

基于三维查找表的 RGB 到 XYZ 颜色空间转换的研究

李瑞娟, 邓倩

(河南工程学院, 郑州 450007)

摘要: 在分析三维查找表算法基本原理的基础上, 采用 Matlab 编程建立了 RGB 到 XYZ 颜色空间的转换模型, 并实验比较了 4 种插值算法的模型精度。研究结果表明: 转换模型的转换精度较高, 效果理想, 且随着 RGB 颜色空间被划分的越细小, 转换精度会越高。

关键词: RGB 空间; XYZ 空间; 颜色空间转换; 三维查找表

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)13-0116-04

Research on Color Space Conversion from RGB to XYZ Based on 3D Look-up Table

LI Rui-juan, DENG Qian

(Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: The fundamental of three-dimensional look-up table algorithms was analyzed. The conversion model from RGB to XYZ color space was established by Matlab and experiments were carried out to compare the accuracy of the four algorithms. The results showed that the model has high precision and good effect; conversion accuracy can be further improved by finer division of RGB color space.

Key words: RGB space; XYZ space; color space conversion; three-dimensional look-up table

色彩管理技术解决的是在印刷系统中各种输入、输出设备之间图形图像传输、再现过程中颜色的一致性问题。印刷中各设备的颜色空间不同, 色域大小不同, 要实现颜色复制的一致性, 就必须准确找到各设备颜色空间之间的转换关系^[1]。

目前, 在大量的文献资料中已提到 RGB 与 CIE Lab, RGB 与 CMYK, CIE Lab 与 CMYK, XYZ 与 CMYK 之间的转换方法^[2-5]。文中利用三维查找表插值法, 通过做相关实验建立了 RGB 到与 CIE XYZ 颜色空间的转换模型, 并分析了 4 种插值算法的转换精度。

1 三维查找表算法

该实验中三维查找表算法的核心思想是将规则的 RGB 颜色空间分割成网格状, 形成了多个小格子, 每个格子的 8 个点应对应了 8 个 RGB 值, 通过实验得到与每个格子顶点对应的 XYZ 值, 且一并记录在一

个表格中。这就建成了 RGB 值与 XYZ 值相对应的查找表, 通过查找、对应及插值计算, 就可以实现相应的颜色空间坐标转换^[6]。在这个过程中插值过程最为关键, 决定了色空间转换的精度。

2 几何插值法

目前几何插值方法主要有 4 种: 三线性插值、棱柱插值、金字塔插值和四面体插值。

2.1 三线性插值

三线性插值需要用到 7 次线性插值, 每次又有计算插值点 3 次^[6]。即在二维的双线性插值来确定点 p_t 和 p_b , 以及再一次的计算出点 p , 见图 1。三线性插值法形成的是八点六面体, 插值计算时要用到 8 个顶点, 所以计算消耗要大于其它的 3 种几何插值法。

2.2 棱柱插值

将一个正方体沿对角线分开, 就能得到如图 2 所

收稿日期: 2012-05-12

作者简介: 李瑞娟(1984—), 女, 河南焦作人, 硕士, 河南工程学院助教, 主要研究方向为色彩管理、数字化工作流程等。

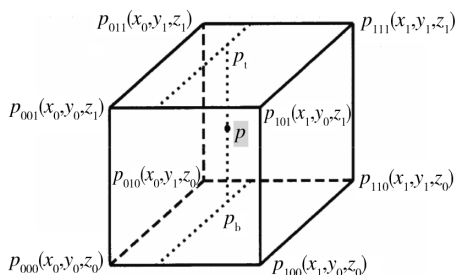


图1 三线性插值

Fig. 1 Trilinear interpolation

示的 2 个三棱柱体,即六点五面体。插值计算时用到 6 个顶点,计算消耗要小于三线性插值法。

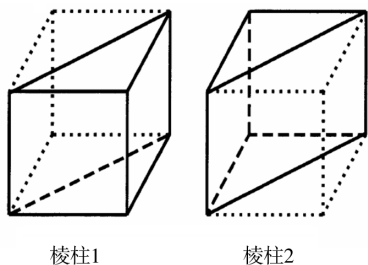


图2 棱柱插值

Fig. 2 Prism interpolation

2.3 金字塔插值

立方体则被切分为 3 个部分,每一个部分呈金字塔形状,即五点五面体,见图 3。这样金字塔插值计算时只用到 5 个顶点,减少了计算消耗。

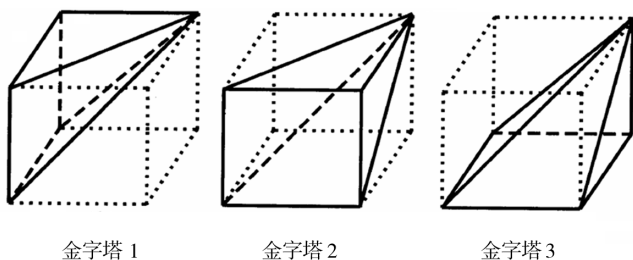


图3 金字塔插值

Fig. 3 Pyramid interpolation

2.4 四面体插值

立方体被切分为 6 个部分,每部分有一个三角形的基底,构成一个四点四面体,见图 4。四面体插值计算时用到 4 个顶点,计算消耗是同类 4 个几何插值法里面最小的一个。

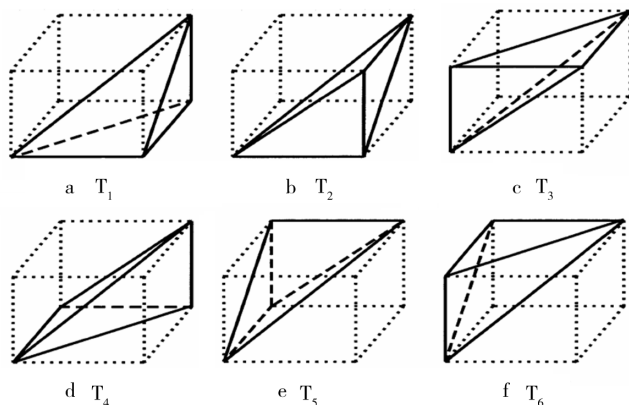


图4 四面体插值

Fig. 4 Tetrahedral interpolation

3 RGB 到 XYZ 颜色空间转换实验

3.1 样本采集

将源空间 RGB 进行 6 级均匀分割,即在 R, G, B 坐标方向上分别取坐标点 0, 51, 102, 153, 204 和 255, 共得到 216 个样本点的 R, G, B 值,然后在 PhotoShop 中输入上述样本点,就能得到与其对应的 L, A, B 值。再通过公式(1)进行转换就可得到样本点的 X, Y, Z 值^[7]。利用这 216 个样本点的 R, G, B 值和相对应的 X, Y, Z 值建成查找表。

$$\begin{cases} X = 95.047 \left(\frac{L+16}{116} + \frac{a}{500} \right)^3 \\ Y = 100 \left(\frac{L+16}{116} \right)^3 \\ Z = 108.883 \left(\frac{L+16}{116} - \frac{b}{200} \right)^3 \end{cases} \quad (1)$$

3.2 转换原理

首先就是寻找目标点所在的小立方体的顶点。例如,要插值一个点 $p(180, 108, 85)$, 即源点 p 有 RGB 值为: $R=180, G=108, B=85$ 。此点在 6 级分割时的范围为: $153 < R < 204, 102 < G < 153, 51 < B < 102$ 。

即能找到立方体的 8 个顶点 RGB 值和对应的 XYZ 值,进而确定 $P000 \sim P111$, 见图 5。

查找到 8 个顶点后,就能确定 $P000 \sim P111$, 进而得几何插值法所需要的一些系数,最后选择不同的几何插值法来实现 RGB 到 XYZ 空间的转换。

程序的具体实现是,在源目标 RGB 值读进来以后,首先进行是否栅格点的判断,如果是 6 级分割的栅格点,直接查表得出目标点 XYZ 值;如果不是,再

R	G	B	X	Y	Z	P
153	102	51	19.1	16.8	5.4	P000
153	102	102	20.8	17.6	14.9	P001
153	153	51	26.4	30.4	7.9	P010
153	153	102	27.4	30.4	16.9	P011
204	102	51	31.2	22.9	5.8	P100
204	102	102	33.0	23.9	15.4	P101
204	153	51	38.8	36.6	8.4	P110
204	153	102	39.4	36.6	17.2	P111

图5 查找表

Fig. 5 Lookup table

进行几何插值计算。这样做的好处是能提高转换的精度。具体的程序流程见图6。

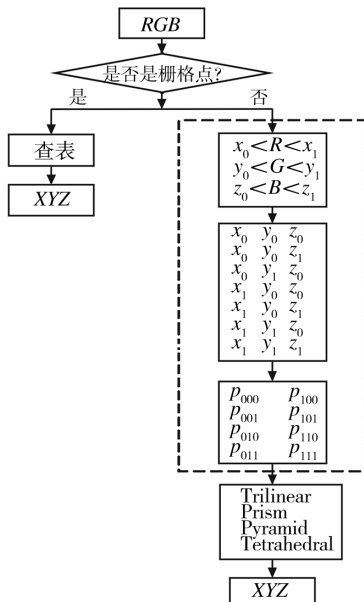


图6 算法流程

Fig. 6 Flowchart of the algorithm

4 实验结果分析

4.1 实验结果

实验采用 MATLAB7 软件平台实现三线性、棱柱体、金字塔和四面体 4 个几何插值法的 RGB 到 XYZ 的转换验证及比较。

实验主体界面见图7。在界面上半部分左边 INPUT&OUTPUT 模块输入单点的 RGB 值,在右边 MEASURES 模块 4 个几何插值法中选择一个。转换的最终结果 XYZ 值就能显示出来。

界面的下半部分是八级测试点的测试结果。该实验将源空间 RGB 进行 8 级均匀分割,共得到 512

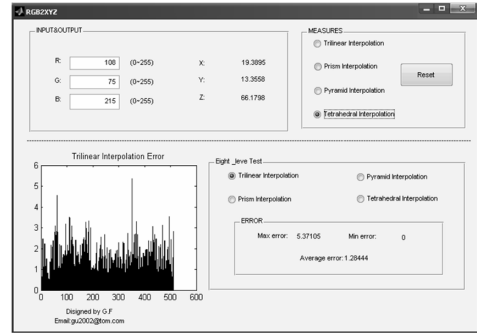


图7 RGB 到 XYZ 颜色空间转换的主体界面

Fig. 7 The main interface of RGB to XYZ color space conversion

个测试点,同样本点的获取方法一样得到测试点的 XYZ 值,作为标准。在右边选择了插值方法后,将用相对应的插值公式进行 512 个测试点的 RGB 值向 XYZ 值的转换,左图显示的是误差直方图。ERROR 模块显示所选插值法的最大误差值、最小误差值及平均误差值。

4.2 结果分析

经过软件运算,8 级分割 512 个点的误差直方图见图8。

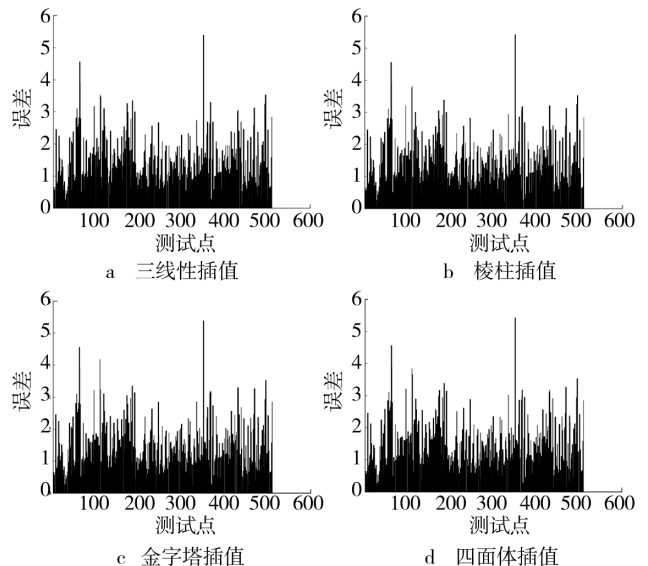


图8 误差直方图

Fig. 8 Histogram of error

图8中横坐标为 512 个测试点,纵坐标为每个点对应的误差。从图8中可以看出每种几何插值法的全部测试点的绝对色差 $\Delta E \leq 6$,大部分数据的绝对色差 $\Delta E \leq 3$,印刷中允许的最大色差为 $\Delta E \leq 6^{[8]}$,所以此模型的精度较高,效果理想。从表1中可以看到,

三线性、棱柱、金字塔、四面体插值法的平均误差依次越来越小,说明随着 RGB 颜色空间被划分的越细小,转换精度会越高。

表 1 误差分析

Tab.1 Analysis of error

插值法	最大误差值	最小误差值	平均误差值
三线性插值	5.371 05	0	1.284 44
棱柱插值	5.310 83	0	1.236 85
金字塔插值	5.289 30	0	1.193 46
四面体插值	5.214 26	0	1.093 07

5 结论

用三维查找表法进行 RGB 到 XYZ 色空间的转换,全部测试点的绝对色差 $\Delta E \leq 6$,大部分数据的绝对色差 $\Delta E \leq 3$,转换精度较高,效果理想,且三线性、棱柱、金字塔、四面体插值法的转换精度依次提高。本实验的建模数据是基于 RGB 空间的 6 级均匀分割,如果划分级数增多,且针对不同区域进行不均匀分割,模型的转换精度会更高。

参考文献:

- [1] 田全慧,刘珺.印刷色彩管理[M].北京:印刷工业出版社,2003.
TIAN Quan-hui,LIU Jun. Printing Color Managerment [M]. Beijing:Printing Industry Press,2003.
- [2] 刘士伟,魏庆葆.基于 BP 神经网络的 CMYK 到 $L^* a^* b^*$ 颜色空间转换模型[J].包装工程,2011,32(11):69—71.
LIU Shi-wei,WEI Qing-bao. Color Space Conversion of CMYK to $L^* a^* b^*$ Based on BP Neural Network[J]. Packaging Engineering,2011,32(11):69—71.
- [3] 李艳妮,李娅婷.四面体插值算法实现 $L^* a^* b^*$ 与 CMY 的转换[J].包装工程,2010,31(5):92—95.
LI Yan-ni,LI Ya-ting. The Research of Color Model on Tetrahedron Interpolation[J]. Packaging Engineering,2010,31(5):92—95.
- [4] 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.
- [5] 李志会,唐万有,于治国. XYZ 到 CMY 颜色空间转换的研究[J].包装工程,2010,31(7):96—98.
LI Zhi-hui,TANG Wan-you,YU Zhi-guo. Research on the Conversion from XYZ to CMY Color Space [J]. Packaging Engineering,2010,31(7):96—98.
- [6] Henry R Kang. Color Technology for Electronic Imaging Devices [M]. Washington: SPIE Optical Engineering Press,1996.
- [7] 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 of from RGB to CIEXYZ[J]. Packaging Engineering,2009,30(3):79—81.
- [8] 缪晓丽,唐正宁.印刷品质量检测过程中的色空间转换方法研究[J].包装工程,2009,32(3):71—73.
MIAO Xiao-li,TANG Zheng-ning. Development of Color Space Conversion Method for Printing Quality Inspection [J]. Packaging Engineering,2009,32(3):71—73.
- [9] LV Zheng-gang,LIU Heng-li,YU Jing-chao. Concept Design of Refrigerator Based on the Modular Design [J]. Packaging Engineer,2011,32(8):34—37.
- [4] 鄢莉,陈映欢.模块化设计方法在儿童家具设计中的应用[J].包装工程,2010,31(2):25—32.
YAN Li,CHEN Ying-huan. Application of Modular Design Methods in Children Furniture Design[J]. Packaging Engineer,2010,31(2):25—32.
- [5] 高卫国,徐燕申,陈永亮,等.广义模块化设计原理与方法[J].机械工程学报,2007,43(6):48—54.
GAO Wei-guo,XU Yan-shen,CHEN Yong-liang,et al. Theory and Methodology of Generalized Modular Design [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2007,43(6):48—54.
- [6] 贺兵,刘扬.模块化设计在包装机械设计中的应用[J].包装工程,2008,29(10):140—142.
HE Bing,LIU Yang. Application of Modular Design in Packaging Machinery Design [J]. Packaging Engineer,2008,29(10):140—142.

(上接第 94 页)