

全彩色遥感图像空间域三通滤波方法

段爱民*, 高阳#, 杨璐, 王海波

攀枝花学院土木与建筑工程学院, 四川 攀枝花

收稿日期: 2023年6月11日; 录用日期: 2023年7月2日; 发布日期: 2023年7月13日

摘要

针对影响遥感图像的噪声信号, 需要用空间域数字滤波进行去除, 来达到完善遥感图像的目的。传统的单通道空间域滤波器大多都是将遥感图像转化为灰度图像, 再进行空间域滤波, 如果要恢复色彩必须再进行灰度图和原图相对比, 构建反映射函数后才会得到一张彩色图像, 映射后的结果图像已经失真, 为避免这种假彩色图像的产生以及简化滤波流程, 需要运用三通道滤波来直接完成图像滤波过程; 将RGB图像分割为R波段、G波段及B波段使之形成三张图像, 在空间域分别滤波后再将其合并成一张新的图像, 即为三通滤波后的全彩色遥感图像。经过实例论证, 通过运用全彩色遥感图像空间域三通滤波的方法, 处理过后的遥感图像相对于传统单通道滤波方式更加颜色保真、高信噪比, 操作更加便捷。

关键词

遥感图像, 数字滤波, 三通道滤波, 映射函数, RGB波段

Three-Way Filtering Method in Spatial Domain of Full-Color Remote Sensing Image

Aimin Duan*, Yang Gao#, Lu Yang, Haibo Wang

School of Civil and Architecture Engineering, Panzhihua University, Panzhihua Sichuan

Received: Jun. 11th, 2023; accepted: Jul. 2nd, 2023; published: Jul. 13th, 2023

Abstract

In order to improve the remote sensing image, it is necessary to remove the noise signal that af-

*第一作者。

#通讯作者。

fects the remote sensing image by spatial domain digital filtering. Traditional spatial domain filters mostly convert remote sensing images into gray images, and then filter them in spatial domain. If the color is to be restored, the gray image must be compared with the original image, and then a color image will be obtained after the reflection function is constructed. The mapped image has been distorted. In order to avoid the false color image and simplify the filtering process, it is necessary to use three-channel filtering to directly complete the image filtering process. RGB images are divided into R-band, G-band and B-band to form three images, which are filtered separately in the spatial domain and then merged into a new image, which is the full-color remote sensing image after three-way filtering. Through example demonstration, by using the three-channel filtering method in the spatial domain of full-color remote sensing image, compared with the traditional single-channel filtering method, the processed remote sensing image is more color fidelity, high SNR, and more convenient to operate.

Keywords

Remote Sensing Image, Digital Filtering, Three-Channel Filtering, Mapping Function, RGB Band

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于遥感传输介质、记录设备和成像系统不完善,会使图像受到噪声污染[1]。空间域去噪是遥感图像信号增强的主要手段之一,让原本受噪声影响的图像变得更加清晰,更加有利于图像判读。空间域数字滤波技术开始于上世纪中叶,始于1964年美国徘徊者拍摄的月球图像。由于上世纪的传统空间域数字滤波技术方式比较单一,加之对多种图像处理结果也不尽人意,人们在此年间也并未发现更好的滤波技术,由此发展得到了阻碍。之后因为理论模型的建立,多微分方程求解理论建全及小波理论的提出[2]。人们对于空间域数字滤波技术开始由多阶方程进入到一个新的高度之中,数字图像滤波技术逐渐由二维进入到多阶方程混合解算,由单通道逐步上升到多通道混合解算的过程。

传统的单通道图像滤波方法是将RGB彩色图转换为单通道的灰度图进行滤波,若要恢复RGB彩色图,其前提是要利用原图像和灰度图像构建正确的反映射函数,而反映射函数往往具有多解性,不正确的转换会使得彩色图像失真,为避免这一问题,并简化滤波过程,探索保真的全彩色遥感图像空间域三通滤波方法显得尤为必要。

2. 基本概念

2.1. 空间域滤波

空间域滤波就是直接作用在原始图像上进行空间域处理的技术。一般来说,我们将获取的遥感图像通过一个扫描器将原图像转化为数字图像,然后创建一个 $N*N$ 模板窗口从原图像依次扫描并且进行卷积运算,最后再将原图像所形成的图像矩阵通过一个滤波函数而新生成新的图像[3]。

常见的空间域滤波器包括平滑滤波器和锐化滤波器。其中平滑滤波器主要有中值滤波、均值滤波和高斯滤波,锐化滤波主要有拉普拉斯算子、索贝尔算子及罗伯茨算子[4]。平滑滤波主要是用来过滤噪声信息,来增强图像的可视性,而锐化滤波主要是为了强化图像信息,突出边缘信号。

因为空间域滤波的类型非常之多，为规范空间域滤波方式，后文以中值滤波为代表来展现空间域滤波。对于滤波的窗口我们就统一运用 5*5 大小的窗口进行实验。

中值滤波技术是空间域滤波中非线性滤波技术中的一种[5]。他的基本原理是将灰度值的中值来代替窗口内的规定领域内的中间值。具体的操作步骤即先将窗口内的灰度值进行排序处理，再将中间数值输出再代替原来窗口内的数值。

如图 1 所示，计算过程就可以表示为，窗口内有 $f_1f_2f_3\cdots f_n$ (n 为奇数)多个灰度值，那么运用中值滤波即将 $f_1f_2f_3\cdots f_n$ 的灰度值大小进行排序处理最后输出一个 z_i 来代替原中值。表达式即：

$$z_i = Med\{f_1f_2f_3\cdots f_n\}$$

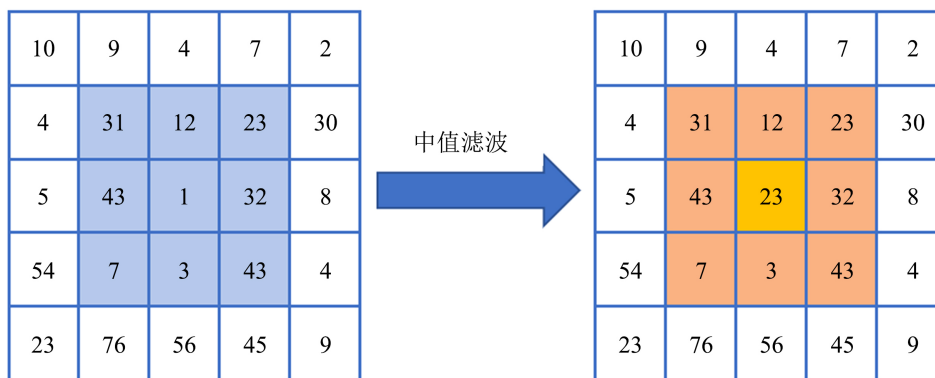


Figure 1. Schematic diagram of filtering operation of the median value

图 1. 中值滤波运算示意图

2.2. 彩色图像和灰度图像转换的不可逆性

日常获取的遥感图像是彩色图像，但是在进行空间域数字滤波处理的过程中需要将彩色图像转化为灰度图像。这是由于全彩色图像是由 R 波段、G 波段及 B 波段三种混合形成的图像，这种图像是三通道，对于三通道图像运用空间域滤波是处理不了的[3]。所以需要将三通道转化为单通道。

其中将彩色图像转化为灰度图像最简单的方法就是平均法，将同一个像素位置的三个通道的 RGB 的值进行平均处理。其中处理公式如下：

$$g(x, y) = \frac{1}{3}g_{R(x,y)} + \frac{1}{3}g_{G(x,y)} + \frac{1}{3}g_{B(x,y)}$$

其中彩色图像转化为灰度图像还有最大最小平均法、加权平均法及二值图像等等方法。但是这些方法都表明了由全彩色图像转化为灰度图像可以直接进行转化，只要我们确定不同波段的转换系数即可。

但是由灰度图像转化为彩色图像就比较困难。这是由于前面转换公式确定了由右至左是多元参数确定单参数的过程，这是一个单解的过程。而由左至右这个过程是确定多元参数的过程这是一个多解的过程。这是伪彩色处理。为了完成这一处理过程我们需要将灰度图像与 R 波段、G 波段及 B 波段三种波段进行一种线性拟合，如果拟合效果不好那么就会造成如图 2 所示的结果(其中左图即灰度图像，右图即伪彩色图像)：

由于灰度值转化为彩色图像是一元参数确定多元参数的过程，如果拟合参数不好就会造成图像的严重失真。由图 2 可以看出天空的蓝色被渲染成了绿色，这是由于我们设置的转换函数并没有拟合。而且经过灰度图像转化为彩色图像这一过程本身就是失真的，不可靠的。除非寻找一种拟合程度高的函数，但无可避免的还是失真的。

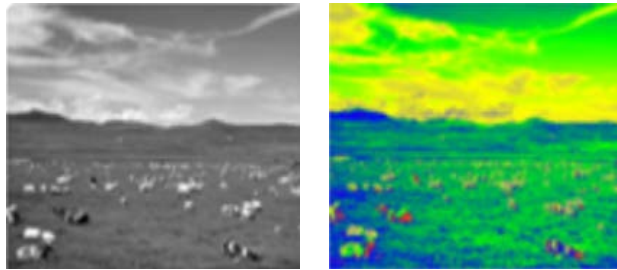


Figure 2. Diagram of false color conversion contrast
图 2. 伪彩色转化对比图

3. 三通滤波方法

相对于传统单通道遥感图像滤波方法，三通滤波方法有着诸多优势。

3.1. 传统单通道遥感图像滤波弊端

MATLAB 上进行传统空间域滤波需要将图像转化为单通道，再在单通道的图像上进行空间域处理，如果要将图像变化为彩色需要进行转换[6]。其方法弊端是：

- ① 这个过程是需要在像素级上操作的，来回转换两次需要一定的时间成本，尤其是转换储存量大的图片就比较费时；
- ② 单通道的灰度图像转换至多通道的彩色图像需要构造映射函数，这是一个值得商榷的问题，因此转换的结果也只能是伪彩色图像。

总之，由于传统单通道遥感图像滤波方法对彩色图像的处理存在种种弊端，所以本次处理将 RGB 图像分为三通道进行滤波最后再将其整合。

3.2. 三通滤波方法

根据上文所述，彩色图像和灰度图像之间的转换既然是不可逆的，那么彩色图像——灰度图像——伪彩色图像的传统单通道遥感图像滤波路线就需要进行优化，如果滤波过程不考虑把三通道彩色图像和单通道灰色图像之间相互转换，而只对 RGB 三通道分别滤波，那么 3.1 节所述问题都会迎刃而解。

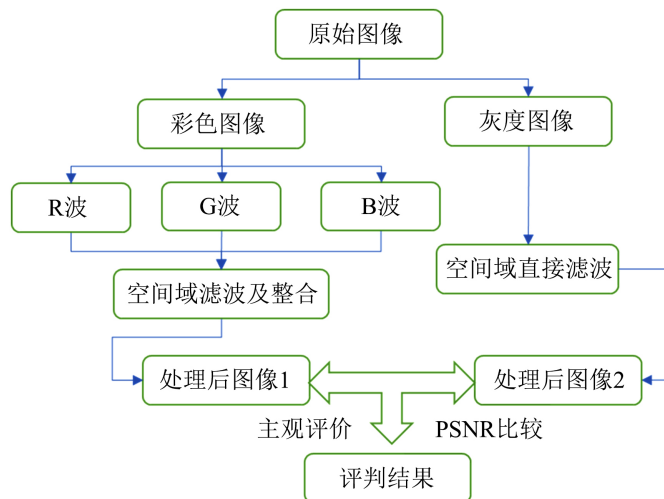


Figure 3. Technical route flow chart
图 3. 技术路线流程图

具体实施过程为:

① 将有噪音的全彩色遥感图像分解为 RGB 三个波段的灰度图,那么一张彩色图片就转变成了 3 张灰度图,自此就完成了从单通道到多通道的正变换;

② 对上一步获得的 RGB 三波段灰度图进行空间域滤波,空间域滤波可尝试均值、中值等多种方法;

③ 将空间域滤波后的图像按照 RGB 三波段灰度图逆变换方法合并成一个新的彩色图。

为探讨三通滤波相对于传统单通道滤波方法的优势所在,需要对传统方式和三通滤波进行对比研究,结合以上具体实施步骤,具体的研究技术路线如图 3 所示。

4. 实例研究

本次实验所选取的数据来自 Landsat 8 OLI_TIRS 卫星数字产品中攀枝花的遥感数据。主要参数如下:

数据标识: LC81300422021043LGN00

中心经度: 101.9268

中心纬度: 25.9863

条带号: 130

行编号: 42

日期: 2021-02-12

4.1. 传统条件进行空间域滤波

由于空间域平滑滤波有很多分类但是大多数都是基于特定算法,并没有规定特定模板,所以我们使用中值滤波来实验。对于滤波的窗口大小我们选择运用 5*5 窗口,因为空间域数值滤波的图像精度会随着图像的窗口的增大而逐渐失真,所以实验中设置窗口太大并没有实际意义,而运用 3*3 滤波则会显窗口太小而滤波过程过于繁琐。

本次进行空间域滤波的源图如图 4 左所示,针对原图像进行传统空间域单通道中值滤波,采用 5*5 窗口处理结果如图 5 所示。

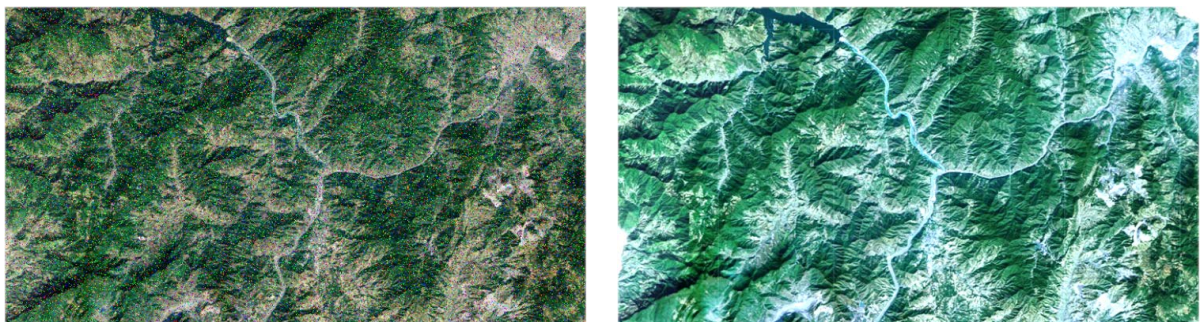


Figure 4. Source color (left) and false color (right) telemetry

图 4. 源彩色(左)及伪彩色(右)遥感图

其中图 5 左是对图 4 进行了灰度处理之后的图像,图 5 右是对左图进行传统的单通道空间域数字滤波之后的图像。从图 5 可以看出传统的单通道空间域滤波处理之后的图像仅仅是黑白的,这对于我们人眼而言是非常不适应。试想发生自然灾害是彩色图像更能够直接反映地物地貌还是灰度图像,结果不言而喻。现对图 5 中的右图进行伪彩色处理(结果见图 4 右),经过伪彩色处理可以大大增强图像的可视化效果,但其地表的颜色已经和真实颜色偏离甚远,不满足遥感图像后期解译的需求。

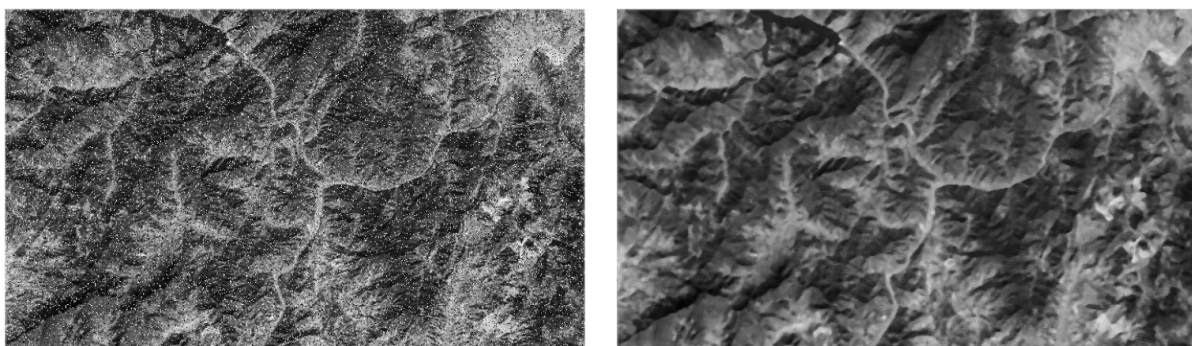


Figure 5. Traditional spatial domain value filtering (left: transformed gray image, right: filtered gray image)

图 5. 传统空间域中值滤波(左: 转化后灰度图, 右: 滤波后灰度图)

4.2. 基于彩色图像进行空间域处理

上面仅考虑了对遥感图像进行传统的空间域数字滤波处理。现在针对彩色遥感图像进行空间域真彩色三通滤波处理。

真彩色图像空间域三通滤波是对原图像中的 RGB 三个不同通道分别进行滤波。其中图 6(a)是对原图的 R 波段进行 5*5 窗口中值滤波, 图 6(b)是对原图像的 G 波段进行 5*5 窗口中值滤波, 图 6(c)是对 B 波段进行 5*5 窗口中值滤波。图 6(d)是对 R 波段、G 波段及 B 波段三个波段进行整合, 从而形成的新彩色图像。从上面可以看出对不同波段进行滤波之后的结果, 以及最后输出的彩色图像(图 6(d))有很好的真视性, 大大优于传统单通道滤波的结果。

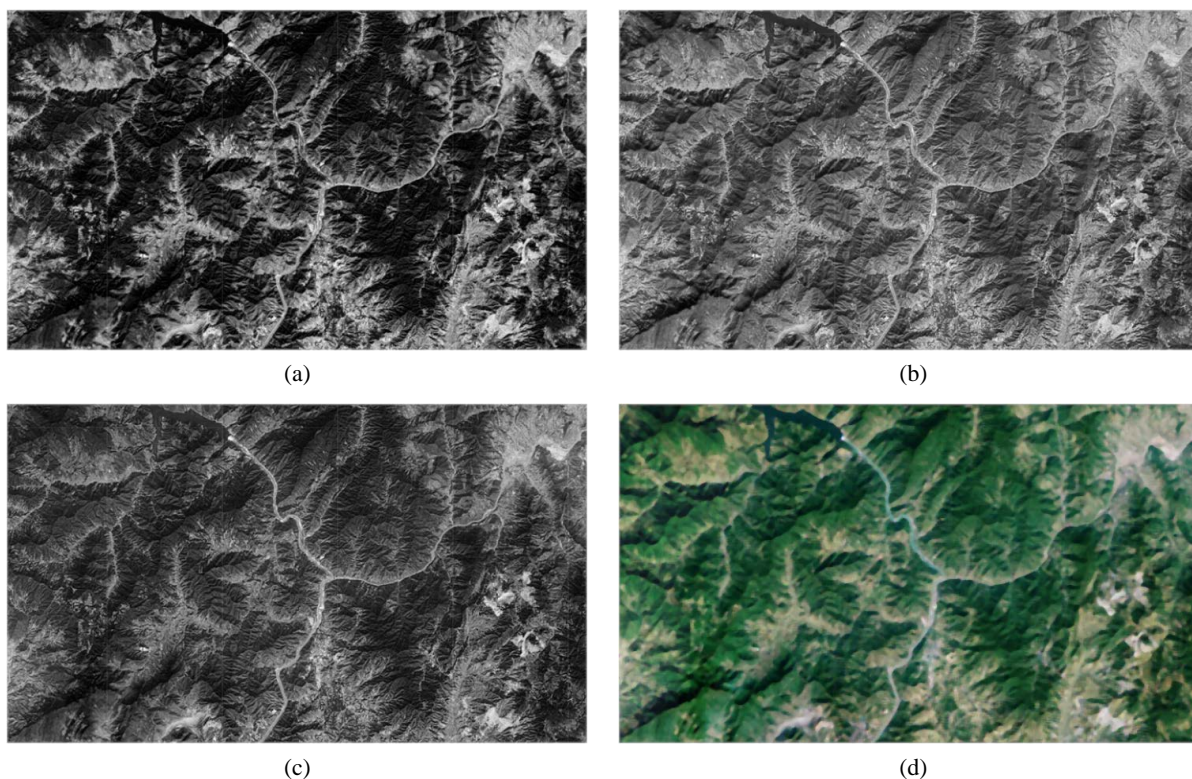


Figure 6. Three-way filtering diagram of color image

图 6. 彩色图像三通滤波示意图

4.3. 两种效果处理分析

由于空间域滤波算法之间存在一些差异问题，所以不同算法处理之后的图像会有一些差别。为说明传统遥感图像空间域和三通滤波之间的区别，现对图 4 右和图 6(d)进行对比分析。

① 三通道滤波噪音程度明显低于单通道滤波：

因为中值滤波过分保护边缘信息，如果边缘中有噪声则单通道中值滤波不能处理，而转换为三通道滤波则没有影响。

如图 7 所示，将单通道的空间域滤波结果边缘部分放大，可以看到，边缘部分的噪音还是比较明显的。

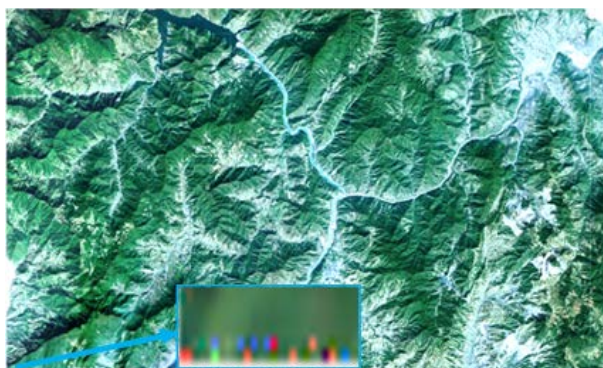


Figure 7. Edge noise of single-channel filtering
图 7. 单通道滤波边缘噪音

② 三通道滤波颜色真视度明显高于单通道滤波：

目视对比两图的效果，会发现颜色差别较大。三通道滤波图像(图 6(d))和地表地物的光谱颜色基本保持一致；单通道滤波伪彩色结果图像(图 4 右)颜色已经彻底失真，尽管采用了比较合适的转换映射关系，如果这个关系不是很拟合，那么效果就会如同图 2，造成图像的颜色严重与现实不符。

目前来说，对于这个映射多解问题没有完美的办法，只能是需要不断尝试才能确定比较合适的映射转换关系。

③ PSNR 量化对比：

为进一步验证三通滤波方法的有效性，可以进行 PSNR 量化对比试验分析，PSNR 一般是用于最大值信号和背景噪音之间的对比。通常是为了衡量经过处理后的影像品质，我们通常会参考 PSNR 值来衡量某个处理程序能否令人满意。对于上面两幅图像进行峰值噪声处理，结果如表 1 所示，可以看出单通道滤波后图像的 PSNR 值为 39.135，而三通道滤波后图像的 PSNR 值为 45.368，运用三通道的方式处理的图像结果会比运用单通道的效果明显要好得多。

Table 1. PSNR comparison chart
表 1. PSNR 对比图

中值滤波	单通道	三通道
PSNR	39.135	45.368
模板	5*5	

为进一步验证以上 PSNR 的对比结果，现就上面两种方法处理的结果图像进行图像减法，将伪彩色图像减去全彩色图像后的图像如图 8 所示。可以看出，减差后的图像上还存在许多彩色像素点，彩色像素点在边缘中尤其突出，这些彩色点实际上是遥感图像的噪音，相对于三通滤波方法，单通道滤波仍然有很多噪音没有消除，三通滤波在噪音衰减方面明显优于单通道滤波。

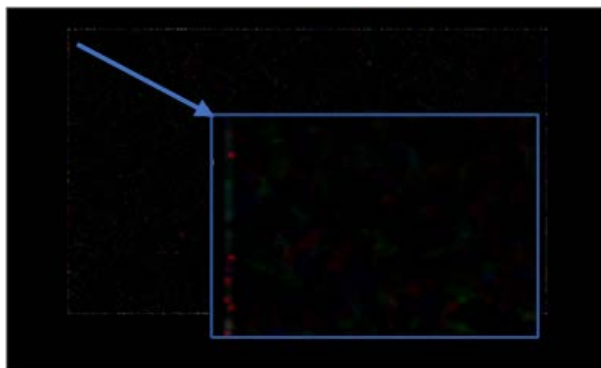


Figure 8. Image subtraction result image

图 8. 图像减法运算结果图像

5. 总结

在分析了传统单通道遥感图像滤波弊端的基础上，实验了三通道全彩色空间域数字滤波之后，可以得出以下结论：

① 传统的单通道滤波在进行彩色图像转化灰度图像再转化为伪彩色图像这一过程中会使得图像颜色失真，在灰度图像转化为伪彩色图像这一过程中必须使得转化的映射关系拟合与彩色转化灰度这一关系，否则其结果就是使得颜色与现实不符，而实际上这种多解性的映射关系基本上完美匹配的；

② 对于彩色图像来说，运用三通滤波可以一体化进行空间域数字滤波，无需构建正反映射函数，节约时间成本，运用这种方法可以较为简便地进行滤波；

③ 相对于传统的单通道滤波，不仅是从视觉感受定性分析还是从 PSNR 量化分析角度来看，三通滤波方法不仅能做到色彩保真，对于去噪后的图像信噪比(PSNR)要优秀得多；

④ 理论方法和实例研究表明，三通滤波方法在性能和效果上表现良好，不仅可用于遥感图像处理，一般图像噪音滤波也大有用武之地[7] [8]。

基金项目

攀枝花学院博士科研启动基金《工程地震数据多模式动态显示软件系统研发》(编号 2020DOCO047)。

参考文献

- [1] 李俊, 张淑玲, 帅晶. 基于 Matlab GUI 界面的数字信号处理辅助教学系统[J]. 信息通信, 2020(8): 283-284.
- [2] 关雪梅. Matlab 图像滤波处理技术研究[J]. 安阳师范学院学报, 2018(25): 37-39.
- [3] 王焯茹. 基于数字图像处理的自动对焦方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [4] 谌志鹏. 数字图像操作历史取证技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [5] 傅筱白, 王婷婷, 苏伟, 等. 一种基于方向纹理特征和卡尔曼滤波的影像道路中心线提取方法[J]. 大测绘科学技术学报, 2018, 35(5): 513-516.

- [6] 贾永红. 数字图像处理混合教学的研究与实践[J]. 测绘通报, 2022(2): 174-176.
<https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2022.0066>
- [7] 徐志文. 遥感数字图像处理与分析方法综述[J]. 福建茶叶, 2020(3): 322.
- [8] 章原发, 张京晶, 高婕. 基于数字滤波的图像去噪方法[J]. 现代计算机, 2020(31): 58-62.