

# MODIS 数据几何校正算法设计及其 IDL 实现

付必涛,王乘,曾致远

(华中科技大学水电学院,湖北武汉 430074)

**摘要:**MODIS 数据具有数据量大、波段多等特点,用现有遥感软件进行几何校正,人机交互多且耗时较长,导致图像处理效率低下。本文采用基于三角网的几何校正算法,在几何校正的过程中把影像分块,各块的校正算法相互独立,计算完毕后再进行拼接。本文作者用 IDL (Interactive Data Language) 编写了相关程序,运行结果表明,这种方法占用内存小,计算速度快,可以提高 MODIS 数据处理效率。

**关键词:**MODIS;几何校正;IDL;三角网

**中图分类号:** P237.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2007)90-0020-04

## 1 引言

MODIS 是美国 EOS 系列卫星上的传感器之一,它具有中等空间分辨率、高时间分辨率、多波段等特点,而且可以免费接收。对于地球资源、环境、气候和灾害监测等领域,是不可多得的数据资源,是近几年国内外遥感应用研究的热点之一<sup>[1~2]</sup>。

EOS/MODIS 卫星接收系统提供的 1B 级影像中,图像信息和经纬度信息是分离的,而且经线、纬线呈不规则的曲线。要使用这些数据,通常要先借助遥感软件进行几何校正,处理过程中需要多次人机交互,因此处理人员必须在计算机前守候,浪费大量的时间。本文作者用 IDL (Interactive Data Language) 语言开发了一个几何校正程序,它具备批处理功能,处理过程中不需人工干预,而且用户可以自定义处理范围和波段,使 MODIS 数据预处理变得非常方便。

IDL 语言是美国 RSI (Research System Inc.) 公司开发的交互式数据语言,被誉为是工程师、科学家和软件设计人员用于数据分析、处理和可视化方面应用研究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非常明显的优势<sup>[3~4]</sup>。

## 2 三角网几何校正过程

### 2.1 读取 HDF 文件

IDL 语言支持 HDF 文件的读写,下面是读取 250m 分辨率图像的 IDL 程序<sup>[3]</sup>:

```
Varname = EV_250_RefSB
file = dialog_pickfile(default_extension = '.hdf', $
filter = '*.hdf')
hdfid = hdf_sd_start(file)
index = hdf_sd_nametoindex(hdfid,varname)
varid = hdf_sd_select(hdfid,index)
hdf_sd_getdata,varid,data,,extra = extra.
keywords
hdf_sd_endaccess,varid
读取其他数据时,只需更改 Varname 的值即可:
```

```
Varname=EV-500-RefSB/ EV-1000-RefSB/Latitude/
Longitude
```

### 2.2 消除 Bowtie 效应

由于地球曲率和扫描角的变化,使得越靠近影像边缘,像元的实际尺寸越大,边缘点像元的尺寸可以达到星下点的两倍,这样在相邻的扫描行之间就会产生重叠影像,这种现象叫做 Bowtie 效应。用模板在影像中搜索,通过相关系数法找出重叠的部分,去掉重复数据,对剩余部分进行重采样来补齐去除数据后空出来的行,这样可以消除 Bowtie 效应<sup>[5]</sup>。

### 2.3 控制点选取和投影变换

选取控制点。在输入影像及其对应的经纬度数据中,按固定的行列间隔选取控制点,并用数组记录下所有控制点的像素坐标(行和列)和大地坐标(B, L)。控制点数据与波段无关,只和分辨率有关,所以一轨 MODIS 数据只需针对 250m、500m 和

收稿日期:2006-09-28    修订日期:2006-11-09  
基金项目:重大基础研究前期研究专项(2004CCA02500)

作者简介:付必涛(1976~),男,讲师,博士研究生;武汉,华中科技大学水电学院,主要从事 3S 技术研究。

E-mail: fubitao@163.com

1000m 影像选取三组控制点数据。选好控制点后,从内存中删除 longitude 和 latitude 数据,以便节约内存空间。

控制点投影变换。本文中,用  $(R_i, C_i)$  表示控制点在输入影像中的像素坐标,用  $(R_o, C_o)$  表示控制点在输出影像中的像素坐标,用  $(x, y)$  表示几何校正后控制点的地理坐标。为了更精确地表达点位信息,像素坐标值都用浮点数表示。从  $(R_i, C_i)$  到  $(R_o, C_o)$  的计算过程为:

$(R_i, C_i) \quad (B, L) \quad BL2XY \quad (x, y) \quad (R_o, C_o)$

其中, BL2XY 为投影变换过程,在 IDL 中可以用投影变换程序方便实现<sup>[2]</sup>:

```
sMap = MAP_PROJ_INIT( 'Albers Equal Area ', $
datum = 8 / GCTP, limit = limit, $
center_latitude = 0, center_longitude = 105, $
false_easting = 0, false_northing = 0, $
standard_par1 = 25, standard_par2 = 47)
```

;(IDL 注释语句前加“;”号) Albers 等面积圆锥投影,中央子午线为 105°E,中央纬线为 0°,两个标准纬线为 25°N 和 47°N, X, Y 的偏移量为 0,基准面为 WGS - 84。

```
for i=0,col do begin
for j=0,row do begin
;控制点逐点投影变换
point = MAP_PROJ_FORWARD (GCP[i,j].lon, $
GCP[i,j].lat, MAP_STRUCTURE = sMap)
out GCP[i,j].x = point[0]
out GCP[i,j].y = point[1]
;GCP[i,j].lon, GCP[i,j].lat 控制点经度和纬度
```

;记录投影变换后控制点的 x, y 坐标

endfor

endfor

在 IDL 中投影变换计算速度很快,作者计算 135 × 498 个控制点只用了 1.61 秒。

为便于后续计算,把控制点在输入输出影像中的像素坐标  $(R_i, C_i)$ ,  $(R_o, C_o)$  写入控制点文件(或控制点结构体数组)。

#### 2.4 在输入影像中构三角网

因为控制点是按固定的行列间隔选取的,所以它们构成规则的网格。规则网格的对角线把网格划分为规则三角网(图 1),其中的三角形按照编号顺序存储,并存储每个三角形顶点的点号。

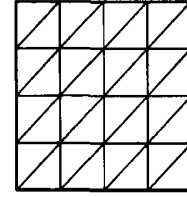


图 1 输入影像中三角网示意图

在输出影像中不需要再构三角网,也不需要开辟数组存储共轭三角形,根据每个三角形的顶点的点号,可以在控制点文件中查找其共轭点的坐标值,三个共轭点组成的三角形就是所需共轭三角形。

#### 2.5 建立共轭三角形之间的仿射变换关系

从微分的角度看,三角网对影像进行了微分,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 a, b, c, 它们在输出影像中对应的共轭点为 A, B, C, 把三角形看作一个小面元,则有仿射变换:

$$\begin{cases} a_0 + a_1 R_o + a_2 C_o = R_i \\ b_0 + b_1 R_o + b_2 C_o = R_i \end{cases} \quad (1)$$

把  $(R_{ia}, C_{ia})$ ,  $(R_{ib}, C_{ib})$ ,  $(R_{ic}, C_{ic})$ ,  $(R_{oa}, C_{oa})$ ,  $(R_{ob}, C_{ob})$ ,  $(R_{oc}, C_{oc})$  代入公式(1),计算出仿射变换参数,  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ , 这样就确立了共轭三角形之间的仿射变换关系。

#### 2.6 仿射变换

本文采用后向映射方法,把纠正后影像的像素逐一映射到纠正前的影像中去。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。具体地说,把输出影像三角形中各空白点的像素坐标  $(R_o, C_o)$  代入方程(1),求出其共轭点的图像坐标  $(R_i, C_i)$ ,并用  $(R_i, C_i)$  周围像素点进行插值计算,得到共轭点的 DN 值,计算结果就是输出图像中这一像素经过几何校正后的最终 DN 值。对输出影像中的各三角形逐一进行以上处理,就可以实现对整幅影像的几何校正。

### 3 分块计算算法设计

#### 3.1 输入影像分块

MODIS 影像的数据量很大。比如一个波段的图幅大小为 5416 × 19680 的 250m 分辨率影像,其数据量为 5416 × 19680 × 2 = 213MB (MODIS 数据每个像素的 DN 值占 2 个字节),再加上输出影像和

一些中间计算结果,将占用 500MB 以上的内存。为了节约内存资源,250m 和 500m 影像必须进行分块计算。

采用控制点所在的行作为裁切线,将其划分为若干个大体相等的子图像(本文作者把 250m 影像分为 20 个子图像)。分块后对子图像进行编号,这样在进行接边计算时不会混淆(图 2)。考虑到子图像上下边界处在重采样计算时需要用周围点进行插值计算,而且为了避免在后续的接边过程中出现空白点,在边界处冗余存储 4 行像元<sup>[6]</sup>。

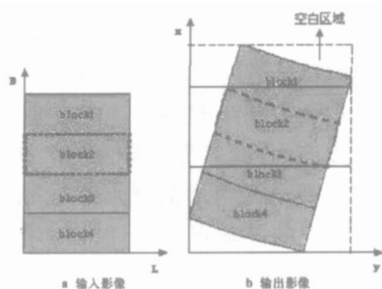


图 2 影像划分示意图

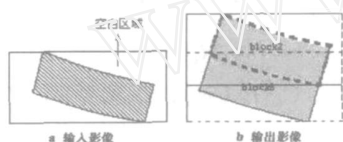


图 3 输出子图像接边示意图

### 3.2 输出影像边界的确定和输出子图像之间的接边算法

因为输入影像中对应的经纬度为不规则曲线,所以输出子图像的有效边界应该是不规则的曲边四边形。但本文以三角形为最小单位进行仿射变换,所以也应该以三角形边界(即控制点之间的连线)作为输出子图像的边界。本文作者通过程序验证,三角形边界与逐点投影计算出来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子图像边界之外,也可以通过冗余行进行插值计算。

输出子图像的存储方法。每一块子图像的数据量比较小,不会占用太多的内存,考虑到输出影像的无缝接边问题,尽量简化各块计算完毕后的接边算法,本文采取了以牺牲一些存储空间来换取更快的接边速度的方法<sup>[7]</sup>。开辟一个新数组来存储输出子图像,其列数等于整幅输出影像的列数、行数等于输出子图像的最小外接矩形的行数(图 3 a),同时记录输出子图像的图像左上角点在整幅图像中的行数。输出子图像内有效图像边界外的部分为无效区域,在计算前,对其每个像素的 DN 值赋 0,将不参加

与后续的数据计算;有效区域赋一个无意义的值(作者在程序中用 -1),标识这些点还没有经过计算,是没有 DN 值的空白点。

在接边计算时,先把输出子图像中每个像素的行数加上,换算为在整幅输出影像中对应的行数,然后根据行列坐标把各个像素的 DN 值赋值到存储整幅输出影像的数组中即可。

## 4 实验与结论

### 4.1 时间及内存开销

基于以上算法,作者用 IDL 编写了相关程序,程序可以批处理多个 MODIS 数据文件。作者在 PC 机(Pentium 2.4 G CPU, 512M 内存)上处理一景数据(包括 2 个 250m 波段、5 个 500m 波段、31 个 1000m 波段),共耗时 26 分 12 秒,除读入原始影像和输出子图像接边计算时占用内存较大之外,计算过程中本程序内存开销始终控制在 80M 以下(与分块数量有关,本文分 20 块计算)。作为比对,作者用 ENVI 软件的 MODIS-tools 进行人机交互式的几何校正,共耗时 68 分钟,处理 250m 影像时内存开销高达 220M。采用本文方法校正结果如图 4 所示。

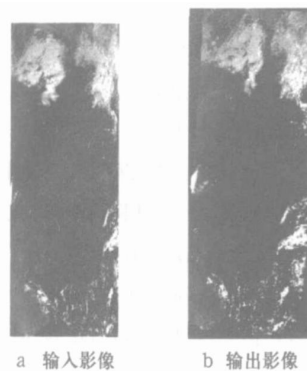


图 4 输入输出影像

### 4.2 几何校正精度

为了检验几何校正精度,本文作者把多幅校正后的 MODIS 影像,与 2000 年的 18 景 ETM+ 影像(覆盖湖北全省,已通过地面控制点做精校正处理,点位精度在 10m 以内)进行特征点比对。首先对 MODIS 数据进行投影变换使两者坐标系统一致,然后在湖北省内均匀选取 18 个特征点,坐标比对统计结果为:在星下点附近,平均误差为 97m;在靠近影像边缘的地方,平均误差为 156m(个别点的误差达到 240m),基本与 MODIS 探测器设计时标称的“相对于 1km 坐标 15% 的定位误差”相当<sup>[8]</sup>。

由于本文没有采用地面控制点,而是用 MODIS 原始数据提供的空间定位数据进行几何校正,所以

MODIS 1B 影像的几何校正精度主要取决于 MODIS 探测器对空间定位的精度。1km、500m、250m 分辨率的影像都是通过 1km 分辨率的空间定位数据进行几何校正计算的,它们的几何校正精度基本一致。作者通过试验发现,对空间定位数据进行各种插值处理,使 500m、250m 分辨率影像的几何校正精度有所提高,但效果并不显著。如果用户需要更高定位精度,必须再采用地面控制点作几何精

校正。

#### 4.3 结 论

实验结果表明,本文采用的方法提高了 MODIS 数据处理效率,且在处理过程中用户不必在计算机前等候。另外,在本文算法中每个子图像的校正算法相对独立,具备了并行计算特性,只要对程序稍加改进(IDL 本身具有很好的跨平台特性),就可以移植到计算机集群上进行并行计算。

#### 参考文献

- 1 刘闯,葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000(3): 45~48.
- 2 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- 3 Research Systems, Inc. IDL Reference Guide[M]. 2003.
- 4 闫殿武. IDL 可视化工具入门与提高[M]. 北京: 机械出版社, 2003.
- 5 郭广猛. 非星历表法去除 MODIS 图像边缘重叠影响的研究[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(6): 172~175.
- 6 Sylvain Contassot - Vivier, Serge Miguet. A load - balanced algorithm for parallel digital image warping[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1999, 13(4): 445~463.
- 7 蒋艳凰,杨学军,易会战. 卫星遥感图像并行几何校正算法研究[J]. 计算机学报, 2004, 27(7): 944~951.
- 8 蒋耿明,刘荣高. MODIS 1B 影像几何纠正方法研究及软件实现[J]. 遥感学报, 2004, 2(8): 158~164.

## Geometrical Correction of MODIS Data Based on IDL

FU Bi-tao, WANG Cheng, ZENG Zhi-yuan

(School of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract:** Since MODIS data is featured with huge amount and multi - spectrum, it takes too much time and frequent I/O operation to correct them by RS software. This paper proposes a geometric correction algorithm based on triangular network. The input images are divided into several blocks and each block is calculated independently, and they are mosaicked together after calculation. By implementing the algorithm based on IDL (Interactive Data Language) program, the results show that it takes less memory and improves the efficiency of data processing greatly.

**Key words:** MODIS; geometrical correction; IDL; triangular network

## 国家遥感中心与欧空局商谈中欧伽利略计划合作工作会召开

2007 年 3 月 21 日~22 日,国家遥感中心与欧空局在中欧卫星导航技术培训合作中心(CENC)召开了关于中欧伽利略计划合作工作会议。科技部高新司、合作司及国家遥感中心领导和相关人员参加了会议。欧方代表团由欧盟法律与对外事务及安全办公室主任 RENE OOSTERLINCK 先生、欧空局导航部主任 Didier Faivre 先生及主管和负责中欧伽利略合作的技术官员等 5 人组成。

3 月 22 日,曹健林副部长会见了欧方代表团,就双方在中欧伽利略计划合作中所做出的努力和贡献表示感谢,强调了中方未来加入 GSA、GOC 组织的重要性及紧迫性,并请代表团向欧盟委员会转达中方的要求。会谈中,双方肯定了在北京成立的中欧卫星导航技术培训合作中心的工作,并表示满意,提出将继续办好该中心。

本次工作会议中 J. Benedicto 先生介绍了欧洲 EGNOS 系统和伽利略计划的现状,预计伽利略系统于 2012 年建成,第二颗试验卫星 GIOVE B 今年年底发射,相关的地面设施正在建设中。我方汇报了中欧导航中心 2006 年的工作及 2007 年的工作计划,欧空局表示考虑支持导航中心提出的和非洲、欧空局联合举办卫星导航和对地观测领域培训班及相关活动的建议。

在通报了目前所有中欧伽利略计划合作项目的执行情况后,双方对中欧伽利略计划合作项目 EEG 的启动进行了深入讨论,并提出近期协调启动该项目。同时,欧空局将尽快编写接收机及芯片研究合作项目的任务书。

本次前来的欧空局代表团成员对于中欧伽利略计划合作非常重要,此行对中欧伽利略计划合作意义重大,会议也取得了显著成果,进一步促进、巩固与深化了中欧合作。