

基于 MODIS 数据的黄渤海海域云检测方法及其应用研究

解本巨, 马 浩, 刘国柱

(青岛科技大学 信息科学技术学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 在处理 MODIS 数据、业务化监测黄渤海海冰过程中, 云检测是重要内容之一, 其结果直接影响海冰信息反演的精度。为了减少云在海冰监测过程中的影响, 本文针对冬季黄渤海海域的特点, 采用多波段阈值云检测算法对云进行检测, 并用 IDL 语言图像处理技术实现该算法。在研究过程中, 本文采用 C#语言, 借助 ArcGIS Engine 组件, 将云检测算法与地理信息系统二次开发技术有机结合, 实现了云检测过程的全自动化和可视化, 提高了 MODIS 数据的处理效率。实验表明, 该方法具有较高的云检测精度, 检测效果理想, 并为海冰监测过程的全自动化与可视化研究奠定了基础。

关键词: MODIS 数据; 云检测; 多波段阈值算法; IDL; ArcGIS Engine

中图分类号: TP751.1, P731.32 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)03-0017-06

DOI: 10.11759/hyxx20170818001

黄渤海海域及其沿岸地区是我国重要的经济区之一。渤海海域和黄海北部在冬季覆盖了大量海冰, 对航海活动和远洋捕捞有很大的影响。海冰遥感监测可以获得长期、连续、大范围、同步实时的海冰监测资料, 已成为卫星遥感技术在环境监测中的热点之一。MODIS 数据可以免费获取, 而且具有光谱分辨率高、空间分辨率适中、时间分辨率高和灵敏度高的特点, 因此成为海冰监测、提取海冰信息不可多得的数据资源^[1-3]。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^[4], 在黄渤海海域云干扰情况比较严重, 大大限制了 MODIS 数据的使用情况。在提取海冰信息的过程中, 需要进行去云处理来排除云的干扰, 提高 MODIS 数据的使用效果。

目前, 对于 MODIS 数据, 已有许多的云检测算法, 但有些算法在大范围、平均状态下效果较好, 在某一小区域进行精细云检测的效果还不够理想。针对这一情况, 已经有一些不同季节、不同地区的云检测方法研究, 但对于冬季黄渤海海域的云检测算法研究较少。

另外, 黄渤海海冰业务化监测应有实时性好、全自动化和处理过程可视化的特点。近年来, 已有利用 MODIS 数据监测海冰、进行海冰信息反演的研究, 这些研究取得了一定进展, 但也存在着不足。孙芳等^[1]利用 MODIS 数据对海冰监测进行了研究, 但其研究结果只是理论上证明了 MODIS 数据监测海冰的可行性; 吴龙涛等^[2]利用 MODIS 1B 数据进行了

渤海海冰参数反演, 并生成了相应的产品, 但该研究实时性较差, 没有真正满足海冰监测业务化的要求; 王宁等^[5]基于 MODIS 数据设计了渤海海冰遥感探测系统, 该系统实现了海冰信息提取, 并以专题图和数值形式输出结果, 提高了海冰预报效率, 但在监测过程中没有对云检测等处理结果进行直观的可视化显示。

针对上述问题, 本文基于 MODIS 数据研究了冬季黄渤海海域的云检测算法, 并在此基础上对数据输入、数据处理和结果的可视化显示的全自动化处理过程进行了研究。本文基于 COM 技术, 采用 IDL 语言实现 MODIS 数据处理进行云检测, 结合 C#、ArcGIS Engine 二次开发组件, 将数据处理结果在 GIS 系统中可视化显示。此处理过程中不需要人工干预, 实现了 MODIS 数据的高效处理, 并满足黄渤海海冰业务化监测的要求, 为海冰信息反演奠定了基础。

1 资料处理

本文以 2014 年 2 月 13 日、2015 年 1 月 31 日、2016 年 2 月 1 日和 2017 年 1 月 23 日的 MODIS 1B 数据为例进行云检测, 并分别以 20140213、20150131、

收稿日期: 2017-08-18; 修回日期: 2017-11-27

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(ZR2014FM015)

[Foundation: Natural Science Foundation of Shandong Province, China, NO.ZR2014FM015]

作者简介: 解本巨(1971-), 男, 山东青岛人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为计算机视觉与图像工程, E-mail: xbjcomputer@163.com; 刘国柱, 通信作者, 教授, 研究方向为计算机网络与安全、网络拥塞及数据压缩, 电话: 13370807601, E-mail: LGZ_0228@163.com

20160201 和 20170123 作为各自图像在文中的编码。由于遥感图像在获取过程中受地球表面曲率、探测器运动中的抖动等因素影响, MODIS 数据存在几何畸变^[6]; 另外影像存在辐射不均匀、坏线等辐射问题^[7]。因此在进行云检测之前, 需要对 MODIS 数据进行预处理, 包括几何校正、辐射校正和黄渤海有效区域裁剪, 在消除几何畸变和辐射问题的同时获取云检测需要的反射率和辐射率数据。

预处理的处理过程与云检测的过程相同, 利用 IDL 语言进行 MODIS 数据的预处理, 基于 COM 技术, 采用 ArcGIS Engine 组件对预处理结果在其 MapControl 控件上的相应位置进行可视化显示, 以 20140213 为例, 显示结果如图 1 所示, 具体的预处理后黄渤海海域影像如图 2 所示, 通过目视, 可以观察到云、陆地、雪、海水和海冰。

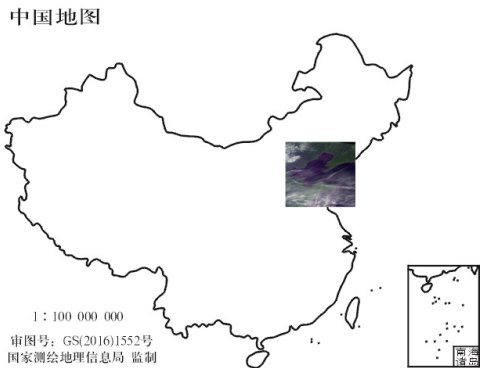


图 1 MapControl 上的预处理后的影像
Fig. 1 Image after pretreatment on MapControl

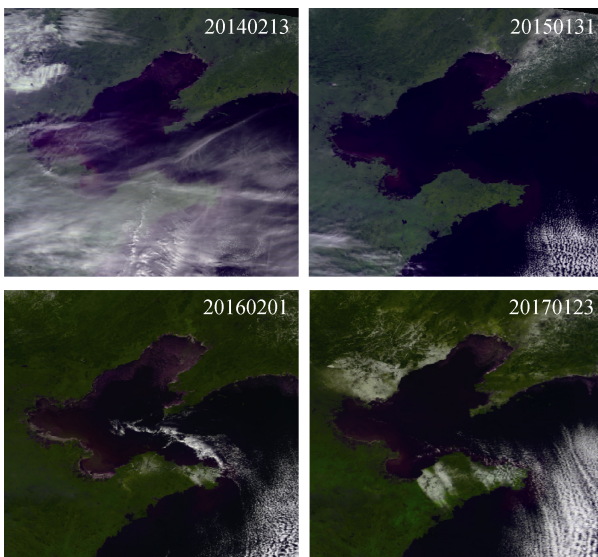


图 2 预处理后影像图
Fig. 2 Image after pretreatment

2 云检测方法

2.1 云检测原理

云检测是指对总云量、高云量和云顶高度的估计^[4]。云检测的原理是利用云在可见光和红外波段与植被、土壤、雪和水域等下垫面在反射率和辐射亮温值存在差异进行检测的^[4]。云具有较低的亮温值, 同时具有较高的反射率。在可见光波段, 下垫面反射率随着地物类型的差异而不同, 植被的反射率最低, 水体其次, 土壤和城镇最高。云的反射率高于下垫面, 并随着高度、厚度变化。另外, 因为在热红外波段云顶温度较低, 所以在遥感图上具有低的亮温值^[4]。

位于较高纬度的渤海与黄海北部受欧亚大陆季风的影响, 每年冬季会出现结冰现象, 海冰的理化性质与海水不同, 海冰的高反射光谱特性与云相似^[8]。考虑到这一特点, 本文将云与陆地、海水、冰雪进行比较检测。

2.2 多波段阈值法

2.2.1 波段选择

选取 MODIS 数据的 4 个波段进行研究, 如表 1 所示。

表 1 MODIS 云检测选用波段及应用领域
Tab. 1 MODIS bands for cloud detection and bands' application

波段	光谱范围 / μm	信噪比	地面分辨率/m	应用领域
1	0.620~0.670	128	250	陆地/云边界
6	1.628~1.652	275	500	陆地/云特性
8	0.405~0.420	880	1000	海洋颜色/浮游植物
26	1.360~1.390	150	1000	卷云

在波段 1 处, 陆地的反射率较低, 反射率在 0~0.3 之间, 厚云的反射率高, 云和陆地之间的对比明显, 是云检测的首选波段^[9]。在波段 6 处, 冰雪因吸收太阳辐射强而反射率低, 云则相对吸收太阳辐射少而反射率高, 所以利用该波段进行云与冰雪的区分; 在云与冰雪的区分过程中, 利用波段 8 的反射率进行修正, 剔除对海岸线的误判。

在 26 波段, 地面反射率低, 而高云上方的水汽对云的反射值削弱减少, 因此具有高的反射率, 该波段对高层卷云敏感, 可以用来检测高云、卷云^[10]。

2.2.2 多波段阈值法流程

根据任欢等人^[11]的研究, 需要检测的云分为高

云、中云、低云几种类型。本文结合冬季黄渤海海域的特点，采用多波段阈值法，在选取的可见光和红外波段通道确定具体的阈值，将不同波段内反射率与选取的阈值进行比较判定像元是否为云像元，然后综合不同的波段的检测结果进行或运算，得到最终的云检测结果。算法具体过程如下：

(1) 在波段 1 处，云与陆地区分明显，云的反射率较高。所以反射率的阈值设为 T_1 ，当 C_1 大于此阈值时判定为云。

(2) 在 26 波段，高层卷云具有较高的反射率，将反射率阈值设为 T_2 ，当 C_{26} 大于此阈值时判定为云。

(3) 在 26 波段，卷云在可见光很难识别，而且

低云反射率低，高云反射率高，因此通过 C_{26} 和 C_1 组合进一步检测卷云^[10]。当 C_{26} 大于特定阈值 T_3 ， C_1 小于 T_4 时，判定为云；当 C_{26} 小于阈值 T_5 ， C_1 大于 T_6 时，判定为云。

(4) 将 1、6 波段的反射率进行归一化处理，即

$$C_d = (C_1 - C_6) / (C_1 + C_6) \quad (1)$$

当满足 $T_7 < C_d < T_8$ 时，可以区分低的薄云和冰雪。为防止对海岸线造成误判，在波段 8 设置 $C_8 > T_9$ ，同时利用 $C_1 > T_{10}$ 来剔除水体。由于水体在可见光波段反射率一般小于 20%，所以设置 $T_{10} = 0.2$ ，可将水体去除。

算法实现流程如图 3 所示。

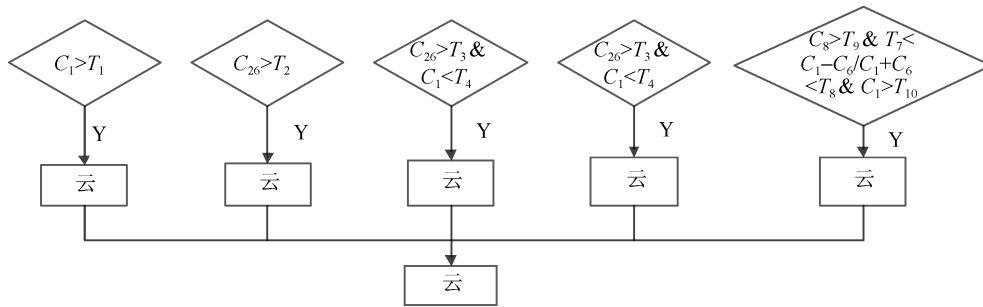


图 3 云检测算法流程图

Fig. 3 Flow chart of cloud detection algorithm

其中， C_i 代表第 i 通道的反射率， T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 、 T_9 、 T_{10} 分别为相应波段设置的阈值。

2.2.3 阈值确定

在多波段阈值法检测云的过程中，阈值的确定非常重要。本文以选取的预处理后的四幅图像为例

进行阈值的确定。在前人研究的基础上，首先对四幅图像进行直方图统计分析，结合目视解译对比实验结果，确定各自的云判别阈值；然后综合分析四幅图像的阈值，得到统一阈值。四幅图像的判别阈值和统一阈值如表 2 所示。

表 2 四幅图像判别阈值和统一阈值

Tab. 2 Discrimination thresholds of four images and unified thresholds

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}
20140213	0.3	0.008	0.042	0.2	0.042	0.2	-0.0009	0.002	0.17	0.2
20150131	0.3	0.0079	0.0415	0.2	0.0415	0.2	-0.0009	0.002	0.17	0.2
20160201	0.3	0.008	0.041	0.2	0.041	0.2	-0.001	0.002	0.16	0.2
20170123	0.3	0.0077	0.042	0.2	0.042	0.2	-0.0009	0.002	0.15	0.2
统一阈值	0.3	0.008	0.042	0.2	0.042	0.2	-0.0009	0.002	0.17	0.2

2.3 云检测方法的应用

根据海冰监测业务化的需求，黄渤海海域云检测方法的应用需要进行以下几个方面的工作：预处理数据的读取、云检测算法的实现、去除检测出的云像元、可视化显示去云影像。在此过程中，IDL、C#、ArcGIS Engine 负责的工作如下：

(1) IDL 负责读取预处理后的数据，实现云检测算法检测出云，然后利用其自带的掩膜工具分离云和其他地物数据，生成的掩膜图像中有云的地方像元值设为 0，其他地方像元值不变，从而达到去云效果。利用 IDL 将以上步骤封装为一个自动处理程序，并保存为 SAV 文件，输入预处理数据即可完成云检测处理，输出去云栅格影像。

(2) 采用 ArcGIS Engine 的开发方式可以实现一个具备常用 GIS 功能并能够脱离 ArcGIS 而独立运行的高效率的应用程序。其负责加载地图控件(MapControl)和数据显示控件(TocControl), 并在两个控件之间创建连接。MapControl 用于加载 Map 文档, 显示去云栅格影像, TocControl 用于显示当前伙伴控件(MapControl)加载的图层属性。

(3) C#负责设置预处理后数据的输入路径和去云影像的保存路径。基于 COM 技术, C#与 IDL 通过 COM_IDL_connect 组件进行输入数据和输出数据的传递, 利用该组件执行 IDL 封装的 SAV 文件, 输出并保存去云栅格影像; C#调用 ArcGIS 相关接口中的方法, 在 MapControl 控件中加载的 Map 文档上的相应位置显示去云栅格影像。

基于 COM 技术, 结合 C#、IDL、ArcGIS Engine 的云检测方法应用工作流程图如图 4 所示。

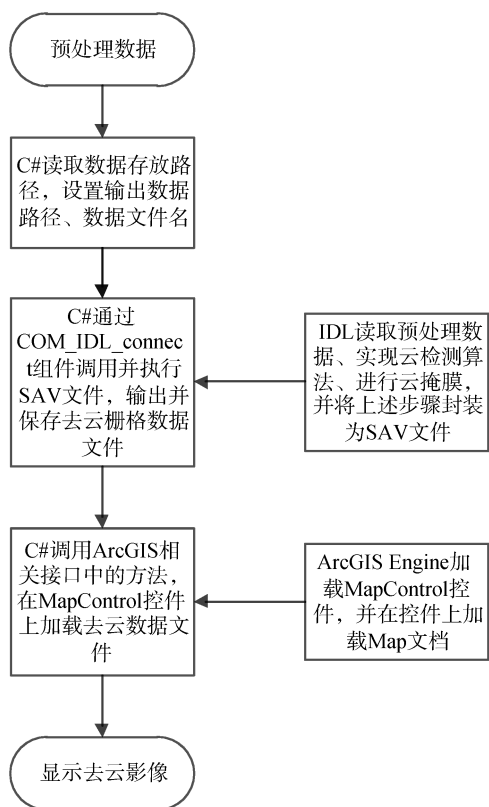


图 4 云检测方法应用流程图

Fig. 4 Flow chart of cloud detection's application

3 检测结果与精度验证

3.1 检测结果

根据上述云检测方法, 本文对预处理后的数据

进行了云检测处理, 以 20140213 为例, 去云栅格影像在 ArcGIS Engine 的 MapControl 控件上显示如图 5 所示, 具体的影像图如图 6 所示。从图 6 可以看出, 被检测出的云像元值被设为 0, 其他地物的像元值没有变化。通过目视解译, 将此结果与图 2 预处理后的影像图对比发现, 云与陆地、冰雪、海水和海冰等地物能够很好地区分, 云提取完整, 说明该方法在黄渤海海域的云检测效果理想。

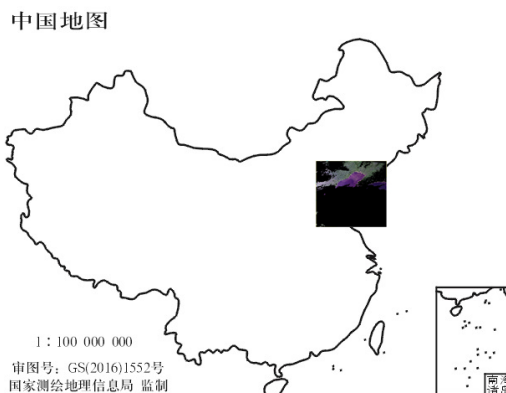


图 5 MapControl 上的去云影像

Fig. 5 Image of cloud-removed on MapControl

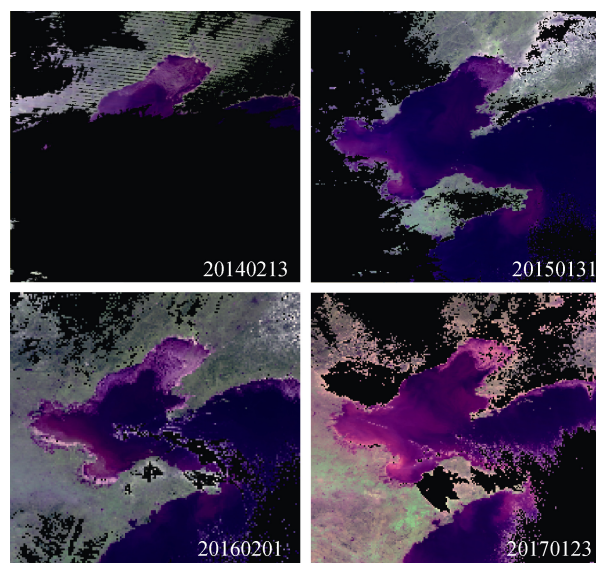


图 6 云检测结果

Fig. 6 Cloud detection results

3.2 精度验证

为进一步检验该云检测方法的效果, 本文对检测精度进行验证。云检测精度的验证一般采用定性的评价方法, 以目视判断为主, 通过把检测出来的云信息和原始图像进行对比评估, 具有很大的主观性。根据吕明明等^[12]的研究, 本文从定量的角度出发,

采用总体检测精度和像元精度两个指标来对比评估本研究提出的云检测方法和 ENVI 的云检测工具对黄渤海海域云检测的精度。总体检测精度(P_t)和像元精度(P_a)的计算公式如下:

$$P_t = \sum S_k / \sum R_k \quad (2)$$

$$P_a = \sum S_{kk} / \sum R_k \quad (3)$$

式中, S_k 表示检测结果影像中 k 地物的像元, S_{kk} 表示

检测结果中 k 地物与参考影像中 k 地物位置一致的像元, R_k 表示参考影像中 k 地物的像元。本文首先将四幅图像目视解译提取的结果作为参考分类, 即参考影像; 然后对比图像在本研究的云检测方法和 ENVI 的云检测工具下的检测结果, 将云像元作为公式中所述的 k 地物像元, 计算分析两种方法的总体检测精度和像元精度。结果如表 3 所示。

表 3 两种方法的总体检测精度和像元精度

Tab. 3 Overall accuracy and pixel accuracy of two methods'

图像	总体检测精度/%		像元精度/%	
	本文云检测方法	ENVI 云检测方法	本文云检测方法	ENVI 云检测方法
20140213	93.7	83.3	91.8	79.6
20150131	87.6	81.2	86.3	78.9
20160201	88.4	79.1	88.3	76.5
20170123	91.8	82.3	90.7	78.7

从表 3 中可以看出, 针对冬季黄渤海海域, ENVI 云检测工具的检测精度较低, 而本文研究的云检测方法, 总体检测精度和像元精度都比较高, 一定程度上提高了云检测精度, 检测效果更好。所以该方法基于 MODIS 数据, 更符合冬季黄渤海海冰监测的业务化需求。

4 结论

本文采用多通道阈值算法在黄渤海海域进行了 MODIS 数据的云检测处理, 并结合 IDL 语言和 ArcGIS Engine 技术建立并实现了云检测的应用方法。从试验结果可以看到, 在黄渤海海域, 云与陆地、海水、海冰能够有效区分, 且检测结果可视化显示效果理想。本文提出的云检测方法具有以下优点:

(1) 该方法针对冬季黄渤海海域, 将多通道阈值的阈值参数进行了优化, 能够使云与陆地、海水、海冰等下垫面实现有效区分。

(2) 该方法云检测精度高, 达到了冬季黄渤海海冰监测的业务化要求。

(3) IDL 语言和 ArcGIS Engine 技术的结合实现了 MODIS 数据的高效处理, 过程中不需要人工干预, 节省了大量时间, 而且最终的云检测结果可视化显示效果良好。

(4) 该方法实现了云检测过程的自动化与可视化, 证明了结合 IDL 和 ArcGIS Engine 进行业务化海冰监测的可行性。

另外, 本文存在着一些不足。该云检测方法针对

冬季黄渤海海域, 不具有普适性; 而且模型只是在晴空条件下进行的研究, 更复杂天气状况下的云检测算法还有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 孙芳, 薄文波, 王贵钢. 基于 MODIS 数据的海冰监测研究[C]//海洋测绘综合性学术研讨会. 2009: 594-597.
Sun Fang, Bo Wenbo, Wang Guigang. Research On the Monitoring of Sea Ice Based on MODIS Data[C]// Comprehensive symposium on Marine surveying and mapping, 2009: 594-597.
- [2] 吴龙涛, 吴辉碇, 孙兰涛, 等. MODIS 渤海海冰资料反演[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(2): 173-179.
Wu Longtao, Wu Huiding, Sun Lantao, et al. Retrieval of Sea Ice in the Bohai Sea from MODIS Data[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(2): 173-179.
- [3] 周斌, 张自力, 于海燕. 基于 EOS/MODIS 卫星遥感数据的渤海海冰变化趋势及特征应用研究[J]. 环境监控与预警, 2013, 5(1): 11-14.
Zhou Bin, Zhang Zili, Yu Haiyan. The Applied Research of Bohai Sea Ice Trends and Characters Based on EOS/MODIS Remote Sensing Data[J]. Environmental Monitoring Forewarning, 2013, 5(1): 11-14.
- [4] 杨铁利, 何全军. MODIS 数据的云检测处理[J]. 鞍山科技大学学报, 2006, 29(2): 162-166.
Yang Tieli, He Quanjun. Cloud detection in MODIS data[J]. Journal of Anshan University of Science and Technology, 2006, 29(2): 162-166.
- [5] 王宁, 纪永刚, 张晰等. 基于 MODIS 数据的渤海海

- 冰遥感探测系统的设计[J]. 海洋预报, 2011, 28(1): 33-38.
Wang Ning, Ji Yonggang, Zhang Xi, et al. Design of Remote Sensing Detection of Sea Ice in the Bohai Sea Based on MODIS Data[J]. Marine Forecasts, 2011, 28(1): 33-38.
- [6] 邱春霞, 董乾坤. 遥感图像几何校正模型探讨[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(1): 349-353.
Qiu Chunxia, Dong Qiankun. Study on Remote Sensing Image Geometric Correction Model[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2015, 43(1): 349-353.
- [7] DUAN YiNi, ZHNAG LiFu, YAN Lei, et al. Relative radiometric correction methods for remote sensing images and their applicability analysis[J]. Journal of Remote Sensing, 2014, 18(03): 597-606.
- [8] 王祥, 杨建洪, 赵冬至, 等. HJ-1B 星海表温度产品业务化云检测算法研究[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(2): 280-286.
Wang Xiang, Yang Jianhong, Zhao Dongzhi, et al. Study inoperational multi-spectral threshold method cloud detection for HJ-1B sea surface temperature products[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(2): 280-286.
- [9] CHEN PY, SRINIV ASAN R, FEDOSEJEV S G, et al. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for texas[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(15): 2939-2950.
- [10] 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(69): 19-22.
He Quanjun, Cao Jing, Huang Jiang, et al. Cloud Detection in MODIS Data Based On Multi-Spectrum Synthesis[J]. Remote Sensing For Land & Resources, 2006, 3(69): 19-22.
- [11] 任欢. MODIS 数据的云处理及地表温度反演[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
Ren Huan. Study on the Cloud Processing with MODIS Data and the Retrieval of LST[D]. Xian: XIDIAN University, 2013.
- [12] 吕明明, 韩立建, 田淑芳, 等. 多样地表和大气状况下的 MODIS 数据云检测[J]. 遥感学报, 2016, 20(6): 1321-1380.
Lü Mingming, Han Lijian, Tian Shufang, et al. Cloud detection under varied surfaces and atmospheric conditions with MODIS imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(6): 1371-1380.

Study of cloud detection method in the Yellow and Bohai Seas based on MODIS data

XIE Ben-ju, MA Hao, LIU Guo-zhu

(College of Information Science & Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Received: Aug. 18, 2017

Key words: MODIS data; cloud detection; multiband-threshold synthesis algorithm; IDL; ArcGIS Engine

Abstract: In the Yellow and Bohai Seas, cloud detection, the result of which directly affects the accuracy of the retrieval of sea ice, is absolutely necessary in the treatment of MODIS data, operational monitoring, and extraction of sea ice information. To identify the characteristics of the Yellow and Bohai Seas, in this study, we detected cloud using a multiband-threshold synthesis algorithm with the IDL programming language to reduce the impact of cloud in monitoring sea ice. We utilized the C# language and the ArcGIS Engine to integrate the cloud detection algorithm with the secondary development of a geographic information system. This system realizes full automation and the visualization of cloud detection processing and improves the efficiency of MODIS data processing. Our experimental results indicate that this method is ideal. It has high detection precision and lays the foundation for the full automation and visualization of sea ice monitoring.

(本文编辑: 李晓燕)