

基于物体颜色信息的图像紫边矫正方法

张 林 冯华君* 徐之海 李 奇 陈跃庭

浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027

摘要 提出了一种基于颜色信息的大区域紫边矫正方法。在研究紫边成因的基础上,结合色差理论对传统紫边检测方法进行了改进;在矫正紫边时,提出了利用物体颜色信息的分类矫正方法以及规避错误矫正的措施,并对残留紫边进行了矫正,从而在有效地矫正紫边的同时,减少了矫正误差。实验结果表明,相比已有方法,该方法对图像中各种场景下的大区域紫边均有更好的矫正效果,矫正后的图像在主观视觉和客观数据指标上均有明显提升。

关键词 视觉光学; 成像系统; 紫边矫正; 色差理论; 成像质量

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201636.1233001

Purple Fringing Correction Method Based on Color Information of Object

Zhang Lin Feng Huajun Xu Zhihai Li Qi Chen Yueting

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China

Abstract A purple fringing correction method for large-area purple fringing is proposed based on color information. Considering the causes of purple fringing, the existing method for purple fringing detection is improved by making use of the chromatic aberration theory. When correcting the purple fringing, the proposed classification correction method and the method of avoiding error correction measures are proposed based on object color information, while a method for remaining purple fringing removal is corrected, so as to correct the purple fringing and reduce the error correction at the same time. Experimental results indicate that the proposed method can obtain better correction effect than the existing methods for large-area purple fringing in various scenarios of images. The corrected images are improved significantly in the subjective visual and objective data in the evaluating indicator.

Key words visual optics; imaging system; purple fringing correction; chromatic aberration theory; imaging quality

OCIS codes 330.1730; 110.5200; 100.3020; 100.2000

1 引 言

近年来,随着智能手机等小型移动设备的普及与飞速发展,手机拍照功能得到了广泛关注,人们对图像分辨率和成像质量的要求越来越高。尽管图像分辨率已有较大提高,但由于设备大小的限制,图像质量在图像色差(CA)^[1]、清晰度^[2]、噪声控制^[3]、动态范围^[4]、颜色准确性^[5]等方面仍存在很大的提升空间。紫边(PF)是图像色边的一种,属于图像局部的颜色错误,由于图像紫边在视觉上比较显著,对图像质量的影响非常直观,因此近十年来得到了光学成像和图像处理领域研究者的关注和研究^[6-9]。矫正图像紫边,对于提升数字成像系统的成像质量有着重要意义。

通常,手机镜头、监控摄像头等数字成像系统在光学镜头设计方面投入成本不高,主要依靠后端数字处理模块提升成像质量。对于紫边的矫正也遵循相似的思路,主要是因为图像中矫正紫边:1)紫边成因难

收稿日期: 2016-06-15; 收到修改稿日期: 2016-08-07

基金项目: 国家自然科学基金(61475135)

作者简介: 张 林(1990—),男,硕士研究生,主要从事光学成像和图像处理等方面的研究。

E-mail: 21430028@zju.edu.cn

导师简介: 李 奇(1973—),男,副教授,硕士生导师,主要从事光学工程和成像技术方面的研究。E-mail: liqi@zju.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: fenghj@zju.edu.cn

以确定;2)可以降低成本。

矫正紫边可分为检测、矫正两部分。目前国内对矫正紫边的研究较少,具有代表性的方法是王志^[8]提出基于查表的矫正方法,其思路是先找到图像中紫边区域,然后用查表法得到相应的替代色以代替紫边,其不足是矫正不够准确以及没有规避错误矫正。国外方面一直有关于紫边矫正的研究,早期研究着重于紫边的检测方法^[6-7,9],近年来逐渐转向提升矫正效果以及避免错误矫正方法的研究,主要有两种思路:1)基于区域加权的矫正方法^[10-12],此类方法在去饱和矫正^[7,9]的基础上进一步研究紫边邻域像素的性质,包括亮度、邻域颜色、方向等,以及不同分辨率的同一幅图像^[12],在矫正时将这些因素加权,从而有效地避免错误矫正,但是对大区域紫边的矫正效果有限,对紫边内部区域矫正效果欠佳;2)基于色差的矫正方法^[13-15],即将紫边作为色差处理,例如文献^[13]基于色差理论,默认成像系统将绿色通道准确对焦,首先使用一个矫正滤波器将紫边区域缩小,然后用去饱和方法矫正色差,由于矫正滤波器对大区域紫边缩小效果有限,这种方法对大区域紫边矫正效果同样欠佳。文献^[16]提出了在小波域中处理色差的方法,该方法对小区域色差有很好的矫正效果,但同样对于大区域紫边矫正效果有限。

针对目前紫边矫正中难以矫正大区域紫边的问题,本文提出了基于物体颜色信息的紫边矫正方法,该方法利用紫边区域内 RGB 三通道间的色差信息对紫边分类进行矫正,并规避错误矫正,在初步矫正后根据不同类紫边的分布信息进一步矫正残留紫边,从而提升手机、监控摄像头等数字成像系统的成像质量。

2 紫边成因与数据分析

对于紫边的成因,通常认为是镜头/微透镜色差^[6,17-18]所导致,如图 1(a)所示,成像系统一般将绿色通道准确对焦,然而由于镜头/微镜头色差,蓝色和红色通道不能完全准确对焦,从而使物体边缘出现紫红色的色边。

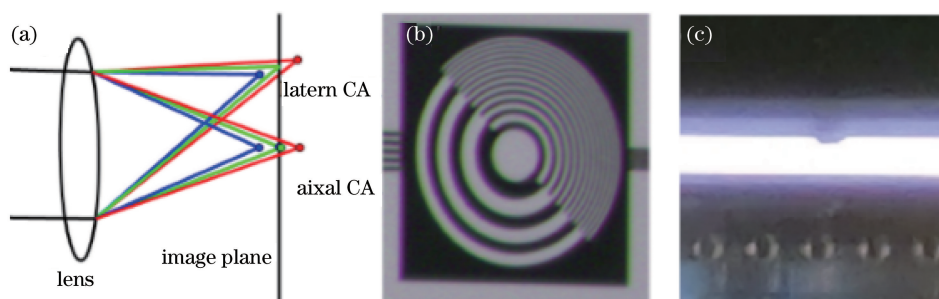


图 1 色差与紫边。(a)镜头/微透镜色差;(b)图像中的色差色边;(c)图像中的紫边

Fig. 1 Chromatic aberration and purple fringing. (a) Chromatic aberration of lens or micro-lens; (b) chromatic aberration in images; (c) purple fringing in images

经典色差理论虽然能在一定程度解释紫边的形成,然而对比紫边与常见色差色边,可以发现二者之间存在差别,如图 1(b)、(c)所示,色差色边包含紫红色、绿色色边,而紫边不含有绿色色边。

为了确定紫边成因,分析了物体边缘受到紫边影响以及整个物体受到紫边影响时图像的数据,如图 2 所示。图 2(a)所示为物体边缘受到紫边影响时图像颜色通道值的变化,图中包含 4 类区域:高亮区域、紫边区域、过渡区域、正常颜色区域。各颜色通道接近饱和的区域是高亮区域,此图中表示灯管,在高亮区域旁边可以看到紫边,紫边之后是过渡区域,过渡区域旁边是正常物体颜色区域。从图 2(c)各颜色通道梯度变化图可知,过渡区域和紫边区域颜色通道值变化剧烈,过渡区域虽然在视觉上没有明显的紫边,但是该区域颜色各通道值开始变化,且各颜色通道梯度变化不完全相同,其中红色通道 R、绿色通道 G 变化一致,而蓝色通道 B 从过渡区域开始相对 R、G 有更大的梯度值,在接近高亮区域时,R、G 通道有更大的梯度值。图 2(b)所示为整个物体受到紫边影响时图像颜色通道值的变化,图中只有高亮区域和紫边区域。淡蓝色的天空是高亮区域,紫边掩盖了物体颜色信息。图 2(d)中颜色通道梯度变化相对图 2(c)来说无明显特征,紫边区三个颜色通道梯度变化几乎一致。

从紫边颜色通道数据可知,图像紫边是成像系统的短波色差引起的,主要表现是在物体边缘处紫边区域 B 相对 R、G 有更大程度增幅,矫正紫边主要目的是降低紫边区域 B 的值。

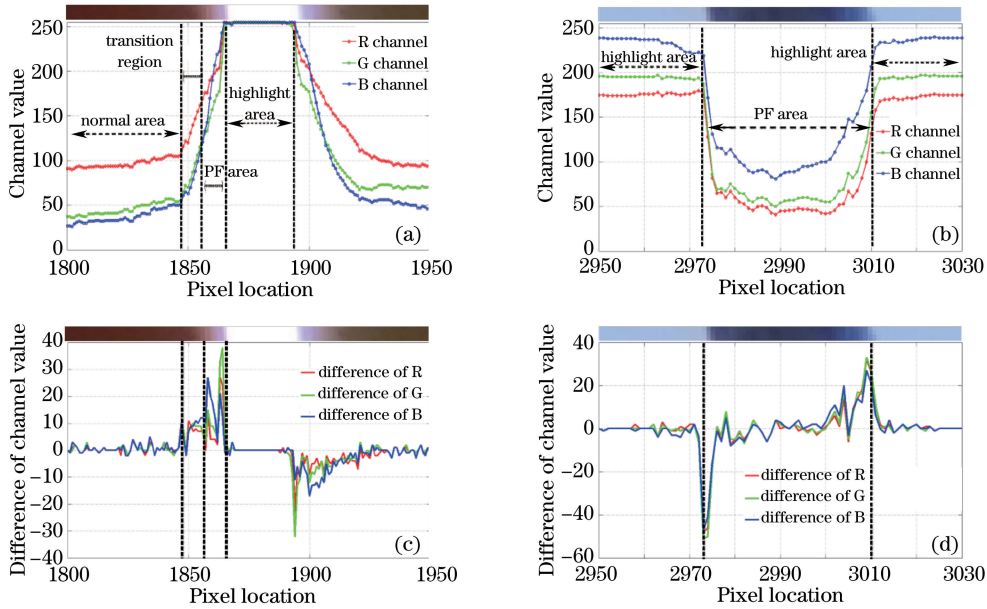


图2 数据分析。(a)(b)颜色通道数据;(c)(d)颜色通道差分

Fig. 2 Data analysis. (a)(b) Data of channel value; (c)(d) difference of channel value

3 方法设计

本文提出的紫边矫正方法包含紫边检测和紫边矫正两个步骤,其中检测方法在文献[7]和[9]的基础上,根据色差在图像中随视场变化的规律进行高光区域的扩展,矫正时利用紫边区域内 RGB 三通道间的色差信息对紫边分类矫正,并规避错误矫正,在初步矫正后根据不同类紫边的分布信息进一步矫正残留紫边。

3.1 检测紫边

检测紫边的第一步是找到图像高亮区域 D_h ,主要是天空和灯管。文献[6]、[7]、[9]将亮度大于一定阈值的图像区域标定为高亮区域,而本文只对蓝色和红色通道设定了阈值,以扩大检测区域,表示为

$$D_h(i, j) = \{(i, j) \mid B(i, j) \geq T_1, R(i, j) \geq T_2\}, \quad (1)$$

式中 i, j 是图像像素坐标, $B(i, j), R(i, j)$ 表示相应坐标点 B、R 通道值, T_1, T_2 分别是 B、R 颜色通道阈值。

然后扩展高亮区域 D_h ,得到其扩展区域。与直接对高亮区域作一定扩展不同,本文根据色差在图像中随视场变化的规律扩展高亮区域。根据色差理论^[19],位置色差 $\Delta L'_{FC}$ 只与孔径 h_1 有关,且不随 h_1 的符号改变而改变,当孔径 h_1 为 0 时,存在初级位置色差 $\Delta L'_{FC} = A_0$,其一般表达式为

$$\Delta L'_{FC} = A_0 + A_1 h_1^2 + A_2 h_1^4 + A_3 h_1^6 + \dots \quad (2)$$

倍率色差 $\Delta \gamma'_{FC}$ 只与视场 γ 有关,随 γ 的符号改变而改变,当 γ 为 0 时倍率色差为 0,其一般表达式为

$$\Delta \gamma'_{FC} = A_1 \gamma + A_2 \gamma^3 + A_3 \gamma^5 + \dots \quad (3)$$

(2)(3)式中 A_0, A_1, A_2, A_3 等表示各阶色差系数。

紫边包含以上两类色差,随视场增大而增大。因此在扩展高亮区域 D_h 时,本文使用随图像中心到边缘的距离线性增加的扩展范围,即距离图像中心越远则扩展范围越大,水平方向和垂直方向的扩展范围分别为 L_{hor}, L_{ver} ,表示为

$$\begin{cases} L_{hor} = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \times |n/2 - j| / (n/2) \\ L_{ver} = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \times |m/2 - i| / (m/2) \end{cases}, \quad (4)$$

式中 L_{min}, L_{max} 分别是图像中心、图像边缘处紫边宽度阈值,可以根据成像系统得到的图像事先标定。 m, n 分别是图像垂直和水平像素数, i, j 为图像坐标。将扩展后的 D_h 减去扩展前的 D_h 图像得到高光区域的扩展区域。

假设原图像数据采用通用色彩标准(sRGB 颜色空间),将图像 sRGB 颜色空间转换到国际照明委员会(CIE)1931 颜色空间,将归一化的 R、G、B 值线性化,

$$C_L = \begin{cases} \frac{C}{12.92}, & C \leq 0.04045 \\ \left(\frac{C + 0.055}{1 + 0.055}\right)^{2.4}, & C > 0.04045 \end{cases}, \quad (5)$$

式中 C 表示归一化的 R、G、B 值, C_L 表示 R、G、B 的线性值 R_L 、 G_L 、 B_L 。

颜色坐标为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9503 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad (7)$$

式中 (x, y) 是 CIE1931 颜色坐标, 将扩展区域中的像素 RGB 值转换到 CIE1931 颜色空间, 其颜色坐标落在图 3(a) 中的绿色多边形区域中, 即区域 D_p , 表示该像素颜色为紫边色, 包含紫偏蓝 (pB)、蓝偏紫 (bP)、紫色 (P)、红偏紫 (rP)、紫红色 (RP、pPk、pR) 等。最后找到高亮区域的扩展区域中所有的紫边色区域, 表达式为

$$D_p(i, j) = \{(x, y) \mid y \leq 1.3692x - 0.0927, y \leq -0.2048x + 0.3930, \text{ and } y \geq 0.05510x - 0.0227\}. \quad (8)$$

图 3(a) 所示为 CIE1931 颜色空间和颜色分区, 该颜色空间被近似地划分为多个颜色区域^[20]。图 3(a) 中蓝色三角形区域表示 sRGB 颜色域, 红点是 White Point, 坐标为 (0.3127, 0.3290), 因为紫边是短波色差引起的, 所以相对文献[9], 本文紫边色区增加了紫偏蓝色。在图 3(b) 中, 将 CIE1931 颜色空间中限定紫边色区域的一条边设为衡量偏紫色程度的参考线, 即 $0.2048x + y - 0.3930 = 0$ 。矫正紫边主要是降低 B 值, 矫正后的图像其 CIE1931 颜色坐标会向着 B 值减小的方向移动, 在参考线右上方 B 值越小, 偏紫色程度越低, 在直线左下方, 偏紫色程度越高。

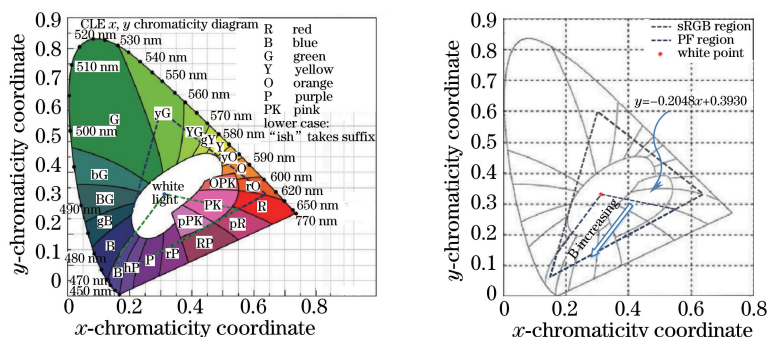


图 3 CIE1931 颜色空间。(a)颜色分区;(b)偏紫色程度参考线

Fig. 3 CIE1931 color space. (a) Color partitions; (b) reference line of partial purple degree

3.2 矫正紫边

矫正紫边流程如图 4 所示, 紫边成因分两种情况, 物体边缘受到紫边影响时和整个物体受到紫边影响时, 这两种情况下数据变化规律不同, 将紫边分为这两种情况矫正, 如果整个物体受到紫边影响, 即紫边掩盖了物体颜色, 物体颜色难以获得; 如果只是物体边缘受到紫边影响, 则可以在紫边附近找到正常物体颜色区

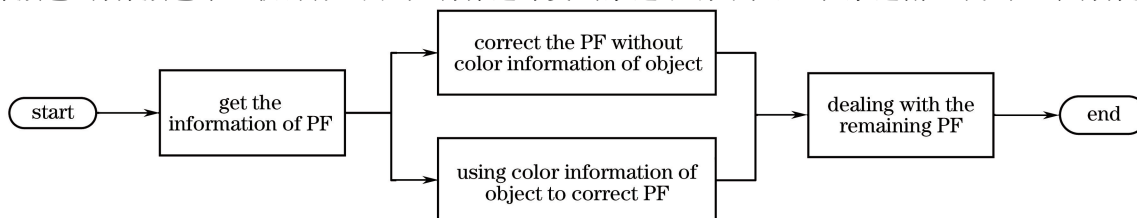


图 4 矫正紫边流程图

Fig. 4 Flow chart of correcting purple fringe

域, 这样可以根据物体颜色矫正紫边, 矫正时需要设计避免错误矫正的方法。

3.2.1 确定紫边信息

使用梯度算子判定紫边方向, 分为上下左右 4 个方向, 随后在该方向统计紫边像素量, 即紫边宽度 N 。

判断紫边的两端是否都在高亮区域, 如果是, 则表示紫边是被高亮区域淹没的较小区域, 整个物体区域被紫边掩盖, 如图 2(b) 所示; 如果不是, 则表示在紫边附近可以找到物体的颜色信息, 如图 2(a) 所示。

3.2.2 矫正无物体颜色信息的紫边

无物体颜色信息的紫边[图 2(b)、(d)], 将这种情况下的紫边区域标记为 A_{PF} , 由于难以得到其掩盖的物体的颜色信息, 所以本文采用的方法是降低其偏紫色程度, 在视觉上减弱紫边效应。具体方法是降低蓝绿色差、红绿色差的值, 色差值 κ_{GR} 、 κ_{GB} 表示为

$$\begin{cases} \kappa_{GR} = G - R \\ \kappa_{GB} = G - B \end{cases} \quad (9)$$

参考去饱和的矫正方法^[7,10], 同时降低两个色差信号的值, 得到新的色差量 κ'_{GR} 、 κ'_{GB} , 从而降低被高亮区域淹没的小区域紫边的偏紫色程度, 其表达式为

$$\begin{cases} \kappa'_{GR} = \eta \kappa_{GR} \\ \kappa'_{GB} = \eta \kappa_{GB} \end{cases}, \quad (10)$$

式中 η 表示降低偏紫色程度, 根据经验可取 0.3~0.5。因为一个点可能会被多次矫正, 为了避免将相同情况下的正常色物体完全矫正为灰度色, 规避错误矫正, 本文方法只允许对同一像素矫正一次。

3.2.3 利用物体颜色矫正紫边

对于可利用颜色信息进行紫边矫正的区域[图 2(a)、(c)], 标记这些紫边像素为 P_{PF} 。图 5 中临界点是紫边区域和过渡区域的连接点, 是 B 与 G 的交点。在过渡区域可找到物体颜色信息, 即物体色差 $\kappa_{GRObject}$ 、 $\kappa_{GBObject}$, 从图 5 可知, 过渡区中最大的蓝绿色差可作为物体颜色信息。为了规避错误矫正, 准确地矫正紫边, 使用了以下几条准则:

1) 由于红绿通道是相对准确的颜色通道信号, 利用红绿色差信号判断紫边和附近物体是否为同一物体, 若检测到的紫边红绿色差值 κ_{GR} 和物体颜色的红绿色差值 $\kappa_{GRObject}$ 异号且绝对值之差大于一定阈值则表示不是同一物体, 对此只降低紫边的蓝色通道值。如图 6(a) 所示, 在箭头方向, 紫边区域和绿色区域不是同一物体, 更新紫边蓝绿色差值, 红绿色差值不作更新, 即

$$\kappa'_{GB} = N' \times \kappa_{GBObject} / N, \quad (11)$$

式中 N' 表示矫正点离高亮边缘的距离, N 则表示紫边大小。

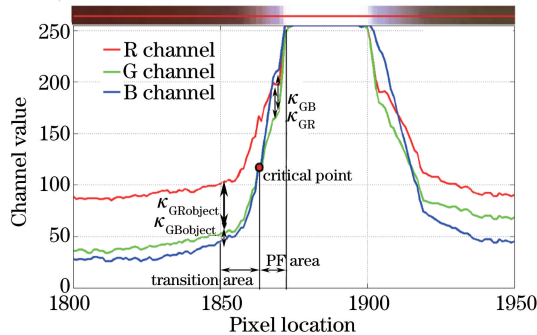


图 5 利用物体颜色信息矫正紫边

Fig. 5 Correction of purple fringing using object color information

2) 如果检测到的紫边红绿色差 κ_{GR} 和物体颜色的红绿色差 $\kappa_{GRObject}$ 异号且绝对值之差小于一定阈值或者二者同号但是蓝绿色差不同号, 如图 5 所示, 则利用物体颜色信息插值计算得到紫边的准确矫正值, 如图 6(b) 所示, 更新紫边区的蓝绿色差信号为

$$\kappa'_{GB} = \kappa_{GR} \times \kappa_{GBObject} / \kappa_{GRObject} \quad (12)$$

3) 如果检测到的紫边色差信号 κ_{GR} 、 κ_{GB} 与物体区域的色差信号 $\kappa_{GRObject}$ 、 $\kappa_{GBObject}$ 均同号, 则表示紫边和物

体区域为一个整体——这种情况不作矫正,标记紫边属性为 Q_{PF} ,如图 6(c)所示,以规避错误矫正。

4) 对于如图 6(d)所示的大区域紫边,在利用物体颜色信息矫正时允许多个方向对紫边进行矫正,这样能有效地矫正极大区域的紫边,例如在图 6(d)中的箭头区域处,当允许双向矫正时,能降低该大区域紫边的偏紫色程度。

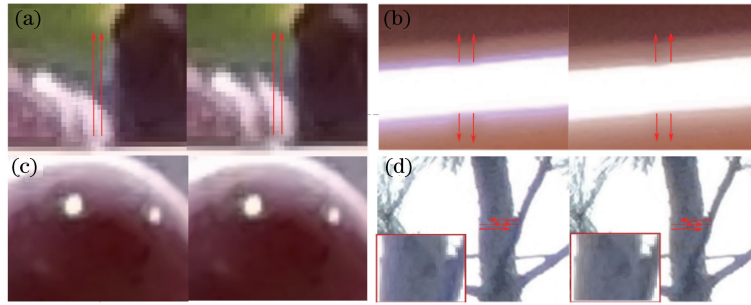


图 6 利用物体颜色信息矫正紫边示意图

Fig. 6 Diagram of correct purple fringe using object color information

3.2.4 矫正残留紫边

根据物体边缘方向矫正紫边,会残留一些较小区域,为此提出了处理这些残留紫边的方法。

首先找到这些残留的紫边像素,然后在水平、竖直方向搜索邻域内处理过的点,这些点均被标记过,即 A_{PF} 、 P_{PF} 、 Q_{PF} ,因此根据标记信息可以确定这些残留紫边的矫正策略:如果这些标记过的点是被高亮区域淹没的紫边即标记为 A_{PF} 的紫边,那么参照 3.2.3 节中方法矫正;如果是紫边色物体即标记为 P_{PF} 的紫边,无需矫正;其他情况下则参照 3.2.4 节中的矫正方法。最后,根据需要对所有处理过的像素点进行中值滤波。

利用更新过的 κ'_{GR} 、 κ'_{GB} 更新 R' 、 B' ,即

$$\begin{cases} R' = G - \kappa'_{GR} \\ B' = G - \kappa'_{GB} \end{cases} \quad (13)$$

4 实验与分析

4.1 评价指标

本文使用的评价指标为移出 CIE1931 紫边色区的像素比例,以及偏紫色降低程度。

1) 移出 CIE1931 紫边色区的像素比例 r_1 。

该值用于表征紫边像素量的减少,因此 r_1 越大说明紫边矫正越完全,其表达式为

$$r_1 = \frac{n - n'}{n}, \quad (14)$$

式中 n 表示矫正前检测到的紫边在 CIE1931 紫边色区的像素量, n' 表示矫正后处于 CIE1931 紫边色区的像素量。

2) 偏紫色降低程度。

在 3.1 节中提到过,将 CIE1931 颜色空间中限定紫边色区的一条边设为衡量偏紫色程度的参考线,即 $0.2048x + y - 0.3930 = 0$,如图 3(b)所示。矫正紫边主要是降低 B 值,矫正后的图像其 CIE1931 颜色坐标会向着 B 值减小的方向移动,在参考线右上方 B 值越小,偏紫色程度越低,在直线左下方,偏紫色程度越高。因此颜色坐标与参考线距离的相对变化量可以表征偏紫色程度的变化,距离公式为

$$d_{(x,y)} = \left| \frac{0.2048x + y - 0.3930}{\sqrt{0.2048^2 + 1}} \right|, \quad (15)$$

则矫正后偏紫色程度降低程度 r_2 表示为

$$r_2 = 1 - \frac{\sum_{(x',y') \in D_p} d_{(x',y')}}{\sum_{(x,y) \in D_p} d_{(x,y)}}, \quad (16)$$

式中 (x,y) 、 (x',y') 分别表示矫正前后图像中属于 D_p 的颜色坐标, r_2 数值越大表明偏紫色下降程度越大。

4.2 实验结果

实验中将本文方法与两种具有代表性方法进行比较,方法 I 是基于区域加权矫正紫边的方法^[7,10],方法 II 为文献[13]采用色差滤波算子矫正紫边的方法。

图 7 所示为 6 组实验结果对比,图 7(a1)为灯管旁紫边,图 7(b1)为灯管旁紫边,图 7(c1)为手指旁紫边,图 7(d1)为树枝旁紫边,图 7(e1)为树枝和树叶旁紫边,图 7(f1)为衣领旁紫边,第 2~4 列表示依次使用方法 I、方法 II 和本文方法的效果图。在所有 6 组实验中,本文方法的矫正效果均优于其他方法。对于紫边区域较小的图像(紫边区域宽度小于 10 pixel),如图 7(c2)~(c4)和(e2)~(e4),本文方法略优于方法 I 和方法 II。而对于紫边区域较大的图像(紫边区域宽度大于 20 pixel),如图 7(a2)、(b2)、(d2)和(f2)所示,方法 I 几乎没有矫正效果,方法 II 相对方法 I 有一定程度提升,但是方法 II 在图像中一些区域引入明显的错误颜色,本文方法则明显优于方法 I 和方法 II,颜色过渡更加自然,紫边残余量更小。

表 1 所示为对实验结果的客观评价。对于紫边区域较小的图像,如图 7(c1)和(e1)所示,本文方法的两个数据指标略优于方法 I 和方法 II。而对于紫边区域较大的图像,如图 7(a2)、(b2)、(d2)和(f2)所示,方法 I 的两个数据指标均较低,表明方法 I 对于紫边区域较大的图像矫正效果有限;方法 II 相对于方法 I 在数据指标上有一定程度地提升,但是本文方法相对于方法 II 在两个数据指标上均有明显提升,可见本文方法对于大区域紫边有更好的矫正效果,不仅移出更多紫边像素量而且降低更多紫边偏紫色程度。

对于本文方法的数据指标,被高亮区域淹没的紫边区域,由于得不到物体颜色信息,只能减低其偏紫色程度, r_1 数值较小,能得到物体颜色信息的区域, r_1 数值大,表明该区域的紫边被完全矫正。 r_2 大致与 r_1 正相关, r_2 基本上都超过了 0.5,表明偏紫色程度下降了 50%,对于图 7(a3)和(f3),本文方法实现了完全矫正。

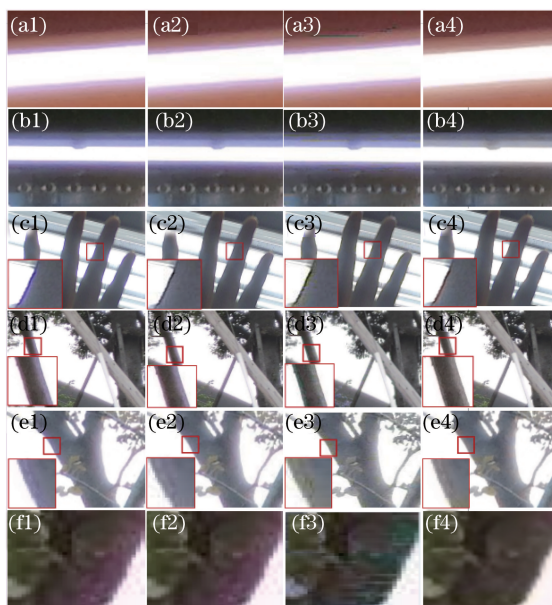


图 7 不同方法实验效果对比

Fig. 7 Comparison of experimental results from different methods

表 1 数据指标

Table 1 Data index

Method	Value	Fig.7(a1)	Fig.7(b1)	Fig.7(c1)	Fig.7(d1)	Fig.7(e1)	Fig.7(f1)
Method I	r_1	0.0014	0.0019	0.8053	0.0000	0.0056	0.0184
	r_2	0.1066	0.0585	0.6054	0.1474	0.2188	0.1325
Method II	r_1	0.2143	0.2872	0.8122	0.3517	0.3610	0.9051
	r_2	0.6483	0.4582	0.7675	0.4919	0.5560	0.8556
Proposed method	r_1	1.0000	0.6790	0.8374	0.4542	0.3009	1.0000
	r_2	1.0000	0.8123	0.7788	0.8126	0.7314	1.0000

图 8 所示为更多数据指标不能反映的本文算法在图像细节处避免错误矫正和保护紫边色物体的效果

图,图 8(a)为棋盘格,图 8(b)为放大的棋盘格,图 8(c)为细节处,其中图 8(d)~(f)为使用方法 II 的效果图,图 8(g)~(i)为使用本文方法效果图,并与方法 II 进行了对比,图 8(a)、(b)两组实验结果展示了棋盘格颜色没有改变,但方法 II 对过渡颜色区域有较明显改变,图 8(c)中实验方法 II 对灯管旁大区域紫边矫正效果有限同时引入错误矫正,但是本文方法矫正紫边的同时图像细节处也未引入错误矫正。

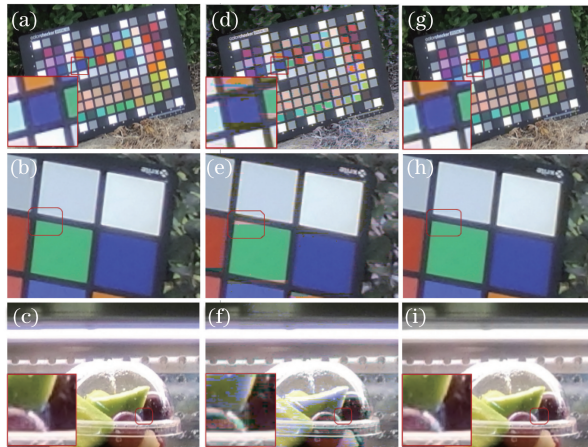


图 8 避免错误矫正以及保护紫边色物体

Fig. 8 Avoid error correction and preserve the object with purple fringing

5 结 论

分析了图像紫边的成因——数字成像系统镜头/微镜头短波色差,在此基础上,提出了基于物体颜色信息矫正图像紫边的方法,能有效矫正手机摄像头、监控摄像头等数字成像系统拍摄的高分辨率图像中大区域紫边,并规避错误矫正。在视觉上,局部严重的紫边得到了有效的矫正,物体颜色得到了一定程度的恢复,颜色过渡均匀自然,图像细节处未引入错误,紫边色物体颜色得到保护。数据指标也一定程度反映了算法的有效性。可见,该方法能有效地解决数字成像系统的短波色差——紫边效应,提升图像视觉效果,提高成像系统的成像质量。

不足之处在于无物体颜色信息作为参考的紫边区域,本文采取保守的矫正策略,只降低其偏紫色程度,不能彻底矫正该区域的紫边效应。对于该情况紫边,可以考虑光学镜头设计、标定等方法进行矫正,也可以利用物体颜色信息矫正紫边时得到的紫边信息尝试建立图像紫边的模型,根据模型来矫正。

参 考 文 献

- 1 Feng Yanchao, Feng Huajun, Xu Zhihai, *et al.* Image processing technology based on color-separated correction for optical imaging system with aberrations[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2015, 44(6): 0610001.
冯彦超, 冯华君, 徐之海, 等. 基于分色校正的大像差光学成像系统图像处理技术[J]. *光子学报*, 2015, 44(6): 0610001.
- 2 Li Tiecheng, Tao Xiaoping, Feng Huajun, *et al.* Modulation transfer function calculation and image restoration based on slanted-edge method[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(10): 2891-2897.
李铁成, 陶小平, 冯华君, 等. 基于倾斜刃边法的调制传递函数计算及图像复原[J]. *光学学报*, 2010, 30(10): 2891-2897.
- 3 Wang Weiwei, Han Yu, Feng Xiangchu. Image denoising based on nonlocal diffusion[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(2): 373-377.
王卫卫, 韩雨, 冯象初. 基于非局部扩散的图像去噪[J]. *光学学报*, 2010, 30(2): 373-377.
- 4 Jiang Shenyu, Chen Kuo, Xu Zhihai, *et al.* Multi-exposure image fusion based on well-exposedness assessment[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2015, 49(3): 470-475.
江燊煜, 陈阔, 徐之海, 等. 基于曝光适度评价的多曝光图像融合方法[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2015, 49(3): 470-475.
- 5 Menon D, Calvagno G. Color imagedemosaicking: An overview[J]. *Signal Processing Image Communication*, 2011, 26

- (8-9): 518-533.
- 6 Kang S B. Automatic removal of chromatic aberration from a single image[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007: 1-8.
 - 7 Kim B K, Park R H. Detection and correction of purple fringing using color desaturation in the xy chromaticity diagram and the gradient information[J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(6): 952-964.
 - 8 Wang Zhi. Automatic removal method and apparatus purple fringing photo: CN 103440658 B[P]. 2013-08-30.
王 志. 自动去除照片紫边的方法及装置: 103440658 B[P]. 2013-08-30.
 - 9 Kim B K, Park R H. Automatic detection and correction of purple fringing using the gradient information and desaturation [J]. Signal Processing Conference, 2008: 1-5.
 - 10 Lee D K, Kim B K, Park R H. Purple fringing correction using colorization in Yxy color space[C]. IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2011: 477-478.
 - 11 Tomaselli V, Guarnera M, Bruna A R, *et al.* Automatic detection and correction of purple fringing artifacts through a window based approach[C]. IEEE International Conference on Consumer Electronics, 2011: 186-188.
 - 12 Tzur Y, Vakrat D. System and method for providing multi resolution purple fringing detection and correction: US 8553978 B2[P]. 2013-10-08.
 - 13 Chang J, Kang H, Kang M G. Correction of axial and lateral chromatic aberration with false color filtering[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 22(3): 1186-1198.
 - 14 Ju H J, Lee D K, Park R H. Color fringe removal in narrow color regions of digital images[J]. Signal Image & Video Processing, 2014, 8(8): 1651-1662.
 - 15 Chung S W, Kim B K, Song W J. Detecting and eliminating chromatic aberration in digital images [C]. IEEE International Conference on Image Processing, 2009: 3861-3864.
 - 16 Korneliussen J T, Hirakawa K. Camera processing with chromatic aberration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(10): 4539-4552.
 - 17 Drimbarean A, Stec P, Murray L. Methods and apparatuses for addressing chromatic aberrations and purple fringing: US8532380[P]. 2011-09-03.
 - 18 James B G. Method for correcting purple distortion in digital images and a computing device employing same: US20140112581[P]. 2016-07-26.
 - 19 Li Xiaotong, Cen Zhaofeng. Geometrical optics, aberrations and optical design [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2003: 129-140.
李晓彤, 岑兆丰. 几何光学·像差·光学设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2003: 129-140.
 - 20 Kelly K L. Color designations for lights[J]. Journal of the Optical Society of America, 1943, 33(11): 627-632.