

# 一种新型可调节的自适应区域调光方法

张涛, 胡孟阳, 杜文丽\*, 王昊

天津大学电气自动化与信息工程学院, 天津 300072

**摘要** 提出了一种新型可调节的自适应区域调光方法。该方法利用已有区域背光算法计算的背光亮度值构造约束条件, 在经区域背光算法得出背光后, 结合人眼视觉特性对该背光进行不同幅度的增减, 利用发光二极管-液晶显示器(LED-LCD)样机选取在显示图像不失真的条件下显示质量最好的背光亮度作为该图像的最佳背光亮度, 然后对最佳背光进行像素补偿。实验结果表明所提方法能使显示图像更加接近真实场景感知, 在一定程度上提高了图像的对比度等。

**关键词** 图像处理; 高动态范围; 区域调光; 图像背光调节; 像素补偿

中图分类号 O436

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.121017

## Adjustable Adaptive Local Dimming Method

Zhang Tao, Hu Mengyang, Du Wenli\*, Wang Hao

School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

**Abstract** A new adjustable adaptive local dimming method is proposed. In the proposed method, backlight brightness values calculated by existing local backlight algorithms are used to construct the constraint condition. Then, the backlight obtained by the local backlight algorithm is adjusted according to human visual characteristics. Based on the light-emitting diode-liquid crystal display (LED-LCD) prototype, the brightness of the backlight with the best quality is chosen as the highest backlight brightness of the image under the condition that the display image is not distorted. Finally, pixel compensation is conducted based on the optimal backlight. Experimental results show that the proposed method can make the displayed image closer to real scene perception and improve the image contrast to a certain extent.

**Key words** image processing; high dynamic range; local dimming; image backlight adjustment; pixel compensation

**OCIS codes** 100.3005; 100.4550; 070.5010; 070.1060

## 1 引言

高动态范围(HDR)图像能保持细腻的色彩特征以及清晰的亮度层次, 提升图像的整体对比度<sup>[1]</sup>。随着液晶显示器(LCD)的普及<sup>[2-4]</sup>和背光调节技术的不断发展, 区域背光调节技术逐渐取代全局背光调节技术<sup>[5-7]</sup>, 成为提高图像显示质量、实现 HDR 图像显示效果的一个关键技术。一般而言, 现有的发光二极管(LED)区域调光技术<sup>[8-10]</sup>大体上可以分成区域背光提取和液晶像素补偿两部分。区域背光提取技术中最基础也是最经典的方法是最大值法和平均值法<sup>[11]</sup>。最大值法取图像区域内像素灰度的最大值作

为该分区背光亮度, 虽然可提高图像亮度, 但是节能效果比较差, 对于噪声也非常敏感; 平均值法是取图像区域内像素灰度的平均值作为该分区背光亮度, 与最大值法相比, 其节能效果大大提升, 但是容易降低图像高亮区域的显示亮度, 提高图像暗区的显示亮度, 使得调光后的图像仍然容易出现失真。为了降低背光功耗, 缓解显示图像失真问题, 文献[12-14]中算法结合了这两种方法的优势, 在节省功耗的同时提高显示图像的质量。此外, 查表法(LUT)<sup>[15]</sup>、累积分布函数(CDF)法<sup>[16]</sup>、映射函数反转(IMF)法<sup>[17]</sup>等也逐渐在区域调光领域得到广泛关注, 相比于最大值法和平均值法, 这些方法能够使显示图像展现更好的视觉效

收稿日期: 2019-09-20; 修回日期: 2019-10-14; 录用日期: 2019-11-02

基金项目: 国家自然科学基金(61350009, 61179045)、华为创新研究计划(HO2018085418)

\* E-mail: 863422551@qq.com

果,并能更好地展示细节信息。查表法是在平均值法的基础上,将分区的亮度信息加上一个背光修正值,所得结果即为该区域的背光亮度;CDF法利用图像各分区的灰度直方图,得到各分区的概率密度函数(PDF)曲线,对分区的PDF曲线进行累加得到CDF曲线,将预设的阈值 $K$ 映射到CDF曲线灰度轴上,得到分区背光亮度值;IMF法以CDF法为基础,在得到输入图像各分区的CDF曲线后,将CDF曲线进行直线 $y=x$ 的镜像,得到背光调制的IMF曲线,将相应分区的灰度最大值或者其他参数通过该曲线进行映射,从而得到局部背光亮度值,但处理暗区图像时存在严重的细节失真。文献[18]提出了一种基于直方图和其他图像特征的自适应区域调光方法,这种方法并没有提升LCD的对比度,而是强调了区域调光法的低功耗特点。文献[19]提出了用于提升图像对比度和视觉质量的新型区域调光算法,目的在于将液晶显示屏的动态范围提升到最佳的可能范围。文献[20]介绍了一种基于图像特征的高性能区域调光算法,从而更好地根据图像内容特点进行区域背光提取。

单一区域调光算法在进行区域背光提取时,往往只针对图像的单一特点,如最大值法,将图像块内所有像素的最大灰度值作为背光强度,侧重于图像的高亮部分,导致提取的背光不能充分考虑图像其他内容的表达。在像素补偿后,部分图像内容显示出现失真,进而导致图像整体视觉质量的下降。本文针对现有单一区域调光算法在区域背光提取中存在的问题进行了探索,提出了一种新的可调节区域调光方法。

通过改变背光模组中的背光值,利用LED-LCD双调制显示器进行显示图像质量的实时观测,凭借主观评价找到使图像显示质量达到人眼观看更舒服、整体质量最好的一组背光,然后利用模糊-掩模算法(BMA)<sup>[19]</sup>对最优背光进行平滑,进而对平滑后的背光进行像素补偿。实验中,对高亮度图像、低亮度图像、高对比度图像和低对比度图像分别应用本文提出的区域调光方法进行处理,实验结果表明本文所提方法能够在一定程度上提高图像对比度及其整体的显示质量,并且能避免图像一些区域的细节损失。

## 2 一种基于LED-LCD双调制显示器的背光提取方法

为了尽可能结合不同区域背光提取算法的优势,提出了一种基于LED-LCD的双调制显示器背光提取方法。该方法考虑了图像的实际显示质量,在某种程度上克服了单一算法的局限性。首先从现有区域背光提取算法中选出一种算法,用来提取图像的背光,并将该背光作为初始背光,然后用多种已有区域背光提取算法提取出的背光结果构造背光限制条件;其次,通过计算初始背光的均值和方差来将初始背光划分为高亮、中亮、低亮区域;最后,以不同的步长改变低亮和高亮区域的背光强度,得到多组调整后的背光,并通过LED-LCD样机进行显示图像的视觉质量评价,选出使图像显示质量最好的背光作为该图像对应的最优背光。本文提出的新型可调节的自适应区域调光方法框图如图1所示。

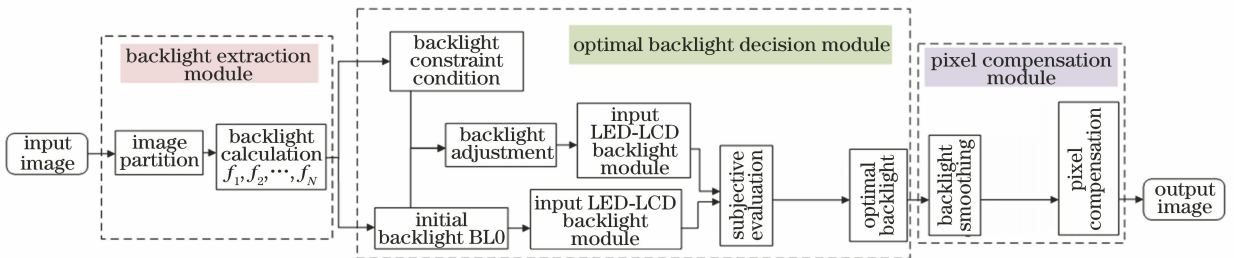


图1 提出的可调节的自适应区域调光方法框图

Fig. 1 Block diagram of adjustable adaptive local dimming method

本文提出的可调节的自适应区域调光方法不仅考虑了图像内容特点,还结合了现有区域背光提取技术中的不同优势,通过实际显示样机确定使得图像的视觉感受更加生动逼真的最优背光。经过像素补偿后的图像显示暗的区域更暗,亮的区域更亮,显示图像的对比度得到有效提高。

### 2.1 背光提取模块

作为区域调光技术的一部分,背光提取是基于

亮度分量而非色度信息,本文中利用的亮度信息 $Y$ 是经过从RGB到YCbCr的颜色空间转换得到的。转换方法可表示为

$$[Y \quad c_b \quad c_r]^T = \mathbf{M}_{\text{rRGB}} \cdot [R \quad G \quad B]^T + [16 \quad 128 \quad 128]^T, \quad (1)$$

$$\text{式中: } \mathbf{M}_{\text{rRGB}} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.564 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix}, \text{ 是从}$$

RGB到YCbCr的颜色空间转换矩阵; $R$ 、 $G$ 、 $B$ 分别为红色、绿色、蓝色分量; $Y$ 表示图像的亮度分量; $c_b$ 和 $c_r$ 表示图像色度分量。

假设 $N$ 为利用的区域背光提取算法的总类数,显示图像的分辨率为 $w \times h$ ,采用区域背光算法得到的背光大小为 $m \times n$ ,则提取公式为

$$B_k(i, j) = f_k \left\{ Y \cdot \text{floor} \left[ (i-1) \times \frac{w}{m} : i \times \frac{w}{m}, (j-1) \times \frac{h}{n} : j \times \frac{h}{n} \right] \right\},$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

式中: $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $f_k$ 为第 $k$ 种区域背光提取函数; $B_k$ 为由 $f_k$ 计算得到的背光结果; $(i, j)$ 为背光矩阵中背光值的坐标; $\text{floor}(\cdot)$ 表示向下取整函数。

## 2.2 最佳背光判定模块

针对2.1节得到的图像的 $N$ 个背光提取结果,选择其中的一个结果作为初始背光 $B_0$ 。然后,计算初始背光的均值和方差,将初始背光分为高亮、中亮、低亮三个区域,进而通过不同的步长和构造的背光限制条件去调整初始背光的不同区域,得到不同的调整背光。将调整后的所有背光单独地传送给LED-LCD样机的背光模组,利用主观视觉挑选出最优背光。该方法在现有区域背光提取算法的基础上,将不同算法侧重不同图像内容的优点通过背光调整 and 实际显示进行结合和均衡,挑选出能够提供良好视觉感知的图像质量的背光来确定最优背光。

### 2.2.1 背光约束条件

在改变初始背光的过程中,本文构造了背光约束条件以给出变化幅度的范围,这有利于抑制图像质量衰减和整合不同算法的优势。对于特定的图像块,查找不同区域背光提取算法得出的背光结果,得出该图像块内容对应的最大背光值和最小背光值。最终得到的最大值和最小值背光矩阵元素分别用 $M_{\max}$ 和 $M_{\min}$ 表示:

$$M_{\max}(i, j) = \max[B_k(i, j)], \quad (3)$$

$$M_{\min}(i, j) = \min[B_k(i, j)]. \quad (4)$$

考虑到在构建背光约束条件的过程中利用的区域背光提取算法是有限的,本文将得到的 $M_{\max}$ 和 $M_{\min}$ 分别增加和减少10%,但是最大值不超过255,最小值不能小于0。

### 2.2.2 背光调节原则

基于人眼的亮度阈值特性,人眼只能感知到超过特定阈值的灰度差。两个灰度等级之间的最小灰度级被称为恰可察觉差(JND)<sup>[17]</sup>。图2表明了

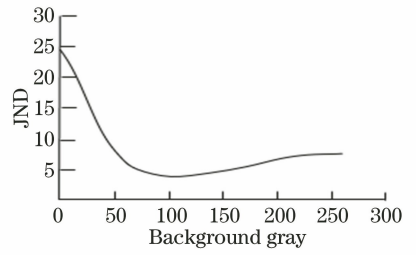


图2 JND曲线

Fig. 2 JND curve

JND与背景灰度的关系。

JND曲线反映了人类视觉的敏感性。正如在图2中看到的,在不同的亮度背景下,人眼对于不同灰度级发生变化的感知程度也会不同。因此,对于一个像素来说,不同的背光会带来不同的视觉感知。对于本研究而言,当背光发生改变时,不仅会改变相关图像块内容的视觉效果,其他相邻图像块的视觉感受质量也会受到影响。

以未发生失真的图像为前提,根据初始背光的均值和方差将其分成三个区域,即高亮、中亮、低亮区域。降低低亮区的背光同时提高高亮区的背光以便营造可分辨的视觉差异,由于降低和提高光的幅度不同,得到不同组调整后的背光。根据JND曲线,设定调整的最大幅度为 $2^5$ 。此外,调整后的背光在背光约束条件内。整个过程的详细说明如下。

1) 首先根据文献[19]中提出的背光提取函数 $f$ 得到初始背光 $B_0$ :

$$B_0 = f(Y). \quad (5)$$

2) 由步骤1)得出的 $B_0$ 计算均值和方差,分别记作 $m_b$ 和 $v_b$ ,低亮区和中亮区分界点用 $O_1$ 表示,中亮区和高亮区分界点用 $O_2$ 表示。均值、方差的计算式分别为

$$\left\{ \begin{aligned} m_b &= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_0(i, j)}{m \times n} \\ v_b &= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [B_0(i, j) - m_b]^2}{m \times n} \end{aligned} \right. , \quad (6)$$

分界点表示为

$$\begin{cases} O_1 = m_b - v_b \\ O_2 = m_b + v_b \end{cases} \quad (7)$$

3) 按照(8)式调整初始背光值 $B_0$ ,可以得到5组不同的背光值:

$$B_a(i, j) = \begin{cases} B_0(i, j) - 2^a, & B_0(i, j) < O_1 \\ B_0(i, j) + 2^a, & B_0(i, j) > O_2 \end{cases}, \quad (8)$$

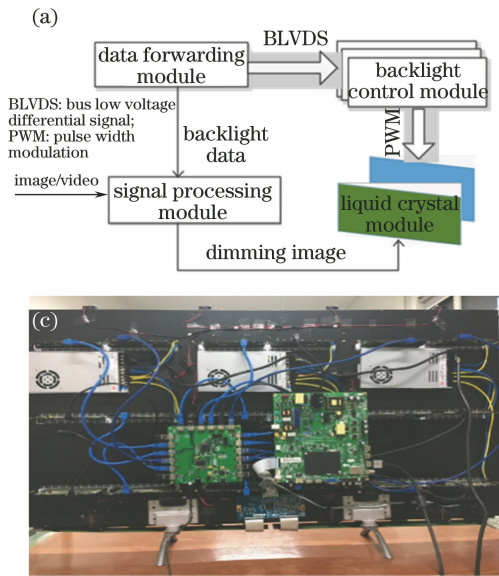


式中:  $\alpha = 1, 2, \dots, 5$ 。

4) 利用 2.2.1 节中的背光约束条件对  $B_\alpha$  进行背光约束。

### 2.2.3 最佳背光获取

本文采用实验室研制的 LED-LCD 双调制显示系统主观选择最优背光, 显示原理如图 3(a) 所示。该系统主要采用背光模组和液晶显示面板同时实现图像的显示。其中背光模组由分布均匀的 LED 光源阵列构成, 大小为  $66 \times 36$ , 在图像显示的过程中



起着提供光源的作用。液晶显示面板为非自主发光面板, 分辨率为  $1920 \times 1080$ , 液晶材料为 MVA (multi-domain vertical alignment), 在图像显示的过程中借助背光模组提供的光来显示图像内容。该显示器的最大亮度是  $1200 \text{ cd/m}^2$ , 最小亮度小于  $0.02 \text{ cd/m}^2$ 。该显示器将 LED 背光面板划分为 9 块, 每块背光板分为 264 个背光单元, 按照  $22 \times 12$  的方式均匀排布, 图 3(b) 所示为一块背光板的结构示意图。图 3(c)、(d) 为显示样机。

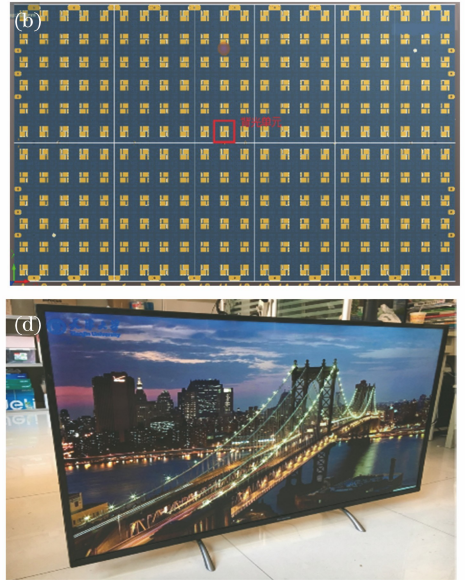


图 3 LED-LCD 双调制显示器样机。(a) 显示原理; (b) 背光板的结构示意图; (c) 原型样机背面结果; (d) 原型样机  
Fig. 3 LED-LCD dual modulation display prototype. (a) Display principle; (b) structural diagram of backlight panel; (c) back of prototype; (d) picture of prototype

在调节背光的过程中, 人眼能直接感知处于不同背光环境下的图像质量。根据(8)式, 改变的光的幅度以 2 的指数增长, 因此每幅液晶面板图像对应的背光共有 6 组, 1 组为初始背光, 5 组为改变背光。所以主观评价方法为: 选取 20 个视力正常的观察者, 这里的视力正常指的是无色弱、色盲等影响对图像显示质量进行正常判断的眼睛疾病。20 个视力正常的观察者包括 10 男 10 女, 且他们都非本领域的研究人员, 因此在选取使液晶面板图像呈现质量最优的背光的过程中, 可根据实际感受进行客观公正的选择。当液晶面板图像确定后, 先输入初始背光, 再输入第 1 组改变背光, 接着 20 位观察者在两组中选出 1 组使液晶面板图像内容呈现质量更好的背光。然后再输入第 2 组改变背光, 观察者在已选出的背光和第 2 组改变背光中继续进行选择, 直到第 5 组改变背光输入完毕, 观察者选出 6 组背光中使液晶面板图像内容呈现质量最佳的最优背光。其中, 每组背光停留时

间为 3 s, 观察者每次选择的时间为 3 s。在一次最优背光选择完毕后, 观察者将有 10 s 的休息时间, 再进行下一轮的最优背光的选取。在初始背光和最优背光下图像的显示质量如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 本文提出的新型可调节的背光提取方法能够使显示图像提供更生动的视觉感知。在标记区域, 图像的色调饱和度高, 使显示图像没有颜色失真并且更加生动。

### 2.3 像素补偿方法

与全局调光相比, 背光模组的亮度降低使得区域调光后的图像在实际显示时整体亮度偏低。因此需要对显示在 LCD 面板上的图像进行一定的像素补偿来使调光后的图像与未进行调光时的图像显示亮度相同, 使得显示出的图像在 LCD 面板图像和区域背光的共同作用下, 不仅可保持原图像的显示亮度, 还能提高显示图像的对比度。但是如果利用得到的最优背光直接进行像素补偿, 则比较容易

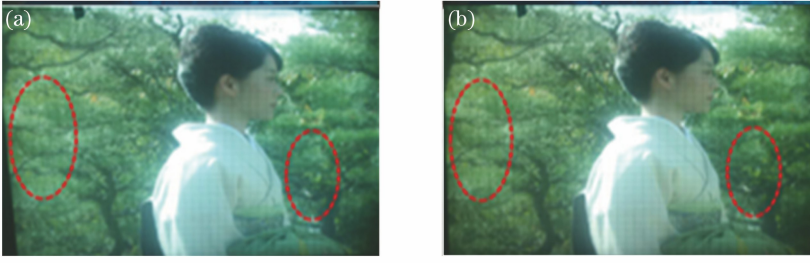


图4 初始和最优背光下的显示图像对比。(a)初始背光;(b)最优背光

Fig. 4 Comparison of displayed images under initial and optimal backlight. (a) Initial backlight; (b) optimal backlight

出现块效应。块效应表现为相邻图像分区的背光值差异较大,造成明显的块边界,如图5(a)所示。块效应会降低图像的显示质量,因此采用BMA法来平滑最优背光。BMA通过建立局部背光扩散模型模拟实际显示系统中光传播导致的各像素背光分布,具体见参考文献[19]。此过程可表示为

$$B_{\text{smoothed}} = \varphi(B_{\text{adjusted}}), \quad (9)$$

式中: $B_{\text{smoothed}}$ 为经过BMA后的背光; $B_{\text{adjusted}}$ 为进行BMA前的背光; $\varphi(\cdot)$ 代表BMA函数。图5为未进行和进行背光平滑的对比结果。图5(a)代表存在块效应的背光,图5(b)为采用BMA消除了块效应的结果。

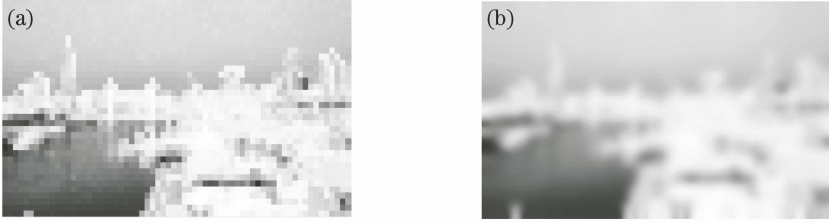


图5 背光平滑对比结果。(a)未进行背光平滑;(b)进行背光平滑

Fig. 5 Contrast results of backlight smoothing. (a) Without backlight smoothing; (b) with backlight smoothing

采用(10)式对液晶像素进行补偿,以保持显示亮度和背光全亮时的显示亮度基本不变。液晶补偿计算表达式为

$$\begin{cases} L_{\text{com}} = L_{\text{ori}} \times \left( \frac{255}{B_{\text{smooth}}} \right)^{\frac{1}{\gamma}}, & L_{\text{com}} \leq 255 \\ L_{\text{com}} = 255, & L_{\text{com}} > 255 \end{cases}, \quad (10)$$

式中: $L_{\text{ori}}$ 为原始的像素值; $L_{\text{com}}$ 为液晶补偿之后的像素值; $B_{\text{smooth}}$ 为平滑处理之后的背光值; $\gamma$ 为液晶显示器的校正系数,一般取值为2.2。

### 3 实验结果

本文用来构建背光限制条件的区域背光提取算

法有最大值法、平均值法、LUT法、IMF法和参考文献[19]中的算法。在文献[19]中,背光提取的过程为根据不同图像块的内容结合最大类间方差法确定分区背光调节系数,根据该系数确定分区背光调光灰度级,再通过计算分区背光调光比得到不同图像块对应的背光值。本文中将文献[19]中算法计算得到的背光作为初始背光。测试图像如图6所示,图像的分辨率均为 $1920 \times 1080$ ,所有测试图像都被分成 $66 \times 36$ 块,即背光模组的分辨率。根据文献[21]中利用CDF曲线对低/高亮度图像和低/高对比度图像的定义,在每一种类型中选出一幅图像来评估所提方法。

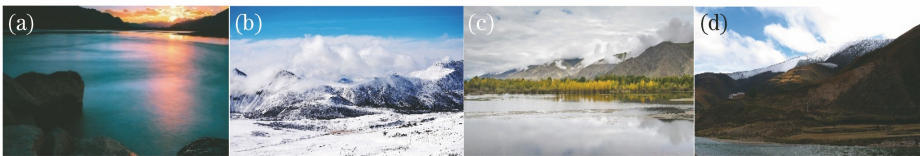


图6 测试图像 (a)低亮度;(b)高亮度;(c)低对比度;(d)高对比度

Fig. 6 Test images. (a) Low brightness; (b) high brightness; (c) low contrast; (d) high contrast

为了证实本文提出的区域调光方法有助于提升对比度,并因此能够提供令人满意的视觉感知,本文采用对比度(CR)、峰值信噪比(PSNR)、结构相似性(SSIM)和信息熵(IE)指标进行客观评估。CR是图像中最暗和最亮区域的亮度对比,CR越高,代表图像的亮度范围越大。PSNR是图像处理中常用的客观评估指标,PSNR越高,失真度越小。SSIM反映了目标结构的特征,SSIM的范围为0~1,SSIM越接近1,意味着图像质量越好。IE用以评估图像细节的丰富性。在图像处理过程中,若灰度级的数量减少,则信息熵减小,导致图像细节丢失。本文中对比度的计算方法为

$$\begin{cases} A_{10} = \sum_{i < P_{10}} ih(i) / \sum_{i < P_{10}} h(i) \\ A_{90} = \sum_{i > P_{90}} ih(i) / \sum_{i > P_{90}} h(i), \\ C_R = A_{90} / A_{10} \end{cases} \quad (11)$$

式中: $h(i)$ 代表灰度级为*i*的像素的数量; $P_{10}$ 、 $P_{90}$ 分别表示累计概率密度曲线中占图像总像素数10%和90%的亮度值。

另外,本文也采用了色差(CD)来衡量颜色信息的失真度。在RGB色彩空间中使用了加权欧氏距离,此过程可表示为

$$\begin{cases} \Delta C = \sqrt{\left(2 + \frac{\bar{r}}{256}\right) \cdot \Delta R^2 + 4 \cdot \Delta G^2 + \left(2 + \frac{255 - \bar{r}}{256}\right) \cdot \Delta B^2} \\ C_D = \frac{\Delta C}{m \cdot n} \end{cases}, \quad (12)$$

式中: $\bar{r} = (C_{1,R} + C_{2,R})/2$ ;  $\Delta R = C_{1,R} - C_{2,R}$ ;  $\Delta G = C_{1,G} - C_{2,G}$ ;  $\Delta B = C_{1,B} - C_{2,B}$ ;  $C_{1,R}, C_{1,G}, C_{1,B}$ 分别代表原图像经标准化后的R、G、B分量;  $C_{2,R}, C_{2,G}, C_{2,B}$ 分别代表合成图像经标准化后的R、G、B分量。  $C_D$ 代表

色差,其值越小,说明本文所提方法的有效性更佳。

基于上述分析,本文中使用了5种指标来证实所提方法的有效性。图7~10为使用最优背光得到的仿真结果。

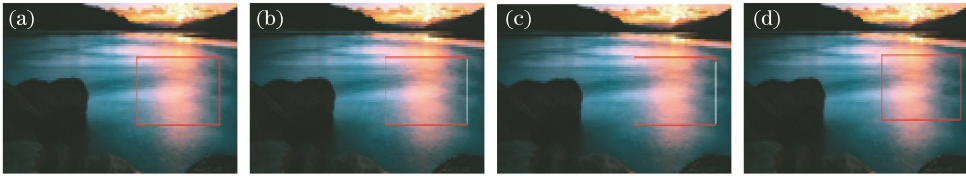


图7 低亮度图像不同方法的仿真结果。(a) CDF;(b) LUT;(c)文献[19]中方法;(d)本文方法

Fig. 7 Simulation results of different methods for low brightness image. (a) CDF; (b) LUT; (c) method in Ref. [19]; (d) proposed method

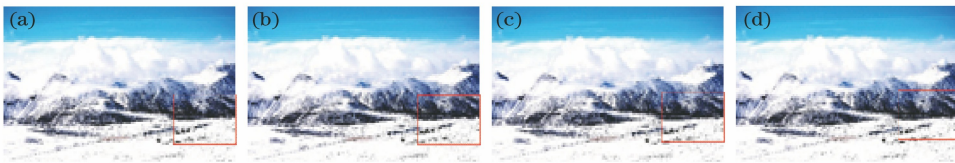


图8 高亮度图像不同方法的仿真结果。(a) CDF;(b) LUT;(c)文献[19];(d)本文方法

Fig. 8 Simulation results of different methods for high brightness image. (a) CDF; (b) LUT; (c) method in Ref. [19]; (d) proposed method

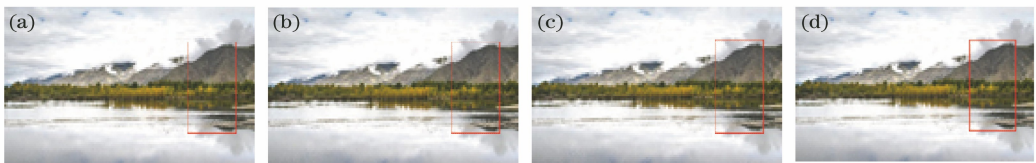


图9 低对比度图像不同方法的仿真结果。(a) CDF;(b) LUT;(c)文献[19];(d)本文方法

Fig. 9 Simulation results of different methods for low contrast image. (a) CDF; (b) LUT; (c) method in Ref. [19]; (d) proposed method



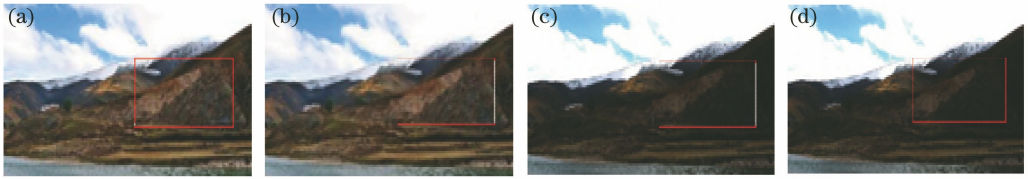


图 10 高对比度图像不同方法的仿真结果。(a) CDF;(b) LUT;(c)文献[19];(d)本文方法

Fig. 10 Simulation results of different method for high contrast image. (a) CDF; (b) LUT; (c) method in Ref. [19]; (d) proposed method

从图 7 和图 8 中可以看出,对于低亮度和高亮度图像来说,CDF 算法和 LUT 算法提供了比原图像相比更明亮的结果,但是缺乏逼真度。文献[19]中的算法在提高对比度的同时遮挡了部分细节,而本文提出的方法则保留了图像中的细节,如图 7 和图 8 中的框中区域所示。对于低对比度和高对比度图像来说,在不发生明显失真的情况下,CDF 和 LUT 方法也能提升图像的整体亮度。文献[19]中

的方法能提升亮区的亮度并降低暗区的亮度,但并未丰富整体图像的层次,如图 9 中的矩形框区域所示,通过 CDF 和 LUT 方法得到的图像使得本应该变暗的区域变得更亮,提供了低对比度的感知。图 10 中矩形框标注的细节被视作高空间频率部分而得以保留,这说明本文提出的背光提取方法与文献[19]中方法相比具有保留图像细节的特点,也具有达到真黑色和获得鲜艳颜色的能力。

表 1 不同算法的比较结果

Table 1 Comparison of results of different algorithms

Feature of image	Evaluation index	CDF	LUT	Method in Ref. [19]	Proposed method
Low brightness	CR	11.59	11.58	11.47	12.47
	PSNR	24.91	24.09	25.75	26.10
	SSIM	0.86	0.86	0.86	0.87
	IE	4.89	4.86	4.79	4.81
	CD	0.13	0.12	0.12	0.12
High brightness	CR	2.21	2.21	2.56	2.22
	PSNR	26.00	26.05	26.45	26.89
	SSIM	0.94	0.93	0.92	0.94
	IE	3.06	3.07	3.14	3.28
	CD	0.13	0.18	0.13	0.11
Low contrast	CR	2.97	2.93	2.93	2.90
	PSNR	27.23	27.25	27.81	28.09
	SSIM	0.95	0.95	0.95	0.96
	IE	3.60	3.60	3.61	3.68
	CD	0.18	0.18	0.18	0.17
High contrast	CR	13.05	13.06	13.05	13.06
	PSNR	28.63	28.65	30.00	30.55
	SSIM	0.89	0.88	0.89	0.91
	IE	3.73	3.73	3.76	3.81
	CD	0.09	0.09	0.08	0.09

不同区域调光算法的客观评估结果对比如表 1 所示。分析客观数据可得,4 种图像类型经过本文所提方法得到的 CR 比其他三种算法的最佳情况分别高出了 7.6%, -13.3%, -2.4%, 0, 信息熵则分别高出了 -0.16%, 4.5%, 2.0%, 1.3%。在多数情况下,细节得以改进的可能性很小,考虑保持合适的亮度是由对细节的考虑不周造成的。以图 7(a)为例,通过 CDF 输出生成的图像比本文所提方法得到

的图像亮得多,尽管它得到了最高的 IE 值,但细节保留得并非很多,这可以总结为由于计算 IE 的亮度值的增加,在全局范围内拥有高亮度的图像也有可能伴随着高的信息熵。因此在 CR 改善的情况下,应综合平衡 IE 和主观视觉。本文算法的 PSNR 和 SSIM 均高于其他三种算法,这说明该背光提取算法的失真度最小。从 CD 的结果可以看出,在色彩信息方面,经本文方法处理过的图像能够与原图像

保持一致。综上分析,本文方法在进行像素补偿后的效果相比于其他传统算法具有一定优越性,能够达到图像亮度提升和细节保留的效果。

## 4 结 论

为了克服单一区域调光方法的缺陷,提出了一种新型可调节的自适应区域调光方法。在该方法中,介绍了基于 LED-LCD 样机的一种新型的可调节的区域背光提取方法,提出了包括确定初始背光、调整初始背光、验证调整后的背光的背光提取方法,以确定使显示图像质量最为逼真的最优背光。背光约束条件用来抑制背光调节过程中的图像失真。采用校正系数进行像素补偿有利于使液晶屏显示出色彩丰富的图像。实验结果说明本文方法在提高对比度和保持图像显示色彩的饱和度方面有一定效果。

## 参 考 文 献

- [1] Zhang S F, Zhu T. A method of traffic sign detection and recognition based on HDR technology [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(9): 091006.  
张淑芳, 朱彤. 一种基于 HDR 技术的交通标志牌检测和识别方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(9): 091006.
- [2] Li Q, Liu Z Z, Cao H, et al. Parameter configurable LED display control system [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(10): 101101.  
李强, 刘振泽, 曹慧, 等. 参数可配置全彩 LED 显示控制系统[J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(10): 101101.
- [3] Tian H J, Hao T T, Guan T, et al. Discomfort glare caused by R/G/B/W four-color light emitting diode sources [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(13): 132301.  
田会娟, 郝甜甜, 关涛, 等. R/G/B/W 4 色 LED 光源不舒适眩光研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(13): 132301.
- [4] Lan X Y, Yang X, Su S C, et al. Effects of current and temperature stress on reliability of LED bulbs [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(8): 082301.  
蓝栩砚, 杨欣, 宿世臣, 等. 电流和温度应力对 LED 球泡灯可靠性的影响[J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(8): 082301.
- [5] Choi M, Hoffman D M. Efficacy of global dimming backlight and high-contrast liquid crystal panel for high-dynamic-range displays [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2017, 25(5): 283-294.
- [6] Feng Q B, He H J, Han D, et al. Image-classification-based global dimming algorithm for LED backlights in LCDs [J]. *Optics & Laser Technology*, 2015, 70: 106-111.
- [7] Zhang X B, Liu X, Liu B, et al. The improved CDF algorithm for global backlight dimming of LCD [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2012, 39(12): 127-131.  
章小兵, 刘欣, 刘波, 等. 液晶显示器全局动态背光调整的改进 CDF 方法[J]. *光电工程*, 2012, 39(12): 127-131.
- [8] Lee T W, Lee J H, Kim C G, et al. An optical feedback system for local dimming backlight with RGB LEDs [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(4): 2178-2183.
- [9] Liu Y H, Yang Z Z, Wang S C. A novel sequential-color RGB-LED backlight driving system with local dimming control and dynamic bus voltage regulation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(4): 2445-2452.
- [10] Oh W S, Cho D, Cho K M, et al. A novel two-dimensional adaptive dimming technique of X-Y channel drivers for LED backlight system in LCD TVs [J]. *Journal of Display Technology*, 2009, 5(1): 20-26.
- [11] Martin S, Aldo B, Jerzy K. Characterization of a high-quality monochrome AM-LCD monitor for digital radiology [J]. *Proceedings of SPIE*, 2002, 4681: 293-304.
- [12] Kim S E, An J Y, Hong J J, et al. How to reduce light leakage and clipping in local-dimming liquid-crystal displays [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2009, 17(12): 1051-1057.
- [13] Lai Y K, Lai Y F, Chen P Y. Content-based LCD backlight power reduction with image contrast enhancement using histogram analysis [J]. *Journal of Display Technology*, 2011, 7(10): 550-555.
- [14] 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.
- [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] Liu Y Z, Zheng X R, Chen J B. Dynamic backlight



- signal extraction algorithm based on threshold of image CDF for LCD-TV and its hardware implementation [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2010, 25(3): 449-453.
- 刘艳中, 郑学仁, 陈建宾. 基于图像 CDF 阈值的 LCD-TV 动态背光主亮度提取算法及其硬件实现 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(3): 449-453.
- [17] 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.
- [18] Nadernejad E, Burini N, Korhonen J, et al. Adaptive local backlight dimming algorithm based on local histogram and image characteristics [J]. Proceedings of SPIE, 2013, 8652: 86520V.
- [19] Zhang T, Wu H Y, Li M, et al. A novel local dimming algorithm to improve image contrast and visual quality [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2017, 39(12): 1888-1897.
- 张涛, 巫红英, 李蒙, 等. 一种提高图像对比度和视觉质量的新型区域背光算法 [J]. 工程科学学报, 2017, 39(12): 1888-1897.
- [20] Zhang T, Wang Y F, Wu H Y, et al. High-performance local-dimming algorithm based on image characteristic and logarithmic function [J]. Journal of the Society for Information Display, 2019, 27(2): 85-100.
- [21] Tong H. Research of LCD dynamic control LED backlight algorithm [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- 童浩. 液晶显示 LED 背光源动态调光算法研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.