

# 基于划分子空间的数码相机颜色空间转换方法研究

冀利利<sup>1</sup>, 孔玲君<sup>1,2</sup>

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093)

**摘要:** 基于数码相机的印刷品质量检测是未来发展的方向, 在颜色检测领域需要首先解决色空间转换的精度问题。采用分子空间的多项式回归法实现了从 RGB 颜色空间到 CIEL<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> 颜色空间的转换, 首先把 RGB 颜色空间划分成若干个子空间, 然后在每个子空间中运用最小二乘法建立多项式模型, 对任意 RGB 颜色值根据其所在子空间求解对应的多项式方程, 即可得到 L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> 值。实验表明, 该方法的转换精度有了很大程度的提高, 能够满足数码相机色空间转换的基本要求, 为基于数码相机的印刷品质量检测奠定基础。

**关键词:** 数码相机; 颜色空间转换; 多项式回归; 分子空间

**中图分类号:** TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)23-0107-04

## Color Space Conversion Method of Digital Camera Based on Subspace Partition

Ji Li-li<sup>1</sup>, KONG Ling-jun<sup>1,2</sup>

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Printing quality detection by digital camera is the direction of future development, but the problem of color space conversion accuracy need to be solved in the field of color detection. The color space conversion between RGB color space and CIEL<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> color space was achieved using polynomial regression based on subspace partition. RGB color space was divided into subspaces and polynomial models were created in subspaces with least square method. L<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> values of any RGB values can be obtained by solving polynomial equation according to their own space. The experiment showed that the conversion accuracy increases considerably by using this new method, which can satisfy the requirement of digital camera and lays the foundation for quality inspection of presswork.

**Key words:** digital camera; color space conversion; polynomial regression; subspace partition

随着国内外高科技的发展,数码相机作为新一代的图像采集设备已应用在各行各业。在印刷品颜色检测领域,大多数印刷企业使用分光光度计开展印刷品颜色的检测和评估,而分光光度计难以对非平面表面进行非接触式的测量,工作效率低。为对印刷品颜色进行快速、准确检测,利用数码相机<sup>[1-2]</sup>替代分光光度计进行印刷颜色的检测可以解决这一问题。

因数码照相机采集到的图像颜色是 RGB 模式<sup>[3]</sup>,RGB 颜色空间是一个与设备相关的颜色空间,不同设备上显示出的颜色特性不同,RGB 值不能用来评价印刷品的颜色是否存在偏色,因此需要进行颜色

空间转换<sup>[4]</sup>,笔者将 RGB 颜色空间分成多个子空间,在每个子空间中用多项式回归法对数码相机色空间进行转换。

## 1 常用的色彩空间转换方法

常用的色彩空间转换的方法主要包括纽介堡方程法<sup>[5]</sup>、查找表法<sup>[6-8]</sup>、神经网络法<sup>[9-10]</sup>、多项式回归法<sup>[11-13]</sup>等。纽介堡方程法中数学模型的建立简单方便,但忽略了纸张对光线的影响,转换精度低,不能满足要求,而且多用于 XYZ 与 CMYK 颜色空间的转换;

收稿日期: 2013-09-02

基金项目: 国家新闻出版总署数字印刷工程研究中心开放基金项目

作者简介: 冀利利(1989-),女,山东人,上海理工大学硕士生,主攻数字印刷质量检测与评价。

查找表插值法要求建表的基础数据来源准确、表中数据足够丰富,就能保证整个空间的转换精度,但不足之处是颜色空间不均匀,不能建立规则的查找表进行插值运算,且占用较大的存储空间;神经网络法和多项式回归都是假定系统为一个黑箱,通过输入与输出得到中间转换关系<sup>[7]</sup>。神经网络模型的训练过程存在收敛速度慢以及易陷于局部最小点的问题<sup>[9]</sup>。色空间转换为非线性转换,多项式回归法在整个色空间的转换精度不一致,增加多项式的项数可以提高色彩转换的精度,但系数达到一定值后,精度提高缓慢,而且在实际应用中项数过高会引起震荡<sup>[8]</sup>。

## 2 分子空间的多项式回归算法

### 2.1 多项式回归算法理论

多项式回归法是基于一种源色彩空间和目标色彩空间之间能被一组同时成立的等式所建立的假设,在已知的源色空间和目标色空间中选择样本,通过选定的多项式建模,从而得到多项式的系数矩阵,然后通过求解得到系数矩阵,把源色空间色彩描述转换到目标色彩空间<sup>[14]</sup>。

记输入矩阵  $R$ , 转换矩阵  $M$  和输出矩阵  $H$ , 则多项式模型可表示为:

$$\begin{aligned} H &= RM \\ \rho_3 &= [R \quad G \quad B] \\ \rho_5 &= [1 \quad RGB \quad \rho_3] \\ \rho_9 &= [\rho_3 \quad RG \quad RB \quad GB \quad R^2 \quad G^2 \quad B^2] \\ &\dots \end{aligned} \quad (1)$$

式中输入矩阵  $R$  为  $n \times m$  矩阵,  $n$  为色块数,  $m$  为对应多项式项数。如(1)式,  $\rho_m$  为输入矩阵  $R$  的行向量, 输出矩阵  $H$  为  $n \times 3$  矩阵, 行向量由色块的  $L^* a^* b^*$  值组成。基于最小二乘法, 变换矩阵  $M$  由(2)式求解得到:

$$M = (R^T R)^{-1} R^T H \quad (2)$$

### 2.2 子空间划分的多项式回归法

为提高色空间转换的精度, 把 RGB 整个颜色空间均匀划分成  $N \times N \times N$  个子空间, 见图 1 (划分成  $2 \times 2 \times 2$  个子空间) 划分 RGB 颜色空间, 并为每一个子空间编号。在每一个子空间中运用最小二乘法, 建立多项式模型, 求得转换矩阵  $M$ , 并保存每个子空间的转换矩阵。对于任意 RGB 颜色可根据其 RGB 值搜索其所在的子空间编号, 并调用该子空间的转换矩阵  $M$ , 然

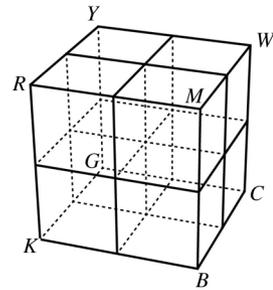


图 1 子空间划分

Fig. 1 Subspace partition

后由式(3)计算得到对应的  $L^* a^* b^*$  值。

$$[L^* \quad a^* \quad b^*] = [R \quad G \quad B] M \quad (3)$$

## 3 实验

### 3.1 实验设备及材料

这里选择 Nikon D5100 数码相机作为实验数码相机, 拍摄时数码相机安置在三脚架上, 色靶放置在立体光源中。数码相机白平衡设定使用 ColorChecker White Balance Card 白板, 颜色测量使用 gretagmactheth ilio 测色仪器。实验过程中使用 Adobe Photoshop CS3 制作检测色靶, 并借助于 Matlab 2011 开展算法编制与测试。

### 3.2 实验过程

#### 3.2.1 制作色靶

制作色靶包括建模色靶和测试色靶 2 部分。建模色靶是对 RGB 颜色空间中各通道分别进行 11 级均匀分割, 即各通道颜色值分别取 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 255, 三通道组合后共得到 1331 个色块。测试色靶是对 RGB 颜色空间中各通道分别进行 7 级均匀分割, 即各通道颜色值分别取 0, 40, 85, 130, 170, 210, 240, 三通道组合后共得到 343 个色块。借助 Matlab 和 Adobe Photoshop 软件制作各色块后, 组合得到多个色靶文件, 其中一个色靶示例见图 2。最后, 利用数码冲印设备, 得到拍摄用的色靶。

#### 3.2.2 图像获取

为防止杂散光的影响, 在暗室条件下进行拍摄。将色靶放在立体光源的正中央, 数码相机镜头中心与色靶尽可能在同一条线上, 并保证三脚架在拍摄过程中位置不变。为准确控制数码相机的状态, 将数码相机设置为手动模式, 手动调节光圈和快门, 用 Color-

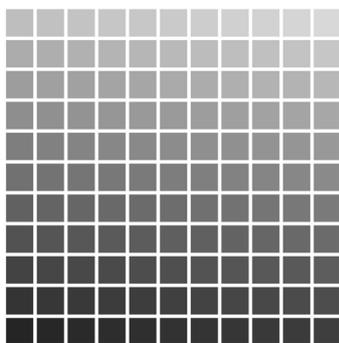


图2 色靶

Fig. 2 Color target

Checker White Balance Card 白板为相机作白平衡,调节参数多次拍摄,找到最佳状态,然后再分别拍摄建模色靶和测试色靶。

### 3.2.3 获取实验数据

编写程序提取色块的 RGB 值,把数码相机拍摄到的色块存储在计算机中,取每个色块的中间方形区域的像素的平均值作为色块的 RGB 数据。用 gretag-macbeth ilio 仪器测量获得建模色靶和测试色靶中的各个色块的  $L^* a^* b^*$  值。实验共获取到 1331 组建模样本的 RGB- $L^* a^* b^*$  值对和 343 组测试样本的 RGB- $L^* a^* b^*$  值对。

## 3.3 建立色空间转换模型及检验分析

### 3.3.1 建立颜色空间转换模型

实验选用 1331 个色块作为建模样本,根据文献 [5] 划分胞元的数量,选择把 RGB 颜色空间分成  $5 \times 5 \times 5$  个子空间,理论上每个子空间包含 27 个建模样本,但经数码冲印拍照后,色块的 RGB 值会发生变化,每个子空间包含的建模样本数量并不相同,为避免子空间的样本点数小于所选择的多项式项数,设定每个子空间的多项式项数为 5。这样,由式(1)得到每个子空间的 RGB- $L^* a^* b^*$  值对的转换关系为:

$$[L^* \ a^* \ b^*] = [R \ G \ B \ 1 \ RGB] \times M \quad (4)$$

在 Matlab 中首先对建模样本进行子空间划分,在子空间中把建模样本的 RGB- $L^* a^* b^*$  值对代入式(2),得到 125 个系数矩阵  $M$ 。然后根据测试色靶各个色块的 RGB 值,搜索每个色块对应的子空间编号,根据编号把子空间的多项式系数矩阵  $M$  代入到(4)式中,得到对应的  $L^* a^* b^*$  值。

### 3.3.2 检验分析

采用目前最均匀的色差公式 CIEDE2000<sup>[15]</sup> 计算测试色靶中 343 个色块的颜色测量值与其计算值之

间的色差。利用累计相对频率方法对色差进行统计得到的累计相对频率曲线见图 3,图 3 中同时给出了未采用子空间划分的多项式回归法得到的累计相对频率曲线。2 种方法的色差分析见表 1。

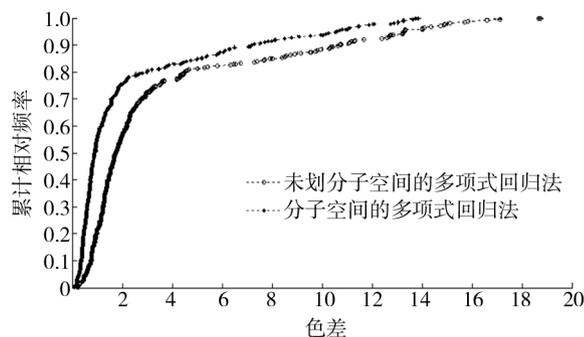


图3 色差的累计相对频率

Fig. 3 The culcumtive relative frequency of color difference

表 1 色差分析

Tab. 1 Analysis of color difference

方法	最大色差	最小色差	平均色差
分子空间多项式回归	13.8349	0.0915	2.2790
未分子空间多项式回归	18.7521	0.2086	3.5013

由图 3 可以得到,分子空间的多项式回归法中超过 50% 的色差分布在 0 到 1 之间,80% 的色差在 3 以内,而未划分子空间的多项式回归法中只有 20% 的色差在 0 到 1 之间,在 3 以内的色差比例为 70%。且由表 1 可知,分子空间的多项式回归法平均色差在 3 以内,与未划分子空间的多项式回归法相比平均色差及最大色差均有较大降低,色差超过 6 的减少 10%。整体来说该方法在颜色空间转换的精度上有较大改善。

## 4 结语

针对色空间转换是基于数码相机的颜色质量检测中首要解决的问题。通过分析数码相机常用的几种色空间转换算法的优缺点,提出了把 RGB 颜色空间划分成若干个子空间,在每个子空间中运用多项式回归法,实现 RGB 颜色空间到 CIEL<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup> 颜色空间的转换。实验结果表明该方法比未作子空间划分的转换方法在精度上有很大的提高,但要想实现印刷品的颜色再现质量检测,色空间转换精度上还需要进一步提高,还需开展深入研究。

## 参考文献:

- [1] 陈奕艺,徐海松,张显斗,等. 基于数码相机的光谱重构研究[J]. 光学学报,2009,29(5):1416-1419.  
CHEN Yi-yi, XU Hai-song, ZHANG Xian-dou, et al. Study of Spectral Reconstruction Based on Digital Camera[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(5):1416-1419.
- [2] 司占军,李煜. 数码相机颜色复制性能的研究[J]. 包装工程,2013,34(5):98-102.  
SI Zhan-jun, LI Yu. Research on Color Reproduction Performance of Digital Camera[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5):98-102.
- [3] 胡娜,司占军,赵秀萍. 基于数码相机的色彩管理研究[J]. 中国印刷与包装研究,2010,11(2):126-129.  
HU Yuan, SI Zhan-jun, ZHAO Xiu-ping. Application Research on Color Management System of Digital Camera[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 11(2):126-129.
- [4] 李瑞娟. RGB到CIEXYZ色彩空间转换的研究[J]. 包装工程,2009,30(3):79-81.  
LI Rui-juan. Study on Color Space Conversion Model from RGB to CIEXYZ[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3):79-81.
- [5] 张桢杰,刘真. 3种基于分区纽介堡方程的分色算法的误差分析[J]. 包装工程,2012,33(15):88-91.  
ZHANG Zhen-jie, LIU Zhen. Errors Analysis of Three Color Separation Algorithms Based on Subarea Neugebauer Equation[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15):88-91.
- [6] STEFAAN L, WILFRIED P. Size Reduction of Look-UP Table Based Print Models[C]//Proceedings of the International Conference on Image Processing. Atlanta, 2006.
- [7] 缪晓丽,唐正宁. 印刷品质量检测过程中的色空间转换方法研究[J]. 包装工程,2009,30(3):71-73.  
MIAO Xiao-li, TANG Zheng-ning. Development of Color Space Conversion Method for Printing Quality Inspection[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3):71-73.
- [8] 韩小贺. 基于图像处理技术的彩色印刷品质量检测方法研究[D]. 西安:西安理工大学,2009.  
HAN Xiao-he. Study on Color Printing Quality Inspection Technology Based on Image Processing[D]. Xi'an:Xi'an University of Technology, 2009.
- [9] ZHI Chuan, ZHOU Shi-sheng. Research on Color Space Transformation Model Between RGB and  $L^* a^* b^*$  Based on BP Neural Network[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Graphic Communications, 2008:306-308.
- [10] 李小东,陈喻,张传香. 基于BP神经网络法的扫描仪的色空间转换分析[J]. 湖南工业大学学报,2009,23(3):79-82.  
LI Xiao-dong, CHEN Yu, ZHANG Chuang-xiang. Analysis on Scanner Color Space Conversions Based on BP Neural Network[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(3):79-82.
- [11] 徐艳芳,刘文耀,左坤隆,等. 彩色扫描仪的特征化[J]. 光学精密工程,2004,12(1):15-20.  
XU Yan-fang, LIU Wen-yao, ZUO Kun-long, et al. Characterization of Color Scanners[J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(1):15-20.
- [12] HONG Guo-wei, Luo M R, Peter A R. A Study of Digital Camera Colorimetric Characterization Based on Polynomial Modeling[J]. Color Research and Application, 2001, 26(2):76-84.
- [13] 王勇,徐海松. 基于多项式回归模型的扫描仪色度特征化[J]. 光学学报,2007,27(6):1135-1138.  
WANG Yong, XU Hai-song. Colorimetric Characterization for Scanner Based on Polynomial Regression Models[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(6):1135-1138.
- [14] 陈婧,唐万有,王学美. 多项式回归法在印刷品质量检测中的研究[J]. 包装工程,2009,30(1):93-95.  
CHEN Jing, TANG Wan-you, WANG Xue-mei. Application Research of Polynomial Regression Algorithm on Printing Quality Detection[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1):93-95.
- [15] 孙建明,周世生,周利国. 基于CIEDE2000色差公式的印刷品色差检测研究[J]. 机械科学与技术,2011,30(4):582-585.  
SUN Jian-ming, ZHOU Shi-ming, ZHOU Li-guo. Detection of the Printing Color Difference Based on CIEDE2000 Color-difference Formula[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2011, 30(4):582-585.