计算机系统应用 ISSN 1003-3254, CODEN CSAOBN
Computer Systems & Applications,2018,27(4):209−214 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.006323]
©中国科学院软件研究所版权所有.
E-mail: csa@iscas.ac.cn
http://www.c-s-a.org.cn
Tel: +86-10-62661041

基于多项式回归的四带图像偏色校正算法①

曾兆滨[1], 郑　华[1,2,3,4,5], 蔡坚勇[1,2,3,4,5], 廖晓东[1,2,3,4,5]

[1](福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)
[2](福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)
[3](福建师范大学 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)
[4](福建师范大学 福建省光电传感应用工程技术研究中心, 福州 350007)
[5](福建师范大学 智能光电系统工程研究中心, 福州 350007)

摘　要: 针对可见光图像在受到红外光串扰的情况下产生的偏色现象, 提出了一种基于多项式回归构建解串扰矩阵的四带图像 (RGB 三带和 IR 近红外带) 偏色校正算法, 该算法在特定的光源条件下, 利用标准色卡的 24 个色块, 采用多项式回归的思想构建解串扰矩阵. 使用该解串扰矩阵对同种光源条件下拍摄的四带图像进行偏色校正, 达到去除红外光串扰的目的. 实验结果表明, 该方法只需进行一次标定校正矩阵, 就可以对同种光源条件下拍摄的不同图像进行偏色校正, 恢复图像自然的色彩.

关键词: 红外串扰; 四带图像; 偏色校正; 解串扰矩阵; 多项式回归

引用格式: 曾兆滨,郑华,蔡坚勇,廖晓东.基于多项式回归的四带图像偏色校正算法.计算机系统应用,2018,27(4):209–214. http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6323.html

Color Correction Algorithm for Four-Band Image Based on Polynomial Regression

ZENG Zhao-Bin[1], ZHENG Hua[1,2,3,4,5], CAI Jian-Yong[1,2,3,4,5], LIAO Xiao-Dong[1,2,3,4,5]

[1](College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)
[2](Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)
[3](Fujian Provincial Key Laboratory of Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)
[4](Fujian Provincial Engineering Technology Research Center of Photoelectric Sensing Application, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)
[5](Intelligent Optoelectronic Systems Research Center, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The images combining visible and infrared light would produce color deviation. In response to this phenomenon, this study proposes a de-crosstalk matrix color correction algorithm based on polynomial regression to counter the crosstalk problem of four-band images (RGB three-band and IR near-infrared band). Under specific lighting conditions, the algorithm uses 24 color blocks of standard color checker to build the de-crosstalk matrix according to the idea of polynomial regression. The de-crosstalk matrix will be used for four-band images which are taken under the same lighting conditions to remove the near-infrared crosstalk and realize color correction. The experimental results indicate that the method does not only need to calibrate the correction matrix at one time, the color deviation images taken under the same lighting conditions will be corrected and restored the natural colors of themselves thereafter.

Key words: infrared crosstalk; four-band image; color correction; de-crosstalk matrix; polynomial regression

① 收稿时间: 2017-08-10; 修改时间: 2017-09-12; 采用时间: 2017-09-18; csa 在线出版时间: 2018-03-31

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

1 引言

人类所能够感知的光谱范围大致为 380 nm–780 nm, 我们人眼的颜色感知主要是由物体的反射率决定的, 在不同的光照条件下, 物体的颜色在我们人眼看来是恒定不变的[1]. 这些特性对于感光元件 CCD 或 CMOS 而言是不存在的, 它们所能够感知的光谱范围远大于人眼, 包括我们所熟知的红外光. 感光元件获得的图像颜色是由光源、成像物体反射率和成像系统的光谱响应函数共同决定的, 在不同光照条件下, 感光元件所得到的物体图像是不断变化的, 有时甚至失去了原本的色彩. 感光元件所获取的图像色彩与人眼所看到的颜色由于近红外光的存在会产生偏色现象. 为了去除该偏色现象, 寻找合适的颜色校正算法具有重要意义.

目前的偏色校正算法大多是针对 RGB 三带图像[2], 而对于添加了近红外光的 RGB、IR 四带图像并没有通用的算法. 对于四带图像的校正问题, 林李金等采用了基于 RGB 色彩空间进行颜色校正[3], 即将偏色部分进行分区域校正, 该方法缺陷在于对于每一幅图都需要对偏色部分进行重新定位. 针对光谱串扰问题, Lei Li 提出了利用解串扰矩阵的方式进行校正[4]. 实验结果证明, 该方法只需进行一次标定校正矩阵, 就可以对同种光源条件下拍摄的不同图像进行偏色校正.

2 构建解串扰矩阵

四带图像由于近红外光的串扰, 通过 CCD 或者 CMOS 等感光元件拍摄获取的图片会整体偏红色, 如图 1 所示. 如何让四带图像校正还原成标准三带图像, 关键在于找到它们之间的映射关系, 这需要精简准确的数据拟合方法[5]. 本文通过分析测试感光元件中 R、G、B 三原色滤镜的光谱串扰特性, 在传统多项式回归的基础上进行优化, 构建光谱解串扰矩阵, 可以实现在同种光源条件下矩阵的一次标定就能够对不同图像进行校正.

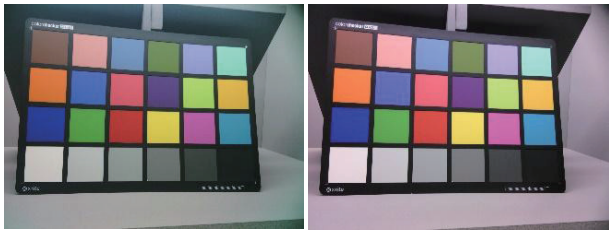

图 1 三带图像 (左) 与四带图像 (右)

目前, 市面上大多数彩色成像系统都是以 RGB 三原色为基础. 对于 CCD 或 CMOS 感光元件而言, 由于光照强度与光产生的电荷数量成正比关系, 在输出节点的电压也与光强成正比[6]. 但是在电压被量化的过程中, 由于 ADC 需要对参考电压进行选择, 使得原本的线性关系遭到破坏, 量化输出与光强呈现出增量线性关系[7].

2.1 线性回归

如图 2 所示, 标准色卡上有 24 个色块, 分别获取每个色块的 RGB 三刺激值, 三带图像 (RGB 图像) 第 i 个色块三刺激值为 R_{oi}、G_{oi}、B_{oi}, 而四带图像 (RGBIR 图像) 第 i 个色块三刺激值记为 R_{ci}、G_{ci}、B_{ci}, 其中 i=1, 2, 3,⋯, 24. 则:

$$\begin{cases} R_{oi} = a_{01}R_{ci} + a_{02}G_{ci} + a_{03}B_{ci} \\ G_{oi} = a_{11}R_{ci} + a_{12}G_{ci} + a_{13}B_{ci} \\ B_{oi} = a_{21}R_{ci} + a_{22}G_{ci} + a_{23}B_{ci} \end{cases} \tag{1}$$

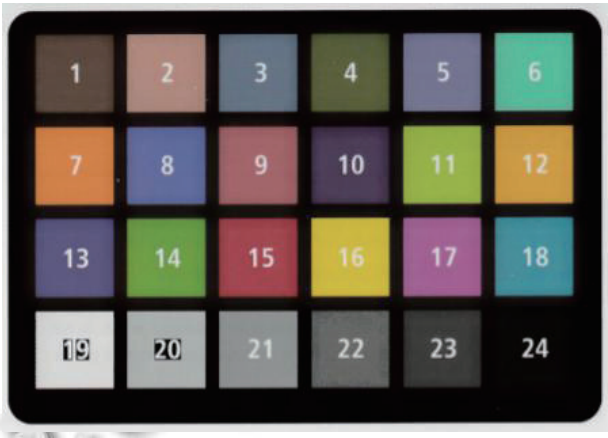

图 2 标准 24 色卡

记待校正的四带图像为矩阵 Y, 标准颜色的三带图像为矩阵 X, 红外解串扰校正矩阵为 M. 用矩阵方式从四带图像到三带图像颜色值得变换可以表示为:

$$X = YM^{\mathrm{T}} \tag{2}$$

其中,

$$X = \begin{bmatrix} R_{o1} & G_{o1} & B_{o1} \\ R_{o2} & G_{o2} & B_{02} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{o24} & G_{o24} & B_{o24} \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} R_{c1} & G_{c1} & B_{c1} \\ R_{c2} & G_{c2} & B_{c2} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{c24} & G_{c24} & B_{c24} \end{bmatrix}$$

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

$$M=\begin{bmatrix} a_{01} & a_{02} & a_{03} \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$$

矩阵 M 可由最小二乘法优化得到[8], M 即为所求的解串扰矩阵.

$$M^{\mathrm{T}}=\left(X^{\mathrm{T}}Y\right)^{-1}X^{\mathrm{T}}X \tag{3}$$

将所求的矩阵 M 带入公式 (2), 即可得到消除红外串扰后图像的三刺激值. 该算法的关键之处在于要设计合理的多项式系数.

2.2 增量线性回归

由于图像在经过感光元件的处理后, 量化输出与光强呈现出增量线性关系, 并且四带图像比较特殊, 因为红外光会对原本的 R、G、B 三通道造成不同程度的干扰, 并且这种干扰在不同强度的红外光条件下是不一样的. 因此, 本文在公式 (1) 的基础上稍作修改, 即在公式 (1) 等式右端添加常数项 b, 以此来修正成像系统在转换过程中所带来的增量偏差.即:

$$\begin{cases} R_{oi}=a_{01}R_{ci}+a_{02}G_{ci}+a_{03}B_{ci}+b_1 \\ G_{oi}=a_{11}R_{ci}+a_{12}G_{ci}+a_{13}B_{ci}+b_2 \\ B_{oi}=a_{21}R_{ci}+a_{22}G_{ci}+a_{23}B_{ci}+b_3 \end{cases} \tag{4}$$

相应的, 矩阵 Y 也添加一列常数 1:

$$Y=\begin{bmatrix} R_{c1} & G_{c1} & B_{c1} & 1 \\ R_{c2} & G_{c2} & B_{c2} & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{c24} & G_{c24} & B_{c24} & 1 \end{bmatrix}$$

矩阵 M 维数变为 3×4:

$$M=\begin{bmatrix} a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \end{bmatrix}$$

矩阵 X 则保持不变.则解串扰矩阵系数 a 的求解方法等同于线性回归中解串扰矩阵 M 的求解方法.

3 四带图像偏色校正

实验装置系统如图 3 所示, 在传统的 CMOS 摄像头镜头前面稍作修改, 即使红外滤光片可手动调节, 并且外加一片可见光+850 nm 双峰滤光片, 以此来滤除除 850 nm 以外的大部分红外光. 该实验采用海洋光学 USB4000 微型光纤光谱仪测定 850 nm 双峰滤光片的光谱特性曲线, 采用标准光源对色灯箱来获取 D65 光源, 采用 850 nmLED 灯阵列来获取近红外串扰光, 采用爱色丽标准 24 色卡来获取校正矩阵数值. 整个数据处理过程都在 MATLAB R2012a 平台上.

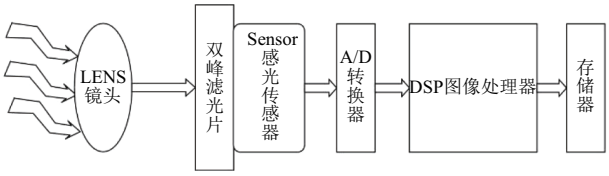

图 3 摄像头模组结构框图

3.1 解串扰矩阵数值校正

首先, 光源条件为 D65+850 nm, 在摄像头去除红外滤镜和不去除红外滤镜两种情况下, 对图 2 所示的标准色卡的 24 个色块分别获取 R、G、B 三个分量的平均值. 其次, 对获取的 24 个色块中的随机 20 个色块 (例如除编号 7, 12, 18, 23 以外的 20 个色块) 的 R、G、B 分量进行校正矩阵的获取.

记在 D65+850 nm 光源且有红外滤镜条件下测量得到的色块 RGB 三刺激值为矩阵 Y', 在 D65+850 nm 光源且没有红外滤镜条件下测量得到的色块 RGB 三刺激值为矩阵 X', 校正矩阵为 M', 算法流程图如图 4 所示. 则校正算法过程可表示为:

$$X'=Y'M'^{\mathrm{T}} \tag{5}$$

通过算法获得的校正矩阵为:

$$M'=\begin{bmatrix} 0.8880 & 0.0846 & -0.0632 & -8.2968 \\ -0.0695 & 0.9758 & 0.0030 & 5.9066 \\ -0.0321 & -0.0190 & 0.8991 & 3.4195 \end{bmatrix}$$

然后将之前获取的编号为 7, 12, 18, 23 的色块 RGB 信息进行矩阵构建, 结果如下.

四带偏色情况下四个色块 RGB 信息的矩阵为:

$$Y_1=\begin{bmatrix} 253.2889 & 135.3462 & 66.4903 & 1.0000 \\ 252.8550 & 202.2881 & 77.8829 & 1.0000 \\ 75.2402 & 152.3540 & 205.7975 & 1.0000 \\ 65.7579 & 66.9554 & 70.2001 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

三带标准情况下四个色块 RGB 信息的矩阵为:

$$X_1=\begin{bmatrix} 224.0406 & 121.1296 & 47.6344 \\ 228.1500 & 189.3322 & 58.5619 \\ 57.3868 & 144.2248 & 176.7992 \\ 54.4298 & 65.1187 & 59.6644 \end{bmatrix}$$

通过算法获得的校正矩阵 M'和 Y_1 带入公式 (5) 得算法获得的矩阵 X(算法) 为:

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

$$X(\text{算法})=\begin{bmatrix} 223.8637 & 121.0998 & 52.4927 \\ 228.4201 & 186.4119 & 61.4765 \\ 58.3996 & 149.0159 & 183.1386 \\ 51.3218 & 66.7051 & 63.1514 \end{bmatrix}$$

对于矩阵 X(算法) 和矩阵 X_1 数值上来看, 校正效果较好.

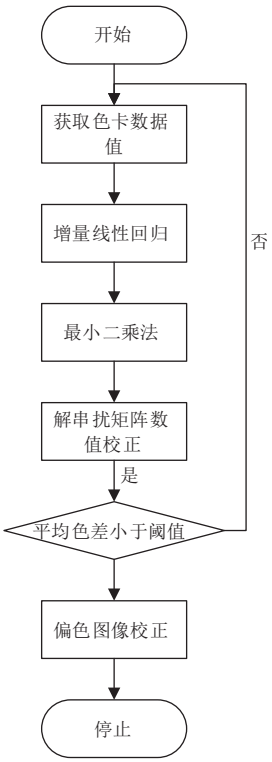

图 4 四带图像偏色校正流程

3.2 偏色图像校正

通过本文 3.1 节获取的解串扰矩阵 M, 对此光源条件下整幅图像进行校正, 结果如图 7.

图 5 D65+850 nm 有红外滤镜 (色卡)

图 6 D65+850 nm 无红外滤镜 (色卡)

图 7 通过校正矩阵获得的图片 (色卡)

在同种光源条件下, 利用该矩阵对不同景物进行四带图像的校正, 结果如图 10 和图 13.

图 8 D65+850 nm 有红外滤镜 (盆栽 1)

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

图 9 D65+850 nm 无红外滤镜 (盆栽 1)

图 10 通过算法获得的图片 (盆栽 1)

图 11 D65+850 nm 有红外滤镜 (盆栽 2)

4 实验结果与分析

本文所采用的系统为改造后的 CMOS 摄像头. 标准比色卡由 24 个不同色块构成, 光源条件为色温 6500 K 外加 850 nm 红外光, 为避免阴影和形状的影响, 在拍摄过程中, 应保持色板的平稳. 按本文所提的算法进行四带图像的校正, 并采用颜色空间的两点间距离来表示色差ΔE, 即$\Delta E=\sqrt{(R_1-R_2)^2+(G_1-G_2)^2+(B_1-B_2)^2}$, 实验结果见图 14, 其中图 (a), (b), (c) 的纵坐标分别表示 R、G、B 三个分量在校正前后与标准三带图像情况下的差值, 图 (d) 的纵坐标则表示三刺激值在校正前后与标准三带图像情况下的色差值, 4 幅图的横坐标都表示 24 色块的编号.实验结果表明, 校正前四带图像中色块的 R、G、B 三个分量与三带图像差值较大, 而经过本文算法校正后图像中色块的 R、G、B 三个分量与三带图像差值较小, 算术平均值整体趋近于 0, 证明该算法适用于四带图像的偏色校正. 某些色块的校正情况改善并不明显, 可能是由于色块摆放位置或者是镜头获取的色卡图像像素偏差所引起的. 在同一光源条件下, 利用同一个解串扰矩阵对不同景物进行校正, 也

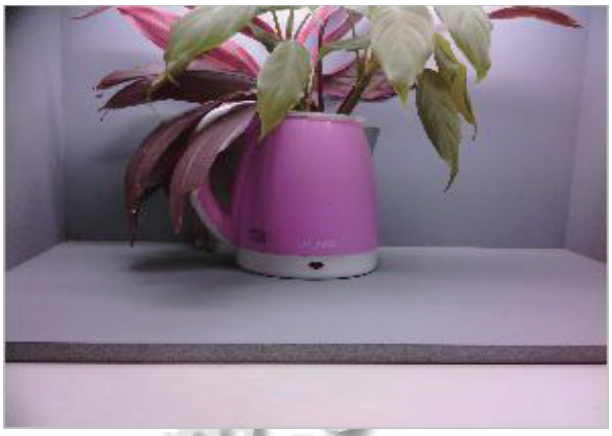

图 12 D65+850 nm 无红外滤镜 (盆栽 2)

图 13 通过算法获得的图片 (盆栽 2)

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

呈现出较好的校正效果. 因此, 本文的算法适用于四带图像的偏色情况, 并且能够在进行一次标定解串扰矩阵的情况下就可以对同种光源条件下拍摄的不同图像进行偏色校正, 恢复图像自然的色彩.

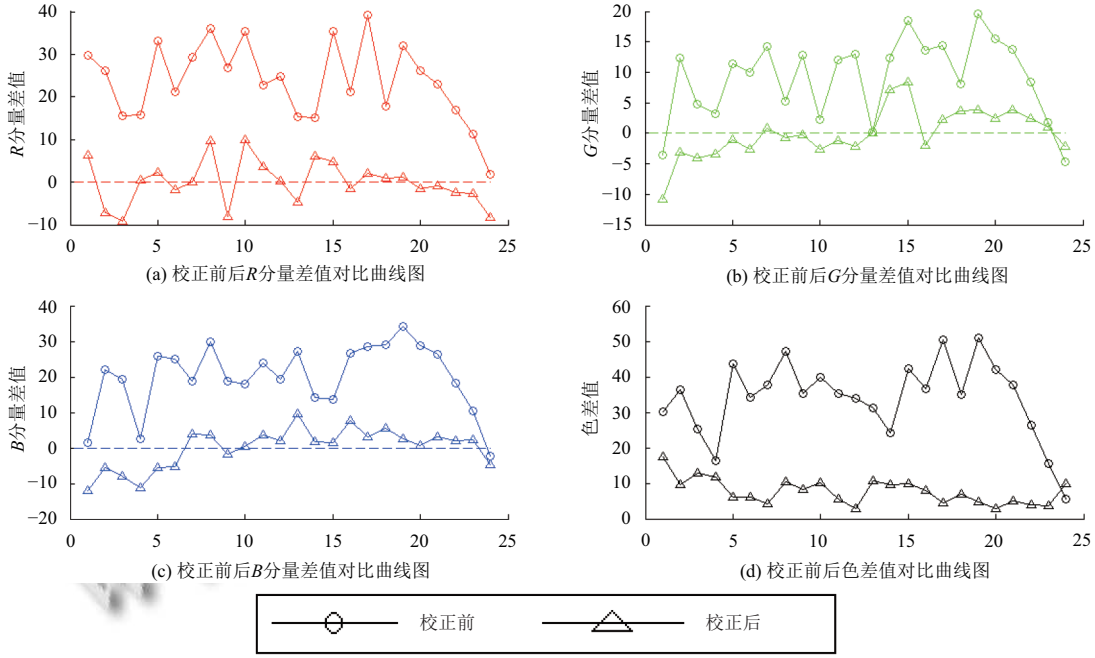

图 14 校正前后 RGB 三分量差值和色差对比曲线图

5 结论与展望

本文提出了一种基于多项式回归思想的四带图像偏色校正算法, 该算法是在同种光源条件下, 巧妙的稍改摄像头模组, 对校正前后的两幅图像, 从标准 24 色卡的各个色块中获取数据. 根据四带图像的特点, 构建出合适的校正矩阵, 利用最小二乘法解出解串扰矩阵的各个系数, 将该解串扰矩阵对四带图像进行偏色校正, 并且在同种光源条件下对不同景物的四带图像进行校正. 实验结果表明, 由于在有 850 nm 双峰滤波片情况下, 近红外光对图像的影响并不会很大, 根据本文的算法进行校正可以大致的还原出原有的色彩, 达到了较好的校正效果. 对于今后多带图像校正情况的研究具有一定的参考价值.

参考文献

1 Lukac R. Single-sensor imaging: methods and applications for digital cameras. Boca Raton: CRC Press, 2008. 267–294.

2 王欢, 陈向宁, 姜明勇. 偏色图像的色彩还原算法实现. 四川兵工学报, 2012, 33(3): 109–111.

3 林李金, 蔡坚勇, 蔡荣太, 等. 基于 RGB 色彩空间的四带树木图像颜色校正方法. 计算机系统应用, 2014, 23(4): 154–158.

4 Li L, Speed TP. An estimate of the crosstalk matrix in four-dye fluorescence-based DNA sequencing. Electrophoresis, 1999, 20(7): 1433–1442. [doi: 10.1002/(ISSN)1522-2683]

5 臧留琴, 张镇西, 苗宝刚, 等. 多重定量 PCR 系统中多色荧光检测和光谱串扰校正方法. 光学学报, 2014, 34(1): 0117002.

6 Healey G, Kondepudy R. Radiometric CCD camera calibration and noise estimation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(3): 267–276. [doi: 10.1109/34.276126]

7 白雪生, 刘立峰, 徐光祐, 等. 基于颜色图直方图的监督颜色恒常性算法. 清华大学学报 (自然科学版), 1997, 37(3): 1–6.

8 刘关松, 吕嘉雯, 徐建国, 等. 监督颜色校正方法研究. 计算机学报, 2003, 26(4): 502–506.

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn