

引用格式: Yang Hequn, Zhou Hongmei, Yin Qiu, *et al.* Fast Pre-processing of MERSI Data on FY-3 Meteorological Satellite Using IDL[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(4): 566-574. [杨何群, 周红妹, 尹球, 等. FY-3 气象卫星 MERSI 数据快速预处理的 IDL 实现[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(4): 566-574.]

FY-3 气象卫星 MERSI 数据快速预处理的 IDL 实现

杨何群^{1,2}, 周红妹¹, 尹 球¹, 韩 涛², 葛伟强¹

(1. 上海市卫星遥感与测量应用中心, 上海 201199; 2. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 作为新型卫星数据源, FY-3/MERSI(风云三号中分辨率光谱成像仪)影像的快速预处理方法与模块目前较少见。采用基于三角网的几何校正算法, 根据研究区 Shapefile 文件和 FY-3/MERSI 自带定位数据提取处理区域, 实现对应区域全部 20 个通道几何校正, 并利用后向映射重采样输出各通道图像纠正后像元点 DN 值, 随后进行辐射定标、太阳高度角订正等预处理。该系列过程用 IDL 编写相关程序实现了用户界面化交互操作。运行结果表明: 设计的算法流程占用内存小, 计算速度快。对于一个面积约 45 万 km² 的区域, 所有通道处理耗时仅 450 s, 且校正后影像质量和精度均较好。相较于相同区域借助 ENVI 软件下地理位置查找表法(GLT)仅实现单通道几何校正耗时超 30 min, 本文开发的模块大大提高了 FY-3/MERSI 数据处理效率, 为其在城市热环境、积雪等领域的应用做好准备工作。

关 键 词: FY-3/MERSI; 几何校正; 三角网; 预处理; IDL

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2012)04-0566-09

1 引 言

中分辨率光谱成像仪 MERSI(Medium Resolution Spectral Imager)是我国自主研发的第二代极轨气象卫星风云三号(简称 FY-3)携带的 11 台对地观测仪器之一。自 2008 年 5 月 27 日和 2010 年 11 月 5 日我国相继成功发射了 FY-3A(上午星)和 FY-3B(下午星)后, MERSI 仪器均顺利开机并正常运行, 因而可每天不间断获得 MERSI 对地观测的海量上、下午数据。可以说, MERSI 是 FY-3 最主要的光学成像载荷, 它实现了宽视场(2 000 km)和高分辨率(250 m)的全球云和地表特征监测, 也是世界上首次获得了全球地表和云特征的自然景观影像图谱^[1]。MERSI 主要设计用于真彩色图像、云、植被、陆地覆盖类型、海色等研究, 其光谱范围从 0.41~12.5 μm, 分为 20 个离散光谱通道, 其中 250 m 分辨率有 5 个(包括 4 个可见光通道和 1 个红

外通道, Band1-5), 1 000 m 分辨率有 15 个(Band6-20), 量化等级 12 bit。

针对 FY-3 气象卫星资料的应用, 国家级的风云三号气象卫星数据预处理系统(DPPS)及产品生成系统(PGS)正分阶段开发并运行, 其通过运行控制系统自动/半自动启动作业流程, 将各地面站传输至数据处理和服务中心(CDPS)的 FY-3 数据经过质量检验、格式编排、地理定位、辐射定标和表征各种地球大气物理参数反演等一系列自动化处理, 生成可服务于不同用户的各类业务产品, 并通过中国气象局风云卫星遥感数据服务网(<http://sate.llite.cma.gov.cn/>)和卫星数字视频广播系统(DVBS)分发使用^[1]。但是, 我们由此获得的 FY-3/MERSI 数据同现今广泛使用的美国类似数据 EOS/MODIS 一样, 多是按轨道刈幅的 L1 级产品(经预处理和参数反演的 L2、L3 级产品种类有限), 深入应用还需进行区域几何校正等加工处理。

收稿日期: 2011-09-22; 修订日期: 2012-04-11

基金项目: 上海市科委重点项目“上海城市热环境灾害遥感监测评估预警系统研究”(10511501700), 上海市科委重点海洋科技(临港新城)专项“上海海洋区域海雾灾害预警预报系统研究”(10dz1210802), 2011 年甘肃省气象局科研项目(2011-02)。

作者简介: 杨何群(1981—), 女, 重庆南川人, 硕士, 工程师, 主要从事卫星气象应用研究。E-mail: hequn_yang@163.com。

然而,作为新数据源,FY-3/MERSI 远没有 EOS/MODIS 的应用处理系统繁多。对于 MODIS 影像数据或产品,除了官方发布的进行投影校正、格式转换等预处理的 MRT 软件^[2]外,常用的商业遥感处理软件如 ENVI 也提供 MODIS 几何校正的功能,一些科研人员也采用 VC++ 或 IDL 等语言工具独立开发了 MODIS 1B 数据预处理系统,在 MODSI HDF4 或 HDF-EOS 数据格式基础上,特别是针对影像的几何校正坐标变换方法(仿射变换法、多项式变换法、三角网算法等)进行了实现^[3-6]。而 FY-3/MERSI 数据文件限于其采取了新的 HDF5 存储格式以及内部元数据名称等,适用于 MODIS 的预处理程序并不能直接套用。目前,ENVI 还不支持 FY-3/MERSI HDF5 格式数据的处理,需要安装 HDF5 插件后才能读入数据进行繁琐的几何校正等操作,再加上 FY-3/MERSI 数据量大、波段多等特点,整个过程极为耗时。针对 FY-3 卫星的应用,国家卫星气象中心初步开发了风云三号监测分析服务系统(MAS)。作为一个图像—数据—结果的综合分析处理平台,其设计为对风云三号 11 种传感器数据包括 MERSI 数据的读取、显示、投影、校正、分幅、图像增强、统计和专题图制作等处理功能,以人机交互的方式生成各类遥感监测评估预警产品。但是,该系统在数据归一化、服务地区化、人机界面操作等方面还存在一些问题,目前还处于业务化改进及省级应用试点阶段,而且该系统内容庞大,在 MERSI 数据预处理方面缺乏针对性,操作和处理过程也显繁琐。文献中关于 FY-3 数据预处理的研究,仅王卫东等^[7]用 VC++ 实现风云三号卫星实时遥感数据提取和中分辨率真彩色图像合成^[7],以及 ENVI 下基于 GLT 的风云三号气象卫星几何校正方法^[8],对于能实时、自动、快速预处理海量 FY-3/MERSI 影像数据的系统或模块还未见报道。

综上所述,有关 FY-3/MERSI 数据的处理与应用示范系统仍在开发或改进中,公开共享的很少,限制了一般用户对 FY-3/MERSI 数据的应用,常见的多是一些试验研究^[9-12]。为适应作者单位自身对 FY-3/MERSI 数据的业务化应用需求,我们在 FY-3/MERSI 数据预处理流程设计的基础上,利用 IDL(Interactive Data Language)语言开发了界面交互操作的 FY-3/MERSI 数据预处理模块。该模块具备几何校正、辐射定标等功能,处理过程中几乎无需人工干预,而且用户可以自定义处理范围提取数据,使 FY-3/MERSI 预处理变得快捷、方便,为其在城市热环境、

积雪等领域的监测研究做好准备工作。

2 FY-3/MERSI 数据预处理流程设计

FY-3 绕地运行过程中,MERSI 每隔 5 min 生成一个 Granule 即一景文件,编排为 MPT 数据,通过 X 波段传输信道发送到地面接收站,解码成为 L0 级数据。FY-3/MERSI 源包 L0 数据再经多站接收去重复、质量检验后进入定位定标预处理生成 L1 级数据产品^[13]。通常,我们通过 DVBS 接收或风云遥感数据网订购下载的即为 FY-3/MERSI L1 级数据,存储格式为现今全球标准通用的 HDF5 层次式文件格式,包含组(Group)、数据集(Dataset),及其他的辅助对象类型即数据类型(Datatype)、数据空间(Dataspace)和属性(Attribute)。

由于通道网格数据集和经纬度数据集、定标系数等属性信息是分离的,而且经线、纬线呈不规则的曲线(图 1),各个通道的定标系数因光谱响应差异也不同,要获得具有地理定位的通道反射率和辐射亮温数据以备生态环境与自然灾害监测所用,必须要经过几何校正,以及由观测计数 DN 值到物理辐射值的辐射定标反算。需要说明的是,一般情况下并不需要整景影像进行几何校正与辐射定标,因为 FY-3/MERSI 一景 250 m 文件数据维数 $[5, 8\ 000, 8\ 192]$,1 000 m 文件数据维数 $[20, 2\ 000, 2\ 048]$ 占据庞大的内存资源,即使分块运算也非常耗费时间,因此只需感兴趣的区域范围进行处理,达到快速的目的。此外,FY-3/MERSI 每次过境时间及探测范围均有变化,而且如前所述,MERSI 并不像 MODIS 一样接力生成长轨数据,而是每隔 5 min 生成一个 200 条扫描行的 Granule 文件,故而常会发生感兴趣区域如一个完整的行政单元或流域分开位于相邻两个 5 min 文件上。因此在快视图浏览基础上,可事先选定前后 5 min 数据进行轨道拼接(图 2)。

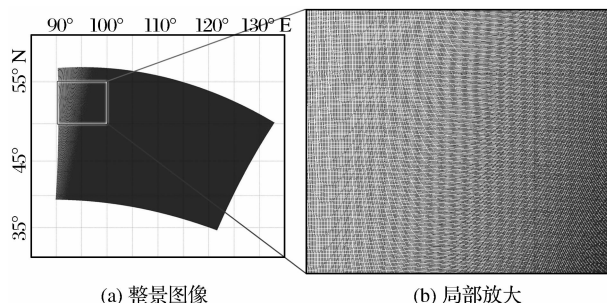


图1 FY-3/MERSI 经纬度数据集不规则曲线示例

Fig. 1 Irregular curves of FY-3/MERSI latitude and longitude data

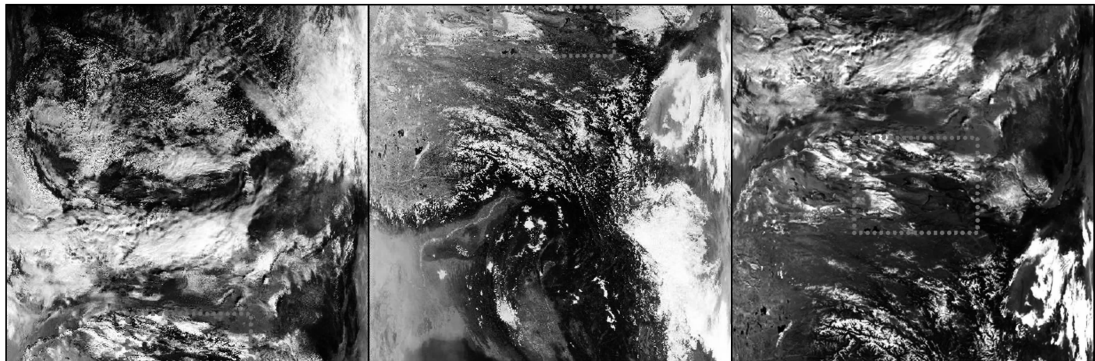


图 2 FY-3/MERSI 相邻 5 min Granule 文件拼接

Fig. 2 Mosaic of FY-3/MERSI two adjacent 5 min Granule files

在必需的几何校正与辐射定标两个步骤完成后,可根据需求进行常用的观测视角订正(包括太阳高度角订正和临边变暗订正)、投影变换、几何配准误差调整、波段组合、空间重采样、空间统计等。FY-3/MERSI 快速预处理流程如图 3 所示。

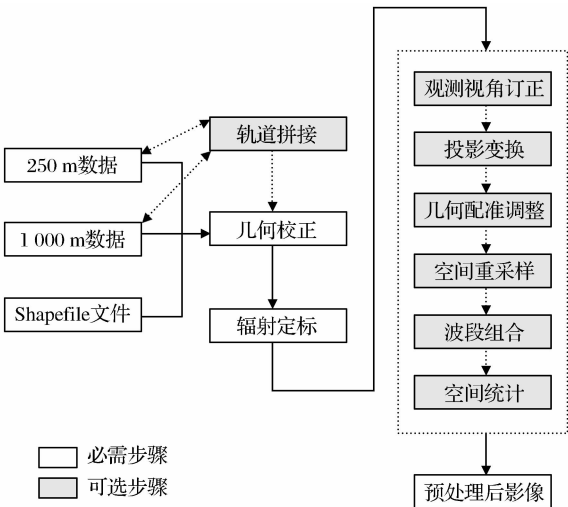


图 3 FY-3/MERSI 快速预处理流程

Fig. 3 Fast pre-processing flowchart for FY-3/MERSI data

3 FY-3/MERSI 数据预处理模块

IDL 语言是美国 RSI (Research System Inc.) 公司开发的交互式数据语言,被誉为是用于二维及多维数据分析、处理和可视化表达的第四代计算机编程语言。它具有面向矩阵的特性和完善的信号处理与图像处理功能,在遥感图像处理方面具有明显的优势^[14]。特别是它提供了 100 多个函数可对 HDF5 数据进行读写处理,极大地方便了普通用户。利用 IDL 建立 FY-3/ MERSI 预处理模块的关键步骤包括:①算法设计及过程实现。依据系统功能需要设计合适的变量、数据组织方式并编写数据处理

算法,通过 IDL 的 Pro 或 Function 实现;②界面设置及事件触发。主要基于 WIDGET_BASE 容器界面依靠代码创建,通过 Xmanager 等实现过程与界面的链接,触发事件运行;③工程调试与打包发布。下面重点介绍 FY-3/ MERSI 预处理模块建立的关键算法设计与过程实现。

3.1 HDF5 数据读取及处理区域提取

FY-3/MERSI L1 级数据自身包含经纬度定位信息,而且 250 m 与 1 000 m 文件所带经纬度的维数均为[2 000,2 048],故读取二者之一即可。以纬度网格信息读取为例,程序如下:

```
PRO HDF_FY3LAT_READ,FILE,Latitude,$
    EXTRA=EXTRAKEYWORDS
    H5_id = H5F_OPEN(FILE)
    if H5_id eq -1 then begin
        msg = DIALOG_MESSAGE('HDF5 数据错误',/Error)
    endif
    group_name = '/'
    group_id = H5G_OPEN(H5_id,group_name)
    dataset_id = H5D_OPEN(group_id,'Latitude')
    Latitude = H5D_READ(dataset_id)
    H5D_CLOSE,dataset_id
    H5G_CLOSE,group_id
    H5F_CLOSE,H5_id
END
```

FILE 为变量,指定 250 m 或 1 000 m FY-3/ MERSI HDF5 文件名。从中读取通道数据时,只需替换黑体所注值即可,如 EV_250_RefSB_b1,EV_250_Emissive,EV_1KM_RefSB 等。要使 1 000 m

分辨率的通道 6~20 最后也能校正为 250 m,可利用 `congrid` 函数先对其重采样:

```
B = B6_B20(*,*,ii);ii 为 EV_1KM_RefSB 通道序号  
dims=size(B,/dimensions) Bii=congrid(B,dims  
[0]*4,dims[1]*4,/interp,/minus_one)
```

通过读取提前制备的感兴趣区域 Geographic 投影 Shapefile 文件,可以获得整个边界的经纬度坐标信息以及东南西北范围。据此可以在 FY-3/MERSI 经纬度或通道数据中找出裁切影像的行列号,部分程序如下:

```
for i=0,col do begin  
    for j=0,row do begin  
        GCP[i,j].lat=Latitude[i,j]  
        GCP[i,j].lon=Longitude[i,j]  
    endfor  
endfor  
for i=0,col do begin  
    for j=0,row do begin  
        if((GCP[i,j].lon gt min_lon) and (GCP[i,j].lon lt max_lon)) then begin  
            min_col=min([i,min_col])  
            max_col=max([i,max_col])  
        endif  
        if((GCP[i,j].lat gt min_lat) and (GCP[i,j].lat lt max_lat)) then begin  
            min_row=min([j,min_row])  
            max_row=max([j,max_row])  
        endif  
    endfor  
endfor
```

3.2 三角网几何校正算法实现

几何校正在整个预处理过程中最为关键,它是对探测器空间观测的视野几何特性、地球表面曲率、地形起伏及探测器运动中的抖动等因素共同影响产生的影像几何畸变进行校正的过程。通过大量数据检测,发现 MERSI 与 MODIS 区别在于,它并没有明显的 Bowtie 效应^[3],即地球表面曲率和扫描成像机制综合影响出现的扫描带两端数据重叠现象。其可能的原因一方面在于 MERSI 是一个多探元交轨并扫成像系统,区别于 MODIS 的被动式摆动扫描探测系统;另一方面,MERSI L1 级是对原始观测 DN 值进行了多探元均一化订正后的输出,已初步

消除了原始多探元引起的图像条纹现象。因此,省略掉消除 Bowtie 效应的步骤,直接利用三角网校正算法实现将遥感影像转换到标准的地理空间中。

区别于传统的基于多项式变换的几何校正算法,三角网算法是一种新型的几何校正算法,它通过三角网来细化待校正的图像,然后在每个三角形的小范围内应用仿射变换,可以准确地描述校正前后图像的坐标变换关系^[5-6]。

3.2.1 选取控制点构建三角网

首先设计从以 Shapefile 东南西北对应行列范围选取出的经纬度数据,按固定的行列间隔(如每隔 10 个像元)选定为控制点,用数组记录所有控制点的像素坐标(行列号)和经纬度数值(大地坐标)。注意控制点在逐点投影变换后和分辨率有关。选好控制点后,从内存中删除 Latitude 和 Longitude 数据,以节约内存空间。

由于控制点是按固定的行列间隔选取,因而它们构成规则网格。而规则网格的对角线可将其划分为规则三角网,因此将其中的三角形按编号顺序存储,并存储每个三角形顶点的点号。根据每个三角形的顶点号,可以在控制点文件中查找其共轭点的坐标值,3 个共轭点组成的三角形就是所需共轭三角形,从而构建成输入影像三角网(图 4)。输出影像根据控制点数组中的行列,同样开辟数组存储为共轭三角形。

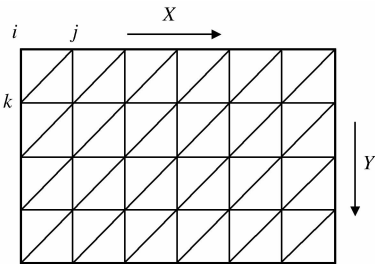


图 4 输入影像三角网示意图

Fig. 4 Schematic diagram for input image triangulation

3.2.2 建立共轭三角形之间的仿射变换关系

从微分的角度看,构建的三角网实际对影像进行了微分。每个三角形就是一个很小的面元,因为面元很小,所以在每个面元内,可以只考虑影像的一次形变。假设输入影像中某一三角形的顶点为 i,j,k ,像素坐标分别为 (X_i,Y_i) 、 (X_j,Y_j) 、 (X_k,Y_k) ,它们在输出影像中对应的共轭点为 I,J,K ,像素坐标分别为 (U_i,W_i) 、 (U_j,W_j) 、 (U_k,W_k) ,把三角形看作一个小面元,则有仿射变换:

$$\begin{cases} a_1 + a_2 * X_i + a_3 * Y_i = U_I \\ b_1 + b_2 * X_i + b_3 * Y_i = W_I \\ a_1 + a_2 * X_j + a_3 * Y_j = U_J \\ b_1 + b_2 * X_j + b_3 * Y_j = W_J \\ a_1 + a_2 * X_k + a_3 * Y_k = U_K \\ b_1 + b_2 * X_k + b_3 * Y_k = W_K \end{cases} \quad (1)$$

通过方程联立可求出仿射变换参数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_1 、 b_2 、 b_3 ，也即变形系数，这样就确立了共轭三角形之间的仿射变换关系。

3.2.3 仿射变换

以三角形为最小单位，逐一循环进行仿射变换系数计算及仿射变换。输出图像的边界为三角形边界，即控制点之间的连线。通过程序验证，三角形边界与逐点投影计算出的边界线之差不会超过 1 个像素。在仿射变换时，即使有一些点映射到输入图像边界之外，也可以通过冗余行进行插值计算。

虽然纠正后影像的每一个像素都能在纠正前的影像中找到对应像素，但是对应像素往往并不位于栅格中心，需要用周围像素点的 DN 值插值计算，得到所需 DN 值。因此，通过后向映射方法，把纠正后影像的每一个像素逐一映射到纠正前的影像中去。具体地说，把输出影像三角形中各空白点的像素坐标 (U, W) 代入方程(1)，求出共轭点的图像坐标 (X, Y) ，并用 (X, Y) 周围像素点进行双线性插值计算，得到共轭点的 DN 值，即为输出图像中 (U, W) 像素的最终 DN 值。对于输出影像中的各三角形逐一进行以上处理，就可以实现对感兴趣区域的几何校正，结果保存为 TIFF/GeoTIFF 格式，便于后续使用。

IDL 编写的仿射变换程序如下：

```
PRO Affine, scale, inImage, outGCP, outImage
multiple=40; 倍数因子, 即图像数组与控制点数组之间的倍数关系
dims = size(outGCP, /DIMENSIONS)
GCP_col = dims[0]
GCP_row = dims[1]
for i=1, GCP_col do begin
  for j=1, GCP_row do begin
    ;超出图幅的控制点行列数则不参与后续计算
    if((outGCP[i,j].col gt 1) and (outGCP[i+1, j].col gt 1) $
      and (outGCP[i,j+1].col gt 1) and (outGCP[i+1, j+1].col gt 1) $
      and cancel eq 0) then begin
```

```
;定义仿射变换输入输出三角形
;计算(i,j), (i+1,j), (i,j+1) 3 个点组成的三角形
```

```
f_i=float(i)
```

```
f_j=float(j)
```

```
;顺时针方向存储输入三角形顶点行列坐标
```

```
;乘以 multiple 代表与控制点对应的输入图像中的行列数
```

```
inputTri=[f_i,f_j,f_i+1,f_j,f_i,f_j+1] * multiple
```

```
;顺时针方向存储输出三角形顶点行列坐标
```

```
outputTri=[outGCP[i,j].col,outGCP[i,j].row, $
```

```
outGCP[i+1,j].col,outGCP[i+1,j].row, $
```

```
outGCP[i,j+1].col,outGCP[i,j+1].row]
```

```
;调用计算仿射变换参数 Function
```

```
coef = retrieveAffineCoef (inputTri, outputTri)
```

```
;生成 Rect 范围
```

```
Rect= [outGCP[i,j].col,outGCP[i,j].row, $
```

```
outGCP[i+1,j].col,outGCP[i+1,j].row, $
```

```
outGCP[i,j+1].col,outGCP[i,j+1].row, $
```

```
outGCP[i+1,j+1].col,outGCP[i+1,j+1].row]
```

```
;调用仿射变换及插值 PRO
```

```
resampling,inImage,coef,outImage,Rect
```

```
endif
```

```
endfor
```

```
endfor
```

```
END
```

3.3 其他预处理介绍

3.3.1 辐射定标

辐射定标是建立卫星传感器数字量化输出值 DN 与其对应视场中辐射亮度值之间的定量关系。MERSI 辐射定标采用多项式进行，其中 19 个可见光—短波红外通道是二次定标，有 3 个定标系数，另外 1 个红外通道是三次定标，有 4 个定标系数。它们分别存储在 HDF5 文件中的属性信息 VIS_Cal_Coeff 与 IR_Cal_Coeff 里。全部通道定标前需通过

$DN * = Slope * (DN - Intercept)$ 转换后再参与定标计算。可见光—短波红外通道定标得到大气层顶反射率,但红外定标过程比较复杂,包括逐探元定标,多探元辐射响应差异的光谱补偿和图像消旋处理,所以 FY-3/MERSI 存贮的是已经过定标的辐亮度值,只需通过 Planck 定律逆求解得到等效黑体亮温,进一步计算亮温温度。通过 IDL 里的矩阵运算可以很快实现辐射定标。

3.3.2 观测视角订正

太阳高度角不同,直接导致成像光照条件的变化,影响可见光—短波红外通道地表反射率的高低。采用公式 $\rho_i^{TOA} / \sin\psi$ 即可把不同太阳高度角下的探测数据换算成相当于太阳处于天顶时的探测值,其中 ρ_i^{TOA} 为定标后的反射率, ψ 为探测像元的太阳高度角。此外,受地球曲率和大气衰减效应的影响,红外通道的探测数据随卫星视角不同而出现差异。卫星视角越大,探测路径越长,大气衰减就越甚,从而造成图像临边变暗。在卫星天顶角 θ 的红外通道辐射率 $R(\theta, T, \gamma_0)$ 与天顶 $\theta = 0^\circ$ 的辐射率 $R(0, T, \gamma_0)$ 存在如下关系:

$$R(0, T, \gamma_0) = \alpha_1 (\sec\theta - 1) + \beta_1 (\sec\theta - 1)^2 + [1 + \alpha_2 (\sec\theta - 1) + \beta_2 (\sec\theta - 1)^2] \cdot R(\theta, T, \gamma_0)$$

(2)

其中: α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 是理论回归系数,因不同卫星而异。但由于 FY-3/MERSI 的系数并未公布,在此采用经验订正方法^[15] 将其在天顶角 θ 的观测值订正到在天顶($\theta = 0^\circ$) 的测值。通过读取 FY-3/MERSI 1 000 m 文件中的 SolarZenith 和 SensorZenith 数据,可以很容易实现太阳高度角订正与临边变暗订正。

3.3.3 相关图像处理

诸如投影变换、几何配准调整、波段组合、空间重采样、空间统计等功能可借助 ENVI 库函数编写代码或直接调用 ENVI 功能等完成。如投影变换中 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 等经纬度投影的程序如下:

```
forward_function envi_proj_create
pro fy3_envi_convert_file_map_projection
    envi,/restore_base_save_files
    envi_batch_init,log_file='batch.txt'
fy3mersi_tif_file = dialog_pickfile(/read, path = DefaultPath,default_extension='.tif',filter = '**.tif',title = 'Please select the corrected FY3-MERSI file')
target_directory = dialog_pickfile(path = DefaultPath,/directory,title='Please select the result - saving directory')
```

```
filename=file_basename(fy3mersi_tif_file,'.tif')
out_name = target_directory+filename+'.img'
envi_open_file,fy3mersi_tif_file,r_fid=fid
if (fid eq -1) then begin
    envi_batch_exit
    return
endif
envi_file_query,fid,dims=dims,nb=nb
pos = lindgen(nb)
o_proj = envi_proj_create(/geographic)
o_pixel_size = [0.0025,0.0025]
envi_convert_file_map_projection,fid=fid,$
    pos=pos,dims=dims,o_proj=o_proj,o_pixel_size=o_pixel_size,$
    out_name=out_name,warp_method=0,resampling=1,background=0
;envi_file_mng,id=fid,/remove ;envi_batch_exit ;Exit ENVI
end
```

再如几何配准调准,由于几何校正并没有采用地面控制点,而是用 MERSI 自带的空间定位数据,所以几何校正的精度主要取决于探测器对空间定位的精度。与标准数据集相比,发现有时对应地物会有 2~10 个像元的错位,此时则可采用 ENVI-Map-Registration 功能或者根据差异的像元数通过 Edit Map Information 调整 Tie point 的图像坐标与地图坐标对应信息完成几何精纠正或配准。

3.4 IDL 界面设计及事件触发

根据预处理流程要求,利用 IDL 语言的图形用户界面 GUI 程序设计方法构造 FY-3/MERSI 预处

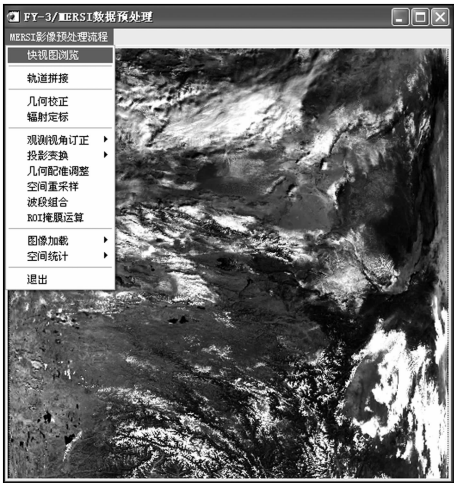


图 5 FY-3/MERSI 数据预处理模块界面图

Fig. 5 FY-3/MERSI data pre-processing module interface

理模块界面,使各个菜单命令调用相应的算法程序,按照使用者的要求载入数据、输入参数、实现人机交互功能。

4 实验及对比

作者在 PC 机(Intel(R) Core(TM)3. 20 G CPU, 3. 5 G 内存)对 FY-3/MERSI 250 m 和 1 000 m 的 Granule 数据进行预处理,统一生成 Albers 等面积圆锥投影,分辨率为 250 m 的 20 个通道校正数据。分别以上海地区(图 6)和祁连山区(图 7)为例,检测预处理程序的时间、内存开销、图像质量。

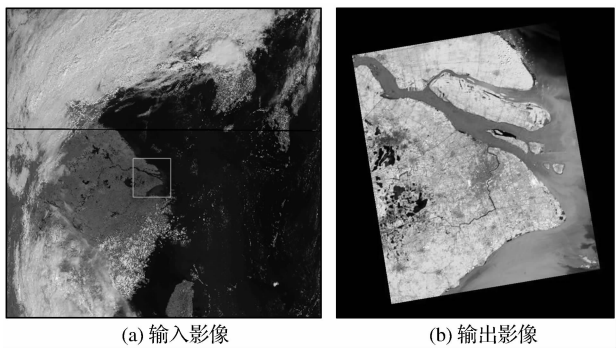


图 6 上海地区预处理输入输出影像

Fig. 6 Input and output images of pre-processing for Shanghai region

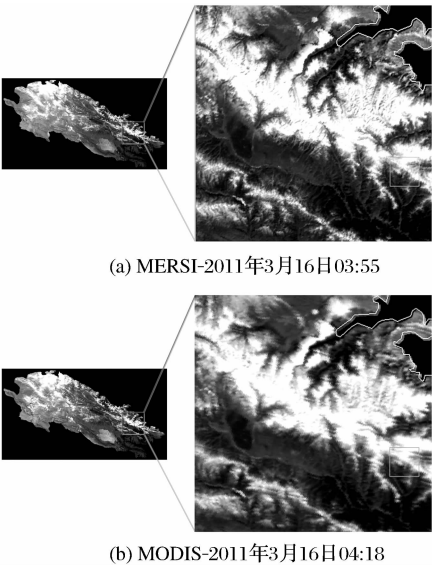


图 7 FY-3/MERSI 与 EOS/MODIS 几何校正图像对比

Fig. 7 Geometric corrected images contrast between FY-3/MERSI and EOS/MODIS

上海及周边地区面积约 4 万 km²,对其进行几何校正、辐射定标、太阳高度角订正、临边变暗订正处理,共计耗时 3 min 31 s,内存占用约 160 M。此外,预处理前后对比,除了几何形状发生变化外即消

除了几何畸变外,纠正后图像保持了很好的色调和清晰度。经过辐射定标和观测视角订正,影像由 DN 值转换为具有物理意义的、剔除观测角度带来的误差的反射率或亮度温度数值,也便于其后续应用。同样地,对范围更大的面积近 45 万 km² 祁连山区进行上述 4 步处理,耗时仅 7 min 30 s,其中几何校正耗时 6 min 23 s。除读入原始影像占用内存较大外,计算过程中程序内存开销始终在 280 M 左右,而且上述订正完成后的影像地理精度和质量均达到要求。

作为比对,作者在 ENVI 软件中安装了 HDF5 读取补丁,采用基于 GLT 方法对 FY-3/MERSI 数据进行几何校正^[8],利用输入的经纬度数据建立地理位置查找表 GLT(Geographic Lookup Table)文件,并仅对一个通道图像上对应的祁连区域进行校正,耗时长达 30 多分钟,处理速度缓慢且占据内存,ENVI 软件甚至一度处于无响应状态。以上海地区和祁连山区为例,表 1 列出了三角网与 GLT 几何校正算法在处理时间与内存开销方面的性能。可以看到,对 FY-3/MERSI 所有通道进行几何校正,三角网算法将处理时间由数十分钟缩短为几分钟,内存消耗也仅是后者的 1/5~1/3。同时,对比三角网算法校正后图像,发现二者对应地物位置十分吻合,说明两种算法在地理位置反演推导方面性能一致。综合比较看来,三角网算法性能明显较优,故而以其为核心的 FY-3/MERSI 预处理模块能够实现对 MERSI 数据的快速预处理。

表 1 两种几何校正运算时间及内存开销比较

Table 1 Capability comparison between two geometric correction algorithms

| 区域 | 几何校正算法 | 处理时间 | 内存消耗 |
|---------------------------------|-------------|-------------------|---------|
| 上海及周边 (4 万 km ²) | 三角网算法 | 单通道 18 s | 160 M |
| | | 所有影像 3 min 31 s | |
| | ENVI GLT 算法 | 单通道 6 min 2 s* | 460 M |
| | | 所有影像 18 min 12 s* | |
| 祁连山区 (45 万 km ²) | 三角网算法 | 单通道 59 s | 280 M |
| | | 所有影像 7 min 30 s | |
| | ENVI GLT 算法 | 单通道 36 min 29 s* | 1 520 M |
| | | 所有影像 59 min 6 s* | |

注:校正生成 FY-3/MERSI 20 个通道及附属的经纬度、太阳天顶角、卫星天顶角等 24 幅影像,* 表示其中有 5 min 30 s 用于经纬度数据重采样和截取处理

另一方面,也采用相同的三角网校正方法对 MODIS 数据进行了几何校正。粗略对比发现 MERSI 与 MODIS 对应地物地理坐标基本匹配,说

明 MERSI 地理定位精度与 MODIS 大致相当或差异不大。但若严格对比,发现多数情况下 MODIS 探测器空间定位精度要好于 MERSI,也就是 MODIS 自带的像元格点经纬度值更接近实际,因此校正后的 MODIS 影像能与行政边界、河流湖泊等矢量文件较准确套合(一般 1~3 个像元的误差),而 MERSI 校正后的影像常需再进行 X、Y 方向上 2~10 个像元错位调整后才能与边界线精确配准。这也说明我国在卫星仪器定位标准化方面还需改进。不过 MERSI 在资料质量方面具有一定优势,其 250 m 的空间分辨率较 MODIS 能展示出更为细致的地表覆盖、地形起伏、轮廓线等信息(图 7)。

5 结 语

作为新型且重要的卫星数据源,FY-3/MERSI 具有巨大应用潜力。但是,针对 FY-3/MERSI 影像的快速预处理模块在目前业务领域较为少见。为解决限制 FY-3/MERSI L1 级数据推广应用的首要瓶颈——“预处理流程”涉及的 HDF5 数据读取、几何校正、辐射定标、观测视角订正、投影变换等相关图像处理步骤,作者采用新型的三角网几何校正算法,以此为核心基于 IDL 设计开发了界面交互的 FY-3/MERSI 数据预处理模块。本文重点介绍了 IDL 编程实现的基于 Shapefile 文件的 HDF5 区域数据读取、三角网仿射变换、校正影像等经纬度投影等原理和实现过程。模块充分调用了 IDL 现有的库函数,并利用 IDL 语言面向矩阵的特性提高了对类似 MERSI 等大规模数据的分析处理能力。

实验结果表明,FY-3/MERSI 数据预处理模块能够简便、快捷、友好地实现 MERSI 原始影像的几何校正、辐射定标等,7 min 30 s 左右即完成面积约 45 万 km² 区域的 FY-3/MERSI 所有通道预处理的必要步骤,同时 MERSI 具有与 MODIS 大致相当的地理精度,且图像质量更好。此外,实验对比发现,三角网算法在数据处理时间和内存消耗等方面比目前 FY-3/MERSI 普遍仅能采用的 ENVI 下基于 GLT 的几何校正方法更高效,时间上快了 1 个数量级,内存消耗不到后者的 1/3,说明模块达到了快速预处理的目的。

此外,作者开发的 FY-3/MERSI 数据预处理模块打包后还可加载入 ENVI 软件,或者通过接口集成在热环境评估、积雪监测等遥感系统内,稍加改进还能实现实时自动的预处理,便于 MERSI 数据的后续应用。

参考文献(References):

- [1] Yang Jun, Dong Chaohua, Lu Naimeng, *et al.* FY-3A: The New Generation Polar-orbiting Meteorological Satellite of China[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009, 67(4): 501-509. [杨军,董超华,卢乃锰,等. 中国新一代极轨气象卫星——风云三号[J]. *气象学报*, 2009, 67(4): 501-509.]
- [2] https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool[EB/OL]. Land Processes Distributed Active Archive Center, 2011.
- [3] Jiang Gengming, Liu Ronggao, Niu Zheng, *et al.* An Optimal Geometric Correction Method for MODIS 1B Data Collection and Its Software Development[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(2): 159-164. [蒋耿明,刘荣高,牛铮,等. MODIS 1B 影像几何纠正方法研究及软件实现[J]. *遥感学报*, 2004, 8(2): 159-164.]
- [4] Guo Guangmeng. Geometric Calibration of MODIS Data[J]. *Remote Sensing Information*, 2002, (3): 26-28. [郭广猛. 关于 MODIS 卫星数据的几何校正方法[J]. *遥感信息*, 2002, (3): 26-28.]
- [5] Fu Bitao, Wang Cheng, Zeng Zhiyuan. Geometrical Correction of MODIS Data based on IDL[J]. *Remote Sensing Information*, 2007, (2): 20-23. [付必涛,王乘,曾致远. MODIS 数据几何校正算法设计及其 IDL 实现[J]. *遥感信息*, 2007, (2): 20-23.]
- [6] Li Jingjing, Qin Zhihao, Tang Wei. Algorithms for Geometric Correction to MODIS 1B Images in Drought Monitoring System[J]. *Remote Sensing Information*, 2009, (2): 17-22. [李晶晶,覃志豪,唐巍. 农业旱灾遥感监测系统 MODIS 1B 影像几何校正方法及其比较研究[J]. *遥感信息*, 2009, (2): 17-22.]
- [7] Wang Weidong, Wang Zhao, Li Dengke. Extraction Method of Remote Sensing Data of FY-3 Satellite based on VC++[J]. *Journal of Shanxi Meteorology*, 2011, (3): 38-40. [王卫东,王钊,李登科. 基于 VC++ 的风云三号卫星实时遥感数据提取方法[J]. *陕西气象*, 2011, (3): 38-40.]
- [8] Deng Shubin, Yu Qiang, Luo Zhimeng, *et al.* Geometric Correction Research of the FY3 Meteorological Satellite based on the GLT Method Under the ENVI[J]. *Remote Sensing Information*, 2009, (2): 98-99. [邓书斌,于强,骆知萌,等. ENVI 下基于 GLT 的风云三号气象卫星几何校正研究[J]. *遥感信息*, 2009, (2): 98-99.]
- [9] Feng Rui, Ji Ruipeng, Wu Jinwen, *et al.* Analysis on Difference between FY3/MERSI-NDVI and EOS/MODIS-NDVI[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(19): 359-362. [冯锐,纪瑞鹏,武晋雯,等. FY3/MERSI 和 EOS/MODIS 归一化植被指数差异分析[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(19): 359-362.]
- [10] Han Xiuzhen, Zheng Wei, Liu Cheng, *et al.* Estimation of Chlorophyll-a Using MERSI and MODIS Images in Taihu Lake, China[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(2): 291-300. [韩秀珍,郑伟,刘诚,等. 基于 MERSI 和 MODIS 的太湖水体叶绿素 a 含量反演[J]. *地理研究*, 2011, 30(2): 291-

300.]

[11] Zhu Lin, Liu Jian, Zhang Huaping, *et al.* Application of FY-3A/MERSI Satellite Data to Drought Monitoring in North China[J]. Journal of Remote Sensing, 2010, 14 (5): 1004-1016. [朱琳, 刘健, 张晔萍, 等. FY-3A/MERSI 数据在中国北方干旱监测中的应用[J]. 遥感学报, 2010, 14 (5): 1004-1016.]

[12] Wu Jinwen, Feng Rui, Zhang Yushu, *et al.* Dgname Monitor of Panjin Wetland Vegetation based on MERSI with MODIS Contrastive Analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25 (4): 515-519. [武晋雯, 冯锐, 张玉书, 等. 基于 MERSI 般锦湿地植被动态监测及期与 MODIS 数据对比分析[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25 (4): 515-519.]

[13] Hu Xiuqing. The User Guide of FY3A-MERSI L1 Data Products[Z]. [胡秀清. FY3A-MERSI L1 数据产品使用指南[Z].]

[14] Yan Dianwu. IDL Visualization Tool Entry and Improvement [M]. Mechanical Press, 2003. [闫殿武. IDL 可视化工具入门与提高[M]. 北京: 机械出版社, 2003.]

[15] Yang Xingwei, Zhou Hongmei, Luxian. Research on Effects of Orbital Drift of NOAA Satellite[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1995, 10 (3): 1-6. [杨星卫, 周红妹, 陆贤. NOAA 卫星轨道漂移的影响初探[J]. 遥感技术与应用, 1995, 10 (3): 1-6.]

Fast Pre-processing of MERSI Data on FY-3 Meteorological Satellite Using IDL

Yang Hequn^{1,2}, Zhou Hongmei¹, Yin Qiu¹, Han Tao², Ge Weiqiang¹

(1. Shanghai Center for Satellite Remote Sensing and Measurement Application, Shanghai 201199, China;
2. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: As a source of new satellite data, Medium Resolution Spectral Imager (MERSI) on board the second Generation Polar-Orbiting Meteorological Satellite of China (FY-3) is not only featured with its finer surface-observing ability, but also its multi-channel and huge amount, which takes too much time and frequent I/O operation to correct by Commercial RS software. This paper proposes a flowchart to fast pre-process FY-3/MERSI data, the key steps of that are, according to the study area's shapefile and FY-3/MERSI self-positioning data, the corresponding region images of all 20 channels are georeferenced using geometric correction algorithm based on triangular network, followed by radiometric calibration, solar elevation angle revision, and so on. The series of procedures are implemented based on IDL program, and realize module interface for user interaction. Test results show that the algorithms in this module take less memory and improve the efficiency of FY-3/MERSI data processing greatly, for an area of about 450 000 km², it takes only 450 s for all channels, significantly faster than using geographic lookup table (GLT) algorithm in ENVI software to achieve geometric correction, which takes over 30 min for only one channel. Besides, the quality and geographic accuracy of the corrected images are better. The development of this module greatly enhances FY-3/MERSI data processing efficiency, and it completes the prerequisite work for FY-3/MERSI application in thermal environment, snow and other various fields.

Key words: FY-3/MERSI; Geometric correction; Triangular network; Pre-processing; IDL