

文章编号 1004-924X(2002)04-0340-06

在均匀颜色空间中实现彩色图像的颜色量化

任智斌¹, 隋永新¹, 杨英慧², 杨怀江¹

- (1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130022;
2. 辽宁营口中专, 辽宁 营口 115000)

摘要:颜色量化是将原有图像中的多种颜色根据人的视觉效果归类为较少的颜色,从而用这些较少种类的颜色重新生成一幅新的图像,使量化后的图像与原图像的差别即量化误差最小。采用了将RGB非均匀颜色空间变换到 $L^*a^*b^*$ 为基准的均匀颜色空间的方法,在 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间中对彩色图像进行颜色量化,从而解决了量化误差相对人眼不均匀的问题。首先将彩色图像的像素数据保存在单链表中,然后对链表进行扫描,并把本次扫描得到的色差最小的两个节点合并成一个新的节点。经过足够的动态运算后可得到量化处理后的图像调色板。实验结果表明,本方法具有普遍性、唯一性,可以减小量化误差,提高颜色量化的准确性。

关键词:颜色空间;颜色量化;彩色图像

中图分类号:O432.3 **文献标识码:**A

1 引言

在计算机中涉及的图像都是数字图像,数字图像的颜色是离散的,由一组二进制数值来表示。色度学理论认为,任何颜色都可由红(Red)绿(Green)蓝(Blue)三种基本颜色按不同的比例混合得到,红、绿、蓝被称为三原色,简称RGB三原色。以(C)代表被匹配的颜色,以(R)、(G)、(B)分别代表产生混合色的红、绿、蓝三原色的数量(三刺激值),则可写出颜色方程 $(C) = (R) + (G) + (B)$,式中“=”号代表匹配,即视觉上相等。计算机中的图像文件就是用一组表示红、绿、蓝的数值来表示颜色的。红、绿、蓝三种颜色的取值都是0到255之间的整数,计算机中用三个字节来存储红(R)、绿(G)、蓝(B)三种颜色的数值,每种颜色各占一个字节,因此计算机中最多能表示的颜色数为 $2^{(8+8+8)} = 2^{24} = 16,777,216$ 。通常所遇到的真彩图像就是一个典型的例子,它的像素以矩阵形式存储,每个像素占三个字节,分别为红、绿、蓝三种颜色的数值。

然而,RGB颜色空间并不是均匀的颜色空间,也就是说,表示颜色的R、G、B值改变相同的色差,所引起的颜色变化程度对于人眼来说是不一样的。从数学角度来说,就是R、G、B值分别变化成 R_1 、 G_1 、 B_1 和 R_2 、 G_2 、 B_2 ,而色差为

$$E_1 = (R - R_1)^2 + (G - G_1)^2 + (B - B_1)^2, \quad (1)$$

$$E_2 = (R - R_2)^2 + (G - G_2)^2 + (B - B_2)^2, \quad (2)$$

且满足 $E_1 = E_2$,但这两种颜色变化程度对于人眼来说却是不一样的。因此用RGB颜色空间来描述颜色的变化是不合理的,于是本文选用了CIE 1976($L^*a^*b^*$)均匀颜色空间。这样,本文把颜色值从RGB颜色空间变换到 $L^*a^*b^*$ 空间,就解决了上述问题。 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别变化成 L_1^* 、 a_1^* 、 b_1^* 和 L_2^* 、 a_2^* 、 b_2^* ,只要使色差为

$$E_1 = (L^* - L_1^*)^2 + (a^* - a_1^*)^2 + (b^* - b_1^*)^2, \quad (3)$$

$$E_2 = (L^* - L_2^*)^2 + (a^* - a_2^*)^2 + (b^* - b_2^*)^2, \quad (4)$$

收稿日期:2001-08-21;修订日期:2002-06-14

基金项目:国家自然科学基金(No. 60178018)吉林省杰出青年基金(No. 20005502)

且满足 $E_1 = E_2$, 那么这两种颜色变化程度对于人眼来说就比较接近。

2 颜色空间的转换

从 RGB 空间到 XYZ 空间的转换公式为:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = 100 \begin{pmatrix} 0.404 R + 0.325 G + 0.265 B \\ 0.234 R + 0.656 G + 0.110 B \\ 0.048 R + 0.128 G + 1.279 B \end{pmatrix}$$

其中

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R/255)^{1.4} \\ (G/255)^{1.4} \\ (B/255)^{1.4} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

(本公式由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室周丰昆提供)。

3 颜色量化方法的研究

所谓颜色量化,就是指从一幅含有 m 种颜色的图像中,找出最能真实反映该图像的 n 种颜色,以这 n 种颜色来近似地表示原图像($m \gg n$)。

目前,颜色量化方法已经有很多种,如流行色算法、中位切分算法、八叉树颜色量化算法、主轴分析法等等,它们的出发点各不相同,各有利弊,但它们都是在 RGB 空间中进行的。

3.1 八叉树颜色量化算法

1988 年,奥地利的 M. Gervautz 和 W. Purghofer 发表了一篇题为“A Simple Method for Color Quantization: Octree Quantization”的文章,一般称为八叉树颜色量化算法。

该算法的基本思路是:将图像的颜色分布到层状的八叉数中。八叉树的深度可达九层,即根节点层加上分别表示 8 位的 R、G、B 值的位,因此,为了提高效率和节省内存可以去掉最低部的 2~3 层,这样不会对结果有太大的影响。叶节点的编码存储像素的个数和 R、G、B 颜色分量的值;而中间的节点组成了从最顶层到叶节点的路径。这是一种高效的存储方式既可以存储图像中出现的颜色及其出现的次数,也不会浪费内存。

然后扫描图像的所有像素,每遇到一种新的颜色就将它放入八叉数中,并创造一个叶节点。

图像扫描完后,如果叶节点的数量大于调色板所需的颜色数时,就需要将有些叶节点合并到其上一层节点中,并将该节点转化为叶节点,在其中存储颜色及其出现的次数。这样,减少叶节点的数量,直到叶节点的数量等于或小于所需的颜色数。如果叶节点的数量等于或小于所需的颜色数,则可遍历八叉树,将叶节点的颜色填入调色板中。

3.2 主轴分析法

图像像素的是由红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色来表示的,且取值范围都是 0 到 255。以红、绿、蓝三原色为坐标轴建立坐标系,则表示图像像素的颜色的所有点都落在一个立方体中,这个立方体的对角顶点的坐标分别为(0,0,0)和(255,255,255)。主轴分析法是从宏观上对颜色进行分类的,例如要把图像量化成 2 色图像,只需把这个正方体沿合适的截面切成两分即可,每一部分的颜色都用该部分的质心代替。一般地,要把图像量化成 n 色,就应该把立方体沿合适的截面切割 $n-1$ 次。要对立方体沿合适的截面进行切割,必须找到待切割的多面体、主轴和切割点,待切割的多面体是切割对象,主轴确定截面的方向,切割点确定截面的位置,下面详细论述一下待切割的多面体、主轴和切割点的确定方法。

(1) 切割对象的选择

为了保证量化误差最小,应把那些颜色分布最离散(均方差最大)的那个多面体作为切割对象。因为多面体内的颜色点分布越离散,把这些点归为一类,而用一种颜色代替的误差就越大,量化误差也就越差,因此要对它进行分割,使得分割后的多面体内的颜色点的均方差变小。

(2) 主轴的选择

主轴的选择就是切割方向的选择,即截面垂直于主轴。立方体内的任意一点都可以看作以(0,0,0)为起点并指向该点的矢量。从物理意义上讲,主轴方向可以看作这些矢量的合成方向。垂直于主轴作截面,便可对立方体进行切割,但切割后形成的多面体的形状并不规则,而且不易用数学形式表达。这里可作一下近似,把 R、G、B 坐标轴中与颜色矢量合成方向夹角最小的那一个坐标轴作为主轴。这样可以保证截面始终与某一坐标平面垂直,切割后的多面体都是规则的长方体。

(3) 切割点的选择

切割点是截面与主轴的交点,它决定着切割的位置。对长方体进行一次切割后,可用各部分的均值(质心或颜色点的数学期望)来代替该部分的所有颜色值。每次切割的原则是保证切割后形成的两个长方体中的颜色矢量的均方差最小(即量化误差最小),因此,实践中可以在主轴上以一定的步长为间隔选择切割点,并计算每次切割后各部分的均方差,选择均方差之和最小的那个点作为切割点。

3.3 本文的颜色量化算法

因为 RGB 空间不是均匀颜色空间,其色差计算公式为 $E = (R)^2 + (G)^2 + (B)^2$,即使对于一个在数值上已经达到最小的色差(即颜色变化量) E_{\min} ,在人眼看来,它的颜色变化对人眼的刺激可能比数值上较大的一个 E 更强烈。本文在均匀颜色空间中,以色差最小为原则对颜色进行归并,这样处理比在 RGB 空间下处理更为准确。下面介绍一下本文设计的一种颜色量化方法实际步骤。

(1) 建立一个空链表,链表中的每一个元素都包含五个域,其结构定义如下:

```
typedef struct -NODE
{
    double Red ;
    double Green ;
    double Blue ;
    double Count ;
    struct -NODE * Next ;
} NODE ;
```

其中, Red、Green、Blue 这三个域保存像素颜色的红、绿、蓝的数值,每一种数值都表示一种颜色;Count 域保存上述颜色在图像中出现的次数;Next 域为指向下一节点的指针。

(2) 对图像的所有像素进行一次扫描,把信息保存在链表中。注意链表中每个节点所存储的颜色值都不能相同,如果遇到相同的颜色,则把表示该颜色的节点的 Count 域加 1。

(3) 把链表中的所有节点的红(R)、绿(G)、蓝(B)的数值都变换为 $L^* a^* b^*$ 均匀颜色空间相应的 $L^*、a^*、b^*$ 值。变换可按照前面由实验得出的转换公式进行。转换以后, Red、Green、Blue 这三个域保存的就是相应的 $L^*、a^*、b^*$ 值。

(4) 扫描链表,并计算每两个节点的色差,色差计算公式为: $E = (L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2$,找到色差值最小的两个节点,并把它们合并成一个节点。下面举例描述合并规则,假设节点

$A (Red_1, Green_1, Blue_1, Count_1)$ 与节点 $B (Red_2, Green_2, Blue_2, Count_2)$ 的色差最小,即颜色最接近,那么就把 A、B 两点合并为一点 $C (Red_0, Green_0, Blue_0, Count_0)$,用 C 点来代替 A、B 两点。其中,

$$Red_0 = \frac{Count_1 \times Red_1 + Count_2 \times Red_2}{Count_1 + Count_2}, \quad (6)$$

$$Green_0 = \frac{Count_1 \times Green_1 + Count_2 \times Green_2}{Count_1 + Count_2}, \quad (7)$$

$$Blue_0 = \frac{Count_1 \times Blue_1 + Count_2 \times Blue_2}{Count_1 + Count_2}, \quad (8)$$

$$Count_0 = Count_1 + Count_2, \quad (9)$$

下面论证一下用 C 点代替 A、B 两点是否能够达到色差最小。

根据色差计算公式得:

$$E_{AC} = (Red_1 - Red_0)^2 + (Green_1 - Green_0)^2 + (Blue_1 - Blue_0)^2 = E_{R_1} + E_{G_1} + E_{B_1}, \quad (10)$$

$$E_{BC} = (Red_2 - Red_0)^2 + (Green_2 - Green_0)^2 + (Blue_2 - Blue_0)^2 = E_{R_2} + E_{G_2} + E_{B_2}, \quad (11)$$

总色差

$$E = Count_1 \times E_{AC} + Count_2 \times E_{BC}, \quad (12)$$

对于 R 分量有:

$$E_R = Count_1 \times E_{R_1} + Count_2 \times E_{R_2}, \quad (13)$$

对于 G 分量有:

$$E_G = Count_1 \times E_{G_1} + Count_2 \times E_{G_2}, \quad (14)$$

对于 B 分量有:

$$E_B = Count_1 \times E_{B_1} + Count_2 \times E_{B_2}, \quad (15)$$

所以

$$E = E_R + E_G + E_B. \quad (16)$$

要使总色差 E 最小,则 $E_R、E_G、E_B$ 必须达到最小。令 E_R 的求导数等于 0,即

$$d(E_R) = 0, \quad (17)$$

$$d(E_R) = 2 \times (Count_1 + Count_2) \times Red_0 - 2 \times (Count_1 \times Red_1 + Count_2 \times Red_2) = 0, \quad (18)$$

所以

$$Red_0 = \frac{Count_1 \times Red_1 + Count_2 \times Red_2}{Count_1 + Count_2}, \quad (19)$$

此时 E_R 最小。同理,

$$Green_0 = \frac{Count_1 \times Green_1 + Count_2 \times Green_2}{Count_1 + Count_2}, \quad (20)$$

时, E_G 最小,并且

$$Blue_0 = \frac{Count_1 \times Blue_1 + Count_2 \times Blue_2}{Count_1 + Count_2}. \quad (21)$$

时, E_B 最小。所以当 E_R 、 E_G 、 E_B 同时取得上述值时,总色差 E 达到最小。

(5)重复步骤 4,直到链表中剩余的元素个数达到所需的数目为止。

(6)把链表中的颜色数值变换到 RGB 空间。

(7)根据链表中的颜色构造调色板,并映射图像各像素的数据。

4 结论

本文提出的这种颜色量化方法的优点就在于,处理结果比较理想。因为本文每次颜色归并都是在均匀颜色空间中依照色差最小这一原则进行的,所以处理效果较好。最后,把这几种颜色量化方法的处理结果作一下对比,就能有一个更具体的了解,如图 1,2,3,4 所示,其中图 1 是一幅真彩色原始图像,图 2,3,4 分别是利用本文提供的颜色量化方法,八叉树颜色量化方法及主轴分析法处理的结果。可以看出,本文提供的颜色量化方法的处理效果更为理想。



图 1 Lena 原图(真彩)

Fig. 1 True color image of Lina.



图 2 本文方法的处理效果(128 色)

Fig. 2 Result of Fig. 1 created by the mentioned method (128 colors).



图 3 八叉树算法的处理效果(128 色)

Fig. 3 Result of Fig. 1 created by Octree Quantization (128 colors).



图 4 主轴分析法的处理效果(128 色)

Fig. 4 Result of Fig. 1 created by Main Axis Analysis method (128 colors).

以上是定性的分析结果,下面从数值的角度出发进行比较。令均方误差为 $E^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, 其中 n 为图像的像素个数, x_i 为第 i 个像素值, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, 对红、绿、蓝分

量分别计算后平均,得到图 2、3、4 相对于原始图 1 的总体均方误差为 20.2512、29.2375、26.0135。可以看出本方法的均方误差较小,因此处理效果较好。

参考文献:

- [1]任智斌,隋永新,杨英慧,等.以图像为载体的最大意义位(MSB)信息隐藏技术的研究[J].光学精密工程,2002,10(2):182-187.
- [2]Akroun N, Prost R, Goutte R. A fast algorithm for vector quantization in radiological image compression[A]. *SPIE. Image Capture, Formatting, and Display* [C]. 1993,1897:259-290.
- [3]Sangeeta R K Sh, Kenneth R A G. Constrained - Storage Vector Quantization with a Universal CodeBook[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998,7(6):785-793.
- [4]Andy C H, Teresa H M. Multidimensional Rotations for Robust Quantization of Image Data[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998,7(1):1-12
- [5]Heckbert P. Color image quantization for frame buffer display[A]. *In Proceedings of SIGGRAPH 82. ACM* [C]. New York, 1982:297-307.
- [6]Orchard M, Bounman C. Color Quantization of Images[A]. *IEEE Trans. On Signal Proc* [C]. 1991,39(12):2677-2690.
- [7]Linde Y, Buzo A, Gray R. An algorithm for vector quantizer design[J]. *IEEE Transactions on Communications*. 1980,28(1):84-95.
- [8]Wu X. Color quantization by dynamic programming and principal analysis[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 1992,11(4):348-372.
- [9]Dekker A. Kohonen neural networks for optimal colour quantization[J]. *Network: Computation in Neural Systems*, 1994,5:351-367.
- [10]Gentile R S, Walowit E, Allebach J P. Quantization and multilevel halftoning of color images for near original image quality[J]. *SPIE*, 1990,1249:249-260.
- [11]Floyd R W, Steinberg L. An adaptive algorithm for spatial grayscale[A]. *Proc. SID* [C], 1976,17(2):75-77.
- [12]Fan Zh G. Stability analysis for color error diffusion[J]. *SPIE*, 2000,3963:483-488.

Color quantization of color images in a homogeneous color space

REN Zhi-bin¹, SUI Yong-xin¹, YANG Ying-hui², YANG Huai-jiang¹

(1. State Key Lab, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China;

2. Ying Kou Technical Secondary School, Ying Kou 115000, China)

Abstract: Color quantization is to classify the colors of an image to a few classes of colors according to the visual effect of human eyes. So these few colors can be used to create a new image and keep the color quantization errors between the new image and the original one to be the least. This paper gives the quantization of a color image in a homogeneous color space of $L^*a^*b^*$, which is transformed from a nonhomogeneous color space of RGB. Therefore the problem of nonhomogeneous chromaticism to human eyes can be solved. Firstly, the data of a color image were saved into a single chain list. Then the list was scanned, finding

two nodes whose chromatism is the least. Finally, the two nodes were combined into a new node. After sufficient dynamic calculation we got the palette of the color image quantized. The experimental results show that minishing the color quantization errors and improving its veracity are the catholicity and uniqueness of this method.

Key words: Keywords: color space ;color quantization ;color image

作者简介:任智斌(1976年—),吉林省长春市人,1999年毕业于长春邮电学院通信工程系,获工学学士学位,同年考入长春光机所攻读硕士学位研究生,主要从事图像处理与信息隐藏的研究,2001年考入长春光机所攻读博士学位,研究方向为现代光电子技术。E-mail:ren-z-b@sina.com

征订启示

愿《液晶与显示》成为您的良师益友 欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登产品信息

《液晶与显示》是中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会及石家庄实力克液晶材料有限公司联合主办的专业性学术期刊。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示领域中最新理论研究、科研成果和创新能力,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态。《液晶与显示》被英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(P)和《中国物理文摘》等国内外著名检索刊物和文献数据库摘引和收录。《液晶与显示》已入编“中国科学核心期刊全文数据库”、《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”(《液晶与显示》网址: <http://yjys.Chinajournal.net.cn>),及“万方数据资源系统(ChinaInfo)”(《液晶与显示》网址: <http://www.Chinainfo.gov.cn/periodical/yjyxs/index.htm>),向国内外读者提供网络信息。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,内容丰富,信息量大,涵盖面广,可读性强。既是启迪科技人员开拓创新思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术研究的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的良好园地,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿,将您的科技创新、产品信息、企业风貌通过这一窗口展示出来。

《液晶与显示》为双月刊,16开本,80页,国内定价51.00元,国内外公开发行。邮发代号,国内:12-203;国外:4868Q。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理破年、破季订阅。

单 位: 中科院长春光学精密机械与物理研究所

《液晶与显示》编辑部

邮 编: 130021

地 址: 吉林省长春市工农大路61号

电 话: (0431)5684692 转 2534

E-mail: yjxs@ciomp.ac.cn