

夜间图像的白平衡算法研究与实现

陈光化, 张 犁

(上海大学 微电子研究与开发中心, 上海 200072)

摘 要: 本文提出了一种基于像素点加权的白平衡算法, 并且对算法进行了 FPGA 实现. 该算法首先将 RGB 图像转化为暗通道图像, 根据图像的暗通道值以及高光区域的分布情况为各像素点加入权重. 然后, 根据各像素点的权重计算出各通道的加权平均值, 并将其结合标准灰度得到各通道的增益因子, 最后利用增益因子完成白平衡调整, 消除图像的颜色偏色. 实验结果表明, 该算法有效解决了夜间图像的偏色问题, 并且满足了实时系统的要求.

关键词: 颜色恒常性; 夜间图像; 颜色校正; FPGA

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)03-0033-04

Research and Realization of White Balance Algorithm for Night Image

CHEN Guang-hua, ZHANG Li

(Microelectronics R&D center, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper a white balance algorithm based on the weight of pixels is proposed, and the algorithm is implemented by FPGA. Firstly, the RGB image is converted into a dark channel image, and the weight of pixels is achieved according to the dark channel value of the image and the distribution of the high light region. Then, the weighted mean of each channel is calculated according to the weight of each pixel, and the gain factor of each channel is obtained by combining the standard gray scale. Finally, the gain factor is used to adjust the white balance to eliminate the color deviation of the image. The experimental results show that the algorithm can effectively solve the problem of color cast of nighttime image and meet the requirements of real-time system.

Key words: color constancy; night images; color correction; FPGA

1 引言

颜色恒常性是人眼具有的一种特性, 指在不同的光照条件下, 人们可以正确地认识物体本身所固有的颜色^[1-3]. 而计算机视觉需要通过白平衡算法获得颜色恒常性, 以消除图像的偏色效果^[4]. 在夜间条件下拍照会出现比较严重的颜色失真问题, 无法准确地传递实际场景中的真实信息. 因此, 改善夜间图像的偏色问题是十分有意义的.

目前, 广泛运用于图像处理中的白平衡算法主要有 Gray World 算法^[5]、White Patch 算法^[6]、Retinex 算法^[7]、色域映射算法^[8-10] 以及神经网络算法^[11]. Gray World 算法和 White Patch 算法在处理夜间图像时效果欠佳. Retinex 算法处理图像的效

果存在缺陷, 处理后的图像存在低对比度区域的局部灰化效应和沿强边缘的 Halo 效应. 色域映射算法和神经网络算法可以较为精确地消除图像的颜色偏色, 但是由于其算法复杂、运行速度较慢, 往往在应用时实时性和可实现性差. 因此本文提出一种新的白平衡算法.

2 加权灰度世界算法

在理想散射条件下, 一个成像系统获得的图像 $f(x)$ 由光源亮度 $e(\lambda)$, 表面反射 $s(x, \lambda)$ 和镜头敏感度 $c(\lambda)$ 决定. 成像模型可以使用式(1) 进行描述:

$$f(x) = \int_{\omega} e(\lambda) s(x, \lambda) c(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中, λ 表示光谱波长, ω 表示可见光频谱空间, x 表

示像素点位置.

由于图像是成像系统对环境进行捕获的结果,所以图像中的光源亮度是实际的光源亮度被镜头捕获的结果. 所以颜色恒常算法中估计的光源亮度是:

$$e' = \begin{bmatrix} e_R \\ e_G \\ e_B \end{bmatrix} = \int_{\omega} e(\lambda) c(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

由于 $e(\lambda)$ 和 $c(\lambda)$ 都是未知量,所以缺少进一步假设的情况下不可能对光源亮度 e' 进行估计. 因此灰度世界假说被提出了,该假说认为:场景中各表面的反射是无色差的,数学表达式如下:

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

式中, k 是介于 0(全吸收) 和 1(全反射) 之间的反射常数. 结合上面的式(1-3),可以推导出式(4),:

$$\begin{aligned} \frac{\int f(x) dx}{\int dx} &= \frac{1}{\int dx} \iint_{\omega} e(\lambda) c(\lambda) s(x, \lambda) d\lambda dx \\ &= \int_{\omega} e(\lambda) c(\lambda) \left(\frac{\int s(x, \lambda) dx}{\int dx} \right) d\lambda \\ &= k \int_{\omega} e(\lambda) c(\lambda) d\lambda = ke' \end{aligned} \quad (4)$$

上面的式(4)即为灰度世界算法的数学表达式,在该模型中,图像中所有像素点对于光照估计的贡献度是一样的. 而在局部区域进行图像采集时,场景中的条件往往很难满足灰度世界假说,尤其在夜间场景中,场景中各表面往往受光不均匀,有些区域曝光过度,甚至出现光源,有些区域受光不足,亮度较低. 所以,本文在式(4)的基础上引入像素点权值,改变各像素点对光照估计的贡献度,其模型如式(5)所示:

$$\frac{\int w(x) f(x) dx}{\int w(x) dx} = ke' \quad (5)$$

式中, $w(x)$ 表示像素点 x 处的像素点权重, $w(x)$ 的大小决定该像素点对于光照估计的贡献度.

在像素点权重确定的情况下,就可以使用式(5)对夜晚图像的光源亮度进行估计. 进而计算出各通道的增益因子,将其代入对角变换,通过式(6)获得校正后的图像^[12].

$$J = E_I = \text{diag}(g_R, g_G, g_B) I \quad (6)$$

式中, J 是校正得到的图像, I 是镜头接收到的图像.

3 像素点权值计算方法

图像的暗通道定义为该像素点 RGB 三个通道的最小值,数学表达式如式(7)所示:

$$f^{\text{dark}}(x) = \min_{\omega \in \{R, G, B\}} f^{\omega}(x) \quad (7)$$

上式中 x 表示像素点位置, f^{ω} 表示 f 的某一颜色通道.

图 1(a)为一幅夜间采集的偏色图像,图 1(b)和图 1(c)分别为其对应的亮度图像和暗通道图像. 对比观察两幅图像,白色表面的暗通道值很高,如图中树干处涂的白色石灰;受光不足的暗区的暗通道值较低,如图 1(a)中左上角的黑暗区域;色彩鲜艳的物理表面由于至少有一个通道值较低,所以暗通道值很低,如绿叶、汽车红色尾灯等.



(a)原始图像 (b)亮度图像 (c)暗通道图

图 1 夜间偏色图像

再选取无色偏的标准色板图像,如图 2(a)所示,可认为该图中各色块真实反映了各表面的固有色;图 2(b)为参考图像的亮度图像;图 2(c)为参考图像的暗通道图. 标准色板的前三行为彩色色板,且第二行和第三行色板色彩较为鲜艳. 暗通道值较低,第四行为白色、灰色和黑色色板. 相互比较可以看出,亮度接近的色板,灰色块的暗通道值大于普通彩色块、普通彩色块大于鲜艳彩色块. 如图中的中灰色块、鲜黄色块和右上角的天蓝色块. 对于色温估计的准确性而言,白色块和灰色块可以正确的反映光源的色温,普通彩色块会有误差、鲜艳彩色块的准确性最差,黑色块无法反映光源信息. 将图像中各色块根据其暗通道值从高到低分三层:(1)高值区域,该区域主要包含白色块和高亮度灰色块,该区域可以被认为无色差表面,可以准确地反映光源信息;(2)中值区域,该区域主要包含了中低亮度灰色块和普通彩色块,该区域对三通道的反射存在偏差.(3)低值区域,该区域主要包含了色彩鲜艳的彩色块和黑色块,该区域无法准确地反映光源信息.

通过阈值将图像按照暗通道值分层是一个难题,因为不同的图像对应的最优阈值是不同的. 为了解决这一问题,本文将式(7)中的 $f^{\text{dark}}(x)$ 作为像素

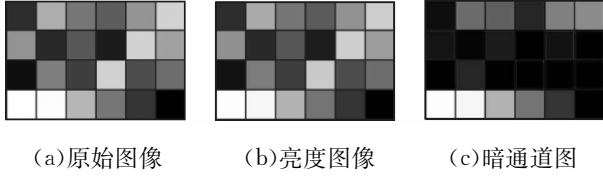


图 2 无色偏的标准色板图像

点权重进行光照色度估计. 这样就相当于在光照估计的过程中,提高了白色点和高亮度灰色点在光照估计时的贡献度,降低了受光不足的暗区点和色彩鲜艳的彩色点在光照估计时的贡献度. 在夜间场景中所采集的图像,图像的某些区域通常会出现高光现象. 造成这种现象的原因主要有两点:(1)场景中出现光源或者镜面造成的高光现象;(2)在图像采集时由于曝光过度造成的高光现象. 由于图像动态范围不足,造成高光区域的亮度值高于可记录的最高亮度,在图像的量化过程中进行了亮度剪裁,表现为图像中某些实际亮度更高的区域的亮度值只能取到图像动态范围的最高值(如 8 位色深图像的 255 取值). 亮度剪裁可能发生在 RGB 三个通道中的个别通道,也可能同时发生在 RGB 三个通道. 由于经过亮度剪裁的区域无法准确地反映真实的亮度值,本文将高光区域的像素点权重重置为零,这样图像中各像素点的权重可以表示为式(8):

$$w(x) = \begin{cases} f^{\text{dark}}(x), & \text{若 } f^{\omega}(x) \neq 255, \omega \in \{R, G, B\} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

通过上面的式(8)确定了整幅图像各像素点的权重 $w(x)$,并将其代入下面的式(9 ~ 11),就可以计算出整幅图像各通道的加权平均值,如下所示:

$$R_{\text{arg}} = \frac{\int w(x) f^R(x) dx}{\int w(x) dx} \quad (9)$$

$$G_{\text{arg}} = \frac{\int w(x) f^G(x) dx}{\int w(x) dx} \quad (10)$$

$$B_{\text{arg}} = \frac{\int w(x) f^B(x) dx}{\int w(x) dx} \quad (11)$$

式中, $f^R(x)$ 、 $f^G(x)$ 和 $f^B(x)$ 表示图像中像素点 x 的三通道值,图像的标准灰度值可以由式(12)确定:

$$\text{Gray} = \frac{R_{\text{arg}} + G_{\text{arg}} + B_{\text{arg}}}{3} \quad (12)$$

实际光源和标准光源的增益因子可以分别通过

式(13-15) 获得,如下所示:

$$g_R = \frac{\text{Gray}}{R_{\text{arg}}} \quad (13)$$

$$g_G = \frac{\text{Gray}}{G_{\text{arg}}} \quad (14)$$

$$g_B = \frac{\text{Gray}}{B_{\text{arg}}} \quad (15)$$

最后,将式(13 ~ 15)中得到的增益因子代入式(6)中的对角矩阵 E ,就可以对原始图像进行校正.

4 实验结果与数据分析

为了测试算法的效果,本文选取了两幅夜间图片测试结果,如图 3 所示. 图中分别包括 Gray World 算法、White Patch 算法和本文算法的结果图. 为了更加合理地比较实验结果,本文分别采用主观评价方法和客观评价方法进行评价.



(a)原图 (b)Gray World (c)White Patch (d)本文算法

图 3 两组夜间图像的实验结果

在图 3 中,第一组图片色彩分布相对丰富,Gray World 算法消除了原图的偏色效果,校正结果尚可接受,White Patch 算法校正之后的图像依然偏黄,校正效果较差. 本文校正效果优于前两者,比较令人满意. 图 3 中的第二组图片,有大面积的绿草出现,色彩相对单一,Gray World 算法校正过度,使得图像偏蓝. White Patch 算法校正效果不明显,输出图像依然偏黄,校正效果不理想,本文校正效果最佳. Gray World 算法出现偏色的原因依据图像色彩的丰富程度,如果夜间图像色彩不够丰富或者偏色严重,校正会不准确. White Patch 算法是依据图像中最亮的白点,如果图像中最亮的白点不准确,容易造成很大的偏差. 从算法处理结果可以看出,本文算法适用范围更广,色彩校正更加准确.

客观评价白平衡的方法可以通过色差均值 $\sqrt{Cr_{\text{mean}}^2 + Cb_{\text{mean}}^2}$ 进行评价,算法的处理结果如表 1

所示. 当色差均值越低, 说明白平衡的效果更好. 从表 1 中可以看出, 本文算法具有更好的白平衡效果.

表 1 色差均值结果		
	第一组	第二组
Gray World 算法	180.72	180.60
White Patch 算法	183.42	179.96
本文算法	179.61	177.51

5 算法的 FPGA 实现

根据算法设计和功能要求, 本文采用 top-down 设计方法将算法分为三个模块, 算法的实现流程如图 4 所示. 首先计算出每帧图像各像素点的权重, 并求出其与三通道值的乘积. 然后将乘积值进行累加, 最后计算增益因子, 且将增益因子存入 FPGA 的内部 RAM. 一般图像的采集帧率在 25 帧每秒左右, 前后相邻两帧图像的图像特征差别很小. 因此可以将上一帧的增益因子用于校正当前帧的图像. 这样使得同一帧图像的亮度估计和图像校正同时进行, 在不需图像帧存储的情况下便能完成颜色的实时校正.

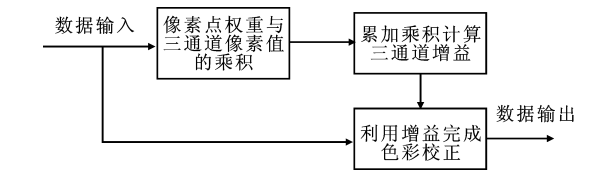


图 4 算法的实现流程图

根据算法的设计方法, 本文采用 Verilog HDL 语言对算法进行 RTL 描述, 并且使用 Altera 公司的 FPGA 系列产品 EP4CE40F23 器件进行验证, 使用的编译和仿真的软件为 quartus ii 和 modelsim. 白平衡模块的仿真波形图如图 5 所示. 由波形图可知, 系统中各个信号的行为与设计预期一致, 可以说明 RTL 设计正确, 满足功能设计定义.

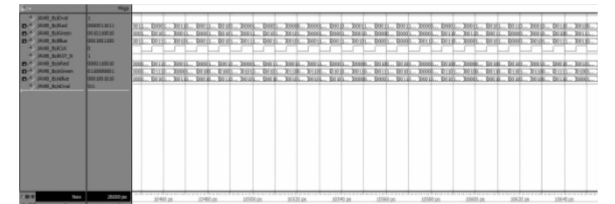


图 5 白平衡模块的波形图

算法的 FPGA 验证结果与图像仿真结果如图 6 所示. 由图 6 可知, RTL 实现的结果表现了算法的真实意图, 取得了较为理想的效果. 因此本文算法能

够更加有效地解决夜间图像的偏色问题, 并且能够满足实时系统的要求.

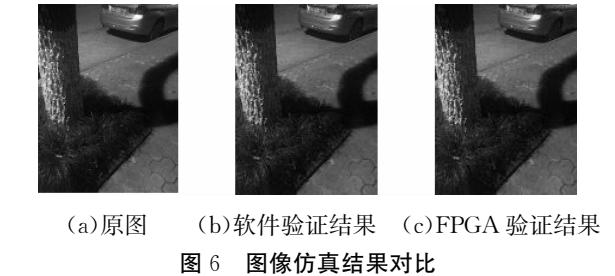


图 6 图像仿真结果对比

6 结束语

针对夜间图像的偏色现象, 本文提出了一种白平衡算法, 该算法通过比较图像像素点在 RGB 图像和暗通道图像中的分布特点, 选取没有发生高光现象的像素点作为用于光照估计的候选集, 然后将图像的暗通道值作为该像素点的权重, 以改变各像素点在光照估计时发挥的贡献度, 最后比较准确地估计环境光源的色温, 完成夜间图像的白平衡调整. 算法的软件仿真和硬件验证结果表明, 与经典算法相比, 本文算法取得了更加理想的实验效果, 并且能够在图像处理芯片中使用.

参考文献:

[1] Kuzhaloli S, Premi M S G, Bernatin T, et al. Insitu implementation of adaptive color constancy algorithm [C]// 2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET). Coimbatore, India, 2016:1-4.

[2] Prayitno A, Wibawa A D, Purnomo M H. Early detection study of kidney organ complication caused by diabetes mellitus using iris image color constancy[C]// 2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS). Surabaya, Indonesia, 2016:146-149.

[3] Yanlin Qian, Chen K, Kämäräinen J K, et al. Deep structured-output regression learning for computational color constancy[C]// 2016 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR). Cancun, Mexico, 2016:1899-1904.

[4] Hui Z, Sankaranarayanan A C, Sunkavalli K ,et al. White balance under mixed illumination using flash photography[C]//2016 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP). Evanston, 2016: 1-10.

5 结束语

本文使用参数较少、容易实现的二进制布谷鸟算法,并进一步引入粗糙集理论,有效降低了计算复杂度,缩短了运算时间.同时使用 SVM 分类器对情感状态进行分类.实验结果表明提出的算法有着较好的特征降维效果,并且获取了较好的识别效果.

参考文献:

- [1] Alzoubi O, Sidney K D, Calvo R A. Detecting naturalistic expressions of nonbasic affect using physiological signals[J]. *Affective Computing IEEE Transactions on*, 2012, 3(3):298-310.
- [2] Picard R W, Vyzas E, Healey J. Toward machine emotional intelligence: analysis of affective physiological state[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2001, 23(10):1175 - 1191.
- [3] Cheng Z, Tao H, Zhang X, et al. A novel speech emotion recognition algorithm based on combination of emotion data field and ant colony search strategy[J]. *东南大学学报(英文版)*, 2016,32(2):158-163.
- [4] Yusuf R, Tanev I, Shimohara K. Application of genetic programming and genetic algorithm in evolving emotion recognition module[C]// *Evolutionary Computation. Sendai, Japan, IEEE*, 2015:1444-1449.
- [5] Wang X, Yang J, Teng X, et al. Feature selection based on rough sets and particle swarm optimization [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, 28 (4):

459-471.

- [6] Pawlak Z. Rough sets[J]. *International Journal of Parallel Programming*, 1982, 38(5):88-95.
- [7] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via lévy flights[C]// *Nature & Biologically Inspired Computing, NaBIC 2009. Springer Verlag, Germany, World Congress on*, 2009:210-214.
- [8] Yang X S, Deb S. Engineering optimisation by cuckoo search[J]. *International Journal of Mathematical Modelling & Numerical Optimisation*, 2010, 1 (4): 330-343.
- [9] Rodrigues D, Pereira L A M, Almeida T N S, et al. BCS: a binary cuckoo search algorithm for feature selection[C]// *IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Beijing, IEEE*, 2013:465-468.
- [10] Koelstra S, Muhl C, Soleymani M, et al. DEAP: a database for emotion analysis ;using physiological signals[J]. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2012, 3(1):18-31.
- [11] Schröder M. A circumplex model of affect[J]. *Personality and Social Psychology*, 1980(39):1161-1178.

作者简介:

金 纯 男, (1966-), 博士, 教授. 研究方向为物联网、大数据.

陈光勇(通讯作者) 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为情感计算、机器学习. E-mail:1310977160@qq.com

(上接第 36 页)

- [5] Sethi R, Sreedevi I, Verma O P, et al. An optimal underwater image enhancement based on fuzzy gray world algorithm and Bacterial Foraging algorithm[C]// *2015 Fifth National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG). Patna, 2015: 1-4.*
- [6] Banic N, Loncaric S. Improving the white patch method by subsampling[C] // *Image Processing (ICIP), 2014 IEEE International Conference on. Paris, IEEE*, 2014: 605 - 609.
- [7] Seonhee Park, Byeongho Moon, Seungyong Ko, et al. Low-light image enhancement using variational optimization-based Retinex model[C]// *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, 2017: 70-71.*
- [8] Azimi M, Bronner T F, Boitard R, et al. A hybrid approach for efficient color gamut mapping[C]// *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, 2017: 254-255.*

- [9] Sikudová E. A gamut-mapping framework for color-accurate reproduction of HDR images[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2016, 36(4): 78-90.
- [10] Fröhlich J, Schilling A, Eberhardt B. Gamut mapping for digital cinema[J]. *SMPTE Motion Imaging Journal*, 2014,123(8):41-48.
- [11] Fourure D, Emonet R, Fromont E, et al. Mixed pooling neural networks for color constancy[C]// *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Phoenix, AZ, 2016:3997-4001.*
- [12] West G, Brill M H. Necessary and sufficient conditions for Von Kries chromatic adaptation to give color constancy[J]. *Journal of Mathematical Biology*, 1982, 15(2):249-258.

作者简介:

陈光化 男, (1972-), 副研究员. 研究方向为视频信号处理和嵌入式系统设计.

张 犁(通讯作者) 男, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为数字集成电路设计. E-mail:lizy21@126.com.