

doi:10.6046/gtzyyg.2012.02.03

# 基于动态阈值的 HJ-1B 图像云检测算法研究

韩杰, 杨磊库, 李慧芳, 梁洪有, 马晓红, 谢玉娟

(河南理工大学矿山空间信息技术国家测绘局重点实验室, 焦作 454000)

**摘要:** 针对环境与灾害监测预报小卫星星座 1B 星(HJ-1B)的传感器波段特征,通过对云检测阈值的年度波动性分析,提出了一种基于波谱标准差异常的“动态阈值云检测算法”。该算法的实现主要是采用图像配准、波段运算、线性回归和误差分析等方法,获取云异常区域,进而剔除图像中的云像元。研究表明,该算法可以很好地检测出不同时相、不同类型下垫面上空的云像元,为有效利用 HJ-1B 数据并提高其图像分类精度发挥作用。

**关键词:** 标准差异常; 动态阈值; 云检测; 环境与灾害监测预报小卫星星座 1B 星(HJ-1B)

**中图分类号:** TP 751.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2012)02-0012-07

## 0 引言

环境与灾害监测预报小卫星星座 1B 星(以下简称 HJ-1B)的图像凭借其获取方便、监测区域大、分辨率较高等特点,已在生态破坏、环境污染检测和灾后评估等诸多领域得到广泛应用<sup>[1-2]</sup>。然而因受云层遮盖或云阴影遮挡的干扰,HJ-1B 图像中常常会出现许多“盲区”,使该区域内的地物信息丢失或变得模糊,严重影响对地表和大气各种参数反演的准确性和可靠性。因此,在遥感定量化应用前,采用快速有效的云检测方法剔除图像中云覆盖区域,是图像预处理中的一个重要环节<sup>[3]</sup>。

目前,关于云检测的算法很多,例如 ISCCP (international satellite cloud climatology project) 方法<sup>[4]</sup>、APPOLLO (AVHRR processing scheme over cloud land and ocean) 方法<sup>[5]</sup>、CLAVER (NOAA cloud advanced very high resolution radiometer) 方法<sup>[6]</sup>等,这些算法主要是利用预先设定的经验阈值进行云检测。然而由于不同时相、不同高度云层的反射率与亮温有所不同,利用固定阈值判识每景图像中的云像元是不可靠的,会导致检测的精度好坏不一<sup>[7]</sup>。

为解决上述问题,本文针对 HJ-1B CCD/IRS 的波段设置,提出了一种基于波谱标准差异常的“动态阈值云检测算法”。该算法将云覆盖区域作为超出晴空辐射值正常变化范围的异常区域,利用该区域波谱标准差异常特征获取动态阈值,针对不同类型下垫面逐步建立云掩模。研究表明,该算法能够准确地剔除 HJ-1B 图像中的云像元,具有一定的通用性。

## 1 研究区与数据源

### 1.1 研究区概况

研究区位于河南省焦作市的西北部, E111°07' ~ 113°44', N34°08' ~ 35°04' 之间,海拔在 85 ~ 940 m 之间;属暖温带大陆性季风气候,四季分明。该区域的下垫面类型较为复杂,包括植被、土壤、城市用地、水体等,具有较好的代表性,适用于检验本文算法的通用性。

### 1.2 HJ-1B 数据介绍

HJ-1B 卫星平台上装载了一台 CCD 相机和一台红外(IRS)相机,其波段设置及空间分辨率等参数<sup>[8]</sup>如表 1 所示。本研究中所使用算法测试数据的成像时间为 2010 年 11 月 12 日。

表 1 HJ-1B 卫星相机主要参数

Tab. 1 Principal parameters of HJ-1B camera						
卫星平台	有效载荷	波段号	光谱范围/ $\mu\text{m}$	空间分辨率/m	幅宽/km	重访周期/d
HJ-1B	CCD 相机	1	0.43 ~ 0.52	30	360(单台) 700(二台)	2
		2	0.52 ~ 0.60	30		
		3	0.63 ~ 0.69	30		
		4	0.76 ~ 0.90	30		
	IRS 相机	5	0.75 ~ 1.10	150	720	4
		6	1.55 ~ 1.75			
		7	3.50 ~ 3.90			
		8	10.5 ~ 12.5			

## 2 特征波段阈值波动性分析

云检测的基本原理是利用云与植被、土壤以及水域等下垫面介质的光谱差异进行云检测的。云在

收稿日期: 2011-08-01; 修订日期: 2011-08-27

基金项目: 河南理工大学矿山空间信息技术国家测绘局重点实验室开放基金资助项目(编号: KLM201112)和中国矿业大学江苏省资源环境信息工程重点实验室开放基金资助项目(编号: JS200907)共同资助。

可见光范围有较高的反射率,但在热红外波段的亮温较低<sup>[9]</sup>。针对HJ-1B波段设置,结合以往相关研究结论<sup>[10-12]</sup>,本文选取第3波段(红光波段)和第8波段(热红外波段)作为特征波段进行云检测。

以往大多数研究是利用预先设定的阈值判识云像元的,即将图像中可见光波段反射率大于某一阈值或者热红外波段亮温小于某一阈值的像元作为云

像元<sup>[13]</sup>。为判断特征波段阈值是否稳定,本文选取研究区不同季度获取的HJ-1B图像进行云检测阈值的波动性分析。从每季度图像中挑选10d数据,利用ENVI中区域直方图统计及密度分割技术,结合目视解译,获取各特征波段的最佳阈值。其中,红光波段反射率阈值及热红外波段亮温阈值的波动曲线如图1所示。

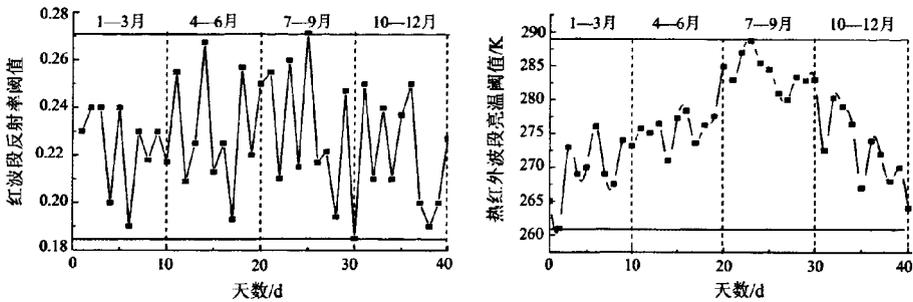


图1 红光波段反射率(左)和热红外波段亮温(右)阈值波动曲线

Fig.1 Threshold volatility curves of reflectance of red band (left) and brightness temperature of infrared band (right)

从图1可以看出,特征波段阈值变化主要有2个特征:①不同时相的云检测阈值是不稳定的(这主要是因为不同季节、不同高度云层的反射率及亮温值有所差异,进而导致阈值的波动);②亮温曲线表现出明显升温降温现象(主要与太阳辐射时间和强度有关)。根据斯特藩-玻尔兹曼(Stefan-Boltzmann)定律可知:在比辐射率一定的前提下,辐射总量与物体温度的4次方成正比。同种物体的比辐射率虽然会随着波长的变化而变化,但变化很小。因此,云在不同光谱波段向外辐射的能量都会增加,且在热红外波段(11 μm处)大气水汽吸收的能量比较少,导致传感器接收到的热辐射增多,使云层表现出亮温增高的现象。冬季该过程减弱,则表现出降温的趋势。

从特征波段阈值年度波动性分析结果可以看出,几乎每一景图像的云检测阈值都是不同的,因此要想利用统一、固定的阈值即可很好地识别任意一景图像中的云像元是不可能的。

### 3 基于波谱标准差异的动态阈值云检测方法

本文通过对特征波段阈值波动性分析,提出了一种基于波谱标准差异的“动态阈值云检测方法”。该方法的基本思路是:首先对同一区域多日晴空图像进行辐射定标、重采样、裁剪、图像配准等预处理;然后将不同时相特征波段叠加在一起,形成红光波段反射率和热红外波段亮温数据集,利用

ENVI获取2个数据集的均值图像(晴空背景场)和标准差图像;分析待检测图像与背景场的差异,确定因云遮盖或云阴影遮挡而产生的异常特征,进而利用标准差图像及图像误差分析方法获取动态阈值;最后针对不同下垫面类型,采用分类别逐像元搜索算法实现云掩模的自动生成。具体流程见图2。

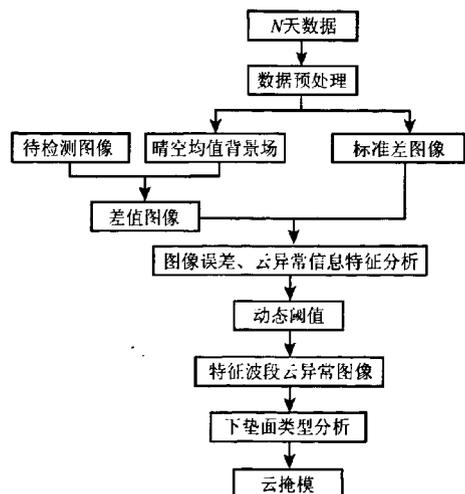


图2 基于波谱标准差异的动态阈值云检测流程  
Fig.2 Flow chart of dynamic threshold cloud detection based on spectral standard deviation anomaly

#### 3.1 数据预处理

在综合考虑HJ-1B的重访周期及地物覆盖类型变化的基础上,本文将季度作为时间跨度,建立季

度背景场。由于积雪在云检测中是一个较难判识的地物,为检验本文算法的有效性,选用研究区冬季的

晴空图像建立冬季晴空背景场。最终获取的特征波段均值、标准差图像如图 3 所示。

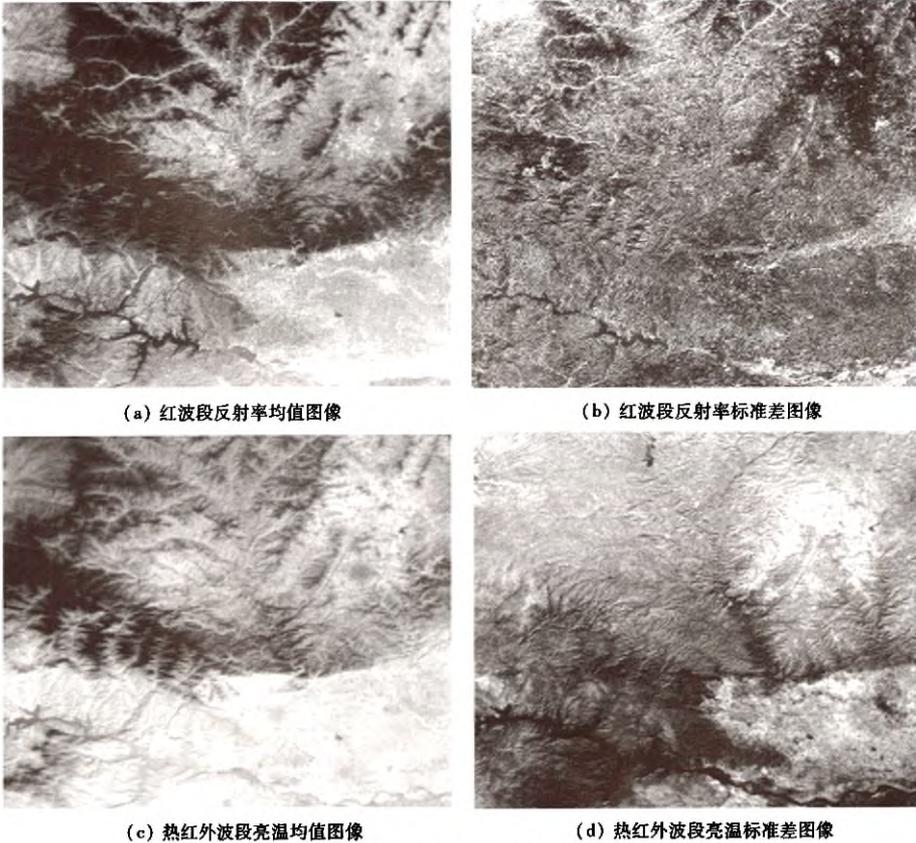


图 3 特征波段均值及标准差图像

Fig. 3 Mean and standard deviation images of the feature bands

本文所选测试图像的特征波段如图 4 所示。

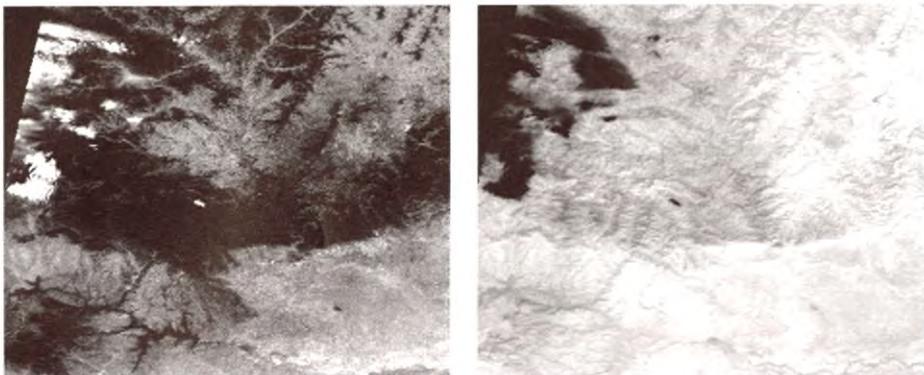


图 4 待检测图像红波段反射率(左)和热红外波段亮温(右)

Fig. 4 Reflectance of red band (left) and brightness temperature of infrared band(right) of the image to be detected

### 3.2 线性回归分析

在利用背景场进行去云处理前,分析背景场与待检测图像特征波段在无云区域的相关性是十分必

要的<sup>[14]</sup>。特征波段之间的线性回归公式为

$$Y_i = a_i X_i + b_i, \quad (1)$$

式中:  $X_i$  为均值背景场第  $i$  个特征波段;  $Y_i$  为待检

测图像第  $i$  个特征波段;  $i$  为特征波段数 ( $i=1,2$ );  $a_i$  和  $b_i$  为回归系数。线性回归分析的结果见表 2。

表 2 线性回归分析结果

Tab.2 Result of HJ-1B Camera linear regression analysis

特征波段	$a$	$b$	$R$ (相关系数)
红波段反射率	0.891	0.037	82.76
热红外波段亮温	0.585	-0.149	83.55

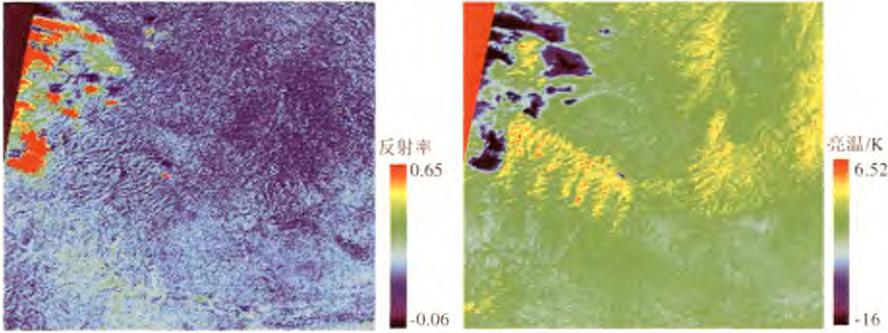


图 5 红波段反射率(左)和热红外波段亮温(右)差值图像

Fig.5 D-value images of reflectance of red band (left) and brightness temperature of infrared band (right)

通过对图 5 目视判读可以得出:①在红波段反射率差值图像的左上角出现了明显且集中的“正值区”,在热红外波段亮温差值图像的左上角则出现位置大致相同的“负值区”;②其他区域差值较为

从表 2 可以看出,特征波段在晴空区域的相关性较高,说明该背景场可以作为云检测的参考底图。

### 3.3 差值图像分析

将待检测图像与背景场对应波段做差值运算,获取 HJ-1B 各特征波段的差值图像(图 5)。

接近。

为了定量分析上述现象,本文从特征波段差值图像中随机挑选 1 行(第 204 行)数据进行分析,其剖面图如图 6 所示。

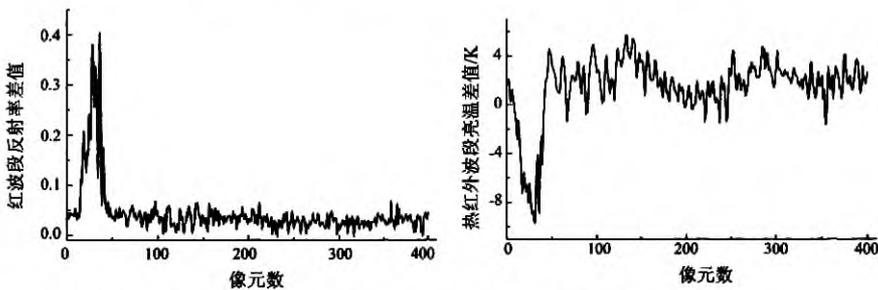


图 6 红波段反射率(左)和热红外波段亮温(右)差值图像(第 204 行)剖面图

Fig.6 Profiles of D-value images (line 204) of reflectance of red band (left) and brightness temperature of infrared band (right)

从图 6 可以看出,在特征波段差值图像的剖面曲线上出现了明显的波峰与波谷;其他区域差值虽有一定的波动,但波动不大。此现象与目视解译的结论相吻合。

### 3.4 云区波谱异常特征分析

现实中云层遮盖和云阴影遮挡都会产生异常信息,因此在提取云异常区域前,需要分析和判断因云层遮盖或云阴影遮挡而产生的异常特征。

1)对于待检测图像中的云阴影而言,该区域受云阴影的遮挡,使得在成像时刻其反射率比晴空区域低,阴影异常会出现在红波段反射率差值

图像中的“负值区”。但阴影区的温度不会因阴影的瞬间遮挡而有大幅度降低,同样由斯特藩-玻尔兹曼定律可知其亮温也不会有大幅度下降,因此该区域在热红外波段亮温差值图像中不会表现出明显的异常。

2)当待检测图像中存在云层遮盖时,该区域的红波段反射率较高、热红外波段亮温较低,而背景场对应区域的红波段反射率较低、热红外波段亮温较高,因此因云遮盖引起的异常在红波段反射率和热红外波段亮温差值图像中应分别出现在“正值区”和“负值区”。

通过对不同因素引起的异常特征分析,确定了云异常在特征波段差值图像中出现的区域。然而如何选取合适的阈值提取该异常区域,还需要进一步分析。

### 3.5 云异常信息提取

提取云异常信息的过程主要考虑晴空辐射值的正常变化及 HJ-1B 图像自身误差的允许范围两方面。对于晴空辐射值而言,由于太阳照射强度、大气中水汽含量、气溶胶浓度等外界因素的变化,会导致晴空反射率、亮温发生正常的改变。本文通过对研究区不同时相的 HJ-1B 差值图像和标准差图像进行比较,利用 ENVI 软件中区域直方图统计、剖面图分析和波段运算等方法分析两者在云异常区域的光谱特征,最终选取 2 倍标准差图像作为界定晴空正常变化范围的阈值(即超出该阈值的区域被判识为异常区域)。实际上,该阈值是动态的,因为随着检测季节和检测区域的变化,HJ-1B 差值图像和标准差图像都会有相应的变化。

然而,在卫星发射过程中及发射升空后,受周围环境、运动状态、光谱响应等变化的影响,传感器元件的性能也会改变,其灵敏度会下降,致使测量值与

真实值存在一定的误差<sup>[15]</sup>。因此,在获取超出晴空正常变化范围的异常图像后,还要考虑该图像自身误差的允许范围。本文参考测量平差中的误差分析方法<sup>[16]</sup>,取置信度在 95.4%(即超出该图像自身 2 倍标准差)的区域作为最终的云异常区域(如图 7 所示,图 7 中  $\mu$  与  $\delta$  分别代表 HJ-1B 图像均值与标准差)。由于各景异常图像的均值、标准差不同,因此该阈值也是动态变化的。

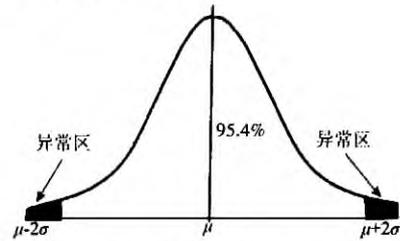


图 7 HJ-1B 图像误差允许范围示意图  
Fig. 7 Sketch map of acceptable range of HJ-1B image error

根据上述获取云异常信息的过程,提出了基于波段标准差异常的“动态阈值云检测模型”,即

$$CMI_r = GE[(DI_r - 2 \cdot SDI_r), mean(DI_r - 2 \cdot SDI_r) + 2std(DI_r - 2 \cdot SDI_r)], \quad (2)$$

$$CMI_{br} = LE[(DI_{br} + 2 \cdot SDI_{br}), mean(DI_{br} + 2 \cdot SDI_{br}) - 2std(DI_{br} + 2 \cdot SDI_{br})]. \quad (3)$$

式中:  $DI_r, SDI_r$  和  $CMI_r$  分别代表 HJ-1B 红波段反射率的差值图像、标准差图像和云异常图像;  $DI_{br}, SDI_{br}$  和  $CMI_{br}$  分别代表热红外波段亮温的差值图像、标准差图像和云异常图像;  $mean()$  与  $std()$  函数分别用来获取 HJ-1B 图像的均值与方差;  $GE()$  为红波段云异常判识函数,它将图像中大于或等于某一

数值的区域判识为 1,其他区域判识为 0;  $LE()$  为热红外波段亮温云异常判识函数,它将图像中小于或等于某一数值的区域判识为 1,其他区域判识为 0。

利用上述云检测模型,最终获得 2 个特征波段的云异常图像(图 8),其中白色为云异常区域(值为 1),黑色为晴空区(值为 0)。

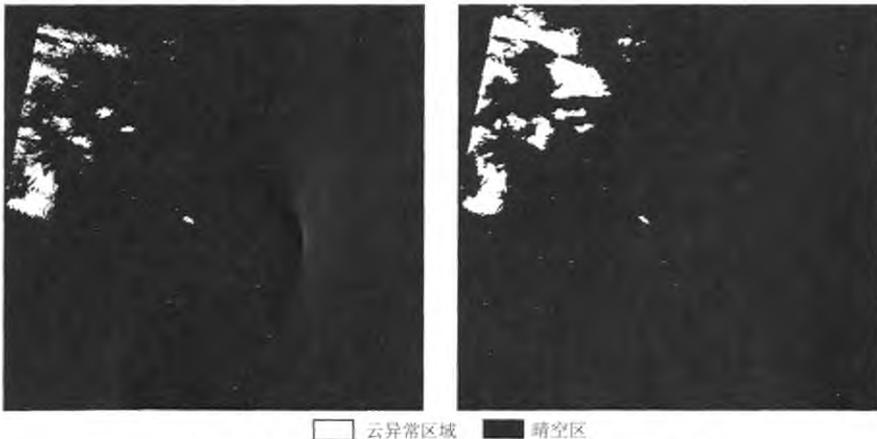


图 8 红波段反射率(左)和热红外波段亮温(右)云异常区域

Fig. 8 Cloud abnormal regions of reflectance of red band (left) and brightness temperature of infrared band (right)

### 3.6 云掩模生成

虽然 2 个特征波段的云异常区域已被提取出来,

但不能直接取两者的交集作为最终的云掩模,因为不同类型下垫面会对云异常提取的结果产生较大影响。

1)当云像元位于水体、植被等暗区域中时,该像元在 HJ-1B 红波段反射率差值图像中会出现明显的“正值区”,从而会被准确地判识为云像元。

2)当云像元位于积雪、城市用地等亮区域中时,由于积雪及云在 HJ-1B 可见光波段的反射率都较高,在待检测图像与背景场相减后,云像元与背景场中亮地物的反射率相抵消,因而会被误判为晴空区。在这种情况下,要利用云在亮温差值图像中表现出的明显“负值区”进行分析。

通过上述分析,结合各种典型地物的光谱特性及红波段阈值的波动性分析结果,采用分类别逐像元搜索算法生成最终云掩模。当背景场像元的红波段反射率  $\rho \leq 0.18$  时,该像元被划定为暗地物,这时若红波段异常结果中对应像元为异常,则该像元被判识为云像元;当  $\rho > 0.18$  时,该像元被判识为积雪、沙土等亮地物,这时若亮温结果中为异常像元,该像元也被认定为云像元。利用该算法对整景图像进行逐像元搜索检测,采用 IDL 生成最终云掩模(图 9)。

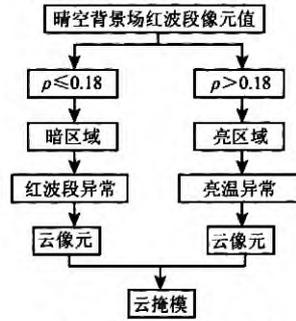


图 9 云掩模生成流程图

Fig.9 Flow chart of cloud mask formation

### 4 检测结果及精度分析

根据云像元判识流程获取待检测 HJ-1B 图像的云掩模,利用该掩模对待检测图像进行去云处理,结果如图 10 所示。

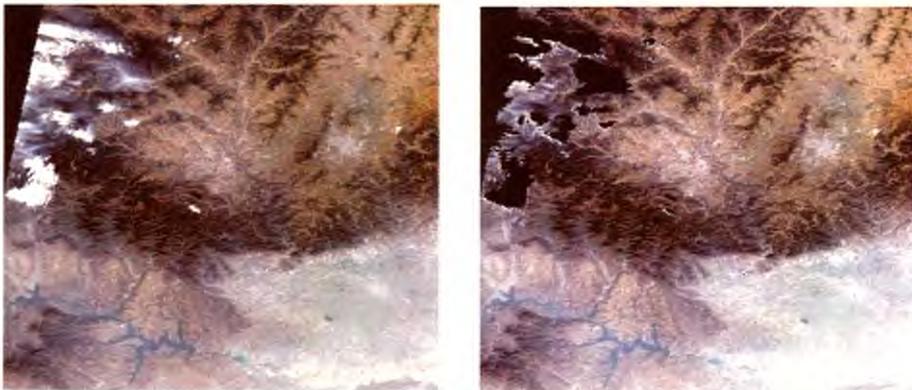


图 10 HJ-1B 的 B3(R),B2(G),B1(B) 模拟真彩色合成图像(左)和去云结果图像(右)

Fig.10 HJ-1B simulated true color image composed of B3(R),B2(G),B1(B) (left) and corresponding cloud removed result(right)

经过目视解译可以清晰地看出,该方法能将较亮的城市用地与云像元分开,可有效地去除厚云覆盖区域,但在薄云处会出现局部漏判现象。为了更好地评价该算法的适用性,本文又在冬季 HJ-1B 图像中随机选取其他几天获取的图像进行去云处

理,得出了相似的结论。与此同时,本文利用 ENVI 中评价分类精度的方法,对所有的检测结果进行定量分析,在原始图像和去云图像中对每类地物随机选取 135 个采样点,将相同点进行比较,其统计结果如表 3 所示。

表 3 云检测结果精度分析

Tab.3 Accuracy assessment of cloud detection result

检测结果	实际目标						云检测精度	
	云盖		下垫面地物			云像元检测准确率/%	无云像元检测准确率/%	
	厚云	薄云	土壤	水体	城市用地			
1 月 12 日	云像元数	135	115	3	0	1	92.6	99.0
	无云像元数	0	20	132	135	134		
11 月 12 日	云像元数	135	110	5	0	1	90.7	98.5
	无云像元数	0	25	130	135	134		
12 月 18 日	云像元数	135	118	4	0	2	93.7	98.5
	无云像元数	0	17	131	135	133		

从表 3 可以看出,上述方法在薄云区域出现有较多的误判,这主要是由于传感器所记录的薄云信息在 HJ-1B 图像的任何波段表现出来的响应程度均不明显<sup>[17]</sup>。但从总体上看,云像元检测精度和无云像元检测精度都在 90% 以上,可以满足一般应用的需要。

## 5 结 论

1) 基于波谱标准差异异常的云检测特征波段选择、动态阈值获取和云检测的方法是可靠的,可以准确地剔除 HJ-1B 遥感图像中水体、城市用地及土壤等下垫面上空云像元。

2) 本文提出的基于波谱标准差异异常的“动态阈值云检测算法”对于厚云检测效果较好,但对薄云的检测效果仍不够理想。在以后的研究中,建议尝试利用 6S 辐射传输模型对剔除厚云区域后的图像进行大气校正处理,以降低薄云对遥感定量化应用的负面影响。

3) 在评价云检测精度方面,现存的大多数方法是通过在去云图像中选取随机点与原始图像进行对比分析、经目视解译和精度统计后评价检测结果的。但如何判断检测结果的真实性仍是现阶段研究的一个难点,今后应在这方面开展相关的研究工作。

### 参 考 文 献:

[1] 易玲,汪潇,刘斌. HJ-1 卫星数据质量及其在土地利用中的应用研究[J]. 国土资源遥感,2009(3):74-77.  
 [2] 孙中平,熊文成,魏斌,等. 环境一号卫星 CCD 影像质量评价研究[J]. 红外,2010,31(9):30-36.

[3] 单娜,郑天垚,王贞松. 快速高准确度云检测算法及其应用[J]. 遥感学报,2009,13(6):1147-1155.  
 [4] Rossow W B, Moshier F, Kinsella E, et al. ISCCP Cloud Algorithm Intercomparison [J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1985,24(9):877-903.  
 [5] Kriebel K T, Gesell G, K stner M, et al. The Cloud Analysis Tool APOLLO: Improvements and Validations [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003,24(12):2389-2048.  
 [6] Stowe L L, McClain E P, Carey R, et al. Global Distribution of Cloud Cover Derived from NOAA/AVHRR Operational Satellite Data [J]. Adv Space Res, 1991,11(3):51-54.  
 [7] 刘健. FY-2 云检测中动态阈值提取技术改进方法研究[J]. 红外与毫米波学报,2010,29(4):288-292.  
 [8] 任平,杨存健,周介铭. HJ-1A/B 星 CCD 多光谱遥感数据特征评价及应用研究[J]. 遥感技术与应用,2010,25(1):138-142.  
 [9] 何全军,曹静,黄江,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.  
 [10] 杨昌军,许健民,赵凤生. 时间序列在 FY2C 云检测中的应用[J]. 大气与环境光学学报,2008,3(5):377-391.  
 [11] 郭洪涛,王毅,刘向培,等. 卫星云图云检测的一种综合优化方法[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2010,11(2):221-227.  
 [12] 刘显通,刘奇,傅云飞,等. 基于 TRMM VIRS 可见光和红外五通道的白天云检测方案[J]. 大气与环境光学学报,2010,5(2):128-140.  
 [13] 宋小宁,赵英时. MODIS 图象的云检测及分析[J]. 中国图象图形学报(A 辑),2003,8(9):1079-1082.  
 [14] 李炳燮,马张宝,齐清文,等. Landsat TM 遥感影像中厚云和阴影去除[J]. 遥感学报,2010,14(3):1-6.  
 [15] 巩慧. HJ-1 星 CCD 相机在轨辐射定标与真实性检验研究[D]. 北京:中国科学院遥感应用研究所,2010.  
 [16] 葛永慧. 测量平差[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2005.  
 [17] 张从容,张正,张为良,等. 利用卫星遥感进行海上透明云薄云的检测[J]. 海洋预报,2005,22(z1):87-93.

## Research on Algorithm of Cloud Detection for HJ-1B Image Based on Dynamical Thresholding

HAN Jie, YANG Lei-ku, LI Hui-fang, LIANG Hong-you, MA Xiao-hong, XIE Yu-juan  
 (State Bureau of Surveying and Mapping Key Laboratory of Mine Spatial Information,  
 Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Through analyzing the annual volatility of cloud detection thresholds and integrating the band characteristics of HJ-1B, the authors proposed a new algorithm of cloud detection for HJ-1B image based on dynamical thresholding according to the spectral standard deviation anomaly. Using image registration, band math, linear regression and error analysis, the authors acquired the cloud abnormal regions which could be used to remove cloud pixels from the image. The results show that this approach can detect cloud pixels over different periods and in different scenes successfully, thus promoting the use of HJ-1B data and improving the precision of image classification.

**Key words:** standard deviation anomaly; dynamic threshold; cloud detection; HJ-1B

第一作者简介: 韩杰(1987-),男,硕士研究生,主要从事遥感图像处理方面的研究。E-mail: rainbow871027@163.com。

(责任编辑:刘心季)