

陆地卫星五号 TM 图像系统纠正 产品的几何精度分析

王新民 章蕾

(中国科学院遥感卫星地面站)

1988 年 4 月 12 日收稿

摘 要

为了鉴定陆地卫星五号系统纠正 TM 图像产品的精度,我们以 1:5 万地形图为准,对四景 TM 图像作了精度分析。结果表明,系统纠正后的 TM 图像产品,内部几何精度相当好,有较小的旋转、比例误差。采用一阶多项式即可建立 TM 图像和地形图之间的几何关系,其误差为 1 个像元左右。TM 图像的大地绝对误差,可通过将整个 TM 图像沿 x , y 方向平移的方法来加以校正。

关键词 TM 图像 系统纠正 内部几何精度 大地绝对误差

一、引 言

陆地卫星五号提供的图像数据,比早期陆地卫星有较好的内部几何精度。一般来说,经过系统纠正后, TM 图像的绝大多数误差可得到纠正。R. Welch^[1,2] 等确定的系统纠正后的 TM 图像,内部几何精度在一个像元以内。Brooks^[3] 等确定的 TM 图像多时相配准和与地形图的配准误差,分别在 ± 0.3 和 ± 0.5 个像元以内。N. A. Bryant^[4] 等确定的 TM 图像系统纠正后其与地形图的配准误差的均方值在 27.27 和 30.57 米之间。本文作者对经过大地校正的我国陆地卫星地面站 TM 图像产品进行的精度分析结果表明,经过几何精纠正的 TM 图像产品,其内部几何误差和大地坐标误差均小于或几乎等于一个像元^[5]。由于在进行几何精纠正时,需建立足够多的高精度的控制点数据库,并用较多的机时来进行处理,十分不便。为此,我们对只经过系统纠正的 TM 图像产品与经过几何精纠正的 TM 图像产品进行了分析比较,发现二者的内部精度相差很小。这说明只经过系统纠正的 TM 图像产品的内部几何精度是相当好的,足以满足镶嵌、配准和分类等一般应用的精度要求,而几何精纠正的处理也可通过将系统纠正后的 TM 图像经刚性平移来实现。

二、精度分析所用的数据和方法

为了排除由于地形变化所引进的误差,我们选取了理想情形的平原地区——黄河口地区 (P121 R34) 为代表,并以总参测绘局编制的 1:5 万地形图为准,对 1986 年 6 月 5 日,1987 年 4 月 21 日、5 月 7 日和 5 月 23 日该地区的四景只经过系统纠正的 TM 图像产品进行了精度分析,以确定陆地卫星仪器、地面站接收仪器和图像处理系统的精度和稳定性。具体过程如下。

(1) 选取 20 多组在 TM4, 3, 2 波段彩色合成图像上和地形图上特征明显并易于定位的测验点: 道路交叉点、细的水渠交叉点、水库角、桥、堤和油田井台等, 测验点应尽可能地均匀分布在整景中。

(2) 利用数字化仪读入 1:5 万地形图四个角及测验点在数字化仪平台上的位置坐标。输入地形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几何变换关系, 计算出测验点在地形图上的经纬度。

(3) 由 TM 图像的 HAAT 数据文件, 将测验点在地形图上的经纬度转换成在图像显示坐标系统中的行、列像元数。

(4) 采用 I²S 公司 M-575 图像处理系统, 确定 TM 图像每一相应测验点在图像显示坐标系统中的行、列像元数。

(5) 分别比较 TM 图像上测验点之间和地形图上其相应点之间的所有可能组成的线段长度, 对 TM 图像上的每一线段, 计算其与地形图上相应线段相比的差值(图 1)。以此来衡量 TM 图像产品的内部相对精度。

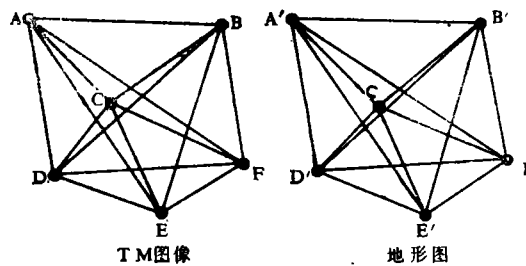


图 1 计算 TM 图像上由测验点组成的每一线段与地形图上相应线段长度的差值
(如 AB 与 $A'B'$ 的差值等)

Fig. 1 The difference of testpoint-pair distances between topographic map and TM image values are determined, for example the difference in AB and $A'B'$

三、精度分析的结果

表 1 列出了四景 TM 图像上的测验点与地形图上相应点之间的绝对误差。其水平方向上误差的均方值分别为 6.61, 2.04, 2.93 和 1.14 个像元, 竖直方向上误差的均方值分别为 5.44, 2.04, 1.29 和 0.83 个像元。这个误差主要是由于 NASA 发送的星历数据引起的。这是因为 NASA 的轨道数据是隔一定时间计算一次, 其它时间的数据是由此外推得来的。因此, 刚经过校正的星历数据误差较小, 而外推计算所得的数据误差则较大。一般来说, 绝对误差在 500 米以内, 均在其误差允许范围内。表 1 列出的四景 TM 图像沿 x 和 y 方向绝对误差的标准偏差数值均比较小。这说明 TM 图像上每一点与地形图上点的绝对误差均比较一致。由此可看出, TM 图像经过系统纠正后, 其误差主要是位移误差。

表 2 列出了四景 TM 图像上的测验点之间线段长度和地形图上相应点之间线段长度差值的部分数据, 其线-线差值的均方值分别为 1.02, 1.17, 1.01 和 1.03 个像元, 这个结果与经过几何精纠正的 TM 图像产品的线-线差值的均方值 0.905 个像元非常接近^[9]。

表 1 TM 图像上测验点与地形图上相应点的绝对误差
Table 1 Distances Between Corresponding Test Points in TM Image and Topographic Map

测验点号	日期	1986年6月5日		1987年4月21日		1987年5月7日		1987年5月23日	
		x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向	x 方向	y 方向
1		5.37	6.88	-0.54	2.04	3.91	1.24	0.37	1.88
2		6.31	6.74	-1.16	2.72	3.46	2.04	0.06	0.89
3		7.30	5.17	-0.97	2.99	2.84	1.72	1.31	1.74
4		6.03	5.99	-1.66	2.77	3.00	0.90	1.34	-0.23
5		5.34	5.77	-1.83	3.07	4.30	1.17	1.25	0.04
6		7.25	5.04	-2.92	1.87	2.03	1.99	1.17	0.07
7		6.74	4.26	-3.08	2.98	2.34	1.77	0.08	-0.13
8		6.72	6.59	-2.17	1.76	3.25	1.04	0.92	0.98
9		7.22	5.06	-2.08	1.90	2.19	1.95	0.83	-0.24
10		7.45	5.14	-2.34	0.38	3.17	1.07	0.92	-0.10
11		6.21	5.41	-2.71	0.47	2.08	1.87	-0.53	-0.01
12		6.18	4.52	-1.81	2.84	2.92	0.98	1.29	-0.53
13		6.98	4.79	-0.57	1.31	2.83	0.76	0.19	0.84
14		6.79	5.83	-1.72	1.38	2.92	0.90	2.43	-0.69
15		6.50	3.78	-2.29	0.92	3.66	0.38	1.28	-0.62
16		6.98	4.29	-2.30	1.73	1.47	0.99	1.71	-0.08
17		6.16	5.59	-1.16	1.38	3.29	0.47	0.70	-1.27
18		5.89	6.41	-0.75	1.09	2.19	1.84	0.25	-0.91
19		7.66	5.65	-3.39	1.87	1.61	1.87	1.61	-0.56
20		6.24	4.85			3.28	0.38		
21		6.04	6.18			2.71	0.92		
22		6.32	5.25			2.70	0.73		
23		7.61	4.44			2.84	0.38		
24						3.25	1.09		
均值		6.58	5.37	-1.87	1.87	2.84	1.19	0.90	0.06
标准偏差		0.65	0.83	0.82	0.83	0.68	0.56	0.69	0.83
均方差		6.61	5.44	2.04	2.04	2.93	1.30	1.14	0.83

四、只经过系统纠正的 TM 图像与地形图的配准

由上述精度分析结果可知, 只经过系统纠正的 TM 图像内部几何精度是相当好的, 因此我们试图用系统纠正后的 TM 图像直接与地形图进行配准。首先采用多项式拟合的方法, 选取四阶多项式建立 TM 图像和地形图上相应点之间的几何变换关系, 其通式为:

$$\begin{cases} F_x = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_{15}y^4 \\ F_y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots + b_{15}y^4 \end{cases} \quad (1)$$

其中 x, y 表示 TM 图像上的点在图像显示坐标系统中的行、列像元数, F_x, F_y 是地形图上的点换算到图像显示坐标系统上的行、列像元数。我们选用了表 1 所列出的约 20 个

表 2 TM 图像上测验点之间线段长度与地形图上相应点之间线段长度误差
 Table 2 Proportion of Data on Difference of Testpoint-pair Distances
 Between TM Image and Topographic Map

误差 (像元)	景号和 日期	P121R34	P 121 R 34	P 121 R 34	P 121 R 34
		1986年6月5日	1987年5月23日	1987年5月7日	1987年4月21日
1-2		-0.68	-0.29	-0.35	-0.73
1-3		-0.26	-0.68	-1.08	0.94
1-4		0.44	0.23	0.19	0.90
1-5		-0.39	-0.61	-0.05	1.53
1-6		0.12	-1.74	-0.96	0.35
1-7		-2.72	-1.81	-0.94	2.09
1-8		0.18	-0.93	-0.54	0.32
2-3		1.43	-0.77	-0.56	-0.08
2-4		-0.14	0.45	-0.02	0.43
2-5		-0.98	-0.17	-1.10	0.71
2-6		0.12	-1.04	1.07	0.40
2-7		-2.43	-0.98	-0.09	1.49
2-8		0.12	-0.17	-0.97	-0.20
3-4		-1.33	0.01	-0.41	-0.71
3-5		-1.83	-0.78	-1.56	0.39
3-6		-0.12	-1.64	0.85	-1.35
3-7		-0.79	-2.11	0.43	0.86
3-8		1.20	-0.81	-0.79	-0.93
4-5		-0.71	0.27	1.06	0.34
4-6		-0.41	0.34	-1.22	-0.55
4-7		-1.86	0.41	-0.71	1.00
4-8		0.47	1.22	0.28	-0.71
5-6		-0.79	0.08	-2.33	-0.25
5-7		-2.06	0.64	-1.83	0.72
5-8		0.04	0.86	-0.88	-1.35
6-7		0.00	-0.80	0.16	0.81
6-8		1.35	0.86	-0.41	-0.48
7-8		-1.17	0.02	-0.76	0.20
均值		-0.43	-0.25	-0.32	-0.22
标准偏差		0.93	0.99	0.96	1.15
均方差		1.02	1.03	1.01	1.17

测验点作为变换用的控制点,采用最小二乘法拟合上述四阶多项式,其结果四景 TM 图像上的点与地形图上相应点之间的几何变换关系式分别为:

$$\begin{cases} F_x = 0.9999515x - 6.457141 \\ F_y = 1.000491y - 6.771543 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} F_x = 0.9996231x + 2.739189 \\ F_y = 1.000282y - 2.559761 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} F_x = 1.000130x - 3.128837 \\ F_y = 1.000194y - 1.595095 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} F_x = 0.9997808x - 0.4628547 \\ F_y = 1.000465y - 1.455940 \end{cases} \quad (5)$$

这四个式子均只有 x, y 的一次项和常数项, 而没有 x, y 的高次项。由此也可看出, 系统纠正后的 TM 图像产品内部几乎没有畸变、扭曲和旋转等误差, 而主要是位移误差。四个几何变换式涉及的控制点, 在 x 方向上的拟合误差的均方值分别为 0.4148, 0.5678, 0.4314 和 0.4453 个像元, 在 y 方向上拟合误差的均方值分别为 0.4493, 0.6477, 0.4622 和 0.4693 个像元。

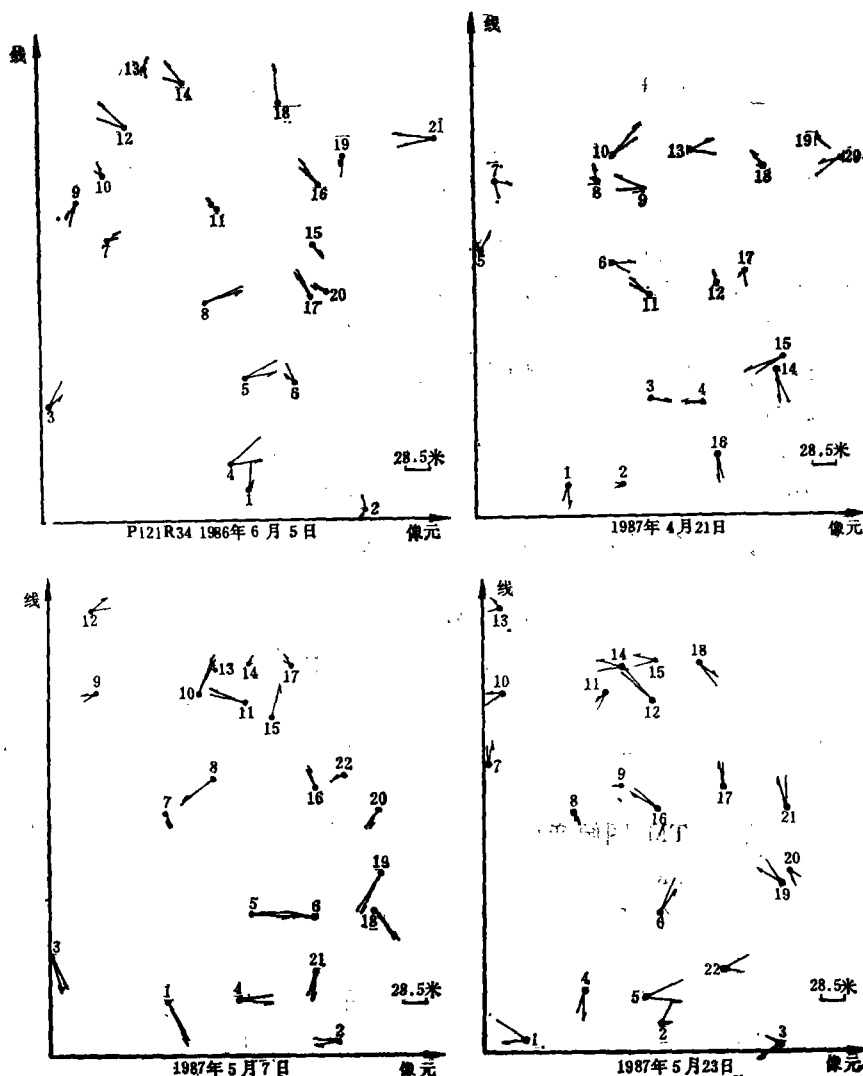


图 2 TM 图像上检验点与地形图绝对误差示意图

Fig. 2 Error vectors for checkpoint between TM image and topographic map

将四景 TM 图像分别按(2)~(5)式进行变换, 在变换后的图像上, 再另选取 20 多个点进行检查, 计算 TM 图像上的检验点与地形图上相应点的绝对误差。图 2 不带箭头的

射线分别表示了四景 TM 图像变换后其检验点与地形图上相应点的绝对误差,其绝对误差的均方值分别为 1.04, 0.94, 1.21 和 1.11 个像元。这个结果与几何精纠正后的 TM 图像产品的绝对误差相差很小^[5]。

由(2)~(5)式可看出,其 x, y 的一次项系数均近似等于 1。前面已提到,四景 TM 图像与地形图绝对误差的标准偏差数值均比较小。因此,在精度允许的情况下,可以设想采用将整个 TM 图像平移的方法,使之与地形图配准。这种方法既简便迅速,又能保证一定的精度。将整个 TM 图像按表 1 所示测验点绝对误差的均值,分别沿 x 和 y 方向平移。这样平移后,四景 TM 图像上的测验点与地形图沿 x 轴与 y 轴方向的绝对误差的均方值,就是表 1 所示的标准偏差。检验点绝对误差如图 2 带箭头的线段所示,其均方值分别为 1.01, 0.99, 1.26 和 1.04 个像元。由图 2 可以看出,多项式拟合法和平移法所得的结果基本上是一致的。

实际上,陆地卫星五号 TM 图像经过系统纠正后,其内部的几何误差很小,以致于用常规的检验方法很难加以确定。由于各种因素的影响,在检验其精度的过程中,又会引进一些新的误差,而这些误差的数量级和 TM 图像本身误差的数量级是相当的。如由 TM 图像分辨率和人工目视定位所引进的测验点的定位误差,还有 1:5 万地形图的制图允许误差等。可以认为经过系统纠正后的 TM 图像产品的内部几何精度是相当高的,完全可以满足制作 1:5 万或更小比例尺地图的精度要求^[6]。但是,由于 TM 图像分辨率的限制,不能很好地反映 1:5 万地形图上所要求的地面细节,因此 TM 图像产品更适合制作 1:10 万的地形图^[7]。TM 图像还可用于对现有地形图进行修测,特别适用于象黄河口这样地形易变化的地区。应当指出,陆地卫星系统校正产品和精处理产品都无法纠正地形起伏所引起的误差。除此之外,两者的精度基本上是相同的。

五、结 论

(1) 只经过系统纠正的 TM 图像产品的内部几何精度是相当好的,其线-线差值的均方值基本上在一个像元左右,与经过几何精纠正的 TM 图像产品的精度没有显著差别。这说明只经过系统纠正的 TM 图像产品基本上可满足镶嵌、配准和分类等一般应用的精度要求。

(2) 系统纠正后的 TM 图像产品,还存在着较大的大地坐标误差。这主要是由于星历数据引起的。但由于 TM 图像内部主要是位移误差,因此这个误差可通过采用一次多项式进行拟合变换或将整个 TM 图像分别沿 x, y 方向平移来加以校正。这两种方法校正后的 TM 图像的绝对误差均方值都在一个像元左右。

(3) 四景不同时相的系统纠正的 TM 图像产品的精度几乎是一样的,从而说明陆地卫星 TM 仪器的性能及我国陆地卫星地面站接收处理系统的稳定性是能满足中比例尺应用精度要求的。

参 考 文 献

- [1] R. Welch, T. R. Jordan and M. Ehlers, Comparative Evaluations of the Geodetic Accuracy and Cartographic Potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Image Data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 1, pp. 1-10, 1988.

- mmetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, No. 9, pp.1249—1262, 1985.
- [2] R. Welch, Cartographic Accuracy of Landsat-4 MSS and TM Image Data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-22, No. 3, pp. 281—287, 1984.
- [3] J. Brooks, A. Jai, T. Keller, E. Kimmer and J. Su, Thematic Mapper Geometric Correction Performance Evaluation, Proc. of 10th International Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, June 12—14, West Lafayette, Indiana, pp.22—28, 1984.
- [4] N. A. Briyant, A. L. Zobrist, R. E. Walker and B. Gokhman, An Analysis of Landsat Thematic Mapper P-Product Internal Geometry and Conformity to Earth Surface Geometry, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, No. 9, pp.1435—1447.
- [5] 王新民、邵贝恩、戴自忻和盛志昂, 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, 环境遥感, 2(1), 1987。
- [6] Alden P. Colvocoresses, Image Mapping with the Thematic Mapper, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, No. 9, pp.1449—1505, 1986.
- [7] U. S. Geological Survey Image Maps of 1:100,000 Scale from Thematic Mapper Data, Dyerburg, Tennessee(1983), Washington, D. C. (1984), Great Salt Lake and Vicinity (1985).

Analysis of Geometric Fidelity of Systematically Corrected Landsat-5 TM Image Data

Wang Xinmin Zhang Lei

(Remote Sensing Satellite Ground Station, Academia Sinica)

Abstract

In order to certificate the accuracy of Landsat-5 systematically corrected TM image data, an accuracy analysis of four scenes has been conducted based on 1: 50 000 topographic map. The results show that TM image data has high internal geometric fidelity and negligible rotation and scale differences. Polynomial of first degree has proved sufficient to fit full scene to the topographic map to one pixel accuracy. Geodetic error can be corrected by translating the whole TM image along x and y direction.

Key words TM image systematic correction internal geometric fidelity Geodetic accuracy