

调校与优化显示器影像质量 二维色度计量测方案崭露头角

色度计系调校与优化显示器影像质量常用到的重要工具之一，且为近年来提升影像质量的发展重点之一。本文将介绍目前市面上的二维色度计，透过实际的实验说明其使用方式，并讨论未来的发展趋势。

二维影像式色度计渐获重视

图像(Picture)有时也称为影像，Pix 是 Picture 的常用缩写。像素，又称画素，为图像显示的基本单位，译自英文 Pixel，加上元素(Element)，表示图像元素之意，有时亦被称为 Pel(Picture Element)。此讯息元素不是一个点或者一个方块，而是一个抽象的采样。仔细处理，一幅图像中的画素可以在任何尺度上看起来都不像分离的点或者方块；但是在很多实际应用情况下，它们采用点或者方块显示。每个画素有各自的颜色值，可采三原色显示，因而又分成红、绿、蓝(RGB)三种子画素，或青、洋红、黄和黑(打印机中常见)。单位面积内的画素越多代表解像度越高，所显示的图像就会越清晰。

谈及图像质量(Picture Quality)与影像质量(Image Quality)，不论中英文通常代表相同的意思。要达到良好的显示器影像质量通常要经过三个阶段，分别是硬件筛选的技术能力、复制影像的技术能力及优化影像的技术能力。传统上硬件筛选技术能力指的是透过色度计之类的装置，针对待测的 A 显示器与 B 显示器进行光学特性的量测。

为了有效的复制与捕捉影像，摄影爱好者透过内建电荷耦合组件(Charge Coupled Device, CCD)搭配 RGGB 拜尔滤镜(Bayer Filters)的数字相机，再加上后制处理过程来达成其所希望的影像质量。在 1990 年代初，对天文学家或天文摄影爱好者而言，经冷冻的 CCD 亦广泛应用于天文摄影与各种夜视装置，而各大型天文台亦不断研发高画素 CCD，以拍摄极高分辨率的天体照片。至于显示器复制影像的能力通常是透过图像处理 IC 来改变与调整 B 显示器的光学特性，使得 A 与 B 显示器的光学特性达到某个程度的相似性，一般是采用人工方式确认相似性。

在显示器影像质量的确认与光学特性的量测上，由于传统的单点式色度计仅是单点量测，若要进行空间多点或单一点多次灰阶量测，其量测时间相当冗长，需数十分钟甚至数小时。也因此，近年来光学特性的量测设备回到天文学家与摄影爱好者所使用的二维数组式 CCD，再加上 x,y,z 滤镜，亦即使用二维影像式色度计(2D Colorimeter)取代单点式，而在使用上有相当多的量测与校正项目须特别注意，如量测的动态范围、辉度平场校正、量测装置均匀度、及线性度的校正等。

谈到光学特性的验证，许多厂商已经开始注意快速验证的需求，如近期热门的商品与话题如 3D 显示器、LED 背光的 LCD TV、触控式显示器及软性显示器中的双稳态电子纸阅读器，这些产品都需要更快速的量测装置。

论及二维色度计的现况，图 1 为目前市面上较为普遍的 2D Colorimeter。表 1 是根据各家公布的产品规格整理的。可以看出各家都开始朝向减重、可变焦聚、高讯噪比与缩短量测时间的方向发展，且各家的辉度(Lightness)与色度精确度(Accuracy)分别达到 2%及 0.003 的水平，显示此项仪器已达到成熟的阶段。



图 1 二维色度计(由左至右为丹麦 Delta 的 iCAM、美国 Radiant Image 的 PM1600、日本 Konica Minolta 的 CA2000、TOPCON 的 UA1000 及法国 ELDIM 的 Umaster。)

Company	Topcon	Konica Minolta	Radian Image	Eldim	Delta
Model	UA 1000	CA 2000	PM1600	MURATest	ICAM 3FW
解析度	1360x1024	980x980	1024x1024	1536x1024	1280x960
量测时间	~5sec	5~98sec	7~20sec	3sec(L), 7.5sec(color)	< 2sec typical
量测辉度(cd)	0.005~100,000	0.1~5000	0.005(min)Max: 10 ⁴ 10(with ND)	0.05~5,000(W/O ND) Maximum sensitivity: 0.0001cd/m ² 0.00005(0.5deg), 0.005(0.1 degree) ~500,000(with ND_)	0.00005(0.5 deg), 0.005(0.1 degree) 3x10 ⁶ (max)
测定距离	750mm~	500mm~	NA	NA	225mm~
辉度分解能	16bit	NA	16bit	16bit	1350:1(S/N)
辉度精确度 ±	2%(A光30cd/m ²)	3%	3%	3.00%	L/L < 1.5%
色度精确度 ±	0.003(@A光30 cd/m ²)	0.005	0.003	±0.002 CIE(x,y) on A type illuminant, 0.005 RMS CIE(x,y) on any color stimulus	Chromaticity 2): Cab < 1.0 , x < 0.0020 , y < 0.0015
辉度重复性 ±	0.50%	0.50%	0.05%	0.5% Short term	0.035%
色度重复性 ±	0.002	0.001	0.0006	±0.002 on one pixel, ±0.0002 on 100 pixels Short term	0.0002
Field of view (F.O.V)	Vertical: ±5.4° (15.9 Wide), Horizontal: ±4.0° (12.4 Wdie) @ 1000mm distance	±11.8°	5~80 degrees	± 8°, F# 5.9, ±9°, F# 5.9, ± 16°, F# 4	Vertical: ±5.1°, Horizontal: ±6.7°, F# range: 4 - 28, Focus: 225 mm - ∞
Weight	10.6kg	3.5kg	4.8 kg	6kg	3.7kg

符合 FPD 色彩校正要求 快速色域验证技术挑大梁

为了符合准确度和消费者青睐，色彩校正和调整(相关色温、饱和度和辉度)对平面显示器(FPD)的制造商是相当重要的过程。为达到这些目的，许多标准和算法调整结果的评价对于证明和进一步修改算法，至关重要；以往是由单点色度量测或主观实验观察来完成。前一种方法提供定量且与内容无关的结果，但缺乏平面显示器待测影像的全部信息；后者则提供更多感性和定性规则可进行调整，但最终可能会导致不可靠和费时的结果。为了填补这两种方法的间隙，本研究运用二维色度计进行系统性的量测结果分析提供一个评价分析方法。

以往平面显示器的量测标准，常用的有 VESA FPDM 2.0 与 IEC 61966 以及 ISO 9241-306 等，量测系统如图 2 所示，量测仪器为校正之单点式光谱式辉度色度计，架于 XY 平移台；待测显示器以计算机或图案产生器(Pattern Generator)输入讯号，依据标准量测程序进行显示器色彩量测。量测项目包括：暖机时间(Warm-up Time)、光谱特性(Spectrum)、色域(Gamut)、对比(Contrast)、转换矩阵(Transfer Matrix)、阶调特性(Tone、Gamma)、色再现(Color Reproduction)、

均匀度(Uniformity)、色彩追迹(Color Tracking)、背景相依度(Dependency of background)与可视角(Viewing Angle)等量测方法与条件如表 2。

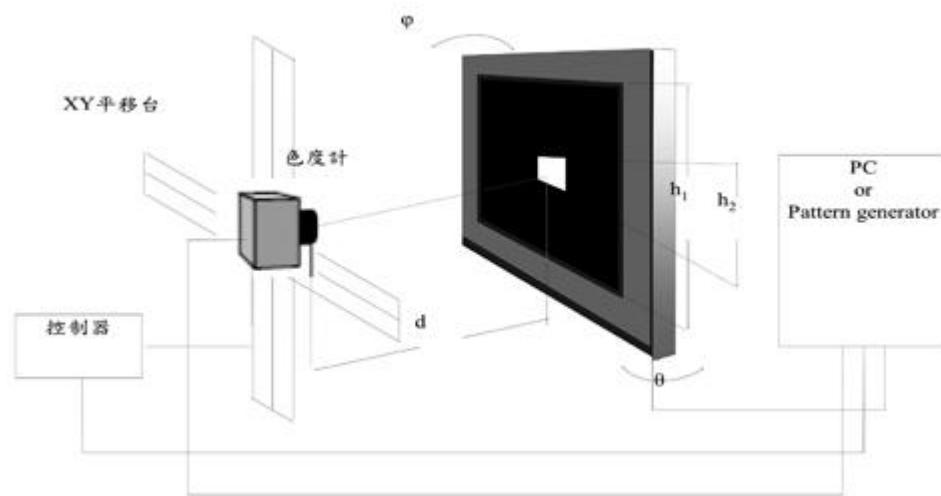


图 2 FPD 客观量测系统架设示意图

項次	量測項目	測試圖案	備註	量測方法
1	暖機時間(Warm-up Time)	Box	W(255,255,255)	1.每隔1分鐘量測1次 2.共量測120分鐘 3.量測X, Y, Z,CCT
2	光譜特性、輝度、對比、色域、轉換矩陣	Box & Full	峰值R, G, B, W	依序量測各測試Patterns之X, Y, Z,CCT, 光譜
3	階調(Gamma)	Box & Full	R, G, B, W 0~255每隔t	依序量測各測試Patterns之X, Y, Z,CCT並記錄之
4	色再現 (Color reproduction)	Box & Full	LUT之24色 sRGB之24色	依序量測各測試Patterns之X, Y, Z並記錄之
5	均勻度(Uniformity)	Full	R, G, B, W 0~255每隔t	依序量測各測試Patterns之X, Y, Z,CCT並記錄之
6	色彩追跡(Color tracking)	Box & Full	R, G, B, W 0~255每隔t	依序量測各測試Patterns之X, Y, Z並記錄之
7	背景依靠度 (Dependency of background)	Box & Full	R, G, B, W 0~255每隔t	依序量測各測試Patterns之X, Y, Z並記錄之
8	可視角	Box	W(255,255,255), K(0,0,0)	每隔5度角量測

如果运用单点式色度计，撇开第一项暖机时间，完成完整量测约 6?7 小时，相当耗时且无效率，却是目前的量测方式。接着将透过二维色度计量测两台平面显示器 FPD-A 与 FPD-B 的实验结果，以说明运用二维色度计的优势。

客观评价流程示意图如图 3。由计算机控制器建立影像用于测试调整算法，然后输出到平面显示器。从 X、Y 和 Z 分布计算色度参数 L,a,b 以及直方图的分布，如图 4 为用于此项研究的原

始影像。其中的#1和#2影像是从ISO 12640-2所挑选，#3影像是D65光源照射下的检查色块(Macbeth Color Checker)照片。

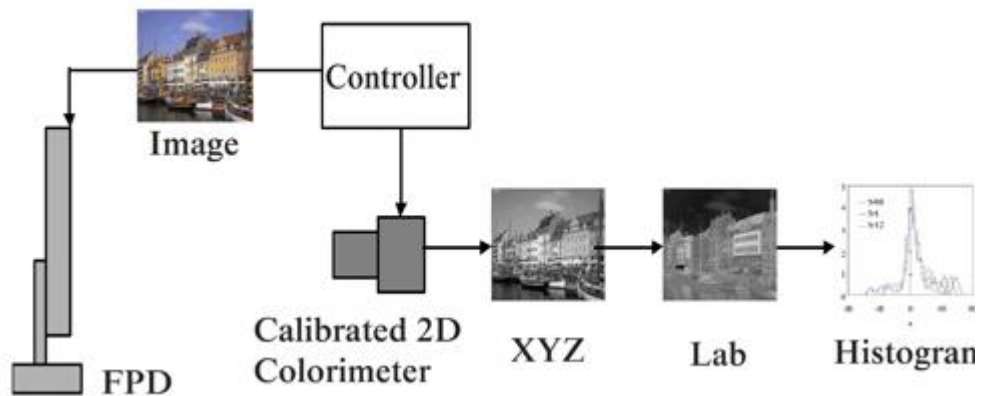


图3 FPD 客观评价流程示意图



图4 二维影像色彩量测研究的原始影像，#1和#2影像是来自ISO 12640-2，#3影像为Macbeth color checker。

FPD-A和FPD-B两台显示器运用标准IEC 61966-4来进行量测，然后依据颜色管理规则ICC.1:2004-10。阿玛光电(AMA)二维色度计加上Computar 12毫米镜头是用来捕获平面显示器上影像的X、Y和Z分布。运用光谱式色度计量测许多FPD色块的三刺激值并进行线性回归来校正2D Colorimeter。影像#1在FPD-A典型的L,a和b分布如图5。全白画面用来计算L、a和b，该参考三刺激值分别是371.4、407.6和462.2。



图 5 影像#1 在 FPD-A 典型的 L、a 和 b 分布。

为了研究一般颜色管理的结果,以影像#2 为例,在相关色温(Correlated Color Temperature, CCT)6,500K 下,图像处理是根据 sRGB 的输入设备空间加上 FPD-A 与 FPD-B 的输出设备空间。经过图像处理的影像#2 呈现在两台 FPD 量测结果如图 6, 两台 FPD 的 L、a 和 b 直方图均是相似的。但是,在正向的 a 直方图和约 40 的 L 直方图有些偏差,须进一步研究其他调整算法。

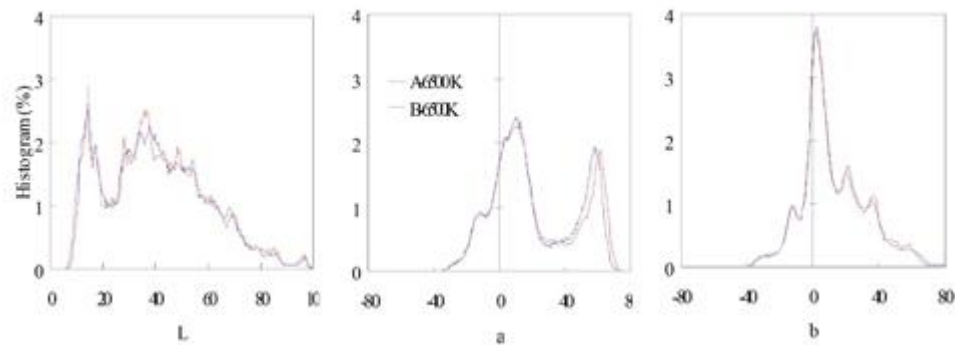


图 6 影像#2 呈现在 FPD-A 与 FPD-B 上 L、a 及 b 直方图比较图。

CCT 调整算法是采用 XYZ-缩放(XYZ-scaling)色适应变换(Chromatic Adaptation Transformation, CAT), 图 7 显示 FPD-A 的影像#1 调整结果。b 直方图向更负的方向横移,但 L 和 a 直方图几乎不变。这些结果展示该类型的 CCT 调整在不变的辉度下,将导致 FPD 色彩表现(Color Rendering)会沿着一个黄-蓝色的方向改变。

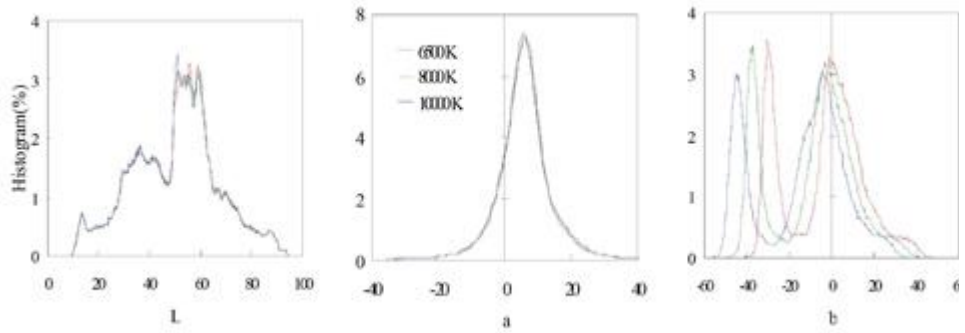


图 7 FPD-A 影像#1 变化 CCT 后 L、a 及 b 直方图比较图。

饱和度(Saturation)的调整乃是运用 X 和 Z 与 Y 值的线性组合再乘上 S 因子。FPD-A 影像 # 3 线性调整饱和度的结果如图 8。当 S 增加时，几乎不变的 L 直方图及变宽的 a 和 b 直方图，指出这一饱和度调整方法是可用。

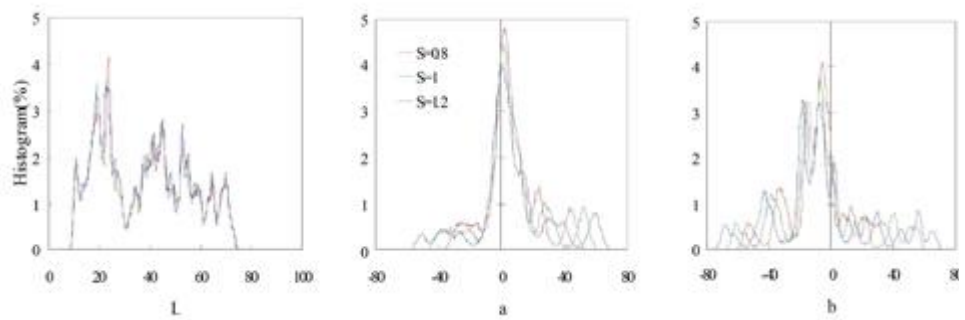


图 8 FPD-A 影像#3 变化饱和度后 L、a 及 b 直方图比较图

调整影像辉度利用三刺激值乘以一个因子 B 是个直接的方法。然而，当 B 增加时，量测所得的 L、a 和 b 直方图都扩大(图 9)，换言之，影像饱和度也增加了，为达成饱和度不变目的，其他调整辉度算法应被开发。

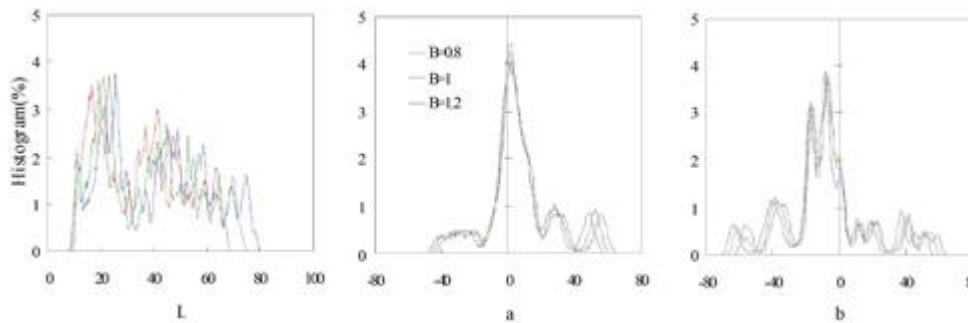


图 9 FPD-A 影像#3 变化辉度后 L、a 及 b 直方图比较图。

工程师调整各种平面显示器时，颜色管理性能和/或调整算法展示有效客观的评价方法。透过二维色度计可以连接主观观察实际影像与定量数据，对于平面显示器的调整，此方法将大大提高研发和质量控制的效率。