

文章编号 1004-924X(2009)04-0859-08

复杂光照下的两步法颜色恒常性增强

赵全友^{1,2}, 潘保昌², 郑胜林²

(1. 湖南科技学院 计算机与信息科学系, 湖南 永州 425006;

2. 广东工业大学 信息工程学院数字图像研究所, 广东 广州 510006)

摘要:根据视觉信息处理的分模块性原理,研究了复杂光照下的颜色恒常性,给出了一种两步法颜色恒常彩色图像增强算法。利用边缘附近像素估计原图像的偏色信息,采用白平衡的方法对偏色图像进行偏色纠正。然后,根据 RGB 颜色空间三分量的颜色相关性特点,获取亮度增益曲面并对彩色图像的 RGB 三分量进行同比增强得到最终的彩色图像。在 SFU 数据库进行了实验,结果表明该算法的对比度是原图的 4 倍以上,且亮度改变适中。该算法克服了传统颜色恒常性的不适宜问题,对于存在偏色、低照度等复杂光照下的图像均能较好地保持颜色的恒常性,同时能有效提升图像的对比度和亮度。

关键词:颜色恒常性;两步增强;偏色纠正;亮度增益

中图分类号:TP391.4;O432.3 **文献标识码:**A

Color constancy enhancement in two steps under variable illumination

ZHAO Quan-you^{1,2}, PAN Bao-chang², ZHENG Sheng-lin²

(1. *Department of Computer and Information Science,*

Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425006, China;

2. *Institute of Digital Image Technology, Faculty of Information Engineering,*

Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: According to the module principle of visual information processing, the color constancy under variable illumination is studied and a novel color constancy image enhancement algorithm in two steps under variable illumination is presented. After estimating the color offset of an original image using the pixel near edges, the color offset is corrected with white balance. Then, based on the correlation characteristics of three components in RGB color spaces, the RGB three components of the color image are enhanced at the same proportion by brightness gain curved surface to ensure the hue to be a constance. The experiment on the SFU database indicates that the contrast of the processed image is four times as high as that of the original image, and the brightness change is suitable. The algorithm overcomes the ill-posed problem of traditional color constancy algorithm and can better maintain the color constancy for the images under variable illumination with color offsets or lower illuminating, and can enhance effectively the contrast and brightness.

Key words: color constancy; enhancement in two steps; color correction; brightness gain

收稿日期:2008-05-14;修订日期:2008-07-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60572078);湖南省教育厅科学研究基金资助项目(No. 07C319)

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,人们一般可以正确地反应物体本身所固有的颜色。视觉识别在生产生活中的应用领域越来越广泛,如视频监控、基于内容的图像视频检索等,其中最重要的是颜色的识别问题。视觉识别主要有 3 个影响因素,即光照、场景反射性能和成像系统的传感器性能,这些影响的直接效果之一是颜色光谱能量的变化,即使得采集到的 RGB 3 个颜色通道的变化差异很大。因而有必要消除光照等因素造成的影响,实现与人类一样的视觉自动补偿功能。计算机视觉实现颜色恒常性就是从一幅未知照明情况的图像中估计出光源特性,从而将该图像的颜色转换到标准光源下的颜色。

颜色恒常性算法的目标是从一幅未知照明情况的图像中估计出光源特性,针对这个目标,人们提出了很多算法^[1-5]。影响最大的当属 Land 于 20 世纪 60 年代提出的 Retinex 算法及其后来的改进算法,该算法从人眼对物体颜色的感知特性出发,将颜色恒常性应用于图像的增强。Land 提出的中心/围绕空间对立 Retinex 理论^[6],即单尺度 Retinex(SSR)算法可以改善图像颜色恒常性,压缩图像动态范围,提高对比度。为了提供视觉可接受的动态压缩范围与彩色图像再现之间的平衡,Rahman 等人提出了多尺度 Retinex 算法(MSR 算法)^[7];为了处理彩色图像,又进一步提出了多尺度彩色复原算法(MSRCR 算法)^[8]。

然而实验表明在人类视觉系统的早期就有独立的颜色通路和亮度通路^[9],视觉信息处理是分模块的,颜色模块是其中的一个独立模块,具有自己的特点。Mullen^[10]和 De Valois^[11]等人证明,人类视觉系统对亮度调制信息的空间频率的分辨率约为 2~30 cycle/(°),是一带通滤波器;而对颜色调制信息的空间频率的分辨率约为 0~12 cycle/(°),是一低通滤波器。传统的颜色恒常性物理模型将颜色信息和亮度信息混合处理,显然和上述心理物理实验结果不同,从而形成了颜色恒常性物理模型中的不适定问题。本文提出一种新的两步法颜色恒常性算法,将颜色信息和亮度信息分两步处理。首先对原彩色图像在色度分量

上提取边缘,同时利用白色区域的偏色信息进行边缘抑制,对抑制后的边缘取得两侧彩色信息,对原图进行偏色估计并进行白平衡偏色纠正。经过偏色纠正后的图像亮度可能仍然很低,给出一种颜色保持的增强算法,对图像进行亮度色度分离,取得亮度信息,对亮度信息处理后获得亮度增益曲面,利用亮度增益曲面对图像的 RGB 三分量进行同比增强得到最终的彩色图像。本文算法克服了传统颜色恒常性的不适定问题,实验结果表明该算法对各种复杂光照下图像均能很好地实现颜色恒常性,可视效果好。

2 边缘白平衡偏色纠正

文献[12]提出基于边缘的自动白平衡算法,该方法新颖且对于大多数图片能很好地进行自动白平衡,但是当图像中出现大范围有色纹理时,由于该颜色纹理边缘占主导地位,会导致白平衡失效。受其启发,本文给出一种改进的基于边缘的白平衡偏色纠正方法。首先,为了对原图的偏色进行有效地估计,将原图转换到 YCbCr 空间,并在 Cb 和 Cr 分量上同时采用 Canny 算子提取色度边缘。为了避免大片一致彩色纹理的干扰,利用白色区域的偏色信息对色度边缘进行抑制。利用数学形态学,可方便得到边缘两侧的像素值。得到彩色边缘后,就可以对这些像素进行统计,判断原图像是否偏色,这些像素的 RGB 分量的各自平均值最大最小比 > 1.5 时,则认为图像中存在彩色偏移。若偏色则计算各颜色通道的增益量,并进行白平衡调整实现偏色纠正。

2.1 彩色色度边缘检测

为了有效地进行白平衡,将待处理图片转换到 YCbCr 空间,使亮度和色度信息分离,其中色度信息用来提取色度边缘。YCbCr 空间转换到 RGB 空间的线性对应关系如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0 & 0.587 & 0 & 0.114 & 0 \\ -0.168 & 7 & -0.331 & 3 & 0.500 & 0 \\ 0.500 & 0 & -0.418 & 7 & -0.081 & 3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中, Y 为亮度分量, Cb 和 Cr 为两色度分量。

文献[13]提出了一种基于小波变换的照明无

关边缘检测和模糊增强算法,较复杂;Canny 提出高斯函数的一阶导数是受白噪声影响的阶跃边缘的最优逼近,有效且相对简单。图像与一对称二维高斯函数做卷积后再沿梯度方向微分,就构成了一个简单有效的方向算子。Canny 算子能有效地检测出目标边缘,定位较为准确,具有较好的边缘检测效果。对 YCbCr 空间中两色度分量 Cb 和 Cr 分别运用 Canny 算法提取边缘并二值化后得到 $E_{Cb}(x,y)$ 和 $E_{Cr}(x,y)$,取两者的并集得到色度边缘 $E(x,y)$:

$$E(x,y) = E_{Cb}(x,y) \cup E_{Cr}(x,y). \quad (2)$$

实验研究表明高光部分容易出现饱和,而低亮度部分往往包含很少的色彩信息,图像中白色区域或近白色区域容易有彩色偏移。在出现偏色现象时,白色物体的变化最明显,白平衡调整的原理是通过将白色调整为纯白色,从而使整幅图像的颜色得到校正。白色区域在各种色光照射下,其 Cr/Cb 通常在 $-0.5 \sim -1.5$ ^[14]。根据这一现象可得抑制后的色度边缘:

$$E_{\text{sup}}(x,y) = \begin{cases} E(x,y) & (Cr/Cb) \in [-1.5, -0.5] \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (3)$$

采用二值形态学可以非常容易得到边缘两侧的像素。

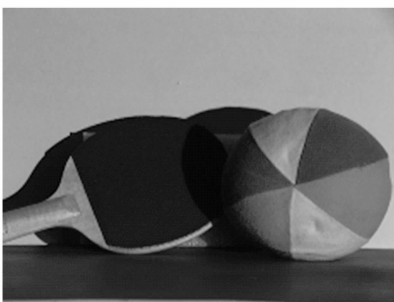
$$E_{\text{side}} = \text{dilate}(E_{\text{sup}}(x,y)) - E_{\text{sup}}(x,y), \quad (4)$$

其中, $\text{dilate}(f)$ 为二值形态学膨胀运算。

于是利用抑制后的色度边缘两侧的像素 E_{side} 与原彩色图像 $I(x,y)$ 相乘可以得到彩色边缘:

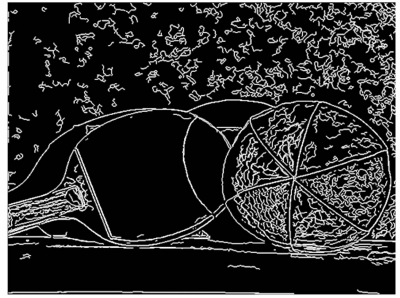
$$E_{\text{color}}(x,y) = E_{\text{side}}(x,y) \times I(x,y). \quad (5)$$

运用抑制后的边缘可从原图中提取彩色信息。图 1 给出了一个 Canny 彩色色度边缘提取的实例,(a)为偏色的彩色图像,(b)是直接在原图上利用 Canny 算子提取的边缘,(c)则是进行边



(a)原图

(a)Original image



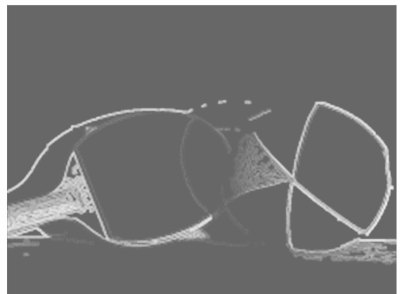
(b)色度边缘

(b)Chroma edge



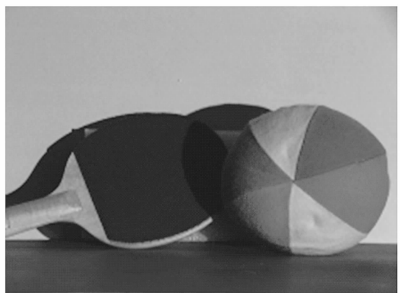
(c)色度边缘抑制

(c)Suppressed chroma edge



(d)彩色边缘

(d)Color edge



(e)白平衡结果

(e)White balance result

图 1 彩色边缘提取及白平衡结果

Fig. 1 Color edge extraction and white balance results

缘抑制后的结果, (d) 给出了从原图中取出的彩色边缘, 该彩色边缘体现了原图的偏色信息。这些结果表明色度边缘提取及边缘抑制是非常有效的。

2.2 白平衡偏色纠正

对获得的彩色边缘, 统计其 R 、 G 、 B 3 个分量的平均值。即

$$\begin{cases} R_{\text{avg}} = \text{sum}(E_{\text{color}}(x, y, 1)) / \text{sum}(E(x, y)) \\ G_{\text{avg}} = \text{sum}(E_{\text{color}}(x, y, 2)) / \text{sum}(E(x, y)) \\ B_{\text{avg}} = \text{sum}(E_{\text{color}}(x, y, 3)) / \text{sum}(E(x, y)) \end{cases} \quad (6)$$

然后可得彩色边缘的平均亮度为 $Y_{\text{avg}} = (R_{\text{avg}} + G_{\text{avg}} + B_{\text{avg}}) / 3$ 。因此, 白平衡各分量的增益量为:

$$\begin{cases} R_{\text{gain}} = Y_{\text{avg}} / R_{\text{avg}} \\ G_{\text{gain}} = Y_{\text{avg}} / G_{\text{avg}} \\ B_{\text{gain}} = Y_{\text{avg}} / B_{\text{avg}} \end{cases} \quad (7)$$

在获得各颜色通道的增益量后, 利用下式对原图所有像素进行调整:

$$\begin{cases} R_{\text{new}} = R_{\text{gain}} \times R \\ G_{\text{new}} = G_{\text{gain}} \times G \\ B_{\text{new}} = B_{\text{gain}} \times B \end{cases} \quad (8)$$

经过上式调整后, 有可能会超出图像的表达范围, 因此需要修正。如果 $\text{factor} = \max(R_{\text{new}}, G_{\text{new}}, B_{\text{new}}) > 255$, 则用下式修正:

$$\begin{cases} R_{\text{new}} = R_{\text{new}} \times (255 / \text{factor}) \\ G_{\text{new}} = G_{\text{new}} \times (255 / \text{factor}) \\ B_{\text{new}} = B_{\text{new}} \times (255 / \text{factor}) \end{cases} \quad (9)$$

白平衡后效果如图 1(e) 所示, 相对图 1(a) 的原彩色图, 球拍木柄等的颜色被正确还原, 同时背景的偏色信息也被消除, 但亮度仍然偏暗。

本文提出的边缘白平衡算法具体流程如下:

(1) 利用式(1)将原图转换到 YCbCr 空间;

(2) 分别对 Cb 和 Cr 分量进行 Canny 边缘提取并二值化, 然后运用式(2)得到色度边缘;

(3) 对色度边缘采用式(3)进行抑制, 利用式

(4) 形态运算后获得边缘两侧像素, 并用式(5)与原图相乘后得到彩色边缘;

(4) 计算彩色边缘个分量的均值, 采用式(7)可得各颜色通道的增益量;

(5) 运用式(8)对原图进行调整, 并采用式(9)进行修正。

3 颜色保持的彩色增强

在进行白平衡偏色纠正后, 图像的亮度可能很低或存在光照不均等现象, 根据 RGB 颜色空间 3 个分量颜色相关性特点, 提出了一种颜色保持的亮度增强方法。它首先利用 RGB 图的色度和亮度分离, 取得亮度信息, 然后在利用非线性 sigmoid 传输函数多尺度增强亮度分量, 并进行局部对比度增强后获得亮度增益曲面, 最后利用亮度增益曲面对原彩色图像的 RGB 三分量进行同比增强得到最终的彩色图像。

在 RGB 空间, 三维矢量 $[R, G, B]$ 不仅表示颜色, 也包含了亮度信息。如果两个像素点 $[R_1, G_1, B_1]$ 、 $[R_2, G_2, B_2]$ 在 RGB 空间的值是成比例的, 即

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{B_1}{B_2} = \lambda, \quad (10)$$

那么这两点具有相同的颜色, 只是亮度不同, 且亮度增量为 λ 。如果能找到一个亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$, 就可以对原彩色图像进行增强, 且增强后图像颜色信息保持不变。

为了获取亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$, 首先应从原彩色图像提取亮度分量。考虑到在 HSV 颜色空间进行了亮度和颜色的分离, V 分量为亮度信息。于是原彩色图可灰度化为

$$V(x, y) = \max[R(x, y), G(x, y), B(x, y)]. \quad (11)$$

3.1 亮度增强

根据 Land 的中心/围绕空间对立 Retinex 理论, 单尺度 Retinex(SSR) 可以表示为

$$R_i(x, y, \sigma) = \log I_i(x, y) - \log [F(x, y, \sigma) * I_i(x, y)] \quad i=1, 2, 3, \quad (12)$$

其中, $R_i(x, y, \sigma)$ 表示第 i 个颜色分量 Retinex 算法输出结果, $I_i(x, y)$ 表示第 i 个颜色分量的图像, $*$ 表示卷积算子, i 表示 3 种颜色分量, $F(x, y, \sigma)$ 表示中心/围绕函数, 即

$$F(x, y, \sigma) = K e^{-(x^2 + y^2) / \sigma^2}, \quad (13)$$

σ 是高斯函数的尺度参数, K 由归一化函数决定

$$\iint F(x, y, \sigma) dx dy = 1. \quad (14)$$

用式(12)对 $V(x, y)$ 进行亮度增强,得:

$$EV(x, y, \sigma) = \log V(x, y) - \log [F(x, y, \sigma) * V(x, y)] = \log \{V(x, y) / F(x, y, \sigma) * V(x, y)\}, \quad (15)$$

但得到的 $EV(x, y, \sigma)$ 亮度增强很微弱,并且没有归一化。

神经网络算法中的非线性 sigmoid 传输函数具有比 \log 函数更好的亮度增强能力,且输出范围为 $[0, 1]$, 该函数方程如下

$$\text{tansig}(z) = \frac{2}{1 + e^{-2z}} - 1. \quad (16)$$

将式(12)中 \log 函数用非线性 sigmoid 传输函数替换后得式

$$EV(x, y, \sigma) = \text{tansig}(V(x, y) / [F(x, y, \sigma) * V(x, y)]). \quad (17)$$

考虑中心/围绕函数的尺度参数 σ 的选取不同会直接影响到被处理图像的颜色再现,得到多尺度亮度增强公式如下:

$$EV_M(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n EV(x, y, \sigma_n), \quad (18)$$

其中, $EV_M(x, y)$ 表示是亮度分量多尺度增强结果; ω_n 表示第 n 个亮度分量增强的权值,同时 $\sum_{n=1}^N \omega_n = 1$, 通常 $\omega_n = 1/N$; σ_n 表示第 n 个亮度分量增强的尺度参数,如果 $N = 3$, 实验表明 σ 取 30、80、160 时效果较好。

3.2 局部对比度增强

通过亮度增强步骤后,虽然 V 分量中黑暗部分的亮度得到了有效增强,但是局部细节也被部分减弱。又由于中心/围绕函数相当于一个低滤波器的核,通过中心/围绕函数与亮度增强图卷积可获得局部均值。则局部细节可由下式计算得到

$$VL(x, y) = \frac{EV_M(x, y) - EV_{\text{avg}}(x, y)}{255}, \quad (19)$$

其中, $EV_{\text{avg}}(x, y) = F(x, y, \sigma) * EV_M(x, y)$ 。为了得到更多的局部细节,中心/围绕函数的尺度参数 σ 取值范围为 $[5, 15]$ 。

因为 $-1 \leq VL(x, y) \leq 1$, 于是给定 $0 < \gamma < 1$ 利用下式可增强局部细节

$$VI_{\text{EN}}(x, y) = \text{sign}[VL(x, y)] |VL(x, y)|^\gamma, \quad (20)$$

其中, sign 为符号函数,定义如下

$$\text{sign}[VL(x, y)] = \begin{cases} 1 & VL(x, y) > 0 \\ 0 & VL(x, y) = 0 \\ -1 & VL(x, y) < 0 \end{cases}. \quad (21)$$

3.3 彩色亮度增强

在亮度增强和局部对比度增强后,可获得亮度增益曲面

$$\lambda(x, y) = ET(x, y) \times 255 / V(x, y), \quad (22)$$

其中

$$ET(x, y) = [EV_M(x, y) + VL_{\text{EN}}(x, y)] / \max[EV_M(x, y) + VL_{\text{EN}}(x, y)], \quad (23)$$

表示归一化后的亮度增强和局部对比度之和。

根据前面理论可得增强的 RGB 三分量,计算如下

$$\begin{cases} R_{\text{EN}}(x, y) = \lambda(x, y) \times R(x, y) \\ G_{\text{EN}}(x, y) = \lambda(x, y) \times G(x, y) \\ B_{\text{EN}}(x, y) = \lambda(x, y) \times B(x, y) \end{cases}. \quad (24)$$

下面给出彩色图像增强具体算法实现步骤:

(1) 灰度化。利用式(11)进行亮度色调分离,将待增强彩色图像灰度化得到亮度分量 $V(x, y)$ 。

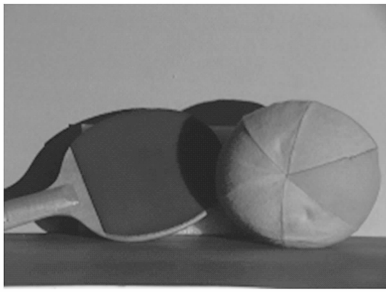
(2) 亮度增强。式(17)采用 tansig 函数改进 Retinex 算法计算获得亮度增强图 $EV_M(x, y)$ 。

(3) 局部对比度增强。式(19)利用中心/围绕函数估计均值曲面并求差后取得局部对比度增强图 $VL_{\text{EN}}(x, y)$ 。

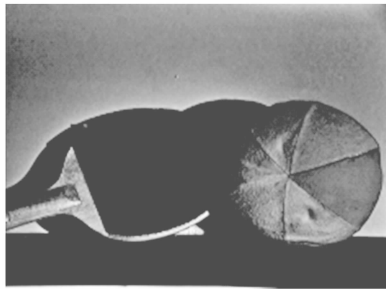
(4) 求亮度增益曲面。式(22)根据亮度增强及局部对比度增强之和与原图灰度化亮度分量相比得亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$ 。

(5) 彩色增强。最后式(23)利用亮度增益曲面 $\lambda(x, y)$ 分别增强 RGB 三分量,得最终增强结果。

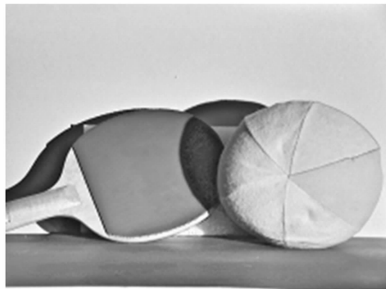
图 2 给出了对图 1(e) 的亮度增强过程。图 2(a) 是图 1(e) 的亮度分量,图 2(b) 则是采用 \log 函数增强亮度结果,相比于图 2(c) 采用 sigmoid 函数增强后结果要差得多,图 2(d) 则是局部细节图。最终增强后结果如图 2(e) 所示,相对图 1(e) 偏色纠正后的彩色图,整体亮度得到明显改善,球拍面的红色信息被正确地呈现且颜色艳丽,可视效果好。



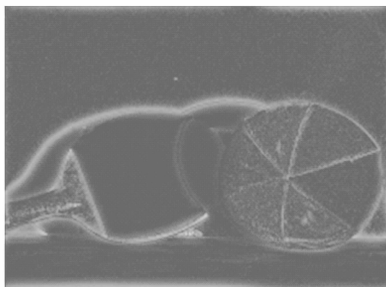
(a)亮度分量
(a) Brightness component



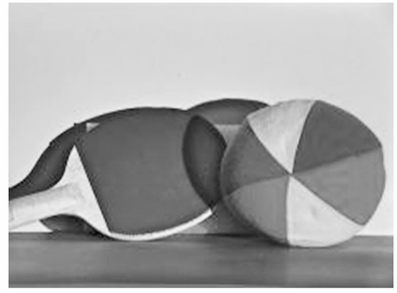
(b)log 亮度增强
(b)Brightness enhancement by log



(c)sigmoid 亮度增强
(c)Brightness enhancement by sigmoid



(d)局部细节
(d)Local details



(e)亮度增强结果
(e) Result of brightness enhancement

图 2 彩色亮度增强过程

Fig. 2 Process of color brightness enhancement

4 实验结果与分析

为了验证本文算法有效性,本文以 Simon Fraser University(SFU)计算视觉实验室提供的图像库进行了实验,该库分 4 组,图片为对比度低、某些局部细节不突出的部分偏暗彩色图像,不同光照、不同物体共计 529 张。该库可在 http://www.cs.sfu.ca/~colour/data/colour_constancy_test_images/index.html 下载。现以以下几幅图为例,进行说明和比较。对比实验 SSR 结果由 retinex_frackle_mccann 算法^[15]给出;对比实验 MSRCR 结果由 http://www.tsi.enst.fr/tsi/enseignement/ressources/mti/retinex/multi_scale_alg.htm 下载源代码计算给出。

表 1 给出了图像库中 Book2 集中的 4 幅同一场景不同光照条件下图片的实验结果,表明本文算法能对不同光照条件下的偏色、低照度图像较地进行增强,增强后图像的可视质量大幅提升,同时很好地保持了颜色恒常性,色彩还原度高,证明本文算法具有较好的适应性。

表 1 不同光照下本文算法结果

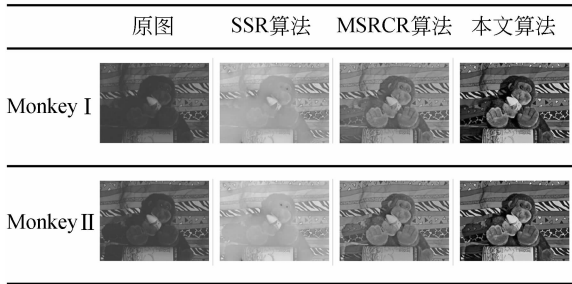
Tab.1 Results obtained by proposed algorithm under variable illumination

原因				
结果				

为了对比不同算法的效果,以图像库中 Monkey 集中的两幅图像采用 3 种算法进行了对比实验,结果如表 2 所示。从结果图来看,SSR 算法的色彩还原度低,细节丢失严重;MSRCR 算法的色彩还原度适中,细节保存良好;本文算法所得结果色彩艳丽,可视效果好,细节完整清晰。

表 2 不同算法结果

Tab. 2 Result comparison of different algorithms



为了客观地评价图像亮度和对比度的改变,Jobson 等在文献[16]提出了一种依据图像的均值和局部方差均值度量的方法,即:

$$C = \frac{\overline{\text{Var}}(I_{\text{out}}(x, y)) - \overline{\text{Var}}(I_{\text{in}}(x, y))}{\overline{\text{Var}}(I_{\text{in}}(x, y))}, \quad (25)$$

$$L = \frac{\text{Mean}(I_{\text{out}}(x, y)) - \text{Mean}(I_{\text{in}}(x, y))}{\text{Mean}(I_{\text{in}}(x, y))}, \quad (26)$$

其中, $I_{\text{in}}(x, y)$ 为处理前图像, $I_{\text{out}}(x, y)$ 为增强后图像, $\overline{\text{Var}}$ 和 Mean 表示求局部方差的均值和图像的均值, C 为对比度改变比例, L 为亮度改变比例。

表 3 给出 3 种算法的对比度改变值 C 和亮度改变值 L , 其中 SSR 算法的对比度改变最少, 而亮度改变最大; MSRCR 算法的对比度改变及亮度改变适中; 本文算法对比度改变最大, 亮度改变最少, 但相对原图仍成倍提升了亮度, 又不会像另外两种算法丢失了层次感。

参考文献:

- [1] FORSYTH D A. A novel algorithm for colour constancy [J]. *Computer Vision*, 1990, 5(1): 5-36.
- [2] FINLAYSON G, HORDLEY S. Improving gamut mapping color constancy [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, 9(10): 1774-1783.

表 3 三种增强算法的 C、L 值比较

Tab. 3 Comparison of C and L for three kinds of enhancement algorithms

	Monkey I		Monkey II	
	C	L	C	L
SSR 算法	0.890 5	15.038 9	1.065 7	11.828 8
MSRCR 算法	1.197 7	10.603 0	1.370 7	7.493 0
本文算法	4.279 9	7.172 4	4.158 6	5.574 1

从实验结果来看, 本文算法对不同光照下图像均能较好地保持颜色的恒常性, 同时提高图像的可视效果。无论从视觉主观评价还是客观测试数据, 对比实验显示本文算法能更好地提高图像的层次感, 亮度改变适中且色彩还原性好。

5 结 论

本文根据视觉信息处理的分模块性原理, 给出了一种新颖的两步法颜色恒常彩色图像增强算法, 克服了传统颜色恒常性的不恒定问题。首先提出一种改进的基于边缘的白平衡偏色纠正方法对偏色图像进行颜色纠正; 然后, 根据 RGB 颜色空间三分量的颜色相关性特点, 提出一种颜色保持的亮度增强方法, 该方法利用非线性 sigmoid 传输函数多尺度增强亮度分量, 并进行局部对比度增强后获得亮度增益曲面; 最后, 利用亮度增益曲面对原彩色图像的 RGB 三分量进行同比增强得到最终的彩色图像。在 SFU 数据库, 实验结果表明该算法使原图的对比度改变了 4 倍多, 与 SSR 算法、MSRCR 算法相比, 对比度改变大很多, 而亮度改变适中。无论视觉主观评价还是客观测试数据均表明该算法对于存在偏色、低照度等复杂光照下的图像能较好地保持颜色的恒常性, 具有很好的算法普适性, 同时能有效提升图像的对比度和亮度, 突出局部细节, 层次感强。

- [3] FINLAYSON G, HORDLEY S, HUBEL P M. Color by correlation: a simple, unifying framework for color constancy [J]. *IEEE Trans. on Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 2001, 23(11): 1209-1221.
- [4] 蔡珣, 孟祥旭, 向辉. 光照色调颜色恒常性算法研究 [J]. *中国图象图形学报*, 2004, 9(8): 922-926.

- CAI X, MENG X X, XIANG H. The study of an illumination & hue color constancy algorithm [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(8): 922-926. (in Chinese)
- [5] 王彦臣, 李树杰, 黄廉卿. 基于多尺度 Retinex 的数字 X 光图像增强方法研究 [J]. *光学精密工程*, 2006, 14(2): 70-76.
- WANG Y CH, LI SH J, HUANG L Q. Enhancement of radiography based multiscale Retinex [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2): 70-76. (in Chinese)
- [6] LAND E. The retinex [J]. *American Scientist*, 1964, 52(1): 247-264.
- [7] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODSELL C A. Multiscale retinex for color image enhancement [C]. *IEEE Proceedings of the 1996 International Conference on Image Processing*, 1996(3): 1003-1006.
- [8] RAHMAN Z U, JOBSON D J, WOODSELL G A. Retinex processing for automatic image enhancement [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2004, 13(1): 100-110.
- [9] ZEKEI S. *A Vision of the Brain* [M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1993.
- [10] MULLEN K T. Contrast sensitivity of human color vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings [J]. *J Physiol (London)*, 1985, 359: 381-400.
- [11] VALOIS R L, MORHAN H, SNODDERLY D M. Psychophysical studies of monkey vision III Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers [J]. *Vision Research*, 1974, 14: 75-81.
- [12] LIN J L. An automatic white balance method based on edge detection [C]. *2006 IEEE Tenth International Symposium on Consumer Electronics*, 2006: 1-4.
- [13] 曹万鹏, 陈刚, 车仁生, 等. 一种基于小波变换的照明无关边缘检测和模糊增强方法 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(7): 1143-1150.
- CAO W P, CHEN G, CHE R SH, *et al.*. An illumination-independent edge detection and fuzzy enhancement algorithm based on wavelet transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(7): 1143-1150. (in Chinese)
- [14] LIU Y C, CHAN W H, CHEN Y Q. Automatic white balance for digital still camera [J]. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 1995, 41(3): 460-466.
- [15] FUNT B, CIUREA F, MCCANN J. Retinex in Matlab [C]. *Proceedings of the IS&T/SID Eighth Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications*, 2000: 112-121.
- [16] JOBSON D J, RAHMAN Z U, WOODSELL G A. The statistics of visual representation [J]. *SPIE*, 2002, 4736: 25-35.

作者简介:



赵全友(1980—),男,湖南永州人,博士,讲师,主要从事图像处理、模式识别和智能计算等方面的研究工作。E-mail: quanyzhao@163.com



郑胜林(1951—),女,重庆人,硕士,教授,硕士生导师,主要研究方向为图像信息技术与应用。E-mail: zsliner@126.com

导师简介:



潘保昌(1949—),男,重庆人,博士,教授,博士生导师,主要从事图文识别技术与系统等方面的研究。E-mail: panbaochang@126.com