

文章编号:1007-2780(2014)01-0137-09

# 基于 CCD 图像的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法

王宇庆,刘维亚,丁铁夫,郑喜凤,王瑞光,徐秀知,陈 宇,汪 洋  
(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

**摘要:**将 CCD 摄像机用于 LED 显示屏亮度特征数据的采集,深入分析了 LED 显示屏 CCD 感光图像的特点,在此基础上,完成了感光单元的识别以及亮度特征数据的提取,提出了一种通过计算亮度特征图像各部分之间的相似程度评估显示屏亮度均匀性的方法。针对亮度特征图像,采用在水平和垂直方向上各等分为 2 块以及直接将其等分为 4 块 2 种分块方法,分别计算各图像分块之间奇异值向量的夹角以度量其相似程度,最后将各分块相似度的平均值作为该显示屏样块亮度均匀性的度量。实验结果表明,2 种分块方法对同一组显示屏样块的亮度均匀性评估结果是一致的,均与人的主观感觉相符。

**关键词:**光学测量;CCD 图像;亮度均匀性;奇异值分解

**中图分类号:**TP752 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142901.0137

## Assessment method for luminance uniformity of LED display based on CCD image

WANG Yu-qing, LIU Wei-ya, DING Tie-fu, ZHENG Xi-feng,  
WANG Rui-guang, XU Xiu-zhi, CHEN Yu, WANG Yang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun 130033, China)

**Abstract:** CCD camera is used in the luminance data acquisition of LED display, and the property of CCD photosensitive image is analyzed. On the basis of that, a luminance uniformity assessment method is presented after finishing photosensitive unit recognition and luminance data extraction. It is based on the structure comparability of the different parts of the luminance data image. The luminance data image is divided into two blocks horizontally and vertically. It's also divided into four blocks equally. The angle between singular vectors of each two blocks is used to evaluate their difference. The blocks of luminance data image of LED display with good luminance uniformity are more similar than the blocks of luminance data image of LED display with poor luminance uniformity. The luminance uniformity of the display is accordingly evaluated by the difference measurement of the blocks. Experimental results show that the assessment results of the two dividing methods are all coincident with perceptual property of human eye.

**Key words:** optical measurement; CCD image; luminance uniformity; singular value decomposition

**收稿日期:**2013-01-04; **修订日期:**2013-02-02.

**基金项目:**国家科技创新基金资助项目(No. 020262112);吉林省与中国科学院科技合作资金项目(No. 2005SYHZ0010);中国科学院东北振兴科技行动计划重点项目(No. DBZX-2-017)

## 1 引言

随着平板显示技术的快速发展,人们对各种平板显示设备显示效果的要求也越来越高。显示设备的均匀性是影响显示质量的重要因素之一,均匀性不好的显示屏会严重影响图像的显示效果,因此在显示屏的研制和生产过程中有必要对产品的均匀性进行全面的测试和评估<sup>[1-3]</sup>。作为平板显示设备的一种,LED 显示屏由于具有动态范围广,寿命长,亮度高,效果好等优点而成为目前得到广泛应用的一种显示媒体。目前已有的对于包括 LED 显示屏在内的各种平板显示器显示均匀性的客观评估方法大多局限于采用亮度计或彩色分析仪测试屏幕中少数样点或区域及其关联显示像素或区域的光学性能,这种方法不仅工作量较大,而且用少数点代替全屏像素的光学性能也非常片面,测试结果的稳定性较差。随着 CCD 技术的快速发展,CCD 摄像机被广泛应用于光电图像信息的获取<sup>[4-10]</sup>。利用 CCD 摄像机可以在短时间内方便快捷的获取包含显示屏全屏亮度色度信息的感光图像,从而为全面客观的评估显示屏的均匀性提供了基础。

数值分析中的奇异值分解(SVD)是一种将矩阵对角化的数值算法。对图像进行奇异值分解后,图像奇异值所表现的是图像的本质特征,而且具有良好的稳定性。奇异值分解为提取图像的代数特征提供了新的方法,在数据压缩、信号处理和模式分析等许多方面都得到了广泛应用<sup>[11-16]</sup>。

本文在深入分析 LED 显示屏 CCD 图像特点的基础上,利用图像处理技术,以奇异值分解为主要算法,通过计算亮度特征图像各分块之间奇异值向量夹角的大小来度量各分块的相似程度,最后以各分块相似度的平均值作为显示屏的整体亮度均匀性的度量。论述了从图像采集、预处理到计算分块之间奇异值向量夹角以及评估整体亮度均匀性的一系列过程。对于全彩色 LED 显示屏,其均匀性包括亮度均匀性和色度均匀性两个方面,本文主要研究如何定量评估 LED 显示屏的亮度均匀性。

## 2 系统组成

测量系统由 CCD 摄像机,图像采集卡,计算

机以及相应的图像数据处理软件组成,具体结构如图 1 所示。LED 显示屏或者其部分模块通过透镜成像在 CCD 的光敏面上,CCD 将图像信号变为电荷信号,通过数字接口卡存入计算机内存,然后由软件对所采集到的图像进行处理。这些图像信号与随空间分布的 LED 显示像素有一定的对应关系。通过测量图像信号中感光单元的位置和有效感光像素灰度值的大小便可以得出相应 LED 显示像素的亮度信息。

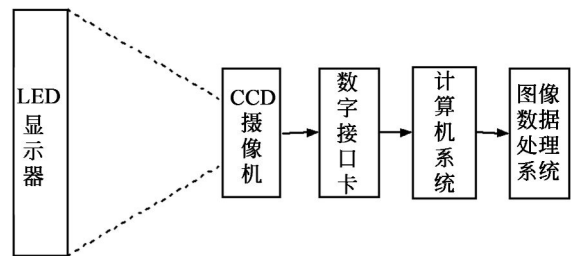


图 1 测量系统结构

Fig. 1 Measurement system structure

## 3 图像采集及预处理

### 3.1 感光单元的识别

图 2 为一幅在暗室中用 CCD 摄像机拍摄到的显示为  $16 \times 16$  的 LED 样板红基色图像。在 CCD 分辨率足够高的情况下,显示像素的像被 CCD 感光像素划分为很多小单元,称这些单元为感光单元。假设整个显示屏共  $i$  行  $j$  列个显示像素,第  $i$  行  $j$  列的显示像素亮度为  $P_{ij}$ ,CCD 感光图像中对应于  $P_{ij}$  的感光单元内部表征  $P_{ij}$  亮度的感光像素总数为  $M$  个,则单元内部每个感光像素的灰度值为  $(P_{ij})_m$ 。

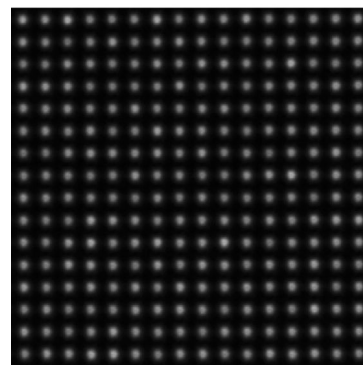


图 2 LED 显示屏的 CCD 感光图像

Fig. 2 CCD photosensitive image of LED display

图 3 比较清晰地显示了对应于图 2 中  $P_{11}$  和  $P_{12}$  显示像素的感光单元的灰度分布。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断变化的曲面,沿面的切线斜率较大。而且,真正能够代表显示像素亮度特征的感光像素所组成的感光单元也并不是理想中规则的圆形。图中每个感光单元中感光像素的灰度值分布整体上由中心到四周逐渐减少,是一个缓慢变化的过程,因此很难确定每一个感光单元的边界。我们称能够代表显示像素亮度特征的感光像素为“有效感光像素”。

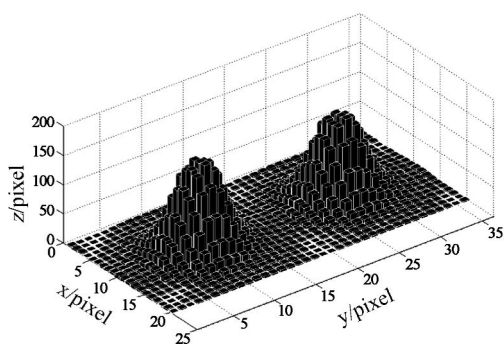


图 3 对应于  $P_{11}$  和  $P_{12}$  显示像素的感光单元的灰度分布  
Fig. 3 Grayscale distribution of photosensitive unit for  $P_{11}$  and  $P_{12}$  display pixel

根据以上的分析,可以把 LED 显示屏 CCD 感光图像所具有的特点归纳为以下几点:

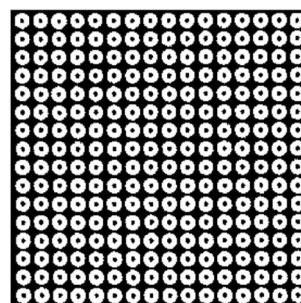
(1) CCD 感光图像中只有部分感光像素能够代表相应显示像素的亮度特征,由这些感光像素所组成的感光单元在 CCD 感光图像中的分布并不是连续的,各单元之间间隔了一些代表背景

的感光像素。  
(2) 感光单元表现为中心区域较亮,远离中心的区域较暗,而且灰度呈缓慢变化,感光单元与背景之间并无明显边缘。

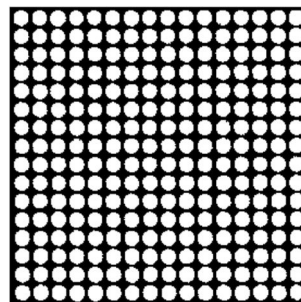
(3) 感光单元的形状不规则而且大小不一,难以用规则的形状描述或者代替。

(4) 背景区域的灰度值很小,但是并不等于 0。

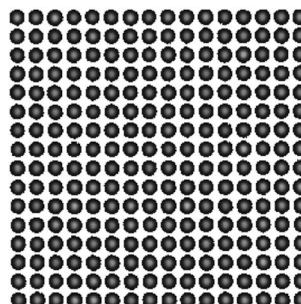
识别感光单元的目的是要将图像中能够代表对应显示像素亮度特征的有效感光像素尽可能准确完整地提取出来。由于灰度的缓慢变化,这些有效感光像素不仅存在于视觉可以感知到的感光单元中心较亮的区域,在人眼不可见的较暗区域也大量存在。对于这种边缘轮廓并不是很清晰的



(a)



(b)



(c)

图 4 感光单元的识别过程

Fig. 4 Detection process of photosensitive unit

目标,本文采取了先检测感光单元的闭合轮廓,然后对内部区域予以填充的方法实现了感光单元的识别。首先,以 CCD 感光图像中的每一个像素  $(k, l)$  为中心,计算边长为  $2R+1$  的正方形区域内与  $(k, l)$  的灰度值接近的所有像素的密度分布。具体方法为,在正方形区域内统计所有与  $(k, l)$  点的灰度值之差的绝对值小于对比度阈值  $\delta$  的像素的个数  $\rho_{T(k,l)}^R$ ,即满足下列条件的像素的个数:

$$|I(k+s, l+t) - I(k, l)| \leq \delta, \quad (1)$$

其中:  $s$  和  $t$  表示以  $(k, l)$  为中心,边长为  $2R+1$  的正方形区域内一个像素的索引,  $I(k, l)$  表示像素  $(k, l)$  的灰度值。令  $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2]$  是由式(1)所定义的像素数的可接受范围。如果在像素点  $(k, l)$  的

密度分布的评估结果在  $\lambda$  范围内,即  $\rho_{i(k,d)}^R \in \lambda$ ,则认为该点属于感光单元的轮廓。针对图 2 的 LED 显示屏 CCD 感光图像,本文所采用参数为:  $R=3, \delta=15, \lambda=[11, 41]$ 。边缘特征的提取结果如图 4(a) 所示。由于每一个感光单元的边缘灰度变化缓慢,因此由最终的特征提取结果可以看到,这些感光单元都由线条较粗的轮廓围绕而成,这也恰好体现了感光单元所具有的边缘轮廓灰度变化缓慢的特点,同时也在一定程度上保证了有效感光像素提取的准确和完整。另外,该方法对背景区域中出现的噪声不敏感,特征提取效果比较理想。之后通过简单的数学形态学操作对图 4(a) 中每一个单元内部区域予以填充就得到了图 4(b) 所示的识别结果。图 4(a)、(b) 均为二值化以后的图像。图 4(c) 为对应于 4(b) 的 CCD 图像中的感光单元,其中的白色区域代表背景。可以看到,图中每一个感光单元都被独立的区分开,彼此之间没有出现任何粘连。研究中发现,在某些特殊的情况下,例如对于某些极暗的显示像素,还可能出现近似于半圆或者其它非常不规则的形状,而这种形状的出现也恰好反映了由该感光单

元所表征的显示像素的亮度特征,因此,该方法也可用于 LED 显示屏显示缺陷的检测。

### 3.2 亮度特征数据的获取

在完成感光单元的识别后,还要进行区域划分以及标号等操作,以获得感光单元的准确位置信息,使之与显示屏上的显示像素一一对应。可以得到 LED 显示像素的亮度特征分布函数为

$$P_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (P_{ij})_m. \quad (2)$$

值得注意的是,这样求得的 LED 显示像素的等效亮度与用亮度计测得的亮度可能是不同的,但是由于 CCD 成像时感光像素与它的入射光强呈线性关系,这样求得的每一个 LED 显示像素等效亮度的相对关系是不变的,所以我们对由本文所给方法和亮度计测得的亮度值不做区别。

表 1 为按照文中所提的方法及式(2)计算得到的对应于图 2 的 LED 显示像素的亮度特征值。从表中可以看到,整屏最亮的点出现在显示屏的第 8 行第 13 列,最暗的点出现在第 2 行第 3 列和第 7 行第 12 列,这与图 2 的 CCD 感光图像从视觉效果上看是一致的。

表 1 对应于图 2 的 LED 显示像素亮度特征值

Tab. 1 Luminance data of LED display pixel for Fig. 2

$P_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	41	40	43	36	35	35	43	36	40	38	42	36	35	38	38	40
2	40	37	32	36	40	34	37	40	38	36	37	35	37	38	38	40
3	34	35	38	38	35	34	38	37	39	40	37	37	44	35	34	37
4	40	41	39	34	35	34	35	39	35	37	35	39	38	37	40	37
5	37	38	38	37	37	40	36	36	37	39	36	37	38	35	39	37
6	36	38	37	40	35	36	41	38	39	36	35	37	38	38	38	37
7	33	34	38	39	39	37	38	37	40	36	36	32	37	37	40	35
8	36	36	36	34	35	41	35	36	34	34	39	40	45	36	39	39
9	38	36	37	35	35	33	38	34	36	34	35	37	38	34	38	37
10	38	35	35	41	41	39	36	38	37	38	37	39	38	40	42	43
11	38	35	39	42	37	39	42	38	39	44	39	33	38	39	39	39
12	39	35	40	40	38	34	41	38	40	40	36	38	38	43	37	37
13	40	37	36	38	36	39	36	41	39	37	39	37	40	42	33	40
14	36	39	35	36	36	39	39	40	38	35	39	38	36	45	40	42
15	41	39	36	37	42	38	37	40	36	39	40	38	39	39	39	40
16	36	40	41	43	44	40	36	41	43	37	38	42	41	41	38	38

图 5 和图 6 分别给出了图 2 的 CCD 感光图像和表 1 所给亮度特征数据的三维分布。从图中可以直观的看到,由本文方法得到的亮度特征数据与由 CCD 感光图像所表征的显示像素的发光情况的相对关系与变化趋势是一致的。例如  $P_{13}$  的亮度要明显大于其周围的显示像素,这一特点在图 5 和图 6 中的表现相同。

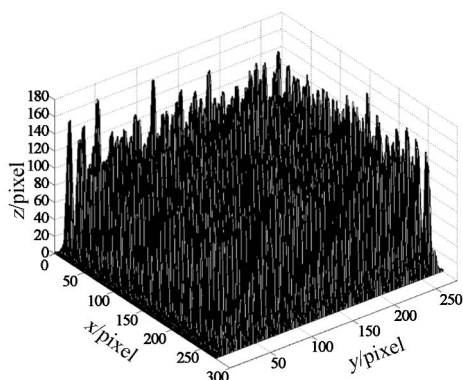


图 5 CCD 感光图像的三维图形

Fig. 5 Three-dimensional graphics of photosensitive image

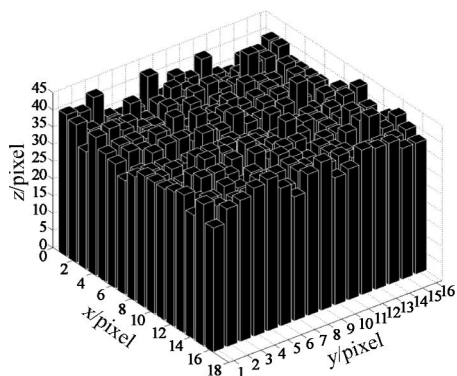


图 6 亮度特征数据的三维图形

Fig. 6 Three-dimensional graphics of luminance data

可以把表 1 的亮度特征数据用灰度图像的形式表示出来,如图 7 所示(为了显示清楚,这里将图像适当放大),称之为亮度特征图像。这样,我们通过分析亮度特征图像的灰度分布情况,就可以实现对显示屏亮度均匀性的评估。这里需要说明的是,亮度特征图像仅仅是亮度特征数据的一种图形化表示方式,需要评估的并不是亮度特征图像的图像质量而是其灰度分布的均匀性,因此,并不要求人眼能够准确感知到图像的灰度变化。



图 7 亮度特征图像(因为像素的灰度值较小,所以人眼所能感知到的灰度变化并不明显)

Fig. 7 Luminance data image (The grayscale distribution is hardly sensed by human eye because of the low pixel intensity)

## 4 亮度均匀性的评估

### 4.1 基本原理

各种显示器显示不均匀性的缺陷一般表现为:在显示系统均匀与连续的输入信号里,任何可见的空间不均匀性(亮度、色度不均匀或者二者的结合)。例如,CRT 显示器的不均匀通常表现为中间区域较亮,而边角区域较暗;LCD 显示的不均匀多表现为靠近背光源区域较亮,而远离背光源区域较暗;LED 平板显示的不均匀则表现为屏幕上出现的“马赛克”、“麻点”等现象。这些不均匀现象都会严重影响图像的观看效果。其中,亮度的差异对于显示屏的效果影响比色度的不均匀要严重的多。

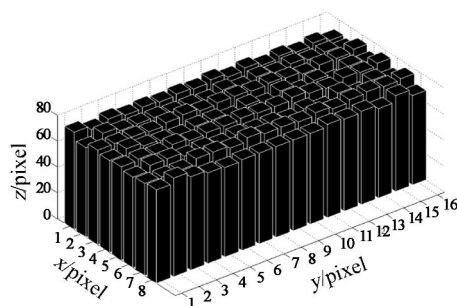


图 8 亮度均匀性较好的 LED 样板红基色亮度特征数据的三维分布

Fig. 8 Three-dimensional graphics of luminance data distribution for LED display with good luminance uniformity

亮度均匀的显示屏在显示各像素灰度值相等的图像时,理论上各显示像素的亮度值应该是一致的,但是在实际中很难实现这样的效果。图 8 为由 CCD 摄像机拍摄到的一块经过逐点校正后

亮度均匀性较好的 LED 显示屏样板红基色亮度特征数据的三维分布。

在现场的主观观测结果表明,图 8 所表征的 LED 显示屏样板红基色亮度均匀性非常理想,并未觉察到任何亮度不均匀现象。但是由图中却可以看到,各个显示像素之间的亮度存在着微小的差别。实际中造成这种差别的原因很多,由于人眼并不能感觉到这些差别,因此,可以认为这种微弱的不均匀不会影响图像的显示质量。而图 8 所反映的这种图像结构恰好可以作为亮度均匀显示屏的亮度特征图像所具有的一个重要特征。从数据的三维分布上看,亮度特征图像的像素间灰度值差异较小,整体起伏不大,表面的结构特征接近于一个平面。这样,假设图像被等分为若干块,由于图像的整体灰度分布比较均匀,因此每一分块图像也都比较接近于一个平面,从而使各图像分块之间的结构非常相似,或者说,亮度均匀性越好的显示屏,其亮度特征图像各分块之间的相似程度就越大。而对于亮度均匀性较差的显示屏,其亮度特征图像的像素灰度分布的均匀性也较差,从三维分布上可以看到各种严重的“凸起”、“凹陷”等代表显示缺陷的点或者区域。这种不均匀的表面结构特征与平面的相似程度较差,同时也直接导致了各个图像分块之间或者部分图像分块之间的图像结构差异较大。

设图像各分块之间一共进行了  $L$  次相似性比较,  $C_i$  为第  $i$  次比较结果的度量,则显示屏的亮度均匀性可以表示为:

$$D = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L C_i. \quad (3)$$

#### 4.2 基于奇异值分解的图像相似度比较

实矩阵  $\mathbf{A}_{m \times n}$  (设  $m \geq n$ ) 的奇异值分解表示为  $\mathbf{A} = \mathbf{U}\mathbf{S}\mathbf{V}^T$ , 其中,  $\mathbf{U}_{m \times k}$ ,  $\mathbf{V}_{m \times n}$  为正交矩阵, 即  $\mathbf{U}^T\mathbf{U} = \mathbf{I}$ ,  $\mathbf{V}^T\mathbf{V} = \mathbf{I}$ ;  $k = \text{rank}(\mathbf{A})$  为矩阵的秩,  $\mathbf{S}_{n \times k}$  为对角矩阵, 即  $\mathbf{S} = \text{diag}(s_1, s_2, \dots, s_k, 0, \dots, 0)$ ,  $s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_k$ ,  $\mathbf{S}$  特征向量中的前面几个分量包含了图像代数属性的主要信息,  $\mathbf{U}, \mathbf{V}$  的元素  $u_i, v_i$  称为左右奇异值向量,  $\mathbf{S}$  的前  $r$  个对角元素称为  $\mathbf{A}$  的奇异值, 也构成了  $\mathbf{A}$  的奇异值向量。向量的夹角表明了两向量线性相关的程度, 夹角越小, 说明越接近线性相关, 也是对 2 个向量所张成的空间的线性相关度的度量<sup>[12]</sup>。

把 2 幅灰度图像分别看作是矩阵  $\mathbf{X}(m, n)$  和

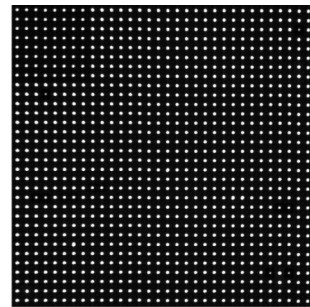
$\hat{\mathbf{X}}(m, n)$ ,  $m, n$  分别为图像的像素高度和宽度。奇异值向量的夹角为:

$$C = \arccos \frac{\sum_{i=1}^r (s_i \times \hat{s}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^r (s_i \times s_i)} \sqrt{\sum_{i=1}^r (\hat{s}_i \times \hat{s}_i)}}. \quad (4)$$

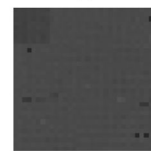
采用文献[12]的方法, 为了保证计算精度, 式中  $r$  取 2 个图像矩阵的秩的最小值, 即  $r = \min(\text{rank}(\mathbf{X}), \text{rank}(\hat{\mathbf{X}}))$ ;  $s_i, \hat{s}_i$  分别为 2 幅图像矩阵的奇异值向量的元素。  $C$  的取值范围为  $[0, \pi/2]$ , 值越小, 说明两图像越相似。

## 5 实验结果与分析

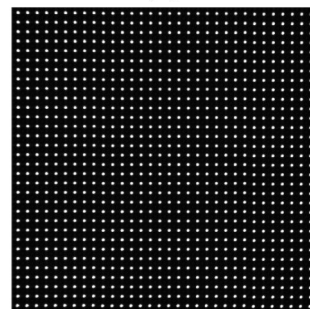
在相同实验条件下拍摄了 4 幅显示像素为的 LED 显示屏样板红基色 CCD 感光图像, 分别如图 9(a)~(d) 所示, 对应的 4 块显示屏样板的编号分别为 a、b、c、d, 其红基色的亮度均匀性各不相同, 反映为具有不同结构特征的 CCD 感光图像, 在经过图像数据处理系统的处理后, 得到了相应的亮度特征图像, 如图 9(a')~(d') 所示。为了使显示更加清楚, 这里同样对原分辨率为的亮



(a)



(a')



(b)

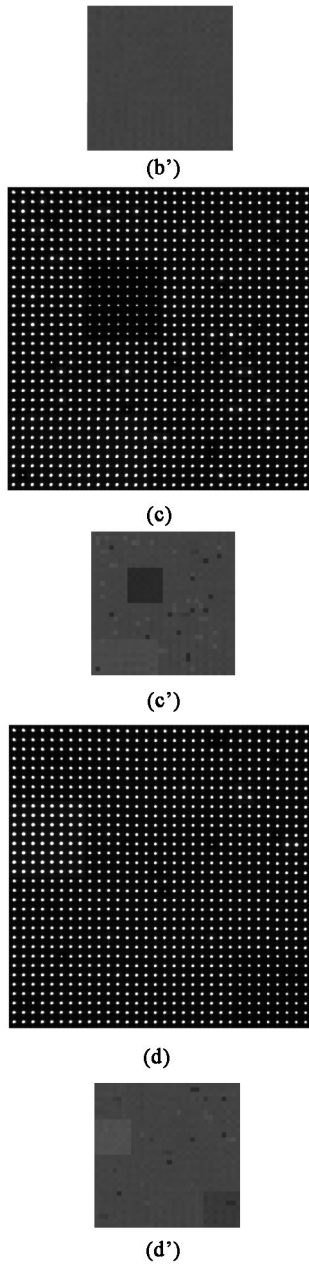


图 9 LED 显示屏样块的 CCD 感光图像及相应的亮度特征图像(其中(a)-(d)以及(a')-(d')分别对应于显示屏样块 a-d)

Fig. 9 CCD photosensitive image and luminance data image of LED display((a)-(d) and (a')-(d') are the corresponding photosensitive image of LED display panel a-d. )

度特征图像适当放大。

针对图 9(a')~(d')的亮度特征图像,本文采取了如图 10(a)、(b)所示的 2 种分块方法。图 10(a)将图像在水平和垂直方向上各等分为两块,

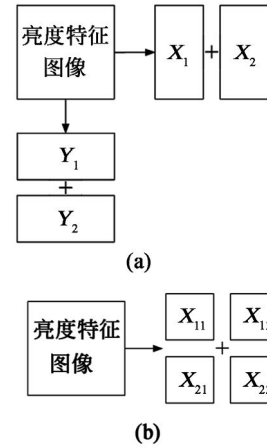


图 10 分块方法

Fig. 10 Dividing method

图 10(b)将图像等分为 4 块。对于图 10(a)的分块方法,设  $C_X$  为  $X_1$  图像和图像  $X_2$  的相似度,  $C_Y$  为  $Y_1$  图像和  $Y_2$  图像的相似度;对于图 10(b)的分块方法,设  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  为  $X_{11}$  与其余 3 个分块的相似度,  $C_4$  和  $C_5$  为  $X_{12}$  与  $X_{21}$  和  $X_{22}$  的相似度,  $C_6$  为  $X_{21}$  与  $X_{22}$  的相似度,即按照该分块方法,各分块之间一共进行了 6 次比较。根据式(4),分别计算各分块之间的相似度(奇异值向量的夹角,单位为弧度),最后由式(3)得到对应于图 10(a)、(b)两种分块方法的显示屏亮度均匀性  $D_a$ 、 $D_b$  分别表示如下:

$$\begin{cases} D_a = \frac{1}{2}(C_X + C_Y) \\ D_b = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 C_i \end{cases}$$

按照上式计算得到相应亮度特征图像所表征的 LED 显示屏红基色亮度均匀性的评估结果如表 2 所示。

表 2 亮度均匀性的评估结果

Tab. 2 Assessment result of luminance uniformity(rad)

显示屏样块	a	b	c	d
$D_a$	0.007 2	0.002 4	0.071 9	0.018 4
$D_b$	0.017 5	0.003 8	0.058 7	0.023 9

由评估结果可以看到,2 种分块方法对显示屏红基色亮度均匀性的评估结果是一致的。在显示红基色时,b 的亮度均匀性最为理想,c 的亮度均匀性

最差。这与我们现场的主观评测结果相符合。c 不仅出现了严重的“马赛克”，而且出现了较多的“麻点”，对图像的显示效果产生了严重影响，而 b 显示屏表面则未发现明显的不均匀现象，显示效果较好。a 的亮度均匀性好于 d，但是二者均发现有较明显的“麻点”以及“马赛克”存在，程度略轻于 c。以上评估结果表明，本文所提的算法对 LED 显示屏亮度均匀性的评估结果符合人的主观感觉。

本文的方法与其他基于 CCD 感光图像像素整体分析的方法的区别在于，该方法对于 LED 感光单元的空间分布敏感程度较高，例如对于图 9 (c) 的 CCD 感光图像，按照图 10 (b) 的方法可以将其分解为以下几个部分：

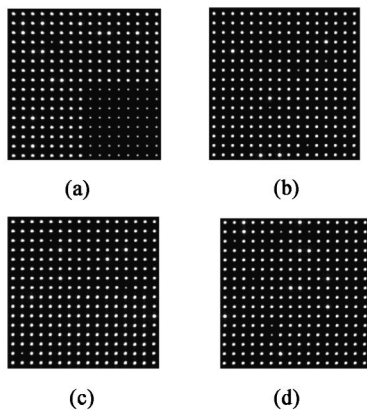


图 11 图 9(c) 的分块结果  
Fig. 11 Divided blocks of Fig. 9(c)

对于图 11(a) 右下角的暗块，基于 CCD 感光图像整体分析的方法无法根据其空间分布给出不同的评价结果。事实上，暗块或者亮块的空间分布都会对显示效果造成较大影响。根据本文的方法，在其它条件不变的情况下，暗块或者亮块空间位

置越靠近中心，则显示均匀性越差，这与人眼的主观感知也是一致的，而其余基于感光图像整体分析的方法则肯定会给出同样的评价结果。

显然，本文的方法多次对同一显示屏亮度均匀性的评估结果都是一致的，不存在评估结果不稳定的问题。对于同一显示屏，各种显示缺陷出现的位置都是固定的，而传统的随机测试少数样点或者区域的方法无法保证测试结果的稳定一致，多次测量的结果都具有不同程度的差异，因此本文并没有将其与所提的方法进行比较。

## 6 结 论

本文将能够比较准确的表征显示屏上各显示像素发光情况的亮度特征图像作为评估显示屏亮度均匀性的主要依据，在此基础上，以奇异值分解为主要算法，通过对 LED 显示屏亮度特征图像分块结构相似性的度量实现了显示屏亮度均匀性的评估。LED 显示屏的 CCD 感光图像虽然在一定程度上反应了屏上各显示像素的发光情况，但是其中也含有大量与显示像素的发光情况无关的背景像素以及各种噪声等干扰因素，所以直接利用感光图像对显示屏的亮度均匀性进行分析显然是不准确的，因此本文并没有将其作为评估显示屏亮度均匀性的依据。实验结果表明，本文的方法能够充分利用 CCD 摄像机采集到的全屏亮度信息评估显示屏的整体亮度均匀性，具有良好的稳定性，而且与人的主观感受一致。

本文所提的方法也可以用于 OLED, PDP 等多种平板显示设备亮度均匀性的测试和评估，因此具有广泛的适用性。

## 参 考 文 献：

- [1] 桂劲征, 陈宇, 苗静, 等. 基于 HVS 的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(5): 658-665.  
Gui J Z, Chen Y, Miao J, et al. Luminance uniformity evaluation for LED display panel based on HVS [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(5): 658-665. (in Chinese)
- [2] 宋新丽, 郑喜凤, 凌丽清, 等. 基于灰度直方图的 LED 显示屏亮度均匀性评估方法[J]. 液晶与显示, 2009, 24(1): 140-144.  
Song X L, Zheng X F, Ling L Q, et al. Luminance uniformity evaluation for LED display panel based on gray histogram [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(1): 140-144. (in Chinese)
- [3] 丁柏秀, 郑喜凤, 陈宇, 等. 发光二极管显示屏 CCD 图像的修正[J]. 光学精密工程, 2013, 21(5): 1318-1325.  
Ding B X, Zheng X F, Chen Y, et al. Revision of LED display images acquired by CCD camera [J]. *Optics and*



- Precision Engineering*, 2013, 21(5):1318-1325. (in Chinese)
- [4] David R J, Dingeman C B, Gerry K, *et al.* Digital imaging colorimeter for fast measurement of chromaticity coordinate and luminance uniformity of displays [J]. *Proc. SPIE*, 2001, 4295:176-187
- [5] 赵梓权, 王瑞光, 郑喜凤, 等. 用彩色 CCD 相机测量发光二极管显示屏的色度[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(3):575-582.  
Zhao X Q, Wang R G, Zheng X F, *et al.* Measurement of chroma of LED display with Color CCD camera [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(3):575-582. (in Chinese)
- [6] 全先荣, 李宪圣, 任建伟, 等. 基于辐射亮度反演的 TDI CCD 相机的响应非均匀性校正[J]. *液晶与显示*, 2011, 26(3):379-383.  
Quan X R, Li X S, Ren J W, *et al.* Nonuniformity correction of TDI CCD camera based on radiation luminance revises [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(3):379-383. (in Chinese)
- [7] 宋喜佳, 刘维亚, 陈伟, 等. 基于相频空间稀疏性快速估计发光二极管灯点参数[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(1):167-173.  
Song X J, Liu W Y, Chen W. Estimation of parameters for LED points based on sparsity of frequency offset-phase delay space [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(1):167-173. (in Chinese)
- [8] 赵梓权, 王瑞光, 郑喜凤, 等. LED 显示屏的色域校正[J]. *液晶与显示*, 2013, 28(1):92-98.  
Zhao X Q, Wang R G, Zheng X F. Color gamut correction of LED displays [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1):92-98. (in Chinese)
- [9] 阮海蓉, 夏贵勇. 基于照相的 LED 显示屏亮度校正方法[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(2):193-197.  
Ruan H R, Xia G Y. Brightness correction method of LED display based on photographing [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(2):193-197. (in Chinese)
- [10] 张学军, 左春桢, 文伟力, 等. 基于计算机视觉的微观稀疏离散粒子尺寸的检测[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(4):611-614.  
Zhane X J, Zuo C C, Wen W L, *et al.* Measurement of sparse scatter particulates based on computer vision [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(4):611-614. (in Chinese)
- [11] Aleksandr S, Alexander G, Ahmet M E. An SVD-based grayscale image quality measure for local and global assessment [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(2):422-429.
- [12] 骞森, 朱剑英. 基于奇异值分解的图像质量评价[J]. *东南大学学报:自然科学版*, 2006, 36(4):643-646.  
Qian S, Zhu J Y. Image quality measure using singular value decomposition [J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2006, 36(4):643-646. (in Chinese)
- [13] 袁飞, 黄联芬, 姚彦. 基于视觉掩盖效应和奇异值分解的图像质量评测方法[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(4):706-713.  
Yuan F, Huang L F, Yao Y. Image quality evaluation based on visual masking effect and singular value decomposition [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, 16(4):706-713. (in Chinese)
- [14] 王宇庆, 朱明. 评价彩色图像质量的四元数矩阵最大奇异值方法[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(2):428-437.  
Wang Y Q, Zhu M. Maximum singular value method of quaternion matrix for evaluating color image quality [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(2):428-437. (in Chinese)
- [15] Liu R Z, Tan T N. SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2002, 4(1):121-128.
- [16] Pan Q, Zhang M G, Zhou D L, *et al.* Face recognition based on singular value feature vectors [J]. *Optical Engineering*, 2003, 42(8):2368-2374.

作者简介:王宇庆(1979—),男,吉林长春人,副研究员,主要研究方向为平板显示技术,图像质量评价。E-mail:wyq7903@aliyun.com