

基于 MODIS 影像的夜间云检测算法研究

侯岳^{1,2}, 刘培洵¹, 陈顺云¹, 刘少峰²

(1. 中国地震局地质研究所, 地震动力学国家重点实验室, 北京 100029;

2. 中国地质大学(北京), 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 在以往云检测算法的基础上, 利用 MODIS 传感器高光谱和高时间分辨率的特点, 建立一套针对 MODIS 夜间影像的, 以单、多时相组合方法为基础的夜间云检测算法。通过对我国南北地震构造带(南北带)影像进行云检测试验证实, 该算法对 MODIS 夜间影像上的各种云类具有较好的检测效果。

关键词: 夜间云检测; 热红外; MODIS; 南北地震构造带

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)01-0034-04

0 引言

中分辨率成像光谱仪 MODIS 所接收的图像由于具有全球覆盖范围大、涉及波段范围广和时间更新频率高等优点而得到科研领域的广泛应用。然而, 图像中云的存在使得从 MODIS 图像中获取的地表信息量减少, 影响了研究中各种地面参数反演的准确程度。

以往用于卫星图像的云检测算法主要有 ISCCP 方法^[1]、APOLLO 方法^[2]、CLAVER 方法^[3]及 CO₂ 薄片法^[4]等, MODIS 的云检测算法在此基础上也得到了很大的发展。然而, MODIS 云检测算法多用于研究白天图像上云的去, 对夜间影像云的去虽然也有所涉及, 但因为夜间 MODIS 数据具有缺少可见光波段数据和对云检测结果检验困难等缺点, 导致始终没有一套完整的用于夜间该影像的云检测算法, 限制了夜间数据的使用。因此, 研究一套适用于夜间 MODIS 影像的云检测算法是十分必要的。

1 数据与原理

1.1 MODIS 热红外数据简介

夜间 MODIS 影像具有 16 个热红外通道数据。本次所采用的是 MODIS 1B 的 20、28、31、32、35 等 5 个热红外通道数据(表 1)。在利用这 5 个通道数据进行云检测试验之前, 首先要对图像进行辐射校正和几何校正, 然后再利用普朗克辐射函数将夜间图

像各通道像元的辐射强度转化为亮度温度。

表 1 云检测中使用的 5 个热红外通道特点

通道	光谱范围/ μm	信噪比	主要用途	分辨率/m
20	3.660 ~ 3.840	0.05	地球表面及云顶温度	1 000
28	7.175 ~ 7.475	0.25	卷云、水汽	1 000
31	10.780 ~ 11.280	0.05	地球表面及云顶温度	1 000
32	11.770 ~ 12.270	0.05	地球表面及云顶温度	1 000
35	13.785 ~ 14.085	0.25	云顶高度	1 000

1.2 基本原理与算法

夜间陆地的辐射传输模型与白天的相比有很大的不同。夜间由于缺少太阳辐射, 地面和传感器将不会受到太阳的直接影响。地表向外界发射的长波辐射一部分被传感器接收, 另一部分被大气吸收或散射。地面上空如果有云存在, 那么位于云层下方的地表辐射将不能够完全穿过云层被传感器接收; 传感器获得的是云顶的热辐射值, 或者是云顶热辐射与地表热辐射的混合值。与周围的下垫面相比, 云顶总是具有较低的温度。根据云顶与陆面之间存在的这一温度差异, 可在仅使用热辐射数据的情况下, 对云进行有效识别。

根据云的性质不同, 可以将其分成可透过云 and 不可透过云 2 类, 其中不可透过云又可分为高云、中云和低云 3 类。与不可透过云相比, 可透过云的性质接近地表, 检测相对困难, 尤其是对卷云和薄卷云的检测。这里分别对不同的云类采用针对性算法进行检测。

利用云在 MODIS 热红外通道具有的低温特性, 以及不同通道对地表及水汽辐射敏感度存在的差

异,建立基于同一时相影像的夜间云检测算法,如表 2 所示。

表 2 单时相夜间云检测方法

云的分类	特点	检验方法
不可 高云	中纬度云层,高度在 6 km 以上	$BT_{13.9}$
透过 中云	中纬度云层,高度一般在 2~6 km	$BT_{7.3} - BT_{11.0}$
云 低云	中纬度云层,高度一般在 2 km 以下	$BT_{11.0} - BT_{3.7}$
可透过云	地表热辐射可以透过云层	$BT_{3.7} - BT_{12.0}$

另外,根据同一地区 MODIS 影像时间更新频率高这一特点,建立多时相组合的夜间云检测算法。利用研究区云顶及地表温度在时相上的变化特点进行云检测。

1.2.1 单时相夜间云检测方法

单时相夜间云检测方法及阈值主要利用 MODIS 夜间图像通道具有的不同电磁波特性和研究区特点确定的。为论述简便起见,以下方法中的 BT 表示红外亮度温度,下标表示通道的中心波长。

(1) 利用 $BT_{13.9}$ 进行高云检测。MODIS 第 35 通道(中心波长 13.9 μm)对相对冷云的敏感性很好,只有 500 Pa 以上的云才会影响 13.9 μm 的辐射^[5]。忽略来自地球表面的辐射,利用 13.9 μm 的辐射设定阈值,就可以对高云进行辨识。

(2) 利用 $BT_{7.3} - BT_{11.0}$ 亮度温差检测中云。地表热辐射能量由地表温度和地表比辐射率决定。相同下垫面在不同谱段的发射辐射相差甚小,且不同谱段对大气吸收也不同,如 8.6 μm 和 12.0 μm 处的大气水汽吸收大,而 11.0 μm 处大气水汽吸收则比较小,其辐射能主要反映下垫面的信息,因此,这将导致不同波段的亮度温度差异^[6]。在白天的云检测算法中,常利用反射率进行中云检测^[7],在夜间使用 $BT_{7.3} - BT_{11.0}$ 亮度温度差进行检测。

(3) 利用 $BT_{11.0} - BT_{3.7}$ 亮度温差检测低云。 $BT_{11.0} - BT_{3.7}$ 可用于夜间部分云或薄云检测,小的或负的像元值表示为晴空,或全部被厚云覆盖。由于夜间低云在 3.7 μm 通道的发射率小,也会出现负值。这种方法对于检测低云十分有效。另外,实际阈值是随生态环境的改变而变化的,在非均匀视场中会出现中到大的亮度温度差,这是由普朗克定律作用下非均匀温度场中的光谱响应不同决定的。

(4) 利用 $BT_{3.7} - BT_{12.0}$ 亮度温差检测薄卷云。以往对薄卷云的检测方法有近红外 1.38 μm 的卷云检测^[8]等,但夜间图像不具备这一通道。对于同一像元来说,当图像中出现部分云时,这 2 个通道的亮温差会增大,若全为晴空或全被云覆盖时,这一差值则会很小。卷云是由冰晶组成的,而冰晶具有透

过红外辐射的特性,薄卷云比厚卷云更透明,可透过地表发射辐射。因此,可以利用 2 个通道亮温差的这种特性,对薄卷云进行检测。

1.2.2 多时相组合夜间云检测方法

对于局部地区来说,如果该地区上空为晴空,根据气象规律,该区连续几天时间内的温度变化应该在一个范围内,若温度变化超过这一范围,说明该地上空有云覆盖,这对 MODIS 影像的每个像元也同样适用。如果某一像元的温度超过该像元的温度范围,说明该像元为有云像元。

多时相组合夜间云检测方法要求遥感影像具有空间定位准和时间分辨率高的特点,以便能够获得短时间内同一地区的温度变化信息。MODIS 传感器在获取遥感影像数据的同时,还会获得对应像元的经纬度信息,而且每天可以获得最少 2 次白天和 2 次黑夜的更新数据^[9]。MODIS 传感器具有的这些特点很适合该方法的要求。

选取 8 d 的 MODIS 夜间图像作为一个试验周期,选择 MODIS 32 通道作为实验数据。阈值的选取根据 8 d 温度的变化情况来确定。根据选取阈值的不同,可以控制检测云量的多少和准确度,寻找出一个时间周期内同一像元的温度最大值,然后利用这个温度最大值与需要进行云检测的这一像元进行对比,如果超出最大像元值阈值以上的范围,则说明此像元被云覆盖。

2 算法实现流程

具体的算法实现如图 1 所示。

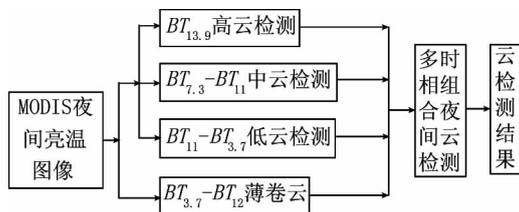


图 1 夜间 MODIS 图像云检测算法流程

首先,进行单时相夜间云检测。输入 MODIS 20、28、31、32、35 等波段数据,依次进行高云、中云、低云和薄卷云检测,检测中根据不同的试验方法选择不同的阈值;

然后,进行多时相组合夜间云检测,输入连续 8 d 的 MODIS 32 通道数据,分析像元是否有云覆盖,将几组试验的结果进行对比分析;

最后,将 MODIS 夜间图像的各个像元标识为晴空像元或有云像元。

3 云检测算法

3.1 试验区概况

试验区位于我国东经 102° ~ 107° 之间(图 2), 是贯穿我国南北^[10]的南北地震构造带(简称南北带)。该带地质结构复杂, 构造活动频繁, 是连接我国东西地质构造的关键部位。该区地形和气候变化很大。根据南北带下垫面类型及气候特点, 从研究区中选择 3 种典型的下垫面及气候类型区进行云检测研究: 下垫面植被茂密区——以四川盆地为例; 植被稀疏区——以青海湖及其周边地区为例; 沙漠地区——以祁连山以北内蒙的沙漠地区为例。试验数据为 2006 年 4 月 28 日到 5 月 5 日共 8 d 的夜间 MODIS 数据。

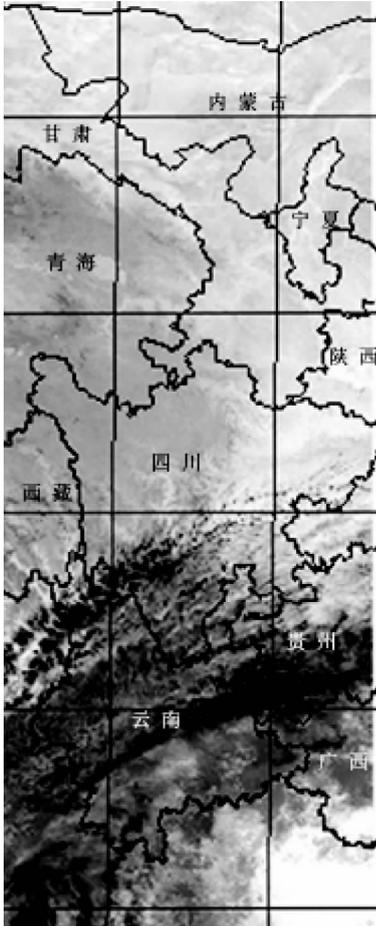


图 2 南北地震带位置示意图

3.2 阈值选取

不同地区、不同气候条件下阈值的选取是不同的。通过分析试验图像的亮度直方图^[11], 并根据有云和无云像元在直方图上的分布情况确定云检测的阈值。典型研究区的阈值选取如表 3 所示。同时在本次试验中, 确定多时相组合夜间云检测方法的阈值为 15 K。根据以上阈值, 对 3 个典型研究区的图

像进行云检测试验, 程序自动记录检测结果。

表 3 单时相夜间云检测试验阈值

云检测方法	青海湖地区温度/K	四川盆地温度/K	沙漠地区温度/K
$BT_{13.9}$	237	239	238
$BT_{7.3} - BT_{11}$	-40	-160	-112
$BT_{11} - BT_{3.7}$	-10	-13	-16
$BT_{3.7} - BT_{12}$	12	-3	-5

3.3 检测结果及分析

首先, 根据表 3 阈值对 3 个典型区分别进行云检测, 其结果如图 3 所示。

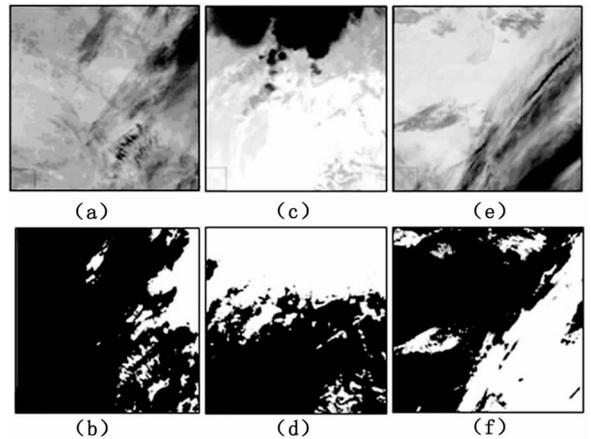


图 3 南北地震带典型研究区云检测结果

(a, c, e 分别是青海湖、四川盆地及祁连山以北内蒙沙漠地区 MODIS 32 通道图像; b, d, f 分别是对应的云检测结果图像。其中, 黑色代表晴空像元, 白色代表有云像元, 下同。)

然后, 选用 2006 年 5 月 3 日(3:09, 北京时)及其前 4 d 和后 3 d 的夜间 MODIS 影像, 对整个南北带的 MODIS 影像进行检测, 其结果如图 4 所示。

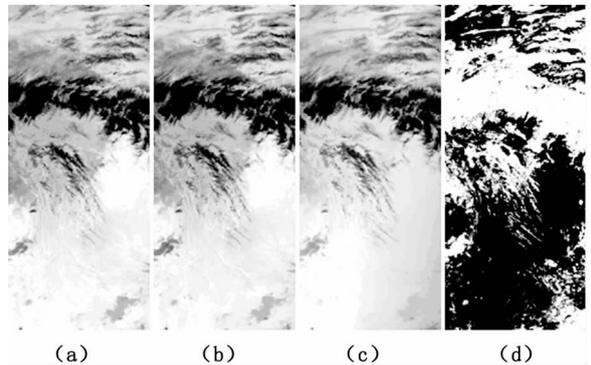


图 4 MODIS 图像及云检测结果

(a): 29 波段; (b): 32 波段; (c): 35 波段; (d): 云检测结果

通过对局部典型地区和南北带整体的云检测实验结果进行分析发现, 基于夜间 MODIS 影像云检测算法的结果比较理想。不同地区的阈值选取是不同的, 阈值的不同主要与所在地区的海拔高低、植被类型和气候特点有很大关系。本次实验中的青海湖地

区由于海拔较高、气候较冷,云顶与地表的温度都比其它2个地区的偏低,相应的阈值选取也有所不同。

对于南北带整体的云检测实验来说,选取29、32、35通道与云检测结果进行对比分析,如图4所示。可以看出:29通道对卷云和水汽比较敏感;32通道对地表温度与云顶温度比较敏感;35通道对冷云敏感性较好。在这3个通道上,被云覆盖的像元由于温度较低显示出较深的颜色。通过将29、35通道图像与结果图对比可以发现,利用夜间云检测算法对冷云、卷云检测的精度很高,同时对图中温度较高的低云也很敏感。

4 讨论与结论

(1)在总结与提炼以往云检测算法的基础上,建立了单时相云检测方法,并提出了多时相组合的夜间云检测算法。利用该算法对南北地震带进行云检测试验,证实了该算法对MODIS夜间影像上的各种云类都具有较高的敏感度。

(2)多时相组合的云检测方法对夜间云检测的质量起到了良好的控制作用。通过对不同区域云检测阈值的选取发现,阈值的选取与研究区的下垫面及气候类型有很大关系,选取合适的阈值可以提高云检测算法的精度。

应指出的是,文中的阈值是通过南北带的云检测试验得出的,推广本算法时,需要重新选定适合于当地的阈值。

致谢: 感谢中国地震局地质所马瑾院士和刘力强

研究员在论文成文阶段给予的宝贵意见;感谢地震局地质所扈晓燕、陈国强给予的数据支持等帮助。

参考文献:

- [1] Rossow B, Garder C. Cloud Detection Using Satellite Measurements of Infrared and Visible Radiances for ISCCP[J]. *Journal of Climate*, 1993, 6(12): 2341 - 2369.
- [2] Kriebel K, Gesell G. The Cloud Analysis Tool APOLLO: Improvements and Validations[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2389 - 2408.
- [3] Stowe L, McClain P. Global Distribution of Cloud Cover Derived from NOAA/AVHRR Operational Satellite Data[J]. *Advances in Space Research*, 1991, 11(3): 51 - 54.
- [4] Wylie D P, Menzel W P. Two Years of Cloud Cover Statistics Using VAS[J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1989, 2(4): 380 - 392.
- [5] 刘玉洁, 杨忠东, 等. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [6] 宋小英, 赵英时. MODIS 图像的云检测及分析[J]. *中国图象图形学报*, 2003, 8(9): 1079 - 1083.
- [7] 王家成, 杨世植, 等. 东南沿海 MODIS 图像自动云检测的实现[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2006, 31(3): 270 - 273.
- [8] Gao Bo - cai, Goetz, Alexander F H, et al. Cirrus Cloud Detection from Airborne Imaging Spectrometer Data Using the 1.38 Micron Water Vapor Band[J]. *Geophysical Research Letters*, 1993, 20(4): 301 - 304.
- [9] 刘 闯. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. *遥感信息*, 2000, (3): 45 - 48.
- [10] 马 瑾, 陈顺云, 等. 用卫星热红外信息研究关联断层活动的时空变化——以南北地震构造带为例[J]. *地球物理学报*, 2006, 49(3): 816 - 823.
- [11] 何全军, 曹 静, 等. 基于多光谱综合的MODIS数据云检测研究[J]. *国土资源遥感*, 2006, (3): 19 - 22

A STUDY OF NIGHT CLOUD DETECTION BASED ON MODIS IMAGE

HOU Yue^{1,2}, LIU Pei - xun¹, CHEN Shun - yun¹, LIU Shao - feng²

- (1. State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China;
2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on traditional cloud detection methods, the authors developed a new algorithm for detecting night cloud according to characteristics of MODIS sensors which have high spectral resolution and time resolution. The algorithm includes the single - scene cloud detection method and the combined multi - scene cloud detection method. The test of night cloud detection on the N - S seismotectonic zone in China shows that this algorithm is effective in detecting night cloud on the MODIS image, and thus it can provide a basis for the effective application of night MODIS image.

Key words: Night cloud detection; Thermal infrared; MODIS; N - S seismotectonic zone in China

第一作者简介: 侯 岳(1982 -),女,硕士生,主要从事遥感与地理信息系统方面的研究。

(责任编辑:刁淑娟)