

文章编号:1007-2780(2009)01-0140-05

基于灰度直方图的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法

宋新丽^{1,2}, 郑喜凤¹, 凌丽清^{1,2}, 郝亚茹^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: xlsong5440_cn@sina. com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: LED 显示屏作为多媒体设施的显示终端,其亮度均匀性是影响显示屏显示效果的重要因素。如何对 LED 显示屏亮度均匀性进行客观准确的评估,是指导其研发和生产的关键。从分析 LED 显示屏显示特性出发,在现有 LED 显示屏亮度均匀性评估方法的基础上提出了基于灰度直方图的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法。该方法通过 CCD 图像传感器获取 LED 像素亮度信息,结合数字图像处理技术和统计学规律,将 LED 像素灰度直方图拟合成正态分布曲线,利用标准差来评估 LED 显示屏亮度均匀性。实验证明该方法与视觉主观评估结果相一致,可有效评估 LED 显示屏亮度均匀性。

关 键 词: LED 显示屏; 灰度直方图; CCD 图像传感器; 正态分布; 标准差
中图分类号: TP391. 41 **文献标识码:** A

1 引 言

LED 显示屏作为多媒体设施的显示终端,其最终目标是完成高质量的动态视频图像显示。作为自发光体显示设备,LED 像素点具有离散性和高亮度等特点。LED 显示屏的亮度和色度均匀性是影响显示屏质量的重要因素,其中亮度均匀性对人的视觉影响远大于色度均匀性。因此,有必要对 LED 显示屏的亮度均匀性提出客观准确的评估方法,从而为 LED 的研发和生产提供指导。现有的评估方法主要采用亮度仪对整屏若干模块及其相关区域进行测试,经过简单计算得到评估数据。这种评估方法不仅速度慢,而且对测试环境要求高。另外,由于采集数据有限,因此对数据的评估结果带有很大的随机性。CCD 图像传感器在光色测量领域的应用使对 LED 显示屏亮度均匀性做出准确评估成为可能。本文通过对 CCD 感光图像的分析,结合 LED 像素亮度统计分布规律,提出了基于灰度直方图的亮度均匀性评估方法。通过实验证明了该方法与主观评估的一致性。

2 现有评估方法

目前,视觉检测仍然是评估 LED 显示屏亮度

均匀性的主要方法。这种评估方法的主要问题是其主观性,即每个人对事物的观察和解释是不同的,因此得到的评估结果也会有一定差别。把人的视觉与单点式光色测试仪器或亮度计相结合的测试方法是当前相对客观的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法,但也存在一定的主观性,而且即使是同一个人测量,也会在不同时间得到不同的结果。

对 LED 显示屏亮度均匀性的客观评估可分为 2 个步骤:一是测试对象区域的选取;二是均匀性评估算法的实现。显示领域最常用的亮度均匀性测试评估方法是九点测试。即在屏幕上随机抽取 N 个样点或模块,以该样点或模块为中心用亮度计分别测出中心点亮度 I_0 及其相关区域亮度 I_r 。相关区域定义如图 1 所示。



图 1 九点测试法

Fig. 1 Nine points measurement method

每一个相关联区域的亮度均匀性可根据式(1)计算得出:

$$P_i = \frac{I_0 - I_i}{I_0 + I_i} \times 100\% \quad (1)$$

其中 $i=1,2,\cdots,8$ 。取最大值 $E_k(k=1\cdots N)$ 。对在屏幕上抽取的 N 个模块进行以上运算,并对各组亮度均匀性求平均值 $E = \frac{\sum E_k}{N}$ 作为最终亮度均匀性评估结果^[1]。

采用亮度计测试样点或模块及其关联像素或区域的亮度值,一次只能测到一个样点或区域的数据,每测量一次一般都需要移动仪器并且重新对焦。这种测试方法不但耗时费力,而且要评估全屏像素的亮度均匀性是比较随机和片面的。此外,其算法虽然简单,但依照该算法给出的 LED 显示屏亮度均匀性评估标准,当计算结果在最优级别时,通过人的视觉系统所观察的结果却不大理想。这说明此算法与人眼视觉生理、心理感觉不一致。

3 基于正态分布的亮度均匀性评估方法

目前,CCD 图像传感器以其获取信息量大,实时性好等优点在光色科学领域得到了广泛的应用。通过 CCD 获得的感光图像可以确定 LED 显示屏像素的几何形状和空间位置信息,这样可以方便地定位每一像素的亮度以及它的发光形状^[2,3]。

3.1 LED 显示屏亮度采集系统

LED 显示屏亮度信息采集系统由 CCD 相机、数字接口卡、计算机、图像处理系统、误差修正系统组成,其结构如图 2 所示。拍照时 CCD 相机位于 LED 显示屏正前方,并且使相机镜头与显示屏边沿最大夹角在 2° 范围内,这样可以减小 LED 显示屏像素视角亮度误差;采集到的亮度信息通过数字接口卡以图像的方式保存到计算机;图像处理系统将 CCD 图像中所包含的 LED 像素亮度

特征数据提取出来,并生成亮度数据矩阵;误差修正系统将拍照时的角度误差及 CCD 相机的感光误差进行修正,得到比较接近真实亮度分布的 LED 显示屏相对亮度信息。

3.2 数字图像特征与灰度直方图

LED 显示屏由数以万计的 LED 像素组成。在由 CCD 图像传感器采集到的感光图像中,每个感光单元的值代表一定的灰度。感光图像包含了 LED 像素的空间位置,发光形状及发光强度等信息。每个 LED 像素在感光图像中由若干个 CCD 感光单元组成。

图 3 是 2×2 像素点 LED 显示屏模块各像素点的 CCD 感光图像的亮度分布。从图中可以看到,单个 LED 显示像素的亮度分布并不是一个平面,而是一个曲率半径不同的曲面,而且代表目标亮度特征的感光单元所组成的灰度区域也并不是理想中规则的圆形。图中每个目标区域中感光单元的灰度值由中心到四周逐渐减小,靠近目标中心处感光单元的灰度值最大,而在目标周围(即背景区域)灰度值很小。假设整屏共有 $M\times N$ 个 LED 像素,其中任意一个像素亮度可表示成 P_{mn} ,对应于该像素的 CCD 感光单元数为 $(I\times J)_{mn}$,其中每个 CCD 感光单元的灰度值为 $f_{mn}(i,j)$,则它们之间的关系可表示为:

$$P_{mn} = \sum_{i,j=1}^{I,J} f_{mn}(i,j) \quad (2)$$

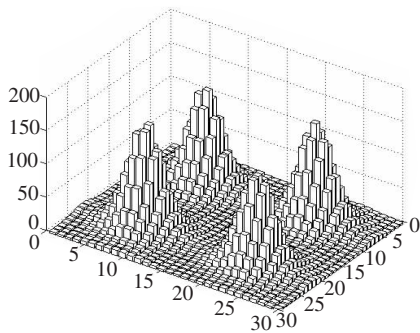


图 3 LED 感光图像的亮度分布

Fig. 3 LED photographic image lightness distribution

根据以上分析,可将每个 LED 像素的亮度特征数据提取出来并生成灰度图片^[4]。图片由代表 LED 像素亮度值的 $0\sim 255$ 灰度范围的数值表生成。

图像的灰度直方图是图像处理中一种十分重

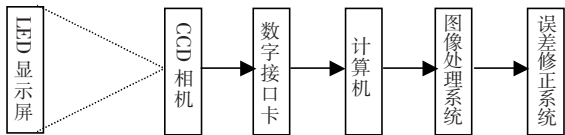


图 2 LED 显示屏亮度采集系统

Fig. 2 LED screen luminance obtaining system

要且实用的工具,它概括了一幅图像的灰度级内容。从数学上来说,灰度直方图是图像各灰度值统计特性与图像灰度值的函数,它统计一幅图像中各个灰度级出现的次数或概率。灰度图像 $f(x,y)$ 的直方图可定义为离散函数:

$$h(r_k) = n_k, k \in [0,L] \tag{3}$$

其中 r_k 为图像 $f(x,y)$ 的第 k 级灰度, n_k 是图像 $f(x,y)$ 中具有灰度值 r_k 的像素个数, n 是图像像素总数, L 是图像的灰度级数。因为 $h(r_k)$ 给出了对各个 r_k 出现概率的一个统计,所以直方图提供了图像的灰度值分布情况。灰度直方图还可以归一化表示为:

$$P(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} = \frac{n_k}{n}, k \in [0,L] \tag{4}$$

$P(r_k)$ 是灰度级 r_k 出现的频数,其所有灰度级频数之和等于 1。在灰度直方图坐标系中,横坐标表示图像中各个像素点的灰度级,纵坐标为各个灰度级上图像各个像素点出现的次数或概率^[5]。图 4 为一块分辨率为 64×128 的 LED 显示屏的单基色灰度直方图。其横轴代表灰度值,纵轴代表某灰度值像素频数的百分比,即 $P(r_k) \times 100\%$ 。最高处为亮度均值的频数(峰值)。

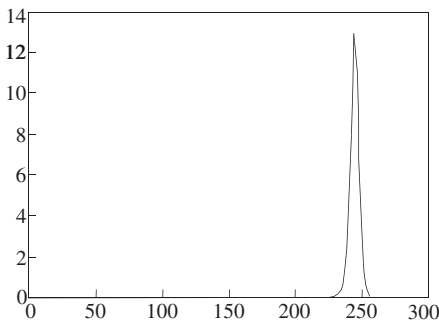


图 4 LED 显示模块灰度直方图

Fig. 4 LED display modal gray histogram

3.3 正态分布函数特征分析

正态分布指变量的频数或频率呈中间最多,两端逐渐对称地减少,表现为钟形的一种概率分布。从理论上说,若随机变量 x 的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{5}$$

称为 x 服从均值为 μ , 标准差为 σ 的正态分布。标准差代表变量与均值之间的差异情况,反映数据集的离散程度。正态分布的特征是以均值为中

心的两边对称分布,均值处变量的频数最高。 μ 一定时,曲线的形状由 σ 决定, σ 越大,曲线越“矮胖”,总体分布越分散; σ 越小,曲线越“瘦高”,总体分布越集中^[6]。

通过对 LED 显示屏亮度信息分析发现,其灰度直方图在某一数值区间上呈正态分布趋势,如图 4 所示。

4 实验结果评价

图 5(a~d) 所示为用 CCD 图像传感器采集并经过亮度特征数据提取所得到的 LED 显示屏样品模块亮度分布情况。它们是通过人眼视觉感知亮度均匀性不同的 4 种单基色 LED 显示屏模块,其分辨率均为 64×128 。从总体上看,这几幅图像的亮度均匀性各有差异。图 5(a'~d') 是与图 5(a~d) 对应的灰度直方图及正态分布拟合曲线。图中横轴代表了灰度直方图中像素频数不为零的灰度范围(M)并进行了 $(-M/2, M/2)/10$ 的坐标变换,这样,横轴变为较小的数值并且关于零点对称。纵轴代表了某灰度级像素频数所占的百分比。由图 5(a'~d') 可以看出,灰度范围分布越宽,其亮度均值所占的比例也越小,拟合后的正态分布曲线也越“矮胖”。反之,其正态分布曲线越“瘦高”。因此,灰度范围分布越宽,亮度均值在整体亮度分布所占的比例也越小,单色的亮度越分散。从视觉感知上讲,这说明屏幕的整体亮度分布越杂乱。在评估一个显示屏亮度均匀性时我们采用正态分布标准差来衡量整屏像素亮度是否集中,即标准差越小,亮度分布越集中,人的视觉亮度差异越小,说明屏幕单基色显示的亮度均匀性越好。反之,屏幕单基色显示亮度均匀性越差。

表 1 列出了这 4 个模块的相关评估数据。图 5(a) 中有效灰度分布约有 106 个灰度级,其峰值为 2.8%,正态分布拟合后的均标准差为 0.158。该图中有大片颜色较深的块,说明这些部分亮度偏低。也有亮度较高的块,所以整体亮度分布很不均匀。图 5(b) 中灰度分布约 100 级,峰值为 3.5%,正态分布拟合后的均标准差为 0.119,灰度差异相对较小,视觉亮度差异较图 5(a) 好。图 5(c) 和 (d) 是视觉亮度均匀性较好的模块,从其亮度分布数据分析结果可以看出,它们的灰度分布范围明显变窄,而且峰值明显增大,正态分布曲线拟合后的标准差与前两幅图相比也小了一个数量级。

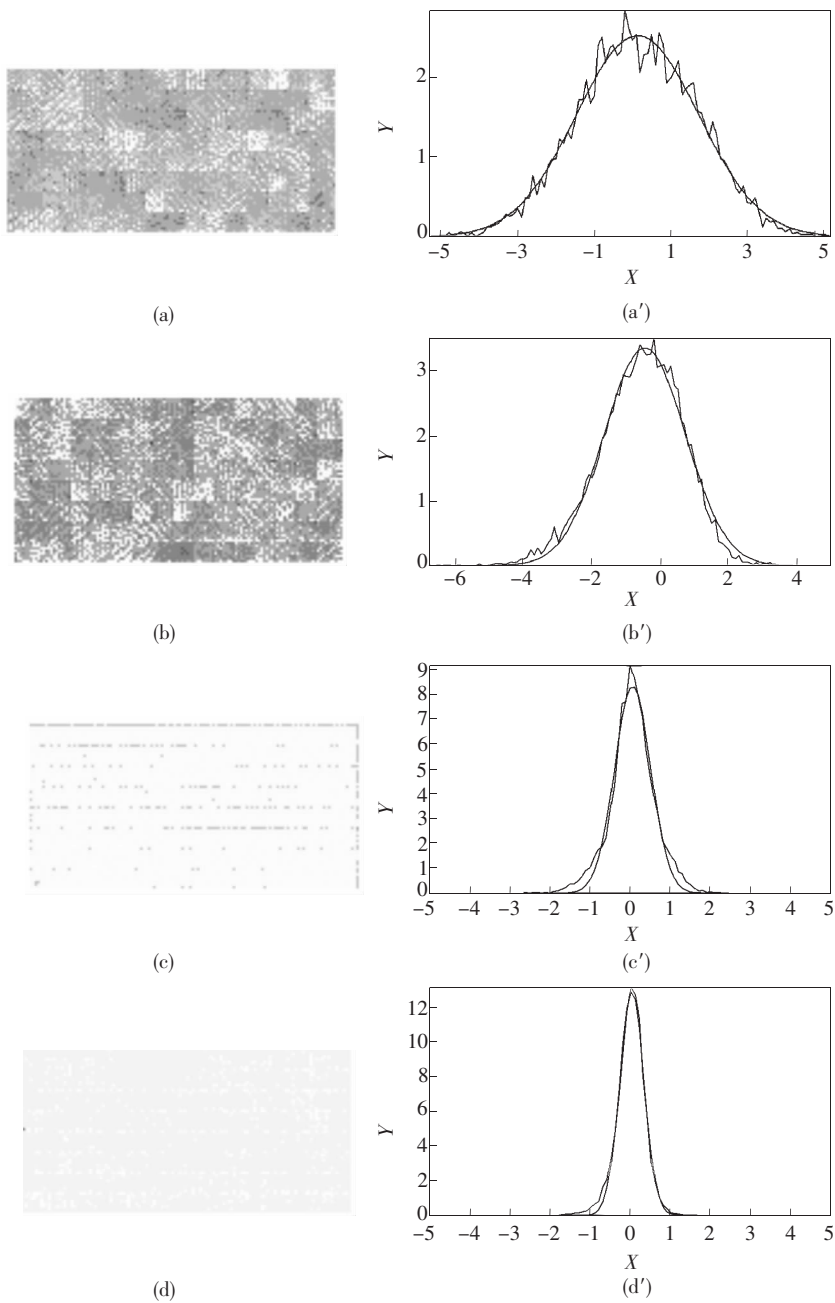


图 5 不同显示模块的亮度均匀性比较

Fig. 5 Uniformity comparison on luminance among different display module

表 1 灰度直方图评估数据比较

Table 1	Comparison of gray histogram estimating data		
	σ	峰值(%)	灰度值范围
a	0.158	2.8	106
b	0.119	3.5	100
c	0.048	9.1	48
d	0.031	13.1	34

通过对样本模块的分析,用此方法来评估

LED 显示屏亮度均匀性与人眼视觉感觉相一致。因此,利用图像灰度直方图,并通过正态分布曲线拟合求出标准差来评估 LED 显示屏的亮度均匀性是比较有效的一种方法。

5 结 论

以上分析可知,基于灰度直方图的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法,是依据亮度分布范围直方图与正态分布曲线拟合,用标准差的大小从宏

观上来判断亮度分布的均匀性。与现有的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法相比有以下优点：

- (1)利用 CCD 图像传感器采集数据,实时性好;
 - (2)由 CCD 图像获取亮度信息,信息量大;
 - (3)图像灰度直方图代表了各像素亮度分布的统计量信息,可以有效确定显示屏的亮度范围;
 - (4)正态分布标准差能简单而有效地表示亮度分布的均匀性。
- 用灰度直方图评估屏幕亮度均匀性是从宏观

上进行的评估方法,无法对灰度分布的局部特征做出判断,所以,如果不同灰度模块分布的位置不同(比如某些较亮或较暗的模块集中分布与随机掺杂分布)会产生较大的视觉差异,而用此方法评估,结果可能会相差不大。不过在实际生产和实验中,对于以上情况,可以结合主观评估做出相应的处理。事实上,由于色度问题造成的不一致现象也会加强亮度不一致对人眼视觉的影响,这也是一个值得研究的问题。因此,这种方法可以用来从宏观指导生产实践。

参 考 文 献：

[1] 南京洛普公司. LED 显示屏测试方法(讨论修改稿) [J]. 现代显示,2003,38:54-59.

[2] 马岩,胡君,吴伟平. 基于 CCD 成像单元仿真测试系统的实时性实现 [J]. 液晶与显示, 2007,23(2):200-204.

[3] 刘文耀. 数字图像采集与处理 [M]. 北京:电子工业出版社,2007.

[4] 郑喜凤,宋新丽,刘贵华. 一种基于区域最大值的 LED 显示屏亮度特征数据提取方法[J]. 液晶与显示, 2008,23 (4):388-392.

[5] Gonzalez Rafael C. *Digital Image Processing* [M]. 阮秋琦等,阮宇智,译. 第二版,北京:电子工业出版社, 2004.

[6] 孙家柄. 遥感原理与应用 [M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

[7] 郭伟强,万志,常磊,等. 面阵 CCD 信号采集系统的噪声抑制 [J]. 发光学报, 2008,29(1):204-208.

Luminance Uniformity Evaluation for LED Display Panel Based on Gray Histogram

SONG Xin-li^{1,2}, ZHENG Xi-feng¹, LING Li-qing^{1,2}, HAO Ya-ru^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optic Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: xlsong5440_cn@sina.com;

2. Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

As the terminal display of multimedia facilities, the luminance uniformity of LED display screen is an important factor for display quality. In order to guide the R&D and production of LED display panel, an object and exact evaluation for LED luminance uniformity is necessary. In this paper, on the basis of the exiting methods, an evaluation method based on gray histogram has been raised. In this method, the luminance information of LED display penal is obtained by CCD image sensor, with digital image processing technology and statistical knowledge, the histogram is fitted by normal distribution curve. The luminance uniformity is evaluated by standard deviation, and it is proved to be fitted with subjective method.

Key words: LED display panel; gray histogram; CCD image sensor; normal distribution; standard deviation

作者简介:宋新丽(1979—),女,河南漯河人,硕士,主要研究方向:数字图像处理,LED 显示屏亮度均匀性评估。