

# 基于多光谱综合的 MODIS 数据云检测研究

何全军, 曹静, 黄江, 吴志军

(广州气象卫星地面站, 广州 510640)

**摘要:** 云检测是卫星遥感数据处理中不可缺少的工作。通过分析云在不同波段中的大气辐射特点, 结合 MODIS 数据的光谱特性, 提出一种多光谱综合的云检测方法。该算法从可见光反射率、红外波段亮温值以及亮温差等方面综合考虑, 逐步建立一个云检测掩模。通过对不同时期不同背景的 MODIS 数据进行验证和对比分析, 结果表明, 该模型的云检测效果理想, 尤其对可见光波段难以识别的薄卷云也有很好效果, 为有效利用 MODIS 数据以及进行更加精确的反演提供可靠依据。

**关键词:** MODIS; 云检测; 多光谱综合; 阈值

**中图分类号:** TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2006)03-0019-04

## 0 引言

云检测是卫星遥感图像处理与应用过程中的一大难点, 云和晴空的分离是反演大气和地表各种参数必须的预处理工作, 云检测结果的正确与否直接影响到其它参数的反演结果。目前, 研究人员在实际应用中多采用多天数据的合成方式来减少云的影响。然而, 短周期的合成数据不能完全排除云的干扰, 周期过长又丧失时间效率, 不适合短期监测<sup>[1]</sup>。Gutman 和 Ignatov<sup>[2]</sup> 研究发现, 10 d 的合成数据不能保证完全是晴空, 2~3 周也依然会有云的干扰, 因此, 最有效的方法是对每天的数据都进行云检测处理, 移除数据中的云像素。

针对应用广泛的 NOAA/AVHRR、GOES 以及 GMS 等数据, 研究人员提出多种云检测方法, 如 APOLLO<sup>[3]</sup>、Clavr-1、Caynla-Cornillon、Wavelet-Fransform<sup>[4]</sup> 及 5D Histogram Techniques (HT 5)<sup>[5]</sup> 法等, 此外, 还有分形纹理<sup>[6]</sup> 和神经网络<sup>[7]</sup> 等, 这些算法主要是基于阈值进行云检测处理。阈值的设定有基于实测光谱数据的, 也有对图像数据进行分析、多次试验的经验值, 还有基于贝斯因素法 (Bayes Factors)<sup>[8]</sup> 确定的阈值, 等等。

MODIS 以其高光谱、高时间和适中的空间分辨率以及数据免费接收的特点和优点在国际上广泛使用。我国处于中低纬度地区, 受西北太平洋暖湿气

流影响, 气候潮湿, 很少有万里无云的晴空天气<sup>[9]</sup>, 尤其在南方地区云干扰情况极为严重, 这大大限制了数据的使用效率。NASA 的 MODIS 小组提出了一种云掩模算法 (Cloud Mask Algorithm)<sup>[10]</sup> 来分离云和晴空数据, 在此基础上得到一系列 MODIS 云产品<sup>[11]</sup>。但该算法需要地表类型、海拔高度以及冰雪分布等数据的输入, 同时使用的波段数目较多, 容易受传感器工作状况影响。为提高 MODIS 数据的使用效果, 排除云干扰, 本文结合国内外的一些云检测方法进行大量试验, 提出一种适合我国中低纬度地区的简单的云检测方法, 并取得令人满意的效果。

## 1 云检测的原理

云在可见光和红外波段与植被、土壤以及水域等下垫面介质的反射率和辐射亮温值存在差异, 云具有较高的反射率而具有低的亮温值<sup>[9]</sup>。

在 0.58~0.68  $\mu\text{m}$  之间的可见光波段, 下垫面介质的类型不同, 其反射率也明显不同, 绿色植被反射率最低, 水体其次, 土壤和城镇反射率最高, 但都不超过 16%<sup>[9]</sup>。云的反射率明显高于下垫面反射率, 并随着厚度、高度而变化<sup>[12]</sup>。在 MODIS 数据的可见光波段 0.645  $\mu\text{m}$  处, 晴空数据地物一般具有较低的反射率, 反射值在 0~0.3 之间, 云则有高的反射率, 一般高于 30, 是进行云检测处理的首选波段<sup>[1]</sup>。

1.375  $\mu\text{m}$  处于强的水汽吸收波段<sup>[13]</sup>,地面的反射因水汽吸收难以到达传感器,导致反射率低,而高云上方的水汽对云的反射值削弱较少,因此该波段对高层卷云敏感,具有高的反射率,低云则具有低的反射率,通常低于 0.02。此波段可以用来进行卷云的检测。

雪和云在可见光波段具有相似的反射特性,在 1.64  $\mu\text{m}$  近红外波段中,雪因吸收太阳辐射强而导致反射率低,云则相对吸收太阳辐射少而反射率高,通常利用 0.645  $\mu\text{m}$  和 1.64  $\mu\text{m}$  反射率的差和比  $\frac{\rho_{0.645} - \rho_{1.64}}{\rho_{0.645} + \rho_{1.64}}$  进行云雪判断。该公式采用归一化处理可以消除一定的大气辐射及仪器影响<sup>[14]</sup>,但该方法容易将湖岸、海岸线误判,通过利用对云出现敏感的 0.412  $\mu\text{m}$  紫光波段进行修正<sup>[15]</sup>,剔除误判。

8.6  $\mu\text{m}$  和 11  $\mu\text{m}$  波段对云特性敏感。短波中有强的水汽吸收作用,导致晴空中 8.6  $\mu\text{m}$  处的辐射值低于 11  $\mu\text{m}$  处的辐射值;冰晶在 8.6  $\mu\text{m}$  的吸收远小于 11  $\mu\text{m}$  处的吸收,所以,冰晶组成的卷云在 8.6  $\mu\text{m}$  处的辐射值高于 11  $\mu\text{m}$  处的辐射值;而水滴组成的光学厚度较大的云则在 8.6  $\mu\text{m}$  处的辐射值低于 11  $\mu\text{m}$  处的辐射值<sup>[16]</sup>。

## 2 数据和波段选择

本文使用的数据是 MODIS 的 1B 数据,经过几何校正、定标计算等处理,可见光和近红外波段的数据值为反射率,热红外波段数据值是亮温值,并在处理过程中进行了 MODIS 数据特有的 Bow - Tie(俗称“双眼皮”)去除校正。

根据前面云检测原理中不同波段对云的敏感性,以及 MODIS 数据的各通道的波谱特性,结合大气窗口和云的辐射传输特点,选择了可见光到热红外 6 个通道数据进行云检测。具体通道选择及其应用描述如表 1。

表 1 MODIS 云检测的特征波段及应用领域

| 波段  | 光谱范围/ $\mu\text{m}$ | 应用领域       |
|-----|---------------------|------------|
| B1  | 0.620 ~ 0.670       | 陆地/云/气溶胶边界 |
| B6  | 1.628 ~ 1.652       | 陆地/云/气溶胶特性 |
| B8  | 0.405 ~ 0.420       | 海洋水色/浮游植物  |
| B26 | 1.360 ~ 1.390       | 卷云/水汽      |
| B29 | 8.400 ~ 8.700       | 云特性/温度     |
| B31 | 10.780 ~ 11.280     | 地表/云顶温度    |

## 3 云检测方法的实现

以大量不同时段及不同背景的 MODIS 数据为样本,进行直方图和二维离散点分析,经目视解译进行图像分类,再结合不同目标的波谱反射、辐射范围,利用单波段阈值法检验云,最后进行人工判断检验等一系列工作,确定了适用不同波段检验云的经验阈值。利用前面选择的 6 个波段及波段组合进行逐像元检查,完成云检测处理工作,从而达到云和晴空分离的目的。

可见光 B1 是进行云检测的首选通道,反射率大于 30 即可判断为云;B29 和 B31 的亮温差易于高云检测,B26 易于高卷云识别,本文将其组合起来共同判断卷云;利用 B26 高云反射率高,低云反射率低,以及卷云在可见光难以识别的特点,通过 B26 和 B1 组合进一步检测卷云;在 B1 和 B6 的差和比判断过程中,城镇、海岸在这两个通道中反射率相似,其值和厚云值接近,算法的阈值易将其误判,但 B8 中陆地、海洋的反射率远低于云的反射率,且该通道对厚云敏感易出现过饱和,因此,在云检测过程中利用 B8 的反射率来修正,同时利用可见光 B1 来剔除水体。具体算法实现如流程图 1 所示。

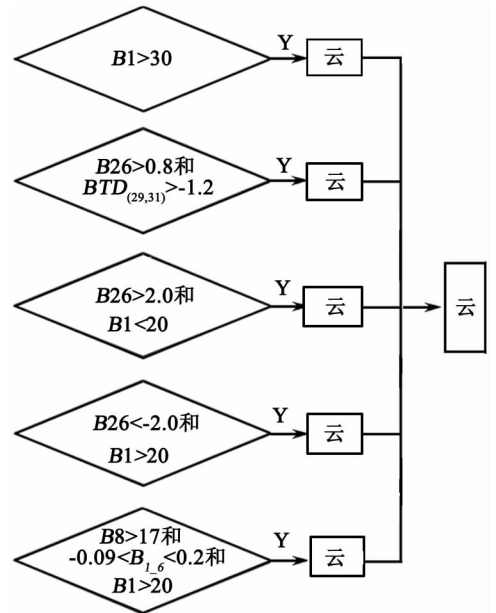


图 1 云检测算法流程

其中,  $B_i$  代表第  $i$  通道的反射率或者亮温值;  $BTD_{(29,31)}$  代表 B29 和 B31 的辐射亮温差,  $B_{1_6}$  代表 B1 和 B6 的差和比值,即  $(\rho_{0.645} - \rho_{1.64}) / (\rho_{0.645} + \rho_{1.64})$ 。

该算法首先通过对不同波段或波段组合分别进行云像素判断并逐一建立云掩模,然后将所有判断

为云的像素再合并起来得到一个最终的云检测结果。本文基于交互式 IDL 语言编程,将上述算法封装为一个自动处理程序,只要读入 MODIS 数据即可完成云检测处理,输出云检测结果。

## 4 应用实例分析

### 4.1 陆地地区云检测

应用以上云检测算法对 2004 年 11 月 19 日 03 时 08 分(世界时)接收的 MODIS 数据进行处理,选取的数据范围在  $110^{\circ}29'56'' \sim 116^{\circ}29'20''E$ ,  $26^{\circ}40'47'' \sim 32^{\circ}40'11''N$  间,居于湖北、湖南和江西三省交界地段,完全属于陆地。如图 2 所示。

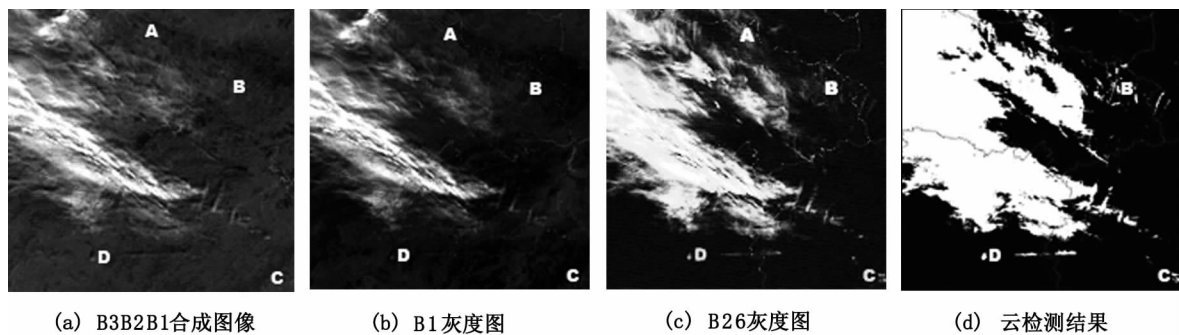


图 2 陆地地区云图及检测结果

图中 A、B、D 处的云在 B1 上难以识别,在 B26 上则表现为灰白色,尤其以 B 处杂乱的带状特征云最为明显,这些云在云检测结果图中被完全识别出来; C 处斑点状云在合成图和 B1 中都是完全不可见,仅在 B26 中有较浅颜色可以分辨出云的形态,该算法也能完全提取出来。以上结果说明,本云检测

算法对陆地云检测效果理想。

### 4.2 濒海地区云检测

以我国濒临南海的广东地区数据检测处理为例。图像接收时间为 2005 年 4 月 21 日 03 时 03 分(世界时)。图幅范围在  $111^{\circ}37'28'' \sim 117^{\circ}36'54''E$ ,  $18^{\circ}8'53'' \sim 30^{\circ}8'17''N$  之间。如图 3 所示。

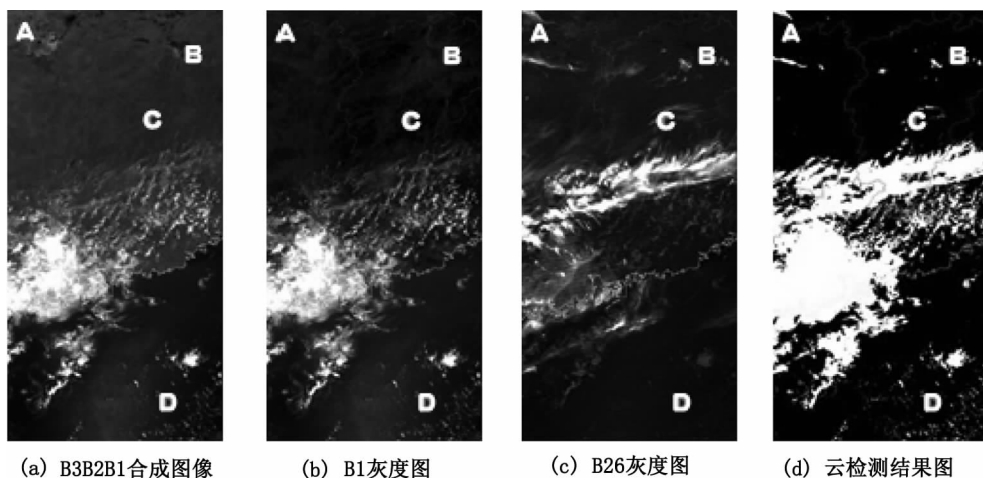


图 3 南部濒海地区云图及检测结果

对比图 3 的 4 幅图,可以明显看到在珠江口地区有一大团状云系,粤北地区一条横带状云穿过,这两个云体在 B1 和 B26 上的表现特征截然不同;在 B26 中可发现 A 处上下有两条明显的带状云, B 处左右有云斑, C 处有羽带状云,而在合成图(a)和可见光灰度图(b)中难以发现;海洋上 D 区域的杂乱散点云系在 B26 灰度图中难以识别,这些在检测结果中都能被识别。从原始云图和云检测结果图的对比

可以看到,云的形态提取完整、自然,云系边沿丝带状、波纹状和羽齿状云体都能够完整提取出来,说明该云检测方法对陆海濒地区云检测效果理想。

## 5 结论

本文分析了云在不同波段的光谱特性,利用基于多光谱综合阈值法建立的一个云检测方案进行了

MODIS 数据云检测处理。对不同时期和不同背景的数据进行云检测,并对结果进行对比分析,表明该算法对云信息提取完整。尤其该算法充分利用 MODIS 的 B26 以及 B29 和 B31 的差值对卷云的敏感特性,对可见光无法观察的薄卷云具有很好的检测效果,比较适合我国中低纬度地区的 MODIS 数据云检测处理。但是该方法也存在一定不足,尚未考虑卫星观测角变化造成的影响,当数据偏离星下点轨道中心太远、卫星观测角较大时,检测不理想。

## 参考文献

- [1] Chen P Y, Srinivasan R, Fedosejevs G, et al. An automated cloud detection method for daily NOAA - 14 AVHRR data for Texas, USA [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23 (15): 2939 - 2950.
- [2] Gutman G, Ignatov A. The relative merit of cloud/clear identification in the NOAA/NASA pathfinder AVHRR land 10 - day composites [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17: 3295 - 3304.
- [3] Kriebel K T, Gesell G, Kastner M, et al. The cloud analysis tool APOLLO: improvements and validations [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2389 - 2408.
- [4] Yang Zhizhang, Grayson Wood, John E. O' Reilly. Cloud detection in sea surface temperature images by combining data from NOAA polar - orbiting and Geostationary Satellites [A]. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, Proceedings, IGRASS 2000* [C]. *IEEE 2000 International*, 2000, 5: 1817 - 1820.
- [5] Karner O, Digrolamo L. On automatic cloud detection over ocean [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22 (15): 3047 - 3052.
- [6] 陈伟,周红妹,袁志康,等. 基于气象卫星分形纹理的云雾分离研究[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 133 - 139.
- [7] 宋小宁,赵英时. MODIS 图像的云检测及分析[J]. *中国图象图形学报(A 版)*, 2003, 8(9): 1079 - 1083.
- [8] Murtagh F, Barreto D, Marcello J. Decision boundaries using bayes factors; the case of cloud masks [J]. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(12): 2952 - 2958.
- [9] 周红妹,杨卫星,陆贤. NOAA 气象卫星云检测方法的研究 [J]. *环境遥感*, 1995, 10(2): 13 - 142.
- [10] Steve Ackerman, Kathleen Strabala, Paul Menzel, et al. Discriminating clear - sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document (MOD35) [EB/OL]. [http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/data/atbd\\_mod06.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/data/atbd_mod06.pdf), 2002 - 10.
- [11] Steven Platnick, Michael D King, Steven A Ackerman, et al. The MODIS cloud products: algorithms and examples from Terra [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41 (2): 459 - 473.
- [12] 周红妹,谈建国,葛伟强,等. NOAA 卫星云雾自动监测和修复方法 [J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(3): 41 - 47.
- [13] Kerry Meyer, Yang Ping, Gao Bo - cai. Optical thickness of tropical cirrus clouds derived from the MODIS 0.66 - and 1.375 - channels [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2004, 42(4): 833 - 841.
- [14] 李微,方圣辉,佘袁勇,等. 基于光谱分析的 MODIS 云检测算法研究 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2005, 30(5): 435 - 443.
- [15] Roskovensky J K, Liou K N. Detection of thin cirrus using a combination of 1.38 - reflectance and window brightness temperature difference [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108 (D18): AAC4 - 1 - AAC4 - 16.
- [16] 盛夏,孙龙祥,郑庆梅. 利用 MODIS 数据进行云检测 [J]. *解放军理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 5(4): 98 - 102.

## CLOUD DETECTION IN MODIS DATA BASED ON MULTI - SPECTRUM SYNTHESIS

HE Quan - jun, CAO Jing, HUANG Jiang, WU Zhi - jun  
(Guangzhou Meteorological Satellite Ground Station, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Cloud detection is absolutely necessary in the processing of satellite remote sensing data. Through analyzing meteoric characteristics of cloud in different spectra and integrating the spectral characteristics of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), the authors put forward a new cloud detection method based on multi - spectrum synthesis. Taking into account such factors as visible reflectance, infrared brightness temperature and window brightness temperature difference, the algorithm can gradually build a cloud detection mask and finally obtain an entire cloud processing result which can discriminate cloud from clear sky. The algorithm was applied in different periods and different scenes to make validation and analysis. The results show that the cloud detection is ideal, especially for thin cirrus which is invisible in the visible band. This technique can promote the use of MODIS data and improve the accuracy of retrieving.

**Key words:** MODIS; Cloud detection; Multi - spectrum synthesis; Threshold value

第一作者简介:何全军(1978 - ),男,硕士,助理工程师,从事卫星遥感应用与地理信息系统开发工作。

(责任编辑:刁淑娟)