

文章编号:1004-4213(2010)03-0559-6

改进灰度世界颜色校正算法*

徐晓昭,蔡轶珩,刘晓民,刘长江,沈兰荪

(北京工业大学 信号与信息处理研究室,北京 100124)

摘要:讨论了灰度世界算法,提出了两种改进的灰度世界算法——基于标准差加权的算法和基于图像熵约束的算法,从而避免了当给定图像仅有少量几种颜色或大块单一颜色时的算法失效问题.通过对算法颜色校正结果进行主观(视觉上)评价,并对算法性能通过使用色差数据进行了客观评价.实验结果表明:改进算法对实际采集的图像和下载的图像都有较好的校正效果.

关键词:图像处理;颜色校正;灰度世界;标准差加权;图像熵

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103903.0559

0 引言

颜色是图像的一种重要特征,对于图像分割、目标检测与识别、图像检索等领域的研究具有重要的意义.人的视觉系统具有颜色恒常性,能从某些变化的光照环境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,不同的光照环境,将会导致采集的图像的颜色与物体真实颜色之间存在一定程度的偏差.这种偏差将会影响后续图像分析的准确度和鲁棒性.所以寻求合适的颜色校正算法,消除光照环境等对颜色显现的影响,使成像设备所采集的图像能正确反映物体的真实颜色已成为当前的一个研究热点.

目前,颜色校正算法的研究已经取得了一定的进展.其中比较经典的算法是灰度世界算法^[1]和完美反射算法^[2].灰度世界算法是以灰度世界假设为基础的,该假设认为对于一幅有着大量色彩变化的图像, R 、 G 、 B 三个分量的平均值趋于同一个灰度值.完美反射算法的基本思想是统计 R 、 G 、 B 三个分量的最大值,从而可以获得未知光源的信息,并以此为准进行颜色校正.文献^[3]提出了色域映射算法,认为不同光照其对应色域之间存在一个线性映射变换,且这个变换是一个三维对角阵,并且同一光照下的不同颜色可以构成一个封闭有界的凸集.如果能够确定未知光照到标准光照的映射对角阵,则

在未知光照条件下采集的图像便可以通过求出的对角阵映射到标准光照下.文献^[4]提出了利用神经网络估计光源色度,从而去除非标准光照的影响.神经网络需要大量的数据做训练,颜色校正准确度较高,但其缺点是收敛速度较慢、易陷入局部最优.文献^[5]提出了模拟人眼颜色恒常能力的 Retinex 算法,与其它几种算法不同,Retinex 算法直接计算校正的图像.由于 Retinex 算法采用随机路径的办法来估计像素颜色,因此计算量很大.此外,还有基于双色反射模型^[6]、基于贝叶斯模型^[7]、基于有限维模型^[8]、基于国际色彩联盟(International Color Consortium, ICC)色彩管理^[9]的颜色校正算法等.

尽管现在已有一些较为成熟的颜色校正算法,但灰度世界算法由于其计算比较简单仍被广泛的应用.然而,灰度世界算法也存在一定的局限性,当图像中颜色数量较少或出现大块单一颜色时(例如大片的蓝色天空或绿色草地),该算法常会失效.为此本文提出了两种改进的灰度世界算法——基于标准差加权的算法和基于图像熵约束的算法.

1 灰度世界算法

1.1 彩色图像成像理论

根据朗伯(Lambert)反射模型,用成像设备拍摄一幅图像时,成像设备输出的图像数据可以用式(1)表示

$$I_k(x) = \int_F [S_k(\lambda)E(\lambda)R(x, \lambda)]d\lambda \quad k=R, G, B \quad (1)$$

式中: I_k 是图像第 k 通道的像素值,积分限 F 代表的是可见光谱(380~780 nm), S_k 是成像设备第 k 通道的响应系数, R 是物体表面的光谱反射率, E 是光源的光谱功率分布, x 是空间坐标, λ 是波长.由此可知,图像的颜色决定于采集物体本身的光谱反射率、光照环境、以及成像设备的通道响应特性等.

*国家自然科学基金重点项目(60431020)、北京市自然科学基金项目(3052005)、教育部博士点基金项目(20040005015)、北京工业大学第六届研究生科技基金资助课题(ykj-2007-1908)和北京工业大学第二届研究生创新设计竞赛资助

Tel:010-67391587-802 Email:xuxiaozhao@emails.bjut.edu.cn
收稿日期:2008-08-06 修回日期:2008-11-10

对于一个已有感知的白色物体来说,若在暖色(偏红)的光源照射下,成像设备采集的图像会偏红,而人的感觉依旧是白色,如图1.这是因为人的视觉系统具有一种保持“颜色恒常”的特性,但是成像设备只能“如实地”记录下光源投射到物体上后经物体反射或透射出来的光信息.为了补偿这种由于光源的变化而引起的偏色,就需要采用颜色校正算法.

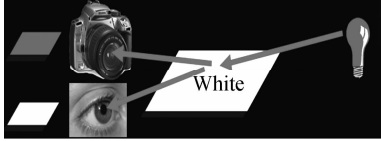


图1 颜色恒常性示意

Fig.1 The sketch of color constancy

1.2 灰度世界算法

灰度世界算法基于“灰度世界假设”,即认为在客观世界中,一般来说物体及其周围环境的色彩变化是随机的、独立无关的.灰度世界算法的目标是估算出 \hat{E} ,进而根据 Von Kries 对角理论^[10]进行颜色校正.

$$\hat{E} = \int_F S_k(\lambda) E(\lambda) \quad (2)$$

式(2)中 $S_k(\lambda)$ 和 $E(\lambda)$ 通常都是未知的,如果没有进一步的假设这将是“病态”问题.灰度世界算法假设场景中的平均反射率系数是一种灰色值,即

$$\frac{\int R(x, \lambda) dx}{\int dx} = k \quad (3)$$

式中, k 是一个常量值.通常有两种方式得到 k 值:1)直接给定 k 为固定值,取其各通道最大值的一半,即 $k=128$;2)令 $k=(\bar{R}+\bar{G}+\bar{B})/3$, \bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B} 分别表示红、绿、蓝三个通道的平均值.本文采用的是第二种方式.通过计算三个通道的平均值即可估算出 \hat{E} .

$$\frac{\int I_k(x) dx}{\int dx} = \frac{\int \int_F [S_k(\lambda) E(\lambda) R(x, \lambda)] d\lambda dx}{\int dx} = \frac{\int R(x, \lambda) dx}{\int dx} \int_F S_k(\lambda) E(\lambda) = k \int_F S_k(\lambda) E(\lambda) = k\hat{E} \quad (4)$$

具体计算步骤为:

1)计算图像 R 、 G 、 B 三个通道的平均值(\bar{R} 、 \bar{G} 、 \bar{B})

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \quad \bar{G} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i \quad \bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i \quad (5)$$

式中: N 为图像的像素总数, R_i 、 G_i 、 B_i 分别为校正前的第 i 个像素红、绿、蓝三个分量的值.

令图像的平均灰度值

$$\overline{\text{Grey}} = \frac{(\bar{R} + \bar{G} + \bar{B})}{3} \quad (6)$$

2) R 、 G 、 B 三个通道的增益系数为

$$k_r = \frac{\overline{\text{Grey}}}{\bar{R}} \quad k_g = \frac{\overline{\text{Grey}}}{\bar{G}} \quad k_b = \frac{\overline{\text{Grey}}}{\bar{B}} \quad (7)$$

根据 Von Kries 对角模型,对于图像中的每个像素 C ,调整其 R 、 G 、 B 分量,使得

$$\begin{cases} C(R') = C(R) \cdot k_r \\ C(G') = C(G) \cdot k_g \\ C(B') = C(B) \cdot k_b \end{cases} \quad (8)$$

k_r 、 k_g 、 k_b 分别为 R 、 G 、 B 三通道的增益系数. R' 、 G' 、 B' 分别为校正后的红、绿、蓝三个分量的值.

3)将图像各个像素 R' 、 G' 、 B' 调整到可显示范围之内 $[0, 255]$.例如对于24位真彩图,令 MAX_{val} 为图像中所有 R' 、 G' 、 B' 三个分量中的最大值,使

$$\text{factor} = \frac{\text{MAX}_{\text{val}}}{255} \quad (9)$$

如果 $\text{factor} > 1$,则对于图像中的每个像素 C ,重新调整其 R' 、 G' 、 B' 分量,使得

$$C(R') = \frac{C(R')}{\text{factor}} \quad C(G') = \frac{C(G')}{\text{factor}} \quad C(B') = \frac{C(B')}{\text{factor}} \quad (10)$$

2 改进的灰度世界算法

2.1 基于标准差加权的灰度世界算法

针对灰度世界算法不能适应图像中具有大块单一颜色的情况,本文提出了基于标准差加权的灰度世界算法.其基本思路是:首先将要处理的图像分成若干宏块,然后计算出每一宏块 R 、 G 、 B 三个通道平均值和标准差.如果标准差大,说明该宏块中颜色较丰富,因为当某一宏块中有不同物体时,其颜色的差别相对较大,标准差也大.同理,宏块中颜色比较单一时,标准差较小.通过对每一宏块进行标准差加权(舍弃相关性小的宏块,保留相关性大的宏块),可以减小大块单一颜色的影响,相当于将大块单一颜色的图像“转化”为具有丰富色彩的图像.

算法处理过程为:

1)首先将待处理的源图像划分成大小为 16×16 的宏块 $B_{i,j}$ ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$),共分成 $m \times n$ 个宏块.由于宏块的大小对结果有很大的影响,宏块太大或太小都不能取得很好的效果.由于实际图像的宽度和高度不一定是16的整数倍,所以在实际分块时,有可能要舍弃图像边缘的一些像素,这种处理对于结果影响不大,如图2.

2)对于每个宏块 $B_{i,j}$,计算 R 、 G 、 B 三个通道平均值($\bar{R}_{i,j}$ 、 $\bar{G}_{i,j}$ 、 $\bar{B}_{i,j}$)和标准差($SR_{i,j}$ 、 $SG_{i,j}$ 、 $SB_{i,j}$)

3)对于每个宏块 $B_{i,j}$,由式(11)计算其相关性系数

$$D_{i,j} = (|SR_{i,j} - SR_{i,j+1}| + |SG_{i,j} - SG_{i,j+1}| + |SB_{i,j} - SB_{i,j+1}|) / (|SR_{i,j} + SR_{i,j+1}| + |SG_{i,j} + SG_{i,j+1}| + |SB_{i,j} + SB_{i,j+1}|) \quad (11)$$

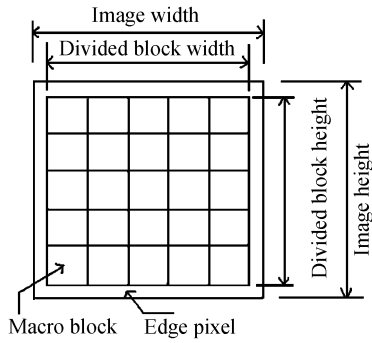


图2 宏块的划分

Fig. 2 The division of macro blocks

式中, $SR_{i,j}$ 、 $SR_{i,j+1}$ 为相邻宏块的标准差. 根据 $D_{i,j}$ 的数值对相关性的宏块进行舍弃, 以减少大块单一颜色的影响.

4) 对于每个宏块 $B_{i,j}$, 由式(12)设置标识 $F_{i,j}$

$$F_{i,j} = \begin{cases} 1 & D_{i,j} \geq \phi \\ 0 & D_{i,j} < \phi \end{cases} \quad (12)$$

式中: ϕ 为预设的门限值, $\phi = 0.1$.

5) 由式(13)计算标准差加权的 R 、 G 、 B 平均值

$$\begin{aligned} \overline{WR} &= \frac{\sum_{i=1,j=1}^{i=m,j=n} F_{i,j} \cdot \overline{R}_{i,j}}{\sum_{i=1,j=1}^{i=m,j=n} F_{i,j}} & \overline{WG} &= \frac{\sum_{i=1,j=1}^{i=m,j=n} F_{i,j} \cdot \overline{G}_{i,j}}{\sum_{i=1,j=1}^{i=m,j=n} F_{i,j}} \\ \overline{WB} &= \frac{\sum_{i=1,j=1}^{i=m,j=n} F_{i,j} \cdot \overline{B}_{i,j}}{\sum_{i=1,j=1}^{i=m,j=n} F_{i,j}} \end{aligned} \quad (13)$$

6) R 、 G 、 B 三通道的增益系数为

$$\begin{cases} R_{\text{gain}} = \frac{(\overline{WR} + \overline{WG} + \overline{WB})}{3 * \overline{WR}} \\ G_{\text{gain}} = \frac{(\overline{WR} + \overline{WG} + \overline{WB})}{3 * \overline{WG}} \\ B_{\text{gain}} = \frac{(\overline{WR} + \overline{WG} + \overline{WB})}{3 * \overline{WB}} \end{cases} \quad (14)$$

7) 由式(15)进行增益系数校正, 并将图像各个像素 R_{new} 、 G_{new} 、 B_{new} 调整到可显示范围之内 $[0, 255]$.

$$\begin{cases} R_{\text{new}} = R_{\text{gain}} \times R \\ G_{\text{new}} = G_{\text{gain}} \times G \\ B_{\text{new}} = B_{\text{gain}} \times B \end{cases} \quad (15)$$

2.2 基于图像熵约束的灰度世界算法

针对灰度世界算法在场景颜色较少的情况下性能恶化的不足, 本文又提出了一种利用图像熵来约束增益系数从而防止校正恶化的算法. 灰度世界算法是根据实际拍摄的图像颜色信息来做颜色校正的, 因此图像颜色信息有着决定性的影响. 文献[11]用实验比较了在场景颜色数目改变情况下的效果, 颜色越多, 则颜色校正误差越小; 而颜色越少, 误差就越大. 目前的灰度世界算法, 对颜色较少的情况没

有预防措施, 在这种情况下, 校正比不校正的误差还要大. 因此必须寻找检测这种特殊情况的机制以减少其影响, 熵正好是一个适用的工具.

信息论中的熵是描述一个变量信息量的多少, 定义为: 假设随机事件集合 $\{X_i, i=1, 2, \dots, N\}$, 它们出现的概率分别为 p_i , 并满足条件

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1, 0 \leq p_i \leq 1, i=1, 2, \dots, N \quad (16)$$

定义信息熵为

$$H(p_1, p_2, \dots, p_N) = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (17)$$

假定图像数据具有非负值, 即 $f(x, y) \geq 0$, 对于一幅 $M \times N$ 的图像, 定义图像熵 $H(f)$ 为

$$H(f) = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{i,j} \log_2 p_{i,j} \quad (18)$$

式中

$$p_{i,j} = \frac{f(i,j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i,j)} \quad (19)$$

图像熵^[12]是图像所包含信息的一种统计形式, 它反映了图像中平均信息量的多少. 图像的一维熵表示图像中灰度分布的聚集特征所包含的信息量, 令 P_i 表示图像中灰度值为 i 的像素所占的比例, 则定义灰度图像的一维离散熵为

$$H = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \quad (20)$$

对于彩色图像求图像熵, 首先统计三个通道其灰度值的频率分布, 然后计算其一维离散熵, 最后计算三个通道一维离散熵的平均值作为图像熵.

对于实际图像, 熵的大小不仅取决于图像内容, 还取决于是用多少比特位数来表达灰阶. 在这里定义相对熵 H_R , 它反映了图像颜色的丰富程度.

$$H_R = \frac{H}{N_{\text{bit}}}, H_R \in [0, 1] \quad (21)$$

式中, N_{bit} 是灰阶的比特位数. 如果是二值图像, 则 $N_{\text{bit}} = 1$; 如果是 256 灰阶图像, 则 $N_{\text{bit}} = 8$.

如图3, 图像颜色数量越多、越丰富, 则其相对



图3 颜色数量对熵的影响

Fig. 3 The effect of color amount on entropy

熵越大; 反之, 则越小. 其中 H_R 为三个通道相对熵的平均值.

具体实现过程可分为三个步骤:

1) 首先对图像的三个颜色通道分别计算一维离散相对熵

$$H_R^k = \frac{-\sum_{i=0}^{255} P_{k,i} \log_2 P_{k,i}}{8} \quad (22)$$

式中: $k=R, G, B$; $P_{k,i}$ 表示 k 分量的灰度值为 i 的像素在图像中所占的比例.

2) R, G, B 三通道的“约束”增益系数为

$$\begin{cases} k_r^r = (k_r - 1) \cdot H_R^R + 1 \\ k_g^g = (k_g - 1) \cdot H_R^G + 1 \\ k_b^b = (k_b - 1) \cdot H_R^B + 1 \end{cases} \quad (23)$$

式中, k_r, k_g, k_b 为灰度世界算法的三个通道增益系数.

3) 进行“约束”增益系数校正.

图像颜色越丰富, 则 H_R^k 越接近于 1, $k_r^r \approx k_r$, $k_g^g \approx k_g$, $k_b^b \approx k_b$, 即对通道的增益系数几乎没有做任何的调整; 反之图像颜色越少, H_R^k 越接近于 0, $k_r^r = k_g^g = k_b^b \approx 1$, 图像颜色不做任何校正, 从而防止了“过校正”的现象. 从图 4 可以看出, 原始图像颜色数量较少, 直接采用灰度世界算法校正后的颜色偏差较大; 而采用图像熵约束, 图像的颜色质量明显得到了改善, 在一定程度上减少了灰度世界算法的校正误差.

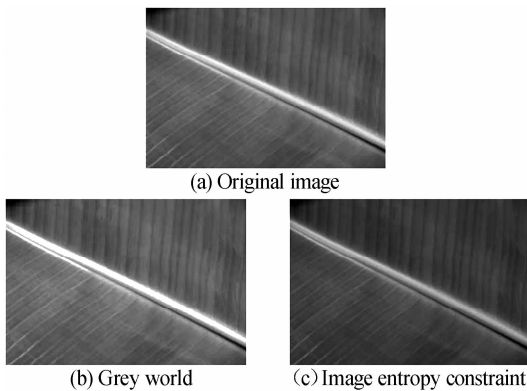


图 4 灰度世界和图像熵约束颜色校正结果比较
Fig. 4 The comparison of color correction results between grey world and image entropy constraint

3 实验结果与分析

3.1 颜色校正效果评价标准

颜色校正的效果通常有两种评价标准: 主观评价标准和客观评价标准^[13]. 主观评价标准就是直接利用观察者的视觉感受, 对颜色质量直接进行视觉评价. 客观评价标准通常是在 CIE1976Lab 颜色空间^[14], 利用目标颜色和校正颜色的色差作为评价标准. 色差是用数值的方法表示两种颜色给人感觉上的差别. 色差越小, 说明两种颜色越接近, 反之说明两种颜色差别越大. CIE1976Lab 颜色空间是一种均匀色差的色度空间, 其中 L 代表明度分量, a 和 b 代表色度分量, a 分量由绿色渐变到红色, b 分量由

蓝色渐变到黄色. 从 RGB 空间到 Lab 空间的转换可分两步来实现. 第一步是从 24 bit 真彩的 RGB 空间转换到 XYZ 空间, XYZ 空间是一种设备无关的“过渡”颜色空间. 第二步将 XYZ 空间转换为 Lab 空间. 若两种颜色都按 L, a, b 标定, 则两者之间的色差 ΔE_{ab} 可用式(24)计算 CIE1976Lab 色差公式

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{单位: NBS} \quad (24)$$

式中, 明度差: $\Delta L = L_1 - L_2$ (25)

$$\text{色度差: } \Delta a = a_1 - a_2 \quad \Delta b = b_1 - b_2 \quad (26)$$

一般采用校正图像和目标图像的平均色差作为评价指标

$$\Delta E_{ab} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(L_i - L_{obj})^2 + (a_i - a_{obj})^2 + (b_i - b_{obj})^2]^{1/2} \quad (27)$$

式中, n 为图像像素总数.

3.2 图像熵约束的性能分析

为了检验在颜色数目较少时基于图像熵约束算法性能的优劣, 本文采用麦克贝斯标准色卡 (Macbeth Color Checker) 中的第 1~6 号色块的颜色以及背景色共 7 种不同的颜色, 如图 5.

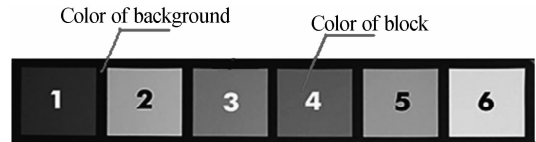


图 5 7 种不同的颜色
Fig. 5 Seven different colors

对 7 种颜色进行了灰度世界算法和基于图像熵约束算法的颜色校正实验, 实验结果如图 6. 由图 6 可以看出: 1) 随着颜色数目的逐渐增多, 灰度世界算法和基于图像熵约束算法都使色差逐渐减小; 2) 在

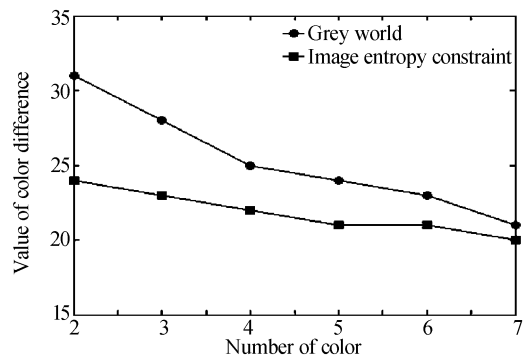


图 6 灰度世界和图像熵约束的性能比较
Fig. 6 The comparison of performance between grey world and image entropy constraint

颜色数目比较少时, 灰度世界算法得到的色差比较大, 其根本原因在于不满足灰度世界假设. 相比之下基于图像熵约束的算法得到的色差比较小, 其约束机制对灰度世界算法性能的恶化起到了很好的“抑制”作用; 3) 在颜色数目比较多时, 两条色差曲线逐

渐趋于一致,其约束机制几乎不影响灰度世界算法的性能.

3.3 各种算法颜色校正的实验结果及分析

首先对钨丝灯光源下实际采集的原始图像进行了颜色校正实验,实验结果如图 7. 由色度学可知,光源的色温较低,采集的图像偏红,光源的色温较高,采集的图像偏蓝. 由于原始图像是在色温较低的钨丝灯光源下采集的,所以图像整体偏红. 目标图像是在自然光条件下利用数码相机的自动白平衡功能



图 7 各种颜色校正算法的主观比较
Fig. 7 The subjective comparison of different color correction algorithms

图 8 给出了各种颜色校正算法的客观色差数值的比较. 对同一幅原始图像用不同算法进行处理将得到不同的结果,分别计算这些处理后的图像与目标图像的色差(平均色差),通过比较不同算法的色差就可以评价其优劣. 可以看出,没有经过颜色校正的原始图像和目标图像在 Lab 颜色空间的色差值很大,而经过三种算法进行颜色校正后的色差值均有不同程度的减小. 和灰度世界算法相比,基于标准差加权的算法和基于图像熵约束的算法都取得更小的色差值,从而也表明了这两种算法的有效性.

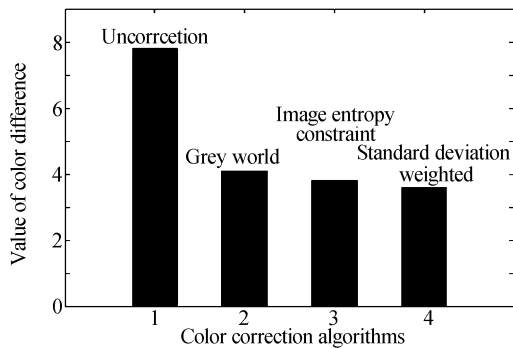


图 8 各种颜色校正算法的客观比较
Fig. 8 The objective comparison of different color correction algorithms

为了验证改进算法对其它图像的有效性,对互联网下载的颜色相对丰富的图像也进行了颜色校正实验. 采集图像时的光照环境、采用何种成像设备以及成像设备的通道响应特性等都是未知的,实验结果如图 9. 同样,本文改进算法也取得了较好的颜色校正效果.

对同一场景采集的,而且严格保证原始图像和目标图像具有相同的尺度. 从图 7 中可以看出,灰度世界算法在一定程度上对偏色图像进行了颜色校正,但和目标图像的主观感觉还是有一些差异. 这主要是因为原始图像存在大块单一颜色,其颜色并不十分丰富,所以其颜色校正结果不是很理想. 而用基于标准差加权的算法和基于图像熵约束的算法,主观感觉和目标图像几乎没有差异.

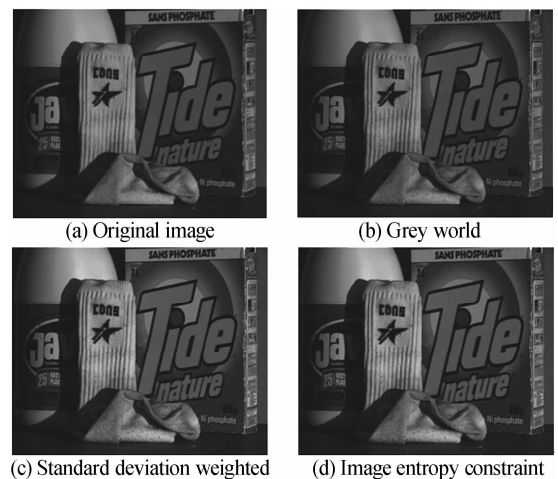


图 9 互联网下载图像颜色校正结果
Fig. 9 The color correction results of downloaded image from internet

4 结论

针对灰度世界算法的不足,本文提出了两种改进的灰度世界算法——基于标准差加权的算法和基于图像熵约束的算法. 通过对实际采集图像和互联网下载图像进行颜色校正实验,改进算法不仅适用于大块单一颜色图像或颜色较少图像,而且对颜色丰富的图像也具有较好的有效性.

参考文献

- [1] GASPARINI F, SCHETTINI R. Color correction for digital photographs [C]. *Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing*, 2003:646-651.
- [2] GASPARINI F, SCHETTINI R. Color balancing of digital photos using simple image statistics[J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(6):1201-1217.

- [3] FINLAYSON G, HORDLEY S. Improving gamut mapping color constancy[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, **9**(10):1774-1783.
- [4] CARDEI V, FUNT B, BARNARD K. Estimating the scene illumination chromaticity using a neural network[J]. *JOSA A*, 2002, **19**:2374-2386.
- [5] JIANG Xing-fang, JIN Long, HE Long-hua, *et al.* Research of the color remote sensing image fusing method based on Retinex and edge extraction[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(3):565-567.
江兴方, 金龙, 何隆华, 等. 基于 Retinex 彩色图像增强及其闭合区域提取的研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(3):565-567.
- [6] LI Jin-zong, ZHANG Ze-xu, WEI Xiang-quan, *et al.* Research of color constancy based on dichromatic reflection model[J]. *Journal of System Simulation*, 2001, **13**:148-155.
李金宗, 张泽旭, 魏祥全, 等. 基于双色性反射模型的彩色不变特征的研究[J]. *系统仿真学报*, 2001, **13**:148-155.
- [7] SANDRA S, ARBEL T, JAMES J C. Active Bayesian color constancy with non-uniform sensors[C]. *Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition*, 2002, **2**:681-684.
- [8] CAI Yi-heng, SHEN Lan-sun, WEI Bao-guo, *et al.* Color reproduction in computer vision[C]. *SPIE*, 2005, **60431V**(1-9).
- [9] CAO Mei-ling, CAI Yi-heng, LIU Chang-jiang, *et al.* ICC-based color correction in a new type instrument for tongue image analysis[J]. *Measurement & Control Technology*, 2007, **26**(5):23-25.
曹美玲, 蔡铁珩, 刘长江, 等. 基于 ICC 标准的新型舌象仪的彩色校正研究[J]. *测控技术*, 2007, **26**(5):23-25.
- [10] ZHU Gui-dong, SHEN Li, WANG Jin-jue. A colour correction method based on the region-specific von-Kries adaptation[J]. *Computer Engineering & Science*, 2007, **29**(2):50-52.
朱贵冬, 沈理, 王今觉. 基于 von-Kries 色适应的分区颜色校正方法[J]. *计算机工程与科学*, 2007, **29**(2):50-52.
- [11] FUNT B, CARDEI V. Bootstrapping color constancy[C]. *SPIE: Electronic Imaging IV*, 1999, **3644**:421-428.
- [12] CAO Zhan-hui, LI Yan-jun, ZHANG Ke. Two dimensional maximum entropy segmentation based on ant colony optimization[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(12):2377-2380.
曹占辉, 李言俊, 张科. 基于蚁群算法的二维最大熵分割算法[J]. *光子学报*, 2007, **36**(12):2377-2380.
- [13] SHEN Lan-sun, CAI Yi-heng, ZHANG Xin-feng. Acquisition and analysis of traditional chinese medical tongue [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2007:72.
沈兰荪, 蔡铁珩, 张新峰. 中医舌象的采集与分析[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2007:72.
- [14] HUANG Xiao-qiao, SHI Jun-sheng, YANG Jian, *et al.* Study on color image quality evaluation by mse and psnr based on color difference[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**:295-298.
黄小乔, 石俊生, 杨健, 等. 基于色差的均方误差与峰值信噪比评价彩色图像质量研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**:295-298.

Improved Grey World Color Correction Algorithms

XU Xiao-zhao, CAI Yi-heng, LIU Xiao-min, LIU Chang-jiang, SHEN Lan-sun
(Signal & Information Processing Lab, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The grey world algorithm is discussed in detail, and two improved grey world algorithms are proposed, to overcome the limit that the algorithm may be ineffective in the case of few colors or large union colors image which are based on standard deviation weighted algorithm and based on image entropy constraint algorithm respectively. The algorithms are evaluated in two aspects; the color correction results are compared subjectively (visually), and the performance is evaluated objectively using color difference data. The experimental results show that the improved algorithms have better correction effect on both real capture images and downloaded images.

Key words: Image processing; Color correction; Grey world; Standard deviation weighted; Image entropy



XU Xiao-zhao was born in 1978. He received the M. S. degree from Inner Mongolia University of Science and Technology in 2006. Now he is a Ph. D. degree candidate at Signal & Information Processing Lab, Beijing University of Technology. His research interests mainly focus on digital image processing and image color correction technology.