

我国陆地卫星地面站与美国 NOAA 的大地校正 TM 图像产品的精度比较

王新民 邵贝恩 戴自忻 盛志昂

(中国科学院空间科学技术中心)

1986年5月29日收稿

一、前言

我国的陆地卫星地面站能接收和处理美国陆地卫星4号、5号所收集的 TM (以及 MSS) 图像数据,生产经过系统校正和大地校正的图像产品,以计算机兼容磁带或者照像胶片的形式提供给用户。地面站系统的硬件和软件由美国 SASC 公司总承包提供。当在美国进行处理系统的预验收时,为了鉴定图像产品的精度,我们对地面站和美国 NOAA 两个系统所生产的 TM 大地校正图像,以美国 1:2.4 万地形图为基准,进行了精度(图像内部几何精度及大地坐标精度)的比较测试。所使用的数据来自美国华盛顿地区,同时由两个系统的天线接收,使用相同的地面控制点数据库,分别经几何精度校正产生大地校正图像产品。本文简要地介绍两个系统处理算法上的异同,比较测试的方法,以及测试的结果。

二、两个系统在处理算法上的异同

一般而言,地面站和 NOAA 这两个系统采用大致相同的方法对 TM 图像数据进行几何校正。校正方法可简述如下:

• 系统校正

- a. 根据星历数据计算混合坐标系中的 4×8 基准点矩阵(假定无姿态偏差)。
- b. 根据姿态数据 (ADSA 和 DRIRU 数据) 及镜扫描校正数据,分别建立沿扫描方向和横扫描(沿轨道)方向两个 35×374 的高频矩阵。
- c. 对基准点矩阵进行两维插值,同时加入高频矩阵校正值,产生 5984×57 加密基准点矩阵。
- d. 根据加密基准点矩阵进行两维重采样,从输入平面上的原始图像产生输出平面上的几何已校正图象。

• 大地校正

- a. 从地面控制点数据库中选取本景所涉及的一组控制点(库中对每一个控制点有一个小区图像)。

- b. 用小区图像在景中一定范围内搜索匹配,以确定控制点在景内的位置。
- c. 根据配准的控制点的经纬度,按照特定的数学模型校正卫星轨道参数。
- d. 重新进行原始图像分幅和计算基准点矩阵。
- e. 继续进行上面所述系统校正中的步骤 b、c 和 d,得到的输出结果即是按大地坐标校正过的图像。

在系统校正算法上,地面站和 NOAA 两个系统在重采样时对扫描间隙的处理方法上有所不同。NOAA 系统的算法是,在扫描间隙处用通常的三次样条函数插值产生若干扩展行,然后再做三次卷积重采样。地面站系统的算法是在扫描带内部采用三次卷积重采样,间隙处采用特定的三次样条函数进行插值,无需做行扩展^[1,2]。在间隙距与扫描行距相等时,这种三次样条函数插值自动转化成三次卷积插值。从理论上讲,地面站系统所使用的三次样条函数插值计算具有最小的重采样内插误差^[2],有可能得到较好的结果。

在大地校正(几何精校正)算法上,地面站系统采用刚性平移模型(据分析,NOAA 系统采用的模型中考虑变形影响)。该算法假设,卫星姿态误差和镜扫描偏差等因素造成的景内几何变形已进入高频矩阵(沿扫描方向高频矩阵和横扫描方向高频矩阵)中。而卫星传送下来的星历数据(卫星位置向量和速度向量)、时间的偏差、以及残存的姿态误差只引进整景图像沿扫描和沿轨道两个方向的偏移。这种位置偏移可利用地面控制点的大地坐标信息加以校正。校正的基本依据可简述如下。

在圆轨道情况下,星历数据(由星上计算机计算)由下列公式给出:

卫星位置向量 \mathbf{P} (ECI 坐标)

$$P(1) = R(\cos \omega \cos \alpha - \sin \omega \sin \alpha \cos i)$$

$$P(2) = R(\cos \omega \sin \alpha + \sin \omega \cos \alpha \cos i)$$

$$P(3) = R \sin \omega \sin i$$

卫星速度向量 \mathbf{V}

$$V(1) = \dot{\omega} R(-\sin \omega \cos \alpha - \cos \omega \sin \alpha \cos i)$$

$$V(2) = \dot{\omega} R(-\sin \omega \sin \alpha + \cos \omega \cos \alpha \cos i)$$

$$V(3) = \dot{\omega} R \cos \omega \sin i$$

其中: α 为升交点赤经, i 为轨道平面倾角, ω 为 $(T - T_0)\dot{\omega}$, $\dot{\omega}$ 为卫星绕地球旋转角速度, T 为 \mathbf{P} 、 \mathbf{V} 所对应的时间, T_0 为升交点时间, R 为轨道半径。

在一景范围内,上式中的 R 和 $\dot{\omega}$ 可以视为常数。 T 为卫星时间 (UTC)。M. L. Labovitz 和 J. W. Marvin 的研究成果 (SASC 公司,未发表稿)表明,在中纬度地区, α 或 i 两个参数的小量变化可以认为只引起卫星轨道的横向平移, T_0 的变化引起 T 时刻卫星在轨道上位置的前后变化。因此,卫星图像沿扫描方向的平移可以用升交点赤经 α 或者轨道平面倾角 i 的变化来描述。而卫星图像横扫描方向(沿轨道方向)的平移可以用升交点时间 T_0 的变化来描述。

地面站系统的大地校正软件利用正确匹配的地面控制点的大地坐标校正轨道升交点赤经 α 和升交点时间 T_0 两项参数,用以重新计算该景图像所对应的大地位置。实际测试表明,这种算法用于 TM 图像数据的大地校正,可以获得相当好的效果。

三、比较所用的数据及方法

为进行比较，我们选用了地面站与 NOAA 两系统同一天（1985 年 10 月 1 日）接收的同一景（Path 15. Row 33，华盛顿及周围地区）进行测试。NOAA 数据由 GSFC 接收，TIPS 系统处理。地面站的数据由当时尚在美国亚特兰大天线制造厂商 SA 公司处的地面站天线接收，由地面站的 PAF 系统处理。两个系统都使用 TIPS 系统中的地面控制点数据库，对 TM 数据进行大地校正。我们采用美国 USGS 出版的 1:2.4 万地形图作为产品精度比较的客观标准。比较测试的过程可简述如下：

(1) 选取一组在三者(地面站与 NOAA 精处理产品景、地形图)中均特征明显、易于定位的测验点。测验点应尽可能多、且尽可能均匀地分布在景中。

(2) 分别对地面站和 NOAA 景确定每一个测验点在景中的位置 (Line, Pixel)。使用现有工具,定位精度可达到 1/2 像元以内。

(3) 把测验点在景中的位置坐标转换成大地经纬度坐标。

(4) 使用数字化仪读入 1:2.4 万地形图四个角及测验点在数字化仪平台上的位置坐标。

(5) 输入地图四角的经纬度数据,建立从平台位置坐标到大地经纬度的变换关系,从而计算出测验点在地图上的经纬度。

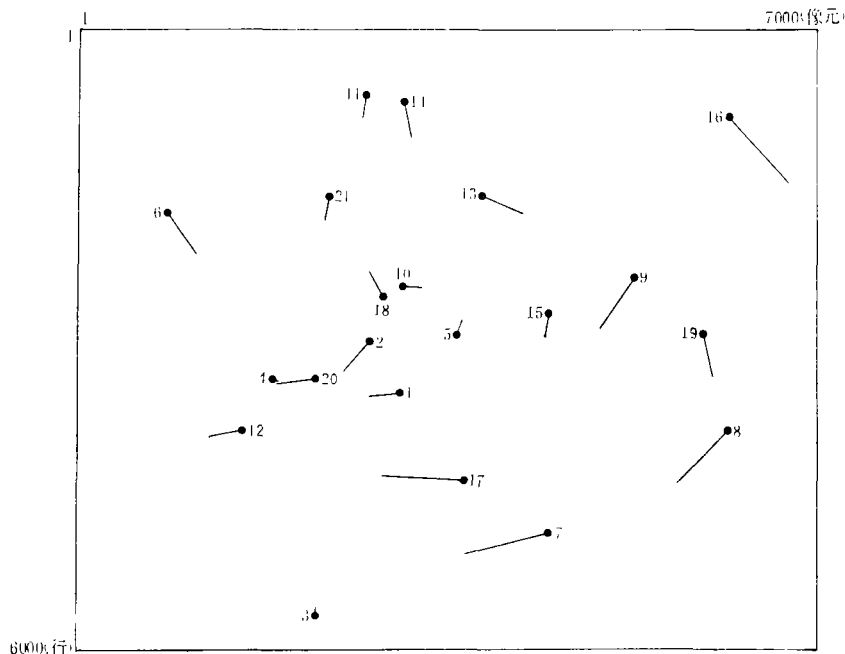


图 1 地面站-地形图点偏离示意图

Fig. 1 Error vectors for checkpoints (PRC scene)

(6) 对地面站和 NOAA 景中的每一个测验点分别计算在经度和纬度两个方向上与地图上相应点相比的偏差。

(7) 对每两个测验点, 计算在地面站产品景、NOAA 产品景、及地图中的距离(线段长度), 再对地面站和 NOAA 景中的每一线段分别计算与地图上相应线段相比的偏差。

实际测试中, 我们在华盛顿景中选取了 21 个特征明显的测验点。测验点在景中的分布情况可以从图 1 和图 2 黑点分布中看出。

四、比较测试的结果

表 1 列出两种图像产品测验点与地图测验点之间偏差距离的比较结果。地面站和 NOAA 产品景的均方根点偏差分别为 28.37m 和 29.63m。

图 1 和图 2 分别表示地面站产品中和 NOAA 产品中测验点对地面真实点的偏移情况。图中黑点为地形图测验点应在的位置。线段表示产品中测验点偏离实际位置的距离(放大)。

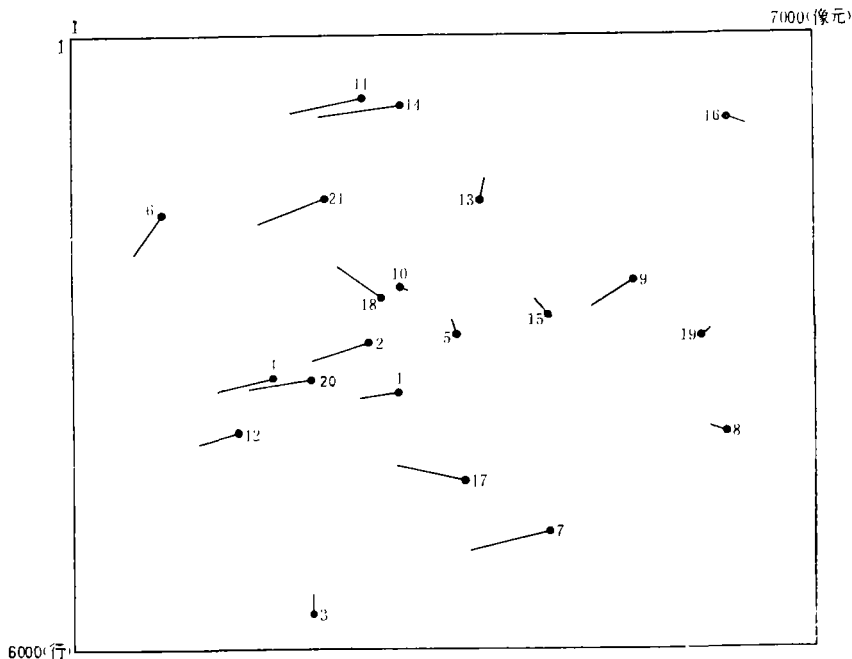


图 2 NOAA-地形图点偏离示意图

Fig. 2 Error vectors for checkpoints (NOAA scene)

表 2 列出两种图像产品各自测验点之间线段长度和地图上相应点之间线段长度的差

值比较(仅列出部分数据)。地面站和 NOAA 产品这种差值的均方根数值分别为 25.80m 和 23.13m。

表 1 PRC 景、NOAA 景、地形图 (TOPO) 三者点-点比较结果
Table 1 Distances between corresponding check points in PRC scene,
NOAA scene and topographic map

偏差 (m) 测验点号	比较对象		PRC—TOPO		NOAA—TOPO		PRC—NOAA	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	-17.86	2.78	-23.81	3.63	5.96	-0.85		
2	-16.96	16.10	-23.57	11.85	6.61	4.25		
3	0.22	-4.43	-0.45	-10.80	0.67	6.37		
4	0.87	0.64	-32.84	7.01	33.71	-6.37		
5	2.10	-7.83	-3.84	-6.98	5.95	-0.85		
6	16.90	24.11	-17.26	24.11	34.16	0.00		
7	-52.96	13.50	-47.63	11.80	-5.33	1.70		
8	-18.51	33.07	-7.21	-3.88	-11.29	36.94		
9	-21.57	32.91	-24.21	16.35	2.64	16.56		
10	10.92	0.88	4.98	1.72	5.94	-0.85		
11	-2.22	13.77	-42.83	9.95	40.61	3.82		
12	-19.38	5.57	-24.68	7.27	5.30	-1.70		
13	21.69	8.82	1.30	-10.71	20.39	19.53		
14	4.06	20.34	-49.68	7.18	53.75	13.16		
15	-2.56	14.29	-7.19	-8.65	4.63	22.93		
16	34.72	39.57	11.07	3.47	23.65	36.10		
17	-51.94	-1.94	-41.31	-9.58	-10.63	7.64		
18	-8.46	-16.49	-26.27	-19.04	17.81	2.55		
19	5.51	24.43	6.17	-4.87	-0.66	29.30		
20	-21.90	2.95	-37.77	5.92	15.87	-2.97		
21	-4.45	15.50	-38.62	15.93	34.17	-0.42		
均 值	16.00	14.28	22.51	9.56	16.18	10.23		
点-点偏差均值	24.12		25.77		22.33			
点-点偏差中值	20.46		26.05		17.38			
点-点偏差均方根	28.37		29.63		26.82			

五、结 论

从以上的比较结果可以看出,地面站和 NOAA 所生产的 TM 图像产品的点、线偏差均小于或几乎等于一个 TM 像元的大小 (28.50m)。考虑到测试中由人工目视在图像中定位而引入的误差,结果所表明的图像精度是相当高的。另外,尽管地面站和 NOAA 景互相之间有约一个像元的不同 (26.82 m),统计检验表明,两个系统的产品在地理精度上和内部几何保真度上都没有显著差别。

表 2 PRC 景、NOAA 景、地形图 (TOPO) 三者线段-线段比较结果 (以 m 为单位)

Table 2 Internal check points' distances for PRC scene,
NOAA scene and topographic map

线段索引	PRC 线段长度	NOAA 线段长度	TOPO 线段长度	PRC—TOPO	NOAA—TOPO
1—2	15971.41	15966.86	15959.30	12.11	7.56
1—3	64449.41	64452.72	64452.81	-3.40	-0.09
1—4	35270.66	35298.72	35288.87	-18.21	9.85
1—5	22676.21	22676.21	22665.20	11.04	11.01
1—6	81216.41	81234.92	81224.40	-7.99	10.52
1—7	57036.10	57044.44	57064.35	-28.25	-19.91
1—8	86790.61	86819.60	86801.40	-10.79	18.18
2—3	75240.85	75240.55	75228.57	12.28	11.98
2—4	27987.77	28013.32	28003.59	-15.84	9.73
2—5	24829.92	24830.00	24808.21	21.71	21.79
2—6	66663.04	66686.35	66682.99	-19.95	3.35
2—7	72680.17	72684.05	72696.22	-16.04	-12.17
2—8	97709.91	97740.74	97718.94	-9.03	21.80
3—4	66093.11	66105.49	66088.00	5.10	17.49
3—5	85502.65	85504.99	85504.04	-1.39	0.95
3—6	116450.75	116463.08	116425.86	24.89	37.23
3—7	66166.23	66172.72	66217.39	-51.16	-44.67
3—8	119284.29	119289.66	119294.59	-10.29	-4.92
4—5	52453.70	52481.36	52452.47	1.23	28.89
4—6	53038.28	53032.73	53023.65	14.63	9.08
4—7	87708.63	87742.98	87756.97	-48.34	-13.99
4—8	122062.18	122119.21	122091.19	-29.01	28.01
5—6	87931.61	87954.93	87927.10	4.50	27.83
5—7	61022.52	61027.27	61054.32	-31.80	-27.05
5—8	74834.71	74869.92	74874.29	-39.57	-4.37
6—7	137863.39	137889.55	137899.10	-35.71	-9.55
6—8	162769.00	162827.63	162804.19	-35.19	23.43
7—8	54105.92	54099.36	54066.83	39.09	32.52
均 值				20.27	18.64
均方根				25.80	23.13

参 考 文 献

- [1] D. Fischel, "Validation of the Thematic Mapper Radiometric and Geometric Correction Algorithms" in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-22, No. 3, May 1984.
- [2] 王新民, 陆地卫星主题测绘仪数据的重新采样, 中国空间科学技术, (1), 1986年.

AN ACCURACY COMPARISON BETWEEN THE GEODETICALLY CORRECTED TM IMAGES PRODUCED BY OUR LANDSAT GROUND STATION AND U. S. NOAA

Wang Xinmin, Shao Beien, Dai Zixin, Sheng Zhiang

(Space Science and Technology Center of CAS)

Abstract

Our Landsat Ground Station can receive, process TM (as well as MSS) image data from the Landsat 4 and 5 (U. S. A.), and produce systematically and geodetically corrected imagery.

In order to certificate accuracy of its image products, an accuracy comparison has been conducted between geodetically corrected TM images produced by our ground station and U. S. NOAA based on 1:24000 topographic maps. In this paper the differing as well as common aspects of processing algorithms used in these two systems are highlighted and the general approaches for accuracy comparison of their products are illustrated. The comparison results show that the geodetic accuracy and internal geometric fidelity for both products are about the same.