

基于区域分割法的图像色域边界描述

冀利利¹, 孔玲君^{1,2}, 刘真¹, 蒋振飞¹

(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: **目的** 研究色域映射中色域边界的描述方法。 **方法** 在均匀区域分割法的基础上提出一种基于阈值的非均匀区域分割算法, 通过调整阈值和分割数量, 对不同类型图像的色域边界进行均匀描述。 **结果** 使用较少的边界点准确地描述色域边界, 并且边界点的空间分布均匀, 没有出现大量边界点集中的情况。 **结论** 通过与均匀区域分割法对比, 该算法可用较少的采样点和分割数目精确地描述色域边界, 对实现从图像到设备的色域映射有重要意义。

关键词: 色彩管理; 色域边界描述; 区域分割算法

中图分类号: TS801.3; TS807 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)09-0110-07

Image Gamut Boundary Descriptor Based on the Segment Maxima Method

Ji Li-li¹, Kong Ling-jun^{1,2}, Liu Zhen¹, Jiang Zhen-fei¹

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the gamut boundary description in the color gamut mapping. **Methods** A method of non-uniform segmentation with local threshold segmentation was proposed based on the uniform segmentation method. By changing the threshold and segment numbers, the gamut boundary of images of different types could be uniformly described. **Results** It could use fewer boundary points to describe the gamut boundary, and show better coverage of the gamut surfaces. There was no centralized gamut boundary points around the gamut surfaces. **Conclusion** Through comparison with the uniform segmentation method, this algorithm could accurately describe the gamut boundary with fewer boundary points and lower segmentation numbers, which is beneficial for developing the image-to-device gamut mapping algorithm.

KEY WORDS: color management; gamut boundary descriptor; segmentation algorithm

随着多媒体技术和彩色印刷技术的高速发展,人们对彩色图像复制的要求越来越高。在跨媒体彩色图像的复制过程中,为保证原稿色彩从输入到输出保持一致,必须引入色彩管理^[1-2]。色彩管理的关键技术是色域映射,在设备颜色空间到设备颜色空间的色域映射时^[3-4],源设备色域通常具有相对较大的色域。由此如果按照源设备颜色空间向目标颜色空间转换处理图像中的颜色,会造成一些不必要的颜色损

失。事实上在对图像进行颜色转换时,并不需要把源设备里的所有颜色映射到目标色域,只需要把图像中的颜色映射到目标色域,不需要考虑不在图像中的颜色。在跨设备的图像再现过程中,采用图像到设备的色域映射^[5-6],可尽可能减小色彩失真。由于不同图像的色域大小、形状各异,因此在色域映射时,需要精确地描述图像的色域边界^[7-8]。

描述色域边界的方法主要有凸壳算法^[9]、 α -

收稿日期: 2013-06-02

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,山东潍坊人,上海理工大学硕士生,主攻数字印刷质量检测与评价。

通讯作者: 孔玲君(1972—),女,浙江人,博士,上海理工大学副教授,主要研究方向为图文信息处理与色彩再现、数字印刷及质量评价等。

shapes 法^[10]、区域分割法^[11-12]等。这些方法各有不足之处,凸壳算法不能很好地描述非凸色域边界; α -shapes 法中参数 α 虽可以控制要预期得到的色域外壳,但需要通过大量的实验观察得到最符合的 α 值,若 α 值选取不当,得到的色域边界会不准确;区域分割法可以通过增加划分区域,来提高色域的提取精度,从而更真实地描述色域。由于图像颜色分布特性不同,所以笔者针对图像色域的特点提出一种基于阈值的非均匀区域分割法,可以快速、准确地描述色域边界。

1 区域分割法

1.1 区域分割法的原理

区域分割法^[11]是基于点集的一种处理方法,通过寻找图像和设备采样点集在极坐标系设备无关颜色空间各个子空间中的最大半径点,并记录该点的颜色数据信息来描述色域边界的一种方法。基于区域分割法进行色域边界描述的基本原理如下所述。

首先确定图像和设备采样点集在各自颜色空间中的颜色值,并将其颜色值转到与设备无关的颜色空间中。文中选用 CIE $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间作为与设备无关的颜色空间^[13],将采集到的图像颜色值转为 CIE $L^*a^*b^*$ 值。

然后将所有采样点的 L^*, a^*, b^* 值按式(1),由 CIE $L^*a^*b^*$ 颜色空间的直角坐标系表示方式变换为球坐标系中的颜色表示,见图 1。

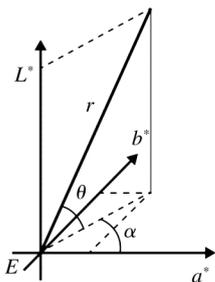


图 1 球坐标空间

Fig. 1 Spherical coordinates

式中:坐标点 (L^*, a^*, b^*) 为直角坐标系中待转换的采样点坐标;坐标点 (L_E^*, a_E^*, b_E^*) 为球坐标系的中心点 E 所对应的直角坐标,可通过色域采样点坐标值的平均值计算得到^[14],见式(2); r 为采样点到中心点 E 的距离; α 为 r 在 ab 平面上的投影与 a^* 正半轴的夹角; θ 为 r 与 ab 平面的夹角。

$$[L_E^*, a_E^*, b_E^*] = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i^*), \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_i^*), \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (b_i^*) \right] \quad (2)$$

在从图像到设备的颜色空间转换过程中,为确保色域映射的准确性,图像和设备对应的中心点应该相同,文中选取 $(50, 0, 0)$ 坐标点作为中心点 E 。接着,根据夹角 α 和 θ 将整个颜色空间均匀划分为 $n \times n$ 份,将空间划分为 6×6 等份(见图 2),其中 n 值由描述色域边界采样点的数量及其分布情况来决定。当用于描述色域边界采样点的数目足够多且均匀分布在色域边界上时,增加 n 值可相应地提高色域边界描述的精度。由此全部颜色信息采样点将分布在该 $n \times n$ 个分区中,见图 3。最后,在该 $n \times n$ 个子区域中,大部分子区域都有许多采样点落入,选取离色域中心点 E 距离最大点作为该区域的边界点。对于部分没有采样点落入的子空间,利用周围子空间的色域边界点通过插值方式来计算其对应的色域边界点。

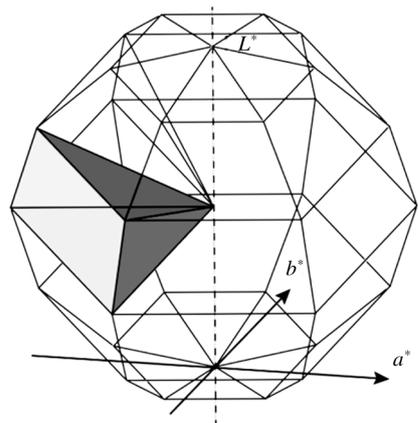


图 2 对空间进行 6x6 划分

Fig. 2 Sphere segmented in terms of α and θ

将上述得到的 $n \times n$ 个子空间中的色域边界描述点存储在 $n \times n$ 的矩阵中,由此可以对图像和设备的色域边界进行描述。

$$\begin{cases} r = [(L^* - L_E^*)^2 + (a^* - a_E^*)^2 + (b^* - b_E^*)^2]^{1/2} \\ \alpha = \arctan[(b^* - b_E^*) / (a^* - a_E^*)] \quad (0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ) \\ \theta = \arctan\{(L^* - L_E^*)^2 / [(a^* - a_E^*) + (b^* - b_E^*)]^{1/2}\} \\ \quad (-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ) \end{cases} \quad (1)$$

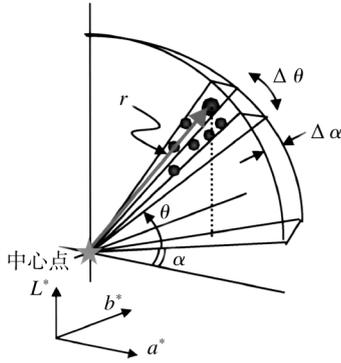


图3 经均匀划分的子区域内点的分布
Fig.3 Dot distribution in the sub-area

1.2 区域分割法存在的问题

通过编程试验可以发现,随着分割数目 n 的增加,色域边界点的数量迅速增加,但是点的整体分布变化不大,只是在某一区域点更集中,并不是点数越多描述的色域边界越精确。随着分割数目的增加,色域边界点的数量越来越多,描述色域边界越来越精确,但是边界点数量的增加会使整个运行速度减慢,增加程序的运行时间。

对颜色数量有限的图像来说,颜色分布比较集中,采样点分布不均,导致每个子区域内的采样点数明显不同,有的采样点很多,有的很少甚至没有。对于没有点落入的区域,则根据其相邻子区域中的边界点通过插值计算获得,但不能精确地描述图像色域边界,对后续的色域映射会产生影响,使图像复制不准确。

2 基于阈值的非均匀区域分割法

针对均匀区域分割法不能很好地描述色域边界问题,提出了一种基于阈值的非均匀区域分割法。该方法对 L^* 轴和色调平面进行数目不等的分割,然后为落入子区域的采样点设定一个阈值,对落入子区域中的采样点与阈值进行比较。当采样点大于阈值时,对该区域进行再分割提取边界点,可以对该区域进行再细化分割,提取出更多的边界点,增加该区域边界点的个数,而且避免了子区域没有点落入的情况,使整个色域边界点分布均匀,提高了色域边界描述的精度。基于阈值的非均匀区域分割法的算法流程见图4。

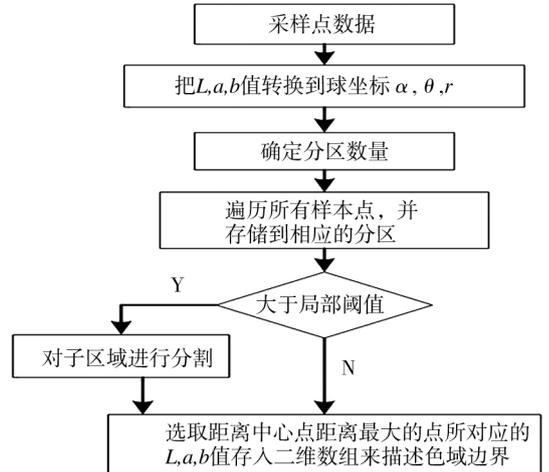


图4 基于阈值的非均匀区域分割算法流程
Fig.4 Algorithm flowchart for the non-uniform segmentation with local threshold segmentation

3 实验与分析

3.1 实验前期准备

选用图5所示的RGB图像作为研究对象,并用ColorThink查看该图像的三维色域图,见图6。从图6可以看出,图像颜色在空间中的密度分布不均匀。



图5 原彩色图像
Fig.5 The original image

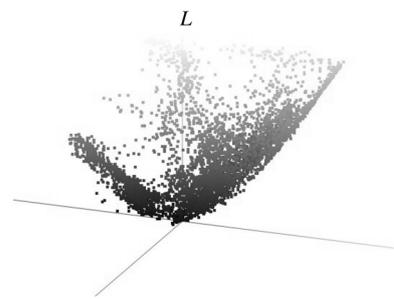


图6 图像的三维色域图
Fig.6 Three-dimensional color gamut graph

为了描述该图像中所包含颜色的色域边界,首先把图像从 RGB 颜色空间转到 CIEL**a***b** 均匀颜色空间。该实验选用的图像没有携带 ICC 特性化文件,从而利用通用的颜色空间转换方法^[15],即 RGB 值与 XYZ 值的转换和 XYZ 值变换到 CIE L**a***b** 空间,求解对应的 *L**, *a**, *b** 值。然后,根据计算得到的 CIEL**a***b** 值对图像进行色域边界描述。

3.2 均匀分割法实验及其结果分析

对图像先用均匀分割法描述图像色域边界,文中选取了 2 种常见的并具有代表性的分割数目对该图像进行边界描述和比较分析,分割数目为 12×12,16×16。2 种分割数目的三维色域边界描述图和边界点 *a**, *b** 值的分布情况见图 7—8。

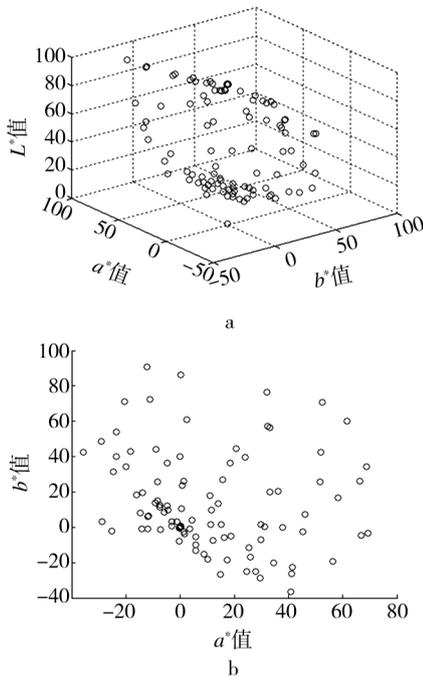


图 7 12×12 的均匀分割法分割

Fig. 7 12×12 segmentation gamut boundary descriptor

从图 7—8 可以看出,增加分割数目使边界上分布的点数增加,但彩度小的区域处点的增加幅度更大,点大多都集中在 *a***b** 平面的中心区域。12×12 分割法得到的边界点虽然有一定的凹凸变化,但是分布在彩度较大区域的点数仍然很少,大部分集中在 *a**, *b** 值较小的区域,不能均匀精确地描述色域边界。16×16 分割虽然能更精确地描述色域边界,但是点的分布极不均匀,无法精确地描述色域边界。观察 *L** 值的分布(见图 9)同样能看出点的分布很不均匀,在最大亮度和最小亮度处的点数最多。

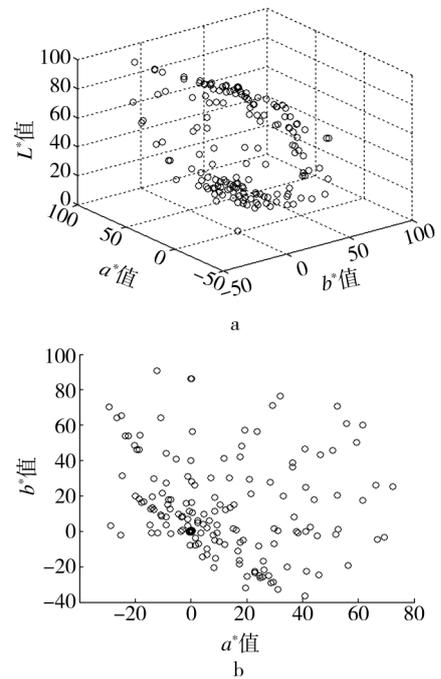


图 8 16×16 的均匀分割法分割

Fig. 8 16×16 segmentation gamut boundary descriptor

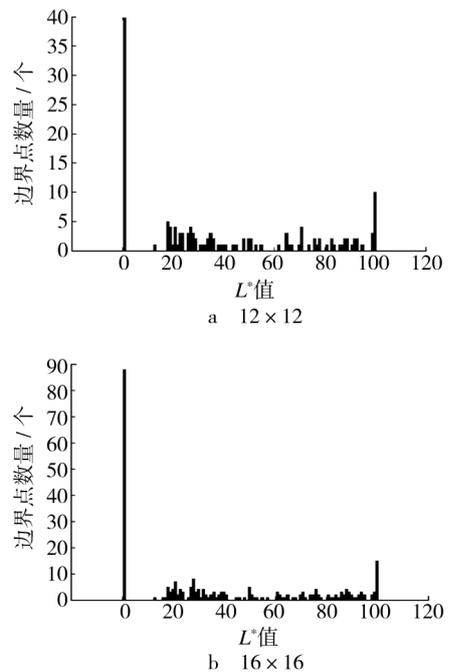


图 9 边界点 *L** 值的分布情况

Fig. 9 The *L** of the segmentation gamut boundary descriptor

3.3 基于阈值的非均匀分割法实验与分析

采用文中所提出的基于阈值的非均匀分割法描述色域边界,需要通过多次调试找出最适合该图像的非均匀分割数目、阈值和子区域分割数目,并分别考

考虑3个参数对色域边界的影响程度,其中非均匀分割数目中的色调平面的分割数目用 n 表示, L^* 轴的分割数目用 m 表示。根据选用图像的大小和颜色分布特点,在进行试验时为不变参数设置一个固定值,不断变化另一个参数观察色域边界点变化。

3.3.1 阈值大小和子区域分割数目不变,改变非均匀分割数目

该试验取阈值为1600,子区域分割为 4×4 , n 和

m 不断变化,观察色域边界点的变化。4个比较有代表性的分割数下得到的图像色域边界描述见图10。从图10可以看出,随着分割数目的增加,色域边界点的分布越来越密集。同时,通过对比图10a—d可以得出,非均匀分割比均匀分割可以更均匀精确地描述色域边界,且在非均匀分割中色调平面的分割数 n 小于 L^* 轴的分割数 m 时,其所描述的色域边界点会更均匀。

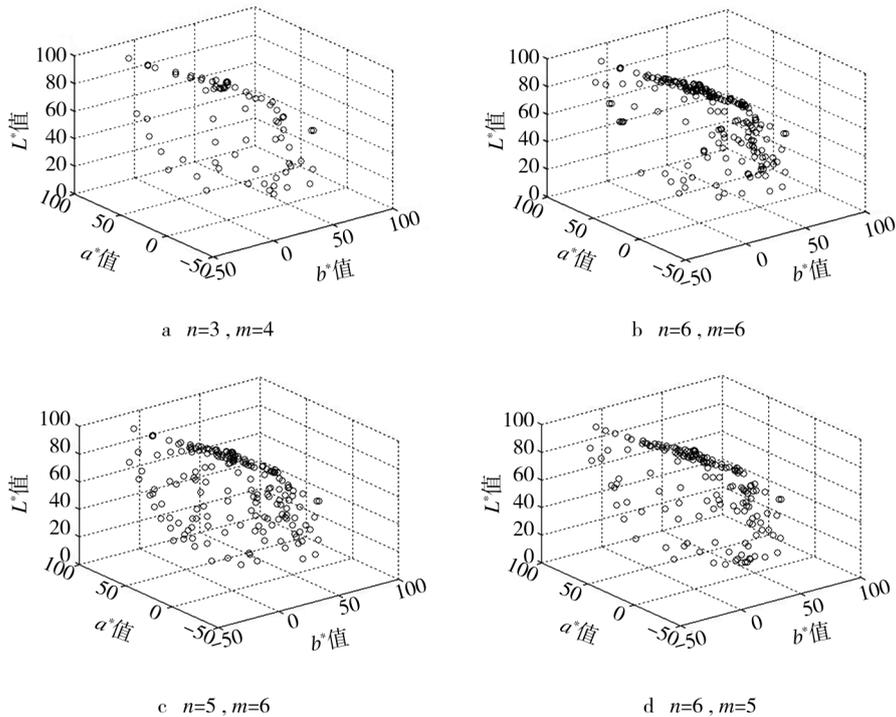


图10 阈值为1600,子区域分割数为 4×4

Fig. 10 Uniform segmentation with local threshold of 1600 and sum-area of 4×4

3.3.2 非均匀分割和子区域分割数目不变,改变阈值的大小

该实验取非均匀分割数目为 $n=5$, $m=6$,子区域分割数目为 4×4 ,阈值从4000开始试验。当子区域中分布的边界点大于阈值时,对该区域进行再分割,提取出更多的边界点,增加该区域边界点的个数,提高色域边界描述精度。对比图11a—d可以看出,随着阈值的减小,边界点在某些区域有所增加,但并不是一直增大。当阈值为4000和2000时,个别区域没有边界点分布,阈值为1600和800时,边界点的分布没有明显变化。这说明阈值有一个临界值,当小于该临界值时,边界点的个数和分布不再有明显变化。

3.3.3 非均匀分割数目和阈值不变,改变子区域分割数目

该实验取非均匀分割数目为 $n=5$, $m=6$,阈值为1600,子区域分割数目从 2×2 开始试验。对比图12a—d可以看出,通过对局部子区域再分割,随着子区域分割数目的增加,边界点的数目也在有序增加。 4×4 和 5×5 分割都能很好地描述色域边界,但 5×5 分割的边界点比 4×4 分割的多很多,在边界描述精度相差不大的情况下,选择 4×4 子区域分割。

通过调整不同参数,可以看出文中选取图像的最佳分割数目为:色调平面的分割数为5, L^* 轴上的分割数为6,阈值为1600,子区域分割数为 4×4 。其描述的色域边界见图13,其 L^* 值的分布情况见图14。

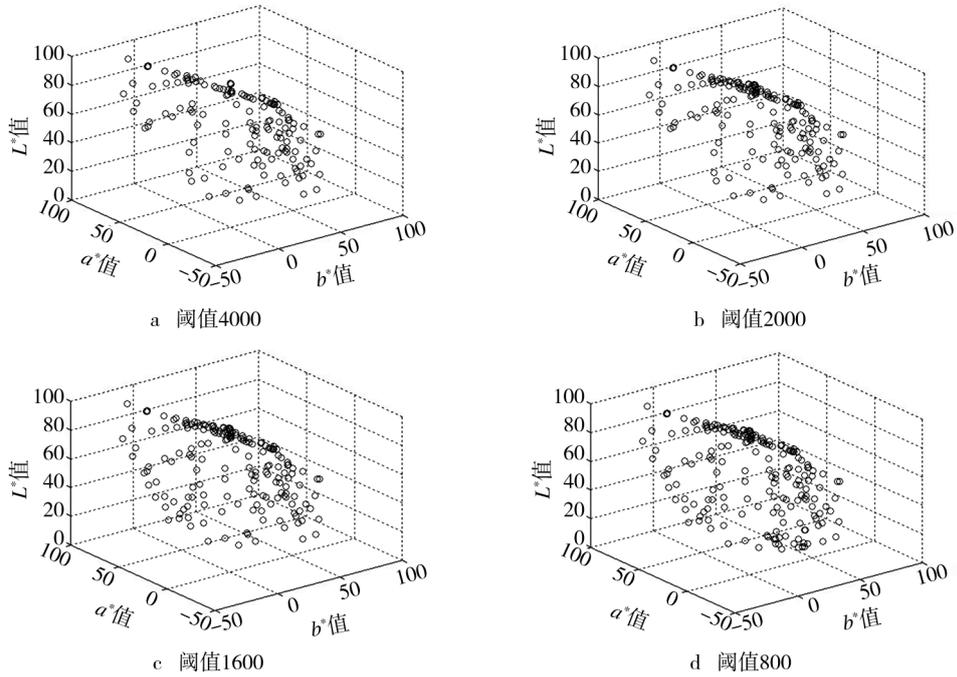


图 11 $n=5, m=6$, 子区域分割为 4×4
 Fig. 11 Uniform segmentation with $n=5, m=6$ and sum-area of 4×4

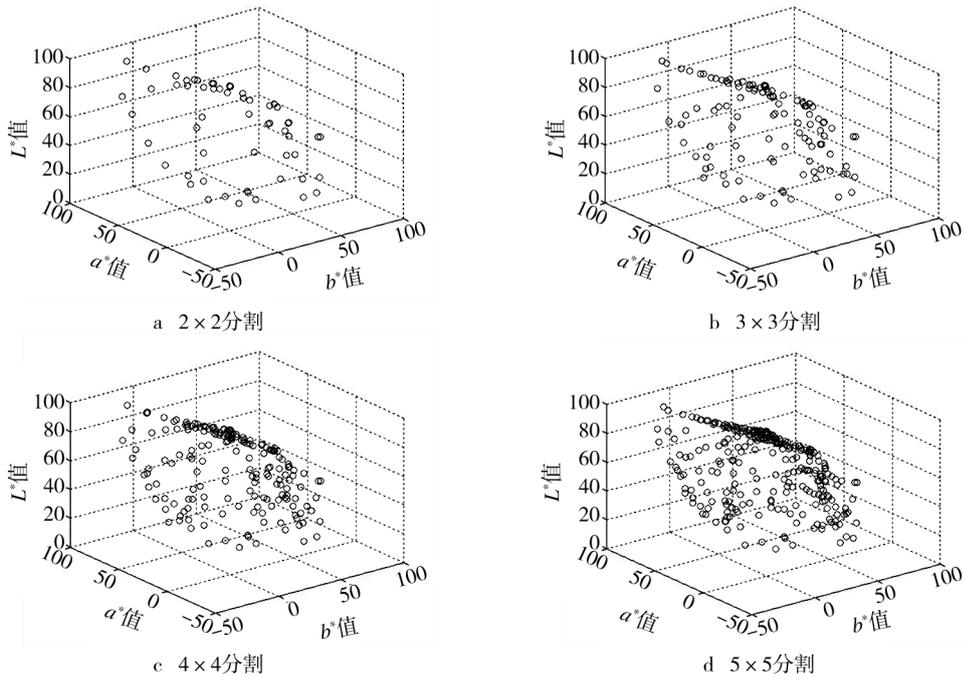


图 12 $n=5, m=6$, 阈值为 1600 分割
 Fig. 12 Uniform segmentation of $n=5, m=6$ and local threshold of 300

与均匀区域分割法进行对比可以看出,文中提出的方法能使用较少的边界点准确地描述色域边界,且边界点的空间分布很均匀,没有出现大量边界点集中

的情况,能够较好地描述图像的色域边界, L^* 值的分布也更均匀。

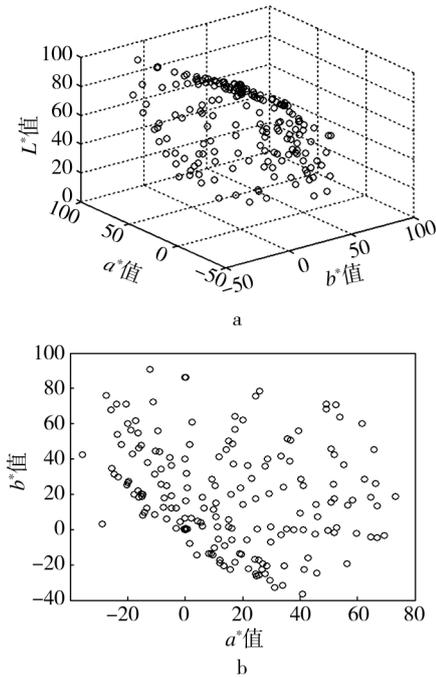


图13 色域边界点和 a^* 、 b^* 值的分布情况
Fig.13 Maxima gamut boundary descriptor and the distribution of a^* 、 b^*

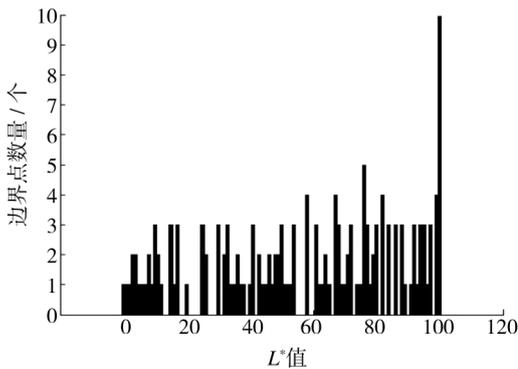


图14 边界点 L^* 值的分布情况
Fig.14 Distribution of L^* of the segment maxima gamut boundary descriptor

4 结语

为准确描述不同类型的图像色域边界,在均匀分割法的基础上提出了一种基于阈值的非均匀区域分割法,即将阈值与非均匀分割的方法结合起来描述图像的色域边界,通过分别调整阈值和分割数目,找到描述图像色域边界的最佳分割数和阈值。该方法与均匀分割方法相比,可以使用更少的采样点、更少的分割数目,且更均匀精确地描述色域边界,这对图像

到设备的色域映射算法研究有重要意义,有利于实现彩色图像的精确复制。该方法的原理简单,易理解,比较容易实现。

参考文献:

- [1] 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-ming. An Introduction to Digital Color Management System [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2009.
- [2] 顾灵雅,刘瑜,黄蓓青,等. 色彩管理在数字印刷中应用的实验研究[J]. 包装工程,2008,29(10):123—125.
GU Ling-ya, LIU Yu, HUANG Bei-qing, et al. Research on the Application of Color Management in Digital Printing [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 123—125.
- [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 Yi-cheng, WANG Rui-guang, 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] 陈谊,姚海根,冷高亮. 彩色复制中色域映射算法研究现状[J]. 仪器仪表学报,2006,27(6):789—791.
CHEN Yi, YAO Hai-gen, LENG Gao-liang. Research on Gamut Mapping Algorithms in Colorized Reproduction [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 789—791.
- [6] 许向阳,朱元泓,桑凤仙. 与图像内容相关的色域映射算法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2012,37(5):626—629.
XU Xiang-yang, ZHU Yuan-hong, SANG Feng-xian. Image-dependent Gamut Mapping Algorithm [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(5): 626—629.
- [7] 田学军,舒忠. 液晶显示器软打样性能分析[J]. 包装工程,2009,30(2):70—73.
TIAN Xue-jun, SHU Zhong. Analysis on Proofing Performance of LCD Display [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(2): 70—73.

- [D]. 厦门:厦门大学,2007.
- GONG Li-ming. Security Algorithms on Printing Based on Digital Watermarking Technology [D]. Xiamen: Xiamen University, 2007.
- [9] 任乐义,刘真,问双双,等. 随机矩阵抖动加网在光栅防伪技术中的应用[J]. 包装工程,2011,32(13):89—92.
- REN Le-yi, LIU Zhen, WEN Shuang-shuang, et al. Application of Random Matrix Pattern Jitter Screening in Grating Anti-counterfeit Printing Technology [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13):89—92.
- [10] 问双双,陈广学,刘真. 基于噪声平衡误差扩散的彩色印刷图像防伪研究[J]. 包装工程,2011,32(15):25—28.
- WEN Shuang-shuang, CHEN Guang-xue, LIU Zhen. Study of Printed Color Image Anti-counterfeit Based on Noise Balanced Error Diffusion [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15):25—28.
- [11] 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 Qi-qin, SHAN Wu-yang, et al. Application of Digital Hologram Watermark in Printing Halftone Image [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1):101—105.
- [12] WU X T, SUN W. Visual Data Hiding in Dot Diffusion Images [C]//5th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology. United States: IEEE Computer Society, 2010:588—593.
- [13] GUO J M, TSAI J J. Data Hiding in Halftone Images Using Adaptive Noise-balanced Error Diffusion and Quality-noise Look up Table [C]//5th International Conference on Information Assurance and Security. United States: IEEE, 2009:201—204.
- [14] 徐锦林,陈素明. 调幅加网阈值矩阵设计方法与加网原理[J]. 中国印刷与包装研究,2009,3(1):38—42.
- XU Jing-lin, CHEN Su-ming. The Design Method of Threshold Matrix and Principle for AM Screening [J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 3(1):38—42.
- [15] 问双双. 基于数字加网的防伪技术的研究 [D]. 广州:华南理工大学,2012.
- WEN Shuang-shuang. Anti-counterfeit Technology Based on Digital Screening [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [16] WEN S S, CHEN G X, LIU Z, et al. Adaptive Multi-resolution Halftone Image Embedding [J]. Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering, 2011, 8205:1—5.
- ~~~~~
- (上接第116页)
- [8] 黄庆梅,赵达尊. 不同色域映射算法视觉效果的一种评价方法[J]. 北京理工大学学报,2003,23(4):408—413.
- HUANG Qing-mei, ZHAO Da-zun. An Evaluation Method for the Visual Effects of Different Gamut Mapping Algorithms [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2003, 23(4):408—413.
- [9] 张忠武,吴信才. 平面海量散乱点集凸壳算法[J]. 计算机工程,2009,35(9):43—48.
- ZHANG Zhong-wu, WU Xin-cai. Algorithm for Convex Hull of Planar Massive Scattered Point Set [J]. Computer Engineering, 2009, 35(9):43—48.
- [10] CHOLEWO T J, LOVE S. Gamut Boundary Determination Using Alpha-shapes [C]//Proceedings of IS & T and SID's 7th Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications, 1999:200—204.
- [11] MOROVIC J, LUO M R. Calculating Medium and Image Gamut Boundaries for Gamut Mapping [J]. Color Research and Application, 2000, 25(6):384—401.
- [12] MOROVIC J, LUO M R. The Fundamentals of Gamut Mapping: A Survey [J]. J Imaging Sci Technol, 2001, 45:283—290.
- [13] 武兵. CIELAB 均匀颜色空间在印刷中的应用[J]. 印刷质量与标准化,2003(9):14—18.
- WU Bing. The Application of the CIELAB Color Space in Print [J]. Printing Quality & Standardization, 2003(9):14—18.
- [14] HIROAKI K, RYOICHI S. Image-dependent Three-dimensional Gamut Mapping Using Gamut Boundary Descriptor [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(3):630—638.
- [15] 王强. 分色原理与方法 [M]. 北京:印刷工业出版社,2007.
- WANG Qiang. Principle and Method of Colour Separation [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.