

基于三维查找表插值算法的显示器色彩空间转换模型的研究

许宝卉

(运城学院, 运城 044000)

摘要:采用三维查找表的转换方法,建立了 RGB-CIELab 色彩空间转换模型,取得了较好的实验结果,模型转换的色差都小于 3,在人的视觉不敏感范围内。比较研究了 4 种插值算法模型的精度,结果表明:随着将立方体的分区细划,转换精度越来越高。

关键词:色彩管理系统;查找表;分区;插值;色空间

中图分类号: TS801.3; TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0077-03

Research on Display Color Space Conversion Model Based on Three-Dimensional Lookup Table Interpolation Algorithm

XU Bao-hui

(Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)

Abstract: RGB-CIELab color space conversion model was established using three-dimensional look-up table method. Experimental results showed that the color difference of the color transformation is less than 3, which is under human visual sensitive range. The accuracy of four models of different interpolation algorithm was compared. The results showed that the conversion accuracy increases with the size of cube partition decrease.

Key words: color management system; lookup table; subarea; interpolation; color space

彩色显示器是印刷领域印前系统中重要的组成部分,是用来传达颜色信息的重要工具,而色彩在不同设备和系统上传输往往会造成差异,因此对显示器建立一个色彩管理系统很有必要。实现设备相关的色空间 RGB 到设备无关的色空间 Lab 转换是建立显示器的色彩管理系统中重要的一个环节^[1]。目前,带插值算法的三维查找表法是色彩技术中最活跃的研究领域之一,在扫描仪、打印机的色彩管理方面已有许多实际应用,具有运算和执行成本低、处理速度快等优点^[2-3]。将带插值算法的三维查找表法引入显示器的色彩空间转换具有重要的研究意义和应用价值。

1 三维查找表算法的原理

带有插值算法的三维查找表方法包括 3 个部分:分区、提取、插值。

显示器色彩空间转换模型的三维查找表算法的核心思想,是将源色彩空间进行分割,划分为立方体,每个立方体 8 个顶点的数值是已知的。通过对立方体再进行分割,可以实现很高的转换精度。根据插值策略的不同可以把三维插值法划分为三维线性插值(八点六面体)、三棱柱插值(六点五面体)、金字塔插值(五点五面体)和四面体(四点四面体)插值,这也是根据切割立方体的不同方式来划分的,见图 1^[4]。

2 三棱柱插值算法研究

给定一个点的 RGB 值,就可以确定这个点所在的立方体,对应的有立方体的 8 个顶点的值,将立方体一分为二便得到 2 个三棱柱体^[5]。

利用 C++ 程序对 RGB 驱动值进行 11 级分割,RGB 的取值为:0,16,32,64,96,128,160,192,224,240,255 组合,R,G,B 分别取其中一个值便组成一种

收稿日期:2010-12-28

基金项目:山西省高等学校科研基金资助项目(20091035)

作者简介:许宝卉(1966—),女,山西襄汾人,博士,运城学院副教授,主要研究方向为色彩管理、印品质量管理。

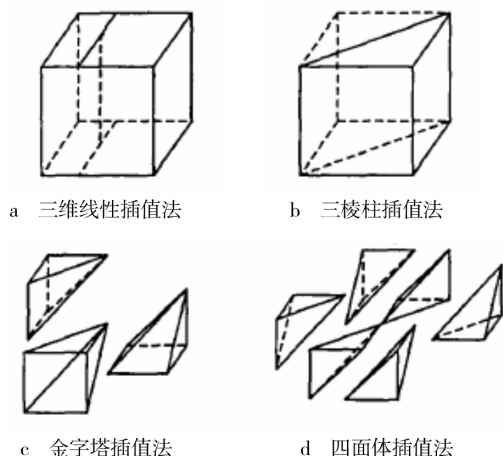


图1 不同切割方式的三维插值方法

Fig. 1 Three-dimensional interpolation methods of different division modes

颜色,得到 1331 个色块,用爱色丽测色仪测量每种颜色的 Lab 值,建成了 RGB 值与 Lab 值相对应 LUT 表。若取: RGB 值为(42,42,85),这个点落在如下所示区域中:

$R: 32 < 42 < 64; G: 32 < 42 < 64; B: 64 < 85 < 96$

其所在立方体中: $R_{\min} = 32, R_{\max} = 64; G_{\min} = 32, G_{\max} = 64; B_{\min} = 64, B_{\max} = 96$,即立方体的 8 个顶点,则可以得到立方体的 8 个顶点 RGB 及 Lab 值。

在进行三棱柱(Prism)插值计算时,首先要确定待测点在色空间的位置,也就是说它在 11 级区域的哪个立方体当中,进而再把该立方体切割为 2 个三棱柱,确定该待测点在哪一个棱柱当中,然后选用相应的公式进行插值计算。根据公式:

$$\begin{cases} \Delta x = R - R_{\min} \\ \Delta y = G - G_{\min} \\ \Delta z = B - B_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

其中: R, G, B 为待求点红、绿、蓝值。

如果 $\Delta x \geq \Delta y$,那么认为待测点在棱柱 2 中,则插值公式为:

$$\begin{aligned} p(x, y, z) = & p_{000} + (p_{100} - p_{000})\Delta x / (x_1 - x_0) + \\ & (p_{110} - p_{100})\Delta y / (y_1 - y_0) + (p_{001} - p_{000})\Delta z / (z_1 - z_0) + \\ & (p_{101} - p_{001} - p_{100} + p_{000})\Delta x \Delta z / [(x_1 - x_0)(z_1 - z_0)] + \\ & (p_{111} - p_{101} - p_{110} + p_{100})\Delta y \Delta z / [(y_1 - y_0)(z_1 - z_0)] \end{aligned} \quad (2)$$

如果 $\Delta x < \Delta y$,认为待测点在棱柱 1 中,插值公式为:

$$\begin{aligned} p(x, y, z) = & p_{000} + (p_{110} - p_{010})\Delta x / (x_1 - x_0) + \\ & (p_{010} - p_{000})\Delta y / (y_1 - y_0) + (p_{001} - p_{000})\Delta z / (z_1 - z_0) + \\ & (p_{111} - p_{011} - p_{110} + p_{010})\Delta x \Delta z / [(x_1 - x_0)(z_1 - z_0)] + \\ & (p_{011} - p_{001} - p_{010} + p_{000})\Delta y \Delta z / [(y_1 - y_0)(z_1 - z_0)] \end{aligned} \quad (3)$$

三维插值的立方体见图 2。

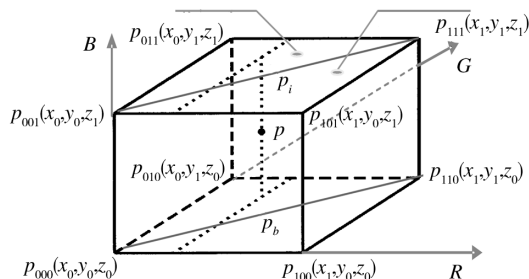


图2 三维插值的立体图

Fig. 2 The solid of three-dimensional interpolation

根据上面的式(1): $\Delta x = 10; \Delta y = 10; \Delta z = 21$,则待求点在第一个棱柱 2 中,运用棱柱 2 公式(2)求得待求点的 L, a, b 值。

当输入 RGB 值为(42,42,85)时,计算得 L, a, b 值分别为: $L = 13.37, a = 25.75, b = -27.42$;测量得 L, a, b 值分别为: $L = 12.67, a = 26.97, b = -29.40$;计算色差为: $\Delta E_{ab}^* = 2.43$,小于 3,在人眼的视觉不敏感范围之内^[6]。

3 四面体插值算法研究

将图 3a 的立方体切分成 6 个四面体,得到图 3b。任意给定一组 RGB 输入值,用式(1)计算出 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$,再根据表 1 中给出的不等式关系及其系数,定位插值点并获得系数值^[7]。

表1 定位插值点的查找表

Tab. 1 LUT for locating interpolation point

四面体	满足关系式	系数 c_1	系数 c_2	系数 c_3
T1	$\Delta x > \Delta y > \Delta z$	$P_{100} - P_{000}$	$P_{110} - P_{100}$	$P_{111} - P_{110}$
T2	$\Delta x > \Delta z > \Delta y$	$P_{100} - P_{000}$	$P_{111} - P_{101}$	$P_{101} - P_{100}$
T3	$\Delta z > \Delta x > \Delta y$	$P_{101} - P_{001}$	$P_{111} - P_{101}$	$P_{001} - P_{000}$
T4	$\Delta y > \Delta x > \Delta z$	$P_{110} - P_{010}$	$P_{010} - P_{000}$	$P_{111} - P_{110}$
T5	$\Delta y > \Delta z > \Delta x$	$P_{111} - P_{011}$	$P_{010} - P_{000}$	$P_{011} - P_{010}$
T6	$\Delta z > \Delta y > \Delta x$	$P_{111} - P_{011}$	$P_{011} - P_{001}$	$P_{001} - P_{000}$

将系数代入四面体插值公式(4),得到插值点的

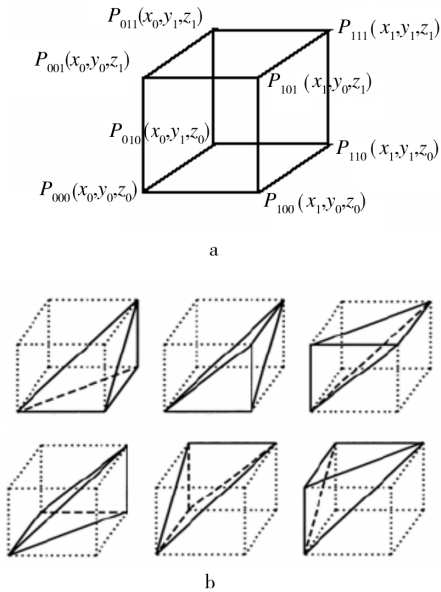


图3 分割立方体

Fig. 3 Cube division

颜色值:

$$p(x,y,z)=p_{000}+c_1\Delta x/(x_1-x_0)+c_2\Delta y/(y_1-y_0)+c_3\Delta z/(z_1-z_0)$$
(4)

4 几种插值方法的比较

利用前面提到的 4 种插值方法,分别对 300 个测量色块进行转换比较,分析影响精度的关键因素,并得出结论:任一种插值方法得到的转换值与测量值的平均色差都小于 3,见表 2^[8]。

表 2 300 个测试色块的色差分布

Tab.2 Distribution of color difference on LUT

色差范围	三维线性插值		三棱柱插值		金字塔插值		四面体插值	
	个数	百分比/%	个数	百分比/%	个数	百分比/%	个数	百分比/%
0~1	197	65.67	216	72.00	230	76.67	263	87.67
1~2	83	27.67	66	22.00	55	18.33	27	9.00
2~3	9	3.00	10	3.33	5	1.67	6	2.00
3~4	2	0.67	2	0.67	2	0.67	1	0.33
4~5	2	0.67	2	0.67	2	0.67	1	0.33
5~6	1	0.33	1	0.33	1	0.33	0	0.00
6~7	1	0.33	0	0.00	0	0.00	0	0.00
7~8	1	0.33	1	0.33	1	0.33	0	0.00
8~9	1	0.33	0	0.00	1	0.33	0	0.00
9~10	1	0.33	0	0.00	0	0.00	0	0.00
>10	2	0.67	2	0.67	3	1.00	2	0.67
平均值	1.121	351	0.972	342	0.941	431	0.741	249

5 结论

通过研究表明,3D-LUT 查找表转换方法同样也适合作显示器色彩管理的转换模型,模型转换的色差都小于 3,在人的视觉不敏感范围内,而且随着将立方体继续划分,转换精度越来越高。甚至在最初测量数据时,如果能将 0 到 255 数字驱动值更细分,相信转换误差会更小;但是随之而来的,是测量工作量加大,程序运算时使用内存量加大,速度减慢^[9]。

参考文献:

[1] 胡成发.印刷色彩与色度学[M].北京:印刷工业出版社,1993.

[2] 胡承伟,万晓霞.图像系统中的色彩管理[J].包装工程,2004,25(5):83-85.

[3] 景翠宁.基于 ICC 标准的输出设备的色彩管理研究[D].西安:西安理工大学,2002.

[4] 郭凌华.色彩管理之 CRT 显色特征的探讨[J].包装工程,2006,27(3):97-99.

[5] 王敬平,赵达尊,朱正芳.计算机控制的 CRT 色度预测[J].北京理工大学学报,1996(1):31-34.

[6] 许宝卉,李言.基于色彩管理的彩色 CRT 特征函数的研究[J].包装工程,2007,28(3):174-176.

[7] 许宝卉,柴春吉.基于三维查找表的 CRT 色空间转换的研究[J].包装工程,2007,28(7):61-62.

[8] 刘浩学,苗红涛.显示器的颜色计算和色彩管理[J].北京印刷学院学报,2003(12):3-7.

[9] 许宝卉.彩色 CRT 色彩特性及色彩空间转换方法的研究[D].西安:西安理工大学,2005.