

文章编号: 1007-2780(2012)05-0653-05

面积约束下的最优阈值法分割 LED 像素点阵

于洪春^{1,2}, 邓意成^{1,2}, 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, E-mail: tuyu_0725@yahoo. cn;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 针对基于 CCD 相机采集方式的亮度校正方法需要从采集图像中分割出每颗 LED 像素的亮度信息的问题, 提出面积约束下的最优阈值分割法。在最优阈值分割法的基础上, 根据先验信息引入面积约束条件, 对阈值的取值范围进行约束。与传统的最优阈值法相比可以避免分割后 LED 像素区域连接的情况。面积约束下的最优阈值分割法生成采集图像的灰度直方图, 利用最优阈值算法结合面积约束生成最优阈值, 最后通过图像的阈值分割法将采集图像分割。实验表明, 该方法可以比较好地分割出采集图像中的 LED 像素, 并可避免当 LED 像素点分布密集时应用最优阈值法分割 LED 像素造成的区域连接问题。

关 键 词: 最优阈值; 面积约束; LED

中图分类号: TN312⁺.8

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122705.0653

Segmentation of LED Pixel Matrix by Using Optimal Threshold Method with Area Constraint

YU Hong-chun^{1,2}, DENG Yi-cheng^{1,2}, ZHENG Xi-feng^{1*}

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

Changchun 130033, China, E-mail: tuyu_0725@yahoo. cn;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to segment each LED pixels from the image which is acquired by CCD and is used to brightness correction, a method based on optimal threshold segmentation with area constraint has been proposed. Based on optimal threshold method, taking prior information into account, an area constraint is introduced to restrain the range of threshold. Compared with traditional method, it is well done to avoid the LED region segmented connecting together. In the optimal threshold method with area constraint, the histogram of the captured image is generated, using the method of optimal threshold with area constraint, the optimal threshold is acquired. Finally, the optimal threshold method is used to segment the captured image. Experiments demonstrate that it is good to use this method to segment the LED pixels from the captured image, and also it can avoid the segmented region of LED pixels with a dense distribution connecting together.

Key words: optimal threshold; area constraint; LED

收稿日期: 2012-04-11; 修订日期: 2012-06-15

基金项目: 国家科技支撑计划课题(No. 2009BAE73B03)

作者简介: 于洪春(1986—), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事 LED 大屏幕显示控制、视频处理等方面的研究。

* 通讯联系人, E-mail: xfzheng6598@yahoo. com. cn

1 引 言

发光二极管(Light Emitting Diode, LED)显示屏作为一种多媒体显示终端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显示屏的亮度非均匀度是衡量LED显示屏显示质量的一个重要指标。LED显示屏的亮度非均匀度即为LED显示屏中像素与像素之间发光强度的不一致性。LED显示屏的亮度非均匀度过高,就会表现出斑驳或马赛克等现象,影响LED显示屏的显示质量。LED是主动发光半导体显示器件,因此每颗LED的发光特性具有离散型,并且每个LED的衰减特性也不同,即使同一批次的LED器件,在使用一段时间后,也会表现出亮度不一致性问题。为了解决LED显示屏的亮度不一致性问题,人们已经提出了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-couple Device)数据采集方式的亮度校正技术^[3-5]。该方法主要通过CCD相机对LED显示屏进行亮度信息采集,然后通过计算机图像处理技术生成每颗LED的校正系数,反馈到控制系统中,达到校正效果。

基于CCD相机采集方式的亮度校正方法需要从采集到的CCD图像中分割出每颗LED像素的亮度信息,阈值法和边缘法通常采用两种分割LED像素的方法。采用阈值法处理可以得到较快的处理速度,但通常要求图像满足一定的数学模型,并且阈值的选择要准确,否则可能会出现斑驳或LED像素区域分割不清楚等现象。边缘法可以比较准确地提取出每颗LED的边缘,但缺点是在采集过程中必须使每颗LED的像素保持一定间隔,否则会严重影响采集边缘的效果,同时,边缘分割后还需要边缘连接和填充等算法以消除边缘断裂。除上述两种分割方法外,基于LED像素点几何特性的分割方法在LED像素点排列比较规则的情况下也被采用,如利用图像的水平投影变换及垂直投影变换获取LED像素点在图中的分布位置信息,综合LED像素点几何特性的先验信息实现对LED像素点的分割^[6]。但此类方法要求LED像素点排列规则,距离均匀且大小近似相等,否则会造成错误的分割结果,具有一定的局限性。本文提出一种LED像素分割方法,该方法引入面积约束准则,利用自适应最优阈值法来

分割每颗LED像素。首先生成灰度直方图,然后利用最优阈值算法结合面积约束生成最优阈值,最后,通过图像的阈值分割法将采集图像分割。后续处理中对目标区域相对应的感光像素点的灰度值进行累加即得到对应LED像素点的相对亮度信息,根据所得到的亮度信息进行LED显示屏的亮度非均匀度校正。

实验表明,本文提出的算法可以比较准确地分割出每颗LED像素点,为后续的LED亮度校正和识别提供了基本的保证。

2 LED的光学成像模型

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上含有的感光像素越多,提供的画面分辨率也就越高。在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亮度信息。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^[5]。

LED是非理想余弦分布的近朗伯光源的发光器件,其光强分布服从近朗伯分布^[6-7],因此单颗LED在CCD上的成像近似为圆形。一个LED显示屏上的像素点对应多个CCD感光像素,所对应的感光像素越多越有利于LED像素点阵分割。通常可以认为CCD感光像素的输出信号强度与其所接收的光信号的亮度呈线性关系,于是感光图像中像素点的灰度信息即可用来表征对应CCD感光像素点所接收的光信号的亮度。图1给出通过CCD相机采集得到的LED像素图像。



图1 CCD相机采集得到的LED像素图像

Fig. 1 Image of LED pixels captured by CCD camera

从图1中可以看出,采集到的图像中,单颗LED像素的形状近似为圆形;并且不同LED像素所对应的感光像素点的灰度值分布情况近似相

同;具有较高灰度值的LED像素点近似均匀分布在具有较低灰度值的背景中。因此只要确定阈值,利用阈值法即可比较理想地将LED像素分割出来。

3 最优阈值法分割LED像素点阵

3.1 阈值分割法

阈值法是最常见的并行的直接检测区域的分割方法^[8]。阈值法的基本原理是选择一个门限值 T ,然后,所有 $f(x,y) > T$ 的点称为对象点;否则就称为背景点。阈值法可以由公式(1)来表示。式中 $g(x,y)$ 为被分割后的二值图像, $f(x,y)$ 为感光图像, T 是阈值。

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) > T \\ 0 & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

应用阈值方法来分割灰度图像时一般要求被分割图像满足一定的图像模型:假设图像是由具有单峰灰度分布的目标和背景组成,在目标或背景内部的相邻像素间的灰度值的相关度很高,但在目标和背景交界处两边的像素在灰度值上有很大的差别。满足上述模型的图像通常可利用阈值的方法来较好地分割。

由上述对CCD采集图像的分析可知,单颗LED像素的成像近似为圆形,并且,越靠近圆心的像素,灰度值越高^[9-10],因此,LED像素采集图像比较好地满足上述的图像模型。以单颗LED像素为目标,黑色为背景,只要确定阈值参数,然后利用阈值法分割即可得到分割图像。

3.2 最优阈值算法

当采集图像的目标和背景的灰度值有交错时,用一个全局阈值并不能将他们绝然分开。这时通常希望减小误分割的概率,而选取最优阈值是一种常用的方法。

假设一幅图像仅包含两个主要的灰度级区域,我们将这些值看成是随机量,并且将其直方图看成是其概率密度函数的估计 $p(z)$ ^[11-12]。这个总密度函数可以看成两层密度函数的混合。一个是背景的密度 $p_1(z)$,另一个是目标的密度 $p_2(z)$ 。这样,描述整体灰度变化的混合概率密度函数可以表示为式(2)的形式。其中 P_1 是属于背景像素出现的概率, P_2 是属于目标像素出现的概率。

$$p(z) = P_1 p_1(z) + P_2 p_2(z) \quad (2)$$

假设任何像素不是属于对象就是属于背景,

根据概率定义则有公式(3)的约束条件。

$$P_1 + P_2 = 1 \quad (3)$$

由于阈值分割通常处理由两个单峰灰度分布的目标和背景组成的图像,因此可以假设目标和背景均满足高斯概率分布,则式(2)可以改写为如下形式:

$$p(z) = \frac{P_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left[-\frac{(z-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] + \frac{P_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left[-\frac{(z-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \quad (4)$$

公式(4)中 μ_1 和 μ_2 分别是背景和目标区域的平均灰度值; σ_1 和 σ_2 分别是关于均值的均方差。

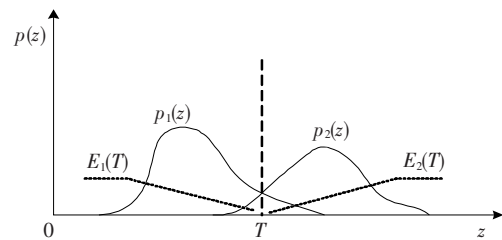


图2 最优阈值选取示意图

Fig. 2 The optimal threshold choice schemes

要将像素灰度值大于阈值 T 的像素归类为目标,其他像素归类为背景,主要的方法是选择一个阈值 T ,使得在决定一个给定的像素是属于对象还是背景时的平均出错率降至最小,如图2所示。假设 $\mu_1 < \mu_2$,此时错误地将一个目标像素划分为背景的概率 $E_1(T)$ 和将一个背景像素错误地划分为目标的概率 $E_2(T)$ 分别是:

$$\begin{cases} E_1(T) = \int_{-\infty}^T p_2(z) dz \\ E_2(T) = \int_T^{+\infty} p_1(z) dz \end{cases} \quad (5)$$

总的出错概率是:

$$E(T) = P_2 + E_1(T) + P_1 \times E_2(T) \quad (6)$$

为求得使该出错概率最小的阈值求其一阶极值点,得到公式:

$$P_1 \times p_1(T) = P_2 \times p_2(T) \quad (7)$$

将式(4)代入式(7)可以得到一个二次式:

$$\begin{cases} AT^2 + BT + C = 0 \\ A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \\ B = 2(\mu_1\sigma_2^2 - \mu_2\sigma_1^2) \\ C = \mu_2^2\sigma_1^2 - \mu_1^2\sigma_2^2 + 2\sigma_1^2\sigma_2^2 \ln\left(\frac{\sigma_2 P_1}{\sigma_1 P_2}\right) \end{cases} \quad (8)$$

由于二次方程有两个可能的解,所以要得到最优解需要两个阈值。如果两个区域的方差相等,即 $\sigma=\sigma_1=\sigma_2$,则此时只有一个最优阈值。

$$T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (9)$$

一幅图像的混合概率密度函数 $p(z)$ 的参数可根据最小二乘法借助直方图得到。 $p(z)$ 和实测得到的直方图 $h(z)$ 之间的均方误差为:

$$e_{ms} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [p(z_i) - h(z_i)]^2 \quad (10)$$

最优阈值即使 e_{ms} 最小的阈值,通过共轭梯度法求解。

3.3 面积约束

应用阈值法分割图像,虽然可以得到最优阈值,不过当采集图像中 LED 像素分布较密时,最优阈值分割的图像常会产生 LED 边界分割不清楚的情况,进而会使图像识别算法产生错误。通常阈值选择要满足一个额外约束条件:面积约束。面积约束的核心思想是通过对先验信息的预判得到目标和背景像素的比例,从而在直方图上限制阈值的取值范围。面积约束是单颗 LED 像素的分割图像和其所占背景之间必须满足的面积关系。此约束的目的是为了防止分割图像过大而导致出现 LED 像素连接的情况。面积约束可以用图 3 所示的模型表示。

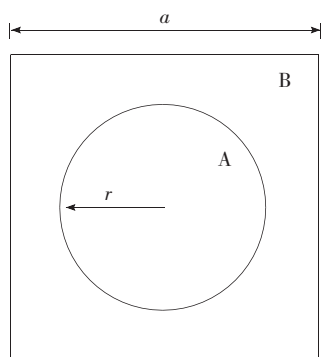


图 3 面积约束示意图

Fig. 3 Area constraint schemes

通过对 LED 的光学特性分析可以知道,单颗 LED 像素的成像近似于圆形。如图 3 所示,圆 A 表示单颗 LED 像素所占的区域,B 为方块背景。假设每颗 LED 的灰度分布大小和其背景均近似相同,那么实际分割得到的图像的分割区域和全部图像的像素比可以近似由图形 A 和 B 的面积比来确定。因为分割后,为了处理锯齿边缘,通常

要进行形态学膨胀处理,因此分割出的 LED 像素区域必须保有一定的余量,通常要求 r 和 a 满足以下条件公式:

$$\frac{r}{a/2} \leq K \quad (11)$$

由此条件可以计算出 LED 像素与背景的面积比:

$$S_A/S_B = \frac{\pi r^2}{a^2} \leq \frac{\pi K^2}{4} \quad (12)$$

面积约束可以应用灰度直方图的方法实现,并可以表示为公式(13)的形式,其中 T_s 为面积约束下的阈值, L_n 为灰度值为 n 的像素点的数量。

$$T_s = \operatorname{argmin}_{T_s} \left| \frac{\sum_{n=0}^{T_s} L_n}{\sum_{n=0}^{255} L_n} - S_A/S_B \right| \quad (13)$$

公式(13)的意义是:从灰度 0 开始,依次计算小于或等于 T_s 的像素数占采集图像像素总数的比例,如果该比值与 S_A/S_B 的差的绝对值达到最小,则 T_s 即为所求。

下面通过实验对阈值法分割及面积约束下阈值法分割的分割结果进行比较。分别应用阈值法及 $K=1/2$ 的面积约束下的阈值法对图 4 中给出的原采集图像进行分割,得到两种分割方法下的分割结果。图 5 为阈值法的分割结果,图 6 为面积约束下阈值法的分割结果。

比对图 5、图 6 中的 LED 像素点阵分割结果,可见应用面积约束下的最优阈值法分割 LED 像素点阵,可以在像素点阵较密集的情况下有效避免最优阈值法分割时出现的像素区域分割不清的状况。LED 的发光特性为中心最亮,沿着径向光强度逐渐衰减,为获取更多的亮度信息以保证

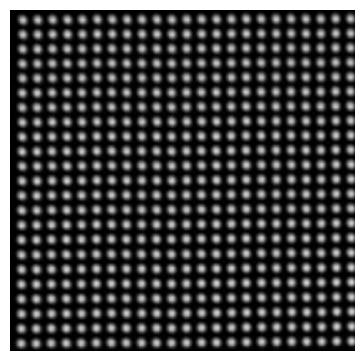


图 4 原采集图像

Fig. 4 Original captured image

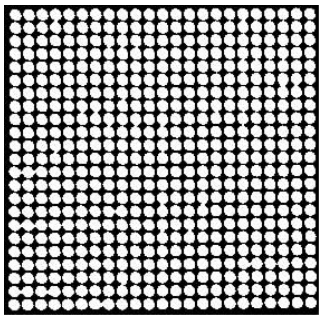


图 5 最优阈值法分割结果
Fig. 5 Image sliced by the optimal threshold

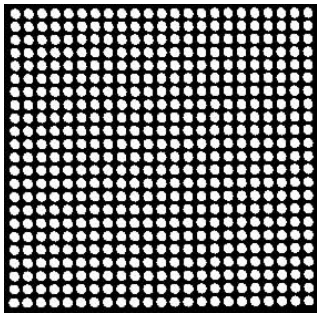


图 6 $K=1/2$ 时面积约束下最优阈值法分割结果
Fig. 6 Image sliced by the optimal threshold and area constraint with $K=1/2$

后续亮度校正的精度,分割得到的目标区域面积会略大于原图像中的高灰度级区域。表 1 中给出了两种分割方法具体的比较结果。

表 1 两种分割方法的比较		
Table 1 Comparison of the two methods		
	最优阈值法	面积约束下的最优阈值法
K 值	无	1/2
阈值	13	30
LED 像素点面积	较大	相对较小
分割效果	存在分割不清点	不存在分割不清点

4 结 论

根据最优阈值分割思想,提出增加面积约束以解决在采集图像中 LED 像素分布过密的情况下,LED 分割区域有几率连接在一起,从而造成 LED 像素区域分割不清楚的问题。实验表明,本文提出的方法可以比较有效地解决 LED 像素点阵的分割问题,从而为后续的 LED 像素点识别及 LED 大屏幕亮度校正提供基本的保证。

参 考 文 献:

[1] Critchley B R, Blbaxtan 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] 梁友苏,王光亮,黄凯乐. LED 大屏幕在电视台演播厅的应用 [J]. *现代电视技术*, 2010,8(3):112-116.

[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*, 2006,21(4):388-391.

[4] 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):929-936.

[5] 阮海蓉,夏贵勇. 基于照相的 LED 显示屏亮度校正方法 [J]. *液晶与显示*, 2012,27(2):193-197.

[6] 常宇,李志敏,梁军,等. 一种全彩 LED 显示屏亮度均匀性快速检测方法 [J]. *灯与照明*, 2009,33(4):33-35.

[7] 程万胜,赵杰,菜鹤皋. 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.

[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):2332-2337.

[9] 夏勋力,余彬海,麦镇强. 近朗伯光型 LED 透镜的光学设计 [J]. *光电技术应用*, 2010,25(1):22-25.

[10] 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.

[11] 章毓晋. 图像工程(中册),图像分析[M]. 第 2 版. 北京:清华大学出版社,2010:73-103.

[12] Rafael C, Richard E. *Digital Image Processing Second Edition* [M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2008:474-493.