

3-CCD 扫描输入的分区校正

曾平, 谯婷婷, 顾伟松

(西安电子科技大学 计算机外部设备研究所 陕西 西安 710071)

摘要: 针对目前 3-CCD 扫描色彩失真问题, 结合色彩管理应用需求, 提出一种分区回归校正的新方法. 新方法通过改进多项式回归校正模型, 引入色调调整曲线(TRC)变换和开方运算, 提高了回归校正的精度. 讨论了按精度要求递归子分的分区校正策略及其校正样靶的设计方法. 新方法可明显减小 3-CCD 扫描仪的检测误差, 使其可用于打印设备彩色特性的自动检测.

关键词: 扫描仪校正; 彩色特性检测; 色彩管理; 多项式回归

中图分类号: TP334.8; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-240X(2006)01-0019-05

Region-division calibration for 3-CCD scanner input

ZENG Ping, QIAO Ting-ting, GU Wei-song

(Research Inst. of Peripherals, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: With an aim to solve the color distortion of a 3-CCD scanner, a new region-division calibration method is proposed based on a modified calibration model of polynomial regression and used for color managements. This paper deals emphatically with the modification of the polynomial regression model, the strategy of automatic region-division calibration according to precision requirement and the design of color target for region-division calibration. Experiments show that the new method can increasingly improve the measurement precision, thereby offering the possibility of automatic measurement for printer color characteristics with a scanner rather than a spectrometer.

Key Words: scanner calibration; color characteristics detecting; color management; polynomial regression

打印机彩色特性目前普遍采用分光测色仪测量, 存在自动化程度低、劳动强度大、成本高等问题. 采用 3-CCD 扫描仪实现自动检测可避免上述问题. 但要使 3-CCD 扫描仪用于打印机彩色特性自动检测, 必须提高扫描检测精度.

色彩管理最常使用的扫描仪校正方法是多项式回归法. 其在建立 RGB(设备颜色空间)至 $L^*a^*b^*$ (色彩管理使用的抽象颜色空间)的映射关系时, 通常用 XYZ 为过渡空间^[1], 使回归在 RGB 空间与 XYZ 空间之间进行, 这可减少回归误差, 但也在 XYZ 至 $L^*a^*b^*$ 的转换中引入了新的误差.

扫描检测误差一般在暗色调区域和高亮度饱和区域较大^[2]. 在暗色调区域, 扫描仪捕获的光能量有限, 噪声影响大; 在高亮度饱和区域, 主要是扫描仪固有的光谱响应特性缺陷(扫描仪的光谱响应特性曲线只能逼近标准色匹配函数非负段)产生误差. 由于在不同的区域有不同的输入输出特性, 有必要采用分治策略, 对整个色域空间进行分区校正. 现有的分区算法^[2]只粗略将 sRGB 空间 8 等分, 分别在 8 个子空间内建立颜色映射方程. 这种理想的 8 等分方法未考虑扫描输入特点, 精度有限.

收稿日期 2005-02-01

基金项目: 国家部委科技预研基金资助项目(51416050301DZ0140), 陕西省自然科学基金资助项目(2001X06), 教育部“高等学校骨干教师资助计划”资助项目

作者简介: 曾平(1956-), 男, 教授.

针对上述问题,笔者提出一种改进的多项式回归模型.基于改进模型,按精度要求对 sRGB 空间递归子分形成校正靶,并对扫描输入进行分区校正,以使扫描仪的测色精度接近分光测色仪.

1 回归校正模型

1.1 常用的回归校正模型

色彩管理系统中,扫描仪常用的多项式回归校正模型如图 1 所示.其中,输入 RGB 为扫描仪检测值,输出为经校正和颜色空间转换而得的 $L^*a^*b^*$, XYZ 为中间变量.回归矩阵事先用最小二乘原理生成,源空间数据为校正用样靶的扫描输出 RGB ,目的空间数据为分光测色仪检测样靶所得的 XYZ 值.

模型中, XYZ 至 $L^*a^*b^*$ 的转换式^[3]为

$$\begin{cases} L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, \\ a^* = 500\{(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}\}, \\ b^* = 200\{(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}\}. \end{cases} \quad (1)$$

误差定义为

$$\begin{cases} \Delta E_{ab}^* = ((L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2)^{1/2}, \\ \Delta E = (1/m) \sum_m \Delta E_{ab}^*. \end{cases} \quad (2)$$

其中 Lab 是分光测色仪检测的输出值, X_n, Y_n, Z_n 是完全漫反射面的三刺激值, m 为样本总数^[4].

上述模型充分考虑了扫描输出 RGB 与 XYZ 之间的近似线性关系,增强了多项式回归的适用性,因此减小了回归校正误差.但因第二步转换选用的 X_n, Y_n, Z_n 是经验值,存在一定误差,增加了新的误差源.

1.2 改进的回归校正模型

针对常用回归校正模型存在的问题,同时考虑到扫描仪的误差源有 RGB 各通道独立和通道间互扰两类,笔者提出一种改进的多项式回归校正模型,如图 2 所示.新模型用三步完成校正和空间转换:第一步用 TRC(色调再生曲线)变换对扫描输入的 RGB 进行灰平衡校正,以有效补偿扫描仪各通道独立的非线性误差;第二步开立方根,这是因为 RGB 与 Lab 不存在线性关系,但其立方根与 Lab 有近似线性关系^[5];第三步进行回归校正,以有效减少扫描仪各通道间互扰产生的误差.

常用模型与改进模型的实验结果如表 1 所示.实验中,自定义样靶由 sRGB 空间内均匀取样的 4913 个样本点组成,均采用 3×19 回归校正矩阵,用式(2)计算误差.

表 1 传统模型与改进模型校正精度的比较

样 靶	回归校正模型	平均误差	标准偏差	最大误差
IT8.7/2 标准靶	常用模型	2.7	1.92	11.7
	改进模型	2.2	1.40	6.8
IT8.7/3 标准靶	常用模型	4.1	2.58	26.1
	改进模型	3.3	2.06	22.4
自定义样靶	常用模型	2.9	1.94	11.7
	改进模型	2.3	1.43	10.8

由表 1 可知,改进的回归校正模型比常用回归校正模型校正精度高.故下面讨论的分区校正算法基于改进的回归校正模型,并在各子空间产生其校正矩阵.

2 基于线性八叉树的自动分区校正方法

针对 3-CCD 扫描仪在 RGB 空间的不同子空间内有不同的 I/O 特性,采用如下策略实现自动分区(空间子分): (1)如果在整个空间统一回归的误差大于期望值,则将整个空间 8 分,并将各样本点分到对应的子空

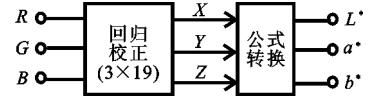


图 1 常用的回归校正模型



图 2 改进的回归校正模型

间,在各子空间独立回归校正。(2)对每一个子空间做相同的处理,递归实现,直至在各子空间的精度均达到要求。(3)采用线性八叉树记录所分子空间的层次及编码。

理论上,实现上述策略必须具备下列条件:

条件 1 有足够多的样本点。笔者选用的回归矩阵是 3×19 矩阵,因此计算回归矩阵最少需要 19 个样本点,即必须保证所分的每个子空间内样本点不少于 19 个。精度要求越高,分的层数也就越多,需要的样本点数也越多。可见满足高精度要求的自动分区方法需要大量的样本点。

条件 2 这些样本点可很好地表示打印机在整个 sRGB 空间和各子空间里的 I/O 特性。

满足上述两个条件后,即可对 sRGB 空间按精度要求自动分区。假设精度要求为 E ,自动分区算法可形式化描述如下:

Algorithm Space_auto_dividing(输入 :sRGB 空间的样本点集,精度要求 E ;

输出 :分区方法及校正矩阵)

{

在整个 sRGB 空间进行回归计算,生成校正矩阵 ;

计算回归校正误差 ΔE ;

if($\Delta E > E$)

 调用递归函数 Eight_divide_space 按精度要求递归子分空间,并计算各子空间校正矩阵 ;

 输出空间子分结果及各子空间回归校正矩阵 ;

}

SubAlgorithm Eight_divide_space(子空间的编码,子空间的样本点集)

{

8 分输入子空间和输入样本点集 ;

for($i = 0 ; i < 8 ; i ++$)

{

 在本层子空间 i 进行回归计算,生成回归校正矩阵 ;

 计算本层子空间 i 的回归校正误差 ΔE ;

 if($\Delta E > E$)

 递归调用 Eight_divide_space 按精度要求继续递归子分和计算 ;

 }

}

3 分区校正样靶的设计

由于扫描仪 I/O 特性只能通过实验获取,分区校正样靶也只能通过实验逐步产生。因此,分区校正样靶的设计一方面应满足前述前提条件,另一方面也要优化实验过程,尽量减少实验次数,避免重复打印,精减样本数。

基于上述考虑,采用如下策略生成分区校正样靶。(1)逐步求精。先形成一初始样本集,然后在分区过程中视情况添加新样本,递归处理,逐步完善校正样靶。(2)在整个 sRGB 空间用二分法均匀采样形成初始样本集,在子空间仍用二分法均匀补采样添加样本。(3)回归时,相邻子空间的相邻样本重用,以减少样本总数。(4)针对同一样本打印用 RGB 值和扫描仪所得 RGB 并不一致现象(即针对扫描仪 I/O 特性),同时考虑到实际校正时只能获取扫描输出 RGB,分区边界选取扫描仪输出 RGB 子空间的最大外接六面体的 6 个边界面。此方法能利用已有的打印样本,添加样本易于实现且具有很好的针对性。

4 实验及结果分析

实验用扫描仪为 MicroTek ScanMaker 9800XL,分光测色仪为 GretagMachbeth,打印机为 HP DesignJet

800PS342. 为提高测量数据的准确性,取两次测量的平均值. 回归选取 3×19 的矩阵,子分与否的阈值 E 取 1.0,递归子分以 3 层为界.

生成的分区校正靶由 2925 个样本组成(可打在 3 张 A4 纸上),分区情况如图 3 所示. 其中 3 6 7 区分 2 层,0 1 4 5 区分 3 层,2 区 24 区分 3 层,其余区分 2 层.

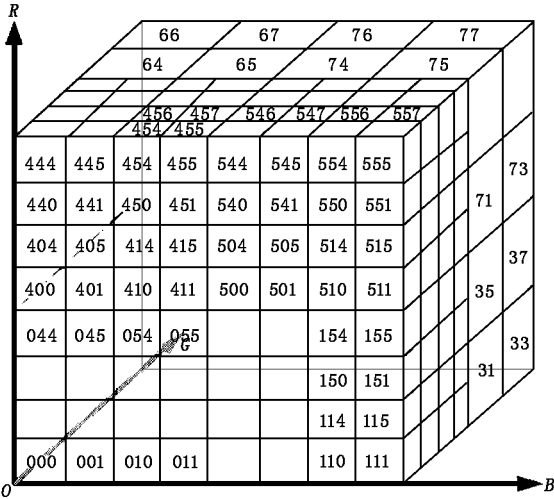


图 3 最终校正样靶分区情况

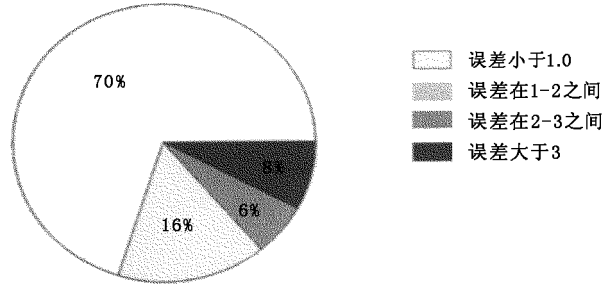


图 4 针对最终分区样靶的误差统计结果饼图

总的统计误差如表 2 所示,误差的分布情况如图 4 所示. 由表 2 可知,随分区层数的增加,平均误差、标准偏差、最大误差都相应减小,其中平均误差减小得最明显. 从图 4 可看出,使用最终的分区样靶时,误差大多集中到 0~1 之间,只有极少数在 3 以上.

表 2 针对最终校正样靶的统计误差

分区情况	平均误差	标准偏差	最大误差
分区前	3.07	1.92	16.94
第 1 次 8 分后	2.26	1.85	16.06
最终结果	1.04	1.33	12.18

表 3 消除多区域问题前后的统计误差对比

检测样本集	平均误差	标准偏差	最大误差
含多区域校正样本点	1.04	1.33	12.18
不含多区域校正样本点	0.71	0.66	4.73

针对最大误差仍较大(存在少数奇异点)、且未随分区层数增加明显减小的问题,笔者进行了进一步的实验、分析. 结果表明,产生奇异点的原因是:分区策略中使用的分区描述是近似描述(子空间的 n 最大外接六面体),由于各子空间不规则,其最大外接六面体彼此部分重叠,对处于重叠区域扫描输入值,无法直接确定其处于何子空间,因此也无法准确使用对应的回归校正矩阵. 如果去除检测样本集中存在于多区域(即处于重叠区域)的样本点,则统计误差如表 3 所示.

显然,进一步减小分区校正误差,特别是最大误差的关键是解决多区域问题. 可采用三维图形表示的多边形网格方法来准确描述每个扫描输入子空间,从而解决不能完全准确定位问题. 同时,在确定扫描输入位于何子空间时,亦可采用先用子区域最小外接六面体初定位,再用子区域准确边界细定位的方法,以减小分区校正的耗时.

5 结束语

以上所给的 3-CCD 扫描输入分区校正方法改进了回归校正模型,采用自动递归分区策略提高了分区、检测的自动化程度和扫描仪校正精度,提供的校正靶生成方法亦对不同扫描仪具有普适性. 借助上述技术,可自动生成各种扫描仪的高精度校正靶并实施高精度校正,通过对不同扫描仪高精度校正靶的统计分析,亦可进一步制定出可适用于各种扫描仪的高精度校正标准靶.

参考文献：

- [1] Kunzli H. How to Convert RGB Signals to Colorimetric and Densitometric Values ?[A]. SPIE : Vol 3963[C]. Washington : SPIE , 2000. 70-76.
- [2] Zhu Yuanhong , Kurt Muenger. Color Correction of Scanning Input Data Based on LMS and RGB Subspaces[J]. 仪器仪表学报 , 2004 , 25(4) : 284-287.
- [3] Xie Jing , Zeng Ping. A Mapping Method Based on the Geometric Characteristics of Color Gamut[J]. Journal of Xidian University , 2002 , 29(4) : 447-450.
- [4] 大田登. 色彩工学[M]. 西安 : 西安交通大学出版社 , 1997.
- [5] Hardeberg J Y. Desktop Scanning to SRGB[A]. SPIE : Vol 3963[C]. Washington : SPIE , 2000. 47-57.

(编辑 : 郭 华)

(上接第 18 页)

首先 对使用 FIPA 算法与使用 AFIPA 算法的性能进行比较. FIPA 算法中 N 固定取值 20 , AFIPA 算法中 N 值通过式 (1) 计算. 另外 式 (1) 中的 N_0 取值为 200 表 3 中 β_1 β_2 的取值分别为 12 和 36. 实验结果如图 4 所示.

由图 4 可知 , 当 Q_p 较大时 , 与 FIPA 算法相比 , 使用 AFIPA 算法后恢复图像平均 PSNR 提高 0.1 dB , 从而避免 FIPA 算法对编码性能的影响 , 而当 Q_p 较小时 , 在编码性能基本不变的情况下增大 N 值 , 减少运行所有帧内预测模式的 F_{ecc} 帧插入 , 进一步提高编码速度.

接下来对使用 AFIPA 算法(NEW) 和未使用帧内预测快速算法(ORG) 的 H. 264 编码器性能进行比较 , 表 4 给出实验结果. 从表 4 的实验结果可看出 , 使用自适应帧内预测快速算法后 , 在比特数增加小于 3% , PSNR 下降不到 0.04 dB 的情况下 , 编码速度提高了 22% ~ 35% . 在保证编码性能和编码效率的前提下 , 大大提高了 H. 264 的编码速度 , 满足实时视频通信的要求.

表 4 未使用快速算法与自适应帧内预测快速算法的性能比较

图像序列	Q_p	PSNR/dB		比特率/(kbit · s ⁻¹)		编码速度/(f · s ⁻¹)		编码速度提高/(%)
		ORG	NEW	ORG	NEW	ORG	NEW	
foreman	18	44.199	44.176	1870.00	1908.10	34.0	41.7	22.6
foreman	28	36.719	36.691	765.60	790.53	39.9	51.3	28.6
claire	18	47.347	47.326	891.70	906.10	39.7	48.8	22.9
claire	28	40.628	40.593	395.51	400.93	40.7	54.9	34.9
news	18	45.173	45.171	1714.20	1734.70	35.0	44.1	26.0
news	28	37.527	37.519	829.57	838.83	39.4	51.6	30.9

参考文献：

- [1] ITU Telecom. Standardization Sector of ITU. Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services[S]. 2003.
- [2] Wiegand T , Sullivan G J. Overview of the H. 264/AVC Video Coding Standard[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology , 2003 , 13(7) : 560-576.
- [3] Song Bin , Chang Yilin. H. 26L Based Error-resilience Techniques for Video Communication[J]. Journal of Xidian University , 2003 , 30(4) : 450-454.
- [4] Meng B , Au O C. Fast Intra-prediction Mode Selection for 4 × 4 Blocks in H. 264[A]. IEEE International Conference on Acoustics , Speech , and Signal Processing : Vol 3[C]. New York : IEEE , 2003. 389-392.
- [5] Wiegand T , Schwarz H , Joch A , et al. Rate-constrained Coder Control and Comparison of Video Coding Standards[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Tech , 2003 , 13(7) : 688-703.

(编辑 : 郭 华)

