

一种基于基本色系的自动白平衡方法

羊海龙

(浙江宇视科技有限公司,杭州 310051)

摘要: 在不含黑、灰、白的单色背景下,基于灰度世界模型的白平衡方法容易导致色彩失真严重,今对此提出了一种基于基本色系的自动白平衡方法:通过研究不同色温下颜色分量比值“ R/G ”与“ B/G ”的关系,得到单一色系下颜色分量比值关系的特征函数。据此,在“ R/G ”与“ B/G ”关系已知的情况下估算出单色背景所在的色温,将该色温映射到白色系特征函数上,并利用插值算法得到该单色背景的白平衡参数。对校正后图像的色差作客观比较,结果表明该方法能够弥补传统灰度世界方法的缺陷,明显改善单色背景下的色彩失真。

关键词: 色温;白平衡;灰度世界;单色背景

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2015)01-0042-06

Method of automatic white balance based on basic color schemes

YANG Hailong

(Zhejiang Uniview Technologies Co., Ltd., Hangzhou 310051, China)

Abstract: In the absence of black, gray and white monochrome background, white balance method based on grey world model can easily lead to serious color distortion; therefore, this paper presents an automatic white balance method based on color schemes. Through studying the relationship between “ R/G ” and “ B/G ”, which represents the color component ratio under different color temperatures, the characteristic function of the color component ratio under the specific monochrome background is obtained. With this characteristic function and the known relationship between aimed “ R/G ” and “ B/G ”, the color temperature of the aimed monochromatic background can be estimated. After that, this estimated color temperature is mapped to the characteristic function of white color scheme; therefore, white balance parameters of the aimed monochromatic background can be calculated by the interpolation method. By comparing the color deviation of the corrected image objectively, it is sure that this method can make up for the traditional white balance method based on the grey world model, and the color distortion of aimed monochromatic background can be improved obviously.

收稿日期: 2015-01-23

作者简介: 羊海龙(1982—),男,浙江省富阳人,工程师,硕士,主要从事安防产品、视频终端产品的数字图像处理研究。

Key words: color temperature; white balance; grey world; monochromatic background

色温是描述光照环境的一个重要概念,它借用完全辐射体的温度来表示光源的光谱成分,以绝对黑体温度 K 来度量。比如 CIE 标准光源 D65,其相关色温为 6 500 K,表示典型的白光源^[1]。

颜色是图像的一种重要特征,人的视觉系统具有颜色恒常性,能从某些变化的光照环境(色温)和成像条件下获取物体表面颜色的不变特征。但成像设备不具有这种“调节”功能,色温变化后,成像面上的光谱成分将发生相应变化^[2],导致采集图像颜色随色温变化而变化,并与物体真实颜色之间存在一定程度的偏差,这种偏差会影响后续图像分析的准确度^[3]。白平衡的目的就是消除不同色温造成的色彩偏差,使拍摄的图片尽量符合人眼的习惯,从而提高后续图像分析的准确度。

目前,比较经典的白平衡方法是灰度世界方法^[4-6]。灰度世界方法以灰度世界假设为基础,该假设认为:对于一幅有着大量色彩变化的图像, R 、 G 、 B 3 个分量的平均值趋于同一个灰度值。白色蕴涵最丰富的颜色,根据灰度世界假设, R 、 G 、 B 3 个分量相等。文献^[7]提出了色域映射方法,认为不同色温与其对应色域之间存在一个线性映射变化,且这个变化是一个三维对角矩阵。

尽管现在已经有一些较为成熟的颜色校正方法,但灰度世界方法由于其计算比较简便而被广泛应用。然而,灰度世界方法也存在一定的局限性,当图像中颜色数量较少或者出现单一颜色时(不是黑色、灰色、白色),该方法常常失效,造成图像色彩失真。为此,本研究针对单一颜色,提出了基于色系的白平衡方法,能够弥补传统灰度世界方法的缺陷,明显改善单色背景下的色彩失真。

1 灰度世界方法

根据 Von Kries 对角理论^[8],在 RGB 颜色空间内,若用 $\{r, g, b\}$ 和 $\{r', g', b'\}$ 分别表示原图像和处理后图像中像素点的颜色值,可用公式(1)进行颜色调整。

$$\begin{pmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}{3} / \bar{r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}{3} / \bar{g} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}{3} / \bar{b} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: \bar{r} 、 \bar{g} 、 \bar{b} —红、绿、蓝 3 个通道的平均值。变化公式(1),得公式(2):

$$\begin{pmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{pmatrix} = K \times \begin{pmatrix} \bar{g}/\bar{r} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{g}/\bar{b} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}, \text{其中 } K = \frac{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}{3/\bar{g}} \quad (2)$$

K 的取值并不影响变换后 $\{r', g', b'\}$ 的比例关系,即 K 值变化不会引起色彩基调的改变,但会引起图像整体亮度的改变。因此,在一些研究白平衡的文章中,习惯把 K 值定义成常数。

经典灰度世界方法假设:彩色图像中一定存在白色,而且它对应于图像中最亮的区域^[9]。根据该假设,白平衡的目的就是研究原始彩色图像中存在的白色 $\{r, g, b\}$ 白色,通过公式(2),得到处理后的纯白色 $\{r', g', b'\}$ 白色,处理后的纯白色一定满足: $r' = g' = b'$ 。因此,只要原始图像中存在白色,那么,取 $R_{\text{gain}} = \bar{g}/\bar{r}$, $B_{\text{gain}} = \bar{g}/\bar{b}$,通过矩阵变换,得到公式(3),原始图像中的白色就一定能够转换成纯白色,并将该矩阵变换应用于原始图像中的其他颜色,可以使整幅原始图像的色彩得以正确恢复,即实现白平衡。

$$\begin{pmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{pmatrix} = K \times \begin{pmatrix} R_{\text{gain}} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & B_{\text{gain}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} \quad (3)$$

根据灰度世界方法假设推出:如果原始图像中存在白色,那么白色所在的区域反射光最强,颜色最亮;如果原始图像中不存在白色,该方法会将最亮的区域误当成白色,在单色背景下容易导致色彩失真。

2 基于基本色系的自动白平衡方法

灰度世界白平衡可以理解为基于白色系的白平衡。假如背景中不出现白色,则根据灰度世界白平衡所恢复的色彩,其失真情况就会比较严重。本研究沿着色系的思路,丰富了色系模板,并通过插值的方法计算出白平衡转换矩阵,可使单色背景下白平衡色彩失真问题得以有效改善。

2.1 建立基本色系

本研究定义了 7 种基本色系(图 1),也可以根据实际情况增加或者减少。白色系为中心色系,红、绿、蓝为基本单色系,红、绿、蓝的补色水绿、粉色、黄色也为基本单色系。

纯正的白色、灰色、蓝色、绿色、红色、黄色、粉色、水绿色刚好对应国际标准 24 色卡的最后两行色块,如图 1 所示,本研究正是基于这 12 个色块展开的。

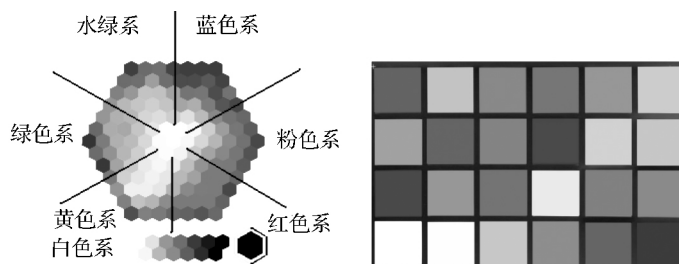


图 1 基本色系划分与国际标准 24 色卡

Fig. 1 Basic color division and international standard 24-color card

2.2 建立基本色系的特征函数

本研究的实验对象是一张国际标准 24 色卡,用相机在不同色温下拍摄得到原始图片,并对最后 2 行的 12 个色块值进行深入分析,用色块的统计比值表示该色块所在色系的统计比值,得到的实验数据见表 1。

表 1 不同色温下 24 色卡的实验数据

Table 1 Experimental data of 24-color card under different color temperatures

色系	2 580 K		3 120 K		4 610 K		5 790 K		7 150 K	
	R/G	B/G	R/G	B/G	R/G	B/G	R/G	B/G	R/G	B/G
蓝色系	0.845	0.766	0.725 9	0.937	0.500	1.282	0.385	1.380	0.335	1.518 3
绿色系	0.605	0.249	0.506 2	0.217	0.392	0.265	0.348	0.344	0.320	0.369 1
红色系	3.398	0.309	3.002 9	0.276	2.481	0.363	2.325	0.449	2.098	0.507 0
黄色系	1.394	0.182	1.206 2	0.159	0.939	0.177	0.894	0.222	0.809	0.232 6
粉色系	2.656	0.447	2.329 3	0.515	1.767	0.768	1.497	0.902	1.304	1.027 0
水绿系	0.531	0.514	0.475 5	0.555	0.351	0.743	0.276	0.865	0.249	0.949 3
由浅及深的 6 个白灰色系	1.133	0.337	1.027 5	0.358	0.768	0.490	0.657	0.616	0.584	0.685 4
	1.120	0.340	1.012 8	0.363	0.757	0.496	0.646	0.622	0.576	0.692 1
	1.115	0.341	1.008 0	0.363	0.752	0.498	0.643	0.622	0.573	0.694 1
	1.137	0.344	1.027 9	0.364	0.767	0.496	0.656	0.625	0.586	0.694 3
	1.122	0.358	1.011 9	0.375	0.754	0.510	0.642	0.637	0.576	0.707 2
	1.170	0.379	1.024 8	0.392	0.769	0.529	0.660	0.651	0.586	0.721 6

白平衡主要研究 R 、 G 、 B 3 个分量的比例关系,因此,表格中列出了不同色温下 R/G 、 B/G 的数值。为了研究色温变化时 R/G 与 B/G 的关系,以 R/G 为横坐标, B/G 为纵坐标,将表 1 数据标注在坐标系中,并用二次函数进行模拟得到近似曲线,该二次函数即为对应色系下的特征函数,详见图 2。

分析图表发现,白色或者灰色采样点的 R/G 、 B/G 几乎重叠,可以用一条曲线表述;蓝色、绿色、红色、黄色、粉色、水绿有着独有的曲线,因此,每个色系可以用特征函数来区别于其他色系。

色系特征函数的分布具有以下特点:

1) 高色温区域相对于低色温区域, B 比重会增加,故高色温区的图像一般偏冷,可用于粗略判断原始图片的色温;

2) 在较大的色温范围内,不同色系特征函数不会交叉,为基于色系的白平衡方法提供了可能性;

3) 邻近色系的特征函数在坐标轴上的位置比较接近,如粉色和红色,表明当两个色系非常接近时,可以共用一个特征函数;

- 4) 本色与补色的特征函数在坐标轴上的位置相距最远,如蓝色和黄色、绿色和粉色、红色和水绿色,这表明相差较大的色系可以用差别明显的特征函数加以区分;
- 5) 白色系的特征函数在坐标轴上被其他色系特征函数包围。

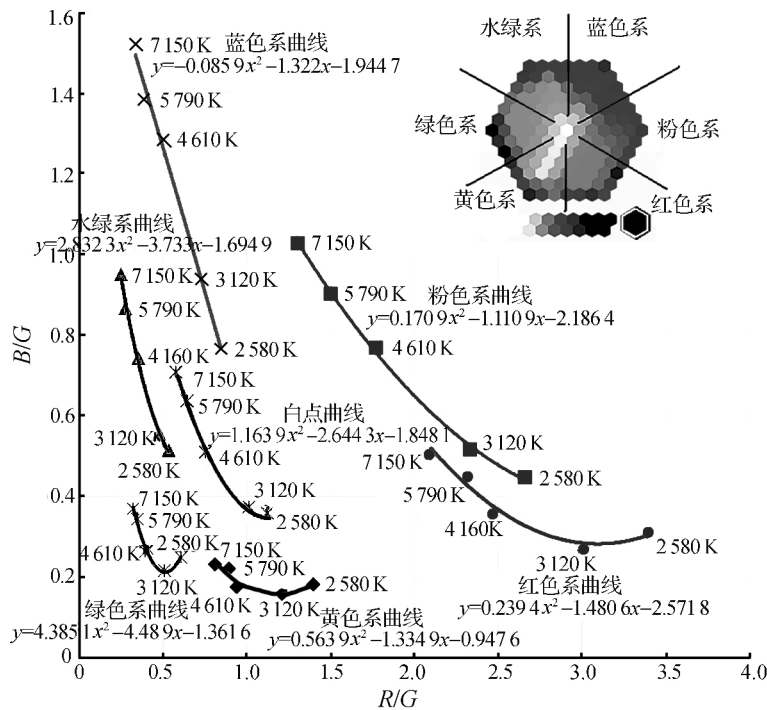


图 2 基本色系及特征函数

Fig. 2 Basic color schemes and characteristic function

2.3 计算白平衡参数

基于色系的白平衡关键在于:如何在单色背景下估算色温,然后将色温映射到白色系上,从而利用白色系的特征曲线得到 R_{gain} 、 B_{gain} ,结合图 3 说明如下。

2.3.1 建立基本色系的特征函数

按照上述方法,在每个色系下可模拟一条 $R/G-B/G$ 的曲线,并用二次函数 $Y=F(X)$ 进行特征描述,从而得到 7 个基本色系的 7 条特征曲线,如图 3 所示。

需注意的是,在建立基本色系时,应保证 R/G 的连续性。比如,图 3 中粉色系曲线若向右平移 0.2 个单位,那么 R/G 在 1.4 到 1.5 范围内将出现间断,这是不允许的。如果出现这种情况,必须采用增加色系或者拓宽色温范围或者选用其他色系的方法进行改进。图 3 中 R/G 的连续范围为 $[0.25, 3.4]$,基本覆盖了 2 500 K 到 7 200 K 范围内的白平衡。

2.3.2 搜索特征函数,估算色系与色温

假如有原始单色背景 A 需要白平衡处理,但是不知道色温,而且找不到白点,该如何处理?本研究用色系特征函数 $Y=F(X)$ 来估算原始图像 A 的色系与色温。

第 1 步:用统计方法计算出单色背景 A 的 R 、 G 、 B 平均值,得到 $x=R/G=2.2$, $y=B/G=0.65$ 。

第 2 步:将 $x=R/G$ 代入已知 7 个特征函数 $Y=F(X)$,得到 7 个值: $Y_1=F_1(R/G)$ 、 $Y_2=F_2(R/G)$ 、 $Y_3=F_3(R/G)$ 、 $Y_4=F_4(R/G)$ 、 $Y_5=F_5(R/G)$ 、 $Y_6=F_6(R/G)$ 、 $Y_7=F_7(R/G)$ 。

需注意的是,每个色系的特征函数,都有一定的定义区间,具体与色温范围有关,即 $x=R/G$ 不一定满足每个色系的定义区间。在图 3 中, $x=R/G=2.2$ 仅落在 $Y=F_2$ 、 $Y=F_3$ 的定义区间内,因此,只需求出 $Y_2=F_2(R/G)$ 、 $Y_3=F_3(R/G)$ 即可。

第 3 步:比较 $|y-Y_1|$ 、 $|y-Y_2|$ 、 $|y-Y_3|$ 、 $|y-Y_4|$ 、 $|y-Y_5|$ 、 $|y-Y_6|$ 、 $|y-Y_7|$,将满足差值最小的 $Y=F(X)$ 作为原始图像 A 的近似特征函数,并将其定义为 $Y=Fa(X)$ 。即 $Y=Fa(X)$ 是 7 个特征函数中

表现原始图像 A 色系特征最好的一个近似函数。

第 4 步:对应的 $x=R/G$ 在函数 $Y=F_a(X)$ 上,可以找到当前原始图像 A 的色温范围,并用插值方法可以估算出原始图像 A 的色温 T_a ,估算出 $T_a=3\ 500\text{ K}$ 。

2.3.3 估算 R_{gain} 、 B_{gain}

将原始图像 A 从单色背景下映射到白色背景下,用白色系特征函数 $Y=F_w(X)$,求出原始图像 A 在 T_a 色温时 R/G 和 B/G ,即原始图像在色温 T_a 下,白点的 R/G 和 B/G 。如图 3 所示,估算值 $R/G=0.92$, $B/G=0.4$,进而求出白平衡参数 $R_{\text{gain}}=1.087$, $B_{\text{gain}}=2.5$ 。

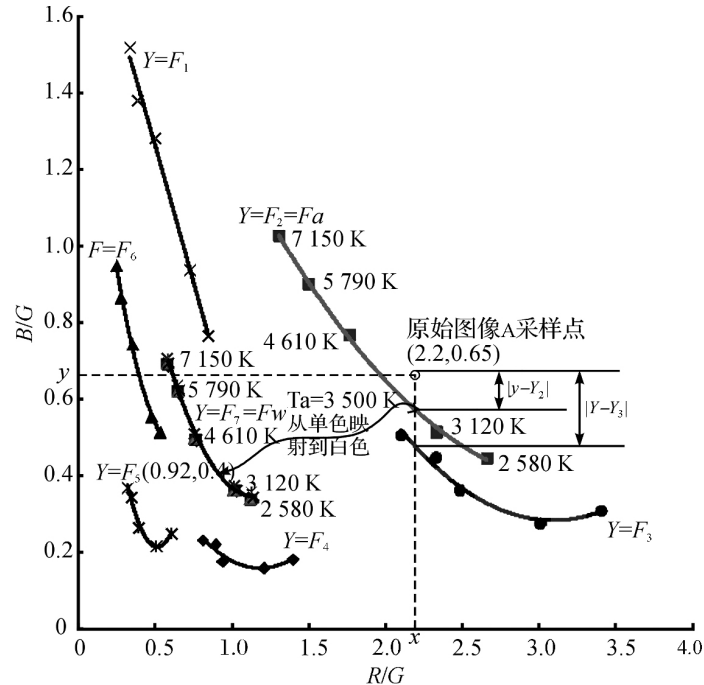


图 3 基于基本色系的白平衡方法

Fig. 3 White balance method based on basic color schemes

2.4 误差来源分析

结合基于色系的白平衡过程,定性分析白平衡方法的误差来源。

2.4.1 建立基本色系的特征函数

基本色系的选择非常关键,基本色系特征函数在坐标轴上靠得越近,误差越大。如图 4,当 $x=2.1$ 时,红色系对应的色温约为 $7\ 150\text{ K}$,粉色系对应的色温约为 $3\ 850\text{ K}$,若原始图像 A 采样点恰好落在两条特征曲线中间,则很可能导致大约 $(7\ 150\text{ K}-3\ 850\text{ K})/2=1\ 650\text{ K}$ 的色温偏差。笔者建议在建立基本色系时,尽可能选择三原色及其互补色。

2.4.2 搜索特征函数,确定色系与色温

单色背景分量 ($R/G, B/G$) 在坐标轴上越接近基本色系特征函数 $Y=F(X)$,越能说明单色背景色彩接近基本色系色彩,则色系判断误差越小;反之,单色背景分量 ($R/G, B/G$) 在坐标轴上越远离基本色系特征函数 $Y=F(X)$,越能说明单色背景色彩远离基本色系色彩,则色系判断的误差越大。如图 4,以基本色系特征函数 $Y=F_2$ 进

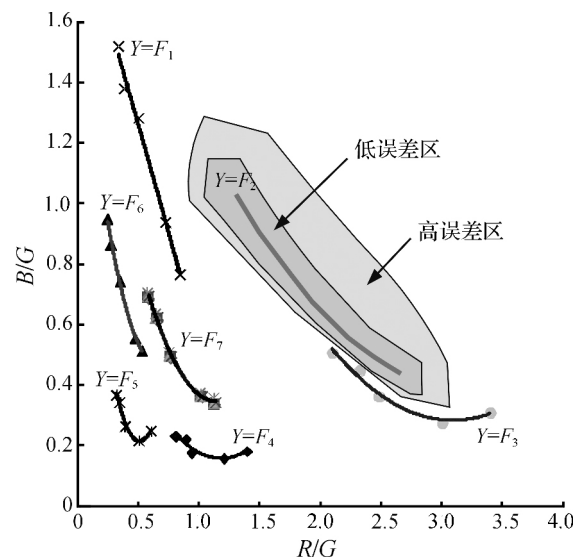


图 4 基本色系的误差区

Fig. 4 Error margin of basic color schemes

行说明,接近曲线 $Y=F_2$ 的坐标区域为低误差区,远离曲线 $Y=F_2$ 的坐标区域为高误差区。

如果对高误差区的误差不能容忍,可以考虑在该区域增加一个辅助色系。

2.4.3 插值计算引入的误差

单色背景分量($R/G, B/G$)的横坐标不在色温样本点上,如图 3, $(2.2, 0.65)$ 位于色温样本点 3 120 K 和 4 610 K 之间,那么, $(2.2, 0.65)$ 处的色温 T_a 需要用线性插值的方法估算;色温 T_a 映射到白色系特征函数上,又要根据色温样本点 3 120 K 和 4 610 K,估算 T_a 在白色系特征函数上的横坐标轴值,进而根据白色系特征函数求出纵坐标,2 次插值的运算必然引入一定的误差。若要减小插值误差,则可以增加色温样本点。

3 实验结果与分析

为了验证该方法的可行性,在 4 800 K 色温下,拍摄以黄色为主的背景,利用黄色背景下计算得到的白平衡参数,回归验证 24 色卡的色块还原效果。在图 5 中, (a) 是采用灰度世界方法的还原效果, (b) 是采用基本色系方法的还原效果。用 24 色卡检验还原误差,不难发现,采用灰度世界方法时,色块的还原误差较大,而采用基本色系方法时,色块的还原误差较小,还原效果好。

4 结 语

传统的灰度世界方法在给定图像仅有少量几种颜色或者大块单一颜色时,尤其在找不到白点的情况下,色彩校正失真严重。本研究提出的一种基于色系的自动白平衡方法,能够有效弥补灰度世界方法的不足。通过查找基本色系特征函数,估算出单一色系的色温,并将该色温映射到白色系上,最后用插值方法近似估算出单一色系的白平衡参数,从而实现白平衡。通过实验证明了该方法的有效性,使色彩恢复效果得到了优化。但该方法还需在实践中继续改进,以进一步减小误差。

参考文献:

- [1] 郭永刚,葛庆平,郭楠. 利用白平衡进行偏色图像的颜色校正[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(20): 56-59.
- [2] Barnard K. Practical color constancy[D]. Vancouver: Simon Fraser University, 1999.
- [3] 徐晓昭,蔡轶珩,刘晓明,等. 改进灰度世界颜色校正算法[J]. 光子学报, 2010, 39(3): 559-564.
- [4] Gasparini F, Schettini R. Color correction for digital photographs [C]// Proceeding of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing. [S. L.]: IEEE, 2003: 646-651.
- [5] 姚洪涛,田青青,苏伟,等. 基于彩色直方图均衡化的自动白平衡算法研究[J]. 长春理工大学学报, 2014(4): 104-105.
- [6] 史榕. 自动白平衡算法的研究与实现[J]. 信息技术, 2014, 1(3): 85-88, 93.
- [7] Finlayson G, Hordley S. Improving gamut mapping color constancy[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(10): 1774-1783.
- [8] ZHU G D, SHEN L, WANG J J. A colour correction method based on the region-specific von-Kries adaptation[J]. Computer Engineering and Science, 2007, 29(2): 50-52.
- [9] Provenzi E, Gatta C, Fierro M, et al. A spatially variant white-patch and gray-world method for color image enhancement driven by local contrast[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(10): 1757-1770.

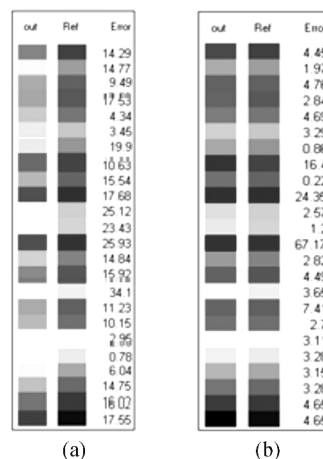


图 5 灰度世界方法与基本色系方法色彩恢复效果对比

Fig. 5 Color restoration effect comparison between gray world method and basic-color-method