

# 卫星云图修复方法研究与实现

蔡菲菲 闫振宇 郎宏山

(国家卫星气象中心北京气象卫星地面站 北京 100094)

**摘要:** 针对卫星云图中不可避免的丢线现象,基于中值滤波的基本思想,提出一种结合霍夫变换的图像修复方法。该方法在定位丢线位置的基础上,仅采集垂直方向邻域像素点,并根据窗内异常点个数自适应调整窗口尺寸进行修复。从卫星云图处理实时性要求高、主观视觉效果和客观评价标准3个方面,对传统整体变分、自适应滑动平均、结合霍夫变换的自适应中值滤波3种修复方法进行比较。通过仿真结果表明,这种根据丢线分布特征改进后的中值滤波方法更适合修复卫星云图中的丢线。

**关键词:** 卫星云图; 图像修复; 中值滤波; 霍夫变换

**中图分类号:** TN919.8    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.4050

## Study on realization of satellite cloud image inpainting

Cai Feifei Yan Zhenyu Lang Hongshan

(Beijing Meteorological Satellite Ground Station, National Satellite Meteorological Center, Beijing 100094, China)

**Abstract:** An image inpainting method combining with Hough transform was proposed to inpainting the inevitable scanline dropping in satellite cloud image, which was based on median filtering. This method on the basis of scanline dropping positioning, was only collected neighboring pixels in vertical direction, and adjusted the window size according to the number of abnormal points. The total variation, the adaptive sliding average, and the adaptive median filtering which combined with Hough transform, have been compared from the high real-time requirement, subjective vision and evaluation parameters aspects. The simulation results show that this improved median filter based on scanline dropping distribution characteristics is more suitable as a satellite cloud image inpainting method.

**Keywords:** satellite cloud image; image inpainting; median filter; Hough transform

## 1 引言

卫星云图是一种反映大气云团分布情况的遥感图像,由气象卫星将数据资料发送到地面接收站后,再转换而生成的<sup>[1]</sup>。由于卫星云图遥感成像的原理,和接收过程中不可避免的噪声与干扰,卫星云图会出现扫描噪声,在云图中产生丢线,即云图上出现一条或多条空白线<sup>[2]</sup>。该现象破坏了云图的完整性和可读性,严重影响了后端对卫星云图的分析 and 处理,因此需要采用数字图像处理方法对受损位置进行补丢线处理<sup>[3]</sup>。

图像修复,就是针对图像中受损部分,参考周围有效图像信息进行填补,使恢复后的图像尽可能接近原始图像呈现出的效果<sup>[4]</sup>。目前国内外已有多种图像修复模型和算法,整体变分方法是当前图像修复领域中运用最为广泛的算法之一,但它具有理论严格、方程复杂、难以理解的特点<sup>[5]</sup>。还有一种根据一定复原策略,由已知信息估计出待

修复信息的修复方法,采用线性外推法为代表的是滑动平均法,中值滤波修复法是非线性滤波的代表<sup>[6]</sup>。虽然它们思想起源较早,但时间、空间复杂度较低,实时性好,目前仍广泛应用于图像修复领域<sup>[7]</sup>。本文选取这3种具有代表性的修复方法进行比较,研究更适合修复卫星云图丢线的方法。

## 2 常用的图像修复方法

### 2.1 整体变分基本思想

整体变分(total variation, TV)图像修复方法,是由Tony Chen等人提出的修复模型推广来的,采用各向异性的扩散原理建模,将模型转化为约束最优化问题,再利用拉格朗日方差的求解方程求解,属于针对像素点的基于偏微分方程的修复算法<sup>[8]</sup>。简而言之就是利用等照度线扩散方向的不同对图像进行修补,起到模糊区域内噪声的效果。特点是能够在抑制噪声的同时对图像进行平滑,较好的保

留图像边缘,修补效率也比较理想<sup>[9]</sup>。

## 2.2 滑动平均基本思想

滑动平均法属于平滑预测技术,主要思想是以滑动方式将像素邻域内的灰度平均值作为该像素有效灰度值<sup>[10]</sup>。动态测试数据  $y(t)$  由有效信号  $f(t)$  和误差或噪声  $e(t)$  组成,此组动态测试数据表示为:

$$y_j = f_j + e_j, j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

于是选取  $m$  个相邻数据为一个小区间,用  $m$  个相邻数据的均值来表示其中点或端点的测量结果,滑动平均算法的一般表达式为:

$$f_k = y_k = (1/m) \sum_{k=n-m}^n y_k \quad (2)$$

$y_k$  由于滑动平均作用剔除了混入的误差  $e_j$  成为一组平滑数据,有效地消除了数据中的随机起伏,减小了不确定因素对预测结果的影响。与其他修复方法相比,空间和时间复杂度较低,数据精度稳定性更高<sup>[11]</sup>。

## 2.3 中值滤波基本思想

中值滤波是一种考虑到噪声影响的非线性滤波方法,基本思想是用像素点的邻域内灰度中值,来代替该像素点的灰度值,滤波器的输出可表示为<sup>[12]</sup>:

$$g(x, y) = \underset{(s, t) \in N(x, y)}{\text{median}} \{ f(s, t) \} \quad (3)$$

式中:  $f(s, t)$ ,  $g(x, y)$  分别为原始图像和处理后图像,  $N(x, y)$  是以  $(x, y)$  为中心的  $n \times n$  矩形滤波窗口,输出是将窗内像素点排序后的中间值。中值滤波既可以简单有效的抑制噪声,又能较好的保护边缘细节,具有广泛的应用价值。

## 3 结合霍夫变换的自适应中值滤波

中值滤波算法具有无法回避的缺点:1)作用于整幅图像像素点,滤波效率较低;2)固定尺寸和形状的窗口,造成滤波不彻底或者滤波后图像模糊。

根据卫星云图丢线的分布特点,从以下3个方面进行改进:1)定位丢线位置;2)采集特定方向邻域像素点;3)自适应调整窗口大小:  $3 \times 1, 5 \times 1, 7 \times 1$ 。算法的整体思路为:首先使用霍夫变换对丢线位置进行定位标记,根据丢线的严重程度自适应调整  $n \times 1$  矩形窗口尺寸使用中值滤波对异常数据点进行修复。算法如图1所示。

### 3.1 利用霍夫变换对丢线定位

仅对丢线位置异常数据序列进行处理,正常信号部分不进行处理,这样可以避免高频信号被一起进行平均,使图像的细节信息尽量得到保护。许多研究者,如文献<sup>[13-14]</sup>对于噪点的检测方法进行了总结与改进,但几乎都是基于窗内逐个对像素点进行筛查,运算效率较低。

准确定位出云图中的丢线位置是滤波前非常重要的一步,检测结果的准确性直接影响到最后的修复结果。由于卫星云图中丢线是以直线为单位,因此考虑在提取直线方面更加有优势的霍夫变换进行丢线检测。霍夫变换是检测

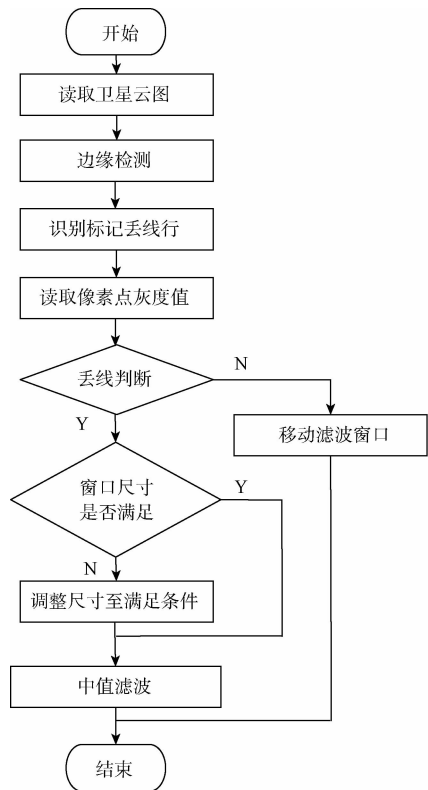


图1 算法流程

图像中直线的一种有效方法,其基本策略是:利用点和线在图像空间及参数空间的对偶性,图像空间上的每个边缘点与参数空间的一条正弦曲线对应,在参数空间的累加器中计数后选出局部峰值,就能得到可能性最高的直线参数<sup>[15-16]</sup>。定位丢线的具体方法为:首先使用检测精度高、运算速度快的 Sobel 算子进行边缘检测,然后通过霍夫变换检测出丢线位置,并进行标记。从图2的定位结果看出,无论整行丢线还是部分丢线,均可实现准确识别。

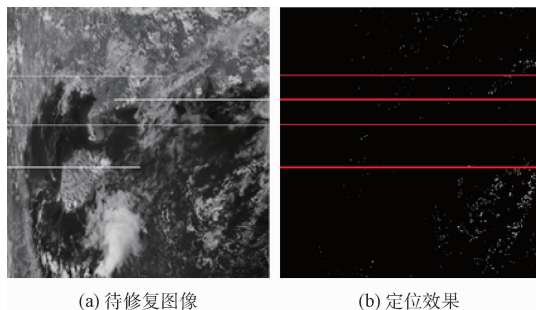


图2 使用霍夫变换对丢线位置进行定位标记

### 3.2 采用 $n \times 1$ 窗口取样

观察卫星云图中丢线的分布特点,将一行数据作为一个确定信号进行参考,行与行的空间相关性非常高。若缩小到像素点的范畴,根据统计发现,像素点与其纵向相邻的像素点相似程度更高。而且水平方向相邻像素几乎都是异

常数据,若将它们的灰度值采集进来会带来很大的偏差。根据图像的相关性,为了保证采集的数据更加准确,修复效果更加贴近原始图像,摒弃传统的  $n \times n$  方形窗口,而是使用  $n \times 1$  长方形窗口进行滤波,即:以异常像素点为中心,只提取垂直方向不包含异常点的  $n-1$  个像素点参与运算。

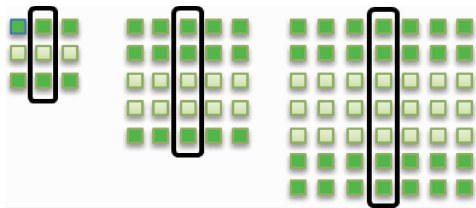


图3 采用  $n \times 1$  窗口取样示意图

### 3.3 自适应窗口尺寸

滤波时的窗口大小对最后修复结果影响较大:若  $n$  取值较大,参与滤波的像素个数较多,虽然可以最大限度的平滑随机误差,但这是以偏差的增加作为代价换取的,会减弱有效信号的高频成分,使图像中的轮廓、细节变得模糊;反之,若  $n$  取得较小,可能对低频的随机起伏滤除效果不明显。因此要在准确把握数据规律,合理确定滤波效果的基础上综合分析选取窗口的大小。

另外,异常数据出现的较为随机,大面积连续丢帧的可能性不大。因此本文采取的具体方法为:对标记出的异常数据点  $x(i, j)$  统计出其  $3 \times 1$  邻域内异常像素点个数  $num(i, j)$ , 根据  $num(i, j)$  的大小自适应选择滑动平均窗口  $w_{inl}$  大小:  $3 \times 1, 5 \times 1, 7 \times 1$ , 详见式(4), 随后在确定后的窗口内进行计算。根据窗内异常数据点的个数自适应调节窗口尺寸进行滤波,在保护云图更多细节的同时,增强了去噪能力,获得更好的修复效果。

$$w_{inl} = \begin{cases} 3 \times 1, num(i, j) = 1 \\ 5 \times 1, num(i, j) = 2 \\ 7 \times 1, num(i, j) > 2 \end{cases} \quad (4)$$

## 4 仿真结果与分析

基于 MATLAB 2014a 平台,使用 FY-3A 卫星的 HRPT 图像,模拟卫星云图上出现异常数据的情况,分别随机加入若干条宽度为 1 像素和 3 像素的空白线段。

### 4.1 仿真结果

使用同一张待修复图像,即图 4(a)、图 6(a),对比 3 种图像修复方法的修复效果。图 4 是采用 3.2 节和 3.3 节思想改进的窗口形状及尺寸的自适应滑动平均的修复效果;图 5 是使用不同迭代次数下的整体变分模型修复卫星云图丢线的修复效果;图 6 是结合霍夫变换的自适应中值滤波的修复效果。

### 4.2 对比与分析

首先以人的主观感受出发评价修复后的图像质量。通过仿真结果看出,图 5(c)和(d)、图 6(b),肉眼几乎看不出

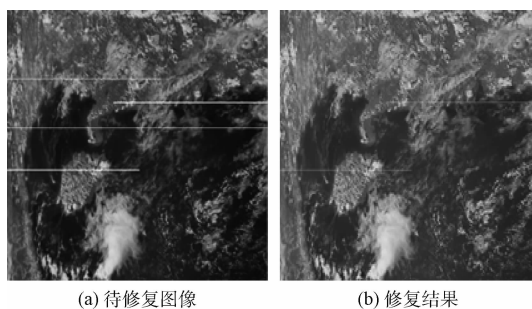


图4 自适应滑动平均修复效果

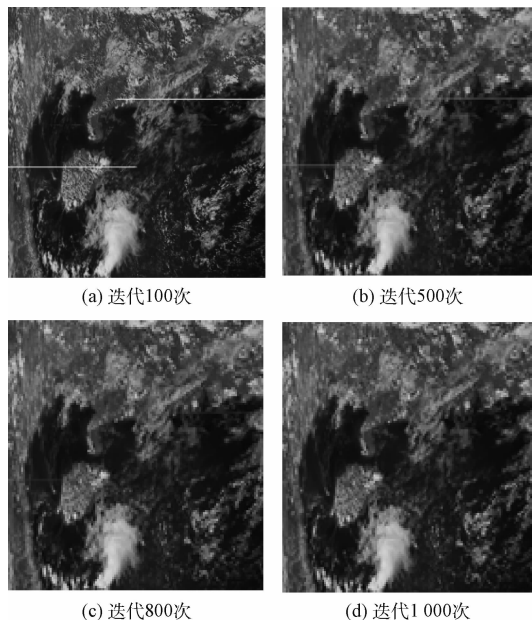


图5 整体变分模型修复效果

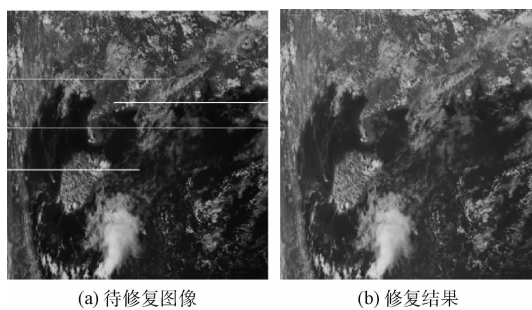


图6 结合霍夫变换自适应中值滤波修复效果

受损云图丢线的痕迹,其他仿真结果均可凭直观依稀辨别出原始的丢线位置。因此,高迭代次数的整体变分模型,和结合霍夫变换的自适应中值滤波这两种修复方法从主观感受判断修复效果更出色。

其次,通过均方误差 MSE 和峰值信噪比 PSNR 这两个客观评价参数比较修复效果,同时参考运行时间。PSNR 越大, MSE 越小,修复效果越好。通过表 1 中 MSE 和 PSNR 的变化看出,整体变分模型迭代 1 000 次时的修

复效果最佳,其次是改进的中值滤波的修复效果。改进的滑动平均的效果介于整体变分迭代 500 次和 800 次之间。从运行时间上看,自适应滑动平均的运行时间最短,其次是改进的中值滤波,整体变分方法随着迭代次数的增加运行时间大大延长。

综上所述,从主观视觉效果、客观评价参数,和运行效率 3 个方面考虑,经过结合霍夫变换的自适应中值滤波修复后的图像,肉眼分辨不出丢线的痕迹,云图的视觉效果得到了很大提高;均方误差迅速下降,峰值信噪比有较大幅度的提升,图像质量得到了明显的改善。由于首先对丢线进行定位,并且只采集特定方向的像素点参与运算,运行效率也更加高效。

表 1 3 种修复方法客观评价参数对比

修复方法	MSE	PSNR	T/s
受损图像	144.13	26.53	\
TV 迭代 100 次	76.02	29.32	11.76
TV 迭代 500 次	16.29	36.01	53.66
TV 迭代 800 次	2.70	43.82	87.62
TV 迭代 1 000 次	1.23	47.22	108.76
自适应滑动平均	7.36	39.46	9.77
改进中值滤波	2.47	44.22	10.86

## 5 结 论

使用霍夫变换对卫星云图丢线进行定位,摒弃传统的方形窗口,充分考虑云图丢线的分布特点,采用  $n \times 1$  形状窗口,并根据窗内异常点个数自适应调整窗口尺寸的中值滤波,针对卫星云图中的丢线对图像进行修复。从卫星云图处理实时性要求高和数据量大的角度出发,该方法在速度和效果上更适合卫星云图的丢线修复。经过修复后的卫星云图完整性和可读性得到了提高,为后端各项分析处理工作打下了基础。

## 参考文献

- [1] 陈健. 卫星云图特征提取与图像显示技术研究及实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
- [2] 来旭, 李国辉, 赵福华. 卫星云图感兴趣区域自动提取方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(30):

230-233.

- [3] 薛俊韬, 刘正光, 王萍. 红外卫星云图的多值自适应分割[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(z3): 2166-2167.
- [4] 张红英, 彭启琮. 数字图像修复技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(1): 1-10.
- [5] 林云莉, 赵俊红, 朱学峰, 等. 改进的 TV 模型图像修复算法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(4): 776-778.
- [6] 裴益轩, 郭民. 滑动平均法的基本原理及应用[J]. 火炮发射与控制学报, 2001, 22(1): 21-23.
- [7] 苏华华, 龚声蓉, 刘纯平. 基于总体变分修复模型的图像编码[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(10): 201-203.
- [8] 邵肖伟, 刘政凯, 宋璧. 一种基于 TV 模型的自适应图像修复算法[J]. 电路与系统学报, 2004, 9(2): 113-117.
- [9] 刘庚龙, 檀结庆. 一种改进的整体变分图像修复方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(7): 194-196.
- [10] 李远茂, 刘桂雄, 曾成刚. 基于 GPS 的室外放射源信息监控系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8): 1244-1254.
- [11] 李源, 祁欣. 高精度电导率远程在线监测系统的研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 139-143.
- [12] 牛敏, 郭战军, 牛燕雄, 等. 一种基于排序统计理论的快速图像中值滤波法[J]. 电子测量技术, 2015, 38(6): 60-63.
- [13] 熊显名, 马蓓, 张文韬. 一种改进的去除灰度图像椒盐噪声方法的研究[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(5): 32-34, 55.
- [14] 严盟, 金聪, 文昌. 一种改进的去除数字图像脉冲噪声方法[J]. 电子测量技术, 2011, 34(12): 39-41, 69.
- [15] 高君, 高鑫, 孙显. 基于几何特征的高分辨率 SAR 图像飞机模板解译方法[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(8): 21-28.
- [16] 赵振兵, 徐磊, 戚银城, 等. 基于 Hough 检测盒 C-V 模型的航拍绝缘子自动协同分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(2): 395-403.

## 作者简介

蔡菲菲, 工程硕士, 工程师, 主要研究方向为卫星云图接收与处理。

E-mail: ff86ff08@sina.com