

文章编号:1007-2780(2019)08-0778-09

LED显示屏相机采集过程中的渐晕补偿

王司潮^{1,2}, 郑喜凤^{1,3*}, 毛新越^{1,2}, 程宏斌³, 陈宇^{1,3}

(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;

2.中国科学院大学, 北京 100049;

3.长春希达电子有限公司, 吉林 长春 130103)

摘要: LED显示屏在采集校正过程中由于相机自身的渐晕特性, 无法准确得到每个发光像素亮度信息, 导致显示屏经过校正后显示效果不好。为了解决这个问题, 本文针对LED发光像素自身的亮度离散特性, 提出了一种基于统计学原理的相机渐晕补偿算法。该方法首先通过高斯滤波消除高频混叠噪声, 然后通过数据迭代的方式消除LED发光像素的亮度离散性, 从而得到了光滑的相机渐晕曲面, 最后通过对渐晕曲面取倒数的方法求出相机的渐晕补偿曲面并进行了实验验证。实验结果表明, 该方法对相机渐晕进行补偿能够极大程度提高相机采集LED发光像素亮度信息的准确度, 使校正后显示屏的任意发光像素的亮度差异由9%降低至0.86%。大大提高了LED显示屏校正后的显示均匀性。

关键词: LED显示屏; 渐晕补偿; 离散化修正; 高斯滤波

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193408.0778

Vignetting compensation in the collection process of LED display camera

WANG Si-chao^{1,2}, ZHENG Xi-feng^{1,3*}, MAO Xin-yue^{1,2}, CHENG Hong-bin³, CHEN Yu^{1,3}(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*3. *Changchun Cedar Electronics Technology Co., Ltd., Changchun 130103, China*)

Abstract: In the process of acquisition and correction, the brightness information of each luminous pixel can not be accurately obtained due to the camera's own halo characteristics, which results in poor display effect of the LED display after correction. In order to solve this problem, this paper proposes a camera vignetting compensation algorithm based on statistical principle, which firstly eliminates high-frequency aliasing noise by Gaussian filtering, and then eliminates the brightness dispersion of LED luminous pixels by data iteration, so as to obtain a smooth camera vignetting surface. Finally, through graduation. The reciprocal method of halo surface is used to calculate the camera's halo com-

收稿日期: 2019-04-10; **修订日期:** 2019-05-07.

基金项目: 十三五国家重点研发计划(No.2017YFB0404800); 长春市科技创新“双十工程”(No.19SS002)

Supported by National Key Research and Development Program of China(No.2017YFB0404800); Changchun Science and Technology Innovation “Double Ten Projects”(No.19SS002)

* 通信联系人, E-mail: zhengxf@ccxida.com

pensation surface. The camera compensation surface is used to compensate the dizziness of the LED box, and the experimental verification is carried out. The experimental results show that the brightness difference of the LED display after halo compensation is reduced from 9% to 0.86%. The uniformity of LED display is greatly improved, which proves the practicability and effectiveness of this method in practical engineering. This method has been applied in engineering at present.

Key words: LED display screen; vignetting compensation; discretization correction; Gauss filter

1 引言

随着平板显示技术的发展,人们对平板显示设备的需求越来越大。LED显示屏以其主动发光、高色彩饱和度、广视角、高对比度、无缝拼接等优点,在显示市场中的需求日益迫切,这就对LED显示屏的显示质量提出了更高的要求,评价显示质量的重要指标之一就是显示均匀性^[1]。

目前提高LED显示屏显示均匀性的主要方法是通过CCD相机对显示屏进行亮度采集再校正。但是在采集过程中,由于相机成像时部分轴外光束被拦截,导致离轴越远的光线在像面上的光强度越弱,这种现象就是相机的渐晕^[2-7]。相机的渐晕会使图像的边缘下降,采集数据不准确,导致校正后的显示屏呈现出“中间暗,四周亮”的现象,因此需要进行渐晕补偿来提高亮度一致性。

文献[6]和[7]给出了两种通过LED显示屏进行渐晕补偿的方法,但前者没有对LED的离散性进行分析,也没有提出解决LED亮度离散性对相机渐晕补偿影响的方法;后者通过图像滤波,只能消除图像的高频差异,中、低频部分无法去除。文献[18]提出了基于二维Gauss曲面拟合的图像灰度补偿算法,根据图像灰度分布统计特性估算二维Gauss曲面的各个参数,从而实现渐晕补偿,但是积分计算部分准确度不高,导致结果也存在一定误差。文献[8]提出利用逐行拟合的方法进行渐晕效应的复原,可在一定程度上减轻渐晕效应的影响,但是当相邻两行的亮度变化较大时,会产生条纹。文献[9]对于渐晕现象的研究主要针对人眼的主观感受进行补偿,没有从客观上进行亮度还原。

因此,本文提出了一种应用统计学规律的相机渐晕补偿方法,通过高斯滤波和数据叠加减小

亮度离散性,同时得到相机采集的渐晕曲面,在此基础上进行相机的渐晕补偿,可以更好地提高显示均匀性。此方法在实验中进行了验证,取得了理想的效果。

2 LED显示屏发光特性

2.1 温度对LED发光强度的影响

LED的核心部分是由P型半导体和N型半导体组成的晶片,其实质性结构是P型半导体和N型半导体之间的过渡层,称为PN结。LED的发光原理是处于激发态的电子/空穴从高能级向低能级跃迁,与空穴/电子结合而发射光子。当PN结温度上升时,半导体的晶格振动幅度增加,当原子的振动能量高于一定值时,电子从激发态跃迁到基态时会与晶格原子(或离子)交换能量,发生无辐射跃迁,无法发射光子,而这种几率随着温度升高呈指数式增加,因此,当温度上升到一定程度后,半导体的发光强度就会下降^[10-12]。而且晶格的振动,在一定程度上会影响能级的分裂,当原子能级变化时,电子跃迁产生的发光光谱也会随之变化,进一步导致LED的亮度改变。

所以工作温度对LED的发光亮度有很大的影响,本文提出的算法针对室内的显示屏,环境温度稳定在一定范围内,LED个体间温度差异较小,可以通过统计学消除温度造成的亮度差异。

2.2 工作电流对LED亮度的影响

LED亮度与工作电流的关系如图1所示。由图可知,LED亮度随着电流强度的增加而增大,近似为线性关系^[13-14],且每一个基色随电流增大程度也不相同。故而LED显示屏中的每一个LED所在的电路均会影响每个LED的发光亮度,这也会增加显示屏亮度的离散性差异。本文研究采用恒流驱动的显示屏,排除因电流变化过大导致的亮度问题。

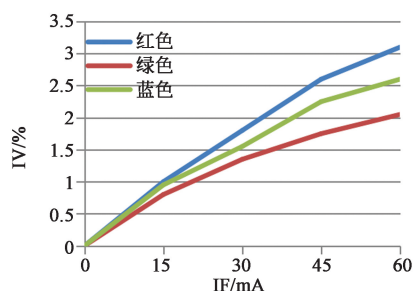


图 1 LED 亮度与工作电流的关系

Fig.1 Relation between LED brightness and working current

2.3 半导体器件自身的亮度离散性

同基色的 LED 发光管亮度本身具有很大的离散性,LED 平板显示屏正是由成千上万个亮度相差比较大的 LED 发光管组成,即使是同一亮度档次的 LED 发光管,其亮度也存在 30%~60% 的偏差,这是造成显示屏亮度不均匀的根本原因^[15-19]。

3 渐晕补偿算法

渐晕补偿算法的基本思路是:首先通过滤波降低采集过程中的噪声,再应用统计学规律,降低亮度离散性,得到相机的渐晕曲面,求逆得到相机渐晕补偿曲面,从而对 LED 显示屏进行相机渐晕补偿。

3.1 高斯滤波降噪

采集得到的数据不可避免的包括噪声,因此首先要对采集得到的数据进行降噪处理,常用的滤波算法有均值滤波、中值滤波和高斯滤波等。均值滤波使用模板内的平均值代替中心值,不能完全消除噪声,只能相对减弱噪声;中值滤波计算模板内的中值,并用中值代替中心值,这种方法虽可较好的消除噪声,但容易导致图像的不连续性。因此选择高斯滤波器进行降噪处理。

高斯滤波器实现降噪有两种实现方式,一种是离散化窗口滑窗卷积,另一种是傅里叶变换。由于傅里叶变换过程复杂,较难实现,因此当滑窗计算量不大时选择滑窗方法来实现。高斯噪声的滑窗卷积实际是一种加权平均的过程,每一个像素点的值,都由其本身和邻域内的其他像素值经过高斯函数加权平均后得到,具有低通特性。具

体操作是通过建立模板,在待处理数据中移动模板,用模板确定的邻域内像素的加权平均灰度值去替代模板中心像素点的值^[9,20]。加权平均的权重值是由高斯模板系数决定的,模板中的系数通过高斯函数计算,计算高斯模板参数时,通过高斯公式:

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

其中:\$(x, y)\$ 为点坐标, \$\sigma\$ 是标准差。以模板的中心位置为坐标原点,将各个位置的坐标代入公式(1)中,得到的值就是模板系数。绘制出的二维高斯图像如图 2 所示。

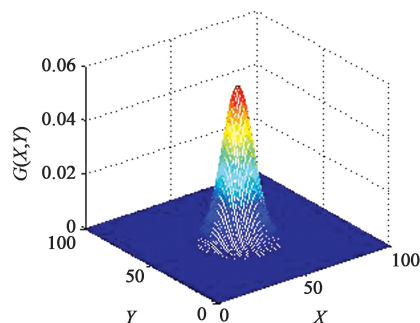


图 2 二维高斯图像

Fig.2 Two-dimensional Gauss image

3.2 阈值设定

LED 显示屏的校正标准取决于人眼的视觉精度^[20]。通过人眼对比敏感度函数曲线与文献[2]中的实验可知,人眼视觉敏感性的亮度阈值约为 1.2%,也就是说当亮度差异小于 1.2% 时,人眼基本无法分辨出亮度差异。因此,当像素亮度的最大相对误差小于 1.2% 时,可以认为人眼已经分辨不出亮度差异,显示屏呈现亮度一致性。

3.3 渐晕补偿

(1) 设定型号 A 箱体,对该型号箱体进行暗场采集,得到暗电流噪声,设暗电流噪声矩阵为 D ,每个像素的暗电流噪声记为 d_{xy} (x, y 为各像素点横纵位置坐标)。即:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1y} & d_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ d_{x1} & \cdots & d_{xy} & d_{xj} \\ d_{i1} & \cdots & d_{iy} & d_{ij} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

(2) 使用相机在暗室对一定数量的 A 型号的箱体进行亮度采集,第 k 个显示屏箱体的原始亮

度矩阵记为 $L_k (k=1,2,3,\dots,n)$, 通过高斯滤波去除高频噪声后亮度矩阵记为 F_k , 每个像素的亮度为 f_{xy} (x, y 为各像素点横纵位置坐标)。即:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1y} & f_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ f_{x1} & \cdots & f_{xy} & f_{xj} \\ f_{i1} & \cdots & f_{iy} & f_{ij} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

(3) 将采集到的每箱 LED 显示屏亮度值叠加, 令

$$\mu_k = \frac{\sum_{k=1}^n (F - D)}{k} \quad (k=1,2,3,\dots,n), \quad (4)$$

其中: μ_k 为去除暗电流噪声后 k 个箱体亮度数据的平均值矩阵, Δ_k 为第 k 次叠加后与第 $k-1$ 次叠加后的相对亮度差异矩阵, $\Delta_{k\max}$ 为该矩阵最大相对亮度差异, 则

$$\Delta_k = \frac{\mu_k - \mu_{k-1}}{\mu_k}, \quad (5)$$

$$\Delta_{k\max} = \max(|\Delta_k|), \quad (6)$$

当满足公式(7)时, 停止叠加, 认为此时得到的即为光滑的相机渐晕曲面, 记第 $(k+2)$ 次的曲面为 $P(x, y)$ (x, y 为各像素点横纵位置坐标)。

$$\begin{cases} \Delta_{k\max} \leq 1.2\% \\ \Delta_{(k+2)\max} \leq \Delta_{(k+1)\max} \leq \Delta_{k\max} \end{cases}. \quad (7)$$

(4) 对相机渐晕曲面的每一个点进行取倒数运算, 得到相机渐晕的补偿曲面 $S(x, y)$, 用补偿曲面 $S(x, y)$ 对 LED 显示屏进行渐晕补偿。

(5) 用光谱色度计对修正后的 LED 显示屏进行亮度测量, 分析修正后的亮度均匀性。

4 实验验证

4.1 箱体验证实验

实验选取一定数量的 160×160 个像素点的 A 型 LED 显示屏箱体, 像素点间距为 1.27 mm, 对箱体进行标号。首先使用光谱色度计对 1 号箱体亮度进行测量, 测量方法按照行业标准 SJ/T 11281_2017 中 4.21 规定的方法进行。设定测量步长为 16, 得到一个 10×10 的亮度矩阵 Q_{xy} ($x, y = 0 \sim 9$)。测量数据如表 1 所示, 经计算得 Q_{xy} 的最大亮度差异约为 9%。

表 1 渐晕补偿前亮度值

Tab.1 Brightness value before vignetting compensation

cd/m²

Q_{xy}	亮度	Q_{xy}	亮度	Q_{xy}	亮度	Q_{xy}	亮度
Q_{00}	340	Q_{25}	348	Q_{50}	341	Q_{75}	351
Q_{01}	361	Q_{26}	360	Q_{51}	348	Q_{76}	354
Q_{02}	342	Q_{27}	330	Q_{52}	340	Q_{77}	341
Q_{03}	332	Q_{28}	347	Q_{53}	358	Q_{78}	360
Q_{04}	351	Q_{29}	360	Q_{54}	352	Q_{79}	340
Q_{05}	336	Q_{30}	340	Q_{55}	335	Q_{80}	348
Q_{06}	351	Q_{31}	360	Q_{56}	345	Q_{81}	358
Q_{07}	340	Q_{32}	344	Q_{57}	333	Q_{82}	334
Q_{08}	335	Q_{33}	336	Q_{58}	360	Q_{83}	354
Q_{09}	332	Q_{34}	357	Q_{59}	360	Q_{84}	359
Q_{10}	360	Q_{35}	339	Q_{60}	345	Q_{85}	350
Q_{11}	348	Q_{36}	347	Q_{61}	358	Q_{86}	349
Q_{12}	350	Q_{37}	360	Q_{62}	348	Q_{87}	330
Q_{13}	340	Q_{38}	336	Q_{63}	348	Q_{88}	339
Q_{14}	345	Q_{39}	358	Q_{64}	339	Q_{89}	360
Q_{15}	355	Q_{40}	330	Q_{65}	346	Q_{90}	358
Q_{16}	345	Q_{41}	360	Q_{66}	347	Q_{91}	356
Q_{17}	339	Q_{42}	345	Q_{67}	358	Q_{92}	330
Q_{18}	340	Q_{43}	346	Q_{68}	348	Q_{93}	359
Q_{19}	337	Q_{44}	350	Q_{69}	332	Q_{94}	356
Q_{20}	360	Q_{45}	342	Q_{70}	353	Q_{95}	334
Q_{21}	345	Q_{46}	356	Q_{71}	360	Q_{96}	332
Q_{22}	339	Q_{47}	360	Q_{72}	356	Q_{97}	350
Q_{23}	360	Q_{48}	348	Q_{73}	357	Q_{98}	359
Q_{24}	348	Q_{49}	347	Q_{74}	354	Q_{99}	348

绘制出的亮度分布如图 3 所示。

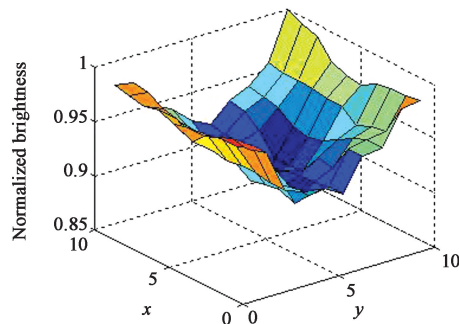


图 3 补偿前亮度分布

Fig.3 Brightness distribution before compensation

使用 CCD 相机在暗室环境下对 A 型号 LED 显示屏进行暗场采集,相机距显示屏 5 m,得到暗电流噪声。

接下来进行亮度采集,首先在暗室环境下采集一组 LED 显示屏的亮度,对采集到的数据进行高斯滤波,为有效抑制图像的高频噪声并保留低频分量,本文采用 5×5 标准差为 1 的模板,以保证输出响应仍在原来的亮度范围。去掉高频噪声与暗电流噪声后,LED 显示屏的亮度差异就是亮度离散性差异与相机渐晕带来的。为了更好地观察采集数据的离散性,提取出中心行亮度并绘制曲线图,对数据归一化后中心行亮度分布如图 3 所示。通过中心行亮度曲线图可以看出,由于亮度的离散性导致采集形成的亮度数据曲线并不光滑,产生的“毛刺”非常明显。

接下来在同样的测量条件下,重复上述操作,对下一个同样的 A 型号箱体进行亮度测采集,并将第二次与第一次测量数据叠加,去除暗电流噪声后取平均,以此类推,采集到第 5 个箱体时,滤波后中心行亮度归一化后曲线图如图 4 所示。

由图 4 可以看出,由于亮度离散性导致的“毛

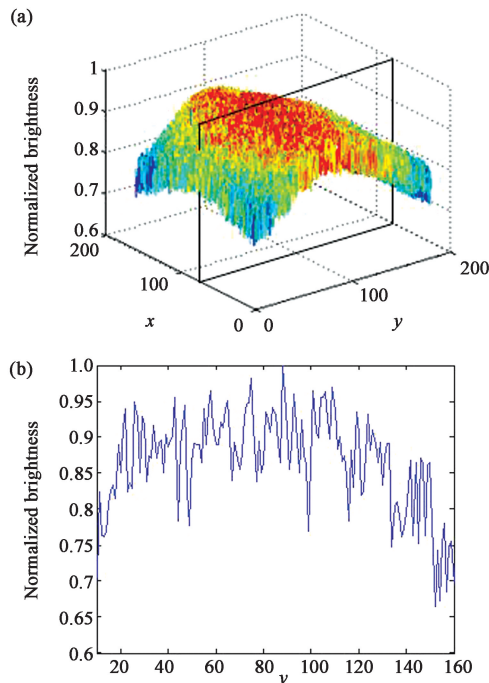


图 4 第 1 箱显示屏亮度。(a)亮度曲面图;(b)中心行亮度曲线图。

Fig.4 Brightness of the 1st box display screen. (a) Brightness surface; (b) Brightness curve of central line.

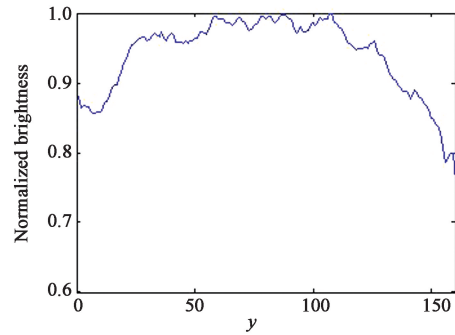


图 5 第 5 箱亮度中心行断面曲线图

Fig.5 Brightness curve of central line of the 5th box display screen

刺”现象较只采集一个箱体时有所改善,但曲线仍不光滑,故继续采集并将数据叠加。

当叠加至第 20 个箱体的亮度数据时,已经得到一个较为光滑的曲线。高斯滤波后归一化的数据如图 5 所示。

经计算, $\Delta_{18} = 1.08\%$, $\Delta_{19} = 1.02\%$, $\Delta_{20} = 0.98\%$,符合阈值条件,停止叠加,认为该曲面已经消除了亮度离散性差异,是一个光滑的相机渐晕曲面。

对该光滑渐晕曲面进行求逆运算,得到渐晕补偿曲面,将渐晕补偿曲面作为修正系数对 1 号 LED 显示屏进行渐晕补偿。补偿后亮度归一化分布如图 6 所示。

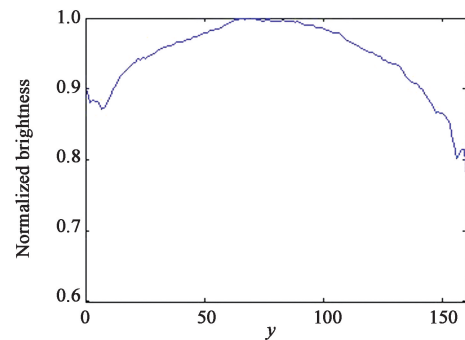


图 6 第 20 箱显示屏中心行亮度曲线

Fig.6 Brightness curve of center line of the 20th box display screen

4.2 数据分析与实验结论

用光谱色度计对渐晕补偿后的 1 号 LED 显示屏进行亮度测量,设定步长为 16,得到修正后的 10×10 亮度矩阵 S_{xy} ($x, y = 0 \sim 9$)。测量数据如表 2 所示。

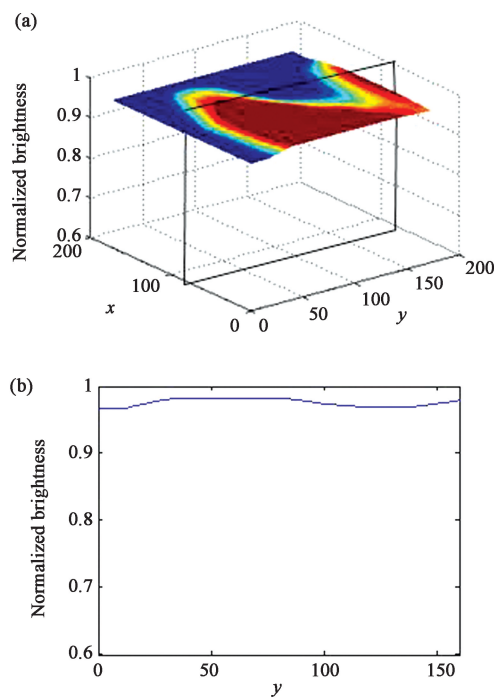


图 7 渐晕补偿后亮度。(a)亮度曲面图;(b)中心行亮度曲线图。

Fig.7 Brightness after vignetting compensation, (a) Brightness surface; (b) Brightneis curve of centra line.

表 2 渐晕补偿后亮度值

Tab.2 Brightness value after vignetting compensation
cd/m²

S_{xy}	亮度	S_{xy}	亮度	S_{xy}	亮度	S_{xy}	亮度
S_{00}	348	S_{25}	348	S_{50}	349	S_{75}	350
S_{01}	351	S_{26}	350	S_{51}	348	S_{76}	348
S_{02}	349	S_{27}	350	S_{52}	350	S_{77}	349
S_{03}	350	S_{28}	348	S_{53}	348	S_{78}	348
S_{04}	351	S_{29}	350	S_{54}	350	S_{79}	349
S_{05}	348	S_{30}	348	S_{55}	349	S_{80}	349
S_{06}	349	S_{31}	349	S_{56}	348	S_{81}	350
S_{07}	350	S_{32}	348	S_{57}	348	S_{82}	348
S_{08}	349	S_{33}	350	S_{58}	350	S_{83}	350
S_{09}	348	S_{34}	351	S_{59}	350	S_{84}	349
S_{10}	350	S_{35}	349	S_{60}	349	S_{85}	350
S_{11}	348	S_{36}	348	S_{61}	348	S_{86}	349
S_{12}	350	S_{37}	349	S_{62}	348	S_{87}	350

续 表

S_{xy}	亮度	S_{xy}	亮度	S_{xy}	亮度	S_{xy}	亮度
S_{13}	348	S_{38}	348	S_{63}	348	S_{88}	349
S_{14}	349	S_{39}	348	S_{64}	349	S_{89}	350
S_{15}	350	S_{40}	349	S_{65}	349	S_{90}	348
S_{16}	348	S_{41}	350	S_{66}	348	S_{91}	350
S_{17}	349	S_{42}	349	S_{67}	350	S_{92}	349
S_{18}	349	S_{43}	349	S_{68}	348	S_{93}	350
S_{19}	348	S_{44}	350	S_{69}	350	S_{94}	350
S_{20}	350	S_{45}	349	S_{70}	350	S_{95}	348
S_{21}	348	S_{46}	350	S_{71}	349	S_{96}	349
S_{22}	350	S_{47}	348	S_{72}	348	S_{97}	350
S_{23}	349	S_{48}	348	S_{73}	350	S_{98}	350
S_{24}	348	S_{49}	349	S_{74}	350	S_{99}	348

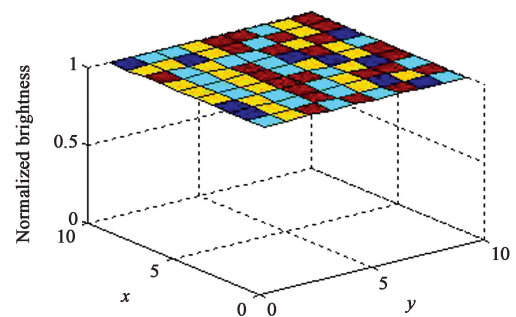


图 8 补偿后亮度分布

Fig.8 Brightness distribution after compensation

绘制此时的亮度分布图,如图 8 所示。

计算 S_{xy} 各元素的最大亮度差异:

$$\frac{S_{xy(\max)} - S_{xy(\min)}}{S_{xy(\min)}} = 0.86 \% , \quad (8)$$

可见,经过渐晕补偿后,LED 显示屏的亮度差异较渐晕补偿前的 9%有很大改进,大大提高了显示屏的显示均匀性。

同时使用现阶段工程中使用的渐晕补偿算法对该显示屏进行渐晕补偿,使用光谱色度计用同样的测量方法进行测量,得到修正后的 10×10 亮度矩阵 N_{xy} ($x, y = 0 \sim 9$)。测量数据如表 3 所示。

表 3 渐晕补偿后亮度值

Tab.3 Brightness value after vignetting compensation

cd/m ²							
N_{xy}	亮度	N_{xy}	亮度	N_{xy}	亮度	N_{xy}	亮度
N_{00}	347	N_{25}	348	N_{50}	347	N_{75}	349
N_{01}	350	N_{26}	350	N_{51}	347	N_{76}	350
N_{02}	348	N_{27}	350	N_{52}	350	N_{77}	349
N_{03}	350	N_{28}	347	N_{53}	349	N_{78}	347
N_{04}	351	N_{29}	350	N_{54}	350	N_{79}	350
N_{05}	347	N_{30}	349	N_{55}	347	N_{80}	349
N_{06}	350	N_{31}	347	N_{56}	349	N_{81}	347
N_{07}	350	N_{32}	348	N_{57}	347	N_{82}	349
N_{08}	349	N_{33}	350	N_{58}	350	N_{83}	350
N_{09}	348	N_{34}	351	N_{59}	349	N_{84}	349
N_{10}	350	N_{35}	349	N_{60}	349	N_{85}	350
N_{11}	348	N_{36}	351	N_{61}	348	N_{86}	348
N_{12}	350	N_{37}	349	N_{62}	347	N_{87}	350
N_{13}	348	N_{38}	350	N_{63}	348	N_{88}	347
N_{14}	349	N_{39}	348	N_{64}	351	N_{89}	350
N_{15}	350	N_{40}	349	N_{65}	349	N_{90}	349
N_{16}	348	N_{41}	351	N_{66}	348	N_{91}	350
N_{17}	349	N_{42}	349	N_{67}	351	N_{92}	347
N_{18}	349	N_{43}	347	N_{68}	348	N_{93}	351
N_{19}	348	N_{44}	350	N_{69}	350	N_{94}	350
N_{20}	350	N_{45}	351	N_{70}	347	N_{95}	348
N_{21}	349	N_{46}	351	N_{71}	347	N_{96}	349
N_{22}	350	N_{47}	350	N_{72}	351	N_{97}	348
N_{23}	347	N_{48}	348	N_{73}	350	N_{98}	348
N_{24}	351	N_{49}	347	N_{74}	348	N_{99}	351

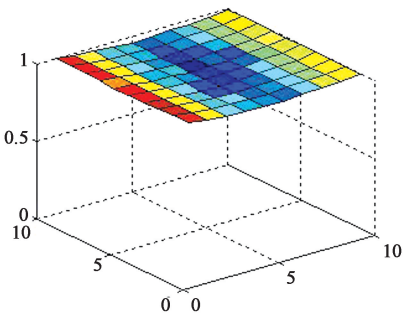


图 9 补偿后亮度分布

Fig.9 Brightness distribution after compensation

亮度分布如图 9 所示。

计算 N_{xy} 各元素的最大亮度差异：

$$\frac{N_{xy(\max)} - N_{xy(\min)}}{N_{xy(\min)}} = 1.15\% . \tag{9}$$

通过对比实验可以看出,经现阶段工程中使用的渐晕补偿方法补偿后的显示屏的最大亮度差异为 1.15%,本文算法可以将显示屏的最大亮度差异降低至 0.86%,较现有方法而言有较大进步。而且经过大量不同的显示屏验证证明本文的算法具有高准确性和普适性,对多块不同的显示屏的渐晕补偿效果较好。

5 结 论

本文从降低 LED 发光像素自身的亮度离散特性角度出发,提出了一种基于统计学原理的相机渐晕补偿算法。在高斯滤波消除高频混叠噪声的基础上,利用数据迭代的方法得到光滑的相机渐晕曲面,求逆得到相机渐晕修正系数,从而对 LED 显示屏进行渐晕补偿。实验结果表明,通过该方法修正后的显示屏,最大亮度差异由 9%降低至 0.86%,证明了该方法的有效性。而且在实际工程应用中,该方法只需用相机对 LED 显示屏箱体进行亮度采集,操作简单,可实施性高。此外,由于本文的算法是对针对相机提出的补偿算法,故而该方法适应于任何平板显示产品,尤其适用于高密度、小间距的显示产品。

参 考 文 献:

[1] 关积珍,陆家和.LED 显示屏的技术及其市场和产业发展[J].激光与红外,2003,33(6):466-470.
GUAN J Z, LU J H. The technology, market and industrial development of LED display panel [J]. Laser & Infra-

- red, 2003, 33(6): 466-470. (in Chinese)
- [2] 韩周,袁胜春,杨城.LED显示屏逐点校正精度探讨[J].电子科学技术,2014,1(3):381-384.
HAN Z, YUAN S C, YANG C. The discussion of precision LED display pixel calibration [J]. *Electronic Science & Technology*, 2014, 1(3): 381-384. (in Chinese)
- [3] 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 Z Q, WANG R G, ZHENG X F, et al. Color gamut correction of LED displays [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1): 92-98. (in Chinese)
- [4] 李晶,赵建科,昌明,等.复合面阵CCD摄影相机的实验室辐射定标[J].光学精密工程,2017,25(1):73-83.
LI J, ZHAO J K, CHANG M, et al. Radiometric calibration of photographic camera with a composite plane array CCD in laboratory[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(1): 73-83. (in Chinese)
- [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(03):575-582.
ZHAO Z Q, WANG R G, ZHENG X F, et al. Measuring the chromaticity of LED display screen with color CCD camera [J]. *Optical Precision Engineering*, 2013, 21(03): 575-582. (in Chinese)
- [6] 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)
- [7] 田志辉,苗静,毛新越,等.LED显示屏相机采集的渐晕校正[J].发光学报,2016,37(8):1008-1013.
TIAN Z H, MIAO J, MAO X Y, et al. Calibration of camera vignetting surface on LED display screen [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2016, 37(8): 1008-1013. (in Chinese)
- [8] 张鑫,王瑞光,陈宇,等.LED显示屏相机采集影像渐晕的修正[J].光学精密工程,2010,18(11):2332-2338.
ZHANG X, WANG R G, CHEN Y, et al. Calibration of image vignetting acquired by camera on LED display panel [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(11): 2332-2338. (in Chinese)
- [9] 何凯,赵红颖,刘晶晶.航空遥感影像渐晕复原方法[J].吉林大学学报:工学版,2007,37(6):1447-1450.
HE K, ZHAO H Y, LIU J J. Vignetting correction method for aviatric remote sensing image [J]. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2007, 37(6): 1447-1450.
- [10] PICCININI F, LUCARELLI E, GHERARDI A, et al. Multi-image based method to correct vignetting effect in light microscopy images [J]. *Journal of Microscopy*, 2012, 248(1): 6-22.
- [11] 白燕燕.LED显示屏亮度均匀性评价方法的研究[D].西安:西安电子科技大学,2013.
BAI Y Y. Research on the evaluation method of luminance uniformity of LED display [D]. Xi'an: Xidian University, 2013. (in Chinese)
- [12] 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)
- [13] 王宇庆,刘维亚,丁铁夫,等.基于CCD图像的LED显示屏亮度均匀性评估方法[J].液晶与显示,2014,29(1):137-145.
WANG Y Q, LIU W Y, DING T F, et al. Assessment method for luminance uniformity of LED display based on CCD image [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(1): 137-145. (in Chinese)
- [14] 龙兴明.InGaN/GaN发光二极管的数学物理模型和特性及最优驱动电流研究[D].重庆:重庆大学,2012.
LONG X M. Mathematical and physical models and characteristics of InGaN/GaN light-emitting diode and its optimal drive current [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012. (in Chinese)
- [15] 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)
- [16] 吴步龙.环境条件及封装工艺对大功率LED模块的可靠性与一致性的影响研究[D].武汉:华中科技大学,2012.
WU B L. Effect of environmental conditions and packaging process on reliability and uniformity of High power

- LED [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- [17] 罗明浩,肖龙,俞理云,等.蓝光 LED 芯片波长对 COB 光源颜色一致性的影响[J].半导体技术,2018,43(11): 823-827.
- LUO M H, XIAO L, YU L Y, *et al.* Influence of the wavelength of blue LED chip on the color consistency of COB [J]. *Semiconductor Technology*, 2018, 43(11): 823-827. (in Chinese)
- [18] 柴储芬,李小红.LED 封装趋势及面临的挑战[C]//第十二届全国 MOCVD 学术会议论文集.厦门:中国有色金属学会,2012:1.
- CHAI C F, LI X H. Trends and challenges of LED packaging [C]//*Proceedings of Papers of the 12th National MOCVD Academic Conference*. Xiamen: China Nonferrous Metals Society: 2012: 1. (in Chinese)
- [19] FORBES G W. Optical system assessment for design: numerical ray tracing in the Gaussian pupil: erratum [J]. *Journal of the Optical Society of America A*, 1989, 6(8): 1123.
- [20] 李炜,黄心汉,王敏,等.基于二维高斯曲面拟合的图像灰度补偿算法[J].华中科技大学学报:自然科学版,2004,32(2):43-45.
- LI W, HUANG X H, WANG M, *et al.* Image gray compensation algorithm based on two-dimensional Gauss surface fitting [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology: Nature Science Edition*, 2004, 32(2): 43-45. (in Chinese)

作者简介:



王司潮(1995—),女,河北保定人,硕士研究生,2017年于吉林大学获得学士学位,主要从事LED显示技术的研究。E-mail: jlu_wangsichao@outlook.com



郑喜凤(1965—),女,黑龙江庆安人,研究员,主要从事信号采集处理,信息显示,图像处理等方面的工作。E-mail: zhengxf@ccxida.com