

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.03.015

基于L*a*b*色彩空间的自动白平衡算法

蒋云, 朱文球, 谢保良

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对数码相机自动白平衡不准确、色彩还原不够真实的问题, 提出了一种基于L*a*b*色彩空间的自动白平衡算法。该算法通过色彩空间转换, 先将sRGB图像转换至L*a*b*色彩空间; 然后, 在L*a*b*色彩空间利用灰度世界模型对 a^* 、 b^* 色彩分量进行颜色校正; 最后将L*a*b*图像转换至sRGB色彩空间。试验结果表明: 在L*a*b*色彩空间对图像进行自动白平衡能获得较好的色彩还原效果。

关键词: 自动白平衡; L*a*b*色彩空间; 灰度世界

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)03-0070-05

Automatic White Balance Algorithm Based on L*a*b* Color Space

Jiang Yun, Zhu Wenqiu, Xie Baoliang

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: For the problem of the inaccurate automatic white balance of digital camera and the color reproduction is not true, an automatic white balance algorithm is proposed based on the L*a*b* color space. The algorithm according to the color space conversion, first converts sRGB picture to L*a*b* color space; then using grey world model executes color collection for color components of a^* and b^* in the L*a*b* color space; finally converts L*a*b* picture to sRGB color space. Experimental results show that the automatic white balance for images in the L*a*b* color space obtains good effect of color reproduction.

Keywords: automatic white balance; L*a*b* color space; gray world

0 引言

物体颜色会因投射的光线颜色产生改变, 而人眼有适应各种光线的能力, 因此人眼看到的物体颜色始终保持一致。在不同光线下, 拍摄的图像会有不同的颜色, 例如, 在日光灯下会偏蓝, 在白炽灯下会偏黄等。一般来说, 图像传感器不能像人眼一样自动修正光线的改变, 因此需要自动白平衡算法对图像进行修正, 使图像始终符合人眼看到的颜色。

目前, 自动白平衡算法主要是基于RGB或YUV色彩空间, 如: 基于RGB空间的灰度世界算法^[1], 基

于YUV空间的白点检测算法^[2]。基于上述2种空间对图像进行色彩还原时, 都会造成部分色彩修正不准确的问题。当拍摄环境偏离正常色温较大时, 色彩还原效果失真尤为严重。色温是表示光源光色的指标, 白炽灯的色温为2 500~3 000 K, 平常白天的色温为5 000~6 000 K, 蓝天的色温在10 000 K以上。造成色彩还原失真的原因是色彩空间上的颜色变化和入眼视觉的变化呈非线性关系。CIE (international commission on illumination) 1976 L*a*b*是基于CIE 1931 XYZ色彩空间^[3], 使用MacAdam椭圆所描述的颜色

收稿日期: 2012-02-23

作者简介: 蒋云(1988-), 男, 湖南安化人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为数字图像处理,

E-mail: 497445998@qq.com

差异度量建立线性化的颜色差异感知。 L^* 、 a^* 和 b^* 分量的非线性关系意图模仿人眼睛的非线性响应,其中, L^* 分量为人类亮度感知; a^* 负值指示绿色而正值指示品红; b^* 负值指示蓝色而正值指示黄色。因此,本文提出了基于L*a*b*色彩空间的灰度世界算法,该算法可以较好地还原图像真实色彩。

1 色彩空间转换

目前,大多数的图像保存、显示都使用sRGB色彩空间。sRGB是微软、HP等公司联合开发的一个通用色彩空间,可以直接用于CRT显示器,也是目前计算机互联网的标准色彩空间。因此,在L*a*b*色彩空间中对图像进行自动白平衡时,需先对原始图像进行色彩空间的转换。先将图像从sRGB空间转换至XYZ空间,再从XYZ空间转换至L*a*b*空间,在L*a*b*空间对图像进行自动白平衡^[4-8],最后转换至sRGB空间进行显示。

1.1 色彩空间正向转换

1.1.1 sRGB空间转换至XYZ空间

从sRGB空间转换至XYZ空间的步骤如下。

1) 将sRGB空间转换至线性的RGB空间,转换函数为 $g(k)$ 。根据国际标准IEC 61966-2-1—1999《多媒体系统和设备·颜色测定和管理·第2-1部分:颜色管理·非法RGB色空间·sRGB》, $g(k)$ 函数是逼近2.2的gamma校正曲线(见图1),实线表示 $g(k)$ 函数,虚线表示2.2的gamma校正曲线。

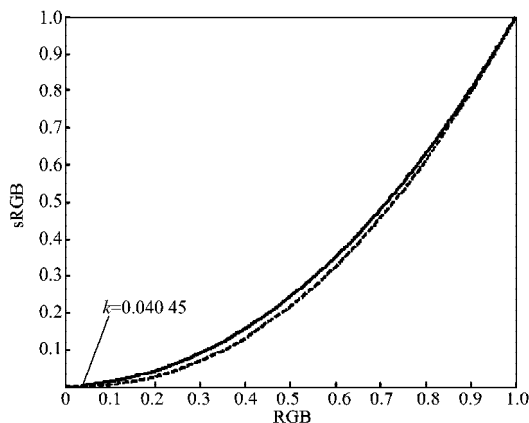


图1 $g(k)$ 函数曲线和gamma校正曲线对比图

Fig. 1 The contract diagram of $g(k)$ function curve and gamma calibration curve

根据国际标准IEC 61966-2-1—1999, $g(k)$ 函数分为线性部分和非线性部分。

当 $k > 0.040 45$ 时, $g(k)$ 函数为非线性的,即

$$g(k) = \left(\frac{k+a}{1+a} \right)^r, \quad (1)$$

式中: $a=0.055$; $r=2.2$ 。

当 $k \leq 0.040 45$ 时, $g(k)$ 函数为线性的,即

$$g(k) = \frac{k}{12.92}. \quad (2)$$

sRGB分量 R' 、 G' 、 B' 的取值范围为 $[0, 255]$,将其转换成线性RGB值时,需要进行归一化处理,即除以255。

2) 从线性RGB转换至XYZ空间是通过矩阵计算得到 X, Y, Z 值,即

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 4 & 0.357 6 & 0.180 5 \\ 0.212 6 & 0.715 2 & 0.072 2 \\ 0.019 3 & 0.119 2 & 0.950 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g(R'/255) \\ g(G'/255) \\ g(B'/255) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

1.1.2 XYZ空间转换至L*a*b*空间

CIE 1931 XYZ色彩空间是颜色感知研究中最先用数字方式来定义的色彩空间,是L*a*b*色彩空间的定义基础。图像从sRGB空间转换至XYZ空间后,再转换至L*a*b*色彩空间。XYZ色彩空间与L*a*b*色彩空间的转换式为:

$$\begin{cases} L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16, \\ a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)], \\ b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]. \end{cases} \quad (4)$$

式中, X_n, Y_n, Z_n 是参照白点的CIE XYZ三色刺激值,即在D65灯光下, X_n, Y_n, Z_n 值为(0.950 5, 1.000, 1.089 1)。

为了防止 $f(t)$ 函数在 $t=0$ 处的无限斜率, $f(t)$ 函数定义为线性和非线性2部分。当 $t < t_0$ 时, $f(t)$ 函数被假定是线性的,并被假定匹配函数的 $t^{1/3}$ 部分在 t_0 的值和斜率, t_0 的匹配值和匹配斜率分别为:

$$t_0^{1/3} = at_0 + b, \quad (5)$$

$$a = 1/(3t_0^{2/3}), \quad (6)$$

式中, $b=4/29$ 。求解式(5)和式(6)得

$a = 1/(3\delta^2) = 7.787 037$, $t_0 = \delta^3 = 0.008 856$, $\delta = 6/29$,因此, $f(t)$ 函数为:

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & t > (6/29)^3; \\ 1/3(29/6)^2 t + 4/29, & t \leq (6/29)^3. \end{cases} \quad (7)$$

1.2 色彩空间反向转换

由于目前的显示器都不能直接显示在L*a*b*空间的图像,因此对图像进行自动白平衡后,需要将图像进行反向的色彩空间转换,即从L*a*b*空间转换至sRGB空间显示。先将L*a*b*空间转换至XYZ空间,然后转换至sRGB空间。

1.2.1 L*a*b*空间转换至XYZ空间

将L*a*b*空间转换至XYZ空间,根据式(4)进行反向转换,即:

$$\begin{cases} f_x = f_y + a^*/500, \\ f_y = (L^* + 16)/166, \\ f_z = f_y - b^*/200. \end{cases} \quad (8)$$

式中, f_x, f_y, f_z 为空间变换中间函数。

如果 $f_y > \delta$, 则 $Y = Y_n f_y^3$; 否则 $Y = (f_y - 4/29)3\delta^2 Y_n$ 。

如果 $f_x > \delta$, 则 $X = Y_n f_x^3$; 否则 $X = (f_x - 4/29)3\delta^2 X_n$ 。

如果 $f_z > \delta$, 则 $Z = Y_n f_z^3$; 否则 $Z = (f_z - 4/29)3\delta^2 Z_n$ 。

1.2.2 XYZ 空间转换至 sRGB 空间

XYZ 空间转换至 sRGB 空间可分为 2 个过程, 先将 X, Y, Z 值通过矩阵计算得到线性的 RGB 值, 然后将线性的 RGB 值转换至 sRGB 色彩空间。

$$\begin{bmatrix} R_l \\ G_l \\ B_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.241 0 & -1.537 4 & -0.498 6 \\ -0.969 2 & 1.876 0 & 0.041 6 \\ 0.055 6 & -0.204 0 & 1.057 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (9)$$

式中, R_l, G_l, B_l 表示线性 RGB 值, 取值范围为 $[0, 1]$ 。

将线性 RGB 空间 R_l, G_l, B_l 值转换为 sRGB 空间相应的 R', G', B' , 即:

$$\begin{cases} R' = 12.92R_l, R_l \leq 0.003 04; \\ R' = (1+a)R_l^{1/2.4} - a, R_l > 0.003 04. \end{cases} \quad (10)$$

式中, $a=0.055$ 。

由于 R' 的取值范围为 $[0, 1]$, 因此需将其乘以 255, 使其取值范围在 $[0, 255]$ 之间。同理可得 G', B' 。

2 灰度世界算法介绍

2.1 灰度世界算法假设

灰度世界算法是假设正常色温图像的 R, G, B 的均值相等, 即图像的均值为灰色^[9]。这是一种在自动白平衡中应用非常广泛的假设^[10], 即

$$R_{av} = G_{av} = B_{av}. \quad (11)$$

定义 R_c, G_c, B_c 为修正后的 R, G, B 通道值。根据灰度世界算法假设, 图像经过白平衡后, R_c, G_c, B_c 的均值相等, 因此, 可得 R, G, B 通道在 RGB 色彩空间的白平衡修正式, 即:

$$\begin{cases} R_c = R \frac{G_{av}}{R_{av}}, \\ G_c = G, \\ B_c = B \frac{G_{av}}{B_{av}}. \end{cases} \quad (12)$$

因为 RGB 色彩空间变换不是线性的, 相同色彩、不同亮度的像素通过式 (12) 修正后, 其色彩会有差异, 因此, 这会造成在 RGB 色彩空间的色彩还原不准确的问题, 尤其是在色温较大或较小的环境中拍摄的图像, 自动白平衡的色彩还原失真较大。而在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间能较好地解决这个问题。

在 $L^*a^*b^*$ 模型中均匀改变对应于在感知颜色中

的均匀改变。所以在 $L^*a^*b^*$ 中任何 2 个颜色的相对感知差别, 可通过把每个颜色处理为三维空间中的一个点 (3 个分量: L^*, a^*, b^*) 来近似, 并计算它们之间的欧几里得距离 ΔE_{ab} ^[3], 即

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}, \quad (13)$$

式中, (L_1^*, a_1^*, b_1^*) 和 (L_2^*, a_2^*, b_2^*) 为 2 个颜色值。

本文采用灰度世界假设, 因此白平衡后的图像色彩平均值越接近灰色, 也就表示白平衡性能越好。假设 $L_2^* = L_1^*, a_1^* = 0, b_1^* = 0$, 处理后的图像和灰色图像的 ΔE_{ab} 为

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{a_2^{*2} + b_2^{*2}} = 0. \quad (14)$$

由 (14) 式可得 $a_2^* = 0, b_2^* = 0$, 即白平衡后 a^*, b^* 2 个通道的均值为 0。故得到图像在 $L^*a^*b^*$ 空间的白平衡色彩修正式为:

$$\begin{cases} A_c = A' - A_{av}, \\ B_c = B' - B_{av}. \end{cases} \quad (15)$$

式中: A', B' 为 $L^*a^*b^*$ 色彩空间原图像像素值;

A_{av}, B_{av} 为原图像在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间的 a^*, b^* 通道均值;

A_c, B_c 为修正后的 $L^*a^*b^*$ 色彩空间通道值。

2.2 算法步骤介绍

为了适应光照环境变化, 本算法加入了环境自适应过程^[11]。 $L^*a^*b^*$ 色彩空间自动白平衡算法分为 4 个步骤:

1) 色彩空间正向转换。由于现在大多数数码相机输出和显示都采用 sRGB 色彩空间^[12], 因此先将图像从 sRGB 空间转换至 $L^*a^*b^*$ 色彩空间。

2) 颜色修正。通过式 (15) 修正 $L^*a^*b^*$ 色彩空间的通道值 a^*, b^* 。 A_{av}, B_{av} 为原图像在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间中 a^*, b^* 通道的均值, 计算修正后图像在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间中 a^*, b^* 通道的均值 A'_{av}, B'_{av} , 并将其进行保存。

$$\begin{cases} A'_{av} = A'_{av} + A_{av}, \\ B'_{av} = B'_{av} + B_{av}. \end{cases} \quad (16)$$

式中, A'_{av}, B'_{av} 为修正后图像 a^*, b^* 通道的均值。

3) 色彩空间逆向转换。将 $L^*a^*b^*$ 色彩空间图像转换至 sRGB 空间, 该图像可直接用于显示。

根据上述算法步骤, 算法流程如图 2 所示。

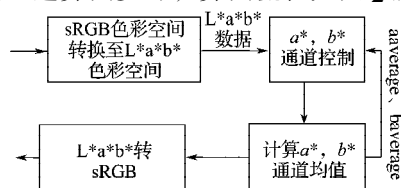


图 2 算法流程图

Fig. 2 Algorithm processing diagram

3 试验结果与分析

本文做了大量的试验来验证本算法的性能,试验结果表明,算法在某些色温下自动白平衡效果明显比其它几种色彩空间效果好。下面给出几张在各个色彩空间下的自动白平衡效果图,并对其进行主观评价,图像来自杭报社区。

图3是图像在10 000 K色温下各色彩空间的自动

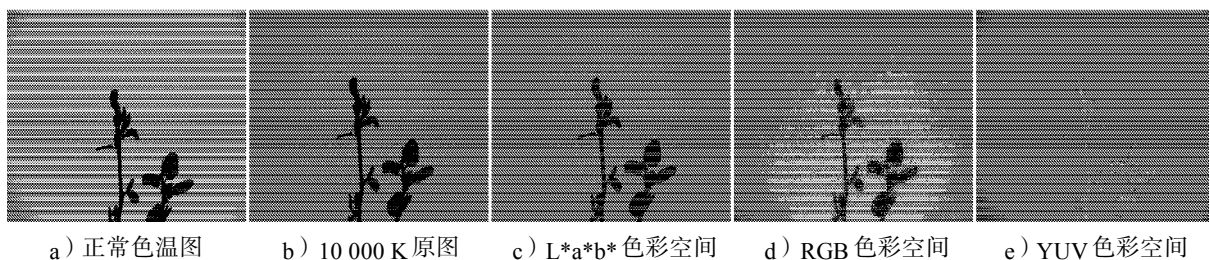


图3 10 000 K色温下各个色彩空间自动白平衡及正常色温对比图

Fig. 3 The comparison diagram of various color space automatic white balance under the color temperature of 10 000 K and the normal color temperature

图4为图像在2 000 K色温下各色彩空间自动白平衡的效果图,其中图a为正常色温下的图像,图b为2 000 K色温下没有经过自动白平衡的原图。由图4可以看出,在2 000 K色温下 $L^*a^*b^*$ 色彩空间自动

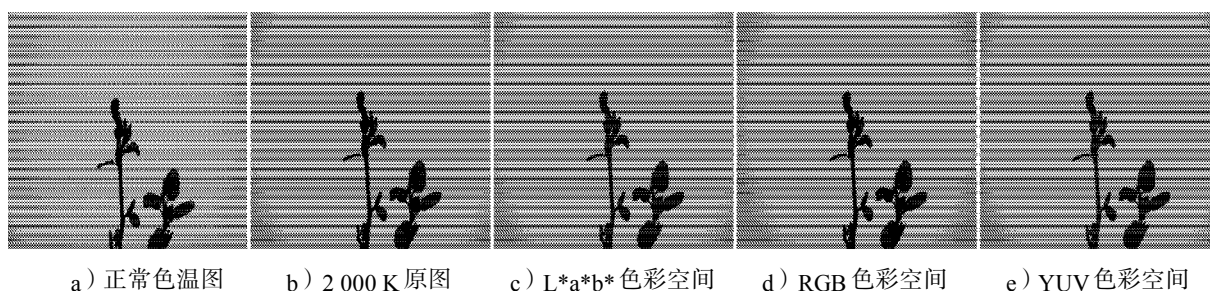


图4 2 000 K色温下各个色彩空间自动白平衡及正常色温对比图

Fig. 4 The comparison diagram of various color space automatic white balance under the color temperature of 2 000 K and the normal color temperature

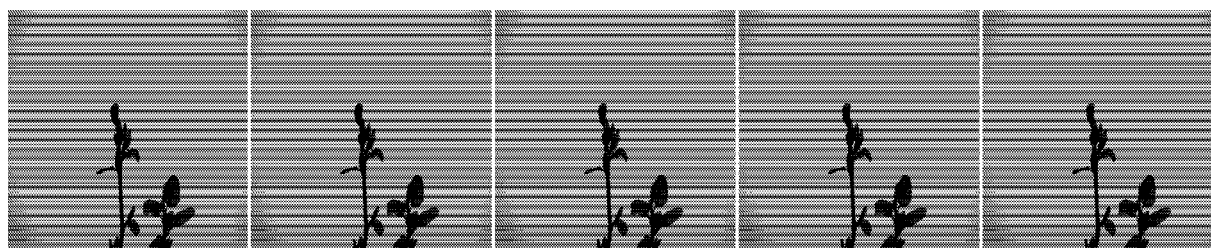


图5 6 000 K色温下各个色彩空间自动白平衡及正常色温对比图

Fig. 5 The comparison diagram of various color space automatic white balance under the color temperature of 6 000 K and the normal color temperature

从以上试验结果可以看出,在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间做自动白平衡时,在较高的色温环境下色彩还原比其它色彩空间效果好,在低色温及正常色温下对图像做自动白平衡的效果也较好。

白平衡效果图,其中a图为正常色温下的图像,b图为10 000 K环境下没有经过白平衡的原图。由图3可以看出,在10 000 K色温下在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间自动白平衡效果明显比在RGB, YUV空间好,该图像色彩和正常色温图像基本一样,但在RGB空间的自动白平衡效果图的色彩严重失真,在YUV空间中亮度较低的区域色彩明显偏红。

白平衡图像色彩和正常色温图像基本一样。

图5为图像在6 000 K色温下各色彩空间自动白平衡效果图。由图5可以看出,在6 000 K色温下, $L^*a^*b^*$ 色彩空间自动白平衡效果良好。

4 结语

针对现有自动白平衡中色彩还原不够准确的问题,本文提出了一种基于 $L^*a^*b^*$ 色彩空间的自动白

平衡算法。试验结果表明,在 $L^*a^*b^*$ 色彩空间对图像进行自动白平衡的效果要比在RGB, YUV色彩空间好,尤其是在色彩失真较大的环境下,本算法的自动白平衡效果更明显。本课题组下一步的工作是要提高算法效率,以及在一些低照度环境下算法的自适应性。

参考文献:

- [1] Barnard K. Practical Color Constancy[D]. British Columbia : Simon Fraser University, 1999.
- [2] 周荣政,何捷,洪志良. 自适应的数码相机自动白平衡算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(3): 529-533.
Zhou Rongzheng, He Jie, Hong Zhiliang. Adaptive Algorithm of Auto White Balance for Digital Camera[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(3): 529-533.
- [3] Jain A K. Fundamentals of Digital Image Processing[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1988: 68, 71, 73.
- [4] Lin Jinlong. An Automatic White Balance Method Based on Edge Detection[C]//2006 IEEE 10th International Symposium on Consumer Electronics. [S. l.]: IEEE, 2006: 1-4.
- [5] Barnard K, Cardei V, Funt B V. A Comparison of Computational Color Constancy Algorithms-Part1: Methodology and Experiments with Synthesized Data[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(9): 972-983.
- [6] Chikane V, Fuh C S. Automatic White Balance for Digital Still Camera[J]. Journal of Information Science and Engineering, 2006 (22): 497-509.
- [7] Gasparini F, Schettini R. Color Balancing of Digital Photos Using Simple Image Statistics[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(6): 1201-1217.
- [8] Marr D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information [M]. San Francisco: WH Freeman, 1982: 21-252.
- [9] 金黄斌,秦兴,郭斌林. 基于灰度世界和白点检测的自动白平衡算法[J]. 电子器件, 2011, 34(2): 226-231.
Jin Huangbin, Qin Xing, Guo Binlin. Automatic White Balance Algorithm Based on GrayWorld and White Point Detection Chinese [J]. Journal of Electron Devices, 2011, 34(2): 226-231.
- [10] 周瑞. 彩色数码相机色彩空间转换模型的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
Zhou Rui. Research on Color Space Conversion Model of Color Digital Camera[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [11] 赵全友,潘保昌. 改进的LOG边缘自动白平衡算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(2): 775-777.
Zhao Quanyou, Pan Baochang. Improved Method of Automatic White Balance Based on LOG Edge Detection [J]. Application Research of Computers, 2009, 26(2): 775-777.
- [12] 肖满生,钟钦,张建亚,等. 基于数学形态学FCM聚类原型图像降噪方法[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(4): 105-108.
Xiao Mansheng, Zhong Qin, Zhang Jianya, et al. The Image Noise Reduction Method Based on FCM Clustering Prototype with Mathematical Morphology[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(4): 105-108.

(责任编辑: 邓彬)