

NOAA AVHRR 1B 数据的几何精纠正*

吴炳方

(中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室 北京 100101)

摘要 本文在对 NOAA-AVHRR 像元畸变特点分析和 1B 格式中的定位数据质量评价基础上,确定 1B 格式中的定位数据。尽管绝对精度很差,但相对精度较好,可以用来进行像元的相对定位,确定像元的大小和形状,在此基础上,提出了 NOAA-AVHRR 像元畸变校正方法。

校正后的图像经多项式纠正后,多时相复合和与辅助数据相复合的效果很好,误差为半个像元级。

关键词 几何精纠正, AVHRR 数据,像元畸变校正

高分辨率的卫星数据(TM、MSS 数据等)由于卫星轨道相对稳定,扫描角较小($\leq 6^\circ$),像元的畸变较少,即整帧的像元可以认为是规则的。它们的几何精纠正可以沿用多项式转换方法,通过选择控制点,建立多项式转换函数,经验表明,其纠正精度均能达到 0.5 个像元,基本上能满足应用的需要。

低分辨率的卫星遥感数据(如气象卫星 TIROS-N/NOAA 系列等)由于扫描带宽,受地球曲率、轨道飘移的影响,像元畸变严重,即整帧的像元不规则,覆盖的地球表面区域的形状、大小不一,这种畸变在扫描带两侧尤为明显。对它们进行几何纠正不能沿用多项式控制点的方法进行。

NOAA AVHRR 数据几何纠正的关键在于畸变像元的校正,校正后的规则像元可以采用常规的多项式几何纠正方法。本文在分析 AVHRR 像元的畸变规律和定位数据质量评价的基础上,提出了像元校正和两步几何精纠正方法。

1 NOAA AVHRR 数据的几何纠正

几何纠正的目的是使遥感数据与地面特征相对应,使人们获得遥感数据表达的特征的地理位置。几何纠正方法选择取决于应用目的。不同的应用目的对几何纠正的方法和精度要求也有不同。当然高精度的纠正是各种应用目的所共同要求的,但高精度的纠正方法往往技术上复杂、需要参数多、计算机时长、费用高,因此为确定几何纠正方法就要有所取舍。

NOAA 气象卫星的主要应用领域是天气分析和气象预报,如台风监测、天气预报、大尺度天气分析等。它们对几何纠正的精度要求不是很高,一般可将遥感数据按等增量的

* 作者在形成上述想法和实现过程中,得到北京大学徐希孺教授,中国科学院的徐冠华教授,王长跃教授,田国良教授,王乃斌教授的指导、鼓励和帮助,在此深表谢意。

收稿日期: 1994年4月6日

经纬值展开,相当于等距圆柱投影,每个像元有相同的经纬度增量,或将地面特征,如水系、行政区划等转换成与遥感数据坐标相一致的数据,并与其同时表达,不管采用哪种方式,它们尽管扭曲了数据,但均能将数据特征定位,这样方便了使用,而且简单、快速。

NOAA 气象卫星数据蕴含有大量的信息,除为气象提供服务外,还可为水文分析,环境监测,农作物估产等方面提供有用的信息,其应用的主要特点是利用 NOAA 气象卫星遥感数据时间分辨率高的优势,而这要求高精度的几何纠正为前提,以使多时相数据能够相互复合^[1]。

NOAA AVHRR 数据的几何精纠正国内外有大量的研究。中国气象局卫星气象中心开发的 NOAA 几何纠正方法有很高的精度,该方法利用卫星轨道方程,通过各种坐标系间的转换,并与采集的地面控制点一起,实现几何纠正,纠正精度为像元级。类似的方法国外也有报道^[2],精度为亚像元级。该类方法的精度一般能满足应用要求,但一般用户很难得到的 TBUS 数据,另外该纠正方法与遥感应应用人员熟悉的通常几何纠正方法不同,使得其推广应用有难度。

2 NOAA AVHRR 数据

TIROS-N/NOAA 气象卫星系列基本的遥感数据是甚高分辨率辐射仪 (AVHRR) 数据,该扫描仪的扫描角度为 $\pm 55.4^\circ$,扫描带宽约 2800km,有 5 个光谱通道,星下点分辨率 1.1km,受地球曲率、轨道飘移、传感器扫描角的影响,数据变形较大,几何畸变严重,尤其是在扫描带两侧尤为明显。

AVHRR 数据传输有 3 种方式,目前经常使用的是实时高分辨率数据传输 HRPT 数据,其原始数据实时接受后一般按美国 NESS 的 1B 格式转换成 1B 数据集,然后存入 CCT 磁带。如用户要求,均能购得 1B 格式的 AVHRR 数据。

AVHRR 1B 格式数据集标准磁带记录包括头记录和数据块记录。每个数据块记录长度为 7400 个字节,两个数据块记录了一条扫描线的所有数据,包括定位数据和 5 个波段数据。从每条扫描线的第 25 个像元开始,每隔 40 个像元给出定位数据,每条扫描线共有 51 个定位数据。

1B 格式数据经回放后生成下列文件:

- * LON 经度数据文件, ASCII 格式
- * LAT 纬度数据文件, ASCII 格式
- * SUN 太阳天顶角数据文件, BINARY 格式
- * N.MPD 第 N 波段的数据文件, BINARY 格式
- * N.MPI 第 N 波段的索引文件,记录有行列数, MPD 的记录格式等, BINARY 格式。

上述各类文件尽管记录格式不同,但均按扫描线顺序记录,且各文件顺序一致,相互对应。用户可以对 MPD/MPI 格式的各波段数据进行各种预处理,如幅射校正,太阳角纠正,大气校正,计算植被指数等。

3 NOAA AVHRR 像元畸变校正

人们通常熟悉的几何纠正方法是多项式转换, 该类方法的前提是全帧像元规范或者说其畸变程度可以忽略不计。为了对气象卫星数据的像元畸变进行校正, 本文提出几何精纠正方法。共有二步, 第一步是像元畸变校正, 第二步是通常使用的几何纠正方法。

3.1 像元畸变特点

影响 NOAA AVHRR 数据像元形状畸变的主要因素是卫星轨道, 扫描角和地球曲率。将其中一个像元放在高斯-克吕格投影体系下考察时, 其所代表的地面形状如图 1 所示, 像元的形状是不规则的四边形, 可用水平方向偏移角 A 和分辨率 X 、垂直方向偏移角 B 和分辨率 Y 等 4 个参数描述。这 4 个参数沿扫描线的变化规律(图 2、图 3)。图中所示是 1992 年 5 月 10 日下午 2 点 NOAA AVHRR 数据像元畸变参数沿扫描线的变化规律, 图中值是 6 条扫描线的平均值, 它们的特征值见表 1。从图、表中可见, NOAA AVHRR 像元的畸变是非常显著的, 尤其是沿扫描线方向的畸变更为明显, 扫描线方向的偏移角 A 变化很大, 超过 10° , 且沿扫描线方向呈周期性波动, 这与卫星姿态和辐射仪的动态调整有关。沿扫描线方向像元大小的变化规律呈抛物线形状, 这与地球曲率和扫描角有关。沿卫星运动方向的像元畸变相对较小, 偏移角的波动幅度很小, 在 8° 以内。从扫描开始到结束偏移角略呈增加趋势, 像元大小波动也较小, 在 200m 以内。波动规律与偏移角有延迟相关性。比较两个方向大小畸变特点, 在扫描线两侧的像元卫星运动方向有 2/3 的重叠现象, 同样在扫描线方向, 由于偏移角的较大波动使得像元也有重叠现象, X 的最小值(星下点)是 821m, 与 1.1km 相差 279m, 即重叠 279m。

表 1 像元畸变特征值
Table 1 Signatures of Distorted Pixel

	Y	X	A	B
平均值	1130.1650	1443.2560	20.1438	16.8513
均方差	31.7982	790.8633	1.8634	1.5795
最小值	1062	821	15.2950	12.6083
最大值	1204	4156	25.3783	20.2050

3.2 1B 格式定位数据质量评价

1B 格式定位数据是根据轨道预报得到的。很明显, 由于受轨道预报精度的影响, 1B 格式定位数据的绝对值是不精确的。但像元畸变校正的目的是将像元代表的地面实际区域表达出来, 因而它所需要的定位数据并不要求绝对的精确坐标, 而只要坐标相对精确。如果后者成立, 则像元代表地面的实际区域不受坐标绝对精确与否的影响, 或者说引起的误差可以忽略不计。1B 格式定位数据质量评价的目的地是评价定位数据相对值是否精确。

NOAA AVHRR 预报是根据实际测得的卫星轨道参数对未来几天的轨道作出预报。

预报结果发送给各卫星接收站,接收站利用预报结果计算出像元的定位数据。因此定位数据的质量是随时间衰减的。即预报后第2天的定位数据质量比第1天的质量要差,如果假设第一天的定位数据是精确的话,则可以通过评价前后两天的定位数据相对值的误差来评价定位数据的质量。广义上讲可以通过评价前后几天的定位数据的相对值误差来评价定位数据的质量。

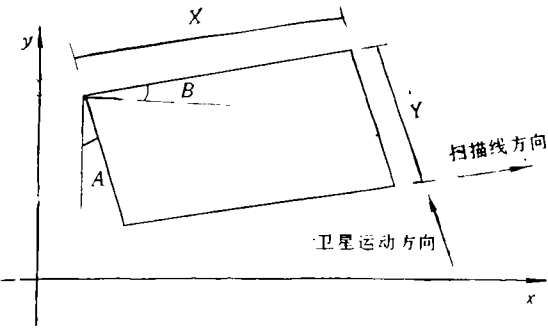


图1 NOAA AVHRR 像元形状
Fig. 1 Shape of NOAA AVHRR pixel

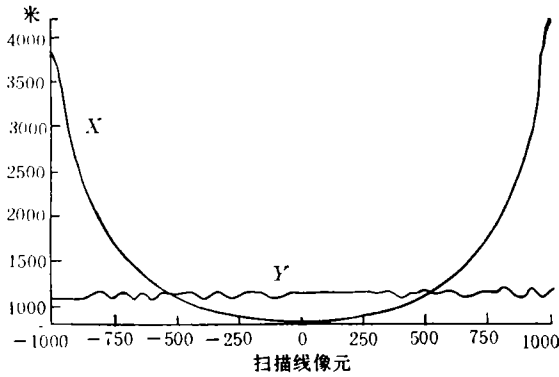


图2 NOAA AVHRR 像元大小沿扫描线的畸变曲线
Fig. 2 Distorted curve of pixel size along scan line

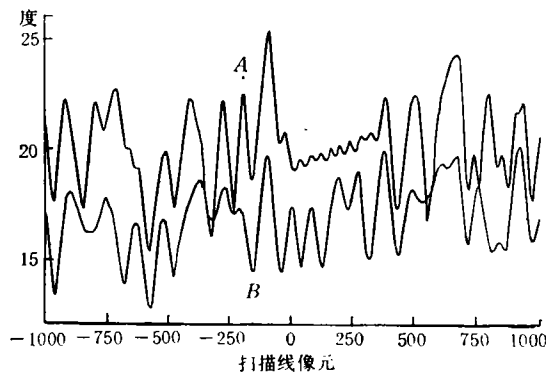


图3 NOAA AVHRR 像元偏移角沿扫描线的畸变曲线
Fig. 3 Distorted curve of pixel shape along scan line

现利用1992年度5个时相的 NOAA AVHRR 数据评价定位数据的质量,5个时相

表 2 扫描线边缘相邻定位数据的经度

Table 2 Longitude value quality at edge of scan line

扫描线	130	131	147	202	212	130131	130147	130202	130212	147202	202212
394	1.3985	1.4063	1.3828	1.3984	1.4063	0.0078	0.0157	0.0001	0.0078	0.0156	0.0079
395	1.4063	1.3984	1.3828	1.3984	1.4141	0.0079	0.0235	0.0079	0.0078	0.0156	0.0157
396	1.3984	1.4062	1.3828	1.3984	1.4063	0.0078	0.0156	0	0.0079	0.0156	0.0079
397	1.4062	1.3984	1.3828	1.3984	1.4141	0.0078	0.0234	0.0077	0.0079	0.0157	0.0156
398	1.3984	1.3984	1.3828	1.3985	1.4062	0	0.0156	0.0001	0.0078	0.0157	0.0077
平均值	1.4172	1.4159	1.3972	1.4151	1.4257	0.0027	0.0199	0.0029	0.0086	0.0018	0.0107
均方差	0.0101	0.0100	0.0104	0.0111	0.0109	0.0037	0.0044	0.0038	0.0044	0.0048	0.0041
最小值	1.3984	1.3984	1.3750	1.3906	1.4062	0	0.0078	0	0	0.0077	0.0077
最大值	1.4375	1.4375	1.4141	1.4375	1.4454	0.0079	0.0313	0.0157	0.0157	0.0311	0.0235
中 值	1.4141	1.4141	1.3984	1.4141	1.4219	0	0.0234	0.0001	0.0078	0.0157	0.0079

表 3 扫描线边缘相邻定位数据的纬度

Table 3 Latitude value quality at edge of scan line

扫描线	130	131	147	202	212	130131	130147	130202	130212	147202	202212
4	0.3593	0.3593	0.3516	0.3594	0.3594	0	0.0077	0.0001	0.0001	0.0078	0
395	0.3594	0.3593	0.3515	0.3593	0.3594	0.0001	0.0079	0.0001	0	0.0078	0.0001
396	0.3594	0.3594	0.3593	0.3672	0.3671	0	0.0001	0.0078	0.0077	0.0079	0.0001
397	0.3594	0.3672	0.3594	0.3594	0.3672	0.0078	0	0	0.0078	0	0.0078
398	0.3672	0.3672	0.3516	0.3594	0.3692	0	0.0156	0.0078	0	0.0078	0.0078
平均值	0.3762	0.3757	0.3689	0.3755	0.3794	0.0021	0.0072	0.0026	0.0039	0.0066	0.0041
均方差	0.0090	0.0092	0.0092	0.0094	0.0094	0.0035	0.0049	0.0037	0.0040	0.0045	0.0043
最小值	0.3593	0.3593	0.3515	0.3593	0.3593	0	0	0	0	0	0
最大值	0.3907	0.3907	0.3906	0.3907	0.3985	0.0079	0.0157	0.0079	0.0156	0.0157	0.0157
中 值	0.3750	0.3750	0.3672	0.3750	0.3828	0	0.0078	0	0.0001	0.0078	0.0001

表 4 扫描线中间相邻定位数据的经度

Table 4 Longitude value quality at middle of scan line

扫描线	130	131	147	202	212	130131	130147	130202	130212	147202	202212
400	0.3203	0.3203	0.3203	0.3204	0.3203	0	0	0.0001	0	0.0001	0.0001
401	0.3203	0.3203	0.3203	0.3204	0.3203	0	0	0.0001	0	0.0001	0.0001
402	0.3125	0.3203	0.3125	0.3204	0.3203	0.0078	0	0.0079	0.0078	0.0079	0.0001
403	0.3204	0.3203	0.3203	0.3203	0.3203	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0	0
404	0.3204	0.3203	0.3203	0.3203	0.3203	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0	0
平均值	0.3247	0.3247	0.3221	0.3245	0.3260	0.0031	0.0028	0.0014	0.0035	0.0028	0.0037
均方差	0.0046	0.0044	0.0046	0.0047	0.0048	0.0038	0.0040	0.0030	0.0039	0.0037	0.0039
最小值	0.3125	0.3125	0.3125	0.3125	0.3203	0	0	0	0	0	0
最大值	0.3360	0.3360	0.3282	0.3360	0.3360	0.0079	0.0157	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
中 值	0.3281	0.3281	0.3203	0.3281	0.3281	0.0001	0.0001	0	0.0001	0.0001	0.0001

分别是 1992 年 5 月 10 日(130)、5 月 11 日(131)、5 月 27 日(147)、7 月 21 日(202)、7 月 31 日(212)下午两点左右的数据。表 2、表 3 是扫描线边缘定位数据的质量评价结果, 表 4、

表 5 扫描线中间相邻定位数据的纬度
Table 5 Latitude value quality at middle of scan line

扫描线	130	131	147	202	212	130131	130147	130202	130212	147202	202212
400	0.0469	0.0469	0.0546	0.0547	0.0547	0	0.0077	0.0078	0.0078	0.0001	0
401	0.0469	0.0547	0.0547	0.0469	0.0469	0.0078	0.0078	0	0	0.0078	0
402	0.0547	0.0547	0.0469	0.0469	0.0547	0	0.0078	0.0078	0	0	0.0078
403	0.0547	0.0547	0.0469	0.0547	0.0547	0	0.0078	0	0	0.0078	0
404	0.0468	0.0469	0.0547	0.0547	0.0547	0.0001	0.0079	0.0079	0.0079		0
平均值	0.0526	0.0526	0.0523	0.0527	0.0528	0.0024	0.0036	0.0022	0.0023	0.0027	0.0030
均方差	0.0034	0.0034	0.0036	0.0034	0.0033	0.0036	0.0039	0.0035	0.0035	0.0037	0.0038
最小值	0.0468	0.0468	0.0468	0.0468	0.0468	0	0	0	0	0	0
最大值	0.0547	0.0547	0.0547	0.0547	0.0547	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
中 值	0.0547	0.0547	0.0547	0.0547	0.0547	0.0001	0.0001	0	0	0	0

注: 表 2、表 3 按 398 根, 表 4、表 5 按 404 据扫描线计算统计特征值。

表 5 是扫描线中间定位数据的质量评价结果。表中的前 5 列是相邻两个定位数据的经纬度差, 后 6 列是不同时相经纬度差的差。

从表 2 可以看出, 在扫描线边缘, 相邻两个定位数据的最大经度差是 1.4454° , 最小经度差为 1.3750° , 最大最小值相差 0.0704° , 约 7.04km, 在相邻两个定位数据间, 有 40 个像元, 每个像元的最大与最小间的误差为 176m。在扫描线边缘, 最小的像元大小也大于 3500m, 因此误差仅占像元大小的 5%。同样, 从表 3 可以分析出纬度的最大值与最小值的误差仅占像元大小的 9.8%。

上述误差是从 398 根扫描线中的最大与最小经纬度差分析得到的。如果直接从一一对应的扫描线角度来分析, 则最大的经度差为 0.0313° , 最大纬度差为 0.0157° , 分配到每个像元, 定位数据的相对误差仅占像元大小的 2.24% 和 3.27%。

再看扫描线中间定位数据的质量, 404 根扫描线中经度差的最大最小值的相对差为 0.0156° , 纬度差为 0.0079° , 分配到每个像元后误差仅占像元大小的 3.54% 和 1.79%。同样, 一一对应时, 定位数据的相对误差仅占像元大小的 3.57% 和 1.77%。

从以上分析可见, 数据获得的时相对定位数据的影响不大, 在经度方向的影响仅占像元大小的 3.57%, 纬度方面仅占像元大小的 3.27%, 即相当于 40m(扫描线中间)和 125m(扫描线边缘)的误差。由此可见, 尽管 1B 格式数据中的绝对精度不可信, 但相对精度是可信的, 利用 1B 数据集中的定位数据计算出每个像元所覆盖的地面实际区域的大小所引起的误差可以忽略不计。

3.3 像元定位

AVHRR 数据块中, 每条扫描线有 51 个定位数据, 如果略去扫描线两侧定位点以外的像元, 每条扫描线有 2001 个像元, 根据 51 个定位数据按 3 次样条插值可求得每个像元的经纬度值。

根据每个像元的经纬度值, 按高斯-克吕格投影计算得到每个像元的大地坐标, 设该坐标位于像元的中心点, 然后利用相邻 9 个像元的坐标计算出像元 4 个角点的坐标, 也就

得到了该像元所覆盖的地面实际区域的大小和形状。

3.4 像元畸变校正方法

有了每个像元的大小和形状,就可以进行像元畸变校正。使校正后图像的每个像元有统一的大小和形状(方形)。

设输出图像的区域和像元大小给定,则对待校正图像中的每个像元按给定的像元大小进行分割(图 4),即以待校正像元的左上角为原点,沿偏移角 A、B 方向等步长地分割待校正像元,步长大小等于输出图像的像元大小,分割后的方块也就是输出图像的像元。通过计算每个方块的中心点坐标,确定在输出图像中的位置(行列号),在该位置的像元取待校正像元值。

用这种分割方法会引起待校正像元的右边和下面分割剩下的小块不是一个像元大小,而对相邻像元分割又没有考虑。解决的方法是如果剩下的小块大于半个输出像元,则将其按整个输出像元看待,否则对相邻像元的角点坐标进行更新,即用 a、d 点的坐标更新右边相邻待校正像元的坐标,用 b、c 点坐标更新下边相邻待校正像元的坐标。

由于待校正像元的形状是不规则的四边形,利用每个方块的中心坐标得到的行列号与输出图像的行列号不是一一对应的关系,如图 4 中的方块 1、2 的中心坐标求得的行列号分别是 (100.7,200) 和 (101.49,200)。取舍后得到的行列号是相同的,从而可能引起 (102,200)像元没有值。解决的方法是在对所有像元校正以后,对校正后的图像进行逻辑分析,确定出下列几种情况(图 5),设 A 像元无值。

- (1) 如果 a 类像元中有 3 个以上像元的值相同,则 $A = a$;
- (2) 如果 $a_1 = a_2 = b$

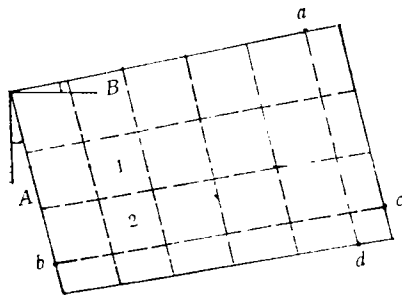
$a_3 \neq a_4$ 则 $A = a_1$;

或 $a_3 = a_4 = e$, 且 $c \neq a_3, a_3 \neq d$, 则 $A = (a_1 + a_2)/2$;

或 $a_3 = a_4 = e = d$ 则 $A = a_3$;

或 $a_3 = a_4 = e = c$ 则 $A = a_3$;

- (3) 如果 $a_1 = b, a_1 \neq a_2$,



b	a_1	c
a_2	A	a_3
d	a_4	e

图 4 像元畸变校正的分割

图 5 校正后的像元逻辑分析

Fig. 4 Distorted correction method

Fig. 5 Logical assign of distorted correction

$$\begin{aligned} a_3 = a_4 = d & \text{ 则 } A = a_3; \\ \text{或 } a_3 = a_4 = c & \text{ 则 } A = a_3; \\ \text{或 } a_3 = a_4 = e & \text{ 则 } A = a_3; \end{aligned}$$

(4) 如果 $a_2 = d$, $a_1 \neq a_2$, $d = a_4 = e$ 则 $A = a_2$ 。

利用上述规则可以消去校正后的无值像元,其中第一条规则可以消去 90% 以上的无值像元。

利用上述方法对 NOAA AVHRR 进行像元畸变校正后的结果如图版 I 图 6 所示。图 6 是江汉洞庭湖平原的 AVHRR 图像,右下角是校正前的图像,左上角是校正后图像,比较校正前后的图像,校正后的长江和洞庭湖与实际相附,且更清晰。

如果将不同时相校正后的图像进行三色合成(图版 I 图 7 的左上角),可以看出,不同时相校正后的图像不能完全复合,这表明 1B 格式中的定位数据的绝对坐标是不精确的,误差可达 18 个像元左右,相当于 5.4km 的误差。

4 NOAA AVHRR 数据的精纠正

校正后的 NOAA AVHRR 数据尽管不能进行多时相的复合,但每个像元的形状和大小一致,可以使用常规的多项式方法进行几何纠正。纠正后的图像的多时相复合效果很好(图版 I 图 7 的右下角),从图中可以看出,不同时相的水体完全复合。纠正误差在 1.4—1.8 个像元之间(420m—540m),相当于 NOAA 星下点半个像元。

经像元畸变校正和多项式纠正后的图像能与 1:5 万比例尺的数据相复合。图版 I 图 8 是 NOAA AVHRR 精纠正后与 1:5 万水系数据复合图,从图中可以看出,水系基本上吻合,效果很好。

5 结论

通过以上分析,可以得出下列结论:

1. 气象卫星数据所附带的定位数据时相间的相对误差仅占像元大小的 3.57%, 完全可以用来为几何精纠正服务,且能达到理想的效果。
2. 实现几何精纠正要分两步,第一步是像元畸变校正,第二步是传统的几何纠正方法。纠正后图像的多时相复合效果很好,且能与数据库中的数据复合。两步精纠正的误差少于 550m,即半个像元级。
3. 开发出来的像元畸变校正程序可以向作者复制。
4. NOAA AVHRR 数据的定位数据如能用 TBUB 数据进行更新,畸变校正效果更佳,作者未进行实验,预计无需进行第二步的多项式几何纠正。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭,赵英时. 遥感地学分析. 北京: 测绘出版社,1990,54—75.
- [2] Moreno, Jose F. and Joaquin Mekia. A Method for Accurate Geometric Correction of NOAA AVHRR HRPT Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1993, 1(1), 204—226.

A Simplified Method of Accurate Geometric Correction for NOAA AVHRR 1B Data

Wu Bingfang

(LREIS, Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)

Abstract There are different methods for geometric correction of NOAA AVHRR data, but these methods pay less attention to the accuracy, or are technical complex, almost unsuitable for most users. When combining AVHRR data with other high resolution satellite data, or with precise ancillary data, it is necessary to develop an accurate geometric correction method, which should be easy to use for non-professional users.

After analyzing the pixel shape and size of AVHRR data along scan line and evaluating the quality of geographic data within NOAA AVHRR 1B data set, it is clear that the geographic data have a very high accuracy for identifying the pixel size and shape.

The proposed method has two steps. The first step is the correction of distorted pixel. The separate program performs the distortion correction, applying the geographic data of AVHRR 1B data set to assign the value of each pixel of the desired output geographical area with given pixel size, and doing logical judgment for unassigned pixels. The second step is the conventional polynomial transformation.

An application of this method is presented, in which AVHRR data are integrated over multi-temporal data and 1:50,000 river map with half-pixel accuracy.

Key words Geometric Correction, NOAA AVHRR 1B Dataset, Distorted Pixel correction