

iPhone 4S 手机屏幕显色特性研究

张茜¹, 刘真¹, 张建青¹, 吴明光², 于海琦¹

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 200046)

摘要: 对 iPhone 4S 手机屏幕的时间均匀性、空间均匀性、色域覆盖率、色品恒定性、通道独立性等显色特性进行了测试, 定量描述了 iPhone 4S 的显色特性, 并分析了 iPhone 4S 的显色性能对显示彩色图片的影响以及如何在在使用过程中达到最佳的显色性能, 为用户使用提供依据。测试结果表明, iPhone 4S 的显色稳定性较好, 但色域较小, 在显示饱和度高的颜色时准确度不够, 在使用过程中调节到中高亮度范围时, 其显色性能较好。

关键词: iPhone 4S; 显色特性; 均匀性; 色域

中图分类号: TN873+.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)17-0088-04

Color Characteristics of iPhone 4S

ZHANG Xi¹, LIU Zhen¹, ZHANG Jian-qing¹, WU Ming-guang², YU Hai-qi¹

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 200046, China)

Abstract: Time stability, uniformity, color gamut, chromaticity constancy, and channel independence of iPhone 4S were tested. The color characteristics of iPhone 4S were described quantitatively. The impact of color characteristics of iPhone 4S on displaying color image and the way to get the best color performance was analyzed. The results showed that iPhone 4S has good chromaticity constancy, but the color gamut is low; the accuracy in displaying high saturated color is not enough; better color performance can be acquired when adjusting to medium or high luminance range.

Key words: iPhone 4S; color characteristics; uniformity; color gamut

随着智能手机移动技术水平的不断提高和市场需求不断扩大, 智能手机凭借其轻便、易携带以及屏幕大的优势, 在显示领域逐渐占有一席之地。Park YungKyung 等研究者, 针对手机不受使用环境限制, 可以随时随地使用的特点, 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]。中国行业报告研究中心调查显示, 用户使用智能手机来观看图片、视频的时间越来越多, 与此同时, 在显示器上看图片、视频的时间相对减少, 因此智能手机显示色彩的能力成为其高性能指标之一。如何判断智能手机的色彩再现能力, 以及如何使用才能达到最佳显示效果也成为广大用户关注的问题^[2], 到目前为止, 还未见相关研究报道。文中研究以评测

液晶显示器显色性能的方法为依据, 结合智能手机的使用特点, 提出了一套系统的测试评价其显色性能的方法。

iPhone 4S 在屏幕显示上采用了 Retina 技术, 将 960×640 分辨率压缩到 3.5 英寸的显示屏内, 像素密度达到 326 ppi, 超过了人眼的视觉分辨能力^[3], 大大提高了色彩还原能力和显示图片的质量, 在智能手机市场中占有主导地位。由此文中以 iPhone 4S 为主要研究对象, 测试了它的时间均匀性、空间均匀性、色域、色品恒定性、通道独立性, 并在此基础上分析其显色性能, 评价 iPhone 4S 屏幕是否达到专业显示器标准, 为对移动终端显色性能要求较高的用户提供一项良好的参考依据。

收稿日期: 2013-06-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41271446); 上海市研究生创新基金项目资助(JWCXSL1302); 上海市研究生教育创新计划资助

作者简介: 张茜(1990-), 女, 山东人, 上海理工大学硕士生, 主要研究方向为数字图像处理与色彩管理。

1 实验方案

1.1 实验仪器及环境

测试目标为 iPhone 4S 的 Retina 屏,分辨率为 960×640 ,像素密度为 326 像素/英寸(ppi)。测量仪器为 Eye-One pro。色彩管理软件为 GretagMacbeth, Photoshop。数据分析软件为 Matlab, Excel。

实验环境:根据 IEC 标准,所有的显示和测试工作均在暗室中进行^[3]。

1.2 实验过程及数据采集

1) 测试前,把亮度和其他的调整参数调整到厂商的预设状态。

2) 时间均匀性测试。iPhone 4S 屏幕全屏显示白色块(255,255,255),由屏幕保护状态开启后,每隔 1 min 测量记录其 Lab 的值,判断屏幕时间均匀性。

3) 屏幕空间均匀性测试。屏幕预热稳定后,调整 iPhone 4S 亮度,每一亮度下,依次全屏显示白、红、绿、蓝色块,用 Eye-One Pro 分光光度计测量红、绿、蓝色块屏幕中心点以及其他 4 个固定位置的色度值,以中心点为基准,计算测量位置与中心点之间的色差值,以此判断屏幕空间均匀性。

4) 色域覆盖率测试。不同亮度下,屏幕分别显示红、绿、蓝三色,用 Eye-One Pro 分光光度计测量三色的三刺激值,计算不同亮度下色域覆盖率。

5) 色域测试。RGB 颜色空间是一个 $256 \times 256 \times 256$ 的立方体,为了更详尽地描述色域变化情况,RGB 值采样点的选择采用了两端细分、中间均匀的非均匀分割方法,将 0~255 分为 9 级,两端各加一级,形成 0,16,32,64,96,128,160,192,224,240,255 的分配格局,再利用 Matlab 设计色靶,得到 1331 个采样点的数值,采用 Matlab 软件生成 1331 个采样点数值对应的 1331 个色块。用 Eye-One Pro 分光光度计测量每个色块对应的 XYZ 三刺激值。

6) 用 Eye-One pro 分光光度计测量每个色块对应的 XYZ 三刺激值。

2 实验数据分析

2.1 时间均匀性

显示器时间稳定性是指显示器从开机时刻起,显示颜色的色度信息随时间的变化情况。色度信息随

时间的变化越小,则显示设备的时间稳定性越好。

用分光光度计测量 iPhone 4S 全屏显示的白色块,从屏幕保护状态开启后,每隔 1 min,测量相同位置白色块(255,255,255)的 Lab 的值,计算与参考值(最后 100 min 测量值的平均值)间的色差,判断屏幕时间均匀性,绘制色度值随时间变化的曲线见图 1。

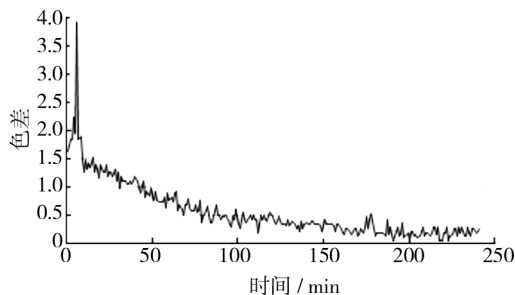


图1 色度随时间变化的曲线

Fig.1 Changing curve of chromaticity with time

从图 1 中可以看出,测量值与参考值间的色差都在 4 以下,完全在人眼视觉可分辨范围之内。在开启屏幕 10 min 之后,其色差在 1.5 以下,且逐渐降低,稳定性较好,可以满足实际应用的需求。

2.2 屏幕均匀性实验

在 LED 背光显示中,屏幕上某一区域的颜色是由不同亮度的红绿蓝三基色叠加而成,在整个屏幕的合成色中,合成色的色坐标完全取决于三基色的色坐标值。因为屏幕中不同区域的三基色亮度不一致,所以导致了屏幕上颜色的不均匀分布^[4-5]。

空间均匀性就可以用屏幕上不同位置三基色的色差值来表示,在色品图上表现为 2 点之间的距离,即屏幕两区域色差为:

$$\Delta E_{\text{Lab}} = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (1)$$

屏幕上两位置的 ΔE_{Lab} 值越小,表明两位置的颜色越接近,则屏幕的空间均匀性越好。

由于 iPhone 4S 的屏幕本身较小,因此选用屏幕中间与四角等 5 个位置作为测量点。使用 Profile-maker 中的 Measure Tool 工具,连接 Eye-one Pro 分光光度计,测量介质选择自发光体,分别测量不同亮度白红绿蓝四色在屏幕显示时,四角与中间位置间的色差值,统计结果见表 1。

由表 1 可以看出:iPhone 4S 不同亮度下位置间色差值不同,但色差改变值较小,即亮度对其屏幕均匀性有影响但影响幅度小;相同亮度不同颜色的色差值也不尽相同,但所有色差值均小于 5,在人眼视觉可

表 1 不同亮度下颜色均匀性对比
Tab. 1 Comparison of color uniformity under different luminance

亮度 /%	白色块不同位置与 中心点的色差				红色块不同位置与 中心点的色差				绿色块不同位置与 中心点的色差				蓝色块不同位置与 中心点的色差			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
100	2.5	4.1	0.7	0.7	2.9	4.9	1.0	0.8	2.4	4.2	0.7	0.8	2.1	4.1	0.7	0.7
55.8	2.5	4.1	0.8	0.8	3.0	4.8	1.0	1.2	3.0	4.1	0.6	0.9	2.5	4.1	0.9	0.9
31	2.8	4.3	0.9	0.9	3.2	4.8	1.1	1.0	2.6	4.1	0.5	0.7	2.4	4.0	0.8	0.9
13.8	2.8	4.3	1.1	0.8	2.5	4.1	1.0	1.1	2.6	4.6	0.6	0.8	1.6	3.0	0.5	0.5

接受的范围(<6)^[6]之内。总体来看,iPhone 4S 屏幕均匀性较好,能达到人眼的视觉要求。

2.3 色域实验及结果分析

色域覆盖率是定量表述显示器色域大小的一个重要参数,色域覆盖率越大,则显示器色域越大,色彩还原能力越强;反之,则越小。

色域覆盖率是在 CIE 1976L* u* v 均匀色度空间中,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 CIE 1976L* u* v 色度空间全部光谱(从 380 ~ 780 nm)面积(0. 1952)的百分数,用 C_p 表示^[7-8]为:

$$C_p = \frac{S_{rgb}}{0.1952} \times 100\%$$

(2)

S_{rgb}的计算公式为:

$$S_{rgb} = \frac{1}{2} [(u_r - u_b)(v_g - v_b) - (u_g - u_b)(v_r - v_b)]$$

(3)

其中:(u_v, v_r), (u_g, v_g), (u_b, v_b) 分别为在 1976L* u* v 空间中红色(R)绿色(G)蓝色(B)的色坐标值。

由于显示器色域覆盖率随着亮度的变化而变化,为了准确描述显示器的色域情况,首先分析了随亮度变化色域覆盖率的变化情况,然后在色域覆盖率达到稳定时亮度范围内设定 iPhone 4S 显示器的亮度值,测量描述显示器色域。

屏幕上一个位置的颜色值并不能代表整个屏幕的颜色值,因此用 Eye-One 测量均匀性测试时屏幕 5 个位置的数据,取平均值,用来代表整个屏幕的颜色值,将取平均值之后的 XYZ 三刺激值转换到 1964L* u* v 空间中,求得色坐标值计算屏幕的色域覆盖率。三刺激值与色坐标转换关系如下:

$$u = \frac{4X}{X+15Y+3Z}$$

(4)

$$v = \frac{9X}{X+15Y+3Z}$$

(5)

将不同亮度下的色域覆盖率用 Matlab 进行多项式拟合处理,得到色域覆盖率随亮度变化的关系见图 2。

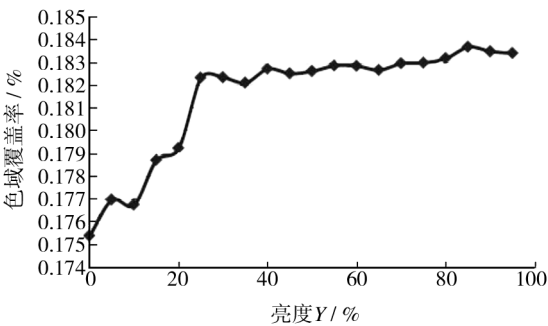


图 2 色域覆盖率随亮度变化曲线

Fig.2 Changing curve of color gamut coverage with brightness

从图 2 中可以看出,iPhone 4S 的色域覆盖率在 18.2% ~ 18.5% 之间,随亮度变化不明显,显示稳定性较好,但是色域覆盖率与 NEC 显示器色域覆盖率(28.4% ~ 28.8%)相比较小。将 iPhone 4S 的亮度调到色域覆盖率稳定的亮度下,屏幕稳定后,用 Eye-One 测量 1331 个色块在 iPhone 4S 显示时的颜色三刺激值,将三刺激值转换到 1976Luv 空间中,用 Matlab 画出 iPhone 4S 的色域图,见图 3。

从图 3 中可以看出,iPhone 4S 的色域是一个规则

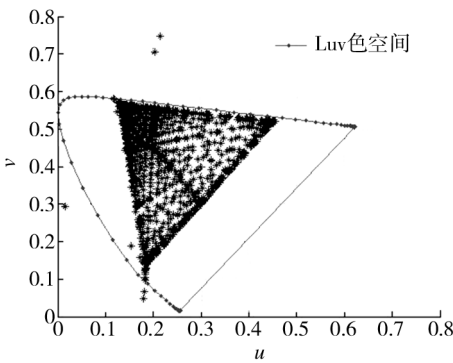


图 3 iPhone 4S 的色域图

Fig.3 Color gamut of iPhone 4S

的三角形,跟显示器色域形状类似,但是存在几个不在色域范围内的点,也就是屏幕坏点。对于 960×640 的屏幕,每个像素都由 3 个单元组成,分别负责红绿蓝三色的显示。也就是说整个屏幕有 184 万多个单元,很难保证整个屏幕都没有坏点,但是随着显示技术行业的发展,屏幕坏点的比率会大大降低。

2.4 通道独立性及相干误差分析

显示器的通道独立性是指显示器的色度测量遵循三刺激值的可加性原理,也就是说 RGB 三通道是相互独立的,但实际上显示器的三通道间存在着相互干扰抑制,而且还存在黑点的影响,使得红绿蓝颜色合成结果在一定程度上偏离了可加性原理^[9]。利用色域描述时的测量结果,驱动值在 0 ~ 255 之间以 16 为间隔,找出其中的红绿蓝青品黄灰色块,利用红绿蓝混合相加分别得到青品黄灰三刺激值,然后分别计算混合得到的三刺激值与测量得到的三刺激值转换后的 Lab 值,去除黑点后,求实际测量值与计算得到值之间的色差。色差值越小,表明通道的独立性越好。通道独立性实验结果见图 4。

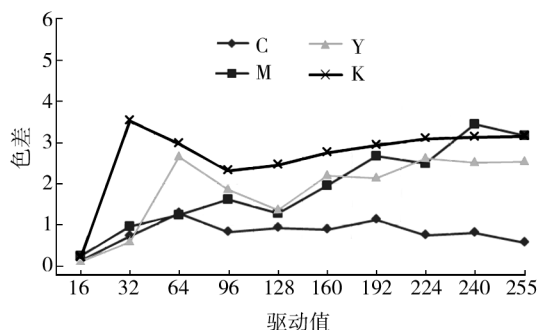


图 4 去黑点后青、品、黄、灰测量值与计算值间的色差波动

Fig. 4 The color difference between the measured and calculated values of C, M, Y, K

从图 4 中可以看出, iPhone 4S 的通道独立性较差。驱动值较低或较高状态时色差值都较大,因此在使用时,尽量避免在较低及较高亮度下使用。

2.5 色品稳定性

显示器色品稳定性是指主色、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。显示器的色品稳定性越好,则显示器的显色越精确^[10]。利用通道独立性中找出的驱动值以 16 为间隔的红绿蓝青品黄灰色块的三刺激值的测量值,计算其色品坐标。色品坐标的分布情况见图 5。

从图 5 中可以看出,不同颜色的色品坐标都有一

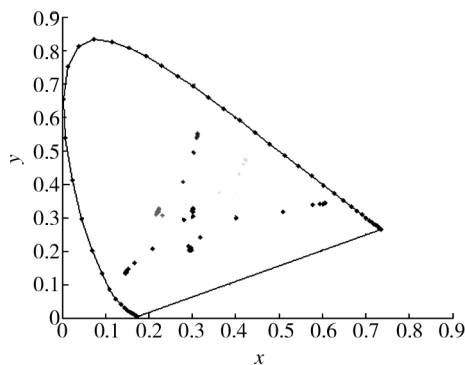


图 5 设备不同驱动值时红、绿、蓝、黄、品、青、灰色品坐标分布

Fig. 5 Chroma coordinates distribution of R, G, B, C, M, Y and K

定的波动性,但总体上 iPhone 4S 颜色点的重合率较高,离散点也基本分布在各个色系与白色的连线上,因此 iPhone 4S 的色品稳定性较好。

3 结论

以 iPhone 4S 为研究对象,测试了 iPhone 4S 的时间均匀性、空间均匀性、色域、通道独立性、色品稳定性,分析了它的显色性能。得到以下结论: iPhone 4S 时间空间均匀性、色品稳定性良好,但色域较小,通道独立性不理想,虽然 iPhone 4S 的显色性能能满足用户正常使用,但是并不能达到专业显示屏的要求,并且建议在使用过程中尽量调节到中高亮度。

参考文献:

- [1] PARK Yung Kyung, LUO Ming Ronnier, LI Chang-jun, et al. Correcting Veiling Glare of Refined CIECAM02 for Mobile Display[J]. Color Research and Application, 2013, 38 (1): 14-21.
- [2] 黄庆梅,赵达尊,郭婧,等. LCD 液晶显示器的颜色特性研究[J]. 光学技术, 2005, 31(2): 243-245.
HUANG Qing-mei, ZHAO Da-zun, GUO Jing, et al. Analysis on Color Characterization and Calibration of LCD[J]. Optical Technique, 2005, 31(2): 243-245.
- [3] SANTOS Bjoy. 用于平板显示的 LED+RGB[J]. 电源管理器件, 2007: 30-32.
SANTOS Bjoy. RGB LEDs for Flat Panel Displays[J]. Power Management Devices, 2007: 30-32.

(下转第 98 页)

- [2] 朱明. 高动态范围图像高保真印刷复制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
ZHU Ming. The Research on High-fidelity Reproduction of High Dynamic Range Images[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011.
- [3] WANG Xiao-hua, XIU Xiao-jie, ZHU Wen-hua, et al. Color Control of the Multi-color Printing Device[J]. Journal of Zhejiang University(Science) B, 2006, 7(7): 1187-1192.
- [4] 王义峰, 曾平, 王莹. 基于色域划分的多通道打印机色彩校正[J]. 电子学报, 2010, 38(3): 507-511.
WANG Yi-feng, ZENG Ping, WANG Ying. Multi-channel Printer Characterization Based on Gamut Partition[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(3): 507-511
- [5] 刘瑞华, 曾平, 王义峰. 一种自适应分区回归的打印机色彩校正方法[J]. 电子学报, 2007, 35(11): 2201-2204.
LIU Rui-hua, ZENG Ping, WANG Yi-feng. A Color Calibration Method of Printer Using Adaptive Regression[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(11): 2201-2204.
- [6] 曹朝辉. 多色印刷分色模型研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2007.
CAO Zhao-hui. A Study of Multi-color Printing Color Separation Model[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2007.
- [7] 朱明, 刘真, 陈广学. 基于分区组阶堡方程的6色印刷分色模型研究[J]. 光学学报, 2011, 31(7): 288-297.
ZHU Ming, LIU Zhen, CHEN Guang-xue. Research on Six-color Separation Model Based on Subarea Neugebauer Equations[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(7): 288-297.
- [8] TZENG Di-yuan. Spectral-based Color Separation Algorithm Development for Multiple-ink Color Reproduction[D]. Rochester: Rochester Institute of Technology, 1999.
- [9] CHEN Y D, BERNS R S, TAPLIN L A, et al. A Multi-ink Color Separation Algorithm Maximizing Color Constancy[C]. IS&T/SID Eleventh Color Imaging Conference, 2003: 277-281.
- [10] 郭晋一. 基于光谱匹配法 Neugebauer 方程的彩色打印系统特征化模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
GUO Jin-yi. Developing the Characterization Model of Color Printing System Using Spectral-based Neugebauer Equations[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [10] ICC. 1: 2004-10 (Profile Version 4. 2. 0. 0), International Color Consortium. Specification[S].

(上接第 91 页)

- [4] Multimedia Systems and Equipment Colour Measurement and Management. Part 4: Equipment Using Liquid Crystal Display Panels[S]. IEC61966-4, 2000: 7-8.
- [5] 赵斌, 李晓华, 杨晓伟, 等. 液晶显示器的性能测量和评估[J]. 电子器件, 2006, 29(4): 1211-1214.
ZHAO Bin, LI Xiao-hua, YANG Xiao-wei, et al. LCD Performance Measurement and Evaluation[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2006, 29(4): 1211-1214.
- [6] 廖宁放, 石俊生, 吴文敏. 数字图文图像颜色管理系统概论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
LIAO Ning-fang, SHI Jun-sheng, WU Wen-min. An Introduction to Digital Color Management System[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2009.
- [7] 刘全恩. 色域及色域覆盖率[J]. 电视技术, 2004, 269(11): 49-51.
LIU Quan-en. Color Domain and Color Domain Coverage Ratio[J]. Video Engineering, 2004, 269(11): 49-51.
- [8] 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 Kai, LYU Yi-jun, GAO Yu-lin. 3D Color Gamut Measurement of LCD Monitor and Evaluation in Different Color Spaces[J]. Electro-optic Technology Application, 2011, 26(6): 18-21.
- [9] 钟云飞, 陈乾坤. 彩色 LCD 显示器色彩特性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 22(1): 95-98.
ZHONG Yun-fei, CHEN Qian-kun. Study on the Color Characteristics of LCD Color Display[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(1): 95-98.
- [10] 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 Zhan-jun, HU Yuan, ZHANG Xian-dou. Study on Performance Test Method of Professional Display[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 102-106.
- [11] CHANG Chih-hao, CHENG Hsing-chieh, LU Yin-jui, et al. Enhancing Color Gamut of White OLED Displays by Using Micro-cavity Green Pixels[J]. Organic Electronics, 2010, 11: 247-254.