

〈图像处理与仿真〉

## 一种小波域改进双边滤波的水果图像去噪算法

刘炳良

(湖南理工职业技术学院, 湖南 湘潭 411104)

**摘要:** 采用机器人实现水果的自动化精确采摘是现代水果采摘技术发展的基本趋势之一。但由于成像条件以及机器人自身电子电路等因素的影响,使得所获取的图像或多或少存在大量噪声。将小波变换与双边滤波算法有机结合,提出了一种针对水果图像中颗粒噪声的滤波算法。该算法首先对噪声图像实现小波分解,对于各高频子图像,给出了相似像素的基本定义并分别设计出尺寸为5的多方向的相似像素检测窗口;然后根据检测窗口中相似像素的个数与检测窗口全部像素点个数的比值大小,分别采用自适应双边滤波算法和改进加权中值滤波算法加以处理。最后实现小波系数重构。实验仿真结果表明,该滤波算法性能优于双边滤波算法以及小波域双边滤波算法,对于农产品视觉图像、基于流媒体技术设施现场采集的图像处理等领域也具有一定的参考价值。

**关键词:** 水果图像; 颗粒噪声; 小波域双边滤波算法; 改进自适应双边滤波算法; 改进加权中值滤波算法

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2014)03-0196-04

## A New Improved Bilateral Filtering Algorithm for the Fruit Image Based on Wavelet Transform Domain

LIU Bing-liang

(Hunan Vocational Institute of Technology, Xiangtan 411104, China)

**Abstract:** Using automatic picking robot to pick up agricultural products is one of the basic trends of modern agricultural development. Because of the imaging conditions and the influence of such factors as robot electronic circuit, such factors make the image be polluted by some kinds of noise. Wavelet transform and the adaptive bilateral filtering algorithm are combined, and a new adaptive filtering algorithm against the noise in apple images is put forward. Firstly, the noise image is conducted wavelet decomposition, the basic definition of similar pixels is given and the similar pixels detection windows are designed so as to deal with the high frequency wavelet coefficients. Then according to the number of similar pixels in detection windows and the ratio of total number of pixels size in detection windows, the adaptive bilateral filtering algorithm and the improved weighted median filter algorithm are used to deal with the high-frequency wavelet coefficients. The simulation results show that the performance of the filtering algorithm in this paper is better than that of bilateral filtering algorithm and Bilateral filtering algorithm in wavelet transform domain. This filtering algorithm has some certain reference value for the visual images of agriculture, facilities on site collection of image processing on streaming media technology and other fields.

**Key words:** fruit images, salt & pepper noise, Bilateral filtering algorithm in wavelet transform domain, improved adaptive bilateral filtering algorithm, improved weighted median filtering algorithm

收稿日期: 2013-08-21; 修订日期: 2013-10-15.

作者简介: 刘炳良 (1966-), 男, 在职研究生学历, 副教授/高级工程师职称, 湖南理工职业技术学院教务处处长, 主要从事机电一体化产品的优化设计与教育教学。E-mail: lbldzsj@163.com。

基金项目: 湖南省职业院校教育教学改革研究项目一般课题, 编号: ZJB2012054。

## 0 引言

实现农产品的自动化采摘是现代农业自动化发展的必然要求。目前，对于水果的机器人采摘等领域的研究日渐受到学者们的广泛关注。但由水果的成熟期受到光照、水分等因素的影响，同一棵果树上的果实并非同一时间点成熟，因此对于成熟果实的自动化准确识别是机器人采摘的前提。然而，由机器人对于水果图像的获取过程中，受到成像环境以及本身电子电路噪声等因素的影响，所获取的图像不可避免受到颗粒噪声的干扰，该类噪声使得机器人所拍摄的图像中大量存在随机分布的“黑点”和“白点”严重干扰机器人对于所拍图像总中果实的自动准确识别。因此，对于该类图像中噪声的有效抑制，对于提高水果采摘的精确性具有一定的意义。

目前对于图像噪声滤波算法的研究较为热门的大体有小波变换方法<sup>[1-3]</sup>、形态学方法<sup>[4]</sup>、双边滤波算法<sup>[5-8]</sup>等。本文将双边滤波算法稍加改进并引入到小波域中，实现对噪声的多方向的自适应滤除。实验结果表明该滤波算法具有一定的噪声抑制效果，对该类农产品图像能够基本实现自适应处理。

## 1 双边滤波算法原理分析

双边滤波算法由著名学者 Tomasi 和 Manduchi 于 1998 年提出<sup>[5]</sup>，该算法通过集合空间域和值域的像素点邻域信息，来实现对图像噪声的有效滤除。记原始含噪声图像为  $F(x)$ ， $H(x)$  为输出图像。在图像空间域中，空间域滤波卷积公式可定义成：

$$H(x) = \frac{1}{w_s} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(q) \cdot \varphi(q, x) dq \quad (1)$$

式中： $\varphi(q, x)$  表示待滤波点  $x$  与邻域中某点  $q$  在几何意义上的相似度； $w_s$  为权重值（也称之为归一化系数，本文统一称为权重值）。与之类似，图像值域中的卷积计算公式如下：

$$H(x) = \frac{1}{w_r} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(q) \cdot \varphi'[F(q), F(x)] dq \quad (2)$$

式中： $\varphi'[F(q), F(x)]$  表示待滤波点与邻域中某点  $q$  的像素值相似度； $w_r$  为权重值，并且该值与图像中像素值分布密切相关。

在图像滤波操作过程中，单纯考虑像素点间的几何相似性和像素值相似性都不能充分顾及图像像素点彼此间的差异，最为理想的方法则是将二者卷积计算有机融合，融合后的卷积计算公式可定义成：

$$H(x) = \frac{1}{w} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(q) \cdot \varphi(q, x) \varphi'[F(q), F(x)] dq \quad (3)$$

式中：权重值： $w = w_s \cdot w_r$ 。因此，对于图像上任意一点  $q$ ，其双边滤波过程可采用如下函数进行描述：

$$\hat{F}(q) = \frac{1}{w} \sum_{p, q \in \Omega} w_s(||p - q||) \cdot w_r(||I_p - I_q||) \cdot I_q \quad (4)$$

式中： $\Omega$  表示为图像上待滤波点周围一定大小的邻域； $I_p$ 、 $I_q$  分别表示图像上  $p$  点和  $q$  点的像素灰度值。

双边滤波算法实质上是一种自适应加权滤波算法。权重值根据像素几何距离和像素灰度值差异进行确定，即权重值随着几何距离的远近和像素灰度值相似程度进行动态调整，距离待滤波点越近的像素点则赋予较大权重值，反之则取较小权重值。这是该滤波算法的特色之处。因此，决定该算法成败的关键因素有两个：一是图像中相似像素点的检测和选取；二是权重值的自适应确定。本文第 2 章将着重围绕这两个方面的改进策略进行深入论述。

## 2 小波域改进双边滤波算法

双边滤波器其实质是一类加权滤波器，通过空域和值域分别进行加权处理，从而实现噪声滤波和边缘保持的双重目的，但由双边滤波器的参数在很大程度上是依靠人工选取，由于处理图像的特殊性，从而使得该类滤波方法在实际研究过程中存在着不足之处。邱宇<sup>[6]</sup>等将曲线波与双边滤波算法有机结合，虽然取得了较好效果，但过程较为复杂，并且，曲线波与双边滤波并未实现充分融合。余博<sup>[7]</sup>等对相关参数的选取进行了研究，提出了一类自适应的改进双边滤波算法，基本实现了参数的自适应选取，但这样的选取是通过多次迭代比较产生的，可想而知，其计算量是比较大的。本文受文献<sup>[6]</sup>的启发，对双边滤波算法做如下几点改进：1）将双边滤波算法引入到多尺度小波变换域中，利用小波变换对图像信号的紧聚特性，提高双边滤波算法的针对性；2）增加一个噪声点邻域相似像素点自适应检测环节，简化了诸多参数的迭代选择的复杂过程；3）在滤波过程中融入了改进加权中值滤波算法，以提高滤波效果。具体改进思路如下：

### 2.1 相似像素点自适应检测

#### 2.1.1 本文相似像素点定义

在待滤波点一定大小邻域内，某像素点与待滤波点灰度值若满足如下关系，则称之为待滤波点邻域的相似像素点。

$$|X_{i,j} - X'| \leq 1/2 \bar{X}_{m,n} \quad (5)$$

式中： $X_{i,j}$  是图像中  $(i, j)$  处待滤波点灰度值； $X'$  为待滤波点邻域中任一点灰度值； $\bar{X}_{m,n}$  为大小  $(m, n)$  邻域中像

素点灰度均值,  $\bar{X}_{m,n}$  可定义如下:

$$\bar{X}_{m,n} = \frac{1}{k} \sum_{i,j} X_{i,j} \quad (i \in 1,2,3,\dots,m, j \in 1,2,3,\dots,n)$$

### 2.1.2 新型相似像素点检测窗口设计

噪声图像经多尺度小波变换后, 获得水平低频图像(LL)、水平高频图像(LH)、垂直高频图像(HL)、对角高频图像(HH), 各子图像中信息尤其是噪声分布大体呈现方向性集聚分布。其中, 低频子图像包含大部分图像信息, 基本不受噪声干扰故本文对其不作处理。根据噪声分布特性, 本文对高频子图像分别设计出具有方向性的检测窗口对于满足上式的相似像素点进行自适应检测。本文新型检测窗口设计如图1所示:

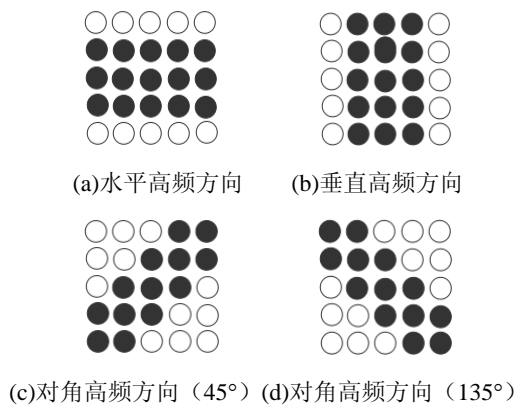


图1 本文新型相似像素点自适应检测窗口

Fig.1 The new adaptive similar pixels detection window in this paper

## 2.2 噪声点滤波

### 2.2.1 相似像素点统计

一定大小邻域中的相似像素点作为与待滤波点最为接近的像素, 该类像素一方面在数值上与待滤波点较为接近, 另一方面在图像信息表达方面也接近于待滤波点。因此, 在滤波操作前首先对于该类像素点个数进行必要的统计, 为选择合理的滤波算法提供必要的参考。相似像素点个数可进行如下统计:

$$Q(X_{i,j}') = \text{Number}\{X_{1,1}', X_{2,2}', \dots, X_{i,j}'\} \quad (i \in 1,2,3,\dots,m, j \in 1,2,3,\dots,n) \quad (6)$$

式中:  $X_{i,j}'$  为满足上述条件的相似像素灰度值;  $m$ 、 $n$  为检测窗口尺寸大小。

### 2.2.2 噪声点滤波

经过上述统计后可以获得一定大小检测窗口中相似像素点个数, 若该数值过小, 仅采用这部分的像素点进行空域和值域双边滤波, 势必会破坏图像信息的连续性且滤波效果也大打折扣。若将邻域中的所有像素点参与计算, 则会增大计算复杂度。为此, 本文

设计出如下判别方法:

$$X_{i,j}' = \begin{cases} \text{自适应双边滤波} & Q(X_{i,j}') \geq 1/2N \\ \text{改进加权中值滤波} & Q(X_{i,j}') < 1/2N \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $x_{i,j}$  是最终滤波结果,  $N$  为检测窗口中所有像素点个数。通过上述判别, 对于窗口中相似像素较少的情形, 采用如下改进加权中值滤波算法:

Step 1: 对该检测窗口中所有像素点按像素值大小顺序进行排列, 取其中间值作为滤波值输出:

$$x_{i,j}' = \text{Median}\{X_{1,1}, X_{2,2}, \dots, X_{i,j}\} \quad (8)$$

Step 2: 对检测窗口中分布较少的相似像素点, 则根据与待滤波点几何距离的远近来确定权值, 进而进行加权中值滤波:

$$x_{i,j}'' = \text{Weight\_Median}\{X_{1,1}', X_{2,2}', \dots, X_{i,j}'\}$$

其中, 权值可进行如下确定:

$$\text{Weight}(x_{i,j}') = 1/\sqrt{(X_{i,j} - X_{i,j}')^2} \quad (9)$$

Step 3: 将 Step1-step2 所得滤波结果取均值, 作为最终滤波结果:

$$x_{i,j} = (x_{i,j}' + x_{i,j}'')/2 \quad (10)$$

## 2.3 本文滤波算法基本流程

本文滤波算法基本流程如图2所示。

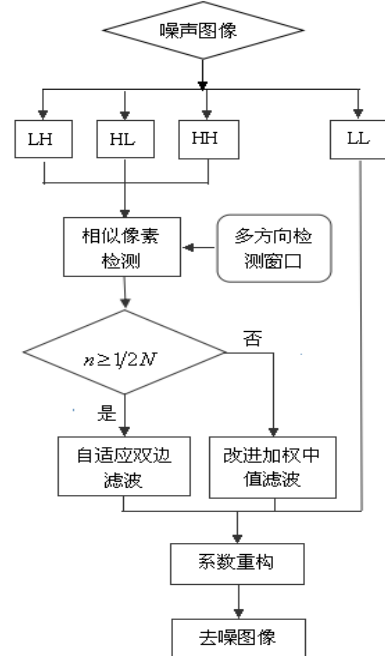


图2 本文滤波算法基本流程

Fig.2 Basic flow of the filtering algorithm in this paper

## 3 实验仿真与分析

水果图像中的噪声来源于电子电路噪声, 以及受到成像环境等因素的影响, 在图像上表现为“黑点”或“白点”的颗粒状噪声。因此, 本文以椒盐噪声为

研究对象在 MATLAB 平台下编写相关程序进行实验仿真。实验图像选用 10 幅随机拍摄苹果图像，采用峰值信噪比（Peak Signal to Noise Ratio, PSNR）<sup>[9-10]</sup>作为滤波结果定量衡量指标。并和双边滤波算法<sup>[7]</sup>以及文献[3]小波域双边滤波算法进行横向比较。限于篇幅，仅给出其中两幅图像实验结果如图 3～图 4，表 1 所示。

图 3(c)和图 4(c)相对于各自的噪声图像而言得到一定程度抑制，图像中“苹果”轮廓基本能够辨认，但图像中残留大量的“黑点”和“白点”噪声，这反应出单纯采用双边滤波算法对于该类噪声抑制效果不是很理想。文献[3]提出一种小波域双边滤波算法，该算法相对于双边滤波算法而言，滤波效果有了一定程度改善，表现为图 3(d)和图 4(d)中残留噪声密度较少，图中苹果、树叶基本能清晰辨认。但这些算法相对于本文算法而言，略微逊色，表现为图 3(e)和图 4(e)不但噪声得到最大限度的抑制，而且图像相对于原始图像而言，图像对比度得到一定程度的增强。表 1 中的 PSNR 值计算结果也证明了本文滤波算法相对于双边滤波算法、小波域双边滤波算法而言，存在一定优势。

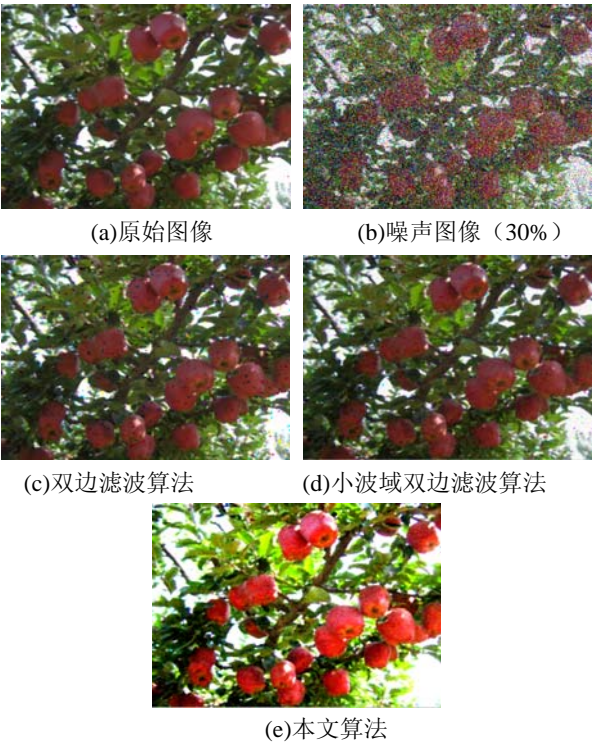


图 3 第一幅图像滤波结果比较  
Fig.3 The filtering results of the first image

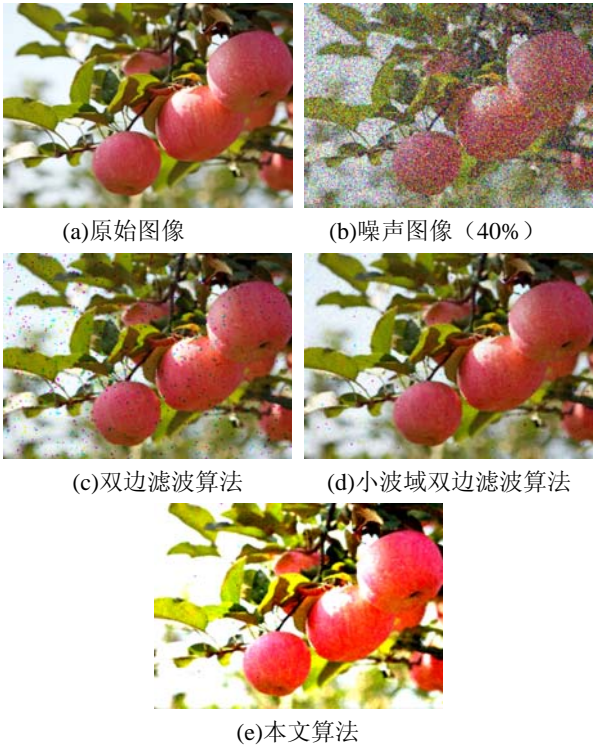


图 4 第二幅图像滤波结果

Fig.4 The filtering results of the second image

表 1 两幅图像滤波结果定量对比

Table1 Quantitative contrast of the filtering results of the two images				
	噪声强度/%	双边滤波算法/dB	小波域双边滤波/dB	本文算法/dB
第一幅图	10	24.873	26.324	27.234
	20	23.409	25.552	27.012
	30	22.106	24.802	26.297
	40	20.978	23.562	25.483
第二幅图	10	24.912	26.572	26.967
	20	24.211	25.861	26.209
	30	23.509	24.490	25.682
	40	21.998	23.796	25.199

4 结束语

针对水果图像中时常出现的颗粒噪声，将小波变换域双边滤波算法有机结合，提出了一种针对该类噪声的小波域改进双边滤波算法。该项研究对于苹果等水果图像的实时化处理，提高水果采摘的精确性具有一定的指导意义并且对于一般的图像处理、基于流媒体技术设施现场采集的图像处理等领域也具有一定的参考价值。



退化,划分粒子权值为大、中、小三类,中权值粒子保留,大、小权值粒子合并产生新粒子,通过Thompson-Taylor 算法随机挑选新粒子重采样;消噪模型采用两种噪声迭加成的混合双模噪声模型。仿真结果表明,本文算法在有效保留图像重要信息的同时对噪声的抑制效果更为理想。

#### 参考文献:

- [1] 李一扬, 安成斌, 陈盈. 基于 HVS 的红外图像增强技术研究[J]. 激光与红外, 2013, **43**(5): 583-586.
- [2] 王巍, 安友伟. 基于 Simulink 与 Stateflow 的红外图像边缘检测系统设计[J]. 电视技术, 2013, **37**(3): 29-32.
- [3] 鹿传国, 冯新喜, 张迪, 等. 马尔可夫链蒙特卡罗容积分子滤波器[J]. 电子科技大学学报, 2012, **41**(6): 859-864.
- [4] Kamel Belkacem Boussaid, Azeddine Beghdadi. A new image smoothing method based on a simple model of spatial processing in the early stages of human vision[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, **9**(2): 220-226.
- [5] Rudin L, Osher S, Fatemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. *Physica D*, 1992, **60**(14): 259-268.
- [6] Hammersley J M, Morton K W. Poorman Monte Carlo[J]. *Journal of the Royal Statistical Society B*, 1954, **16**(1): 23-381.
- [7] Gordon N J, Salnrans D J, Smith A F M. Novel approach to nonlinear/non-gaussian bayesian state estimation[C]//In: *Proc of the Radar and Signal Processing*, 1993: 107-113.
- [8] 赵春晖, 张朝柱. 自适应信号处理技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009: 40-68.
- [9] 周同驰, 艾斯卡尔-艾木都拉, 杨强, 等. 双目视觉的弱点动目标粒子滤波跟踪定位研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, **48**(9): 185-188.
- [10] 韩崇昭, 朱洪艳. 多源信息融合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 291-302.
- [11] 于春娣, 丁勇, 李伟, 等. 一种基于改进重采样的粒子滤波算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, **30**(2): 296-299.

- [12] Thrun S, Burgard W, Fox D. *Probabilistic Robotics*[M]. London: MIT Press, 2005. 91-280.
- [13] 付元增, 邵明省. 基于正则粒子滤波的红外成像消噪处理[J]. 实验技术与管理, 2010, **27**(4): 42-44.
- [14] 田卉, 沈庭芝, 李挺, 等. 基于 GA-MCMC 的粒子滤波图像恢复算法[J]. 北京理工大学学报, 2010, **30**(1): 105-108.
- [15] 韩志远, 徐汀荣, 王铁成, 等. 一种基于 HOG 和颜色双重特征的粒子滤波跟踪方法[J]. 计算机应用与软件, 2013, **30**(3): 47-50.
- [16] 陈志敏, 薄煜明, 吴盘龙, 等. 混沌粒子群优化粒子滤波算法[J]. 光电与控制, 2013, **20**(1): 36-40.
- [17] 詹鸿, 吴利斌. 混合序列的大数定律和完全收敛性[J]. 大学数学, 2013, **29**(4): 65-69.
- [18] 董跃钧, 李国伟. 量子遗传优化粒子滤波的 WSN 目标跟踪算法[J]. 科学技术与工程, 2013, **13**(12): 3305-3309.
- [19] 王继平, 孙华燕, 章喜. 基于改进粒子滤波算法的红外小目标检测跟踪[J]. 红外技术, 2011, **33**(5): 267-270.
- [20] 陈志敏, 薄煜明, 吴盘龙, 等. 基于自适应粒子群优化的新型粒子滤波在目标跟踪中的应用[J]. 控制与决策, 2013, **28**(2): 193-200.
- [21] 余纯, 张太荣. 基于硬件实现的粒子滤波重采样算法研究[J]. 自动化技术与应用, 2013, **32**(2): 1-5.
- [22] 孙景乐, 唐林波, 赵保军, 等. 基于瑞利分布的粒子滤波跟踪算法[J]. 电子与信息学报, 2013, **35**(4): 763-769.
- [23] 万洋, 王首勇. 递归 Bayes 模型粒子滤波方法[J]. 信号处理, 2013, **29**(2): 152-158.
- [24] 王宏健, 王晶, 曲丽萍, 等. 基于方差缩减粒子滤波的无人水下航行器航位推算[J]. 信息与控制, 2013, **42**(2): 173-180, 188.
- [25] 常天庆, 李勇, 刘忠仁, 等. 一种改进重采样的粒子滤波算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, **30**(3): 748-750.
- [26] 白笛, 张冰, 朱志宇. 目标跟踪的自适应双重采样粒子滤波算法[J]. 计算机科学, 2013, **40**(3): 248-250.
- [27] 王晓薇, 山拜·达拉拜, 陈娟, 等. 非高斯噪声中的粒子滤波算法研究[J]. 计算机工程与科学, 2012, **34**(7): 136-139.

(上接第 199 页)

#### 参考文献:

- [1] 王群, 何永强, 周云川. 基于小波和侧抑制网络的红外图像增强算法[J]. 红外技术, 2011, **33**(9): 541-544.
- [2] 王彪, 李建文, 王钟斐. 基于小波分析的新预支去噪方法[J]. 计算机工程与设计, 2011, **32**(3): 1099-1102.
- [3] 曹剑中, 周祚峰, 唐垚, 等. 基于双边滤波和双树复小波的图像去噪算法[J]. 光子学报, 2010, **39**(9): 1712-1715.
- [4] 杨怀义. 改进的数学形态学图像去噪算法研究[J]. 科技通报, 2012, **28**(6): 190-191.
- [5] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral Filtering for Gray and Color Images[C]//The 6<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision, Bombay, India: 1998: 839-846.

- [6] 邱宇, 王世元, 余勇志. 一种基于曲线波的改进自适应交叉双边滤波方法[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, **38**(2): 96-105.
- [7] 余博, 郭蕾, 钱晓亮, 等. 一种新的自适应双边滤波算法[J]. 应用科学学报, 2012, **30**(5): 517-523.
- [8] 曾雅琼, 陈钱. 基于改进的双边滤波的单帧红外弱小目标背景抑制[J]. 红外技术, 2011, **33**(9): 537-540.
- [9] 王小兵, 孙久运, 汤海燕. 一种基于数学形态学与小波域增强的滤波算法[J]. 微电子学与计算机, 2012, **29**(7): 64-67.
- [10] 王小兵, 孙久运, 汤海燕. 基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法[J]. 微电子学与计算机, 2012, **29**(6): 91-95.