

# 水面船只的成像处理与标定

姚红兵<sup>\*\*</sup>, 黄印<sup>\*</sup>, 卞锦文, 李航宇, 王成

江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212000

**摘要** 针对水面最基本的晴天、夜晚和浓雾天气情况, 设计了对应天气模式下船只图像的滤波处理以及对可疑船只进行定位的方案。对三种不同模式进行对应的高斯滤波、拉普拉斯图像增强和图像去雾处理, 为船只定位提供了更好的图像质量。提取船只的轮廓特征并对轮廓点采用RDP(Ribosomal Database Project)算法进行特征点数的精简。根据提取的特征绘制船只位置并进行标定, 提取中心点位置, 完成定位。研究表明, 夜晚模式下, 图像灰度整体较低, 本文方案对提高图像对比度有一定效果。Retinex算法对图像去雾提供了可行的处理方案。通过特征提取进行船只定位也有很好的实践效果。

**关键词** 图像处理; 船只定位; 复杂天气; 图像增强; 特征提取; 滤波; Retinex算子

中图分类号 TP391.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.081009

## Imaging and Calibration of Ships on Water Surface

Yao Hongbing<sup>\*\*</sup>, Huang Yin<sup>\*</sup>, Bian Jinwen, Li Hangyu, Wang Cheng

College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212000, China

**Abstract** In view of the most basic sunny days, night and dense fog weather conditions, corresponding filtering of ship images and a scheme for positioning suspicious ships are designed. Gaussian filtering, Laplace image enhancement, and image dehazing are applied to the three different models, which provide better image quality for further ship positioning. The contour feature of the ship is extracted and the number of feature points is reduced by the RDP (Ribosomal Database Project) algorithm. The location of the ship is drawn and calibrated according to the feature extracted. The position of the central point can be extracted. The results show that the gray level of the image is low in the night mode, and the scheme proposed helps to improve the image contrast. The Retinex algorithm provides a feasible scheme for image dehazing. Feature extraction for ship positioning also has a good practical effect.

**Key words** image processing; ship positioning; complex weather; image enhancement; feature extraction; filtering; Retinex operator

**OCIS codes** 100.2000; 100.2960; 100.3008

## 1 引言

复杂天气下船只的成像处理与定位是计算机视觉中的重要课题之一, 在安防监控、人机交互、模式识别和坐标定位中具有广泛的应用前景。水面的情况复杂, 夜晚、浓雾等复杂天气都会对图像处理提出挑战。因此, 考虑复杂天气下船只的识别和定位对统计湖面上来往船只信息、打击违法捕鱼以及湖区安防管理都具有重要的意义。目前, 在夜晚低照度下图像的增强算法主要有直方图均衡化、灰度变换

法、多图融合法等。直方图法简单有效, 但是对噪声敏感, 容易丢失图像细节。王世刚等<sup>[1]</sup>提出了一种基于小波变化的直方图均衡化图像增强改进算法。针对直方图均衡化会丢失部分细节的不足, 将小波变换的多尺度、多分辨率特点与直方图均衡化方法相结合, 有效地改善了传统直方图法灰度级过度合并以致细节易丢失的问题。但是改进后的图像对噪声不敏感, 造成图像中部分噪声也得到增强。灰度变换的方式运算速度快, 但只是单纯提高图像的整体对比度, 处理局部对比度较低的图像时, 效果差强

收稿日期: 2018-01-29; 修回日期: 2018-03-09; 录用日期: 2018-03-21

基金项目: 江苏省普通高校专业学位论文实践创新计划(SJLX16\_0430)、江苏省产学研联合创新基金(BY2014123-06)

\* E-mail: 1253427698@qq.com; \*\* E-mail: yaoye@ujs.edu.cn

人意。多图融合<sup>[2-3]</sup>的方式在特定场景下对图像的增强效果较好,但是单幅图像无法处理,并且算法的实时性较差,因此不适用于视频监控。近年来,图像去雾算法也取得了很大的进步。Tan<sup>[4]</sup>利用同一场景的无雾图像的对比度高于被雾化图像的对比度这一先验条件,构造边缘强度代价函数使图像局部对比度最大,从而恢复图像,由于没有严格按照物理模型恢复,处理后的图像色彩过于饱和;He等<sup>[5]</sup>提出暗通道先验规律,利用该规律去雾,可取得较好的去雾效果,但明亮区域的透射率估计不准确,极易导致去雾后的图像失真。本文对复杂天气的类型进行分类,提出了在夜晚、浓雾等多种模式下对船只图像进行增强处理的算法,采用对船只进行定位的设计方案。对不同天气进行分类处理,有效提高了低照度及浓雾时的图像对比度,且对船只图像的定位进行了RDP(Ribosomal Database Project)算法优化,减少了运算量,克服了图像增强时的细节丢失、图像失真、计算量大等问题。

## 2 多种天气模式下船只图像处理的方案设计

水面情况复杂,因此将水面天气情况分为常规、夜晚以及浓雾模式,对不同环境下的船只图像进行分析。

### 2.1 常规模式

在晴天模式下对图像进行高斯滤波<sup>[6]</sup>,达到降低噪声的效果。高斯滤波的数学函数表达式为

$$G_0(x, y) = A \exp \left[ \frac{-(x - u_x)^2}{2 \sigma^2} + \frac{-(y - u_y)^2}{2 \sigma^2} \right], \quad (1)$$

式中: $A = 1/\sigma \sqrt{2\pi}$ ,  $\sigma$  为标准差; $u_x$  和  $u_y$  为对应正态分布的数学期望值。

高斯滤波可在降低噪声的同时最大限度地保留图像的特征。与均值滤波相比,高斯滤波对各个像素点的权重进行分配,而均值滤波则是对所有像素点按相同的权重系数进行处理。所以高斯滤波对图像的细节保护较好。

### 2.2 夜晚模式

夜晚模式由于光照较弱,所以图像比较暗,整体成像效果很差,如图1所示。因此需要对图像进行锐化处理,提高图像的对比度。首先,对图像进行中值滤波操作,去除图像的非线性噪声。由于夜晚模式下整体图像的亮度偏暗,先对图像进行亮度调整。

像素点进行如下数学变换:

$$g(i, j) = \alpha f(i, j) + \beta, \quad (2)$$

式中: $f(i, j)$  为点  $(i, j)$  的像素值,  $\alpha > 0$ ,  $\beta$  为增益变量,  $g(i, j)$  为该点函数增强后的像素值。采用微分法对图像的空间域进行锐化操作。对图像中变化比较平坦的边缘区域,因为相邻像素的灰度变化不大,因此可用二阶导数的特性求得边缘的位置。本方案采用拉普拉斯算子增强<sup>[7-8]</sup>。拉普拉斯算子是非常实用的边缘增强算子,它是各项同性的二阶导数。



图1 夜晚模式的原始图像

Fig. 1 Original image in the night mode

一个连续的二元函数  $f(x, y)$ , 它在  $(x, y)$  处的拉普拉斯算子定义为

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\nabla^2 f}{\nabla x^2} + \frac{\nabla^2 f}{\nabla y^2}. \quad (3)$$

对于离散的数字图像来说,  $f(x, y)$  的二阶偏导数可以表示为

$$\begin{aligned} \frac{\nabla^2 f}{\nabla x^2} &= [f(x+1, y) - f(x, y)] - \\ & [f(x, y) - f(x-1, y)] = \\ & f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y), \quad (4) \\ \frac{\nabla^2 f}{\nabla y^2} &= f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y). \quad (5) \end{aligned}$$

因此,

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) &= \frac{\nabla^2 f}{\nabla x^2} + \frac{\nabla^2 f}{\nabla y^2} = \\ & f(x+1, y) + f(x, y+1) + f(x-1, y) + \\ & f(x, y-1) - 4f(x, y), \quad (6) \end{aligned}$$

式中: $\frac{\nabla^2 f}{\nabla x^2}$  是对  $x$  的二阶偏导数,  $\frac{\nabla^2 f}{\nabla y^2}$  是对  $y$  的二阶偏导数,  $f(x, y)$  是对应的像素。所以拉普拉斯的模板为

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

将原始图像与拉普拉斯算子作用后的图像相加,对图像中的细节进行增强。因此,拉普拉斯锐化增强可以用如下卷积核表示:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

增强后的船只图像如图 2 所示。



图 2 夜晚模式下的算法增强图像

Fig. 2 Algorithm enhanced image in the night mode

### 2.3 浓雾模式

浓雾天气下,水面的能见度低,船只图像较为模糊,如图 3 所示。采用基于 Retinex 的算法<sup>[9-10]</sup>实现去雾操作。该理论认为物体的颜色取决于物体表面对长波、中波、短波三个波段光线的反射特性。人眼在观察时,首先确定场景中光照最强的区域,将其定义为参考光源。将其他物体与参考光源进行对照,计算得到色差<sup>[11-17]</sup>。根据此原理还原出场景中其他物体的真实像素值,这一过程不受入射光频率改变的影响。Retinex 增强算法的模型为

$$f(x, y) = L(x, y)R(x, y), \quad (7)$$

式中: $L(x, y)$ 为入射光, $R(x, y)$ 为反射光。

将(7)式转化为对数形式,可以将复杂的乘积形式转变为简单的加减形式,即

$$\log R(x, y) = \log f(x, y) - \log L(x, y). \quad (8)$$

由此可知,估算出入射光  $L(x, y)$ , 就能够求解得到反射光  $R(x, y)$ , 也就得到了增强后的图像。入射光  $L(x, y)$  可由一个环绕函数  $g(x, y)$  与图像  $f(x, y)$  的卷积估计得到:

$$L(x, y) = f(x, y) * g(x, y). \quad (9)$$

环绕函数  $g(x, y)$  一般取高斯函数,即

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi \nabla_x \nabla_y} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\nabla_x^2} + \frac{y^2}{\nabla_y^2} \right) \right], \quad (10)$$

式中: $\nabla_x$ 决定了滤波器的带宽,一般取 $\nabla_x = \nabla_y$ 。可得 Retinex 增强模型,即

$$R_i(x, y) = \exp \{ \log f_i(x, y) - \log [f_i(x, y) * g(x, y)] \}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (11)$$

式中: $i$ 代表第 $i$ 个颜色通道, $N$ 为图像中颜色通道的个数, $f_i(x, y)$ 表示输入图像的第 $i$ 个颜色通道数据, $R_i(x, y)$ 表示第 $i$ 个颜色通道的 Retinex 输

出。用 Retinex 增强的基本操作是将待增强图像看作由入射分量  $L(x, y)$  和反射分量  $R(x, y)$  组成,根据(10)式求解得到环绕函数  $g(x, y)$ ,由(9)式计算得到  $L(x, y)$ ,然后根据(7)式计算出  $R(x, y)$ 。

Retinex 算法的物理意义为对数空间中原图像减去高斯函数后与原图像的卷积的值。实际上原图像减去高斯平滑部分,高斯函数中的  $\sigma$  越小,图像中减掉的慢变化成分越多,剩下的是图像中的快变化部分,从而突出了原图像的细节部分; $\sigma$  越大,图像中减去的慢变成分较少,从而突出色调。Jobson 等提出了多尺度 Retinex 算法<sup>[11]</sup>,综合了  $\sigma$  较小时突出图像细节和  $\sigma$  较大时呈现原始图像色彩的优点。总体而言,采用 Retinex 算法增强后,突出了暗区域的信息<sup>[18-21]</sup>。

对于正态分布,每个样本落在平均值附近 1 倍、2 倍、3 倍标准差范围内的可能性分别为 68.3%、95.5% 和 99.7%。Retinex 算法处理后的直方图可近似看作正态分布图像,如图 3 所示。Jobson 指出图像亮度与对比度的乘积越大则图像质量越好。对于原始图像中暗的细节采用标准差截断法,即采用多尺度 Retinex 图像增强后,截取平均值附近  $k$  倍标准差的范围,进行拉伸获得质量更高的图像。 $k=1$  时,图像的亮度与对比度乘积最高<sup>[12]</sup>,图像质量较高,如图 4 和图 5 所示。经过改进后的算法可以删除图像中曝光过度或者曝光不足的部分。

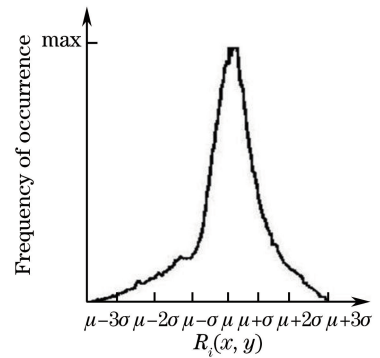


图 3 多尺度 Retinex 增强后得到的直方图

Fig. 3 Histogram obtained by multiscale Retinex enhancement

### 3 船只在图像中的位置标定

采集水面图像作为背景图像,采集船只进入视野中的图像。将其与背景图像相减实现船只与背景的分隔,用 Canny 算子提取船只轮廓。由于提取的轮廓点一般数量较多,运算比较复杂,因此采用 RDP 算法进行轮廓点的精简。RDP 算法的原理为:



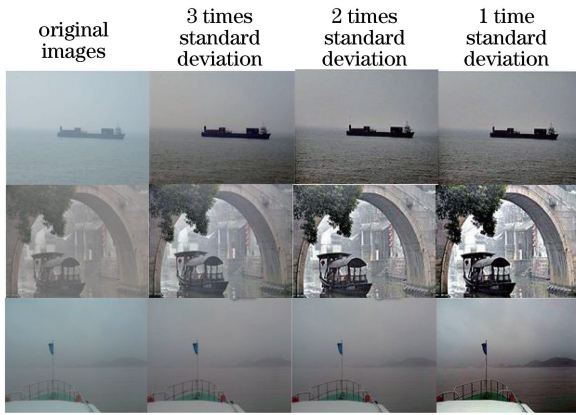


图 4 多尺度 Retinex 截取范围不同的图像增强对比

Fig. 4 Image enhancement contrast of different multiscale Retinex interception ranges

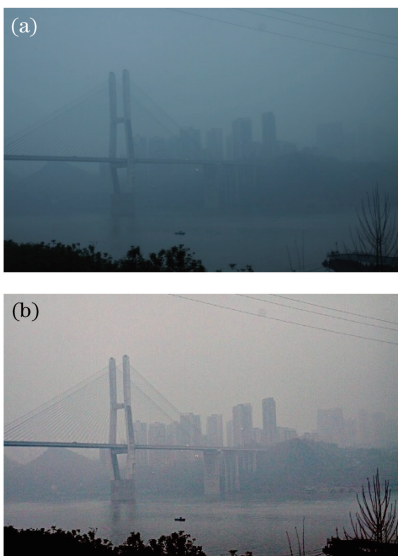


图 5 (a)去雾前和(b)去雾后的对比

Fig. 5 Contrast of images (a) before dehazing and (b) after dehazing

一段轨迹头尾拉一条线,如果其间所有点距离这条线的距离都小于阈值,则去掉中间所有的点;如果不能满足以上条件,则取距离最大的点,将原始轨迹拆分为两条轨迹,重复以上迭代,直至完成,如图 6 和图 7 所示。

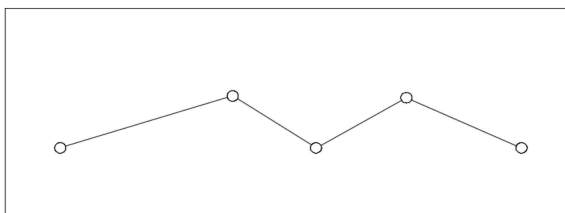


图 6 未优化的轮廓示意图

Fig. 6 Original outline diagram

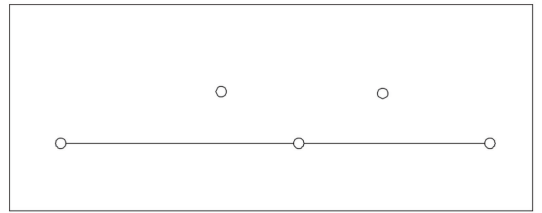


图 7 经过 RDP 算法优化的轮廓示意图

Fig. 7 Outline diagram processed by RDP algorithm

对比 RDP 算法提取的点,找出特征点中左上角的点  $f(x_{\text{Min}}, y_{\text{Max}})$  和右下角的点  $f(x_{\text{Max}}, y_{\text{Min}})$ ,对这两个点的横坐标和纵坐标取平均值作为船只图像的中心点坐标。根据轮廓点绘制出包含这些轮廓的最小外接矩形,绘制并标记船只的位置范围,如图 8 所示。



图 8 船只原始图像

Fig. 8 Original ship image

## 4 分析与讨论

夜晚模式中,图像的照度低,由图 1 可以看出,整幅图像偏暗,船只在图中不够明显。从图 2 可以看出,对像素点进行  $g(i, j) = \alpha f(i, j) + \beta$  变化提高了图像的亮度,整体图像比原图更亮。对比图 1 与图 2 可以发现,采用拉普拉斯算子处理后的图像在保留图像细节的同时加强了图像的边缘,提高了视觉感知。由图 4 与图 5 可以看出,改进后的 Retinex 算法去雾后图像明显变得清晰。对比图 6 与图 7 发现经过 RDP 算法优化的特征点数去除了特征点之间距离较近的点,提高了定位的运算速度。根据提取的特征点对图 8 中的船只实行位置标定,结果如图 9 所示,确实能准确得出船只在图像中的位置。

## 5 结论

采用不同的天气模式对采集到的船只图像进行滤波处理,提高图像的可视感,有助于船只在夜航、浓雾情况下的图像处理。提高船只图像在夜晚模式下的图像整体亮度和对比度。浓雾情况下,通过去雾处理对船只图像进行增强,并对轮廓点进行优化



图9 船只图像标定图

Fig. 9 Calibrated ship image

精简后定位,减少了运算量,提高了运算速度。本文方法为湖面复杂天气条件下船只的图像处理提供了实际可行的方案,为护渔护航、水面救援等提供了保障。但是对图像的去雾处理是对入射分量进行估算,没有考虑光照不均的问题,存在一定的误差,不能达到完全去雾的效果。

### 参 考 文 献

- [1] Wang S G, You M J, Song L. Improved algorithm of histogram equalization for image enhancement [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2017, 41(3): 175-176.  
王世刚, 游敏娟, 宋莉. 直方图均衡化图像增强的改进算法[J]. 中国医疗器械杂志, 2017, 41(3): 175-176.
- [2] Li W Z, Yi B S, Qiu K, *et al.* Detail preserving multi-exposure image fusion[J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(9): 2283-2292.  
李卫中, 易本顺, 邱康, 等. 细节保留的多曝光图像融合[J]. 光学精密工程, 2016, 24(9): 2283-2292.
- [3] Chang L H, Feng X C, Zhang R. Image fusion scheme based on quaternion wavelet transform and sparse representation [J]. Systems Engineering and Electronics, 2017, 39(7): 1633-1639.  
常莉红, 冯象初, 张瑞. 四元数小波变换联合稀疏表示的图像融合[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(7): 1633-1639.
- [4] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image [C] // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 2008: 1-8.
- [5] He K, Sun J, Tang X O. Single image haze removal using dark channel prior [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [6] Shao D G, Deng Y Y, Xiang Y, *et al.* Speckle reduction based on adaptive Gauss filtering [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2017, 32(4): 746-753.  
邵党国, 邓阳阳, 相艳, 等. 基于自适应高斯滤波的超声斑点降噪[J]. 数据采集与处理, 2017, 32(4): 746-753.
- [7] Sun H J, Wang Y J, Liu W N. Enhancement of infrared images based on adaptive platform threshold and Laplace transformation [J]. Chinese Optics and Applied Optics, 2011, 4(5): 474-479.  
孙海江, 王延杰, 刘伟宁. 基于自适应平台阈值和拉普拉斯变换的红外图像增强[J]. 中国光学, 2011, 4(5): 474-479.
- [8] Jia H P, Zhang Y Q, Long G P, *et al.* Research on Laplace image enhancement algorithm optimization based on OpenCL [J]. Computer Science, 2012, 39(5): 271-277.  
贾海鹏, 张云泉, 龙国平, 等. 基于 OpenGL 的拉普拉斯图像增强算法优化的研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(5): 271-277.
- [9] Wang L Z, Yao X T, Meng Z, *et al.* An optical coherence tomography attenuation compensation algorithm based on adaptive multi-scale retinex [J]. Chinese Journal of Lasers, 2013, 40(12): 1204001.  
王龙志, 姚晓天, 孟卓, 等. 基于自适应多尺度 Retinex 的光学相干层析图像衰减补偿算法[J]. 中国激光, 2013, 40(12): 1204001.
- [10] Yang A P, Bai H H. Night time image defogging based on the theory of retinex and dark channel prior [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(4): 041002.  
杨爱萍, 白煌煌. 基于 Retinex 理论和暗通道先验的夜间图像去雾算法[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(4): 041002.
- [11] Li Y, Zhang Y F, Li N, *et al.* Adaptive detail enhancement for infrared image based on subband-decomposed multi-scale retinex [J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(5): 0512001.  
李毅, 张云峰, 李宁, 等. 基于子带分解多尺度 Retinex 的红外图像自适应细节增强[J]. 中国激光, 2015, 42(5): 0512001.
- [12] Jiang X F. Research and application of remoting cloud in sensing image [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007: 20-28.  
江兴方. 遥感图像去云方法的研究及其应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2007: 20-28.
- [13] Li J, Wu J, Chen Z X, *et al.* Self-learning image super-resolution method based on sparse representation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(1): 194-200.  
李娟, 吴谨, 陈振学, 等. 基于自学习的稀疏正则化图像超分辨率方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36

- (1): 194-200.
- [14] Ju M Y, Zhang D Y. Image enhancement based on prior knowledge and atmospheric scattering model [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2017, 45(5): 1218-1225.  
鞠铭焯, 张登银. 基于先验知识与大气散射模型的图像增强算法 [J]. *电子学报*, 2017, 45(5): 1218-1225.
- [15] Liu J P, Huang B K, Wei G. A fast effective single image dehazing algorithm [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2017, 45(8): 1896-1901.  
刘杰平, 黄炳坤, 韦岗. 一种快速的单幅图像去雾算法 [J]. *电子学报*, 2017, 45(8): 1896-1901.
- [16] Wu D, Zhu Q S. The latest research progress of image dehazing [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(2): 221-239.  
吴迪, 朱青松. 图像去雾的最新研究进展 [J]. *自动化学报*, 2015, 41(2): 221-239.
- [17] Li J T, Zhang Y J. Improvements of image haze removal algorithm and its subjective and objective performance evaluation [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(3): 735-741.  
李佳童, 章毓晋. 图像去雾算法的改进和主客观性能评价 [J]. *光学精密工程*, 2017, 25(3): 735-741.  
DOI:10.3788/OPE.20172503.0735. [万方]
- [18] Sun H H, Yao L, Zhang Q H, *et al.* Research on images identification method based on neural network [J]. *Optical Technique*, 2008, 34(S1): 173-174.  
孙红辉, 姚良, 张清华, 等. 基于神经网络的图像识别方法研究 [J]. *光学技术*, 2008, 34(S1): 173-174.
- [19] Liu X Y, Qiao T, Qiao Z. Image enhancement method of mine based on bilateral filtering and Retinex algorithm [J]. *Industry and Mine Automation*, 2017, 43(2): 49-54.  
刘晓阳, 乔通, 乔智. 基于双边滤波和 Retinex 算法的矿井图像增强方法 [J]. *工矿自动化*, 2017, 43(2): 49-54.
- [20] Fang S, Zhao Y K, Li X K, *et al.* Nighttime haze removal based on illumination estimation [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2016, 44(11): 2569-2575.  
方帅, 赵育坤, 李心科, 等. 基于光照估计的夜间图像去雾 [J]. *电子学报*, 2016, 44(11): 2569-2575.
- [21] Wang F P, Wang W X, Yang N, *et al.* An urban traffic image enhancement method based on modified retinex [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2017, 17(5): 53-59.  
王峰萍, 王卫星, 杨楠, 等. 基于改进 Retinex 的城市交通图像增强 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2017, 17(5): 53-59.