

文章编号:1007-2780(2014)01-0040-08

IPAD IPHONE 显示性能测试研究

张建青^{1,2}, 刘 真^{1*}, 卢智平³, 张 茜³

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093;

2. 曲阜师范大学 印刷学院, 山东 日照 276826;

3. 上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

摘要: 为明确 the new Pad、iPhone4s 是否具备专业显示设备的显示性能, 以液晶专业显示器 A 为参考, 对这 3 个显示设备的时间稳定性、不同亮度下不同颜色显示的空间均匀性、不同亮度下色域覆盖率、色品恒定性、通道相加性、设备色域 6 个方面的性能进行了测试。实验结果表明: iPhone4s 在时间稳定性、颜色显示的空间均匀性以及色域覆盖率的稳定性方面优于 the new Pad; the new Pad 在通道可加性、色品恒定性方面优于 iPhone4s; 3 个显示设备中 the new Pad 的色域覆盖率最大, iPhone4s 的最小; the new Pad 各项性能与专业显示器 A 的相近。The new Pad 基本达到专业显示设备的显示性能要求, 可作为专业显示设备的辅助设备使用, iPhone4s 没有达到专业显示设备的显示性能要求, 不适合作为专业显示设备的辅助设备使用。

关 键 词: the new Pad 和 iPhone4s; 色域覆盖率; 颜色显示均匀性; 通道可加性; 色品恒定性

中图分类号: TN27; O432.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20142901.0040

Display performance test of iPad and iPhone

ZHANG Jian-qing^{1,2}, LIU Zhen^{1*}, LU Zhi-ping³, ZHANG Xi³

(1. College of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. College of Graphic Arts, Qufu Normal University, Rizhao 276826, China;

3. College of Communication and Art Design, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to know whether the new Pad and iPhone4s has the display performance of professional display, the new Pad and iPhone4s were tested to get performance from 6 aspects of time stability, color gamut coverage, color gamut, space uniformity of color display, channel additivity and constant chromaticity with the reference of professional display A. Test results showed that iPhone4s is better than the new Pad on the performance of time stability, space uniformity of Color display and stability of color gamut coverage. The new Pad has better channel additivity and constant chromaticity. the new Pad has the biggest color gamut coverage and the iPhone4s has the smallest color gamut coverage in the three displays. In general, the new Pad has little difference in the display performance with the professional display A. The new Pad can achieve the requirements of display performance of professional display fundamentally and can be used as accessory equipment of professional display. The iPhone4s can't achieve the requirements of display performance of professional display.

收稿日期: 2013-04-25; **修订日期:** 2013-06-04.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 41271446); 上海市研究生创新基金(JWCXSL1201); 上海市研究生教育创新计划

* 通信联系人, E-mail: lunaprint@163.com

fundamentally and can't be used as accessory equipment of professional display.

Key words: the new Pad and iPhone4s; color gamut coverage; space uniformity of color display; channel additivity; constant chromaticity

1 引言

平板电脑、智能手机这类移动终端,以其携带、使用方便,逐渐完善的网络功能以及色彩再现能力增强的特色,逐渐成为重要的显示设备,弥补了专业显示器受使用场所限制的不足。已有设计师通过平板电脑给顾客看设计样品,小尺寸的设计样品也可通过智能手机观看, YungKyung Park 等,针对手机在不同亮度环境使用的特点,提出了 Refined CIECAM02 模型,预测不同亮度环境下手机显示的颜色与图像的色貌值^[1]。然而客户通过移动终端或显示器看到的显示结果是否一致,移动终端是否达到专业显示设备的要求,有待进一步研究。目前国内外针对移动终端显示性能的研究较少。苹果公司在其移动终端产品中采用了 Retina Display 技术后,这些移动终端显示的图片层次细腻,边缘清晰、色彩饱和度较高,因此本研究以某液晶专业显示器 A 为参照以采用了 Retina Display 技术的 iPhone4s(下文中简称 iPhone)和 the new ipad(下文简称 ipad)为研究个案,分析移动终端的显示性能。IEC(国际电工委员会)61966-4 专门针对跨媒体颜色测量及管理中的液晶显示器性能评价方法做了规范,VESA(视频电子标准协会)也定义了用于显示器性能测试的规范^[2-3],本文以此为主要依据,结合移动终端显示设备的特点,设计了一套显示设备性能测试方法,对移动

终端显示设备显示性能进行评价对比^[4-8]。本文分析了显示设备预热时间的稳定性;考虑到移动终端只有亮度可调节,而亮度对色貌以及显示设备的色域覆盖率影响较大等因素,本文分析了亮度对颜色显示均匀性和对色域覆盖率的影响;分析了特定亮度下色品恒定性以及通道相加性;最后分析比较了特定亮度下显示设备的色域。

2 主要研究内容与结果

2.1 实验设备及软件

主要实验设备有专业液晶显示器 A, Iphone 以及 ipad;测量仪器: x-rite 公司的分光光度计 Eye-one pro;软件有 Profilemaker5.05, Matlab2011, EXCEL。

2.2 显示设备预热时间稳定性实验及结果分析

预热时间稳定性是指显示设备从开机时刻起,显示颜色的色度信息随时间的变化情况。显示设备色度信息随时间的变化越小,显示设备的预热时间稳定性越好^[3,8]。测量位置均为显示屏中间点。对于专业显示器 A,从开机起的 4 h 内,每分钟测试一次显示器上全屏显示的白色块, ipad 从待机状态开机起的连续 4 h 内,每分钟测试一次全屏显示的白色块, Iphone 由黑屏的屏幕保护状态开启后,连续 4 h 内,每分钟测试一次全屏显示的白色块。

各显示设备的白色色差随时间的变化情况见图 1,其中参考 $L^* a^* b^*$ 值为显示设备最后 100 min

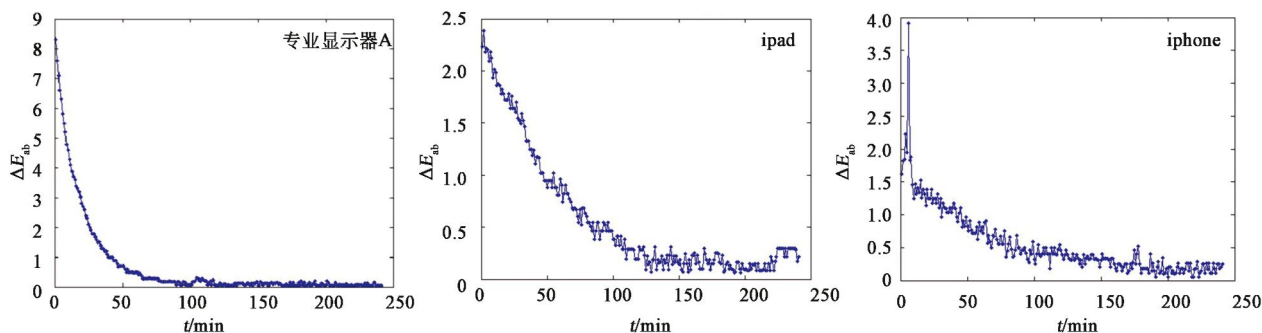


图1 三个显示设备的白色色差随时间变化曲线

Fig. 1 White color difference of three displays varied with time

测量值的平均值。由图 1 可知,3 个显示设备的色差均随时间的增加而降低,专业显示器 A 的稳定性最好,在开机 52 min 之后,色差在 0.5 以下,100 min 之后其色差基本接近 0;ipadipad 与 iphone 在开启屏幕 50 min 之后其色差在 1 以下;开机 100 min 之后其色差均在 0.5 以下。开机 50 min 后色差均低于普通观察者的视觉阈值,满足实际应用的需求。

2.3 亮度对显示设备颜色再现均匀性影响的测试及结果分析

Eye-one pro 测量自发光体时,测量得到的 Y 值的单位是亮度单位 cd/m^2 ,可测量光谱范围为 $380\sim 730\text{ nm}^{[9]}$,测量自发光体显示的白色色块 Y 值可代表背光源的亮度值^[4,10]。

被测设备开机 1 h 预热。在另一台电脑中,打开 Profilemaker5.05 的 measure tool 工具进行测量。测量色块为白(R255, G255, B255)、红(R255, G0, B0)绿(R0, G255, B0)蓝(R0, G0, B255)青(R0, G255, B255)品(R255, G0, B255)黄(R255, G255, B0)灰(R128, G128, B128)色块。调整显示设备亮度按钮,在不同亮度下依次全屏显示各色块。以屏幕中心点为参考点,先随机测量计算不同位置与中心点之间的色差,结果表明,测量点距中心点的位置越远,色差越大,这一规律不受亮度以及显示颜色的影响。选择 10 名年龄在 20~40 岁的观察者对三个显示设备人眼视觉关注范围做了主观评判,以上述初步测试结果以及主观评判结果为依据,选择了显示屏角点位置附近的点作为测量显示颜色均匀性的测试点。具体选择位置如下:The new pad 的 4 个测

试点为距离屏幕边缘 2.5 cm 的交叉点,Iphone4s 的 4 个测试点距离屏幕边缘 1.5 cm 的交叉点,专业显示器 A 的测试点为距离屏幕边缘 4 cm 的交叉点。左上角、右上角、左下角和右下角的测试点分别为位置 1、2、3 和 4(开关所在位置为下)。测量数据见表 1~表 3。

分析 3 个设备的测试数据可知,3 个显示设备测量点与中心点的色差值 ΔE_{ab} 均小于 5,表明 3 个显示设备显示颜色的均匀性都较好;其中:测试点位置对色差影响:由表 1 可知,专业显示器 A 显示器位置 1 和 3 与中心点的色差略大,位置 2、4 与中心点的色差略小;由表 2 可知,the new ipad 测量点与中心点之间的色差由大到小的顺序是位置 1、2、3 和 4;由表 3 可知 iphone 测量点与中心点之间的色差是位置 2 色差最大,位置 1 次之,位置 3 和 4 与中心点之间的色差较小,且其色差值接近。亮度对色差影响:3 个显示设备不同测量位置与中心点之间的色差基本随亮度的降低略有减小。颜色对色差的影响:专业显示器 A 红色色差值偏大,蓝色色差值偏小,其余色差值相近;the new ipad 颜色对其色差的影响不明显;iphone 白色、红色、黄色和品红色色差略大,其余颜色色差值相近。不同设备间的比较:整体而言,Iphone 的色差最小,专业显示器 A 的色差最大。

选择 10 名年龄在 20~40 岁,具有色彩科学基础理论知识的观察者对 3 个显示设备全屏显示各色块进行了主观评价,评价结果为感觉不到屏幕不同位置有明显颜色差异。

所选 3 个设备颜色再现的均匀性都可以满足视觉要求。

表 1 测试点与中心点之间的色差(专业显示器 A)

Tab. 1 Color difference between test points and the center (professional display A)

亮度/%	白色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				绿色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				蓝色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	4.1	4.7	3.9	4.1	4.3	4.2	4.3	3.9	3.9	4.1	3.5	3.6	2.1	2.6	2.3	2.8
80	4.0	3.6	3.7	3.4	4.7	4.1	4.4	3.5	3.6	3.3	3.8	3.7	2.3	2.4	2.3	2.2
60	3.3	2.8	4.1	2.9	4.2	3.3	4.5	3.1	3.6	2.8	3.8	2.6	2.1	2.0	2.3	1.9
40	3.0	2.3	3.9	2.4	3.7	2.4	4.2	2.1	3.3	2.3	4.1	2.1	1.5	1.2	2.1	1.6

续表																
亮度/%	青色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				品红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				黄色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				灰色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	3.7	3.9	3.5	3.4	3.8	4.2	3.7	4.0	3.9	4.0	3.5	3.5	3.6	3.0	2.9	3.4
72.5	3.7	3.5	3.2	2.8	3.7	3.5	3.7	3.5	3.6	3.6	3.3	3.1	2.3	2.8	2.8	3.1
57.8	3.7	3.4	3.3	2.8	3.9	3.3	3.5	3.4	4.2	3.6	3.9	3.2	2.4	2.1	2.9	2.9
33.6	3.4	2.7	3.9	2.3	3.6	2.5	4.2	2.9	3.7	2.5	4.2	2.7	2.0	1.5	3.0	2.5

表 2 不同测试点与中心点之间的色差(ipad)
Tab.2 Color difference between test points and the center(ipad)

亮度/%	白色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				绿色各测试点与中心点间色差 (ΔE_{ab})				蓝色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	3.5	2.9	2.3	1.6	3.2	3.3	1.4	0.3	3.3	2.8	1.6	0.5	4.0	2.9	1.7	0.8
60.8	3.6	2.9	2.1	1.4	3.3	3.4	1.7	0.2	3.4	2.9	1.8	0.5	3.9	2.9	2.0	0.8
38.7	3.8	2.7	2.1	1.3	3.4	3.2	1.6	0.4	3.5	2.7	2.0	0.4	3.3	2.2	1.6	0.7
25.7	3.9	2.7	2.1	1.3	3.3	3.1	1.5	0.4	3.5	2.6	1.7	0.4	2.8	1.8	1.4	0.6
亮度/%	青色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				品红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				黄色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				灰色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	3.7	2.8	1.9	1.3	3.6	3.2	1.6	0.7	3.3	3.0	1.6	0.8	3.8	3.0	1.8	1.7
60.8	3.8	2.7	2.0	1.3	3.8	3.2	1.8	0.7	3.4	3.0	1.7	0.6	3.7	3.1	1.7	1.5
38.7	3.9	2.7	2.1	1.4	3.8	3.0	1.9	0.7	3.4	2.8	2.0	0.6	4.0	3.1	1.8	1.6
25.7	3.9	2.6	2.2	1.3	3.8	2.9	1.9	0.7	3.5	2.7	1.8	0.7	3.9	3.0	1.7	1.7

表 3 不同测试点与中心点之间的色差(iPhone)
Tab.3 Color difference between test points and the center(iPhone)

亮度/%	白色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				绿色各测试点与中心点间色差 (ΔE_{ab})				蓝色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	2.6	4.2	1.3	0.8	2.4	4.3	0.7	0.6	2.1	3.4	0.5	0.1	1.9	3.5	0.6	0.3
72.5	2.3	3.9	0.7	0.8	2.4	4.6	0.8	0.7	2.2	3.5	0.6	0.2	1.8	3.4	0.6	0.3
52.3	2.3	3.9	0.8	0.8	2.5	4.7	0.7	0.8	2.1	3.5	0.4	0.2	1.6	3.4	0.5	0.2
33.6	2.2	4.0	0.8	0.8	2.5	4.4	0.7	0.6	1.9	3.6	0.6	0.2	1.7	3.2	0.6	0.2
亮度/%	青色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				品红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				黄色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				灰色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	1.8	3.3	0.4	0.4	2.3	3.7	0.6	0.3	2.5	3.9	0.7	0.8	1.7	3.0	0.4	0.8

续表

亮度/%	青色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				品红色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				黄色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})				灰色各测试点与中心点间色差(ΔE_{ab})			
72.5	1.8	3.4	0.4	0.4	2.3	4.0	0.7	0.4	2.2	4.0	0.6	0.7	1.7	3.1	0.5	0.9
52.3	2.6	3.8	0.7	0.7	2.3	4.0	0.6	0.4	2.3	3.9	0.7	0.6	1.5	3.3	0.5	0.9
33.6	1.8	3.8	0.6	0.4	2.2	4.2	0.7	0.4	2.3	4.0	0.7	0.7	1.4	3.1	0.5	1.0

2.4 亮度对显示设备色域覆盖率影响的测试及结果分析

CIE1976 $L^* u^* v^*$ 是均匀色度空间,与 CIE1976 $L^* a^* b^*$ 描述颜色感觉的方式相同,视觉均匀性上也很接近,主要应用加色法的色光混合,比如显示器、电视等应用领域^[9]。

CIE1931 色度图的 x, y 表示的色度空间不是均匀的色度空间,无法用 (x, y) 色度图准确表示显示设备所显示的色域,因此,需要将其转换到均匀色度空间 CIE1976 $L^* u^* v^*$ 下表示设备的色域,其坐标系为 (u', v') , u', v' 与三刺激值 X, Y, Z 之间的换算关系是:

$$u' = 4X/(X + 15Y + 3Z), \quad (1)$$

$$v' = 9Y/(X + 15Y + 3Z). \quad (2)$$

色域覆盖率是指:在 CIE1976 均匀色度空间 (u', v') 显示设备显示的色域面积(即三基色 R、G、B 三角形的面积)与占 (u', v') 色度空间全部光谱(380~780 nm)面积(0.1952)的百分数,用 G_p 表示^[5,7]。

已知 R、G、B 的 (u', v') 坐标值 $(u_r', v_r'), (u_g', v_g'), (u_b', v_b')$ 后,可用下列公式计算三角

形 RGB 的面积 S_{rgb} :

$$S_{rgb} = \frac{1}{2}[(ur' - ub') \times (vg' - vb') - (ug' - ub') \times (vr' - vb')]. \quad (3)$$

$$\text{色域覆盖率 } G_p = (S_{rgb} / 0.1952) \times 100\%. \quad (4)$$

通过测量不同亮度下白、红、绿和蓝色块的三刺激值,即可用公式(1)~(4)计算不同亮度下显示设备的色域覆盖率 G_p 。计算出各显示设备每一亮度下的 G_p 值,用 cftool 工具拟合了 G_p 随亮度变化的曲线,如图 2 所示:ipad 的 G_p 范围为 33.9%~34.7%,Y 值增大时, G_p 急剧下降, Y 到 20% 之后, G_p 变化平缓, Y 在 50%~100% 时, G_p 基本保持 34% 不变; iPhone 的 G_p 值范围为 18.42%~18.52%, Y 变大时 G_p 急剧增加, Y 到 20% 之后, G_p 变化平缓, Y 在 50%~100% 时, G_p 基本保持 18.5% 左右;专业显示器 A 的 G_p 范围在 28.4%~28.9% 之间, Y 小于 30% 时, G_p 值快速上升, Y 在 50%~85% 范围时, G_p 基本保持 28.72% 左右, Y 大于 85% 范围后, G_p 值快速上升,其稳定性比较见表 4。

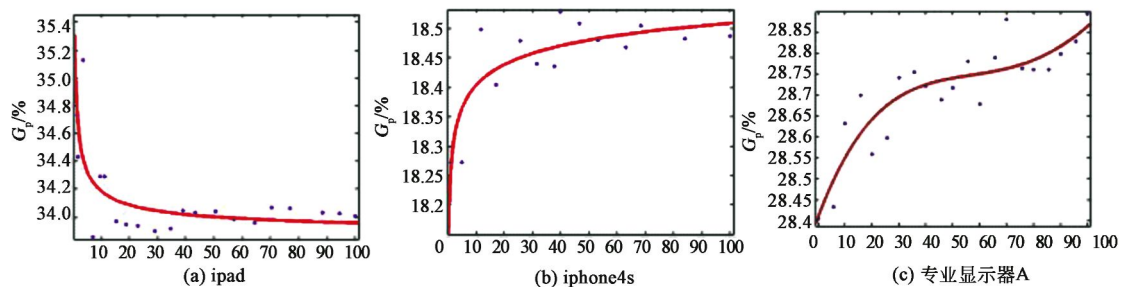


图 2 三个显示设备色域覆盖率随亮度变化曲线

Fig. 2 Curves of G_p changed with the brightness of three displays

表 4 三个显示设备的色域覆盖率稳定性比较

Tab. 4 Device's G_p stability comparison of the three displays

显示设备	最大与最小 G_p 值之差/%	稳定的 G_p 值/%	稳定的 G_p 值对应的亮度范围/%
ipad	0.8	34	50~100
专业显示器 A	0.5	28.72	50~85
iPhone	0.22	18.5	50~100

2.5 色品恒定性的测试及结果分析

显示设备的色品恒定性是指主色、二次色或三次色在不同驱动值情况下,所显示色块对应色品坐标的变化情况。显示设备的色品恒定性越好,显示设备的显色越准确^[8,10-11]。在显示设备上全屏显示红、绿、蓝、黄、品红、青以及灰色渐变

色块,色块的 R、G、B 值分别以 0、16、32、64、96、128、160、192、224、240、255 变化。测量显示屏中心点位置的色度值 X、Y、Z,测量三次取平均值。记录测量结果。在 uv 均匀色空间中画出其色品图,如图 3 所示。

由图 3 可知,3 个显示设备的不同色系对

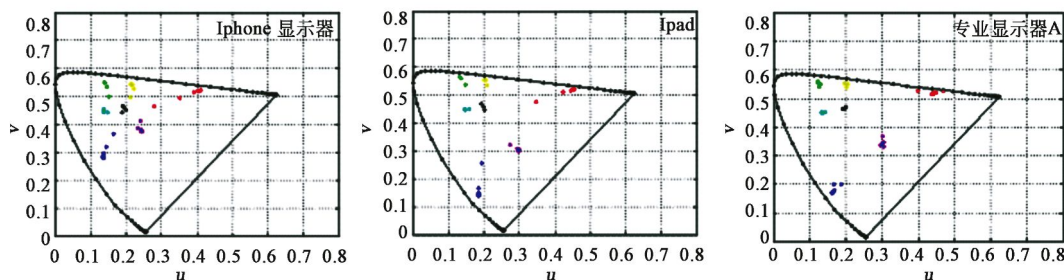


图 3 三个显示设备红、绿、蓝、黄、品红、青、灰色的色品坐标图

Fig. 3 Chroma coordinates distribution of R,G,B,Y,M,C and K of three displays

的色品坐标都有一定的波动性,但总体上专业显示器 A 的最好,ipad 与专业显示器 A 的基本相近,两者都是有更多的颜色点在色品图上重合,iphone 较差,但其离散点基本分布在该点所属色系色品坐标与白色色品坐标的连线上。

2.6 通道可加性的测试及结果分析

显示器的通道可加性也称为通道独立性,指混合通道下的三刺激值等于各个通道分别单独作用时三刺激值之和。大部分显示设备通道间存在干扰,只能近似满足通道相加性。但显示器满足通道相加性是其特征化时的重要假设前提条件,因此通道相加性的色差越小越好^[7,11,12]。图 4 为利用红、绿、蓝、黄、品、青、灰色块测量计算得到的三类显示设备的通道相加性色差图。由图 4 可知,专业显示器 A 的通道相加性最好,其色差在 1.5 以下,且各颜色间色差差别不大,ipad 通道相加性色差 3.0 以下,iphone 的为 4.0 以下,ipad 和 iphone 的灰色和品红色的色差较大。ipad 通道相加性好于参考文献[8]中的专业显示器 A 的通道相加性。

2.7 显示设备显示色域实验及结果分析

显示设备色域指显示设备所能显示的颜色范围^[8,13]。目前大部分的设计制作行业以 sRGB 为标准颜色空间,显示设备再现 sRGB 色空间的颜色越多越好;而在印刷行业中,专业显示设备主要用于软打样,显示设备的色域能否完全包含

印刷输出色域决定着软打样的准确程度,因此,本研究将显示设备的色域与 sRGB 色域、较大色域的多色打印机 HPZ3200 色域以及较大色域的印刷输出 webcoatedFOGRA 色域进行了比较。

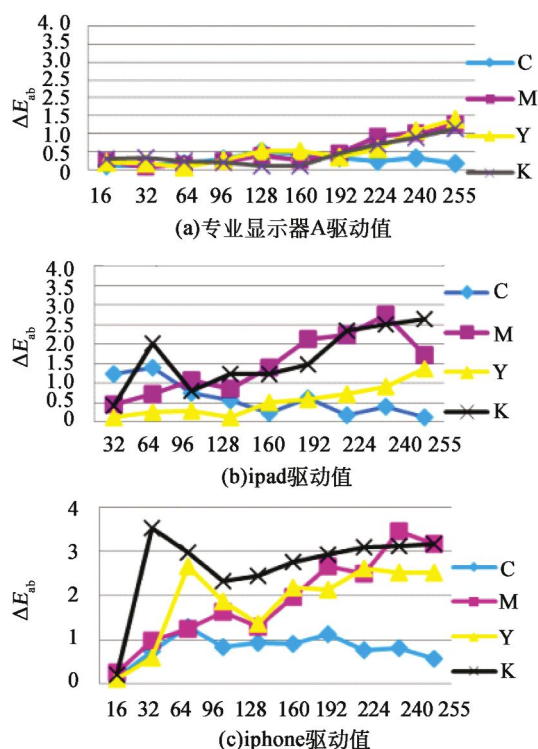
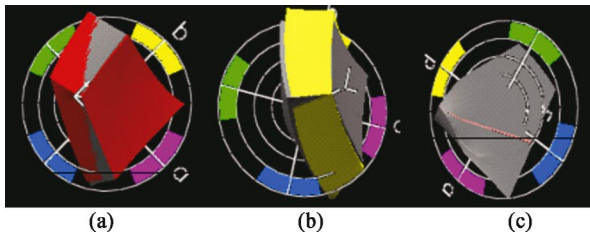


图 4 三类显示设备青、品红、黄和灰色的相加性色差
Fig. 4 Accumulative color difference of C, M, Y and K of three kinds displays

在 MATLAB 中编程制作 1 331 个色块,其 R、G、B 值分别以 0、16、32、64、96、128、160、192、224、240、255 变化。色块在显示设备中全屏显示,将显示设备的亮度调整在稳定的 G_p 对应的亮度范围并固定。测量显示屏中心点位置的色度值 X 、 Y 、 Z ,记录测量结果。在 Profilemaker5.05 软件中,利用 1 331 色块的色度值制作各显示设备的 .icc 特性文件。用 ProfileEditor 分析比较各显示设备色域,图 5 为 3 个显示设备色域与 sRGB 色域比较的立体图,图中灰色代表 sRGB 色域。可见,专业显示器 A 和 iThe new pad 各有部分颜色在 sRGB 色域之外,sRGB 有部分颜色在专业显示器 A 和 The new ipad 色域之外,iphone4s 色域除很小一部分颜色外,基本被 sRGB 色域包含在内。



(a)专业显示器 A 色域与 sRGB 色域比较(红色代表专业显示器 A)
(b)ipad 色域与 sRGB 色域比较(黄色表示 ipad 的色域范围)
(c)iphone 色域与 sRGB 色域比较(粉色表示 iphone 的色域范围)

图 5 三个显示设备色域与 sRGB 色域的比较

Fig. 5 Comparison of three displays with sRGB in color gamut

图 6 为 3 个显示设备的色域与 sRGB、HPZ3200 色域以及 webcoatedFOGRA28 色域在 $L=50$ 时的二维平面比较图,如图 6 所示,专业显示器 A 色域以及 ipad 色域较大,包含了绝大部分的 sRGB 色域,但在左上角黄绿色区域有部分 sRGB 颜色超出其范围,而此颜色位置基本是 ipad 的色域最大,而图右上角专业显示器 A 的色域范围大,右下角 ipad 的色域大,iphone 色域基本被包含在 sRGB 色域内;较大色域的印刷颜色

大部分在显示设备的色域内但在蓝绿色区域,如图 6 左侧所示,有大量的可印刷颜色在这 3 个显示设备的色域之外,即这些颜色可印刷、打印输出,但在这 3 个显示设备上无法准确显示。

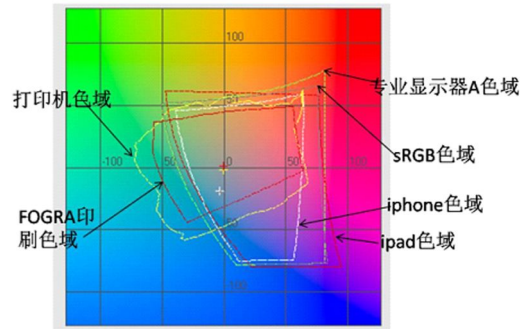


图 6 三个显示设备色域与 sRGB、HPZ3200、webcoated-FOGRA 色域比较

Fig. 6 Comparison of three displays with sRGB, HPZ3200, webcoatedFOGRA28 in color gamut

3 结 论

实验结果表明 ipad 和 iPhone 时间稳定性都较好,略次于专业显示器 A 的时间稳定性;ipad 和 iPhone 的颜色再现均匀性都较好,略好于专业显示器 A 的,ipad 各颜色间显示均匀性一致性最好;专业显示器 A 稳定的 G_p 为 28.72%,ipad 稳定的 G_p 为 34%,大于 28.72%,iPhone 稳定的 G_p 值为 18.5%小于 28.72%;ipad 色品恒定性与专业显示器 A 的基本相近,iPhone 的次于专业显示器 A 的;ipad 的通道相加性略次于专业显示器 A 的,iPhone 的通道相加性略次于 ipad 的;ipad 的显示色域较大,基本包含了 sRGB 色域,iPhone 的色域较小,基本被 sRGB、ipad 以及专业显示器 A 的色域包含。

以上结果表明,ipad 可以考虑作为专业显示设备的辅助设备使用,iPhone 色域较小,色品恒定性与通道相加性不是很好,故不适合彩色打样,因此不适合作为专业显示设备的辅助设备使用。

参 考 文 献:

- [1] Park Y K, Luo M R, Li C J, *et al.* Correcting veiling glare of refined CIECAM02 for mobile display [J]. *Color*

- Research and Application*, 2013, 38(1):14-21.
- [2] VESA. Flat panel display measurements standard [S]. US: Video Electronics Standards Association, 2001.
- [3] IEC. Colour Measurement and Management in Multimedia Systems and Equipment—part4 [S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2000.
- [4] 王凯, 吕毅军, 高玉琳, 等. LCD 显示器三维色域测量和不同色空间应用对比[J]. 光电技术应用, 2011, 26(6):18-21.
- Wang K, Lv Y J, Gao Y L, *et al.* 3D Color gamut measurement of LCD monitor and evaluation in different color spaces[J]. *Electro-opticL Technology Application*, 2011, 26(6):18-21. (in Chinese)
- [5] 许宝卉. 伽玛值、白场色温及亮度对显示效果的影响[J]. 液晶与显示, 2012, 27(1):51-55.
- Xu B H. Influence of gamma, color temperature and brightness on display effect [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2012, 27(1):51-55. (in Chinese)
- [6] 张显斗, 徐海松, 王勇. 彩色显示器亮度和对比度的最优化设置[J]. 光电子·激光, 2007, 18(4):407-410.
- Zhang X D, Xu H S, Wang Y. Optimal brightness and contrast settings for color displays [J] *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2007, 18(4):407-410. (in Chinese)
- [7] 刘全恩. 色域及色域覆盖率[J]. 电视技术, 2004, 269(11):49-51.
- Liu Q E. Color domain and color domain coverage ratio [J]. *Information Terminal*, 2004, 269(11):49-51. (in Chinese)
- [8] 司占军, 胡媛, 张显斗. 专业显示器性能测试方法研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5):102-106.
- Si Z J, Hu Y, Zhang X D. Study on performance test method of professional display [J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(5):102-106. (in Chinese)
- [9] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 62-64.
- Hu W J, Tang S Q, Zhu Z F. *Modern Color Science and Application* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press. (in Chinese)
- [10] 章小兵, 王茹, 董戴, 等. 基于局部均值和标准差的 LCD 动态背光调整[J]. 液晶与显示, 2011, 26(5):698-701.
- Zhang X B, Wang R, Dong D, *et al.* Dynamic backlight adaptation based on local mean and standard deviation for LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2011, 26(5):698-701. (in Chinese)
- [11] 何国兴. LCD 显示器阶调复制曲线的函数表达[J]. 液晶与显示, 2009, 24(5):762-767.
- He G X. Functional representation of LCD tone reproduction [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2009, 24(5):762-767. (in Chinese)
- [12] 徐艳芳, 黄敏, 金杨. 基于色度比特性的显示器色度特征化[J]. 液晶与显示, 2008, 23(6):771-777.
- Xu Y F, Huang M, Jin Y. Characterization of monitors based on colorimetric ratios [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2008, 23(6):771-777. (in Chinese)
- [13] 赵梓权, 王瑞光, 郑喜凤, 等. LED 显示屏的色域校正[J]. 液晶与显示, 2013, 28(1):92-97.
- Zhao Z Q, Wang R G, Zheng X F, *et al.* Color gamut correction of LED displays [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2009, 24(5):762-767. (in Chinese)

作者简介: 张建青(1972—), 女, 内蒙古乌兰察布人, 博士研究生, 副教授, 主要从事颜色科学和图像复制方面的研究。E-mail: printzhangjq@126.com