

文章编号:1007-2780(2016)10-0983-06

直方图平移的色彩还原算法研究

黄成强*, 李天华, 贺娟
(遵义师范学院, 贵州 遵义 563002)

摘要:本文对应用于 AMOLED 的低功耗色彩还原算法开展研究,提出了一种基于直方图平移的算法。通过直方图平移增大直方图重叠面积,从而得到优良的色彩还原效果。由于采用居中的直方图作为平移基准,在保证色彩还原性能的同时降低了显示屏端功耗。与传统的算法相比,该算法只有加减运算,使得硬件实现的复杂度大大降低。经验证,该算法具有优良的性能表现,其直方图重叠面积(OA)比灰度世界算法高 23%,比白点补丁算法高 43%。此外,该算法处理所得图像在屏端的显示功耗(PD)是灰度世界算法的 96%,是白点补丁算法的 73%。

关键词: AMOLED; 色彩还原; 直方图平移; 功耗

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20163110.0983

Color rendition algorithm based on histogram shifting

HUANG CHENG-qiang*, LI Tian-hua, HE Juan

(Zunyi Normal College, Zunyi 563002, China)

Abstract: Low-power color rendition algorithm for AMOLED is studied and the algorithm based on histogram shifting is proposed in this work. Histogram overlap area is increased by histogram shifting, thus excellent performance is achieved. The histogram at the center is set as the shifting reference. Therefore, the display power of the panel is reduced while the performance of color rendition is guaranteed. Compared with the traditional algorithms, the complexity of hardware realization is reduced because addition and subtraction are only involved in the proposed algorithm. Excellent performance of this algorithm is verified, the histogram overlap area (OA) is 23% and 43% larger than the gray-world and the white-patch algorithm, respectively. In addition, the power dissipation (PD) for image display on AMOLED screen are 96% and 73% of the gray-world and the white-patch algorithm, respectively.

Key words: AMOLED; color rendition; histogram shifting; power dissipation

收稿日期: 2016-05-19; **修订日期:** 2016-07-23.

基金项目: 贵州省教育厅重点项目(黔教合 KY 字[2015]407); 遵义师范学院博士基金(遵师 BS[2015]07 号); 贵州省科学技术联合基金(黔科合 J 字 LKZS[2014]05 号); 贵州省普通高等学校电子制造产学研基地(黔教合 KY 字[2014]230)

Supported by Project of Education Department of Guizhou Province(No. KY[2015]407); Project of Zunyi Normal College(No. BS[2015]07); Science and Technology Foundation of Guizhou Province under Grant (No. JLKZS[2014]05); Education Department of Guizhou Province Electronic Manufacturing Production Base (No. [2014]230)

* 通信联系人, E-mail: 18616836345@163.com

1 引言

AMOLED(有源矩阵有机发光二极管)是一种新兴的显示技术,与传统的显示屏相比,AMOLED 具有很多优点,包括全方位 180°视角、响应速度快、便于超薄设计^[1-4]。AMOLED 多用于智能手机等移动终端产品,该类产品对于功耗的要求非常苛刻,目前已有的图像处理算法无法满足 AMOLED 的低功耗需求,因此低功耗的图像处理算法的研究非常关键。在图像拍摄的过程中,由于环境光的污染,所得图像的颜色接近于环境光的颜色,而不是物体真实的颜色^[5]。为了达到良好的显示效果,在显示之前,需要通过色彩还原算法进行处理。但传统的色彩还原算法中涉及到大量的乘法运算,硬件实现的成本和复杂度都很高,不适合于作为 AMOLED 的显示驱动模块。此外,AMOLED 多用于移动终端产品,对功耗的要求极为苛刻,而传统的色彩还原算法没有考虑到显示功耗问题。为了提升色彩还原的性能,并降低算法的复杂度,降低显示屏端功耗、使得算法适合于硬件实现,需要研究高性能、低功耗、低复杂度的色彩还原算法。在过去几年,业界对色彩还原算法进行了大量的研究^[5-10]。传统上,通过调整红、绿、蓝三色通道的增益系数来实现色彩还原。传统的色彩还原方式主要有两个步骤,分别是色温估计和色彩调整。目前,色温估计是基于几个假设来完成的。其中较为常用的是灰度世界假设(GW)^[5-7],白点补丁假设(WP)^[8-9],以及灰度边缘假设^[10]。基于这些假设,得到红、绿、蓝三色通道的增益系数。随后,基于这些所得的增益系数,得到三基色通道的灰阶更新值。然而,这些传统的色彩还原算法存在一定的缺陷。首先,如果上述假设的预设条件无法满足,算法将变得不可靠^[11]。例如,当处理的图像色彩单一时,灰度世界算法将失效^[12-14]。白点补丁算法要求所处理的图像中至少有一个像素单元是标准的白色^[13]。此外,传统的色彩还原算法需要计算出增益系数,使得算法的复杂度增加,包括灰度世界算法^[5-7]、白点补丁算法^[8-9]、以及其它算法。最后,传统的色彩还原算法没有考虑到 AMOLED 屏的显示功耗问题,导致显示功耗较大,不适用于

AMOLED 的显示驱动。总之,传统的色彩还原算法复杂度高,显示功耗较大,不适合于 AMOLED 的显示驱动。

2 基于直方图平移的色彩还原算法

2.1 直方图重叠面积对色彩还原性能的影响

所谓色偏,是指拍摄所得图像的颜色不是真实场景的颜色。色偏产生的原因在于,在图像拍摄的过程中,由于环境光的污染,所得图像的颜色接近于环境光的颜色,而不是物体真实的颜色^[5]。

图像处理是一门应用广泛的技术^[16]。直方图是图像处理中一个常用的工具,它的横坐标是灰阶,纵坐标是像素个数^[17]。直方图重叠面积(OA)是指红、绿、蓝三基色直方图的重叠区域的大小。OA 是色彩还原的一个重要的评估指标,越大越好^[18]。

$$OA = \sum_{i=0}^{255} \min(hist_r[i], hist_g[i], hist_b[i]) \quad , \quad (1)$$

$$hist_c[i] = Hist_c[i]/N \quad , \quad (2)$$

$$N = W \times H \quad (3)$$

其中:OA 是图像的直方图重叠面积, $Hist_c[i]$ 是灰阶为 i 的像素数量, $hist_c[i]$ 是 $Hist_c[i]$ 与 N 的比值, c 代表 r, g 或 b 。 N 是图像总像素个数, W, H 分别是图像的水平分辨率和竖直分辨率。

图 1 说明了 OA 与色偏的关系。图 1(a)中,左图是带有红色色偏的原始图像,右图是该图像对应的三基色直方图。从直方图中可以看出,在高灰阶部分,红色通道的像素个数多余其它两个通道。因此,原图带有红色色偏,OA 值偏小。在 1(b)中,红色色偏减小了,OA 值增大。图 1(c)和 1(d)说明了绿色色偏的情况。在图 1(c)中,蓝色和绿色分量主导了高灰阶部分,然而绿色通道的像素个数稍微多于蓝色通道。因此,图像偏绿,OA 值较小。图 1(e)和 1(f)说明了蓝色色偏的情况。可以看出,蓝色分量主导了高灰阶部分,图 1(e)带有蓝色色偏,其 OA 较小。图 1(f)中,OA 值更大,图像的视觉效果得到了明显的改善。OA 是色彩还原中一个重要的评估指标^[15],OA 越大,色偏越少,色彩浑圆的效果

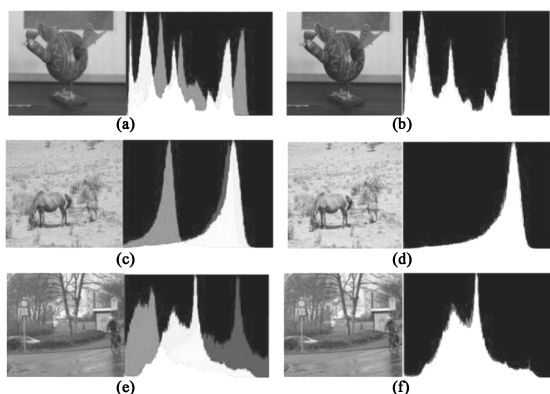


图 1 OA 对色彩还原的影响。(a) 带红色色偏的图像及其直方图;(b) 红色色偏减弱的图像及其直方图;(c) 带绿色色偏的图像及其直方图;(d) 绿色色偏减弱的图像及其直方图;(e) 带蓝色色偏的图像及其直方图;(f) 蓝色色偏减弱的图像及其直方图。

Fig.1 Effect of OA on color rendition; (a) image with red color cast and the related histogram; (b) image with weakened red color cast and the related histogram; (c) image with green color cast and the related histogram; (d) image with weakened green color cast and the related histogram; (e) image with blue color cast and the related histogram; (f) image with weakened blue color cast and the related histogram.

越好。本文的核心思想是通过增大 OA 提升色彩还原效果。

2.2 基于直方图平移的色彩还原算法

直方图重叠面积对色彩还原效果会产生非常直观的影响,即直方图重叠面积越大,色彩还原效果越好。基于此,通过增大直方图重叠面积提升色彩还原效果是一种有效可行的方法。本文通过直方图平移增大直方图重叠面积。算法流程如图 2 所示,对于一副输入图像,计算出 R、G、B 通道的平均灰阶 GLR、GLG 和 GLB。找出最大值 $GL_{\max}$ 、中间值 GL_{med} 和最小值 $GL_{\min}$ 。计算出直方图平移量:

$$\begin{cases} \Delta_1 = GL_{\max} - GL_{\text{med}} \\ \Delta_2 = GL_{\text{med}} - GL_{\min} \end{cases} \quad (4)$$

对于 GL_{med} 所对应的直方图,即居中的直方图,保持不变。对于 $GL_{\max}$ 所对应的直方图,向左平移 Δ_1 。对于 $GL_{\min}$ 所对应的直方图,向右平移



图 2 基于直方图平移的色彩还原算法

Fig.2 Color rendition algorithm based on histogram shifting

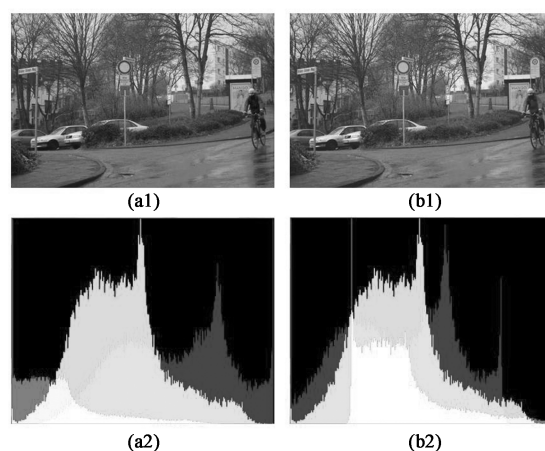


图 3 直方图平移示例

Fig.3 Example of histogram shifting

Δ_2 。平移直方图之后,就得到了结果图像。

直方图平移示例如图 3 所示。(a1)是一副带有蓝色色偏的原始图像,3(a2)是对应的直方图。从直方图中可以看出, $GL_{\min}$ 对应的是红色通道, GL_{med} 对应的是绿色通道, $GL_{\max}$ 对应的是蓝色通道。因此,绿色通道的直方图保持不变,红色通道的直方图向右平移,蓝色通道的直方图向左平移。按照该算法处理所得的图像如图(b1)所示,(b2)是对应的直方图。可以看出,处理所得图像的直方图重叠面积远大于原图像的直方图重叠面积,处理所得图像也不再具有蓝色色偏。

基于直方图平移的色彩还原算法主要有 3 个创新点:

(1) 通过直方图平移增大直方图重叠面积,得到优良的色彩还原效果。

(2) 由于采用居中的直方图作为平移基准,在保证色彩还原性能的同时降低了显示屏端功耗。

(3) 与传统的算法相比,该算法只有加减运算,使得硬件实现的复杂度大大降低。

3 算法评估

3.1 主观评估

算法处理结果如图 4 所示,(a1)-(d1)是原图,(a2)-(d2)是灰度世界算法处理所得图像,(a3)-(d3)是白点补丁算法处理所得图像,(a4)-(d4)是基于直方图平移的色彩还原算法处理所

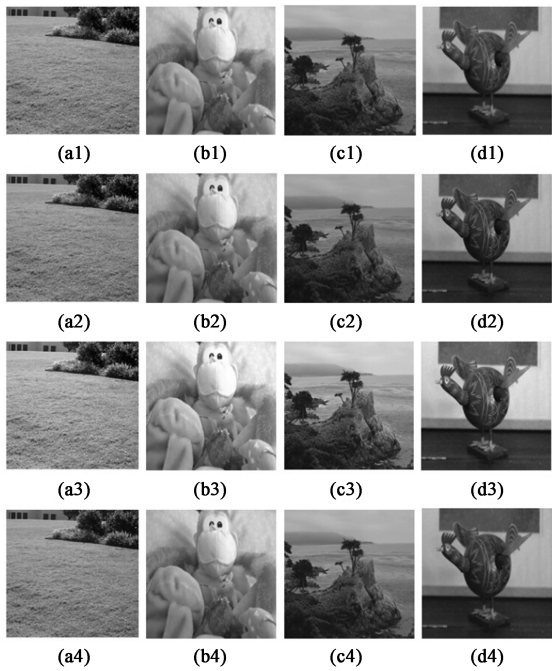


图 4 不同算法处理图像的对比

Fig.4 Comparison of images processed by different algorithms

得图像。从图中可以看出,基于直方图平移的色彩还原算法具备色彩还原的功能,其处理效果与传统的灰度世界算法和白点补丁算法相当。图(a2)和(a3)中出现大量的白点,这是由于色彩还原增益系数过大引起的,说明了传统算法的缺陷。图(a4)中没有白点,说明基于直方图平移的色彩还原算法的优越性。

3.2 客观评估与分析

OA:OA 是色彩还原算法中一个重要的评估指标,其值越大,色彩还原性能越好。OA 的值是由公式(1)计算出来的。在表 1 中,本文将直方图平移算法与传统的灰度世界算法和白点补丁算法进行对比。可以看出,直方图平移算法的 OA 值比灰度世界算法高 22.9%,比白点补丁算法高 42.6%。

表 1 不同算法的色彩还原性能指标对比

Tab.1 Comparison of performance index of different algorithms

算法	OA	ED	PD
灰度世界	0.4289	22.09	488.49
白点补丁	0.3696	17.55	645.55
直方图平移	0.5270	22.42	470.64

ED: ED 是欧几里得距离,是色彩还原算法的另外一个评估指标,其计算公式参考文献^[16]。ED 值越小,则色彩还原效果越好。

$$ED = \frac{1}{M_{\{(i,j) \mid L_2 > 50, \mid a_2 \mid < 15, \mid b_2 \mid < 15\}}} \sum \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}, \quad (5)$$

先将图像从 RGB 转换到 L^*ab ,其中 L 代表亮度, a 和 b 是两个色度分量。用 $L_1 * a_1 b_1$ 表示标准白点,即 $L_1 = 96, a_1 = -0.062, b_1 = -0.067$ 。 $L_2 * a_2 b_2$ 表示处理后的图像。由此看出,公式中所表征的 ED 是处理所得图像与标准白点之间的差异,其值越小,表示色偏的程度越小,色彩还原效果越好。

从表 1 可以看出,白点补丁算法的 ED 指标最佳,本文所提出算法与灰度世界算法相当。

PD:

(1) AMOLED 的显示机理

AMOLED 可以将阵列式的图像灰阶反应在显示屏上,形成图像。一个阵列点对应 AMOLED 屏端一个像素单元。其中,阵列点灰阶的大小决定对应像素单元的亮度,所有像素单元各异的亮度将呈现出一副图像。值得注意的是,灰阶的大小对应一个电流量,灰阶越大,流过发光二极管的电流越大,像素单元越亮^[1]。因此,

阵列点灰阶的大小决定屏端显示功耗。

(2) 显示功耗

PD 是图像在 AMOLED 屏端的显示功耗,其计算公式参考文献^[16]。

$$PD = \frac{1}{W \times H} \sum_{i=0}^H \sum_{j=0}^W (a_1 r_{i,j}^2 + a_2 g_{i,j}^2 + a_3 b_{i,j}^2) . \quad (6)$$

上述公式为计算屏端显示功耗的方法,其中 $r_{i,j}$ 、 $g_{i,j}$ 、 $b_{i,j}$ 分别为屏中第 i 行,第 j 列的红、绿、蓝子像素灰阶大小, W 为显示屏的水平分辨率, H 为垂直分辨率, $W \times H$ 表示总像素个数。 a_1 、 a_2 、 a_3 为相应的系数。从中可以看出,各个像素单元灰阶的大小直接决定了显示功耗的高低。直方图平移算法中,高灰阶通道的直方图被平移到中间直方图的位置,从而降低了高灰阶部分的像素个数,因此显示屏端功耗得以降低。

从表 1 可以看出,直方图平移算法的 PD 是灰度世界算法的 96%,是白点补丁算法的 73%。这说明,所提出算法是一种低功耗色彩还原算法,能有效降低 AMOLED 的显示屏端功耗,适用于 AMOLED 屏的显示驱动。

总之,基于直方图平移的色彩还原算法具有优良的性能表现。其直方图重叠面积(OA)比传统的算法大大提升,此外,该算法处理所得图像在

屏端的显示功耗最低,适合于 AMOLED 的显示驱动。虽然该算法在 ED 值方面没有在传统算法的基础上改善,但是它的复杂度比传统算法大大降低,这有利于降低硬件实现的成本。

4 结 论

本文就应用于 AMOLED 的低功耗色彩还原算法开展研究,提出了一种基于直方图平移的算法。基于直方图平移的色彩还原算法主要有三个创新点:(1) 通过直方图平移增大直方图重叠面积,因而得到优良的色彩还原效果;(2) 由于采用居中的直方图作为平移基准,在保证色彩还原性能的同时降低了显示屏端功耗;(3) 与传统的算法相比,该算法只有加减运算,使得硬件实现的复杂度大大降低。经验证,该算法具有优良的性能表现,其直方图重叠面积(OA)比灰度世界算法高 23%,比白点补丁算法高 43%。此外,该算法处理所得图像在屏端的显示功耗(PD)是灰度世界算法的 96%,是白点补丁算法的 73%。由于此算法简单、实现容易、效果佳及功耗小,可用于手持式、对功耗要求苛刻显示产品的图像处理。在使用 AMOLED 显示屏的产品中,直方图平移的色彩还原算法可作为首选算法。

参 考 文 献:

- [1] NATHAN A, CHAJI G R, ASHTIANI S J. Driving schemes for a-Si and LTPS AMOLED displays[J]. *Journal of Display Technology*, 2005, 1(2): 267-277.
- [2] CHAJI G R, SERVATI P, NATHAN A. Driving scheme for stable operation of 2-TFT a-Si AMOLED pixel[J]. *Electronics Letters*, 2005, 41(8): 499-500.
- [3] LIN C L, CHOU K W, HUNG C C, et al. Lifetime Amelioration for an AMOLED Pixel Circuit by Using a Novel AC Driving Scheme [J]. *IEEE Transactions Electron Devices*, 2011, 58(8): 2652-2659.
- [4] LIN C L, TSAI T T. A novel voltage driving method using 3-tft pixel circuit for amoled [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2007, 28(6): 489-491.
- [5] Lukac R. New framework for automatic white balancing of digital camera images [J]. *Signal Processing*, 2008, 88(3): 582-593.
- [6] HUO J Y, CHANG Y L, WANG J, et al. Robust automatic white balance algorithm using gray color points in images [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2006, 52(2): 541-546.
- [7] BUCHSBAUM G. A spatial processor model for object colour perception [J]. *Journal of the Franklin Institute*, 1980, 310(1): 1-26.
- [8] BILCU R C. Multiframe auto white balance [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2011, 18(3): 165-168.
- [9] 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 (ISCE 2005). IEEE, 2005: 134-139.

- [10] VAN DE WEIJER J, GEVERS T, GIJSENJ A. Edge-based color constancy [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16(9): 2207-2214.
- [11] KIM S K, JUNG S W, CHOI K 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, NV: IEEE, 2011: 659-660.
- [12] TAI S C, LIAO T W, CHANG Y Y, *et al.* Automatic White Balance algorithm through the average equalization and threshold [C] // 2012 8th International Conference on Information Science and Digital Content Technology (ICIDT), IEEE, 2012, 3: 571-576.
- [13] TAN X, LAI S M, WANG B, *et al.* A simple gray-edge automatic white balance method with FPGA implementation [J]. *Journal of Real-Time Image Processing*, 2013, 10(2): 207-217.
- [14] IQBAL K, ODETAYO M, JAMES A, *et al.* Enhancing the low quality images using Unsupervised Colour Correction Method [C] // 2010 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC). Istanbul: IEEE, 2010: 1703-1709.
- [15] JIANG T, NGUYEN D, KUHNERT K D. Auto White Balance Using the Coincidence of Chromaticity Histograms [C] // 2012 Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS). Naples: IEEE, 2012: 201-208.
- [16] 宋建中. 图像处理智能化的发展趋势[J]. *中国光学*, 2011, 4(5): 431-440.
SONG J Z. Development trend of image processing intelligence [J]. *Chinese Optics*, 2011, 4(5): 431-440. (in Chinese)
- [17] 陈莹, 朱明. 多子直方图均衡微光图像增强及 FPGA 实现[J]. *中国光学*, 2014, 7(2): 225-233.
CHEN Y, ZHU M. Multiple sub-histogram equalization low light level image enhancement and realization on FPGA [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(2): 225-233. (in Chinese)
- [18] HUANG C Q, ZHANG Q, WANG H, *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): 53-59.

作者简介: 黄成强 (1985—), 男, 贵州遵义人, 博士, 副教授, 主要从事专用集成电路研究。E-mail: 18616836345@163.com