

# 利用色彩直方图特征进行偏色图象的 自动检测和校正

郑建铎 郝重阳 雷方元 樊养余

(西北工业大学电子与信息工程研究所, 西安虚拟现实工程技术研究中心, 西安 710072)

**摘要** 在肤色检测、人脸识别、图象和视频检索的研究中,大量算法都是基于对图象色彩特征进行分析的,然而当图象发生偏色时,这些算法的性能会明显下降,甚至无效,而且由于现有的偏色校正算法,引入了其他关于偏色图象的先验性信息,具有很大的使用局限性,为此,提出了一种在只给出偏色图象的条件下,进行偏色检测和自动校正的算法.该算法首先获取并分析偏色图象在RGB各通道内的直方图特征,然后参照这些特征检测偏色通道,并通过调整偏色或非偏色通道强度分布来达到各个通道之间色彩平衡.实验表明,在较大程度的偏色情况下,该算法校正恢复出的图象与原无偏色图象能达到视觉上基本一致的效果,并具有普遍的适用性.

**关键词** 计算机图象处理(520·6040) RGB颜色空间 色彩直方图 偏色检测与校正 饱和  
**中图法分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)09-1001-07

## Automatic Illuminations Detection and Color Correction of Image Using Chromatic Histogram Characters

ZHENG Jian-hua, HAO Chong-yang, LEI Fang-yuan, FAN Yang-yu

(Electronic & Information Engineering Institute of Northwestern Polytechnical University,  
Xi'an Tech. Rsch. Center of Virtual Reality, Xi'an 710072)

**Abstract** Color is used as most an important cue in those studies such as skin detection, face detection and recognition, image and digital video retrieval. But under changing illumination, objects may show different color as the original one it is, especially the lights run out of the range of the camera sensors. In such worse condition, many algorithms become useless. In order to solve this problem, many researchers introduced additional known knowledge about the objects or environment and so have their use limitation. In this paper, an algorithm's architecture is proposed to automatically detect illumination and correct the color of image without use of any additional knowledge and any assumed ideal condition, but the image itself. By analysing the chromatic histogram characters of uncorrected color image in RGB channels, it first detect which channel cause color uncorrected and then use histogram characters above to adjust channel's intension until it reach balance between each channel. A large of different uncorrected color images is used to verify the efficiency of our algorithm, including computer simulating images, face images under different illuminants and images in art and films. The result shows that our algorithm works well in worse condition, and can correct and restore the image to its original color in most circumstance.

**Keywords** RGB color space, Chromatic histogram, Illumination detection, Color correction, Saturated image

## 0 引言

色彩是图象一个十分重要的信息,由于图象的色彩变化往往要比图象的亮度等特征变化对人眼的刺

激大得多,因此,在肤色检测、人脸检测、图象检索、视频处理、视频检索、目标跟踪等诸多关于图象和视频分析处理的算法中,往往将图色彩作为分析的重要线索,但一般不对偏色情形进行讨论,而是做了无偏色、亮度适中等理想化假设.然而,在现实世界中,这

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2001X24);航空科学基金项目(02I53071)

收稿日期:2002-06-03;改回日期:2003-04-07

种偏色情形大量存在,比如在不同色光照明下,物体发生的色彩变化;艺术照片中,对人物的处理;影视处理中,用红光模拟烛光,用蓝光模拟月光;以及因摄像机感光动态范围有限而引起的偏光等。在这种情况下,由于图象中的物体色彩和自然真实物体的色彩往往不同,此时,理想化条件下的各种利用色彩进行目标检测和识别的算法会变得无效,因此,在用这些算法进行检测之前,必须进行图象预处理,即对偏色图象进行自动、快速、准确的检测和校正。

根据三基色理论,偏色可以认为是由入射光在摄像机 R、G、B 3 个通道发生非线性响应引起的,为了便于处理,可把引起偏色的情况分为如下两类:

(1) 虽然入射光在进入摄像机时,发生了非线性响应,然而在 R、G、B 3 个通道中,所有光强度仍在摄像机感光的动态范围之内。

(2) 由于摄像机感光的动态范围有限,因而会引起曝光量和感光密度的非线性变化,即当曝光不充分或曝光过强时,胶片的感光度不再随着曝光量的变化而变化,于是发生了截断。这种现象也称之为饱和。

一般算法是将偏色当作一种非线性退化模型来处理<sup>[1]</sup>,即利用各种有约束的和无约束的代数或频域处理方法来恢复原图象,然而这种方法首先要对产生偏色的退化源特性具备充分的先验知识才能进行处理。一些研究者虽已利用检测及改变照明光谱能量分布(Spectral Power Distribution, SPD)的方法<sup>[2,3]</sup>来对特定目标(如人脸)的偏色进行校正,然而由于这种方法必须对特定目标的光谱分布具有先验知识才能进行偏色校正,因此在实际使用中不具有普遍性。Soriano 在人脸检测中,用人脸肤色区域中的未饱和和像素来估计整幅图象的色彩,用以对不同色光下的饱和和人脸图象进行校正<sup>[4,2]</sup>,但该方法必须首先确定人脸,并假定人脸像素中至少有一个通道未饱和,其实质上是利用人脸肤色分布的聚类特征作为未饱和和像素色彩的不变量来估计饱和和像素;而对于一般无事先预知目标的图象,由于其像素色彩不具有普遍的聚类特征,因此,不存在像素色彩不变量。

为了具有普遍适用性,本文不作任何理想化的假设,在只给出偏色图象的情况下,通过对其进行自动检测和校正来得到或估计出原始无偏色图象。该算法首先通过对偏色图象的色彩直方图进行分析,然后判别偏色与否、偏色通道,以及偏色类型,并分别处理:对于第1种偏色情况,本文采用动态阈值和循环校正的方法,使校正(恢复)图象与原始无偏色

图象基本上达到从视觉上无法分辨;对于第2种偏色情况,则利用人眼对图象色彩变化往往要比亮度等特征变化敏感的特性,通过估计偏色图象的偏色程度和通过调整非偏色通道图象的灰度来消除偏色,但校正后的图象比原始图象的亮度有所提高。

## 1 偏色图象在 RGB 空间上的色彩直方图分析

为了了解图象偏色情况,选用 R、G、B 3 个颜色通道图象的灰度直方图和经 YCbCr 颜色空间变换后得到的亮度通道灰度直方图来对偏色图象进行分析。图版 I 图 1 为两类典型的偏色图象,图 1 则分别为该图象在 RGB 空间上的灰度直方图。

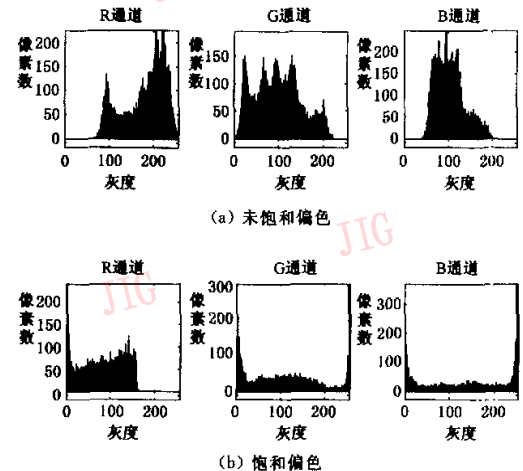


图 1 两类典型偏色图象的 R、G、B 通道图象灰度直方图

图 1(a)属于偏色的第 1 种情况,从 RGB 3 个通道的灰度直方图看,除了 R 通道图象有轻微的饱和和现象外,G 和 B 通道图象的所有像素均未达到饱和,即 3 个通道图象的所有像素基本上都在照相机感光强度动态范围之内。由图 1(a)可见,由于 R 通道图象灰度值在 200 以上的像素个数远大于 G 和 B 通道图象中对应灰度值的像素个数,并且在 R 通道大多数像素的灰度值大于 G 和 B 通道的灰度值,因此 R 通道是严重偏色通道。然后同样比较 G 和 B 通道,显然 G 通道是轻微偏色通道,记作  $R > G > B$ ,按照三基色理论,图版 I 图 1(a)严重偏红,略微偏黄。

图版 I 图 1(b)是蓝色光照明下的人脸实拍照片,属于偏色的第 2 种情况。由图 1(b)可以看出,G 和 B 通道图象在灰度最大值处发生严重的截断,而

在 R 通道图象上,灰度最大值还处于照相机的动态范围之内.由于该图大多数像素在 B 和 G 通道图象上的灰度值大于 R 通道图象灰度值,且其中有一定数量的像素在 B 通道图象上的灰度值大于 G 通道图象的灰度值,即  $B > G > R$ ,因此,图版 I 图 1(b) 视觉上严重偏蓝,轻微偏绿.同时从 3 个通道图象灰度的最小值上看,也有许多像素被截断,但数量基本相当,可见,有许多像素偏暗.

由以上分析可知,由于偏色是由一定量的像素在 R、G、B 3 个通道图象上的灰度分布具有明显的不平衡性而造成的,并且这种不平衡的趋势对大多数像素具有一致性,因此,可以先利用 RGB 空间上各个通道图象灰度直方图的形状或分布特征来对偏色图象进行检测,然后通过调整 RGB 各通道图象的灰度分布,使之达到平衡来消除偏色.

图 2 显示了两种饱和而无偏色图象的 R、G、B 图象灰度直方图.图 2(a)中,虽然 3 个通道图象都达到了饱和,但是由于达到饱和以及临近饱和的像素总数基本相当,因此,该图有许多像素视觉上接近白色;图 2(b)中,虽然在临近饱和处,在 B 通道图象上,许多像素的灰度值远大于 R 和 G 通道图象灰度值,但是,由于并不是大部分的像素都具有这一特征,因此,该图象可能有许多像素视觉上接近蓝色.

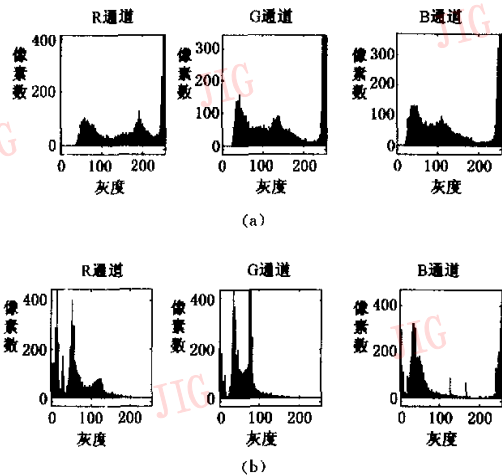


图 2 两种饱和而无偏色的图象的 RGB 色彩直方图

## 2 偏色图象的自动检测和校正算法

### 2.1 算法结构

通过以上两种偏色情况的分析,即可将偏色的

检测和校正结合起来,提出如图 3 所示的算法结构.

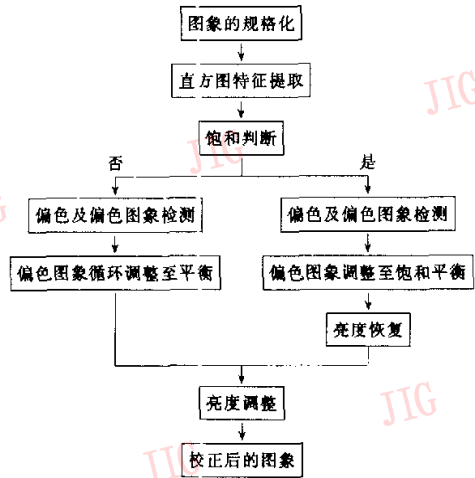


图 3 偏色图象的自动检测和校正算法

算法步骤如下:

首先将输入图象规格化为  $128 \times 128$  大小的图象,因为这样可在保持图象细节特征的条件加快处理速度;然后提取 R、G、B 3 个通道图象的各种灰度直方图特征,如各通道图象灰度的最大值、最小值,对于特定灰度下的像素个数以及各通道图象灰度是否达到正向饱和等特征.对于正向饱和与非正向饱和两种情况下的图象,可首先检测图象偏色与否,并给出偏色通道标志;然后按照饱和与非饱和时的色彩校正算法来调整各个通道图象的灰度,直至各个通道图象灰度分布达到平衡时为止.其中对于饱和图象,还需将校正后图象的亮度水平恢复到输入图象的亮度水平.在对图象的色彩进行校正的同时,还可以对原图象过暗或过亮的情况进行亮度调整.算法的最终输出结果包括偏色校正后的图象、偏色通道标识和偏色程度估计.

### 2.2 偏色图象的自动校正算法

定义 1 饱和通道图象灰度直方图第 1 明显波谷点是指当图象的某一颜色通道图象发生正向饱和时,在该通道图象的灰度直方图上,从饱和值向左寻找,当出现的第 1 个波谷点,且具有该波谷点灰度的像素个数要明显地小于其右邻域内所有灰度的像素个数时,则将该通道图象所有大于该波谷点灰度的像素个数,记作  $S_i^{(sat)}$  ( $i=R, G, B$ ),其中,  $i$  为色彩通道.

定义 2 在饱和通道的强度直方图上,若某点是波谷点,并且与该波谷点强度一致的像素个数与

其左邻域内所有强度的像素个数基本相当,则该点为单边波谷点。

**定义3** 偏色图象的校正粒度,包括偏色校正的灰度值粒度  $\sigma_1$  和像素数粒度  $\sigma_N$ 。在偏色校正算法中,前者是指在某颜色通道内,该通道图象灰度值的搜索变化步长;后者是指通道内按照某一方法统计像素数目时,像素数目可以区分的最小数额,而在此粒度之下的像素数可以忽略不计,即当两次统计得到像素数差额小于此粒度时,即可认为两次统计的像素数目基本相当。之所以要设置校正粒度,主要是因为只给出偏色图象的情况下,校正效果是以恢复到视觉上觉察无偏色为目标;同时校正粒度也可以作为判别偏色与否、偏色严重程度的基准。

偏色图象自动校正算法简要描述如下:

(1) 检测 R、G、B 3 个通道图象像素灰度的最小值和最大值,分别组成偏色图象像素灰度的最小值向量  $I^{(\min)}$  和最大值向量  $I^{(\max)}$ ,比较  $I^{(\min)}$  各分量,将其各分量中的最小值和最大值,记作  $I_{\min}^{(\min)}$  和  $I_{\max}^{(\min)}$ ;  $I^{(\max)}$  各分量中的最小值和最大值,记作  $I_{\min}^{(\max)}$  和  $I_{\max}^{(\max)}$ 。

(2) 检测图象是否是饱和和偏色图象,若任何一个颜色通道图象正向饱和和像素的个数达到预定饱和和像素个数阈值  $T_N^{(sat)}$  (一般取  $T_N^{(sat)} = \sigma_N$ ),则判定该图象饱和,否则判定该图象未饱和,而偏色图象饱和与否,其校正方法是不同的。

(3) 若偏色图象是不饱和和负向饱和和图象,则在各通道图象内,首先分别统计所有灰度值在  $I_{\min}^{(\max)}$  之上的像素数目,记作  $S_i$ , ( $i=R, G, B$ ),并用各通道图象之间  $S_i$  的差值大小来估计偏色通道和偏色程度,然后对所有检测到的偏色通道(包括轻微偏色通道)进行调整。

调整算法为:

① 设输入通道图象灰度的最小值和最大值为  $I_{\min}^{(org)}$  和  $I_{\max}^{(org)}$ ,将输入通道图象的灰度从  $[I_{\min}^{(org)}, I_{\max}^{(org)}]$  线性映射到  $[I_{\max}^{(\min)}, I_{\max}^{(\max)}]$ 。

② 搜索调整后的通道图象灰度的有效最大值  $I_{\max}$ 。搜索方法为:在调整后通道图象灰度的最大值处,以偏色校正的灰度值粒度  $\sigma_1 = 3$  为步长,向左搜索灰度值  $I$ ,直至该通道图象灰度大于或等于  $I$  的像素数目达到了  $T_N$  ( $T_N$  为判断轻微偏色的像素数阈值)为止,然后将此灰度值  $I$  作为调整后的通道图象灰度的有效最大值  $I_{\max}$ 。

③ 若  $|I_{\max} - I_{\max}^{(\max)}| < T_1$  ( $T_1$  为判断轻微偏色的

灰度阈值,一般取  $T_1 = \sigma_1$ ),则该通道图象仍需调整,转第④步。否则,认为该通道图象灰度分布已经调整到位,该通道图象灰度调整结束,转第⑤步。

④ 将调整后的通道图象作为输入,并将该通道图象灰度从  $[I_{\max}^{(\min)}, I_{\max}^{(\max)}]$  线性映射到  $[I_{\max}^{(\min)}, I_{\max}^{(\max)}]$ ,转第②步。

⑤ 根据偏色通道标志位,继续校正其他偏色通道。

(4) 若偏色图象正向饱和,则对所有正向饱和通道寻找第1明显波谷点,并统计  $S_i^{(sat)}$ , ( $i=R, G, B$ ),然后以各通道图象  $S_i^{(sat)}$  之间的差值大小来估计偏色通道和偏色程度。取  $S_{\max}^{(sat)} = \max(S_i^{(sat)})$ , ( $i=R, G, B$ )。对于满足  $S_i^{(sat)} < S_{\max}^{(sat)}$  ( $i=R, G, B$ ) 的通道图象进行调整。

调整算法为:

① 在输入通道图象内寻找灰度值  $I$ ,使得该通道内图象中灰度值大于  $I$  的像素个数与  $S_{\max}^{(sat)}$  相当。

② 设输入通道图象灰度的最小值和最大值为  $I_{\min}^{(org)}$  和  $I_{\max}^{(org)}$ ,图象的正向饱和和像素灰度值为  $I_{sat}$ ,将输入通道图象的灰度从  $[I_{\min}^{(org)}, I]$  线性映射到  $[I_{\min}^{(org)}, I_{sat}]$ 。

③ 估计各通道图象灰度的增长比例,估计方法为

$$\tilde{\eta}_i = \frac{\bar{I}_i^{(adjust)} - \bar{I}_i^{(org)}}{I_{sat}} \quad i = R, G, B \quad (1)$$

其中,  $\bar{I}_i^{(org)}$  和  $\bar{I}_i^{(adjust)}$  为调整前后通道图象灰度的平均值。

并估计图象亮度增加比例  $\tilde{\lambda}_Y$ ,估计方法为

$$\tilde{\lambda}_Y = \tilde{\eta}_R \times 0.299 + \tilde{\eta}_G \times 0.587 + \tilde{\eta}_B \times 0.144 \quad (2)$$

④ 按下式将调整后的图象亮度  $Y^{(adjust)}$  恢复到原来偏色图象的亮度水平:

$$\tilde{Y}^{(org)} = \frac{Y^{(adjust)}}{1 + \tilde{\lambda}_Y} \quad (3)$$

需要注意的是:

(1) 在不饱和和负向饱和和图象的校正算法中,选取搜索通道图象灰度有效最大值  $I_{\max}$  的目的主要是为了确定通道图象灰度直方图主体的右侧边界,即需要该通道图象灰度处于  $I_{\max}$  以上的像素数目累积达到一定量。由于在调整后的该通道图象中,虽有个别像素的灰度值达到了  $I_{\max}^{(\max)}$ ,但灰度直方图主体的右侧边界仍然未达到  $I_{\max}^{(\max)}$ ,其恢复出的图象仍有偏色,因此,需要进行多次调整,这主要出现在负向严重饱和的情形。对于一般情况,只需两次调整即可,而在正向饱和和图象的校正算法中,则无需

循环调整,因为在自动校正算法步骤(2)的饱和图象检测中,实际上已经确定了色彩正向饱和值,即为灰度直方图主体的右侧边界。

(2) 对于规格化为  $128 \times 128$  的真彩色图象,各通道图象灰度取值范围  $[0 \sim 255]$ ,一般在较大程度的偏色范围内,校正粒度可取固定值,其中,灰度值粒度  $\sigma_1 = 1$  或 3,像素数粒度  $\sigma_N = 10$  或 20。

(3) 算法通过比较各个通道图象按照某一统计方法下的像素数差额来检测偏色通道和估计偏色程度,因而使用如下两种阈值:判别轻微偏色的灰度阈值  $T_I$  和像素数阈值  $T_N$ ,其中,灰度阈值  $T_I$  取固定值  $\sigma_1$ ,像素数阈值  $T_N$  则根据估计的偏色程度,取  $\sigma_N$  的 1~5 倍。偏色十分严重时,可适当提高此值,否则,恢复出的图象可能仍有轻微偏色。

### 3 算法实现及实验

为了验证该算法的有效性,因而使用正常的无偏色图象、计算机模拟产生的偏色图象和色光照明下的实拍图象,以及艺术照片和电影片段中的偏色图象作为实验图象集进行了实验。

#### 3.1 偏色图象的模拟

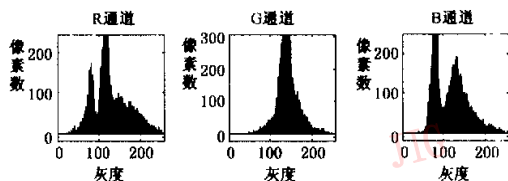
为了便于计算机自动进行分析和处理,可使用计算机模拟产生不同偏色程度的偏色图象,并存储为 24bit 真彩色图象(每通道 8bit,最大值为 255,最小值为 0)来模拟色彩正向饱和与负向饱和的情形。模拟偏色图象与原图象的 R、G、B 各通道图象的像素灰度变换关系如下:

$$I_i^{(sim)} = \begin{cases} (1 + \eta_i \times 100\%) \times I_i^{(org)} & 0 \leq I_i^{(sim)} < 255 \\ 255 & I_i^{(sim)} \geq 255 \end{cases} \quad (4)$$

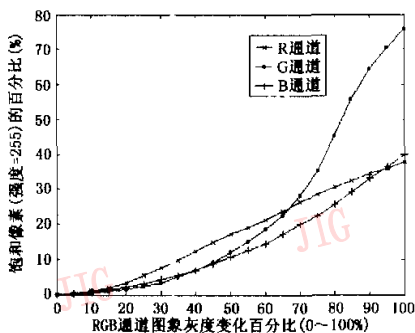
其中,  $i = R, G, B, \eta_i \in (-1, 1), I_i^{(org)}$  和  $I_i^{(sim)}$  为原始图象和模拟偏色图象的  $i$  通道图象的像素灰度值;  $\eta_i$  为  $i$  通道图象的像素灰度增长比例,即偏色比例,并将其按 5% 变化,  $\eta_i > 0$  时,表示该通道图象的像素灰度为正向增长;  $\eta_i < 0$  时,表示该通道图象的像素灰度为负向增长。

为了表征校正效果与偏色程度的关系,可选取一幅无偏色, R、G、B 各个通道图象负向无饱和,且正向临界饱和的图象作为原始标准图象(如图版 I 图 2 所示),其各通道图象灰度直方图如图 4(a) 所示。在图 4(b) 中显示了该图在 R、G、B 3 个通道的像素灰度分别发生正向变化时,各通道图象饱和和像素数目比例变化的情况。由该图可见,初始时,各通道图象无饱和和像

素,当通道图象像素灰度正向增加时,则饱和和像素比例的增长速度逐渐加快。虽然 3 个通道图象饱和和像素比例的增长速度不同,但基本趋势是一致的。为了简化起见,本文只选取增长速度最快的 G 通道作为模拟偏色通道,即只对该通道图象的灰度按式(4)进行变换,其他通道保持不变。当多个通道图象的灰度同时发生不同程度的变化时,即可以认为是由多个单通道图象灰度变化的叠加结果。



(a) 原始标准图象的 RGB 通道图象灰度直方图



(b) RGB 各通道图象饱和和像素比例随该通道图象灰度增长比例变化曲线

图 4 用来产生模拟偏色的原始标准图象各通道关系

#### 3.2 模拟偏色图象的自动检测和校正结果

图版 I 图 3 显示了偏色比例  $\eta_i (i = R, G, B)$  为不同值时的检测和校正效果,其中,偏色检测结果指明了哪些通道是偏色通道,大写字母表示偏色最严重的通道,小写字母表示偏色相对轻微的通道。如:“G”表示 G 通道存在偏色,只要调整 G 通道,即可消除偏色。“gB”表示 G 通道存在轻微偏色, B 通道存在严重偏色,此时需要对 G 和 B 通道同时进行调整,才能消除偏色。

#### 3.3 实拍偏色图象的自动检测和校正结果

为了验证本文算法的检测与校正效果,使用了 Oulu 大学人脸数据库(Oulu Physics-based Face Database)作为真实拍摄的偏色图象样本进行了检测校正实验,它包括不同人在不同色光、16 种照相机标度下拍摄的 125 幅人脸图象。图版 I 图 4 显示本文算法的检测和校正效果,除最后一列恢复出的

人脸略显苍白以外,其他图象校正效果都十分满意。

### 3.4 艺术图象中偏色的检测和校正结果

图版1图5显示了本文算法对各种从艺术照片、宣传画、VCD中选出的偏色图象的检测和校正效果。

## 4 实验结果分析与结论

为了检验本文提出的偏色校正算法的有效性,仍可使用前面的模拟偏色图象,并统计在不同偏色程度下,偏色图象、校正图象和原图象的距离。因为校正偏色是本文的目的,为此可选择归一化颜色空间 $[r, g]$ 来减少亮度对图象之间距离的影响。这里定义两种方式的图象距离。

①基于像素的图象距离定义如下:

两个同尺度图象之间的距离为两个图象对应像素之间欧拉距离的统计平均

$$D_{1,2} = \frac{1}{M \times N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \{ [r_1(i, j) - r_2(i, j)]^2 + [g_1(i, j) - g_2(i, j)]^2 \}^{1/2} \quad (5)$$

其中,  $M, N$  为图象方阵的维数,  $r(i, j), g(i, j)$  分别表示  $r$  通道和  $g$  通道像素  $(i, j)$  的灰度值。

②基于通道图象灰度均值的图象距离定义如下:

两个同尺度图象之间的距离两个图象以对应通道图象的像素灰度平均值为元素的欧拉距离。

$$D_{1,2} = \sqrt{(\bar{r}_1 - \bar{r}_2)^2 + (\bar{g}_1 - \bar{g}_2)^2} \quad (6)$$

其中,  $\bar{r}, \bar{g}$  为  $r$  通道和  $g$  通道图象的像素灰度平均值。

首先按下式将图象从  $[R, G, B]$  空间转换到归一化  $[r, g]$  空间

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad (7)$$

然后,进行偏色图象、校正图象和原图象的距离比较。对图版1图2男孩图象,让偏色比例  $\eta_i (i=G)$  从  $-100\% \sim 100\%$  变化 ( $-100\%$  用  $-99\%$  来代替),使用基于像素的图象距离来衡量时的统计结果如图5所示。从该图可以看出:

(1)当通道图象灰度为负向增长时 ( $\eta_i < 0$ ),校正图象与原图象的距离基本上稳定在 0.03 以下,远小于偏色图象与原图象的距离,说明校正效果很好;这也可以从图版1图3中看出,校正图象基本上与图版1图2中的原图象没有什么差别。这主要是由于此时

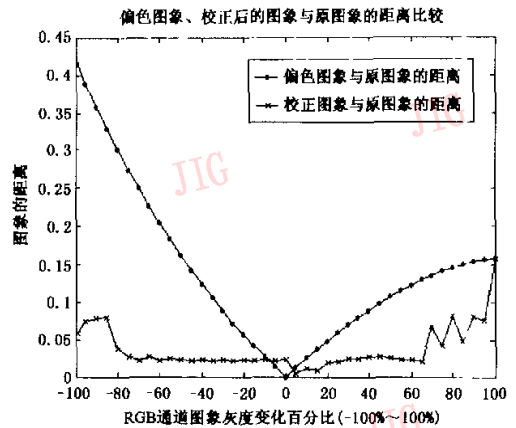


图5 偏色校正效果的图象距离评价

$G$  通道图象的灰度直方图虽发生饱和和变形,但由于其灰度直方图的形状或颜色灰阶还基本保留所致,因此恢复出的图象效果很好。但当  $\eta_i$  变化超过  $-80\%$  时,则恢复出来的图象相对于原图象显得有些苍白,这主要是由于此时该通道图象出现十分严重的负向饱和,使得该通道图象的灰度直方图形状发生严重的畸变,颜色灰阶大量丢失,不能准确地恢复出原来该通道图象灰度直方图的形状和位置的缘故。

(2)当通道图象灰度为正向增长时 ( $\eta_i > 0$ ),若  $\eta_i$  不超过  $65\%$  时,且校正图象与原图象的距离也基本稳定在 0.03 以下,则其恢复出来的图象效果也很好,但相对于原图象亮度有所增加;当  $\eta_i$  超过  $70\%$  时,因图象距离开始发生跳跃,致使图象恢复效果变差。从图4(b)可见,此时  $G$  通道图象至少有  $40\%$  以上的像素达到正向饱和,由于该通道图象灰度直方图的形状信息严重丢失,因此校正图象可能仍有轻微的偏色。

(3)本文算法对偏色比例在  $[-85\% \sim 70\%]$  范围内的偏色图象,基本上可以准确地恢复到原图象的水平。为简化起见,虽然在模拟偏色图象中,只假定了一个通道发生偏色,但由于本文算法中利用的是各通道图象之间灰度分布不平衡的相对值,而非利用其他未偏色通道图象灰度的绝对值,因此,当多个通道发生不同程度的偏色时,本文算法仍然适用。同时,3.3节和3.4节中的检测和校正结果也验证了这点。

## 5 结 语

由于本文算法未作任何理想化的条件假设,也未

利用任何偏色图象的先验性知识,只利用偏色图象本身的特征进行分析,因此具有普遍的适用性.实验表明,在较大程度的偏色情况下,本文算法都可以取得较满意的效果.如果将该算法应用到肤色识别、人脸检测、目标跟踪等算法之前,作为预处理器使用,无疑可以大大增强这些算法的适用性和算法性能.

**参 考 文 献**

- 1 赵荣椿等. 数字图象处理导论[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1995:104~108.
- 2 Soriano M, Marszalec E, Martinkauppi B *et al.* Making saturated facial images useful again[A]. In: Proceeding of SPIE Polarization and Color Techniques in Inspection [C], Munich Germany, June 17-18, 1999:113~121.
- 3 Novak C L, Shafer S A. Estimating scene properties from color histograms[R]. Technical Report CMU-CS 92-212. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, 1992:27~33.
- 4 Soriano M, Marszalec E, Pietikinen M. Color correction of face images under different illuminants by RGB eigenfaces[A]. In: Proceeding of 2nd International Conference on Audio and Video-based Biometric Person Authentication (AVBPA99)[C], Washington DC, USA, March 22-24, 1999:148~153.



**郑建桦** 1974年生,分别于1997年、2001年先后获西北工业大学学士和硕士学位,现为西北工业大学电子工程系博士研究生.主要研究领域为计算机图形图象、多媒体技术、视频信息处理、基于内容的图象和视频检索等.



**郝重阳** 西北工业大学教授,信号与信息处理学科和计算机应用技术学科博士生导师,西北工业大学电子与信息工程研究所所长,中国图象图形学会常务理事.感兴趣的研究领域为图象工程、虚拟现实技术.



**雷方元** 1973年生,西北工业大学博士研究生.感兴趣的研究方向为计算机图形学,多媒体技术,图象、视频处理,基于内容的图象和视频检索等.



**樊养余** 1960年生,2000年获西北工业大学工学博士学位,并在南京航空航天大学从博士后研究工作出站,现为西北工业大学教授,西安虚拟现实工程技术研究中心负责人.感兴趣的研究方向为图象处理、模式识别、虚拟现实技术等.