

doi: 10.3788/gzxb20164507.0710001

基于双线性插值最值滤波的 Mura 改善方法

梁志虎¹, 张小宁¹, 岳俊峰¹, 屠震涛¹, 黄泰钧², 梁鹏飞², 王利民²

(1 西安交通大学 电子与信息工程学院 电子物理与器件教育部重点实验室, 西安 710049)

(2 深圳市华星光电技术有限公司, 广东 深圳 518132)

摘 要:为改善液晶面板的 Mura 缺陷,提出了一种灰度补偿校正 Mura 缺陷的方法.针对典型灰度级的亮度分布矩阵,采用双线性插值最值滤波法进行图像滤波,计算全屏目标亮度,根据各像素点拟合出的亮度-灰度关系曲线,得到各灰度级的补偿数据.实验结果表明,经过 Mura 补偿,55 英寸的液晶模组上显示灰度图像的 Mura 条纹消失,Mura 指数降低,且补偿并未对屏幕总体亮度和对比度等造成明显改变.

关键词:液晶显示;Mura;亮度拟合;灰度补偿;双线性插值

中图分类号:TN949.192

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2016)07-0710001-6

Improvement of Mura Based on the Maximum/Minimum Bilinear Interpolation Method

LIANG Zhi-hu¹, ZHANG Xiao-ning¹, YUE Jun-feng¹, TU Zhen-tao¹, HUANG Tai-jun²,
LIANG Peng-fei², WANG Li-min²

(1 Key Laboratory of Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education,
School of Electric and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

(2 Shenzhen China Star Optoelectronics Technology Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong China)

Abstract: In order to improve the Mura defect of the liquid crystal display, a grayscale compensation was proposed. Based on the brightness distribution matrix of typical grayscales, bilinear interpolation and the most value filtering was used to filter image, and then calculate the target brightness of the full screen. According to the fitted curve of grayscales and brightness, the compensation data of grayscales was obtained. The results of the experiments which performed on a 55-inch liquid crystal display module show that Mura stripes of the images displayed on the module disappeared, and the Mura indexes decreased by Mura compensation. It has little influence on the overall brightness and contrast of displayed image.

Key words: Liquid crystal display; Mura; Luminance fitting; Grayscale compensation; Bilinear interpolation

OCIS Codes: 100.2000; 100.3008; 120.2040; 120.2440; 160.3710

0 引言

随着液晶面板(Liquid Crystal Display, LCD)尺寸的增大,Mura 缺陷出现的几率和对图像质量的影响显著增加.Mura 缺陷的特点是出现在面板上的位置随机,没有固定形状,边缘模糊,与周围区域的亮度差异较小.Mura 缺陷产生的原因主要是电路或面板结构上的缺陷、材料特性的不均匀,以及制备工艺条件的波动等^[1].Mura 缺陷对 LCD 面板图像显示质量^[2]和良品

率产生了很大的影响.

目前,针对 Mura 现象的研究包括 Mura 的识别^[3]、检测^[4-5]和改善等方面.Mura 的检测方法主要包括传统的人眼视觉检测、电学检测,以及借助图像处理的机器视觉检测^[6-7].Mura 缺陷改善的研究主要集中在生产工艺方面,如通过去除栅电极底层 Mo 金属膜的方式改善横线 Mura^[8],采取降低玻璃和下部电极接触点压力或用提高温度的方法改善网点 Mura^[9],通过优化扭转向列型液晶盒的光学参数改善窗帘云纹^[10],

基金项目:国家自然科学基金(No. 61372018)资助

第一作者:梁志虎(1976-),男,副教授,博士,主要研究方向为平板显示. Email: lzh@xjtu.edu.cn

通讯作者:张小宁(1972-),男,教授,博士,主要研究方向为平板显示. Email: znn@xjtu.edu.cn

收稿日期:2016-01-18;录用日期:2016-04-28

<http://www.photon.ac.cn>

通过适当减小摩擦辊压入量等方式改善擦痕 Mura 等^[11-12]. 生产工艺的改进可在一定程度上改善 Mura 现象,但不能完全消除. 对于已经生产完成的液晶模组,可以通过 γ 电压修正^[13-14] 和灰度修正^[15] 等方式改善 Mura 缺陷,但这些方法并未考虑不同灰度的 Mura 特性存在的差异,补偿效果不够理想.

本文在分析 Mura 特点的基础上,提出了一种通过双线性插值最值法计算目标亮度的方法,改善液晶面板生产时的 Mura 缺陷. 首先采集典型灰度级采样像素点的亮度分布,然后通过分段 γ 拟合得到各采样像素点亮度与灰度的关系曲线,通过双线性插值最值法计算目标亮度,得出所有像素点全部灰度级的补偿数据.

1 Mura 补偿方法

1.1 Mura 补偿原理

Mura 补偿原理如图 1. 当显示同一灰度级的图像时,会出现亮、暗 Mura 区域. 为了校正 Mura 缺陷,需要降低亮区域的显示亮度,提高暗区域的显示亮度. 具体采用的方法是:计算出亮区和暗区像素的灰度补偿数据,再把补偿数据叠加到输入图像数据,使全屏显示的亮度接近,此时,主观难以感知到相邻区域的亮度差,从而实现 Mura 的改善.

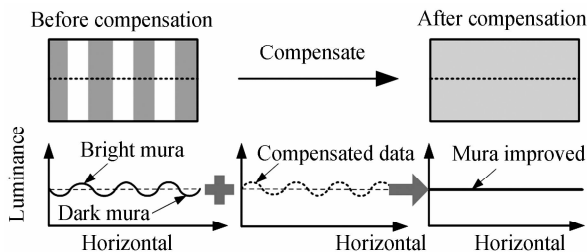


图 1 Mura 的补偿原理

Fig. 1 The principle of Mura compensation

1.2 Mura 补偿方法

传统的通过灰度修正补偿 Mura 缺陷的方法,对全屏所有像素点某一灰度的亮度数据进行滤波,得到各像素点的亮度修正系数,再根据面板的 γ 值得到灰度修正系数,从而完成 Mura 补偿. 但是,实际液晶面板的亮度与灰度的关系与理想 γ 曲线存在差异,不同灰度级的 Mura 特性也存在差异,因此传统的补偿方法对 Mura 的补偿效果有限.

在传统方法的基础上,通过分段 γ 拟合的方式,采集典型灰度级采样点的亮度数据,拟合出各采样点的亮度-灰度关系曲线,并提出双线性插值最值滤波法补偿 Mura 缺陷,得到典型灰度级各采样点的目标亮度,再根据拟合曲线和目标亮度计算目标灰度,目标灰度与输入灰度的差值即为补偿数据,其流程如图 2. 其它像素点和灰度级的补偿数据可以通过插值的方式得到.

相比于传统方法,采集典型灰度级的采样像素点的亮度分布,进行分段 γ 拟合,可提高 Mura 补偿的精度,同时满足生产中 Mura 补偿数据实时性和低成本的要求.

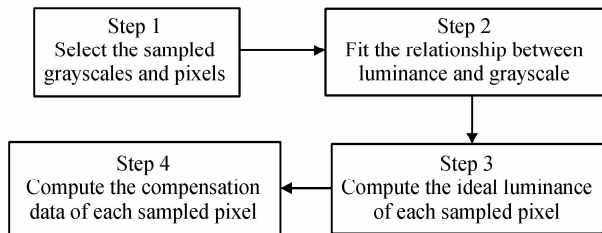


图 2 Mura 补偿流程图

Fig. 2 The flow of Mura compensation

1.2.1 典型灰度级和像素点的选择

通常,低灰度级的 Mura 更容易被主观感知,因此 Mura 改善时,低灰度级的采样密度较高,实际选取 0、16、32、64、128、255 这 6 个灰度级作为典型灰度级. 同样为减小数据存储量,每 8×8 个像素点选取一个作为采样点,构成采样点矩阵,采样方式如图 3.

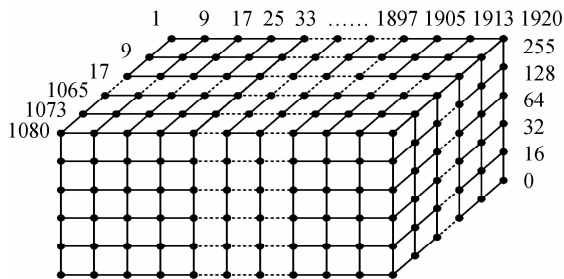


图 3 Mura 补偿时的典型灰度级和采样像素点

Fig. 3 The typical grayscales and sampled pixels for Mura compensation

1.2.2 亮度与灰度关系的拟合

亮度和灰度关系曲线拟合的目的是根据目标校正亮度计算目标灰度,从而得到补偿数据. 借助亮度和灰度拟合曲线进行 Mura 校正的方法如图 4, 如果 G_x 灰度级的亮度是 L_G , Mura 校正后的亮度是 L_{GH} 或 L_{GL} , 根据亮度和灰度的拟合曲线,输入灰度级 G_x 通过灰度补偿为 G_H 或 G_L 后,就可以显示校正亮度 L_{GH} 或 L_{GL} .

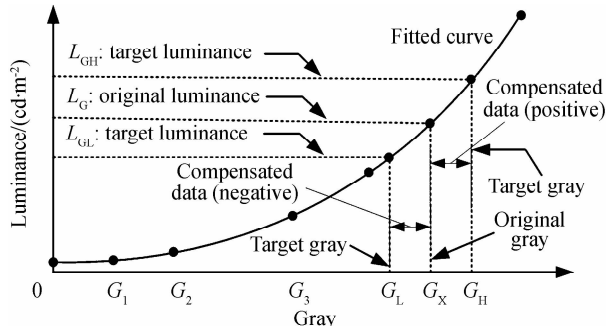


图 4 计算目标亮度的原理

Fig. 4 The principle to calculate luminance target

LCD 的亮度和灰度关系理论上符合 γ 曲线,为减小亮度和灰度的拟合误差,并和 LCD 面板的光电特性一致,在选取有限灰度级的情况下,采用分段 γ 拟合实现亮度和灰度级的关系. 由于低灰度级的 Mura 现象较为严重,对拟合的精度要求较高,因此,分段时,低灰度级分段区间较小,高灰度级的分段区间较大. 拟合时,每段曲线需要 3 个灰度级的亮度数据,即 0 灰度级,中间灰度级 G_{mid} 和区间最高灰度级 G_{max} ,每个区间实际采样的灰度级如表 1.

表 1 各灰度区间在分段 γ 拟合时所采用的灰度级

Table 1 The grayscales of fitted γ in each grayscale range

Region	(0, 32)	(32, 64)	(64, 128)	(128, 255)
G_{mid}	16	32	64	128
G_{max}	32	64	128	255

0 灰度级对应的实际显示亮度为 L_0 , 因此,各分段区间任意一灰度级 G , 对应的拟合亮度为

$$L = (L_{\text{max}} - L_0) \times \left(\frac{G}{255}\right)^\gamma + L_0 \quad (1)$$

式中, L_{max} 分别为灰度为 G_{max} 时的显示亮度. 根据各灰度区间 G_{mid} 和 G_{max} 对应的亮度的取值 L_{mid} 和 L_{max} , 各分段灰度区间的 γ 值为

$$\gamma = \lg\left(\frac{L_{\text{mid}} - L_0}{L_{\text{max}} - L_0}\right) / \lg\left(\frac{G_{\text{mid}}}{G_{\text{max}}}\right) \quad (2)$$

1.2.3 双线性插值最值法计算目标亮度

采用灰度补偿进行 Mura 改善的方法中,最关键的是目标亮度的计算. 对于大屏液晶面板而言,边缘和中心位置亮度会有差异,如果将全屏补偿至相同亮度,会对亮度、功耗效率和对比度等参数产生较大影响. 考虑到人眼不易感知平缓的亮度变化,在计算目标亮度时,提出双线性插值最值滤波法,使屏幕相邻区域亮度平滑过渡,减弱人眼对亮度变化的感知. 其主要思想为:设计出一个 $m \times n$ 的双线性插值矩阵在采样点矩阵上逐点移动. 双线性插值矩阵 4 个顶点值为采样点矩阵对应点的亮度值,插值矩阵的 (i, j) 点的值则根据双线性插值公式得到,即

$$L(i, j) = \frac{m-i}{m-1} \times \left[\frac{n-j}{n-1} \times L(1, 1) + \frac{j-1}{n-1} \times L(1, n) \right] + \frac{i-1}{m-1} \times \left[\frac{n-j}{n-1} \times L(m, 1) + \frac{j-1}{n-1} \times L(m, n) \right] \quad (3)$$

式中, $L(1, 1)$, $L(1, n)$, $L(m, 1)$, 和 $L(m, n)$ 分别为 $m \times n$ 插值矩阵中 $(1, 1)$ 点, $(1, n)$ 点, $(m, 1)$ 点, 和 (m, n) 点的亮度.

因此,每个像素点均被 $m \times n$ 的双线性插值矩阵滑过,对应得到 $m \times n$ 个双线性插值亮度. 对于采样点矩阵而言,所有点均取 $m \times n$ 个双线性插值亮度的最大值,则得到插值最大值矩阵,类似地,在插值最大值矩阵的基础上,再做插值最小值矩阵,即得到最终的目标亮度矩阵.

图 5 以一维简化模型为例,对插值最值滤波法进行说明. 此时, $m \times n$ 的插值矩阵退化为一维的 $m \times 1$ 插值矩阵. 插值亮度矩阵中 $(i, 1)$ 点的亮度计算方法为

$$L(i) = \frac{m-i}{m-1} \times L(1) + \frac{i-1}{m-1} \times L(m) \quad (4)$$

式中, $L(1)$ 和 $L(m)$ 分别为 $m \times 1$ 插值矩阵中 $(1, 1)$ 点和 $(m, 1)$ 点的亮度.

图 5(a) 为补偿前后的亮度分布曲线,图 5(b) 和图 5(c) 分别为插值最大值法和插值最小值法的举例说明. 图 5(b) 中,作为举例点的第 5 个像素点共有标注为 ‘◇’ 的 5 个插值亮度,取其中的最大值作为该点的插值最大值,所有点的插值最大值构成插值最大值亮度矩阵. 图 5(c) 中,以第 12 个像素点作为举例点,在插值最大值矩阵的基础上,取 5 个插值亮度 ‘○’ 中的最小值作为该点的插值最小值点,所有点的插值最小值亮度构成插值最小值亮度矩阵,即为目标亮度矩阵.

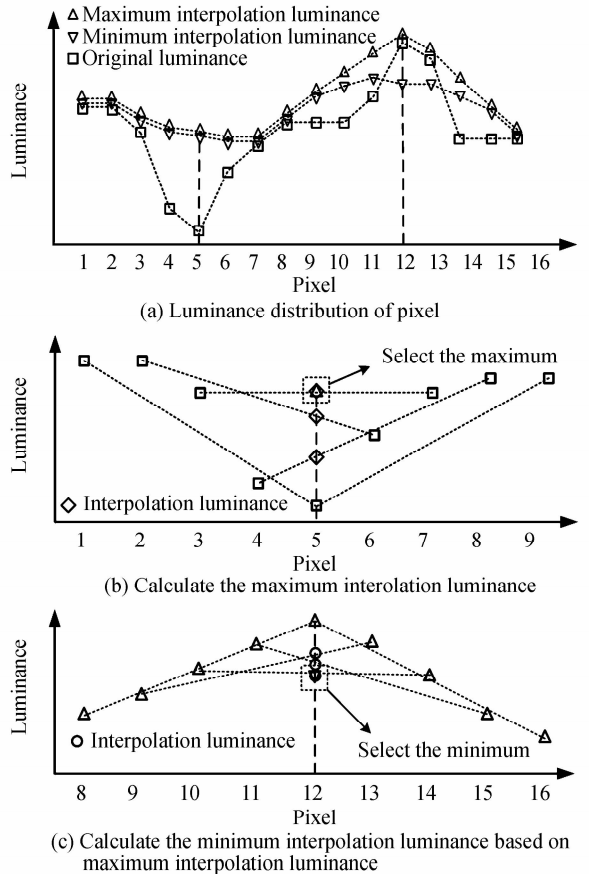


图 5 双线性插值最值补偿法

Fig. 5 The maximum/minimum bilinear of Mura compensation

从图 5(a) 中可以看出,如第 5 个像素点这样的低亮度像素点的亮度值可以通过计算插值最大值矩阵得以提升,如第 12 个像素点这样的高亮度像素点的亮度可以通过计算插值最小值矩阵得以降低. 最终的目标亮度曲线将变得平滑,各种形式的 Mura 得到改善. 由于 0 和 255 灰度级不需要进行补偿,仅计算了 16、32、64、128 这 4 个典型灰度级的目标亮度.

1.2.4 补偿数据的计算

将计算出的 16、32、64、128 这 4 个典型灰度级的目标亮度分别带入亮度和灰度拟合曲线,即可求出这 4 个典型灰度级的目标灰度,从而求出补偿数据,每个液晶面板对应一组补偿数据。

1.3 Mura 补偿的电路实现

在 55 英寸全高清 LCD 模组上对 Mura 改善方法进行。电路实现的框图如图 6,它包括数据存储模块、控制信号生成模块和插值计算模块。数据存储模块内有 4 个只读存储器,分别用来存储补偿数据矩阵的奇数行奇数列,奇数行偶数列,偶数行奇数列和偶数行偶数列数据,液晶面板任意像素点的补偿数据均可由 4 个只读存储器相应位置的补偿数据通过双线性插值的方式得到,非典型灰度级的补偿数据也可由典型灰度级的补偿数据通过线性插值的方式得到。计算时采用流水线的方式,每个时钟内只需完成一次乘法或加法运算,输出时,同步信号和数据信号同步延时十几个时钟,总延时不到 1 μs,对视频的实时性的影响在可接受范围内。

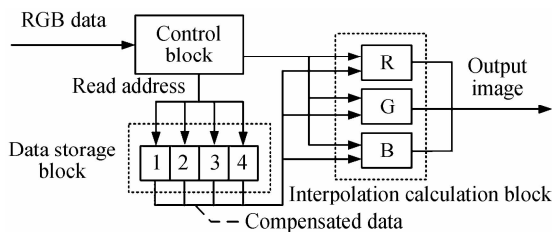


图 6 Mura 补偿电路框图

Fig. 6 The circuit blocks of Mura compensation

2 结果与讨论

图 7 是 55 英寸全高清 LCD 模组显示 32 灰度级时,第 60 行补偿前后的亮度曲线。补偿前亮度曲线的波动即是 Mura 缺陷,而曲线两侧的尖峰是由 LCD 视角原因造成的。

通过双线性插值最值滤波法得到的目标曲线可以有效滤除造成 Mura 缺陷的波动,同时保留了两侧尖峰的特点,在校正 Mura 缺陷的同时,照顾到了其它视角的观看效果。

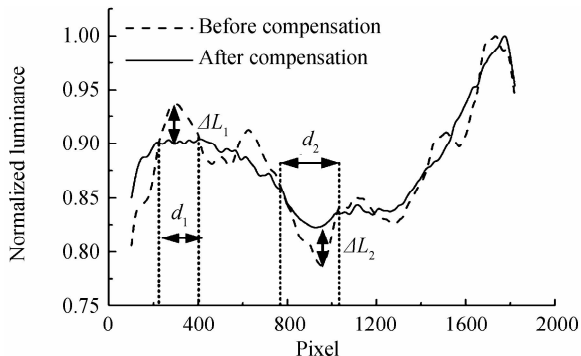


图 7 Mura 补偿前后显示屏亮度曲线

Fig. 7 Luminance curve before and after Mura compensation

图 8 为 32、48、96、160 这 4 个灰度级 Mura 补偿前后的灰度图像。补偿前的灰度图像存在亮暗相间的条纹,即 Mura 现象,其中,中低灰度级的 Mura 现象尤为严重。补偿后,Mura 条纹消失基本消失,显示的灰度图像变得均匀。无论是如 32 灰度级这样的典型灰度级还是如 48 灰度级这样的插值灰度级,Mura 现象均得到改善。另外,主观实验表明:通过 Mura 补偿,如 32、48、96 等中低灰度级图像的亮度更加平滑。

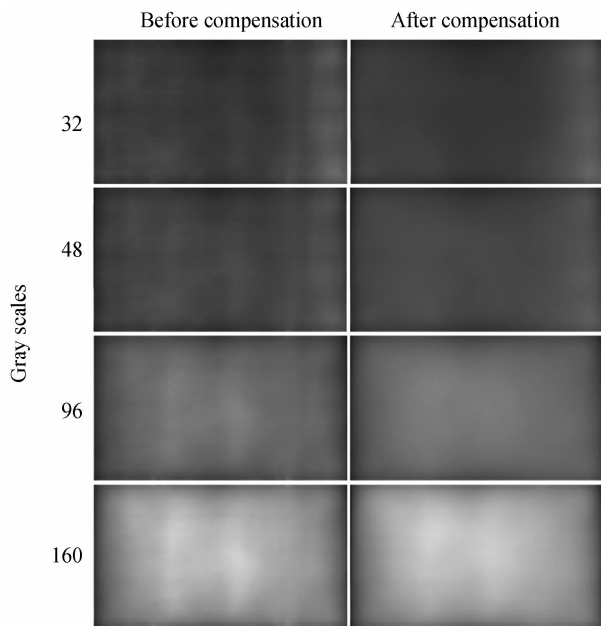


图 8 Mura 补偿前后灰度图像的比较

Fig. 8 The gray images before and after Mura compensation

Mura 现象的显著程度可以按照式(5)进行评价,即

$$M_I = 10^5 \times \frac{\Delta L_{\max}}{L_{\text{avg}} d} \quad (5)$$

式中,Mura 指数 M_I 表示补偿前后 Mura 区域的相对亮度差异的分布, d 为 Mura 区域的宽度, ΔL_{\max} 为补偿前后 Mura 区域内的最大亮度差异, L_{avg} 为 Mura 补偿前全屏的平均亮度。如图 7 所示, d_1 区域为一个亮 Mura, ΔL_1 为补偿前后这个 Mura 区域内的最大亮度差异。Mura 指数的大小和人眼对亮度的视觉特性相一致, M_I 越大,则 Mura 现象越严重。

采用三星提出的方法对 Mura 现象进行评价,公式为

$$I = \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{d_i}{60000} \right)^{1/2} \times 70 \right] \quad (6)$$

式中, k 为这条线上原曲线与拟合曲线差值的绝对值大于 0.5 的点的个数, d_i 为这 k 个点中第 i 个点的差值, I 为这条线上 Mura 的评价值,是用来评价 Mura 显著程度的 Mura 指数, I 值越大表示 Mura 现象越明显。

本评价方法与三星提出的方法最主要的区别在于考虑到人眼的视觉特性,引入了 Mura 区域宽度对 Mura 显著程度的影响。在全高清 55 英寸 LCD 上选取

了等间距的 130 行和 240 列计算 Mura 指数. 表 2 为 32、48、96、160 这 4 个灰度级通过式(5)和(6)计算出的 Mura 指数. 两种评价方法使用的参数、系数的不同导致相同的评价指数降低率在不同的评价系统代表的意义不同,但两种评价方法的结果均表明:本方法可有效改善 Mura 缺陷,在中低灰度级的效果尤为明显. 图 8 中显示补偿前后的图像与 Mura 指数降低的结果一致.

表 2 三星评价方法和本评价方法的 Mura 指数

Table 2 The Mura indexes evaluated by Samsung and this work

Gray Scale	Samsung method		This work		
	Row	Column	Row	Column	
32	Original image	34.1	20.9	26.9	34.9
	Compensated	30.2	18.1	4.8	17.4
	Reduction /%	11.3	13.8	82.2	50.0
48	Original Image	32.3	20.7	22.1	32.4
	Compensated	28.9	16.6	6.4	15.3
	Reduction /%	10.5	19.7	71.3	52.6
96	Original Image	26.3	17.0	15.8	19.6
	Compensated	25.0	13.6	3.5	11.5
	Reduction /%	5.0	20.1	76.3	41.4
160	Original Image	24.7	15.5	11.4	13.6
	Compensated	24.1	14.0	4.7	8.54
	Reduction /%	2.5	9.6	59.0	37.2

比较了图 8 中 4 个灰度级 Mura 补偿前后的全屏的平均亮度,结果如表 3,可以发现,本文提出的补偿方法对屏幕平均亮度的改变较小,补偿前后,全屏平均亮度在 32 灰度级的变化最大,仅为 2.58%. 在实际进行 Mura 补偿时,0 灰度级和 255 灰度级不需要进行补偿. 因此 0 灰度级和 255 灰度级补偿前后的亮度均没有发生变化,对比度保持不变.

表 3 Mura 补偿前后图像的平均亮度

Table 3 The luminance before and after Mura compensation

Gray scales	32	48	96	160
Original image/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	8.71	17.8	67.0	184
Compensated/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	8.93	18.1	66.9	183
Luminance change/%	2.58	1.72	0.10	0.39

3 结论

本文提出了一种基于双线性插值最值滤波法的 Mura 改善方法,采集特定典型灰度级的采样点亮度分布图像,通过滤波得到目标亮度,再根据拟合的亮度-灰度关系曲线计算补偿数据. 55 英寸的 TFT-LCD 模組的实验结果表明,所提方法可以有效地补偿 Mura 缺陷,使全屏亮度分布更加均匀. 补偿前后,全屏平均亮度的变化率的最大值在 2.58% 左右,图像的对比度保持不变.

参考文献

- [1] BI Xin. Study on the methods of machine vision inspection for the mura defect of TFT-LCD process[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009.
- [2] 毕昕. 面向 TFT-LCD 制程的 Mura 缺陷机视觉检测方法研究[D]. 上海:上海交通大学, 2009.
- [3] SU W T, HWANG S L. Measurement of multiple JNDs for developing Mura ranking standards in LCD[J]. *Displays*, 2011, **32**(5):274 - 283.
- [4] CHEN H C, FANG L T, LEE L, *et al.* LOG-filter-based inspection of cluster Mura and vertical-band Mura on liquid crystal displays[C]. SPIE, 2005, **5679**: 257-265.
- [5] LU Xiao-peng, LI Hui. Algorithm for fast TFT-LCD Mura defect image segmentation based on Chan-Vesemodel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, **29**(1): 146-151.
- [6] 卢小鹏,李辉. 基于 Chan-Vese 模型的 TF-LCD Mura 缺陷快速分割算法[J]. *液晶与显示*, 2014, **29**(1): 146-151.
- [7] CHEN L C, CHIEN C H, NGUYEN X L. An effective image segmentation method for noisy low-contrast unbalanced background in Mura defects using balanced discrete-cosine-transfer (BDCT)[J]. *Precision Engineering*, 2013, **37**(2): 336-344.
- [8] FAN SS, CHUANG Y C. Automatic detection of Mura defect in TFT-LCD based on regression diagnostics [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2010, **31**(15): 2397 - 2404.
- [9] CHEN S L, CHANG J H. TFT-LCD Mura defects automatic inspection system using linear regression diagnostic model [J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2008, **222**(11): 1489-1501.
- [10] ZHOU Zhe. Analysis and improvement of horizontal line Mura [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, **27**(5): 649-652.
- [11] 周哲. 横线 Mura 的分析与改善[J]. *液晶与显示*, 2012, **27**(5): 649-652.
- [12] ZHANG Ding-tao, LI Wen-bin, YAO Li-hong, *et al.* Research and Improvement of TFT-LCD Node Mura [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, **28**(6): 860-867.
- [13] 张定涛,李文彬,姚立红等. TFT-LCD 网点 Mura 的研究和改善[J]. *液晶与显示*, 2013, **28**(6): 860-867.
- [14] WANG S Y, LIAO W H, YANG K H. Investigation of curtain Mura in TFT-TN panels after COG ACF process[J]. *Displays*, 2012, **33**(4-5):103 - 112.
- [15] ZHANG W. Analysis of rubbing Mura in fringe field switching liquid crystal display [J]. *SID International Symposium Digest of Technical Papers*, 2013, **44**(1): 1122-1125.
- [16] SHI Tian-lei, YANG Guo-bo, CHENG Shi, *et al.* Zara and rubbing Mura research [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, **27**(2): 208-211.
- [17] 石天雷,杨国波,程石,等. Zara 漏光和 Rubbing Mura 改善研究[J]. *液晶与显示*, 2012, **27**(2): 208-211.
- [18] Nanjing CEC Panda LCD Technology CO., Ltd. A driving method to eliminate LCD Mura drive and its liquid crystal display; CHN,CN102855856A[P]. 2013-01-02.
- [19] 南京中电熊猫液晶显示科技有限公司. 一种消除液晶显示器 Mura 的驱动方法及其液晶显示器; 中国, CN102855856A [P]. 2013-01-02.

- [14] Kunshan New Flat Panel Display Technolgy Center. A repair method for active matrix organic light emitting display: CHN, CN102426816A[P]. 2012-04-25.
昆山工研院新型平板显示技术中心有限公司. 一种有源矩阵有机发光显示器的显示不良修复方法: 中国, CN102426816A [P]. 2012-04-25.
- [15] TCL group co. , LTD. A method and device of eliminating LCD Mura: CHN, CN103680449A[P]. 2014-03-26.
TCL 集团有限公司. 一种消除液晶显示器 Mura 的方法及装置: 中国, CN103680449A[P]. 2014-03-26.