

时序 NDVI 数据集重建综合方法研究

李杭燕¹, 马明国², 谭俊磊²

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 73000)

摘要:时序 NDVI 数据集已经成功地应用于全球与区域环境变化、植被动态变化、土地覆盖变化和植物生物物理量参数反演等多方面的研究。时序 NDVI 数据集受到云和气溶胶等大气条件和传感器自身等因素的影响包含很多噪声,影响了其进一步的应用。基于对近几年来普遍使用的 5 种重建方法的对比分析结果,发展了基于标准差权重和噪声点性质的两种综合方法。以黑河流域 2009 年 16 d 最大值合成的 MODIS NDVI 数据为例,对比了两种综合方法与 5 种重建方法的效果;并用 2009 年 5 月下旬至 8 月上旬的地面实测 NDVI 数据验证了两种综合方法的重建效果。结果表明这两种综合方法的效果都优于对比的 5 种重建方法,它们既保留了原始数据中大部分的点,又最大限度地修正了噪声点,所生产的时序 NDVI 数据集,可以更好地用来开展全球与区域土地覆盖和植被动态变化监测等研究。

关 键 词:NDVI;MODIS NDVI;时间序列数据集;重建;综合方法

中图分类号:TP 75 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2010)06-0891-06

1 引 言

归一化差异植被指数(NDVI)作为植被生长状态和植被覆盖度的最佳指示因子,在植被指数中占有重要的位置^[1]。随着遥感卫星长时间序列观测资料的获取,许多国际组织和机构制定了全球卫星数据接收、处理和生成数据集计划,时序 NDVI 数据集的产生极大地促进了全球尺度、洲际尺度以及区域尺度上的植被动态变化监测研究,已被广泛地应用在全球与区域土地覆盖变化监测、植被动态变化监测、叶面积指数等植物生物物理量参数反演以及净第一性植被生产力研究等许多方面^[2]。

时序 NDVI 数据集虽然经过严格的预处理,但由于受到云和气溶胶等大气条件和传感器自身等因素的影响,残留很多噪声,影响了数据集的使用^[3-4]。因此国内外学者相继提出了很多时序 NDVI 数据集的重建方法,例如:最佳指数斜率提取法^[5-6]、均值迭代滤波法^[7]、傅立叶变换法^[8]、Savitzky-Golay 滤波法(SG)^[9]、非对称高斯拟合法^[10]、小波分析法^[11]

以及双 logistic 函数拟合法^[12]等。但是对于各种重建方法的质量比较却很少,随着时序 NDVI 数据集在分析气候变化等研究中变得日益重要,因此更需要对各个重建方法进行质量比较,从而提出更优化的方法,为各种研究提供更为可靠的时序数据集。

Van Dijk^[13]等对比了 6 种重建方法,包括:傅立叶变换法、均值迭代滤波法、中值迭代滤波、多项式最小二乘法、“4253H, twice”和“3RSSH, twice”拟合法。对比结果发现“4253H, twice”方法效果最好。而均值和中值迭代滤波法将会改变局部最大值或最小值的时间;多项式和傅立叶方法只是确定了曲线的一般形状。Jennifer^[14]等综合均方根和各个物候因子的相对误差的评价指数定量比较了 6 种重建算法,揭示了双 logistic 函数拟合法和非对称高斯函数拟合法优于其它 4 种方法。曹云锋^[15]等探讨了 3 种重建算法对原始高质量数据保真性的差异,发现非对称高斯函数拟合法对原始高质量数据保真性最高,双 logistic 函数拟合法性能次之,SG 滤波法保真性较差。

收稿日期:2010-07-15;修订日期:2010-10-02

基金项目:国家 973 计划项目(2009CB421305)、中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2-XB2-09-03)和中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(CACX 0728501001)联合资助。

作者简介:李杭燕(1985—),女,硕士,助理工程师,主要从事生态遥感研究。E-mail:lihany03@lzu.cn。

作者根据上一篇文章中对改进的最佳指数斜率提取法(改进的 BISE)、均值迭代滤波法(MVI)、Savitzky-Golay 滤波法(SG)、时间序列谐波分析法(HANTS)和非对称高斯函数拟合法(AG)5 种重建方法比较的结果^[16],提出了两种综合方法,并通过像元水平的比较和实测数据验证两方面,对两种方法分别进行了定性和定量的比较。

2 方法介绍

为了最大限度地去除噪声,同时最大限度地保留原数据中无噪声像元的真实值,作者提出了基于标准差权重和基于单个噪声点性质的两种综合方法。

2.1 综合方法一的设计

综合方法一基于标准差权重,其具体思想是:首先计算序列中每个点的修正概率,即每个点被 5 种重建算法修正的几率大小,修正概率越大表示这个点是噪声点的几率越大,当修正概率大于设定的某个阈值时,该点就被确定为噪声点。本文在具体计算中,只有当重建值与原始观测值相差大于 0.01 时,该点视为被修正。阈值设定为 50%,即只要其中 3 种方法修正了该点的值,则该点被认为是噪声点。最后将确定的噪声点用 5 种方法的加权平均值代替。具体公式为:

$$x^{\text{new}} = \sum_{i=1}^5 \omega_i \times x_i \quad (1)$$

其中: x_i 为第 i 种重建方法的 NDVI 值, ω_i 为对应的权重。假设第 i 种方法的标准差为 S_i ,而标准差越小表示该方法重建的效果越好,则可以令:

$$\omega_i = (S - S_i) / 4S, S = S_1 + S_2 + \dots + S_5 \quad (2)$$

标准差 S 可以用以下公式计算,式中 n 为数据长度, x_i 为重建之后的 NDVI, x_0 为真实的 NDVI。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}{n}} \quad (3)$$

2.2 综合方法二的设计

综合方法二基于噪声点的性质,通过对各个方法的分析结果,决定具体用哪种方法来修正噪声点^[16]。噪声点的判断跟方法一相同,其具体步骤为:

- (1) 计算修正概率,判断该点是否为噪声点。
- (2) 判断噪声点是异常低值还是异常高值。
- (3) 判断该噪声点是连续的还是离散的。

(4) 根据对 5 种重建方法的分析结果,MVI、改进的 BISE、SG 滤波和 AG 拟合 4 个方法对异常低值的修正效果都较好,假设该噪声点是离散的低值

点,则用上述 4 个方法的平均值修正;AG 拟合法对连续的异常低值修正效果较好,所以对于连续的低值点,用 AG 拟合法修正;同理,假设是离散的异常高值点,用 MVI 方法来修正;对于连续的异常高值点,则用 HANTS 方法来修正;对于连续的异常低值—异常高值部分,用 MVI 方法修正。

3 结果和分析

3.1 重建结果比较

本文采用的实例数据是黑河流域($97^{\circ} \sim 102^{\circ}30' E, 37^{\circ} \sim 43^{\circ}N$)2009 年 16 d 最大值合成的 MODIS NDVI 数据产品,空间分辨率为 250 m,时间序列编号为 1~23,1 代表第 1~16 d,2 代表第 17~32 d,依此类推,23 代表第 353~365 d。黑河流域范围内主要的土地类型有:耕地、林地、草地、荒漠和水体。利用黑河流域的土地利用类型图,本文随机选取了耕地、林地、草地和裸地 4 种不同典型土地类型的像元,对两种综合方法与 5 种重建方法予以比较。图 1 是原始 NDVI 时间序列曲线与各方法重建之后的对比图。

从图 1 可以看出,两种综合方法的处理效果都较好,它们保留了原始序列中大部分点的值,又最大限度地修正了噪声点。序列中的异常低值部分,如图 1(a)、1(c)和 1(d)中明显的突降点,两种方法都能完全识别,修正效果很好。对异常高值点的修正,方法一虽然比改进的 BISE、SG 滤波效果好,但还是不能完全满足要求,而方法二对异常高值的修正效果优于方法一,见图 1(b)和 1(e)。对于连续的异常低值部分,两种综合方法的修正效果均较好,如图 1(b)。总体来看,两种综合方法比 5 种重建方法效果要好。

3.2 实测数据验证

与 5 种重建方法比较之外,本文还利用地面实测的数据来评价两种综合方法。作者在黑河流域范围内选取了耕地、草地和荒漠 3 种类型共 8 个样地,分别为:张掖绿洲的小满玉米地;民乐绿洲的三堡小麦地、永固小麦地、南丰油菜地;祁连山北麓的扁都口大麦地、扁都口草地;祁连山南麓的俄堡草地;安阳滩荒漠地。本文使用 SKL 904 SpectroSense2 仪器测量 NDVI,测量 NDVI 的时间间隔为 10 d,尽量选择晴朗、无云、无风或微风天气,时间为上午 10 点至下午 3 点,以此获取的 NDVI 可作为周期内最大的 NDVI。采样时间从 2009 年 5 月下旬至 8 月上旬,共 6 组数据。各样地的 NDVI 值见表 1。

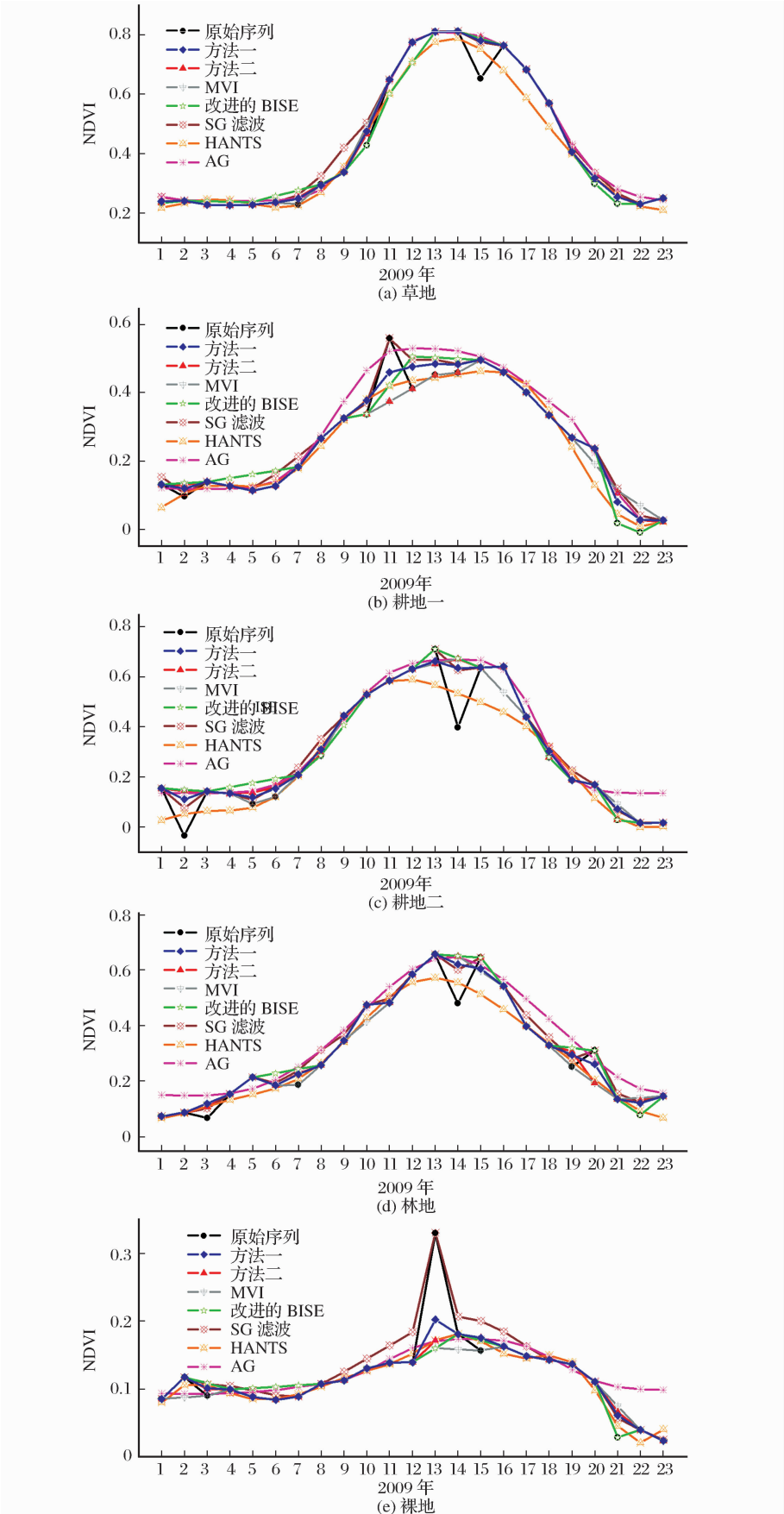


图 1 两种综合方法与 5 种重建方法的对比图

Fig. 1 Comparison of the two integrated methods and five reconstructing methods

表 1 8 个样地的实测 NDVI 值

Table 1 In-suit measured NDVI data of 8 different sample plots

地名(坐标)	日期					
	5-25	6-6	6-14	7-11	7-26	8-6
俄堡草地(100°56'1"E,37°57'7"N)	0.515	0.638	0.784	0.847	0.875	0.843
扁都口草地(100°58'8"E,38°13'3"N)	0.565	0.654	0.734	0.845	0.782	0.750
扁都口大麦地(100°57'3"E,38°13'5"N)	0.707	0.820	0.893	0.903	0.826	0.739
南丰油菜地(100°54'7"E,38°16'9"N)	0.323	0.348	0.408	0.821	0.777	0.859
永固小麦地(100°52'7"E,38°20'5"N)	0.748	0.861	0.911	0.901	0.874	0.850
三堡小麦地(100°47'1"E,38°34'1"N)	0.904	0.914	0.918	0.838	0.448	0.370
小满玉米地(100°23'0"E,38°48'9"N)	0.366	0.554	0.793	0.909	0.900	0.903
安阳滩荒漠(100°24'1"E,38°43'6"N)	0.316	0.313	0.321	0.334	0.298	0.319

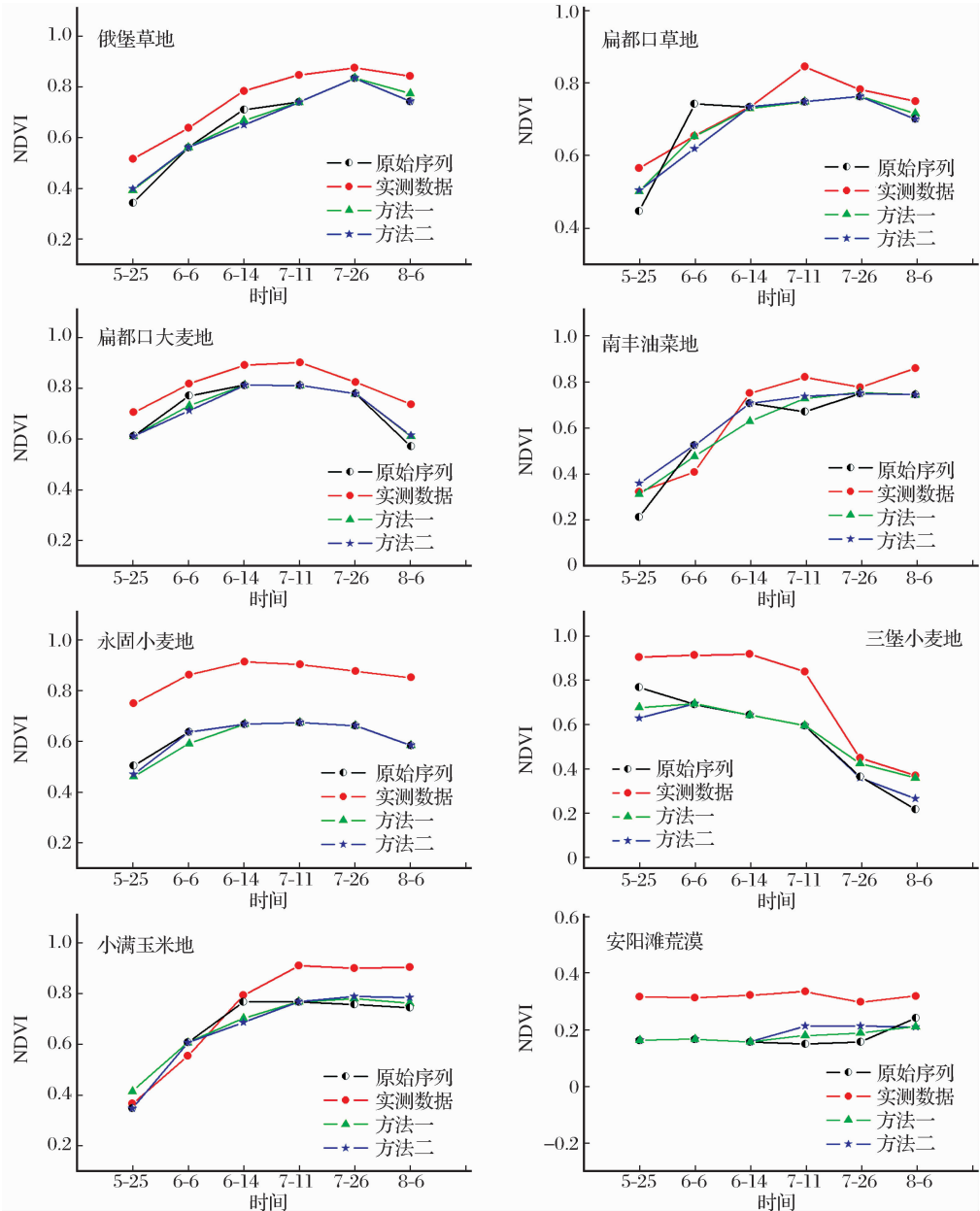


图 2 综合方法与实测 NDVI 序列曲线对比

Fig. 2 NDVI time series comparison of two integrated methods and in-suit measured data

将两种综合方法降噪处理后的序列与实测数据序列相比较,如图 2 所示,可以发现两种方式的综合方法重建得到的曲线与实测数据的曲线趋势在大部分样地情况下都一致,重建效果较好。俄堡草地、扁都口大麦地、永固小麦地和小满玉米地 4 幅图中,两种综合方法结果相似,只有细微的差别,重建效果都很好;扁都口草地图中可以看出,对于连续的异常低值一异常高值,两者修正的效果都很好。从南丰油菜地图中可以看出,方法二比方法一保留了更多原始的正常值。三堡麦地 7 月份至 8 月份是大小麦成熟至收割的时期,NDVI 值突降较快,从三堡麦地图可以看出,方法一不能很好地识别因收割引起的正常低值,而方法二能识别这类情况的正常低值。对于生长周期不明显的安阳滩荒漠图,两种综合方法的修正效果都较好。总体来说,方法二比方法一最大的优点是能避免 5 种重建算法因修正噪声点而改变原始正常点的情况。

从实测值和遥感观测值比较来看,多数样点的

实测值高于遥感观测的 NDVI 值。MODIS 和 SpectroSense2 仪器红光和近红外波段范围大致相同,导致这个偏差的原因可能是实例数据的空间分辨率是 250 m,在这个像元尺度下,会有道路、田埂和小水沟等混合信息,导致遥感观测到 NDVI 值偏低。仪器测得本身是一个点,一个点的 NDVI 要代表一个面可能会忽视植被本身的覆盖不均匀。

另外,我们还通过计算相关系数来对比这 7 种重建方法。表 2 是计算得到的综合方法与实测数据之间的相关系数。除安阳滩荒漠外,另外 7 个样地的相关系数,两种综合方法都接近 1,表明综合方法结合了各个重建算法的优点,重建效果很好,重建得到的数据更能满足使用的需要。两种方法相关系数的平均基本相同。安阳滩荒漠 5 月至 7 月 NDVI 值基本不变,而在 7 月下旬和 8 月上旬,天气以多云为主,该时期内测得的 NDVI 偏低,以至于该样地的实测 NDVI 呈下降趋势,因此安阳滩荒漠的相关系数很小。

表 2 两种综合方法与 5 种重建方法的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of two integrated methods and five reconstructing methods

	俄堡 草地	扁都口 草地	扁都口 大麦地	南丰 油菜地	永固 小麦地	三堡 小麦地	小满 玉米地	安阳滩 荒漠	平均值 (除安阳滩)
方法一	0.9853	0.9282	0.9689	0.9647	0.9726	0.9853	0.9826	-0.1161	0.9696
方法二	0.9793	0.9426	0.9667	0.9688	0.9733	0.9902	0.9691	-0.0186	0.9700
MVI	0.9904	0.9646	0.9288	0.9721	0.9690	0.9545	0.9856	-0.1750	0.9664
BISE	0.9838	0.9325	0.9613	0.9454	0.9489	0.9879	0.9864	-0.1001	0.9637
SG	0.9974	0.8391	0.9594	0.9715	0.9681	0.9514	0.9872	-0.0756	0.9534
HANTS	0.9853	0.9633	0.9975	0.9504	0.9466	0.9505	0.9826	-0.0803	0.9680
AG	0.9967	0.8846	0.9379	0.9671	0.9712	0.9578	0.9927	0.0696	0.9583

4 结 语

本文提出的基于标准差权重和基于噪声点性质的两种综合方法重建效果均优于 MVI 等 5 种重建方法,它们保留了原始序列中大部分的点,又最大限度地修正了噪声点,能识别序列中所有的异常值,修正效果也较好。通过这两种方法生产得到的时间序列 NDVI 数据集,结合了 MVI 等 5 种重建方法的优势,完全可以用来开展全球与区域土地覆盖变化监测、植被动态变化监测等研究。基于噪声点性质的综合方法优于基于标准差权重的综合方法,前者能很好地修正连续的异常值,并且能避免一般重建算法因修正噪声点而改变原始正常点的情况。而后者相对于前者,更易于实现。

参考文献(References):

[1] Zhao Yingshi. The Theory and Technology of Remote Sensing Application[M]. Beijing: Science Press, 2003. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]

[2] Ma Mingguo, Wang Jian, Wang Xuemei. Advance in the Interannual Variability of Vegetation and Its Relation to Climate based on Remote Sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(3): 421-431. [马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 421-431.]

[3] Carreiras J, Pereira J, Shimabukuro Y, et al. Evaluation of Compositing Algorithms over the Brazilian Amazon Using SPOT-4 VEGETATION Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(17): 3427-3440.

[4] Kobayashi H, Dye D. Atmospheric Conditions for Monitoring the Long-term Dynamics in the Amazon Using Normalized

- Difference Vegetation Index[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(4): 519-525.
- [5] Viovy N, Arino O, Belward A S. The Best Index Slope Extraction (BISE): A Method for Reducing Noise in NDVI Time-series[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13(8): 1585-1590.
- [6] Lovell J L, Graetz R D. Filtering Pathfinder AVHRR Land NDVI Data for Australia[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(13): 2649-2654.
- [7] Ma M G, Veroustraete F. Reconstructing Pathfinder AVHRR Land NDVI Time-series Data for the Northwest of China[J]. Advances in Space Research, 2006, 37(4): 835-840.
- [8] Sellers P J, Los S O, Tucker C J, *et al.* A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part 2: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from Satellite Data[J]. Journal of Climate, 1996, 9(4): 706-737.
- [9] Chen J, Jonsson P, Tamura M, *et al.* A Simple Method for Reconstructing a High-quality NDVI Time-series Data Set based on the Savitzky-Golay Filter[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(3-4): 332-344.
- [10] Jönsson P, Eklundh L. Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-Series of Satellite Sensor Data[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(8): 1824-1832.
- [11] Lu X, Liu R, Liu J, *et al.* Removal of Noise by Wavelet Method to Generate High Quality Temporal Data of Terrestrial MODIS Products[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2007, 73(10): 1129-1139.
- [12] Beck P, Atzberger C, Høgda K, *et al.* Improved Monitoring of Vegetation Dynamics at very High Latitudes: A New Method Using MODIS NDVI[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100(3): 321-334.
- [13] Van Dijk A, Callis S, Sakamoto C & Decker M. Smoothing Vegetation Index Profiles: An Alternative Method for Reducing Radiometric Disturbance in NOAA/AVHRR Data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1987, 53: 1059-1067.
- [14] Hird J N, McDermid G J. Noise Reduction of NDVI Time Series: An Empirical Comparison of Selected Techniques[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(1): 248-258.
- [15] Cao Yunfeng, Wang Zhengxing, Deng Fangping. Fidelity Performance of Three Filters for High Quality NDVI Time-series Analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(1): 118-125. [曹云锋, 王正兴, 邓芳萍. 3 种滤波算法对 NDVI 高质量数据保真性研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(1): 118-125.]
- [16] Li Hangyan, Xie Yaowen, Ma Mingguo. Reconstruction of Temporal NDVI Dataset: Evaluation and Case Study[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(5): 596-602. [李杭燕, 颀耀文, 马明国. 时序 NDVI 数据集重建方法评价与实例研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(5): 596-602.]

Integrated Reconstruction Methods of Time-series NDVI Dataset

LI Hang-yan¹, MA Ming-guo², TAN Jun-lei²

(1. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Time-series of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) datasets have been used in detecting the long-term vegetation cover changes in regional, continental or global scales. They are also successfully applied to extract the biophysical parameters of vegetation cover. Normally, there are quite frequently fluctuations because of atmospheric condition and sensor effect in the NDVI dataset. According to the comparative analysis of five widely used NDVI reconstruction algorithms, two integrated approaches were developed based on standard deviation weight and characteristics of noise points respectively. The reconstructed results were validated and assessed by using some in-suit NDVI measurements carried out during late May to early August, 2009. The result shows that these two integrated methods are better than the five separate methods above. They do not only retain most of the original data, but also modify the noise to the utmost extent. NDVI time series datasets produced by these two approaches can be better applied in the researches on global and regional environmental change, vegetation dynamic, and so on.

Key words: NDVI; MODIS NDVI; Time series dataset; Reconstruction; Integrated method