

文章编号: 1007-4619 (2004)01-0023-08

应用小波收缩方法剔除 MODIS 热红外 波段数据条带噪声

杨忠东¹, 张文建¹, 李俊², W. Paul Menzel³, Richard A. Frey²

(1. 中国气象局 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS)
University of Wisconsin-Madison, WI 53706; 3. NOAA/NESDIS, Office of Research and Applications, Madison, WI, USA)

摘 要: 采用多元并扫方式(1km 分辨率 10 元并扫, 500m 分辨率 20 元并扫, 250m 分辨率 40 元并扫)的 MODIS 传感器由于各探测单元在轨响应差异而引起的条带噪声对 MODIS 定量产品的反演计算精度造成一定影响。这种影响在 MODIS 的热红外波段尤其明显。为了尽可能减少这种影响, 提高 MODIS 定量产品反演精度, 提出应用小波收缩方法剔除 MODIS 数据条带噪声。研究首先使用连续小波变换方法分析 MODIS 条带数据, 确定 MODIS 数据条带噪声在小波系数域中的尺度。其次, 在分析条带噪声模式的基础上, 使用小波收缩方法对 MODIS 1B 数据进行噪声剔除计算。最后比较了分别使用噪声剔除前后的两组 MODIS 1B 数据反演得到的部分云和大气定量遥感产品, 结果表明, 使用剔除噪声后的 MODIS 1B 数据反演的定量遥感产品精度具有明显的提高。

关键词: MODIS 数据条带; 小波变换; 剔除噪声

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

中分辨率成像光谱仪(MODIS)是由美国圣巴巴拉遥感中心研制的一台先进的空间对地观测传感器。第一台 MODIS 仪器搭载于美国 1999 年 12 月 18 日发射的地球观测系统(EOS)极地轨道环境遥感卫星 Terra(发射前成为 EOS-AM1), 被称为 EOS 系列卫星的旗舰遥感仪器, 也是 Terra 卫星唯一的一个直接广播遥感数据的仪器^[1]。

MODIS 是采用多元并扫技术进行空间对地观测获取数据的, 其中 1km 分辨率波段 10 元并扫, 500m 分辨率波段 20 元并扫, 250m 分辨率波段 40 元并扫。采用这一技术提高了扫描和数据采集效率, 但同时也存在多个探测单元之间如何保持一致性响应的问题, 特别是卫星发射升空后, 在无法预知的空间电磁环境下, 多个探测单元之间很难达到完全一致的响应水平。因此, MODIS 传感器由于各探测单元在轨响应差

异而引起一定的条带噪声, 特别是 MODIS 波段 33-36 噪声尤为严重, 其中波段 36 和 35 的个别探测单元已经不能达到原来仪器定义的信噪比和噪声等效温差, 波段 34 的 6, 7 和 8 探测单元存在较大噪声, 波段 33 的第 1 个探测单元噪声较大。其余红外和可见波段也存在不同程度的条带噪声, 其中窗区波段一般噪声较小, 而大气探测波段条带噪声比较明显。这种条带噪声对 MODIS 定量产品的反演计算精度造成较大影响。

为了尽可能减少 MODIS 条带噪声影响, 提高遥感定量产品反演精度, 我们提出应用小波变换方法剔除 MODIS 云顶物理特征探测波段 36, 35, 34, 33; 臭氧探测波段 30; 水汽红外探测波段 29, 28, 27; 大气温度探测波段 25, 24, 23 的数据条带噪声。

传统的信噪分离方法是将被噪声干扰的信号通过一个滤波器, 滤掉噪声频率成分, 但对非平稳过程信号, 传统方法存在一定的局限^[2,3]。对于这类信号, 在信噪比较低情况下, 如 MODIS 的波段 36 等,

收稿日期: 2002-06-27; 修订日期: 2002-12-08

基金项目: 美国 NASA 的 IMAPP(The International MODIS/AIRS Processing Package for EOS direct broadcast data)项目(NASA grant NAG5-9389)支持。

作者简介: 杨忠东(1964—), 男, 国家卫星气象中心研究员。1997 年于国家地震局地质研究所获得理学博士学位。2000 年至 2001 年在美国威斯康星大学空间科学工程中心(SSC/CIMSS)从事 Terra-MODIS 数据处理与应用合作研究。现主要从事资源环境遥感应用领域和卫星遥感辐射定标与空间定位领域的研究工作, 已发表论文 10 余篇, 合作出版专著 1 本。

经过滤波处理,不仅信噪比得不到较大改善,而且信号的位置信息也被模糊了。基于小波变换的信噪分离方法利用了小波变换中的变尺度特征对确定信号具有一种集中聚焦的能力。因此能够取得较好的信噪分离效果。

对于信号的不连续性或突变,在传统上是通过对它的傅里叶变换的渐近衰减性进行描述,不能较完整地描述信号在某点不连续性或突变,而小波函数的变焦性和紧缩支持特征提供了描述信号局部变化的能力^[4-6],和传统方法比较有明显的优越之处。使用小波变换方法剔除如 MODIS 红外和可见光遥感数据中造成数据横向不连续的条带噪声的研究并不多见,本文是一种尝试。

2 连续小波变换分析

小波变换就其实质讲是将测量所得到的时域或空域数据通过小波基转换到小波域,也就是将这些时域或空域数据向一系列小波基上进行投影,它包

括离散小波变换(*DWT*)和连续小波变换(*CWT*)。数学上将 *CWT* 定义为整个数据序列上所有位置和尺度下小波变换之和,见式(1),假定在 $t \in [0, 1]$ 上存在函数 $f(t)$,那么它的连续小波变换根据式(1)进行。*CWT* 的结果是小波系数阵,它是尺度因子和位置的函数。

$$Wf(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi^* \left(\frac{t-u}{s} \right) dt \quad (1)$$

式中 u 是位置, s 是尺度因子, ψ 是小波基。

相对于 *DWT*, *CWT* 对数据在空间上的细微变化进行更加详细和连续的探测。不可避免地,这需要更多的 CPU 计算时间,对于数据量较大的遥感图像,完全使用 *CWT* 进行去噪声处理是不现实的。所以我们使用连续小波变换分析寻找 MODIS 条带数据在小波系数域中的尺度因子,而具体的去噪声处理中使用 *DWT*,当然是根据 MODIS 条带数据在小波系数域中的尺度因子大小进行小波收缩剔除条带噪声的。

图1是MODIS波段27沿轨方向接近星下点

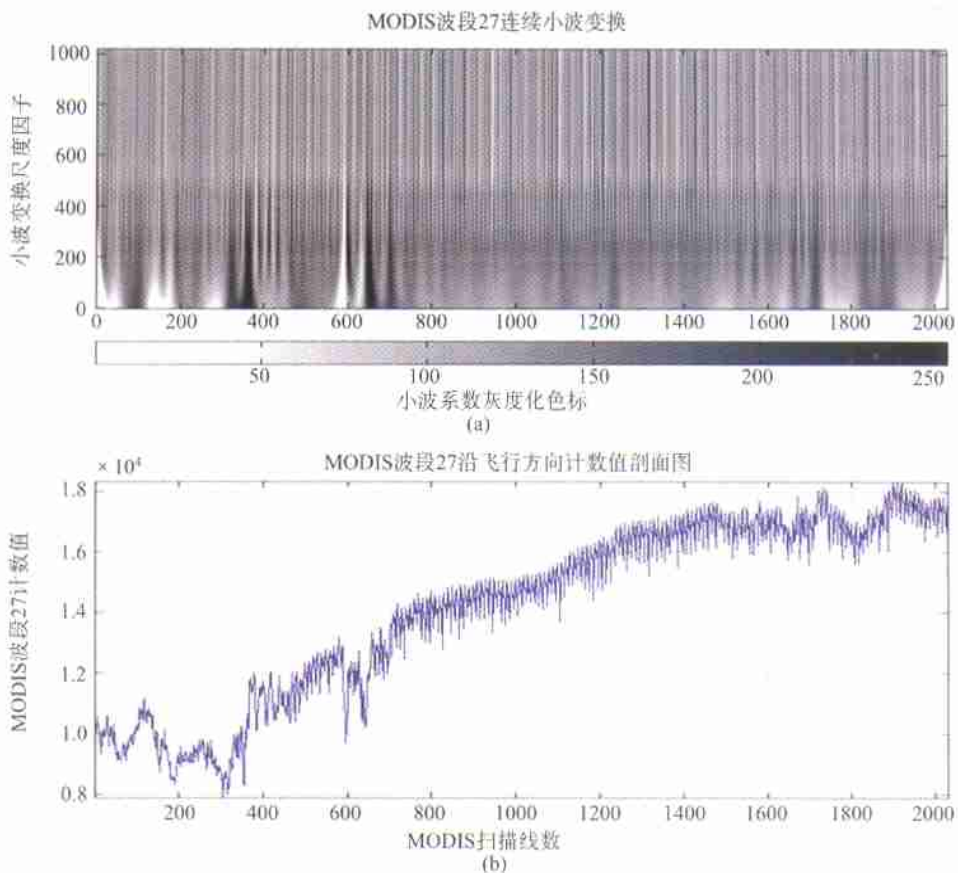


图 1 MODIS 波段 27 数据剖面(沿轨方向)及其连续变换小波系数图

Fig. 1 The profile and it continues wavelet transform of MODIS band 27 digital number

的计数值数据剖面 and 它的连续变换的小波系数图, 图 1(b) 是计数值数据剖面, 其中纵轴是 MODIS 波段 27 的计数值, 横轴是 MODIS 的扫描行计数。图 1(a) 是连续变换小波系数图, 其中纵轴是连续小波变换的尺度因子, 横轴是 MODIS 的扫描行计数, 色表从白到黑表示小波系数由小到大, 其中 0—255 计数标记表示色表的灰度等级。从计数值数据剖面中可以比较清楚地发现上下跳动的条带现象, 而这种条带现象在连续小波系数图中表现为尺度因子在 200—400 之间非常规则小波系数大小变化, 因此可以确定 MODIS 波段 27 的条带噪声在小波系数域的尺度因子在 200—400 之间。在离散小波变换中尺度因子一般选择 2 指数幂, 所以在 200—400 之间选择 8 得到 256 作为 MODIS 波段 27 的条带噪声在小波系数域的尺度因子。使用同样的方法可以得到 MODIS 波段 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 33, 34, 35, 36 的尺度因子幂分别为 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 7, 7, 7。得到各波段条带噪声的尺度因子后就可以应用小波收缩方法剔除这种噪声了。

3 小波收缩方法剔除条带噪声

Donoho 和 Johnstone^[7]提出了利用小波变换去噪声的著名的 3 步法, 本文就是以此法为基础进行 MODIS 的条带噪声剔除处理的。

假定在 $t \in [0, 1]$ 上存在函数 $f(t_i)$, 我们有 n 个数据 $y_i = f(t_i) + \varepsilon_i$, 其中 $n = 2^{J+1}$, $i = 1, 2, \dots, n$, ε_i 是第 i 个数据中的噪声, J 为离散尺度因子, Donoho 和 Johnstone^[7]提出通过如下 3 步恢复 $f(t_i)$ 。

(1) 选择合适的小波基和小波变换参数, 如式 (2) 等, 对数据 $y_i = f(t_i) + \varepsilon_i$ 进行离散小波变换, 将 n 个噪声数据转换为 n 个噪声小波系数 DWT。

$$DWT(\tau_0, s_0) = \frac{1}{\sqrt{s_0}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi \left(\frac{t - k\tau_0 s_0^j}{s_0} \right) dt \quad (2)$$

式中 DWT 是尺度因子为 τ_0 、位置因子为 s_0 时的离散小波变换系数。 k, j 是正整数。 $f(t)$ 是自变量为 t 的信号数据, ψ 是小波基。

实际上, 可以将小波基表示为尺度因子和位置因子的双积变换, 见式 (3)

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - k) \quad (3)$$

综合式 (2) 和 (3), 离散小波变换系数可以表示为

$$C_{j,k} = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \varphi(2^{-j}t - k) dt \quad (4)$$

(2) 选择噪声小波系数阈值, 应用非线性软阈值方法确定噪声小波系数的阈值 $\alpha_{j,k}$ 。关于软阈值方法详见文献 [8]。

(3) 当 $j > L$ 时, 设所有的小波系数 $\alpha_{j,k} = 0$ 。然后进行小波逆变换, 得到剔除噪声后的估计信号 $t \in [0, 1]$ 的 $f^*(t_i)$ 。其中 $L < J+1$, 是小波收缩中需要筛选小波系数的最小尺度因子幂。MODIS 各波段的 L 值已通过前节连续小波变换分析方法获得。

从上述的说明可以发现, 使用小波收缩方法剔除信号噪声首先需要选择合适的小波基及其参数, 其次是选择阈值确定方法和需要筛选小波系数的最小尺度因子。

在信噪分离应用中, 目前常使用的小波基有 Daubechies, Morlet, Meyer 和 Symlets 等, 由于小波基在对称性、正交性和紧缩特性等方面的差异, 在应用中的效果有所不同, 通过反复实验计算和对比分析, 选择的小波基是非对称的、支持紧缩特性的、正交的 Daubechies 小波基, 另外 Daubechies 小波基还有一个支持最大趋零数 (vanishing moments number) 的特点。在本文的 DCT 计算中趋零数选择 20。

在小波变换域对小波系数进行合理的筛选是使用小波收缩方法剔除信号噪声的关键。通常的做法是根据小波系数绝对值大小进行筛选, 小波系数绝对值趋于零说明该小波系数所包含的信息量少而且噪声干扰较强。Donoho^[8]等已经证明这种判断方法具有很好的统计优化特征。小波系数的绝对值是空间变量的一个局部变化测量, 每个小波系数是一个独立的变量, 对于给定的阈值 δ , 所有绝对值小于 δ 的小波系数就被认为是“噪声”, 其值用零替代, 而超过阈值 δ 的小波系数用 δ 缩减后重新取值, 因此, 我们将此法称为小波收缩方法。本文使用“软阈值”方法筛选小波系数值, 详细方法见文献 [8]。

小波系数的筛选并不是对所有尺度因子都进行, 而是仅在某一特定的尺度因子上进行, 即在 $L \sim J+1$ 这一尺度因子范围, 也就是在噪声尺度, 所以噪声的尺度因子也是一个重要的参数。本文通过分析连续小波变换结果后找出了 MODIS 各波段的噪声尺度因子。

图 2 是使用上述方法剔除条带噪声前后 MODIS 波段 27 的计数值图像, 其中图 2(a) 是包含噪声的原始数据, 图 2(b) 是剔除噪声后的数据, 下方的色标由冷色到暖色表示计数值由小变大, 数据大小是 2030×1354 像素。由于受到页面篇幅限制, 图 2 是将 2030×1354 像素抽样到约十分之一后的结果显

示,条带已经不十分显著,即便如此图 2(a)上的 400—600 行之间、1000 行左右、1400—1600 行之间和 2000 行左右还有较为明显条带,这些条带在图 2(b)中已被剔除,并且图像中大体轮廓和反映微小特征的细节仍然保持完好。为了进一步说明本文的结果,将剔除条带噪声前后 MODIS 波段 27 的计数值

图像相减,并取其中目标相对较均匀的 650×400 像素一块按图像原尺寸显示如图 3。从图 3 可以清楚地发现相减后的结果基本是一幅 MODIS 的条带噪声图像,该图十分清晰地显示了 MODIS 波段 27 的 10 行条带噪声模式,下方的色标从黑到白表示噪声计数值由负到正变化。

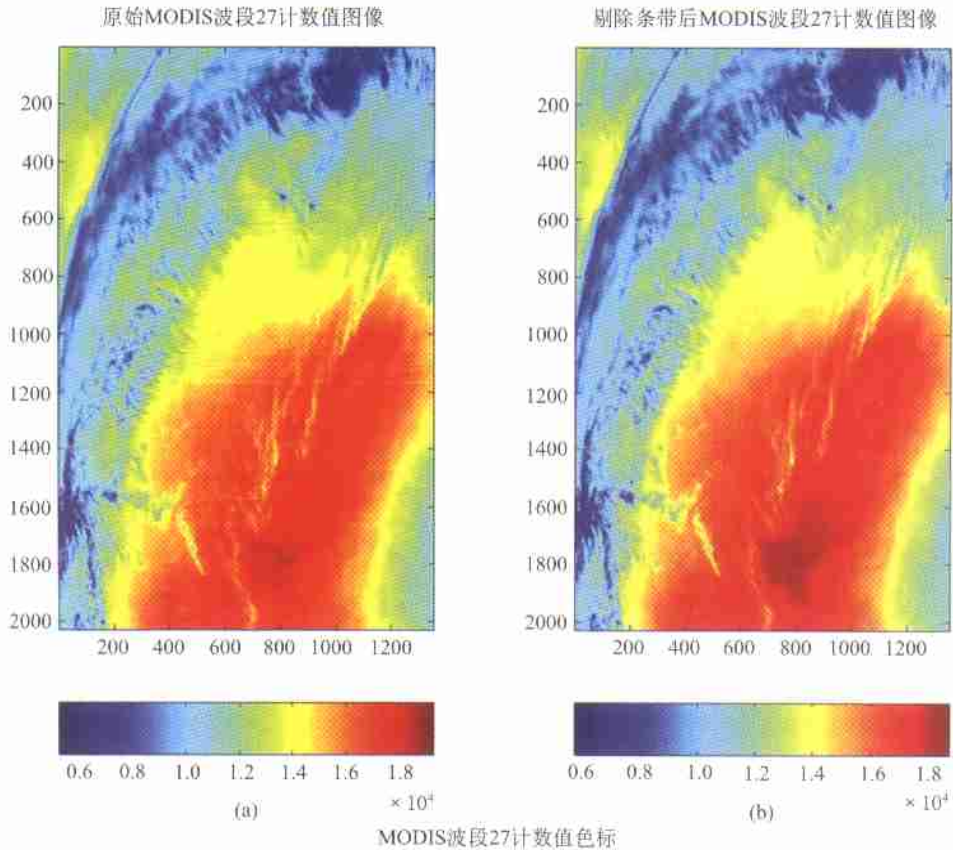


图 2 MODIS 波段 27 噪声剔除前后的计数值图像对比

Fig.2 Original and De-striped MODIS band 27 image

图 4 是图 3 所示 MODIS 波段 27 噪声条带数据的垂直扫描方向剖面 and 分布直方图。从图 4 可以更加清楚地发现 MODIS 波段 27 噪声条带数据空间分布模式,其中剖面图所示不同颜色的曲线是 40 条相邻的剖面曲线,数据均为 MODIS 的 1B 级计数值单位。剖面图横坐标 4 开始依次是 MODIS 波段 27 的第 1 个到第 10 个探测单元,而后不断重复。如剖面中非常规律的 40 条曲线所示 MODIS 波段 27 的第 7,8,9 探测单元和第 5 个探测单元在均匀目标条件下的响应是不一致的,其中第 7,8,9 探测单元计数值约在 0—500 之间变化,第 5 个探测单元计数值约在 0—500 之间变化,其余第 1,2,3,4,6,10 探测单元

响应是一致的,工作状况是正常的。图 4(b)直方图所示结果和剖面图是基本一致的,近似于正态分布,90%以上数据分布于-500—500 之间。本文使用各自的小波参数同时计算了 MODIS 波段 20, 21, 22, 23,24,25,27,28,30,33,34,35,36 的条带噪声,并通过分析得到了它们各自不同的条带噪声分布模式,均不同程度地取得了比较好的效果,鉴于篇幅限制,仅对 MODIS 的波段 27 做出较为详细的分析说明。

我们使用 Matlab 科学计算软件开发环境,开发实现了本文提出的方法,形成了基于 Matlab 的剔除 MODIS 条带噪声的软件模块。该软件模块直接读入 MODIS 的 1B 级(产品标识号为 MOD02)多层次数据

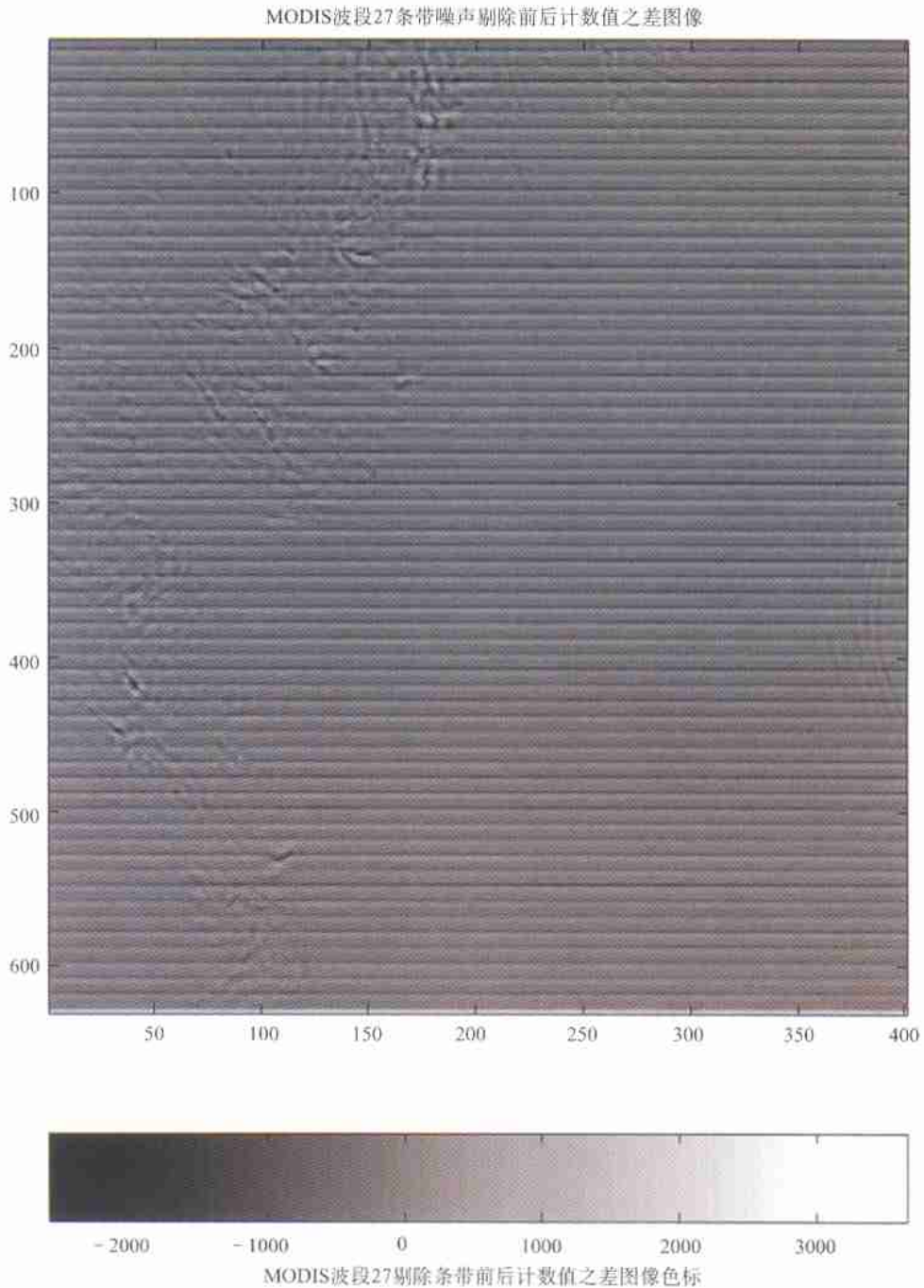


图 3 剔除条带噪声前后的 MODIS 波段 27 计数值相减所得条带噪声图像

Fig. 3 MODIS band 27 stripe noise image

格式文件(HDF),使用小波收缩方法剔除 MODIS 波段 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 33, 34, 35, 36 的条带噪声后,重新写入 MODIS 的 1B 级 MOD02 类的 HDF 文件,形成新的 MODIS 的 1B 级 MOD02 类的 HDF 文件。我们使用该软件计算了南、北两极地区,北非沙漠地区,太平洋和中国西北的戈壁荒漠等下垫面

特征比较典型的多个 MODIS 数据实例,均取得了比较一致结果,这说明本文提出的方法是比较客观的,MODIS 的红外波段条带噪声和观测的目标类型没有十分明显的直接联系。本文的分析实例是西太平洋靠近美国西海岸的一景 MODIS 数据。

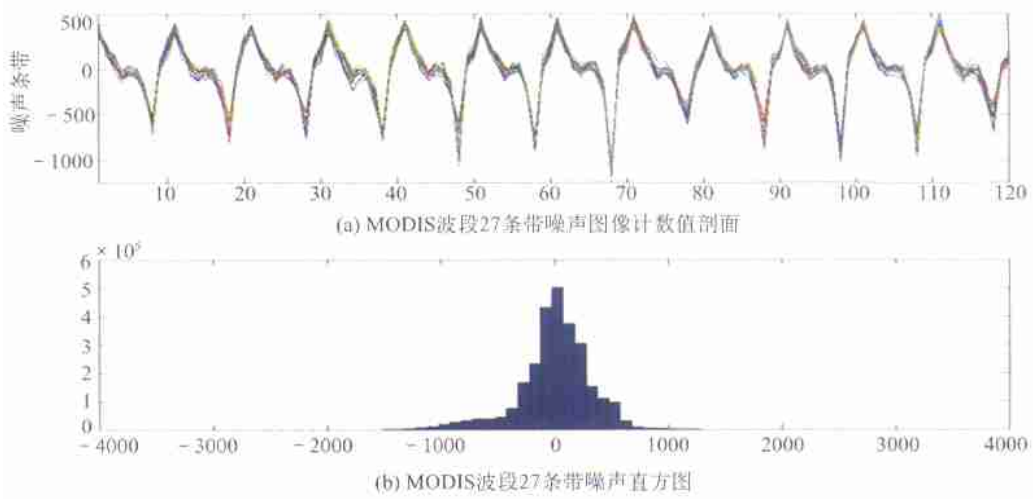


图 4 MODIS 波段 27 条带噪声剖面 and 直方图

Fig. 4 Column profile and data distribution histogram for MODIS band 27 noise stripe

4 定量反演产品比较

为了检验和验证本文结果,我们对分析使用条带噪声剔除前后两组不同的 MODIS 1B 数据反演得到的 MODIS 标准云产品(产品标识号为 MOD06)。MOD06 包括云顶气压、云顶温度、云顶比辐射率和

云顶相态等物理参量,反演 MOD06 所需的输入波段是 36, 35, 34, 33, 27, 28 等 MODIS 红外波段,也是条带噪声比较严重的几个 MODIS 波段。

我们使用美国威斯康星大学开发的 MODIS 标准云产品反演软件分别输入条带噪声剔除前后的两组 MODIS 计算了上述云产品物理参数。图 5 是其中的云顶气压参数,单位是 hPa。MOD06 算法只

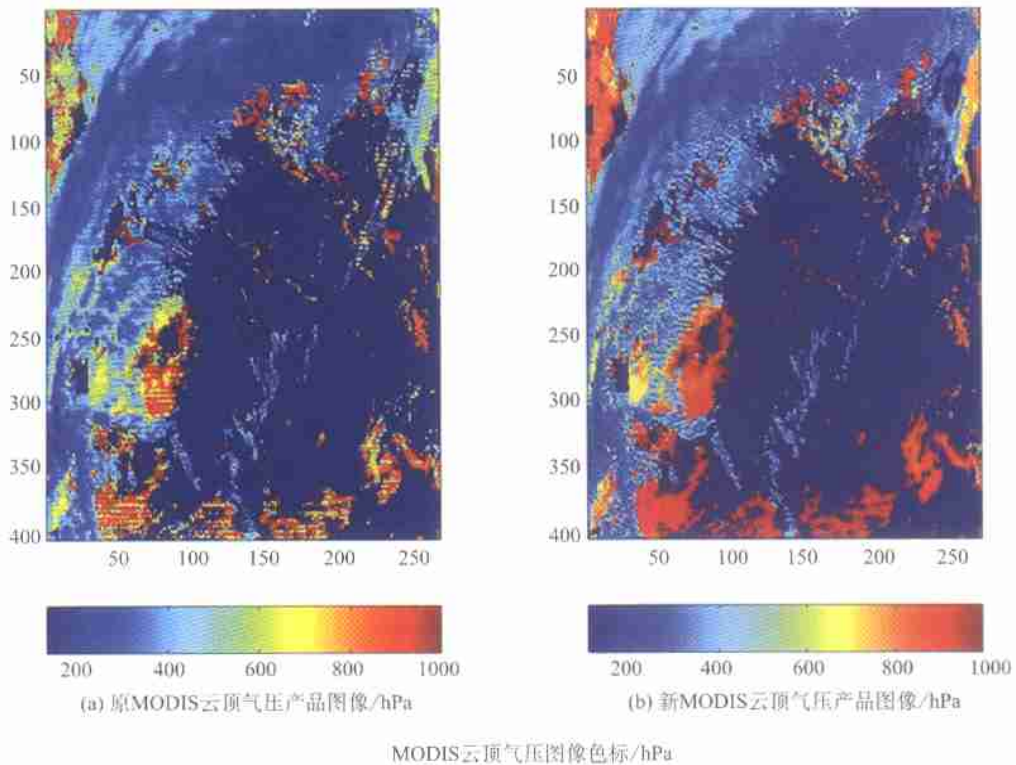


图 5 MODIS 云顶气压反演产品比较

Fig. 5 MODIS cloud top pressure from original MODIS 1B and de-striped MODIS 1B

来自剔除条带前后 1B 数据的 MODIS 云顶气压之差

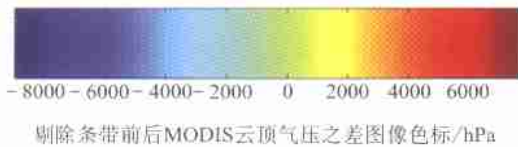
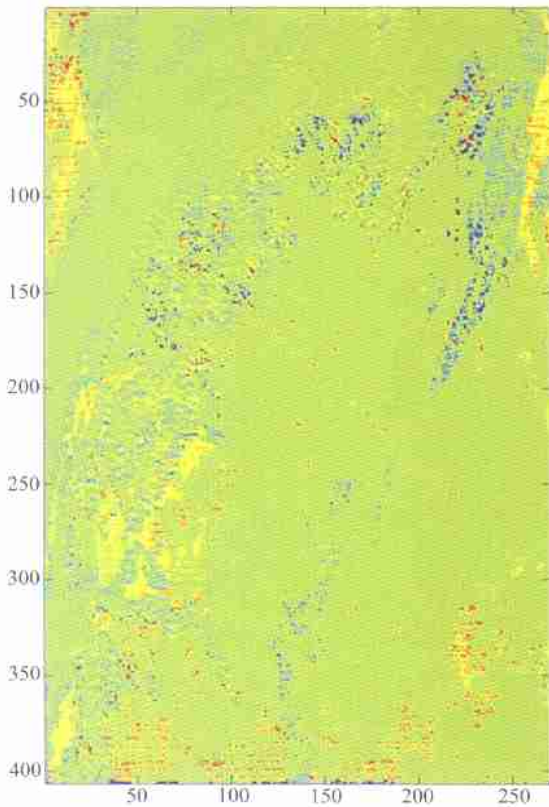


图 6 剔除条带前后 MODIS 云顶气压之差

Fig. 6 The difference of MODIS cloud top pressure from original MODIS 1B and de-striped MODIS 1B

反演有云区域,也就是图 5 中深蓝色以外的区域,其中深蓝色区域是晴空洋面。为了消除噪声影响,在 MODIS 的云产品反演算法中对 MODIS 的 1B 数据进行 5×5 的窗口平均后,每 25 个像素经平均后得到一个像素,然后再进行云物理参数反演。即便如此,从图 5(a)由未经噪声处理的 MODIS 1B 数据反演得到的云顶气压数据图像中我们可以发现明显不符合云物理规律的横向条带,这些空间上呈条带状分布的云物理参数显然是非自然因素造成的,图 5(b)由噪声剔除后的 MODIS 1B 数据反演得到的云顶气压数据图像已经没有了图 5(a)上的条带现象,而且图斑轮廓是基本一致的。从图斑的形态上已经说明了本文结果的合理性。除了在图斑形态上予以分析说明外,我们对这两组数据还进行了基本统计计算分

析,由噪声剔除后的 MODIS 1B 数据反演得到的云顶气压数据的均值和方差分别为 4646.0351, 2399.6630。由未经噪声处理的 MODIS 1B 数据反演得到的云顶气压数据的均值和方差分别为 4787.0469, 2725.3712。我们发现后者的均值略大于前者,这种结果是合理的,因为一些 MOD06 用户在以前的实际应用中都发现 MODIS 的云顶气压参数偏高。后者的方差大于前者,是由于大量条纹存在所导致。图 6 是剔除条纹前后 MODIS 云顶气压之差。从图中可以比较清楚地发现横向条带纹理,特别是在图 6 的底部和顶部左右两侧条纹尤为明显。

我们计算比较了 MODIS 标准云产品 MOD06 和大气产品(产品标识号为 MOD07)。MOD06 包括云顶气压、云顶温度、云顶比辐射率和云顶相态等物理参量,MOD07 包括垂直温度、湿度和压力廓线等大气物理状态参量。经过比较发现使用剔除条带噪声后的 MODIS 1B 数据反演的各物理参量质量都不同程度地取得了相对明显的改善,鉴于篇幅限制,无法逐一说明分析,在此仅举云顶气压一例为代表。

5 讨论和结语

通过本文研究,我们认为使用小波收缩方法剔除 MODIS 1B 数据中红外波段的条带噪声是有效可行的,在很大程度上优于传统的方法,比如傅里叶方法。通过比较分析条带噪声剔除前后的 MODIS 1B 数据,不仅具体形象地证明了本文方法的正确性,而且使我们对 MODIS 各红外探测波段的条带噪声模式及其各个探测单元的工作状态有了比较深入的了解和认识,为较为深入的 MODIS 遥感数据应用奠定了一定的基础。使用剔除条带噪声后的 MODIS 1B 数据反演得到的云物理参数和大气垂直探测遥感产品的质量和精度有了比较明显的改善。

虽然本文提出的方法取得了一定的效果,但是也还存在不少值得讨论之处,有待于进一步改进和提高。首先是在选择小波基方面,主要通过实际计算结果的对比分析择优的方法来确定使用何种小波基。其次,在确定软阈值 δ 中,需要进一步的工作,找出更有效的方法来确定适合不同空间变化性的软阈值 δ ,以便对噪声剔除的结果有更理想的改善。

致谢:本研究在软件开发工作中使用了美国斯坦福大学的 WaveLab802 免费软件,在定量反演产品比较分析过程中与江吉喜研究员进行了非常有益的讨论,在此一并表示感谢。

参 考 文 献 (References)

- [1] Liu Yujie, Yang Zhongdong. MODIS Remote Sensing Information Processing Principle and Algorithm [M]. Beijing: Science Press, 2001. [刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [2] Chen Wufan. Wavelet Analysis—Application in the Image Processing [M], Beijing: Science Press, 2002. [陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.]
- [3] Hong Serntan. Denoising of Noise Speckle in Radar Image. The University of Queensland, Australia, 2001.
- [4] Vladimir R Melnik, *et al.* A Method of Speckle Removal in One-look SAR Images Based on Lee filtering and Wavelet Denoising [A]. Proc. of the IEEE Nordic Signal Processing Symposium (NORSIG2000) [C]. Kolmarden, Sweden, June 2000.
- [5] Guo Xiaofang, *et al.* Removal of Random Noise of Imaging Spectrometer Data Based on Wavelet Analysis [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(3): 183—190. [郭小方等. 基于小波分析的成像光谱图像随机噪声消除 [J]. 遥感学报, 1999, 3(3): 183—190.]
- [6] Cui Jintai. An Introduction to Wavelets [M]. Xi'an Jiaotong University Press, 1995. [崔锦泰. 小波分析导论. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.]
- [7] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal Spatial Adaptation Via Wavelet Shrinkage. Technical Report, Department of Statistics, Stanford University.
- [8] David L Donoho. De-noising by Soft-thresholding. Department of Statistics, Stanford University, 1993.

De-stripping for MODIS Infrared Band Data via Wavelet Shrinkage

YANG Zhong-dong¹, ZHANG Wen-jian¹, LI Jun², W. Paul Menzel³, Richard A. Frey²

(1. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China; 2. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS), University of Wisconsin-Madison, WI 53706, USA; 3. NOAA/NESDIS, Office of Research and Applications, Madison, WI, USA)

Abstract: MODIS method is a sensor to get the data by multi-detector observation, among that 1km resolution waveband needs 10 detectors to scan at the same time, 500m resolution waveband needs 20 detectors, and 250m resolution waveband needs 40 detectors. The adoption of this technology has improved the scanning and data collection efficiency. However, there is a problem of the consistency between so many detectors, especially after the satellite is launched into the space the unexpected electromagnetism environment, it is very difficult to make so many detectors completely consistent. Therefore, the response discrepancy between the detectors will cause certain stripe in MODIS sensor, and the most serious stripe is in MODIS waveband 33—36. Some detectors of waveband 36 and 35 cannot reach the original defined $NE \Delta T$. More stripe appears in the 6th, 7th and 8th detectors of waveband 34, and the 1st detector of waveband 33. Stripe also exists in other infrared waveband and visible waveband; there the stripe of window waveband is usually lower, while the stripe of atmospheric detecting waveband is more serious. This kind of stripe will cause much serious influence to the retrieving precision of MODIS quantitative products.

In order to reduce the influence of MODIS stripe and improve the retrieving precision of remote sensing quantified products as soon as possible, we developed a wavelet analysis method to de-stripe MODIS data. With this method, we remove the stripe of some different wave bands. These are waveband 36, 35, 34 and 33 detecting the physical character of the cloud top, waveband 30 detecting the ozone, waveband 29, 28 and 27 detecting the water vapor, and the waveband 25, 24 and 23 detecting the atmospheric temperature.

We describe a wavelet method for recovery of MODIS data from its stripe signals. Our work is organized into four broad sections. Section 1 will introduce wavelet shrinkage method for de-noising noisy data; compare the character of the wavelet method and the FFT method in de-noising processing. The objective of section 2 to find out the scale of MODIS stripe by the wavelet analysis for MODIS stripe data using continuous wavelet transforms. Section 3 analyses stripe noise data pattern for the MODIS level 1B stripe data, present the wavelet shrinkage method for MODIS level 1B data. Section 4 will provide a comparison for MODIS cloud product and atmospheric profile product between the original data and de-stripped data.

We can find that there is an improvement in MODIS cloud product and atmospheric profile product after de-stripping. And we can get more understanding for the stripe regular pattern.

Key words: MODIS striping; Wavelet; De-stripping