

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2012.04.007

光学遥感

一种处理多光谱彩色合成图像的白平衡法

游 晶¹, 刘 晓^{1,2}, 易维宁¹, 黄红莲¹

(1 中国科学院安徽光学精密机械研究所中国科学院通用光学定标与表征技术重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2 电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

摘 要: 多光谱彩色合成图像是直接提取多光谱图像中的 R、G、B 波段合成的彩色图像。但由于多光谱成像探测器光谱响应性能的差异, 造成合成的彩色图像偏色严重, 为了重现真实色彩, 需进行颜色校正。针对目前传统白平衡法与色度学合成法的不足, 提出了一种基于光谱信息的改进白平衡法, 用于多光谱彩色合成图像的颜色校正。经实验验证, 该方法不仅实现简单, 校正过程中不需要标准真彩色图像, 也不需要预测图像中所有地物的光谱反射率, 而且改进了传统算法, 获得的图像更为真实。

关键词: 多光谱图像; 颜色校正; 白平衡; 色度学

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2012)04-0282-09

A White Balance Method for Multi-Spectral Color Synthesis Image

YOU Jing¹, LIU Xiao^{1,2}, YI Wei-ning¹, HUANG Hong-lian¹

(1 Key Laboratory of Optical Calibration and Characterization, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;
2 Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: Multi-spectral color synthesis image was extracted directly from R, G, B band of the multi-spectral image. However, due to different performances of the spectral response of multi-spectral imaging detector resulting in the color cast of the synthetic color image, in order to reproduce true color, the color correction was needed. For the lack of traditional white balance method and colorimetric synthesis method, an improved white balance method based on the spectral information was presented for color correction to multi-spectral color synthesis image. It is proved that this method is simple, does not require the standard true color image in the correction process, and does not need to predict the spectral reflectance of all features, but also improves the traditional algorithm, making the images more realistic.

Key words: multi-spectral image; color correction; white balance; colorimetry

收稿日期: 2012-03-28; 修改日期: 2012-03-30

基金项目: 863 项目 (2008AA121203) 资助

E-mail: youjing0603@126.com

1 引 言

多光谱彩色合成图像在遥感图像解译、目标识别和信息处理等领域具有广泛的应用前景^[1]。多光谱彩色合成又分为真彩色合成与假彩色合成。相比假彩色合成,真彩色合成是直接提取多光谱图像中的 R、G、B 波段而合成的彩色图像,能真实反映地物的色彩信息,所描绘地物的色彩更符合人眼的视觉感知。但它在合成的过程中由于受到多光谱成像探测器光谱响应性能差异的影响,造成色彩失真,不易判别,因此需要对其进行颜色校正^[2]。

针对失真的彩色图像,目前最常用的有传统白平衡法^[3-4]和基于色度学^[5]原理的彩色合成法,但这些算法都具有很大的局限性,不能真实再现物体的色彩:当所合成图像中没有标准图像做参考时,白平衡法校正效果不好;当无法获得图像中所有地物的光谱反射率时,此时色度学合成法也失效了,都不能正确再现地物真实的色彩。而由其衍生出来的彩色矩阵转换法、查找表法和神经网络法等,在运用时也有其限制:它们均需要有足够多的样本进行匹配,而在实际校正过程中不易满足。

为了改进这些方法从而获得更好的校正效果,本文提出了一种基于光谱信息的改进白平衡法,对多光谱彩色合成图像进行颜色校正。该方法将地物的光谱信息融入到白平衡法中,通过色度学加色法合成原理将目标地物的光谱信息从光谱反射率空间转换到色度学空间,将其获得的标准值作为白平衡校正的基准,然后再运用白平衡法进行颜色校正。

2 传统色彩校正原理

2.1 白平衡法

物体的颜色是由物体所处环境光源的色温、物体表面的反射和吸收特性以及人眼视觉的光谱灵敏度共同决定的。当物体属性和人眼视觉的光谱灵敏度特性确定后,物体的颜色就主要由它所处

环境光源的色温决定,即同一物体在不同的光源照射下会呈现不同的颜色。由于人眼具有颜色恒常性功能,人眼视觉会自动调整这些差别^[6-7]。但对于多光谱成像探测器来说,它会准确将这些色差记录下来,使得被摄物体的颜色较真实色彩有一定偏差,因此需要进行颜色校正。由于白光是一切色光的混合光,只要正确还原白色物体的颜色,就可以正确还原相同色温条件下其他物体的颜色,以达到色彩平衡,这就是白平衡调整。

利用白平衡法进行颜色校正主要有以下三个基本步骤:

- 1) 色温估计:通过选择白色参考目标或者利用统计的方法,估计当前光源的色温;
- 2) 增益计算:使用相应的算法,计算出 R、G、B 通道的增益系数;
- 3) 色温调整:在 R、G、B 三个通道上分别乘上对应的增益系数,完成白平衡校正。

目前最常用的传统白平衡法是灰度世界法和镜面反射法^[8]。灰度世界法是在假设图像色彩足够丰富的情况下,认为所拍摄图像 RGB 通道的统计平均值应该相等;而镜面反射法则认为图像中最亮的点为图像偏色后的白点。两种方法都是通过求 R、G、B 通道的统计值来获得增益系数进行颜色校正的,增益计算公式为

$$\begin{cases} GainR = \text{mean}(R_{av}, G_{av}, B_{av})/R_{av} \\ GainG = \text{mean}(R_{av}, G_{av}, B_{av})/G_{av} \\ GainB = \text{mean}(R_{av}, G_{av}, B_{av})/B_{av}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} GainR = \text{mean}(R_{max}, G_{max}, B_{max})/R_{max} \\ GainG = \text{mean}(R_{max}, G_{max}, B_{max})/G_{max} \\ GainB = \text{mean}(R_{max}, G_{max}, B_{max})/B_{max}, \end{cases} \quad (2)$$

其中,公式(1)为灰度世界法公式,公式(2)为镜面反射法公式。 $GainR, GainG, GainB$ 分别为 R、G、B 通道的增益系数, R_{av}, G_{av}, B_{av} 为各通道的统计均值,为各通道的统计最大值, mean 为进行取平均计算。最后用 $GainR, GainG, GainB$ 对原图像进行白平衡校正,为了防止其“溢出”,必

须将其限制在可以显示的范围内,公式表示如式(3)所示,式中 R', G', B' 为校正后三通道颜色值

$$\begin{cases} R' = \begin{cases} GainR \times R & GainR \times R < 255 \\ 255 & GainR \times R > 255 \end{cases} \\ G' = \begin{cases} GainG \times G & GainG \times G < 255 \\ 255 & GainG \times G > 255 \end{cases} \\ B' = \begin{cases} GainB \times B & GainB \times B < 255 \\ 255 & GainB \times B > 255 \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

这两种白平衡法虽然过程简单,运算速度快,但是在很多情况下,图像的色彩比较单一,或者图像曝光过度,出现亮点,此时这两种方法校正的效果均将会有偏差,甚至出现过校正的现象。在后面的实验中可以反映这一现象。

2.2 色度学合成法

CIE 色度学系统用三刺激值来定量描述颜色,根据格拉斯曼定律^[5],如果有两个颜色色光 (R_1, G_1, B_1) 和 (R_2, G_2, B_2) 相加混合后,则混合光的三刺激值为

$$\begin{cases} R = R_1 + R_2 \\ G = G_1 + G_2 \\ B = B_1 + B_2 \end{cases}, \quad (4)$$

混合色光的三刺激值为各组成色光的三刺激值之和。基于这个原理,任何颜色的光都可以看成是不同的单色光混合组成,所以光谱三刺激值是颜

色色度计算的基础。如果各单色光的三刺激值预先获得,那么根据混色原理就能计算出该混合色光的三刺激值,如式(5)所示

$$\begin{cases} R = \int_{\lambda} k\psi(\lambda)\bar{r}(\lambda)d\lambda \\ G = \int_{\lambda} k\psi(\lambda)\bar{g}(\lambda)d\lambda \\ B = \int_{\lambda} k\psi(\lambda)\bar{b}(\lambda)d\lambda \end{cases}, \quad (5)$$

其中 $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ 分别代表红(R)、绿(G)、蓝(B)通道的光谱三刺激值, $\psi(\lambda) = S(\lambda)\rho(\lambda)$, 式(5)表明当光源 $S(\lambda)$ 或者物体光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 发生变化时, R, G, B 也随之发生改变,物体的颜色也因此发生改变,式(5)是一种最基本、最精确的颜色测量及描述方法,是进行色彩描述的基础。

CIE 认为光谱三刺激值 $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ 有很大一部分出现负值,在实际计算中用起来不方便,又不易理解,所以1931年CIE提出了一个新的国际通用的色度系统。选用三个理想的三原色 $[X], [Y], [Z]$ 来代替实际的三原色 $[R], [G], [B]$, 使其光谱三刺激值和色度坐标均为正值。图1即为CIE 1931标准色度观察者光谱三刺激值曲线,以此来代表人眼的平均颜色视觉特性。

此时,色度学合成公式表示为

$$\begin{cases} X = \int_{\lambda} kS(\lambda)\rho(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \\ Y = \int_{\lambda} kS(\lambda)\rho(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \\ Z = \int_{\lambda} kS(\lambda)\rho(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \end{cases}, \quad \text{式中 } k \text{ 为调整因素, } k = 100 / \int_{\lambda} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \quad (6)$$

通过上述原理求解出物体在 XYZ 空间的颜色三刺激值 (X, Y, Z) 后,还需要将其转换到计算机显示器能够识别的 RGB 颜色空间,研究表

明, ITU-R BT.709 的色度定义非常接近大多数 CRT 显示器的色度。

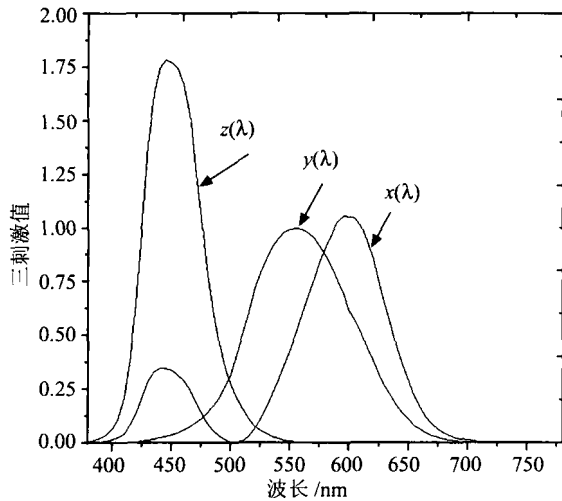


图 1 CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值曲线

Fig.1 CIE 1931 spectral tristimulus values of standard colorimetric observer

根据表 1 提供的信息建立 (R, G, B) 与 (X, Y, Z) 间的转换关系^[9], 将 (X, Y, Z) 空间颜色三刺激值转换到 (R, G, B) 空间, 在计算机显示器上显示, 这就是基于色度学原理的彩色合成过程。

从这个过程可以看出, 通过色度学合成原理可以实现颜色的准确描述。但是在进行色度学彩色合成前, 我们需要获取拍摄场景中所有地物的光谱反射率信息, 这增加了实际测量的难度, 即

使通过反射率反演, 也会产生很大的误差, 影响最后的精度。

表 1 ITU-R BT.709 参照刺激色度坐标表

Table 1 CIE chromaticity for ITU-R BT.709 reference Primary and CIE standard illuminant

参照刺激	x	y	z
R(红)	0.64	0.33	0.03
G(绿)	0.30	0.60	0.10
B(蓝)	0.15	0.06	0.79
参照白 (D65)	0.3127	0.3290	0.3583

3 本文算法

白平衡法与色度学合成法各有优缺点, 为了扩大适用性范围, 同时提高计算效率和校正精度, 本文将地物的光谱信息融入到白平衡法中, 通过色度学合成原理, 与白平衡法相结合对多光谱彩色合成图像进行校正。

这种改进方法的原理是: 以地物本身的属性为出发点, 通过色度学加色合成法, 将已知目标地物的光谱信息从光谱反射率空间转换到色度学空间, 得到的颜色三刺激值作为该目标的标准参

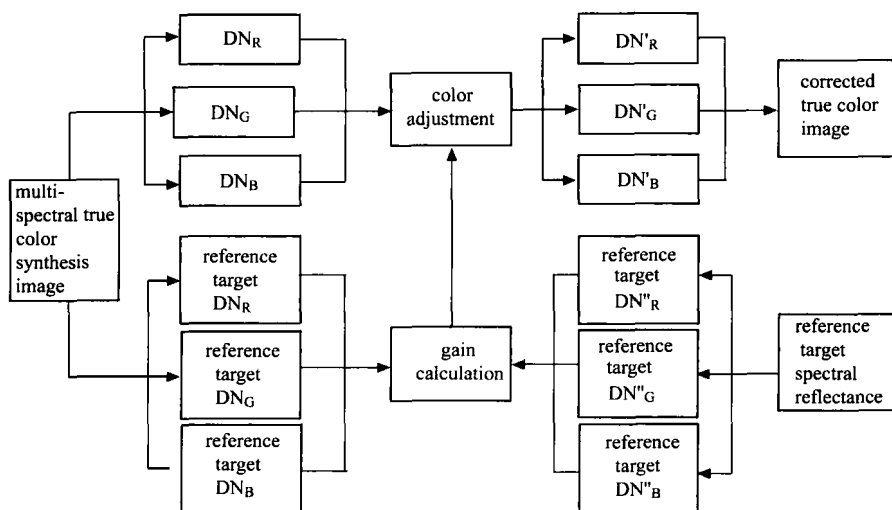


图 2 多光谱彩色合成图像色彩校正方法流程图

Fig.2 Flow chart of color correction of multi-spectral color synthesis image

考颜色值, 以此作为白平衡的校正基准, 再运用白平衡法对图像进行色彩校正, 得到还原的真彩色图像。在校正过程中, 不需要标准真彩色图像作参考, 也不需要进行反射率反演, 只需要获得被摄图像中一种非彩色地物的光谱信息即可, 这在实际校正过程中较容易获取。校正流程如图 2 所示。

改进方法主要分为两个模块, 一是将地物的光谱信息通过色度学合成原理转换为标准参考颜色值, 作为白平衡校正的基准; 二是运用白平衡法进行颜色校正。具体步骤如下:

1) 对于图像上的给定参考地物目标, 测得其光谱反射率为 $\rho(\lambda)$ (或者从典型地物波谱数据库中获取), 入射光谱辐亮度为 $S(\lambda)$, 则该目标的反射辐射亮度波谱 $\psi(\lambda) = S(\lambda)\rho(\lambda)$;

2) 根据色度学合成原理^[5], 将该目标的反射辐射波谱在可见光波段范围内按波长加权光谱三刺激值 $(\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda))$ 。其中 $(\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda))$ 以 5 nm 波长间隔取 CIE 1931 标准色度观察者光

谱三刺激值, $S(\lambda)$ 取标准 D65 光源, 可近似模拟日光的光谱功率分布, 对每一波长的三刺激值进行积分, 就得到该目标在 XYZ 空间的颜色三刺激值为

$$\begin{cases} X = k \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \psi(\lambda)\bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = k \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \psi(\lambda)\bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z = k \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} \psi(\lambda)\bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases}, \quad (7)$$

式中 k 为调整因素, $k = 100 / \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda) d\lambda$;

3) 得到参考目标在 XYZ 空间的颜色三刺激值 (X, Y, Z) 后, 由于 XYZ 颜色空间是设备无关颜色空间, 还需要将其转换到计算机显示器 RGB 颜色空间下的颜色值 (R, G, B) , 用 (R, G, B) 记录目标的颜色值。取 D65 光源在 XYZ 颜色空间^[2]中坐标 $(0.3127, 0.3290, 0.3583)$ 为标准参考白点, 其在 ITU-R BT.709 色度空间中的坐标 (R, G, B) 转换为

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.24048 & -1.53715 & -0.49854 \\ -0.96926 & 1.87599 & 0.04156 \\ 0.05565 & -0.20404 & 1.05731 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (8)$$

此时变换得到的是线性 RGB 空间的颜色三刺激值, 还需将其转换到非线性 $R'G'B'$ 彩色空间

$$\begin{cases} R' = 1.055 \times R^{(1.0/2.4)} - 0.055 \\ G' = 1.055 \times G^{(1.0/2.4)} - 0.055 & 0.00304 < R, G, B \leq 1.0 \\ B' = 1.055 \times B^{(1.0/2.4)} - 0.055 \end{cases},$$

$$\begin{cases} R' = 12.92 \times R \\ G' = 12.92 \times G & 0 \leq R, G, B \leq 0.00304 \\ B' = 12.92 \times B \end{cases}, \quad (9)$$

上述两公式的效果近似于伽马为 2.2 的伽马校正, 补偿了显示器的非线性失真, 达到色彩再现;

4) 将公式 (9) 计算得到的 R', G', B' 颜色值作为标准参考值, 它是通过地物的光谱信息获取

的, 是固定不变的, 可作为白平衡校正的基准, 同时在原始的彩色合成图像上找到对应的目标区域进行统计计算, 运用白平衡法公式 (1) 或 (2) 可得出增益系数 $GainR, GainG, GainB$;

5) 使用上一步操作得到的增益系数 $GainR, GainG, GainB$ 通过公式 (3) 对整幅图像进行白平衡校正。

4 实验结果与分析

实验选取的待校正多光谱图像于 2010 年 10 月拍摄于新疆某地, 波段范围分别为 B(蓝): $0.43\sim 0.52 \mu m$, G(绿): $0.52\sim 0.61 \mu m$, R(红): $0.61\sim 0.69 \mu m$, NIR(近红外): $0.76\sim 0.9 \mu m$ 。真彩色合成使用其中的 R、G、B 三个波段图像。灰度世界法、镜面反射法、灰度 - 镜面结合法利用的是图像的统计特征, 而本文算法选取的是人工地物目标, 其光谱信息通过美国 ASD 公司的可见近红外地物波谱仪测量得到。提取其中一块区

域。原始多光谱彩色合成图像如图 3(a) 所示。从中可以看出, 直接合成的彩色图像色彩发生严重失真, 图像整体偏蓝, 不易判别。在没有标准真彩色图像作参考的情况下, 我们分别使用传统的灰度世界法、镜面反射法、灰度 - 镜面结合法以及本文提出的方法来进行比较和分析。从目视效果看, 虽然不同的方法都能达到一定的校正效果, 但是不同方法产生的效果之间也存在不同程度的差异, 具体分析如下:

1) 灰度世界法校正后的结果如图 3(b) 所示。从图中可以看出, 由于图像本身色彩不是足够丰富, 使得校正后的图像偏黄, 仍处于偏色状态;

2) 镜面反射法校正后的结果如图 3(c) 所示。从图中可以看出, 由于原始图像中存在过亮点, 校正后图像偏红, 出现过校正现象;

3) 使用灰度 - 镜面结合法校正结果如图 3(d) 所示。它折衷了灰度世界法与镜面反射法的增益系数, 从图中可以看出, 校正后图像效果处于灰

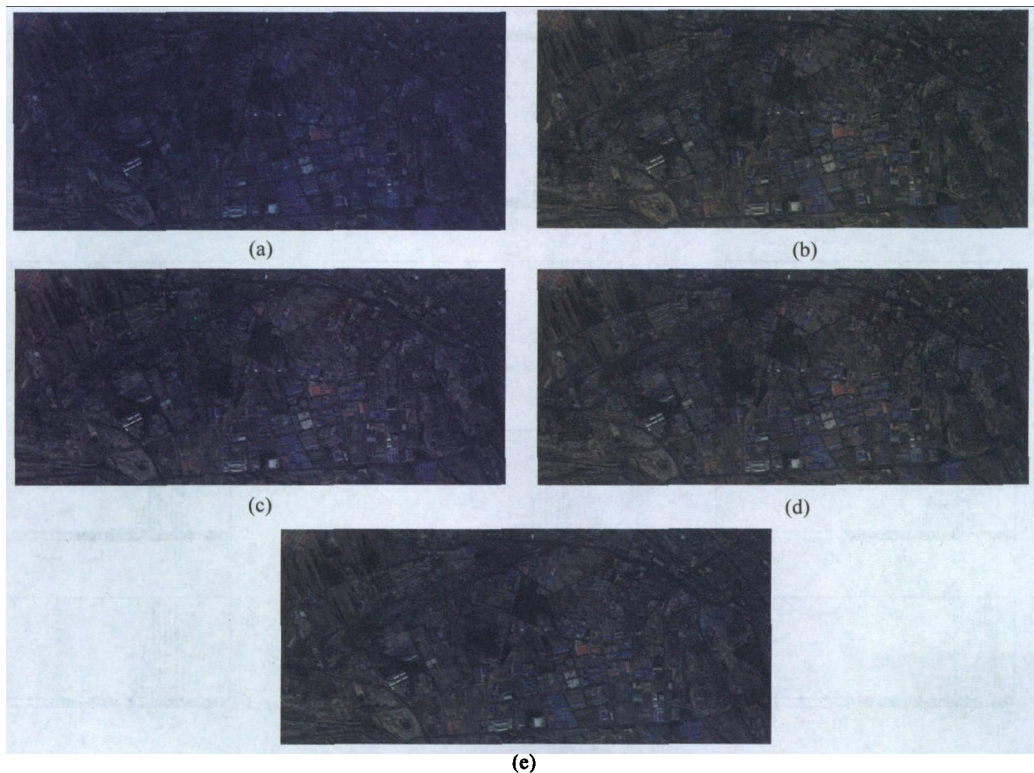


图 3 各种方法比较效果图

Fig.3 Images after correction of several Methods

度世界法与镜面反射法之间, 仍有偏色;

4) 采用本文的基于光谱信息的改进白平衡法校正结果如图 3(e) 所示。从图中可以看出, 此方法的校正效果更好, 从视觉上能真实再现物体的颜色, 从图像中可明显地判断出来。

以上采用的是主观评价法, 从视觉上评价图像的真彩色校正效果。下面将从客观上进行评价。本文采用直方图对比法和色差比较法。

直方图对比法通过比较原始图像与各种方法校正后图像的 R, G, B 三通道的直方图分布来判断其颜色校正的效果。如图 4 所示, 直方图从上到下五行分别对应的是原始图像、灰度世界法图像、镜面反射法图像、灰度-镜面结合法图像和本文算法所得图像。从直方图中可以看出, 原始图像蓝色分量所占比例较大, 所以图像偏蓝; 镜面反射法蓝色分量相比原始图像调整不大, 仍偏

色严重; 而灰度世界法, 灰度-镜面结合法与本文算法蓝色分量调整系数相当, 但具体色差大小还需用数值来描述。总之, 从直方图可以看出, 实验采取的各种校正方法对蓝色分量均有较大的调整, 均达到了一定的颜色校正效果, 与上面的主观评价完全相符。

色差比较法^[10]是通过比较校正前后图像的色差大小来分析图像的校正效果。图像的平均色差一般表示为 $\overline{Cb_{av}^2 + Cr_{av}^2}$, 其中 Cb_{av} , Cr_{av} 为将图像从 RGB 空间转换到 YCbCr 空间后的 Cb , Cr 分量平均值。其值越小, 表明校正效果越好。从表 2 可以看出, 虽然灰度世界法、镜面反射法和灰度-镜面结合法也能达到一定的校正效果, 但是本文算法得到的色差值 $\overline{Cb_{av}^2 + Cr_{av}^2}$ 最小, 这说明本文算法白平衡校正的效果更好。

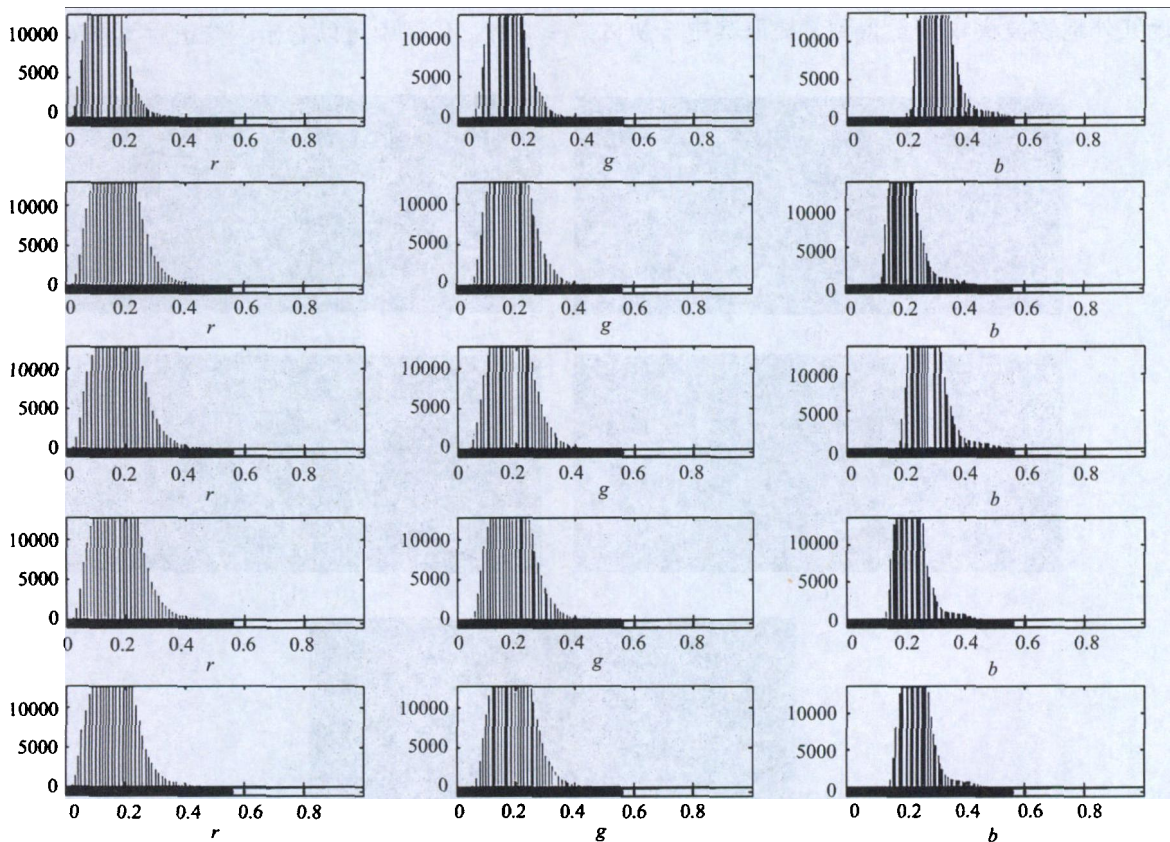


图 4 直方图对比图

Fig.4 The Contrasts of the histogram of these several methods

表 2 平均色差统计

Table 2 Statistics of average color aberration

Image	Average color aberration
Original image	0.740108
Gray world method	0.710763
Mirror method	0.732908
Combination of gray world with mirror method	0.721001
This method	0.690093

5 结 语

本文针对传统白平衡法与色度学合成法的不足, 提出了一种基于光谱信息的改进白平衡法, 对多光谱彩色合成图像进行颜色校正。该方法首先充分利用地物丰富的光谱信息, 将地物的光谱信息通过色度学原理转化为标准参考颜色值, 作为白平衡校正的基准, 然后再运用白平衡法对彩色合成图像进行校正。

这是一种针对多光谱彩色合成图像、简化的、需要参数较少的改进白平衡法, 在校正过程中既不需要标准真彩色图像, 也不需要获取图像中所有地物的光谱反射率或者进行反射率反演, 只需获取一种地物的光谱信息即可, 由其转化得到的标准参考值是与地物本身性质相关的, 是固定不变的, 不受环境因素的影响, 将其作为白平衡校正的基准, 可以克服偏色图像统计特性的影响。这对于在实际校正过程中无法获得实际拍摄环境各种参数的情况下是一种比较适用的校正方法。实验结果表明, 该方法简单有效, 快速准确。虽然在校正过程中用 D65 光源代替实际的入射光谱辐亮度对校正结果有一定的影响, 但是相比传统的白平衡法校正效果来说, 有较大改进。该方法为进一步研究多光谱彩色合成图像的颜色校正提供了一种解决思路。

参考文献:

- [1] Yang Weiping, Xu Nan, Duan Jianjin, et al. Application and development of multispectral imaging technology in color reproduction [J]. *Journal of Yunnan University of Nationalities(Natural Sciences Edition)*, 2009, 18(3): 191-197(in Chinese). 杨卫平, 徐楠, 段剑金, 等. 多光谱成像技术在颜色复制方面的应用及发展 [J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2009, 18(3): 191-197.
- [2] Rosen M R. *Navigating the Roadblocks to Spectral Color Reproduction: Data-Efficient Multi-Channel Imaging and Spectral Color Management* [D]. Rochester: Doctorial Dissertation of Dissertation of Rochester Institute of Technology, 2003.
- [3] Lam H K, Au O C, Wong C W. Automatic white balancing using luminance component and standard deviation of RGB components(image preprocessing) [C]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004, 3(3): 493-496.
- [4] Lam E Y. Combining gray world and retinex theory for automatic white balance in digital photography [C]. *Proceedings of the Ninth International Symposium on Consumer Electronics*, 2005, 1(1): 134-149.
- [5] Jing Qicheng, Jiao Shulan, Yu Bolin, et al. *Chromaticity* [M]. Beijing: Science Press, 1979: 324-337(in Chinese).

- 荆其诚, 焦书兰, 喻柏林, 等. 色度学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 324-337.
- [6] Kao W C, Wang S H, Kao C C, et al. Color reproduction for digital imaging systems [C]. 2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2006: 4599-4602.
- [7] Barnard K, Cardei V, Funt B. 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.
- [8] Cheng Y C, Chen W H, Chen Y Q. Automatic white balance for digital still camera [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1995, **41**(3): 460-466.
- [9] Wang Xuejing, Zhang Jian, Wei Zhonghui, et al. Color correction for remote sensing images based on remote sensing camera model [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2002, **21**(6): 443-446(in Chinese).
王雪晶, 张 健, 魏仲慧, 等. 基于遥感相机模型的遥感图像彩色校正 [J]. *红外与毫米波学报*, 2002, **21**(6): 443-446.
- [10] Lin J L. An automatic white balance method based on edge detection [J]. *IEEE Tenth International Symposium Consumer Electronics*, 2006, **1**(1): 1-4.

作者简介: 游 晶 (1986-), 女, 湖北武汉人, 研究生, 主要从事遥感图像处理技术的研究工作。