

文章编号 1004-924X(2010)11-2332-07

LED 显示屏相机采集影像渐晕的修正

张 鑫^{1,2}, 王瑞光¹, 陈 宇¹, 汪 洋^{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. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了克服相机影像渐晕在 LED 显示屏逐点一致化校正过程中带来的不均匀性缺陷, 从相机影像发生渐晕时的灰度分布规律出发, 提出了一种基于图像平滑滤波算法的修正方法。介绍了 CCD 对 LED 显示屏进行数据采集和成像的原理; 在分析其成像稳定性的基础上, 描述了空域平滑滤波的原理, 并选取模板对 CCD 采集得到的 LED 像素亮度空间分布做邻域平均平滑处理, 得到了代表相机影像渐晕分布的曲面。最后, 介绍了利用该曲面实现影像复原的算法。实验结果表明: 经过对相机影像渐晕修正以后, 可以使 LED 显示屏的显示均匀性偏差由 12.9% 缩小到 0.73%, 克服了修正前 LED 显示屏“中心暗、四周亮”的缺陷, 达到了理想的校正效果。

关键词: LED 显示屏; 渐晕修正; 图像平滑; 显示均匀性

中图分类号: TN873; TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101811.2332

Calibration of image vignetting acquired by camera on LED display panel

ZHANG Xin^{1,2}, WANG Rui-guang¹, CHEN Yu¹, WANG Yang^{1,2}

(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 overcome non-uniformity defects arisen from image vignetting captured by a camera in the dot-to-dot correction of a LED display panel, a correction method based on an image smoothing filter algorithm was proposed from the gray distribution rule of vignetting images. Firstly, the imaging principle of CCD on the optical data acquisition in the LED display panel was discussed. Then, the principle of smoothing filter in the spatial domain was described based on the analysis of the stability of CCD imaging, and the surface of the image vignetting defect distribution was obtained by a neighborhood average process to the spatial distribution of LED pixels. Finally, the algorithm to complete the correction of image vignetting by using the surface was presented. Experimental result indicates that the display uniformity deviation of the LED display panel is narrowed from 12.9% to 0.73% after the calibration for the image vignetting, which overcomes the “Center dark, Surround

收稿日期: 2010-03-30; 修订日期: 2010-04-13.

基金项目: 吉林省重大科技成果转化项目 (No. 09ZDZH006)

bright” defects on LED display panels and achieves the desired effect.

Key words: LED display panel; vignetting calibration; image smoothing; display uniformity

1 引 言

作为多媒体设施的显示终端,LED 显示屏用于完成高质量的动态视频图像显示,而显示均匀性是衡量 LED 显示屏显示质量好坏的一个重要指标。由于 LED 是自发光体显示设备,其发光管亮度、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。

筛选是克服发光管离散性的一个有效方法,通过选择色坐标处于同一档次,亮度偏差也在同一档次的管子,在随机分布的情况下,可以使色差和亮度差达到人眼可以容忍的范围内。目前,高档的显示屏通常是把发光管进一步筛选到更细的范围,再辅以“炒管”或“混编”等生产工艺,以确保发光管在整屏范围内随机分布,从而达到更好的显示效果。随着 CCD 图像传感器在光电测量领域的应用,部分技术领先的企业还通过快速的光色参数测量和逐点一致化校正技术来使 LED 显示屏实现更加理想的显示效果。但评估发现,经过这种技术处理的 LED 显示屏,虽然在显示效果上完美地消除了经筛选以后残余的“麻点”缺陷,但在显示均匀性方面都表现出一种“中心暗、四周亮”的缺点,其差异甚至比校正前还要大。研究表明这种差异是相机成像时发生渐晕^[1-2]造成的,因此,对相机影像渐晕进行修正是实现 LED 显示屏显示均匀性的基本保证。

本文介绍了 CCD 的成像原理^[3-4],并在分析其成像稳定性的基础上,利用图像平滑算法进行曲面拟合,从输出灰度值的分布规律出发^[5-7],提出基于图像平滑滤波算法^[8-9]的相机影像渐晕修正方法,并在 LED 显示屏逐点一致化校正技术中得以验证,取得了理想的修正效果。

2 CCD 成像分析

LED 显示屏由数以万计的 LED 像素组成。在由 CCD 图像传感器采集到的感光图像中,每个

感光单元的值代表了响应的灰度。感光图像包含了 LED 像素的空间位置、发光形状以及发光强度等信息。

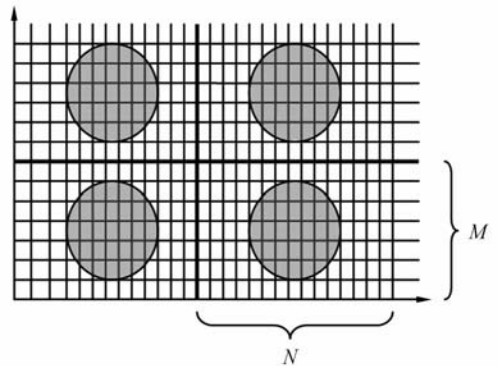


图 1 显示像素在 CCD 感光面上的成像

Fig. 1 Image of display pixels on CCD

每个 LED 像素由 $M \times N$ 个 CCD 感光像素组成,如图 1 所示。由于 CCD 感光像素在成像时的注入电荷量与它的人射光强呈线性关系^[10],每个 LED 像素的亮度可以等效为相应的 $(M \times N)$ 个 CCD 感光像素亮度之和。

通过 CCD 图像传感器采集得到 LED 显示屏上数以万计的 LED 像素的亮度信息,把各像素之间的位置信息和亮度信息表征为一幅新的图像,那么各像素之间的图像细节差异可以作为逐点一致化校正的依据;计算得到校正系数,反馈到控制系统,即达到校正效果。

为了减小对 LED 显示屏单次采集带来的随机性误差,需要事先分析 CCD 图像传感器的成像稳定性。用 CCD 相机对同一 LED 显示屏在光圈、焦距、位置等参数不变的前提下,连续采集 n 幅图像,分别提取每个 LED 像素的亮度信息,记其中某一 LED 像素的亮度信息为 $a_i (i=0, 1, \dots, n)$ 。

本文用样本相对样本均值的偏离程度来衡量成像的稳定性,如式(1):

$$\eta_i = \frac{a_i - \bar{a}}{\bar{a}}, \quad (1)$$

其中, a_i 是第 i 次采集某一 LED 像素的亮度, \bar{a} 是 n 次采集该 LED 像素的平均亮度, η_i 表示第 i 次采集该 LED 像素亮度偏离平均亮度的程度。

η_i 的变化趋势越剧烈, 表示相机的成像稳定性越差; 变化趋势越平缓, 表示相机的成像稳定性越好。图 2 是采集 100 次像素亮度时 η_i 的变化趋势图。

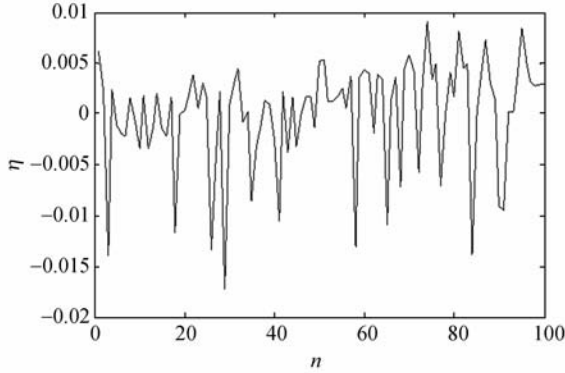


图 2 采集 100 次时 η_i 的变化趋势图

Fig. 2 Variable trend of η_i in grabbing data by 100 times

由图 2 可见, η_i 变化趋势较剧烈, 在这种情况下相机的成像稳定性很不理想。为了提高 CCD 图像传感器采集数据的准确度, 样本 LED 像素亮度可以采取相邻多次取平均的方法, 如式(2):

$$a_i' = \frac{\sum_{j=0}^{k-1} a_{i+j}}{k}, \quad (2)$$

其中, k 为所取相邻采集的次数, a_i' 为第 i 次采集 LED 像素亮度的计算值。

样本方差是衡量一个样本波动大小的量, 样本方差越大, 样本数据的波动就越大。本文用样本方差相对于样本均值的偏离程度来衡量相机采集数据的准确度, 用式(3)表示, 它随 n 的变化情况如图 3 所示。

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i' - \bar{a})^2}{n \bar{a}}, \quad (3)$$

其中, n 为采集次数, a_i' 为相邻 k 次采集取平均得到的第 i 次采集 LED 像素亮度的计算值, \bar{a} 是 n 次采集 LED 像素的平均亮度。

随着 k 变大, ε 越来越小, 也就是说相机采集数据的准确度越来越高。在保证采集准确度的前提下, 取 $k=5$, 以达到与采集效率的平衡。图 4 为 $k=5$ 时 η_i 的变化趋势图。

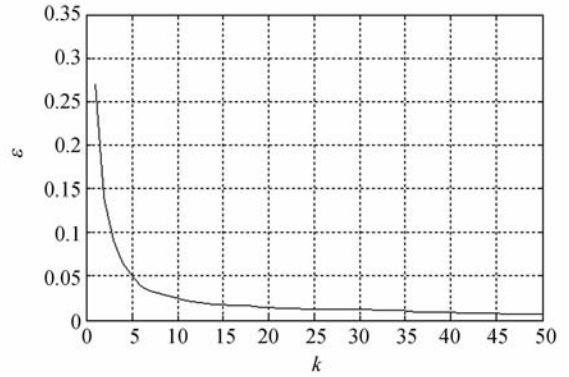


图 3 相机数据准确度的变化趋势图

Fig. 3 Variable trend of data accuracy of CCD

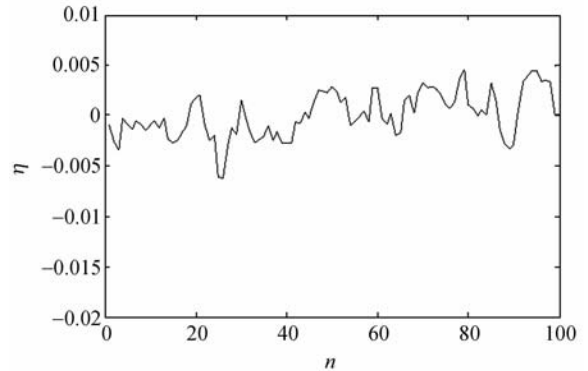


图 4 $k=5$ 时 η_i 的变化趋势图

Fig. 4 Variable trend of η_i when $k=5$

3 图像平滑曲面修正算法

3.1 空域平滑滤波

滤波一般指滤除一定的频率分量, 是消除噪声的常用方法, 在空域进行滤波可以利用模板进行卷积来实现。模板是一个小图像, 尺寸为 $n \times n$ (n 一般为奇数)。最常用的尺寸为 3×3 , 有时候也适用更大的, 如 $5 \times 5, 7 \times 7$ 的模板^[11]。

模板运算的基本思路是将某个像素的值根据其相邻像素灰度值进行改变, 主要步骤为:

- (1) 将模板在图中漫游, 并将模板中心与图中某个像素位置重合;
- (2) 将模板上各个系数与模板下各对应像素的灰度值相乘;
- (3) 将所有乘积相加(为保持灰度范围, 常将结果再除以模板的系数个数);
- (4) 将上述运算结果(模板的输出响应)赋予

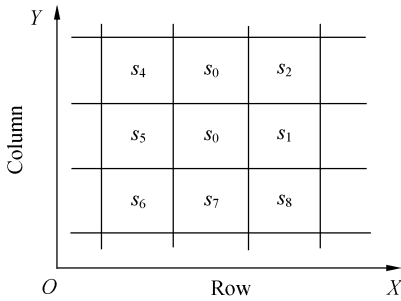
图中对应模板中心位置的像素。

图 5(a)给出一幅图像的一部分,其中所标为一些像素的灰度值。现设有一个 3×3 的模板如图 5(b)所示,模板内所标为模板系数。如将 k_0 所在位置与图中灰度为 s_0 的像素重合,则模板的输出响应 R 为:

$$R = k_0 s_0 + k_1 s_1 + \dots + k_8 s_8. \quad (4)$$

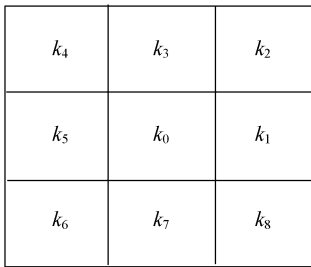
将赋予增强图在相应位置的像素作为新的灰度值,就完成了对该像素的滤波,如图 5(c)所示。

对原图中每个像素都如此进行,就可以得到滤波后图像所有位置的新灰度值。



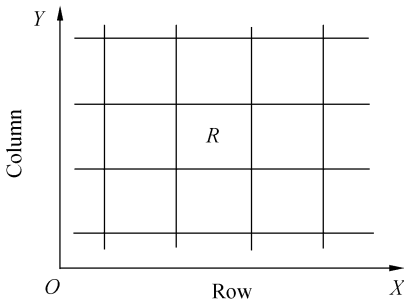
(a) 图像灰度

(a) Image grayscale



(b) 模板

(b) Template



(c) 输出响应

(c) Output response

图 5 用 3×3 模板进行空间滤波示意图

Fig. 5 Framework of spatial filtering by 3×3 module

3.2 曲面拟合及修正

对同一 LED 显示屏进行采集,提取每一 LED 像素亮度信息,其空间分布如图 6 所示。

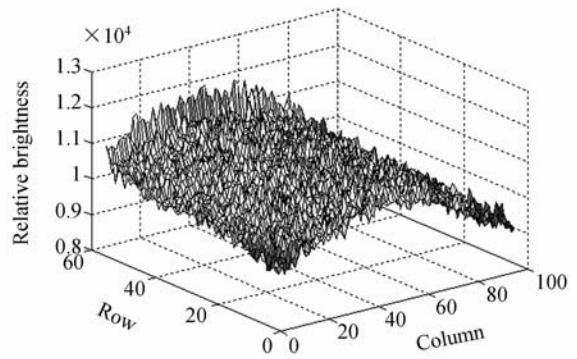


图 6 LED 像素亮度的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of LED pixel brightness

考虑到发光管的离散性,LED 像素亮度信息在空间的变化率较高,为得到相机在成像过程中由于渐晕带来的曲面,需要选择能减弱或消除图像中高频分量的平滑滤波。为有效抑制代表图像细节的高频分量并保留代表图像整体趋势的低频分量,本文选取 5×5 模板,将模板的所有系数都取为 1,在算得 R 后将其除以系数总个数再进行赋值,以保证输出响应仍在原来的亮度范围。对 CCD 采集得到的每一 LED 像素的原始亮度空间分布做邻域平均平滑滤波,得到曲面如图 7 所示。

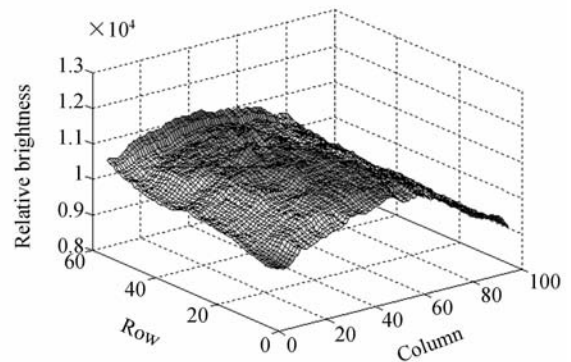


图 7 平滑滤波得到的渐晕曲面

Fig. 7 Vignetting surface obtained by smoothing filter

平滑滤波得到的曲面即代表了相机在成像过程中由于渐晕带来的曲面。修正的基本思路就是消除该曲面误差,并将结果作用于 LED 像素原始亮度分布,使结果只保留 LED 像素本身固有的离散性差异。实现修正过程的主要步骤为:

(1) 遍历平滑滤波得到的渐晕曲面, 得到其最大值;

(2) 用该最大值除以渐晕曲面, 得到修正曲面;

(3) 用修正曲面与 LED 像素原始亮度分布卷积, 得到修正后的 LED 像素亮度分布。

记 LED 像素原始亮度分布为 $f(x, y)$, 经平滑滤波得到的渐晕曲面为 $g(x, y)$, 则修正曲面 $g'(x, y)$ 和修正后的 LED 像素亮度分布 $f'(x, y)$ 可分别表示为:

$$g'(x, y) = \frac{g(x, y)_{\max}}{g(x, y)}, \quad (5)$$

$$f'(x, y) = f(x, y) \otimes g'(x, y), \quad (6)$$

式中 $g(x, y)_{\max}$ 为渐晕曲面的最大值, \otimes 代表卷积。

图 8 为渐晕修正曲面, 图 9 为修正后的 LED 像素亮度空间分布。

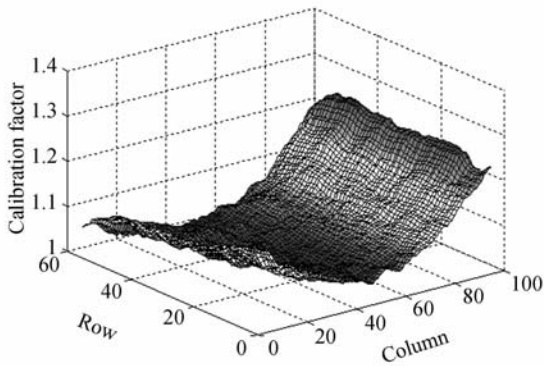


图 8 渐晕修正曲面

Fig. 8 Calibrated surface for vignetting

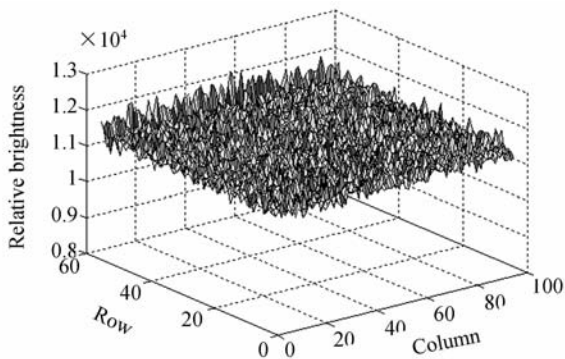
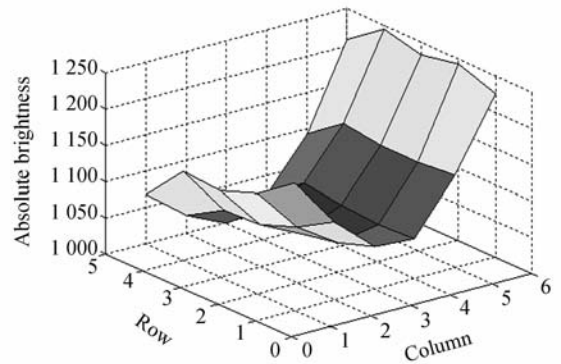


图 9 修正后 LED 像素亮度的空间分布

Fig. 9 Calibrated spatial distribution of LED pixel brightness

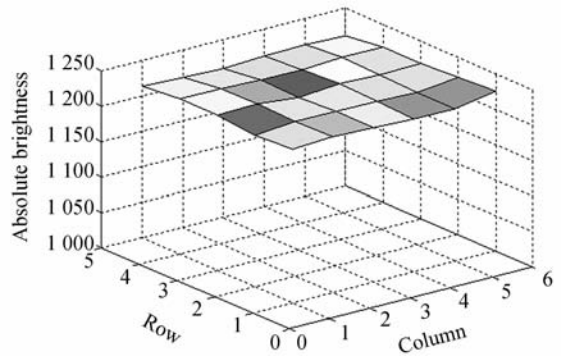
4 算法验证

依据修正前后的 LED 像素亮度空间分布分别进行 LED 显示屏的逐点一致化校正, 计算得到校正系数, 反馈到控制系统, 完成校正过程, 并参照《LED 显示屏测试方法》中的相关规定^[12], 取屏上 30 点对 LED 显示屏显示均匀性做出评估。图 10 为修正前后 LED 显示屏实测亮度空间分布的对比。



(a) 修正前实测亮度空间分布

(a) Spatial distribution of measured brightness before calibration



(b) 修正后实测亮度空间分布

(b) Spatial distribution of measured brightness after calibration

图 10 修正前后实测亮度空间分布对比

Fig. 10 Comparison of spatial distributions of measured brightnesses before and after calibrations

由图 10 可知, 对相机影像渐晕进行修正, 克服了修正前 LED 显示屏“中心暗、四周亮”的缺陷, 大大提高了屏幕的显示效果。

依据《LED 显示屏测试方法》提供的计算方法,对修正前后的 LED 显示屏显示均匀性做出定量的比较,如表 1。

表 1 修正前后显示均匀性偏差对比

Tab. 1 Comparison of display uniformity deviations before and after calibrations

| 参数 | $\bar{I}/(\text{cd}/\text{m}^2)$ | I_j |
|-----|----------------------------------|-------|
| 修正前 | 1 104 | 12.9% |
| 修正后 | 1 216 | 0.73% |

表 1 中 LED 显示屏的显示均匀性 I_j 由式(7)计算得到。

$$I_j = \frac{|I_i - \bar{I}|_{\max}}{\bar{I}} \times 100\% , \quad (7)$$

式中, $i=1, 2, \dots, 30$, \bar{I} 为实测平均亮度,用式(8)表示:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^{30} I_i}{30} . \quad (8)$$

参考文献:

- [1] 韩昌元. 高分辨力空间相机的光学系统研究[J]. 光学精密工程, 2008, 11(16): 2164-2172.
HAN CH Y. Study on optical system of high resolution space camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 11(16): 2164-2172. (in Chinese)
- [2] 何凯, 唐平凡, 王成优. 基于高斯曲面拟合的影像渐晕复原方法[J]. 电子学报, 2009, 1(37): 67-71.
HE K, TANG P F, WANG C Y. Vignetting correction method of image based on gaussian quadrics fitting[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 1(37): 67-71. (in Chinese)
- [3] 徐秀知, 冯永茂, 邓春健, 等. 基于 CCD 图像的平板显示器像素的亮度分析[J]. 液晶与显示, 2006, 4(21): 388-392.
XU X Z, FENG Y M, DENG C J, et al.. Method of luminance analysis for pixels of flat panel display based on CCD image[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays*, 2006, 4(21): 388-392. (in Chinese)
- [4] 郑喜凤, 宋新丽, 刘贵华, 等. 一种基于区域最大值的 LED 显示屏亮度特征数据提取方法[J]. 液晶与显示, 2008, 4(23): 453-457.
ZHENG X F, SONG X L, LIU G H, et al.. Lumi-

可见, 经过对相机影像渐晕进行修正以后, 可以使 LED 显示屏的显示均匀性偏差由 12.9% 缩小到 0.73%, 取得了理想的效果。

5 结 论

本文从相机影像输出灰度值的空间分布规律出发, 在分析 CCD 成像稳定性的基础上, 提出了一种基于图像平滑算法的相机影像渐晕修正方法。实验结果表明, 经过修正, 克服了相机影像渐晕带来的不均匀性缺陷, 使显示屏的显示均匀性偏差从 12.9% 缩小到 0.73%, 证明了该方法在实际工程中的有效性。

同时, 由于 LED 显示屏逐点一致化校正是向最低亮度看齐, 经过相机影像渐晕修正以后, 大大减小了损耗, 对于提高显示屏亮度指标也是有利的。

- nance data extraction method of LED display panel based on regional maximum[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal and Displays*, 2008, 4(23): 453-457. (in Chinese)
- [5] 杨剑, 吕乃光, 董明利. 加权最小二乘算法在机器视觉系统中的应用[J]. 光学精密工程, 2009, 8(17): 1870-1877.
YANG J, LV N G, DONG M L. Application of weighted Least square method to machine visual system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 8(17): 1870-1877. (in Chinese)
- [6] 邓超, 张涛, 姚清华. 应用小波神经网络处理 CCD 图像噪声[J]. 光学精密工程, 2008, 2(16): 345-351.
DENG CH, ZHANG T, YAO Q H. Application of wavelet neural network in removing CCD noise of digital images[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 2(16): 345-351. (in Chinese)
- [7] 张昱. 基于机器视觉的 TFT-LCD 屏 mura 缺陷检测技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
ZHANG Y. *Research on mura inspection technology of TFT-LCD based on machine vision*[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. (in Chinese)
- [8] 耿利川, 吴云东. 基于小波变换的大面阵 CCD 相机影像亮度不一致性消除算法[J]. 测绘工程, 2009, 1

(18):26-31.

GENG L C, WU Y D. Wavelet algorithm for eliminating inconsistent brightness in large plane array CCD camera images [J]. *Eng. of Surveying & Mapping*, 2009,1(18):26-31. (in Chinese)

- [9] YE D, XU Q Y, CHE R S. Camera calibration technique for vision measurement system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,5(14):883-890.
- [10] 刘文耀. 数字图像采集与处理[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- LIU W Y. *Digital Image Collection and Process* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics In-

dustry, 2007. (in Chinese)

- [11] 章毓晋. 图像分析(第2版)[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- ZHANG Y J. *Image Analysis (Second Edition)* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- [12] 中华人民共和国原信息产业部. 发光二极管(LED)显示屏测试方法[S]. 2007.
- Former Ministry of Information Industry, PRC. Measure Methods of Light Emitting Diode(LED) Panels[S]. 2007. (in Chinese)

作者简介:



张鑫(1984—),男,山东潍坊人,博士研究生,2006年于吉林大学获得学士学位,主要从事LED大屏幕光色参数采集、机器视觉等方面的研究。E-mail:blswq@163.com

导师简介:



王瑞光(1957—),男,吉林松原人,研究员,博士生导师,1984年于长春光机学院获得学士学位,主要从事LED大屏幕平板显示技术、计算机应用等方面的研究。E-mail:wangruiguang1957@126.com



陈宇(1968—),男,吉林长春人,博士,研究员,硕士生导师,1990年于吉林大学获学士学位,1996年于中科院研究生院获得硕士学位,2004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,主要从事信号计算机数字通信技术的研究。E-mail:cycq_mail@tom.com



汪洋(1982—),男,吉林人,博士研究生,2005年于长春理工大学获得学士学位,主要从事LED大屏幕亮度均匀性评估等方面的研究。E-mail:clubwy@126.com