

文章编号 1004-924X(2011)04-0929-09

LED 显示图像的非均匀度校正改进方法

常 锋^{1,2}, 孙志远¹, 王瑞光¹, 郑喜凤¹

- (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 研究生院, 北京 100039)

摘要:针对 LED 显示屏在拼接过程中会出现显示图像非均匀度过高的问题, 基于对现有 CCD 校正技术的改进, 提出了非均匀度校正改进方法——畸变校正法。首先, 介绍了现有的基于 CCD 的非均匀度校正技术, 同时, 阐述了技术需要改进的原因。以模块拼接的 LED 显示屏为例, 构建了畸变校正模型。该模型根据畸变模块位置和理想模块位置之间的非线性关系, 修正 LED 显示屏各像素点的灰度值, 实现非均匀度的校正。按照构造的模型, 描述了畸变校正的实现步骤。最后, 在一个分辨率为 128 pixel \times 128 pixel, 模块的像素中心间距为 7.62 mm, 一个模块内只有一个像素点的 LED 显示屏上实现了该方法。实验结果表明, 采用这种改进的方法, 可以将 LED 显示图像的非均匀度由采用基于 CCD 的校正技术校正后的 8.9% 降低到 0.97%。

关键词:LED 显示图像; 非均匀度; 畸变校正; 模块

中图分类号: TN27; TN941.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111904.0929

Improvement of nonuniformity correction of LED display images

CHANG Feng^{1,2}, SUN Zhi-yuan¹, WANG Rui-guang¹, ZHENG Xi-feng¹

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to resolve the problem that LED display panel may appear position distortion and cause the high nonuniformity of LED display images, an improved method called distortion correction was proposed on the basis of an existing correction technique namely the correction technique based on CCD. The correction technique based on CCD was introduced, then the reason that this technique needs to be improved was expounded. By taking a LED display panel which is spliced by modules for the example, the distortion correction model was constructed. This model modifies the gray value of every LED display panel's pixel to reduce the nonuniformity according to the nonlinear relationship between distortion and ideal module position, Furthermore, realization steps were described in accordance with the constructed model. Finally, the improved method was implemented in a LED display panel with a resolution of 128 pixel \times 128 pixel, pixel center spacing in module of 7.62 mm, and the module containing only one pixel. Experimental results show that this method is able to reduce the nonuniformity of

收稿日期: 2010-04-19; 修订日期: 2010-09-09.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2008AA70343208); 吉林省重大科技成果转化项目 (No. 09ZDZH006)

LED display images from 8.9% obtained by the correction technique based on CCD to 0.97%.

Key words: LED display image; non-uniformity; distortion correction; module

1 引言

作为一种多媒体显示终端,发光二极管(Light Emitting Diode, LED)显示屏已经广泛地应用于舞台背景布置,大型体育赛事现场直播,户外广告宣传等场合^[1-2]。LED 显示图像的非均匀度,是衡量 LED 显示屏显示质量高低的一个重要指标,非均匀度过高,会导致 LED 显示图像出现明暗不均的情况,影响显示效果,降低 LED 显示屏的显示质量^[3-5]。

LED 显示屏是由 LED 灯拼接而成的,无论是单管直插的拼接方式,还是模块化的拼接方式,即使使用同一种类型的 LED 灯或者 LED 模块,如果使用的时间和强度不同,其衰减速度都会有所不同,且在使用一段时间后,它们的亮度也会有一定的差别。LED 显示屏的各像素点在表示相同的灰度值时,亮度也是有一定差别的,这也会影响它的显示效果,降低 LED 显示屏的显示质量^[6-9]。因此,针对 LED 灯或者 LED 模块的亮度不一致问题,人们已提出了很多种非均匀度校正技术,但目前使用最普遍的还是基于 CCD (Charge-coupled Device) 的校正技术^[10]。

CCD 是一种半导体器件,用于把光学影像转化为数字信号。CCD 上植入的微小光敏物质称作感光像素,一块 CCD 上包含的感光像素数越多,它提供的画面分辨率也就越高。通常认为 CCD 感光像素的输出响应信号与通过空间积分所接收到的光信号的亮度存在线性关系。CCD 被用来对 LED 显示屏的每个像素进行亮度信息采集。LED 显示屏上的一个像素可以落到多个 CCD 感光像素上,CCD 的分辨率越高,这个像素被 CCD 感光像素划分出的小单元就越多,也就是说 LED 显示屏上的一个像素可以被多个 CCD 感光像素表征。非均匀度校正就是根据 CCD 采集到的亮度信息,通过一系列算法,计算出用于校正的系数矩阵,然后把校正系数和显示图像的灰度信息同时在 LED 显示屏上表现出来,从而实现非均匀度的校正。

采用这种校正技术不仅一次能够测量多个像

素点,而且可以实现现场校正。此外,由于 CCD 可直接将光信号精确地转换为数字信号,从而极大地方便了后期对校正系数的计算,减少了校正时间^[11-12]。

然而,除了 LED 灯或者 LED 模块本身的亮度差异会造成非均匀度过高外,在 LED 显示屏的拼接过程中,LED 灯与 LED 灯之间,或者 LED 模块与 LED 模块之间在水平位置和垂直位置上的不一致,也会造成非均匀度过高。虽然在 LED 显示屏的拼接过程中可以通过物理调整的方法使 LED 模块在水平或者垂直方向上的偏移尽可能地小,但是物理调整的方法只能保证 LED 模块不发生人眼难以忍受的偏移,并不能保证 LED 模块不会发生丝毫偏移。

以由模块拼接而成的 LED 显示屏为例,在拼接的过程中,模块位置在水平或者垂直方向会发生偏移理想位置的情况,而这种现象通过物理调整是无效的(称这种现象为位置畸变)。此时的 LED 显示屏相当于一个畸变的光学系统,经过这个畸变的光学系统后,显示图像会产生失真,而原因就是非均匀度过高。这种由于 LED 显示屏在拼接过程中出现的通过物理调整的方法无法杜绝的位置畸变而造成的非均匀度过高的问题,是现有的基于 CCD 的校正技术无法解决的。为此,本文提出了畸变校正方法,对基于 CCD 的校正技术做了进一步改进。以模块拼接的 LED 显示屏为例,详述了畸变校正模型及其实现步骤。

2 畸变校正模型

畸变校正分为两步进行:第一步是模块位置变换,对 LED 显示屏的模块位置进行坐标的二维几何变换,以确定畸变的模块位置和理想的模块位置之间的非线性关系;第二步是灰度值修正,根据第一步得出的非线性关系,对 LED 显示屏各像素点赋予新的灰度值。因为经过第一步的变换后,需要对各像素点原有的灰度值做修正才能达到非均匀度校正的目的。

2.1 模块位置变换

设 (u, v) 为理想的模块位置, (x, y) 为畸变的

模块位置,两者之间存在一种非线性变换关系 T_a ,即:

$$(x, y) = T_a[(u, v)], \quad (1)$$

上述变换可以用如下多项式来近似:

$$\begin{cases} x = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} a_{ij} u^i v^j \\ y = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} b_{ij} u^i v^j \end{cases}, \quad (2)$$

其中, a_{ij} 和 b_{ij} 是待定系数, p 为多项式次数。

模块位置变换的思想就是通过畸变的模块位置和理想的模块位置之间的对应关系,拟合出上述多项式的系数,得到它们之间的非线性变换关系 T_a ,把这种非线性关系作为修正 LED 显示屏各像素点的灰度值的基础。

设 LED 显示屏是由 m 行 n 列个模块拼接而成的,因而存在 $m \times n$ 组畸变的模块位置和理想的模块位置之间的对应关系: $(x_1, y_1) \rightarrow (u_1, v_1)$, $(x_2, y_2) \rightarrow (u_2, v_2), \dots, (x_L, y_L) \rightarrow (u_{m \times n}, v_{m \times n})$,

$$\begin{cases} \mathbf{a} = [a_{00}, a_{01}, a_{02}, a_{10}, a_{11}, a_{20}]^T \\ \mathbf{b} = [b_{00}, b_{01}, b_{02}, b_{10}, b_{11}, b_{20}]^T \\ \mathbf{x} = \left[\sum_{e=1}^{m \times n} x_e, \sum_{e=1}^{m \times n} x_e v_e, \sum_{e=1}^{m \times n} x_e v_e^2, \sum_{e=1}^{m \times n} x_e u_e, \sum_{e=1}^{m \times n} x_e v_e u_e, \sum_{e=1}^{m \times n} x_e u_e^2 \right]^T, \\ \mathbf{y} = \left[\sum_{e=1}^{m \times n} y_e, \sum_{e=1}^{m \times n} y_e v_e, \sum_{e=1}^{m \times n} y_e v_e^2, \sum_{e=1}^{m \times n} y_e u_e, \sum_{e=1}^{m \times n} y_e v_e u_e, \sum_{e=1}^{m \times n} y_e u_e^2 \right]^T \end{cases}, \quad (6)$$

式(4)中的 \mathbf{T} 是一个 6×6 的对角矩阵,如式(7)所示:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \sum_{e=1}^{m \times n} 1 & & & & & \\ & \sum_{e=1}^{m \times n} v_e^2 & & & & \\ & & \sum_{e=1}^{m \times n} v_e^4 & & & \\ & & & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^2 & & \\ & & & & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^2 v_e^2 & \\ & & & & & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}_1$$

使用这些对应关系对式(2)进行拟合时,应使拟合误差平方和最小,即要求

$$\begin{cases} \epsilon_1 = \sum_{e=1}^{m \times n} \left(x_e - \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} a_{ij} u_e^i v_e^j \right)^2 \\ \epsilon_2 = \sum_{e=1}^{m \times n} \left(y_e - \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} b_{ij} u_e^i v_e^j \right)^2 \end{cases}, \quad (3)$$

最小,很容易得出上式的极值条件为

$$\begin{cases} \sum_{e=1}^{m \times n} \left(\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} a_{ij} u_e^i v_e^j \right) u_e^s v_e^t = \sum_{e=1}^{m \times n} x_e u_e^s v_e^t \\ \sum_{e=1}^{m \times n} \left(\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} b_{ij} u_e^i v_e^j \right) u_e^s v_e^t = \sum_{e=1}^{m \times n} y_e u_e^s v_e^t \end{cases}, \quad (4)$$

式中 $s=0, 1, \dots, p; t=0, 1, \dots, p-s$

为了简化计算,在计算的时候对式(4)只取到二次,可以得到:

$$\begin{cases} \mathbf{T}\mathbf{a} = \mathbf{x} \\ \mathbf{T}\mathbf{b} = \mathbf{y} \end{cases}, \quad (5)$$

其中, $\mathbf{a}, \mathbf{x}, \mathbf{b}, \mathbf{y}$ 都是 6×1 的列向量,如式(6)所示

其中, \mathbf{T}_1 是一个 5×5 的三角矩阵,如式(8)所示:

$$\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} \sum_{e=1}^{m \times n} v_e & \sum_{e=1}^{m \times n} v_e^2 & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e v_e & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^2 \\ & \sum_{e=1}^{m \times n} v_e^3 & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e v_e & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e v_e^2 & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^2 v_e \\ & & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e v_e^2 & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e v_e^3 & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^3 v_e^3 \\ & & & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^2 v_e & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^3 \\ & & & & \sum_{e=1}^{m \times n} u_e^3 v_e \end{bmatrix}. \quad (8)$$

2.2 灰度值修正

首先定义一个灰度矩阵 \mathbf{G} ,用来表征 LED 显示屏各像素点的灰度值,如式(9)所示:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{m1} & M_{m2} & \cdots & M_{mn} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

其中, M_{ij} 表示 LED 显示屏的第 i 行第 j 列个模块, k 表示一个模块内包含的像素点数

$$\mathbf{M}_{ij} = \begin{bmatrix} g(1 \times i, 1 \times j) & g(1 \times i, 2 \times j) & \cdots & g(1 \times i, k \times j) \\ g(2 \times i, 1 \times j) & g(2 \times i, 2 \times j) & \cdots & g(2 \times i, k \times j) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(k \times i, 1 \times j) & g(k \times i, 2 \times j) & \cdots & g(k \times i, k \times j) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

当一个模块内只有一个像素点时, 灰度矩阵可以表示为:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g(1,1) & g(1,2) & \cdots & g(1,n) \\ g(2,1) & g(2,2) & \cdots & g(2,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(m,1) & g(m,2) & \cdots & g(m,n) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

根据模块位置变换得到的畸变的模块位置和理想的模块位置之间的非线性变换关系 T_a 同样也适用于各像素点的灰度值修正, 因而可以得到修正后的灰度矩阵 \mathbf{G}' , 如式(12)所示:

$$\mathbf{G}' = \begin{bmatrix} T_a[M_{11}] & T_a[M_{12}] & \cdots & T_a[M_{1n}] \\ T_a[M_{21}] & T_a[M_{22}] & \cdots & T_a[M_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_a[M_{m1}] & T_a[M_{m2}] & \cdots & T_a[M_{mn}] \end{bmatrix}, \quad (12)$$

可以看出这种方法对像素点的灰度值修正是以模块为单位进行的, 即对处于同一个模块内的像素点来说, 它们的修正方式是相同的, 这时候的灰度值修正并不是真正意义上的逐点修正。只有当模块内仅有一个像素点时, 修正后得到的灰度矩阵如式(13)所示, 此时的灰度值修正才是真正

意义上的逐点修正, 也就是说只有当模块内仅有一个像素点时, 这种方法才能实现逐点校正。

$$\mathbf{G}' = \begin{bmatrix} T_a[g(1,1)] & T_a[g(1,2)] & \cdots & T_a[g(1,n)] \\ T_a[g(2,1)] & T_a[g(2,2)] & \cdots & T_a[g(2,n)] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_a[g(m,1)] & T_a[g(m,2)] & \cdots & T_a[g(m,n)] \end{bmatrix} \quad (13)$$

3 畸变校正实现步骤

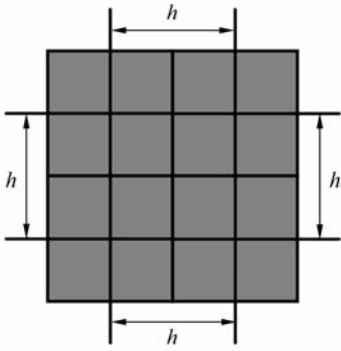
根据第二部分构造的畸变校正模型, 该方法的实现主要由以下 3 个步骤完成: (1) 设置理想模块的位置; (2) 计算畸变模块的位置; (3) 计算灰度值的修正结果。

3.1 设置理想的模块位置

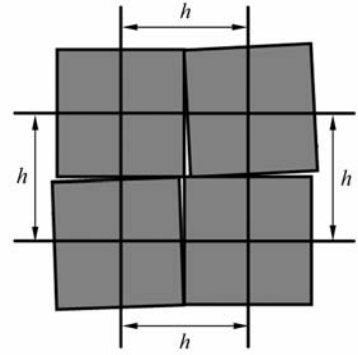
不管 LED 显示屏是由哪种类型的模块拼接而成的, 模块的形状都是正方形, 只是不同类型的模块的像素中心间距是不同的, 当前常见模块的像素中心间距主要有 3, 4.75, 6, 7.62, 8.5 mm 等, 当一个模块内只有一个像素点时, 模块的像素中心间距就是模块的中心间距。设相邻模块的中心间距为 h , 则理想的模块位置示意图如图 1(a) 所示。在拼接过程中, 模块位置畸变有三种情况: 第一种畸变的模块位置示意图如图 1(b) 所示, 在这种情况下, 模块只是在水平或者垂直方向发生了偏移理想位置的情况; 第二种畸变的模块位置示意图如图 1(c) 所示, 此时模块以某种角度发生了旋转; 第三种畸变的模块位置示意图如图 1(d) 所示, 上述的两种模块位置畸变同时发生, 也就是说模块不仅在水平或者垂直方向发生了偏移理想位置的情况, 而且以某种角度发生了旋转。

对一个由 m 行 n 列个模块拼接而成的 LED 显示屏来说, 理想的模块位置可以用一个 m 行 n 列的矩阵 \mathbf{F} 表示, 如式(14)所示:

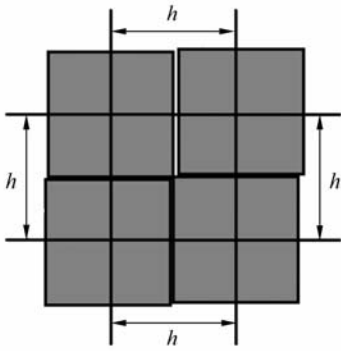
$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} (0,0) & (0,h) & \cdots & [0,(n-1)h] \\ (h,0) & (h,h) & \cdots & [h,(n-1)h] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [(m-1)h,0] & [(m-1)h,h] & \cdots & [(m-1)h,(n-1)h] \end{bmatrix}. \quad (14)$$



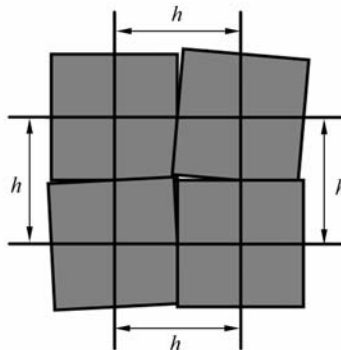
(a) 理想的模块位置示意图
(a) Ideal module location



(d) 第三种畸变的模块位置示意图
(d) The third distortion of module location



(b) 第一种畸变的模块位置示意图
(b) The first distortion of module location



(c) 第二种畸变的模块位置示意图
(c) The second distortion of module location

图 1 理想的和畸变的模块位置示意图

Fig.1 Ideal and distortion module locations

3.2 计算畸变模块的位置

计算畸变模块的位置时,首先以 LED 显示屏左上角的模块为基准模块,即此处的模块位置为 $(0,0)$,以模块的 4 个角的位置为采集对象,用 CCD 采集它们的位置信息。根据这些位置信息就可以判断模块发生的是上述三种畸变中的哪一种畸变。然后,按照畸变的情况,计算畸变的模块位置。用矩阵 F' 表示畸变的模块位置,如式(15)所示:

$$F' = \begin{bmatrix} (0,0) & (x_1, y_2) & \cdots & (x_1, y_n) \\ (x_2, y_1) & (x_2, y_2) & \cdots & (x_2, y_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (x_m, y_1) & (x_m, y_2) & \cdots & (x_m, y_n) \end{bmatrix} \quad (15)$$

下面以第 i 行第 j 列个模块 M_{ij} 的畸变为例,详细描述畸变的模块位置的计算过程。对 F' 中的每个元素,按照式(16),式(17),式(18)计算,就可以得到每个畸变模块的位置。当 M_{ij} 发生的是第一种畸变时,它的位置可以通过式(16)计算;当 M_{ij} 发生的是第二种畸变时,它的位置可以通过式(17)计算;当 M_{ij} 发生的是第三种畸变时,它的位置可以通过式(18)计算。其中, (x_i^{TL}, y_j^{TL}) 表示采集到的 M_{ij} 的左上角的位置信息其中, β 表示 M_{ij} 旋转的角度,它可以通过比对和计算 CCD 采集到的模块的位置信息和理想的模块的位置信息得到。由于把 LED 显示屏左上角的模块设定为基准模块,因此, M_{ij} 发生逆时针旋转时 $\beta < 0$, M_{ij} 发生顺时针旋转时 $\beta > 0$ 。

$$\begin{cases} x_i = x_i^{TL} + \frac{1}{2}h \\ y_i = y_i^{TL} + \frac{1}{2}h \end{cases}, \quad (16)$$

$$\begin{cases} x_i = (i-1)h + \frac{\sqrt{2}}{2}\cos(45+\beta) \\ y_i = (j-1)h + \frac{\sqrt{2}}{2}\sin(45+\beta) \end{cases}, \quad (17)$$

$$\begin{cases} x_i = x_i^{TL} + \frac{\sqrt{2}}{2}\cos(45+\beta) \\ y_i = y_i^{TL} + \frac{\sqrt{2}}{2}\sin(45+\beta) \end{cases}. \quad (18)$$

3.3 计算灰度值的修正结果

在得到畸变的模块位置之后,就可以根据式(5)、式(6)、式(7)、式(8)得到拟合参数,进而得到畸变的模块位置和理想的模块位置的非线性变换关系 T_a 。对像素点的灰度值做修正时,由于像素点在最高灰度值的亮度最能反映像素点间的亮度差异情况,因此一般取像素点的最高灰度值作为修正对象,以修正 8 bit 的灰度信息为例,此时的灰度矩阵如式(19)所示:

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 255 & 255 & \cdots & 255 \\ 255 & 255 & \cdots & 255 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 255 & 255 & \cdots & 255 \end{bmatrix}_{(k \times m) \times (k \times n)}. \quad (19)$$

将式(19)代入式(12)即可得到各像素点的灰度值修正结果,如式(20)所示:

$$\mathbf{G}' = \begin{bmatrix} T_a[255] & T_a[255] & \cdots & T_a[255] \\ T_a[255] & T_a[255] & \cdots & T_a[255] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_a[255] & T_a[255] & \cdots & T_a[255] \end{bmatrix}_{(k \times m) \times (k \times n)}. \quad (20)$$

\mathbf{G}' 相当于一张对 LED 显示屏做畸变校正的校正系数表,这张表中的信息应该和显示图像的灰度信息一起在 LED 显示屏上表现出来。具体的实现过程是,把一幅显示图像中的每一个像素点的灰度信息和 \mathbf{G}' 中对应的元素相乘,得到的结果就是校正后的灰度信息。

4 实验结果及讨论

在一块 LED 显示屏上实现 LED 显示图像非均匀度校正改进方法,这块 LED 显示屏的分辨率为 $128 \text{ pixel} \times 128 \text{ pixel}$,它的模块的像素中心间

距为 7.62 mm,并且一个模块内只有一个像素点,一个像素点由红绿蓝 3 个子像素点组成。图 2(a)、图 2(b)和图 2(c)分别是校正前所有像素点的灰度值均为最高灰度值时,LED 显示屏在分别显示红绿蓝三基色时的显示效果。图 3(a)、图 3(b)和图 3(c)分别是采用了基于 CCD 的校正技术校正后,在同样的显示条件下,LED 显示屏的显示效果。图 4(a)、图 4(b)和图 4(c)则分别是在基于 CCD 的校正技术校正的基础上,根据本文提出的畸变校正方法校正后,在同样的显示条件下,LED 显示屏的显示效果。之所以在这里对比红绿蓝三基色的显示效果,是因为 LED 显示屏在分别显示红绿蓝三基色时的显示效果最能反映 LED 显示屏的显示效果。

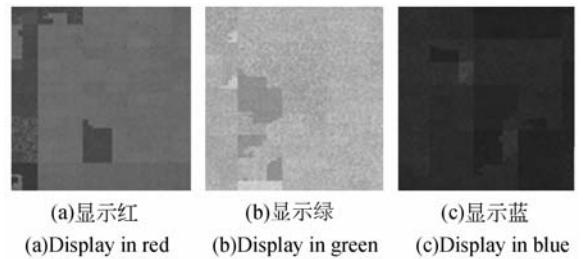


图 2 校正前 LED 显示屏的显示效果

Fig. 2 Display effects of LED display panel before being corrected

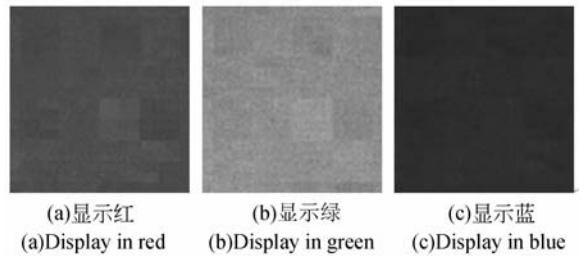


图 3 采用基于 CCD 的校正技术校正后 LED 显示屏的显示效果

Fig. 3 Display effects of LED display panel after being corrected by using CCD method

由图 2、图 3 和图 4 的对比可以看出,这种畸变校正方法能够很好地降低 LED 显示图像的非均匀度。为了更进一步说明这种畸变校正方法降低 LED 显示图像的非均匀度的程度,图 5(a)、图 5(b)和图 5(c)给出了校正前、采用基于 CCD 的校正技术校正后和在基于 CCD 的校正技术校正的基础上采用本文提出的畸变校正方法校正后 LED 显示屏的亮度分布情况。

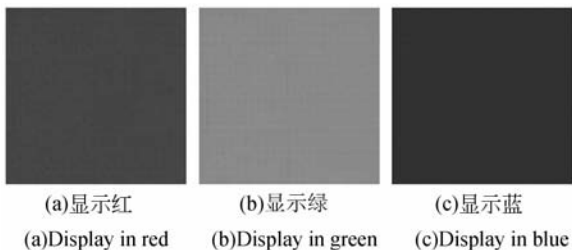
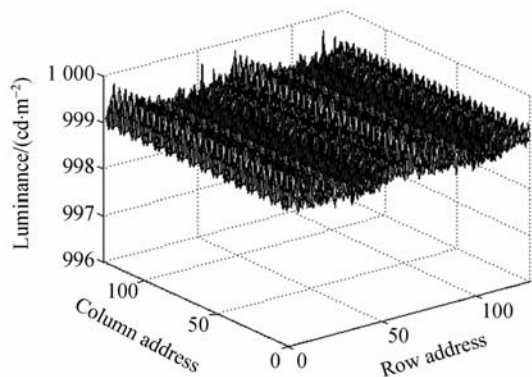


图 4 采用基于 CCD 的校正技术和畸变校正方法校正后 LED 显示屏的显示效果

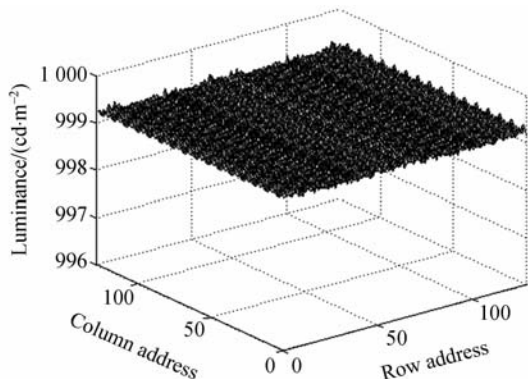
Fig. 4 Display effects of LED display panel after being corrected by using CCD method and distortion correction method

根据 LED 显示屏的亮度分布情况,同时依据由中华人民共和国信息产业部发布的《LED 显示屏测试方法》中提供的计算 LED 显示图像的非均匀度的方法^[13],可以通过式(21)计算上述三种情



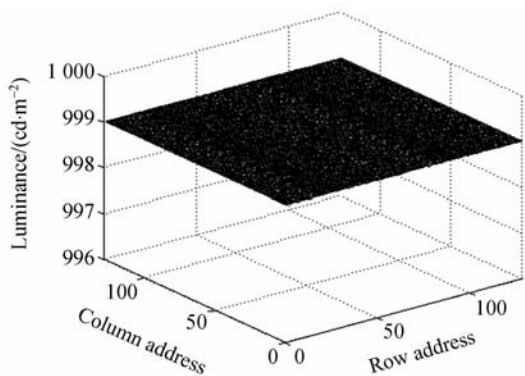
(a) 校正前 LED 显示屏的亮度分布

(a) Luminance distribution of LED display panel before being corrected



(b) 采用基于 CCD 的校正技术校正后 LED 显示屏的亮度分布

(b) Luminance distribution of LED display panel after being corrected by using CCD method



(c) 采用基于 CCD 的校正技术和畸变校正方法校正后 LED 显示屏的亮度分布

(c) Luminance distribution of LED display panel after being corrected by using CCD method and distortion correction method

图 5 LED 显示屏的亮度分布

Fig. 5 Luminance distribution of LED display panel

况下的 LED 显示图像的非均匀度 σ 。

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma &= \frac{|I_{ij} - I_{adv}|_{\max}}{I_{adv}} \times 100\% \\ I_{adv} &= \frac{1}{128 \times 128} \sum_{i=1}^{128} \sum_{j=1}^{128} I_{ij} \end{aligned} \right. \quad (21)$$

其中, I_{adv} 表示 LED 显示屏的平均亮度, I_{ij} 表示处于第 i 行第 j 列的像素点的亮度, 计算结果如表 1 所示:

表 1 3 种情况下的 LED 显示图像的非均匀度

Tab. 1 Nonuniformity of LED display images in three cases

case	case 1	case 2	case 3
σ	74.3%	8.9%	0.97%

Note: The first case is that LED display panel is not corrected. The second case is that LED display panel is corrected by using CCD. The third case is that LED display panel is corrected by using CCD and distortion correction.

5 结 论

本文提出了 LED 显示图像的非均匀度校正改进方法,对现有的基于 CCD 的校正技术作了进一步改进,解决了原有的校正技术不能解决的由于 LED 显示屏在拼接过程中出现通过物理调整方法无法杜绝的位置畸变所造成 LED 显示图像

的非均匀度过高的问题。该方法根据构造的畸变校正模型,通过计算确定了畸变的模块位置和理想的模块位置之间的非线性关系,把这种非线性关系用于修正 LED 显示屏各像素点的灰度值,可达到降低 LED 显示图像非均匀度的目的。实验结果表明,采用这种改进的基于 CCD 校正技术的方法,可以将分辨率为 128 pixel \times 128 pixel,模块的像素中心间距为 7.62 mm,且一个模块内只有一个像素点的 LED 显示屏的显示图像的非均匀

度由基于 CCD 的校正技术校正后的 8.9%降低到 0.97%。

此改进的方法的不足之处在于其对像素点灰度值的修正是以模块为单位而不是以像素点为单位进行的。因此,只有当一个模块内仅有一个像素点的时候,这种方法才可以做到逐点校正。也就是说,一个模块内只有一个像素点的情况,是这种方法应用的最佳场合,所以这种方法还需要进一步改进。

参考文献:

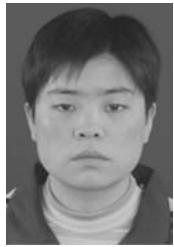
- [1] CRITCHLEY B R, BLAXTAN P W, ECKERSLEY B. Picture quality in large-screen projectors using the digital micro-mirror [J]. *Society for Information Display*, 2008,3(7):199-202.
- [2] 袁飞,黄联芬,姚彦. 基于视觉掩盖效应和奇异值分解的图像质量评测方法[J]. *光学精密工程*, 2008,16(4):703-708.
YUAN F, HUANG L F, YAO Y. Image quality evaluation based on visual masking effect and singular value decomposition [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(4):703-708. (in Chinese)
- [3] 黎洪松. 数字视频处理[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2006.
LIN H S. *Digital Video Process* [M]. Beijing: Beijing University of Post and Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [4] 高鸿锦. 平板显示技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2007.
GAO Y J. *Flat Panel Display Technology* [M]. Beijing: Beijing University of Post and Technology Press, 2007. (in Chinese)
- [5] 屠大维,吴仍茂,杨恒亮,等. LED 封装光学结构对光强分布的影响[J]. *光学精密工程*, 2008,16(5):832-835.
TU D Y, 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):832-835. (in Chinese)
- [6] VRHEL M, SABER E. A new standardized method for objectively measuring video quality [J]. *IEEE*, 2004,8(3):312-315.
- [7] KESSEL P F, HORNBECK L J, MEIER R E. A mems-based projection display [J]. *IEEE*, 2007,86(43):1687-1701.
- [8] 程万胜,赵杰,蔡鹤皋. CCD 像素响应非均匀的校正方法[J]. *光学精密工程*, 2008,16(2):103-108.
CHENG W SH, ZHAO J, CAI H G. Correction method for pixel response non-uniformity of CCD [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(2):103-108. (in Chinese)
- [9] 陈宇. 基于拟合逼近理论的平板图像显示技术研究[D]. 北京:中国科学院,2004.
CHEN Y. *Flat images display technology based on approximation theory* [D]. Beijing: Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, 2004. (in Chinese)
- [10] 郭琰,张晔,谷廷锋,等. 基于二代 Curvelet 变换和 ProbShrink 算法的红外图像背景抑制[J]. *光学精密工程*, 2008,16(12):1988-1994.
GUO Y, ZHANG Y, GU Y F, *et al.*. Infrared image background suppression based on 2th generation Curvelet transform and ProbShrink algorithm [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(10):1988-1994. (in Chinese)
- [11] 赵星梅. LED 显示屏亮度非均匀性逐点校正技术的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.
ZHAO X Y. *Research on the spot-spot correction techniques for luminance non-uniformity of LED display* [D]. Xi'an: XIDIAN University, 2009. (in Chinese)
- [12] 张毓晋. 图像分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
ZHANG Y J. *Image Analysis* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国电子行业标准 SJ/T 11281-2007. LED 显示屏测试方法[S]. 北京:中华人民共和国

信息产业部,2007.

The People's Republic of China Electronic Industry Standard SJ/T 11281-2007. Measure methods

light emitting diode panels [S]. Beijing: The People's Republic of China Ministry of Information Industry, 2007. (in Chinese)

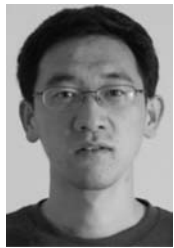
作者简介:



常 锋(1983—),女,陕西西安人,博士研究生,2006年于陕西科技大学获得学士学位,主要从事平板显示驱动技术、LED大屏幕灰度控制技术、平板显示器灰度控制算法以及与此相关的图像处理技术方面的研究。E-mail: cfdxll@126.com



王瑞光(1957—),男,吉林松原人,研究员,博士生导师,1981年于长春光机学院获得学士学位,主要从事平板显示驱动技术、LED大屏幕显示控制系统等方面的研究。E-mail: ccxida@sina.com



孙志远(1982—),男,辽宁沈阳人,助理研究员,博士,2003年于东北大学获得学士学位,2008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,主要从事红外成像,实时红外图像处理等方面的研究。E-mail: linlinat0218@yahoo.com.cn



郑喜凤(1965—),女,吉林长春人,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: llcfdx@126.com

● 下期预告

毛细管电泳非接触电导检测电极结构的设计

张海峰^{1,3},邵宪辉¹,刘晓为^{1,2},王 蔚¹

(1. 哈尔滨工业大学 MEMS 中心,黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工业大学 微系统与微结构制造教育部重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150001;

3. 空军第一飞行学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

为了减小毛细管电泳非接触电导检测电极间的寄生电容对检测信号的影响,对非接触电导检测器的检测电极结构进行了研究。采用边界元素法研究了毛细管电泳非接触检测电极间的寄生电容,通过静电场软件仿真了两电极之间的电场分布,优化了非接触电导检测电极结构。根据仿真结果提出了一种新颖的三明治式电极结构,有效的电极长度可以为 $200\ \mu\text{m}$,解决了传统电极结构寄生电容较大的问题,同时也克服了传统三电极结构检测电极易于折断的缺点。实验和仿真结果表明,相对于传统的电极结构,三明治式电极结构的检测器其寄生电容为 $10^{-15}\ \text{F}$,减小了一个数量级。新的三明治的电极结构的检测器,在 $220\ \text{V/cm}$ 的分离场强下两种无机离子在 $40\ \text{s}$ 内实现了完全的分离检测。三明治式的电极结构适合于毛细管电泳非接触电导检测,可以提高非接触电导检测法的灵敏度。