

# 机载液晶显示的均匀性检测技术研究

## Research on Uniformity of LCD in Airborne Environment

中航华东光电有限公司 陆小松  
安徽省现代显示技术重点实验室 潘立豹  
特种显示技术国家工程实验室 沈健  
合肥工业大学光电研究院 冯奇斌

**[摘要]** 对航空机载环境下由于温度、振动和加固型液晶显示模块原材料及设计缺陷等多种因素影响所导致的光度和色度均匀性问题进行了探讨,归纳了几种典型的不均匀现象及其成因,总结了目前平板显示领域衡量均匀性的方法及其优劣,提出了利用机器视觉和图像增强手段测量和评估机载显示静态缺陷的方法。

**关键词:** 航空 液晶显示 均匀性 机器视觉

**[ABSTRACT]** Photometric and colorimetric uniformity problems caused by extreme thermal condition, mechanical vibration and other material or design defect of ruggedized liquid crystall module are discussed. Several typical types of non-uniform and possible causes are inducted. The common measurement procedure at present is introduced and commented. A new method with machine vision and image enhancement for airborne display measurement and evaluation is proposed.

**Keywords:** Aviation LCD Uniformity Machine vision

迅速发展的航电设备产业当前备受关注,由于液晶显示具有低能耗、高可靠性和安全性、数字化接口等优点,目前国际上各类飞机例如大型客机、大型运输机、支线飞机、直升机等航电系统均普遍采用有源矩阵液晶显示取代过去的机械仪表指示和阴极射线管显示,作为玻璃化座舱实现综合信息显示的主要设备。然而航空应用对于其显示器件在高低温、振动或其复合环境下的适应性具有较高要求,除了要求长寿命不出失效性故障外,由于空中任务的并发性、瞬时性,显示终端直接关系着人机信息交互的效能,对于显示的图像质量也要求较高。有源矩阵LCD虽然不像CRT那样存在易畸变失真、易受磁场干扰等问题,但由于其显示介质是对振幅和位相均敏感的背照明透射型材料,某些均匀性缺陷也会影响到飞行员对于色彩灰阶要求较高的显示画面如数字地图等的观察效果。因此随着现代航电系统的升级,显示设备功能越来越集成化,任务越来越多样化,与图像

质量有关的显示问题也越来越被重视。

### 1 航空液晶显示均匀性缺陷的分类和成因

液晶显示的图像缺陷按照是否与时间维度有关可以分为动态缺陷和静态缺陷。凡是其成因或表现不随时间改变或缓慢变化的缺陷称为静态缺陷,反之则称为动态缺陷,例如动态噪点(Dynamic Noise)、残影(Residual Image)、闪烁(Flicker),等。对于静态缺陷,又按照其空间频率和聚集尺度特征分为精细缺陷(如 pixel defects)、周期性缺陷(如 Moire fringe)和宏观非周期缺陷(如各种 Mura)。

本文所要研究的均匀性问题,主要关注静态、大尺度、非周期性的缺陷。在此类均匀性缺陷中,可以进一步按照成因分为与显示介质固有特性有关的本征缺陷和与显示器件架构布局、生产工艺流程、工作环境有关的过程缺陷。

显示介质就是指液晶面板,以目前市场上出货量最大的平板电视和桌面终端用液晶面板为例。从观察者的方向看,其物理构成依次为前偏光片,前基板玻璃,滤色膜(CF),取向层(PI),液晶分子及间隔子,薄膜晶体管(TFT),后基板玻璃,后偏光片。每一层材料在平面各处的光谱透射性质都将影响整个液晶面板对背光的空间调制和频谱变换特性。液晶面板的制程主要分为成盒(cell)和制版(array)工段,除了板、膜原料自身的均匀性外,成盒过程中几乎每道工序,如配向摩擦、滴注液晶、间隔子散布、框胶固化、机台贴合等,都不可避免地会积累某些外源性局部异常,直接影响液晶盒成型后的透射均匀性。此外在array阶段,电气布线方面不合理和曝光等工序控制不佳也将间接引起各像素处TFT控制液晶偏转的效果不一,影响到特定灰阶下的均匀性。这些不良经过液晶面板厂商的品质控制,在出品时已经能控制到较低的出现几率和影响程度,对于一般性应用不会造成显著影响,但是仍有一些隐性的不良会在特殊的使用条件下被加强和呈现出来。

此外,即使液晶面板本身不存在局部缺陷,在加固

为航空显示所需的模块时,会由于加固材料和加固过程带来新的均匀性问题。加固的目的是为了保护较脆弱的液晶面板和电子器件,使其不会在振动、高低温、潮热、盐雾等特殊环境中产生可靠性问题,以及降低表面反射、屏蔽内外电磁辐射干扰,同时满足高动态范围亮度控制、低温正常工作等航空显示必备的功能。加固最主要的措施是在液晶面板前后通过光学胶分别粘合一块屏蔽滤光片和平板加热器,并与结构之间通过具有一定形变余度的胶、泡棉等材料与金属外壳隔离。但粘合后由于各部分材料热性能和机械特性的不一致,尤其是在高温或低温环境中,可能会出现局部应力或应变,导致显示异常。此外单纯的温度或电场因素也会导致局部液晶偏转异常造成显示不均,还有来自于背光的不均匀性。

## 2 目前衡量显示均匀性的常规方法及其问题

对于液晶显示设备的均匀性,一般采用对称多点取样测量亮度、色度,然后利用均匀性或色差公式计算极端偏离值的方法。

关于取样方式和取样点的数量,不同的标准文档中有不一样的规定。例如, VESA 平板显示测量标准中建议了 9 点和 5 点两种取样方式<sup>[1]</sup>(图 1 (a)、(b)), SAE ARP 4260A 航空平板显示光度色度测量方法中示例的是 13 点测量法(图 1 (c)),而国内的电子行标 SJ/T 11344-2006 和航空军标 SJ 20987-2008 都采用了 9 点取样法。不同的面板厂家执行的标准也不一样,或者兼行几种方式。例如,执行 9 点测试法的有友达、日立、夏

普用于尺寸适中、形状规则、仅需要少量抽样统计的情形。但对以下情况,其缺点就充分体现出来。

通常的亮度计物镜视场与灵敏度之间具有关联性<sup>[2]</sup>。如果显示区域面积不大,被取样点分割的区域,其对探测器形成的有效视场角过小,那么实测的亮度将不具有区域代表性,甚至在边缘区域会把边框、背景的发光性质也统计进来造成测试失准。目标尺度过小也较难实现探测器和取样目标点的精确对位。这对于一般的平板电视、桌面终端均影响不大,但对于航空显示,液晶模块尺度有时低于 2.45cm (例如头盔显示像源),其取样均匀性的测量将难以保证有效性;对于航空显示有时会用到的非矩形显示面的异型显示,想做到均匀、对称取样尤为不便。

根据以上最大偏离值计算方法,亮度均匀性计算复杂度尚不大。对于 9 点取样色度均匀性,至少要进行  $C_9^2 \times 5 = 180$  次运算,而 YIQ 算法更加复杂,这使得人工采集和计算的工作量极庞大,一般的光度色度测试设备对于计算参量不能做到可编程扩展、可自主定义。

对于有限离散点取样和计算得到的结果,分辨率不够,包含信息量太少,无法直观反映不均匀现象的特征。例如哪些地方出现不均匀,其聚集密度怎样,形态如何,进而判断不均匀性产生的原因,而这对于航空显示器设计是至关重要的。

由于逐点取样,测试无法实时记录和连续跟踪,等所有点测试完全,不均匀程度和出现区域有时已经发生变化(尤其是亮度较低、探测器需要较长积分时间的情形),所以无法反映不均匀的动态变化特征,无法判断外

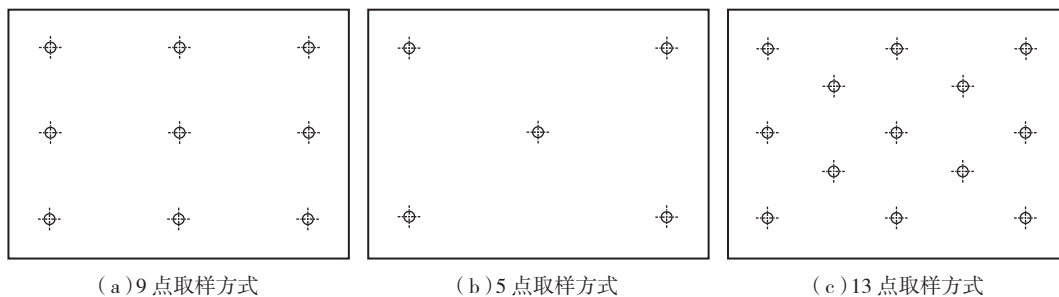


图1 三种常见的均匀性取样方式  
Fig.1 Three common types of sampling uniformity measurement

普,执行 5 点的有 Hydis、NEC、奇美、三菱、夏普、LG,执行 13 点的有三星、LG。即使同样的取点数,取点位置的规定也有所不同。例如同为 9 点法, VESA 标准中要求边距占 1/10,而夏普为 1/6,日立为 1/4,国内电子行标为 1/9。

取得样本点数据后,亮度均匀性的定义可以采取正负面两种指标评价方式,由样本统计极值、均值、标准偏差等进行计算。以上均匀性测试、计算和表示方法适

界环境因素对不均匀性的影响。

## 3 利用机器视觉和图像增强提取均匀性特征

在平板显示领域,通过机器视觉和图像处理方法提取图像特征分析显示缺陷在十余年前就已经有人提出<sup>[3-4]</sup>,但用于分析航空机载显示均匀性缺陷的内在机制尚未有文献提及。

我们利用机器视觉方法对某种因素导致的某型机

载液晶显示模块色度不均匀性进行了分析。图像记录设备采用 DALSA 工业相机,标准 PCI 视频采集卡,云台和镜头通过手动调整,以设定帧速抓取的图像保存为位图。通过 Matlab 图形工具箱对图像 RGB 数值矩阵进行灰度变换和增强处理,通过不均匀区的二维灰度分布来分析这种色度不均匀性的程度、分布、变化特征,与我们同时记录的液晶面板平面温度分布、应力分布图进行对比,从而发现了其关联特征。

在图 2 中(a)为摄得显示纯色画面的原始照片,可以发现在右侧及下缘出现程度不同的发黄现象。如果仅仅对其图像按照  $R:G:B=0.299:0.587:0.114$  到 NTSC 空间的映射关系进行灰度变换则得到图 2(b)的图像,发现右边异常区域不明显,表面这种色度异常并未引起显示亮度均匀性的显著变化。我们根据其异常区的色度特征,按照  $(aR+bG)/cB$  的仿射变换,并对获得的二维矩阵进行灰度增强、自适应滤波、动态范围修正,得到图 2(c)的图像。可以看到相比于原图既保留了不均匀区域的形态分布特征,又使图像得到层次丰富的增强,同时还发现在原图上和凭肉眼观察显示模块均未发现的现象(斜条纹)。通过图像在空间频域上的分析可以鉴别出反衬度较低的莫尔条纹,其间距和朝向反映了模块内部多重周期界面之间的拍差或不平整表面的倾斜度。图 2(c)还可进一步经过边缘提取、面积计算、

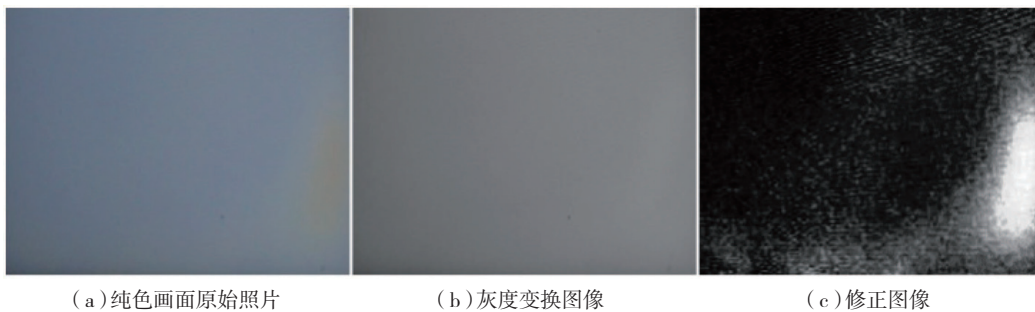


图2 某型模块色度不均匀性的图像分析

Fig.2 Graphic analysis of colorimetric non-uniform of certain type of LCM

梯度矢量绘制等得到异常区的定量表征。

我们通过对色度异常点位置和形态的判读找到了液晶面板绑定工艺中的一个不利因素,并借助异常区域边缘梯度变化曲线判断出该因素在  $55^{\circ}\text{C}$  附近趋于稳定,据此制订了相应的改善措施,取得较好效果。这对于我们以往单凭视觉感官和亮度、色度取样均匀性测试结果来分析定位是难以做到的。

## 4 结论

航空液晶显示由于其显示画面特点和使用环境的复杂性,对显示均匀性的要求与寻常的家用商用显示设

备相比有很大差别。

由于市场容量的原因,目前几乎没有专门生产航空级液晶面板的厂商,航空显示设备所用面板,一般都是在市场货架产品(COTS)中,选取车载、工业等高端面板,在某些方面适当加严要求,订制、筛选或替换部分材料二次加工得到,因此,也缺乏相应的标准约束。由于航空应用对于人机功效、可靠性和极端环境适应性具有较高要求,而加固型液晶模块采用的面板供货来源复杂,通过航空显示设备的标准分解和传递到上游面板是一项异常复杂艰巨的工作。目前市场条件下也缺乏相应的推动力。例如,对于显示色差定义、测试方法, VESA FPD Measurements 等显示行业通行国际标准和机载显示的国军标、行标之间就存在显著不一致,国内面板厂商技术和设备大多引进自日韩系,其出产的面板沿用的规格要求并不能满足航空显示的离散度控制条件。

对于面板和模组的色度均匀性问题,我们采用的机器视觉加图像处理方法,能够较好地实现度量空间的自由定义和变换,使关注特征更凸显,便于实现在线检验和连续实时跟踪,且对于测量目标的尺寸、形状没有特别的限制。借助上述手段,我们深入分析了加固型液晶模块研制中积累的大量数据,摸索出从成熟度较高但专门性不强的基本组件到特定终端使用环境下显示均匀性之间的关联和传递规律。尽可能通过环境应力筛选、

工艺流程和产品架构改进以控制过程缺陷的发生几率和影响程度,最大限度地解决供给和需求、成本和品质的矛盾。这对于提高机载显示效能,防止飞行员的视觉疲劳和态势误判具有重要意义。

## 参考文献

- [1] VESA Display Metrology Committee. Optical measurements - photometric and colorimetric: Uniformity. Flat Panel Display Measurements Standard (Version 2.0), 2001, 306: 115-120.
- [2] 金伟其,胡威捷. 辐射度、光度与色度及其测量. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 216-218.
- [3] Mori Y, Tanahashi K, Yoshitake R, et al. Extraction and evaluation of mura images in liquid crystal displays. Proceedings of SPIE, 2001, 4471: 299-2001.
- [4] Kim J H, Barsky B A. Human vision based detection of non-uniform brightness on LCD panels. Proc. of SPIE-IS&T Electric Imaging, 2006, 6070: 1-6.

(责编 日午)