

文章编号 1004-924X(2017)增-0244-06

## 雾霾天气下交通图像的边缘检测算子

黄 鹤<sup>1,2</sup>, 宋 京<sup>1\*</sup>, 盛广峰<sup>1</sup>, 许 哲<sup>3</sup>, 张懿璞<sup>1</sup>

(1. 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064;

2. 陕西省道路交通智能检测与装备工程技术研究中心, 陕西 西安 710064;

3. 中电科第二十研究所, 陕西 西安 710068)

**摘要:**针对现有图像边缘检测方法难以实现对雾霾天气下交通图像完整提取边缘的问题,提出了一种新的雾霾天气下交通图像边缘检测方法。首先利用新提出的 8 方向边缘检测算子来提取交通图像的粗边缘,接着结合雾霾图像的特点,通过增加部分方向像素点的权重,克服了雾霾颗粒折射所引起的离焦模糊,通过调整权值,设计新的图像边缘细化算子对得到的图像边缘进行细化处理,减少假边缘的出现,最后将细化后的图像边缘输出显示。实验结果表明:与已有的边缘检测方法相比,本文提出的方法能够检测到雾霾天气下交通图像的大多数边缘细节,同时得到比较细的图像边缘,区分度更好,对图像边缘定位比较准确,且得到的图像边缘强度较传统方法提升了 50% 以上,有效提高了雾霾天气下边缘检测的效果。

**关键词:**雾霾;交通图像;边缘检测算子

**中图分类号:**TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172513.0244

## Detection operator for traffic image in hazy weather

HUANG He<sup>1,2</sup>, SONG Jing<sup>1\*</sup>, SHENG Guang-feng<sup>1</sup>, XU Zhe<sup>3</sup>, ZHANG Yi-pu<sup>1</sup>

(1. Chang'an University Electronic and Control Engineering School, Xi'an 710064, China;

2. Shaanxi Road Traffic Intelligent Detection and Equipment Engineering  
Technology Research Center, Xi'an 710064, China;

3. The 20th Research Institute of CETC, Xi'an 710068, China)

\* Corresponding author, E-mail: 1158940754@qq.com

**Abstract:** A new edge detection method of traffic image in hazy weather was proposed pertinent to the problem that complete edge extraction cannot be achieved for traffic image in hazy weather in current edge detection method of image. Coarse edge of traffic image was extracted with newly proposed eight-direction edge detection operators pertinent to edge detection for traffic image in hazy weather, then weight of pixel points in partial directions were increased to overcome defocus blur due to refraction of haze particles in combination with features of hazy images; weight value was adjusted to design new refining operators of image edge so as to conduct refinement treatment on image edge and reduce

**收稿日期:**2017-06-28; **修订日期:**2017-07-10.

**基金项目:**国家自然科学基金青年科学基金资助项目(No. 51505037, No. 61402052, No. 61203233), 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(No. 2016JQ6075); 长安大学中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. 310832162007, No. 310832173702)

quantity of fake edges; finally refined image edge was output for display. Experimental result indicates that most edge details of traffic image in hazy weather can be detected in the method proposed and more fine image edge can be achieved simultaneously compared with existing edge detection methods; it has better distinction degree and more accurate image edge positioning; image edge strength increases by over 50% compared with traditional method, thus effect of edge detection in hazy weather is effectively increased.

**Key words:** haze; traffic image; edge detection operator

## 1 引 言

近年来环境问题的突出,特别是雾霾等恶劣天气问题越来越受到人们广泛关注。频发的雾霾天气不仅影响了人们的健康,同时也给交通安全带来了隐患,由于雾霾天气的影响,获得的交通图像一般图像质量不高,带有离焦模糊且含有较多噪声,而边缘和噪声在图像中都属于灰度变化比较剧烈的部分,因此已有的边缘检测算法往往受噪声影响会出现假边缘和边缘不连续情况的出现,这就对雾霾天气下的交通图像的边缘检测提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。

目前国内外研究的图像边缘检测方法普遍都是针对经典的边缘检测算子的特性进行各种优化,使其更加适用于某些特殊场景,如改进 Robert 边缘检测算子、Sobel 边缘检测算子、Prewitt 边缘检测算子、Laplace 边缘检测算子等<sup>[2-6]</sup>。Robert 算子及其改进算子在本质上是都是通过计算图像中局部区域对角线方向上临近像素的亮度之差作为梯度值,将梯度较大的方向来作为边缘方向<sup>[7]</sup>。这种算子虽然计算复杂度较低,但应用时容易受噪声影响,且提取的图像边缘能力比较弱。由于雾霾天气下的交通图像噪声比较多且图像边缘不明显,所以提取到的边缘信息往往不完整且出现较多的假边缘。改进 Sobel 边缘检测算子<sup>[8-9]</sup>以处理的像素点为中心,对自身和周围像素点进行加权平均的算子,由于这一特性,其抗干扰能力较好,但同时也就造成边缘定位不准确的问题。改进 Laplace 边缘检测算子仍属于二阶的边缘检测算子,这类边缘检测算子对图像中梯度发生变化比较敏感,对边缘位置定位较准确,得到的图像边缘比较细,但是对孤立像素点的响应要强于边缘,因而易受到噪声干扰,使用前往往要对图像进行滤波预处理<sup>[10]</sup>。这些边缘检测算子在

图像纹理简单,干扰噪声比较小的理想情况下能够实现大多数图像的边缘提取,但实际上由于检测方向有限、受噪声影响较大等严重缺陷,提取到的图像边缘往往都不够完整或者强度不够高,很难应用到含雾交通图像边缘检测应用中。

基于此,本文提出一种新的、能够较好满足雾霾天气条件下交通图像边缘提取的方法,利用新构建的 8 方向边缘检测算子改善了传统边缘检测算子只对部分方向上边比较敏感的缺点,使其够检测图像中多个方向的边缘,以此来对图像粗边缘进行提取。此外,新算子增加了部分方向上像素点的权重,从而提高了新边缘检测算子对雾霾环境下交通图像边缘提取的性能。从得到的图像的粗边缘出发,采用滤波和拉普拉斯算子相结合方式提出新的边缘细化算子对图像的粗边缘进行细化处理,使其获得的图像边缘定位比较准确,具有良好的检测精度,显著提高了雾霾天气下边缘检测的效果。

## 2 雾霾天气下交通图像降质模型

雾霾天气下,空气中悬浮的微粒会对光线造成散射和折射,导致得到的图像模糊不清或者成像时的离焦模糊,图像质量下降。在分析雾霾天气下图像时,必须考虑到空气中介质对成像的影响,即入射光的衰减和大气光成像过程,并建立模型,从而对雾霾天气下图像的退化原理进行分析。通过分析雾霾对光线成像过程的影响,建立的模型如图 1 所示<sup>[11]</sup>,公式表达如式(1)所示。

$$L(x, y) = L_0(x, y)e^{-kd(x, y)} + L_s(1 - e^{-kd(x, y)}), \quad (1)$$

其中, $L(x, y)$ 是可见光镜头采集得到的图像即雾霾天气下的降质图像, $L_0(x, y)e^{-kd(x, y)}$ 描述了入射光衰减过程, $L_s(1 - e^{-kd(x, y)})$ 描述了大气光

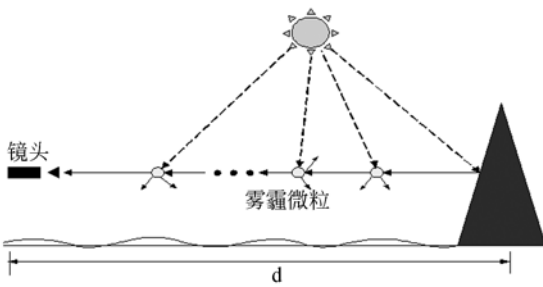


图 1 雾霾颗粒对成像影响示意图

Fig. 1 Effect of haze particles on imaging

成像过程<sup>[11]</sup>。由于大气中微粒的散射作用导致一部分入射光线无法到达镜头。在入射光衰减过程中,  $L_0(x, y)$  表示该点的场景反射光强度, 即固有的未衰减时的光的强度。入射光的衰减率与场景点到接受装置的距离有关, 式中  $d(x, y)$  代表场景深度,  $k$  为大气散射系数, 其与波长  $\lambda$  及大气中微粒大小  $\gamma$  关系如公式(2)所示:

$$k(\lambda) \propto \frac{1}{\lambda^\gamma}. \quad (2)$$

在大气光成像模型中  $L_s$  代表环境光亮度,  $e^{-kd(x, y)}$  为透射分步率。通过对入射光衰减模型和大气光成像模型的分析可以看出导致雾霾天气图像降质的原因如下: 由于雾霾颗粒(1~10  $\mu\text{m}$ ) 远远大于纯空气中微粒( $10^{-4}$   $\mu\text{m}$ ) 的大小, 使得微粒的大小主要决定大气的散射系数, 此时可认为大气对不同颜色的可见光散射系数近似, 即所有可见光等量散射, 所以看到的雾霾为灰白色, 雾霾天气下得到的图像也就变得灰白不清。此外, 由于雾霾微粒比较多地影响光线的散射, 图像的固有亮度受到景深的影响而成指数衰减, 导致雾霾天气下得到的图像亮度降低, 同时考虑到雾霾微粒的散射和折射会造成成像的离焦模糊, 导致获取到的图像质量较低, 这对雾霾天气下交通图像的后续处理带来了难度。

### 3 雾霾天气下新的交通图像边缘检测方法

#### 3.1 图像的预处理

在雾霾天气下, 因空气中悬浮颗粒物对光线折射和反射使获得的图像含有较多噪声并且发生离焦模糊。如果忽略这些噪声, 直接对图像的边缘

进行提取, 获得的边缘图像往往定位不够准确, 出现大量间断的假边缘, 这些噪声对提取图像的边缘是十分不利的, 必须对图像进行滤波预处理, 减少边缘提取的干扰信息。本文采用公式(3)中的高斯函数对图像进行滤波预处理:

$$g(i, j) = ce^{-(i^2+j^2)/2\sigma^2}, \quad (3)$$

其中,  $c$  是规范化系数,  $g(i, j)$  表示获得的交通图像中要处理的像素点, 其中  $(i, j)$  分别代表获得的图像上要处理的点横纵的坐标,  $g(i, j)$  为函数的宽度参数。利用公式(1)生成一个  $3 \times 3$  的滤波模版同要处理的图像进行卷积就可以实现对原图像的滤波预处理。

#### 3.2 获取雾霾天气下交通图像的粗边缘

传统边缘提取算子在一般情况下能够满足对图像边缘提取的目的, 但是在处理雾霾天气下的降质图像时, 其自身缺陷的存在往往难以满足对图像边缘进行提取的要求。

以 Sobel 边缘检测算子  $3 \times 3$  的模版为例, 该算子以像素点  $f(x, y)$  周围  $3 \times 3$  的区域为模版, 分别计算  $x, y$  方向上的偏导数, 如公式(4)、(5)所示。

$x$  方向的偏导数为:

$$\Delta_x f = f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1) - f(x-1, y+1) - 2f(x, y+1) - f(x+1, y+1). \quad (4)$$

$y$  方向的偏导数为:

$$\Delta_y f = f(x+1, y+1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y-1) - f(x-1, y+1) - 2f(x, y+1) - f(x-1, y-1). \quad (5)$$

则卷积算子形式为:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

水平方向                  垂直方向

从上述公式及其卷积算子的形式可以看出这类边缘检测算子只对水平和垂直方向的边缘比较敏感, 边缘提取能力比较弱, 在处理雾霾天气下的交通图像时, 会出现边缘提取不完整或者出现假边缘等问题。针对传统的边缘提取算子的缺陷, 定义了一种新的雾霾天气下交通图像专用的 8 方向的边缘检测算子, 来获取图像的粗边缘。

定义新算子时, 首先建立一个极坐标系, 定义极轴方向为 0 方向, 逆时针旋转每隔  $45^\circ$  定义一个

方向,依次为 1、2、3、4、5、6、7 方向,每个方向的边缘算子如图 2 所示。

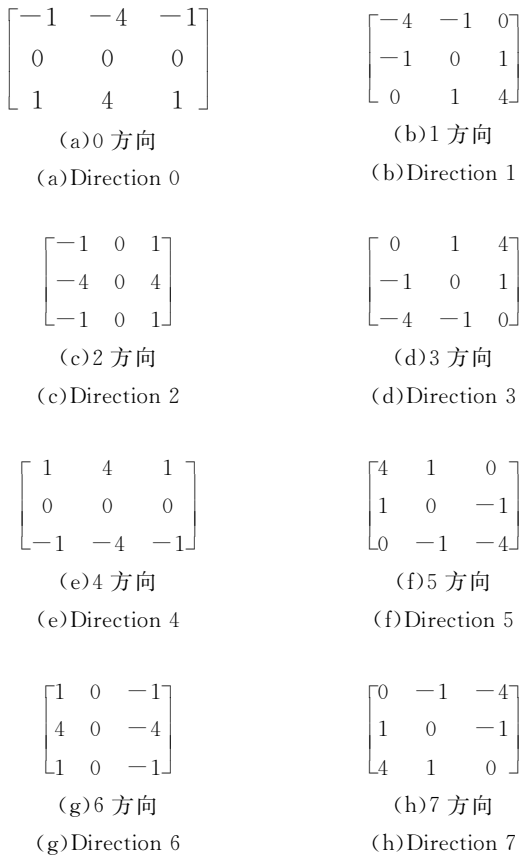


图 2 新的八方向的边缘粗检测算子

Fig.2 New eight directions edge detection operator

在图像边缘检测过程中,与传统的边缘检测算子类似,分别用这 8 个方向的  $3 \times 3$  卷积模版与以图像中要处理的像素点为中心的  $3 \times 3$  图像区域做卷积,就可以得到该像素点在 8 个方向的梯度值,取其中梯度值最大的方向作为该点的边缘方向。从而获得图像的粗边缘。新的算子考虑到了雾霾天气下光照不足,图像整体偏暗及图像离焦模糊的问题,加重了对部分方向上像素点权重的考虑,因此获得的图像边缘要优于传统的及现有的改进型的边缘检测算子。

### 3.3 新的图像边缘细化算子

利用 8 方向边缘检测算子提取到图像的边缘后,基本获得了原图像的大多数边缘,但获得的图像边缘比较粗,存在定位不准确的情况。因此,要对图像的边缘进行细化处理。

在边缘细化时,Sobel 算子和 Roberts 算子等都是梯度算子,即一阶微分算子。在边缘检测时,

如果图像上有较宽的等梯度的区域,则此时提取到的图像边缘比较粗,边缘定位不够准确。二阶的微分算子如 Laplace 从其定义的形式上能看出其能够检测到一阶微分算子的变化率,如公式(6)所示。

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial^2 y}. \quad (6)$$

因此采用二阶微分算子对一阶微分算子提取到的图像粗边缘进行细化是可行的。但在边缘细化时,对得到的图像粗边缘进行滤波降噪也是十分有必要的。这里采用了滤波模版和拉普拉斯边缘检测算子相结合的形式,提出了一种新的  $5 \times 5$  的边缘细化算子,构成如图 3 所示。

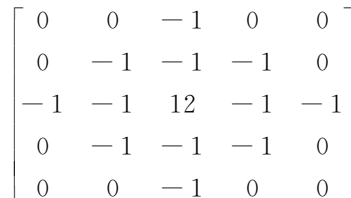


图 3 新的  $5 \times 5$  的边缘细化算子

Fig.3 New edge thinning operator

与传统的  $3 \times 3$  的 Laplace 边缘检测算子相比,新算子由于改善了算子的权重,引入了滤波,因此对含噪图像的边缘提取效果更好,通过粗边缘进行细化处理,减少了一阶梯度算子由于自身缺陷而带来的在部分等梯度区域检测出边缘较粗的问题,在细化边缘的同时尽可能地减少了噪点和假边缘的出现,对图像的边缘定位更加准确。

### 3.4 对图像的边缘进行二值化

在对图像边缘进行二值化处理时,本文采用了迭代方法来确定分割的阈值点。预先设置一个阈值  $T$ ,在这里  $T$  定义的值为:

$$T = \lfloor T_{\max} - (T_{\max} - T_{\min})/3 \rfloor, \quad (7)$$

其中,  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  分别为图像中灰度最大值和最小值,对图像中灰度值大于  $T$  的像素点求出灰度平均值  $T_1$ ,对图像中灰度值小于  $T$  的像素点求出灰度平均值  $T_2$ ,再定义参数  $T_{\text{new}}$ ,  $T_{\text{new}} = \lfloor T_1 - (T_1 - T_2)/3 \rfloor$ ,将  $T_{\text{new}}$  和  $T$  进行比较,若  $|T - T_{\text{new}}| < 1$ ,则当前  $T_{\text{new}}$  即为最佳阈值,否则取  $T = T_{\text{new}}$ ,对图像中灰度值大于  $T$  的像素点求出灰度平均值  $T_1$ ,图像中灰度值小于  $T$  的像素点求出灰度平均值  $T_2$ ,计算  $T_{\text{new}}$  值并与当前  $T$  进行比较,循环上述操作,直到获取最佳阈值为止。

## 4 实验结果与分析

本文算法在计算机平台上进行实验测试,其处理器为 Intel i7-2640M CPU@2.80 GHz,内存为 8 GB,软件开发平台为 Matlab2014a,实验数据采用实拍交通图像。为了验证新算法的边缘检测效果,与文献中的算法进行对比,实验结果如图 4 所示。

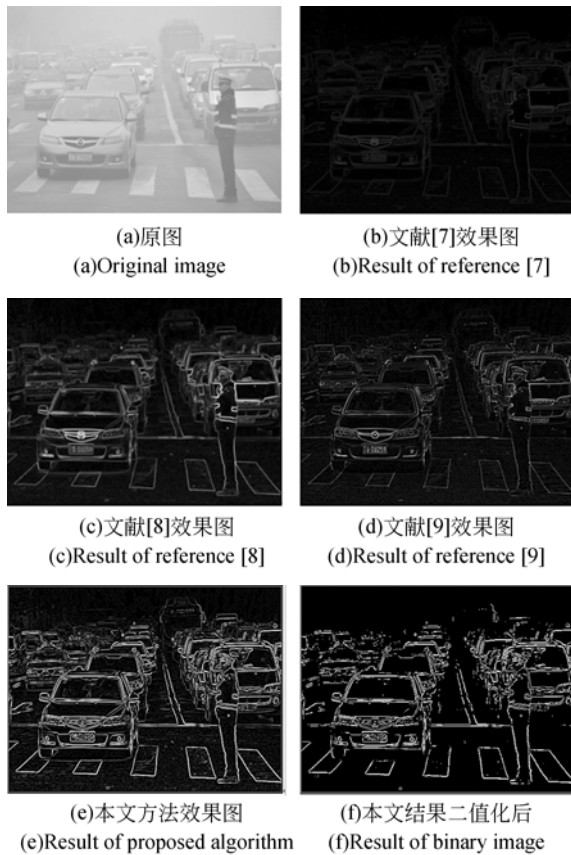


图 4 边缘提取效果比较

Fig. 4 Comparison of edge extraction effects

图 4(a)为原始的雾霾天气下交通图像;(b)为文献[7]中改进 Robert 算子<sup>[7]</sup>获得的图像边缘;图(c)为文献[8]中改进 Sobel 算子<sup>[8]</sup>提取的图像边缘;图(d)是文献[10]中改进扩展 Laplace 算子<sup>[10]</sup>的图像边缘;图(e)是本文提出的新方法提取到的图像边缘;图(f)为对新算子提取到的图像边缘二值化后得到的图像。对图 4 的各种边缘检测算法所提取的图像边缘效果进行对比,可以看出:改进 Robert 算子<sup>[7]</sup>获得的图像边缘不够清晰,比较暗;改进 Sobel 算子<sup>[8]</sup>提取的图像边缘虽然比较亮,但是图像边缘比较粗,边缘定位不够

准确,而且部分边缘细节也没有提取到;改进扩展 Laplace 算子<sup>[10]</sup>提取的图像边缘虽然定位比较准确而且边缘图像比较细,但是提取到的边缘图像比较暗;本文算子所提取的图像边缘在获得比较明亮的图像边缘的同时,图像的边缘比较细,边缘定位也比较准确,假边缘比较少。不仅如此,该算法能够将图像中的高频部分噪声和边缘信息区分开,并提取到大多数有效的边缘信息。

表 1 边缘提取指标评价

Tab. 1 Evaluation of edge extraction indexes

算子	SSIM	边缘强度	评价因子
Robert	0.004 2	110.747 2	0.086 9
Sobel	0.045 6	82.670 0	0.391 7
Laplacian	0.040 8	53.848 1	0.297 5
本文	0.046 1	161.067 2	0.658 2

从表 1 中可以看出,本文算子的评价因子和边缘强度指标明显高于其他算子,这表明本文算子所提取的图像边缘包含像素点更多,边缘的连续性更好。本文算子的结构相似度指标也优于前面的几种算子,这表明本文算子在一定程度上克服了雾霾天气下图像边缘不突出、对比度小的特点,所提取的图像边缘效果优于同类边缘检测算子。

## 5 结 论

本文针对已有的边缘检测算子难以满足雾霾天气下交通图像边缘检测的问题,提出了一种新的边缘检测方法,利用新的 8 方向边缘检测算子对图像粗边缘进行提取,使其能够检测多个方向的图像边缘,改善了传统边缘检测算子只对水平和垂直方向敏感,其他方向不敏感的不足。同时,针对雾霾天气环境下图像对比度不高、边缘不突出的问题,增加了部分方向上像素点的权重,从而提高了新的边缘检测算子对雾霾环境下交通图像边缘提取的性能。在提取到图像中大多数的边缘信息后,从得到的图像的粗边缘出发,采用滤波和拉普拉斯算子相结合方式提出新的边缘细化算子对图像的粗边缘进行细化处理,使其获得的图像边缘定位比较准确,对雾霾天气下交通图像的边缘具有良好的检测精度。实验证明,本文方法显著提高了雾霾天气下边缘检测的效果,具有较高的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 胡平. 雾霾天气下高速公路监控视频的一种增强算法[J]. 公路交通科技, 2014, 31(1): 139-144.  
HU P. An enhancement algorithm for expressway surveillance video in fog and haze weather [J]. *Journal of Highway and Transportation Research sand Development*, 2014, 31(1):139-144. (in Chinese)
- [2] HUANG Q K, ZHOU Y C. Edge detection algorithm of core image based on the improved Canny operator[C]. *IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*. IEEE, 2010:411-413.
- [3] 张学贺, 赵杰, 李戈, 等. 基于支撑点的立体匹配[J]. 光学精密工程, 2015, 23(10): 545-552.  
ZHANG X H, ZHAO J, LI G, *et al.*. Stereo matching based on support points[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(10): 545-552. (in Chinese)
- [4] 薛帅, 戴青, 冯东华, 等. 基于 Gabor 滤波器的 Sobel 算子图像边缘检测算法[J]. 电子科技, 2014, 1:14-17.  
XUE SH, DAI Q, FENG D H, *et al.*. Sobel edge detection algorithm based on odd Gabor filter[J]. *Information Technology*, 2014, 1:14-17. (in Chinese)
- [5] 许宏科, 秦严严, 潘勇. 一种改进的边缘细化方法[J]. 激光与红外. 2014, 44(3):319-324.  
XU H K, QING Y Y, PAN Y. Improved edge thinning Method [J]. *Laser&Infrared*, 2014. 44 (3):319-324. (in Chinese)
- [6] 严国萍, 何俊峰. 高斯拉普拉斯边缘检测算子的拓展研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版). 2006, 34(10):21-23.  
YAN G P, HE J F. Extended Laplacian of Gaussian operator for edge detection [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 2006. 34(10):21-23. (in Chinese)
- [7] 张元恒, 刘晓红, 刘雪香, 等. 陶瓷基片检测中 Robert 边缘细化算法[J]. 山东理工大学学报. 2009, 23(6):93-96.  
ZHANG Y H, LIU X H, LIU X X, *et al.*. Edge thinning based on robert operator in detection of ceramic substrates[J]. *Journal of Shandong University of Technology*, 2009, 23(6):93-96. (in Chinese)
- [8] 何春华, 张雪飞, 胡迎春. 基于改进 Sobel 算子的边缘检测算法的研究[J]. 光学技术. 2012, 38(3):323-327.  
HE CH H, ZHANG X F, HU Y CH. A study on the improved algorithm for Sobel on image edge detection [J]. *Optical Technique*, 20012, 38(3):323-327. (in Chinese)
- [9] 余金栋, 张宪民. 用于线纹显微图像的边缘检测算法[J]. 光学精密工程, 2015, 23(1):271-281.  
YU J D, ZHANG X M. Edge detection algorithm for lines on microscopic image [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(1):271-281. (in Chinese)
- [10] KAKULIA D, GHOGHOBERIDZE V, GHVEDASHVILI G. Extension of the method of auxiliary sources for the eigenvalue problem of the Laplace operator in case of space periodic boundaries [C]. *International Seminar workshop on Direct & Inverse Problems of Electromagnetic & Acoustic Wave Theory*, IEEE, 2014:105-107.
- [11] 黄鹤, 宋京, 王会峰, 等. 雾霾天气下基于二次滤波的交通图像去雾算法[J]. 科学技术与工程, 2016, 30(16):274-277.  
HUANG H, SONG J, WANG H F, *et al.*. The traffic image defogging algorithm based on twice filter in haze weather [J]. *Science Technology and Engineering*, 2016, 30(16):274- 277. (in Chinese)

## 作者简介:



黄 鹤(1979—),男,河南南阳人,博士,副教授,分别于 2006 年、2010 年在西北工业大学获得硕士、博士学位,主要研究方向为图像融合及无人机测控。E-mail:8793141@qq.com



宋 京(1995—),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,2016 年于长安大学获得学士学位,主要从事图像处理、深度学习的算法研究。E-mail: 1158940754@qq.com