

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2016.02.010

# 一种 Lab 空间的色域边界描述算法

汪祖辉, 孙刘杰, 邵 雪

(上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

**摘 要:** 基于区域分割法, 提出一种 Lab 空间的色域边界描述算法, 以更精确地实现图像颜色映射到打印机色域。在 Lab 空间内, 首先用色域边界描述 (GBD) 对打印机色域进行整体分割描述, 然后根据图像每个像素点的色相角 $\alpha$ 计算打印机的线性色域边界 (LGB), 最后比较图像每个像素点的  $L$  值与 LGB 矩阵  $L$  值区间的关系, 确定像素点是否在打印机色域边界内。算法在 GBD 对打印机色域边界进行分割后, 还面向图像每个像素点确定打印机的 LGB 边界, 色域边界描述更加精确。实验仿真结果表明, 该方法能够更精确、直观地实现图像颜色映射到打印机颜色。

**关键词:** Lab 空间; 色域边界描述; 区域分割法; GBD; LGB

中图分类号: TS801.3

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2016)02-0053-04

## A Color Gamut Boundary Description Algorithm for Lab Space

WANG Zuhui, SUN Liujie, SHAO Xue

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

**Abstract :** In order to achieve more accurate image color mapping to the printer color gamut, a new color gamut boundary description method in Lab space is proposed based on region segmentation method. Firstly, in the Lab space, the color gamut boundary description (GBD) is used to describe the color gamut of the printer. Then the printer linear gamut boundary (LGB) is calculated according to the image of each pixel of the hue angle. Finally, the relationship between the  $L$  value of each pixel of the image and the  $L$  interval of LGB matrix is compared to make sure whether the pixel dot is within the printer gamut boundaries. After dividing the gamut boundary of the printer in GBD, according to the image of each pixel, the printer's LGB boundary is determined. Therefore the color gamut boundary description method is more accurate. Simulation results show this method could achieve more accurate and intuitive color map image to the printer color.

**Key words :** Lab space; color gamut boundary description; segmentation algorithm; GBD; LGB

## 0 引言

彩色图像在显示器上显示和通过打印机输出时,

颜色会发生一定程度的失真, 其原因是不同的数字显示设备具有不同的色域范围。因此, 为了确保彩

收稿日期: 2015-10-29

基金项目: 上海市教育委员会科学研究创新基金资助重点项目 (13ZZ111)

作者简介: 汪祖辉 (1991-), 男, 安徽黄山人, 上海理工大学硕士生, 主要研究方向为数字印刷, 数字水印及数字图像处理, E-mail: 648697988@qq.com

通信作者: 孙刘杰 (1965-), 男, 安徽怀宁人, 上海理工大学教授, 博士, 主要从事图像处理和数字水印方面的教学与研究, E-mail: liujiesun@126.com

色图像从输入到输出过程中不发生色彩失真, 必须对打印机进行色彩管理<sup>[1-2]</sup>。色域映射是色彩管理的关键技术<sup>[3-4]</sup>。如果彩色图像从源设备颜色空间向目标颜色空间直接转换时, 源设备色域空间具有较大的色域, 那么图像的颜色损失将是不可避免的。通过色域映射技术, 对源设备色域空间与目标颜色空间建立合理的映射关系, 这样, 可减少彩色图像在颜色空间映射转换时的色彩失真, 保证图像在不同设备上的视觉一致性。如显示器 RGB 颜色空间的色域比打印机 CMYK 颜色空间的色域大, 因此, 彩色图像在打印输出时必须进行色域映射, 以减少颜色失真<sup>[5]</sup>。色域映射是建立在色域边界前提之下的, 只有明确色域的边界, 才能合理地建立源设备空间与目标颜色空间的映射关系。

区域分割法<sup>[6-9]</sup>是描述色域边界的常用方法, 区域分割法通过对设备 Lab 空间划分区域, 得到设备边界色域。但不同图像本身具有不同的色域边界, 在图像打印输出过程中, 需要将图像每个像素映射到打印机色域, 所以本文面向图像每个像素点, 并基于区域分割法, 提出一种 Lab 空间色域边界描述算法, 以实现更精确的色域边界描述。

## 1 打印机色域边界分析

在进行色域边界计算之前, 需要获取设备、图像或介质的色域, 具体方法是大量采集或者测量设备或媒体的特征样品点, 并特征化转换到标准颜色空间中, 最后在该标准颜色空间中运用数学计算的方法, 计算设备或媒体的色域边界。

### 1.1 区域分割法

M. Ján Morovie 等人<sup>[10]</sup>提出了适合媒体和图像色域边界的确定方法, 即分区最大边界描述符 (segment maxima GBD, SMGBD) 方法, 也即区域分割法。该方法在 Lab 空间或 Lch 空间利用色域边界描述器 (gamut boundary descriptor, GBD) 的计算, 近似地描述整个色域。

### 1.2 打印机 GBD 矩阵计算

根据色域映射执行的要求, 色域边界的计算是在某个与设备无关的标准颜色空间下进行的。将该标准颜色空间均匀地以球坐标的形式划分为多个分区, 如图 1 所示。当使用 CIE Lab 颜色空间作为色域边界计算的标准颜色空间时, 根据图 2 所示 Lab 空间的几何意义, 其球坐标的计算可以按照公式 (1) ~ (3)<sup>[11]</sup>进行。

$$r = \left[ (L - L_E)^2 + (a - a_E)^2 + (b - b_E)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1}[(b - b_E)/(a - a_E)], \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[ (L - L_E) / \left[ (a - a_E)^2 + (b - b_E)^2 \right]^{1/2} \right]. \quad (3)$$

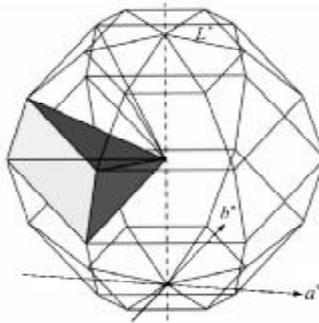


图 1 Lab 空间分割

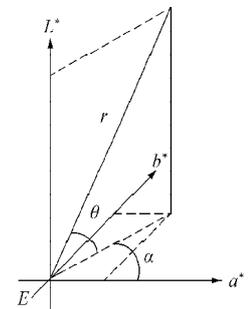


图 2 Lab 空间几何意义

Fig. 1 Lab space segmentation

Fig. 2 The geometrical meaning of Lab space

在描述打印机色域时, 假设色域描述的中心点  $E$  点的值既可经计算得到也可直接赋值指定, 例如在 CIE Lab 空间下可定义  $E$  点的坐标为  $[50, 0, 0]$ <sup>[10]</sup>,  $r$  是颜色点到中心点的距离,  $\alpha$  是色相角, 它的范围是  $0^\circ \sim 360^\circ$ ,  $\theta$  是色相角为  $\alpha$  时的平面内角度, 范围是  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。根据  $\alpha$  和  $\theta$  将颜色空间分成  $n \times n$  个分区 (例如  $n=6$ ), 由于该种色域边界的描述是通过矩阵来实现的, 在矩阵中保存了各个分区色域边界的颜色点, 因此该矩阵中保存了打印机色域  $L, a, b, \alpha, \theta$  和  $r$ , 并且为了图像 LGB 的计算, GBD 矩阵排序上按照  $\theta$  由小到大的顺序排列, 相同  $\theta$  值、不同  $\alpha$  值的点作为一组。如果某个分区内没有颜色数据点, 则利用与之最接近的 GBD 矩阵数据通过线性插值获取。利用上述方法获得的 GBD 点都是打印机色域边界的真实颜色点, 唯一有可能导致误差的原因是分区的多少。一般来说, 分区越多, 则计算结果越准确。

### 1.3 面向图像的打印机 LGB 矩阵计算

上述计算的结果仅仅是获取了打印机色域边界的概貌, 要描述图像每个像素点与打印机色域的关系, 还需要将每个像素点与打印机 GBD 矩阵进行判断, 获得图像每个像素点对应的线性色域边界 LGB。具体的计算过程如下:

1) 计算每个像素点的  $L_i, a_i, b_i, \alpha_i$  和  $\theta_i$  值。

2) 对于图像的每个  $\alpha_i$ , 分别从 GBD 矩阵中每个  $\theta$  分区找出一对相邻点, 其中一点的色相角大于  $\alpha_i$ , 而另一点的色相角小于  $\alpha_i$ 。

3) 对于每一对点, 通过图像确定的色相角  $\alpha_i$  对线性插值得到共面的多对点 LGB 矩阵, 矩阵保存了这些点的  $L^*, a^*, b^*, \alpha^*, \theta^*$ 。

4) 将得到的 LGB 点分别以  $\theta^*, L^*$  为横纵坐标建立坐标, 将各点描点并连线; 将每个像素点与  $L^*$  轴上

$E^*$  的(50, 0)进行连接, 判断像素点与LGB点构成平面的位置关系。如果像素点在平面内, 说明像素点在打印机的色域内, 可以直接打印; 如果像素点在平面外, 则说明像素点在打印机的色域外, 需要将像素点进行色域映射。

## 2 实验仿真

本实验通过 Matlab 2009a 软件进行仿真, 实验图像如图 3 所示, 为 512\*384 的局部“鹦鹉”图像, 格式为 .jpg。EPSON7910 七色喷墨打印机具有稳定的色域, 因此, 实验选用 EPSON7910 打印机作为输出设备。首先, 通过区域分割方法, 分区设为 66, 近似获得打印机色域边界的 36 个 GBD 矩阵; 然后, 面向图像每个像素点, 计算出打印机对应的 LGB 矩阵; 最后, 比较像素点的  $L$  值与 LGB 矩阵中  $L$  值的范围, 确定图像像素点是否在 EPSON7910 色域内。由于图像像素点太多, 因此选取图像第 1 个像素点来构建 LGB 矩阵, 并分析像素点是否在打印机色域内。



图 3 测试图像  
Fig. 3 Test image

- 1) 打印 IT8.7-4 CMYK 标准数字色标作为样品数据, 测量色块, 获得  $L, a, b$  值;
- 2) 计算 GBD 的各值, 近似描述 EPSON7910 打印机色域边界, 如图 4 所示;

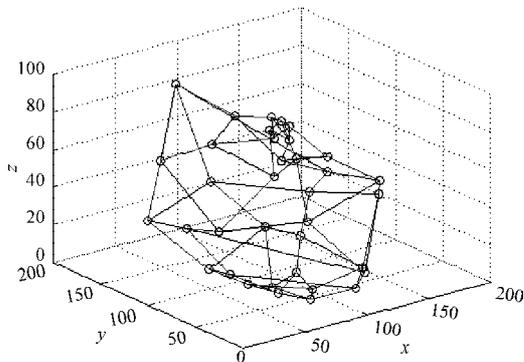


图 4 打印机色域  
Fig. 4 The printer color gamut

- 3) 计算图像第 1 个像素点  $A$  对应的打印机 LGB 矩阵。

图像第 1 个像素点  $A$  的矩阵如表 1 所示。

表 1 图像第 1 个像素点矩阵  
Table 1 Image first pixel dot matrix

像素点 $A$	$L_i$	$a_i$	$b_i$	$\alpha_i$	$\theta_i$
(1,1)	72.663	-27.909	42.420	2.153	0.961

对于像素点  $A$  的色相角  $\alpha_i$ , 分别从 GBD 矩阵中每一个  $\theta$  分区找出一对相邻点, 其中一点的色相角  $\alpha_1$  小于  $\alpha_i$ , 为第 1 个 GBD 矩阵 (见表 2), 而另一点的色相角  $\alpha_2$  大于  $\alpha_i$ , 为第 2 个 GBD 矩阵 (见表 3)。

表 2 第 1 个 GBD 矩阵  
Table 2 The first GBD matrix

组别	$L_1$	$a_1$	$b_1$	$\alpha_1$	$\theta_1$
第 1 组	3.700	-0.870	3.310	1.828	-1.497
第 2 组	26.010	16.680	34.490	1.120	-0.559
第 3 组	48.550	-8.580	58.650	1.716	-0.024
第 4 组	90.130	-4.850	100.200	1.619	0.381
第 5 组	86.230	-1.860	41.780	1.615	0.714
第 6 组	92.000	3.080	10.390	1.283	1.318

表 3 第 2 个 GBD 矩阵  
Table 3 The second GBD matrix

组别	$L_2$	$a_2$	$b_2$	$\alpha_2$	$\theta_2$
第 1 组	7.930	-18.140	6.500	2.798	-1.141
第 2 组	16.980	-41.260	17.610	2.738	-0.635
第 3 组	45.350	-77.630	34.850	2.720	-0.055
第 4 组	65.380	-45.870	63.110	2.199	0.195
第 5 组	78.310	-28.250	31.390	2.304	0.591
第 6 组	83.500	-1.120	0.960	2.433	1.527

根据像素点  $A$  的色相角  $\alpha_i$  值大小, 通过线性插值, 得到相同  $\alpha^*$  的 LGB 矩阵, 如表 4 所示。

表 4 像素点  $A$  对应的打印机 LGB 矩阵  
Table 4 LGB matrix corresponding to the  $A$  matrix of the printer

组别	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\alpha^*$	$\theta^*$
第 1 组	5.117	-6.656	10.117	2.153	-1.307
第 2 组	20.248	-20.293	30.843	2.153	-0.678
第 3 组	47.158	-38.625	58.706	2.153	-0.040
第 4 组	67.367	-42.577	64.713	2.153	0.221
第 5 组	80.046	-22.466	34.146	2.153	0.634
第 6 组	85.571	-0.097	0.147	2.153	1.566

确定像素点  $A$  的  $L$  值与打印机 LGB 矩阵  $L$  值的取值范围, 确定像素点与打印机的色域关系。为了分析直观, 建立如图 5 所示的  $L^*-\theta^*$  曲线。由图 5 可知, 图像第 1 个像素点  $A$  在 LGB 平面内部, 说明该像素点在打印机色域范围内, 无需映射。对其余像素点

矩阵依次进行计算,即可判断像素点与打印机的色域关系。

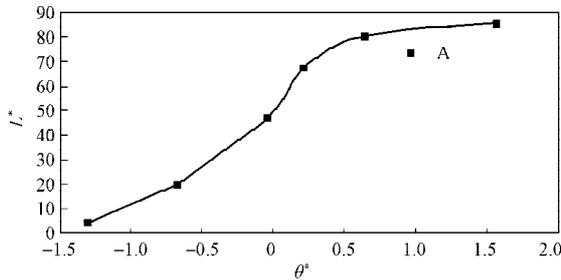


图5 像素点与LGB平面关系

Fig. 5 Relationship between pixels and LGB plane

### 3 结语

本文提出一种Lab空间色域边界描述算法,首先用色域边界描述(GBD)对打印机色域进行整体分割描述,然后根据图像每个像素点的色相角计算打印机的线性色域边界(LGB),最后比较图像每个像素点的值与LGB矩阵值区间的关系,确定像素点是否在打印机的色域边界内。算法在区域分割边界描述的基础上,面向输出图像像素点计算打印机LGB矩阵,结果更加精确。实验仿真结果表明,该方法能够精确、直观地实现图像颜色映射到打印机颜色。

#### 参考文献:

- [1] 李向伟. 三维插值的反向均匀化关键技术研究[J]. 现代电子技术, 2010(33): 125-128.  
LI Xiangwei. Key Technologies on Inverse Uniformity for Three Dimensional Interpolation[J]. Computer Application Technology, 2010(33): 125-128.
- [2] 况盛坤, 王晓红, 吕兆锋. 基于空间区域分割的四面体网格剖分色域描述算法[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 126-130.  
KUANG Shengkun, WANG Xiaohong, LÜ Zhaofeng. Color Gamut Descriptions Based on Space Region Partition of Tetrahedron Grid Subdivision[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 126-130.
- [3] 邓意成, 王瑞光, 陈宇, 等. CORDIC迭代法快速计算LED显示屏色域边界[J]. 发光学报, 2013, 34(4): 529-534.  
DENG Yicheng, WANG Ruiguang, CHEN Yu, et al. Rapid Calculation of LED Display Color Gamut Boundary Based on CORDIC Iteration Method[J]. Chinese Journal of

Luminescence, 2013, 34(4): 529-534.

- [4] 杨露, 刘真. 带插值最小二乘法在打印机色域边界描述中的应用研究[J]. 包装工程, 2013, 34(11): 80-84.  
YANG Lu, LIU Zhen. Application Research of Least Squares with Interpolation in Printer's Gamut Boundary Description[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(11): 80-84.
- [5] 肖颖喆, 张雯, 谢勇. CMYK与RGB颜色空间数字水印在印刷品中的应用比较[J]. 包装学报, 2015, 7(2): 11-15.  
XIAO Yingzhe, ZHANG Wen, XIE Yong. The Application of Digital Watermarking Technology for Printings in CMYK and RGB Color Space[J]. Packaging Journal, 2015, 7(2): 11-15.
- [6] 冉紫媛, 邢洁芳, 张琪, 等. 区域最大分割算法在色域边界描述中的应用[J]. 北京印刷学院学报, 2015, 23(2): 5-8.  
RAN Ziyuan, XING Jiefang, ZHANG Qi, et al. Application of the Segment Maxima Method in Gamut Boundary Description[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2015, 23(2): 5-8.
- [7] 梁金星, 李聪, 陈聪梅, 等. 基于颜色分割的印版网点面积率测量方法[J]. 包装学报, 2015, 7(1): 61-65.  
LIANG Jinxing, LI Cong, CHEN Congmei, et al. Dot Area Coverage Percentage Measurement Method for Plate Based on Color Segmentation[J]. Packaging Journal, 2015, 7(1): 61-65.
- [8] 谢勇, 冯起芹, 单武扬, 等. 数字全息水印在印刷半色调图像中的应用[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 101-105.  
XIE Yong, FENG Qiqin, SHAN Wuyang, et al. Application of Digital Hologram Watermark in Printing Halftone Image[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 101-105.
- [9] WU Xiaotian, SUN Wei. Visual Data Hiding in Dot Diffusion Images[C]//5th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology. Guangzhou: IEEE Computer Society, 2010: 588-593.
- [10] JÁN Morovie M, RONNIER Luo. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping[J]. Color Research and Application, 2000, 25(6): 394-401.
- [11] 冀利利, 孔玲君, 刘真, 等. 基于区域分割法的图像色域边界描述[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 110-116, 121.  
JI Lili, KONG Lingjun, LIU Zhen, et al. Image Gamut Boundary Descriptor Based on the Segment Maxima Method [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 110-116, 121.

(责任编辑: 徐海燕)

