数码相机颜色复制性能的研究

司占军，李 煜，顾 翀
（天津科技大学，天津 300222）

摘要：实验选取了 2 款具有代表性的数码相机，采集了各设备在制作特性化文件前后的特性化数据，接着通过数据拟合和进一步分析，得出了数码相机之间的性能差异，最后通过建立六大评判标准进行主观评价，对实验结果进行验证。实验结果表明，进行色彩管理图像的色差要小于未进行色彩管理图像的色差，由制作特性化文件前后图像效果的差别，可知制作数码相机的特性文件是很有必要的。最后给出了不同相机不同拍摄条件下对不同原稿的再现结果，为相关工作者和使用者提出一项可行的评价方案。

关键词：数码相机；颜色复制性能；评价方法
中图分类号：TS801.3；TS807 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-3563(2013)05-0098-05

Research on Color Reproduction Performance of Digital Camera

SI Zhan-jun, *LI Yu*, *GU Chong*
(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Two representative digital cameras were selected and their characteristics data before and after making ICC profile were collected. The performance difference of the cameras was analyzed through the data fitting. The results were validated by subjective evaluation through establishment of six criteria. The experimental results showed that image color difference of image with color management is less than the image without color management; by comparison of the effect difference between the image before and after making ICC profile, it was concluded that making ICC profile in digital camera is necessary. Manuscript representation of different camera under different shooting conditions was summarized and a feasible evaluation scheme was proposed for digital camera related workers and user.

Key words: digital camera; color reproduction performance; evaluation method

数码相机作为新一代的图像采集设备，与传统相机相比，具有录入速度快、准确性好的优点，其颜色再现效果也更佳。就数码相机的颜色再现性能来说，同样的数据或被摄物体在不同型号和品牌的相机上，并不能得到完全相同的颜色，主要原因是各种设备再现颜色的特性不同。

为了保证颜色能独立于设备的方式传递颜色，有效地判别颜色复制性能的情况，就有必要在色彩管理的基础上，建立数码相机现的颜色复制性能评价体系，从而保证颜色可靠地传递。现国内、外对数码相机的研究主要是针对数码相机元器件[1-2]，对数码相机颜色复制性能的评价方法较少，因此文中在对此方面加以阐述。

1 实验

1.1 设备

数码相机色标板，Digital ColorChecker SG 色卡（色靶尺寸为 29 cm×20.31 cm，包含 140 个专门设计的色块组合）；分光光度计 Eye-one；Profile maker 5.0；Photoshop CS2；已做色彩管理的艺卓显示器 CG211；数码相机 A（总像素数为 1020 万，有效像素数为 1020 万，感光元件 CCD）；数码相机 B（总像素为 1050 万，有效像素数为 1010 万，感光元件 CMOS）。

收稿日期：2012-12-25
基金项目：天津市应用基础及前沿技术研究计划，自然科学基金重点项目（12JCZDJC20300）
作者简介：司占军（1971-），男，河北人，天津科技大学副教授、硕士生导师，主要研究方向为印刷色彩及图形、图像处理，数字出版技术。

1.2　步骤

1.2.1　思路

实验步骤和评价方法见图 1。

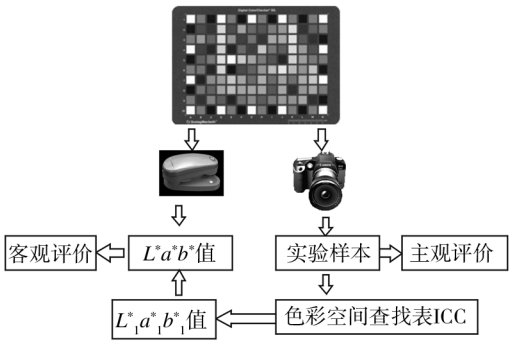


图 1　评价体系流程

Fig. 1 Flow chart of the evaluation system

由于影响图像颜色再现质量的因素有多方面,因此采用主客观评价相结合的方法,选取目前市场中具有代表性的 2 款数码相机,对其特性进行评估与研究。

1.2.2　数码相机拍摄条件

在 D50 标准光源的实验环境下,使用数码相机 A 和 B 分别对标准色靶 Digital ColorChecker SG 进行拍摄。为了在客观评价中充分使用相机本身的特征性能,关掉相机本身的色彩管理功能,拍照时都采用全自动曝光模式。另外,拍摄不同天气下室内外场景、人物照片作为补充的主观评价样本。

1.2.3　制作特性文件

分别选取数码相机 A,B 拍摄的照片,均为 TIFF 格式并使用专业软件 ProfileMaker 进行特性文件制作,它和 Digital ColorChecker SG 配和可快速生成各种自然光线以及任何人造光源条件下的 ICC Profile 文件,使拍摄的数字照片还原逼真色彩。

1.2.4　在照片中嵌入 ICC 文件与色彩管理

制作完 ICC 文件后,在 Photoshop CS2 中打开拍摄的照片,在“编辑”菜单栏下选择“指定配置文件”,完成对照片的色彩管理。今后在 Photoshop 中打开这张照片时,通过选择“使用嵌入配置文件”(代替工作空间)后,即可对照片进行色彩管理。

1.2.5　数码相机颜色再现主观及客观评价方案

1) 主观评价方案。主观评价者共 16 位,按照评分标准对所拍摄图像的颜色再现质量进行视觉评价,并给予评价分数,按分数的高低来判断所拍摄图像的颜色再现质量。实验制定了 5 个分数段,从颜色饱和度、阶调、色偏、反差、细节、清晰度等六大方面对所拍摄的图像进行评价。分数细则见表 1。

表 1　主观评价评细则

Tab. 1 Detailed rules and regulations for subjective evaluation

分数	评价描述
1 分	表示某一标准下颜色失真严重,阶调、层次模糊,再现原物的性能不好
2 分	表示某一标准下颜色失真比较严重,阶调、层次比较模糊,再现原物的性能一般;
3 分	表示颜色比较正确,阶调、层次比较明显,再现原物的性能较好
4 分	表示颜色正确,阶调、层次明显,再现原物的性能良好;
5 分	说明颜色很正确,阶调、层次很明显,再现原物的性能优秀。

2) 客观评价方案。比较 2 款相机拍摄下来的色靶图像与 Digital ColorChecker SG 色卡之间的色差大小,并结合在 ProfileMaker 中观察到的色域比较,来评价彩色图像的色彩再现质量。色靶图像的色品值越接近原色靶的色品值,颜色再现的色域越大,则此图像的色彩再现质量就越好。

2　实验结果与分析

2.1　主观评价结果与分析

2.1.1　图像饱和度

2 台相机在饱和度再现方面是都有一定优势,在室内和风景的拍摄中,数码相机 A 要略胜一筹,但白平衡改变对相机饱和度的影响来说,数码相机 A 影响比较大,数码相机 B 性能则比较稳定。从图 2 中可以

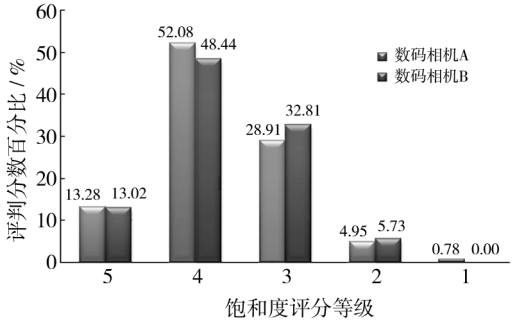


图 2　图像颜色饱和度的评价结果

Fig. 2 Evaluation results of the image color saturation

看出2款相机在5分和4分的评价结果上,数码相机A都较高,因此色彩饱和度再现方面数码相机A要优于数码相机B。

2.1.2 颜色阶调

颜色阶调的评价方面,评价者主要看图像整体的明暗等级,数码相机A在户外拍摄的图片分数较高,阶调再现性能上要比数码相机B好一些,但在室内拍摄的照片中,数码相机B对于阶调的再现更好一些。

从图3中可以看出,数码相机A和数码相机B在

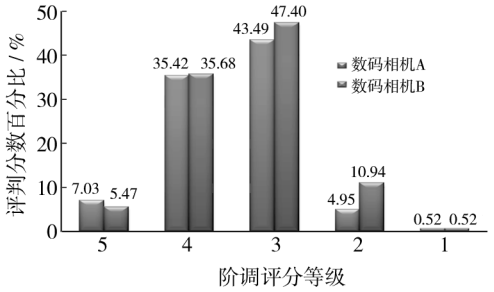


图3 拍摄图像颜色阶调的评价结果

Fig. 3 Evaluation results of image color tone

阶调复制方面相差不是很大,而在最优秀的5分中,有7.03%的人认为数码相机A可以达到,综合比较在阶调表现方面,也是数码相机A略胜一筹。

2.1.3 色偏

如图4所示,可以了解到2台相机都存在色偏,

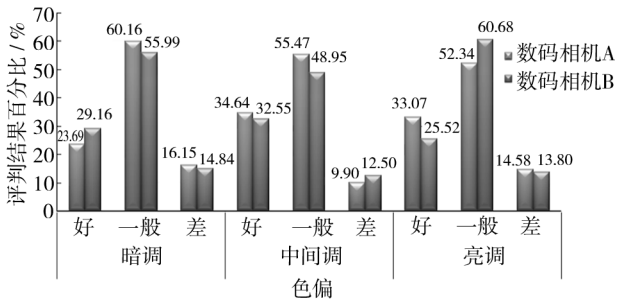


图4 拍摄图像颜色色偏的评价结果

Fig. 4 Evaluation results of image color difference

评价为差的都在10%以上。色偏部分的评价不同于前面2个部分,将色偏分为暗调、亮调和中间调分别评价,色偏大的表现为差(1-2分),小的表现为一般(3分),色偏很少的则表现为好(4-5分)。总体来看,数码相机B在暗调处评价为好的明显高于数码相机A,但在亮调处评价结果相反。由此,数码相机B相机较数码相机A更适合于拍摄暗调阶调丰富的相片,数码相机A适合于拍摄中间调和亮调色彩的照片。

2.1.4 颜色层次

同样的,颜色层次部分的评价也针对图像暗调、中间调、亮调的层次变化,见图5。从观察人物的肤

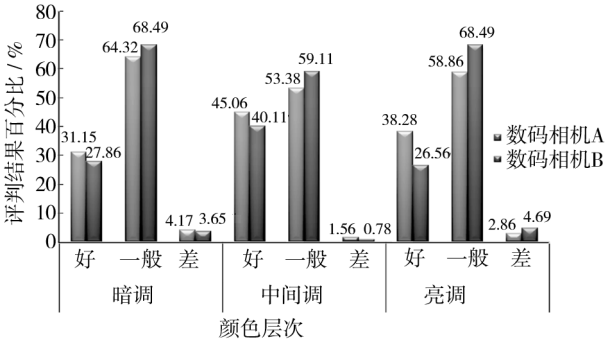


图5 拍摄图像颜色层次的评价结果

Fig. 5 Evaluation results of image color gradation

色和景物,总体来看,层次的复制还比较令人满意,评价结果为差的都在5%以下,另外两者相差也不是很大。评价结果为好的3个分数上,数码相机A均高于数码相机B,因此数码相机A相机在层次表现上还是略胜一筹。

2.1.5 反差/细节/清晰度

评判图像反差是观察最亮调和最暗调之间的差别,而细节再现的好坏主要看人物头发等部位的拍摄效果[3],清晰度是指阶调边缘上的反差,实质上指的是细节清晰度。如图6,2台相机在这3方面表现都

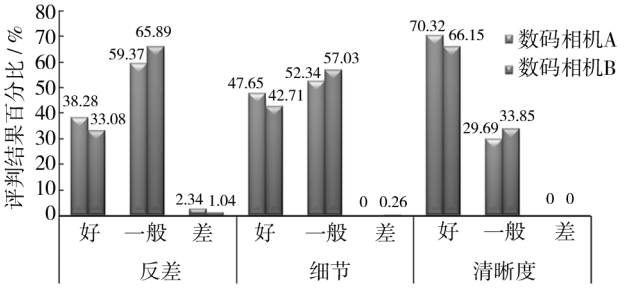


图6 拍摄图像颜色反差/细节/清晰度的评价结果

Fig. 6 Evaluation results of image contrast/ details/ definition

很好,评价为差的百分数小于3%,在清晰度上尤为明显,评价为差的为0%,而评价为好的都大于60%。3个分数的加权比较,总体上数码相机A在图像颜色反差/细节/清晰度的再现效果,要比数码相机B表现好。

2.2 客观评价结果与分析

2.2.1 色差测量与分析

对Digital ColorChecker SG各色块进行1—140号

编号,编号顺序从左侧开始,从上到下编号。在 Photoshop 中的 Information 中得到插入 ICC 文件后拍摄的每个色块的 *Lab* 值,求该 *Lab* 值时,需要将每个色块的左上、右上、左下、右下以及中部的 *Lab* 值测量出来,然后求平均值 L',a',b'。如式(1),ΔL^*,Δa^*,Δb^*分别是各色块的平均 L',a',b'与被拍摄色靶所对应得 L,a,b 值的色差。

$$\Delta E^*_{ab}=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta E^*_{ab\,A}=\sum(\Delta E^*_{ab\,A1}+\Delta E^*_{ab\,A2}+\cdots\Delta E^*_{ab\,A140})/140 \quad (2)$$

$$\Delta E^*_{ab\,B}=\sum(\Delta E^*_{ab\,B1}+\Delta E^*_{ab\,B2}+\cdots\Delta E^*_{ab\,B140})/140 \quad (3)$$

如式(2),$\Delta E^*_{ab\,A}$是数码相机 A 所拍摄色靶图像的 140 个色块的平均色差,式(3)中 $\Delta E^*_{ab\,B}$为数码相机 B 的色差均值。数码相机 A 与数码相机 B 各色块色差分布见图 7,同理,对 2 款相机所拍摄未进行色彩管理的图像进行相同运算。

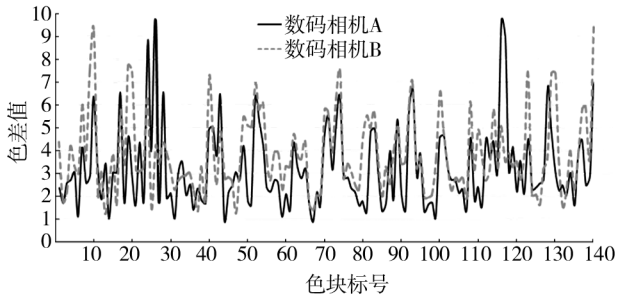


图 7　数码相机 A 与数码相机 B 各色块色差分布

Fig. 7 Color difference distribution of camera A and camera B

由图 7 可以看到,数码相机 B 的色差普遍高于数码相机 A,计算可得数码相机 A 相机的平均色差为 3.23,数码相机 B 相机的平均色差则为 3.88。表示 2 台相机对于色彩的再现都有一定的误差,但是相对于没有进行色彩管理图像的色差 5.45 和 7.12 有很大改善。

选取色靶中代表印刷复制中 9 个常用色的色块,分别为白、中性灰、黑、红、绿、蓝、黄、品红、青。如表 2 客观评价结果所示,是对 9 个颜色块进行色差比较分析。从表 2 中可以看出 2 台相机在冷色调处色差比较小,而在黄、红处色差大,这说明 2 台相机对于冷色调再现要比暖色调好。对于白与黑的再现数码相机 A 要比数码相机 B 好一些。从平均色差值来看,数码相机 A 要比数码相机 B 对图像的还原优一些。

表 2　客观评价结果

Tab. 2 Objective evaluation results

色块	数码相机 A	数码相机 B
白(1 号)	2.39	4.38
灰(3 号)	2.56	2.24
黑(5 号)	3.02	3.36
蓝(44 号)	0.89	2.80
黄(74 号)	6.42	7.47
绿(79 号)	1.60	2.25
品(84 号)	3.18	3.49
青(94 号)	2.87	3.26
红(113 号)	3.64	3.15
平均色差	2.91	3.42

另外,数码相机 A 在第 24 号和第 26 号的蓝色与第 116 号和 117 号的橘红跟青黄色差很大,说明数码相机 A 对橘红跟青黄颜色再现能力很差。数码相机 B 在第 10 号灰色出现很大的色差,另外在 9,19,20,40,52,123,129 的灰色,以及 74,93 的黄色色差都超过了 6,说明现数码相机 B 相机对灰色和黄色色彩再现不好,并且数码相机 A 在色彩还原上要高于数码相机 B。

2.2.2　色域比较

数码相机 A 与 B 颜色再现的色域比较见图 8,外

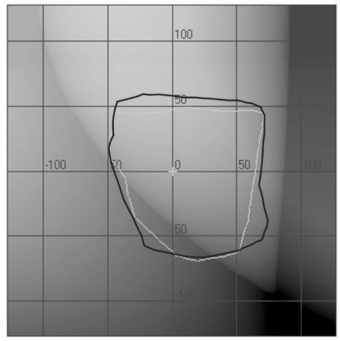


图 8　数码相机 A 与 B 的色域图

Fig. 8 Color gamut of digital camera A and camera A

部黑色色域为数码相机 B 的。观察两图的边缘色数值可以看出数码相机 B 的色域比数码相机 A 的色域更加宽广,表明数码相机 B 相对于 A 的颜色能够尽量体现,不被压缩。如果原稿的色域范围在边缘线条包围的区域之外,则这些颜色将被数码相机 A 压缩,从而失去这些颜色,达不到对颜色的真实再现,而数码相机 B 则能够体现。同时,2 款相机都在红处要大

一些,说明 2 款相机对于暖色调处的图像再现比较好,而冷色调色域较小,比如蓝色、绿色区域。

3 结论

对 2 台 1000 万像素的数码相机的颜色复制特性通过主客观相结合的方法做出了评价。数码相机 A 拍摄户外风景最优,其次是人物,最后是室内风景。数码相机 B 拍摄人物最优,其次是室内风景,最后是室外环境。拍摄室内环境和人物照片,数码相机 B 性能优于数码相机 A,拍摄户外照片中数码相机 A 却要略高一筹。从数码相机的相机色差和色域比较,数码相机 A 的色域比数码相机 B 小,但色差要比数码相机 B 小,综合评价而言,相机 A 对颜色的复制更准确。进行色彩管理图像的色差要小于未进行色彩管理图像的色差,说明做过色彩管理的图像要比没有做过色彩管理的图像对于颜色还原要好。实际的工作生活中希望用数码相机得到更符合实际景物的颜色的图像,制作数码相机的特性文件是很有必要的[4]。

实验还有一些不足之处,首先在拍摄过程中受到曝光条件的影响,在拍摄色靶的过程中存在曝光的不均匀现象。另外实验条件有一定影响,使得制作 ICC profile 的环境达不到 ProfileMaker 5.0 软件设计的要求[5]。

基本给出了 2 种相机不同拍摄条件下对不同原稿的再现结果,2 款相机在风景、人物、色差、色域上有差别的方法,具有普遍参考和使用意义。其中数码相机现的颜色复制性能评价体系的形成,可根据后期研究情况,通过测试相机品牌的不断扩大,给其他类型的相机评价提供了一个参考的平台,为今后数码相机的评价提供了可靠的使用方法和相关数据。

参考文献:

[1] 吴丽. 基于数码相机色彩管理的研究[J]. 包装工程, 2008,29(7):80-82.
WU Li. Research on Color Management of Digital Camera [J]. Packaging Engineering,2008,29(7):80-82.

[2] POINTER M R, ATTRIDGE G G, JACOBSON R E. Application of a Color Reproduction Index to Digital Camera Characterization[R]. UK: The Imaging Technology Research Group, University of Westminster, Harrow.

[3] 杨阳,陈琛. 基于神经网络的数码相机颜色空间转换方法研究[J]. 中国印刷与包装研究,2011,5(3):40-45.
YANG Yang, CHEN Chen. Digital Camera Color Space Conversion Based on Neural Networks, China Print and Packaging Study,2011,5(3):40-45.

[4] 何颂华,王利婕,陈琪莎. 基于数码相机特性文件的色彩校正和色彩管理研究[J]. 包装工程,2005,26(5):78-81.
HE Song-hua, WANG Li-jie, CHEN Qi-sha. Study of Color Correction and Management Based on Color Profile of Digital Camera[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 78-81.

[5] 邓倩,王娜. 基于 CIECAM02 色貌模型的数码相机色彩管理[J]. 包装工程,2012,33(5):115-118.
DENG Qian, WANG Na. Color Management of Digital Camera Based on CIECAM02 Color Appearance Model[J]. Packaging Engineering,2012,33(5):115-118.

(上接第 97 页)

[3] WELK Martin, THEIS David, WEICKERT Joachim. Variational Deblurring of Images with Uncertain and Spatially Variant Blurs [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005,3663:485-492.

[4] BAR L, SOCHEN N A, KIRYATI N. Restoration of Images with Piecewise Space-variant Blur[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,2007,4485:533-544.

[5] COSTELLO Thomas P, MIKHAEL Wasfy B. Efficient Restoration of Space-variant Blurs from Physical Optics by Sectioning with Modified Wiener Filtering[J]. Digital Signal Processing,2003,13(1):1-22.

[6] JACKWAY P T. Improved Morphological Top-Hat[J]. IEEE Electronics Letters,2000,36(14):1194-1195.

[7] SAMARAS D, METAXAS D. Incorporating Illumination Constraints in Deformable Models for Shape from Shading and Light Direction Estimation[J]. IEEE Trans Pattem Analysis and Machine Intelligence,2003,25(2):247-264.

[8] SHI Ben-guang, CHEN Shou-xin. Nonlinear Regression Fuzzy Analysis of Real Variable and Fuzzy Parameter[J]. Chinese Quarterly Journal of Mathematics,2002,17(1):71-76.

[9] CHAN K Y, DILION T S, LING S H, et al. Manufacturing Modeling Using an Evolutionary Fuzzy Regression [C]. Fuzzy Systems,2011,2261-2267.

[10] HAO Pei-yi, CHIANG Jung-Hsien. Fuzzy Regression Analysis by Support Vector Learning Approach [J]. Fuzzy Systems,2008,16(2):428-441.