

文章编号: 1000-7032(2016)08-1008-06

LED 显示屏相机采集的渐晕校正

田志辉^{1 2*}, 苗 静², 毛新越^{1 2}, 程宏斌^{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;

2. 长春希达电子有限公司, 吉林 长春 130103)

摘要: 为了克服采集相机渐晕在 LED 显示屏逐点一致化校正过程中产生的亮度不均匀缺陷, 提出了一种基于 LED 显示屏本身和若干屏幕离散位置亮度测量的采集相机渐晕校正方法。首先分析了相机对 LED 显示屏进行数据成像采集过程及成像特征, 在此基础上, 提出了采集相机渐晕的标定方法, 得到了代表相机渐晕的拟合曲面, 从而计算出采集相机上每一像素点的渐晕修正系数。利用上述方法对 LED 显示屏进行了单箱亮度校正实验。实验结果表明: 单箱校正的显示均匀性从渐晕修正前的 6.69% 缩小到修正后的 1.49%。经过对相机影像渐晕修正以后, 可以完全消除修正前的亮度曲面分布, 从而克服了修正前 LED 显示屏中心暗、四周亮的缺陷, 达到了理想的多屏拼接校正效果。

关 键 词: LED 显示屏; 渐晕修正; 图像均匀度; 曲面拟合

中图分类号: TN27

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20163708.1008

Calibration of Camera Vignetting surface on LED Display screen

TIAN Zhi-hui^{1 2*}, MIAO Jing², MAO Xin-yue^{1 2}, CHENG Hong-bin^{1 2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Changchun Cedar Electronics Technology Co., Ltd., Changchun 130103, China)

* Corresponding Author, E-mail: tian-zhi-hui@163.com

Abstract: In order to overcome the non-uniformity defects of image vignetting captured by camera in dot-to-dot correction on LED display screen, a vignetting correction method based on LED display screen and discrete position luminance measurement was put forward. First, the process of camera image acquisition and imaging features of LED display were analyzed. From this, a correction method of camera vignetting was proposed, a fitting surface of camera vignetting was obtained. Then, a vignetting correction factor matrix corresponding pixels on camera sensor was calculated. Using the above method, an experiment of single-box luminance correction of LED display screen was conducted. Experimental results indicate that the uniformity deviation of LED display screen can be narrowed from 6.69% to 1.49% after image vignetting factor calibration. After correction of camera image vignetting, non-uniformity surface distribution can be completely eliminated. Therefore, the “center-dark, surround-bright” defect on LED display screen is overcome, and the desired correction effect for multi-screens stitching display is achieved.

Key words: LED display screen; vignetting calibration; image uniformity; surface fitting

收稿日期: 2016-04-22; 修订日期: 2016-06-20

基金项目: 国家科技支撑支持计划(2009BAE73B01) 资助项目

1 引言

LED 显示屏作为多媒体设施的显示终端,被普遍用于高质量的大屏幕图像显示。其中,显示均匀性是衡量 LED 显示屏显示质量好坏的一个重要指标^[1-6]。LED 发光芯片亮度、色度等特性的离散性,决定了 LED 显示屏在显示均匀方面具有先天的缺陷,主要表现为“麻点”和“马赛克”现象。

面阵相机是一种基于 CCD/CMOS 图像传感器的图像采集设备,与人眼构造很相似。现在越来越多地被用在 LED 显示屏的测量领域中,它能快速地测量出 LED 显示屏每个灯点的亮度、空间位置等信息^[7-10]。直接利用面阵相机对显示屏进行一致化校正,虽然可以消除“麻点”和“马赛克”等离散缺陷,但在显示均匀性方面都表现出一种“中心暗、四周亮”的缺陷,差异有时甚至比校正前还要大,这种差异是相机成像时发生渐晕造成的^[11-13]。随着显示密度的不断提高,通常需要对屏幕多区域分别校正后拼接,因此必须要对相机渐晕进行校正。文献[14]和[15]给出了两种渐晕修正方法,但前者需要复杂的标准亮度均匀白场积分装置,不但结构复杂,而且无法实现与显示屏校正采集完全相同的位置对应关系;后者通过图像滤波,只能消除亮度的高频差异,中、低频部分无法去除^[16]。而经过分析可知,渐晕主要表现在图像的低频部分。

本文介绍了一种利用 LED 显示屏本身和亮度计测量的采集相机渐晕修正方法。并在 LED 显示屏逐点一致化校正技术中得以验证,取得了理想的效果。

2 渐晕修正

2.1 LED 显示屏校正渐晕理论分析

光学系统限制轴上物点成像光束宽度、并有选择轴外物点成像光束位置作用的光阑叫做孔径光阑,孔径光阑经其前面光学系统所成的像叫做入瞳。充满入瞳的轴上光束全部能通过系统进行成像,但是部分轴外光束会因为光阑的遮挡而无法通过光学系统成像,会使像面边缘光照度有所下降,这种轴外光束被部分拦掉的现象就称为轴外点的渐晕。渐晕会导致图像的边缘亮度下降。

图1所示为LED显示屏的相机采集示意图。采集时,相机与LED显示屏中心对准,LED显示屏上某像素一点与采集相机入瞳中心的夹角(物方视角)为 ω 。按照几何光学理论,理想光学系统对标准目标(亮度均匀)成像时,系统的渐晕可近似表示为:

$$\frac{E'_\omega}{E'_0} = \frac{S_\omega}{S_0} \cos^4 \omega', \quad (1)$$

其中 E'_0 和 E'_ω 分别表示像面中心(0° 物方视角)和 ω 物方视角对应的通光光能,在这里对应LED显示屏逐点采集所得到的各像素相对亮度; S_0 和 S_ω 分别表示 0° 物方视角和 ω 物方视角对应的光阑面积; ω' 表示像方视角。

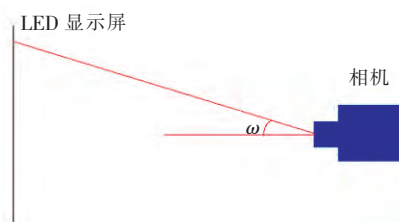


图1 相机采集系统原理图

Fig. 1 Block diagram of image acquisition system

在LED显示屏一致化校正中,不考虑噪声影响时,采集相机像面上得到的像素相对亮度比 C 近似表示为:

$$C = \frac{S_\omega}{S_0} \cos^4 \omega' \frac{L_{(\omega \omega)}}{L_{(0 \rho)}}, \quad (2)$$

其中 $L_{(0 \rho)}$ 表示采集相机 0° 视角对应的屏幕像素在垂直屏幕方向的光亮度, $L_{(\omega \omega)}$ 表示采集相机 ω 物方视角对应的屏幕像素在与屏幕夹角为 ω 方向上的光亮度。

在LED显示屏逐点一致化校正中,希望得到的是屏幕上各像素垂直于屏幕方向亮度 $L_{(\omega \rho)}$ 的相对比值 $\frac{L_{(\omega \rho)}}{L_{(0 \rho)}}$,所以上式进一步表达为:

$$C = \frac{S_\omega}{S_0} \cos^4 \omega' \frac{L_{(\omega \omega)} \times \frac{L_{(\omega \rho)}}{L_{(0 \rho)}}}{L_{(0 \rho)}}, \quad (3)$$

$$\text{即: } C = \frac{S_\omega}{S_0} \cos^4 \omega' \frac{L_{(\omega \rho)} f(\omega)}{L_{(0 \rho)}}, \quad (4)$$

其中 $f(\omega) = \frac{L_{(\omega \rho)}}{L_{(0 \rho)}}$ 表示单个LED像素点发光亮度随角度的变化情况。通常应用于LED显示屏的发光像素单元具有很好的角度一致性, $f(\omega)$ 近似呈高斯函数缓慢变化。由式(4)可见,影响采

集相机渐晕的变量均以低频方式出现,可以利用低阶多项式对其进行拟合。

2.2 相机渐晕标定

相机渐晕标定的基本思路是:认为经过逐点一致化校正但未经渐晕修正的 LED 显示屏已经修正了各发光芯片亮度、色度的离散性(“麻点”和“马赛克”现象),此时,屏幕上的空间中、高频不均匀现象已经得到了修正,残留在屏幕上的只有由于相机的渐晕所引入的新的低频不均匀现象。接下来,利用亮度计测量屏幕上少量离散点的亮度值,经过低阶曲面拟合,即可得到采集相机所引入的渐晕情况。

主要步骤为:

(1) 调节采集相机与 LED 显示屏的相对位置,使相机的中心视场与显示屏的几何中心对准;

(2) 采集显示屏上各像素点的亮度信息,把各像素值的位置信息和亮度信息表征为一幅新的图像,作为逐点一致化校正的依据,计算得到校正系数矩阵,反馈到控制系统,得到消除“麻点”和“马赛克”缺陷的显示图像;

(3) 在经过第一次校正的显示屏上,选取若干离散位置的区域,用亮度计测量其正出射方向的亮度值,这些数值经过“取倒数”、归一化处理,曲面拟合得到相机渐晕分布。考虑到光学镜头的像差特性,这里可以采用切比雪夫数列作为离散位置的选取依据以降低采集点的数量^[17]。

2.3 渐晕校正

渐晕校正的基本思路是:消除标定过程得到的渐晕曲面误差,并将结果作用于 LED 像素点上,结合逐点采集得到的离散分布矩阵,实现最终的一致化校正。

主要步骤为:

将通过渐晕标定得到的渐晕分布曲面作为修正曲面;修正曲面矩阵与通过相机直接采集、未考虑渐晕影响计算出的校正系数矩阵做矩阵元素乘法,得到综合发光芯片离散性与采集相机渐晕的最终校正系数矩阵,利用最终校正系数矩阵即可达到屏幕的最终校正。

3 实验验证

3.1 单箱校正验证实验

实验选取 256×256 个像素点的高密度集成三合一式 LED 显示屏箱体,像素点间距为 1.875

mm。首先进行亮度差异化校正,消除点和点之间的亮度差异。这时按照图 2 中所示的区域划分依次测量每块区域的白场亮度值。测量仪器使用美国 Photo Research 公司的彩色亮度计 pr655,该亮度计经过鉴定,亮度误差 $<1\%$ 。测量方法按照行业标准 SJ/T 11281-2007 中 4.21 规定的方法进行。这时每个区域的亮度差异就是相机渐晕所带来的。

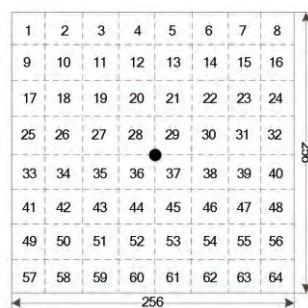


图 2 测量区域划分图

Fig. 2 Measurement area division map

测量数据记录如表 1 所示。

表 1 各区域亮度数据

Tab. 1 Luminance data of each area cd/m^2

标号	亮度	标号	亮度	标号	亮度	标号	亮度
1	552	17	544	33	541	49	550
2	531	18	530	34	534	50	538
3	516	19	515	35	514	51	516
4	495	20	499	36	500	52	503
5	503	21	500	37	501	53	504
6	513	22	511	38	515	54	514
7	522	23	523	39	526	55	529
8	555	24	545	40	545	56	548
9	549	25	540	41	545	57	559
10	526	26	527	42	528	58	529
11	514	27	513	43	517	59	516
12	500	28	501	44	502	60	503
13	501	29	504	45	500	61	498
14	514	30	511	46	511	62	512
15	524	31	520	47	522	63	525
16	550	32	552	48	546	64	557

亮度分布如图 3 所示。由于相机渐晕的影响导致相机采集的数据边缘较中心要低,因此在计算每个 LED 点的硬件校正系数时会导致四周系数高、中间系数低,下载硬件校正系数后造成屏幕

四周亮、中间暗。可以看到,用亮度计测量的各区域亮度存在大约 10% 的最大亮度差异,因为亮度是渐变的,从中间区域向四周逐渐增大,因此人眼观看不到阶跃的亮度跳度变化。但是当多个箱体拼接大面积显示屏时,就会发现各个箱体之间的亮度不连续性,影响显示效果。

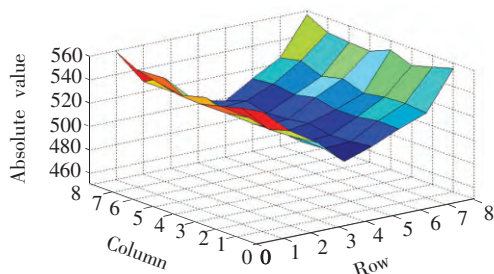


图3 曲面修正前的区域亮度分布

Fig. 3 Luminance distribution of each area before surface modification

3.2 渐晕校正及数据分析

将测量数据经过归一化处理,得到一个 8×8 的二维矩阵 M_{ij} 。通过这 64 个样本点使用最小二乘曲面拟合方法^[18],拟合得到 256×256 个点的渐晕曲面 $F(x, y)$,并且求得此时曲面上的最小值点 $F_{\min}$,这时就可以根据坐标点 (x, y) 及曲面函数 $F(x, y)$ 求得各个像素点的修正系数 $G(x, y)$:

$$G(x, y) = \frac{F_{\min}}{F(x, y)}, \quad (5)$$

其中: (x, y) 表示各像素点横纵坐标。

该修正系数 $G(x, y)$ 和之前未经渐晕修正的校正系数相乘得到最终校正系数矩阵 $C[i, j]$ ($i, j = 0 \sim 255$),得到最终的显示屏的校正系数。

使用该方法修正相机渐晕后再次下载亮度系数 $C[i, j]$,并重新测量以上 8×8 个区域的亮度值,得到的亮度分布图如图 4 所示。

可以看到,对相机渐晕进行修正后,克服了 LED 显示屏四周亮、中心暗的缺点,从而解决了多个箱体之间拼接处的过渡问题,大大提高了显示效果。依据行业标准 SJ/T 11281-2007 中 4.2.7.2

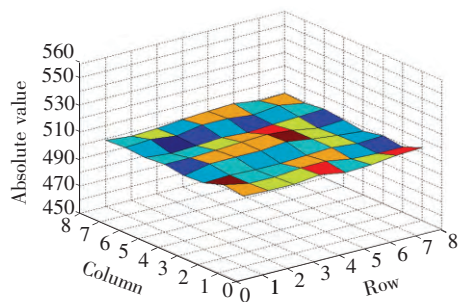


图4 曲面修正后的区域亮度分布

Fig. 4 Luminance distribution of each area after surface modification

模块均匀性的测试方法,对修正前后的显示屏均匀性做出定量的比较。修正前的均匀性为 6.96%,修正后的均匀性为 1.49%。

均匀性 I_j 由以下公式计算:

$$I_j = \frac{|I_i - \bar{I}|_{\max}}{\bar{I}} \times 100\%, \quad (6)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, 64$, $\bar{I}$ 为实测亮度平均值:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^{64} I_i}{64}. \quad (7)$$

4 结 论

从 LED 显示屏采集相机的成像特点出发,提出了一种只利用 LED 显示屏和亮度计的采集相机渐晕校正方法。利用该方法对高密度集成三合一式 LED 显示屏进行了单箱亮度校正的验证实验。实验结果表明:经过对相机影像渐晕修正以后,单箱校正的显示均匀性从修正前的 6.69% 缩小到 1.49%,从而克服了修正前 LED 显示屏中心暗、四周亮的缺陷,证明了该方法的有效性。

由于在 LED 显示屏单箱校正时被校正屏幕和采集相机的位置相对保持不变,因此,在进行大批量校正时,上述方法只需标定一次即可,从而可大幅度提高生产效率。方法的有效性在 LED 显示屏亮度校正中得到了验证,同时,该方法对显示屏的色度校正也同样适用。

参 考 文 献:

- [1] 蔡建奇,杨帆,杜鹃,等. 不同亮度大尺寸显示屏对视觉健康舒适度的影响——以 LED 与 DLP 显示屏比较研究为例[J]. 照明工程学报, 2015, 26(1): 94-98.
CAI J Q, YAN G F, DU P, et al. Effect of visual comfort by large size displays in different luminance-example for comparative research on LED and DLP displays [J]. China Illuminating Eng. J., 2015, 26(1): 94-98. (in Chinese)

- [2] 梁光胜, 秦菁, 陈世宏, 等. 旋转彩色 LED 显示屏设计与实现 [J]. 液晶与显示, 2014, 29(5): 850-855.
LIANG G S, QIN Q, CHEN S H, *et al.*. Design and implementation of colorful rotating LED display [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2014, 29(5): 850-855. (in Chinese)
- [3] 熊智淳, 张哲娟, 茅艳婷, 等. 基于 ITO 薄膜的透明 LED 显示屏的制作 [J]. 液晶与显示, 2013, 28(5): 703-706.
XIONG Z C, ZHANG Z J, MAO Y T, *et al.*. Fabrication of transparent LED display based on ITO thin film [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2013, 28(5): 703-706. (in Chinese)
- [4] 郝亚茹, 邓招奇, 邓春健. LED 显示控制系统移存频率加速方法研究 [J]. 液晶与显示, 2016, 31(5): 470-476.
HAO Y R, DENG Z Q, DENG C J. Increasing shift frequency of LED display control system [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2016, 31(5): 470-476. (in Chinese)
- [5] 严飞, 王瑞光, 邓意成, 等. 发光二极管显示屏分段灰度调制与优选扫描时钟获取 [J]. 光学精密工程, 2013, 21(12): 3248-3254.
YAN F, WANG R G, DENG Y C, *et al.*. Segmented gray scale modulation of LED display and optimal scan clock access [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(12): 3248-3254. (in Chinese)
- [6] 刘金元, 贺书芳, 曹斌. 大尺寸彩色 LED 显示屏视觉舒适性的研究 [J]. 照明工程学报, 2015, 26(1): 104-107.
LIU J Y, HE S F, CAO B. Research on the visual comfort of large-size LED color screen [J]. *China Illuminating Eng. J.*, 2015, 26(1): 104-107. (in Chinese)
- [7] 宋超, 王瑞光, 冯英翹. 基于图像质量评价的显示器色域映射 [J]. 液晶与显示, 2014, 29(6): 1050-1056.
SONG C, WANG R G, FENG Y Q. Display gamut mapping based on image quality assessment [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2014, 29(6): 1050-1056. (in Chinese)
- [8] 郝亚茹, 邓招奇, 邓春健. 基于亮度校正模型的多参量权衡与灰度权值算法研究 [J]. 发光学报, 2016, 37(4): 503-511.
HAO Y R, DENG Z Q, CHENG C J. Research on multi parameters and gray weight algorithm based on the brightness correction model [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2016, 37(4): 503-511. (in Chinese)
- [9] 周筱媛, 袁胜春, 李慧, 等. 一种消除 LED 显示屏动态假轮廓的脉宽调制法 [J]. 光子学报, 2015, 44(2): 223002-223007.
ZHOU X Y, YUAN S C, LI H, *et al.*. A novel of pulse width modulation for eliminating the dynamic false contours in LED display [J]. *Acta Photon. Sinica*, 2015, 44(2): 223002-223007. (in Chinese)
- [10] 邓宏贵, 李志坚, 郭晟伟, 等. 基于 LED 电脉冲响应的 LED 显示屏像素灰度校正方法 [J]. 发光学报, 2010, 31(1): 145-149.
DENG H G, LI Z J, GUO M W, *et al.*. Method of gray value correction in LED display screen based on LED electro luminescence response [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2010, 31(1): 145-149. (in Chinese)
- [11] 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]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(5): 1318-1325. (in Chinese)
- [12] 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 Z Q, WANG R G, ZHENG X F, *et al.*. Measurement chroma of LED displays with color CCD camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(3): 575-582. (in Chinese)
- [13] 陶明慧. 基于反射镜拼接的图像渐晕处理技术研究 [D]. 北京: 中国科学院, 2012.
TAO M H. *Research on The Vignetting Correction Method of Mosaic Images Based on Reflector* [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2012. (in Chinese)
- [14] 陈民豪. 面阵相机在 LED 显示屏测量中的应用研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
CHEN M H. *Research on Application Area Array Camera in The Measurement of LED Display* [D]. Xi'an: Xidian University, 2010. (in Chinese)
- [15] 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]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(11): 2332-2338. (in Chinese)

- [16] 郁道银. 工程光学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
YU D Y. *Engineering Optics* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011. (in Chinese)
- [17] FORBES G W. Optical system assessment for design: numerical ray tracing in the Gaussian pupil [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1988, 5(11): 1943-1956.
- [18] 李二涛, 张国焯, 曾虹. 基于最小二乘的曲面拟合算法研究 [J]. 杭州电子科技大学学报, 2009, 29(2): 48-51.
LI E T, ZHANG G X, ZENG H. Research on surface fitting algorithm based on Least Square [J]. *J. Hangzhou Dianzi Univ.*, 2009, 29(2): 48-51. (in Chinese)



田志辉(1981-) ,男,吉林长春人,
博士,副研究员,2009 年于中国科
学院长春光学精密机械与物理研究
所获得博士学位,主要从事发光学
应用方面的研究。

E-mail: tian-zhi-hui@163.com