

基于插值的 FY-2 静止气象卫星 地理定位数据处理方法研究

李志乾^①, 匡定波^①, 尹球^②, 巩彩兰^①, 胡勇^①

(^① 中国科学院上海技术物理研究所遥感信息研究实验室, 上海 200083;

^② 上海市卫星遥感测量与应用测量中心, 上海 201100)

摘要:根据简化网格,利用插值的方法生成 FY-2 的地理定位数据。从生成的结果来看,该算法简单实用,能较好地符合要求,达到图像定位的目的。

关键词:风云二;图像定位;插值

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.006

中图分类号:TP79 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2012)120-0031-05

The Research on Processing of Geographical Location Data of FY 2 Based on Interpolation

LI Zhi-qian^①, KUANG Ding-bo^①, YIN Qiu^②, GONG Cai-lan^①, HU Yong^①

(^① Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Laboratory for Remote Sensing Application, Shanghai 200083; ^② Shanghai Center for Satellite Remote-sensing and Application, Shanghai 201100)

Abstract: This paper uses the interpolation method to generate FY-2 geographic location data based on simplified grid. From the results it can be seen the method is simple and practical, and can better meet the image location requirement.

Key words: FY-2; image location; interpolation

1 引 言

风云二号(FY-2)静止气象卫星是我国自主研发的第一代地球静止轨道气象卫星。目前在轨运行的 D 星和 E 星,其搭载的红外和可见光自旋扫描辐射计(VISSR)每半小时获取一次地球圆盘图像,在我国天气预报和监测中发挥了重大作用。FY-2 卫星自旋转速 100r/min,在非观测时段向地面播发数据,其格式为展宽资料(S-VISSR)数据格式,根据文献[1],图像大小为 2291×2291。图像定位即确定每个像素的地理坐标,实现图像坐标到地理坐标的转换,是后续定量研究的基础。FY-2 卫星数据除了定位参数外,还提供了范围 45°~165°E,60°N~60°S,步长为 5°的简化网格(如图 1),利用本文的插值算

法可简便快速得到像素的地理坐标,继而实现像素定位问题。



图 1 FY-2 圆盘图像

收稿日期:2011-03-23 修订日期:2011-08-03

基金项目:中科院上海技术物理研究所创新专项和上海市科技攻关计划:“城市热环境灾害遥感监测”项目共同资助。

作者简介:李志乾,男,(1983~),博士研究生,主要从事遥感反演研究。

E-mail: lizhiqian_76@126.com

2 基于插值的等经纬数据生成算法

简化网格是 S-VISSR 文件段的有效字段,记录了 45°~165°E,60°N~60°S 步长为 5°的 25×25 个点在图像中的坐标(行列号),如表 1 所示。

表 1 简化网格数据

位置	类型	内容
1~2	I*2	60°N,45°E 行号
3~4	I*2	60°N,45°E 列号
5~6	I*2	60°N,50°E 行号
...
2495~2496	I*2	60°S,160°E 列号
2497~2498	I*2	60°S,165°E 行号
2499~2500	I*2	60°S,165°E 列号

其中:I*2 是 S-VISSR 格式的一种数据类型,它的值由 2 个二进制整数(2×8 比特)表示,首位(MSB)是二进制整数的符号位,0 为正,1 为负,在负数的情况下,其他位表示加过 1 以后的补数。

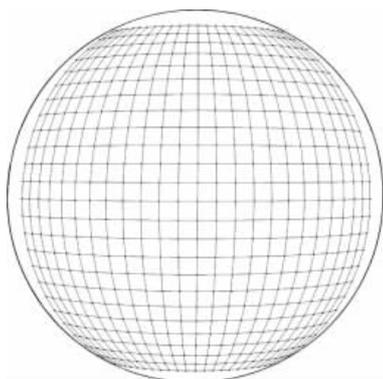


图 2 FY-2E 简化网格

图 2 是表 1 的数据在图像上的直观显示,可以看出,大小为 2291×2291 的图像上只有 25×25 个点有经纬度坐标,如何确定每个像素的地理坐标将是本文研究的重点。



图 3 环渤海湾、华东地区 IR1 图像



图 4 等经纬图像



图 5 等经纬图与矢量图的叠加

2.1 地理网格的计算

取地球赤道半径 6378137m 计算^[1],赤道地区 1°相当于 $\frac{2\pi R}{360} = \frac{2 \times \pi \times 6378.137}{360} \approx 111\text{km}$,5°就相当于 555km,也就是 $\frac{555\text{km}}{5\text{km}} = 111$ 个像元,即每隔 5°有 111 个像元,所以应取 $d = \frac{5^\circ}{111} \approx 0.05^\circ$,即像元间的步长为 0.05°。新地理定位数据的高宽为 $(25-1) \times \frac{5^\circ}{0.05^\circ} + 1 = 2401$,像素值为 45°~165°E,60°N~60°S 步长为 0.05°的等经纬地理网格数据,记为 $g_{2401 \times 2401 \times 2}$,生成过程如下:

首先生成一个大小为 25×25 的阵列 A,元素为简化网格的行列号,再将阵列 A 插值成 2401×2401 大小的阵列 B,则阵列 B 记录了数据 g 中每个经纬度在原始图像中的行列位置(float 型)。为提高插值的平滑度,插值过程采用双三次插值(有些文献也叫双立方插值或立方卷积插值),由于双三次插值需要插值元素的 16 邻域,阵列 A 的边界部分不足 16 邻域的由边界元素值补齐。

2.2 等经纬图像像素值的计算

等经纬图像即等经纬地理网格数据对应的图像数据,记为图像 H,再记原始图像为 F,则等经纬图像的生成过程如下:

$$H(i, j) = F[B(i, j, 0), B(i, j, 1)]$$

其中, $i, j \in [0, 2400]$ 且为整数,F 的定义域为具有行列意义的整数,而 $B(i, j, 0), B(i, j, 1)$ 为 float 型,要想得到 $F[B(i, j, 0), B(i, j, 1)]$ 的值,必须对 F 进行插值,考虑到 FY-2E 分辨率低的特性,像元间的相关性小,因而采用双线性插值,插值公式为

$$f(i+u, j+v) = (1-u)(1-v)f(i, j) + (1-u)vf(i, j+1) + u(1-v)f(i+1, j) + uvf(i+1, j+1) \quad u, v \in [0, 1]$$

这样就生成了一幅 $45^{\circ}\sim 165^{\circ}\text{E}, 60^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{S}$ 步长为 0.05° 的等经纬图像, 如图 3、4、5 所示, 其中图 5 用到的中国海岸带基础地理矢量数据下载自文献 [2], 可将该边界矢量数据视作标准数据, 从显示效果来看, 该矢量数据与等经纬图像的海陆边界基本叠合一致, 说明该插值算法能较好地符合要求。

3 原始图像的定位

FY-2 卫星分辨率低、观测范围大, 特别是有云时, 无法清楚地看到地表, 不易直观定位研究区域在图像中的位置。本算法给出图 2 所示简化网格内部所有点的地理经纬度 G' 。引入集合的概念, 记 g 为集合 M , G' 稀疏化处理, 记为集合 N , 则 $M \rightarrow N$, 即集合 M 中的每一个元素总能在集合 N 中找到唯一一个元素与之对应; 记 G' 为集合 N' , g 稀疏化处理, 记为 M' , 则 $N' \rightarrow M'$, 即集合 N' 中的每一个元素总能在集合 M' 中找到唯一一个元素与之对应, 如图 6 所示。

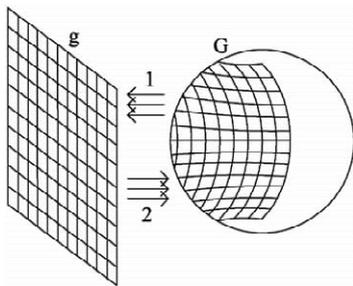


图 6 等经纬网格与原始图像经纬度映射关系示意图

记 $\begin{cases} B(i, j, 0) \rightarrow B_1 \\ B(i, j, 1) \rightarrow B_2 \end{cases}$, 由经纬度与行列的关系, 对

B_1 的每列而言, 行元素是递增的; 对 B_2 的每行而言, 列元素是递增的。

基于上述理论, 下面给出推导算法:

原始图像 F 的行列号记为 $k, l \in [0, 2290]$ 且为整数, 记其对应的地理定位数据为 $G_{2291 \times 2291 \times 2}$, 先将 G 全部置为无经纬度意义的数值, 如 65535, 再对其进行修正。

首先生成与阵列 B 等大小的 4 维阵列 C , 全部置为 0。

对 B_1 的列进行行搜索, 搜索满足条件

$$\begin{cases} n1 = (\text{int})B(i, j, 0) \\ n2 = (\text{int})B(i, j+1, 0) \quad \text{的点, 若 } n1 = B(i, j, 0), \\ n1 = B(i, j, 0) \text{ 或 } n1+1 = n2 \end{cases}$$

则 $lat = g(i, j, 1)$, 修改 $C(i, j, 0) = n1, C(i, j, 2) = lat$;

若 $n1+1 = n2$, 则 $lat = \frac{n2 - B(i, j, 0)}{B(i, j+1, 0) - B(i, j, 0)} \times [g(i, j+1, 1) - g(i, j, 1)] + g(i, j, 1)$, 修改 $C(i, j, 0) =$

$n2, C(i, j, 2) = lat$ 。其中 i 为列号, j 为行号。

对 B_2 的行进行列搜索, 搜索满足条件

$$\begin{cases} n1 = (\text{int})B(i, j, 1) \\ n2 = (\text{int})B(i+1, j, 1) \quad \text{的点, 若} \\ n1 = B(i, j, 0) \text{ 或 } n1+1 = n2 \end{cases}$$

$n1 = B(i, j, 1)$,

则 $lon = g(i, j, 0)$, 修改 $C(i, j, 1) = n1, C(i, j, 3) = lon$;

若 $n1+1 = n2$, 则 $lon = \frac{n2 - B(i, j, 1)}{B(i+1, j, 1) - B(i, j, 1)} \times [g(i+1, j, 0) - g(i, j, 0)] + g(i, j, 0)$

修改 $C(i, j, 1) = n2, C(i, j, 3) = lon$ 。其中 i 为列号, j 为行号。

对阵列 C 遍历,

$$\text{if}(C(i, j, 0) \neq 0 \&\& C(i, j, 1) \neq 0)$$

则

$$G[C(i, j, 1), C(i, j, 0), 0] = C(i, j, 2)$$

$$G[C(i, j, 1), C(i, j, 0), 1] = C(i, j, 3)$$

简化网格间距为 5° , 由 2.1 计算可知, 每隔 5° 约有 111 个像元, 从图 2 可以看出, 星下点附近的四边形变形小, 边缘部分的四边形变形大。由 A 生成 B 的过程中, 边缘部分是插值, 而中间部分则是抽取, 此时 $C(i, j, 1), C(i, j, 0)$ 在中间位置是不连续的, 当中间与边缘都是插值过程时才能保证 $C(i, j, 1), C(i, j, 0)$ 的连续性, 这就要减小 d 的取值。此时 $C(i, j, 1), C(i, j, 0)$ 可组合出简化网格内部所有点行列号, 就可给出图 2 所示简化网格内部所有点的地理经纬度。

由于地球曲面的影响, G 是非等间距的经纬度数据, 无法借助 ENVI 等常用遥感软件做其与矢量数据的叠加显示, 需要编程实现。主要思想是找出矢量数据中记录的点、线、面的地理坐标在 G 中对应点的行列号, 再对这些点按矢量数据中的记录次序画线连接起来。

直接在 G 中查找矢量数据点对应的行列号比较费时, 可先在 g 中按索引号查找, 取 g 中最接近矢量数据点的经纬度, 记录对应的行列号 (i, j)

$$\begin{cases} i = (\text{int})(\frac{lon - 45}{d} + 0.5) \\ j = (\text{int})(\frac{60 - lat}{d} + 0.5) \end{cases}$$

则 $B(i, j, 0), B(i, j, 1)$ 即是 G 中对应矢量点数据的行列号。

上述算法已通过 VC++ 编程实现, 图 7、8 是显示结果, d 取 0.04, 简化网格内部个别缺失的点 $G(i, j, 0), G(i, j, 1)$ 由上下左右 4 个像元的经纬度取均值给出。

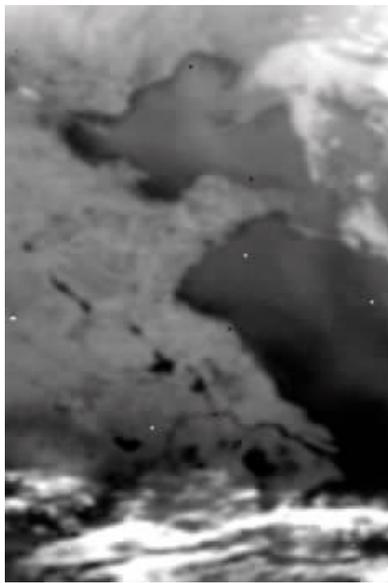


图7 环渤海湾、华东地区 IR1 原始图像

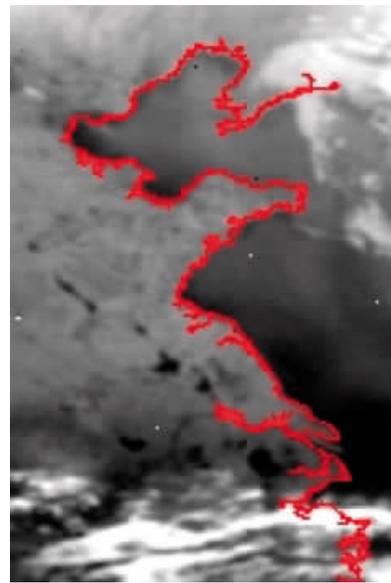


图8 原始图像与矢量图叠加

(注:本文使用的数据为 FY2C_2009_04_25_20_01.vsr)

4 定位精度分析

图1所示圆盘半径约有1040个像素,则圆盘内部约有 $\pi r^2 \approx 3.4 \times 10^6$ 个点,而简化网格只有 $25 \times 25 = 625$ 个点,即要由625个点插出 3.4×10^6 个点的经纬度,已知点与未知点比例为 $\frac{625}{3.4 \times 10^6 - 625} \approx 1:54400$,这样插值出来的经纬度的置信度有待考虑。

本算法多次用到了插值过程,如B的生成过程用到了双三次插值、H的生成过程用到了双线性插值,对 $B_1 B_2$ 搜索计算经纬度时用到了线性插值。在求原始图像的经纬度过程中,仅用到了双三次插值与线性插值,其中对 $B_1 B_2$ 搜索计算经纬度过程中用到的线性插值是针对g进行,不涉及误差损失,故本算法的误差实为双三次插值的误差。

文献[3]的方法是将简化网格看成由许多近似四边形组成(如图2所示),再逐像素判断该点属于哪个四边形,由四边形的4个顶点用双线性插值方法插出该点的经纬度。这样,本文的算法与文献[3]的算法的精度比较就归结为双三次插值与双线性插值的误差分析。

双线性的插值公式:

$$f(i+u, j+v) = (1-u)(1-v)f(i, j) + (1-u)vf(i, j+1) + u(1-v)f(i+1, j) + uvf(i+1, j+1)$$

双三次插值不仅考虑到周围4个直接相邻像素点灰度值的影响,还考虑到它周围灰度值变化率的

影响^[4],此插值算法以 $S(\omega)$ 为卷积因子,利用其相邻的16个像素做三次插值,结果如图9、10。

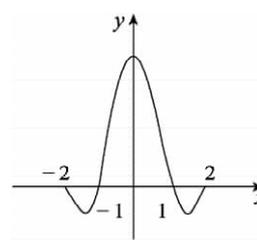


图9 S(omega)函数曲线

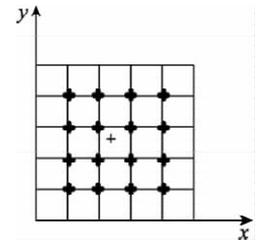


图10 双三次内插

$$S(\omega) = \begin{cases} 1 - 2|\omega|^2 + |\omega|^3, & |\omega| < 1 \\ 4 - 8|\omega| + 5|\omega|^2 - |\omega|^3, & 1 \leq |\omega| \leq 2 \\ 0, & |\omega| > 2 \end{cases}$$

则点(x, y)处的像素值 $f(x, y) = A \times B \times C$,

其中,

$$A = \begin{bmatrix} S(1+v) \\ S(v) \\ S(1-v) \\ S(2-v) \end{bmatrix}^T \quad C = \begin{bmatrix} S(1+u) \\ S(u) \\ S(1-u) \\ S(2-u) \end{bmatrix} \quad u, v \in (0, 1)$$

$$B = \begin{bmatrix} f(i-1, j-1) & f(i-1, j) & f(i-1, j+1) & f(i-1, j+2) \\ f(i, j-1) & f(i, j) & f(i, j+1) & f(i, j+2) \\ f(i+1, j-1) & f(i+1, j) & f(i+1, j+1) & f(i+1, j+2) \\ f(i+2, j-1) & f(i+2, j) & f(i+2, j+1) & f(i+2, j+2) \end{bmatrix}^T$$

将 $f(x, y)$ 展开可写成如下形式:

$$f(x, y) = \sum P_{kl} f(i+k, j+l) \quad k, l \in [-1, 2]$$

且为整数

图11给出了双线性与双三次插值所有点误差的相对误差,从图上可以看出,对所有点的插值结果

来说,双三次插值均优于双线性插值。文献[3]将简化网格看作近似平面四边形,而简化网格实际为球面四边形,这又会引进模型误差,从而降低插值结果的精度。文献[5]从计算插值图像的峰值信噪比

(PSNR)、边缘峰值信噪比(PESNR)、交叉相关系数(CC)、相似指数估量(CCMV)的角度,也佐证了双三次插值要优于双线性插值。若采用更为平滑的双三次样条插值或最佳插值法^[4]可获得更高精度。

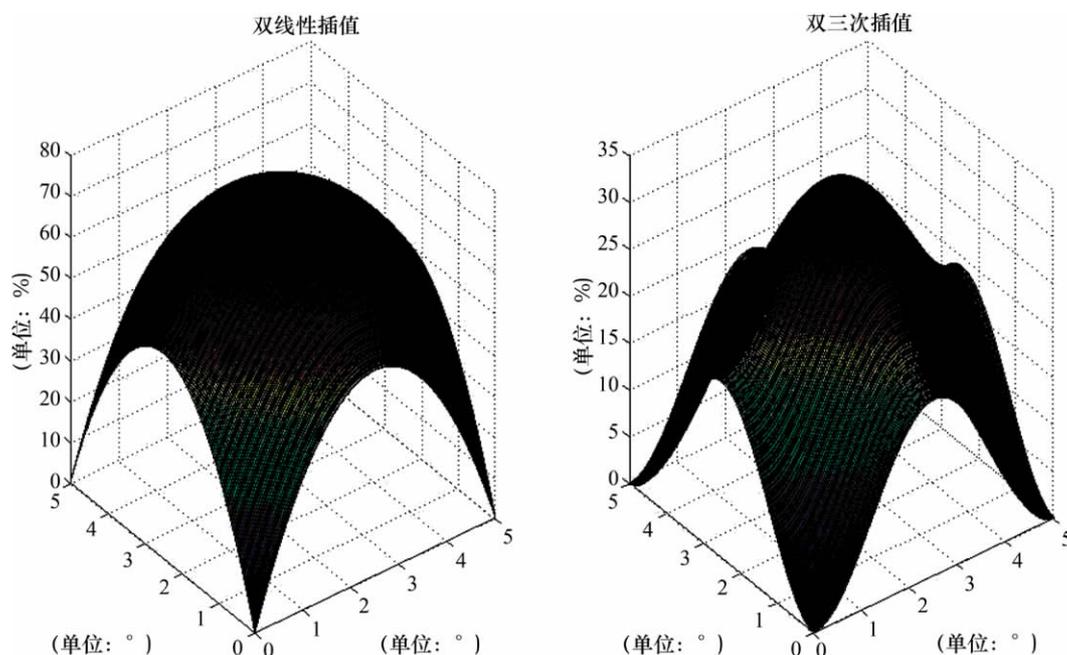


图 11

5 结束语

本文的图像定位算法实现了 FY-2 数据的地

理定位问题,根据与地理矢量数据的叠加比较显示,效果较好,为后续研究奠定了基础,具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 国家气象卫星中心(NSMC). 风云二号(02)批静止气象卫星数据格式[S]. 北京: NSMC, 2004.
- [2] 地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/Portal/>)[EB/OL].
- [3] 王宏博,李国春,隋明. 应用线形插值对风云二数据进行图像定位与投影计算[J]. 农业网络信息, 2007(4): 35-37.
- [4] 尤玉虎,周孝宽. 数字图像最佳插值算法研究[J]. 中国空间科学技术, 2005(3): 14-18.
- [5] 党向盈. 基于传统插值的最佳插值算法分析[J]. 黑龙江科技信息. 科技论坛.

《第 33 届亚洲遥感会议》将于 2012 年 11 月 26—30 日在泰国芭提雅召开

“第 33 届亚洲遥感会议”将由泰国地理信息和空间技术发展局(GISTDA)、科技部(MOST)和亚洲遥感协会(AARS)联合主办,于 2012 年 11 月 26—30 日,在泰国芭提雅市宗滴恩酒店举行。这是亚洲遥感协会每年一届的系列学术会议。会议期间将迎来当地最美丽,最流行的水灯节。每年的 11 月满月时,当地居民通过到河边漂放水灯,感谢水神并祈愿,届时将由数百上千的水灯随波逐流闪烁,十分壮观。水灯节风俗可以追溯到素可泰王朝(大约 700 年前)。

本届大会征文包括传感器与平台、算法和图像处理、GIS 与 Web GIS、全球导航卫星系统、灾害、自然资源、环境科学、教育和宣传、健康科学、制图、其他等方面。

会议重要日期:论文摘要提交截止:2012 年 5 月 15 日;论文接收通知:2012 年 7 月 1 日;论文全文提交截止:2012 年 9 月 30 日;网上注册截止:2012 年 10 月 26 日;会议召开:2012 年 11 月 26—30 日。会议还将组织学生专场和技术展览,其他信息请访问会议网站:<http://acrs2012.gistda.or.th>。

与往年一样,中国遥感委员会仍将鼓励中国遥感科研人员和企事业单位参加会议,并组团参加学术交流和会议展览。

中国遥感委员会