

基于噪声建模的遥感卫星图像分层去噪算法

唐中奇, 孙继银, 郭莉莎, 梅 生

(第二炮兵工程学院 计算机与指挥自动化系, 陕西 西安 710025)

摘 要: 在遥感卫星成像机理分析的基础上, 提出一种分层去噪算法, 该算法引入了噪声分类建模的思想, 根据噪声模型的特殊性分层降噪, 最后进行轮廓填充恢复。实验结果表明, 该算法不仅能有效抑制多类噪声, 也能很好地保持图像的边缘细节信息, 在经典去噪评价指标信噪比 SNR、均方误差 MSE 上也都达到了很好的实验标准, 具有良好的去噪性能。

关键词: 遥感卫星图像去噪; 噪声建模; 分层去噪算法; 轮廓填充恢复

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0031-05

Remote Sensing Satellite Image De-noising Based on Noise-modeling

TANG Zhong-qi, SUN Ji-yin, GUO Li-sha, MEI Sheng

(Dep. of Computer&Command Automation, The Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract: This paper promotes a new method to de-noise at different stages. Basing at the principle of remote sensing devices to capture images, it introduces an idea of noise-modeling, then de-noises images by the characteristics of different noise models, and finally, recovers the edge and details of the images. Experiments prove that, it can not only de-noise multiple noises efficiently, but also keep the edge and detail information well. It also tests well in classical targets such as SNR and MSE. In a word, this method functions well in de-noising.

Key words: remote sensing satellite images de-noising; noise-modeling; a method to de-noise at different stages; edge and details recovering

1 引言

由于遥感卫星成像过程的复杂性及拍摄环境的恶劣性, 噪声的产生及其对图像质量的影响复杂多变, 直接通过量化各个子系统噪声来对整个成像系统进行噪声评估的方法往往难于实现。这对于遥感卫星图像噪声效应的实时度量, 无疑提出了一个方法上的难题^[1]。

现有的一些去噪算法中, 传统图像降噪和小波去噪最为常用。传统的图像降噪主要有基于频域的低通滤波、Wiener 滤波、Kalman 滤波、最小二乘滤波等算法, 以及基于空间域的中值滤波、统计滤波、局部自适应滤波等算法^[2]。然而, 基于傅里叶变换的

传统去噪算法在降噪和保持边缘上存在着矛盾, 无法同时表述图像的时频局部化特性。现有的经典小波去噪方法有 Mallat 提出的基于小波变换模极大值法^[3]和 Donoho^[4]提出的阈值方法, 后者包括软阈值和硬阈值去噪方法。小波变换虽具有时频局部化分析特性, 然而通过研究也发现, 基于小波变换的去噪方法在处理含有脉冲噪声的图像数据时, 效果不很理想。

针对卫星图像的噪声效应难以直接度量这一问题以及现有去噪算法在去除卫星图像噪声时的局限性, 本文采用间接的方法, 从卫星图像入手, 结合对遥感卫星成像过程的研究, 分析其噪声来源及特性, 并进行归类, 以采用一个相对简单的数

收稿日期: 2011-05-09; 修回日期: 2011-07-15

基金项目: 国防十一五科研项目

学模型实现对图像噪声的描述;再根据各层模型的特殊性,有针对性地选取降噪方法进行多层滤波;最后通过轮廓的填充恢复得到最终的去噪图像.实验结果表明,该算法对于遥感卫星图像具有良好的去噪效果.

2 噪声模型分析

遥感卫星图像噪声主要由电噪声和光学噪声组成,而光电方面的噪声效应又呈现多元化、易变等特点^[5].本算法首先对各类噪声进行特点分析并归类建模.

2.1 表现为高斯噪声和泊松噪声的噪声分析

① 光电子噪声

光电子噪声的产生是由于光的统计本质和图像 CCD 传感器中光电转换.弱光照情况下,常用具有泊松密度分布的随机变量作为光电噪声的模型,这种随机变量的标准差等于其均值的平方根;随着光照的加强,泊松分布将趋向于更容易描述的高斯分布,其标准差仍取均值的平方根^[6].

光电子噪声数学模型描述如式(1)和式(2):

$$p_i = P\{X = i\} = \frac{\lambda^i}{i!} e^{-\lambda} (i = 0, 1, 2, \dots), \lambda > 0 \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \sigma = \sqrt{\mu} \quad (2)$$

② 感光片颗粒噪声

由于曝光过程中底片上感光颗粒自身大小的差异以及曝光分布的随机性引入的一类噪声称为感光片颗粒噪声.与光电子噪声的概率模型类似,颗粒噪声的内在分布为泊松分布.经 Haugh, Higgms Stultz 和 Naderi 等人研究表明,颗粒噪声可用具有与局部平均灰度立方根成正比的标准差的零均值高斯白噪声进行描述^[6].

颗粒噪声数学模型描述如式(3),其中 μ' 为局部平均灰度.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \sigma = k \sqrt[3]{\mu'}, k > 0 \quad (3)$$

③ 电子噪声

电子噪声是由电阻器件中电子的随机热运动引起的.这类噪声一般常用零均值高斯白噪声作为模型^[6].电子噪声数学模型描述如式(4):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

2.2 表现为椒盐噪声和斑点噪声的噪声分析

在卫星拍摄的遥感可见光图像中,常出现一类在频谱上表现为频率尖峰的周期性噪声,被称为冲击噪声,一般可用椒盐噪声进行描述;另外还会出现一些斑点干扰,一般可用斑点噪声进行描述^[1,6].这些噪声一般产生于图像采集过程中的电气或电机干扰^[5-6].

冲击噪声数学模型描述如式(5):

$$f = \begin{cases} n(x_{ij}), & i = r_k \& j = c_k, k = 1, 2, 3, \dots \\ 0, & i \neq r_k \parallel j \neq c_k \end{cases} \quad (5)$$

斑点噪声数学模型描述如式(6):

$$f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} + n(x_{ij}), & i = r_k \& j = c_k \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, & i \neq r_k \parallel j \neq c_k \end{cases} \quad (6)$$

$k = 1, 2, 3, \dots$

式中 i, j 分别为图像像素所在行、列号, r_k, c_k 为椒盐噪声所在的行、列.

综合分析,遥感成像系统的主要噪声模型为高斯噪声(强光照)和泊松噪声(弱光照)、椒盐噪声、斑点噪声.因此,在接下来的噪声滤除中,将着重研究针对这几类噪声模型的去噪算法.

3 基于噪声建模的分层去噪算法

针对传统降噪与小波去噪方法各自的劣势,本文提出一种基于噪声建模的分层去噪算法.由于遥感卫星图像在实际中使用时对图像边缘的高清晰度要求,考虑分层降噪,补充对轮廓的后期恢复,目的在于克服多层降噪对于图像边缘信息的损失.在此,采用预先轮廓区提取与去噪后恢复的方法,提高算法的边缘保留效果.该算法的整体流程如图 1 所示:

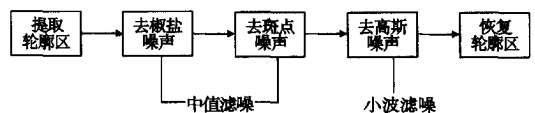


图 1 算法整体流程图

3.1 轮廓提取

边缘检测中常用的检测算子有:Roberts 算子、Laplace 算子、Prewitt 算子、Soble 算子、Candy 算子、Zerocross 算子等.将这几类边缘算子应用于可见光卫拍下视图的边缘检测中,观测比较各检测

算子边缘提取的效果,发现基于 Candy 算子的检测最为清晰,细节保留效果也最佳,故在本文研究中使用 Candy 算子进行边缘检测。

3.2 去椒盐及斑点噪声

中值滤波是一种非线性图像处理方式,其核心思想是:使用处理窗口内原图像素值的中值代替窗口中心处的像素值。中值滤波对于含有脉冲噪声和点状噪声的图像去噪效果较好,故在此用于第一层噪声的去除。一般中值滤波虽也能去除大部分的椒盐噪声,却容易产生图像局部的模糊失真;由于自适应空间滤波器能够根据被滤波区域的图像特性改进滤波效果,其去噪效果最为明显,滤波产生的模糊失真也降低到最小。故选择使用自适应空间滤波函数对图像进行滤波,以去除椒盐、斑点类噪声。

3.3 去高斯噪声

对于高斯白噪声,可以证明它几乎是一个处处奇异的随机分布,且具有负的 Lipschitz 指数 $\alpha = -\frac{1}{2} - \epsilon, \forall \epsilon > 0$ 。根据信噪奇异性可知,图像与噪声

在小波域中对应系数极大值具有的不同传递性。反映噪声突变的极值点仅存于小尺度的细节系数中,随着尺度的增大,只有少数噪声的极大值传递下来;在大尺度中,极大值主要属于图像^[7]。

可采用多种离散小波系(Symlets 小波系、Daubechies 小波系、Coiflet 小波系和 Biorthogonal 小波系等)进行图像分析及去噪实验,在此选取 Bior3.7,它具有很好的对称性及正则性,重构图像时比较精确。在大多数情况下,采用 5 层分解去噪后可以得到令人满意的信噪比^[8],因而在此分解层数选定为 5 层,采用软阈值分层处理方法。

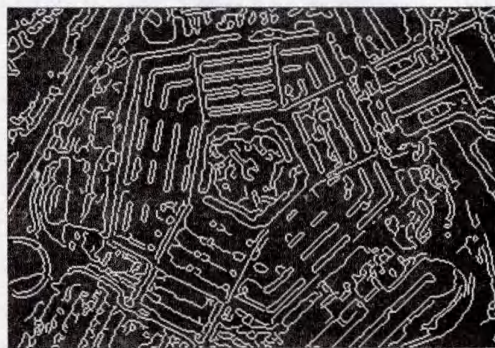
3.4 轮廓填充恢复

在多次降噪过程中,图像的边缘细节信息必然会受到一定的影响。然而,由于遥感卫星图像的对于轮廓区信息具有较高的要求,在这里需要对 Candy 算子检测到的边缘图像进行轮廓填充处理,记录下图像的边缘及其它重要的细节信息,处理过程示例处理过程示例如图 2 所示。

对经过三次后的图像进行及其填充区灰度信息的恢复,即用记录的各轮廓区灰度值修正降噪图像对应位置的灰度信息。经过这一步处理,才可认为所得图像为近似无噪图像。

3.5 算法流程

算法的执行流程如图 3 所示。



(a) Candy 算子边缘检测图



(b) 填充轮廓图



(c) 待恢复轮廓灰度图

图 2 轮廓区信息获取过程

4 实验结果分析

4.1 实验环境

操作系统: windows XP; CPU: Intel(R) Core (TW) 2 Quad;

内存: 2.33 GHz, 2.00 GB; 开发工具: MATLAB;

测试图:

(1) 所用到的图像均为遥感卫星图像;

(2) 算法有效性验证中,含噪图像由经典图像 Lena 加噪获取。加噪类型为:泊松噪声(从原图自动

生成)、0.01 高斯噪声、0.001 椒盐噪声、0.001 斑点噪声。

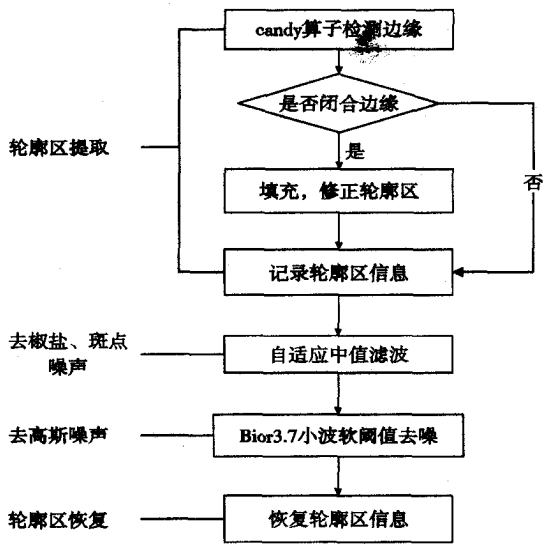


图3 算法执行流程图

4.2 仿真实验验证

在图像质量评价领域,已存在一些广泛应用的评价指标:图像均值、方差、信息熵、梯度函数等^[8];而具体在消噪效果评价中,常用的评价指标是信噪比(SNR)或峰值信噪比(PSNR)及均方误差(MSE).其定义分别为

$$SNR = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij}'^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X_{ij}' - X_{ij}]^2} \quad (7)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X_{ij}' - X_{ij}]^2}{M \times N} \quad (8)$$

在此考虑通过对分层降噪过程效果图及各层图像指标参数值的分析,验证算法的有效性。

这一分层降噪过程的效果图如图4所示。

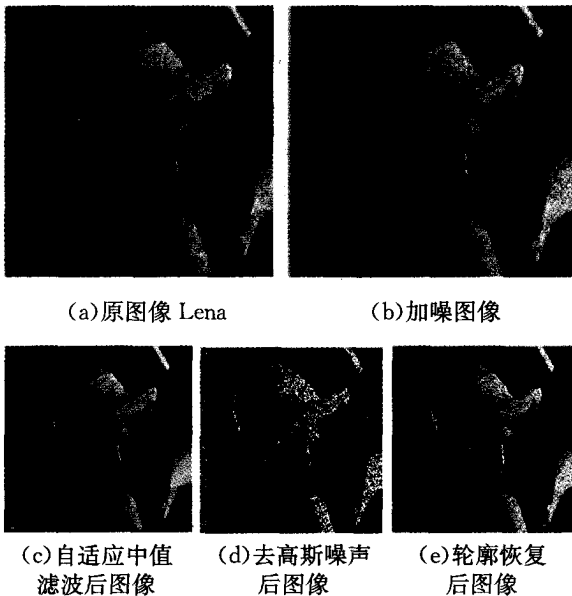


图4 分层降噪处理过程

各层图像指标参数值统计见表1.

表1 降噪各层图像参数值统计

降噪层次	图像类型	均值	标准差	信息熵	能量梯度	SNR	MSE
	原图像	0.383 4	0.042 8	7.553 4	0.008 0	/	0
	含噪图像	0.419 5	0.042 1	7.319 9	0.029 8	5.850 7	1.095 4
第一层	自适应中值滤波后	0.401 3	0.038 1	7.429 8	0.007 1	9.092 1	0.397 9
第二层	去高斯噪声后	0.388 6	0.039 9	7.572 3	0.003 3	12.545 2	0.188 7
第三层	轮廓区恢复后	0.388 3	0.040 1	7.573 4	0.007 4	13.786 1	0.167 5

原图像加噪处理后,均值稍有增大,方差、熵值则变小,这是由于噪声的添加使得图像的“伪”亮度成分增加,边缘细节能量削弱.逐层的降噪,去除了大部分的椒盐、斑点类噪声和高斯噪声.从这几层均值的降低可分析得出,这些“伪”信息成分得到了较好的抑制.第二层降噪后,有些参数值开始略低于原图像,这是由于在多层次的降噪过程中,图像本身的细节信息受到了一定程度的损失.梯度函数能够很好的反映图像的边缘细节信息情况,从能量梯度函数值的波动可以分析得出:噪声的添加使得图像的

边缘、细节变得模糊,而多层的降噪也损失了图像本身的一些细节.在第三层的轮廓区恢复步骤实现后,图像信息熵、方差、能量梯度值都得到了一定幅度的回升,更接近于原图像;这说明多层滤波损失的图像细节类信息得到了很好的恢复.信噪比 SNR 的逐层增加、均方误差 MSE 的逐层减小则更直接的说明了这一去噪算法的有效性.

4.3 算法效果评价

通过对使用多种传统方法、小波方法及本文提出的分层去噪算法对同一卫星图像的去噪效果、评

价指标值的比照分析,验证本文去噪算法的优越性。从各类去噪方法的效果图 5 分析得出:无论是线性的平均领域滤波还是非线性的中值滤波,都产生了较为明显的图像模糊,图像失真感明显;一般的硬、软阈值小波去噪则对椒盐类噪声去除效果不佳;而且单层的去噪都不能很好地消除条带噪声,分层建模去噪后的图像仍有少量边缘和细节信息的模糊,而轮廓恢复后,这一缺陷得到了较好的补足。

评价指标值如表 2 所示,与其他方法相比,分层建模算法的去噪效果最为明显。这在图像质量评价指标上反映为均值、标准差降低相对较多,说明滤除了大部分的噪声;在去噪效果评价指标上则直接反映为信噪比更大、均方误差更小。方差、信息熵和梯度函数都可以表征图像边缘清晰程度,而经过轮廓区恢复后的最终图像,这三个指标的参数值明显增大,这说明图像的边缘、纹理类细节得到了良好的恢复;同时 SNR 也进一步增大,而 MSE 接近于 0,这说明本文算法对于遥感卫星图像的去噪效果已达到一个较好的水平。

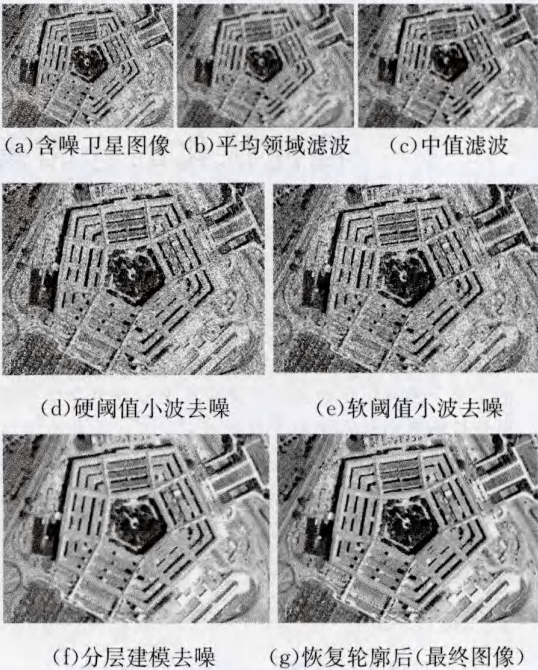


图 5 各类方法去噪效果比照

表 2 图像评价指标值数据

图像类型	图像质量评价指标				去噪效果评价指标	
	均值	标准差	信息熵	能量梯度	SNR	MSE(10-2)
含噪卫星图像	0.634 1	0.055 9	7.569 1	0.073 2	1.500 1	2.355 3
平均领域滤波图像	0.634 0	0.035 2	7.553 6	0.010 5	5.072 1	1.742 1
中值滤波图像	0.629 9	0.040 2	7.546 6	0.019 2	4.956 6	1.789 1
硬阈值小波去噪图像	0.633 9	0.055 8	7.691 0	0.072 9	5.640 5	1.528 4
软阈值小波去噪图像	0.634 0	0.044 6	7.682 4	0.035 6	6.182 5	1.349 1
分层建模去噪图像	0.621 4	0.040 9	7.625 9	0.015 3	7.678 0	0.356 1
最终图像	0.613 7	0.047 9	7.702 2	0.029 9	9.484 3	0.130 8

参考文献:

[1] 高连如,张兵. 基于局部标准差的遥感图像噪声评估方法研究[J]. 遥感学报, 2007,11(2):201-208.
[2] 徐瑞. 基于小波变换的遥感图像降噪与融合技术的研究[D]. 天津: 天津大学电子信息工程学院,2008.
[3] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Trans. On IT, Mar, 1992, 38(2):617-643.
[4] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455.
[5] 朱述龙,张占睦. 遥感图像获取与分析[M]. 北京: 科学出版社,2000.

[6] 佟守峰,阮锦,郝志航. CCD 图像传感器降噪技术的研究[J]. 光学精密工程, 2000,8(2):140-143.
[7] 吴昌东,江桦,邱晓初. 基于提升小波的自适应阈值图像去噪方法[J]. 微电子学与计算机,2010, 27(12):18-21.
[8] 邢素霞,吴静珠,陈天华. 图像融合质量评价方法研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(6):157-159.

作者简介:

唐中奇 女,(1987—),硕士研究生. 研究方向为计算机仿真与虚拟现实技术.
孙继银 男,(1952—),教授,博士生导师,中国计算机学会高级会员. 研究方向为 CAISR 系统与计算机仿真、虚拟现实技术.