

基于多项式回归模型的显示器特征化研究

洪亮, 楚高利

(河南工程学院, 郑州 450007)

摘要:在用色彩管理软件以及分光光度仪对显示器进行屏幕的校准和特性化后,以多项式回归算法建立 RGB 到 Lab 颜色转换模型,通过实验分析了多项式回归模型不同项数、不同样本对液晶显示器特性化精度的影响。结果显示,用多项式回归算法建立的三阶三元二十项多项式可以得到色差为 2.5 左右精度较高的预测模型。

关键词:色彩管理;色彩空间;多形式回归

中图分类号: O432.3; TN873+.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)21-0085-05

Characterization of Display Based on Polynomial Regression Model

HONG Liang, CHU Gao-li

(Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: RGB to Lab color conversion model was established using polynomial regression algorithm after screen calibration and characterization of display with color management software and spectrophotometer. The influence of term number of polynomial regression model and specimen on characterization precision of display was analyzed with experiments. The result showed that polynomial regression prediction model with three orders, three elements, and twenty terms has higher accuracy, with color difference about 2.5.

Key words: color management; color space; multiple regression

色彩管理技术能在显示器上直接看到接近准确色彩的印品^[1],但是显示器本身的呈色因素使得客户不能接受直接在显示器上确定印品的色彩准确程度。色彩空间转换是彩色图像数据以设备无关色彩空间为桥梁,在不同设备之间进行的转换^[2]。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。

目前实现色空间转换算法较多,主要分为多项式回归法模型法^[3]、3D-LUT 查找表插值法^[4]和 BP 神经网络法^[5]。多项式回归模型是显示器色度特征化的主要方法之一,但仍然存在以下问题:确定合适的多项式项数;是否需要显示器线性化;选择合适的输出颜色空间^[6]。文中研究和讨论了对 LCD 显示器进行屏幕的校准和特性化,在均匀颜色空间上不同项数的多项式回归模型来实现显示器的色度特征化。

1 数据的获取

1.1 仪器校准预热与数据测量

测量前对显示器进行 30 min 的预热,使它们进入稳定的工作状态。启动 i1Profiler 软件,连接 Eye-One Pro,按照提示操作进行校正并生成 LCD 显示器 ICC 特性文件,最后软件自动将该 ICC 文件设置为当前 LCD 显示器系统的配置文件,即完成 LCD 显示器屏幕的校准和特性化。

1.2 数据的采集

数据分为建模数据及测试数据两部分,建模数据用于计算多项式的系数,测试数据用于分析算法的精确程度。来自源空间和目标空间的建模数据和测试数据均在 MeasureTool 软件中通过 Eye-One Pro 分光光度仪采集得到。为了尽量减小由于输出设备的不均匀性和仪器的不稳定性所带来的误差,一般采用平

收稿日期: 2013-09-04

基金项目: 2013 年河南省教育厅自然科学研究项目(13B510932)

作者简介: 洪亮(1977-),男,湖北阳新人,硕士,河南工程学院副教授,主要研究方向为印刷包装的教学与研究、多媒体制作。

均测色功能,取多个相同或不同位置测量结果的平均值作为最终结果。

1.2.1 建模色块的确定

为了研究和分析数据的需要,在源空间 RGB 中分别对 R, G, B 值进行 6 级均匀分割(即 0, 51, 102, 153, 204, 255)。用 Matlab 编写产生色块程序, RGB 分别取其中一个值组成一种颜色,这样共 63, 即 216 个色块。在 MeasureTool 软件中通过 Eye-One Pro 分光光度仪测量并记录 216 个测试色块的 Lab 值和相应的 RGB 值,并存储到文本文件中。

1.2.2 测试色块的确定

将 RGB 的数字驱动值由 0 到 255 按每隔 36 进行 8 级分割(即 0, 36, 72, 108, 144, 180, 216, 255),共得到 512 个测试点的 R, G, B 值。在 MeasureTool 软件中通过 Eye-One Pro 分光光度仪测量并记录 512 个建模色块的 Lab 值和相应 RGB 值,并存储到文本文件中。

2 多项式回归算法

2.1 多项式回归算法建模

多项式回归算法是指假设色彩空间的联系可以通过一组联立的方程估算出来。实验是建立与设备相关的 RGB 色彩空间转换到与设备无关的 CIELab 色彩空间模型:

假定色样的 L, a, b 色度值分别是 R, G, B 值的多项式函数,则可以简写为以下公式,即:

$$L = \sum a_{Lj} R^p G^q B^r$$

$$a = \sum a_{aj} R^p G^q B^r$$

$$b = \sum a_{bj} R^p G^q B^r$$

对于 n 阶多项式,式中 p, q, r 的取值范围为 0, 1, ..., n 。其中 j 为多项式的项数^[7]。在实际应用中随着方程计算阶数的增加,它们的影响越来越小,计算量却急剧增加^[8]。该实验在求解过程中选择一次阶数、二次阶数、三次阶数进行计算比较,以获得较佳多项式模型,四次阶数以上由于计算量太大这里不再讨论。

一次阶数展示形式一般有 $2^3 = 8$ 种形式,现选择 3 种典型展开式比较:

$$P(L, a, b)_4 = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B$$

$$P(L, a, b)_7 = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB$$

$$P(L, a, b)_8 = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2$$

二次阶数展示形式一般有 $3^3 = 27$ 种形式,现选择 8 种典型展开式比较:

$$P(L, a, b)_{10} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2$$

$$P(L, a, b)_{11} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB$$

$$P(L, a, b)_{16} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} R^2 B + a_{11} R^2 G + a_{12} G^2 R + a_{13} G^2 B + a_{14} B^2 R + a_{15} B^2 G$$

$$P(L, a, b)_{17} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G$$

$$P(L, a, b)_{20} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G + a_{17} R^2 G^2 + a_{18} R^2 B^2 + a_{19} G^2 B^2$$

$$P(L, a, b)_{23} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G + a_{17} R^2 G^2 + a_{18} R^2 B^2 + a_{19} G^2 B^2 + a_{20} R^2 GB + a_{21} RG^2 B + a_{22} RGB^2$$

$$P(L, a, b)_{26} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G + a_{17} R^2 G^2 + a_{18} R^2 B^2 + a_{19} G^2 B^2 + a_{20} R^2 GB + a_{21} RG^2 B + a_{22} RGB^2 + a_{23} R^2 G^2 B + a_{24} R^2 GB^2 + a_{25} RG^2 B^2$$

$$P(L, a, b)_{27} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G + a_{17} R^2 G^2 + a_{18} R^2 B^2 + a_{19} G^2 B^2 + a_{20} R^2 GB + a_{21} RG^2 B + a_{22} RGB^2 + a_{23} R^2 G^2 B + a_{24} R^2 GB^2 + a_{25} RG^2 B^2 + a_{26} R^2 G^2 B^2$$

三次阶数展示形式一般有 $4^3 = 64$ 种形式,现选择 5 种典型展开式比较:

$$P(L, a, b)_{20} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G + a_{17} R^3 + a_{18} G^3 + a_{19} B^3$$

$$P(L, a, b)_{26} = a_0 + a_1 R + a_2 G + a_3 B + a_4 RG + a_5 RB + a_6 GB + a_7 R^2 + a_8 G^2 + a_9 B^2 + a_{10} RGB + a_{11} R^2 B + a_{12} R^2 G + a_{13} G^2 R + a_{14} G^2 B + a_{15} B^2 R + a_{16} B^2 G + a_{17} R^3 + a_{18} G^3 + a_{19} B^3 +$$

$$\begin{aligned}
 & a_{20}R^3B+a_{21}R^3G+a_{22}G^3R+a_{23}G^3B+a_{24}B^3R+a_{25}B^3G \\
 & P(L,a,b)_{32}=a_0+a_1R+a_2G+a_3B+a_4RG+a_5RB+ \\
 & a_6GB+a_7R^2+a_8G^2+a_9B^2+a_{10}RGB+a_{11}R^2B+a_{12}R^2G+ \\
 & a_{13}G^2R+a_{14}G^2B+a_{15}B^2R+a_{16}B^2G+a_{17}R^3+a_{18}G^3+a_{19}B^3+ \\
 & a_{20}R^3B+a_{21}R^3G+a_{22}G^3R+a_{23}G^3B+a_{24}B^3R+a_{25}B^3G+ \\
 & a_{26}R^3G^2+a_{27}R^3B^2+a_{28}G^3R^2+a_{29}G^3B^2+a_{30}B^3R^2+a_{31}B^3G^2 \\
 & P(L,a,b)_{35}=a_0+a_1R+a_2G+a_3B+a_4RG+a_5RB+ \\
 & a_6GB+a_7R^2+a_8G^2+a_9B^2+a_{10}RGB+a_{11}R^2B+a_{12}R^2G+ \\
 & a_{13}G^2R+a_{14}G^2B+a_{15}B^2R+a_{16}B^2G+a_{17}R^3+a_{18}G^3+a_{19}B^3+ \\
 & a_{20}R^3B+a_{21}R^3G+a_{22}G^3R+a_{23}G^3B+a_{24}B^3R+a_{25}B^3G+ \\
 & a_{26}R^3G^2+a_{27}R^3B^2+a_{28}G^3R^2+a_{29}G^3B^2+a_{30}B^3R^2+a_{31}B^3G^2+ \\
 & a_{32}R^3G^3+a_{33}R^3B^3+a_{34}G^3B^3 \\
 & P(L,a,b)_{38}=a_0+a_1R+a_2G+a_3B+a_4RG+a_5RB+ \\
 & a_6GB+a_7R^2+a_8G^2+a_9B^2+a_{10}RGB+a_{11}R^2B+a_{12}R^2G+ \\
 & a_{13}G^2R+a_{14}G^2B+a_{15}B^2R+a_{16}B^2G+a_{17}R^3+a_{18}G^3+a_{19}B^3+ \\
 & a_{20}R^3B+a_{21}R^3G+a_{22}G^3R+a_{23}G^3B+a_{24}B^3R+a_{25}B^3G+ \\
 & a_{26}R^3G^2+a_{27}R^3B^2+a_{28}G^3R^2+a_{29}G^3B^2+a_{30}B^3R^2+a_{31}B^3G^2+ \\
 & a_{32}R^3G^3+a_{33}R^3B^3+a_{34}G^3B^3+a_{26}R^3GB+a_{27}RG^3B+ \\
 & a_{28}RGB^3
 \end{aligned}$$

这里以展开的 11 项多项式为例展示建模过程, L, a, b 色度值分别是 R, G, B 值的多项式函数如下:

$$\begin{aligned}
 L &= a_{10} + a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}RB + a_{16}GB + \\
 & a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 + a_{110}RGB \\
 a &= a_{a0} + a_{a1}R + a_{a2}G + a_{a3}B + a_{a4}RG + a_{a5}RB + a_{a6}GB + \\
 & a_{a7}R^2 + a_{a8}G^2 + a_{a9}B^2 + a_{a10}RGB \\
 b &= a_{b0} + a_{b1}R + a_{b2}G + a_{b3}B + a_{b4}RG + a_{b5}RB + a_{b6}GB + \\
 & a_{b7}R^2 + a_{b8}G^2 + a_{b9}B^2 + a_{b10}RGB
 \end{aligned}$$

式中 R, G, B, L, a, b 分别为空间栅格点的 R, G, B, L, a, b 值; $a_{10} \cdots a_{110}, a_{a0} \cdots a_{a10}, a_{b0} \cdots a_{b10}$ 分别为求解 L, a, b 值所对应的多项式系数。

由于上述 3 个公式不能用变量代换的方法将其转换为按线性模型方式分析的模型, 因此需要使用多项式回归分析方法。按线性模型方式进行分析, 即令 $x_1=R, x_2=G, x_3=B, x_4=RG, x_5=RB, x_6=GB, x_7=R^2, x_8=G^2, x_9=B^2, x_{10}=RGB$ 。

则上述方程变为:

$$L = a_{10} + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 + a_{15}x_5 + a_{16}x_6 + a_{17}x_7 + a_{18}x_8 + a_{19}x_9 + a_{110}x_{10} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 a &= a_{a0} + a_{a1}x_1 + a_{a2}x_2 + a_{a3}x_3 + a_{a4}x_4 + a_{a5}x_5 + a_{a6}x_6 + \\
 & a_{a7}x_7 + a_{a8}x_8 + a_{a9}x_9 + a_{a10}x_{10} \quad (2) \\
 b &= a_{b0} + a_{b1}x_1 + a_{b2}x_2 + a_{b3}x_3 + a_{b4}x_4 + a_{b5}x_5 + a_{b6}x_6 +
 \end{aligned}$$

$$a_{b7}x_7 + a_{b8}x_8 + a_{b9}x_9 + a_{b10}x_{10} \quad (3)$$

上述方程符合多元线性回归模型的形式。

设 $(x_{11}, x_{12}, \cdots, x_{1m}, y_1), \cdots, (x_{n1}, x_{n2}, \cdots, x_{nm}, y_n)$ 是一个样本, 它们相应的有下列函数关系:

$$\begin{cases} y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1m}x_m \\ y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2m}x_m \\ \vdots \\ y_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nm}x_m \end{cases}$$

相应的误差方程组为:

$$\begin{cases} l_1 - y_1 = l_1 - (a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1m}x_m) = v_1 \\ l_2 - y_2 = l_2 - (a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2m}x_m) = v_2 \\ \vdots \\ l_n - y_n = l_n - (a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nm}x_m) = v_n \end{cases} \quad (4)$$

式中, $l_1, l_2, \cdots, l_n$ 为有误差的实测值。线性方程组(4)可用矩阵表示:

$$L - A\hat{X} = V。式中: 系数矩阵 A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2m} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} =$$

$[a_1, a_2, \cdots, a_m]$ 。

$$\text{估计值矩阵 } \hat{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \text{ 实测值矩阵 } L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix}, \text{ 残}$$

$$\text{差矩阵 } V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}。$$

$$\text{由于有 } (v_1, v_2, \cdots, v_n) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n v_i^2 = v^2 \quad (5)$$

故有 $V'V$ 为最小或 $(L - A\hat{X})'(L - A\hat{X})$ 为最小 (6)

要满足式(5)或式(6), 只有使 $\frac{\partial v^2}{\partial x_1} = 0; \frac{\partial v^2}{\partial x_2} = 0; \cdots;$

$$\frac{\partial v^2}{\partial x_m} = 0。$$

从而得到 m 个新的方程式, 叫作“正规方程组”或“法方程组”。解正规方程组, 得出唯一的一组解, 即为符合最小二乘原理的最佳解。

$$\text{如: } \frac{\partial v^2}{\partial x_1} = \frac{\partial v_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2^2}{\partial x_1} + \cdots + \frac{\partial v_n^2}{\partial x_1} = 0$$

按式(4)有:

$$\frac{\partial v_1^2}{\partial x_1} = 2a_{11}(a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1m}x_m - l_1)$$

$$\frac{\partial v_2^2}{\partial x_1} = 2a_{21}(a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2m}x_m - l_2)$$

⋮

$$\frac{\partial v_n^2}{\partial x_1} = 2a_{n1}(a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nm}x_m - l_n)$$

以上各式相加,得: $\frac{\partial v^2}{\partial x_1} = 2\{[a_1^T a_1]x_1 + [a_1^T a_2]x_2 +$

$\cdots + [a_1^T a_m]x_m - [a_1^T L]\} = 0$

又 $\frac{\partial^2 v^2}{\partial x_1^2} = 2[a_1^T a_1] > 0$,即二阶偏导数为正,故有最

小值。

同理可求得 $\frac{\partial v^2}{\partial x_2}, \frac{\partial v^2}{\partial x_3}, \cdots, \frac{\partial v^2}{\partial x_m}$ 。整理后得:

$$\left. \begin{aligned} [a_1^T a_1]x_1 + [a_1^T a_2]x_2 + \cdots + [a_1^T a_m]x_m &= [a_1^T L] \\ [a_2^T a_1]x_1 + [a_2^T a_2]x_2 + \cdots + [a_2^T a_m]x_m &= [a_2^T L] \\ \vdots \\ [a_m^T a_1]x_1 + [a_m^T a_2]x_2 + \cdots + [a_m^T a_m]x_m &= [a_m^T L] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

方程组(7)即为等精度测量的线性函数最小二乘估计的正规方程。还可进一步简化,任取一方程式,即 $[a_i^T a_1]x_1 + [a_i^T a_2]x_2 + \cdots + [a_i^T a_m]x_m - [a_i^T L] = 0$

将其展开再归纳后得:

$$\begin{aligned} &(a_{1i}a_{11}x_1 + a_{2i}a_{21}x_1 + \cdots + a_{ni}a_{n1}x_1) + \cdots + (a_{1i}a_{1m}x_m + \\ &a_{2i}a_{2m}x_m + \cdots + a_{ni}a_{nm}x_m) - (a_{1i}l_1 + a_{2i}l_2 + \cdots + a_{ni}l_n) = \\ &a_{1i}(a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1m}x_m - l_1) + a_{2i}(a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \\ &\cdots + a_{2m}x_m - l_2) + \cdots + a_{ni}(a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nm}x_m - l_n) = \\ &a_{1i}v_i + a_{2i}v_i + \cdots + a_{ni}v_i = 0 \end{aligned}$$

由此可将正规方程组(7)写成以下较简明的形式,即:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}v_1 + a_{21}v_2 + \cdots + a_{n1}v_n &= 0 \\ a_{12}v_1 + a_{22}v_2 + \cdots + a_{n2}v_n &= 0 \\ \vdots \\ a_{1m}v_1 + a_{2m}v_2 + \cdots + a_{nm}v_n &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{写成矩阵形式为} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & & a_{n2} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{1m} & a_{2m} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = 0,$$

即 $A'V=0$

由式(5)有 $A'(L-A\hat{X})=0, (A'A)\hat{X}=A'L, X=$

$(A'A)^{-1}A'L$,即为最小二乘估计的矩阵解。

最后, L, a, b 3 个多元线性回归方程系数求解均在 Matlab 软件中根据最小二乘估计原理通过 $b = \text{reg-$

$$\text{ress}(Y, X) \text{ 实现, 其中 } X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & & x_{2p} \\ \vdots & & & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix},$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}。$$

据此通过源空间 RGB 数据和目标空间 Lab 数据计算出回归系数 b ,从而完成多项式回归算法模型的建立。

2.2 多项式回归算法模型精度分析

在确定了回归多项式模型以后,还要对该多项式模型进行测试,以保证该多项式能达到目的空间的精度要求。多项式回归算法模型精度测试方法:当求出这些多项式的系数后,把测试色块的 RGB 值代入前面的式(1),(2),(3)中,从而求解出多项式回归算法模型的测试色块的理论 Lab 值。然后再利用测试色块的测量 Lab 值和色差公式在 Matlab 编写程序进行多项式回归算法模型精度分析。

色差是客观评价最重要的参数,目前印刷行业对一般彩色印刷品的色差要求小于 6,这是人眼及心理可以接受的小失真的物体色的边界反映。测试比较的色差基于 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间色差计算公式:

$$\Delta E_{Lab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

实验在初定建模 216 个色块和用于测试精度的 512 个色块为均匀色彩空间色块前提下,从一次多项式开始,逐次升高多项式模型方次和项数(最高达到三次多项式)进行实验和检验。

从表 1 数据比较可以看出,表中右列不包含常数项多项式模型比左列相同结构含有常数项多项式模型的平均色差增加幅度都较大,由此可见多项式中的常数项对色差影响较大。

多项式中选择合适的项数对模型精度的影响也大,尤其是在多项式中增加 RGB 交叉项很重要。如二阶 8 项比 7 项平均色差降低 0.2 左右,二阶 11 项比 10 项平均色差降低 0.3 左右,二阶 17 项比 16 项

表 1 显示器的多项式回归颜色模型的项数影响色差结果
Tab.1 Results of the influence of term number of polynomial regression model on color difference of display

多项式阶次	多项式项数	多项式含常数项		多项式项数	多项式省去常数项	
		平均色差	最大色差		平均色差	最大色差
1	4	12.1013	35.6648	3	20.8977	48.4855
	7	8.6345	28.5421	6	9.0366	29.3462
	8	8.4429	26.1100	7	11.9475	24.1035
2	10	5.5302	25.7895	9	11.3191	33.0732
	11	5.1816	26.0469	10	6.4699	26.8611
	16	4.5416	21.9852	15	13.3450	33.8636
	17	4.0594	22.2659	16	6.4601	27.3120
	20	3.9925	22.3916	19	4.9214	25.4249
	23	3.7902	22.9676	22	4.4427	23.8458
	26	3.7475	22.7771	25	5.1814	21.0716
	27	3.7606	22.7843	26	4.1606	22.9563
	20	2.5454	19.5548	19	5.4810	24.1403
3	26	2.3141	19.3900	25	8.0374	26.6237
	32	2.0889	18.7628	31	6.2119	24.3104
	35	2.1114	18.6604	34	2.6113	19.2364
	38	1.7267	19.0321	37	1.7267	19.0321

平均色差降低 0.5 左右。

在建模色块和测试色块一定的情况下,增加多项式中的幂次和项数,模型会大幅度提高转换精度,即从一阶四项多项式模型平均色差 12.1013 到三阶三十八项多项式模型平均色差 1.7267,平均色差降幅达到 10.3746。当多项式的项数达到 10 项以上时,平均色差 $\Delta E \leq 6$,即可满足使用要求。

当幂次和项数增加到一定程度时,尤其是不断增加项数,模型转换精度的提高很小,如二阶 17 项以后平均色差幅度只提高 0.1 左右,三阶 20 项以后平均色差幅度只提高 0.2 左右。模型计算的工作量逐步加大,容易引起振荡,如二阶 27 项项数比二阶 26 项多,但其平均色差不是降低,而是提高 0.1 左右,三阶 35 项项数比三阶 32 项多,但其平均色差不是降低,而是提高 0.1 左右。

总之,用多项式回归模型法时,增加幂次和项数会使模型精度提高,尤其是增加 RGB 项和常数项能明显提高模型精度。根据表 1 中的实验数据,应同时考虑项数数量、模型精度大小和工作量计算复杂程度,综合各种形式项的多项式,最终在三阶以内的多项式模型中选择项数少、精度高的三阶二十项多项式为本实验建模的模型。

实验中在确定三阶二十项多项式和测试 512 个

色块为均匀色彩空间色块情况下,分别选取均匀色彩空间 27,64,125,216,512 个建模色块做建模数量对模型进行精度影响分析。其结果见表 2。从表 2 左列数据可以看出,建模色块数量越多,模型色差越小。当建模色块增加到 216 个以上,模型色差的减小幅度较小,建模色块一般选择在 216 个以上比较合适。

实验中在确定三阶二十项多项式和建模 216 个色块为均匀色彩空间色块情况下,分别选取均匀色彩空间 27,64,125,216,512 个测试色块做测试数量对模型进行精度影响分析。其结果见表 2。从表 2 右列数据比较可以看出,测试色块数量越多,模型色差越小。考虑到测试的精度与计算量,测试色块一般选择在 512 个以上比较合适。

表 2 显示器的多项式回归颜色模型的建模数影响色差结果
Tab.2 Results of the influence of model parameters of polynomial regression model on color difference of display

三阶二十项 测试色块 512 个			三阶二十项 建模色块 216 个		
建模样本	平均	最大	建模样本	平均	最大
色块数	色差	色差	色块数	色差	色差
27	12.4093	26.5467	27	3.5015	8.5523
64	2.7562	19.9012	64	2.9305	9.3237
125	2.6458	19.8123	125	2.7824	9.8654
216	2.5454	19.5548	216	2.6501	9.1410
512	2.4939	19.2545	512	2.5454	19.5548

3 结语

实验对设备无关空间 Lab 与设备相关空间 RGB 之间采用了多阶多元回归的方法建立转换矩阵,研究了多项式回归模型不同项数、不同训练样本对液晶显示器特性化精度的影响,结果显示用三阶三元回归的方法可以建立精度较高的预测模型。

参考文献:

[1] FRASER B, MURPHY C, BUNTING F. Real World Color Management[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
FRASER B, MURPHY C, BUNTING F. Real World Color Management[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

[2] 田全慧,刘珺. 印刷色彩管理[M]. 北京:印刷工业出版社,2003.

3 结语

详细分析了平台的数据流向,从数据传递和加工角度对网络印刷服务平台建立了数据流模型。以3级DFD(数据流图)图的方式来表达系统的逻辑功能、数据在系统内部的逻辑流向和逻辑变换过程,可为网络印刷服务平台原型系统的设计与开发提供逻辑依据。网络印刷服务平台在应用广度和深度上的不足说明目前的网络印刷服务平台仍然存在着一定的研究空间。文中针对印刷服务平台数据流模型的建立进行了详细的分析和研究,该研究对建立一个用户体验好,适合印刷企业应用,互操作性好的网络印刷服务平台具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 颜志军,孙宝文,王天梅. 基于UML的业务流程模型分析方法研究[J]. 计算机工程与应用,2004(29):226-228.
YAN Zhi-jun, SUN Bao-wen, WANG Tian-mei. The Analysis Method of UML-based Business Process Model[J]. Computer Engineering and Applications, 2004(29):226-228.
 - [2] 白岚,凌秀琴. 数据流图在信息处理中的应用[J]. 光电技术应用,2005,20(6):64-67.
BAI Lan, LING Xiu-qin. Application of the Data Flow Diagram in the Information Processing[J]. Electro-Optic Technology Application, 2005, 20(6):64-67.
 - [3] 单家凌. 结构化方法与面向对象可结合性研究[J]. 电脑知识与技术,2007(4):1057,1101.
SHAN Jia-lin. The Research of Combinability Between Structural Method and Object-oriented [J]. Computer Knowledge and Technology, 2007(4):1057,1101.
 - [4] 徐天伟,夏幼明,李凯佳. 数据流图描述语言的研究与设计[J]. 云南师范大学学报,2003(23):4-7.
XU Tian-wei, XIA You-ming, LI Kai-jia. Research and Design on Data Flow Graph Description Language[J]. Journal of Yunnan Normal University, 2003(23):4-7.
 - [5] FERNANDES J M, LILIUS J, TRUSCAN D. Integration of DFDs into a UML-based Model-driven Engineering Approach[J]. Software and System Modeling, 2006, 5(4):403-428.
 - [6] HOOMAN J, KUGLER H, OBER I, et al. Supporting UML-based Development of Embedded Systems by Formal Techniques[J]. Software and Systems Modeling, 2008, 7(2):131-155.
 - [7] 毛志娟,刘真,朱明. 基于Kodak Insite的网络印刷模型研究[J]. 包装工程,2010,31(19):20-24.
MAO Zhi-juan, LIU Zhen, ZHU Ming. Research on Network Printing Model of Kodak Insite[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19):20-24.
 - [8] 杨华,刘真. 印刷数字资产库文件编目及编码的研究[J]. 包装工程,2011,32(1):101-103.
YANG Hua, LIU Zhen. Research on Cataloging and Coding of Printing Digital Asset Library File[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(1):101-103.
-
- (上接第89页)
- TIAN Quan-hui, LIU Jun. Printing Color Management [M]. Beijing: Printing Industry Publishing House, 2003.
 - [3] 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.
CHE Xiao-yan. The Color Output Device Color Management—Modeling and Calibration [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
 - [4] 何敏丽. 印前色彩转换输出过程的分析及精度的提高[D]. 西安:西安理工大学,2006.
HE Min-li. Analysis and Precision Improvement Prepress Color Conversion Output Processes [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006.
 - [5] 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.
LI Rui-juan. Study on Color Space Conversion Model from RGB to CIEXYZ[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3):79-81.
 - [6] 王勇,徐海松. 基于多项式回归模型的扫描仪色度特征化[J]. 光学学报,2007,27(6):1135-1138.
WANG Yong, XU Hai-song. Scanner Colorimetric Characteristics Based on Polynomial Regression Models [J]. Journal of Optics, 2007, 27(6):1135-1138.
 - [7] 智川. 印刷中常用颜色空间转换模型的分析与研究[J]. 印刷世界, 2011(4):46-48.
ZHI Chuan. Commonly Used Color Printing Space 01 Conversion Model Analysis and Research of [J]. Printing World, 2011(4):46-48.
 - [8] 梁静,邓晶绿,姜婷婷,等. CRT显示器的颜色转换模型[J]. 大连工业大学学报,2011,30(4):293-296.
LIANG Jing, DENG Jing-lyu, JIANG Ting-ting, et al. CRT Display Color Conversion Model[J]. Dalian Industrial University Newspaper, 2011, 30(4):293-296.