

TM 图象数字镶嵌的几何精度分析及镶嵌方法的探讨

冯钟葵 刘建波

(中国科学院遥感卫星地面站 北京 100086)

摘要 本文对 TM 数字镶嵌图象的内部几何精度进行分析后指出, 传统的利用选取控制点建立图象间坐标转换方程, 并利用此方程对图象进行处理, 实施图象镶嵌的方法, 在保证镶嵌图象几何精度方面存在着不足, 用此方法得到的 TM 镶嵌图象的内部几何误差约 8 个象元; 在对传统的图象数字镶嵌方法进行分析的基础上, 笔者总结大量工作的经验并参照前人的作法, 在选定的地图投影下利用旋转方法对 TM 图象进行处理, 进而完成镶嵌工作。这种方法舍去了控制点选取的繁复过程, 使镶嵌工作变得简单, 同时可保证 TM 镶嵌图象的几何畸变很小, 经检测, 镶嵌后的 TM 图象内部几何误差小于 2 个象元。

关键词 TM, 镶嵌, 几何精度。

1 引言

传统的图象数字镶嵌技术采用在相邻图象的重叠区内选择多个控制点, 使两景图象在该部分配准, 并利用这种配准关系对其中的一景图象进行几何重定位和重采样, 随后经色调匹配和拼接线划定, 最终完成图象镶嵌。上述方法已为人们所熟知, 而且是最常用的方法。然而在上述过程中忽略了一个问题, 即几何失真。据笔者测算, 用传统方法得到两景 TM 镶嵌图象, 其内部几何误差达 8 个象元之多(尽管在重叠区内图象配准良好), 已远低于图象原来的几何精度。对于 TM 图象而言, 系统校正产品一个象元的内部几何精度可以满足大多数的地学应用的要求。因此, 如果我们以此为前提进行讨论, 可以认为镶嵌后 TM 图象的内部几何精度的下降, 将对后续的应用工作产生不利影响。另外, 遥感应用的进一步发展和图象分析处理技术的提高, 使得保证遥感图象的几何精度在处理过程中的稳定, 日益显得十分重要。

本文将以 TM 图象为例, 分析图象数字镶嵌的几何失真问题, 并探讨相应的解决方法, 力求使镶嵌后的 TM 图象不仅具有良好的整体效果, 而且图象的几何精度高、镶嵌速度快, 可以以它为基础进行深入的定量分析。

2 TM 数字镶嵌图象几何误差的分析

由中国科学院遥感卫星地面站提供的 TM 图象系统校正产品具有较好的内部几何精

度,其内部精度约为一个象元^[1]。图象镶嵌工作即以此为基础。

参与镶嵌的 TM 图象,由于其各自的预处理过程是相互独立的,因此,相邻两景图象尽管有部分重叠,但其坐标网格相对于大地坐标系并不一致。为此,在进行实际拼接之前,须对图象进行坐标变换,以使两图象在重叠区内密切吻合。传统方法是在重叠区内选择若干控制点,利用控制点坐标求得坐标变换方程的系数,并以此方程对图象进行处理。例如,图 1 中以图象 A 为参照,则 B 到 A 的坐标变换式可用(1)式表示:

$$\begin{aligned} U &= a_0 + a_1 P + a_2 L \\ V &= b_0 + b_1 P + b_2 L \end{aligned} \quad (1)$$

其中 P, L 和 U, V 分别表示图象 A 和 B 的坐标;
 $a_0 - a_2, b_0 - b_2$ 为变换系数。

根据数理统计理论^[2-4],一组自变量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ 与因变量 y 之间的关系,可用(2)式表示

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_p x_p + \varepsilon \quad (2)$$

其中 $a_0 - a_p$ 为对应的自变量的系数,其值由 X 与 y 的 n 组样本值,根据最小二乘原理求得。 ε 为随

机误差项,其值由方差 $\sigma^2 = \frac{S_E}{n-p-1}$ 表示,其中 S_E 为方程(2)式的剩余平方和,反映了方程所不能描述的、由样本的测量误差引起的 y 与 X 的变化。由此看出,当 ε 或 σ^2 足够小时,可以近似地用方程(2)式描述 y 与 X 的关系,这种近似是以引入一定误差为代价的。

若将(1)式与(2)式对比可以看出,以控制点坐标为样本建立的坐标变换方程(1),在描述两景图象之间的配准关系时将会引入误差,或称为几何失真。下面我们以太空图象为例分析方程(1)所产生的几何畸变。

方程(1)用矩阵可改写为:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P \\ L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

上式中 a_0, b_0 仅对图象的位移产生影响,不会引起几何失真。从图形学的角度考查 a_1, a_2 和 b_1, b_2 的作用^[5],当 $a_2 = b_1 = 0$ 且 $a_1 \neq b_2$ 时,(3)式在 P 和 L 方向上对图象产生比例不等的缩放,即产生失真;而当 $a_2 \neq b_1$ 时,图象发生 P, L 方向上比例不等的剪切,也将引发图象失真;当 $a_1 = b_2, a_2 = -b_1$,且 $a_1^2 + a_2^2 = b_1^2 + b_2^2 = 1$ 时,图象整体产生旋转,旋转角度由 $\sin\theta = a_2$ 确定。因此,矩阵 $\begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix}$ 对图象进行运算的结果是伸缩、剪切和

旋转的总和。应用(1)或(3)式使图象产生几何失真的原因有两个,一是该方程不适应图 1 中图象 A 和 B 之间的位置对应关系,其次是控制点坐标的选取误差对系数 a_1, a_2, b_1, b_2 的影响,使方程对图象在 P, L 方向上产生不等量的作用。由于 TM 图象的内部几何精度较高且稳定,可以认为用(1)或(3)式的线性方程能够在图象原有内部几何精度下

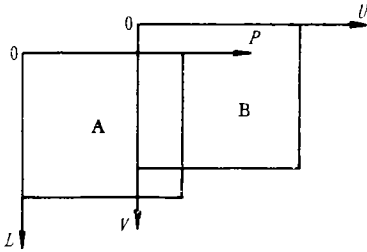


图 1 相邻图象坐标网格示意图

Fig.1 Diagram of adjacent image coordinates

满足图象间坐标对应关系,余下的问题即是控制点的选取误差产生的影响。由于精确地确定两景图象间同名点的坐标十分困难,甚至是不可能的,因此,控制点坐标选取误差对方程系数的不良影响是无法从根本上消除的。从工作实践中得知,两景 TM 图象镶嵌时,方程(1)或(3)中 a_1 、 b_2 近似相等,并趋近于 1,而 a_2 、 b_1 均约等于 0。这表明,方程(1)或(3)对图象 B 的运算除旋转外,还含有 P、L 方向上不同比例的缩放和少量剪切,因而产生了图象畸变。以 a_1 、 b_2 的不等为例作定性分析,当 a_1 与 b_2 的误差绝对值为 0.002 时,在 TM 图象上产生的最大误差约为 14 个象元。

至此,我们对 TM 图象数字镶嵌过程中的几何失真进行了分析,下面将给出测试实例和解决对策。

3 TM 数字镶嵌图象几何精度分析实例

检测图象的内部几何精度,通常是将图象上的线段长度与其实际长度进行比较,而后以其长度差值的均方根值表示图象的内部几何精度,即

$$e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\Delta S_i)^2} \quad (4)$$

其中 $\Delta S_i = S_{mi} - S_{ri}$, $i = 1, 2, \dots, n$, S_{mi} 为第 i 条线段在图象上的计算长度, S_{ri} 为其实际长度, n 为线段总数。

我们以 123 / 34(1992 年 5 月 2 日)TM 图象为参照,对 122 / 34(1993 年 6 月 15 日)的 TM 图象按方程(1)进行处理,控制点及方程参数见表 1。在处理前后的 122 / 34 图象上均匀选取 26 对测试点,共形成 325 对线段,按公式(4)进行计算。结果表明,处理后图象相对于处理前图象的几何误差 6.64 象元,且当线段较长并呈东西方向时,误差较

表 1 控制点及坐标变换方程系数表

Table 1 Control point coordinates and parameters of transformation function

编 号	图象 A		图象 B		残差	
	行	列	行	列	行	列
1	2864.0	5806.5	3716.5	869.0	0.457	-0.283
2	3754.0	5367.0	4601.0	443.5	-0.883	-0.069
3	4893.0	6425.5	5758.5	1482.0	-0.235	-0.797
4	586.0	5679.5	1434.5	805.5	0.415	-0.685
5	1901.5	6176.5	2761.5	1279.0	-0.458	0.828
6	4490.5	5321.0	5336.0	386.0	0.425	-0.005
7	3625.5	6283.0	4486.5	1359.0	0.779	-0.019
系 数	$a_0 = -4850.1923$ $b_0 = 750.6751$	$a_1 = 0.99730703$ $b_1 = 0.01721321$	$a_2 = -0.01569614$ $b_2 = 1.00081472$			

表2 处理后图象几何精度检测数据简表
Table 2 Brief table of geometric accuracy assessing

点编号	运算前		运算后		
	行	列	行	列	
1	688.50	789.75	794.00	802.75	
3	573.25	2727.75	645.00	2743.50	
6	702.00	6156.00	711.5	6484.25	
11	5352.00	796.00	5454.00	883.00	
15	5138.00	6057.00	5148.75	6154.50	
线段编号	Sr (pixel)		Sm(pixel)		e(pixel)
1 — 3	1941.42		1946.46		5.04
1 — 6	5666.27		5682.10		15.83
1 — 15	6895.07		6899.64		4.57
6 — 11	7325.17		7339.30		14.13
6 — 15	4453.91		4449.49		-4.42
11 — 15	5265.35		5280.33		14.98

表3 镶嵌图象几何精度检测点坐标数据(m)
Table 3 Geometric accuracy assessing data of mosaicked image

编号	旋转法镶嵌图象		选控制点法镶嵌图象		地形图	
	北	东	北	东	北	东
1	4080505	430572	4081267	430575	4081800	430549
2	4119506	519216	4120298	519443	4120725	519244
3	4173611	578594	4174374	478951	4174840	578589
4	4214344	462337	4215012	462349	4215550	462349
5	4213957	457263	4214640	547546	4215125	547259
6	4228262	385776	4229004	385776	4229475	385799
7	4205869	343150	4206623	343150	4207090	343119
8	4165481	312187	4166218	312252	4166700	312199
9	4130214	391546	4130966	391554	4131440	391574
10	4094515	344338	4095248	344340	4095725	344349
内部精度	38.43		183.57			

大, 其最大值为 15.83 象元, 检测点数据见表 2。另外, 我们以 1:5 万地形图为准, 在镶嵌好的图象上选取了 10 个测试点, 同样以(4)式进行计算。结果表明, 以传统方法镶

嵌的两景 TM 图象的内部几何误差为 183.6m, 相当于 6.44 象元, 测试数据见表 3。此外, 对珠江三角洲地区的两景 TM 图象进行了同样的测试, 处理后图象相对于处理前图象的几何误差近 8 个象元。

4 TM 图象数字镶嵌方法的讨论

基于以上考虑, 笔者在工作中逐渐积累了一些经验及一套行之有效的解决办法, 使镶嵌的 TM 图象的几何精度不致有很大损失, 同时使 TM 图象的数字镶嵌变得更加简便。

4.1 选择适当的地图投影

中国科学院遥感卫星地面站提供的 TM 图象常规产品以高斯—克吕格投影为基本投影方式, 该投影以 6° 经度划分投影带, 相邻的两个投影带的地图坐标关系是不一致的。因此, 当欲镶嵌的 TM 图象处于同一投影带时, 问题较简单; 若欲镶嵌的 TM 图象恰好分别处于两个投影带时, 两景图象间的坐标变换关系已非方程(1)所能描述, 硬性套用该式必然带来几何畸变。为此, 笔者采用的做法是选用其它投影方式, (如圆锥投影), 对 TM 原始数据进行预处理; 或用同一高斯投影带参数对两景图象做预处理, 之后再行镶嵌工作。当然, 也可以采用投影变换方法, 将欲镶嵌的 TM 图象的投影关系统一起来, 而后进行镶嵌工作。

4.2 充分利用 CCT 带头文件

地面站提供的 TM 数字产品以 CCT 向用户提供。磁带上除记录图象数据外, 还记录图象的接收日期、景号、处理时采用的地图投影及基本参数、景中心的大地测量坐标和图象的定向参数(ORIENTATION, 指图象纵坐标轴与地图纵轴的夹角, 以度为单位, 精度可到三位小数)等, 这些信息均存于带头文件中, 用户可方便地读出参考。工作时, 读各景的带头文件, 记下每景的定向角。

4.3 利用旋转法实现两景图象的坐标变换

将图象进行旋转运算如下:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P \\ L \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

将此式与(1)式或(3)式比较可发现, 式中 $a_1 = b_2 = \cos\theta$, $|a_2| = |b_1| = \sin\theta$, θ 是旋转角度。根据前文的讨论, 此时图象运算的结果仅有旋转而没有缩放和剪切, 或者说在 P 、 L 方向上缩放比例相等, 剪切量相等且与旋转方向一致。另外, 从物理学的角度看, (5)式的作用相当于把图象作为一个刚体旋转了 θ 角, 而不改变其内部象元的相对位置; 而(1)式除旋转外还使图象内部产生位置变化。(5)式与(1)式的差异表现了坐标变换过程中不同的物理含义。考虑到 TM 图象的内部几何精度较稳定, 对图象进行整体旋转并不破

坏原有的内部几何精度, 同时又不影响图象在重叠区的配准。

旋转法在前人的文献中有过介绍^[6], 但其中把镶嵌与几何精纠正合在一起讨论, 且仍以(1)式为基础, 利用控制点建立方程。我们的作法是, 不用控制点而直接从两景图象的带头文件中读出图象定向参数(该参数的精度在一景图象内引起的误差小于 0.2 象元), 而后采用(5)式分别将两景图象进行旋转, 使图象纵轴与地图纵轴平行; 或利用两景图象定向角的差值, 将一景图象旋转至另一景的定向角上。

应用以上方法, 我们对 123 / 34 和 122 / 34 两景 TM 图象进行了实际镶嵌操作, 并进行几何精度检测。结果表明, 采用旋转法得到的两景镶嵌图象的内部几何误差为 38.43m, 约 1.3 象元, 测试数据见表 3。

我们还对珠江三角洲及黄河下游地区分别进行了 4 景(2×2)和 9 景(3×3)的 TM 图象镶嵌, 经几何精度检测, 镶嵌后图象的几何精度约为 2.1 象元。从实际工作的角度看, 上述方法舍去了控制点选取这一繁复的过程, 因而实施方便; 图象的几何精度基本保持在原有的水平上, 这与我们讨论的前提相一致。因此, 我们认为选择投影方式加图象旋转的镶嵌方法是一种简便、易行、快速且保持图象原有几何精度的有效方法。

4.4 采用地理编码产品的 TM 图象进行镶嵌

地面站提供的 TM 图象地理编码类产品(Geocoded Product)的坐标网格与地形图的坐标轴平行, 换言之, 产品图象是指北的。以此类产品为基础数据进行 TM 图象镶嵌, 无需对图象坐标做任何变换, 只需指明拼接位置即可将相邻图象在重叠区配准, 进而完成镶嵌。当然, 此时仍需考虑图象的地图投影方式。由于地理编码类 TM 数据系统校正产品的内部几何精度仍为一个象元左右, 因此, 镶嵌图象的几何精度保持在原来的水平上。应用此方法, 我们对山东淄博地区两景 TM 图象进行了镶嵌, 效果良好, 操作简便。

5 小 结

由前文的分析和讨论, 我们可以得出以下几点结论:

1. 传统的遥感图象数字镶嵌方法, 即利用控制点生成两景图象坐标变换方程, 并以此对图象进行运算的方法, 在保证镶嵌图象几何精度方面存在着不足, 其原因在于控制点的选取误差使坐标变换方程出现畸形, 最终使图象产生几何畸变, 据测算, 镶嵌后的两景 TM 图象内部几何精度为 6.44 象元;
2. 图象旋转方法在选定的地图投影下, 利用 TM 图象定向角差进行坐标变换, 避免了控制点选取这一繁复过程, 使镶嵌工作变得简便, 同时可保证 TM 镶嵌图象的几何畸变很小, 镶嵌后的 TM 图象内部几何精度小于 2 个象元;
3. 选用 TM 数据地理编码类产品进行图象镶嵌, 无需对图象进行再处理, 因而几何保真性好, 操作过程更为简化。

需要指出的是, 由于条件所限, 我们仅对两景、2×2 景和 3×3 景的 TM 图象应用本文所介绍的方法进行了实际镶嵌和精度检验。对于更大面积多景图象镶嵌, 应用以上

方法的有效性及其可能产生的几何误差,还有待今后做进一步的工作。另外,镶嵌方法是依不同的应用目的而定的,当镶嵌图象景数较多时,可权衡几何精度和处理效率而采用其它的镶嵌方法。

参 考 文 献

- [1] 王新民等. 陆地卫星五号 TM 图象系统校正产品的几何精度分析. 环境遥感, 1989, 4(2).
- [2] 张启锐. 实用回归分析. 地质出版社, 1988.
- [3] 周纪芎. 实用回归分析方法. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [4] 韩于羹. 应用数理统计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1989.
- [5] 陆润民等. 计算机绘图. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [6] 王新民等. 快速 TM 图象大地校正和数字镶嵌. 环境遥感, 1990, 5(3).

作 者 简 介

冯钟葵, 男, 1960年8月出生。1984年毕业于北京大学无线电系, 获理学学士学位; 1991年毕业于北京大学遥感所, 获理学硕士学位。现为中国科学院遥感卫星地面站助理研究员, 从事遥感图象的预处理研究及部分应用研究, 已发表论文10余篇。

Analysis of Geometric Accuracy of Digitally Mosaicked TM Image and Discussion of Mosaicking Method

Feng Zhongkui Liu Jianbo

(Remote Sensing Satellite Ground Station, Chinese Academia Sinica, Beijing, 100086, China)

Abstract The geometric accuracy of digitally mosaicked TM image is analyzed in this paper. There are some defects to maintain geometric accuracy of the mosaicked TM image by control points selection. The geometric error of the mosaicked image is about 8 pixels.

The rotating method is easy to use for registering TM image, meanwhile it keeps the geometric accuracy of the mosaicked TM image. The geometric error of the mosaicked image by rotating method is less than 2 pixels.

Key words TM, Mosaic, Geometric accuracy