

文章编号: 1007-4619 (2002) 02-0096-06

遥感图像数据重采样的一种快速算法

楼琬林, 黄韦良, 周长宝, 杨劲松

(国家海洋局 海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室, 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘 要: 从原始遥感图像几何畸变特征出发, 建立了 SeaStar SeaWiFS 和 NOAA AVHRR 遥感图像数据重采样的一种快速算法, 并提出了邻点权重重采样方式。该种快速算法能有效地提高遥感图像几何校正的速度, 并适用于连续对地观测系统遥感数据的重采样过程。邻点权重重采样方式可用以替代通常的最近邻点和双线性插值重采样方式。

关键词: 遥感; 数据重采样; 快速算法; NOAA AVHRR

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

由于传感器、遥感平台以及地球本身等方面的原因, 遥感图像存在难以避免的几何畸变^[1]。宽视场的海洋水色卫星 SeaStar SeaWiFS 与气象卫星 NOAA AVHRR 遥感图像几何畸变在扫描行边缘部分特别严重。为了校正卫星原始遥感图像的几何畸变, 需要进行两步工作。一是遥感图像像元的几何定位, 即地理经纬度的确定。二是对原始遥感图像数据进行重新采样并输出。国内外对于宽视场的海洋水色卫星与气象卫星遥感图像像元的几何定位方法已有众多研究, 其定位精度已达到几个像元至亚像元级水平^[2-4]。前人对遥感图像数据重采样方法也作了一些研究, 但重采样方法多采用传统的方法, 重采样速度较慢^[5,6]。本文从遥感图像的几何畸变特征出发, 研究遥感图像数据快速重采样算法。

2 遥感图像几何畸变特征

卫星在一定高度的轨道飞行, 星载传感器通过反射镜的旋转扫描获取地球表面的辐射率信息。遥感图像所对应的地面区域取决于以下两维运动: 卫星沿着轨道的运动和扫描仪垂直于轨道切线方向的旋转扫描运动^[3]。因此遥感图像的几何畸变过程与

遥感平台轨道性质、传感器扫描成像特性和地球形态模型等参数密切相关。图 1 为降轨、后倾扫描的 SeaStar SeaWiFS 遥感图像在高斯-克吕格投影体系下所对应地面区域的形状。从图 1 可见, 由于成像过程中的几何畸变, 遥感图像所对应地面区域的形状近似为不规则的四边形, 并且遥感图像行列坐标系与地理经纬度坐标系统之间也是不重合的。例如降轨、后倾扫描的 SeaStar SeaWiFS 遥感图像, 其地理经纬坐标与行列坐标之间具有如下关系:

(1) 在扫描行方向上, 列数从 1 变化到 1285 过程中, 像元点经度增加, 纬度减小;

(2) 在卫星运行方向上, 行数逐行增加过程中, 像元点经度减小, 纬度也减小。

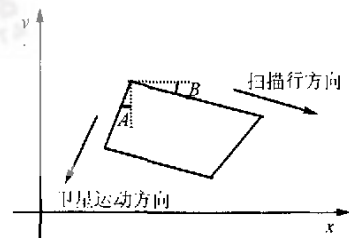


图 1 SeaStar SeaWiFS 图像形状

Fig. 1 Shape of SeaStar SeaWiFS image

对于 SeaStar SeaWiFS 其它成像状态和 NOAA AVHRR 的遥感图像, 也可以得到类似的关系。

收稿日期: 2000-11-21; 修订日期: 2001-02-27

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 2001BA603B-06 和国家“973”计划“我国近海有害赤潮的生态学、海洋学机制及预测防止”项目的资助。

作者简介: 楼琬林(1974—), 男, 1997 年毕业于长春科技大学地球科学系。2000 年 8 月毕业于国家海洋局第二海洋研究所, 获海洋遥感专业硕士学位。现从事海洋遥感图像数据处理和信息提取, 发表论文 2 篇。

3 遥感图像数据重采样

我们希望数据重采样后输出的图像其行列坐标与地理经纬度坐标之间是一致的, 并且是像元均匀分布的二维矩阵, 以便于保存、处理和显示。由于原始图像行列坐标空间与地理经纬坐标空间之间是不一致的, 使得原始图像与重采样图像之间的转换关系是非线性的。原始图像中排列规则的像元用直接成图法投影到重采样图像空间后, 这种规则排列往往被打乱, 容易出现重采样图像中没有原始图像中所对应的像元, 如图 2。因此不能根据地理经纬坐标直接将像元从原始畸变图像空间投影到重采样图像空间。必须引入适当的坐标转换函数来实现对原始图像数据的重采样。

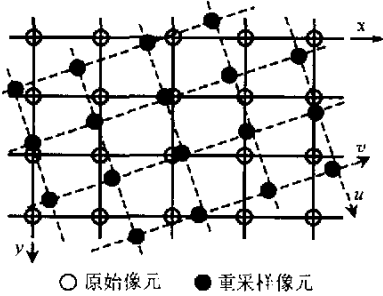


图 2 重采样示意图
Fig. 2 Schematic of resampling

从图 2 可见, 完成一个像元的重采样过程可以分为两个步骤: 首先确定重采样像元 (u, v) 在原始图像行列坐标空间的位置 (x, y) , 即共轭点; 其次, 利用某种方法确定这一共轭点的亮度值 $f(x, y)$ 。其具体实现过程是从空白的重采样图像出发, 建立原始图像行列坐标空间 (i, j) 与经纬坐标空间 (u, v) 的转换关系函数 $F(u, v)$, 即:

$$\begin{cases} x = F_x(u, v) \\ y = F_y(u, v) \end{cases} \quad (1)$$

其中 x, y 是共轭点在原始图像行列坐标空间 (i, j) 上的坐标值, 由于共轭点不一定与原始图像像元重合, x 与 y 的取值一般情况下不为整数。然后, 利用式(1)按坐标顺序依次求取重采样图像空间中每个待采样像元 (u, v) 在原始畸变图像空间中的共轭位置点 (x, y) 。最后根据共轭点周围的原始图像像元应用某种方法确定这一共轭位置点的亮度值 $f(x, y)$, 并把此共轭点的亮度值赋给重采样图像空间中待采样像元 (u, v) , 即 $f(x, y) \rightarrow g(u, v)$ 。下面

分别探讨像元重采样的两个过程。

3.1 转换函数 $F(u, v)$ 的确定

在几何精校正中, 重采样过程中坐标间转换函数是利用地面控制点(GCPs)采用多项式变换方法来求取的。在没有 GCPs 可资利用的情况下, 数据重采样过程中的转换函数不能通过多项式变换方法求取。我们在对图 2 进行分析后可知, 重采样图像中坐标为 (u, v) 像元在原始图像空间中不一定能找到与原始图像像元相重合的现成共轭点。在通常情况下该共轭点 $P(x, y)$ 位于几个原始像元之间, 如图 3。一般地说, 任何一个有效的共轭点可以由原

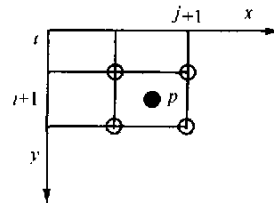


图 3 共轭点位置示意图
Fig. 3 Schematic of conjugate points

始图像中某 4 个相邻像元所组成的“块”所唯一确定。因此, 转换函数的求解实际上就是获取与重采样像元 (u, v) 所对应的原始图像的 $i, i+1, j$ 和 $j+1$ 等行列坐标值。因此转换函数的求解过程可以是: 首先, 由重采样图像空间行列坐标 (u, v) 确定该点的地理经纬坐标 (Lat, Lon) ; 然后, 在原始图像空间中确定由 $i, i+1, j$ 和 $j+1$ 四个行列坐标值所决定的区域或块, 使得该区域在经纬度空间中包含点 (Lat, Lon) 。本文根据遥感图像几何畸变特征, 提出了一种“块操作”来确定共轭点位置的方法, 并完成了其快速算法。本文所谓的“块”是指由原始图像中 4 个像元点的最大、最小经纬度值所确定的经纬度空间上的区域。

3.2 共轭点位置的确定

在进行数据重采样的计算过程中, 有大量计算时间花费在共轭位置的定位上, 也就是说重采样点共轭位置的确定是数据重采样的关键部分。对于降轨、后倾扫描的 SeaWiFS 遥感图像数据, 考虑到上文提到的两个图像特征, 我们可以将一维顺序数据的对半查找方法推广应用到二维图像空间, 快速地确定共轭点位置, 进而获取相应 i, j 值。具体过程如下:

(1) 确定重采样图像空间中像元 (u, v) 的共轭点 $p(x, y)$ 的经纬度坐标(lat, Lon);

(2) 将整幅原始畸变图像作为一个区域块(Block),并默认为当前正在操作的区域块,则该区域块是由块中最大、最小经纬度的4个相应像元(实际上就是图幅的4个端点)围圈而成;

(3) 求得当前操作块的最大、最小经纬度,由此判断点(Lat, Lon)是否在该操作块中。如果在当前操作块中则进行下一步,否则返回“共轭点不在整幅图像中”的信息;

(4) 如果当前操作块的行数和列数均不大于2,则返回当前操作块在整幅图像中的行列位置信息,否则进行下一步;

(5) 以行列数为依据,将当前操作块对半分割成4个子块(sub-block),如图4。分别求取4个子块的最大、最小经纬度,判断点(Lat, Lon)是否在这些子块中。如果不在所有的4个子块中,则返回“共轭点不在整幅图像中”的信息;

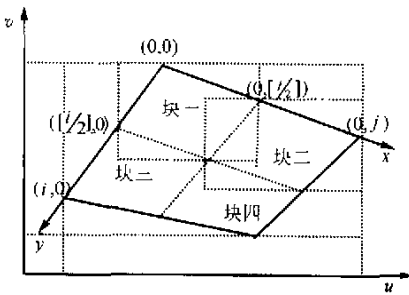


图 4 对半查找法区域分割示意图

Fig. 4 Schematic of block partition

(6) 共轭点与子块的关系有两种情况,一是共轭点单独存在于某子块中;二是共轭点存在于相邻两子块的公共区域中,如图5。如果属于第一种情况,则跳到步骤(8);

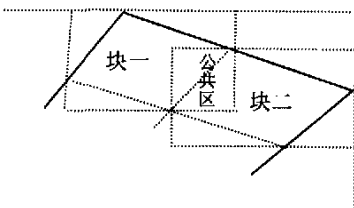


图 5 相邻子块的公共区域

Fig. 5 Common area of two adjacent sub-blocks

(7) 此时共轭点位于块一与块二、块一与块三、块二与块四或块三与块四等公共区域之一。根据公共区域对角线(即相邻子块的公共边)上像元的地理

经纬坐标值就可以判断共轭点位于哪个子块;

(8) 将共轭点所在的子块设置为当前操作块,返回到步骤(3)。

利用上述算法,如果原始图像大小为 1024×1024 个像元,则查找重采样图像中任意像元的共轭点在原始图像中的位置,其对半查找(块操作)的次数在理论上不会超过10次。该方法与普通的顺序查找方法相比,共轭点定位过程在运算速度上呈几何量级提高,能够极大地提高数据重采样的速度。上述确定共轭点位置的“块操作”方法的另一个优点是设定条件,以获取不同大小的包含共轭点的块(上文中设定块的大小为 2×2 个像元),以满足确定共轭位置点亮度值时不同方法的需要。如三次卷积方法确定共轭位置点亮度值时要利用 4×4 邻域的原像元数据。

3.3 共轭位置点亮度值的确定

如上文所述,共轭点在通常情况下位于几个原始像元之间,因此共轭点必须根据该点周围的若干邻近像元亮度值的贡献来确定。在利用上文方法获得共轭点所在的原始图像区域后,我们就可以应用某种采样方法来确定共轭点的亮度值。常用的亮度获取方法有最近邻点法、双线性插值和三次卷积法。最近邻点法的优点是算法简单且能保持原始图像的亮度值不变,但常使采样后的遥感图像在亮度上不连续,原来光滑的边界出现锯齿状。这种情况在图像的边缘表现得尤为突出。双线性插值法的优点是计算较为简单,校正后的图像亮度连续,但因其具有低通滤波的性质,造成高频信息的损失,常使采样后的遥感图像变得模糊。三次卷积法对前述两种方法的缺点都能克服,但计算量极大。考虑到上面3种方法的优缺点,以及原始图像中像元的经纬度坐标已知的情况,本文提出一种“邻点权重法”来确定共轭位置点的亮度值。“邻点权重法”数据重采样原理如图6,共轭位置点的亮度值按公式(2)求取:

$$\begin{cases} sum = \sum_{n=1}^4 1/d_n \\ f(x, y) = \sum_{n=1}^4 \frac{1/d_n}{sum} P_n \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中的 d_n 表示共轭点到4个邻近原始像元的经纬度距离, P_n 为原始像元的亮度值。用上述“邻点权重法”求取共轭点亮度值的过程表明:共轭点 p 周围的4个原始像元的亮度值对该共轭点的亮度值都有贡献,但随两者间的经纬度距离 d 的大小

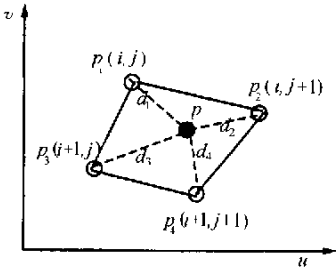


图 6 邻点权重法示意图

Fig. 6 Schematic of the weighted neighbour method

计算。用两种不同查找方法进行数据重采样处理的结果如表 1。

表 1 不同查找方法和采样方法的计算时间

Table 1 Computed times of different searching and resampling methods

采样方式	最近邻点法	邻点权重法	双线性插值法	三次卷积法
顺序查找	1136	1136	1144	1160
块操作	69	69	72	80

而异,距离小的像元贡献大,距离大的像元贡献小。由于“邻点权重法”在决定共轭点亮度值时距离起决定作用,因此该方法与“最近邻点法”相比有相似之处,能够尽可能地保持原图像的光谱信息。“邻点权重法”在算法上属于邻域处理,其采样过程是通过曲面拟合实现的。故该方法与“双线性插值法”近似,对共轭点的亮度重采样精度以及几何重采样都可以达到比较高的精度,并且在算法上较“双线性插值法”简单。“邻点权重法”兼有“最近邻点法”和“双线性插值法”的部分优点,使得重采样图像具有较好的采样效果和质量。

4 遥感图像数据快速重采样方法应用实例

利用上文图像数据重采样算法思想,作者用 C 语言编制完成了通用的 SeaStar SeaWiFS 和 NOAA AVHRR 遥感图像数据快速重采样程序。程序可以选择不同的数据重采样方式,以满足不同应用的需要。程序输入参数为待采样点经纬度、数据采样方式、原始图像像元亮度值及其经纬度值矩阵,程序输出结果为对应采样方式的重采样点的亮度值。

以 1998-09-21 渤海地区的 SeaStar SeaWiFS 遥感图像为例(图 7),进行了数据重采样的工作。选用的 SeaWiFS 遥感图像格式为 L1b 级别数据。首先应用 Patt 的遥感图像几何定位方法获取 SeaWiFS L1b 图像每个像元的大地经纬度坐标值^[2]。然后确定需要进行重新采样部分图像的空间范围和采样方式,并输入到重采样程序,最后程序输出重采样后的遥感图像。数据处理环境为奔腾微机,200 兆赫 CPU,128 兆内存,Windows98 操作系统;原始图像大小为 700×386,重采样图像大小为 512×512。为检验本文所提出的“块操作”重采样快速算法的有效性,在遥感图像重采样时也进行了顺序查找共轭点方法的



图 7 渤海地区原始遥感图像

Fig. 7 SeaStar SeaWiFS raw image of the Bohai Sea

对比表 1 数据进行分析可见,重采样过程中共轭点查找方法的不同使得数据处理时间或速度发生显著变化;基于对半查找方法的“块操作”技术的重采样速度远远快于普通的顺序查找方法。表 1 数据还表明,数据重采样过程中不同的数据采样方式对数据处理速度的影响不是很大。因此,共轭点的查找速度在一定程度上决定了数据重采样的速度。

图 8,图 9 和图 10 分别为采用最近邻点、邻点权重和双线性插值等重采样方式所得到的渤海地区重采样遥感图像;图 11 为带经纬度网格、用邻点权重方式重采样后的渤海地区遥感图像。从重采样图像的质量看,邻点权重采样方法既有最近邻点采样方法的部分优点,也有双线性插值方法的优点。因此,邻点权重方法在一定程度上可用以替代最近邻点法和双线性插值法进行一般的数据重采样工作。

经过上述重采样算法得到的遥感图像数据是等

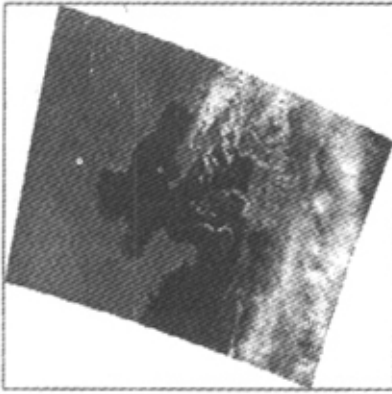


图 8 最近邻点法重采样遥感图像

Fig. 8 Resampled image with the nearest neighbour method

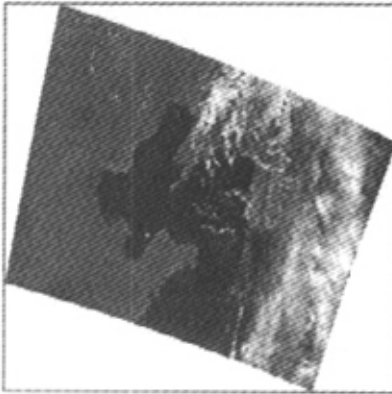


图 9 邻点权重法重采样遥感图像

Fig. 9 Resampled image with the weighted neighbour method

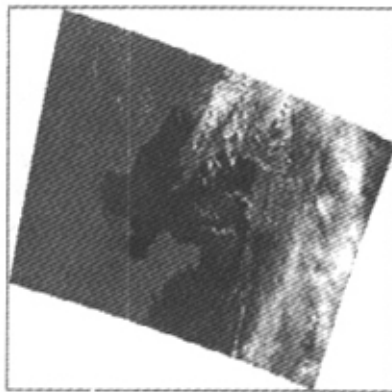


图 10 双线性插值法重采样遥感图像

Fig. 10 Resampled image with the bilinear interpolation method

经纬度网格的数据集,每个像元数据具有相同的经

纬度增量,相当于对原始图像进行了等距圆柱投影。这个数据集虽然也有一定扭曲,但却为遥感图像的进一步处理工作如几何精校正或标准投影奠定了基础。在这里本文只示例了 SeaStar SeaWiFS 的升轨、后倾扫描遥感数据的重采样过程和结果,但该快速重采样算法完全适用于 SeaStar SeaWiFS 其它扫描成像状态所获得的遥感数据和 NOAA AVHRR 等其它对地观测系统遥感数据的重采样工作。

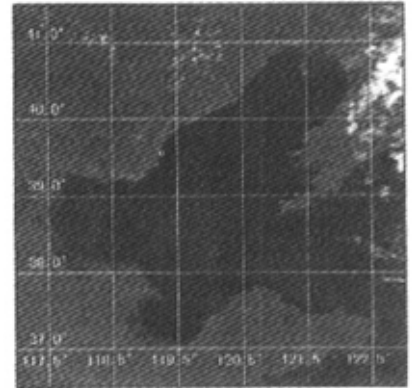


图 11 渤海地区重采样遥感图像

Fig. 11 Resampled image of the Bohai Sea with the weighted neighbour method

5 结 论

通过以上分析,可以得到以下结论:

(1) 实现数据重采样过程可以分为两个步骤,一是重采样点的共轭点的定位,二是重采样点像元亮度值的计算;

(2) 卫星遥感数据重采样的大量计算时间花费在重采样像元共轭点的定位上,应用本文建立的快速算法可以有效地提高数据重采样速度;

(3) 本文提出的遥感图像数据邻点权重重采样方式具有一定的实用性,可用以替代最近邻点和双线性插值重采样方式;

(4) 本文建立的快速重采样算法具有较好的通用性,可移植应用到大多数对地观测系统的遥感数据重采样工作中。

参 考 文 献 (References)

[1] Zhang Xiaocan *et al.* Remote Sensing Image Digital Processing [M]. Hangzhou Zhejiang University Publishing Company, 1997. [章孝灿等. 遥感数字图像处理[M]. 杭州:浙江大学出版社,1997.]

- [2] Pan F S, *et al.* Exact Closed-form Geolocation Algorithm for Earth Survey Sensors [J]. *INT. J. Remote Sensing*, 1994, 15(18): 3719-3734.
- [3] Pan Delu *et al.* A Study of Anchoring Geographic Coordinates and Calculating Zenith and Azimuth of Sun and Scanner for Oceanic Satellite Data [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1996, 15(4): 539-557.
- [4] Zhang Bin *et al.* High Precision Navigation of NOAA AVHRR Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(4): 259-267. [张斌等, NOAA AVHRR 数据的高精度导航定位[J]. 遥感学报, 1999, 3(4): 259-267.]
- [5] Wu Bingfang. A Simplified Method of Accurate Geometric Correction for NOAA AVHRR 1B Data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 9(4): 287-295. [吴炳方, NOAA AVHRR 1B 数据的几何精纠正[J]. 环境遥感, 1994, 9(4): 287-295.]
- [6] Wang Maoxin *et al.* The Study of NOAA AVHRR Image Resampling and Projection Methods [J]. *China Journal of Image and Graphics*, 1997, 2(1): 38-42. [王茂新等, 关于 NOAA AVHRR 图像重采样及投影方法的研究[J]. 中国图像图形学报, 1997, 2(1): 38-42.]

A Method for Fast Resampling of Remote Sensing Imagery

LOU Xiu-lin, HUANG Wei-gen, ZHOU Chang-bao, YANG Jin-song

(*Lab. of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*)

Abstract: A method for fast resampling of remote sensing imagery has been developed based on the nature of the geometric distortion of raw imagery. The method was applied to resample SeaStar SeaWiFS and NOAA AVHRR images. Examples of the resampling of SeaStar SeaWiFS images are presented by using the results have shown that the resampling using the method suggested in this paper is much faster than other resampling methods. A weighted neighbour intensity interpolation has also been proposed. The quality of the resampled images is improved. The weighted neighbour intensity interpolation. Advantages of the weighted neighbour intensity interpolation over the nearest-neighbour and bilinear intensity interpolations have been discussed.

Key words: remote sensing imagery; fast resampling; SeaStar SeaWiFS; NOAA AVHRR