

## 高动态范围迷你LED和双屏液晶显示器恩林祥, 黄玉阁, 钱阳, 和新松吴学院光学和光子学, 中佛罗里达大学, 奥兰多FL

### 摘要

研究了两种高动态范围显示器: 双单元液晶显示器和微型LED背光液晶显示器。在双面板显示中, 通过一种新提出的分裂算法分析和减轻大视角下的视差误差。此外, 在不同的显示亮度、环境反射率和环境光照度下, 将微型LED背光液晶显示器的图像质量与OLED进行了比较。随着环境光亮度的增加, 微型LED液晶显示器的光晕效应变得不那么明显。

### 关键词

高动态范围; 迷你LED; 双面板显示; 环境光; 视差误差。

### 1. 引言

高动态范围(HDR) [1]是显示设备的关键要求。HDR技术应满足真正的暗态和高的峰值亮度, 即。高对比度, 2)宽色域(BT2020), 3)超过10位深度。液晶显示器的对比度受到来自TFT阵列、LC层和彩色滤波器[2]的去极化效应的限制。通常情况下, MVALCD的对比度为 $CR \sim 5000:1$ , FFSLCD $\sim 2000:1$ 。液晶显示器的比特深度受大电压摆动的限制, 12位显示器的电压摆动约为20V, 灰度响应时间较慢。

近年来, 局部调光方法显著提高了LCD的动态范围。背光单元被分割成数千个区域, 背光照度可以根据不同区域的图像内容独立调制。在暗影像区域, 对应的背光可以调暗。因此, LCD的动态对比度可以大大提高。此外, 这种额外的背光调制层可以提供更多的比特深度。采用不同的驱动电路, 最大电压摆动可控制在5伏以内。

开发了实现局部调光的两种主要方法: 微型LED背光液晶显示器和双电池液晶显示器。在前者中, 如何同时选择各背光区的亮度和LC面板的透射率来重建目标HDR图像是重要的[3]。在我们以前的报告[4]中, 提出了一种驱动背光强度和LC面板透射率以实现12位感知量化器(P-Q)曲线的方案。

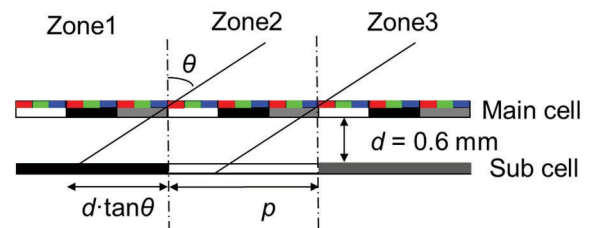
在双面板液晶显示器中, 由于TN、FFS和MVA的电光特性不同, 因此对比度、响应时间和驱动方案也会有所不同。在[5]中, 我们提出了一种双单元液晶显示器, 采用黑白TN面板作为子单元, 全彩色FFS作为主单元。这样的双面板显示 $CR \sim 1,000,000:1$ 和超过14位深度仅5伏特。

本地调光方法可以通过直接点亮或边缘点亮LED[6, 7]来实现。区域数目和固有LC对比度是影响图像质量[8]的两个关键因素。小LED区域的数量, 以达到与OLED显示的可比图像质量是至关重要的。从人类视觉实验[9]出发, 我们建立了一个关于所需区域数的重要指南, 它取决于LCD的静态对比度, 以实现迷你LED背光液晶显示器和OLED显示器之间无法区分的图像质量。

HDR液晶显示器: 1) 双面板大视角显示的视差误差; 2) 环境光对微型LED背光液晶显示器图像质量的影响。

### 2. 双单元液晶显示器的视差误差

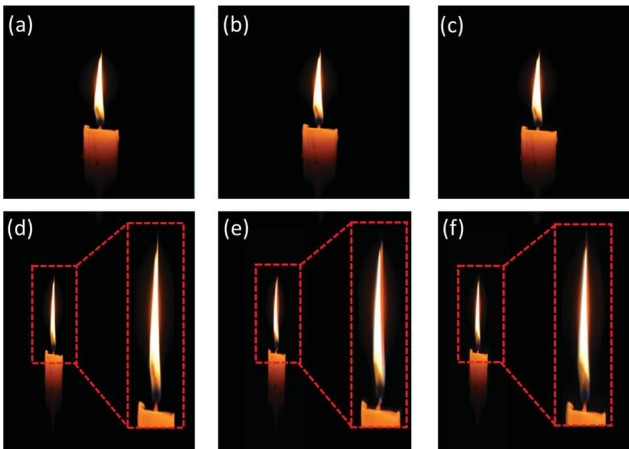
双单元LCD的器件结构由两个LC面板组成: 子单元格(B/W)和主单元格(全彩色)。背光强度将首先由分辨率较低的子单元调制, 例如。2k1k。根据子细胞的空间强度分布, 高分辨率的透射率(例如。4K2K)主单元格被设计用来重建HDR图像。然而, 视差误差是双单元液晶[10]的一个关键问题。视差误差来源于子单元格和主单元格在较大视角下的失调。如图所示。在正常视图( $\theta=0$ )中, 来自子单元格每个区域的光通过主单元格中的相应区域。然而, 随着的增加, 区域2中主单元格的亮度将受到来自子单元格的区域1和区域2的光的影响。因此, 相声发生在大型观赏天使。



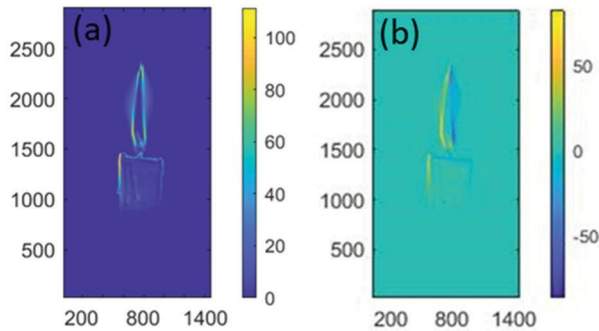
无花果。1. 大视角下背光区的移动

为了评估双单元LCD的视差误差效应, 我们用MATLAB进行了仿真。在我们的模拟中, 子单元格与主单元格之间的间隙距离为0.6mm, 包括TFT衬底(300  $\mu\text{m}$ ), 偏振片(100  $\mu\text{m}$ ), 分析仪(100  $\mu\text{m}$ ), 玻璃衬底(100)。如图所示。描述了位移距离为 $\delta \delta \tan$ Figure 2给出了仿真结果。控制图像, 双单元图像, 和双单元图像与我们新提出的分裂算法在正常角度如图所示。2(a-c), 结果为60°视角如图所示。2(d-f)。从无花果。2(d)和2(e), 视差误差在火灾区域附近明显。然而, 我们的新分裂算法的双面板显示了在大视角下的图像质量有了很大的改善(图。在正常天使保持高图像质量的同时(图1。2(c))。我们的新方法的细节将在稍后讨论。

除了视觉比较外, 我们还利用色差来定量分析两幅图像之间的视差误差。在图中。三, 蜡烛边界出现相对较大的色差, 表示图片中的高频面积。高频区域的失调将导致背光照度急剧变化。o值(控制图像的强度减去双面板图像的强度)如图所示。3(b)。在 $\theta < 0$ 时, 背光向右移动, 使蜡烛左侧的强度降低, 蜡烛右侧的强度增加。



无花果。 2. (a-c) 目标图像、双面板图像和双面板图像，并提出了一种新的分割算法。 (d-f) 模拟结果在第60°视角。



无花果。 3. (a) 色差，(b) 60°视角的  $\delta L$ 。

为了减少视差误差，我们在子单元中添加了一个低通滤波器，以平滑高频区域的背光强度变化。在我们的模拟中，我们应用了二维高斯滤波：

$$I_{nm} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

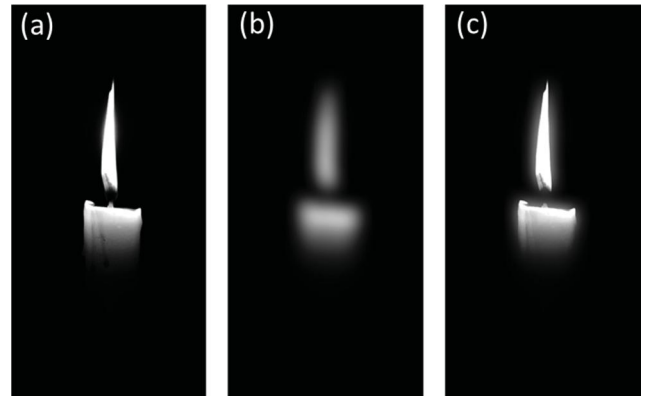
平滑背光强度分布。在情商里，(1) 是高斯拟合参数。随着变大，图像的频率减小。因此，可以减少视差误差。然而，由于背光照度模糊，正常角度下重建的图像质量降低。为了恢复图像质量，我们提出了一种新的方法，其中每个区域的子单元强度由：定义：

$$I_{nm} = \text{Max}(L_{nm}(w/o \text{ 过滤器}), L_{nm}(\text{高斯滤波器})) \quad (2)$$

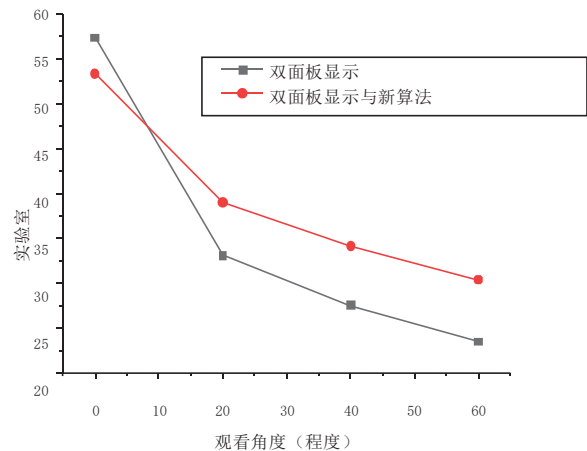
其中 [n, m] 代表子单元的分辨率。我们以原始图像和高斯滤波图像的最大值作为子单元格的强度。图4(A) 描述了没有高斯滤波器和图的子单元格中的强度。图4(B) 显示了3mm的高斯滤波，这是我们仿真中的优化值。最后，图。显示了我们的方法的强度分布。

双面板图像对控制图像的LabPSNR如图所示。5. 我们发现，新的分割算法可以大大提高大视角下的图像质量。在0°在这两种情况下，实验室PSNR都在47.4dB以上，这一点

表明大多数人无法注意到双单元图像与目标图像[9]之间的图像差异。



无花果。 4. 模拟了(A) 没有高斯滤波器的强度分布，(B) 在3mm处用高斯滤波器，(C) 我们新提出的方法。



无花果。 5. 带和不带双面板显示的PSNR不同视角的改进。

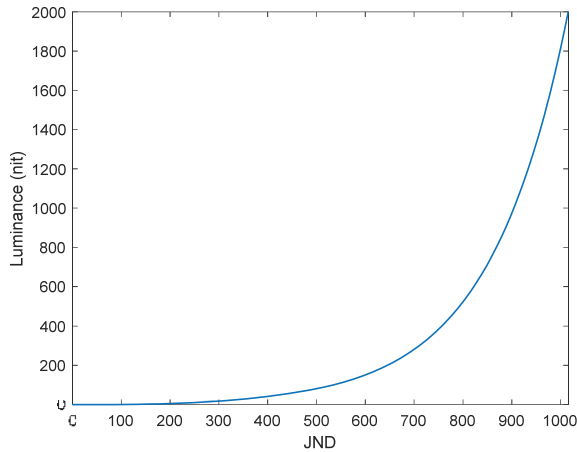
### 3. 环境光效果的迷你LED液晶显示器

局部调光的目的是最大限度地减少黑暗状态下的漏光，从而提高对比度。在我们以前的工作中，我们研究了在黑暗环境[8]中，局部调光区和LC对比度如何影响图像质量。然而，在实际应用中，也应该考虑环境光效应，因为它可以洗掉图像内容的局部细节，缩小图像的颜色饱和度。在正方面，由于环境对比度的降低，晕效应也降低了，这降低了迷你LED背光液晶显示器的图像质量。

我们模拟了一个6.4英寸2880×1440液晶显示系统与迷你LED背光，这与我们以前的研究相同。液晶显示器的静态对比度为2000。微型LED间距1mm，局部调光区数288个。研究了两种正常角度的环境反射率：4% (不含减反射膜) 和1.2% (含减反射膜) 的OLED显示器和微型LED液晶显示器。在这里，只使用明显的差异 (JND) 来评估环境光下的图像质量

环境[11]。由于人类视觉系统对白色亮度变化最敏感，我们在下面的模拟中将我们的图像转换为灰度图像。

阈值与强度曲线[12]定义了人类可以区分每个亮度差异的阈值亮度变化。图6显示了线性标度中每个亮度中有多少JND。

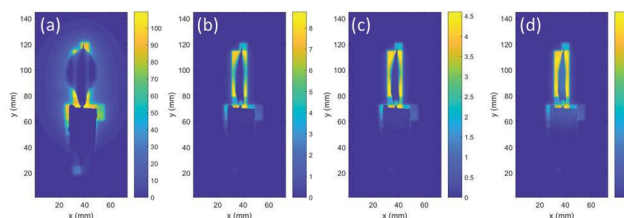


无花果。6. 亮度作为差异 a 功能只是显而易见的

两幅不同图像之间每个像素的JND可以通过以下方程计算：

其中 $E_{12}$ 表示每个像素中两幅图像之间有多少JND， $[m, n]$ 表示LC面板的分辨率 $L_1$ 和 $L_2$ 代表图像1和图像2中每个像素的亮度。为了例如，如果 $L_1=400$ nits，然后从图中。其相应的JND水平为756，对于 $L_2=200$ nits，其对应的JND级别为645。因此， $E_{12}$ 等于 $756 / 645$ ，即1.11。

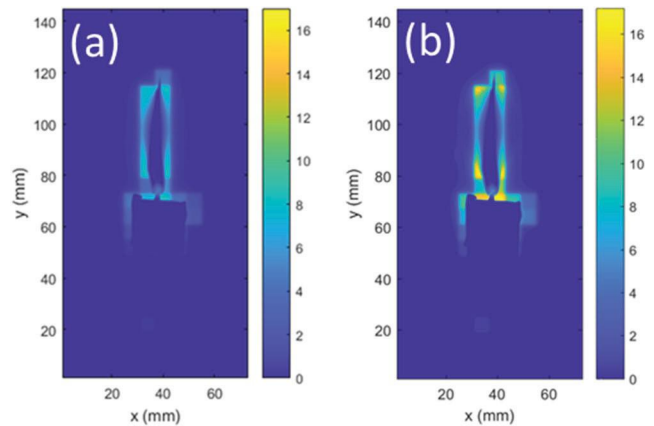
在图7(a-d)中，说明了OLED显示器和迷你LED背光液晶显示器之间的JND。环境反射率为4%，环境光为[0, 100, 300, 10000]勒克斯，两个显示器的峰值亮度为500nits。我们可以清楚地观察到，在低环境光条件下，蜡烛边缘的JND值很大。原因是区号不足(288)。因此，人眼可以很容易地检测到光晕效应。然而，随着环境光照度的增加，JND值减小，正如垂直标尺所注意到的那样。因此，光环效应逐渐变得不引人注目。



无花果。7. (a-d) OLED显示器和微型LED背光液晶显示器之间的JND。环境反射率为4%，环境光照度分别为[0, 100, 300, 10000]勒克斯。

减反射膜应用于电视和显示器等许多应用。为了评价不同环境反射率的影响，我们将环境反射率设为1.2%。图8(a)

和8(B)显示了模拟的JND在不同的环境反射率分别为4%和1.2%，在100通量环境光。随着环境反射率变小(图。8(b)，光环效应更为明显。另一方面，如果环境反射率变大(图。8(a)或环境照度增加时，显示面板反射的光线会增加，进而会涂抹迷你LED背光液晶显示器的光晕效应。

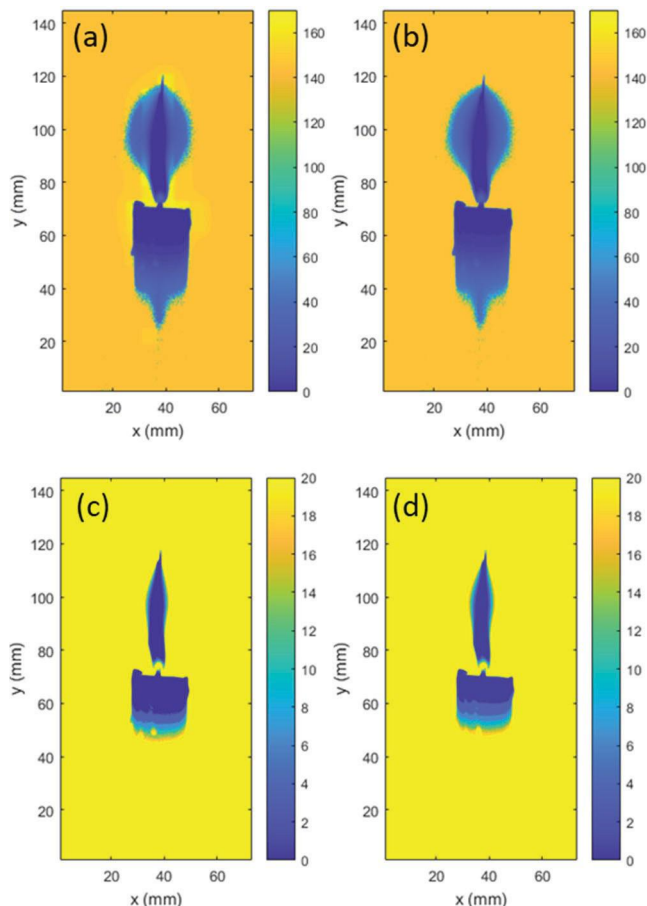


无花果。8. 在(A)4%和(B)1.2%的环境反射率下，OLED显示器和微型LED液晶显示器之间的JND。环境光照度为100勒克斯。

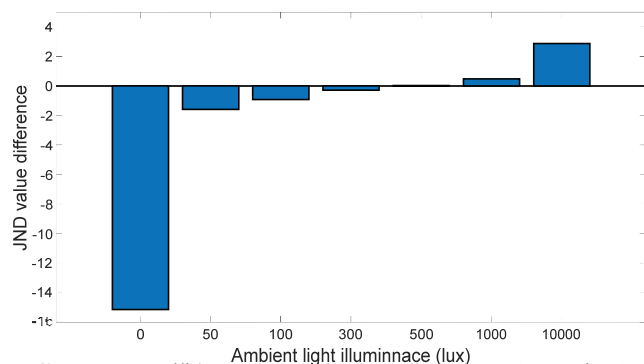
对于OLED显示器，总是有权衡亮度和寿命。然而，微型LED背光液晶显示器的亮度可以高得多。高亮度的显示有助于保持图像细节在强环境光条件下。在下面，我们将迷你LED液晶显示器的峰值亮度设置为2000nits，OLED显示器的峰值亮度设置为1000nits，而环境光为500lux。微型LED背光液晶显示器和目标图像之间的JND如图9(A)所示，OLED显示器和目标图像之间的JND如图9(B)所示)。在这里，参考是没有环境光的目标图像，即。黑暗状态几乎为零亮度。因此，JND在暗区很大。为了在蜡烛区域显示JND，我们将最大刻度条设置为20JND，如图9(C)和9(D)所示。与OLED显示图像相比，微型LED液晶显示器在蜡烛区域的JND较少。因此，当存在500个通量的环境光时，高亮度的迷你LED液晶显示器可以解决更多的图像细节问题。

图10显示了OLED和迷你LED背光液晶显示器之间的平均JND差异。负值意味着OLED的平均JND小于微型LED液晶显示器，也就是说，OLED比微型LED液晶显示器具有更好的图像质量。另一方面，正值意味着迷你LED液晶显示器比OLED具有更好的图像质量。从图中。交叉点发生在~500勒克斯，这是关于办公室环境照明条件。这个交叉点将向左移动(即。一个较低的值)随着迷你LED背光LCD的本地调光区数的增加或LCD的静态CR的增加。

在这里，我们展示了在环境光存在下图像质量变化的趋势。还需要进一步的人类视觉实验来验证我们的分析。然而，从上面的讨论来看，由于光环效应在环境光下不那么明显，为了在环境光条件下实现与OLED显示器相同的图像质量，迷你LED背光液晶显示器所需的区域号应该比在黑暗环境下小得多。



无花果。9. (a) 微型LED背光液晶图像和目标图像之间的JND, (b) OLED显示图像和目标图像之间的JND。 (c, d) 表示图9(a, b), 最大标度条=20JND。



无花果。10. 模拟了OLED和微型LED背光液晶显示器在不同环境光照度下的平均JND值差。

#### 4. 结论

我们分析了双面板显示器中的视差误差, 并提出了一种新的LC分割算法, 以缓解视差误差, 同时保持正常角度的图像质量。此外, 我们还讨论了环境光对微型LED液晶显示器的影响。随着环境光的增加, 不良的光晕效应更容易被原谅。更重要的是, 由于亮度和亮度之间的权衡

在OLED显示器中, 在环境照明环境下, 较高亮度的迷你LED液晶显示器可以提供比OLED显示器更好的图像质量。在我们的模拟中, 微型LED液晶显示器为2000nits, OLED显示器为1000nits, 微型LED液晶显示器的图像质量优于OLED显示器, 因为环境照度大于500勒克斯。

#### 5. 供资

a. u. Vista公司。

#### 6. 参考资料

- [1] Helman JL. i3. 4: 邀请文件: 向消费者设备提供高动态范围视频。在SID研讨会摘要技术论文2015年6月(第一卷。46, 否。1, pp. 292295).
- [2] 陈宏, 谭G, 李MC, 李SL, 吴ST. 液晶显示器中的去极化效应。光学快递。5月15日2017; 25 (10): 11315-28.
- [3] 林福强, 黄永平, 廖丽英, 廖CY, 谢惠普, 王TM, 叶SC. 动态背光伽马在高动态范围液晶电视。显示技术杂志。20086月1日; 4 (2): 139-46.
- [4] 朱R, 陈H, 吴ST. 用液晶显示实现12位感知量化器曲线。光学快递。20175月15日; 25 (10): 10939-46.
- [5] 陈宏, 朱R, 李MC, 李SL, 吴ST. 高动态范围液晶显示器的逐像素局部调光。光学快递。20172月6日; 25 (3): 1973-84.
- [6] Cha S, Choi T, Lee H, Sull S. 一种用于边缘照明LED背光LCD的优化背光局部调光算法。显示技术杂志。2月9日2015; 11 (4): 378-85.
- [7] 陈宏, 宋杰, 海特, 朴英. 39.3: 当地Pixel $\rho$ 补偿背光调光以改善LED背光LCD上的静态对比度。2007年5月, SID专题讨论会技术文件摘要(第一卷。38, 否。1, pp. 1339-1342)。牛津, 英国: Blackwell出版有限公司。
- [8] Hoffman DM, Stepien NN, 熊W. 本机面板对比度和局部调光密度对高动态范围显示器感知图像质量的重要性。信息显示学会学报。4月2016; 24 (4): 216-28.
- [9] 谭G, 黄勇, 李MC, 李SL, 吴ST. 高动态范围液晶显示与迷你LED背光。光学快递。20186月25日; 26 (13): 16572-84.
- [10] Luka S, Ferwerda JA. P $\rho$  55: High $\rho$  Dynamic $\rho$  Range显示器的比色图像分割。在SID研讨会摘要技术文件2009年6月(第一卷。40, 不。1, pp. 1298-1301)。牛津, 英国: Blackwell出版有限公司。
- [11] Guarnieri G, Albani L, Ramponi G. 用于双层液晶显示器的最小误差分割算法-第二部分: 实现和结果。显示技术杂志。200811月18日; 4 (4): 391-7.
- [12] 巴顿PG. 人眼对比度灵敏度及其对图像质量的影响。SPIE出版社; 1999年。