg法以每个图像块的平均灰度作为对应分区的背光值,使背光的下降明显,但调光后图像失真严重。Sqrt法利用每个分区的平均灰度值为基础,归一化后取均方根得到对应分区背光值,相对于Avg法保留了更多的图像亮度细节,但图像失真问题依然严重。Diff法以每个图像块的灰度最大值与灰度平均值的差值来确定对应分区的背光值,该算法考虑了亮度对比度,在一定程度上抑制了高对比度图像的截断噪声问题,但是其固定的加权系数往往只能适用特定类型的图像,缺乏良好的适用性<sup>[18]</sup>。Max法根据每个图像块的最大亮度来确定背光亮度值,该方法能够使像素补偿时的截断噪声降低明显,但Max法容易

受到图像极少数的峰值噪声影响,即使图片中出现肉眼无法识别的峰值亮度,背光亮度也会被设置为最大亮度,功耗降低效果不佳,容易在暗场景画面显示时发生光晕效应,导致颜色和亮度失真<sup>[19]</sup>。

本文根据 LCD 关键特性介绍了区域调光算法处理过程,介绍了截断噪声以及亮度和颜色失真产生的原因,提出了基于图像局部亮度的液晶显示器动态调光算法。实验证明,本文所提算法应用于 LCD 调光过程,能够在合理降低功耗的同时保证图像的显示质量。

## 2 LCD 特性及调光算法过程

### 2.1 LCD 特性

一般情况下,LCD 像素的亮度由液晶面板(LC)透过率与背光亮度的乘积决定<sup>[15]</sup>,如图 1 所示。

$$\boxed{\text{背光亮度}} \times \boxed{\text{LC透过率}} = \boxed{\text{像素亮度}}$$

图 1 液晶面板的像素亮度

Fig.1 Pixel luminance of the LCD panel

动态调光使背光亮度降低可以抑制漏光,但同时也导致显示图像的亮度下降。为了补偿减少的亮度,需要根据背光大小进行像素补偿<sup>[20]</sup>。考虑显示设备的伽马特性,理想的像素亮度补偿值可以定义为

$$G_{\text{HDR}} = \left( \frac{B_{\text{Full}}}{B_{\text{HDR}}} \right)^{1/\gamma} G_{\text{Target}}, \quad (1)$$

其中: $B_{\text{Full}}$ 表示背光的最大亮度, $B_{\text{HDR}}$ 是调光后被补偿像素点处分布的背光亮度, $G_{\text{Target}}$ 是被补偿像素的像素值, $\gamma$ 表示目标 LCD 的理想伽马。

### 2.2 区域调光算法处理过程

区域调光算法处理过程如图 2 所示。首先,提取各个分区输入图像与亮度相关的特征,基于得到的特征结合背光提取算法确定背光值。然后,通过模拟光源在背光模组混光腔中扩散的过程,得到投射在液晶面板上的背光分布图,确定各个像素点的背光亮度后计算相应像素补偿值。

### 2.3 截断噪声

根据公式(1)可知,当背光亮度 $B_{\text{HDR}}$ 降低过多,会得出超过最大允许灰度级(例如 8-bit 系统,

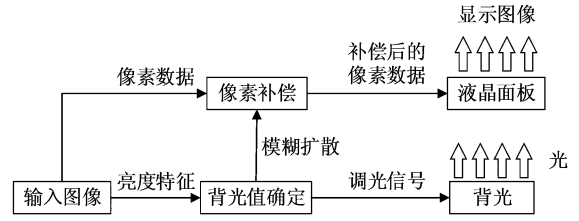


图 2 背光调光算法处理过程

Fig.2 Process of the backlight dimming algorithm

最大灰度级为 255)的像素亮度补偿值 $G_{\text{HDR}}$ 。然而,实际像素值的变化范围有限,会因此产生截断噪声。图像产生截断噪声的区域,像素间的灰度差缩小甚至消失,就会出现截断伪影。如图 3 所示,截断伪影降低了显示图像的对比度,使细节信息发生丢失。截断噪声主要与像素的灰度级和补偿值有关,其中补偿值由背光亮度决定,像素的灰度级较高同时背光亮度过低,就容易产生截断噪声。

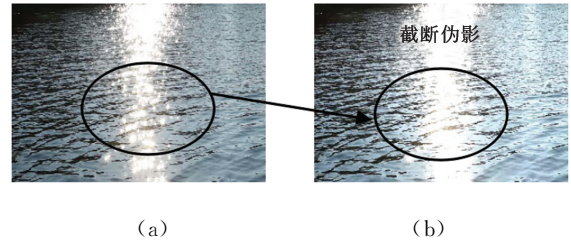


图 3 截断伪影现象。(a) 原图;(b) 经过像素补偿的图像。

Fig.3 Example of clipping artifact. (a) Original image;(b) Image after pixel compensation.

## 3 提出的算法

采用 RGB 最大值法使原图像灰度化,如公式(2)所示:

$$X(a, b) = \max(R(a, b), G(a, b), B(a, b)), \quad (2)$$

式中 $R(a, b)$ 、 $G(a, b)$ 、 $B(a, b)$ 分别表示原图像像素 $(a, b)$ 的红绿蓝三色的灰度值,灰度图像取它们的最大值。

根据背光模组的物理分区对灰度图像进行分区,应用最大值法提取每个分区 $(m, n)$ 的初始背光值 $B_{m,n}$ 。再利用模糊-掩模方法<sup>[21]</sup>(BMA)将低分辨率的初始背光值矩阵模糊扩散至输入图像分辨率大小,得到初始背光亮度分布图 $Y$ ,如图 4(c)所示。

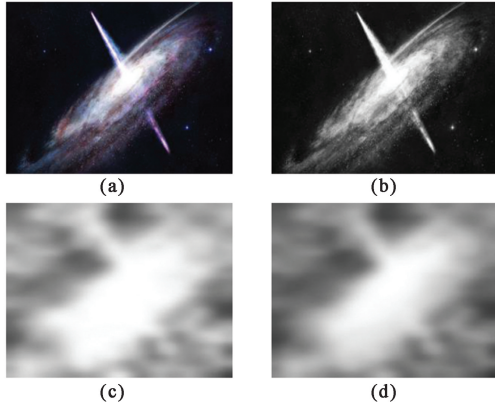


图4 样本图像。(a)原图;(b)原图像亮度分布图;(c)初始背光亮度分布图;(d)修正后的背光亮度分布图。

Fig.4 Sample image. (a) Original image; (b) Original image brightness distribution image; (c) Initial backlight brightness image; (d) Corrected backlight brightness distribution image.

原图像的亮度分布图  $X$  可以用灰度图表示,本文定义了一个参数来衡量它与初始背光亮度分布图  $Y$  的亮度分布相似程度,以此来确定对初始背光值的修正幅度。相较于绝对亮度差异,人类视觉系统对相对亮度差异更敏感,该参数可以定义为:

$$S(X_{m,n}, Y_{m,n}) = \frac{2 M_{X_{m,n}} M_{Y_{m,n}} + c_1}{M_{X_{m,n}}^2 + M_{Y_{m,n}}^2 + c_1}, \quad (3)$$

其中:  $M_{X_{m,n}}$  表示  $X$  的  $(m, n)$  分区的亮度均值;  $M_{Y_{m,n}}$  表示  $Y$  的  $(m, n)$  分区的亮度均值,参数  $S(X_{m,n}, Y_{m,n})$  的取值范围为  $[0, 1]$ , 它的值越大表示  $X$  的  $(m, n)$  区域与  $Y$  的  $(m, n)$  区域的亮度均值越接近,即分布的亮度越相似。为了避免分母为零或者接近零时出现的无意义情况,  $c_1$  是一个极小的正常数。

考虑到图像的亮度分布通常是非均匀的,相较于使用分区图像整体亮度均值来修正初始背光亮度,使用分区图像局部亮度均值的组合更加准确。因此,本文使用滑动窗口法将公式(3)定义的参数应用到  $X$  和  $Y$  的每个分区  $(m, n)$  中的每个局部区域  $(i, j)$ 。从分区图像的左上角开始,以大小  $(2k+1) \times (2k+1)$  的滑动窗口逐个像素水平和垂直移动到图像的所有行和列,直到到达右下角( $k$  为正整数,本文  $k$  取 1,即局部区域大小取  $3 \times 3$ )。在滑动窗口移动的过程中,计算窗口

内包含的局部区域亮度均值,再根据公式(4)来确定  $X$  和  $Y$  对应分区  $(m, n)$  的局部区域  $(i, j)$  的相似程度:

$$S(X_{m,n}^{i,j}, Y_{m,n}^{i,j}) = \frac{2 M_{X_{m,n}^{i,j}} M_{Y_{m,n}^{i,j}} + c_2}{M_{X_{m,n}^{i,j}}^2 + M_{Y_{m,n}^{i,j}}^2 + c_2}, \quad (4)$$

$M_{X_{m,n}^{i,j}}$  表示  $X$  的  $(m, n)$  分区局部区域  $(i, j)$  的均值,  $M_{Y_{m,n}^{i,j}}$  表示  $Y$  的  $(m, n)$  分区局部区域  $(i, j)$  的均值。  $c_2$  是一个很小的正常数,作用与  $c_1$  相同。

然后,定义一个参数  $S_{m,n}$  来描述  $X$  与  $Y$  的  $(m, n)$  分区亮度相似程度,它由所有局部区域亮度相似程度的均值表示:

$$S_{m,n} = \frac{1}{K_1 K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \sum_{j=1}^{K_2} S(X_{m,n}^{i,j}, Y_{m,n}^{i,j}), \quad (5)$$

式中:  $K_1$  与  $K_2$  分别表示  $(m, n)$  分区局部区域的行列坐标上限,它们的乘积等于局部区域的总数  $S_{m,n}$  取值范围为  $[0, 1]$ , 如果它的值等于 1,则表示  $X$  的  $(m, n)$  区域与  $Y$  的  $(m, n)$  区域亮度分布一致,初始背光亮度值不降低。当它的值小于 1 时,表明背光亮度应基于初始背光亮度适当降低,以减少漏光和功耗。

最终,输入图像的  $(m, n)$  区域修正后的背光亮度定义为:

$$L_{m,n} = S_{m,n}^\alpha B_{m,n}, \quad (6)$$

式中:  $\alpha$  为调节因子,取值为 0.2,来调整亮度分布相似度控制初始背光降低的幅度,  $B_{m,n}$  表示输入图像的  $(m, n)$  区域的初始背光值。

背光大小确定后,通过 BMA 法模拟局部控制的背光源光线在背光模组混光腔中的扩散过程,得到修正后的背光亮度分布图  $Y^*$ , 如图 4(d) 所示,并根据公式(1)来确定像素补偿值。最后,背光亮度与液晶像素亮度补偿值相结合,得到调光后的图像。

## 4 评价指标

### 4.1 截断噪声比

可以通过统计截断噪声的数量来评估截断伪影的严重程度,即比较动态调光图像相对于输入图像的截断噪声比,其公式如下:

$$D = \frac{N_d}{N_t} \times 100\%, \quad (7)$$

其中:  $N_t$  表示图像总的像素数量,  $N_d$  表示像素

补偿时发生截断的噪声像素数量。调光后  $D$  的值越大截断噪声伪影越严重,反之亦然。

#### 4.2 $L^*a^*b$ 颜色空间峰值信噪比

本文引入了一种基于峰值信噪比 (PSNR) 的评价指标: LabPSNR。与 PSNR 不同, LabPSNR 是在 CIE 1976  $L^*a^*b$  颜色空间中的计算,而不是在 RGB 空间。通过研究可以发现,漏光导致的光晕现象对显示图像亮度和颜色都会产生影响,LabPSNR 可以同时对这两类失真进行量化评估<sup>[19]</sup>。调光后的 RGB 图像可以通过 CIE 1931 XYZ 坐标转化到  $L^*a^*b$  颜色空间:

$$\begin{cases} L^* = 116f(Y/Y_n) - 16 \\ a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{cases} \quad (8)$$

其中:

$$f(k) = \begin{cases} \sqrt[3]{k}, & \text{if } (k > (6/29)^3) \\ \frac{k}{3 \times (6/29)^2} + \frac{4}{29}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  在  $L^*a^*b$  颜色空间中分别表示亮度、绿色-红色分量、蓝色-黄色分量。公式(8)中  $X_n$ 、 $Y_n$  和  $Z_n$  分别表示标准参考白的 CIE 1931 XYZ 三刺激值。可以通过公式(8)在  $L^*a^*b$  颜色空间中定义色差,即两种颜色之间的感知差异,同时考虑亮度和色度的差异:

$$E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}, \quad (10)$$

其中,显示的图像与目标图像的亮度与颜色区别在式中表示为:  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 。

$$K_{\text{labPSNR}} = 20 \lg \left[ \frac{\Delta E_{\max}}{\sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta E(i,j)^2}} \right], \quad (11)$$

其中:  $m$  和  $n$  表示图像的尺寸,  $\Delta E_{\max}$  表示黑色与白色的差异。本文使用 LabPSNR 作为评价指标,来量化调光前后漏光导致的图像亮度和颜色失真,其值越小失真越严重,反之亦然。

## 5 实验结果

为了验证本文所提出的调光算法,我们使用了 4 幅典型样本图像,图像分辨率同为  $1920 \times 1080$ ,并根据图像亮度和对比度情况将它们分为 4 类,如

图 5 所示。使用 Matlab 模拟了它们在  $30 \times 24$  分区的直下式分区调光液晶显示器上的显示。



图 5 样本图像。(a)高亮度高对比度图像(湖泊);(b)高亮度低对比度图像(水面);(c)低亮度高对比度图像(黄昏);(d)低亮度低对比度图像(星空)。

Fig.5 Sample image. (a) High brightness and high contrast image (Lake); (b) High brightness and low contrast image (Water); (c) Low brightness and high contrast image (Night-fall); (d) Low brightness and low contrast image (Starry sky).



图 6 4 幅图像应用 4 种算法的比较。(a) Avg 法;(b) Sqrt 法;(c) Diff 法;(d) 本文所提算法。

Fig.6 Comparison of four algorithms applied to four images. (a) Avg method; (b) Sqrt method; (c) Diff method; (d) Proposed method.

在上述模拟系统中,分别应用 Avg 法、Sqrt 法、Diff 法和本文所提算法。以上 4 种算法的仿真图像示于图 6。同时,4 幅样本图像运用不同调光算法的背光功耗比、截断噪声比、 $L^*a^*b$  颜色

空间峰值信噪比 LabPSNR 分别列于表 1、表 2、表 3。并且在图 7 中做了比较。

表 1 图 5 中 4 幅图像应用 3 种算法的功耗比

Tab.1 Power consumption ratio of the three algorithms applied to the four images in Fig.5

| Images | Power consumption ratio/% |       |       |          |
|--------|---------------------------|-------|-------|----------|
|        | Avg                       | Sqrt  | Diff  | Proposed |
| (a)    | 72.02                     | 83.77 | 90.68 | 85.09    |
| (b)    | 58.44                     | 75.04 | 74.90 | 71.56    |
| (c)    | 29.36                     | 51.30 | 55.60 | 49.15    |
| (d)    | 24.60                     | 47.66 | 83.30 | 68.05    |

表 2 图 5 中 4 幅图像应用 3 种算法的截断噪声比

Tab.2 The distortion ratio of the three algorithms applied to the four images in Fig. 5

| Images | Disortion ratio/% |       |       |          |
|--------|-------------------|-------|-------|----------|
|        | Avg               | Sqrt  | Diff  | Proposed |
| (a)    | 36.71             | 14.71 | 7.12  | 1.77     |
| (b)    | 28.06             | 18.42 | 16.47 | 2.19     |
| (c)    | 4.97              | 1     | 0.39  | 0.29     |
| (d)    | 4.60              | 1.82  | 0.81  | 0.43     |

表 3 图 5 中 4 幅图像应用 3 种算法  $L^*a^*b$  颜色空间峰值信噪比 LabPSNR

Tab.3 LabPSNR of the three algorithms applied to the four images in Fig. 5

| Images | LabPSNR/dB |       |       |          |
|--------|------------|-------|-------|----------|
|        | Avg        | Sqrt  | Diff  | Proposed |
| (a)    | 29.63      | 32.33 | 33.54 | 37.96    |
| (b)    | 28.29      | 32.42 | 32.00 | 36.65    |
| (c)    | 24.39      | 28    | 28.08 | 32.77    |
| (d)    | 25.13      | 30.44 | 36.84 | 41.07    |

根据表 1 和在图 7(a) 比较可知,对于 4 幅典型图像,应用不同算法的平均节能率分别为 41.11%, 64.44%, 76.12%, 68.46%, Avg 法节能效果更突出, Sqrt 法、Diff 法与本文所提算法的功耗相近。根据表 2 和在图 7(b) 比较可得,应用不同算法的平均截断噪声比分别为

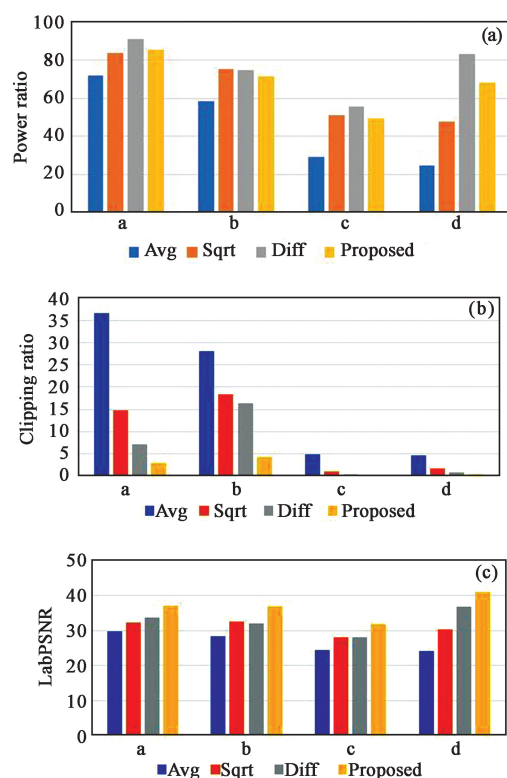


图 7 仿真结果。(a) 功耗比; (b) 截断噪声比; (c)  $L^*a^*b$  颜色空间峰值信噪比。

Fig.7 Simulation results, (a) Power ratio; (b) Clipping ratio; (c) LabPSNR.

18.59%, 8.99%, 6.2%, 1.17%, 不同类型图像应用 Avg 法均会产生较为严重的截断噪声; Sqrt 法与 Diff 法一定程度上抑制了截断噪声, 但对高亮度高对比度图像和高亮度低对比度图像, 截断噪声依然严重; 本文算法可大幅降低不同类型图像的截断噪声。通过表 3 和在图 7(c) 比较可以看出, 对不同类型图像应用不同算法得到的 LabPSNR 平均值分别为 26.86, 30.80, 32.62, 37.11 dB, 应用本文所提算法得到的 LabPSNR 相较于其他算法有明显提升。

Avg 法能够使背光的功耗显著降低, 但调光后的图像失真严重。Sqrt 法图像的质量更依赖背光功耗的增加, Diff 法对高亮度图像调光容易产生失真。并且, 应用上述 3 种算法的截断噪声比远高于本文所提算法, LabPSNR 均小于本文所提算法, 即图像的颜色和亮度失真大于本文所提算法。综上所述, 本文所提算法在合理降低背光功耗的同时, 各类图像调光后的显示质量更优。

## 6 结 论

本文提出的基于图像局部亮度的液晶显示动态调光算法,根据输入图像亮度分布图与 Max 法得到的初始背光分布图对应局部区域相似程度,控制初始背光适当降低,再结合背光混

光扩散与像素补偿技术实现了高质量的图像显示。实验结果表明,应用该算法能够合理降低背光功耗,平均降低约 31.54%;截断噪声得到显著抑制,平均低至像素总和的 1.17%;最终显示图像的颜色和亮度失真明显改善,平均 Lab-PSNR 达到 37.11 dB。本算法对各类图像都具有良好的适用性。

## 参 考 文 献:

- [1] SEETZEN H, HEIDRICH W, STUERZLINGER W, *et al.* High dynamic range display systems [J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2004, 23(3): 760-768.
- [2] KWON J U, BANG S, KANG D, *et al.* The required attribute of displays for high dynamic range [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2016, 47(1): 884-887.
- [3] OH C H, SHIN H J, NAM W J, *et al.* Technological progress and commercialization of OLED TV [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2013, 44(1): 239-242.
- [4] 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)
- [5] MEYRUEIS P. Optics of liquid crystal displays [J]. *Optics & Laser Technology*, 2000, 32(5): 387.
- [6] KONNO A, YAMAMOTO Y, INUZUKA T. RGB color control system for LED backlights in IPS-LCD TVs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2005, 36(1): 1380-1383.
- [7] DE GREEF P, HULZE H G. Adaptive dimming and boosting backlight for LCD-TV systems [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2007, 38(1): 1332-1335.
- [8] CHEN H F, SUNG J, HA T, *et al.* Locally pixel-compensated backlight dimming for improving static contrast on LED backlit LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2007, 38(1): 1339-1342.
- [9] LAI C C, TSAI C C. Backlight power reduction and image contrast enhancement using adaptive dimming for global backlight applications [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2008, 54(2): 669-674.
- [10] CHEN H F, HA T H, SUNG J H, *et al.* Evaluation of LCD local-dimming-backlight system [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2010, 18(1): 57-65.
- [11] SHIRAI T, SHIMIZUKAWA S, SHIGA T, *et al.* RGB-LED backlights for LCD- TVs with 0D, 1D, and 2D adaptive dimming [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2006, 37(1): 1520-1523.
- [12] HULZE H G, DEGREEF P. Power savings by local dimming on a LCD panel with side lit backlight [J]. *Sid Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1): 749-752.
- [13] CHA S, CHOI T, LEE H, *et al.* An optimized backlight local dimming algorithm for edge-lit LED backlight LCDs [J]. *Journal of Display Technology*, 2015, 11(4): 378-385.
- [14] LIN F C, HUANG Y P, LIAO L Y, *et al.* Dynamic backlight gamma on high dynamic range LCD TVs [J]. *Journal of Display Technology*, 2008, 4(2): 139-146.
- [15] CHO H, KWON O K. A backlight dimming algorithm for low power and high image quality LCD applications [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(2): 839-844.
- [16] ZHANG X B, WANG R, DONG D, *et al.* Dynamic backlight adaptation based on the details of image for liquid crystal displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2012, 8(2): 108-111.
- [17] BURINI N, NADERNEJAD E, KORHONEN J, *et al.* Modeling power-constrained optimal backlight dimming for color displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2013, 9(8): 656-665.
- [18] 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): 205-211.  
HE H J, FENG Q B, ZHANG L, *et al.* Global dimming algorithm based on image classification[J]. *Acta Optica*

- Sinica*, 2013, 33(8): 205-211. (in Chinese)
- [19] TAN G J, HUANG Y G, LI M C, *et al.* High dynamic range liquid crystal displays with a mini-LED backlight [J]. *Optics Express*, 2018, 26(13): 16572-16584.
- [20] 童正, 吴磊, 赵晨, 等. 基于 S 曲线全局动态调光的改进算法[J]. 液晶与显示, 2018, 33(12): 1019-1025.  
TONG Z, WU L, ZHAO C, *et al.* Improved algorithm based on S-curve global dynamic dimming[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(12): 1019-1025. (in Chinese)
- [21] LIAO L Y, HUANG Y P. Blur-mask approach for real-time calculation of light spreading function (LSF) on spatial modulated high dynamic range LCDs [J]. *Journal of Display Technology*, 2010, 6(4): 121-127.

#### 作者简介:



赵晨(1993—),男,安徽铜陵人,硕士研究生,2016年于辽宁科技大学获得学士学位,主要从事机器视觉与光电检测技术等方向的研究。E-mail: chenzhaohfut@gmail.com



冯奇斌(1970—),女,天津人,副教授,硕士生导师,2006年于维也纳工业大学获得博士学位,主要从事立体显示、LED背光等方面的研究。E-mail: fengqibin@hfut.edu.cn