

基于图像分析的色偏检测算法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2017.01.007

卢尊兰

武汉大学

印刷与包装系

湖北 武汉 430079

摘要:针对传统色偏检测算法存在的局限性,提出一种新的基于图像分析的色偏检测算法。该算法采用图像的色彩度指标对色偏因子的计算方法进行优化,通过色彩度加权,将含有大块单一颜色的图像“转化”为色彩丰富的图像,从而消除图像主色调对色偏检测的影响,降低色偏图像的误判率。与传统的基于图像分析的色偏检测算法进行实验比较,结果表明,该算法能够准确、高效地检测出色偏图像,提高色偏检测的准确率和可靠性;将检测结果与人眼主观评价结果进行对比,结果表明,该算法不仅能消除主色调的影响,降低色偏图像的误判率,还能准确判别色偏图像和主色调图像。

关键词:色偏检测;色偏因子;色彩度

中图分类号: TP751.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2017)01-0040-06

0 引言

近年来,随着多媒体技术的发展和图像采集设备的广泛应用,人们获取数字图像的方式越来越多样化,图像也成为人们了解和认识世界的重要途径。在图像所有特征中,颜色信息是最基础、最直接的特征之一,是目标识别和跟踪的重要特征,被广泛地应用于图像检索、图像分割、图像修复等领域。然而在现实中,数字图像的获取容易受到光源、物体本身反射特性及采集设备感光系数的影响,使获取的数字图像的颜色与真实图像之间存在偏差,即色偏现象^[1]。图像色偏不仅影响图像的视觉效果,还影响图像的分割、检索等后续图像处理工作,因此,消除图像的颜色偏差具有重要意义。而消除色偏的首要条件是色偏检测,即在一定检测原则的基础上,判定图像是否存在色偏并计算图像的色偏程度^[2],然后对存在色偏的彩色图像进行色偏校正操作,对不存在色偏的图像不进行任何操作,从而可避免正常图像的误校正,提高色偏校正的效率。随着数字图像产品在医学、数码相机、卫星通讯、工业制造等领域的应用日益广

泛,人们对数字图像的质量提出了越来越高的要求,色偏检测技术也变得更具有现实意义。

目前,色偏检测研究已取得了一定成果,其中,具有代表性的方法有 Max_RGB 算法^[3]、Gray World 算法^[4]、直方图统计法^[5]、先验知识法^[6]、神经网络法^[7]、基于图像分析的色偏检测算法^[8]等。这些算法均具有一定的局限性。如 Max_RGB 算法和 Gray World 算法都以一定的假设为基础,当图像不满足这些假设时,算法就会失效^[9];直方图统计法仅根据图像的整体直方图分布判断图像是否存在色偏,检测结果不够全面和准确^[10];先验知识法和神经网络法需要借助先验知识和学习积累来进行色偏检测^[11];基于图像分析的色偏检测算法不需要先验知识和假设条件,能够对色偏图像进行二次分类,但分类结果受图像主色调的影响^[12]。

基于上述原因,本文提出一种新的基于图像分析的色偏检测算法。该算法将图像分成均匀的若干块,通过对各图像块进行色彩度加权(舍弃色彩度小的图像块,保留色彩度大的图像块),将含有大块单一颜色的图像“转化”为色彩丰富的图像,降低图像主色

收稿日期: 2016-04-23

作者简介: 卢尊兰(1992-),女,河南商丘人,武汉大学硕士生,主要研究方向为数字图像处理,

E-mail: 923993564@qq.com

调对色偏检测的影响,同时利用色彩度指标对色偏因子的表达式进行优化,使得优化后的色偏因子能够准确反映图像的色偏程度,很大程度上提高了色偏检测的准确率。

1 传统的图像分析色偏检测方法

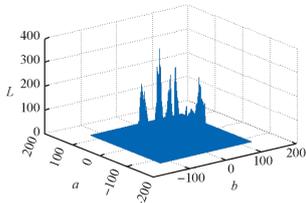
目前,色偏检测算法中最简单和最常用的是 Max_RGB 算法和 Gray World 算法,然而它们都以一定的假设为基础,算法适应性较差,不能适用于所有图像。其中 Max_RGB 算法基于 White Patch 假设,将图像 RGB 三通道的亮度极大值作为场景光照估计值,利用估计光照与理想光照之间的色度距离判断图像是否存在色偏。该算法虽然计算复杂度低,但仅当图像中存在白色区域或出现镜面全反射现象时,才能得到较高的检测准确率。Gray World 算法基于 Grey World 假设,通过计算 RGB 三通道的平均亮度,来获得场景光照的估计值,最后用场景光照与中性点 ($a=0, b=0$) 之间的色度距离来判断图像是否存在色偏。该算法精确度较低,并且当图像中的颜色信息较少时,算法不能达到较好的检测效果。

为了解决上述算法中存在的诸多问题, Huang Chengqiang 等提出一种在只给出色偏图像的条件下,利用色彩直方图特征进行色偏图像的自动检测算法^[13]。该算法通过统计彩色图像 RGB 三通道的直方图,根据三通道直方图的分布来判断图像是否存在色偏现象。但该算法只适用于色偏程度大的图像,其他情况下算法不能取得满意的结果。

以上色偏检测方法都具有一定的局限性,为了得到一种通用性的算法,许多学者对大量图像进行研究,通过挖掘并分析图像的统计信息,最终发现图像的色偏与图像的平均色度及色度分布 $F(a, b)$ 有关。一般情况下,无色偏图像的二维色度直方图包含多个离散的峰值,且大多分布在中性轴周围;色偏图像的二维色度直方图分布包含 0 个或 1 个峰值,且峰值远离中性轴^[14],如图 1 所示。



$D=1.5323$; $M'=10.2851$; $K=0.1490$
a) 无色偏图像 b) 图 a 的二维色度直方图



$D=19.8323$; $M'=9.2286$; $K=2.1491$
c) 色偏图像 d) 图 c 的二维色度直方图

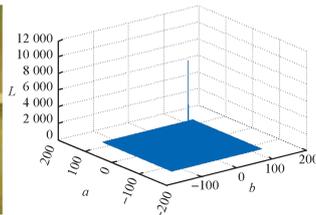


图 1 测试图像及其二维色度直方图

Fig. 1 Test images and their two-dimensional histograms

图 1 列出了 2 幅图像及其在色度坐标平面中的二维直方图,其中 D 和 M' 分别表示图像的平均色度和图像中心距, K 表示色偏因子。由图 1 可知:图像 a 的平均色度值偏小,其二维色度直方图包含多个离散的峰值;图像 c 的平均色度值较大,其二维色度直方图只有 1 个峰值。利用人眼视觉系统对 2 幅图像进行评价,评价结果为:图像 a 正常,图像 c 存在色偏。这与前面提到的正常图像和色偏图像的二维色度直方图分布规律基本一致。

为了更准确地区分色偏图像和正常图像,相关学者对大量色偏图像和正常图像进行了分析研究,发现色偏图像具有以下特性:1) 二维色度直方图包括 0 个或 1 个峰值;2) 图像平均色度值较大,且二维色度直方图分布较为集中;3) 色度平均值越大,图像色偏越严重。为了更直观地描述图像的色偏情况, Li Fang 等^[15]将图像平均色度与色度中心距的比值作为色偏因子 K 来衡量图像的色偏程度, K 的计算公式如下:

$$K = \frac{D}{M'}$$

式中: $D = \sqrt{d_a^2 + d_b^2}$, 其中,

$$d_a = \frac{\sum_{y=1}^i \sum_{x=1}^i a_{xy}}{i \times j}, \quad d_b = \frac{\sum_{y=1}^i \sum_{x=1}^i b_{xy}}{i \times j};$$

$M' = \sqrt{M_a^2 + M_b^2}$, 其中,

$$M_a = \sum_{y=1}^i \sum_{x=1}^i |a_{xy} - d_a| P(a_{xy}), \quad M_b = \sum_{y=1}^i \sum_{x=1}^i |b_{xy} - d_b| P(b_{xy}).$$

K_{fold} 为判断图像是否存在色偏的阈值,当 $K > K_{\text{fold}}$ 时,图像为色偏图像,且 K 值越大,图像色偏程度越大。图 1 列出了 2 幅图像的色度平均值 D 、图像中心距 M' 和色偏因子 K ,根据色偏因子 K 衡量图像是否存在色偏,其结果与人眼主观评价结果一致。但对于颜色种类偏少或存在大面积单一颜色的图像,该算

法的检测准确率较低。

2 改进的图像分析色偏检测算法

为了解决基于图像分析色偏检测算法的局限性，本文在传统算法的基础上引入图像的色彩度概念^[16]。引用依据是：图像的色彩度表示图像颜色的丰富程度，色彩度值越大，图像颜色越丰富。同理，图像颜色比较单一时，色彩度值较小。通过对图像进行分块，并对图像块进行色彩度加权（舍弃色彩度小的图像块，保留色彩度大的图像块），可以减小大面积单一颜色对色偏检测的影响。改进的基于图像分析的色偏检测算法流程图见图2。

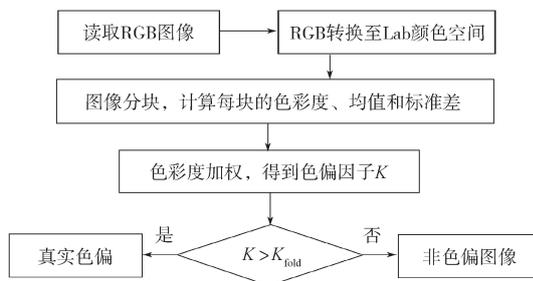


图2 改进的图像分析色偏检测算法流程图

Fig. 2 The flowchart of the improved algorithm

改进的基于图像分析色偏检测算法流程为：

1) 进行颜色空间 RGB 到 Lab 的转换，得到图像的亮度分量 L 和色度分量 a, b ；

2) 将图像分成若干块，计算每一块的色彩度、颜色均值和图像标准差；

3) 对所有图像块进行色彩度加权，得到整幅图像的色彩度均值和图像标准差，以图像的色彩度均值除以图像中心距的方法，得到色偏因子 K 值；

4) 对 K 进行分析，判断图像是否存在色偏。

2.1 颜色空间转换

选择合适的颜色空间对于衡量颜色偏差非常重要。在数字图像处理中，最基础、最常用的色彩空间是 RGB 颜色空间，但 RGB 空间不能直观地表达人眼所感知到的颜色差异。为了解决这个问题，国际照明委员会（International Commission on Illumination, CIE）提出了专门用于色彩计算的 Lab 均匀颜色空间。Lab 颜色空间将 RGB 三通图像转换成亮度分量 L 和色度分量 a, b ，其中 a 代表从绿到红， b 代表从蓝到黄。从 RGB 空间转换到 Lab 空间需要两步，首先将 RGB 颜色空间转换到 XYZ 颜色空间，然后再由

XYZ 颜色空间转换到 Lab 颜色空间^[17]。

2.2 图像分块

将图像分成 $M \times N$ 个子块，分别计算每个子块的色彩度 $C_{i,j}$ 、均值 $D_{i,j}$ 和标准差 $M_{i,j}$ 。

$$D_{i,j} = \sqrt{d_{a(i,j)}^2 + d_{b(i,j)}^2},$$

$$d_{a(i,j)} = \frac{\sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n a_{xy}}{m \times n}, \quad d_{b(i,j)} = \frac{\sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n b_{xy}}{m \times n};$$

$$M_{i,j} = \sqrt{M_{a(i,j)}^2 + M_{b(i,j)}^2},$$

$$M_{a(i,j)} = \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n |a_{xy} - d_{a(i,j)}| P(a_{xy}),$$

$$M_{b(i,j)} = \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n |b_{xy} - d_{b(i,j)}| P(b_{xy});$$

$$C_{i,j} = \sigma_{i,j} + 0.3 \times \mu_{i,j},$$

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{r_g^2 + y_b^2}, \quad \mu_{i,j} = \sqrt{\mu_g^2 + y_b^2}.$$

其中， $r_g = R - G$ ， $y_b = (R + G) / 2 - B$ ， R, G, B 分别代表某像素的红色、绿色和蓝色分量。通过对大量图像进行分析发现：色彩度 C 值越大，图像颜色越丰富；当 $0 < C \leq 15$ 时，图像颜色单一；当 $15 < C \leq 20$ 时，图像颜色丰富；当 $C=0$ 时，图像为灰色。

2.3 色偏因子 K

本文通过对大量正常图像和色偏图像进行分析发现，图像色偏不仅与图像的平均色度、色度分布 $F(a, b)$ 有关，还与图像的色彩度 C 值大小有关。一般情况下，无色偏图像的二维色度直方图包含多个离散的峰值，且大多分布在中性轴周围；色偏图像的二维色度直方图包含 0 个或 1 个集中的峰值，且远离中性轴。而一些未发生颜色偏移但颜色种类少或存在大面积颜色单一块的图像（主色调图像），其二维色度直方图分布也包含 0 个或 1 个集中的峰值，这说明仅仅依靠图像的二维色度直方图分布来进行色偏检测具有一定的局限性。为了解决这个问题，本文引入图像的色彩度信息对色偏因子 K 的计算方法进行优化。具体计算过程如下：

1) 对于每一个图像块，设置标识 $F_{i,j}$ ：

$$F_{i,j} = \begin{cases} 0, & C_{i,j} \leq A, \\ 1, & C_{i,j} > A. \end{cases}$$

式中， A 为判断图像色彩是否丰富的阈值，可根据实际需要做相应调整。大量实验表明， A 值取 15 时，算法效果最好。

2) 计算基于色彩度加权的均值 D 、图像中心距 M' 。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F_{i,j} \times D_{i,j})}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_{i,j}},$$

$$M' = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F_{i,j} \times M_{i,j})}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_{i,j}}.$$

3) 以图像色度均值除以图像中心距，得到色偏因子 K 。其公式如下：

$$K = \frac{D}{M'}.$$

K_{fold} 为判断图像是否存在色偏的阈值，当 $K > K_{\text{fold}}$ 时，图像为色偏图像，且 K 值越大，图像色偏程度越大。

3 实验结果与分析

为了检验本文算法的有效性，笔者从 LIVE2 标准图像库、TID2008 标准数据库及网上收集了大量的色偏图像和正常图像（共 223 幅实验图像，其中 85

幅主色调图像，52 幅色偏图像，86 幅正常图像），并对该图像集合分别运行传统的基于图像分析色偏检测算法和改进后的算法，最后对两个算法的检测准确率进行对比，对比结果如表 1 所示。

表 1 测试对比结果

Table 1 Result of testing

图 像	传统算法		本文算法	
	图像数	准确率 / %	图像数	准确率 / %
色偏图像	52	60	52	73
主色调图像	85	55	85	78
正常图像	86	40	86	89

表 1 中，准确率是指色偏检测的结果符合该类型结果的图像比率。从对比结果来看，本文算法的色偏图像、主色调图像及正常图像的检测准确率都比传统基于图像分析色偏检测算法要高，这解决了传统算法检测准确率低、适应性差等问题。

为了更直观地对比这两种算法，本文将两种算法的检测结果与人眼的主观评价结果进行对比，实验图像如图 3 所示，其中 K 为传统算法的色偏因子， K' 为本文算法的色偏因子。两种算法的部分实验图像见图 1，实验结果对比见表 2。



图 3 部分实验图像

Fig. 3 Some images used in experiments

表2 实验结果对比
Table 2 Result of testing

图片	传统算法	本文算法	人眼主观评价
a	色偏	色偏	色偏
b	色偏	色偏	色偏
c	色偏	正常	正常
d	色偏	正常	正常
e	色偏	色偏	色偏
f	正常	正常	正常

由于主色调图像的二维色度直方图分布与色偏图像相似,传统的色偏检测算法将图c和图d误判为色偏图像。图e中虽然草地的覆盖面积超过50%,但是女孩的脸由于阳光作用呈现青色,所以该图应为色偏图像,而非主色调图像,本文算法对图e的检测结果与人眼主观评价的结果相一致。从检测结果来看,本文算法不仅能够消除主色调的影响,降低色偏图像的误判率,还能准确判别色偏图像和主色调图像。由表2可以得知,本文算法与主观评价结果更为吻合。

4 结论

本文提出的基于图像分析的色偏检测算法是建立在传统算法的框架之上,具有良好的可行性、实用性,其准确率较高。

通过与人眼视觉系统的观察结果进行比较,发现本文算法的检测结果与人眼主观评价结果相吻合,说明本文算法已逐步满足人眼的视觉特性,而且算法的检测结果具备较高的准确度及有效性。但该方法仍需进一步完善。首先,算法的检测准确度仍有较大的提升空间;其次,该方法虽已逐步满足人眼的视觉特性,但其与人眼视觉感知系统(human visual system, HVS)仍存在一定的偏差。所以在色偏检测算法中建立更为准确的HVS模型,从而进一步提高色偏检测的准确度,这将是今后研究的主要方向。

参考文献:

[1] 陈向宁,王欢,姜明勇. 偏色图像的色彩还原算法实现[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(3): 109-110.
CHEN Xiangning, WANG Huan, JIANG Mingyong. Color Reversion Technology for Color Image[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2012, 33(3): 109-110.

[2] LIU Bozhi, QIU Guoping. Illuminant Classification

Based on Random Forest[C]//14th IAPR International Conference on Machine Vision Applications(MVA). Tokyo: IEEE, 2015: 106-109.

[3] PAN Bin, JIANG Zhiguo, ZHANG Haopeng, et al. Improved Grey World Color Correction Method Based on Weighted Gain Coefficients[C]// The International Society for Optical Engineering. Beijing: SPIE, 2014, 9273: 1-7.

[4] KIM Seung-Kyun, JUNG Seung-Won, CHOI Kang-A, et al. A Novel Automatic White Balance for Image Stitching on Mobile Devices[C]//2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics(ICCE). Las Vegas: IEEE, 2011: 659-660.

[5] 王丛. 自动图像白平衡技术的研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2012.
WANG Cong. Automatic Image White Balance Technique[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2012.

[6] KIM Dae-Chul, KYUNG Wang-Jun, HA Ho-Gun, et al. Color Enhancement for Faded Images Based on Multi-Scale Gray World Algorithm[C]//IEEE 16th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE). Piscataway: IEEE, 2012: 1-4.

[7] 冯亚丽, 黄静. 一种新的基于MSRCR光照补偿算法[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(9): 189-190.
FENG Yali, HUANG Jing. Light Compensation Algorithm Based on MSRCR[J]. Computer Systems & Applications, 2012, 21(9): 189-190.

[8] 江志. 基于Lab色度空间的色偏检测技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
JIANG Zhi. The Research of Color Cast Detection in Lab Color Space[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.

[9] 田睿, 孙海超, 丁南南. 基于直方图均衡化的自动白平衡算法及其FPGA实现[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(增刊1): 223-225.
TIAN Rui, SUN Haichao, DING Nannan. Automatic White Balance Algorithm Based Histogram Equalization and Its FPGA Implementation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(S1): 223-225.

[10] 郑佳, 杨爱萍, 王建. 基于颜色失真去除与暗通道先验的水下图像复原[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(11): 2543-2546.
ZHENG Jia, YANG Aiping, WANG Jian. Underwater Image Restoration Based on Color Cast Removal and Dark Channel Prior[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2015, 37(11): 2543-2546.

[11] LIAO Yu-Yi, LIN Jzau-Sheng, TAI Shen-Chuan. Color Balance Algorithm with Zone System in Color Image Correction[C]//IEEE 6th International Conference

- on Computer Sciences and Convergence Information Technology. Piscataway: IEEE, 2011: 167-172.
- [12] 孟 梦. 高清摄像机自动白平衡和自动曝光算法研究及实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
MENG Meng. Study and Implementation of Automatic White Balance and Exposure Algorithms in HD Camera[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- [13] HUANG Chengqiang, ZHANG Qi, WANG Hui, et al. A Low Power and Low Complexity Automatic White Balance Algorithm for AMOLED Driving Using Histogram Matching[J]. Journal of Display Technology, 2015, 11(1): 53-56.
- [14] CHEN Li, ZHU Dawei, TIAN Jing, et al. A Two-Stage Blind Image Color Correction Using Color Cast Estimation[J]. Communications in Computer and Information Science, 2014, 484(2): 72-80.
- [15] LI Fang, WU Jinyong, WANG Yike, et al. A Color Cast Detection Algorithm of Robust Performance[C]// IEEE Fifth International Conference on Advanced Computational Intelligence. Washington: IEEE, 2012: 662-664.
- [16] HUANG Kaiqi, WU Zhenyang, WANG Qiao. Natural Color Images Enhancement and Evaluation Algorithm Based on Human Visual System[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 103(1): 52-63.
- [17] 刘浩学. CIE 均匀颜色空间与色差公式的应用 [J]. 北京印刷学院学报, 2003, 11(3): 3-8.
LIU Haoxue. The Application of CIE Uniform Color Space and Its Color Difference Formula[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2003, 11(3): 3-8.

Color Cast Detection Method Based on Image Analysis

HU Zunlan

(School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: A new cast detection approach based on image analysis was presented to overcome the limitations of conventional algorithm. The color colorfulness index(CCI) was adopted to optimize the calculation of cast factors by CCI weighting. The images containing simple colors were converted into colorful images to eliminate the influence of dominant color on color cast detection and decrease the misjudgment ratio. Compared with traditional algorithm, the results showed that the new technique could detect cast images accurately and efficiently, while enhance the detection accuracy and reliability. Compared with the results of subjective evaluation, this approach could eliminate the influence of dominant colors, reduce the misjudgment rate of color cast images, and precisely identify color cast images and dominant color images.

Keywords: color cast detection; cast factor; color colorfulness index