

# 基于色调不变的彩色图像增强

王萍 程号 罗颖昕

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

**摘要** 色调是反映彩色图像中色彩信息的重要参数,为了在进行图像效果增强的同时保持色调不变,通常的做法是先把图像从RGB转化到HIS色彩空间,然后在保持H变量(色调)不变的情况下,进行I(亮度)的增强。但是这种方法由于需要进行色彩空间的相互转化,大大增加了计算量。通过对简化HIS模型的分析,提出了一种直接对R、G、B分量进行处理的彩色图像增强方法。该方法可以运用已有灰度图增强算法进行彩色图像的增强,由于不需要进行色彩空间的转化,大大减少了计算量,可用于实时性要求高的场合。实验结果表明,该方案使彩色图像的增强效果明显,运行效率高。

**关键词** 彩色图像 图像增强 直方图 色调

**中图法分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)07-1173-05

## Color Image Enhancement Based on Hue Invariability

WANG Ping, CHENG Hao, LUO Ying-xin

(Tianjin University, School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin 300072)

**Abstract** Hue is an important attribute of color information. Hue invariability is very important to color image enhancement. Normally, people transform the color space of image from RGB to HIS, then enhance the variable I (intensity) only. Because of the transformation between RGB and HIS is very complex, the program will compute for a long time. Therefore a new method of color image enhancement is proposed. After analyzing the simplified model of HIS, it is found that the hue will keep invariant if the R, G, B multiplies or adds same number. So we can generalize the enhancement scheme for grey scale images to color images without transformation of color space. This paper also discusses the gamut problem and its solution. The gamut problem will lead to distortion of color. The method proposed by this article keeps off the transformation between RGB and HIS, so it can obviously simplify the computation. It is very useful in real-time situation. Experiment results have shown that the proposed method works well in enhancing color image, and it's efficient.

**Keywords** color image, image enhancement, histogram, hue

## 1 引言

众所周知,彩色图像包含比灰度图像丰富得多的信息,无论是对人们的视觉感受,还是进行后续的图像理解与分析,彩色图像都具有黑白图像无可比拟的优越性,因此彩色图像增强有着重要的意义。

彩色图像的增强需要解决以下两个问题:

(1) 如何保持色调的不变;(2) 在保持色调不变的情况下,采用何种方法增强图像。本文采用RGB到HIS色彩空间的简化转换公式。它的好处在于经过推导可以发现,如果对R、G、B 3个颜色分量同时进行平移或等比例伸缩,则色调保持不变。由此可以寻求色调不变前提下的增强彩色图像的直接方法,而不再需要在RGB与HIS空间的相互转化,从而大大简化了计算,有利于实时图像处理。

收稿日期:2006-01-09; 改回日期:2006-06-16

第一作者简介:王萍(1955~),女,教授,1992年获天津大学硕士学位。主要研究方向为模式识别、人工智能、电力系统自动化、数据库应用。E-mail: wangps@tju.edu.cn

## 2 彩色模型及色调不变性变换

### 2.1 彩色模型类型及类间变换<sup>[1-3]</sup>

彩色模型(也称彩色空间或彩色系统)是在特定标准下提供的一种可接受方式的简化彩色规范。本质上说,彩色模型是坐标系统和子空间的规范。在数字图像处理中,常用的彩色模型包括:RGB(红、绿、蓝)模型、CMY(青、深红、黄)模型、HIS(色调、亮度、饱和度)模型、Luv 与 Lab 均匀颜色空间。

CMY 是印刷行业使用的彩色模型,其彩色空间呈立方体状,在 CMY 空间,青、深红、黄是红、绿、蓝的补色,通常称前者为减色基,后者为加色基。在 CMY 模型中,颜色是从白光中减去一定成分得到的。它与 RGB 的转换方程为

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

HIS 模型由 Munseu 提出,该模型不仅自然、直观,且利于图像处理。模型中,参数  $I$  表示强度或亮度, $H$  表示色调, $S$  表示饱和度,其中  $H$  和  $S$  包含着重要的彩色信息。图 1 所示锥形是由这 3 个参数定义的彩色空间。色调由角度表示,它反映所接近的光谱波长。不失一般性,可设定  $0^\circ$  相应于红色光谱, $120^\circ$  相应于绿色光谱, $240^\circ$  相应于蓝色光谱。从  $0^\circ$  变化到  $240^\circ$  覆盖了所有可见光谱的颜色。而  $240^\circ \sim 300^\circ$  是人眼可见的非光谱色(紫色);饱和度则用从圆锥轴线到测度点的半径长度表示;圆锥的外围圆周是纯的颜色,其饱和度值为 1;轴线呈中性(灰色)影调,饱和度为 0;该影调沿着轴线从底部的具有最低亮度的黑色变到顶部具有最高亮度的白色。

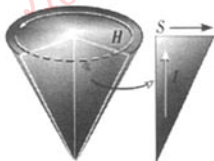


图 1 HIS 彩色系统

Fig.1 HIS color system

RGB 到 HIS 的转换方程为

$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases} \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3\min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (4)$$

式(2)中,

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - G)(G - B)]^{1/2}} \right\} \quad (5)$$

### 2.2 一种色调不变性变换条件

通过上面的公式不难看出,将 RGB 转换到 HIS,计算复杂又耗时。文献[4]给出了通过 RGB 分量计算色调  $H$  的一种简化计算方法,即

$$H = \arctan \left( \frac{\sqrt{3}(G - B)}{(R - G) + (R - B)} \right) \quad (6)$$

该方法在色调计算上所体现的最大特点是:当对  $R$ 、 $G$ 、 $B$  3 个颜色分量进行同尺度的平移或比例伸缩的线性变换之后,依然能够保持色调计算值不变。具体地,设表示像素点的颜色向量为  $x = (r, g, b)$ ,对其进行平移和比例伸缩变换后得到

$$\hat{x} = (\alpha r + \beta, \alpha g + \beta, \alpha b + \beta) = \alpha x + \beta \quad (7)$$

其中, $\alpha$  为比例因子, $\beta$  为平移因子。

分别将  $\hat{x}$  与  $x$  代入式(6),计算值不变,即色调不变。

一般地,在对彩色图像进行增强处理的过程中,由于对 3 个颜色分量的对比度增强运算是独立进行的,因而不能保证三者的线性变换系数恰好相同,进而也无法保持色调不变。

## 3 基于色调不变性的增强方案设计<sup>[5-8]</sup>

### 3.1 将灰度图像增强与彩色图像变换相结合

为能找到将 RGB 空间的颜色向量  $x$  映射成新的  $\hat{x}$  的  $\alpha$  和  $\beta$ ,首先经过下式将 RGB 空间的输入图像转换成灰度图像:

$$l = [r + g + b]/3$$

然后在灰度 1 维空间上对变换图像进行对比度增强处理得到  $f(l)$ ,此处可以采用任意灰度图增强算法得到  $f(l)$ ,但是每种算法会造成最终处理结果颜色有所差异。最后构造再变换函数,以求保持色调不变下的彩色图像。再变换函数的构造方法如下:

(1) 求彩色图像  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的等比例伸缩因子

$$\alpha = \frac{f(l)}{l} \quad (8)$$

(2) 设  $\beta=0$ , 则可得

$$\begin{cases} \hat{x} = \alpha x \\ \hat{r} = \alpha r \\ \hat{g} = \alpha g \\ \hat{b} = \alpha b \end{cases} \quad (9)$$

以上方程组保证了每个像素在图像增强处理前后色调的不变性。但是, 将像素点的 RGB 值进行等比例伸缩后, 可能会伴随颜色分量越界问题的出现。

(3) 避免越界策略

由变换式(9)不难得出, 在对增强处理后的灰度图像进行彩色图像恢复时, 如果  $\alpha > 1$ , RGB 分量值就有可能越界, 这时可将图像从 RGB 空间转换到其补空间, 即 CMY 空间, 变换后的图像使用等比例伸缩因子在 CMY 空间上进行与 RGB 空间相同的处理, 最后将处理后的图像再变换到 RGB 空间。简单分析如下:

首先, 从 RGB 到 CMY 空间的转换是线性的, 因而符合色调不变性条件。再者, 如果设图像的最大灰度级为  $L$ , 即在 CMY 空间上, 比例因子变为

$$\hat{\alpha} = \frac{L - f(L)}{L - l} \quad (10)$$

显然, 当  $\alpha > 1$  时,  $\hat{\alpha} < 1$ , RGB 空间的越界现象于 CMY 空间上消失。

经过越界处理后, 图像的 R, G, B 分量  $r, g, b$  变为

$$\begin{cases} \hat{r} = L - \hat{\alpha}(L - r) \\ \hat{g} = L - \hat{\alpha}(L - g) \\ \hat{b} = L - \hat{\alpha}(L - b) \end{cases} \quad (11)$$

此时, 如果把图像再转为灰度图, 其值为

$$\hat{l} = \frac{1}{3}(\hat{r} + \hat{g} + \hat{b})$$

将式(10)、(11)代入上式, 可得

$$\hat{l} = f(l)$$

由此可知, 经过越界处理后的图像灰度图与原图像灰度图增强后的效果一致, 所以越界处理并未影响图像的增强效果。

### 3.2 色调不变性方案的改进

上述的色调不变算法的结果具有颜色趋向灰度的趋势, 这是由算法本身的处理过程引起的。当  $\alpha > 1$  时, 算法通过向补空间的转换来避免越界现象的策略会导致一种现象: 就是每个像素点的比例变换系数要么小于 1, 要么通过补空间的转换缩小比例值。这就形成了像素点不同颜色分量之间的差异

更为接近的趋势, 而导致灰度趋势的出现。

为改善上面的问题, 由分析知道, 上面的方法是在保持色调不变的情况下, 通过增强转换得到的灰度图来增强图像, 也可以采用直方图拉伸技术扩展颜色分量的取值范围来直接增强彩色图像, 以改善处理效果。设某颜色分量  $z$  的直方图如图 2(a) 所示, 现在希望通过直方图拉伸, 将其实际取值范围  $[a, b]$  扩展到  $[\hat{a}, \hat{b}]$ , 拉伸后的直方图如图 2(b) 所示, 则式(12)可用于完成对  $[a, b]$  间任意值  $z$  的变换。为了实现最大程度的拉伸,  $\hat{a}, \hat{b}$  应该尽量选取仪器所能表示的颜色的上、下限。个人电脑 R、G、B 值各用 8bit 表示, 范围在 0 到 255 之间, 这时可取  $\hat{a} = 0, \hat{b} = 255$ 。

$$\hat{z} = \frac{(\hat{b} - \hat{a})}{(b - a)} \times (z - a) + \hat{a} = \beta(z) \times z + \alpha(z) \quad (12)$$

式中,  $\beta(z)$  和  $\alpha(z)$  分别称为对颜色分量  $z$  的拉伸系数和平移系数。

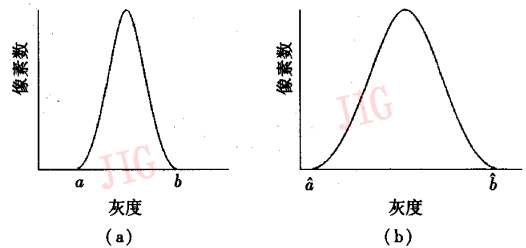


图 2 灰度直方图

Fig. 2 Gray histogram

直方图拉伸是针对每个颜色分量分别进行的, 为了保证色调不变性, 应使 3 个颜色分量的拉伸系数和平移系数相等, 即

$$\begin{aligned} \beta(R) &= \beta(G) = \beta(B) = \beta \\ \alpha(R) &= \alpha(G) = \alpha(B) = \alpha \end{aligned}$$

设颜色分量的最大取值范围为  $[0, M]$ , 某图像的 R 分量的取值范围为  $[a_R, b_R]$ , G 分量取值范围为  $[a_G, b_G]$ , B 分量取值范围为  $[a_B, b_B]$ , 在使用式(12)对 RGB 分量进行变换时, 为了避免越界,  $\alpha$  与  $\beta$  应该满足下列不等式:

$$\begin{cases} \beta a_R + \alpha \geq 0 & \beta b_R + \alpha \leq M \\ \beta a_G + \alpha \geq 0 & \beta b_G + \alpha \leq M \\ \beta a_B + \alpha \geq 0 & \beta b_B + \alpha \leq M \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\frac{\alpha}{a_C} \leq \beta \leq \frac{M - \alpha}{b_C} \\ -\frac{\alpha}{a_B} \leq \beta \leq \frac{M - \alpha}{b_B} \\ -\frac{\alpha}{a_R} \leq \beta \leq \frac{M - \alpha}{b_R} \end{cases} \quad (13)$$

由式(13)不等式组可得

$$\beta \leq \frac{M - \alpha}{\max[b_R, b_G, b_B]} \quad (14)$$

$$\alpha \geq \frac{M \min[a_R, a_G, a_B]}{\min[a_R, a_G, a_B] - \max[b_R, b_G, b_B]} \quad (15)$$

把式(15)代入式(14)可得

$$\beta \leq \frac{M}{\max[b_R, b_G, b_B] - \min[a_R, a_G, a_B]}$$

为了尽可能的削弱甚至消除灰度趋势,可以考虑在图像尽可能大的范围内进行直方图拉伸,于是取

$$\beta = \frac{M}{\max[b_R, b_G, b_B] - \min[a_R, a_G, a_B]}$$

此时

$$\alpha = \frac{M \min[a_R, a_G, a_B]}{\min[a_R, a_G, a_B] - \max[b_R, b_G, b_B]}$$

令

$$a_{\min} = \min[a_R, a_G, a_B], b_{\max} = \max[b_R, b_G, b_B]$$

则

$$\beta = \frac{M}{(b_{\max} - a_{\min})}, \alpha = -\beta \times a_{\min}$$

图像中任意点  $z$  的变换只需按下式进行,

$$\hat{z} = \beta \times z + \alpha$$

### 4 算 法

基于色调不变的彩色图像增强算法归纳如下:

(1) 将输入图像转换成灰度图像,并选用任意的灰度图对比度增强算法对其进行处理,本文采用直方图均衡化进行图像增强,处理效果见图 3。

$$I_{\text{color}} \xrightarrow{l = (r + g + b) / 3} I_{\text{gray}} \xrightarrow{f(l)} \hat{I}_{\text{gray}}$$



(a) 原图



(b) 越界的增强效果



(c) 未越界的增强效果

图 3 色调不变的图像增强

Fig. 3 Color image enhancement

(2) 对每个像素点  $k$  计算初始化因子

$$\alpha_k = f(l_k) / l_k \quad k = 1, 2, \dots$$

(3) 对  $\alpha_k$  的值分两种情况进行处理:

1) 若  $\alpha_k \leq 1$ , 则该像素点的输出矢量  $(\hat{r}_k, \hat{g}_k, \hat{b}_k)$  由下式计算

$$\hat{r}_k = \alpha_k r_k, \hat{g}_k = \alpha_k g_k, \hat{b}_k = \alpha_k b_k$$

2) 若  $\alpha_k > 1$ , 则

① 将 RGB 空间转换成 CMY 空间

$$I_{\text{RGB}} \rightarrow I_{\text{CMY}}$$

② 计算比例因子

$$\hat{\alpha}_k = \frac{L - f(l_k)}{L - l_k}$$

③ 计算该像素点输出矢量

$$\hat{c}_k = \hat{\alpha}_k c_k, \hat{m}_k = \hat{\alpha}_k m_k, \hat{y}_k = \hat{\alpha}_k y_k$$

④ 将输出图像从 CMY 空间再次转换成 RGB 空间

$$\hat{I}_{\text{CMY}} \rightarrow \hat{I}_{\text{RGB}}$$

(4) 拉伸图像直方图

① 分别求出 R, G, B 分量当前的灰度范围  $[a_R, b_R], [a_G, b_G], [a_B, b_B]$

② 求拉伸系数  $\beta$  和平移系数  $\alpha$

③ 按公式  $\hat{z} = \beta \times z + \alpha$  重新计算每个点的 R, G, B 取值。

### 5 试验结果及结论

在把彩色图像转换为灰度图后,本文简单地采用直方图均衡化进行对比度增强。实验结果如下:

图 3(b) 是未解决越界问题的处理结果,由该图可以看到,在某些区域由于发生越界,图像的色调已经发生了严重的变化。图 3(c) 是消除了越界问题后的增强图像,由该图可以看出,图像经过处理后更加清晰,同时基本上保持了色调不变。

彩色图像增强是将一幅图像变换成另一幅图像。出于不损失色彩信息的考虑,本文特别将色调

不变作为变换彩色图像的基本条件。同时创造条件将灰度图像增强算法引入彩色图像的增强问题,并综合灰度图像增强结果、色彩不变性条件以及避免越界现象策略等多方面因素,构造变换系数。实验结果表明,本文所提方案使彩色图像增强效果明显,运行效率高。

实际上,在 HIS 模型中,参数  $H$  和参数  $S$  是相关的,在图像增强变换中,适当的兼顾到这种相关性,有利于得到更佳的彩色图像增强效果。

### 参考文献 (References)

- 1 Gonzalez R C. Digital Image Processing [M] (2nd). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. [冈萨雷斯 数字图像处理 [M] (第二版). 阮秋琦译. 北京:电子工业出版社, 2003.]
- 2 Du Xiang-wen. Filter Algorithm in Color Image Enhancement [D]. Changchun: Jilin University, 2001. [杜相文. 彩色图像增强中的滤波算法研究 [D]. 长春:吉林大学, 2001.]
- 3 Yang C C, Rodriguez J J. Efficient luminance and saturation processing techniques for bypassing color coordinate [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Transformations, Systems, Man, and Cybernetics [C], 1995: 667 ~ 672.
- 4 Cheng Heng-da, Sun Ying. A hierarchical approach to color image segmentation using homogeneity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(12): 2071 ~ 2082.
- 5 Naik Sarif Kumar, Murthy C A. Hue-preserving color image enhancement without gamut problem [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(12): 1591 ~ 1598.
- 6 Russo Fabrizio. An image enhancement technique combining sharpening and noise reduction [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2002, 51(4): 824 ~ 828.
- 7 Kim T K, Paik J K, Kang B S. Contrast enhancement system using spatially adaptive histogram equalization with temporal filtering [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44(1): 82 ~ 86.
- 8 Stark J A. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 889 ~ 896.