

文章编号 1004-924X(2013)05-1318-08

# 发光二极管显示屏 CCD 图像的修正

丁柏秀<sup>1,2,3\*</sup>, 郑喜凤<sup>1</sup>, 陈 宇<sup>1</sup>, 苗 静<sup>1</sup>, 桂劲征<sup>1,2</sup>

- (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 100039;  
3. 长春工程学院, 吉林 长春 130012)

**摘要:**提出了一种有效的图像修正方法,用于修正用彩色 CCD 相机采集的 LED 显示屏图像。首先,利用均匀标准白板逐像素点法对制造工艺使彩色 CCD 相机产生的曲面进行渐晕修正;然后,利用 LED 管芯配光曲线的分布规律修正由于相机采集位置的影响产生的偏差,并给出了修正原理和修正的过程;最后,给出了实验数据及结论。修正后,红、绿、蓝基色的均匀性均方差分别从 4.0%减少到 1.48%,从 3.1%减少到 1.36%,和从 3.5%减少到 1.39%。利用该方法修正过的 LED 图像既消除了相机本身的曲面产生的渐晕,又消除了由于相机采集角度的影响产生的偏差,是一种非常有效的 LED 显示屏 CCD 图像的修正方法,实验结果基本符合修正的要求。

**关键词:**发光二极管显示屏;渐晕修正;彩色 CCD 相机;配光曲线

**中图分类号:** TN312.8; TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132105.1318

## Revision of LED display images acquired by CCD camera

DING Bai-xiu<sup>1,2,3\*</sup>, ZHENG Xi-feng<sup>1</sup>, CHEN Yu<sup>1</sup>, MIAO Jing<sup>1</sup>, GUI Jin-zheng<sup>1,2</sup>

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*  
2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*  
3. *Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China*)  
\* *Corresponding author, E-mail: dingbaixiu@163.com*

**Abstract:** An efficient revising method was proposed to revise the display images of a Light Emission Diode(LED) captured by a color CCD camera. Firstly, the uniform standard white board was used to revise the vignetting phenomenon caused by a curved surface of color CCD camera in the manufacturing process. Then, on the basis of the distribution regularity of the lighting distribution curve of the LED, the deviation of LED itself caused by the camera position was revised also. The revising theory and revising process were described. Finally, relative data and conclusion were given. It shows that the uniform mean-square deviations of red, green and blue primaries have been decreased from 4.0% to 1.48%, 3.1% to 1.36%, and 3.5% to 1.39%, respectively, after revising. It is shown that this method is an efficient one. It not only eliminates the vignetting phenomenon caused by the curved sur-

收稿日期:2012-10-17;修订日期:2012-12-11.

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(No. 2009BAE73B01)

face of the camera itself, but also removes the deviation caused by the capturing angle of the CCD camera. The experimental results meet the requirements of image revising basically.

**Key words:** Light Emitting Diode(LED) display; vignetting correction; color CCD camera; lighting distribution curve

## 1 引言

近年来,发光二极管(LED)行业发展迅速,LED的显示技术也在不断提高。为了提高显示质量,大多数LED屏都需要进行采集和校正。采集的方法有多种,其中最常用的方法是利用彩色CCD相机直接对LED屏进行采集,但是得到的数据是不准确的。造成数据不准确的原因主要有2个:首先彩色CCD相机本身由于制造工艺的影响,镜片中心和镜片边缘的响应不一致,成像器件各像元响应不一致,固定的图像背景噪声不同,都会产生曲面,即相机产生渐晕现象;其次是由LED管芯本身的特性决定的,LED管芯法线方向的光强最大,偏离法线方向的角度越大光强越小,相机采集时采集位置偏离大多数LED的法线方向,而实际上希望采集到的是所有LED管芯的法线方向的光强,从而产生了偏差。这2个因素都会使相机采集到的数据不准确,需要对图像进行修正。

相机采集的数据不准确会直接影响采集的精度,还会对后来的LED屏幕的校正系数产生严重影响,从而影响了校正后LED显示屏图像的显示质量,所以对彩色CCD相机采集到的LED显示屏图像进行修正势在必行。

目前没有专门描述对CCD采集的LED显示屏图像进行修正方面的文章,可获取的文章主要集中在描述图像渐晕的修正方法:比如何凯等人提出的利用高斯曲线进行拟合和修正方法<sup>[1]</sup>,该方法是根据影像发生渐晕时灰度分布的特点,采用基于最速下降法的高斯曲面拟合方法,先取得图像的灰度变化的大致情况,然后实现数据的修正;何凯等人还提出了一种航空遥感影像的渐晕复原方法<sup>[2]</sup>,该方法利用逐行拟合法进行图像拟合,然后进行图像的修复;李炜等人提出了二维高斯曲面拟合的灰度补偿方法<sup>[3]</sup>,该方法根据图像灰度分布估计出曲面各参数,从而实现图像的灰

度补偿;冯强等人提出线性逼近曲线法,该方法是即时地根据相机的像素位置计算出该点的补偿因子,从而实现渐晕修正<sup>[4]</sup>。专门针对LED显示屏图像的渐晕修正方法非常少,只有张鑫等提出LED显示屏相机采集影像渐晕的修正<sup>[5]</sup>,该方法先进行图像平滑滤波,得到图像的分布曲面,然后用修正曲面和原始亮度进行卷积,得到修正后的曲面,从而实现渐晕修正。本文提出一种LED图像的修正方法。首先针对相机本身的曲面,利用均匀标准白板对相机的每个像素点进行渐晕修正;然后针对LED管芯本身由于相机采集位置的影响产生的偏差现象,利用LED管芯本身的配光曲线特性,把LED数据修正到正常的状态。这种修正方法解决了工程实际问题,可以在工程中大范围使用。该图像修正算法效果非常明显,经过修正后的数据准确,效果理想,证实了该方法的有效性。

## 2 LED显示屏图像的修正

修正分两步进行:首先,针对彩色CCD相机本身的曲面采用标准均匀白板逐点修正法进行修正;其次,针对LED管芯本身由于相机采集位置的影响产生的数据偏差,根据配光曲线的相关特性进行修正。

### 2.1 标准均匀白板逐点修正法

由标准均匀白板的特性可知,如果用理想无曲面的相机采集标准均匀白板,得到的每个像素点的同一基色值应该是相同的<sup>[6]</sup>。由于相机存在曲面,因此得到的每个像素点的同一基色值不同。这里采用标准均匀白板逐点修正法进行相机曲面的修正。一般评估和校正时,彩色CCD相机采集LED屏幕时都分红绿蓝三种基色采集,在同一基色下CCD相机采集到的等照度标准白板图像中心位置为准确的值 $X$ ,其他像素点的值都要小于这个值,假设 $X_{ij}$ 为彩色CCD相机第 $i$ 行第 $j$ 列个像素点的值,这里为每个像素点设定系数,使得每个点的值乘上该点的系数后都和中心点的值相

同,从而得到第  $i$  行第  $j$  列像素点的系数即  $C_{ij} = \frac{X}{X_{ij}}$ ,若相机的像素点为  $n$  行  $m$  列,则所有像素点的系数组成一个系数表,表的格式如下:

$$\begin{matrix}
 C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1m} \\
 C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2m} \\
 \cdots & \cdots & C_{ij} & \cdots \\
 C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nm}
 \end{matrix}$$

红绿蓝三基色每个基色对应一个系数表,共 3 个系数表,以后每次用该相机采集到 LED 显示屏图像,每个像素点的红绿蓝 3 基色值都要和相应的红绿蓝系数表中对应的系数相乘,即第  $i$  行第  $j$  列个像素点三基色值乘上该点的系数权值  $C_{ij}$ ,由相机本身造成的渐晕即可修正完成。

### 2.2 LED 管芯本身的偏差修正

#### 2.2.1 配光曲线基本原理

LED 显示屏中用的 LED 管芯有红绿蓝 3 种颜色,同一 LED 显示屏用的管芯的形状和特性及安装位置皆相同,但是每个管芯在空间各方向上的发光强度不一样,通过光强采集仪把发光强度在空间的分布状况记录下来,画出配光曲线。配光曲线的表示方式包括:极坐标表示法、二维坐标表示法以及三维立体图形表示法等<sup>[7]</sup>。

取与 LED 垂直的通过管芯中心下垂线的平面为 C0-180 平面,与 C0-180 平面垂直且通过 LED 中心的下垂线的平面为 C90-270 平面<sup>[7]</sup>。以此类推,我们可以得到所有通过 LED 中心下垂线的平面,例如 C20-200, C30-210, C60-240<sup>[8]</sup> 等等,如图 1 所示。平面分得越多,偏差修正越准确。由于 LED 管芯在封装的时候采用标准化机器统一封装,所以封装后的管芯在每个模组上的光强平面分布规律相同,而且所有管芯的 C0-C180 平面重合。

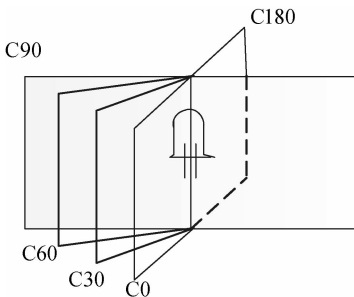


图 1 LED 管芯的各发光平面  
Fig. 1 Light planes of the LED

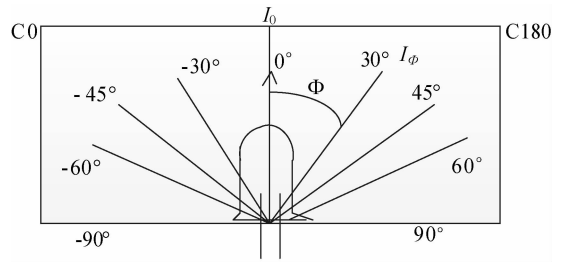


图 2 LED C0-180 平面光强分布图  
Fig. 2 Surface of intensity distribution in C0-180 of LED

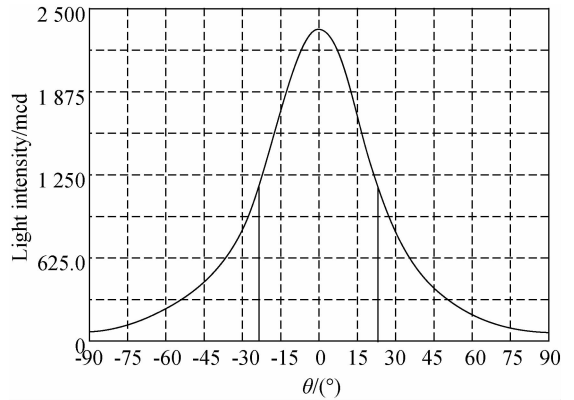


图 3 LED 光强二维坐标分布图  
Fig. 3 Light intensity distribution in polar coordinates of LED

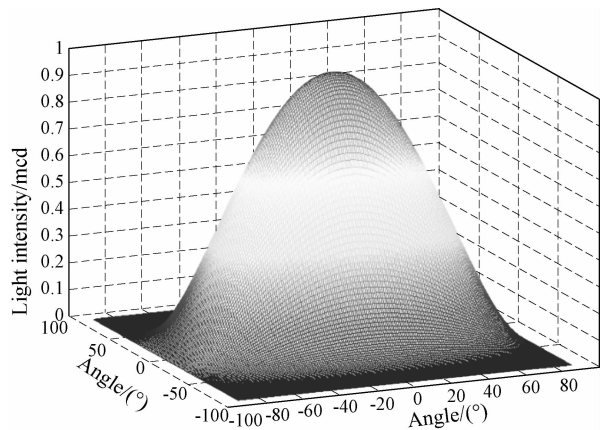


图 4 LED 光强三维立体图  
Fig. 4 Three-dimensional light intensity distribution of LED

图 2 是 C0- C180 平面的光强分布图,其它平面规律大致相同,中轴线即法线的光强最大,与法线夹角越大的方向,发出的光强越小,当相机采集 LED 屏幕图像时,相机分别处于每个 LED 管芯的不同角度,所以得到的光强值不同,但是同一行

上的 LED 管芯与相机的连线都在同一个配光平面上,只不过处于同一配光平面的不同角度,所以在偏差修正时是逐行进行的。图 3 为某品牌 LED 管芯 C0-180 平面的光强数据二维坐标图,图 4 是某品牌 LED 管芯的三维立体图(彩图见期刊电子版)。

如图 2 所示,每个配光平面上法线方向的光强最大,偏离法线方向角度越大光强越小。用专用的光强采集仪器可以测出每个平面上的每个角度时的光强<sup>[6]</sup>。角度分得越细,修正越精确。但是这种方法太耗费人力,还要看采集仪器的精度。可以利用其他方法得到所有数据,例如用插值法,蒙特卡罗方法等等。以牛顿插值法为例说明求解过程:每隔几度测量该角度时的光强值,例如:每隔 20°测量该角度时的光强,可测出 19 个,其余的角度值用牛顿差值公式即可求出,如式(5):

$$I_n(\Phi) = I_0 + \frac{\Delta I_0}{h}(\Phi - \Phi_0) + \frac{(\Delta I_0)^2}{2! \times h^2}(\Phi - \Phi_0)(\Phi - \Phi_1) + \dots + \frac{(\Delta I_0)^n}{n! \times h^n}(\Phi - \Phi_0)(\Phi - \Phi_1)\dots(\Phi - \Phi_{n-1}). \quad (5)$$

其中: $n$  为 19, $I_0$  为角度为  $-90^\circ$  时的光强值, $I_1$  为角度为  $-80^\circ$  时的光强值, $I_2$  为角度为  $-70^\circ$  时的光强值,以此类推, $I_{n-1}$  为角度为  $90^\circ$  时的光强值。步长  $h$  为 10, $\Delta I_0$  为  $I_1 - I_0$ 。要想求出任意角度  $\Phi_x$  时的光强值  $I_x$ ,将角度  $\Phi_x$  带入公式即可求出。这样,任意角度时的光强值都可以通过公式求出。表 1 列举了利用仪器 LED620 实测绿色 LED 管芯的 C0-180 的光强值与利用牛顿差值法计算的 C0-180 光强的值的对比情况,可以看到误差不超过 2%,可以使用。

受相机采集位置的影响,如果相机处于非法线的方向,则采集到的光强值就小于法线方向的光强值,而实际上希望采集到的是法线方向的光强值,所以,采集到的 LED 管芯的光强产生了偏差现象。偏差修正的主要任务是将偏离法线方向采集到的光强值还原到法线方向光强值。将偏离法线方向的光强  $I_\Phi$  乘以一个系数  $C_\Phi$ ,使其修正回法线方向光强值  $I_0$ ,由于  $I_0$  和  $I_\Phi$  都可测出或者算出,则修正系数  $C_\Phi$  可通过式(6) 求出:

$$C_\Phi = \frac{I_0}{I_\Phi}. \quad (6)$$

表 1 实测光强与计算光强对比

Tab.1 Comparison of measured luminous intensity and calculated luminous intensity

角度/(°)	实测光强值 /mcd	计算光强值 /mcd	误差/(%)
-85	84.46	85.83	1.622 07
-75	122	120.32	1.377 049
-65	196.2	194.63	0.800 204
-55	301.7	298.82	0.954 591
-45	449	450.15	0.256 125
-35	657.3	661.86	0.693 747
-25	1065	1076.82	1.109 859
-15	1700	1726.32	1.548 235
-5	2268	2301.95	1.496 914
5	2278	2291.26	0.582 09
15	1724	1721.65	0.136 311
25	1082	1076.44	0.513 863
35	647.4	650.2	0.432 499
45	410.2	415.36	1.257 923
55	260.1	262.7	0.999 616
65	157.8	159.33	0.969 582
75	103.4	105.36	1.895 551
85	85.15	86.01	1.009 982

该平面上任意角度时的系数都可以求出,其他平面道理相同,如果 LED 是完全中轴对称的,则测量任一平面即可,否则,要测量所有用到的平面<sup>[9-10]</sup>。本文假设用到的 LED 不一定是中轴对称的,则每个平面上每个角度的修正系数值均需求出,建立修正系数表,留作后用。修正过程中如果已知  $I_\Phi$  和 LED 所处的配光平面和在该平面偏离法线的角度,则可以查出该平面上该角度时的修正系数,再通过式(7)将法线方向的光强值  $I_0$  求出。

$$I_0 = I_\Phi \times C_\Phi. \quad (7)$$

用彩色 CCD 相机采集 LED 显示屏图像时得到的是显示屏中每个 LED 点的三刺激值,也就是 RGB 值,RGB 分布和光强分布的变化规律相同,

由于每个 LED 点由多个 CCD 像素点组成,标准均匀白板修正后的每个 LED 点对应的所有像素点求和,代表该像素点的三基色值,有红绿蓝 3 个值  $R_\phi, G_\phi, B_\phi$  (也可以用其他方式表示 LED 点的 RGB 值)。计算出该 LED 所在的配光平面和在该平面上的配光角度后,即可在修正系数表中查找到其修正系数。计算每个 LED 所在的配光平面和在该平面上的配光角度的过程,在修正的基本过程中会给出。每个 LED 点偏差修正后的红基色法线方向值可通过式(8)求出,绿基色法线方向值可通过式(9)求出,蓝基色法线方向值可通过式(10)求出,求出所有 LED 点的修正后的值。LED 管芯本身由于相机采集角度的影响,产生的偏差即可修正完成。

$$R_0 = R_\phi \times C_\phi, \quad (8)$$

$$G_0 = G_\phi \times C_\phi, \quad (9)$$

$$B_0 = B_\phi \times C_\phi. \quad (10)$$

### 2.2.2 LED 管芯偏差修正的基本过程

基于前面介绍的原理,把该种 LED 管芯各个平面各个角度的修正系数全部算出,供修正过程中查表使用。下面介绍如何找到各个 LED 管芯所在的配光平面和在该平面上的偏离法线方向的角度。从而查表找到修正系数,进行修正。采集一幅 LED 显示屏图像并放大其中心位置,每个点代表一个 LED 点,红十字代表 LED 屏幕的中心位置,以绿基色为例,如图 5 所示(彩图见期刊电子版)。

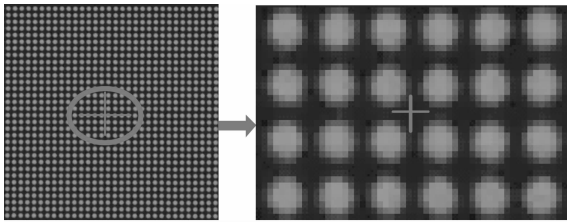


图 5 一幅绿基色 LED 显示屏图像

Fig. 5 One LED display image in green primary

图 6 为采集过程斜视图,为方便只画出右上角一部分 LED。相机中心与要采集 LED 屏幕图像中心重合,相机中心与 LED 屏幕中心点的水平距离为  $m$ ,由于相机采集 LED 屏幕时一般都用偶数行和偶数列的管芯,所以 LED 屏幕的中心是 4 个 LED 管芯的交界处,而非 LED 中心,如果是奇数行或者奇数列 LED 管芯,要视具体情况而定,

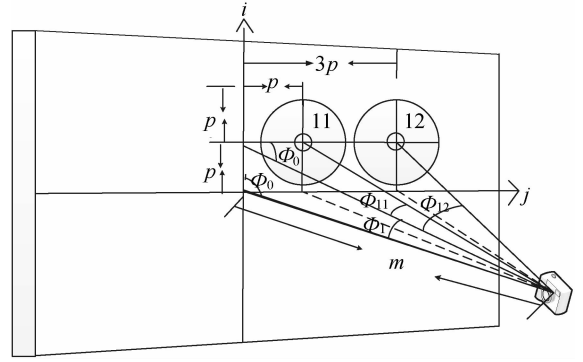


图 6 相机采集 LED 图像斜视图

Fig. 6 Oblique view of LED figure captured by camera

原理与以下相同,可推导出结果。 $i$  和  $j$  分别表示 LED 所在的行号和列号,行号  $i$  由 LED 屏幕中心向上递增,列号  $j$  由 LED 屏幕中心向右递增。LED 管芯型号不同半径也不同, $P$  表示单颗 LED 像素点的半径, $\Phi_0$  为直角,而  $\Phi_1$  正是相机所处的 LED 配光平面与  $C_0$  平面的夹角, $p$  和  $m$  是直角三角形的两条直角边,从图中可以看出相机与同一行的 LED 中心的连线都处于一个平面上,第  $i$  行 LED 所在的配光平面可通过式(11)求出:

$$\Phi_i = \arctan \frac{(2 \times i - 1) \times P}{m}. \quad (11)$$

第一行第一列的 LED 在  $\Phi_1$  平面上与法线方向的角度  $\Phi_{(1,1)}$  可通过式(12)求出:

$$\Phi_{(1,1)} = \arctan \frac{p}{\sqrt{m^2 + p^2}}. \quad (12)$$

第一行第二列的 LED 在  $\Phi_1$  平面上与法线方向的角度可通过式(13)求出:

$$\Phi_{(1,2)} = \arctan \frac{3 \times p}{\sqrt{m^2 + p^2}}. \quad (13)$$

第二行第一列的 LED 在  $\Phi_2$  平面上与法线方向的角度可通过式(14)求出:

$$\Phi_{(2,1)} = \arctan \frac{p}{\sqrt{m^2 + (3 \times p)^2}}. \quad (14)$$

总结可得:第  $i$  行,第  $j$  列个 LED 在  $\Phi_i$  平面上与法线方向的角度  $\Phi_{ij}$  可以通过式(15)求出:

$$\Phi_{(i,j)} = \arctan \frac{(2 \times j - 1) \times p}{\sqrt{m^2 + [(2 \times i - 1) \times p]^2}}. \quad (15)$$

$p$  和  $m$  已知,LED 所在的行数  $i$  和列数  $j$  已知,则所处的配光平面可以求出,在该平面上与法

线偏离的角度也可以求出,每个配光平面上各角度时的修正系数在修正前都已经求出,每个 LED 在平面上角度时的三基色值可通过相机取出,第  $i$  行第  $j$  列个 LED 在法线方向的红基色值可通过式(8)求出,绿基色和蓝基色在法线方向的值可通过式(9)和式(10)求出。所有的 LED 点在法线方向的三基色值同理可以求出。图中只画出一个右上角区域,其他三个区域的道理相同,因此得到了整个 LED 屏幕所有像素点的法线方向的三基色值,重新生成图片,从而实现了所有 LED 管芯的偏差修正。

### 3 算法验证

图 7 为某型号彩色 CCD 相机采集的 LED128×256 屏幕绿基色图片数据(彩图见期刊电子版),红基色和蓝基色大致相同,可以看出图片的中心亮,四周暗,经过本算法的修正,得到图 8,可以看出,明显消除了相机的渐晕和 LED 管芯数据的偏差现象,数据较均匀。

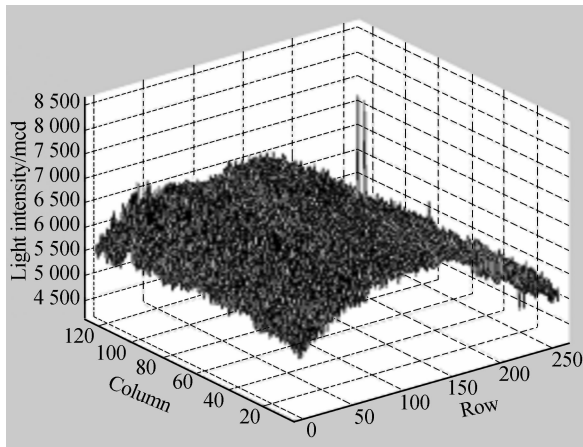


图 7 修正前的 LED 显示屏图像数据

Fig. 7 Data of LED display image before revising

图 7 为验证算法的有效性,这里计算修正前后各像素的均匀性均方差,方法如下:

(1)取修正前后的图片各一张,计算均值  $\bar{X}$ ,  $X_i$  为第  $i$  个像素点的值,  $n$  为像素个数,计算公式如下。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (16)$$

(2)再根据均方差式,计算出两张图片的均方

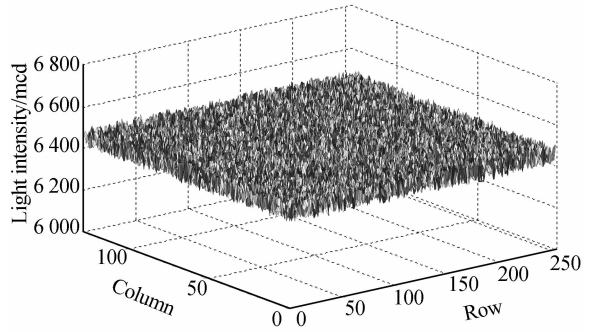


图 8 修正后的 LED 显示屏图像数据

Fig. 8 Data of LED display image after revising

差,均方差越小说明整体一致性越好,偏差修正越明显。

$$\theta = \sum_{i=1}^{n \times m} \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n \times m - 1}} \quad (17)$$

分别对三基色图片进行计算,结果如表 2 所示:

表 2 修正前后显示均匀性的比较

Tab. 2 Comparison of uniformity before and after revising

	红基色	绿基色	蓝基色
修正前	4.0%	3.1%	3.5%
修正后	1.48%	1.36%	1.39%

由此可见,红基色的均方差从 4.0% 减少到 1.48%,绿基色的均方差从 3.1% 减少到 1.36%,蓝基色的均方差从 3.5% 减少到 1.39%,因此,对 LED 显示屏图像进行偏差修正的结果是很明显的,实验证明这种修正方法能有效的消除 LED 显示屏图像的偏差现象,改善图像质量,为后期的 LED 数据的处理打下了良好的基础。

### 4 结论

本文分析了用彩色 CCD 相机采集 LED 屏幕图像后造成偏差的两个原因。其一是受彩色 CCD 相机制造工艺的影响产生的渐晕;另外一个受 LED 管芯本身的配光曲线特性和相机采集位置的影响而产生的偏差。对于第一个原因,可采用标准均匀白板逐像素点进行校正,消除了相

机本身产生的渐晕现象;对于第二个原因,可根据 LED 的配光曲线的公式,找到修正系数进行修正,把偏差的图像还原到正常的状态。实验结果表明,修正后红基色的均方差从 4.0% 减少到

1.48%,绿基色的均方差从 3.1% 减少到 1.36%,蓝基色的均方差从 3.5% 减少到 1.39%,修正的效果明显,符合修正要求,是一种合理有效的 LED 显示屏图像修正方法,可以在工程中使用。

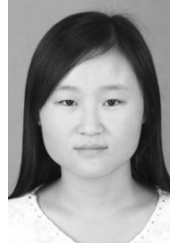
## 参考文献:

- [1] 何凯,唐平凡,王成优. 基于高斯曲面拟合的影像偏差修复方法 [J]. 电子学报,2009,37(1):67-71.  
HE K, TANG P F, WANG C Y. Vignetting correction method of image based on gaussian quadrics fitting [J]. *Acta Eelectronica Sinica*, 2009,37(1): 67-71. (in Chinese)
- [2] 何凯,赵红颖,刘晶晶. 航空遥感影像偏差复原方法 [J]. 吉林大学学报,2007,37(6):1447-1450.  
HE K, ZHAO H Y, LIU J J. Vignetting correction method for aviatic remote sensing image [J]. *Journal of Jilin University*, 2007, 37 (6): 1447-1450. (in Chinese)
- [3] 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.*. A compensation algorithm of image based on gaussian quadrics fitting [J]. *Huazhong Univ. of Sci. & Tech. :Nature Science Edition*, 2004, 32(2), 43-45. (in Chinese)
- [4] 冯强,霍俊彦,杨海涛,等. 一种新颖的图像抗偏差技术 [J]. 电子科技,2007,217(10):67-71.  
FENG Q, HUO J Y, YANG H T, *et al.*. A novel image anti-vignetting method [J]. *Electronic Sci. & Tech.*, 2007,217(10):67-71. (in Chinese)
- [5] 张鑫,王瑞光,陈宇,等. LED 显示屏相机采集影像偏差的修正 [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)
- [6] 金鹏,喻春雨,周奇峰,等. LED 在道路照明中的光效优势 [J]. 光学精密工程,2011,19(1):51-55.  
JIN P, YU CH Y, ZHOU Q F, *et al.*. Superior application of LED to street lighting [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(1): 51-55. (in Chinese)
- [7] 屠大维,吴仍茂,杨恒亮,等. LED 封装光学结构对光强分别的影像 [J]. 光学精密工程,2008,16(5): 2332-2338.  
TU D W, WU R M, YANG H L, *et al.*. Effect of optical structure on output light intensity distribution in LED package [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(5):2332-2338. (in Chinese)
- [8] 常锋,孙志远,王瑞光,等. LED 显示图像的非均匀度校正改进方法 [J]. 光学精密工程,2011,19(4): 929-937.  
CHANG F, SUN ZH Y, WANG R G, *et al.*. Improvement of nonuniformity correction of LED display iamges [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19 (4):929-937. (in Chinese)
- [9] 任豪,王巧彬,李康业,等. LED 光源光强空间分布特性的快速测试 [J]. 光学仪器,2008,30(6):6-9.  
REN HAO, WANG Q B, LING K Y, *et al.*. Fast-measurement on intensity spatial distribution characteristics of LED [J]. *Optical Instrument*, 2008, 30(6):6-9. (in Chinese)
- [10] 罗红娥,陈平,顾金良,等. 线阵 CCD 测量系统的镜头畸变校正新方法 [J]. 半导体光电,2009,30 (3):441-443.  
LUO H E, CHEN P, GU J L, *et al.*. A new method of lens distortion calibration of linear CCD measurement system [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2009,30(3):441-443. (in Chinese)

## 作者简介:



**丁柏秀**(1977—),女,吉林集安人,博士研究生,2001年于吉林建筑工程学院获得学士学位,2004年于长春理工大学获得硕士学位,主要从事于LED显示理论与色域方面的研究。E-mail: dingbaixiu@163.com



**桂劲征**(1987—),女,河北唐山人,硕士研究生,2010年于石家庄经济学院获得学士学位,主要从事信息显示与光电检测方面的研究。E-mail: guijinzheng@126.com

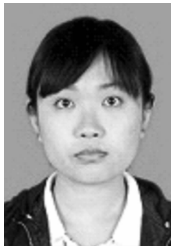


**陈宇**(1968—)男,吉林长春人,博士,研究员,硕士生导师,1990年毕业于吉林大学获学士学位,1996年于中科院研究生院获硕士学位,2004年于中科院长春光机所获博士学位,主要从事信号计算机、数字通信技术方面的研究。E-mail: Cycq\_mail@tom.com

## 导师简介:



**郑喜凤**(1965—),女,黑龙江庆安人,博士,研究员,博士生导师,1988年于吉林大学获得学士学位,1991年于中科院长春物理所获得硕士学位,2000年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事数字信号处理等方面的研究。E-mail: zhengxf@ccxida.com



**苗静**(1983—),女,吉林长春人,硕士,2006年于长春理工大学获得学士学位,2009年于长春理工大学获得硕士学位,2009年至今在长春希达电子技术有限公司从事LED显示屏亮度色度校正及检测评估相关工作。E-mail: jlmiaojing@yahoo.com.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)