

设备特征化过程中的三棱柱插值与多项式回归算法研究

吴杰, 唐正宁

(江南大学, 无锡 214122)

摘要:介绍了目前设备特征化过程中色彩空间转换的主要方法,以从 RGB 色空间到 Lab 色空间的转换为例,讨论了三棱柱插值和多项式回归这 2 种算法,并通过实验检验了 2 种算法的效果,对实验数据进行了对比分析。结果表明,这 2 种算法在色彩管理领域的应用均有继续改进的空间。

关键词:印刷色彩管理;色彩空间转换;三棱柱插值;多项式回归

中图分类号: TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0077-04

Research on Prism Interpolation and Polynomial Regression Algorithm in Equipment Characterization Process

WU Jie, TANG Zheng-ning

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Main color space conversion methods in equipment characterization process were introduced. Two kinds of algorithms, prism interpolation and polynomial regression algorithm were discussed with example of color space conversion from RGB to Lab color space. The effects of the two algorithms were verified with experiments and results were analyzed. The results showed that the two algorithms can be further improved for application in color management field.

Key words: printing color management; color space conversion; prism interpolation; polynomial regression

印刷色彩管理的重点之一就是设备特征化,其过程涉及到转换算法。色彩复制的过程受诸多因素的影响,如色彩设备的特性、观察条件、色域范围的限制等等。国际照明委员会 CIE 建立了 Lab 标准色彩空间,用以描述色彩^[1]。Lab 色彩空间可以涵盖人眼所能辨别的所有颜色,并且是与设备无关的、均匀的色彩空间,色域范围也大于 CMYK 色空间的色域范围^[2]。在印刷行业中,普遍采用 CIELab 均匀色空间系统作为印刷色彩的匹配与评价的方法。在色彩管理中,当色彩从一个设备转换到另一个设备时,使用 CIELab 色彩空间作为色彩转换的中转站,这样就尽量减少了色彩损失和偏差。

目前的研究中,设备特征化过程中的转换算法主要有多项式回归算法、三维查找表法、神经网络法等。笔者主要讨论三维查找表法和多项式回归算法。

1 插值算法

三维查找表法首先是对源色空间进行分割,将其分割成一个个小的、规则的多面体^[3]。已知每个多面体顶点(vertex)的 RGB 数值,源色空间中所有顶点的数值就构成了三维查找表。源色空间中的任意一个点必然落在某个小多面体之内,那么,用该多面体的各个顶点数值进行插值运算,即可得到目标空间的对应数值。

三维查找表法的一般过程是:首先,按照一定的采样间隔,对源色空间进行分割,建立三维查找表;然后,对一个已知输入点,找出它所在的多面体及其顶点;最后,通过各个顶点数值进行插值运算,得到目标空间的对应数值。

插值算法一般有如下的 6 个原则:

1) 查找表中的每个点尽可能为多个多面体所共

用。对一组数量固定的多面体,其顶点的值在算法中尽量反复使用,这样使得需要储存的点尽可能地少。当一个顶点为多个多面体所共用时,这个顶点的值就达到了“一值多用”的效果。

2) 整个空间必须被完全分割为各个多面体。如果有一小部分空间不属于任何多面体,那么,这个小空间内的点无法通过插值算法计算出来。

3) 如果 2 个多面体共有 1 个面,那么这个面必须完全被 2 个多面体所共有,也就是这个面上的所有顶点必须为 2 个多面体所共用。只有满足了这一条件,插值才是连续的;否则,当输入点从一个多面体移向另一个多面体时,插值计算的结果可能会不连续。

4) 分割出来的多面体应尽量小,多面体的数量应尽可能地多。多面体越小,顶点与输入点的距离就越近。在一个给定的空间内,多面体的数量越多,它们的体积就越小。当然,这里涉及到一个计算量的问题,分割得越多,计算量越大,所以,不能把空间分割得太小^[4]。

5) 分割出来的多面体尽量为规则多面体,多面体的各个面也尽量为规则图形,比如各个边的边长相等、各个面相同、立体角相等。规则多面体使得最坏条件下的输入点和采样点之间的距离最短。

6) 多面体大小尽量相同。如果多面体的大小不同,由于总体积是一定的,那么在较大的多面体中,最坏条件下的输入点和多面体顶点之间的距离就会更大;在所有多面体大小都相同的情况下,这个距离就小一些。

2 转换算法

2.1 实验条件

仪器:联想 LCD 显示器,X-RITE Monitor Optimizer 屏幕色度测量仪;相应软件:Adobe Photoshop CS3, MATLAB 7. 0, Gamma Panel, Windows XP 操作系统。

仪器用于测量之前,先预热 30 min,用 Gamma Panel 调节显示器,用标准白板、标准黑板对色度测量仪进行校准。

2.2 三棱柱插值算法

对 RGB 值分别进行 11 级分割:0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 255, 这样,在插值算法中,共有 11^3 即 1331 个多面体顶点(vertex)。通过屏

幕色度测量仪可以测出它们的 Lab 值,建立查找表。

插值运算之前,先通过比较运算来确定输入点在 RGB 色彩空间中处在哪一个小多面体之中,由于该多面体又可分为 2 个三棱柱,再进一步确定输入点究竟是在棱柱 1 还是在棱柱 2 中,最后代入对应的公式中作插值运算。插值运算的示意图见图 1。

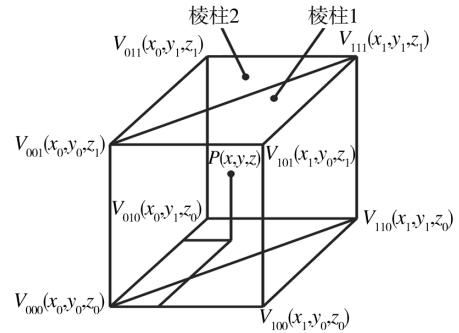


图 1 三棱柱插值算法中的正六面体

Fig. 1 Hexahedron for prism interpolation algorithm

D_x, D_y, D_z 是输入点相对于顶点 V_{000} 在各个轴上的相对距离。

$$D_x = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \quad (1)$$

$$D_y = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} \quad (2)$$

$$D_z = \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} \quad (3)$$

如果 $D_x > D_y$, 那么输入点在棱柱 1 (Prism1) 中, 其插值公式为:

$$P(x, y, z) = V_{000} + (V_{100} - V_{000})D_x + (V_{110} - V_{100})D_y + (V_{001} - V_{000})D_z + (V_{101} - V_{001} - V_{100} + V_{000}) \cdot D_x D_z + (V_{111} - V_{101} - V_{110} + V_{100})D_y D_z \quad (4)$$

如果 $D_x \leq D_y$, 那么输入点在棱柱 2 (Prism2) 中, 其插值公式为:

$$P(x, y, z) = V_{000} + (V_{110} - V_{010})D_x + (V_{010} - V_{000})D_y + (V_{001} - V_{000})D_z + (V_{111} - V_{011} - V_{110} + V_{010}) \cdot D_x D_z + (V_{011} - V_{001} - V_{010} + V_{000})D_y D_z \quad (5)$$

为了检验本三棱柱插值算法,对 RGB 分别取 7 个点的值:0, 40, 85, 130, 170, 210 和 240, 这样共可得到 343 个检测色块,用来计算色差。

先通过上述公式作插值运算,算出 343 个检测色块的 Lab 值,再用测色仪测量这些色块的 Lab 值,色差的计算公式为:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (6)$$

2.3 多项式回归算法

多项式回归算法假设系统是一个黑箱,通过输入和输出之间的关系得出参数^[5]。多项式回归算法假定源色彩空间和目标色彩空间之间存在着一组同时成立的等式。在源色彩空间中取一定的采样点,并且知道这些采样点在目标色彩空间的对应值,就能够通过多项式进行建模,计算出多项式的系数。这样,就可以通过这个已知的多项式来进行从源色彩空间到目标色彩空间的转换^[6]。

因为 RGB 色彩空间和 Lab 色彩空间之间是一种非线性的对应关系,用多项式来模拟这种对应关系^[7]。多项式回归算法的大致步骤是:先在源色空间取建模点,只要建模点的个数超过了多项式的项数,就可以计算出多项式的各个系数。有了多项式系数,就可以通过这个多项式来计算源色空间的点在目标色空间的对应值^[8]。

可以对 RGB 值进行 11 级分割:0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 和 255,这样可以得到 11³ 个建模点。通过屏幕色度测量仪可以测出它们的 Lab 值。采用 20 项的多项式建模:

$$L = l_0 + l_1R + l_2G + l_3B + l_4R^2 + l_5G^2 + l_6B^2 + l_7RG + l_8GB + l_9BR + l_{10}R^3 + l_{11}G^3 + l_{12}B^3 + l_{13}RGB + l_{14}R^2G + l_{15}R^2B + l_{16}G^2R + l_{17}G^2B + l_{18}B^2G + l_{19}B^2R \quad (7)$$

$$a = a_0 + a_1R + a_2G + a_3B + a_4R^2 + a_5G^2 + a_6B^2 + a_7RG + a_8GB + a_9BR + a_{10}R^3 + a_{11}G^3 + a_{12}B^3 + a_{13} \cdot RGB + a_{14}R^2G + a_{15}R^2B + a_{16}G^2R + a_{17}G^2B + a_{18}B^2G + a_{19}B^2R \quad (8)$$

$$b = b_0 + b_1R + b_2G + b_3B + b_4R^2 + b_5G^2 + b_6B^2 + b_7RG + b_8GB + b_9BR + b_{10}R^3 + b_{11}G^3 + b_{12}B^3 + b_{13} \cdot RGB + b_{14}R^2G + b_{15}R^2B + b_{16}G^2R + b_{17}G^2B + b_{18}B^2G + b_{19}B^2R \quad (9)$$

$l_0 \cdots l_{19}, a_0 \cdots a_{19}, b_0 \cdots b_{19}$ 分别为 3 个多项式的系数。

将建模点的 RGB 值以及对应的 Lab 值代入多项式中,用高斯消去法的 Matlab 程序在 Matlab 中运行,计算出各个多项式的系数。之后就可以通过多项式来计算源色空间的点在目标色空间的对应值。

实验检测的方法:对 RGB 值进行 7 级分割,得到 343 个检测点,通过多项式回归计算它们的 Lab 值;通过屏幕色度测量仪测出它们的 Lab 值;然后由色差公式计算色差。

2.4 结果分析

使用三棱柱插值算法,检测点的色差统计见表 1 和图 2。

表 1 三棱柱插值算法得到的色差分布
Tab.1 Color differences distribution of prism interpolation algorithm

色差	[0,1)	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,12)	[12,∞)
检测点数量	55	73	62	53	29	24	19	28

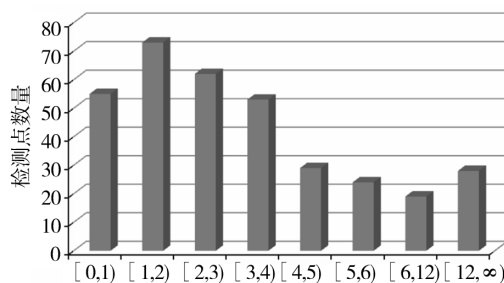


图 2 三棱柱插值算法得到的色差统计直方图
Fig.2 Histogram of color difference with prism interpolation algorithm

多项式回归算法中,色差统计见表 2 和图 3。

表 2 多项式回归算法得到的色差分布
Tab.2 Color difference distribution with polynomial regression algorithm

色差	[0,1)	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,12)	[12,∞)
检测点数量	40	56	45	46	31	32	27	66

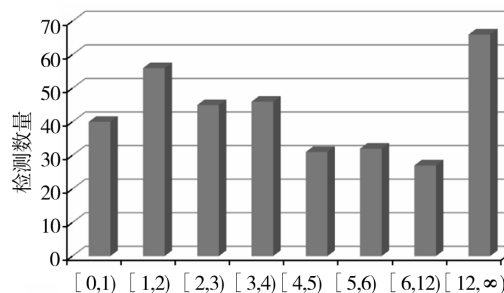


图 3 多项式回归算法得到的色差统计直方图
Fig.3 Histogram of color difference with polynomial regression algorithm

当使用三棱柱插值算法时,色差在 0~3 的检测点有 190 个,3~6 的检测点有 106 个,6~12 的检测点有 19 个,色差大于 12 的检测点有 28 个;当使用多

项式回归算法时,色差在 0~3 之间的检测点有 141 个,3~6 的检测点有 109 个,6~12 之间的检测点有 27 个,色差大于 12 的检测点有 66 个。在本实验中,三棱柱插值算法的表现明显优于多项式回归算法。

3 结论

用三棱柱插值和多项式回归这 2 种算法分别进行了从 RGB 到 Lab 色空间的转换,并选取检测点计算色差来检验 2 种算法的效果。实验结果显示,三棱柱插值算法的效果优于多项式回归算法,但是,这 2 种算法均有各自的不足。三棱柱插值算法中,三维查找表包含大量数据,需占用不少存储空间;而多项式回归算法计算比较简单明了,但精度相对不足。2 种算法均有继续研究改进的空间。

参考文献:

[1] 周世生. 高等色彩学[M]. 北京:印刷工业出版社,1997.

- [2] 郭凌华. 色彩管理之 CRT 显色特征的探讨[J]. 包装工程,2006,27(3):70-76.
- [3] REHAK R, BODROGI P, SCHANDA J. On the Use of the sRGB Colour Space[J]. Displays, 1999, 20(4):165-170.
- [4] BENSALI F, AMIRA A. Accelerating Colour Space Conversion on Reconfigurable Hardware[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(11):935-942.
- [5] 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(11):93-95.
- [6] 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.
- [7] LEE Dah-Jye, ARCHIBALD J K, CHANG Yu-Chou, et al. Robust Color Space Conversion and Color Distribution Analysis Techniques for Date Maturity Evaluation[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(3):364-372.
- [8] ANDREADIS I. A Real-time Color Space Converter for The Measurement of Appearance[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(6):1181-1187.

(上接第 73 页)

计算出的测试色靶的最大色差为 2.738 61,平均色差为 1.189 76,最小色差为 0,见图 6。误差在 0~1% 的比例为 39.06%,1%~2% 的比例为 42.19%,2%~3% 的比例为 18.75%,误差集中于 0~2% 之间,由此可见,模型转换精度高,该转换方法可以成功用于 RGB 色空间向 Lab 色空间的转换,从而将 CCD 照相机采集到的 RGB 模式图像转换到 Lab 模式,达到对印刷品图像进行检测,计算色差并判断采集到的印刷图像是否存在色偏的目的。

5 结语

在标准图像和待测图像配准的基础上,利用 3D_uLUT 查找表插值法中的四面体插值技术,建立了色彩空间 RGB 到 Lab 的转换模型。实验结果表明,该模型能够实现 RGB 到 Lab 的色空间转换,且精度较高,可以用于印刷品检测过程中的图像数据色空间的转换,从而计算其色差,参照国家对色差要求的标准,对印刷品的颜色质量进行评价,判断是否存在色偏,为印刷品质量在线检测奠定基础。

参考文献:

- [1] ISHIMARU Ichirou, HATA Seiji. Color-defect Classification for Printed-matter Visual Inspection System[C]. Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2002:3261-3265.
- [2] 陈亚军,张二虎. 基于图像处理的印刷缺陷在线检测系统研究[J]. 包装工程,2005,26(6):64-66.
- [3] 林鸿飞,李艳莉,冯载荣. 基于纽介堡方程的专色油墨调配[J]. 印刷质量与标准化,2008(5):60-62.
- [4] 古晶. RGB 到 Lab 颜色空间转换[J]. 广东印刷,2009(5):11-14.
- [5] ZHI Chuan, ZHOU Shi-sheng. Research on Color Space Transformation Model Between RGB and Lab Based on BP Neural Network[C]. Proceedings of the International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008:306-308.
- [6] LIPPENS Stefaan, PHILIPS Wilfried. Size Reduction of Look-up Table Based Print Models: Proceedings of the International Conference on Image Processing[C]. Atlanta, Georgia, USA, 2006.
- [7] 车晓岩. 彩色输出设备的色彩管理——建模与校准[D]. 西安:西安理工大学,2004.
- [8] 李斌. 印前系统输出设备色空间转换与建模研究[D]. 西安:西安理工大学,2007.