

文章编号: 1007-2780(2013)06-0906-05

一种高动态范围显示系统的设计

黄炳乐^{1,2}, 郭太良^{1*}, 姚剑敏¹, 郭碧辉¹

(1. 福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州 350002, E-mail: huangbingle@aliyun.com;

2. 福建船政交通职业学院 信息工程系, 福建 福州 350007)

摘 要: 随着技术的进步, 图像传感器可以轻松地获得高动态范围图像, 而传统显示设备的显示范围只有 100:1。目前采用投影仪、发光二极管阵列等双屏结构的高动态范围显示系统存在体积庞大、局部对比度低等缺点。据此提出采用场致发射背光源, 利用图像分割算法, 完成高动态范围图像的显示。文章提出的系统具有提高高动态范围液晶显示器的局部对比度与减淡光晕的优点, 实验结果表明, 文中的场致发射背光结构的局部对比度提高到近 65 025:1, 具有较高的实用价值。

关 键 词: 高动态范围; 对比度; 图像灰度分割; 场致发射背光源

中图分类号: TN27

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132806.0906

Design of High Dynamic Range Display

HUANG Bing-le^{1,2}, GUO Tai-liang^{1*}, YAO Jian-min¹, GUO Bi-hui¹

(1. College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University,

Fuzhou 350002, China, E-mail: huangbingle@aliyun.com;

2. Information Engineering Department, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

Abstract: With the development of technology, the image sensor can easily obtained High Dynamic Range (HDR) image just as the large dynamic range of luminance values in a scene of real life, while the display range of conventional display device is only 100:1. The systems of HDR display based on the dual structure of the projector or LED array has many shortcomings, such as huge volume and low local contrast. So this paper presents a backlight of liquid crystal display using field emission backlight. HDR images have been displayed by using image segmentation algorithm. The point-by-point control mechanism of front and back panel, which divides the high dynamic image in the systems of two panels is proposed. The experiment result demonstrates that the field emission backlight structure can increase the LCD local contrast to 65 025:1. And it has higher practical value for displayer.

Key words: high dynamic range; contrast ratio; image gray division; field emission backlight unit

收稿日期: 2013-08-08; 修订日期: 2013-09-17

基金项目: 国家 863 计划重大专项(No. 2013AA030601-2); 国家自然科学基金(No. 61101169, No. 61106053); 福建省教育厅 A 类项目(JA13376); 福建省自然科学基金(No. 2010J01333, No. 2011J01347)

作者简介: 黄炳乐(1982—), 男, 福建闽侯人, 博士研究生, 讲师, 主要从事电子应用技术、信息技术等工作。

通信联系人, E-mail: gtl@fzu.edu.cn

1 引言

现实生活中景物的亮度值具有非常大的动态范围,在夜晚情况下天空星星的亮度值大概在 0.001 cd/m^2 ,而在白天太阳照射下亮度最大值可达到 $100\ 000\text{ cd/m}^2$,跨度达到了十个数量级。面对如此巨大的动态范围,人眼所能观察到的景物灰度动态范围也是非常广阔的,通过人眼的自动调节,可分辨的动态范围可以达到 $100\ 000\ 000:1$,在同一个场景内,人眼也能分辨出 $10\ 000:1$ 的动态范围。随着技术的进步,图像传感器可以轻松地完成高动态范围(HDR)图像,而传统的显示设备的显示范围只有 $100:1$,这就导致了真实环境的动态范围与显示设备显示的图像极不匹配,产生了严重的失真。为了解决这个问题,研究人员主要从两方面开展研究。其一,国内外学者致力于高动态范围图像的压缩算法研究,提出各种高动态范围图像向低动态范围映射的方法;其二,液晶显示器厂商致力于提高显示器主要指标,如亮度、对比度、色饱和度等,以提高产品显示高动态范围图像的能力,其中基于双屏显示技术方案是研究的重点。

双屏显示技术方案主要包括 LCD-projector、LCD-LED、LCD-LCD 和 LCD-Optics。Sunnybrook Technologies 公司提出 LCD-projector 结构的 HDR 显示系统^[1],但是该方案体积庞大,无法普遍为大众使用。后来 Sunnybrook Technologies 公司采用 LED 阵列作为高动态范围液晶显示器的背光源^[2],但是该方案受 LED 成本、散热、LED 颗粒较大、像素点之间容易产生干扰等问题限制。Gabriele Guarnieri 等人提出 LCD-LCD 结构的双液晶显示系统^[3],但该系统亮度较低,需要高亮度背光支持,彩色双屏复合导致色彩错乱,刷新率也很难提高。Patrick Ledda 等人提出 LCD-Optics 结构的双屏显示系统^[4],但该系统体积庞大,视角有限。本文提出高动态范围显示系统方案,以场致发射背光作为液晶显示器的背光源,实现背光显示面板与液晶显示器的点对点控制,解决了高动态范围显示系统因背光源分辨率低而导致功耗高、局部对比度低、光晕的缺点,而且保持了平板显示轻薄的优点。

2 HDR 显示系统结构设计

2.1 点对点式结构背光源

点对点式 FBU(Field Emission Backlight

Unit)背光源结构的 FBU 背光源像素点与液晶面板像素点大小相当^[5]。图 1 为点对点式高动态范围显示系统结构图,液晶面板在背光源 FBU 的上方。液晶面板中液晶的上方为线性起偏器,液晶的下方为线性检偏器。当未加电场时,起偏器与检偏器垂直,光线就无法透射过液晶面板;加外加电场时,入射光经过液晶盒时不发生偏转,光线就能透射出液晶盒^[6]。背光源的 FBU 前基板表面只有白色荧光粉,在白色荧光粉与白色荧光粉之间由黑底隔开,黑底的主要功能是提高对比度、适当减小环境光的反射、同时降低电子打到隔壁像素荧光粉的可能性。在阳极板和阴极板之间用隔离子支撑起来,以抵抗大气压^[6]。

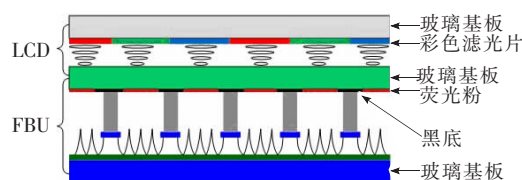


图 1 点对点式高动态范围显示系统结构图

Fig. 1 Schematic of high dynamic range display based on point to point

2.2 高动态范围显示系统的光晕问题

FBU 的光源为向上扩散,在制作以 FBU 为背光源时,LCD 的下玻璃基板为场致发射的前基板,减少背光源光线的传播距离。控制黑底与荧光粉的大小来调整发射光的角度,保证点对点的控制。光线经过背光源前基板的短暂传播,直接进入液晶面板中,再经过液晶面板的调整,光线从液晶面板的前基板向四周扩散。

当驱动电路施加电压时,微尖发射出电子,由电子轰击荧光粉发光,光线透过阳极透明电极。光晕产生的主要原因为液晶面板遮挡不住额外的光,在物体周围出现晕环,而导致局部对比度降低^[7]。在本文的液晶显示系统结构中,液晶像素点的亮度是由背光源 FBU 控制,其结构中的透明电极在荧光粉的上侧,黑底在透明电极的两侧,因光线为直线传播,当电子轰击荧光粉发光时,扩散到周边像素点的光线被黑底挡住,降低了打其他色的可能性。因此本结构能减淡显示系统的光晕。

3 HDR 显示系统软件算法设计

3.1 双屏图像的分割算法

对输入到系统的高动态范围图像进行前后面

板的分割,一幅由前面板液晶面板显示,另外一幅由后面板 FBU 显示。系统的输出图像灰度值为前液晶面板灰度值与 FBU 背光源灰度值的乘积。平方根图像分割算法是对其输入的高动态范围图像灰度值进行平方根,然后由前后面板显示。可知平方根图像分割算法导致图像灰度值的失真,针对这个问题,本文采用秀尔图像分割算法。需要对输入图像像素点的灰度值因式分解,得出其当前像素灰度值的质因子;然后对质因子进行从小到大排列,奇数位的质因子相乘为其像素液晶面板的灰度值,偶数位的质因子相乘为其像素 FBU 的灰度值。即可求出输入图像前后面板的显示值。

3.2 高动态范围显示系统的灰度值分割原理

当液晶面板的背光源为均匀的平面光源时,假设这时的背光亮度为 m 。当需要显示灰度值为 255 的像素亮度值时,这时透射过液晶光阀的亮度为 m ;当需要显示灰度值 1 的像素亮度值时,透射过液晶光阀的亮度为 $m/255$;由此可知需要显示灰度为 n 的像素亮度值时,透射过液晶光阀的亮度为 $(m \times n)/255$ 。

当液晶面板显示的灰度值为 $n(n \leq 255)$, FBU 背光源显示的灰度值为 $a(a \leq 255)$,可求出透射液晶面板的亮度值为 $(a \times m \times n)/(255 \times 255)$;当液晶面板显示的灰度值为 $a(a \leq 255)$, FBU 背光源显示的灰度值为 $n(n \leq 255)$,可求出透射液晶面板的亮度值为 $(n \times a \times m)/(255 \times 255)$ 。可知当显示系统显示 $(a \times n \times m)/(255 \times 255)$ 亮度值时,前面板灰度值为 n ,背光源面板的灰度值为 a ;也可以前面板灰度值为 n ,背光源面板的灰度值为 a 。例如要显示亮度值为 $7m/255$ 的亮度值时,前面板灰度值为 1,背光源面板的灰度值为 7;也可以前面板灰度值为 7,背光源面板的灰度值为 1。所以需要对输入的高动态范围图像的每个像素点灰度值进行分割,一部分对比度由液晶面板显示,一部分对比度与亮度由背光源 FBU 显示。

3.3 秀尔图像分割算法

秀尔算法(Shor's Algorithm)是以数学家彼得·秀尔的命名的,是一个在 1994 年发现的算法,此算法是针对整数分解的量子算法。算法解决目的如下:给定一个整数 N ,找出它的质

因子^[8]。

因此我们要解决的问题是:给定一个合成数 N ,找到整数 p 在 1 和 N 之间且不包含 1 和 N ,并且 N 整除于 p 。秀尔算法分为两个部份^[9]:一部分是传统的简化算法,另一部分是量子算法。

秀尔图像分割简化算法的基本思路:输入高动态图像,读取高动态图像每一个像素的灰度值,对每一个灰度值进行因式分解,输入图像的灰度值为该液晶面板像素灰度值(灰度值不超过其最大值 2^8)与背光源 FBU 像素灰度值(灰度值不超过其最大值 2^8)的乘积。

假设输入图像在某个像素点的灰阶值为 N ,需要对该点的灰阶值 N 进行因式分解,在该像素点位置液晶面板像素灰度值 X (灰度值不超过其最大值 2^8)与背光源 FBU 像素灰度值 Y (灰度值不超过其最大值 2^8),可得出公式(1):

$$X \times Y = N \quad (1)$$

而 X 与 Y 由秀尔图像分割算法求出。

秀尔图像分割算法求出 X 与 Y 的基本思路:输入图像在某个像素点的灰阶值为 N ,要对灰阶值 N 进行因式分解。可分为以下几个步骤:

(1)利用秀尔算法求出像素点灰阶值 N 的质因子,然后对其质因子按从小到大排列。检测质因子是否大于 255,如果是,按第四步处理。

(2)奇数位置的质因子相乘,为前面板的灰度值 X ,偶数位置的质因子相乘,为后面板的灰度值 Y 。因此可算出 $X \times Y = N$ 。

(3)可知 $X = x_1 \times x_2 \times \cdots \times x_n$, $Y = y_1 \times y_2 \times \cdots \times y_n$,假设 x 的值大于 255 时,处理方法为 $X = x_2 \times \cdots \times x_n$, $Y = x_1 \times y_1 \times y_2 \times \cdots \times y_n$,再次检测 x 值是否大于 255,处理方法与上式相同。同样当 Y 值大于 255 时的处理方法与 X 值的相同。

(4)当 N 的质因子 a 大于 255 时,以 $a-1$ 代替 a ,再算 $a-1$ 的质因子,依次检测质因子是否大于 255,如果是,可算出 $a-2$ 的质因子,依次类推到 $a-m$ 。当 $a-m$ 的质因子都小于 255 时,可认为 $a-m$ 的质因子为 a 的质因子。然后 N 的质因子(除了 a 之外)和 $a-m$ 的质因子由小到大排列,即可求出 X 与 Y 的值。

根据秀尔图像算法求出前液晶面板与背光源 FBU 的显示图像。高动态范围图像的秀尔分割算法由表 1 所示。

表 1 高动态范围图像的秀尔分割算法
Table 1 Shor's Lalgorithm of HDR image

输入图像像素灰度值	灰度值质因子	前面板灰度值	背光源灰度值	像素显示灰度值
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	1、2	1	2	2
$n \times m$	$n、m$	n	m	$n \times m$
71×277	2、2、3、23、71	213	92	71×276
...	...	...	...	...
65 023	254、255	254	255	64 770
65 024	254、255	254	255	64 770
65 025	255、255	255	255	65 536

4 实验结果

本文采用福州大学光电信息研究所研制的 FBU 作为本实验的背光源。基本指标为白色面板峰值亮度超过 4 000 cd/m²,亮度均匀性大于 80%,发光效率大于 10 lm/W。相比于传统 CCFL 背光源与当前流行的 LED 背光源,FBU 背光源的色域范围、色彩非线性、亮度非线性等参数具有明显的提高。液晶面板采用友达光电公司生产 C080VW05V1 的液晶面板,尺寸为 20.32 cm(8 in),分辨率为 800×480,像素间距为 0.219×0.219 mm。在样屏中以 4 点 LCD 像素点模拟前面板像素点,所以 FBU 背光源的分辨率为 400×240,像素间距为 0.438×0.438 mm。点对点式高动态范围显示系统显示的图像,如图 2 所示。

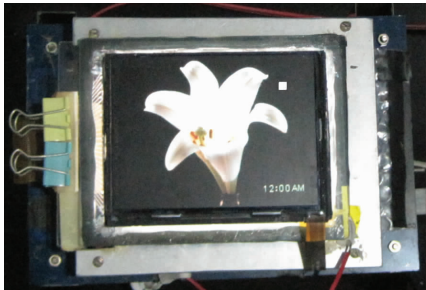


图 2 点对点式高动态范围显示系统显示的图像
Fig.2 Display image of HDR display based on point to point

使用 lumetrix 400A 图像光度系统拍摄此系统显示的图 2 的高动态图像,如图 3(b)所示。与图 3(a)相比,百合叶子未发现失真现象,百合花叶子四周未出现光晕现象,局部动态对比度提高到 65 025:1。

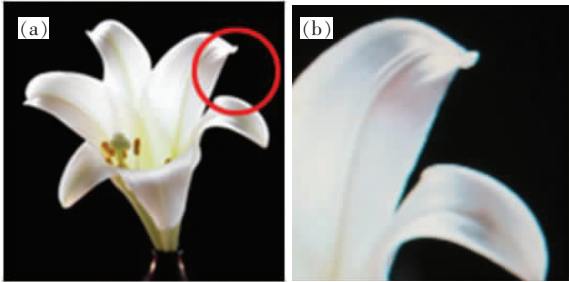


图 3 显示图像对比.(a) 高动态范围原图像;(b)本文方案 HDR 显示图像.
Fig.3 Comparison of display image. (a)Original image; (b)Image of proposed method.

5 结 论

在传统的高动态显示系统中,采用投影仪、LED 阵列等双屏结构的高动态范围显示系统存在体积庞大、局部对比度低等缺点。本文以 FBU 作为高动态范围液晶显示系统的背光源,并采用软件算法解决了因使用 LED 作为高动态显示系统背光源而产生的局部对比度低与光晕的问题,提高了图像的局部对比度。

参考文献:

- [1] Fang C L, Yi P H, Lin Y L. Dynamic backlight gamma on high dynamic range LCD TVs [J]. *Display Technology*, 2008, 4(2): 139-146.
- [2] Li W F, Jin W Q, Shao X B, *et al.* Progress of high dynamic range liquid crystal display based on LED backlight with area control technology [J]. *Optical Technique*, 2009, 35(6): 835-839.
- [3] Guarnieri G, Albani L, Ramponi G. Image splitting techniques for a dual layer high dynamic range LCD display [J]. *Proc. SPIE Medical Imaging*, 2008, 17(4): 043009-1-9.
- [4] Patrick L, Greg W, Alan C. A wide field, high dynamic range, stereographic viewer [C]//*Proceedings of the 1st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, San Antonio, Texas: ACM Press, 2003: 237-244.
- [5] 李玉魁, 郭艳清, 朱长纯. 三极结构场致发射显示器件的制作 [J]. *液晶与显示*, 2006, 21(3): 232-235.
- [6] 应跟裕, 胡文波, 邱勇, 等. 平板显示技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 126-405.
- [7] ZHENG Xu-dan. Study on field emission backlight unit device based on linear cathodes [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2011: 19.
- [8] 维基百科. 秀尔算法 [EB/OL]. [2013-08-08]. <http://zh.wikipedia.org/wiki/秀尔算法>.
- [9] 林雄, 林帅. 量子计算与量子计算机展望 [J]. *微型机与应用*, 2012, 31(22): 4-6.



欢迎订阅《液晶与显示》

《液晶与显示》是中国最早创办的液晶学科专业期刊,也是中国液晶学科和显示技术领域中的唯一综合性专业学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会液晶分会和中国光学光电子行业协会液晶分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,既是启迪科技人员开拓思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术与开发的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的论坛,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价 40.00 元,全年 240.00 元,国内外公开发售。国内邮发代号:12-203,国内读者可在当地邮局订阅;也可通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅(E-mail:lhzd@public.tpt.tj.cn,网址:www.lhzd.com),本刊的代号为:5074。国外读者可通过中国国际图书贸易总公司订阅(电话:010-68433171),国外发行代号:4868BM。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理订阅。

地 址:长春市东南湖大路 3888 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

《液晶与显示》编辑部

邮 编:130033

电 话:0431-86176059 0431-84613406

传 真:0431-84627061

E-mail: vjxs@ciomp.ac.cn; vjvxs@126.com

<http://www.vjvxs.com>