

# 重庆 MODIS/NDVI 时间序列数据优化研究\*

李月臣<sup>1,2,3</sup>, 何志明<sup>4</sup>

(1. 重庆师范大学 职教师资学院; 2. 重庆师范大学 三峡生态环境遥感研究所;  
3. 重庆师范大学 GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047; 4. 重庆市地理信息中心, 重庆 401121)

**摘要:**重庆独特的地理环境与气候特征导致 NDVI 普遍存在明显的云干扰等导致的噪声。目前最为常用的最大值合成法(MVC)虽然一定程度上减弱云雾及其他因素的影响,但不能保证获取高质量的数据。为了构建重庆地区高质量 NDVI 时序数据集研究采用时间序列谐波分析法(HANTS)对 MODIS/NDVI 数据进行时间序列重构;并进一步结合质量控制文件对 MODIS/NDVI 做进一步订正。选择 2001—2010 年 MODIS/NDVI 数据进行序列订正效果分析表明,原始 NDVI 数据存在较多的噪声,不能直接用于年代际时间特征趋势分析。经过 HANTS 重构、质量控制文件掩膜合成构建的 NDVI 数据序列,对因为云的影响导致的原始数据偏低现象给予了有效订正,又较好地保留了原始数据的高质量信息,维持了原始数据应有的整体趋势特征,适合用于进一步的时空特征分析。

**关键词:**MODIS/NDVI; 优化; 重庆

**中图分类号:**P951

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2015)02-0032-06

## 1 引言

植被指数是卫星遥感中最具明确意义的指标。在众多的植被指数中归一化植被指数(NDVI)最为常用,它能够敏感地反映出植被生长状况、生物物理化学性质及生态系统参数的变化<sup>[1]</sup>。时间序列 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参数反演等研究中。但是,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,影响其进一步的应用<sup>[2]</sup>。因此,深入研究时序 NDVI 数据的优化方法,提高时序 NDVI 应用的科学性具有十分重要的现实意义。目前,常用的时序 NDVI 数据有 Pathfinder/NDVI、GIMMS/NDVI、SPOT/NDVI 和 MODIS/NDVI。其中,美国 EOS 卫星的 MODIS 数据提供的分辨率为 250 m 的 NDVI 产品空间分辨率远高于其他时序 NDVI 数据,成为理想数据源得到广泛应用<sup>[3]</sup>。NDVI 数据在采集过程中受到各种因素的影响,尤其是云的影响,一般使用最大值合成法(MVC)来构建 NDVI 时间序列数据集。该方法虽然一定程度上减弱云雾及其他因素的影响,但是 MVC 法不能保证获取高质量的数据,难以直接应用于各类研究。对于重庆而言,独特的地理环境造就了“多云雾”、“少日照”等典型的气候特征,NDVI 获取过程中普遍存在明显的云干扰等导致的高频或低频噪声,因此十分有必要选择一种合适的方法进行前期的数据序列优化。目前 NDVI 时间序列曲线优化的主要方法大致归纳为 3 类<sup>[4]</sup>: 阈值法、基于滤波函数的平滑法和曲线拟合法。3 类方法既可以基于原始的 NDVI 时间序列曲线优化,也可以对 MVC 处理后的数据集进行再处理。阈值法主要包括 Viovy 等<sup>[5]</sup>提出的最佳指数斜率提取法(BISE)及改进算法<sup>[6]</sup>; 基于滤波函数的平滑方法主要包括 Savitzky-Golay 滤波法<sup>[7]</sup>、均值迭代滤波法(MVI)<sup>[8]</sup>、傅立叶变换<sup>[9]</sup>和时间序列谐波分析法(HANTS)<sup>[10]</sup>; 曲线拟合法以双 Logistic 函数拟合法<sup>[11]</sup>和非对称性高斯函数拟合法<sup>[12]</sup>为代表。以上涵盖了 NDVI 时间序列曲线优化的主要方法。总体来说,各方法均处于发展阶段,具体应用中如何选择尚无统一的标准,各方法的适宜性也未有明确的研究结论。通常情况下,亚热带、温带地区植被状态的变化具有时间连续性,并呈现出季节性节律<sup>[13]</sup>,物候特征明显,表现为年内 NDVI 时间序列曲线通常是连续平滑的<sup>[14]</sup>。云和大气对 NDVI 的影响总是趋于削弱 NDVI 信号,使得时间序列 NDVI 数据变化呈现波动性,偏离年内趋势线<sup>[15]</sup>。基于以上分析,重庆地区更适宜采用基于物候节律特征拟合的时间序列谐波分析法(HANTS)构建高质

\* 收稿日期:2014-04-05 修回日期:2014-06-01 网络出版时间:2015-01-22 11:59

资助项目:重庆市博士后科研项目特别资助基金(No. 渝 xm201102001);重庆市气象局开放基金(No. Kfj-2011103)

作者简介:李月臣,男,教授,博士,研究方向为资源环境遥感与 GIS, E-mail: liyuechen2008@qq.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150122.1159.029.html>

量 NDVI 时间序列数据。目前,以重庆或三峡为研究区的基于 NDVI 的相关研究中,基本使用 MVC 方法方法处理 NDVI 时间序列数据,该方法的局限性导致研究结果存在一定的问题。基于此,本研究以重庆为研究区,采用 HANTS 法构建研究区高质量的 MODIS/NDVI 时间序列数据,能够为重庆和三峡地区的相关研究提供科学的数据源。

## 2 研究区概况

重庆市地跨东经  $105^{\circ}17' \sim 110^{\circ}11'$ , 北纬  $28^{\circ}10' \sim 32^{\circ}13'$  之间,东西长 470 km,南北宽 450 km,面积 8.24 万  $\text{km}^2$ 。东邻湖北省、湖南省,南靠贵州省,西连四川省泸州市、内江市、遂宁市,北接四川省广安市、达州市和陕西省,是长江上游主要的生态脆弱区之一。重庆属亚热带季风性湿润气候区,气温年较差和日较差大,雨量充沛,日照少,雾日多。区域地跨大巴山断褶带、川东褶皱带及川鄂湘黔隆起褶皱带,地貌以山地、丘陵为主。全区土壤类型主要有黄壤、黄棕壤、棕壤、紫色土、石灰土、潮土和水稻土等。地带性植被以亚热带常绿阔叶林、暖性针叶林为主<sup>[16]</sup>。

## 3 研究方法

### 3.1 数据获取与预处理

MODIS/NDVI 数据为 NASA 提供的 MOD13Q1 级产品,时间范围为 2000 年 3 月—2010 年 12 月,空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 天。MODIS 选择 16 天的合成时段能够提供既避免云的影响又能以较小的视角覆盖所有纬度的机会,相对于其他合成期是最合适的选择。数据集原始格式是 EOS-HDF,本研究中首先采用 MRT 软件进行拼接、格式和投影转换,把 HDF 格式转化为 Tiff 格式,把 Sinusoidal 地图投影转换为通用墨卡托投影。其后,采用重庆市行政区范围进行掩膜裁剪,获取研究区数据。

### 3.2 HANTS 时间序列谐波分析方法

HANTS 模型以物候变化曲线为基础,采用傅里叶变换(FFT)和最小二乘法作为拟合核心算法。通过把 NDVI 时间波谱数据分解成许多不同频率的正弦曲线和余弦曲线,从中选取若干个能够反映时间序列特征的曲线进行叠加,以达到时间序列数据的优化目的。HANTS 模型首先利用对已有的 NDVI 离散数据提取傅立叶分量(幅值分量、频率分量),并利用最小二乘拟合这些分量得出 NDVI 时间序列曲线;然后检查每一个数据值与拟合曲线的偏差,存在噪声的点,NDVI 值会明显超过偏差阈值,要剔除并赋零值,其中偏离量超过阈值最大的点最先剔除,然后根据剩余的采样点重新生成拟合曲线,再检查每个数据值,再剔除偏离曲线值超过阈值的点<sup>[13-14]</sup>。反复循环此过程,最后生成光滑的曲线,依照曲线进行时间上的插值,从而重构无缝的时间序列图像。

### 3.3 HANTS 重构 NDVI 数据二次订正

采用时间序列谐波分析法对 NDVI 数据进行序列重构,消除噪声影响的同时存在引入新的误差的风险。相关研究表明,HANTS 算法对 NDVI 序列重构整体较为平滑,原始图像中被云覆盖而偏低的像元能够得到有效恢复,但是会改变原有像元的值<sup>[15]</sup>,其中包括本身质量较好的 NDVI 数据。另外,该类基于物候变化的 NDVI 序列重构算法在误差阈值设置不当的情况下难以有效反映极端事件对 NDVI 的影响。表现为将伴随植被生长异常而出现的 NDVI 突变视为噪声进行平滑,尤其是在极端高温干旱年或月份极易将本身偏低的 NDVI 进行不必要的增高。这会导致年代际趋势分析过程中实际应当存在的个别年份 NDVI 异常变化被削弱。本研究采用的 MODIS/NDVI 数据包含了植被指数的质量控制文件——“Quality”波段,其中对 NDVI 质量信息、可用性等进行了描述(表 1)。质量控制文件定义了像元水平上 NDVI 与预期精度不相符的数据和信息,有利于后期进一步的处理。基于以上分析,本研究在采用 HANTS 法对 MODIS/NDVI 数据时间序列重构的基础上,结合质量控制文件进一步订正。(1)在原始 NDVI 数据的基础上采用 HANTS 方法进行 MODIS/NDVI 时间序列重构,生成 HANTS 重构数据。(2)根据每期 MODIS/NDVI 质量控制文件,提取高质量数据范围,生成掩膜。首先根据质量总评描述,选择质量可靠性标识为 00 的数据,对于总评描述中标识为 01 的数据进一步结合可用性描述进行选择,经过反复对比,最终确定可用性描述标识为 0~2 的数据为本研究可直接利用的高质量数据,进一步生成掩膜文件。(3)在 ARCGIS 空间分析技术支持下,结合 HANTS 重构 MODIS/NDVI 数据、原始 MODIS/NDVI 数据、掩膜文件进行数据合成。

MODIS/NDVI 合成数据继承了原始数据中的高质量像元,存在噪声的像元又经过了 HANTS 重构。通常情况下,极端干旱是导致生长季 NDVI 发生明显突变的主要原因之一,而重庆市该类事件多发生在副热带高压

控制下多晴少雨的夏季。受云量少影响, 16 天合成的 NDVI 数据普遍质量较高, 经过掩膜合成, 能够有效消除 HANTS 重构对原始数据的误处理, 而使原始信息得以保留。

### 4 结果分析

#### 4.1 时间水平优化效果分析

选择 2001—2010 年 MODIS/NDVI 数据进行序列优化效果分析。由图 1 可以看出, 原始 16 天合成 MODIS/NDVI 数据整体平均值呈现明显的以夏季为峰值, 冬季为谷值的季相特征, 说明重庆地区 NDVI 优化适宜采用基于物候的时间序列谐波分析法。同时各年份 NDVI 原始序列均存在一定的波动, 表现为相邻时段平均值明显的锯齿型突升或突降, 偏离了植物生长应有的规律性变化, 不能直接用于植被变化趋势特征分析。其中冬季波动最为明显, 这主要是由于重庆市冬季受西风带南支槽影响明显, 且在盆周山地阻挡下冷空气不易进入, 以云雾天气为主, 影响了 NDVI 有效数据的获取。经过 HANTS 重构及合成订正之后 NDVI 数据序列明显平滑, 对云的影响导致的原始数据偏低现象给予了有效订正, 尤其是冬半年; 而夏季订正数据序列与原始数据偏差较小, 一方面说明夏季原始数据受云的影响程度整体偏低, 另一方面说明合成订正之后原始高质量信息得以较好的保留。另外, 从订正序列年际变化可以看出 2006 年夏秋 NDVI 值明显偏低, 有效反映出 2006 年川渝极端干旱对 NDVI 值的影响。进一步从原始 NDVI 数据与订正数据的相关性分析(图 2)可以看出, NDVI 平均值越高, 受云噪声影响程度越低, 订正前后 NDVI 数据相关性越强, 体现了冬夏之间云影响的差异; 除少部分明显离群点之外, 大部分点都能够达到很好的线性相关, 整体相

关系数达到 0.85 以上, 达到 0.001 的显著性水平, 且在截距为 0 的情况下趋势线斜率约为 0.91, 接近于 1, 这说明订正数据既有效消除了原始数据的噪声, 又维持了原始数据应有的整体趋势特征。

#### 4.2 像元水平优化效果分析

选择 2010 年 8 月 29 日(第 241 天)和 2010 年 11 月 17 日(第 321 天)两期 MOIDS/NDVI 数据进行像元尺

表 1 MODIS/NDVI 像元质量信息

Tab. 1 The pixel quality information of MODIS/NDVI

序号	16 bit	各 bit 表达的质量信息
0~1	质量总评描述 (MODLAND QA):0~3	(00)已经制作 NDVI,质量可靠; (01)已经制作 NDVI,但使用时需要检查质量标记; (10)没有制作 NDVI,原因是云覆盖; (11)没有制作 NDVI,其他原因。
2~5	可用性描述 (VI usefulness):0~15	(0)质量最高; (1)质量高; (2)质量较高; (3)质量可接受; ..... (7)质量中等 ..... (13)没有经过大气校正; (14)质量太差,无法使用; (15)由于其他原因,数据无法使用。

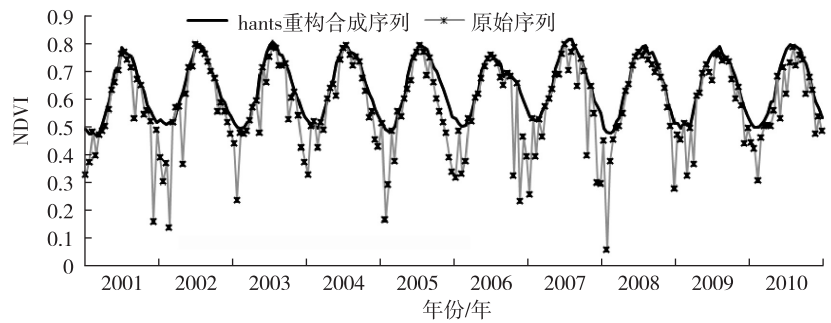


图 1 原始 MODIS/NDVI 数据与订正数据的变化趋势比较

Fig. 1 The comparison of original and reconstructed MODIS/NDVI

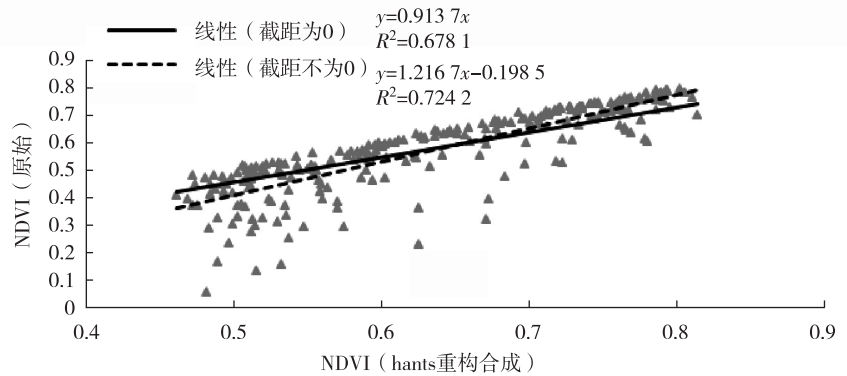


图 2 原始 MODIS/NDVI 数据与订正数据的相关性分析

Fig. 2 The correlation analysis of original and reconstructed MODIS/NDVI

说明订正数据既有效消除了原始数据的噪声, 又维持了原始数据应有的整体趋势特征。



度上优化前后数据差异分析。由图 3 可以看出,两期原始 NDVI 数据均存在明显的噪声,统计直方图表明第 241 天以高频噪声为主(图 4(a)),噪声值集中于 0.9 左右,空间上主要分布于渝西、渝中较大范围内(封三彩图 3(a));统计直方图表明第 321 天以低频噪声为主(图 4(b)),噪声值集中于 0.05 左右,空间上主要分布于受云影响明显的渝西区域(封三彩图 3(b))。检查相应的质量控制文件(图 5)可以看出高低频噪声影响区域均得到有效标识。以此为掩膜,进行合成处理,生成 MOIDS/NDVI 时间序列订正结果(封三彩图 6)。经过 HANTS 重构及掩膜处理合成的订正数据有效地去除了原始数据中存在的噪声,抑制了高值,提升了低值。由图 7 可以看出,订正数据统计直方图较接近正态分布。

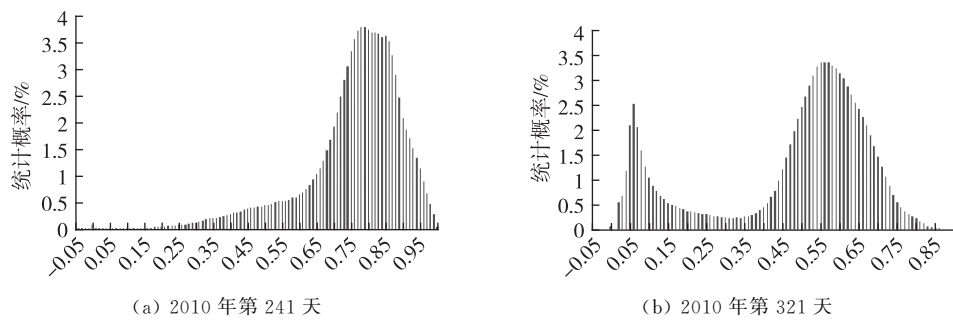


图 4 时间序列订正数据统计直方图

Fig. 4 The histogram of reconstructed NDVI

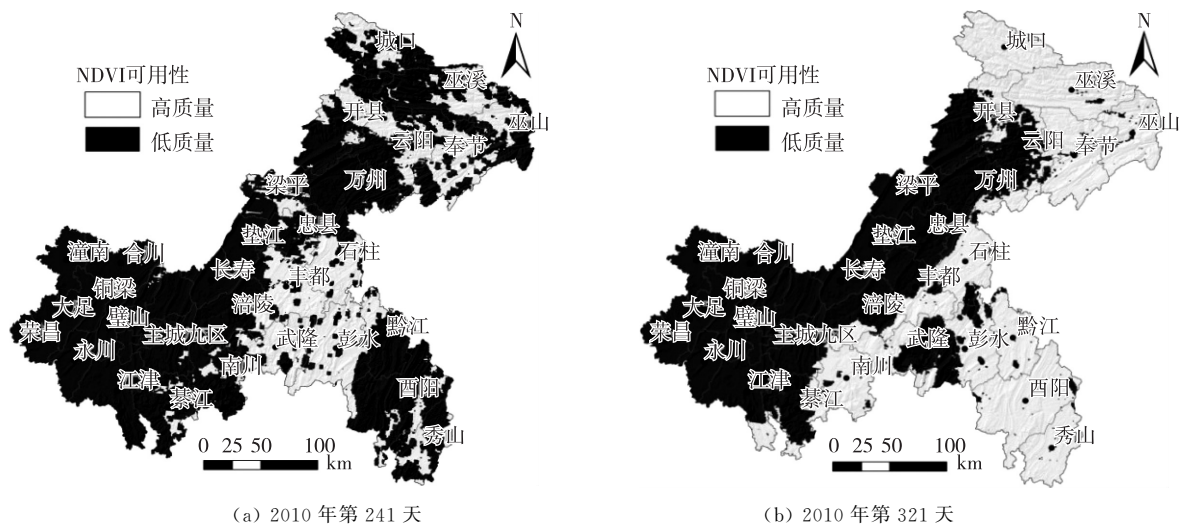


图 5 原始 MODIS/NDVI 数据质量

Fig. 5 The quality of original MODIS/NDVI

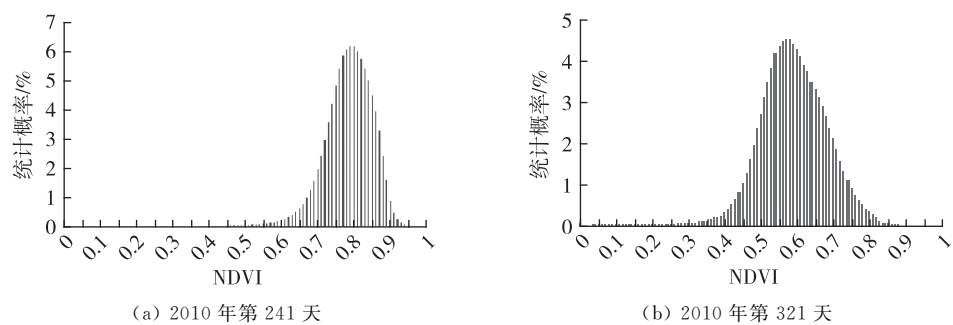


图 7 原始 MODIS/NDVI 数据统计直方图

Fig. 7 The histogram of original MODIS/NDVI

对时间序列优化数据与原数据进行像元水平的差值分析(封三彩图 8)可以看出原始高质量像元得以全部继承,优化之后差值为 0。2010 年第 241 天分布在渝西、渝中的高频噪声区 NDVI 主要被削弱 0~0.1,主城以东部分区域削弱程度在 0.1 以上;另外,渝西的合川、潼南、江津以及渝东北、渝东南区域存在的少量低频噪声区 ND-

VI 也得到了 0.1 以上的增强。2010 年第 321 天分布在渝西的显著低频噪声区 NDVI 普遍得到了 0.1 以上的提高,中部的垫江、梁平、万州等区域 NDVI 空间连续性较强,噪声偏小,优化后 NDVI 值提高程度低于 0.1,有效保持了数据的空间连续性。差值统计直方图表明 2010 年第 241 天(图 9(a))订正数据 NDVI 以削弱 0~0.15 为主,其次为提高 0~0.1 以及 0.15 以上。2010 年第 321 天(图 9(b))订正数据 NDVI 以提高为主,在 0.03 附近出现一个较窄的主频率带,在 0.45 附近分布出现一个较宽的主频率带,在空间上分别与渝中和渝西区域有很好的对应关系。

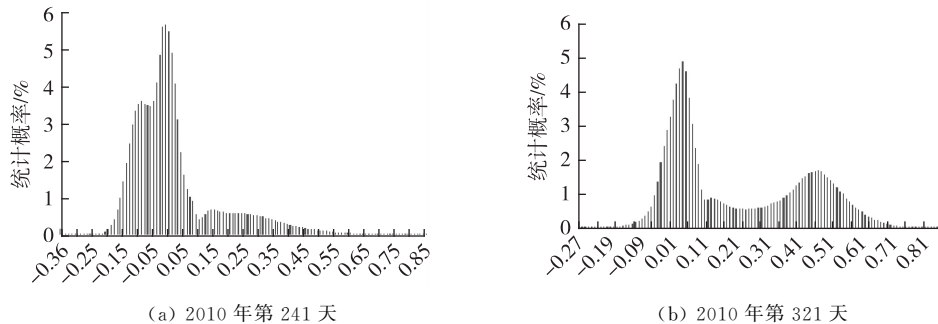


图 9 订正数据与原数据差值统计直方图(不包括高质量像元)

Fig. 9 The histogram of reconstructed and original NDVI

## 5 结论与讨论

本研究采用 HANTS 法对 MODIS/NDVI 数据进行时间序列重构,并进一步结合质量控制文件对 MODIS/NDVI 做进一步订正。选择 2001—2010 年 MODIS/NDVI 数据进行序列订正效果分析表明,原始 NDVI 数据存在较多的噪声,不能直接用于年代际时间特征趋势分析。经过 HANTS 重构、质量控制文件掩膜合成构建的 NDVI 数据序列在时间水平上,订正之后 NDVI 数据序列明显平滑,对因为云的影响导致的原始数据偏低现象给予了有效订正,订正前后 NDVI 数据相关性越强,订正数据既有效消除了原始数据的噪声,又维持了原始数据应有的整体趋势特征。空间水平上,订正数据有效地去除了原始数据中存在的噪声,抑制了高值,提升了低值,原始高质量像元得以全部继承,订正数据统计直方图较接近正态分布,改善了数据质量,适合用于进一步的时空特征分析。需要说明的是,目前存在多种针对 NDVI 时间序列优化的方法,本文仅选取了理论上较适宜亚热带气候区域的 HANTS 方法进行了优化研究,虽然效果较理想,但未对其他方法在本地区的适宜性问题做深入的分析与探讨;重庆的特殊地形地貌条件是否对优化结果存在潜在的影响,方法本身是否存在尺度效应等问题也需进一步分析。

### 参考文献:

- [1] 李月臣,宫鹏,刘春霞,等. 北方 13 省 1982 年—1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J]. 资源科学,2006,28(2): 109-117.  
Li Y C, Gong P, Liu C X, et al. Vegetation cover changes and correlation with climatic factors in northern China during 1982—1999[J]. Resources Science, 2006, 28(2): 109-117.
- [2] 李杭燕. 时间序列 NDVI 数据集重建方法研究[D]. 兰州: 兰州大学,2010.  
Li H Y. Study on the reconstruction of time-series NDVI data set[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010.
- [3] 朱源,彭光雄,王志,等. 基于 MODIS-NDVI 的西藏林芝地区植被时空变化研究[J]. 地理与地理信息科学,2010,26(5):58-62.  
Zhu Y, Peng G X, Wang Z, et al. Temporal and spatial changes of vegetation in Linzhi area based on MODIS-NDVI[J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(5): 58-62.
- [4] 徐兴奎,陈红,LEVY Jason K. 气候变暖背景下青藏高原植被覆盖特征的时空变化及其成因分析[J]. 科学通报,2008,53(4):456-462.  
Xu X K, Chen H, Jason K L. Spatiotemporal vegetation cover variations in the Qinghai-Tibet Plateau under global climate change[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(4): 456-462.
- [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: 1585-1590.
- [6] 徐影,丁一汇,赵宗慈. 人类活动引起的我国西北地区 21 世纪温度和降水变化情景分析[J]. 冰川冻土,2003,25(3): 327-330.

- Xu Y, Ding Y H, Zhao Z C. Scenario of temperature and precipitation changes in northwest China due to human activity in the 21<sup>st</sup> century[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(3): 327-330.
- [7] Chen J, Jönsson P, Tamura M, et al. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series dataset based on the Savitzky-Golay filter[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91: 332-344.
- [8] Ma M G, Veroustraete F R. Reconstructing Pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the northwest of China[J]. *Advances in Space Research*, 2006, 37: 835-840.
- [9] 荣裕良. 长江中游地区植被覆盖变化对气候的影响及数值模拟研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- Rong Y L. Impact of the vegetation cover change on climate and the numerical simulation study in the mid reaches of Yangtze river[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2008.
- [10] Roerink G, Menenti M, Verhoef W. Reconstructing cloud-free NDVI composites using Fourier analysis of time-series [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(9): 1911-1917.
- [11] 杨嘉, 郭锐, 贾建华. 西北地区 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 对比分析[J]. *干旱气象*, 2007, 25(1): 38-43.
- Yang J, Guo N, Jia J H. Comparison between MODIS/NDVI and MODIS/EVI in northwest China[J]. *Arid Meteorology*, 2007, 25(1): 38-43.
- [12] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(4): 327-333.
- Tian Q J, Min X J. Advances in study on vegetation indices[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(4): 327-333.
- [13] 王正兴, 刘闯, HUETE Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 979-987.
- Wang Z X, Liu C, Huete A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 979-987.
- [14] 张雪艳, 胡云峰, 庄大方, 等. 蒙古高原 NDVI 的空间格局及空间分异[J]. *地理研究*, 2009, 28(1): 10-18.
- Zhang X Y, Hu Y F, Zhuang D F, et al. The spatial pattern and differentiation of NDVI in Mongolia Plateau[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(1): 10-18.
- [15] 宋富强, 邢开雄, 刘阳, 等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价[J]. *生态学报*, 2011, 31(2): 354-363.
- Song F Q, Xing K X, Liu Y, et al. Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shanxi based on MODIS /NDVI[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 354-363.
- [16] 李月臣, 刘春霞, 汪洋, 等. 重庆市生境敏感性评价研究[J]. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2009, 26(1): 30-34.
- Li Y C, Liu C X, Wang Y, et al. The analysis of the sensitivity of Bio-inhabitation in Chongqing [J]. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science*, 2009, 26(1): 30-34.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Research on the Reconstructing of Time-series MODIS/NDVI Data of Chongqing

LI Yuechen<sup>1,2,3</sup>, HE Zhiming<sup>4</sup>

(1. College of Computer and Information Science, Chongqing Normal University;

2. Institute of Ecosystem and Environment Remote Sensing, Chongqing Normal University;

3. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Municipal Education Commission, Chongqing 400047;

4. Chongqing Geometrics Center, Chongqing 401121, China)

**Abstract:** Due to effect of cloud and atmospheric conditions, residual noise in the NDVI time-series data will induce erroneous results in our further quantitative analysis in Chongqing. The method of Maximum Value Compositing (MVC) can reduce the effect of cloud, atmospheric and other conditions in some degree, but it also has some shortcomings. In this paper the method of Harmonic Analysis of Time Series (HANTS) and the quality control documents for MODIS / NDVI are used to produce the high quality MODIS/NDVI time-series data. The NDVI time-series data from 2001 to 2010 are selected as the sample data. The results show that the original NDVI data exists more noise, cannot be directly used for trend analysis features of decadal time. The reconstructed MODIS/NDVI time-series data using HANTS method and the quality control documents for MODIS / NDVI can revise the low value of NDVI due to the mask of cloud effectively, and preferably retains the high quality information in original data, and maintain the characteristics of the overall trend of the original MODIS/NDVI time-series data. So the optimized and the reconstructed NDVI data are suitable for further analysis.

**Key words:** MODIS/NDVI; optimized; Chongqing

(责任编辑 陈 琴)