

## 模糊色差图像的白平衡偏差补偿技术\*

许丽娟

(广东财经大学华商学院 广州 511300)

**摘要:** 在光照背景较复杂的情况下采集的图像具有模糊性和色差性,通过白平衡偏差补偿,提高图像的成像效果。传统方法采用轮廓特点融合自适应匹配方法进行复杂光照背景下的白平衡补偿,当成像像素较低的情况下导致色差补偿效果不好。提出一种基于小波包分解的模糊色差图像白平衡偏差补偿算法。对复杂光照背景下的图像进行采集系统和成像描述,对原始图像进行降噪滤波处理,基于小波包分解方法进行图像的色差白平衡特征分析和提取,并进行自适应均衡设计,实现对模糊色差图像的白平衡偏差补偿。仿真结果表明,采用该图像处理方法进行模糊色差图像的白平衡偏差补偿,能有效均衡图像的色差,提高了图像的美感,对图像的细节特征的表现能力更强,峰值信噪比较高,性能优越。

**关键词:** 光照背景;白平衡;图像;小波包分解

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 520.6040

## White balance error compensation technique for fuzzy color difference image

Xu Lijuan

(Guangdong University of Finance &amp; Economics, Guangzhou 511300, China)

**Abstract:** In the light of the background of the complex situation, the image acquired by the image has fuzziness and color difference, through the white balance deviation compensation, improve the imaging results. In the traditional method, the contour feature fusion method is used to compensate the white balance in the complex illumination. When the image pixel is lower, the color difference compensation is not good. A new method of white balance offset compensation based on wavelet packet decomposition is proposed. Firstly, the image of the complex illumination is collected and the image is described. The original image is processed by noise reduction. The color difference of the image is analyzed and extracted by wavelet packet decomposition method. The simulation results show that the image processing method is used to compensate for the White Balance errors, which can effectively balance the image color, improve the image of the image, the performance of the details of the image is more powerful, the peak signal noise is relatively high, and the performance is superior.

**Keywords:** illumination background; white balance; image; wavelet packet decomposition

## 1 引言

在图像处理领域,经常会面对一些光照背景复杂的图像进行成像美化处理,提高图像的美感的同时提高对这类图像的细节特征识别能力。然而在多重光照背景下采集的图像受到各种颜色光线的影响,导致图像的白平衡偏差和失衡,产生色差,对模糊色差图像的白平衡偏差补偿,进行图像平滑和美化处理,实现对多重光照背景下图像的成像优化和后期加工,改善图像的成像质量,相关的研究将在机器视觉与视频监控等领域具有重要的应用价值<sup>[1]</sup>。

由于多重光照背景下的成像自然条件较差,通常成像设备得到的图像较为模糊,且产生色差,对外界环境与周围颜色差异比较敏感,导致成像设备取景和智能分析出现误差和失真,降低了成像质量。传统方法中,对模糊色差图像的白平衡偏差补偿技术主要采用基于多尺度加权的补偿方法、基于 Harris 角点检测的白平衡偏差补偿方法和基于边缘轮廓融合的白平衡偏差补偿方法等<sup>[2-3]</sup>,该类方法都是通过对模糊图像进行降噪处理的基础上,进行亮点特征提取,然后采用尺度步进融合方法实现白平衡偏差补偿,共同的缺点是色差像素级降低的情况下,修复效果不好。对此,相

收稿日期:2015-11

\* 基金项目:2015 年广东省本科高校教学质量与教学改革工程立项建设项目(粤教高函[2015]133 号)、2014 年广东财经大学华商学院“创新强校工程”科研项目(HS2014CXQX13)资助

关文献进行了改进设计,其中,文献[4]提出一种基于多尺度频谱分离的模糊色差图像的白平衡偏差算法,对图像特征提取过程中设计级联分类器进行图像的谱特征识别,以此为信息素实现白平衡像素级融合和补偿,但是该方法的缺点的计算开销较大,实时性不好,在实时视频监控和图像跟踪处理等领域应用价值不高<sup>[5]</sup>。针对上述问题,本文提出一种基于小波包分解的模糊色差图像白平衡偏差补偿算法,首先对复杂光照背景下的图像进行采集系统描述,然后对采集的图像进行降噪滤波处理,基于小波包分解方法进行图像的色差白平衡特征分析和提取,以此为基础进行自适应均衡设计,实现对模糊色差图像的白平衡偏差补偿,仿真实验进行了性能验证,展示了本文方法的有效性。

## 2 图像的采集和降噪预处理

### 2.1 复杂光照背景下的图像采集和问题描述

为了实现对复杂光照背景下图像的白平衡偏差补偿,需要首先进行图像的采集和成像处理。图像采集系统建立在高分辨像素的数码设备基础上,在图像采集和成像过程中,由于感光元件对复杂光照背景的敏感性,导致离焦、抖动、光学系统误差,从而成像输出为一模糊色差图像,本文研究的复杂光照背景下图像采集模型如图1所示。

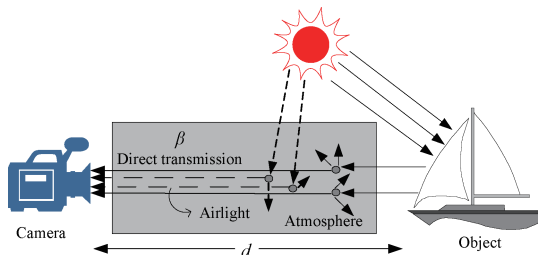


图 1 复杂光照背景下图像采集模型

在上述图像采集和成像模型设计的基础上,进行图像信息模型构建,在复杂光照作用下,设采集到的图像输出数学模型为  $g = \{g(i), i \in \Omega\}$ ,其表示为一幅含噪声的模糊色差图像,图像在复杂光照背景下,边缘、纹理等细节信息的特征状态方程描述为:

$$I(x) = I(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

式中:  $A$  为环境光效作用成分,  $t(x)$  为成像环境的光透射率,  $J(x)t(x)$  为原始图像的噪声系数。根据上述方程, 假设  $A$  表示图像的像素复杂,  $\rho(x)$  为大地坐标系下  $x$  处的场景反照率,  $d(x)$  为光照色差偏离度, 光照色差对比度  $c(X, Y)$  和结构特征  $s(X, Y)$  个参数分别定义如下:

$$l(X,Y) = (2u_x u_y + C_1)/(u_x^2 + u_y^2 + C_1) \quad (2)$$

在复杂光照背景中,图像结构相似度为:

$$L = J(w, e) - \sum_{i=1}^N a_i \{w^T \varphi(x_i) + b + e_i - y_i\} \quad (3)$$

采用高频子带小波融合方法对图像进行信息采集,初始小波包的初始像素固定值:  $15 \times 15$ , 通过图像的子带小波

相似度大小  $m \times n$  决定图像处理模板,模糊色差图像的纹理网格分在  $3 \times 3$  模板中,求解图像的小波结构相似度。令  $t(x) = e^{-\beta I(x)}$ , 其中  $0 < t(x) < 1$ ,  $t(x)$  表示图像各方向子带在成像位置  $x$  处的光强透射率,通过上述分析,得到图像成像的目标优化函数表示为:

$$\left. \begin{aligned} J_1(w, e) &= \frac{\mu}{2} w^T w + \frac{1}{2} \gamma \sum_{i=1}^N e_i^2 \\ s, t, y_i &= w^T \varphi(x_i) + b + e_i, \quad i = 1, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中:  $\varphi(\cdot)$  为图像块之间的相似性, 在核空间映射下以像素点  $i$  为中心进行收敛,  $w^T \varphi(x_i)$  为方形邻域  $N_j$  对复杂光照的穿透因子, 通过上述设计的复杂光照背景下的图像采集结果进行图像处理和白平衡偏差补偿。

## 2.2 模糊色差图像的降噪滤波处理

以上述图像采集输出为样本,进行图像的白平衡偏差补偿研究,多重光照下的色差图像中存在着噪声干扰,假设噪声为加性高斯白噪声的干扰,本文中,假定多重光照背景下模糊色差图像的噪声服从高斯分布<sup>[6]</sup>,即  $n \in N(0, \sigma_n^2)$ ,其中  $\sigma_n^2$  为噪声的方差,成像设备在等强度噪声干扰下输出的图像像素为:

$$g(x, y) = f(x, y) + \epsilon(x, y) \quad (5)$$

式中:  $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ 、 $\varepsilon(x, y)$  分别代表原始图像、降噪输出的测试样本图像及方差为  $\sigma_n^2$  的高斯白噪声。图像尺度在  $(x, y, \sigma)$  处的色差核经过高斯核空间变换后, 得到:

$$w = m + n \quad (6)$$

式中:  $w$ 、 $m$  和  $n$  分别为  $g(x, y)$ 、 $f(x, y)$  及  $\epsilon(x, y)$  经高斯核变换后的似然能量系数, 此时图像色差的自适应均衡判别函数为:

$$\Lambda(U) = \frac{p(U(t) | H_1)}{p(U(t) | H_0)} \geq \eta \quad (7)$$

在此基础上,设计小波包分解滤波器,进行图像降噪,滤波器结构模型如图 2 所示。

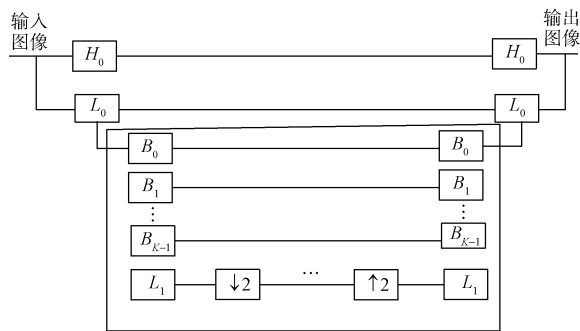


图 2 小波包分解图像降噪滤波

结合图 2,把原始的模糊色差图像输入到小波包分解滤波器中,通过图像去噪的从当前观测的含噪系数  $w$  估计出图像边缘信息  $\hat{m}$ ,使得图像边缘信息  $\hat{m}$  尽可能的逼近图像的原始边缘信息特征  $m$ ,从而提高图像的纯度,基于上述分析,得到滤波函数为:

$$l(X,Y) = (2u_x u_y + C_1)/(u_x^2 + u_y^2 + C_1) \quad (8)$$

$$c(X,Y) = (2\sigma_x \sigma_y + C_2)/(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2) \quad (9)$$

$$s(X,Y) = (\sigma_{xy} + C_3)/(\sigma_x \sigma_y + C_3) \quad (10)$$

式中:  $u_x$ 、 $u_y$  分别为两幅源图像同一空间坐标  $X,Y$  的噪声幅度均值;  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  分别为  $X,Y$  的小波结构相似度标准差,  $\sigma_{xy}$  为协方差向量,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  是高斯噪声, 通过上述滤波处理, 提高了图像的纯度, 为进行后续分析奠定基础。

### 3 图像特征提取和白平衡偏差补偿改进实现

#### 3.1 图像特征提取

在上述进行了图像的采集系统设计和降噪处理的基础上, 进行模糊色差图像的白平衡偏差补偿, 提高复杂光照背景下图像的成像水平和能力。传统方法采用轮廓特点融合自适应匹配方法进行复杂光照背景下的白平衡补偿, 当成像像素较低的情况下导致色差补偿效果不好。为了克服传统方法的弊端, 本文提出一种基于小波包分解的模糊色差图像白平衡偏差补偿算法。采用小波包分解方法模糊色差图像的细节分解和特征提取, 小波分析法具有时空分辨率、计算简单, 以此本文采用小波分析方法, 构建图像的 Harris 小波包函数为:

$$\begin{cases} f(x_1, x_2) = r_1 x_1 (1 - \frac{x_1}{N_1} - \sigma_1 \frac{x_2}{N_2}) = 0 \\ g(x_1, x_2) = r_2 x_2 (1 - \sigma_2 \frac{x_1}{N_1} - \frac{x_2}{N_2}) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

式中:  $r_1$  表示照度  $l(X,Y)$  图像的白平衡均衡置信度,  $r_2$  表示先验像素点,  $\sigma_1$  表示图像小波结构多维谱峰,  $N_1$  相同子波带内的噪声分量, 通过小波包分解, 得到复杂光照背景下小波的结构相似特征:

$$wss(X,Y) = \frac{2 \left| \sum_{i=1}^N c_{x,i} c_{y,i} \right| + K}{\sum_{i=1}^N |c_{x,i}|^2 + \sum_{i=1}^N |c_{y,i}|^2 + K} \quad (12)$$

式中:  $c_x$  和  $c_y$  分别是色差图像同一空间位置的离散高频特征,  $K$  为避免图像的高频参量极小时产生不稳定情况的修正系数。在上述特征提取的基础上, 进行图像的均衡处理, 实现白平衡偏差补偿。

#### 3.2 白平衡偏差补偿算法实现

在上述图像的小波分解特征分析和提取的基础上, 使用三级小波分解, 进行白平衡偏差补偿算法改进设计, 算法改进实现的关键技术描述如下: 对于第  $i$  级小波分解下的模糊色差图像的白平衡敏感系数为  $H_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ), 3 层小波分解后色差的自适应均衡分别为:

$$E_{HL_i} = \sum_j (c_j^{HL_i})^2, E_{LH_i} = \sum_j (c_j^{LH_i})^2, E_{HH_i} = \sum_j (c_j^{HH_i})^2 \quad (13)$$

式中:  $c_j^{HL_i}$ 、 $c_j^{LH_i}$ 、 $c_j^{HH_i}$  分别为对数似然比检测系数。子空间上的相似度函数来确定小波分解方向子带能量比重权值, 计算如下:

$$\omega_{HL_i} = \frac{E_{HL_i}}{E_{HL_i} + E_{LH_i} + E_{HH_i}}, \omega_{LH_i} = \frac{E_{LH_i}}{E_{HL_i} + E_{LH_i} + E_{HH_i}}, \omega_{HH_i} = \frac{E_{HH_i}}{E_{HL_i} + E_{LH_i} + E_{HH_i}} \quad (14)$$

沿梯度方向求得各高频子带的边缘信息特征, 对白平衡光照敏感度进行修复, 得到修复的尺度平移加权为:

$$WSSIM_{H_i} = \omega_{HL_i} \cdot WSSIM_{HL_i} + \omega_{LH_i} \cdot WSSIM_{LH_i} + \omega_{HH_i} \cdot WSSIM_{HH_i} \quad (15)$$

在尺度平移平面上 ( $a, b_m$ ) 上计算图像整体的小波结构相似度, 并进行二阶累积泰勒展开, 记为  $FWSSIM$ :

$$FWSSIM(X,Y) = \frac{\omega_{LL} WSSIM_{LL} + \sum_{i=1}^5 (\omega_{H_i} WSSIM_{H_i})}{\omega_{LL} + \sum_{i=1}^5 \omega_{H_i}} \quad (16)$$

进一步将滤波后的多重光照背景下图像纹理信息进行融合处理<sup>[7-10]</sup>, 图像的光照敏感度强度  $J^{dark}(x)$  逼近于 0, 通过小波包滑动窗口来进行边缘轮廓加权, 其定义为<sup>[15]</sup>:

$$Q_W(a,b,f) = \sum_{w \in W} c(w) (\lambda(w) Q_0(a, f | w) + (1 - \lambda(w)) Q_0(b, f | w)) \quad (17)$$

式中:

$$Q_0(x,y) = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2 \overline{xy}}{x^2 + y^2} \cdot \frac{2 \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (18)$$

$$\lambda(w) = \frac{H(a | w)}{H(a | w) + H(b | w)} \quad (19)$$

式中:  $H$  为信息熵。通过上述处理, 构建多重光照色差图像辨识模型, 将图像的亮点特征进行位置、尺度、主方向的白平衡均衡处理, 实现模糊色差图像的白平衡偏差补偿。

### 4 仿真实验与结果分析

为了测试本文算法在实现多重光照背景下图像的白平衡偏差补偿和成像优化中的性能, 进行仿真实验。仿真实验的硬件环境为: Intel(R) 2.3 GHz CPU, 2 GB 内存, 32 位 Windows 7 系统的 PC 机。基于 MATLAB 2010 编程平台, 进行数学编程, 实现算法代码设计。参量设计中, 小波包的邻域窗口取为  $9 \times 9$ 。图像采集的最大帧频: 60 FPS, 采集像素: 500 万, 光圈为 F14, 曝光时间为 11 s, 图像的大小是  $600 \times 400$ , 在上述仿真环境和参数设定的基础上, 进行图像处理, 进行模糊色差图像的白平衡偏差补偿仿真实验。首先给出原始采集的图像如图 3 所示。

从图 3 可见, 原始图像受到天空真的月光、各种颜色的灯光的影响, 导致出现色差, 虽然进行了白平衡自动设计, 仍然产生图像的成像失真, 需要进行白平衡偏差补偿, 采用本文算法, 通过小波包分解进行图像降噪滤波处理, 得到滤波输出结果如图 4 所示。

图 4 可见, 通过图像降噪, 提高了图像纯度, 减少了图



图 3 原始图像



图 4 图像降噪

像的背景干扰成分,以此为基础基于小波包分解方法进行图像的色差白平衡特征分析和提取,然后进行自适应均衡处理,实现对模糊色差图像的白平衡偏差补偿,最后实现图像处理后的输出,为了对比算法性能,采用本文方法和传统方法,对上组图像进行白平衡偏差补偿处理,得到输出结果如图 5 所示。



(a) 本文算法



(b) 传统算法

图 5 白平衡偏差补偿输出结果及对比

从图 5 可见,采用本文方法对多重复杂光照背景下的白平衡偏差补偿处理,能有效均衡图像的色差,弱化了图像

的模糊和色差表现,提高了图像的美感的同时,对图像的细节特征的表现能力更强,为了定量分析算法性能,采用不同方法,以图像成像质量峰值信噪比为测试指标,得到仿真结果如图 6 所示,从图 6 可见,采用本文方法,图像成像的峰值信噪比值更高,表示成像质量较好。

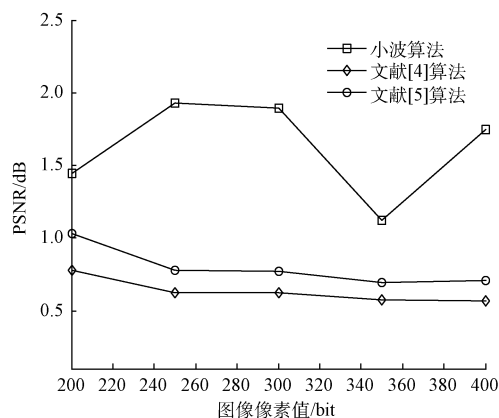


图 6 峰值信噪比性能对比

## 5 结 论

由于多重光照背景下的成像自然条件较差,图像较为模糊,且产生色差,对外界环境与周围颜色差异比较敏感,导致成像设备取景和智能分析出现误差和失真,降低了成像质量。本文提出一种基于小波包分解的模糊色差图像白平衡偏差补偿算法,首先对复杂光照背景下的图像进行采集系统描述,然后对采集的图像进行降噪滤波处理,基于小波包分解方法进行图像的色差白平衡特征分析和提取,以此为基础进行自适应均衡设计,实现对模糊色差图像的白平衡偏差补偿。研究得出,采用本文方法进行图像处理,能有效实现对模糊色差图像的白平衡偏差补偿,改善图像成像的质量和视觉美感,提高峰值信噪比,性能优越。

## 参考文献

- [1] 蒋建国,金玉龙,齐美彬,等. 基于稀疏表达残差的自然场景运动目标检测[J]. 电子学报, 2015, 43(9): 1738-1744.
- [2] 朱贺,李臣明,张丽丽,等. 联合灰度阈值分割及轮廓形态识别的河道提取,电子测量与仪器学报,2014,28(11):1288-1296.
- [3] 王小玉,张亚洲,陈德运. 基于多块局部二值模式特征和人眼定位的人脸检测,仪器仪表学报, 2014, 35(12):2739-2745.
- [4] 王勇杰,岳安康. 三维纹理图像特征准确识别技术仿真研究[J]. 计算机仿真,2012,29(5):295-298.
- [5] 蔡自兴,彭梦,余伶俐. 基于时序特性的自适应增量主成分分析的视觉跟踪[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(11): 2571-2577.

[6] 张爱民. 一种基于小波变换的夜视图像去噪和融合方法[J]. 电子测量技术, 2015, 38(1): 38-40.

[7] 王云烨, 李勃, 董蓉, 等. 基于透射率空间与色彩纹理相关性的图像分割[J]. 电子测量技术, 2015, 38(1): 41- 46.

[8] 许妙忠, 丛铭, 万丽娟, 等. 视觉感受与 Markov 随机场相结合的高分辨率遥感影像分割法[J]. 测绘学报, 2015, 44(2): 198-205.

[9] 施晓东, 刘格. 一种光学遥感图像海陆分割方法[J].

国外电子测量技术, 2014, 33(11): 29-32.

[10] 胡棚, 施惠娟. 基于视觉掩蔽模型的视频水印算法[J]. 电子测量技术, 2014, 37(12): 36-40.

作者简介

许丽娟, 1979 年出生, 硕士, 讲师, 主要研究方向为计算机图形学、数据挖掘。  
E-mail: yilanwoxin@126. com

(上接第 57 页)

[11] 董占奇, 胡捍英, 于宏毅. 基于延迟相乘-相关及谱分析的直扩信号检测与符号周期、码片时宽估计分析[J]. 电子与信息学报, 2008(4): 840-842.

[12] 樊昌信, 曹丽娜. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.

作者简介

易辉, 硕士研究生, 主要研究方向为航天测控与数字信号处理。

E-mail: 18810962910@163. com

侯孝民, 工学博士, 教授, 主要研究方向为航天测控与高速信号处理。

马宏, 工学博士, 副教授, 主要研究方向为航天器测量与控制、航天器测量信息获取与处理和航天器定位等。

吴涛, 工学博士, 讲师, 主要研究方向: 航天测控与数字信号处理。

(上接第 75 页)

[15] 吴新宇, 郭会文, 李楠楠, 等. 基于视频的人群异常事件检测综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(6): 575-584.

作者简介

殷梦娇, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为密

集人群场景模式识别与异常检测。

俞亚萍, 1992 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向模式识别、图像处理等。

张之江, 1968 年出生, 教授, 主要研究方向计算机视觉、数字全息等。

E-mail: yinmj1213@163. com