

# 联合均值滤波与泊松核双边滤波降噪算法研究

杨赞伟<sup>1,2</sup>, 郑亮亮<sup>1\*</sup>, 曲宏松<sup>1</sup>, 吴勇<sup>1</sup>

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2.中国科学院大学,北京 100049)

**摘要:**针对均值滤波算法降噪精度低、降噪后图像信息丢失严重以及双边滤波在参数选择时不具有自适应性、噪声点检测不精确,容易将噪声放大等问题,同时为了能够抑制图像噪声并保持其边缘信息和细节信息,提出了一种结合均值滤波与基于泊松核改进的双边滤波图像降噪算法。首先利用均值滤波对噪声图像进行预处理,然后再由利用泊松核改进的双边滤波对预处理图像进行最终降噪,得出两种算法结合既可以有效地抑制噪声,同时又可以保护图像中的边缘细节。实验结果表明,与传统均值滤波以及均值滤波联合传统双边滤波算法相比,改进算法在降噪的同时,又能够保留细节信息,并能够提升图像预处理的显示效果,具有较高的实用价值。

**关键词:**泊松核;双边滤波;均值滤波;图像降噪

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**B

## Image Denoising Research of Combining Mean Filtering with Poisson Kernel Improved Bilateral Filtering

YANG Zan-wei<sup>1,2</sup>, ZHENG Liang-liang<sup>1\*</sup>, QU Hong-song<sup>1</sup>, WU Yong<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun Jilin 130033, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**ABSTRACT:** Aiming at the low denoising accuracy and the serious loss of image information of the mean filtering, a method of combining mean filtering with Poisson kernel improved bilateral filtering is put forward to reduce noise and retain the detailed information of images. The bilateral filtering is not adaptive in parameter selection and its detection of noise points is inaccurate. Firstly, the noise of the image was pre-processed by mean filtering, and then the pre-processed image was finally denoised by the bilateral filtering improved with Poisson kernel. The combination of the two algorithms can achieve the improvement of denoising and protecting the edge details. The experiment results show that the proposed algorithm can effectively protect the detailed information and reduce the noise while improving the image quality, compared with the traditional mean filtering and the mean filtering combined with the traditional bilateral filtering. Therefore, the algorithm of this paper has high practical value.

**KEYWORDS:** Poisson kernel; Bilateral filtering; Mean filtering; Image denoising

### 1 引言

图像数据在采集、转换和传输过程中,不可避免的受到采集环境、成像系统以及其它不确定因素的干扰,使得图像被多种统计特性截然不同的噪声污染<sup>[1]</sup>。例如由于电子线路电荷转移、信号放大模数变换及外部影响等因素产生的加性噪声高斯噪声和由于大幅度电磁干扰、图像转换中或传输过程中产生的错误、继电器状态改变以及像元坏点等原因引起的脉冲噪声等。这些噪声的存在严重影响了图像的视觉质量。图像去噪是数字图像处理中一个重要的分支,它的主

要目的是改善图像质量,便于图像处理后续工作的进行<sup>[2]</sup>,去噪效果的好坏直接影响到图像分割、特征提取以及分类等处理的效率<sup>[3]</sup>,因而图像的噪声预处理显得非常重要。

双边滤波算法<sup>[4,11]</sup>是在传统高斯低通滤波算法的基础上改进的一种算法,相对于高斯低通滤波算法只是考虑了像素空间的邻近性,双边滤波不但考虑了空间邻域的邻近性,同时还结合了空间像素灰度的邻近性,不但能够去除噪声还能够保留图像的边缘信息<sup>[13]</sup>。但是双边滤波存在一个很大的问题,即空间域与像素灰度域的核函数<sup>[10,12]</sup>的方差  $\sigma_s$  和  $\sigma_r$  必须根据经验人为设置,如果设置的参数不合理则达不到有利的滤波效果,不具有自适应性。基于此,考虑利用不同核来替代其中的高斯核<sup>[5]</sup>,将利用泊松分布函数<sup>[6]</sup>

基金项目:国家重点研发项目(2016YFB0501202)

收稿日期:2019-01-11 修回日期:2019-02-21

来代替灰度域的核函数,泊松分布函数可以根据不同的灰度值形成不同的函数分布<sup>[7]</sup>,因此将泊松核引入到双边滤波替代灰度域核函数,使其根据不同的中心点像素灰度形成不同的权值函数。

为了能够达到更好的去噪效果,提出一种基于泊松核改进的双边滤波联合均值滤波图像去噪算法,该算法与已有算法的不同在于利用泊松分布函数替代双边滤波中的高斯核函数,使得改进算法能根据像素点的灰度值形成不同的权值函数。实验结果表明本文算法具有更好的去噪效果。

## 2 相关算法分析

### 2.1 均值滤波(mean filter, MF) 算法

均值滤波的主要思想是利用中心像素点以及以其为中心的周围(窗口)像素点的灰度值的均值来替代中心像素点的灰度值,以此来达到滤波的效果。窗口大小一般选取  $N \times N$ ,  $N$  一般选为奇数,将窗口的中心像素点的灰度值替换为该窗口所有像素点灰度的均值,通过滑动窗口对每个像素点灰度值进行更新以此来达到去噪的目的。

$f$  为含噪声的原始图像,  $(i, j)$  为像素点的坐标,经均值滤波后

$$f_m(i, j) = \frac{1}{N \times N} \sum_{(i, j) \in \Omega} f(i, j) \quad (1)$$

$f_m(i, j)$  为滤波后的像素点的灰度值,  $\Omega$  为滑动窗口,大小为  $N \times N$ 。

### 2.2 传统双边滤波(bilateral filter, BF)

传统双边滤波是以两个权值函数来进行滤波的,第一个权值函数为空间域高斯核,每个像素的权值用其与中心像素点的欧式距离来计算<sup>[9]</sup>,表示为下式

$$w_s(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - m_0)^2 + (j - n_0)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (2)$$

其中,  $(m_0, n_0)$  表示窗口中心像素点的坐标,  $(i, j)$  为滑动窗口中心像素点的邻域像素点坐标,  $\sigma_s$  为度量空间相似性的高斯标准差。

第二个权值函数为灰度域高斯核,表示为

$$w_r(i, j) = \exp\left(-\frac{(f(i, j) - f(m_0, n_0))^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

$\sigma_r$  为灰度相似性的高斯核标准差。两个高斯核相乘即为双边核

$$w(m_0, n_0) = w_s(m_0, n_0)w_r(m_0, n_0) \quad (4)$$

$$w(m_0, n_0) = \exp\left(-\frac{(i - m_0)^2 + (j - n_0)^2}{2\sigma_s^2}\right) \exp\left(-\frac{(f(i, j) - f(m_0, n_0))^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (5)$$

因此双边滤波的表达式为

$$f_b(m_0, n_0) = \frac{1}{\sum_{(i, j)} w(i, j)} \sum_{(i, j) \in \Omega} w(i, j)f(i, j) \quad (6)$$

其中,  $(m_0, n_0)$  表示窗口中心像素点的坐标,  $\Omega$  为滑动窗口,大小为  $N \times N$ ,  $f_b(i, j)$  为双边滤波后的像素灰度值。当窗口内的像素点距离中心像素点较远时,高斯核函数的指数部分迅速变大,导致  $w_s$  减小,窗口边缘部分的像素点权值较小;当窗口内的像素点的灰度值与中心点像素的灰度值相差较大时,灰度域的函数指数部分变大,致使  $w_r$  减小,与中心点灰度值相差较大的像素点的权重占比较小;总的权值函数  $w$  随  $w_s, w_r$  的变化而变化。因此双边滤波既能在去除噪声的同时还能保持图像边缘信息。

## 3 本文算法

由于均值滤波是一种线性滤波,滤波的形式为窗口邻域平均法,因此本身存在固有的缺陷,不能很好地保护图像细节信息,在图像去噪的同时也平滑了图像的细节部分,从而使图像变模糊。双边滤波由于有两个参数可以设置,但是当  $\sigma_s$  较大时,去噪效果不明显,会对噪声点加强;当  $\sigma_r$  较大时,去噪的同时会造成图像模糊;另外,参数的匹配选择需根据经验设置,在实际应用中不具有自适应性。

因此,针对上述算法的不足,本文提出了一种联合均值滤波与泊松核改进的双边滤波图像降噪算法。

### 3.1 泊松核改进的双边滤波算法(Poisson bilateral filter, PF)

传统的双边滤波是使用两个高斯核函数来进行图像去噪,既能在去除噪声的同时还能保持图像边缘信息,但是传统双边滤波存在一个很大的问题即:两个高斯核函数的参数  $\sigma_s, \sigma_r$  必须根据经验来选取,其工作量很大,且必须调整两个参数,不具有一定的适应性。基于此本文将对传统双边滤波进行改进。本文考虑泊松分布函数来改进双边滤波,泊松分布函数的数学表达式为

$$p(x = k) = \frac{\lambda^k}{k!} \exp(-\lambda) \quad (7)$$

将其对应到图像中,表示为

$$p_{(i, j)}(x = k) = \frac{\lambda^k}{k!} \exp(-\lambda) \quad (8)$$

其中,  $(i, j)$  为像素点的坐标,  $\lambda$  为窗口中心像素点的灰度值,  $k$  为像素点  $(i, j)$  的灰度值,  $p_{(i, j)}(x = k)$  为对应像素点  $(i, j)$  对应的泊松分布函数,有泊松分布函数的性质可知当灰度值  $k$  变化时,其对应的分布函数也在不断的变化,当灰度值达到一定值时可近似为高斯分布,但是其分布函数却一直随像素点的灰度值在变化,因此具有一定的自适应性。用此函数来替代传统双边滤波的灰度域高斯核。改进后的双边滤波为

$$w(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - m_0)^2 + (j - n_0)^2}{2\sigma_s^2}\right) \times \frac{f(m_0, n_0)^{f(i, j)}}{f(i, j)!} \exp(-f(m_0, n_0)) \quad (9)$$

$$f_{b-p}(m_0, n_0) = \frac{1}{\sum_{(i, j)} w(i, j)} \sum_{(i, j) \in \Omega} w(i, j)f(i, j) \quad (10)$$

通过滑动窗口可恢复出整幅图像的像素点。

该改进算法的核心思想主要是利用不同的分布函数来实现权值的分配,因此可以将其它核函数引进双边滤波的改进中;同时还可以将泊松分布函数应用于其它图像分类算法中。

### 3.2 算法步骤

本文方法实现步骤如下:

- 1) 针对待处理图像数据,利用均值滤波预处理;
- 2) 针对预处理后的图像数据,再应用泊松核改进的双边滤波,实现最终处理。

## 4 实验结果与分析

为验证本文算法,本实验在 Dell 3.60 GHz CPU, 32GB RAM 的计算机上使用 MATLAB R2018a 平台实现,对实验所采用的 lena 图片分别添加均值为 0,方差为 0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 的高斯噪声。判决依据为峰值信噪比 (PSNR) 以及主观效果。以及利用残差图像的 3D 直方图来进行去噪性能评价。实验参数设置如下:窗口大小统一设置为  $5 \times 5$  大小,由文献[8]将传统双边滤波参数设置为最佳值  $\sigma_s = 1, \sigma_r = 7$ ,为了对比将改进的双边滤波参数设置为  $\sigma_s = 1$ 。

本文用到的原始图像为 lena 和 barbara 两幅图像,如图 1。

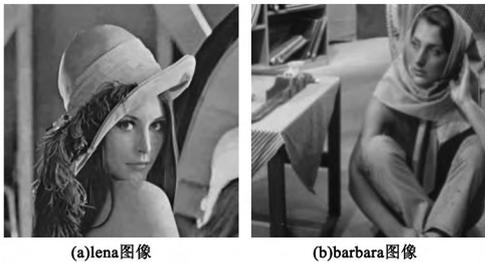


图 1 原始图像

### 4.1 实验一

1) lena 图像在噪声  $\sigma = 0.02$  去噪效果,如图 2。

其中,(a)为噪声图像,噪声方差为  $\sigma = 0.02$ , (b)为均值滤波后的图像, (c)为均值滤波联合传统双边滤波图像, (d)为本文算法。通过分析可知, (b)、(c)、(d)分别对应的峰值信噪比 PSNR 为 27.2dB、27.55dB 和 27.62dB,因此本文算法与原始图像更为接近,去噪效果要优于其它两种算法。

(e)为原始图像的局部图像, (b1)为均值滤波后的局部图像, (c1)为均值滤波联合传统双边滤波后的局部图像, (d1)为本文算法滤波后的局部图像,从主观视觉来看图 (b1)以及(c1)在白色条带内的黑色点要比(d1)明显一些, (d1)更接近原始图像(e)。

(b2)为均值滤波后的局部图像(b1)与对应原始图像的局部图像(e)的残差图像的三维效果图,同理,(c2)为均值滤波联合传统双边滤波后的局部图像(c1)所对应的三维残差效果图, (d2)为本文算法滤波后的局部图像(d2)所对应的

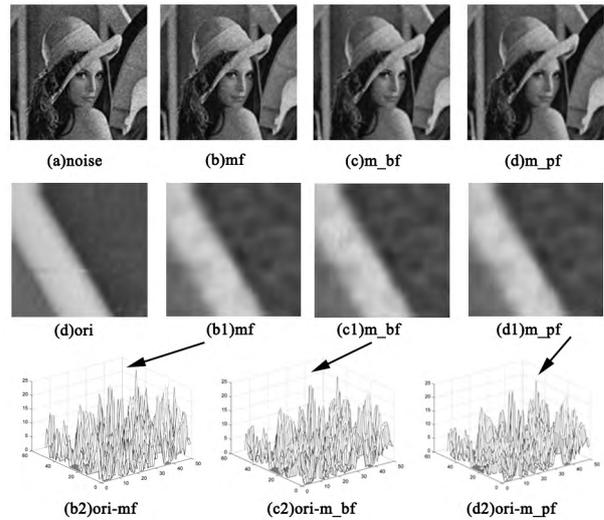


图 2 lena 图像在噪声  $\sigma = 0.02$  去噪效果

三维残差效果图。残差值越小,说明去噪后的图像越接近原始图像,去噪效果越好。(b2)、(c2)和(d2)的残差图像的均值分别为 3.6548、3.3640 和 3.2232,本文算法的残差均值要小于其它两种算法,去噪后的图像更接近原始图像。通过观察残差三维效果图可以看出,本文算法的残差峰值小于其它两种算法,如均值滤波残差图像最大峰值为 23.5,值滤波联合传统双边滤波残差图像最大峰值为 21.5,本文算法残差图像最大峰值为 20,本文算法表现较好。

2) lena 图像在噪声  $\sigma = 0.04$  去噪效果,如图 3。

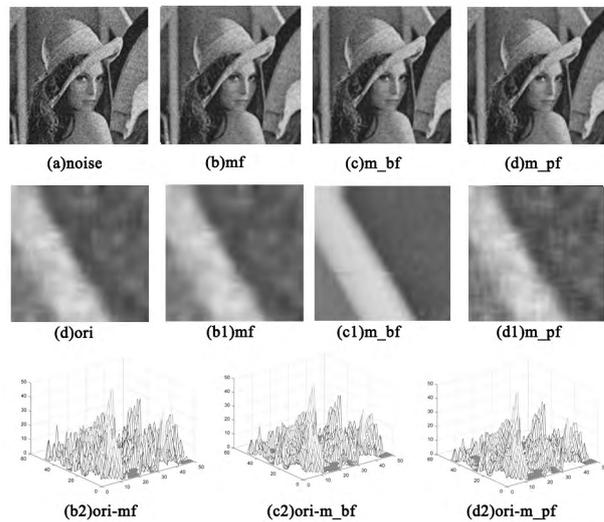


图 3 lena 图像在噪声  $\sigma = 0.04$  去噪效果

(a)为噪声图像,噪声方差为  $\sigma = 0.04$ , (b)为均值滤波后的图像, (c)为均值滤波联合传统双边滤波图像, (d)为本文算法。通过分析可知, (b)、(c)、(d)分别对应的峰值信噪比 PSNR 为 25.68dB、26.05 dB 和 26.21 dB,因此本文算法的去噪效果要优于其它两种算法。

(e)为原始图像的局部图像,(b1)为均值滤波后的局部图像,(c1)为均值滤波联合传统双边滤波后的局部图像,(d1)为本文算法滤波后的局部图像,从主观视觉来看图(b1)在白色条带内的黑点要比(d1)明显一些,有明显的斑点;(c1)在白色条带内有少许的黑斑点,(d1)更接近原始图像(e),白色条带内受黑斑点污染较少。

同理,(b2)、(c2)和(d2)的残差图像的均值分别为 5.7524、5.4612 和 5.2400,本文算法的残差均值要小于其它两种算法,去噪后的图像更接近原始图像。通过观察残差三维图像可以看出,三种算法的最大峰值基本相同,但是其它峰值处本文算法的峰值要小于其它两种算法。如观察三个残差图的左下角的峰值,如均值滤波残差图像峰值为 8,值滤波联合传统双边滤波残差图像最大峰值为 4,本文算法残差图像最大峰值为 1.5,本文算法表现更好。

类似的,针对  $\sigma=0.06,0.08$  和  $0.1$  的噪声情况也分别进行了分析,峰值信噪比与残差均值情况分别汇总于表 1 与表 2。

表 1 lena 不同噪声方差下的峰值信噪比

	噪声方差	均值滤波	m_bf	m_pf
		PSNR	PSNR	PSNR
lena	0.02	27.20	27.55	27.62
	0.04	25.68	26.05	26.21
	0.06	24.50	24.85	25.04
	0.08	23.69	24.00	24.20
	0.10	22.93	23.22	23.42

表 2 lena 不同噪声方差下的残差均值

	噪声方差	均值滤波	m_bf	m_pf
		残差均值	残差均值	残差均值
lena	0.02	3.6548	3.3640	3.2232
	0.04	5.7524	5.4612	5.2400
	0.06	6.4664	6.2012	5.9440
	0.08	7.2320	6.9932	6.7584
	0.10	9.6372	9.3639	9.0872

通过表 1 与表 2 中的数据可知,本文方法在峰值信噪比与残差均值方面均优于其它算法,与原始图像更接近,有效抑制了噪声并保持了边缘信息。

#### 4.2 实验二

barbara 图像在噪声  $\sigma=0.02$  去噪效果,如图 4。

噪声  $\sigma=0.02$  对 barbara 图像进行算法对比,结果如图四所示,三种算法的峰值信噪比分别是 22.70dB、22.90dB 和 22.98dB,本文算法的峰值信噪比是最高的,优于其它两种算法。

同理,对于不同噪声污染下的 barbara 图像去噪性能也进行了分析对比,如表 3 与表 4 所示。本文算法的峰值信噪

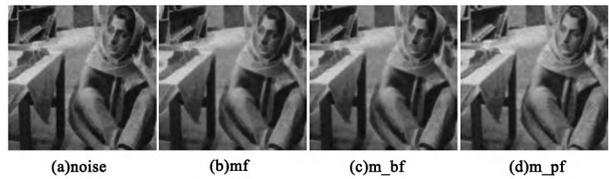


图 4 barbara 图像在噪声  $\sigma=0.02$  去噪效果

比(PSNR)平均值大于均值滤波峰值信噪比(PSNR)平均值 0.31dB,大于均值滤波联合传统双边滤波峰值信噪比(PSNR)平均值 0.114dB。

表 3 barbara 不同噪声方差下的峰值信噪比

	噪声方差	均值滤波	m_bf	m_pf
		PSNR	PSNR	PSNR
barbara	0.02	22.70	22.90	22.98
	0.04	22.07	22.28	22.39
	0.06	21.49	21.69	21.81
	0.08	20.95	21.14	21.27
	0.10	20.54	20.72	20.85

表 4 barbara 不同噪声方差下的残差均值

	噪声方差	均值滤波	m_bf	m_pf
		残差均值	残差均值	残差均值
barbara	0.02	3.9815	3.8931	3.8435
	0.04	5.2576	5.1742	5.0761
	0.06	5.1665	5.0415	4.9235
	0.08	7.4437	7.3041	7.1257
	0.10	5.8516	5.6786	5.5363

本文算法的残差均值均小于其它算法,比均值滤波后图像的残差均值平均低 0.240,比均值滤波联合传统双边滤波后图像的残差均值平均低 0.117。

综上所述,本文方法结合了均值滤波与改进双边滤波的优点,在去除噪声的同时,能够对结构信息和边缘信息进行保留,本文算法的 PSNR 明显高于均值滤波和联合均值滤波与传统双边滤波,并且在图像细节的保留方面,本文方法也优于其它滤波算法,而且残差图像均值更小,去噪后的图像更接近原始图像。

#### 5 结束语

提出的结合均值滤波与基于泊松核函数改进的双边滤波图像降噪算法,首先利用均值滤波对图像进行预处理,平滑部分噪声,然后利用改进的双边滤波对含噪图像进行最终的降噪处理,滤波后的图像不但实现了噪声抑制,同时在细节保持方面也得到了提升。①改进算法峰值信噪比分别提高了 1.7%和 0.65%;②改进算法残差 (下转第 468 页)

确率较低的问题,提出一种基于序变换的数据多维子序列相似性搜索方法,首先根据主要特征点快速获取相似候选子序列集,并进一步实施标记,利用数据多维序列的性质,去除其它因素干扰,方便特征提取,通过曲率的特性降低噪声,最后运用相似性阈值的合理设定,实现对子序列相似性搜索。仿真结果表明:该方法具有准确性和优质的鲁棒性。

#### 参考文献:

- [1] 张豪,陈黎飞,郭躬德. 基于符号熵的序列相似性度量方法[J]. 计算机工程, 2016,42(5): 201-206.
- [2] 朱进,胡斌,邵华. 基于多重运动特征的轨迹相似性度量模型[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2017,42(12):1703-1710.
- [3] 李明超,任秋兵,孔锐,等. 多维复杂关联因素下的大坝变形动态建模与预测分析[J]. 水利学报, 2019,50(6):687-698.
- [4] 乔美英,刘宇翔,陶慧. 一种基于信息熵和 DTW 的多维时间序列相似性度量算法[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2019, 58(2): 7-14.
- [5] 黎新华,李俊辉,黎景壮. 基于改进 DTW\_AGNES 的网约车需求时间序列聚类研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019,38(8):13-19.
- [6] 王玲,孟建瑶,徐培培,等. 基于多维时间序列形态特征的相似性动态聚类算法[J]. 北京科技大学学报, 2017,39(7):1114-1122.

- [7] 骆正茂. 结合卷积神经网络不同层的特征进行包类商品检索[J]. 计算机应用与软件, 2018,35(1):195-199.
- [8] 张丁文,陈占龙,谢忠. 利用松弛标记法进行空间场景匹配[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018,43(5):752-758.
- [9] 金紫嫣,张娟,李向军,等. 一种带标签的协同过滤广告推荐算法[J]. 计算机工程, 2018,44(4):236-242.
- [10] 韩文军,张苏,李达锋,等. 基于粒子群优化的三维 CAD 模型相似性评价[J]. 计算机与数字工程, 2019,47(8):1966-1969.
- [11] 谢扬扬,姜渊胜,商国中. 一种提高 DTW 算法运算效率的改进算法[J]. 计算机与数字工程, 2019,47(3):530-534.
- [12] 侯晓凌. 集群环境下矢量空间数据长期存储方法仿真[J]. 计算机仿真, 2019,(5): 484-487.

#### [作者简介]



**姚红**(1987-),女(汉族),贵州遵义人,硕士研究生,讲师,主要研究方向:大数据、人工智能、图像处理等;

**刘玉洁**(1985-),女(汉族),重庆人,硕士研究生,工程师,主要研究方向:云计算、人工智能等;

**王森**(1989-),女(汉族),河南南阳人,硕士研究生,助教,主要研究方向:大数据、计算机视觉。

#### (上接第 463 页)

图像均值提高了 6.0%和 3.0%;③改进算法在直观视觉图像细节方面,均要优于其它两种算法。因此本文所提出的图像降噪方法能够有效提升图像预处理的显示效果,具有较高的实用价值。

#### 参考文献:

- [1] 孙好喆,卢磊. 结合非局部均值滤波的双边滤波图像去噪方法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2017,35(2):32-38.
- [2] 刘文,吴传生,许田. 自适应全变分图像去噪模型及其快速求解[J]. 计算机应用研究, 2011,28(12):4797-4800.
- [3] 魏小峰,耿则勋,宋向. 基于泊松-高斯混合噪声的最大似然改进算法[J]. 计算机工程, 2012,38(1):222-224.
- [4] C Tomasi, R Manduchi. Bilateral Filtering for Gray and Color Images[C]. Proceeding of 6th International Conference on Computer Vision. Piscataway, NJ:IEEE Press, 1998:839-846.
- [5] 邵帅,郭永飞,刘辉. HSI 色彩空间下的低照度遥感图像增强[J]. 光学精密工程, 2018,26(8):2092-2099.
- [6] 周宏潮,朱炬波,王正明.混合泊松-高斯分布模型的参数估计[J].中国空间科学技术,2015,(2):1-5.
- [7] 冯浩,周莹. 基于 Matlab 的泊松分布数学特征研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2016,25(4):63-64.
- [8] Zhang Buyue, Jan P Allebach. Adaptive Bilateral Filter for Sharpness Enhancement and Noise Removal[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018,17(5):664-678.

- [9] 郭贝贝,易三莉,王波. 一种改进的非局部均值算法[J]. 计算机工程, 2016,42(7): 227-231.
- [10] 李雷,任宇飞. 于欧式距离的一种新的核函数[J]. 计算机技术与发展, 2012,22(11): 157-160.
- [11] 梁广顺,汪日伟,温显斌. 基于双边滤波与非局部均值的图像去噪研究[J]. 光电子激光, 2015,26(11):2231-2235.
- [12] 段红燕,邵豪,张淑珍,张晓宇,王小宏. 一种基于 Canny 算子的图像边缘检测改进算法[J]. 上海交通大学学报, 2016,50(12): 1861-1865.
- [13] 杨静,李争. 一种基于双边滤波的红外图像细节增强方法[J]. 激光与红外, 2016,46(4):507-511.

#### [作者简介]



**杨赞伟**(1994-),男(汉族),河南商丘市人,硕士研究生,主要研究领域为图像处理;

**郑亮亮**(1982-),男(汉族),黑龙江省哈尔滨市人,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事光学遥感数据预处理技术研究(通讯作者);

**曲宏松**(1980-),男(汉族),辽宁省大连市人,博士,研究员,硕士生导师,主要从事星载成像系统设计;

**吴勇**(1988-),男(汉族),四川人,硕士,助理研究员,主要从事星载成像电子学设计。