

一种高保真同态滤波遥感影像薄云去除方法

李洪利^{①③}, 沈焕锋^②, 杜博^③, 吴柯^③

(^① 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079;

^② 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079;

^③ 武汉大学计算机学院, 武汉 430079;

^④ 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 武汉 430074)

摘要: 同态滤波是一种常用的遥感影像薄云去除方法, 但传统方法在抑制薄云对应的低频区域时, 会不可避免地改变非云区的辐射信息。本文提出一种高保真遥感影像薄云去除方法, 在同态滤波框架内利用基于区域模板的检测方法进行云区判别, 处理时仅对云区用同态滤波结果进行替换, 无云区则保留原始影像的亮度值。为进一步提高影像的保真度, 影像拉伸处理时进一步剔除了云区对拉伸系数的影响。实验结果表明, 本文方法能够在有效去除薄云的同时保留非云区的辐射信息, 具有高保真特性。

关键词: 同态滤波; 云区判别; 区域模板; 去薄云

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.01.008

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)113-0041-04

A High fidelity Method of Removing Thin Cloud from Remote Sensing Digital Images Based on Homomorphic Filtering

LI Hong li^{①③}, SHEN Huan feng^②, DU Bo^③, WU Ke^③

(^① State Key Laboratory Information Engine Surveying Mapping of Wuhan University, Wuhan, 430079

^② School of Resources and Environmental Sciences of Wuhan University, Wuhan, 430079

^③ Computer School of Wuhan University, Wuhan, 430079

^④ Institute of Geophysics And Geomatics of China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract: The traditional homomorphic filtering frequently used in the cloud removing has effect on the cloud in low-frequency region, but the traditional method used to remove thin cloud in the area of low frequency inevitably changes the region information. This article suggests a high fidelity method of removing thin cloud from digital remote sensing images, which is based on the methods of regional template for the district judge after homomorphic filtering. After filtering only replace the cloud region to the result of homomorphic filtering but our cloud region still keeps the original data. To further enhance the image fidelity, it eliminates the cloud region influence in the further process. The experimental results show that this method can effectively remove thin cloud and keeps the high fidelity.

Key words: homomorphic filtering; district judge; regional template; removing thin cloud

收稿日期: 2010-01-08 修订日期: 2010-02-05

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 973(2009CB723905)、国家自然科学基金 40801182、40971220、农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室基金(RDA 0801)、模式识别国家重点实验室开放课题基金(09-7-1)、南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室开放基金。

作者简介: 李洪利(1986-), 主要研究方向为遥感图像处理。

E mail: shenhf@whu.edu.cn

1 引言

在光学遥感应用中,云覆盖是造成遥感数据缺乏的重要因素之一。它不仅对影像的处理带来诸多困难,而且使后续的影像识别、分类精度难以得到保证,有时甚至无法进行^[1-2]。因此寻求一种有效的预处理方法减少或消除云雾的影响,对遥感影像的准确解译具有十分重要的意义^[3]。

遥感影像薄云去除方法主要分为基于多光谱信息的方法、基于多源/多时相信息的方法和单幅影像去云方法。基于多光谱信息的薄云去除方法,基本思想是利用受云影响较小的谱段对受云影响较大的谱段进行直接或间接的校正,如波段拟合方法、分类-直方图匹配方法^[4]等;此外还有缨帽变换法,但该方法只能获取比原始数据少一个谱段的去云结果,因此不具有普适性。基于多源/多时相信息的薄云去除方法,主要采用同一地区的多时相影像或多源影像对有云覆盖的影像进行替换或影像叠加^[2],该方法需要做严格的影像配准和色调调整处理,并且替换图像往往难于获取。

单幅影像薄云去除方法无需参考数据,直接对影像本身进行处理就可以达到去除薄云的目的,因此具有更强的适用性。其中,直方图匹配去云方法^[2]以影像中非云雾覆盖区的统计特征为参考,通过对云雾覆盖区的直方图进行调整实现去云的目的,该方法的不足之处是假设去云后的区域与非云区具有相同的统计特征,而此条件时常并不满足。文献[3]提出一种基于自适应滤波的薄云去除方法,该方法可以较为有效地去除薄云的影响,但处理后影像整体上比较模糊。

当前,同态滤波仍是最常用的单幅影像薄云去除方法^[1,6-10],该方法对大范围薄云的抑制非常有效,但是,同态滤波方法在抑制薄云对应的低频区域时,会不可避免地改变非云区的辐射信息,为影像的后续应用带来了诸多限制。为此,本文基于同态滤波框架,通过对滤波过程的分析,提出一种高保真遥感影像薄云去除方法,力求在有效去除薄云的同时有效保护非云区原有的辐射特性。

2 传统同态滤波去云方法

一幅影像相当于一个二维函数 $f(x, y)$,该函数可以简化为光源的入射量函数 $f_i(x, y)$ 与地面反射率函数 $f_r(x, y)$ 的乘积,即:

$$f(x, y) = f_i(x, y) \cdot f_r(x, y) \quad (1)$$

薄云范围一般表现为缓慢变化的空间域趋势,在

频率域具有低频特征,可对应为 $f_i(x, y)$ 在空间上变化缓慢,其频谱特性集中在低频部分;而 $f_r(x, y)$ 则描述影像的细节内容,其频率处于高频区域。同态滤波的基本原理是即在频率域削弱光源入射量函数 $f_i(x, y)$ 的成分,同时增强地面反射率函数 $f_r(x, y)$ 的频谱成分,从而削弱薄云的影响。主要步骤如图1所示:

①对图像取对数,使 $f_i(x, y)$ 和 $f_r(x, y)$ 由相乘变为相加关系。

$$\ln f(x, y) = \ln f_i(x, y) + \ln f_r(x, y) \quad (2)$$

②进行傅立叶变换,将影像转换到频率域。

$$F(u, v) = I(u, v) + R(u, v) \quad (3)$$

③在频率域内利用高通滤波器 $H(u, v)$ 进行处理,提取高频成分,抑制低频成分,使占据低频成分

$$H(u, v)F(u, v) = H(u, v)I(u, v) + H(u, v)R(u, v) \quad (4)$$

的云雾分量从影像信息中得以剔除,即:

④对影像进行傅立叶逆变换,转换回空间域。

⑤进行逆对数(指数)处理,并将影像拉伸到原始的亮度范围,得到处理影像 $g(x, y)$ 。

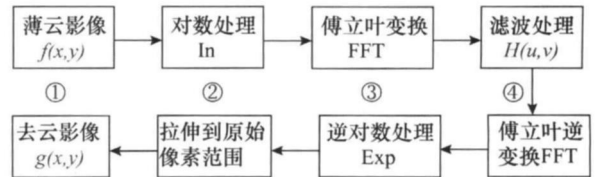


图1 同态滤波处理流程

在同态滤波去云处理中, Butterworth 是一种常用的高通滤波器,其滤波函数为

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + (\sqrt{2} - 1)[D_0/D(u, v)]^{2n}} \quad (5)$$

其中 D_0 是截止频率, $D(u, v)$ 是点 (u, v) 到原点的距离。

3 高保真同态滤波薄云去除方法

同态滤波的去云效果依赖于截止频率的选择,一般情况下,截止频率越大,薄云去除的越彻底,但无云区域信息的丢失也会越加严重^[8-11]。因此,如何在去除薄云的同时保存无云区的信息完整成为去云的重点和难点。另外,传统同态滤波方法在影像拉伸处理时以原始影像的最大值和最小值为参考,没有剔除云区的影响,致使处理影像整体偏亮。有鉴于此,本文分别提出基于区域的像素替换方法和剔除云区影响的拉伸方法,以在去除薄云的同时最大限度地保留原始无云区的辐射信息。

3.1 基于区域的像素替换

在同态滤波的处理中,频率域高通滤波器会增

强图像的高频部分,抑制图像的低频部分,从而使高频信息得到增强,低频信息得到削弱。经过傅里叶逆变换和整体线性拉伸后,高频区域的亮度会有所增加,低频区域的亮度则会有所降低。由于薄云主要对应于影像的低频部分,因此利用频率域高通滤波降低其亮度值也正是同态滤波去云的基本原理。但是,在处理过程中非云区域的亮度值会随之增加,改变了原有的辐射信息。较为简单的处理方法是利用原始影像对处理后影像以灰度值作为判断条件进行逐像素替换^[8]。设原始影像和处理后影像的灰度值分别用 $f(i, j)$ 、 $g(i, j)$ 表示,经过像素替换法处理后的影像用 $F(i, j)$ 表示,则

$$F(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & f(i, j) < g(i, j) \\ g(i, j), & f(i, j) \geq g(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

然而,单像素比较替换法存在一定的不稳定性。虽然理论上处理后云区的亮度会比处理前要低,但由于噪声或处理误差的影响,这种假设并不一定适合所有像素,因此单像素替换法在判断云区时会存在一定的误差,将一些不是薄云的区域判断为云区,结果是改变了部分非云区的辐射特性。因此,本文将云区看作是一个空间连续的区域:除了模糊的边界外,如果某像素确定受云污染,那么它周围的像素很可能也属于云区;反之,如果某像素周围像素都属于云区,那么这个像素就一定属于云区。实际处理时,采用 3×3 的区域模板来判断中心像素是否属于云区,令 $z(i, j) = f(i, j) - g(i, j)$,如图2所示,只有当某像素周围的 $z(i, j)$ 都大于零,才认定中心像素属于云区。云区判定之后,再用公式(6)进行处理,其原理如图3所示。



图2 云区判别示意图

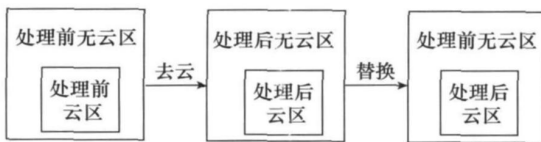


图3 薄云去除原理示意图

3.2 剔除云区影响的拉伸处理

在同态滤波的傅里叶反变换之后,还需要将影像恢复到原有的亮度范围,一般是统计反变换影像与原影像的最大和最小亮度值,然后进行线性拉伸。如果用 a 和 b 分别表示原始影像的最小和最大亮度值,则有 $a = \min(f(x, y))$, $b = \max(f(x, y))$ 。然

而,由于原始影像受云污染的,而一般情况下云区的亮度值会比无云区大,如此选定的影像最大值可能正好处于云区,从而导致拉伸影像(特别是无云区)相对于原始影像偏亮。为了解决这个问题,本文充分利用前面步骤的云区判别结果,在非云区内统计亮度最大值,即 $b = \max(f_{\text{非云区}}(x, y))$,同时对应的 $b = \max(g_{\text{非云区}}(x, y))$,从而剔除云区对拉伸阈值的影响,最大限度的提高影像保真度。为了避免噪声的影响,在实际的处理中,这里的最大值和最小值均采用去除2%之后的统计值。

4 实验结果及评价

利用两组实验对本文方法进行了验证。图4列出了第一组实验的原始影像和结果影像,图4(a)为2002年获取的武汉市多波段TM遥感数据(由波段3、2、1对应于红、绿、蓝进行彩色合成),图4(b)为传统同态滤波去云结果,图4(c)为单像素替换法处理影像,图4(d)为本文方法处理结果。由于原始数据量化值较小,不利用目视判别,本文在显示影像时全部采用了自动对比度拉伸。通过对比可以发现:传统同态滤波方法在去除薄云的同时明显丢失了大量的非云区原有的辐射信息;单像素替换方法和本文方法在保存非云区信息方面明显优于前者,同时本文方法又优于单像素替换方法,在色彩方面更接近原始影像。

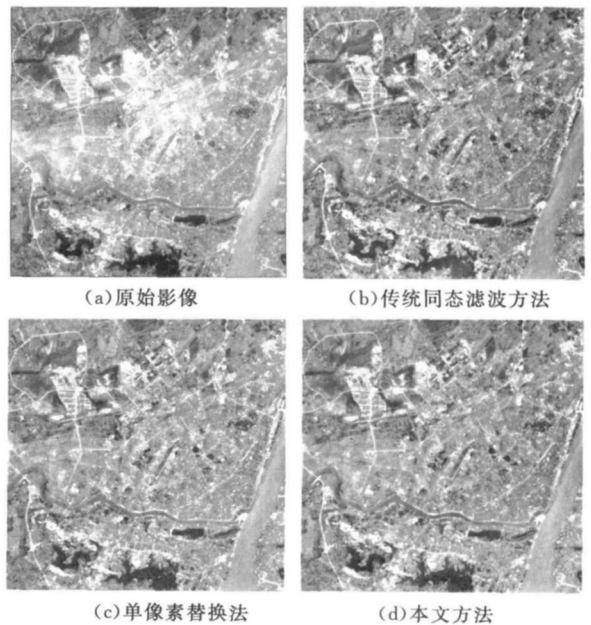


图4 去云结果对比(试验一)

为了定量判定非云区的保真度,定义如下评判因子 R :

$$R = \frac{\sum |f(i, j) - g(i, j)|}{n}, (i, j) \in D_{\text{非云区}} \quad (7)$$

$f(i, j)$ 、 $g(i, j)$ 分别代表原始影像和去云影像的非云区像素, 即计算原影像非云区像素与处理后影像像素之差的平均值, R 的理想值为 0。为了提高评价的可信度, 通过手工选取明显为非云区的样本来进行统计计算, 如图 5 所示, 本实验共选取了 80291 个像素点, 统计结果如表 1 所示。从统计结果可以看出, 本文方法对应的 R 值要远远小于传统的同态滤波方法和单像素替换法, 因此具有更高的保真度。



图 5 非云区样本图(实验一)

表 1 保真度(R)定量评价(实验一)

	传统同态滤波	单像素替换	本文方法
红波段	2.77	0.48	0.20
绿波段	1.12	0.94	0.31
蓝波段	2.33	0.36	0.18

图 6 为实验二的处理结果对比, (a)、(b)、(c)、(d) 分别代表原始影像、传统同态滤波处理结果、单像素替换法处理结果和本文方法处理结果。对非云区保真度的定量评价见表 2(64292 个采样点)。无论从影像的视觉效果还是定量评价结果进行比较, 本文方法都优于传统的同态滤波和单像素替换方法。主要原因在于单像素比较法没有顾及云区的连续性, 因此在处理时存在一定的不稳定性。本文方法不但在替换时考虑了云区的连续性, 还在最后拉伸时进一步剔除了云区对拉伸系数的影响, 因此具有更好的去云效果。

表 2 保真度(R)定量评价(实验二)

	传统同态滤波	单像素替换	本文方法
红波段	3.06	2.01	0.60
绿波段	2.47	0.63	0.11
蓝波段	3.33	0.59	0.06

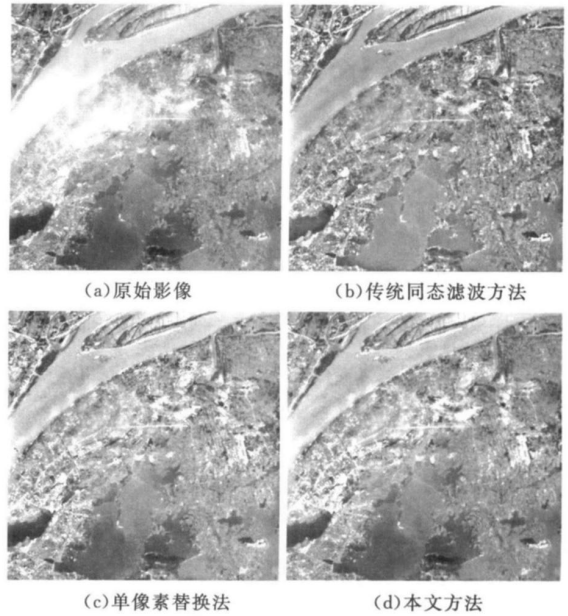


图 6 去云结果对比(实验二)

图 7 分别列出了单像素替换法和本文方法处理结果与原始影像的相减图, 即代表检测的云区。通过对比可以发现, 本文方法比单像素比较法得到的云区更加准确, 如影像右部的中间位置为明显的无云区, 而单像素判定法出现明显的误判, 本文方法则误差较小。同时, 我们也注意到, 在一些匀质的非云区, 如长江区域, 本文方法虽然比前两种方法有较大改进, 但仍存在一定的失真问题, 这源于同态滤波框架的限制, 因此本文方法仍有进一步提升的潜力。

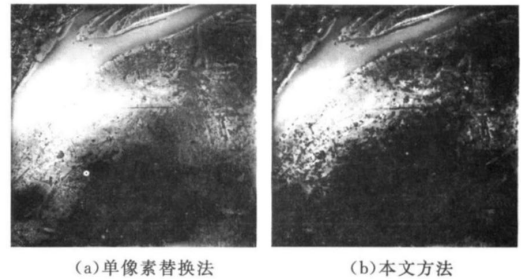


图 7 云区检测结果

5 结束语

本文提出一种高保真薄云去除方法, 利用基于区域的像素替换和剔除云区影响的拉伸处理, 改进了传统同态滤波方法的不足, 能够在去除薄云的同时有效保持非云区原有的辐射信息; 相对于单像素替换方法, 处理后影像在色彩方面更加逼真。下一步工作将考虑波段之间的相关性、匀质非云区的特殊处理等。

(下转第 58 页)

声时,在很好的去除条带的基础上,更好地保留了地物的各方面信息,得到的图像更加清晰,处理效果更优。

4 结束语

本文提出了一种可以对高光谱图像的倾斜条纹进行消除的方法,即基于光谱空间连续性的倾斜条带去除方法,它利用了光谱空间连续性的这一重要特点,在考虑了图像条带噪声的倾斜角度的基础上,对环境减灾小卫星 2 级高光谱数据进行了实验研究。

与相邻列均衡方法对环境减灾小卫星 2 级高

光谱数据其中一个波段的去除条带结果图进行了比较,证明了对于环境减灾小卫星 2 级高光谱数据,该方法具有更好的保留地物信息的特性,更高的处理大量数据的适用性。

基于光谱空间连续性的条带去除方法在基本不损失地物原始信息、不依赖于均匀场景的同时较好地去掉了条带效应,对 2 级数据的倾斜条纹可以直接进行批量处理,一次性得到所有波段的辐射校正系数,可以选择需要的波段进行条带噪声去除。此方法可有效地应用于环境减灾小卫星 2 级高光谱数据的条带噪声去除,并且为图像的进一步定量化应用奠定了基础。

参考文献

- [1] 王昱,张广友,李新涛,徐国栋,吕源. 卫星遥感影像预处理中噪声去除方法的研究[J]. 遥感技术与应用, 2007(6).
- [2] 张兵,张浩,陈正超. 一种基于图像统计量的相对辐射校正算法[J]. 遥感学报, 2006(9).
- [3] Allan Aasbjerg Nielsen. Canonical correlations analysis and multispectral, truly multitemporal remote sensing data[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(3): 293- 305.
- [4] Bisun Datt, Tim R. McVicar, Tom G. Van Niel, David L. B. Jupp. Preprocessing EO-1 Hyperion hyperspectral data to support the application of agricultural indexes[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 41(6): 1246- 1259.
- [5] Giovanni Corsini, Marco Diani, Thomas Walzel. Striping removal in MOSB data[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 38(3): 1439- 1446.
- [6] Huan Lia, Dong Zhang, Ying Zhanga, Yong Xua. Research of image preprocessing methods for EO-1 Hyperion hyperspectral data in tidal flat area[J]. SPIE, 2008.
- [7] Samer L Hijazi. A one year radiometric evaluation of the advanced land imager (ALI) [D]. South Dakota State University: Masters of Science, 2003.
- [8] Gyanesh Chander, Dennis L Helder, Wayne C Boncyk. Landsat 4/5 band 6 relative radiometry [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(1): 206- 210.
- [9] Garcla J C, Moreno J. Removal of Noises in Chr Is/ Proba Images Application to Space Campaign Data [C]//Proc. Of the 2nd Chr Is/ Proba Workshop, ESA/ ESR N. Frascati, Italy, 2004: 28- 30.

(上接第 44 页)

参考文献

- [1] 赵忠明,朱重光. 遥感图像中薄云的去除方法[J]. 环境遥感, 1996, 11(3): 195- 199.
- [2] 刘洋,白俊武. 遥感影像中薄云的去除方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2008, 31(3): 120- 125.
- [3] 贺辉,彭望祿,匡锦瑜. 自适应滤波的高分辨率遥感影像薄云去除算法[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(3): 305- 310.
- [4] Ying Zhang, Bert Guidon, and Josef Cihlar. An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images[J]. Remote Sensing Environment, 2002(82): 173- 187.
- [5] 李刚,杨武年,翁韬. 一种基于同态滤波的遥感图像薄云去除算法[J]. 测绘科学, 2007, 32(3): 191- 192.
- [6] 冯春,马建文,黛芹,陈雪. 一种改进的遥感图像薄云快速去除方法[J]. 国土资源遥感, 2004(4): 1- 3.
- [7] 樊厚春. 遥感图像薄云去除研究[D]. 北京: 中国科学院, 2004.
- [8] 曹爽. 高分辨率遥感影像去云方法研究[D]. 河海大学, 2006.
- [9] 王恒进. 基于小波的遥感图像薄云去除的研究与实现[D]. 西北工业大学, 2002.
- [10] 党安荣,王晓东,陈晓峰. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.