

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105760

# 基于单纯形搜索的扫描图像自动色彩照明

段锦

(杨凌职业技术学院 信息工程分院 杨凌 712100)

**摘要:** 本文提出一种用主动色彩控制来检测平板显示器(FPD)系统扫描图像的方法,利用混合色源的大功率发光二极管(LED)和通信端口来调节光源亮度,混合光在经过扩束器并形成线束后照射到有源矩阵有机发光二极管(AMOLED)面板上。对扫描图像进行强度校正后,利用 Tenenbaum 梯度评估图像质量,结合单纯形搜索法(SSM)确定调光等级使图像质量最大化。每次扫描 AMOLED 面板后,光的颜色都会发生变化,并且会反复进行直到图像质量接近局部最大值,执行的扫描次数少于 225 次,调光等级组合的数量为 20 484 次。所提出的方法减少了检测设备的手动设置,实现用于获取高质量图像的自动色彩照明,对 FPD 的检测设备具有一定的实用价值。

**关键词:** 平板显示器;检测过程;扫描图像;混合色源;单纯形搜索法

**中图分类号:** TP273;TN249 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

## Automatic color illumination of scanned image based on simplex search

Duan Jin

(School of Information Engineering, Yangling Vocational &amp; Technical College, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In this paper, an active color control method is proposed to detect the scanned image of FPD system. The brightness of the light source is adjusted by using the high-power light-emitting diode (LED) and communication port of the mixed color source. The mixed light irradiates the active matrix organic light-emitting diode (AMOLED) panel after passing through the beam expander and forming a harness. After intensity correction, the image quality is evaluated by Tenenbaum gradient, and the dimming level is determined by simplex search method (SSM). Each time the AMOLED panel is scanned, the color of the light will change and will be repeated until the image quality is close to the local maximum value. The number of scans performed is less than 225, and the number of dimming level combinations is 20 484. The proposed method reduces the manual setting of detection equipment and realizes automatic color lighting for obtaining high-quality images. It has certain practical value for FPD detection equipment.

**Keywords:** flat panel display; detection process; scanned image; mixed color source; simplex search method

## 0 引言

平板显示器(FPD)已成为消费电子产品的重要组成部分<sup>[1]</sup>。目前,薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)是最常用的 FPD,而有机发光二极管(OLED)在智能手机中的应用越来越广泛。为了批量生产和提高产品质量,制造商通常会借助自动光学检测(AOI)<sup>[2]</sup>。FPD 通常尺寸较大,但其缺陷的大小约为数百微米。因此,手动检查 FPD 并不容易实现<sup>[3]</sup>。AOI 过程使用视觉系统识别 FPD 中的缺陷,如凹痕、划痕、黑点、白点和凹坑<sup>[4]</sup>。借助数学算法在图像中检测出缺陷,如自适应阈值法、傅里叶方法、离散余弦变换、周期参考条纹、学习化残差、霍夫变换、Gabor 小波和神经网络等<sup>[5]</sup>。并且这些技术已应用于 TFT-LCD 检测以及有源

矩阵有机发光二极管(AMOLED)检测。

现有研究仅关注缺陷检测,而忽视了采集过程中图像质量的研究。传统的半导体检测通常涉及特定区域的检查,而 AOI 通常需要检查 FPD 的整个区域。由于 AOI 具有较大的视野(FOV),与半导体检测相比,为 AOI 设置光学条件更加困难。在 AOI 系统中,线光源主要用于扫描过程中照亮检测区域。然而,线光源的亮度分布不均匀,通常需要借助手动调节光线角度<sup>[6]</sup>。在适当地调整相机的图像焦点之后,根据先前关于图像质量的经验来确定光源的颜色和亮度。AOI 系统通常由多个相机和光源生成大图像,很难重复地确定最佳的检查条件。因此,光照条件对图像质量影响很大,是影响 AOI 系统性能的关键因素。

本文提出一种自动色彩照明算法用于检测 FPD 图像

收稿日期:2021-01-28

• 94 •

的亮度和颜色,用于控制混合光源的激活、扫描图像的采集、不均匀亮度的校正、图像质量指数 (IQI) 的计算以及光源调光等级的调整。采用文献[7]的方法进行亮度校正,消除扫描后采集的原始图像亮度不均匀问题。由于获得的图像足够大,并且具有较小的周期性条纹,因此利用 Tenenbaum 梯度来计算索引。通过迭代单纯形搜索法 (SSM) 确定用于最大化图像质量的调光等级。将所提出的算法应用于 AMOLED 面板的扫描检测,用红绿蓝白 (RGBW) 光源照明 AMOLED 面板,而 SSM 用于确定 RGBW 光源相对于扫描图像的调光等级。

## 1 图像校正和索引

多线电荷耦合器件 (CCD) 相机和工业机器视觉技术可以获取 FPD 系统的扫描图像,与检测元件相比,混合光源和扩束器的精度不高,这会导致扫描图像中的照明不均匀并产生垂直条纹。通常需要图像校正进行调整。图像校正后,必须根据图像质量 IQI 的最大值确定光色和亮度。

### 1.1 基于混合光源的图像采集

FPD 的图像通常采用线扫描相机获取。线扫描相机具有线性 CCD 阵列,像素大小从 2 000~64 000。带有长主镜管的光学元件连接到相机的前部。光学元件的 FOV 远大于传统的普通相机。本文将 FPD 放置在工作台上,并沿着像素阵列在垂直方向上平移来获得扫描图像。线扫描相机的 FOV 中产生线光源,通过调整光学元件使光线和相机对准,图像焦点也可以通过调整光学元件来确定。设置完成后即可获得线图像,传送到帧抓取器并存储在计算机内存中。这些图像在扫描过程中积累在内存中,最终构成较大且连续的 FPD 图像。利用自动色彩照明算法进行图像校正、索引计算和单纯形搜索。在确定了调光等级后,混合光源驱动发光二极管 (LED) 的强度与调光等级成比例形成彩色。

使用光学元件将来自 LED 彩色的光集成到混合色光中,并通过光纤将混合光向外传输<sup>[8]</sup>。光纤连接到扩束器并在 FOV 中产生线性光,最终从图像采集到线性光生成形成一个反馈回路。图 1 所示为混合光源情况的 AOI 系统概念图,并利用扫描图像和混合光源生成建立了反馈回路。

### 1.2 图像校正

AOI 系统中也会造成光照不均匀的问题,还需对图像进行校正。图 2 所示为扫描 AMOLED 面板的原始图像。

原始图像包含了 AMOLED 面板的较小且周期性规则 (SPR) 条纹,并且亮度沿水平像素位置变化。水平像素的平均亮度可以表示为:

$$\mu_i = \frac{1}{N} \sum_j I(i, j) \quad (1)$$

式中:  $I$  为像素的灰度;  $(i, j)$  为像素在图像中的坐标;  $N$  为图像的垂直像素数量。

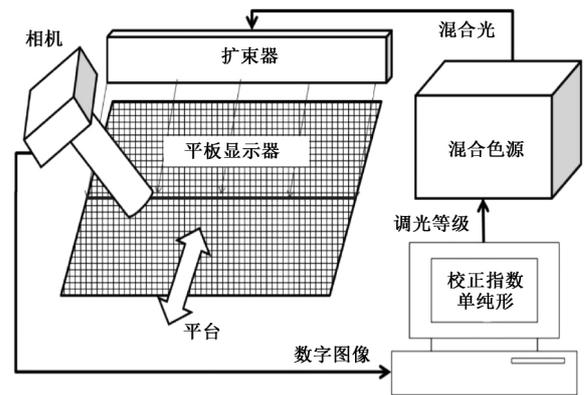


图 1 使用混合光源的 AOI 系统概念图

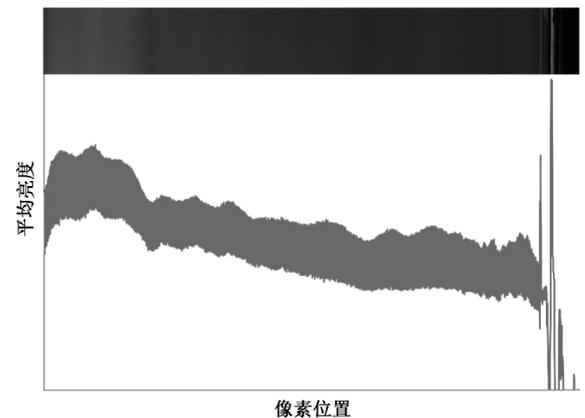


图 2 扫描 AMOLED 面板原始图像亮度的不均匀性

图 2 还显示了平均亮度的变化,这是由于图像充满了 SPR 条纹并且变化很小。因此,必须对亮度变化进行校正。选取整个图像的亮度作为校正的参考值,通过对灰度级进行平均得到:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{MN} \sum_i \sum_j I(i, j) \quad (2)$$

式中:  $M$  为图像的水平像素数量。

水平位置的校正系数  $\lambda_i$  由整个图像的亮度与水平位置的亮度之比给出,如式(3)所示。

$$\lambda_i = \frac{\bar{\mu}}{\mu_i} \quad (3)$$

将校正系数  $\lambda_i$  应用于整个图像的灰度级可以获得校正后的图像:

$$I'(i, j) = I(i, j)\lambda_i \quad (4)$$

这种图像校正通常使用参考表进行。然而,在本文中,由于图像主要由 SPR 条纹组成,并且 IQI 的评估采用无参考模型,所以每次扫描后都会对图像进行校正。

### 1.3 图像索引

利用水平和垂直 Sobel 算子<sup>[9]</sup>的卷积得到特南鲍姆 (Tenenbaum) 梯度。Sobel 算子作为机器视觉中常用的计算工具,其定义为:

$$\begin{cases} S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (5)$$

Tenenbaum 梯度可由水平和垂直 Sobel 运算后的平方和计算得出:

$$\sigma = \sum_i^M \sum_j^N [(I(i,j) \cdot S_x)^2 + (I(i,j) \cdot S_y)^2] \quad (6)$$

当单色光源的调光等级增加时,对亮度、标准差和 Tenenbaum 梯度进行评估,如图 3 所示。

最大的调光等级不同,但曲线形状相似。亮度是图像的平均灰度。因此,亮度根据调光等级而增加。亮度在高光照强度下达到饱和,标准差的锐度在 FPD 上使用 SPR 条纹的情况下达到饱和<sup>[10]</sup>。然而, Tenenbaum 梯度有一个

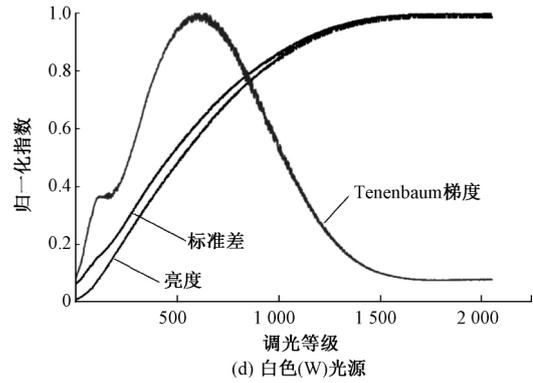
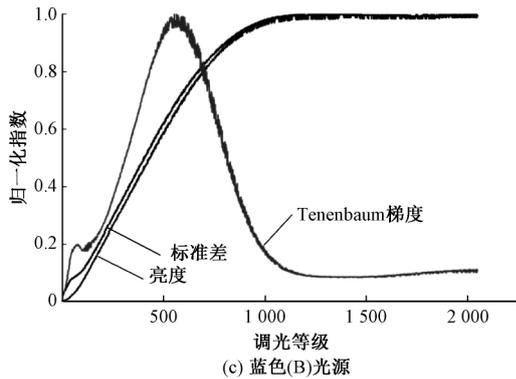
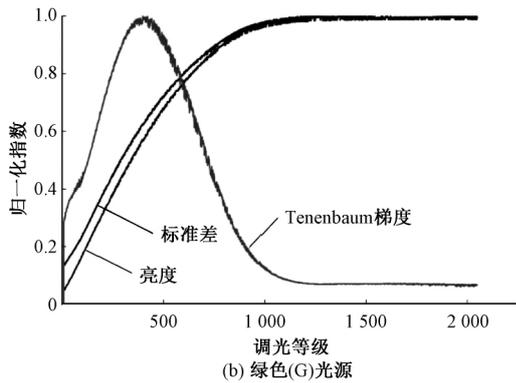
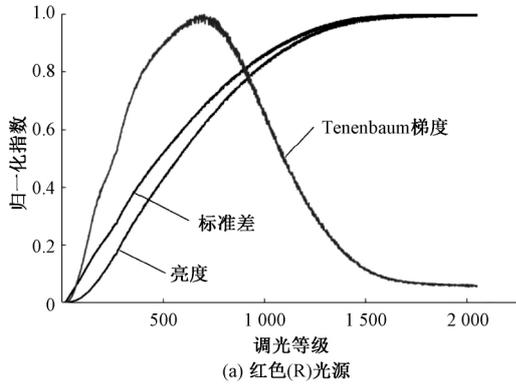


图 3 调光等级增加对归一化图像索引的响应

峰值,因此,可用作图像索引。由  $L$  个调光等级组成的多色光源向量为:

$$\mathbf{P} = (p_1, p_2, \dots, p_L) \quad (7)$$

调光等级与 Tenenbaum 梯度之间的关系可以用任意函数描述为:

$$\sigma = f(\mathbf{P}) \quad (8)$$

## 2 最大化图像质量

SSM 是一种多维且非导数的优化方法,对非线性、非光滑和复杂问题具有良好的收敛性<sup>[11]</sup>。SSM 还可用于半导体的自动色彩照明<sup>[12]</sup>和混合色源的颜色控制<sup>[13]</sup>。在  $L$  个调光等级的情况下,该方法使用  $L + 1$  个测试点构造一个单纯形。本文的混合色源分为 4 种颜色(RGBW)用于 LED。因此,单纯形有 5 个探测点。使用  $p$  值获得 Tenenbaum 梯度  $\sigma_1 \sim \sigma_{L+1}$ 。

探测点按照  $s$  值的降序排序,然后分配到  $Q_1 \sim Q_{L+1}$  中。最佳点为  $Q_1$ ,最差点为  $Q_{L+1}$ 。如果探测点是相互连通,则可以构造出具有三角形面的多维形状<sup>[14]</sup>。初始调光等级  $\alpha$  应用于探测点,如  $(\alpha, 0, 0, 0), (0, \alpha, 0, 0), (0, 0, \alpha, 0), (0, 0, 0, \alpha)$  和  $(\alpha, \alpha, \alpha, \alpha)$ 。单纯形的质心可以通过如下平均值来定义:

$$\bar{Q} = \frac{1}{L+1} \sum_i^{L+1} Q_i \quad (9)$$

在最差点  $Q_{L+1}$  和质心  $\bar{Q}$  之间延长线上的单纯形之外定义反射点:

$$Q' = \bar{Q} + \eta(\bar{Q} - Q_{L+1}) \quad (10)$$

如果反射点  $Q'$  优于最佳点  $Q_1$ ,则在该点之外定义扩展点:

$$Q'' = \bar{Q} + 2\eta(\bar{Q} - Q_{L+1}) \quad (11)$$

如果最佳点  $Q_1$  优于反射点  $Q'$ ,则在中线的单纯形内定义收缩点:

$$Q''' = \bar{Q} + \frac{1}{1+\eta}(\bar{Q} - Q_{L+1}) \quad (12)$$

如果收缩点  $Q'''$  仍然比单纯形差,则收缩点  $Q'''$  向最佳点  $Q_1$  压缩:

$$Q_{l,new} = \frac{1}{1+\eta}(Q_{l,old} + Q_1) \quad (13)$$

重复这些单纯形的变形,直到变形变得小于足够小的值为止。即终止条件为:

$$\frac{|\sigma_{max} - \sigma_{min}|}{|\sigma_{max} + \sigma_{min}|} < \epsilon \quad (14)$$

单纯形的大小通过将质心和探测点之间的距离相加得到:

$$\Delta = \sum_l^{L+1} \sqrt{(Q_l - \bar{Q})^2} \quad (15)$$

该方法的计算复杂度受图像大小和 SSM 探测点的影响,即复杂度为  $O[NM(L+1)]$ 。

### 3 实验研究

本文构建了扫描台来平移 AMOLED 面板,安装了线扫描相机和混合色源来采集扫描图像。使用 SSM 确定最佳的光色和强度,SSM 的代价函数是 Tenenbaum 梯度,本文将重点讨论在最佳光照条件下 SSM 和图像的迭代过程。

#### 3.1 实验设置

将扫描台安装在与地板振动隔离的光学台上,扫描台由电机、线性编码器、滚珠丝杠、直线导轨和上板组成。电机根据控制信号旋转滚珠丝杠,直线导轨利用滚珠丝杠的螺距在扫描方向上的平移。上板固定在直线导轨上,附着在该上板的 FPD 样本沿扫描方向平移。电机连接到驱动器,驱动器连接到 PC 外围设备互连(PCI)插槽上的运动控制器,变焦镜头和主镜管相连并连接到线扫相机的前部,使用来自混合色源的光纤将扩束器连接至光源<sup>[15]</sup>。将相机和扩束器放置在 FPD 样本上方,并倾斜这两个元件的角度以最大程度地减小图像的不均匀性。

线扫描相机连接到与 PC 的 PCI 4x 插槽接口的帧抓取器的 CAMERALINK 端口。混合色源通过 RS-232 端口连接到 PC。图 4 所示为光学平台上实验装置的结构。表 1 所示为系统的实验参数。表 2 所示为 SSM 的参数。

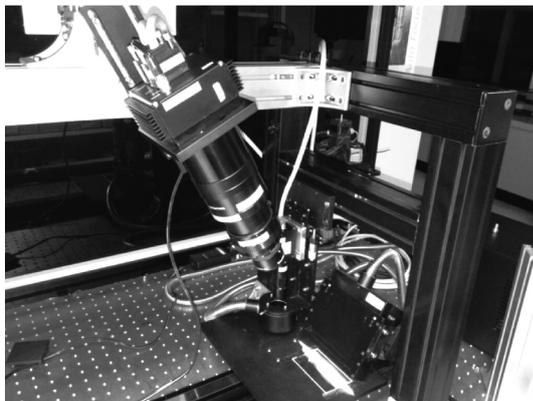


图 4 混合色源检测 AMOLED 面板的实验装置

通过改变单纯形的初始大小和收敛常数来研究 SSM 参数的影响,并确定这些参数的最佳组合。针对 SSM 对迭

表 1 实验装置参数

元件	型号	性能/版本
线相机	P24x08k40(Dalsa)	像素:8 k 帧速率:18 kHz 分辨率:8 bit
变焦镜头	Marko Symmar (Schneider)	F 光圈:5.6 焦距:120 mm 光的颜色:4
混合色源	KLS-150 (KwangWoo)	功率:150 W 分辨率:10 bit
帧抓取器	Solios eCL/ XCL (Matrox)	接口:CAMERALINK 内存:64 MB
平台	SAN4510-500PL (智能机器人)	行程:500 mm 有效范围:±5 μm
软件操作	MIL (Matrox)	9.1
系统	Visual studio (MS) Windows (MS)	2 008 7.0×64
FPD 样本	AMS369FG06 (三星)	型号:AMOLED 大小:3.7" 像素:480×480

表 2 SSM 的参数

符号	含义	数值
$\alpha$	单纯形的初始大小	128~1 024
$\eta$	收敛常数	0.2~1.0
$\epsilon$	终止条件	0.01
$L$	光的颜色	4
$M$	水平像素数量	8 192
$N$	垂直像素数量	1 024

代次数和每次迭代后 Tenenbaum 梯度的值的影响研究 SSM 的性能。

#### 3.2 实验分析

SSM 对所有参数变化都表现出收敛性。通过均等搜索确定的 Tenenbaum 梯度为 21 550,但 SSM 的一些结果显示该值远低于均等搜索的情况。通过应用初始单纯形大小为  $\alpha = 512 \sim 768$ ,可以得到 20 000 以上的 Tenenbaum 梯度。收敛常数  $\eta$  受 Tenenbaum 梯度的影响小于  $\alpha$ ,但受迭代次数的影响较大。在确定单纯形参数时,Tenenbaum 梯度的幅度是最重要的因素,但迭代次数也影响到处理时间。图 5 所示为初始单纯形大小和收敛常数对 Tenenbaum 梯度和迭代次数之间的影响关系。

当初始单纯形大小在较小范围内增大时,终止条件时 Tenenbaum 梯度变得更高。然而,Tenenbaum 梯度在中等范围以上退化。高收敛常数近似表现出较小的迭代次数。图 5 所示的趋势表明  $\alpha$  和  $\eta$  对 Tenenbaum 梯度图像质量有显著影响。因此,应选取 Tenenbaum 梯度较高且迭代较

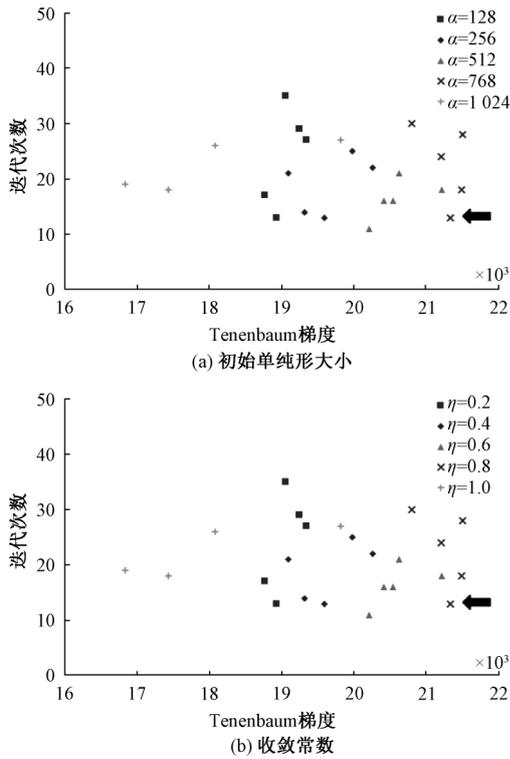


图 5 Tenenbaum 梯度与迭代次数之间的关系

小的情况,即从图 5 的右下角选择参数来获得最佳组合。

最佳参数组合在图 5 中用箭头表示,并选择  $\alpha = 768$  和  $\eta = 1.0$ 。在本例中,Tenenbaum 梯度为 21 342,迭代次数为 13。结果表明,与 Tenenbaum 梯度最大值 ( $\sigma > 20\ 000$ )相比,将处理时间减少 56%时,可以得到 99%的 Tenenbaum 梯度。

在最佳参数组合情况下,通过 Tenenbaum 梯度和单纯形大小的变化研究 SSM 的收敛性,如图 6 所示。

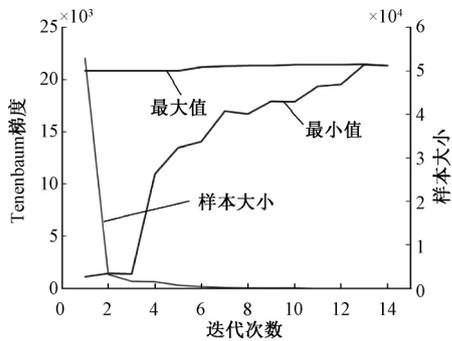


图 6 Tenenbaum 梯度与单纯形的收敛性

最小和最大 Tenenbaum 梯度收敛到一个值,并且它们的差值减小到 0。单纯形大小在初始迭代时最大,但随后在迭代结束时减小到 0,这表明了 SSM 的收敛性。如图 7 所示,通过与 Tenenbaum 梯度和校正后的方差进行均等搜索得到 AMOLED 面板的扫描图像,进而得到具有 Tenenbaum 梯度的 SSM 的最佳参数。

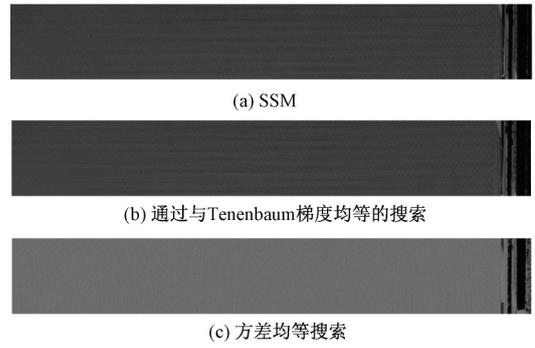


图 7 AMOLED 面板的扫描图像(8 192×1 024)

图 7(a)和(b)中基于 Tenenbaum 梯度优化后的图像表现出相似的内部条纹亮度和清晰度。然而,图 7(c)中使用方差优化后的图像与图 7(a)和(b)中的图像相比过于明亮且粗糙。通过放大图 7 的左上角区域得到图 7 中图像的 SPR 条纹,如图 8 所示。

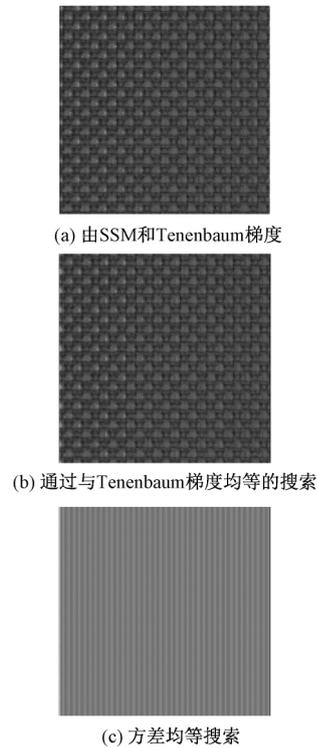


图 8 AMOLED 面板的 SPR 条纹图像(256×256)

使用 Tenenbaum 梯度优化得到的 SPR 图像更加清晰,而使用方差优化得到的 SPR 条纹图像则呈现饱和。SPR 条纹以及面板边缘的大条纹清晰可见,SPR 条纹的亮度呈现均匀。执行的扫描次数在  $13 \times 5 = 65$  次到  $45 \times 5 = 225$  次之间,且调光等级组合的数量为 20 484 次。然而,均等搜索的扫描次数和调光等级组合均为  $45 \times 45 = 2\ 025$  次。因此,所提出的 SSM 可以极大地减少确定 Tenenbaum 梯度有用值所需的迭代次数。这表明使用所提出的算法可以在实际的检查系统中实现自动色彩照明。

## 4 结 论

本文提出了一种基于混合色源的自动色彩照明单纯形搜索方法,并应用于 FPD 扫描图像的自动检测。图像通过扫描大面积的 FPD 进行采集,在线性 CCD 列阵方向对扫描图像的亮度进行校正以此消除光学元件的不均匀性。采用 Tenenbaum 梯度作为图像质量的指标,扫描具有 SPR 条纹。通过调整混合色源的调光等级将 SSM 应用于最大化 Tenenbaum 梯度。针对 AMOLED 面板进行测试,并通过考虑较高的 Tenenbaum 梯度和较少的迭代次数来确定最佳参数。通过 SSM 进行的扫描次数远低于通过均等搜索进行的扫描次数,因此,使用所提出的方法可以实现用于获取高质量图像的自动色彩照明。同时,本文方法仅对 AMOLED 面板自动彩色照明进行研究,在未来的研究中将推广到 IPS LCD 等更高级的显示屏自动彩色照明。

### 参考文献

- [1] 李海霞,张衡. 液晶模组自动光学检测算法研究[J]. 电子测量技术,2020,43(13):95-98.
- [2] 邓璘,王琳,盛步云,等. 基于变邻域蚁群算法的自动光学检测路径规划[J]. 计算机工程与设计,2020,41(2):354-360.
- [3] 李玉成,李永田,伍逸枫. 单色多功能显示器(MFD)扫描工作原理[J]. 电子世界,2019(24):5-8.
- [4] 李文龙,袁纵横,孙伟. 一种 PCBA 图像的快速定位方法[J]. 电子科技,2018,31(12):63-67.
- [5] 卢荣胜,吴昂,张腾达,等. 自动光学(视觉)检测技术及其在缺陷检测中的应用综述[J]. 光学学报,2018,38(8):23-58.
- [6] 蒋仕龙,林斌,陈剑雄,等. PCB 缺陷检测上下料系统的应用研究[J]. 机电工程技术,2018,47(8):97-100,252.
- [7] 原渊. 基于 ORB 特征描述子与随机森林的条码缺陷识别算法[J]. 国外电子测量技术,2019,38(7):61-64.
- [8] 吴应桦. 混合光交换网络失效数据恢复方法仿真[J]. 计算机仿真,2019,36(4):404-407,424.
- [9] 朱寒,林丽,陈德全,等. 基于多方向改进 Sobel 算子的 PCB 图像定位校正方法[J]. 电子测量与仪器学报,2019,33(9):121-128.
- [10] 胡一冰,唐晨,陶珊. 基于多尺度 Retinex 算法的光干涉条纹图像增强[J]. 激光与光电子学进展,2019,56(24):124-131.
- [11] 封京梅,刘三阳. 基于单纯形法进行局部优化的人群搜索算法求解绝对值方程[J]. 吉林大学学报(理学版),2019,57(5):1075-1080.
- [12] 汤文兵,陈亚楠,张牧. 一种引入单纯形法的能量均衡路由算法[J]. 计算机技术与发展,2019,29(3):55-59.
- [13] 胡锦帆,张晓伟,袁岐江,等. 一种基于单纯形搜索的粒子群优化算法[J]. 计算机应用研究,2020,37(1):71-75.
- [14] 王彪,鹿洪飞,李奥奇,等. VCSEL 激光光源的单光路 TDLAS 氨气检测系统的研制[J]. 激光杂志,2020,41(5):57-61.
- [15] 王智宏,孙澎勇,王豫哲,等. 基于过程控制的机载高光谱定标光源的快速稳定恒流源研制[J]. 仪器仪表学报,2019,40(11):40-47.

### 作者简介

段锦,讲师,主要研究方向为图形图像处理方向。

E-mail: qiugua24368585@163.com