

doi: 10.6046/gtzyyg.2014.03.12

引用格式: 夏浪,毛克彪,孙知文,等. 基于 DNB 验证的 VIIRS 夜间云检测方法[J]. 国土资源遥感,2014,26(3):74-79. (Xia L, Mao K B, Sun Z W, et al. Method for detecting cloud at night from VIIRS data based on DNB[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(3): 74-79.)

基于 DNB 验证的 VIIRS 夜间云检测方法

夏浪¹, 毛克彪¹, 孙知文², 马莹³, 赵芬¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100081; 2. 航天恒星科技有限公司, 北京 100086; 3. 中国世联顾问协会, 香港 999077)

摘要: 针对夜间云检测验证中低云和雾难以区分的困难,提出了对于南方山区有效的云检测和验证方案。通过分析可见光红外成像辐射仪套件(visible infrared imager radiometer suite, VIIRS)传感器数据的新特性和云检测的原理,给出了适合 VIIRS 夜间云检测的方法。对白天/夜间波段(day and night band, DNB)数据对云检测验证的适用性进行了分析。结果表明:在月亮天顶角小于 60°时, DNB 波段能够较好地用于夜间云检测验证;在扫描角小于 15°时,云检测精度不低于 91%;使用 VIIRS 的 M12 和 M13 通道的亮温差值 $BT_{M12} - BT_{M13}$ 辅助 M12 和 M15 通道的亮温差值 $BT_{M12} - BT_{M15}$ 进行低云检测,能够去除大部分山谷中雾的影响;检测阈值对扫描角大小变化敏感,当扫描角较大时,设定的阈值在检测精度上不如扫描角较小时理想。

关键词: 云检测; 遥感; VIIRS; DNB

中图法分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2014)03-0074-06

0 引言

地球的辐射收支和气候响应依赖于云的反馈辐射和几何形态,云能够有效地反射太阳入射辐射和吸收地球的长波辐射^[1]。这种反馈辐射效应使得云在宏观尺度上对地球能量辐射平衡、气候变化有重要影响;另一方面,在微观尺度上,夜间云对于区域农业冻害、降水、干旱均有较大影响,因此及时准确地获取夜间云的相关参数是十分必要的。

已有研究者对云监测做过许多研究^[2-10],提出了一些有代表性的云检测方法,这些算法主要是利用可见光、近红外和热红外数据进行综合判断。由于白天卫星可获取可见光、近红外与红外通道数据,检测可使用的通道多、信息丰富,使得检测精度较高,并且可以直接通过目视观察进行检测结果的初步验证;由于晚上卫星很难获得近红外和可见光信息、可用波段少、下垫面比辐射率变化及检测结果验证难,这使得夜间云检测相对白天具有一定的难度,方法相对较少且精度较低。尽管研究者们对 MODIS 夜间云检测进行了一些研究^[11-14],提高了相应区域的检测精度,但总体上夜间检测精度比白天的

低,还有待提高。

2011 年 10 月 28 日发射升空的美国新一代极轨运行环境卫星系统预备卫星 Suomi NPP 搭载了包括可见光红外成像辐射仪套件(visible infrared imager radiometer suite, VIIRS)在内的 5 个对地观测仪器。VIIRS 将用来替代工作年限已超期的 MODIS,其数据分辨率较 MODIS 有一定提升,数据信噪比和沿水平方向的采样间隔也有较大提高。另外由于观测刈幅由 MODIS 的 2 030 km 增加到 3 000 km,在 1 d 的观测范围内 VIIRS 在赤道附近不存在类似于 MODIS 的不连续空白间隙。但 VIIRS 波段数不如 MODIS 丰富,特别是 VIIRS 没有可用于晴空测试的 6.7 μm 通道、缺少位于水汽吸收区的 7.3 μm 水汽通道、没有可用于检测高云的 13.9 μm 通道(CO_2 薄片法)。这一系列的缺失对于获得精确的夜间云掩码提出了更大的挑战。因此本研究针对 VIIRS 传感器的特点进行了相应的研究,提出了基于白天/夜间波段(day and night band, DNB)图像验证的夜间云检测方法。

1 VIIRS 数据新特性和夜间云检测原理

1.1 VIIRS 数据新特性

VIIRS 传感器共 22 个波段: 370 m 空间分辨率

的 5 个 I 波段,750 m 空间分辨率的 1 个 DNB 和 16 个 M 波段。扫描角 $\pm 56^{\circ}$,每 1 d 可获得全球 2 次观测数据。VIIRS 除了继承 MODIS 和 AVHRR 等传感器的波段特性、提升了数据信噪比和空间分辨率外,其最突出的特点是对随扫描角增加而增加的空间分辨率进行了有效控制,而这也是 VIIRS 对极轨环境卫星数据质量的最大改进^[15]。表 1 列出了 VIIRS,

MODIS,AVHRR 及 OLS 的星下点和边缘分辨率(分别为沿扫描方向和沿轨道方向)。VIIRS 扫描边缘分辨率(以下简称边缘分辨率)的增长最大仅 2 倍,远小于 MODIS,AVHRR 的最大 6 倍,OLS 的 2.5 倍(OLS 有精细和平滑 2 种扫描模式,精细模式对应的采样间隔是 $0.56\text{ km}\times 0.56\text{ km}$,但其实际的空间分辨率在 $2.2\sim 5.4\text{ km}$ 内变化^[15])。

表 1 VIIRS 传感器参数以及与 MODIS,AVHRR,OLS 的比较

Tab.1 Parameters of VIIRS and comparison of VIIRS, MODIS, AVHRR and OLS

传感器	通道	波长/ μm	主要用途	对应 MODIS 波段	星下点分辨率/ km	边缘分辨率/ km	采样合并方向
VIIRS	DNB	0.700	对地成像	无	0.74×0.74	0.74×0.74	扫描和轨道
	M1	0.412	海洋水色、气溶胶	8	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M2	0.445	海洋水色、气溶胶	9	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M3	0.488	海洋水色、气溶胶	3 或 10	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M4	0.555	海洋水色、气溶胶	4 或 12	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M5	0.672	海洋水色、气溶胶	13 或 14	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M6	0.746	大气	15	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M7	0.865	海洋水色、气溶胶	16 或 2	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M8	1.240	云粒子大小	5	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M9	1.378	卷云、云覆盖	26	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M10	1.610	雪	6	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M11	2.250	云	7	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M12	3.700	洋面温度	20	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M13	4.050	洋面温度、火灾	21 或 22	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M14	8.550	云顶性质	29	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M15	10.763	洋面温度	31	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	M16	12.013	洋面温度	32	0.75×0.75	1.6×1.6	扫描
	I1	0.640	对地成像	1	0.375×0.375	0.8×0.8	扫描
	I2	0.865	植被指数	2	0.375×0.375	0.8×0.8	扫描
	I3	1.610	云图	6	0.375×0.375	0.8×0.8	扫描
	I4	3.740	对地成像	20	0.375×0.375	0.8×0.8	扫描
	I5	11.450	云成像	31 或 32	0.375×0.375	0.8×0.8	扫描
MODIS	1—2				0.25×0.25	0.75×0.50	无
	3—7				0.5×0.5	2.4×1.0	无
	8—36				1.0×1.0	6.0×2.0	无
AVHRR					1.1×1.1	6.5×2.5	无
OLS					2.2×2.2	5.4×5.4	无

由于 VIIRS 传感器采用了合并采样点的方式来控制边缘分辨率的增长,使得 DNB 在任何扫描角的沿轨道和沿扫描方向的分辨率都保持不变。图 1 为 VIRS 传感器亚像元合并图。

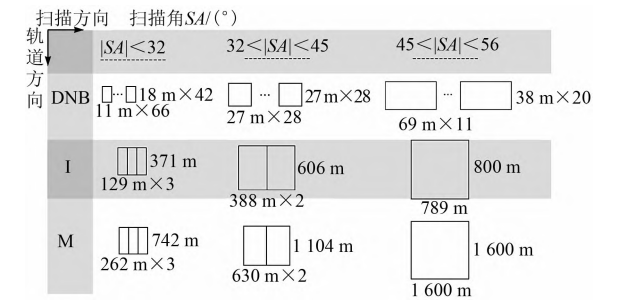


图 1 VIIRS 传感器亚像元合并

Fig.1 De-aggregation of sub-pixels of the VIIRS

如图 1 所示,对于 DNB 波段,单个 CCD 在地表的分辨率约为 $11\text{ m}\times 18\text{ m}$,当扫描角 $|SA|<32^{\circ}$ 时,在扫描方向和轨道方向(图 1 中未绘出轨道方向的合并像元)分别通过合并 66 和 42 个 CCD 像元来获得 $740\text{ m}\times 740\text{ m}$ 分辨率的像元(对应图 1 中的 $11\text{ m}\times 66$ 和 $18\text{ m}\times 42$,以下均相同)。随着扫描角的增大,单个 CCD 代表的地面分辨率降低,为保持分辨率不变则需要减少 CCD 的合并数量。因此,NASA 将合并算法设计为:当 $32^{\circ}<|SA|<45^{\circ}$, $45^{\circ}<|SA|<56^{\circ}$ 时,沿扫描和沿轨道方向分别合并 27 像元 \times 28 像元,11 像元 \times 20 像元来保持分辨率的恒定,M 波段和 I 波段只在沿扫描方向进行了像元合并,根据不同扫描角分别合并 3,2,1 个像元。

基于 DNB 检测法由高、中、低敏感区域 3 部分

组成,在光照充足的条件下,该方法使用低敏感区域获取数据,该区域没有使用时间延迟累积(time delay and integration, TDI)模式来提高信噪比。中等敏感区域使用 3 个亚像元工作在 TDI 模式下来提高信噪比,高敏感区域使用 250 个亚像元工作在 TDI 模式下来提高信噪比。电子模块(electronics module, EM)根据不同光照来选择不同的敏感区域来获取数据,当高敏感区域即将饱和时,立刻切换到中敏感区域,而在默认的情况下则使用高敏感区域来获取数据。此外,需要合并的亚像元数量是根据外界辐射强度来进行选择的。例如,在最低光照条件下(无月光的夜间),高敏感区域的 250 个亚像元将被同时合并来提升信噪比,在夜间有月光条件下,可能将只合并 250 个亚像元中的部分。

1.2 夜间云检测原理

在进行适当简化后,夜间大气辐射传输可以表达为

$$L_{\lambda}(\theta) = \tau_{\lambda}(\theta)\varepsilon_{\lambda}(\theta)B_{\lambda}(T) + L_{\lambda}^{\uparrow}(\theta) + \tau_{\lambda}(\theta)[1 - \varepsilon_{\lambda}(\theta)]L_{\lambda}^{\downarrow}(\theta), \quad (1)$$

式中: $L_{\lambda}(\theta)$ 为传感器接收到的辐亮度; $\tau_{\lambda}(\theta)$ 和 $\varepsilon_{\lambda}(\theta)$ 分别为波长为 λ 的大气透过率和地物发射率; $B_{\lambda}(T)$ 为波长为 λ 的地物的辐亮度; T 为地物亮温; $L_{\lambda}^{\uparrow}(\theta)$ 和 $L_{\lambda}^{\downarrow}(\theta)$ 分别为大气的上行和下行辐射; θ 为传感器观测的天顶角。传感器接收到的辐射由地物自身辐射、大气上行辐射和大气下行辐射作用于地物后又经地物反射、吸收、发射后通过大气到达传感器的这 3 部分组成。在实际云检测计算中,为简化计算,将大气的上行和下行辐射进行忽略,得到

$$L_{\lambda}(\theta) = \tau_{\lambda}(\theta)\varepsilon_{\lambda}(\theta)B_{\lambda}(T)。 \quad (2)$$

云能改变地表的辐射传输路径,具体表现在云对来自不同波段 λ 的地表辐射有不同的吸收和反射(散射)作用。在相同的地表类型下,有云时大气的透过率 $\tau_{\lambda}(\theta)$ 和无云时是不同的,根据这一特性可以使用式(2)粗略地计算不同波段传感器接收到的 $L_{\lambda}(\theta)$ 的差值,从而用来区分云和地表。

1.2.1 卷云和高云的检测

在晴空条件下,12 μm 波长处水汽的吸收要强于 11 μm 处^[1],因此二者的差值可以用来识别云。由于红外发射率的方向性存在,用于薄卷云检测的 11 μm 波长处的传感器亮温 BT_{11} 和 12 μm 处传感器亮温 BT_{12} 的差值 $BT_{11} - BT_{12}$ 的阈值随 BT_{11} 和传感器观测的天顶角的变化而变化^[6],但对于薄卷云,一般情况下有 $BT_{11} - BT_{12} > 0$ 。

水和冰在 12 μm 波长处的吸收远强于 3.9 μm 处。当有高云存在时,传感器接收到的 12 μm 波长处辐射由于高云的吸收而衰减,此时 3.9 μm 波长处的传感器亮温 $BT_{3.9}$ 和 BT_{12} 的差值 $BT_{3.9} - BT_{12} > 0$,因此利用此原理,可以使用 $BT_{3.9} - BT_{12}$ 差值来判识高云。在晴空条件下,一般 $BT_{3.9} - BT_{12} < 2$; 而云高存在时,一般 $BT_{3.9} - BT_{12} > 4$,且该差值随高云的光学厚度的增加而增加,因此通过设定合理的阈值可以对高云进行较好地判识。

1.2.2 低云和雾的区分

夜间低厚云发射率低,因此在有低厚云的图像上,3.7 μm 波长处的传感器亮温 $BT_{3.7}$ 和 BT_{11} 的差值 $BT_{3.7} - BT_{11}$ 会出现负值;另一方面,低植被覆盖的干旱区地表发射率和低云的发射率较相似,这样会将地表识别为云,出现误判。对于此,VIIRS 全球业务云掩码产品^[16]在夜间仅对 $NDVI > 0.25$ 的区域进行 $BT_{3.7} - BT_{12}$ 检测。在我国南方等多山地区,植被覆盖较好,水汽含量高,夜间山谷容易形成雾。雾在 3.7 μm 的发射率随雾的厚度变化而变化,但总体上发射率与低云相当,根据式(2)计算 $BT_{3.7} - BT_{12}$ 时也会出现负值,影响检测结果。

VIIRS M13 波段(4.05 μm)和 M12 波段(3.75 μm)发射率较为相似,对于同一地物, $BT_{3.7}$ 和 4.0 μm 波长处传感器亮温 $BT_{4.0}$ 的差值 $BT_{3.7} - BT_{4.0}$ 的大小主要由透过率决定,水汽并不是影响 3.7 μm 波长处透过率的主要因素,故只有当云层达到一定厚度时,传感器接收到的辐射能才全为云层发射辐射,此时 $BT_{3.7} - BT_{4.0}$ 差值较小,一般 < 1 ,因此 $BT_{3.7} - BT_{4.0}$ 可用于判断低厚云。

城市下垫面等植被覆盖度较低的区域发射率较低, $BT_{3.7} - BT_{4.0}$ 差值和厚云较为相似,会造成误判,但 $BT_{3.7} - BT_{11}$ 几乎不受该类型下垫面的影响。雾的红外发射特性和低云相似,但在实际当中, $BT_{3.7} - BT_{4.0}$ 与低厚云有较大差异,对于低厚云,一般 $BT_{3.7} - BT_{4.0} < 2$,对于山谷区域的雾, $BT_{3.7} - BT_{4.0} > 2$,因此结合 $BT_{3.7} - BT_{11}$ 和 $BT_{3.7} - BT_{4.0}$ 对植被覆盖较好的区域(纬度 $< 30^{\circ}$)进行低厚云检测能取得较好的效果。

1.2.3 DNB 云检测

DNB 通常可用于检测来自地球表面的自发光物体,如人造灯光、森林火灾及闪电等。当地球表面反射的月光强度大到能够被传感器感测到时,非自发光的地物和云层也能被检测到,此时 DNB 则可以被用来进行云检测。图 2 为利用 DNB 观测获得的新月、上弦月、满月、下弦月和残月共 5 种不同月相时的图像。

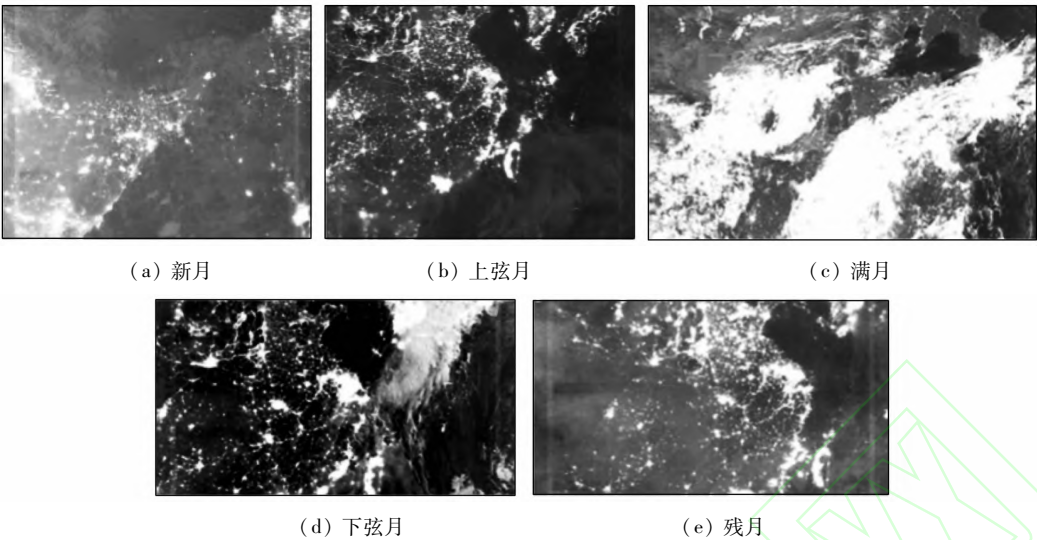


图 2 不同月相时 DNB 观测图像
Fig.2 DNB images under different phase of the moon

由图 2 可知,在新月和残月时,月亮照度较低,此时图像中云与地物背景差别不大,对于有地面灯光的区域,不同厚度的云使得该区域模糊化的程度不同,整体图像中噪点较多,另外当传感器扫描角 $|SAI| > 50^\circ$ 时图像基本全为噪点所覆盖;在上弦月和下弦月时,月亮照度增强,此时还是不能较好地区分云和背景地物;当在满月条件下,云和背景地物都能较好地区分,但是此时还不易识别薄卷云,这是因为其厚度低、反射也弱,在图像上和背景地物的反差较小。

因此,当月亮天顶角 $\theta_m < 60^\circ$ (约农历每月 13—19 日)时, DNB 夜间图像去除地面灯光影响后可用于检测较厚的云,同时也可用于云检测的精度鉴定。 DNB 在 1 个月中可用于云检测的天数仅有 7 d 左右,没有很好的可持续性和稳定性,因此在实际云检

测中并未使用 DNB,而是用于验证检测结果的精度和辅助阈值的选择。

2 应用分析和评价

选择的测试数据(图 3)成像于 2013 - 03 - 28T17:50,介于 $E100.68^\circ \sim 138.19^\circ$, $N18.42^\circ \sim 42.69^\circ$ 之间,包含中国中东部大部分陆域和部分海洋。图 3(左)为该同时获取的 DNB 夜间图像,包含灯光、云及地物等信息。在该图像的辅助下,陆地云检测的阈值如表 2 所示;海洋阈值为 $1 < BT_{M15} - BT_{M13} < -6$, $-6 < BT_{M12} - BT_{M15} < -2$,其中 BT_{M12} , BT_{M13} 和 BT_{M15} 分别为 VIIRS 传感器 M12, M13 和 M15 通道的亮温。检测结果如图 3(右)所示。

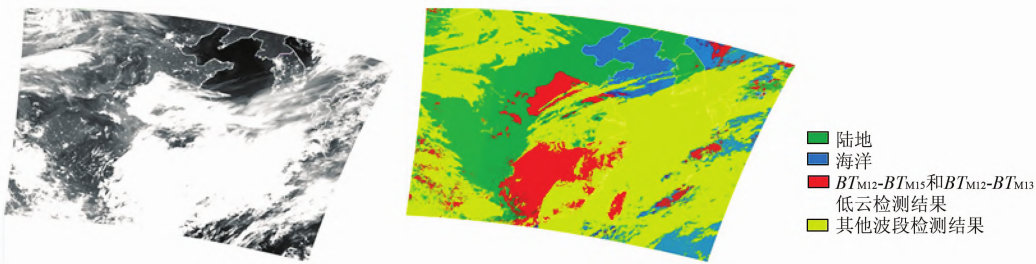


图 3 测试数据 DNB 图像(左)和检测结果(右)
Fig.3 Original DNB image(left) and test result(right)

表 2 陆地云检测算法阈值

Tab.2 Thresholds of the land cloud detection

云类型	陆地云检测算法 ^①
卷云	$0.5 < BT_{M15} - BT_{M16} < 2.5$
高云	$4 < BT_{M13} - BT_{M16}$
低厚云	纬度 $< 30^\circ$: $BT_{M12} - BT_{M13} < 2, BT_{M12} - BT_{M15} > -6$
	其他: $-6 < BT_{M12} - BT_{M15} < -2$

①式中 BT_{M12} , BT_{M13} , BT_{M15} 和 BT_{M16} 分别为 VIIRS 传感器 M12, M13, M15 和 M16 通道的亮温。

由图 3 可知:陆地检测精度较高(有些比较薄的云层因 DNB 图像缩小后基本不可见),海洋和陆地区域的漏检一般发生在边缘区域,如海洋区域的朝鲜半岛以东出现部分漏检,陆地区域右上角也有部分漏检。漏检大多出现在边缘区域的原因可能为阈值随观测天顶角变化而发生了变化,因此部分阈值还需要进行细调。

图 4 截取于图 3 中湖南西部和贵州相交区域。

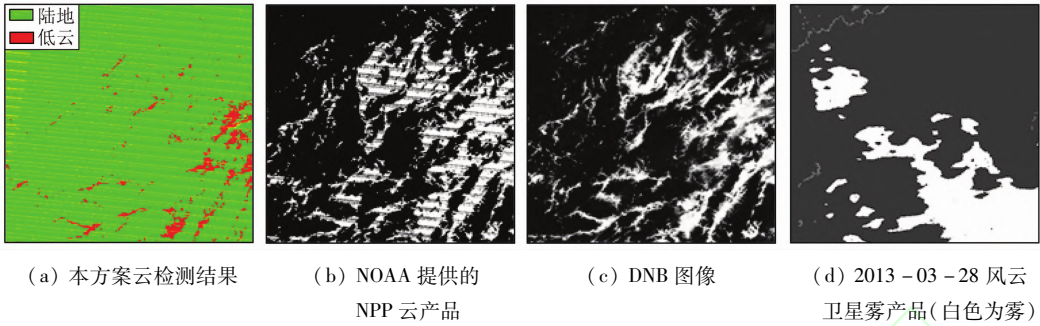


图 4 低云检测结果与 NPP 全球业务产品云掩模对比

Fig. 4 Comparison of the low cloud detection and cloud mask of NPP global business products

风云卫星雾产品(空间分辨率为 1 km)的观测时间(图 4(d))和 NPP 卫星 DNB(图 4(c))成像间隔约 10 min,表明该区域有雾发生。DNB 图像中雾和云在纹理和色调上有较大不同,云比雾亮度更大,山谷中的雾有明显的条纹状,图 4(c)中大量的白色山脉状纹理较明显的区域为雾或者是低云与雾的混合。通过对比图像可知,在 NOAA 提供的云产品中并没有区分出低云和雾,雾覆盖的区域被识别为云,而本方案通过使用 $BT_{M12} - BT_{M13}$ 进行了相应优化,去除了山谷中大部分雾对检测造成的干扰;但是,如果云层过薄, $BT_{M12} - BT_{M13}$ 会造成部分漏检。

根据对 VIIRS 数据新特性的分析,DNB 在扫描方向和沿轨道方向分辨率保持不变,而 M 波段数据在扫描角 $SA = 32^\circ$ 时分辨率已经大于 750 m。另一方面,由于 M 波段数据的蝴蝶结(bow tie)效应的存在,在扫描角较大时每 2 次扫描之间存在将近一半的重复像元,因此如果单纯将 2 幅图像检测结果的像元数进行统计将产生很大误差,如果选择较小扫描角内的数据,分辨率虽然得到控制,但是有效像元数减少,包含地类少,精度检验结果不具有代表性。综合考虑有效像元数和分辨率,本文选择 $-15^\circ < SA < 15^\circ$ 范围内的像元数进行精度评价。由于 VIIRS L1 数据中并未包含扫描角数据,因此通过

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_{zen}}{R_{earth} + H_{sat}} R_{earth} \right) \quad (3)$$

来计算扫描角。式中: θ 为扫描角; θ_{zen} 为卫星传感器天顶角; R_{earth} 为地球半径; H_{sat} 为卫星高度。去除灯光和高反射地物后的有效云 DNB 图像像元数为 1 230 646,云检测像元数为 1 130 122,在 $-15^\circ < SA < 15^\circ$ 范围内本检测方案的扫描精度约为 91.83%,当然随着扫描角的增长,检测精度略有下降,但相对而言其精度还是较高的。

3 结论

通过对真实数据的应用分析,结合 DNB 夜间图像对检测结果进行了验证,分析表明:

- 1) 本文提出的夜间云监测方案在扫描角较小时检测精度不低于 91%,但检测精度随扫描角变大而略有降低。
- 2) DNB 夜间图像可用于夜间云检测以及对云检测算法精度的验证。
- 3) 对于夜间南方山区的雾,通过使用 $BT_{M12} - BT_{M13}$ 辅助 $BT_{M12} - BT_{M15}$ 检测低云可以降低云检测算法对雾的误判,提高检测精度。
- 4) 本文提出的检测方案在扫描角较大情况下的检测精度不如扫描角较小时理想,因此在后续研究中,如何确定扫描角较大情况下的阈值是重要的研究方向。

参考文献 (References) :

[1] Strabala K I, Ackerman S A. Cloud properties inferred from 8 ~ 12 μm data[J]. Journal of Applied Meteorology, 1994, 33: 212 - 229.

[2] Kriebel K T, Gesell G, Kaestner M, et al. The cloud analysis tool APOLLO: Improvements and validations [J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 24 (12) : 2389 - 2408.

[3] Stowe, Davis P A, McClain E P. Scientific basis and initial evaluation of the CLAVR - 1 global clear cloud classification algorithm for the advanced very high resolution radiometer [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1999, 16 (6) : 656 - 681.

[4] Ackerman S, Frey R, Strabala K, et al. Discriminating clear - sky from cloud with MODIS, algorithm theoretical basis document (MOD35), version 6. 1 [EB/OL]. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod06.pdf.

[5] 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.

[6] Saunders R W, Kriebel K T. An improved method for detecting

clear sky and cloudy radiances from AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing,1998,9(1):123-150.

[7] Hutchison K D,Isager B D,Hauss B. The use of global synthetic data for pre-launch tuning of the VIIRS cloud mask algorithm [J]. International Journal of Remote Sensing,2012,33(5):1400-1423.

[8] He Q J. A daytime cloud detection algorithm for FY-3A/VIRR data[J]. International Journal of Remote Sensing,2011,32(21):6811-6822.

[9] 韩 杰,杨磊库,李慧芳,等. 基于动态阈值的 HJ-1B 图像云检测算法研究[J]. 国土资源遥感,2012,24(2):12-18.
Han J,Yang L K,Li H F, et al. Research on algorithm of cloud detection for HJ-1B image based on dynamical thresholding[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2012,24(2):12-18.

[10] Liu Y,Ackerman S A,Maddux B C,et al. Errors in cloud detection over the arctic using a satellite imager and implications for observing feedback mechanisms [J]. Journal of Climate,2010,23(7):1894-1907.

[11] Liu Y H,Key J R,Frey R A,et al. Nighttime polar cloud detection with MODIS [J]. Remote Sensing of Environment,2004,92(2):181-194.

[12] Frey R A,Ackerman S A,Liu Y H,et al. Cloud detection with MODIS. Part I:Improvements in the MODIS cloud mask for collection 5 [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,2008,25(7):1057-1072.

[13] 侯 岳,刘培洵,陈顺云,等. 基于 MODIS 影像的夜间云检测算法研究[J]. 国土资源遥感,2008,20(1):34-37.
Hou Y,Liu P X,Chen S Y, et al. A study of night cloud detection based on MODIS image[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2008,20(1):34-37.

[14] Sospedra F,Caselles V,Valor E,et al. Night-time cloud cover estimation [J]. International Journal of Remote Sensing,2004,25(11):2193-2205.

[15] Schueler C F,Lee T F,Miller S D,et al. VIIRS constant spatial-resolution advantages[J]. International Journal of Remote Sensing,2013,34(16):5761-5777.

[16] Goddard Space Flight Center. Joint polar satellite system (JPSS) VIIRS cloud mask (VCM) algorithm theoretical basis document [EB/OL]. http://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/documents/ATBD/GSFC_474-00033_JPSS_VIIRS_Cloud_Mask_ATBD_Alt._doc._no._D43766_Y2412_.pdf.

Method for detecting cloud at night from VIIRS data based on DNB

XIA Lang¹, MAO Kebiao¹, SUN Zhiwen², MA Ying³, ZHAO Fen¹

(1. National Hulun Buir Grassland Ecosystem Observation and Research Station, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing 100086, China; 3. A-World Consulting, Hong Kong Logistics Association, Hong Kong 999077, China)

Abstract: Validating the cloud detection result at night and distinguishing low cloud from fog through satellite data are difficult in southern mountain areas of China. In this paper, a method is presented by analyzing the new features of the visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) sensor data and the theory of the cloud detection. The viability of VIIRS day and night (DNB) data in night cloud detection is discussed in detail and the result shows that the DNB data can be used to validate the result when lunar zenith angle is less than 60°. The application and validation show that the method is effective, and the estimation accuracy is higher than 91% when scan angle is less than 15°, and the $BT_{M12} - BT_{M13}$ and $BT_{M12} - BT_{M15}$ can be used to effectively distinguish low clouds and fog. In addition, the detection thresholds are sensitive to the sensor zenith angle, and the detection accuracy is higher when the sensor zenith angle is small.

Key words: cloud detection; remote sensing; visible infrared imager radiometer suite (VIIRS); day and night band (DNB)

第一作者简介: 夏 浪(1989-),男,硕士研究生,主要从事环境遥感方面的研究,Email: xialang2012@163.com。
通信作者: 毛克彪(1977-),男,博士后,副研究员,主要从事农业遥感和气候变化等方面的研究。Email: kebiao67@126.com。

(责任编辑: 邢 宇)