

文章编号: 1004-4965(2009)02-0205-04

基于IDL的MODIS1B数据SST反演

何全军, 张月维, 曹静, 吴志军, 黄江

(广州气象卫星地面站, 广东 广州 516040)

摘 要: 海表温度是重要的海洋环境参数。MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)具有强大的海洋信息探测功能。采用多通道分裂窗算法, 通过交互式数据语言 IDL 编程, 实现了直接利用 MODIS1B 数据进行海表温度(SST)反演, 并将反演结果存贮为标准的 HDF 文件以供其他软件使用。该方法能够适应对整条轨道的 MODIS1B 数据进行快速、实时和自动处理, 大大节省人力资源, 同时提高遥感产品数据的分发和共享能力。

关键词: 遥感; 海表温度; 反演; MODIS; IDL

中图分类号: P407

文献标识码: A

1 引言

海洋表面温度 SST(Sea Surface Temperature)是重要的海洋动力环境参数之一, 是定量探测其他海洋环境参数的重要辅助参数, 也是探测诸如上升流等海洋现象的重要依据^[1]。在海洋开发和海洋工程^[2]以及气候变化^[3]的研究中, SST 也是至关重要的, 它的分布制约着海面和大气的热量、动量和水汽交换, 从而影响大气环流和气候。另外在海洋渔业中海温也是寻找中心渔场的指标之一^[4]。如美国 SST 在线公司已在互联网更新发布美国东海岸渔区的海面温度图, 提供给这一地区的渔业作业者^[5]。

MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)是搭载于美国 EOS(Earth Observing System)系列卫星 Terra 和 Aqua 卫星上的主要探测仪器, 具有 36 个通道, 覆盖可见光到热红外比较宽的光谱范围, 每天可多次扫描同一地区, 对监测海洋变化有重要意义。目前 MODIS 数据已在大气、环境、灾害及农业等方面获得广泛应用^[6-7]。MODIS1B 数据存贮和分发格式为 HDF(Hierarchical Data Format), HDF 是一种国际标准的超文本文件格式, 由美国国家高级计算应用中心 NCSA(National Center for Super-

computing Application)组织开发, 能够存贮和处理不同种类大数据量的科学数据, MODIS1B 使用的是 HDF4 版本^[8], 目前包括 C、Fortran、Java、Matlab 和 IDL 等软件都可以方便地进行 HDF 文件的读取和处理^[9-11]。很多商业软件业也都支持 MODIS1B 数据的读取和处理, 然而能直接对 MODIS1B 数据进行 SST 反演的却很少。NASA(National Aeronautics and Space Administration)在网上提供 MODIS 的 SST 产品下载, 但是难以实时获取。

交互式语言 IDL(Interactive Data Language)作为美国 ITT 公司的旗舰产品, 以其强大的面向矩阵操作、支持海量科学数据格式以及跨平台的优势成为科研工作者的首选开发工具。为了实现 MODIS 海表温度的快速反演, 并进行产品业务化, 本文通过多通道分裂窗算法, 从 MODIS1B 数据出发利用 IDL 语言编程实现了 SST 反演计算。

2 SST 反演算法

MODIS 的 SST 反演主要来源于“迈阿密探路人”算法^[12], 是在 NOAA/AVHRR 的 SST 算法基础上发展而来, 属于一种非线性多通道结构^[13], 在利用双通道组合消除大气影响的同时也极大地降低了

收稿日期: 2007-10-17; 修订日期: 2008-01-18

基金项目: 中国气象局广州区域气象中心 2007 年多轨道研究型业务建设项目“海岸带海-陆-气相互作用监测及灾害天气预测模式系统”资助

作者简介: 何全军, 男, 陕西省人, 工程师, 硕士, 主要从事卫星遥感应用、地理信息系统开发及可视化应用研究。E-mail: hequanjunsx@163.com

扫描角度引起的误差。在 IMAPP^[14](International MODIS AIRS Processing Package)中对该算法作了进一步改进, 计算公式描述如下,

$$SST=C_1+C_2T_{31}+C_3|T_{31}-T_{32}|+C_4(\sec(\theta)-1)(T_{31}-T_{32}) \quad (1)$$

$$SST4=C_1+C_2T_{22}+C_3(T_{22}-T_{23})+C_4(\sec(\theta)-1) \quad (2)$$

式中 T_i 是第 i 波段的亮温, 单位为 $^{\circ}\text{C}$, θ 是传感器天顶角, C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为由实测数据计算得到的回归系数。上述算法中的式(1)通过远红外 31 和 32 通道进行海表温度反演, 白天和夜间反演参数不同。式(2)属于中红外通道反演, 只适用于夜间观测数据, 因为白天中红外数据包含有太阳反射信息。刘良明等^[1]通过黄海和东海海航采集的数据进行回归分析得到适合我国海域的系数, 其分析结果表明海温反演的精度满足日常应用需要, 本文也采用该系数进行 SST 反演。

3 MODIS 数据处理

3.1 MODIS 数据读取

MODIS 扫描范围宽, 并且通道多, 因此数据量大, 本文采取内存动态分配管理方法, 随着数据处理的进行临时释放和加载数据, 另外仅读取处理过程中所需用到通道信息、定位数据以及其他辅助信息。这样可达到实施业务所要求的高时速、高效率目的。

MODIS 通道信息和定位信息都按照相应的名称贮存在科学数据集 SD(Scientific DataSet)中, 读取这些信息时先要将名称转换为索引号, 然后按照索引号来检索数据。属性信息分为 SD 属性和 Global 属性, 读取方式相似, 都是通过属性名查找索引, 然后再按照索引获取数据。不同之处在于 SD 属性是和相应的 SD 关联, 而 Global 属性是单独存贮。下面以 31 通道为例详细介绍利用 IDL 读取通道数据和定标属性(分号后为注释)。

```
hdf_id=hdf_sd_start(hdf_filename, /read); 打开文件 hdf_filename。
```

```
sd_index=hdf_sd_nametoindex(hdf_id, 'EV_1KM_Emissive'); 获取热辐射波段索引。
```

```
sd_id=hdf_sd_select(hdf_id, sd_index); 得到科学数据集 ID。
```

```
hdf_sd_getinfo, sd_id, dims=dims; 获取图像维度信息。
```

```
hdf_sd_getdata, sd_id, data, count=[dims[0], dims
```

```
[1], 1], start=[0, 0, 10]; 读取 31 通道信息。
```

```
sd_attr_index=hdf_sd_attrfind(sd_id, 'radiance_scales'); 获取缩放比属性索引。
```

```
hdf_sd_attrinfo, sd_id, sd_attr_index, data=radiance_scales; 读取缩放比属性。
```

```
sd_attr_index=hdf_sd_attrfind(sd_id, 'radiance_offsets'); 获取偏移量属性索引。
```

```
hdf_sd_attrinfo, sd_id, sd_attr_index, data=radiance_offsets; 读取偏移量属性。
```

```
hdf_sd_endaccess, sd_id; 关闭科学数据集。
```

```
hdf_sd_end, hdf_id; 关闭文件。
```

到此完成了 31 通道以及用于辐射定标计算的参数读取。对于其他通道数据、地理数据以及传感器信息数据的读取方式和上述方式相同。

3.2 定标处理和亮温计算

MODIS 数据存贮的是计数值 DN, 需要将其定标计算才能转换为反射率或辐射度。计算公式为,

$$L_i=\text{scale}_i(DN_i-\text{offset}_i) \quad (3)$$

其中 DN_i 、 scale_i 、 offset_i 分别表示第 i 波段的计数值、定标缩放比和偏移量, 对于反射波段 L_i 表示反射率, 而在热辐射波段则表示辐射度。

反射率需要进行太阳高度角校正, 可按公式(4)进行校正处理,

$$R=\text{ref}/\cos(\theta) \quad (4)$$

式中 R 是校正后的反射率, ref 是定标后的反射率, θ 是太阳高度角。

对于定标后的热辐射波段需要计算亮度温度。先通过 Planck 函数逆求解得到亮度温度, 然后再利用温度订正系数进行修正得到最终的亮度温度。本文进行简化后计算公式为,

$$T_b=((K_2/\text{Ln}(K_1/L_i+1))-tci)/tcs \quad (5)$$

式中, $K_1=C_1/\lambda_i^5$, $K_2=C_2/\lambda_i$, $C_1=119\ 104\ 356.0$, $C_2=14\ 387.685$, λ_i 为当前波段的中心波长, tci 和 tcs 是温度订正的截距和斜率, 由 MCST(MODIS 描述和支持组)提供的光谱相应数据计算得到^[11, 14]。 T_b 是亮度温度, 单位为 K, 在进行 SST 计算时需要将单位转换为 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 云检测处理

云检测是卫星遥感反演必不可少的步骤。本文针对白天数据按照文献[15]提出的多光谱综合阈值法进行云像素的检测, 该方法引入了 26 通道反射率, 对薄云、卷云有较好的识别能力。对于夜间数据满足 $T_{32}<265$ 即可认为是云^[16]。利用云检测算法最终得到一个二值的数据集, 0 表示非云, 1 表示云。

3.4 SST 算法实现及结果保存

根据 MODIS 的 Global 属性“DAYNIGHTFLAG”来判断当前数据是白天还是夜间数据，对数据进行定标处理后采取不同的反演算法进行 SST 计算，最后将 SST 结果、云检测结果及经纬度信息一起保存为 HDF 格式。MODIS1KM 数据中的经纬度维数是通道数据的维数的 1/4，而在 MOD03 数据中的经纬度信息则是和 1KM 通道数据 1/1 对应，因此本文中的经纬度信息直接从 MOD03 数据获取。在 IDL 中实现结果的存贮过程描述如下。

```
hdf_id=hdf_sd_start(filename, /create, /rdwr); 创建 HDF 文件。
```

```
type=hdf_idl2hdfstype(size(sst, /type)); 将 SST 数据类型转换为 HDF 类型。
```

```
sd_id=hdf_sd_create(hdf_id, 'SST', size(sst, /dimensions), hdf_type=type); 创建科学数据集。
```

```
hdf_sd_adddata, sd_id, temporary(sst); 将 SST 数据添加到科学数据集并释放资源。
```

```
hdf_sd_endaccess, sd_id; 关闭科学数据集。
```

```
hdf_sd_end, hdf_id; 关闭文件。
```

云检测结果和经纬度信息的存贮方法同上，分别创建 Cloud、Longitude 和 Latitude 数据集后在 SST 之后依次添加。按照这种方式存贮的 SST 产品数据大大降低了数据量，便于数据分发和共享，并且该格式遵循 HDF 标准可以在包括 ENVI 在内的其他商业软件中使用。

整个 MODIS1B 数据 SST 反演算法实现如图 1 所示。

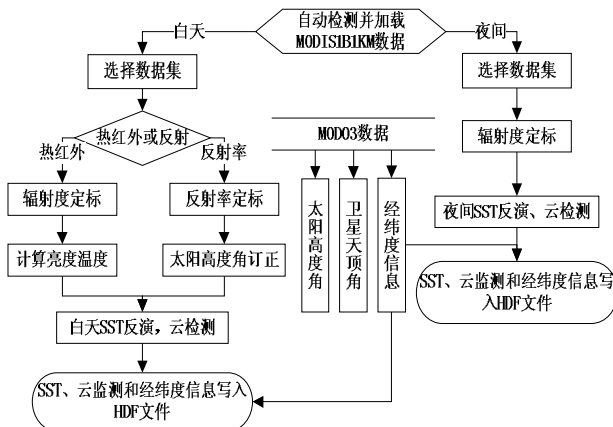


图 1 MODIS1B 数据 SST 反演流程

4 SST 反演实例

利用完成的 MODIS1B 数据 SST 反演程序，对

2005 年 11 月 26 日的 Terra 数据进行 SST 计算，进行等经纬度投影和云掩模屏蔽处理后进行彩色制图 (图 2)。图 2 是对 MODIS1B 数据计算 SST 后的结果显示，图中分辨率为 0.1°。可以看出该 SST 反演结果符合我国海域温度场分布实际情况，海温分布从北向南升高，我国大陆近海温度低于远海地区。因数据采集日期为 11 月底，所以在北部海域的海表温度低至 4℃ 以下。同时该方法将云覆盖较好地检测出来。

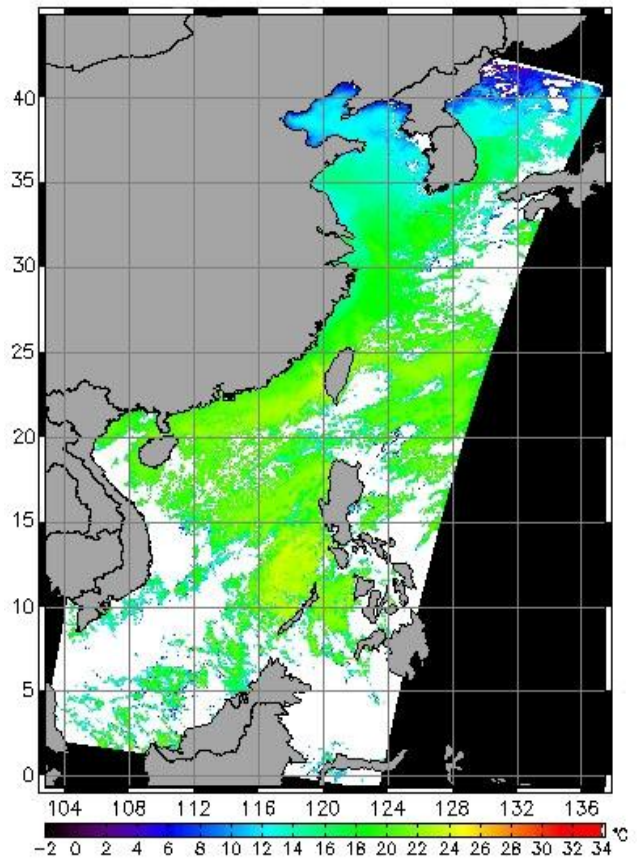


图 2 MODIS SST 分布图

5 结 论

本文基于多通道分裂窗算法，详细介绍了利用 IDL 语言编程实现 MODIS1B 数据的 SST 反演方法，并给出了应用实例。

(1) 本文的海表温度反演实现方法，运算速度快，无需人工干预即可自动化完成，能从海量的 MODIS 数据直接提取有效数据，可用于批量和实时地对白天和夜间的 MODIS1B 数据进行 SST 反演，并且 SST 数据存贮遵循标准 HDF 格式，方便了数据使用和共享。

(2) 该 SST 反演算法采用的参数由黄海和东海实测数据回归分析而来, 其精度能满足日常应用需求。

(3) 在 SST 反演实现中采取内存动态分配管理方法, 随着数据处理的进行临时释放和加载所用到的通道信息、定位数据以及其他辅助信息, 而不是

一次读取所有数据, 大大节省了对计算机系统资源的需求, 提高了效率。

(4) 本文 SST 反演中所用到的参数由黄海和东海实测数据进行回归分析而来, 有必要利用南海实测数据进行回归分析来进一步提高反演精度。

参 考 文 献:

- [1] 刘良明, 周军元. MODIS 数据的海洋表面温度反演[J]. 地理空间信息, 2006, 2(2): 7-9.
- [2] 李云芳, 郭佩芳, 周慧. 估计海表温度的 1 种简便方法[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(1): 127-130.
- [3] 潘蔚娟, 钱光明, 余克服, 等. 华南近海近 40 年的实测 SST 变化特征[J]. 热带气象学报, 2007, 23(3): 271-276.
- [4] SOLANKI H U, DWIVEDI R M, NAYAK S R. Fishery forecast using OCM chlorophyll concentration and AVHRR SST: validation results off Gujarat coast, India[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(18): 3 691-3 699.
- [5] 党顺行, 杨崇俊, 王宇飞. 卫星遥感海表温度反演研究[J]. 高技术通讯, 2001, 3: 49-52.
- [6] 邓玉娇, 刘诚, 林锦祥. 基于 MODIS 资料研究广州市热环境[J]. 热带气象学报, 2007, 23(3): 261-264.
- [7] 彭光雄, 李京, 陈云浩, 等. 利用 MODIS 大气廓线产品计算空气相对湿度的方法研究[J]. 热带气象学报, 2007, 23(6): 611-616.
- [8] 张莉, 曾致远. 基于 HDF4 文件格式的 MODIS1B 影像数据提取的研究与实现[J]. 国土资源遥感, 2004, 4: 27-32.
- [9] 路文海. IDL 语言处理 HDF 格式遥感数据的研究[J]. 海洋信息, 2006, 6: 6-7.
- [10] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯. MODIS 数据地表温度反演分裂窗算法的 IDL 实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(3): 114-117.
- [11] 相云. MODIS1B 资料处理方法研究与软件实现[D]. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2006.
- [12] OTIS B Brow, PETER J Minnett. MODIS infrared sea surface temperature algorithm theoretical basis document[R]. Web page: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod25.pdf.
- [13] LI X, PICHEL W, MATURE, et al. Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coefficients for NOAA-15 AVHRR/3. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(4): 699-704.
- [14] JAMES E Davies. The IMAPP MODIS sea surface temperature algorithm[R]. Web page: ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/IMAPP/MODIS/Level-2/v1.5/SST_DOC.pdf.
- [15] 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.
- [16] GIGLIO L, DESCLOITRES J, JUSTICE C O, et al. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87: 273-282.

REALIZATION OF SST RETRIEVAL FROM MODIS1B DATA USING IDL

HE Quan-jun, ZHANG Yue-wei, CAO Jing, WU Zhi-jun, HUANG Jiang

(Guangzhou Meteorological Satellite Ground Station, Guangzhou 516040, China)

Abstract: Sea surface temperature (SST) is an important parameter in sea environment. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) has a powerful function in exploring sea information. Using Interactive Data Language (IDL), the multichannel split-windows algorithm was programmed to retrieve SST from MODIS1B data, and the SST data were saved in HDF file which can be used in other software. The results indicate that this procedure is a fast, real time and automatic way to process the whole process of MODIS1B data, saving great on human resources and improving the ability to dispatch and share remote sensing product and data.

Key words: Remote Sensing; sea surface temperature; retrieval; MODIS; IDL