

印刷品质量检测过程中的色空间转换方法研究

缪晓丽, 唐正宁

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 在标准图像和待测图像配准的基础上, 采用几何插值法进行 RGB 到 Lab 的色彩空间转换。首先在原色空间中进行了非均匀分割, 建立了查找表, 然后在分割得到的栅格中应用四面体插值算法完成了到目标空间的转换, 并且计算了对应点的色差, 对转换后的色差分布进行了分析, 以用于对印刷品是否存在偏色进行判定, 效果较好。

关键词: 在线检测; 色彩空间转换; 四面体插值; 色差

中图分类号: TS801.3; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0071-03

Development of Color Space Conversion Method for Printing Quality Inspection

MIAO Xiao-li, TANG Zheng-ning

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: During in printing quality inspection, the inspection of hue error is an important content. Geometrical lookup table with interpolation was applied to process the color space transformation (RGB to Lab) based on the registration of standard printed mater and printing mater. Firstly, source color space was divided unevenly and the relevant lookup table was established. The divided grids were transformed to target color space with tetrahedron geometrical interpolation algorithm. The color difference of corresponding points was calculated and the distribution of color difference was analyzed. The results were used to evaluate the color deflection of press-work. It was proved that this method has good effect.

Key words: on-line defect; color space conversion; tetrahedron interpolation; color difference

对于印刷品缺陷检测, 早在 2002 年, 日本的 Seiji Hata 等^[1]就将印刷品缺陷归类为形状缺陷和颜色缺陷。目前, 基于图像处理的印刷品质量检测研究, 主要集中于研究灰度图像的形状缺陷部分^[2], 如飞墨、针孔、墨点、漏白、漏印、刮擦等, 对印刷品的颜色缺陷部分研究较少。颜色缺陷也就是常说的色偏, 色彩是印刷品图像质量中的重要评价因素, 因此印刷品是否存在色偏也是印刷品质量检测中的重要内容, 研究印刷品的色彩缺陷具有重要的意义。

1 印刷品质量在线检测原理

印刷品质量在线检测流程见图 1, 先通过 CCD 照相机拍摄采集没有缺陷的标准印刷图像, 制作模板并保存在计算机中; 然后在印刷机作业时, 在线拍摄采

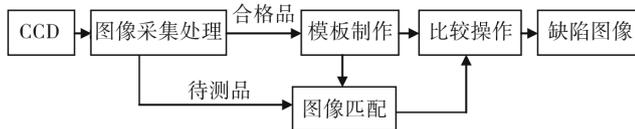


图 1 印刷品质量在线检测流程

Fig. 1 Printing quality on-line inspection flow chart

集待检测的印刷图像; 将待测图像与标准图像进行配准后, 进行比较操作, 判断是否存在形状缺陷和颜色缺陷。本实验的内容是比较是否存在颜色缺陷。

CCD 照相机分为面阵 CCD 和线阵 CCD, 其中线阵 CCD 比较适用于采集运动状态中的图像, 尤其适用于圆周运动, 并且能够实现无漏采集, 因此通常选用一个或多个线阵 CCD 照相机配合使用, 在线实时拍摄整幅印品图像。CCD 照相机采集到的图像一般

收稿日期: 2010-10-12

作者简介: 缪晓丽(1986—), 女, 江苏南通人, 江南大学硕士生, 主攻印刷控制技术、印刷品质量在线检测技术研究。

是 RGB 颜色格式的,RGB 色空间在不同的设备上表现出来的颜色特征不一样,是一个与设备相关的色空间,其值不能用于评判印刷品颜色质量,因此需要将 RGB 颜色空间转换到一个与设备无关的颜色空间,以此来对印刷品颜色质量进行评判。

在 CIE Lab 色空间内,移动相同距离,人眼所感觉到的色彩变化是一样的,所以 CIE Lab 色空间是与设备无关的颜色空间,能产生与各种设备相匹配的颜色,并能作为连接色空间来实现各种设备之间的色彩转换。CIE Lab 色空间的 2 个颜色的距离可以用来客观评价 2 种颜色的差别,具体表现为色差公式:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (1)$$

本文就是在标准图像与待检图像配准的基础上,建立色彩空间转换模型,实现印刷品色彩检测过程中的色彩空间转换,从而从色差的角度来判断印刷品是否存在颜色缺陷。

2 色彩管理与色彩空间转换

色彩是印刷品质量检测中的重要评价因素,需要进行色彩管理,在生产系统中自动地统一管理和调整颜色,以保证在整个复制过程中的色彩一致性,达到“所见即所得”。进行色彩管理,基本需要顺序地经过 3 个步骤,这 3 个步骤称为“3C”,即“Calibration”(设备校正)、“Characterisation”(设备特征化)及“Conversion”(转换色彩空间)。色彩管理系统结构见图 2,在设备校正和特征化的基础上进行色彩空间转换方法的研究。

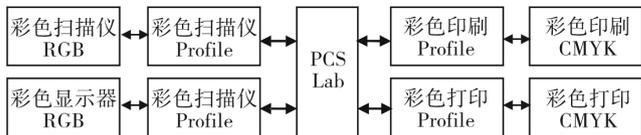


图 2 色彩管理系统结构

Fig. 2 Structure of the color management system

色彩空间的转换方法有很多,常用的有纽介堡方程法^[3]、多项式回归法^[4]、神经网络法^[5]、查找表法^[6]。纽介堡方程法没有考虑光线在纸张中的渗透和散射效应,难以满足高精度的要求;多项式回归法和神经网络法是把系统假定为一个黑箱,由输入输出关系得到参数,不能保证在整个色域内有较高的精度;采用的是带有插值算法的三维查找表法(3D-

LUT),将与设备相关的 RGB 色彩空间转换到与设备无关的 CIE Lab 色彩空间。

3 3D-LUT 查找表技术

带有插值算法的 3D-LUT 查找表法相对于其他色空间转换方法,还是比较新的,其原理见图 3。左

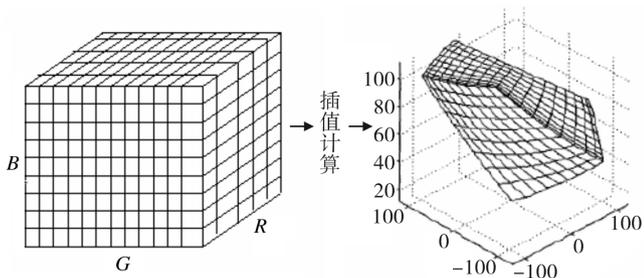


图 3 3D-LUT 查找表法色空间转换原理

Fig. 3 The principle of color space conversion by 3D-LUT

边是规则的 RGB 立方体空间,将整个颜色空间分割成网格状,形成一个一个小格子,每个格子点对应的标准颜色空间数据都记录在一个表格中,形成参照表格(查找表),通过查找及插值计算,就可以实现向右边的非规则的 Lab 颜色空间的坐标转换。目前,带有插值算法的 3D-LUT 查找表法在色彩研究中运用得比较多,在显示器、扫描仪、打印机的色彩管理方面都有许多实际应用^[7-8]。

3D-LUT 查找表法根据插值所用的三维形体的形状不同,可以划分为立方体插值、三棱柱插值、金字塔插值和四面体插值,见图 4。

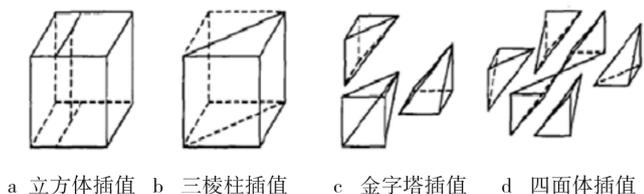


图 4 常用的三维插值方法

Fig. 4 Common used three-dimensional interpolation methods

对立方体进行切分以后,可以得到 6 个四面体,并且四面体是不可再进行分割的最小三维立体,插值过程中,原空间的一点如果就是晶格点,其真实的颜色可以直接从查找表中得到;若是在四面体内部,其真实颜色就通过该四面体顶点对应的目标空间插

值得到,所以利用四面体插值进行颜色空间转换。

4 实验与分析

4.1 实验过程

要建立色彩空间转换模型,首先要制作色靶,一共要建立 2 个色靶,分为建模色靶和测试色靶。建模色靶用于构建原始色空间转换模型,测试色靶是为了更精确地评价色彩空间转换模型的精度。

由于色空间的不均匀性导致了色差分布的不均匀性^[8],所以采用了对 RGB 空间进行非均匀分割的方法,分别取 0, 10, 30, 60, 100, 140, 180, 220, 245, 255 共 10 个等级,组合为 1 000 组 RGB 数据(如 10, 30, 10; 0, 60, 255 等)。印刷输出这 1 000 个色块,制成建模色靶,并且用 X-Rite 528 分光光度计对建模色靶上的各个色块进行测量,得到 Lab 测量值,构成采样的 1 000 组实验数据(RGB, Lab)。测试色块则一共选了 64 个,是通过对 RGB 颜色空间以数据 32, 96, 160, 224 互相组合来进行制作的。实验中为了使测量更准确、误差更小,对每个色块的测量都进行了 3 次,取平均值。实验中,先根据输入点的 RGB 值确定这个点在色空间中的哪一个立方体中,并确定这个立方体 8 个顶点的 RGB 值及 Lab 值,例如:RGB 值为(32, 42, 90),这个点落在的区域为 $R: 30 < 32 < 60, G: 30 < 42 < 60, B: 60 < 90 < 100$ 。

其所在立方体中: $R_{\min} = 30, R_{\max} = 60; G_{\min} = 30, G_{\max} = 60; B_{\min} = 60, B_{\max} = 100$ 即立方体的 8 个顶点,然后再确定这个点在立方体的哪个四面体中,用以下插值公式进行插值计算:

$$Lab[i] = p_{8[0][3+i]} + c_1 dR / (R_{\max} - R_{\min}) + c_2 dG / (G_{\max} - G_{\min}) + c_3 dB / (B_{\max} - B_{\min}) \quad (2)$$

式中: $p_{8[0][3+i]}$ 为测试点对应的目标颜色空间值; c_1, c_2, c_3 为系数; $dR = R - R_{\min}, dG = G - G_{\min}, dB = B - B_{\min}; R_{\max}, G_{\max}, B_{\max}$ 分别为测试点所在栅格的最大值; $R_{\min}, G_{\min}, B_{\min}$ 为栅格的最小值; $L = Lab[0], a = Lab[1], b = Lab[2]$ 。

最后,利用测试色靶对色彩空间转换模型的精度进行检测,将测试样本点对应的目标空间的 Lab 测量值与模型计算得到的计算值进行比较,并且利用式(1)进行计算,得出色差,从而对模型精度进行评价。

4.2 结果显示与分析

以 VC++ 6.0 为软件平台,采用了 10 级非均匀

分割的方法,实现了 RGB 到 Lab 颜色空间的转换,并利用 64 组测试数据对此方法的精度进行了测试,程序实现的主体界面见图 5。当 $R = 224, G = 224, B =$

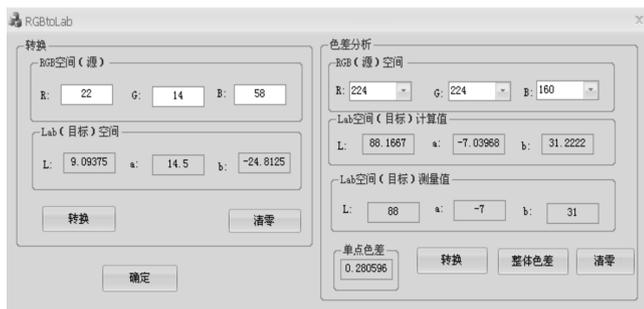


图 5 RGB 空间到 Lab 颜色空间转换的主体界面

Fig. 5 The main interface of RGB to Lab

160 时,转换到的 $L = 88.1667, a = -7.03968, b = 31.2222$,采用式(1)计算与 Lab 目标空间测量值的误差,得到单点误差为 0.280596,误差较小。

对此算法精度的整体误差分析见图 6。

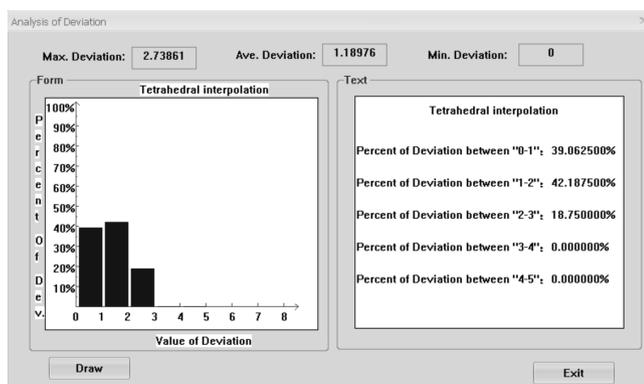


图 6 误差分析

Fig. 6 Analysis of deviation

在印刷行业中,由国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化委员会联合颁布的国家标准里面,印刷品的实地印刷要求符合同批同色色差为:GB T 7705-2008 规定,精细产品 $\Delta E \leq 3.00 \sim 4.00$,一般产品 $\Delta E \leq 5.00 \sim 6.00$;GB T 7706-2008 规定,精细产品 $\Delta E \leq 4.00 \sim 5.00$,一般产品 $\Delta E \leq 5.00 \sim 6.00$;GB T 7707-2008 规定, $\Delta E \leq 4.00 \sim 5.00$ 。一般认为,在 $\Delta E \leq 1$ 的情况下,标准的照明体和照明强度下,2 种被比较颜色放在一起,正常观察者是无法辨认出颜色色差的。对待测图像,经过色空间转换后,计算色差,超过以上标准值,则说明存在色偏。

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] BENSAAALI 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 3DúLUT 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.