

Introduction of Suomi NPP VIIRS and Its Application on Cloud Detection

Lang Xia¹, Kebiao Mao^{1*}, Zhiwen Sun², Ying Ma^{1,3}

¹Key Laboratory of Agri-Informatics, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing

²Space Star Technology Co., Ltd., Beijing

³A-World Consulting, Hong Kong Logistics Association, Hong Kong
Email: maokebiao@126.com

Received: Jul. 2nd, 2013; revised: Jul. 29th, 2013; accepted: Aug. 10th, 2013

Copyright © 2013 Lang Xia et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Cloud is an important factor that affects the climate change of the Earth, so the research of cloud monitoring is very important. This paper makes an introduction for America's new generation of earth observation satellite Suomi NPP, and makes a comparison between the VIIRS and the MODIS. A simple application analysis is made, and the analysis indicates that the result is reasonable.

Keywords: NPP; VIIRS; Cloud Detection

Suomi NPP VIIRS 数据介绍及其在云检测上的应用分析

夏浪¹, 毛克彪^{1*}, 孙知文², 马莹^{1,3}

¹中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京

²航天恒星科技有限公司, 北京

³中国世联顾问协会, 香港

Email: maokebiao@126.com

收稿日期: 2013年7月2日; 修回日期: 2013年7月29日; 录用日期: 2013年8月10日

摘要: 云是影响地球气候的重要因素之一, 对云进行监测是研究全球气候变化的重要一环。本文首先简略介绍了美国的新一代对地观测卫星 Suomi NPP, 然后将 Suomi NPP 卫星搭载的 VIIRS 传感器与 MODIS 传感器做了一个对比, 最后用 VIIRS 数据做了云检测分析, 分析结果表明 VIIRS 数据能够很好地被用来做云监测分析。

关键词: NPP; VIIRS; 云检测

1. 引言

随着科学技术的进步, 越来越多的高分辨率卫星被送入太空, 为资源探测、天气预报、导航等做出了巨大的贡献。在监测地球的过程中, 云是获取高质量遥感图像的一个障碍, 此外, 云也一直是图象处理、图象分析的一大难点^[1]。云的影响不仅仅表现在对卫

星图片的质量上, 同时也是飓风、降雨等气象现象形成的重要因子。就全球范围来说, 在任意一天里, 云覆盖了全球的大部分区域, 这与地球向外太空发射的长波辐射量有直接的关系并最终影响着全球气候变化。因此, 对云进行相应的监测具有十分重要的意义。

自从 1960 年美国把第一颗气象卫星 TIROS-1 送上太空后^[2], 人类就开始了从太空对云的变化进行监测。五十多年来, 美国的气象卫星经历了 5 个发展阶

*通讯作者。

段,更新换代了4次^[2],其中搭载在TIROS-N上的AVHRR和搭载在美国对地观测卫星(Terra、Aqua)上的MODIS仪器具有多通道和较高分辨率(AVHRR分辨率为1.09 km, MODIS的最高分辨率为250 m)的特点。这一系列的卫星发射标志着云监测业务已经进入了稳定发展的时期^[2]。2011年10月28日,美国发射了新一代对地观测卫星Suomi NPP,用来取代服役年限即将到期的上一代对地观测卫星。本文简要地介绍了Suomi NPP卫星以及Suomi NPP卫星上搭载的VIIRS传感器在云监测上的应用。

2. Suomi NPP 卫星介绍

Suomi NPP是已取消的美国国家极轨运行环境卫星系统(NPOESS)计划的预备项目(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System Preparatory Project),全名为Suomi国家极轨合作伙伴(Suomi National Polar-Orbiting Partnership),由NASA为NOAA设计制造。NPOESS计划的历史可追溯到美国国家空间委员会在1992年的调研,以及1993年9月国家绩效评论提出的合并民用气象卫星和国防卫星系统的建议^[3]。该计划原本是美国21世纪监测全球环境,收集大气、海洋、陆地和近太空环境数据的卫星计划,但由于其成本超支和研发进度滞后,2010年美国将NPOESS计划进行了重组,NOAA承担下午时段的极地环境卫星轨道,国防部(US Department of Defense,简称DoD)承担上午时段的轨道,其中NOAA承担的部分重新命名为JPSS(Joint Polar Satellite System),DoD承担的部分为国防气象卫星系统(Defense Weather Satellite System)。在JPSS计划中,第一颗JPSS-1卫星将于2016年发射,Suomi NPP作为其预备项目,主要为JPSS计划提供相应的设备、算法、地面处理的前期验证,以减少相应的风险。此外,在JPSS计划正式运行之前,NOAA将使用NPP的相应数据来代替因检修失败的NOAA19卫星数据,以保持气象预报的准确性。在NASA的EOS计划方面,NPP作为下一代EOS卫星将取代上一代EOS计划中的Terra、Aqua和Aura任务(这三颗卫星分别发射于1999年、2002年、2004年),保证EOS计划中全球变化观测数据的连续性。Suomi NPP卫星的部分参数如表1所示。

Table 1. Suomi NPP orbit parameters^[4]
表 1. Suomi NPP 卫星轨道参数^[4]

卫星名	Suomi NPP
轨道类型	近极地太阳同步
轨道高度/km	824
运行周期/min	102
降交点时间	13:30 p.m.
倾角/(°)	98.703 ± 0.05
重复周期/d	16(重复观测为一天2次)
姿控	三轴

Suomi NPP卫星共搭载5个科学仪器:臭氧剖面制图仪(Ozone Mapper Profiler Suite, OMPS),高级微波探测器(Advanced Technology Microwave Sounder, ATM),可见光/红外辐射成像仪(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite, VIIRS),云和地球辐射能量系统(Cloud and the Earth's Radiant Energy System, CERES),红外探测器(Cross-track Infrared Sounder, CrIS)。这五个仪器分别用于臭氧含量(特别是极地地区)监测,全球近地表温度和湿度剖面的获取,火灾、冰、云、洋面温度等地表变化的监测,地表反射和地球发射辐射探测,大气监测(特别是湿度和压力)^[4]。Suomi NPP卫星采用降轨方式运行,一天(24小时)绕地运行约14圈,可以观察地球表面两次,卫星的重复周期(重新回到原来位置)为16天,数据发布的格式采用HDF5。Suomi NPP卫星设计寿命为7年,其中所搭载的五个观测仪器中,除CERES传感器是沿用上一代EOS计划中的CERES传感器外,其它四个传感器均为最新研制,并且其数据产品将会与上一代EOS计划的数据产品类似^[4]。

3. VIIRS 和 MODIS 传感器比较

VIIRS作为美国第二代中分辨率影像辐射计,主要用于监测陆地、大气、冰和海洋在可见光和红外波段上的辐射变化,为监测移动火、植被、海洋水色、洋面温度和其它地表变化提供数据^[4]。VIIRS传感器共22个波段,可见光和近红外波段9个,中红外和远红外波段共12个,一个DNB(Day/Night Band)波段,每个像元用12 bit量化,总数据速率为10.5 Mbps。为了更加详细的比较分析MODIS和VIIRS这两个传感

器的异同,便于在实际工作中能更好的发挥各自的优势,到达最好的使用效果,本文对两者之间进行了一个简短的对比分析。表 2 给出了 VIIRS 各个波段的部分情况以及和 MODIS 的一些对比。

VIIRS 继承和发展了 MODIS 的一些特性,两者之间有一定的相似性和差异性。在光谱范围上,MODIS 的光谱观测范围是 0.4~14.4 μm 共 36 个波段,VIIRS 的光谱范围为 0.412~12.013 μm 共 22 个波段,其中增益波段 8 个。在短波和中红外范围内,两者的波段设置类似。在长波红外,VIIRS 没有检测水汽的 7 μm 的波段和检测 CO_2 的 13 μm 波段。除此之外,VIIRS 没有监测海洋水色的荧光通道^[7]。但 VIIRS 相比于 MODIS 添加了 DNB 波段,该波段继承于 DMSP

卫星上的 OLS(线性扫描业务系统)仪器,分辨率 750 m,能够昼夜 24 小时连续的对地进行观测。该波段对夜间火灾,城市扩张、城市不透水面、电力消耗甚至是区域经济发展监测均有重要的意义。

在近地点分辨率上,VIIRS 有 16 个 750 m 的中分辨率的波段、5 个 375 m 分辨率的影像波段、一个 750 m 分辨率的 DNB 波段,MODIS 有 2 个 250 m、5 个 500 m、29 个 1000 m 分辨率的波段,VIIRS 在分辨率上总体相对 MODIS 有一定提升。在辐射性能上,VIIRS 的大部分波段的 SNR 和 NEdT 值要好于 MODIS^[5]。在观测范围上,MODIS 的刈幅为 2330 km,VIIRS 的刈幅有所增加,达到了 3000 km。由于 MODIS 刈幅相对较小,其在一天内的观测范围内在赤道附近存

Table 2. Introduce each band of the VIIRS^[5]表 2. VIIRS 各个波段介绍^[5]

	波段号	波长/ μm	近地点分辨率/m	主要用途	对应 MODIS 波段
	M1*	0.412	750	海洋水色、气溶胶	8
	M2*	0.445	750	海洋水色、气溶胶	9
	M3*	0.488	750	海洋水色、气溶胶	3 或 10
	M4*	0.555	750	海洋水色、气溶胶	4 或 12
可见光和近红外	I1	0.640	370	对地成像	1
	M5*	0.672	750	海洋水色、气溶胶	13 或 14
	M6*	0.746	750	大气	15
	I2	0.865	370	植被指数	2
	M7*	0.865	750	海洋水色、气溶胶	16 或 2
CCD	DNB	0.7	750	对地成像	
	M8	1.24	750	云粒子大小	5
	M9	1.378	750	卷云、云覆盖	26
	I3	1.61	370	云图	6
中红外	M10	1.61	750	雪	6
	M11	2.25	750	云	7
	I4	3.74	370	对地成像	20
	M12	3.70	750	洋面温度	20
	M13	4.05	750	洋面温度、火灾	21 或 22
	M14	8.55	750	云顶性质	29
远红外	M15	10.763	750	洋面温度	31
	I5	11.450	370	云成像	31 或 32
	M16	12.013	750	洋面温度	32

*表示双增益波段。

在空白间隙,而 VIIRS 则能完整的覆盖赤道区域,不存在间隙,这对于保持监测的连续性有十分重要的意义。

VIIRS 相对于 MODIS 最为重要的一个改进在于:VIIRS 在扫描方向通过使用采样合并的方式来抑制空间分辨率随扫描角增大而增长,这样使得 DNB 波段在任意扫描角下的沿扫描方向的分辨率均保持在 750 m, M 和 I 波段在扫描方向的分辨率也仅仅增加 1 倍,而 MODIS 却增加了 5 倍,这一改进使得刈幅边缘区域数据的观测精度有较大提高、数据可用性得到了巨大的提升。

总体来说,VIIRS 作为 MODIS 的继承和发展,其并没有在波段数和分辨率上有显著的提高,而是在数据的质量和观测范围上有较大的提升。因为对于全球变化监测和气象预报而言,数据分辨率的小幅度提升并不是最重要的影响因子,而数据的质量和可用性对于观测结果和气象预报的准确性具有重大的意义。

4. VIIRS 数据在云检测上的应用

自从上世纪人类开始从太空监测地球的变化活动以来,研究者们为降低云对遥感成像的影响做了许多的研究工作。目前,最常用的云检测算法是利用遥感图像的光谱信息(ISCCP 方法^[6]、APOLLO 方法^[7]、CLAVER 方法^[8]、多光谱分析法^[1]或纹理信息(纹理分析方法^[9])进行云与地面物体的区分^[10]。在阈值法中,阈值的选择是影响分类精确度、分类结果正确与否的关键因素。阈值的选择方法主要有以下两种:一是根据经验,通过对数据库中大量的历史样图进行统计,获取云层的经验阈值;二是利用图像本身的信息,确定阈值的选取^[11]。在纹理信息分类法中,分类结果的准确性主要依赖于选择的样本量的多少。阈值法相对纹理法实现简单,计算速度快,但是却忽略了像元之间的空间信息。云检测的一般流程为先选择合适的云检测波段数据,通过一定的算法计算出云掩码(Cloud Mask),即区分出像元是否为晴空像元,然后再使用云掩码、相应的波段数据、地表反照率等数据和相应的算法来计算总云量、云分类、云厚度等云检测产品。

为更好的阐述 VIIRS 在云检测上的应用,我们先在理论上对云检测所使用的波段进行了相应的分析,然后通过实际数据对 VIIRS 在云检测上的应用效果做

了对比分析。

4.1. VIIRS 云检测原理

在 MODIS、VIIRS 云掩码全球业务产品中所使用的云检测方法是基于辐射传输方程的阈值法,即通过大气对来自太阳、地表辐射有不同吸收、发射、透射特性作用而表现在传感器上的不同 DN 值来区分云和其它地物。

表 2 中的 I1 波段(0.64 μm)处于可见光的波段范围,此波段对应的晴空地物具有较低的反射率,云有较高的反射率,一般高于 30,是进行云检测的首选波段^[12],可以用来区分云和地面。VIIRS 的 M7 波段(0.86 μm)处于近红外波段,水对此波段强烈吸收,因此可以用于水面区域的云检测,而陆地区域则可以使用 I1 波段。

M9 波段,其波长为 1.378 μm ,主要对应于水汽的强吸收带^[13,14],当有足够的大气水汽(估计约需 0.4 cm 的可降水量),地面的反射大部分被水汽吸收而不能到达传感器。在高云上方的水汽相对较少,因此来自高云的反射可以很好的被探测到,从而可以很好的识别高卷云^[15]。

I3/M10 波段,雪和云在可见光波段都具有较高的反射率,但是在近红外波段(1.64 μm),雪地的反射率较云的反射率低,因此可以用 $\frac{\rho_{I1} - \rho_{I3}(M10)}{\rho_{I1} + \rho_{I3}(M10)}$ 来区别云和雪^[16]。

M14 波段(8.55 μm),对光学厚度大于 0.5 的白云,8.55 μm 与 11 μm 之间的亮温差为正,而光学厚度较大的水云的亮温差会小于 -2 K^[17]。在晴空时,因为水汽的吸收导致其辐射值低于 M15/I5 波段(11 μm)^[18],故可以通过一定的阈值来判断晴空。

I4/M12 波段,夜间低云在此(3.7 μm)通道的发射率小,也会出现负值^[19],因此该波段适合低云的检测。12 μm 的 I5/M16 波段和 8.55 μm 的 M14 波段,其被水汽吸收能力要强于 11 μm 的 M15/I5 波段,而 M15/I5 波段主要反映下垫面的发射辐射,因此可以使用 $BT_{I1} - BT_{3.7}$ 亮度温差检测低云。

DNB 波段在夜间具有很强的云层识别能力,能够检测到云层反射回来的月光和地球表面人造地物发射的可见光,当设定不同的阈值时,可以识别夜间

云的轮廓。因此在夜间可以使用 DNB 波段来代替可见光波段来进行云检测精度的验证。

4.2. VIIRS 云检测实例分析

在实际应用的不同算法中，波段的选择要根据算法的需要来进行，并且要注意各个波段在云检测时的适用条件。如当下垫面类型为高原时，由于空气中水汽含量低，1.378 μm 处的地面的辐射不能被充分吸收，观测值中会包含地面辐射值，最终影响检测结果。下面我们结合具体的实例进行分析。

图 1 是左图是加拿大部分地区 NPP VIIRS 彩色合成图像(M5、M7、M10 影像波段)，右图是我们通过相应的算法得到的云检测结果图。在右图中蓝色区域为晴空，白色区域为云，不同深浅的白色代表不同可信度的云检测结果。通过视觉对比可知，在相应的算法下利用 VIIRS 进行云检测得到的检测结果的可信度还是非常高的。

图 2 是 2013 年 7 月 18 日获取的全球范围内白天的云光学厚度图像，左图是 VIIRS 产品，右图是 Aqua MODIS 数据生成产品。通过对比发现，在赤道附近 VIIRS 保持了数据连续性，并没有出现空白间隙，而 MODIS 则如 2 中对比结果一样，每两轨之间出现了

空白。在图中可以看出，非洲区域 VIIRS 和 MODIS 的观测结果有较大的差异，MODIS 对于一些光学厚度较小的云并没有很好的识别，而 VIIRS 却能够较好的识别。由于 NPP 和 Aqua 卫星同时运行在 1330 太阳同步轨道上，两颗卫星飞行轨迹之间的时差并不会太大，因此出现这种现象可能的原因有：1) VIIRS 云产品分辨率为 750 m，而 MODIS 的云产品分辨率为 1000 m，分辨率的提升使得观测的结果更加准确，2) 数据质量的提升使得观测结果更加准确，灵敏度跟高。因此从上面的分析可知，VIIRS 可以很好的被用来进行云监测，在白天 VIIRS 比上一代的对地观测仪器 MODIS 具有更好的监测效果。

5. 总结与展望

作为下一代的 EOS 观察卫星，Suomi NPP 在保证对地观测数据的连续性上具有十分重要的意义。美国以 Suomi NPP 卫星作为 EOS 计划和 JPSS 计划之间的桥梁来整合资源的这一做法，我们认为在进行我国卫星发展规划时可以加以参考。我们通过初步分析研究认为：云检测波段的选择应该灵活考虑，云检测算法不能只考虑识别的准确性，还应计算速度快，满足云检测计算实时性的要求。对于新出现的 DNB 波段应

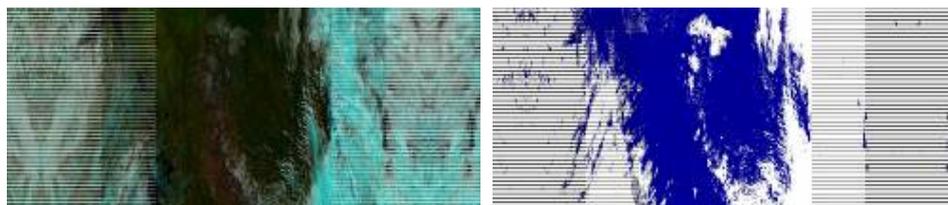


Figure 1. False color image of VIIRS for the study (left), the result of cloud detection (right)
图 1. VIIRS 假彩色图像(左)和云掩码图(右)

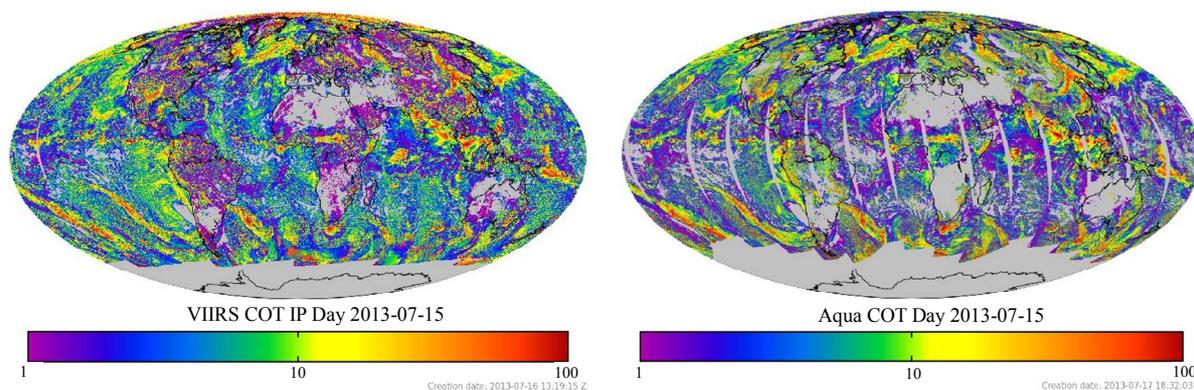


Figure 2. Daily global cloud optical thickness product of the VIIRS and Aqua MODIS
图 2. VIIRS 和 Aqua MODIS 云光学厚度全球业务产品

该更加注重其在云检测上的应用,我们将做进一步的研究分析。

6. 致谢

本研究受国家基础研究基础 973 项目子课题(旱灾对我国粮食生产系统影响的研究,编号:2010CB951503)支持,感谢美国 Wisconsin 大学提供部分数据和支持。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] 杨军, 董超华. 新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] J. R. G. Townshend, C. O. Justice. Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate-resolution remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 351-359.
- [4] Ball Aerospace & Technologies Corp. NPP mission. http://NPP.gsfc.nasa.gov/images/D1480_NPP_0710_lowres.pdf
- [5] B. Guenther, F. De Luccia, J. McCarthy, et al. Performance continuity of the A-Train MODIS observations: Welcome to the NPP VIIRS. http://www.star.nesdis.noaa.gov/jps/documents/meetings/2011/AMS_Seattle_2011/Poster/A-TRAIN%20%20Perf%20Cont%20%20MODIS%20Observa%20-%20Guenther%20-%20WPNB.pdf
- [6] B. Rossow, C. Garder. Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. *Journal of Climate*, 1993, 6(12): 2341-2369.
- [7] K. T. Kriebel, G. Gesell and M. Kastner. The cloud analysis tool APOLLO: Improvements and validations. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2389-2408.
- [8] L. Stowe, P. McClain. Global distribution of cloud cover derived from NOAA/AVHRR operation satellite data. *Advance in Space Research*, 1991, 11(3): 51-54.
- [9] W. X. Yu, X. G. Cao, L. Xu, et al. Automatic cloud detection for remote sensing image. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006, 27(6): 2184-2186.
- [10] N. Shan, T.-Y. Zheng and Z.-S. Wang. High-speed and high-accuracy algorithm for cloud detection and its application. *Journal of Remote Sensing*, 2009, (13)6: 1138-1146.
- [11] R. C. Gonzalez, R. E. Woods. *Digital image processing*. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2006.
- [12] P. Y. Chen, R. Srinivasan, G. Fedosejevs, et al. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(15): 2939-2950.
- [13] B. Gao, F. H. Goetz. Cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer data using the 1.38 water vapor band. *Journal of Geophysical Research Letter*, 1993, 20(4): 301-304.
- [14] B. Gao. Selection of 1.375 MODIS channel for remote sensing of cirrus clouds and stratospheric aerosols from space. *American Meteorological Society*, 1995, 4: 231-4237.
- [15] 王家成, 杨世植, 麻金继等. 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: 270-273.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] S. Platnick, M. D. King, S. Ackerman, et al. The MODIS cloud products: Algorithms and examples from terra. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(2): 459-473.
- [19] 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.