

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 9
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012 年 9 月 第 17 卷 第 9 期(总第 197 期)

目 次

图像处理和编码

- 自适应阈值 HMRF 模型超分辨率重建 朱虹, 刘薇, 姚杰, 欧阳光振, 刘小乾(1049)
- 亮度补偿变换矩阵的颜色恒常性算法 袁兴生, 王正志(1055)
- 小波变换和稀疏冗余表示的混合图像去噪 李慧斌, 刘峰(1061)
- 基于运动信息自适应的快速运动估计算法 李子印, 杨齐(1069)
- 融合纹理特征的两阶段聚类分割算法 王改华, 李德华(1075)
- 利用纹理和边缘特征的 Criminisi 改进算法 任澍, 唐向宏, 康佳伦(1085)

图像分析和识别

- 激光焊接对接拼缝测量的微景深方法 王平江, 黄雅婷, 齐江飞, 彭芳瑜, 李斌, 唐小琦(1092)
- 基于码本模型和多特征的早期烟雾检测 姜明新, 王洪玉, 蔡兴洋(1102)
- 结合局部特征和全局信息的自适应活动轮廓模型 朱晓舒, 孙权森, 夏德深(1109)
- 高斯颜色模型在瓷片图像分类中的应用 郑霞, 胡浩基, 周明全, 樊亚春(1115)
- 区域生长的轮对图像分割 史倩, 吴开华(1122)
- 图像搜索结果的滑动窗口多标记传播聚类 谷瑞军, 陈圣磊, 陈耿, 汪加才(1128)

图像理解和计算机视觉

- 中介相似性量度的图像匹配 周宁宁, 吕文杰(1135)
- 自适应字典学习的多聚焦图像融合 严春满, 郭宝龙, 易盟(1144)
- 摄像机几何约束及人体定位 陶霖密, 于亚鹏, 邸慧军, 孙洛(1150)

虚拟现实与增强现实

针对层次式累进网格模型的动态评估与调整 王丹华, 卢威, 潘金贵(1158)

医学图像处理

结合形状与纹理特征的椎间盘退化辅助诊断..... 郝世杰, 蒋建国, 郭艳蓉, 詹曙, 李鸿(1168)

改进的核磁共振图像分割与偏移场恢复耦合模型

..... 王顺风, 冀晓娜, 张建伟, 陈允杰, 方林, 詹天明(1175)

遥感图像处理

光学遥感图像低可观测区域舰船检测 周伟, 关键, 何友(1181)

非下采样 Contourlet 变换与脉冲耦合神经网络相结合的 SAR 与多光谱图像融合

..... 金星, 李晖晖, 时丕丽(1188)

“计算机视觉前沿论坛”专栏征文通知 (1196)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 9 期

2012 年 9 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 9 September 2012

Contents

Image Processing and Coding

- Adaptive threshold HMRF model for super-resolution reconstruction
..... Zhu Hong, Liu Wei, Yao Jie, Ouyang Guangzhen, Liu Xiaoqian(1049)
- Color constancy algorithms with luminance-compensation transform matrix Yuan Xingsheng, Wang Zhengzhi(1055)
- Hybrid image denosing method based on wavelet transform as well as on a sparse and redundant representations model
..... Li Huibin, Liu Feng(1061)
- Fast motion estimation algorithm based on motion information adaptation Li Ziyin, Yang Qi(1069)
- Texture feature fusion-based two-stage clustering segmentation algorithm Wang Gaihua, Li Dehua(1075)
- Improved Criminisi algorithm with the texture and edge features Ren Shu, Tang Xianghong, Kang Jialun(1085)

Image Analysis and Recognition

- Seam measurement based on micro depth of field lens for laser welding
..... Wang Pingjiang, Huang Yating, Qi Jiangfei, Peng Fangyu, Li Bin, Tang Xiaoqi(1092)
- Early smoke detection based on codebook model and multiple features Jiang Mingxin, Wang Hongyu, Cai Xingyang(1102)
- Adaptive active contour model integrating global and local image fitting energy Zhu Xiaoshu, Sun Quansen, Xia Deshen(1109)
- Porcelain shard images classification based on Gaussian color model Zheng Xia, Hu Haoji, Zhou Mingquan, Fan Yachun(1115)
- Image segmentation for wheel set measurement based on region growing Shi Qian, Wu Kaihua(1122)
- Sliding window multi-label propagation clustering for searched images
..... Gu Ruijun, Chen Shenglei, Chen Geng, Wang Jiakai(1128)

Image Understanding and Computer Vision

- Image matching based on the medium similarity measure Zhou Ningning, Lv Wenjie(1135)
- Multi-focus image fusion using adaptive dictionary learning method Yan Chunman, Guo Baolong, Yi Meng(1144)
- Geometric constraints of locating cameras and people Tao Linmi, Yu Yapeng, Di Huijun, Sun Luo(1150)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Dynamic evaluation and modification methods against aggressive mesh hierarchy models
..... Wang Danhua, Lu Wei, Pan Jingui(1158)

Medical Image Processing

- Computer aided diagnosis on intervertebral disc degeneration with shape and texture features
..... Hao Shijie, Jiang Jianguo, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong(1168)
- Improved coupled model for MR images segmentation and bias restoration
..... Wang Shunfeng, Ji Xiaona, Zhang Jianwei, Chen Yunjie, Fang Lin, Zhan Tianming(1175)

Remote Sensing Image Processing

- Ship detection from low observable regions in optical remote sensing imagery Zhou Wei, Guan Jian, He You(1181)
- SAR and multispectral image fusion algorithm based on pulse coupled neural networks and non-subsampled Contourlet transform
..... Jin Xing, Li Huihui, Shi Pili(1188)

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)09-1055-06

论文引用格式: 袁兴生, 王正志. 亮度补偿变换矩阵的颜色恒常性算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(9): 1055-1060.

亮度补偿变换矩阵的颜色恒常性算法

袁兴生, 王正志

国防科学技术大学机电工程与自动化学院自动化所, 长沙 410073

摘要: 颜色恒常性是计算机视觉的重要研究方向,旨在准确识别目标的真实颜色而不受场景光源变化的影响。目前提出的多种颜色恒常性算法,使用传统的 Von Kries 对角变换矩阵对图像的估计照明进行校正,对低照度和强光照射条件下采集到的图像处理效果比较差。根据图像形成的数学模型和光学原理提出了亮度补偿对角变换矩阵的颜色恒常计算方法,该方法对图像颜色校正的同时根据图像像素亮度变化对图像的亮度进行补偿。通过采用多种颜色恒常性算法进行实验验证,该方法能够有效地校正低照度和强光照射图像的颜色、对比度和亮度,从而增强了图像的视见度。

关键词: 颜色恒常性; 对角变换矩阵; 亮度补偿; 颜色校正

Color constancy algorithms with luminance-compensation transform matrix

Yuan Xingsheng, Wang Zhengzhi

College of Electromechanical Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

Abstract: The problem of color constancy is one of the important research directions in computer vision, aiming at recognizing the color of the target without the influence of the illumination variances in the scene. Many color constancy algorithms have been proposed in recent years. Most of them use the traditional Von Kries diagonal transformation matrix, which has bad effects to the color images taken under low luminance and high luminance. The Luminance-compensation based transformation matrix proposed in this article is based on the image formation model and optics theory. This new method compensates the image intensity according to the luminance variant of the image pixel. Results of the experiment demonstrate that the proposed method can achieve a good correction for lightness, contrast and color fidelity.

Key words: color constancy; diagonal transformation matrix; luminance-compensation; color correct

0 引言

颜色是计算机视觉研究中的重要信息,被应用于特征提取、目标识别、运动跟踪等领域,然而在真实场景中,光源颜色以及亮度的变化使场景中目标的颜色在图像中的显示千变万化。低照度(如夜晚、室内)情况通常造成采集到的图像偏色严重、亮度不足及细节损失,甚至丢失场景信息;而高曝光

(强光照射)情况通常导致颜色严重失真。为了清晰地展示场景信息、突出图像中的目标特征,校正图像的偏色、亮度及对比度是很有必要的。

颜色恒常性是人眼视觉系统能够在大范围光照条件下准确识别物体真实颜色的自适应特性。颜色恒常性算法的目的就是校正目标图像使其近似标准光源(白色光)下的成像^[1],使计算机视觉系统对光照变化具有鲁棒性。目前大量的颜色恒常性算法^[2-3]主要有两大类:基于图像底层特征的算法,如

收稿日期: 2011-07-11; 修回日期: 2012-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(60835005)

第一作者简介: 袁兴生(1985—),男,现为国防科学技术大学机械工程与自动化学院自动化研究所博士研究生,主要研究方向为模式识别、图像处理。Email: yuanxingsheng@nudt.edu.cn

Land 和 McCann 提出的 Retinex^[4] 算法以 Retinex 理论为基础的灰度世界 (Grey-world) 算法, Weijer 等人提出的灰度边缘 (Grey-edge) 算法^[5] 等; 基于图像信息学习的方法, 如 Forsyth 提出的色域映射 (Gamut mapping) 算法^[6], Chakrabarti 提出的颜色相关算法 (color-by-correlation)^[7], 以及基于统计学习和神经网络的算法等。

基于图像底层特征的颜色恒常性计算方法主要有两个步骤^[8-9]: 1) 估计光源颜色; 2) 对目标图像进行校正。这种算法利用传统的 Von Kries 对角变换矩阵对估计照明进行校正, 忽略了光照强度变化对图像目标颜色显示的影响, 对低照度和强光照射条件下采集到的图像颜色、亮度和对比度的校正效果差^[10]。提出了一种亮度补偿变换矩阵颜色恒常性计算方法, 在原有颜色恒常性算法的基础上进一步考虑了光照亮度变化对图像视见度影响的问题, 根据计算得出的图像光照变化率对图像整体的亮度进行补偿。实验结果证明, 该方法能够有效地解决低照度和强光照射条件下采集到的图像偏色严重、色彩失真、亮度不足以及细节损失等问题, 取得了很好的颜色恒常效果。

1 颜色恒常性算法

颜色信息在图像中的显示主要由 3 个因素决定: 目标的表面反射特性、光源的光谱功率分布、成像系统传感器的性能。根据 Lambertian 估计, 图像形成的数学模型表示为

$$f_c(x) = \int_{\omega} I(\lambda) S_c(\lambda) R(x, \lambda) d\lambda \quad (1)$$

这里 $c = [R, G, B]$, ω 表示可视光谱, $m(x)$ 为朗伯阴影。 $I(\lambda)$ 表示光源光谱功率分布 (SPD), $S_c(\lambda)$ 表示相机敏感系数, $R(x, \lambda)$ 表示点 x 位置光的表面反射特性。颜色恒常性算法的目的是估计光源照明颜色 $e_c = [e_R, e_G, e_B]^T$ 。假设场景中只有一种光照, 那么观察到的光照颜色只依赖于光源的颜色 $I(\lambda)$ 和摄像机敏感系数 $S_c(\lambda)$, 则光源照明颜色可以表示为

$$e_c = \int I(\lambda) S_c(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

采用基于图像底层特征和图像信息学习的颜色恒常性算法对本文中提出的颜色恒常计算方法进行验证。基于图像底层特征的颜色恒常性算法是基于图像中色彩分布的假定提出的。Grey-world 假设认

为: 场景中物理表面的平均反射是无色差的, 数学表达式为 $\int f_c(x) dx = k e_c$ 。白色区域^[11] (white-patch) 假定: 图片中最亮的像素作为参考白色光, 数学表达式为 $\max_x f_c(x) = k e_c$ 。其中 k 表示乘法常数。Weijer 等人^[5] 将这些算法用同一模型框架^[5]——灰度边缘 (grey-edge) 表示, 即

$$\left(\int \left| \frac{\partial^n f_{c,\sigma}(x)}{\partial x^n} \right|^p dx \right)^{\frac{1}{p}} = \kappa e_c^{n,p,\sigma} \quad (3)$$

式中, $\|\cdot\|$ 表示 Frobenius 范数, n 是求导阶数, p 表示 Mikowski-norm。这种模型框架下的颜色恒常性算法又被称为无监督颜色恒常性算法。

色域映射 (Gamut mapping) 颜色恒常性算法是文中用到的一种基于图像信息学习的有监督的颜色恒常性算法, 是由 Forsyth 等人^[1] 提出的。色域映射算法假设在某一特定光照下仅可能出现有限数目的颜色, 这些颜色构成一个凸包。通过比较当前图像中出现的颜色分布和预先学习的标准色域的关系, 可以估计图像的照明。

2 亮度补偿对角变换矩阵推导

2.1 Von Kries 对角矩阵

通过对角变换矩阵对图像光源亮度和颜色进行校正, 颜色校正建立在已有颜色恒常性算法对光源颜色进行估计的基础上, 光源亮度的校正由本文提出的亮度补偿的对角变换矩阵完成的。

对角变换的转换过程可以认为是色域映射的过程^[12], 色域映射算法的基本思想就是: 从光照 A 改变为光照 B, 其对应色域之间存在一个线性映射变换。这个变换是一个对角阵, 如果能够确定未知光照到标准光照的映射对角阵, 则在未知光照条件下拍摄的照片即可得到颜色纠正^[13]。传统颜色恒常性算法中使用的 Von Kries 对角变换模型^[14-15] 可以表示为

$$f_t = D_{u,t} f_u \quad (4)$$

式中, f_u 为未知光源下获得的图像, f_t 是转换为标准光源下的图像。 $D_{u,t}$ 即表示色适应的对角变换矩阵

$$\begin{pmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 0 \\ 0 & 0 & d_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_u \\ G_u \\ B_u \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中, d_1, d_2, d_3 值取 $1/\sqrt{3}$ 。

传统 Von Kries 对角变换矩阵利用 3 个相同的增益系数,对 3 个通道的颜色信号进行映射。Von Kries 对角变换是将图像色域映射到标准光照下色域的关键步骤。

2.2 亮度补偿对角变换矩阵

式(1)给出了图像形成的数学模型。下面根据图像形成的数学模型推导出图像像素照明亮度变化率,从而得到亮度补偿的对角变换矩阵。

假设成像系统的输出为 ρ ,可以将式(1)中的图像形成模型简写为

$$\rho = \int I(\lambda)S(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (6)$$

则图像中像素 i 可以表示为

$$\mathbf{i} = [\rho^1, \rho^2, \dots, \rho^N] \quad (7)$$

在这里引进简单的假设简化传感器响应函数。设 $S^j(\lambda)$ ($\lambda = 1, 2, \dots, N$) 为波长 λ 的离散 δ 函数,有

$$S^j(\lambda) = \tau_j \delta(\lambda - \lambda_j) \quad (8)$$

τ_j 为与各层感度相关的常数并且 $\tau_j > 0$,此时式(1)可以表示为

$$\rho_j = \tau_j I(\lambda_j) R(\mathbf{x}, \lambda_j) \quad (9)$$

在标准照明 s 和估计照明 e 下,图像像素值的第 j 成分为

$$\rho_j^t = \tau_j I^t(\lambda_j) R^t(\mathbf{x}, \lambda_j), t \in \{s, e\} \quad (10)$$

像素的第 j 成分在标准照明 s 下相对估计照明 e 的光照变化率为

$$k_j = \frac{\rho_j^s}{\rho_j^e} \quad (11)$$

从式(11)中可以看出,光照变化率与色彩无关。由此得到亮度补偿系数为 $\bar{k} = (\sum_{j=1}^N k_j)/N$,得出对应亮度补偿对角变换矩阵

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{k} & d_1 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{k} & d_2 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{k} & d_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_u \\ G_u \\ B_u \end{bmatrix} \quad (12)$$

由式(12)可见,基于亮度补偿对角变换利用已估计的光照颜色,通过变换对整幅图像进行光照校正,同时根据图像像素亮度变化进行亮度补偿。

3 实验结果与分析

实验所采用的图像数据来自 Gehler 等人收集的具有 568 幅图像的 color-checker 数据库。这个数据

库分为室内场景(246 幅)和室外场景(322 幅)。实验中所用估计光源颜色的颜色恒常性算法有 Grey-world 算法、Max-RGB 算法、Gamut mapping 算法。

3.1 颜色恒常性算法性能评价

在颜色恒常性算法数据集中,图像的真实光照是已知的。假设图像的真实光照是 $\mathbf{e}_t = [R_t, G_t, B_t]^T$,颜色恒常性算法估计光照是 $\mathbf{e}_e = [R_e, G_e, B_e]^T$,估计光照 $\mathbf{e}_e$ 越接近真实光照 $\mathbf{e}_t$,则该颜色恒常性算法的性能越好,由于颜色恒常性算法关注的是光照的色度而非强度,所以通常使用估计光照 $\mathbf{e}_e$ 和真实光照 $\mathbf{e}_t$ 之间的夹角 ε 度量颜色恒常性算法的性能,二者之间的夹角 ε 越小,算法的性能越好^[9]。

$$\varepsilon = \text{angular}(\hat{\mathbf{e}}_e, \hat{\mathbf{e}}_t) = \arccos \left(\frac{\mathbf{e}_e \cdot \mathbf{e}_t}{\|\mathbf{e}_e\| \times \|\mathbf{e}_t\|} \right) \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad (13)$$

式中, $\hat{\mathbf{e}}_e$ 和 $\hat{\mathbf{e}}_t$ 分别表示光照的估计值 $\mathbf{e}_e$ 和真实值 $\mathbf{e}_t$ 对应的归一化的向量。

颜色恒常性算法对不同的数据集表现出的性能不同,表 1 列出了 Grey-world、Max-RGB 和 Gamut mapping 在实验中所采用数据集的中值角误差和平均角误差^[16]。其中 Grey-world 算法选用同一模型框架 Grey-Edge,其参数设置为 $p = 6, \sigma = 0$ 。从表 1 中可以看出,Grey-world 有比其他两种算法更好的颜色恒常效果。

表 1 算法在 color-checker 数据集的性能评价

Table 1 performance evaluation of algorithms in color-checker database

算 法	/(°)	
	中值角误差	平均角误差
Grey-world	7.0	5.3
Gamut mapping	7.5	5.8
Max-RGB	8.2	5.9

3.2 实验验证及分析

图 1—图 4 中的标注 Grey-world Lc, max-RGB Lc, Gamut Lc 分别表示采用基于亮度补偿对角变换矩阵的 Grey-world 算法, Max-RGB 算法和 Gamut mapping 算法。表 2 对图 2—图 4 中的输入图像分别命名为“室外草地”,“室内冰箱”,“室外汽车”,“室内人”,列出了 3 种颜色恒常性算法在 4 幅图像上的性能评价 ε 。通过对比可见,图像输出基本符合颜色恒常性算法的性能评价。

表 2 算法在采用图像数据的性能评价
Table 2 performance evaluation of algorithms
of the image data

算 法	室外草地	室内冰箱	室外车	室内人
Grey-world	2.0	0.3	2.5	5.8
Gamut mapping	19.5	20.1	4.5	10.5
Max-RGB	4.9	1.9	1.6	5.0

由图 1(a)可见,强光照射下,图像饱和度降低,颜色信息被冲淡,图像显示的颜色偏离目标真实颜色很远,地面颜色偏黄色,草的成像颜色受光照及地面背景颜色的影响失真。实验结果如图 1 (e) 表明,基于亮度补偿对角变换的 Grey-world Lc 方法可以很好地修复由于强光造成的色彩失真,更符合人眼视觉的效果。

从实验结果也可以看出,针对实验中采用的数据集,Grey-world 算法比 Gamut mapping 和 Max-RGB

有更好的颜色恒常效果。图 2—图 4 的输入图像为室内或室外低照明亮度图像,低照度导致采集到的图像亮度不足,几乎不包含可见的场景信息。室内场景由于人造光源的影响导致成像的颜色整体偏向光源的颜色。实验结果如图 2(b)、图 4(b) 所示,基于传统 Von Kries 对角变换矩阵的颜色恒常性算法 Grey-world 虽然纠正了灯光照明颜色导致的图像偏色,但是由于低照度,场景中物体的颜色仍然不能够得到清晰辨别,视见度低,场景的细节信息严重损失。实验结果如图 2(e)、图 4(e) 显示,Grey-world Lc 有效的校正了图像的颜色、亮度和对比度,提高了图像的视见度。相比之下,基于亮度补偿变换矩阵的 Gamut mapping 和 Max-RGB 两种算法对图像偏色的校正效果比较差,但是由于亮度补偿的作用,图像的视见度也得到增强。实验结果表明,采用基于亮度补偿对角变换的颜色恒常算法能有效校正低照度图像的颜色,自适应地增强图像的亮度和对比度。

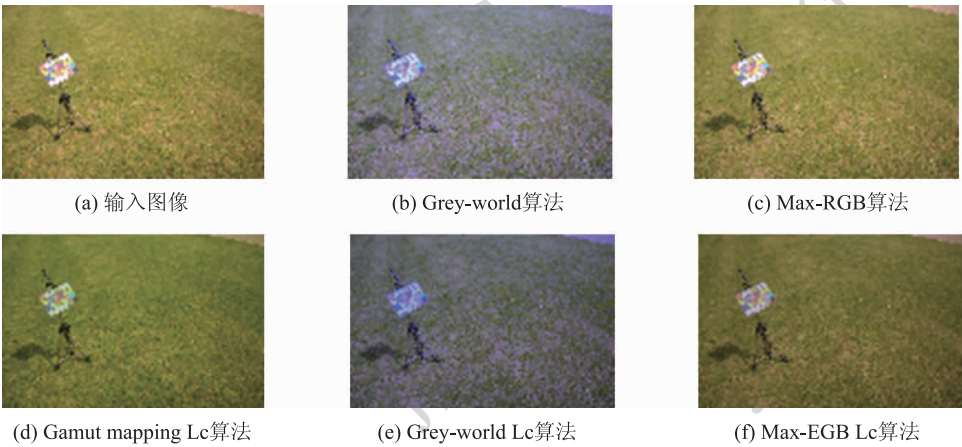


图 1 室外高照明亮度图像处理结果

Fig. 1 Processing results of outdoor image under high lightness



图 2 室内低亮度照明图处理结果

Fig. 2 Processing results of Indoor image under low lightness

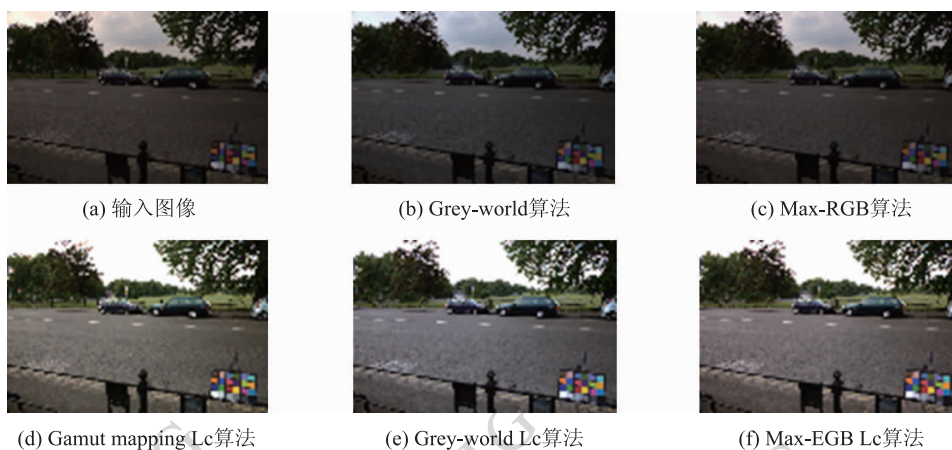


图3 室外低照明亮度图像处理结果

Fig.3 Processing results of outdoor image under low lightness

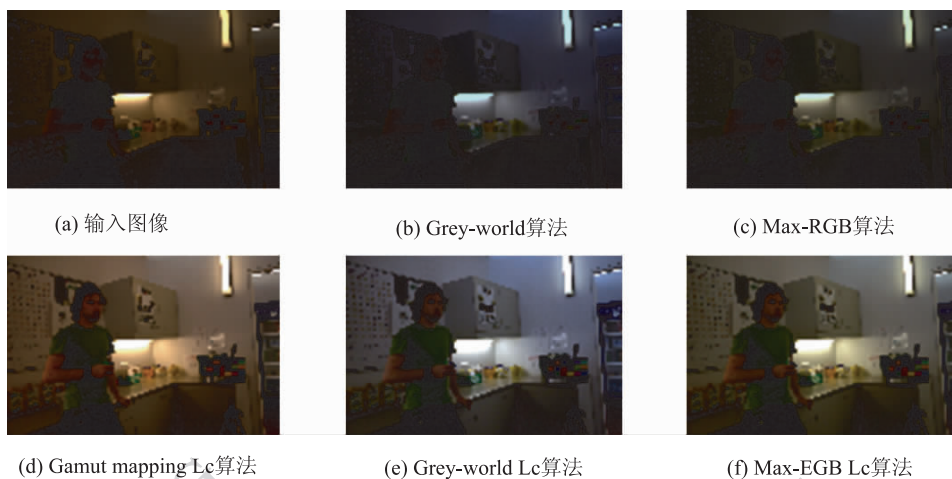


图4 室内低照明亮度图处理结果

Fig.4 Processing results of Indoor image under low lightness

4 结 论

为了解决基于传统 Von Kries 对角变换矩阵的颜色恒常性算法对低照度和强光照条件下采集的图像视见度差的问题,本文根据图像形成的数学模型和光学原理推导得出图像像素的亮度变化率,提出了基于亮度补偿的对角变换矩阵。利用3种颜色恒常性算法,采用多幅图像进行对比实验,实验结果表明,采用文中提出的基于亮度补偿变换矩阵的颜色恒常性计算方法,能够补偿低照度图像的亮度,纠正由于强光照导致的颜色失真,增强图像整体的对比度,明显地提高了图像的视见度。通过对比证明,该方法效果明显优于基于传统 Von Kries 对角变换矩阵的颜色恒常性计算方法。

参考文献(References)

- [1] Forsyth D A. A novel algorithm for color constancy [J]. International Journal of Computer Vision, 1990, 5(1):5-36.
- [2] Arjan G, Theo G, Joost V D W. Computational color constancy: survey and experiments [J]. Transactions on Image Processing, 2011, 20(19):2475-2489.
- [3] Vivek A, Besma R, A, Andreas K. An overview of color constancy algorithms [J]. Journal of Pattern Recognition Research, 2006, 1(1):42-54.
- [4] Land E H, McCann J. Lightness and retinex theory [J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1-11.
- [5] Weijer J v d, Gevers Th, Gijzenij A. Edge-based color constancy [J]. Transactions on Image Processing, 2007, 16(9):2207-2214.
- [6] Finlayson G D, Hordley S D. Gamut constrained illuminant estimation [C]// Proceedings of the Ninth IEEE International Con-

- ference on Computer Vision. Nice, France, USA: IEEE Computer Society, 2003:792-799.
- [7] Chakrabarti A, Hirakawa K, Zickler T. Computational color constancy with spatial correlations: TR-09-10 [R]. Massachusetts: Harvard School of Engineering and Applied Sciences, 2010.
- [8] Bianco S, Ciocca G, Cusano C. Automatic color constancy algorithm selection and combination [J]. Journal of Pattern Recognition, 2010, 13(3):695-705.
- [9] Arjan G, Theo G, Lucassen M P. Perceptual analysis of distance measures for color constancy algorithms [J]. Journal of the Optical Society of America, 2009, 26(10):2243-2256.
- [10] Finlayson G D, Drew S D, Funt B V. Diagonal transforms suffice for color constancy [C]//Proceedings of the fourth International Conference on Computer Vision. Berlin, Germany: IEEE Computer Society, 1993:164-171.
- [11] Francesc T, Maria V. Relaxed Grey-world: computational colour constancy by surface matching [J]. Pattern Recognize and Intelligent Analysis, 2005, 24(13):192-199.
- [12] Hu W J, Tang S Q, Zhu Z F. Principle and Application of Modern Color Technology [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007:46-51. [胡威捷, 汤顺青, 朱正芳. 现代颜色技术原理及其应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007:46-51.]
- [13] Funt B V, Benjamin C L. Diagonal versus affine transformations for color correction [J]. Journal of the Optics Society of American, 2000, 17(11):2108-2112.
- [14] Finlayson G D, Drew M S, Funt B V. Color constancy: generalized diagonal transforms suffice [J]. Journal of the Optical Society of America, 1994, 11(11):3011-3019.
- [15] Chong H, Gortler S, Zickler T. The von Kreis hypothesis and a basis for color constancy [C]//Proceedings of the 11th International Conference on Computer Vision. Rio de Janeiro, USA: IEEE Computer Society, 2007:1-8.
- [16] Brainard D H. Color Constancy [M]//Leo M C, John S W. The Visual Neurosciences. MA: MIT Press, 2003:948-961.