

ICC 中 4 种再现意图的匹配原理及匹配结果分析

陈琳琳, 陈广学, 陈奇峰, 许瑞馨

(华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广州 510640)

摘要: 再现意图是图像复制过程中进行色彩匹配的依据, 是色彩管理的要素之一。对 ICC 中 4 种再现意图的匹配原理进行了详细阐述, 并基于 ICC 色彩管理流程, 在不同再现意图下使用分光光度计对色块图进行色度测量, 然后对色彩转换前后色块的色差和色域体积进行了计算分析。实验结果对颜色复制过程中再现意图的选择和色彩管理的进行有非常重要的指导意义。

关键词: 色彩管理; 再现意图; 颜色复制; 色域

中图分类号: TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)09-0066-05

Matching Principles and Matching Results Analysis of 4 Kinds of Rendering Intents in ICC

CHEN Lin-lin, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng, XU Rui-xin

(State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Rendering intent is the basis of color matching in the process of image reproduction, and one of the key elements of color management. The matching principles of four kinds of rendering intents in ICC were elaborated. Based on the color management workflow of ICC, the chromaticity of color patches were measured with spectrophotometer. The color difference and color gamut volume of the color patches were calculated and analyzed. The experimental results are instructive in rendering intents selection and color management.

Key words: color management; rendering intent; image reproduction; color gamut

在色彩复制过程中, 由于不同的输入、输出和显示设备具有不同色彩再现能力, 当图像从源设备色空间向目标设备色空间转换时, 有些源设备色空间中呈现的颜色, 不能在目标设备色空间中复制出来, 所以必须用一些其他颜色来代替, 这也是色彩管理的重中之重。再现意图正是决定应该用什么方法来映射 (Mapping) 源空间颜色到目标设备空间的^[1]。

1993 年, 由国际色彩联盟 ICC 提出了用于色彩管理的 ICC 标准, 此标准中定义了视觉、饱和度、相对色度、绝对色度 4 种基本的再现意图 (或匹配方法)^[2]。不同再现意图对同一颜色在不同颜色空间的再现性有很大影响, 而且它不能识别用户在印刷原稿中定义颜色的重要性, 用户感兴趣的区域并非是整个原稿的阶调分布, 而是一种特定的阶调区域。这就导

致一种匹配方法在某种场合获得成功, 而在其他场合有可能失败。因此, 色彩管理中再现意图的选择对图像色彩复制的影响甚大。

文中通过在不同再现意图下对 Macbeth 色标图的打印输出, 研究了不同再现意图对图像色差及色域体积的影响, 从而对色彩管理的实施提供指导。

1 基本原理

1.1 视觉匹配法

视觉匹配法 (Perceptual Matching) 是将源设备空间的所有颜色等比例地对应到目标设备的色空间, 使所有颜色在整体感觉上保持不变。它是对色相、明度、饱和度进行均等压缩, 故又称比例压缩法。其匹

收稿日期: 2012-06-19; 修改日期: 2013-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60972134)

作者简介: 陈琳琳 (1989-), 男, 河南洛阳人, 华南理工大学硕士生, 主要研究方向为色彩再现与图文信息处理。

配原理见图 1a。

1.2 饱和度匹配法

饱和度匹配法(Saturation Matching)是将落在目标色域外的颜色改变亮度,甚至有时改变色相,尽量保护颜色的饱和度或者提高图像的饱和度。在实施这种匹配方法时,每一个色域外的颜色将单独处理,不考虑其所处的环境,目标色域外的颜色将映射到目标色域中同色相的最饱和的颜色。对于处于目标色域内的颜色并不是一点都不改变,它们也将增加饱和度。其匹配原理见图 1b。

1.3 相对色度匹配法

相对色度匹配法(Relative Colorimetric Matching)首先将源色域中最亮的白点映射到目标色域的最亮的白点上,其他相关颜色随之改变。位于目标设备色空间之外的颜色将被替换成目标设备色空间中色度值与其尽可能接近的颜色。即以源设备色空间中超出目标设备的颜色坐标为起点,向目标色空间做一

条距离最短的直线,这条直线与目标设备色空间的交点对应的色彩就是用来代替超出目标设备的颜色的色彩。但要注意,经过白点映射之后,如果有的颜色仍然位于目标色域之外,则通过直接裁剪的方法,将其压缩到目标色域边界上最接近的颜色上。其匹配原理见图 1c。

1.4 绝对色度匹配法

绝对色度匹配法(Absolute Colorimetric Matching)是指对保持位于色域共同区域内的颜色不变,目标设备色域外的颜色用离它最近的颜色代替,同时色域内的亮度准确再现,色域外的亮度升高或降低,甚至正好在色域上,从而造成颜色在高光或暗调处反差丢失。它的基本原理是用公共色域边界上距离色域外颜色最近的颜色代替域外颜色。但需要注意的是白点的复制问题,绝对色度匹配法不把设备空间的白点映射为目标色空间的白点,而是保留。其匹配原理见图 1d。

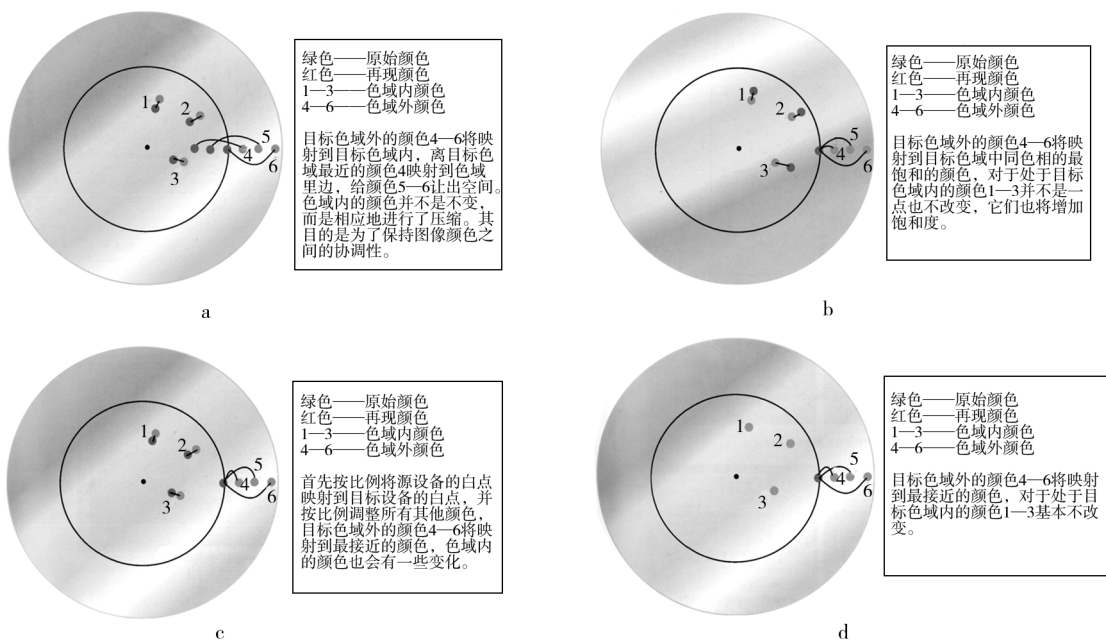


图 1 4 种再现意图的匹配原理

Fig. 1 Matching principles of 4 kinds of rendering intents

2 实验

2.1 材料及仪器

以 Macbeth Color Checker 24 色标图(见图 2)为原稿,其白点色度坐标为 $L = 97, a = 0, b = 1$ 。由 EPSON Stylus Pro7880C 喷墨打印机以 1440 dpi 的分辨

率输出。输出时分别采用 ICC 标准下的 4 种再现意图:视觉匹配法、饱和度匹配法、相对色度匹配法、绝对色度匹配法。承印介质为 Color Leader 的 190 g/m² 半光泽数码打印照片纸,其色度坐标为 $L = 99.4, a = -0.37, b = -5.08$ 。

其他实验条件见表 1。

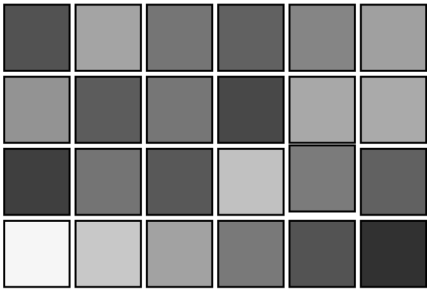


图2 实验用 Macbeth Color Checker 24 色标
Fig.2 Macbeth Color Checker 24 color standard for experiment

表1 实验条件
Tab.1 Experimental conditions

图形编辑软件	Adobe IllustratorCS4/Adobe PhotoshopCS3
显示器	Eizo ColorEdge CG222W
色彩管理模式	Adobe (ACE)CMM
颜色测量设备	X-Rite Spectrodensitometer939
观测光源	Macbeth JudgeII D65 光源
数据分析软件	Microsoft Excel/Origin Pro8.1SR3/Matlab2009b

2.2 方法及数据获取

对上述的4种再现意图下输出的4幅图像,分别用X-Rite Spectrodensitometer939分光光度仪测得24个色块(图2自左而右、自上而下分别标号1,2,3,⋯,24)的Lab值,每个色块测5组数据,然后取其平均值并记录。

2.3 数据分析及讨论

2.3.1 色块的色度坐标

在ab平面中画出源数据及4种再现意图下各色块的坐标见图3。

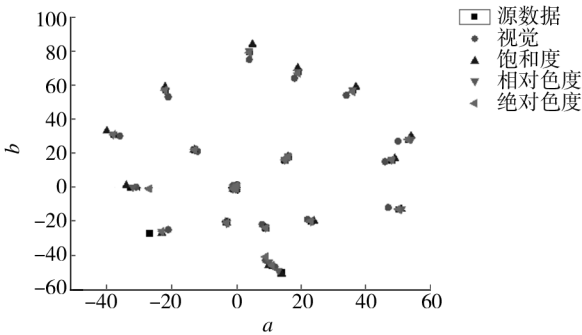


图3 4种再现意图下各色块的色度坐标
Fig.3 Chromaticity coordinates of every color patch under four kinds of rendering intents

从图3可以看出:1)集中在色度图中央的中性色在色域转换后,基本上都没发生变化(明度值除

外);2)远离中央的高饱和度的彩色,在色域转换后,除了饱和度优先匹配法远离中央外,其他匹配法都向中央靠近,且视觉匹配法靠近的程度最大,说明颜色的饱和度值越低在色空间转换中受影响越小,饱和度值越大在色空间转换时受影响越大;3)使用饱和度匹配法的色块色度绝对值升高,充分验证了饱和度匹配法对色彩饱和度的保护作用。

2.3.2 色块的色差值

计算不同再现意图下所有色块与源颜色色块的色差值,见图4。

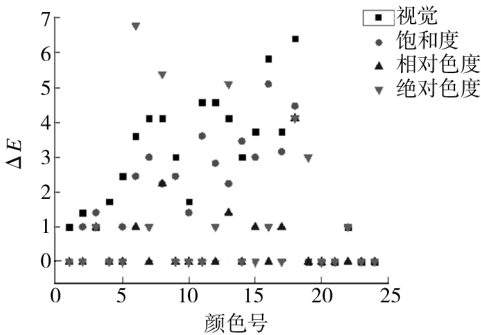


图4 4种再现意图下各色块的色差
Fig.4 Color difference of every color patch under four kinds of rendering intents

从图4可以看出:1)除个别色块外,视觉匹配法产生的色差值基本上都是最大的,所以视觉匹配法的色块在4种匹配法中是产生色差最大的,在色域转换时对颜色还原影响最大;2)使用饱和度匹配法,大部分色块都有色差,这种匹配法虽然保护了色彩饱和度,但却无法准确再现颜色;3)相对色度和绝对色度匹配法产生的色差值很多为0,只有少数色差较大,所以,相对色度匹配法和绝对色度匹配法再现颜色的精度相对另2种方法要高;4)绝对色度匹配法不为0的色差要比相对色度匹配法不为0的色差大,采用绝对色度匹配法转换的结果与源颜色的色差值最小,最接近源颜色。

图3、图4中,视觉的色域匹配法之所以会出现较大的色差,是因为它考虑到人眼对颜色的相对关系比较敏感,而对颜色的绝对值不太敏感这一特性,在进行色彩映射时,保持原色彩相对关系不变,对色彩的色相、明度、饱和度进行等比压缩,其颜色绝对值必定改变。所以在色域内颜色转换时,也会由于映射算法的压缩产生较大的色差,更不用说色域外颜色。而色度的色域匹配法则把源图像的白点压缩到(或保留

到)目标设备的白点,更加注重颜色绝对值的准确再现,因此产生的色差较小^[3]。

通常认为,视觉匹配法比较适用于摄影原稿的复制,因为它注重了原稿的整体层次感,其实并不一定,有时候也会产生过度的或不必要的压缩^[3]。比如,摄影原稿主要部分(如风景画中人的脸部、头发等)的色域完全在输出设备的色域之内,只有少部分不太重要

的色彩细节在输出设备的色域之外,这时若采用视觉色域匹配法,反而会产生较大的色差,而采用色度的色域匹配法会更好。

2.3.3 色块的色域

在 Matlab 中模拟出 4 种再现意图下的色域图,见图 5。

用 Matlab 软件编程计算出 4 种再现意图下 24 色

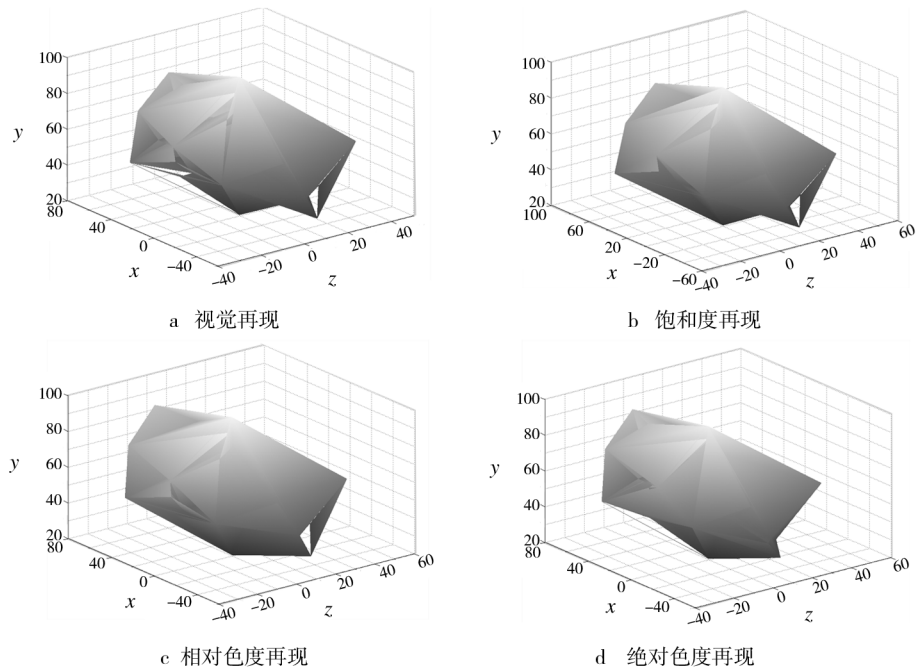


图 5 4 种再现意图下的色域图

Fig. 5 Color gamut under four kinds of rendering intents

块图的色域体积,见表 2。

表 2 4 种再现意图下的色域体积

Tab. 2 Color gamut volume under four kinds of rendering intents

再现意图	色域体积
视觉	221 143
饱和度	232 564
相对色度	220 030
绝对色度	201 185
源数据	225 691

由表 2 可以看出,饱和度再现意图的色域体积在 4 种再现意图中是最大的,其次是视觉、相对色度,而绝对色度的色域体积为最小。相对色度和绝对色度再现意图要保证色域内的颜色值基本不变,因此这 2 个色域应基本反映输出设备的色域范围^[4-5]。而更进一步,并不是说视觉再现意图可以复制出更大范围的颜色,只是说它想尽可能将设备的颜色值映射为更

多的灰度级,使色域足以容纳各种常用设备的色域,让色域外颜色有足够多的压缩等级,以便在视觉上感到色彩更愉悦,完全是人为地扩大了色域范围。而绝对色度再现意图之所以色域体积最小是因为它不映射介质的白点和黑点,阶调被限制在介质白点和黑点范围内,而相对色度的理论阶调值为 0 ~ 100^[5]。

每一种输入、输出设备虽然是根据 4 种再现意图的基本原理设计出的色彩管理系统,但是它们的色域映射能力不尽相同,因此对同一副图像复制输出后,产生的色差、色域体积有一定差别。所以色彩管理系统有必要考虑设备与图像之间的绝对映射关系,而这也一直是色彩管理所面临的巨大问题。

3 结论

通过对不同再现意图下输出图像色差及色域体积

的研究,视觉匹配法产生的色差基本都是最大的,饱和度再现意图虽然保护了图像的饱和度但却无法准确复制颜色,色度再现意图产生的色差大多数为0,只有少数较大;视觉匹配法的色域体积为最大,其次为饱和度和相对色度,而绝对色度的色域体积为最小。传统认为的哪种再现意图适合于哪种图像的复制只是人们在长期的色彩管理过程中的经验之谈,并非绝对。再现意图的选择最好在知道源空间色域和目标空间色域的情况下进行,这样更有利于色彩的准确再现。

印刷管理的目的是“所见即所得”,而再现意图的色域映射算法是印刷管理的关键。为了实现更好的色彩管理和图像复制效果,应该在4种再现意图的原理基础之上,充分考虑输入设备和输出设备的色域关系以及源图像的色彩特点,甚至在三维色域空间中考考虑图像相邻像素色彩表现的影响,从而设计出更加完美的色域映射算法^[6-10]。只有这样,才能改善同一图像在不同设备之间传输时色彩不匹配的问题。这也是下一步要研究的内容。

参考文献:

- [1] 刘真,蒋继旺,金杨. 印刷色彩学[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
LIU Zhen, JIANG Ji-wang, JIN Yang. Printing Chromatology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [2] 刘浩学,朱明铮,黄敏,等. 从特征文件分析 ICC 色域映射机制[J]. 中国印刷与包装研究,2010,2(1):14-19.
LIU Hao-xue, ZHU Ming-zheng, HUANG Min, et al. Inspecting ICC Output Device's Profiles and Analyzing the Color Gamut Mapping Mechanism[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(1): 14-19.
- [3] 林茂海,周世生,罗运辉. 色域映射算法对颜色复制中色差的影响[J]. 机械科学与技术,2010,29(11):1461-

1465.

- LIN Mao-hai, ZHOU Shi-sheng, LUO Yun-hui. Influence of Gamut Mapping Algorithm on the Color Difference in Color Reproduction[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2010, 29(11): 1461-1465.
- [4] 许瑞馨,唐万有,何明辉. 不同软件中色彩管理的应用效果比较[J]. 包装工程,2008,29(3):87-89.
XU Rui-xin, TANG Wan-you, HE Ming-hui. Comparison of the Color Management Application Effects of Different Software[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3): 87-89.
- [5] 刘浩学,武兵,黄敏,等. 对输出文件不同再现意图色域的分析[J]. 北京印刷学院学报,2009,17(6):17-20.
LIU Hao-xue, WU Bing, HUANG Min, et al. Analyses to the Profiles of Output Device in Different Rendering Intents [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2009, 17(6): 17-20.
- [6] 李效周,陈广学,贾春江,等. 基于高保真颜色再现的色域扩展方法研究[J]. 包装学报,2011,3(1):19-23.
LI Xiao-zhou, CHEN Guang-xue, JIA Chun-jiang, et al. Study on Gamut Extension Methods for Hi-Fi Color Reproduction[J]. Packaging Journal, 2011, 3(1): 19-23.
- [7] MOROVIC J. Color Gamut Mapping[M]. John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [8] NOVAKOVIC M, MANDIC L, DELAC K. Rendering Intent and Color Reproduction[C]//The 29th International Symposium ELMAR. Croatia, 2009: 25-28.
- [9] HIGH G, GREEN P, COATES D, et al. Colour Management for Cholesteric Displays: Creation and Usage of ICC Colour Profiles[C]//The 31st International Congress on Imaging Science. ICIS, 2010: 35-38.
- [10] CHEN Guang-xue, LI Xiao-zhou. Study on Original Image Gamut and Gamut Mapping Adaptability in Digital Printing [C]//31st International Congress of Imaging Science, USA: IS&T, 2010: 184-188.

(上接第65页)

- [6] 王晓华,齐元胜. 基于虚拟现实技术的印刷机给纸机分离头研究[J]. 北京印刷学院学报,2010,18(2):21-23.
WANG Xiao-hua, QI Yuan-sheng. The Research of Feeding Device Based on Virtual Reality Technology[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2010, 18(2): 21-23.
- [7] 张义智,郭连考. 给纸机递纸吸嘴机构共轭凸轮设计[J]. 包装工程,2007,28(1):104-105.
ZHANG Yi-zhi, GUO Lian-kao. Design of the Conjugated

Cams in Suction Nozzle of Paper-feeding Mechanism of Feeding Machine[J]. Package Engineering, 2007, 28(1): 104-105.

- [8] 杨家华,管华. 印刷机振动的测试与分析[J]. 北京工业大学学报,2004,30(1):35-37.
YANG Jia-hua, GUAN Hua. Test and Analysis of the Vibration of Printing P Press[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2004, 30(1): 35-37.