查羽涵, 韩宗旺, 吴世青,等. 面向金属零件的高光抑制与细节增强方法[J]. 智能计算机与应用,2026,16(8):167-173.
DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.25010203

面向金属零件的高光抑制与细节增强方法

查羽涵, 韩宗旺, 吴世青, 陈 龙
(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘 要: 金属零件表面高光会导致图像细节缺失和纹理模糊,严重影响图像质量。本文提出一种面向金属零件的高光抑制与细节增强方法,构建了从高光区域检测、高光抑制到细节增强的算法框架。首先,采用基于侧窗滤波的 Retinex 算法分离光照和反射分量,通过生成高光掩膜定位高光区域。然后,结合双色反射模型,通过融合无照度图像与高光掩膜,对高光区域的亮度异常进行有效抑制。最后,对亮度通道进行低频与高频特征分解,分别采用光照平滑和梯度融合的增强方法,恢复边缘和纹理细节,提升图像的整体质量。实验结果显示,该方法能够有效抑制高光干扰,同时在恢复细节信息方面具有显著优势。

关键词: 高光抑制; 细节增强; Retinex 算法; 侧窗滤波; 双色反射模型
中图分类号: TP391.9 **文献标志码**: A **文章编号**: 2095-2163(2026)08-0167-07

High-gloss suppression and detail enhancement method for metal parts

ZHA Yuhan, HAN Zongwang, WU Shiqing, CHEN Long
(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The high gloss on metal parts′ surfaces often leads to the loss of image details and texture blurring, significantly affecting image quality. This paper proposes a high-gloss suppression and detail enhancement method for metal parts, establishing an algorithm framework that encompasses high-gloss region detection, suppression, and detail enhancement. First, a Retinex algorithm based on side-window filtering is employed to separate illumination and reflection components, generating a high-gloss mask to locate high-gloss regions. Then, based on the dichromatic reflection model, illumination-free images are fused with the high-gloss mask to effectively suppress abnormal brightness in highlighted areas. Finally, the brightness channel is decomposed into low-frequency and high-frequency features, which are enhanced using illumination smoothing and gradient fusion, respectively, to restore edges and texture details, thereby improving overall image quality. Experimental results demonstrate that the proposed method can effectively eliminate high-gloss interference and possess prominent advantages in restoring image details.

Key words: high-gloss suppression; detail enhancement; Retinex algorithm; side-window filtering; dichromatic reflection model

0 引 言

在工业视觉与自动化检测等应用场景中,实际环境的光照条件往往会造成图像质量下降,尤其是采集金属零件图像时,图像容易出现光照不均或是反光饱和的高光区域[1]。这不仅会掩盖零件的边缘与形状特征,还会给图像分割和目标识别等任务引入额外误差。因此如何有效减少高光干扰、恢复图像细节,是当前该领域研究的重要方向。

针对高光问题,现有研究主要分为多视图高光补偿与单张图像高光抑制两大类。多视图方法[2-4]通过采集来自不同光源方向下的图像,利用合成策略估计目标的漫反射分量[5],该方法尽管准确性较高,但由于其对光源数量与位置有着严格要求,难以在实际工业场景中广泛应用[6]。相比之下,单张图像高光抑制方法更加灵活,该方法通过调整图像亮度、分离反射分量,抑制镜面反射以减轻高光影响[7]。例如,Tan 等[8]提出 Specular-Free 方法,利用色度空间的分布特性分离镜面反射与漫反射分量,但容易造成颜色失真。Yang 等[9]利用双色反射模型[10]的光照特性,对镜面反射与漫反射分量进行优化,实现高光抑制、改善图像过饱和问题,但对光照

基金项目: 国家自然科学基金(52005338)。
作者简介: 查羽涵(2000—),男,硕士研究生。主要研究方向:机器视觉。
通信作者: 韩宗旺(1995—),男,博士研究生。主要研究方向:机器视觉与机器人。Email:17862071806@163.com。
收稿日期: 2025-01-02

条件多变的场景表现不够稳定。Guo 等[11]采用低阶加权矩阵的线性组合方法,利用强反射分量的稀疏性抑制高光,同时校正了色彩的饱和度,但在处理高光区域边缘时表现不足。秦绪佳等[12]将图像从 RGB 空间转换到 HSV 颜色空间,结合 Gamma 校正与多尺度增强策略实现高光抑制,但处理后图像的整体亮度偏低。Mu 等[13]基于引导滤波提出加权引导滤波算法,通过引入权重因子优化光照分量的估计,削弱了高光的影响,但易出现亮度过度平滑的问题。基于模糊理论的自适应增强算法[14]与直方图均衡化方法[15]也被应用于高光区域的优化,但这类方法往往会在增强过程中放大背景噪声。

此外,细节增强是图像处理领域的核心任务之一,其目标是恢复图像边缘与纹理信息,该任务不仅决定了图像特征的表达效果,还直接影响图像的可解释性与实际可用性[16]。然而,现有方法[13,17]在高光抑制后,常出现边缘模糊或纹理信息丢失的问题。因此,如何在高光抑制的同时有效增强图像细节,已经成为当前该领域研究的关键任务。将高光抑制与细节增强相结合,不仅可以提升图像质量,还能为后续视觉检测任务提供更为精准的数据支持[18]。

针对上述问题,本文提出了一种面向金属零件图像的高光抑制与细节增强方法,构建了从高光掩膜、高光抑制到细节增强的完整优化框架。实验结果表明,该方法能够有效抑制高光干扰,显著恢复图像丢失的细节信息,并在多组对比测试中展现出更优异的性能。

1 算法设计

1.1 算法总体框架

为有效抑制高光干扰并增强金属零件图像细节所提算法,整体流程如图 1 所示。首先,对输入图像采用基于侧窗滤波的 Retinex 模型,将图像分离为光照分量与反射分量,通过像素亮度的均值与标准差生成高光掩膜,该掩膜用于限定高光抑制范围并提高算法针对性。然后,将图像转换至 HSV 色彩空间,结合双色反射模型对高光区域的镜面反射分量进行抑制,从而减少亮度异常并避免全局处理造成的颜色失真。最后,针对高光区域细节缺失的问题,通过亮度通道的分解生成低频特征图和高频特征图,分别利用亮度平滑恢复全局光照一致性,以及基于梯度融合的增强方法强化边缘和纹理特征,最终生成高光抑制后的优化图像。

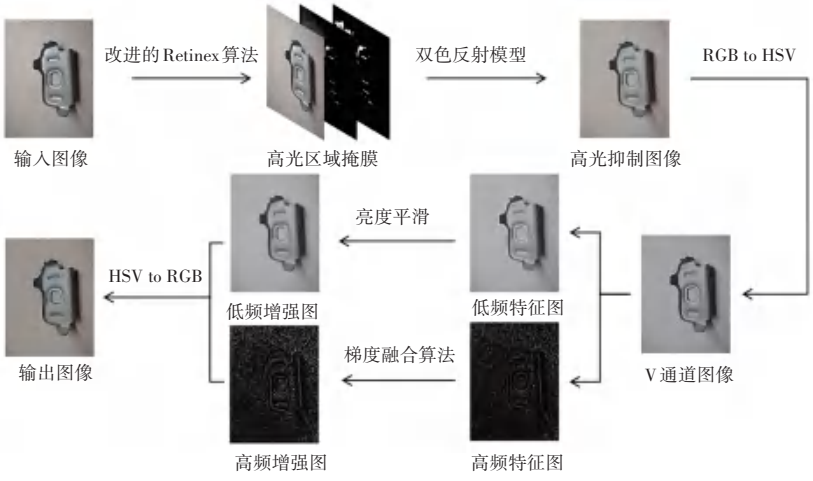


图 1 高光抑制与细节增强方法流程图

Fig. 1 Flowchart of the high-gloss suppression and detail enhancement method

1.2 高光掩膜生成

高光区域的准确检测是有效抑制高光干扰的关键,直接影响图像的恢复效果和算法的效率。为此,本文提出了一种基于 Retinex 理论的高光掩膜生成方法,结合侧窗滤波[19],通过动态窗口调整与高光区域的统计分析生成高光掩膜。该掩膜能够精准定位高光区域,避免对非高光区域的过度处理,并为后续镜面反射分量的抑制提供基础支持。Retinex 理论最早由 Land 和 McCann 提出[20],该理论认为低光图像可以分解为反射图和光照图的点乘,公式如下:

$$I(x,y) = R(x,y) \cdot L(x,y) \tag{1}$$

式中:$I(x,y)$ 为输入图像,$R(x,y)$ 为反射图,$L(x,y)$ 为光照图。传统的 Retinex 方法在估计光照分量时通常采用高斯滤波,对异常光亮区域的处理能力较弱,容易导致细节模糊或估计偏差,从而影响后续的高光抑制效果。

为提高光照分量的估计精度，尤其是在高光区域中准确捕捉局部光照特性，考虑到高光区域的光照分量估计极易受到边缘过渡的强对比干扰，会导致估计结果出现偏差。为解决这一问题，侧窗滤波构造多个方向性窗口动态调整滤波过程，如图 2 所示。每个窗口通过将目标像素放置在窗口的一侧或角落，有效减少边缘特征对滤波结果的干扰。

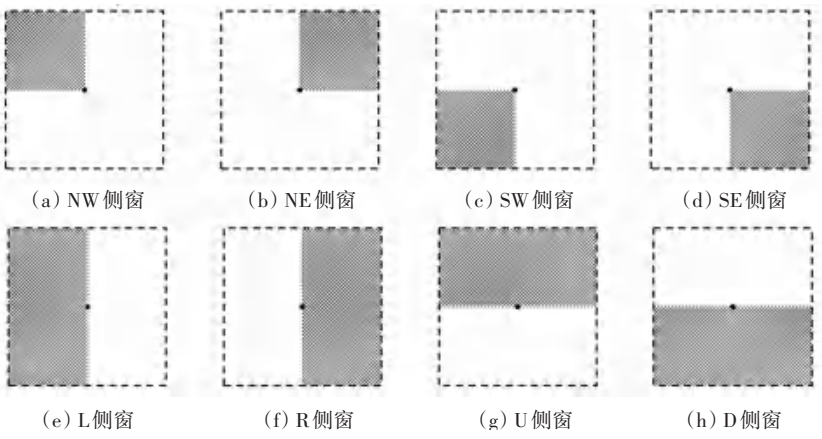


图 2　侧窗滤波窗口

Fig. 2　Side-window filtering window

定义 L_k 为不同窗口中使用高斯滤波得到的光照分量，可得如下公式：

$$L_k(x,y)=\frac{1}{|W_k|}\sum_{(i,j)\in W_k}\omega_k(i,j)I(i,j) \tag{2}$$

其中，$L_k(x,y)$ 为第 k 个尺度的光照分量；W_k 为第 k 个尺度对应的滤波窗口；$|W_k|$ 为窗口内像素数量，用于归一化滤波结果；ω_k 为窗口内的核函数，公式如下：

$$\omega_k(x,y)=\exp\left(-\frac{(i-x)^2+(j-y)^2}{2\sigma_k^2}\right) \tag{3}$$

其中，σ_k 为 $I(x,y)$ 在窗口中的标准差，控制权重随距离的衰减程度。为进一步减少反射分量的影响，选择光照分量估计值最小的方向作为最终输出，公式如下：

$$L(x,y)=\arg\min_k|I(x,y)-L_k(x,y)| \tag{4}$$

由于高光区域通常表现为光照分量的局部异常突增，本文通过统计光照分量的全局特性计算高光阈值 T。高光阈值的公式如下：

$$T=\frac{\sum_{n=1}^{H\times W}L_n}{H\times W}+\alpha\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{H\times W}(L_n-\overline{L_n})^2}{H\times W}} \tag{5}$$

其中，$H\times W$ 为图像的总像素数，α 是控制阈值灵敏度的调节参数，本文设置为 0.8。随后，采用线性映射将结果归一化至[0,1]，生成连续的高光掩膜，公式如下：

$$M(x,y)=\max(0,\min(1,\frac{L(x,y)-T}{\sigma_L}) \tag{6}$$

1.3　高光区域抑制

在生成高光掩膜后，本文结合高光掩膜与双色反射模型，对高光区域和背景区域分别进行处理。高光掩膜用于定位高光区域范围，而双色反射模型分离了漫反射、镜面反射分量，从而实现对高光区域的有效抑制，双色反射模型公式如下：

$$I(x,y)=I_d(x,y)+I_s(x,y) \tag{7}$$

其中，$I(x,y)$ 为原始图像的像素值，$I_d(x,y)$ 和 $I_s(x,y)$ 分别表示漫反射分量和镜面反射分量。高光区域的亮度异常主要由镜面反射分量 $I_s(x,y)$ 导致，而漫反射分量 $I_d(x,y)$ 则反映了物体表面的真实细节与颜色。为实现对高光区域的亮度异常进行抑制，需要减少镜面反射分量的影响，同时保留漫反射分量的细节信息。文献[21]提出了一种基于无照度图像的高光抑制方法，该方法通过提取 RGB 空间中每个像素的最小值来构建无照度图像。由于镜面反射在 RGB 三个通道中具有接近的强度，而漫反射分量的颜色信息在 RGB 通道中存在显著差异，因此生成的无照度图像能够有效突出漫反射特征，削弱镜面反射对高光区域的干扰，从而实现高光抑制。公式如下：

$$D(x,y)=I(x,y)-I_{\min}(x,y)+\frac{1}{N}\sum_{x,y}I_{\min}(x,y) \tag{8}$$

其中，$D(x,y)$ 为 RGB 空间分离得到的近似无照度图像；$I_{\min}$ 为原图像在 RGB 空间中的像素最小值；N 为图像像素数。结合高光掩膜 $M(x,y)$ 的连

续值特性,本文对原始图像和无照度图像进行融合处理,实现高光区域的有效抑制,公式如下:

$$I'(x,y) = M(x,y)D(x,y) + (1 - M(x,y))I(x,y) \tag{9}$$

为进一步平滑亮度过渡,抑制高光区域的亮度异常,将图像 $I'(x,y)$ 转换至 HSV 空间,对亮度通道 $V'(x,y)$ 进行约束优化,公式如下:

$$V(x,y) = \min(V'(x,y),(1 - M(x,y)) \cdot V'(x,y) + M(x,y) \cdot I_{\min}(x,y)) \tag{10}$$

通过 $I_{\min}$ 的最小值约束进一步限制高光区域的亮度值,有效减少镜面反射对图像高光区域亮度的干扰。高光掩膜 $M(x,y)$ 的连续值特性确保了高光区域与背景区域之间的亮度平滑过渡。

1.4 细节增强

在高光抑制过程中,高光区域的亮度异常得到了有效处理,但会导致边缘模糊或纹理信息损失,影响图像的细节质量。为恢复图像的细节信息并提升整体视觉效果,本文提出基于低频与高频特征分解的细节增强方法。具体而言,通过将图像亮度通道分解为低频特征图和高频特征图,分别进行亮度平滑与梯度融合,最终重建得到细节增强的完整图像。

首先,基于滤波方法对亮度通道 $V(x,y)$ 进行特征分解,生成低频特征图和高频特征图。低频特征图 $F_L(x,y)$ 通过高斯滤波提取,表示图像的整体结构与光照分布,公式如下:

$$F_L(x,y) = \text{Gaussian}(V(x,y),\sigma) \tag{11}$$

其中,σ 为高斯核的标准差。高频特征图 $F_H(x,y)$ 则通过计算亮度通道与低频特征图的差值得到,包含图像的局部纹理和边缘信息,公式如下:

$$F_H(x,y) = V(x,y) - F_L(x,y) \tag{12}$$

随后,对低频特征图 $F_L(x,y)$ 进行亮度平滑处理,以提升图像的整体光照均匀性与亮度层次感。亮度平滑通过全局均值 F_{mean} 进行补偿,抑制光照不均的现象,公式如下:

$$F_L^{'}(x,y) = F_L(x,y) + \beta(F_{\text{mean}} - F_L(x,y)) \tag{13}$$

其中,β 控制光照平滑的强度,本文设置为 1.2。为进一步增强对比度,采用线性拉伸方法,将低频特征图的亮度范围映射至[0, 255],公式如下:

$$F_L^{'}(x,y) = 255 \cdot \frac{F_L(x,y) - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \tag{14}$$

其中,$F_{\min}$ 和 $F_{\max}$ 分别表示低频特征图的最小值与最大值。高频特征图则通过梯度融合方法实现细节增强。首先,采用罗伯茨算子提取高频特征的梯度响应,以突出边缘与纹理信息,公式如下:

$$G_{\text{roberts}}(x,y) = \sqrt{(F_H(x,y) - F_H(x+1,y+1))^2 + (F_H(x+1,y) - F_H(x,y+1))^2} \tag{15}$$

为避免增强过程中引入多余噪声,本文设计了一种动态权重生成方法,利用低频特征图 $F'_L(x,y)$ 与全局均值 F_{mean} 自适应调整增强强度,从而有效平衡图像细节恢复与噪声抑制,公式如下:

$$W(x,y) = \frac{1}{1 + \exp(-0.1(F_L'(x,y) - F_{\text{mean}})} \tag{16}$$

$$F_H^{'}(x,y) = F_H(x,y) + W(x,y)G_{\text{roberts}}(x,y) \tag{17}$$

其中,$W(x,y)$ 为控制动态变化范围的权重。本文通过融合优化后的低频特征和增强后的高频特征,生成最终的细节增强图像 $I(x,y)$,公式如下:

$$V'(x,y) = \text{clip}(F_L^{'}(x,y) + F_H^{'}(x,y),0,255) \tag{18}$$

$$I(x,y) = \text{HSVtoRGB}(H(x,y),S(x,y),V'(x,y)) \tag{19}$$

通过该方法,低频特征图优化保障了整体光照的均匀性和亮度层次,高频特征图增强恢复了图像的细节和纹理特征。最终融合生成的图像可实现高光区域细节的增强与视觉效果的自然性。

2 实验

本实验基于 Python3.8 环境开展,硬件平台配置为 Intel i7-9700 处理器与 NVIDIA RTX 3080 显卡。实验数据采用 CCD 相机在不同光照条件下拍摄的金属零件图像,分辨率均为 1 280×720。数据集中每幅图像均含有高光区域。为验证本文方法的性能,实验选取 Gamma 校正法、Retinex 方法和文献[21]的方法作为对比。

从定性结果可以看出,本文方法在高光抑制方面表现出色,能够准确识别高光区域并有效降低亮度异常。如图 3(b)所示,Gamma 校正法未能对高光进行有效抑制,高光区域的过曝现象仍然存在。而本文方法通过高光抑制算法,有效抑制了图像高光区域的异常亮度,显著提升了图像的亮度均衡性。

相比 Retinex 方法,本文方法在亮度抑制的精准性上更具优势。如图 3(c)所示,Retinex 方法虽然对高光区域的亮度进行了部分抑制,但容易出现非高光区域被过度抑制的问题,导致图像整体的亮度过暗且噪声明显。本文方法通过高光掩膜精确控制

了高光抑制范围，确保非高光区域的亮度和细节能够被合理保留，从而提高整体视觉效果。

此外，文献[22]的方法在高光抑制方面表现稳定，但其对细节信息的恢复能力较弱。如图 3(d)所示，该方法虽然有效抑制了高光区域的亮度异常，但对金属零件的边缘和局部特征处理不足，呈现出明显的模糊感。而本文方法通过细节增强模块的高频与低频特征分解与融合，显著提升了高光区域的细节表现，使零件表面更具立体感和真实感。



(a) 原始图像　(b) Gamma 校正　(c) Rentinex 算法　(d) 文献[21]算法　(e) 本文算法

图 3　各方法实验对比图像

Fig. 3　Experimental comparison of different methods

为了更准确地评估不同方法的效果，本文采用峰值信噪比(PSNR)、结构相似性指数(SSIM)以及信息熵(Entropy)作为定量实验评价指标，实验结果见表 1 所示。

表 1　各方法实验指标

Table 1　Experimental metrics of different methods

算法名称	PSNR/dB	SSIM	Entropy
原始图像		1.00	6.93
Gamma 校正法	12.60	0.87	6.17
Retinex 方法	17.78	0.93	6.46
文献[21]方法	20.65	0.86	5.62
本文算法	25.81	0.96	6.68

从实验结果可以看出，本文方法在 PSNR、SSIM、信息熵三个指标上均取得了最优表现。PSNR 反映图像的重建质量，较高的 PSNR 指标表明本文方法比其他方法的噪声偏差更低，处理后的图像清晰度更优。SSIM 用于衡量图像的结构相似性，该指标上的优势表明本文方法能更好地保留边缘和纹理特征。信息熵用于评估图像的细节丰富程度，较高的信息熵体现了本文方法在细节恢复与信息保真方面具有显著优势。整体结果表明，本文方法在高光抑制和细节增强方面表现突出，可显著提升图像质量。

为验证基于 Retinex 算法生成高光掩膜的效果，并选择适合的窗口大小，本文对不同窗口大小下的掩膜生成效果进行了对比实验，实验结果如图 4 所示，其中比较了固定阈值以及不同窗口大小下的高光掩膜生成效果。从实验结果可以看出，当窗口大小为 9 时，高光掩膜能够较好地平衡细节丰富性与覆盖范围的完整性，其掩膜范围有效覆盖了高光区域；当窗口大小为 5 时，掩膜虽然细节丰富，但出现了许多细小而分散的区域，难以准确表达整体高光区域；而窗口大小为 13 时，掩膜过于平滑，导致部分高光区域未能被正确标记。综合对比可知，窗口大小为 9 时生成的掩膜效果最佳，既能准确定位高光区域，又能避免过分割和覆盖不足的情况。

为验证细节增强模块和掩膜机制的有效性，本文设计了两组消融实验：第一组去除高光掩膜，直接对图像进行全局高光抑制；第二组去除细节增强步骤，仅保留高光抑制，定性对比结果如图 5 所示。实

验结果表明,无高光掩膜时,图像的高光抑制效果显著下降。由于缺少掩膜的范围限制,背景区域和非高光区域的纹理和边缘细节受到干扰,出现了模糊现象。结合表 2 数据可知,PSNR、SSIM 和信息熵指标均有所下降,表明非高光区域的信息表达能力受到一定损失。通过对比可以看出,高光掩膜通过准确限定高光区域的处理范围,有效避免了对其他区域的干扰,从而提升了高光抑制的效果。



(a) 固定域值 (b) 窗口大小 5 (c) 窗口大小 9 (d) 窗口大小 13

图 4 消融实验对比图像

Fig. 4 Visual comparison in ablation experiments



(a) 原始图像 (b) 无高光掩膜 (c) 无细节增强 (d) 本文算法

图 5 消融实验对比图像

Fig. 5 Visual comparison in ablation experiments

当移除细节增强模块时,金属零件的边缘清晰度与纹理表现明显减弱。虽然 PSNR 指标上升 0.77 dB,这是因为本文方法细节增强过程中对高频信息的处理引入了一定程度的噪声,剔除该模块后,图像的高频分量被削弱,从而提高了 PSNR 指标。然而,SSIM 和信息熵指标的显著下降直观反映出边缘和纹理细节存在明显丢失,表明细节增强模块在恢复图像纹理信息和提升边缘清晰度方面发挥了关键作用。

表 2 消融实验指标

Table 2 Metrics of ablation experiments

算法名称	PSNR/dB	SSIM	Entropy
无高光掩膜	21.47	0.84	5.97
无细节增强	26.58	0.94	6.37
本文算法	25.81	0.96	6.68

通过上述实验验证,本文方法在高光区域抑制和细节增强方面表现优异。相比其他方法,本文方法能够有效抑制高光干扰、恢复边缘和纹理细节,同时保持整体图像的自然性和视觉质量。

3 结束语

金属零件表面反光产生的高光干扰和细节缺失,是图像质量提升的主要难点之一。本文提出一种面向金属零件的高光抑制与细节增强方法,构建了从高光掩膜生成、高光抑制到细节增强的优化框架。实验结果表明,本文方法在高光抑制和细节增强方面均显著优于现有方法,尤其背景区域保持方面表现出优越性。然而,在复杂光照场景下,高光掩膜生成的准确性仍有待提升,且图像处理中仍然存在伪影问题。未来的研究可结合深度学习技术,进一步增强高光抑制的鲁棒性和自适应性。

参考文献

[1] 刘伊玟, 唐瑞尹. 金属工件高光检测与修复[J]. 机械设计与制造, 2024(10): 163-167.

[2] Gai K, Shi Z, Zhang C. Blind separation of superimposed moving images using image statistics[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(1): 19-32.

[3] 郭圣逸. 基于多视图几何约束的高光去除算法研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2023.

[4] Guo X, Cao X, Ma Y. Robust separation of reflection from

multiple images[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway, NJ: IEEE, 2014: 2187-2194.
[5] Yi R, Tan P, Lin S. Leveraging multi-view image sets for unsupervised intrinsic image decomposition and highlight separation[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. AAAI, 2020, 34(7): 12685-12692.
[6] 罗超. 基于深度学习的单图像去反光算法研究[D]. 南昌:南昌航空大学, 2023.
[7] 赵芳. 单幅图像的去高光技术研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学, 2023.
[8] Tan R T, Ikeuchi K. Separating reflection components of textured surfaces using a single image[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(2): 178-193.
[9] Yang Q, Wang S, Ahuja N. Real-time specular highlight removal using bilateral filtering[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Cham: Springer, 2010: 87-100.
[10] Shafer S A. Using color to separate reflection components[J]. Color Research and Application, 1985, 10(4):210-218.
[11] Guo J, Zhou Z, Wang L. Single image highlight removal with a sparse and low-rank reflection model[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Cham: Springer, 2018: 268-283.
[12] 秦绪佳, 王慧玲, 杜轶诚, 等. HSV 色彩空间的 Retinex 结构光图像增强算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(4): 488-493.
[13] Mu Q, Wang X, Wei Y, et al. Low and non-uniform illumination color image enhancement using weighted guided image filtering[J]. Computational Visual Media, 2021, 7(4): 529-546.
[14] Kim J, Kim L, Hwang S. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(4): 475-484.
[15] 全思博, 李伟光. 移动高光对三维场景重建的影响与消除[J]. 光学精密工程, 2017, 25(7): 1900-1908.
[16] Lv J, Deng B, Lu Y L. A new detail enhancement method for high dynamic range infrared image[J]. Journal of Physics Conference Series, 2019, 1237(3): 032060.
[17] 郭碧茹, 孔韦韦, 陈斌. 导向滤波的高光去除改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(20): 229-235.
[18] 彭岸辉. 针对装配机器人金属高光件特征提取技术研究[D]. 廊坊:北华航天工业学院, 2023.
[19] Yin H. Gong Y, Qiu G. Side window filtering[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Piscataway, NJ: IEEE, 2019:8758-8766.
[20] Land E H, McCann J J. Lightness and retinex theory[J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1-11.
[21] Shen H L, Cai Q Y. Simple and efficient method for specularity removal in an image[J]. Applied Optics, 2009, 48(14): 2711-2719.
[22] Ramos V S, Júnior L G D Q S, Silveira L F D Q. Single image highlight removal for real-time image processing pipelines[J]. IEEE Access, 2019(8): 3240-3254.