

基于 MODIS 资料的宁夏 LST 反演方法新探索

张学艺^{1,2} 张晓煜¹ 卫建国¹ 李剑萍¹ 韩颖娟¹

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002; 2. 南京信息工程大学应用气象学院)

提 要: 为快速、宏观、全面地获取陆面生态重要参数陆面温度(LST), 避免分裂窗算法中诸多参数的估计和参数的适用范围限制, 加快计算速度, 更好地利用中国气象局“三站四网”的建设成果, 利用宁夏 2005—2007 年 13 个时次过境晴空地表 MODIS 资料及对应过境时 17 个自动气象站观测数据, 筛选、优化引入对 LST 影响较大的水汽通道、NDVI 和 EVI 参数, 建立基于 MODIS 遥感和地面自动气象站观测数据反演陆面温度(LST)的统计模式。研究表明: 引入相关参数后, 宁夏各季及全年模式的相关性和精度有较大提高, 且水汽通道和 EVI 的参数组合最优。与分裂窗算法相比, 省去了对大气透过率的估算以及对地表比辐射率估计的繁琐计算, 与地面自动站观测真实值误差 70.1% 能够控制在 4.0℃ 以内, 计算速度快, 能够满足一般业务的需求, 易于推广使用。

关键词: MODIS 陆面温度 EVI 反演

New Exploration of Land Surface Temperature Retrieved from MODIS Data in Ningxia

Zhang Xueyi^{1,2} Zhang Xiaoyu¹ Wei Jianguo¹ Li Jianping¹ Han Yingjuan¹

(1. Ningxia Key Lab for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002;

2. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology)

Abstract: In order to obtain the important land surface ecological parameter—land surface temperature (LST) quickly, macroscopically, and to avoid the more parameters estimation and the limitation of the parameters applicability range of the split-window algorithm, a statistical model to retrieve LST was built up by using 13 clear air earth surface MODIS data and 24 auto-weather station data in 2005—2007. The new model can enhance the calculation speed and make more efficient use of the “three-stations and four nets” products built by China Meteorological Administration. The results indicate that after introducing the related

基金项目: 科技部社会公益研究专项(2005DIB3J103)和中国气象局新技术推广项目(CMATG2005M45)其同资助

收稿日期: 2008 年 3 月 5 日; 修定稿日期: 2008 年 11 月 20 日

parameters, the model relevance and accuracy were improved obviously, the combination of the water vapor channel of MODIS with the enhanced vegetation index (EVI) can obtain an optimal effect. Compared with the split-window algorithm, the statistical model is simple and feasible. It does not need to estimate the atmospheric transmissivity and the land surface emissivity. Compared with the AWS data, the actual error in 70% retrieved LST is within 4.0°C.

Key Words: MODIS land surface temperature (LST) enhanced vegetation index (EVI) retrieve

引 言

陆面温度(LST, Land Surface Temperature)是研究地表和大气之间物质和能量交换的重要参数,广泛应用于农业气象灾害、城市热岛等方面的监测及研究^[1-3]。但由于其在时空上的动态分布变化特性,依靠地面观测站大面积获取陆面温度参数,宏观地把握其时空分布规律是不现实的,而借助遥感技术可大范围、快速地获取陆面温度信息。依据使用波段数,现有的热红外遥感数据陆面温度反演算法基本上可以分为三类^[4]:单通道算法、分裂窗算法和多波段算法。在国内,MODIS 数据 LST 的反演基本上是从 2004 年开始的。到目前为止,改进分裂窗算法最为成熟^[5],根据毛克彪、覃志豪、丁莉东、高懋芳等研究^[6-10],MODIS—LST 反演精度基本控制在 1K 以内(误差分析为 MODIS 反演结果与高分辨率影像资料反演结果值对比)。但由于陆地表面的复杂性和大气影响的诸多因素,地表真实温度反演是一个非常复杂的过程。分裂窗算法是建立在大气热辐射传输模型和对相关参数各种近似、假设基础上的,算法复杂,不利于推广使用。为尽量避免各种参数的估计及适用范围的限定,简化反演计算过程,可以利用基于自动站观测数据与遥感资料的统计方法,在考虑引入对 LST 影响较大的水汽因子和地表植被情况下,既可简化运算,又能够保证一定的反演精度,能够满足一般气象业务的需求。另外,结合自动

站资料对 MODIS 资料进行地面温度的反演工作,目前这种研究方法在国内还没有,而这种思路对提高地面自动站的利用率以及风云 3 系列气象卫星的地面参数订正方面有参考价值。

1 资料选取与匹配

1.1 遥感资料

选取由宁夏气象科研所 DVB-S 系统接收的 2005—2007 年共 13 个时次白天过宁夏境的 MODIS/TERRA 晴空(或少云)资料,春季 5 幅,夏季 3 幅,秋季 1 幅,冬季 4 幅。利用中国气象局研制的 EOS/MODIS 资料接收处理系统软件,对接收的 EOS/MODIS 卫星资料经定标、几何校正、投影变换后,再对生成的 *.LD2 文件,利用宁夏气象科学研究所开发研制的程序,以 *.txt 格式提取 17 个对应自动站 5×5 矩阵的 2、19、31、32 通道资料,其中通道 1、2 为定标后的反射率,19 通道考虑大气水汽影响,31、32 为反映陆面温度的辐射值。

1.2 自动站资料

宁夏自动气象站从 2002 年 11 月开始布设,到目前为止,已建成并投入业务使用的有 17 个。包括宁夏北部川区(惠农、吴忠、银川、陶乐、永宁、中宁,海拔高度为 1100~1500m)、中部干旱带(同心、盐池,海拔高度为 1180~1350m)、南部宁南山区(兴仁、韦州、海原、固原,海拔高度为 1380~1860m)和

六盘山区(西吉、隆德、泾源,海拔高度为 1900~2080m)及两个高山站(麻黄山和六盘山,海拔高度分别为 1713m 和 2843m)。

EOS 卫星作为新一代对地观测仪器为太阳同步卫星,其中,TERRA 卫星白天过境时间为当地时间 10:30,宁夏介于 104°17′~107°39′E 之间,北京介于 115°25′~117°30′E 之间。根据时区计算,过宁夏境时间换算成北京时应为 11:00 左右,所以可以选取 17 个自动站 11 时 0cm 地温观测数据代替 LST。

2 研究方法

运用春季 4 幅、夏季 3 幅、秋季 1 幅、冬季 3 幅共 11 幅晴空或少云 MODIS/TERRA 资料,结合 11 时自动站 0cm 地温和卫星过境通道 31、32 亮温资料,分别建立各季和全年统计模式,引入因子主要考虑对陆面温度影响较大的大气水汽和地表植被因素,即 19

水汽通道资料和 NDVI(归一化植被指数)、EVI(增强型植被指数)值,选择复相关系数最大的作为该季节全区适合的反演模式,经过分析比较得出:建立全年全区适用模式只用 31、32 通道资料,模式的复相关系数为 0.891,单引入 19、NDVI 或 EVI 后复相关系数分别增加到 0.951、0.895、0.902,也就是说 LST 对大气中水汽含量的敏感性大于对地表植被状况 NDVI 或 EVI,而对 EVI 的敏感性又大于对 NDVI 的敏感性;而引入 19、EVI 和 19、NDVI 的参数组合复相关系数分别增加到 0.955,但后者的 F 检验值略大些;而就各季节而言,同样与全年模式测验情况一致,即在引入单个参数或者参数组合后复相关系数均比只用 31、32 通道资料有明显提高,春季、夏季、秋季引入 19、EVI 的参数组合最好,冬季引入 19、NDVI 的参数组合最好。全年和各季节建立的统计计算 LST 的结果见表 1。

表 1 全年及各季 LST 统计计算公式

时间	复相关系数	F 值	预测模式
全年	0.955	386.893	$LST=4.545T_{31}-3.625T_{32}+140.548T_{19}+17.257EVI-8.45$
春季	0.770	25.471	$LST=3.924T_{31}-3.486T_{32}+70.394T_{19}+4.66EVI-19.522$
夏季	0.744	13.326	$LST=2.777T_{31}+3.472T_{32}+6.756T_{19}+16.276EVI+24.014$
秋季	1.000	2790.579	$LST=0.985T_{31}-1.044T_{32}-5.233T_{19}+0.473EVI+1.296$
冬季	0.644	10.434	$LST=2.854T_{31}-2.586T_{32}+62.119T_{19}+62.81NDVI-7.56$

注:各模式及因子均通过 0.01 显著性检验,LST 为反演的陆面温度(单位:℃), T_{31} 、 T_{32} 分别为 31、32 通道辐射亮温值, T_{19} 为 19 通道反射率值,EVI 为增强型植被指数,NDVI 为归一化植被指数。

验证资料选取未参与模式建立的春季(2006 年 1 月 10 日)和冬季(2006 年 4 月 18 日)的各 1 景资料各 17 个样本点资料,运用全年 LST 反演统计模式,最终通过误差在 3℃以内的样本点为 16 个,占 51.6%,通过 4.5℃以内的样本点占 77.4%。误差最大的是中宁,为 7.0℃,大于 6.0℃的有 3 个台站。

分析误差来源可能主要包括①地面观测是整点进行,卫星过境时间(成像时间)与地面观测时间不能完全吻合,时差基本在 10 分

钟以内,这一时间上的差异会带来相应的偏差。②由于图像分辨率为 1km×1km,一个像元代表 1km² 的范围,而自动站观测资料为单点资料,这在空间区域上并不能完全对应叠加,虽然这里采用了 5×5 矩阵平均温度,降低点与面对应带来的误差风险,但也会给结果造成偏差。由于采用 5×5 矩阵平均温度,所以认为误差在 5℃以内即为准确。③LST 实际含义是指地表冠层温度与自动站观测裸地 0cm 地温有一定的差异,根据齐

述华^[11]等的研究,这一差异会造成 4℃ 左右的偏差。总的来说,统计模式精度在误差允许范围内,运算简便快捷,省去了运用 MODTRAN 模型对大气透过率的估算以及对地表比辐射率估计的繁琐计算,能够满足基本业务需求。

3 模式对地表发射率敏感性分析

以全年 LST 统计模式为例,将遥感影像资料反演结果与实际地面自动站观测值进行误差分析对比。将地表特征按照 USGS 全球土地覆盖类型结合宁夏下垫面实际分布类别大致分为 4 类:稀疏植被、草地或灌丛、林地和农田。分析各地表覆盖类型下地表发射率与反演误差间的关系,结果见表 2。

表 2 地表发射率敏感性分析

USGS 土地覆盖类型	地表比辐射率(ϵ)	反演误差介于 $\pm 5^\circ\text{C}$ 内的百分率
稀疏植被	<0.88	60.0%
草地、小灌丛	$0.88 \leq \epsilon < 0.92$	88.2%
林地	$0.92 \leq \epsilon < 0.95$	80.4%
农田	≥ 0.95	75.0%

由表 2 可以看出就宁夏下垫面的具体情况,反演模式在草地和小灌丛土地覆盖类型下反演精度较高,符合要求的站点在 88.2%,

其次是林地、农田和稀疏植被,这说明改进型的统计反演模式对草地或小灌丛地表类型敏感,对稀疏植被反演误差大。

4 监测实例

分别利用毛克彪、覃志豪、丁莉东、高懋芳等人的分裂窗算法和基于自动站及遥感资料建立的统计模型对 2006 年 6 月 28 日宁夏科研所接收的 EOS/MODIS 1km 数据反演宁夏地区的陆面温度。分裂窗算法中大气水汽含量和透过率参数参考中高纬度地区夏季的模拟参数结果,地表比辐射率参照许国鹏等^[12]混合像元的地表比辐射率算法。图 1 为两种模式反演的各站陆面温度,结果表明,分裂窗算法中由于研究参数所得出的经验参数并不适合宁夏,且宁夏地表温度上午 11 时左右地表温度大于 60℃ 的是普遍情况,显然已经超出分裂窗算法中所界定的温度范围,误差较大,反演值普遍低于自动站观测值,统计模式反演的 LST 值与自动站观测值比较接近,且改进型的统计模式是基于地面自动站实际观测数值,更符合实际且方法简单,算法快捷,更具使用性。

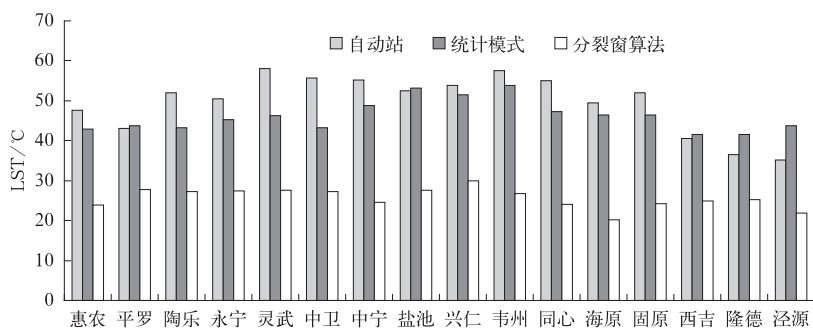


图 1 分裂窗算法、统计算法反演 LST 值与自动站观测值对比

反演资料为 2006 年 6 月 30 日 EOS/MODIS 资料

从统计模式反演的 2006 年 6 月 30 日 11 时的陆面温度分布结果可以看出(图 2):

灌区及海拔较高的南部阴湿区气温普遍较低,陆面温度在 45℃ 以下,尤其是六盘山区

和海原南华山及月亮山部分地区陆面温度在 35°C 以下。中部干旱带及贺兰山东麓冲积扇由于植被覆盖度较低,陆面温度在 65°C 以上。而彭阳河谷和麻黄山一带受地形影响陆面温度介于高温区和低温区之间,温度介于 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$ 之间。与当日 11 时自动站观测资料相比,全区陆面温度反演与实际情况相符,且分布趋势较好,完全能够满足业务需要。

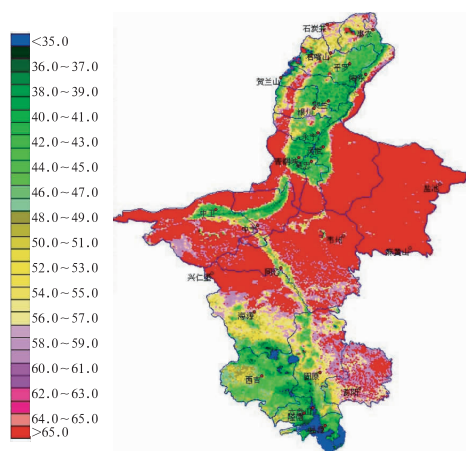


图2 2006年6月30日统计
模式反演 LST 监测结果

5 小结

分裂窗算法反演陆面温度物理意义明确,是目前反演陆面温度精度较高的方法,但由于其涉及到的地表比辐射率和卫星过境时的大气透过率较难获取,需要一系列观测试验与模拟,才能获得较好的反演结果。统计方法虽然不稳定,但涉及参数较少,在地表状况不太复杂时也能取得较好的监测效果。利用 EOS/MODIS 资料建立统计模型反演陆面温度时,就宁夏来说,各季节影响因子变化不大,可以用同一公式代表进行反演,不用进行分季节建模,也能到达较好的陆面温度反演结果。这种比较简单的构建方法,对气象部门来说,较易推广使用,并且对建立在

LST 反演基础上的干旱监测、城市热岛等气象服务业务也提供了另外一种途径。

参考文献

- [1] 王连喜,秦其明,张晓煜. 水稻低温冷害遥感监测技术与方法进展[J]. 气象, 2003,29(10):3-7.
- [2] 徐军昶,王勇. 基于卫星遥感的“城市热岛”分析[J]. 气象,2006,32(6):71-73.
- [3] 曾侠,钱光明,陈特固,等. 广东省沿海城市热岛特征分析[J]. 气象,2006,32(11):94-97.
- [4] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏,等. 农业旱灾监测中陆面温度遥感反演方法——以 MODIS 数据为例[J]. 自然灾害报,2005,14(4):64-71.
- [5] 王君华,黄永磷. 我国利用 MODIS 数据反演陆面温度的研究进展[J]. 广西气象,2005,26(4):18-20.
- [6] 丁荔东,覃志豪,毛克彪. 基于 MODIS 影像数据的分裂窗算法研究及其参数确定[J]. 遥感技术与应用,2005,20(2):284-289.
- [7] 高懋芳,覃志豪,刘三超. MODIS 数据反演陆面温度的参数敏感性分析[J]. 遥感信息,2005,6:3-6.
- [8] 毛克彪,覃志豪,宫鹏,等. 分裂窗算法 LST 精度评价和参数敏感性分析[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(3):318-322.
- [9] 高懋芳,覃志豪,许斌. 用 MODIS 数据反演陆面温度的基本参数估计方法[J]. 干旱区研究,2007,24(1):113-119.
- [10] 毛克彪,覃志豪,施建成,等. 针对 MODIS 影像的分裂窗算法研究[J]. 武汉大学学报,2005,30(8):703-707.
- [11] 齐述华,王军邦,张庆员,等. 利用 MODIS 遥感影像获取近地层气温的方法研究[J]. 遥感学报,2005,9(5):570-575.
- [12] 许国鹏,李仁东,刘可群,等. 基于 MODIS 数据的湖北省陆面温度反演研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2007,41(4):143-147.
- [13] 乔平林,张继贤. 基于卫星遥感数据的陆面温度反演算法研究[J]. 湖南科技大学学报,2006,21(1):50-53.
- [14] 陈圣波,张学红. 利用 MODIS 热红外数据反演陆面温度前应处理的几个问题[J]. 吉林大学学报,2004,34(3):476-480.
- [15] 杨青生,刘闯. MODIS 数据陆面温度反演研究[J]. 遥感技术与应用,2004,19(2):90-94.