

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2022.04.014

# 基于 R-Y 通道冗余去除钢筋层阴影方法

仓大健<sup>1,2</sup>, 吴选忠<sup>1,2</sup>, 李占福<sup>1,2,3</sup>

- (1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;  
2. 福建工程学院 福建省数控装备产业技术创新研究院, 福建 福州 350118;  
3. 中建海峡建设发展有限公司, 福建 福州 350000)

**摘要:** 将 RGB 颜色空间下的图像转到 YUV 颜色空间, 分离出 R、Y 两个通道, 利用图像在 R、Y 两个通道内的阴影区域灰度值接近且钢筋区域亮度差距明显的特性, 提出一种基于 R-Y 通道冗余去除的算法, 以消除阴影。对比几种常用的阴影消除方法, 该方法可以较好地实现在工厂环境下钢筋层空间阴影去除。

**关键词:** 钢筋阴影; 冗余去除; 机器视觉; 通道组合

中图分类号: TP751.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2022)04-0391-06

## Spatial ghosting elimination method of reinforcement layer based on R-Y channel redundancy removal

CANG Dajian<sup>1,2</sup>, WU Xuanzhong<sup>1,2</sup>, LI Zhanfu<sup>1,2,3</sup>

- (1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Engineering, Fuzhou 350118, China;  
2. Fujian Institute of Technology Innovation of CNC Equipment Industry, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;  
3. CSCEC Strait Construction and Development Co., Ltd., Fuzhou 350000, China)

**Abstract:** The image in the RGB color space was transferred to the YUV color space, the R and Y channels were separated. Taking advantage of the characteristics that the gray values of the shadow areas of the image in the R and Y channels are close, and the brightness shows an obvious difference in the reinforcement area, an algorithm based on R-Y channel redundancy removal is proposed to eliminate shadows. Compared with several commonly used shadow removal methods, this method can better achieve the spatial ghost removal of rebar layers in the factory environment.

**Keywords:** rebar shadow; redundancy removal; machine vision; channel combination

机器视觉在建筑工程中的应用较少, 是因为工厂环境的复杂性使识别变得困难, 其中一个重要因素就是阴影。阴影消除问题一直是国内外学者的重点研究内容之一。

Prewitt 等<sup>[1]</sup>提出的阈值法, 将低亮度部分当作阴影, 对灰度直方图出现明显双波峰情况效果较好; 张智豪等<sup>[2]</sup>提出的基于 S 分量指数加权 H 分量的圆形直方图阈值法, 毛刺平滑效果良好, 在

像素精度值上提高了 3.2%, 结构相似度值上提高 2.5%; 张华南等<sup>[3]</sup>提出在 YCbCr 颜色空间下根据光照模型对阴影区每个像素进行光照恢复, 然后转回 RGB 颜色空间去除阴影; Cucchiara 等<sup>[4]</sup>通过分析在 HSV 颜色空间中阴影造成的遮挡对色度、饱和度和亮度值的改变程度, 将像素归类为前景、阴影, 来确定阴影区域; Sun 等<sup>[5]</sup>通过组合颜色模型 HSI 中色度与亮度的比值来判定阴影像

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 福州市科技局项目(2020-GX-16)

第一作者简介: 仓大健(1996—), 男, 河南叶县人, 硕士研究生, 研究方向: 机器视觉。

素,并建立自适应光照条件的颜色模型  $c1c2c3$  来检测阴影。由于工厂环境对产生阴影位置的复杂性和多变性,以上方法在钢筋阴影去除上效果并不理想,没有较好的图像特征顺利进行阈值分割、去除阴影的同时造成部分像素缺失、提取钢筋不完整、算法适应性低等问题。

本文基于一定光照条件下钢筋层阴影区域的光谱和几何特性,提出 R-Y 组合通道冗余去除钢筋层空间重影的方法。该方法将原图转换到 YUV、HSI、 $L^*a^*b^*$  颜色空间,分离各颜色通道,得到通道冗余组合图像,并利用灰度直方图双峰法、熵值、均方误差和峰值信噪比数据分析冗余组合图像特性,根据阴影在不同颜色通道中所占百分比不同的特性,找出最优的去除钢筋阴影区域通道组合,将不同通道阴影像素冗余去除,对图像进行简单预处理,阴影检测、阴影去除,实现快速、准确的识别。

1 工厂环境下钢筋层空间重影主要特征

钢筋层空间重影具有横竖明显、线条连续的特征,以室内光照条件下实验平台的钢筋层阴影

为例,阴影在图 1 中为黑色,灰度值较低;阴影视觉色彩偏暗,色调值较高<sup>[6]</sup>;阴影的轮廓清晰与钢筋形成视觉交叉,易误判为交点;底面反光区域像素与钢筋区域部分像素灰度值相似,不易区分,如图 1 所示。

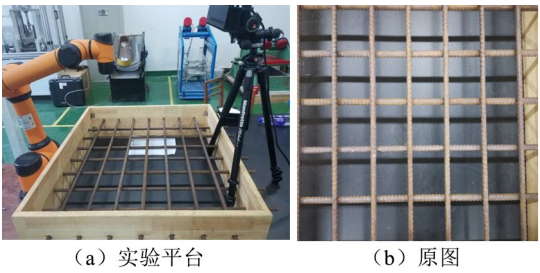


图 1 钢筋实验平台及钢筋原图  
Fig.1 Original drawing of reinforcement test platform and reinforcement

通过分析不同颜色空间中各典型通道图像可知, R、Y 两通道中阴影区域灰度值极为相似,底面反光区域对应灰度值最相似,钢筋区域亮度、灰度值相差较大,因此需要对 R、Y 两通道组合进行空间变换和冗余去除,以达到去除阴影的效果,如图 2 所示。

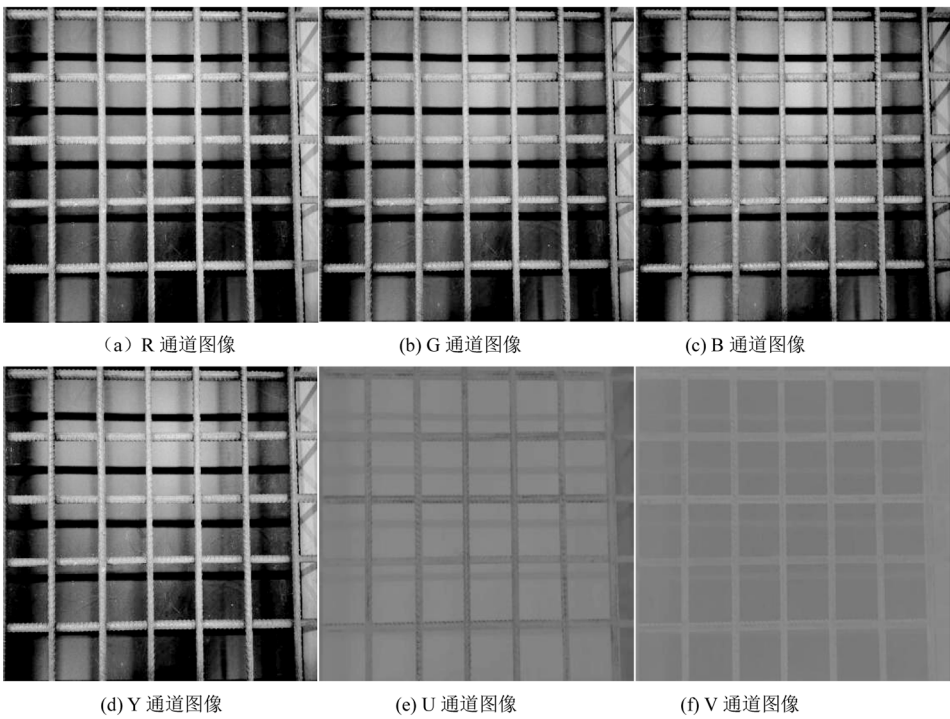


图 2 原图映射到各典型通道图像  
Fig.2 Mappings of the original image to each typical channel image

## 2 颜色空间转换与通道组合

### 2.1 颜色空间转换

将一幅彩色图像转换到不同颜色空间,可得到各颜色通道的分量,进而分析不同通道的特性。对比 66 个通道组合效果,按双峰、多峰标准分析 66 种组合不同灰度直方图分布情况,有 9 种符合要求,分别是 R-Y、U-a、R-G、U-V、B-I、R-I、G-B、B-Y、R-B,其它组合均为单峰或无特征峰。其中 R-Y 和 R-G 通道冗余图像灰度直方图具备主要特征,能得到较为满意的实验效果。

YUV 颜色空间分成 Y、U、V 通道分别表示亮度、色度、饱和度<sup>[7]</sup>,本文提出的 R-Y 冗余组合要用到亮度通道,需要先把 RGB 彩色原图转换到 YUV 颜色空间,见公式(1)<sup>[8]</sup>。

$$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ U = 0.5R - 0.418G + 128 \\ V = -0.1687R - 0.3313G + 0.5B + 128 \end{cases} \quad (1)$$

### 2.2 通道组合

找到对阴影特征影响最大组合,筛选出稳定的通道组合图像,得到除阴影结果最优通道组合,利用均方误差、峰值信噪比、熵值 3 种信息计算结果,分析 R-Y、U-a、R-G、U-V、B-I、R-I、G-B、B-Y、R-B 这 9 种灰度直方图成双峰分布的组合图像。

均方误差 ( $M_{SE}$ ) 用来反映图像中包含数据的变化程度,体现在本文图像上,数值越小通道组合越稳定,见公式(2):

$$M_{SE} = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (f_{ij} - f_{ij}^*)^2 \quad (2)$$

式中:  $N$ 、 $M$  为图像在  $x$ 、 $y$  方向的像素点个数;  $f_{ij}$  和  $f_{ij}^*$  为各颜色通道在  $(i,j)$  上的取值<sup>[9]</sup>。

峰值信噪比 ( $P_{SNR}$ ) 通过计算两幅图像对应像素点灰度值的变化程度,来评价图像质量<sup>[10]</sup>,峰值信噪比越大,图像质量越高,见公式(3):

$$P_{SNR} = 10 \times \lg \frac{L^2}{M_{SE}} \quad (3)$$

式中:  $L$  为图像灰度级的数量。

图像的熵 ( $H$ ) 反映图像包含信息量大小,在复杂环境下,干扰信息较多,已知图像中包含有效信息,所以熵值越小,干扰信息越少<sup>[11-12]</sup>,见公式(4):

$$H = - \sum_{n=0}^{L-1} P_n \log_2 P_n \quad (4)$$

式中:  $H$  为图像的熵值;  $P_n$  为灰度级出现的概率。

为了在 R-Y、U-a、R-G、U-V、B-I、R-I、G-B、B-Y、R-B 这 9 种组合通道中获取通道组合最稳定、通道中图像质量最高、有效信息最多的最优通道组合,计算出各通道的均方误差、峰值信噪比、熵值具体数据,如表 1 所示。

表 1 不同通道组合图像分析结果

Tab.1 Analysis results of images of different combined channels

通道组合	峰值信噪比	峰数	均方误差	熵值
R-Y	26.981 8	2	130.285	5.540 00
U-a	26.645 7	2	140.770	5.637 70
R-G	26.225 6	2	155.066	5.958 09
U-V	26.061 7	2	161.032	6.068 03
B-I	25.627 1	3	177.978	6.104 65
R-I	25.440 2	2 (左峰过高)	185.808	6.008 77
G-B	24.621 8	2 (左峰过高)	224.335	6.334 05
B-Y	24.041 5	3	256.407	6.344 81
R-B	19.834 7	2 (左峰过高)	675.470	7.036 29

### 2.3 结果分析

从表 1 看出,R-Y 峰值信噪比最大(26.981 8),图像质量最优;R-Y 均方误差最小(130.285),说明该通道组合最稳定;R-Y 熵值最小(5.540 00),表示图像在该组合通道中干扰信息最少,有效信息最多。因此本文最优组合通道为 R-Y 通道。

## 3 冗余去除与多角度检验

### 3.1 冗余去除

分析表 1 可知,R-Y 通道组合图像峰值信噪比最大、熵值最小、有用信息最多、干扰因素少,且 R-Y 通道组合均方误差最小,说明 R-Y 通道组合最稳定。根据阴影在 R、Y 两通道中所占百分比不同的特性及阈值分割结果,对实验平台获取的钢筋层(含空间重影)R-Y 图像(R 通道减 Y 通道图)预处理,由于 R、Y 两通道阴影区域、背景反光

区域灰度值极为接近,利用 Otsu 提出经典的基于灰度图像阈值分割算法<sup>[13]</sup>,将 R 通道像素减 Y 通道像素,阴影区域得到冗余覆盖,变为易于去除噪声;再利用 R 通道钢筋亮度明显比 Y 通道钢筋亮度亮特征,冗余覆盖后的图像拉大钢筋与阴影的灰度值差、钢筋与背景反光区域的灰度值差,核心运算过程如下:

#### (1) 对阴影区域冗余

两图矩阵做减法运算,即每个像素点灰度值相减,使用“-”运算符,取 **src1**、**src2** 两个矩阵为例,测试输出结果。

$$\mathbf{src1} = \begin{pmatrix} 23 & 123 & 90 \\ 100 & 250 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{src2} = \begin{pmatrix} 125 & 150 & 60 \\ 100 & 10 & 40 \end{pmatrix};$$

$\mathbf{Matsrc1} = (\mathbf{Mat}_{\text{float}}(2,3) \ll 23, 123, 90, 100, 250, 0);$

$\mathbf{Matsrc2} = (\mathbf{Mat}_{\text{float}}(2,3) \ll 125, 150, 60, 100, 10, 40);$

$\mathbf{Matdst} = \mathbf{src1} - \mathbf{src2}.$

输出:

$$\mathbf{dst} = \begin{pmatrix} -122 & -27 & 30 \\ 0 & 240 & -40 \end{pmatrix}$$

#### (2) 拉大对比度

**Mult** 取值范围:  $-255 \leq \mathbf{Mult} \leq 255$ , 推荐取 2;

矩阵 **dst** 乘以 2, 拉大对比度。输出:

$$\mathbf{dst} = \begin{pmatrix} -244 & -54 & 60 \\ 0 & 480 & -80 \end{pmatrix}$$

#### (3) 提高整体亮度

每个像素点加 128, 最终输出数值取值范围  $G: 0 \leq G \leq 255$ , 当计算值发生溢出或者下溢, 输出 0。输出:

$$\mathbf{dst} = \begin{pmatrix} 0 & 74 & 188 \\ 128 & 0 & 48 \end{pmatrix}$$

两通道图像冗余去除后, 灰度直方图上呈现出明显双峰加一波谷分布, 钢筋区域易于提取, 可以较为完整地保留下来。由 Otsu 自适应阈值分割效果图和灰度直方图可看出, R-Y 通道组合冗余去除方法能达到去除阴影的效果, 并且无反光和噪声等不利因素的影响, 灰度直方图呈双峰分布, 契合阈值分割的条件, 如图 3 所示。

由图 3 可见, 钢筋阴影已被冗余去除, 为检验

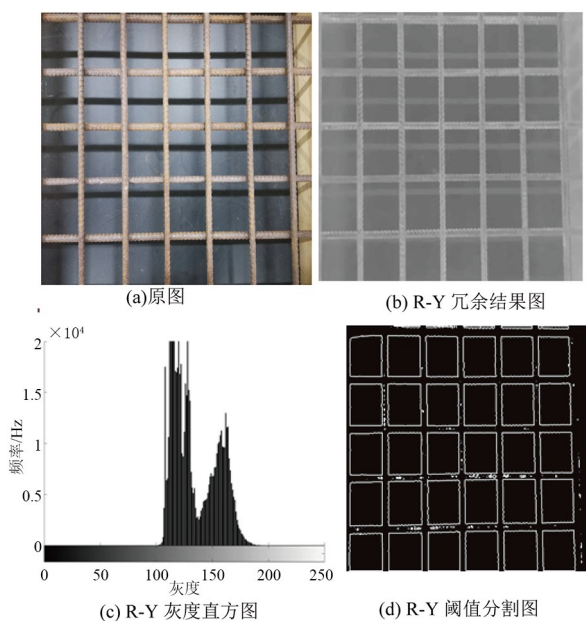


图 3 R-Y 通道组合冗余去除

Fig.3 R-Y combined channel redundancy removal

该方法的稳定性, 从不同角度拍摄钢筋层并进行阴影去除。

### 3.2 多角度检验

从不同角度拍摄钢筋层, 在 R-Y 组合通道进行冗余去除, 分析除阴影效果, 图 3 结果表明, 不仅在垂直桌面拍摄情况下本文方法除阴影效果良好, 在与桌面成  $60^\circ$ 、 $30^\circ$  的不同角度下拍摄的钢筋层图像, 也有一样的阴影去除效果, 如图 4 所示。

由图 4 可见, 多角度钢筋阴影去除可以有同样的效果。图 4 中 (a) (c) (e) 图像内钢筋阴影被完全去除, 并在图 4 中 (b) (d) (f) 图像内显示钢筋轮廓, 虽然远端钢筋轮廓清晰无噪声, 但远端边缘部分会有小噪声, 为了去除小噪声, 以图 3 (d) 为例进行形态学处理。

### 3.3 形态学处理噪声

由于冗余去除时, 底面反光区域像素与钢筋区域像素差距小等原因, 在钢筋区域内部会存在低亮度的空洞, 所以需要对分割出的钢筋区域进行数学形态学处理, 以得到较准确的钢筋区域。

#### (1) 开运算处理

使用开运算去除噪声, 过程是先用  $3 \times 3$  矩形结构元进行腐蚀, 圆形区域内满像素时留取中心点那一个像素, 然后进行膨胀操作, 以每个像素点为圆心, 1 为半径向外膨胀, 即为开运算最终结



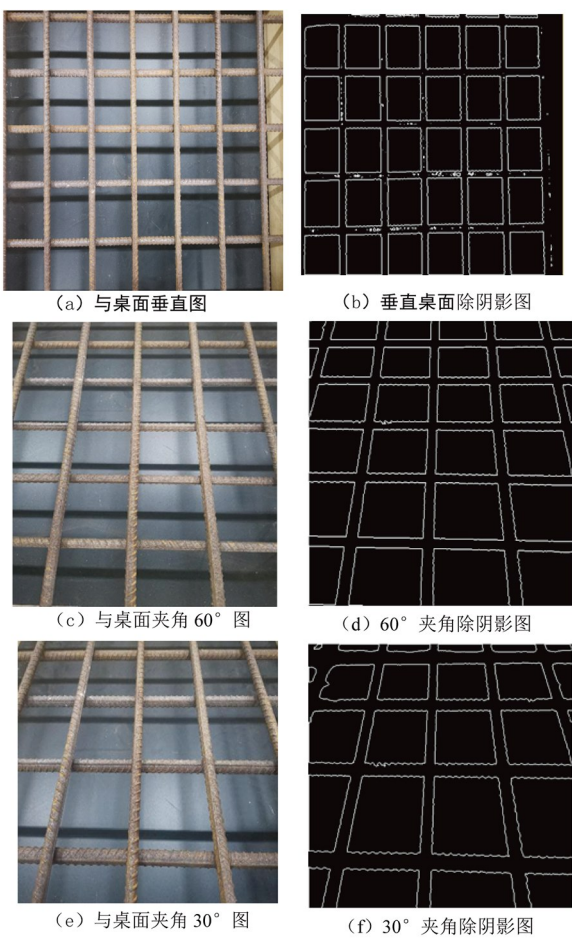


图 4 R-Y 组合通道中多角度阴影去除  
Fig.4 Multi-angle shadow removal in R-Y combined channel

果,视觉效果为消除小噪声、分离间隔区、使目标边缘平滑,且面积几乎不变。

开运算结果如图 5 所示,大量噪声被去除,开运算前、后局部图显示钢筋区域内小面积噪声与钢筋边缘断开,为钢筋区域完成提取创造有利条件,如图 5 所示。

(2) 噪声处理

由于在开运算处理中剩余噪声与钢筋边缘已经断开连接,可以利用剩余噪声面积小的特征,用形态学方法设置面积阈值去除噪声。把邻域重叠像素判定为一个连通域,将每个连通域分为一个个单独区域,计算每个区域像素数,并设面积阈值为 1 000 像素,像素数小于 1 000 的小面积噪声被去除,保留完整钢筋区域,如图 6(b)所示,倒数第一二行钢筋区域内小噪声被完全消除,如图 6 所示。

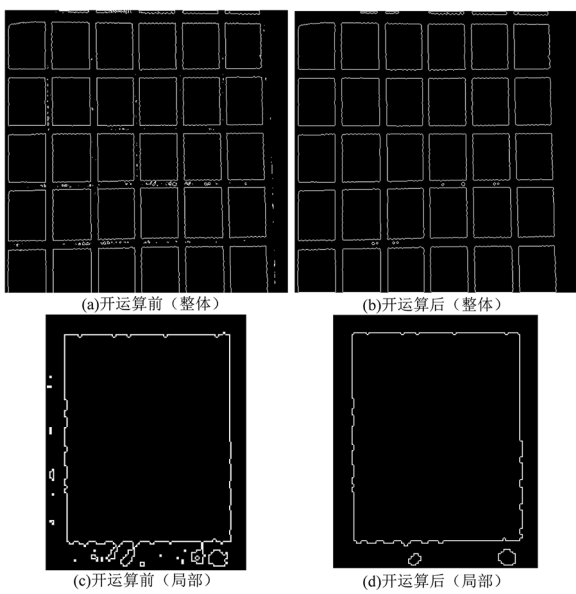


图 5 开运算效果图  
Fig.5 Effect drawings of open operation

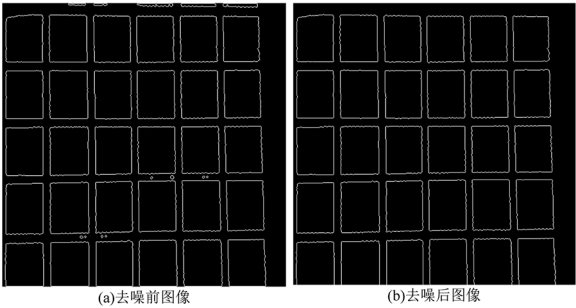


图 6 面积特征噪声处理效果图  
Fig.6 Effect drawings of area characteristic noise treatment

4 结论

1) R-Y 组合通道形成双峰特征的灰度直方图,易于图像阈值分割,且由图 3(d)可证明,本文方法消除阴影并未造成明显钢筋区域像素缺失。

2) 将灰度直方图呈双峰分布的 9 种组合图像,进行熵值、峰值信噪比、均方误差的对比分析, R-Y 峰值信噪比最大,为 26.981 8,图像质量最优;R-Y 均方误差最小为 130.285,说明该通道组合最稳定;R-Y 熵值最小,为 5.54,表示图像在该组合通道中干扰信息最少,有效信息最多,因此 R-Y 组合最优。

3) 多角度拍摄图像,可以在 R-Y 组合通道下实现冗余去除阴影,证明本文方法在工厂环境下对钢筋层空间重影消除效果好、适应性强。

## 参考文献:

- [1] KANG C, WU C M, FAN J L. Entropy-based circular histogram thresholding for color image segmentation[J]. Signal, Image and Video Processing, 2021, 15(1):129-138.
- [2] 张智豪,范九伦. 基于 S 分量指数加权 H 分量的圆形直方图阈值法[J/OL]. 计算机工程, 2021-12-20. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0062899>.
- [3] 张华南, 冯全, 杨梅, 等. 基于 YCbCr 颜色空间的叶片阴影检测与去除[J]. 计算机系统应用, 2015, 24(11):262-265.
- [4] CUCCHIARA R, GRANA C, PICCARDI M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information[C]//ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No.01TH8585). Oakland, CA, USA: IEEE, 2001:334-339.
- [5] SUN B Y, LI S T. Moving cast shadow detection of vehicle using combined color models[C]//2010 Chinese Conference on Pattern Recognition (CCPR). Chongqing, China: IEEE, 2010:1-5.
- [6] 杨俊, 赵忠明. 基于归一化 RGB 色彩模型的阴影处理方法[J]. 光电工程, 2007, 34(12):92-96.
- [7] 孙承琦. 基于视觉的机器人环境感知系统研究[D]. 天津:中国民用航空学院, 2005.
- [8] 岳有军, 赵文佳, 赵辉, 等. 基于多颜色通道组合的 UVI 空间农作物阴影去除方法[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6):196-200.
- [9] 李连胜, 陈晚华. 基于 MATLAB 的数字图像质量评价[J]. 湖南科技学院学报, 2005, 26(5):176-177.
- [10] 张雯柏, 赵华北, 胡爱云, 等. 峰值信噪比标准下轨道图像预处理方法研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2019, 31(3):7-12, 18.
- [11] 李镇锋, 陈晓荣, 陈梦华, 等. 基于图像熵和傅里叶变换的复杂背景分割[J]. 软件工程, 2021, 24(11):19-23.
- [12] 杨佳攀. 基于粒子群算法的最大熵多阈值图像分割方法研究[D]. 新乡:河南师范大学, 2020.
- [13] 颜世利. 灰度图像阈值分割的自适应滤波和快速算法研究[D]. 桂林:桂林理工大学, 2018.

(责任编辑:陈雯)

(上接第 372 页)

- [2] 方玉河, 陶汉涛, 张磊, 等. 基于风险理论的输电系统连锁故障脆弱性分析[J]. 电气自动化, 2022, 44(2):38-40.
- [3] 孟凡成, 郭琦, 康宏伟, 等. 计及集中式和分布式新能源的电力系统连锁故障模拟[J]. 高电压技术, 2022, 48(1):189-201.
- [4] 郭琦, 郝乾鹏, 刘军, 等. 基于社交网络影响力的连锁故障关键线路辨识[J]. 电工电能新技术, 2022, 41(4):34-41.
- [5] 丁茂生, 钱胜, 王超, 等. 基于改进状态空间分割法的继电保护设备拒动风险评估[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(11):160-166.
- [6] 周双喜, 朱凌志, 郭锡玖, 等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:北京电力出版社, 2004.
- [7] 刘天琪, 邱晓燕, 李华强. 现代电力系统分析理论与方法[M]. 北京:中国电力出版社, 2007:106-107.
- [8] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]//Proceedings of ICNN&apos;95-International Conference on Neural Networks. Perth, WA, Australia: IEEE, 1994-1948.
- [9] 赵志刚, 黄树运, 王伟倩. 基于随机惯性权重的简化粒子群优化算法[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(2):361-363, 391.
- [10] 诸骏伟. 电力系统分析:上册[M]. 北京:水利电力出版社, 1995.
- [11] 王彬, 滕欢. 基于灵敏度分析的粒子群无功优化算法[J]. 四川电力技术, 2007, 30(1):15-18.

(责任编辑:方素华)