

文章编号:1000-6060(2001)04-0353-06

# 基于 ERDAS IMAGING 软件的 TM 影像几何精校正方法初探 ——以塔里木河流域为例

刘志丽

陈曦

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

**提 要** 遥感图像的几何精校正一直是人们所关注的问题。本文初步探讨了利用 ERDAS IMAGING 软件对塔里木河流域 TM 影像进行几何精校正的方法。ERDAS IMAGING 软件进行几何精校正具有操作简便、实用性强、速度快、几何精度高等特点。几何精校正为 TM 影像的进一步处理提供了技术准备。

**关键词** ERDAS IMAGING TM 影像 塔河流域 几何精校正

**中图分类号** TP751 **文献标识码** A

## 1 引 言

遥感影像的应用主要解决两个问题,一个是定性,即回答是什么;一个是定位,即回答在何处,数量有多少。所以几何精校正和数字影像镶嵌是图像预处理的主要内容。在以往的工作中,人们发现几何精校正是一项繁杂的工作,操作过程冗长,效率低<sup>[1]</sup>,精度难以达到要求。在资源环境动态监测中,迅速定位、精确定量是重要的,因而基于目前我国的技术设备水平,在微机上实现快速定位具有重要的实用价值。对于行扫描成像的 TM 卫星遥感图像,很多资源与环境方面的应用可能不考虑地形起伏的影响,多采用多项式来模拟变形,建立起原始图像畸变的数学模型,将图像空间的原始影像映射到校正空间<sup>[2]</sup>。在用 ERDAS IMAGING 软件对塔里木河流域(以下简称塔河流域)TM 影像进行几何精校正时就采用了这种方法。

## 2 工作区概况

塔河流域位于新疆自治区南部,地理坐标为 71°39'~93°45'E, 34°20'~43°39'N,是“古丝绸之路”的必经之地。本项工作采用陆地卫星 TM1:10

万共 7 个波段的图像,并选择有利于土地利用与覆被动态变化信息提取的波段 4(红)、3(绿)、2(蓝)最佳波段组合。本项工作采用了 1990 年和 2000 年两期覆盖塔河流域共 28 景影像。影像的空间分辨率是 30m×30m。

## 3 几何精校正的基本原理

对于 TM 影像,遥感数据的几何精校正是在系统校正的基础上,利用地面控制点(Ground Control Point,简称 GCP)的大地测量参数,修正系统校正模型,进而形成精确模型,并对原始影像进行处理,最终生成图像产品的过程,流程图如图 1 所示:

系统校正利用卫星下行的星历数据、卫星轨道和姿态数据、卫星传感器参数,及预处理系统中所规定的地球模型和地图投影参数,模拟成像时卫星的状态及其视域,并产生与输出图像网格对应的重定位方程,即系统校正模型,以此为依据对影像数据进行处理的过程。在上述过程中,星历数据的偏差,以及预处理系统对卫星轨道和姿态参数的细化过程的人为假设,使得经系统校正的 TM 影像仍存在着少量的内部误差和较大的定位误差。

几何精校正的关键是地面控制点(GCP)的引入。其主导思想是利用地面控制点的大地测量参数

自治区科委重点项目“新疆生态环境遥感底图调查及动态监测系统”第一课题(980108002-1)

作者简介:刘志丽,女,1973年3月生,河南省固始县人,目前在中国科学院遥感应用所攻读博士学位。研究方向:地图与地理信息系统  
E-MAIL:lium-m@263.net

收稿日期:2001-05-26;修回日期:2001-08-22

和控制点在图像上的坐标及系统模型对该点坐标的预测值之间的关系,建立有系统模型与大地测量坐标系之间的联系——几何精校正模型,以此为依据对原始影像数据进行处理。

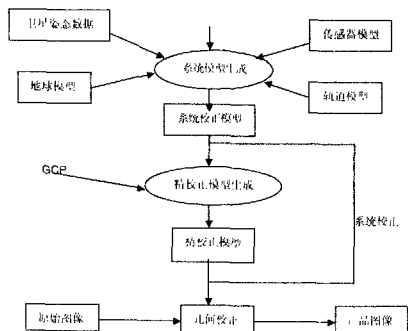


图1 TM影像几何校正流程图

Fig.1 TM imagery geometric correction flow chart

在具体实现时,精校正模型的形成过程是地面控制点不断被引入、系统模型不断被精细化的过程。在这个过程中,由于星历数据的偏差和卫星轨道及姿态参数细化时的不确定性所造成的误差得以纠正,从而使几何精校正产品具有较高的几何精度。

### 3 TM影像的几何精校正基本步骤和方法

#### 3.1 几何精校正的基本步骤

TM影像几何精校正可归纳为以下四个步骤,即:

(1)建立原始图像与校正后图像的坐标系。对于校正后的图像要确立坐标原点(起始行和列)、像元的大小以及图像的大小(行数和列数)。

(2)确定 GCP,即在原始畸变图像空间与标准空间寻找控制点对。

(3)选择畸变数学模型,并利用 GCP 数据求出畸变模型的未知参数,然后利用此畸变模型对原始畸变图像进行几何精校正。

(4)几何精校正的精度分析。GCP 选择不精确、GCP 数目过少、GCP 分布不合理以及畸变数学模型均不能很好程度地描述畸变过程,会造成几何

精校正的精度下降,因此,必须通过精度分析,找出精度下降的原因,并针对此进行改进,然后再重新进行几何精校正,这一过程直到满足精度要求为止。

#### 3.2 TM影像几何精校正方法

几何精校正通常的方法有多项式纠正法、共线方程纠正法、DELAUNEY 三角形法等。以下分别进行讨论。

**3.2.1 多项式纠正法** 多项式纠正法是实践中经常使用的一种方法,因为它的原理比较直观,并且计算较为简单,特别是对地面相对平坦的情况,具有足够的纠正精度。

该法的基本思想是回避成像的空间几何过程,而直接对图像变形的本身进行数字模拟。它认为遥感图像的整体变形可以看作是平移、缩放、旋转、仿射、偏扭、弯曲以及更高次的基本变形的综合作用结果,因而纠正前后图像相应点之间的坐标关系中可用一个适应的多项式来表达。该法对各种类型传感器的纠正都是普遍适用的,缺点:高阶多项式容易造成图像产生不应有的变形。

**3.2.2 共线方程纠正法** 与多项式纠正法不同,该法是在图像坐标与地面坐标严格变换关系的基础之上的,是对成像空间几何形态的直接描述。因而从理论上来说,该法比多项式纠正法严密。特别是该法在纠正过程中还引入了地面高程的信息,因此在地形起伏较大情况下,它比多项式法更能显出纠正精度上的优越性。缺点:需要相应地区的 DEM。

**3.2.3 DELAUNEY 三角形法** 目前,地理数据误差纠正中通常采用的是最小二乘法。在大多数情况下,由于最小二乘法本身的局限性,导致由控制点建立起来的映射不可能将源控制点完全精确地纠正到目标控制点的位置上,而在实际应用中有时又要求纠正要实现源控制点精确地纠正到目标控制点上,此外,当源数据的变形具有很强的局部性特征,一般的全局坐标变换很难达到良好的纠正效果和精度,因此需要进行分块误差纠正。

其原理是,先由控制点集合将数据区域划分为三角形格网,每个格网单元中的数据作为一个数据块,每个格网单元建立该单元自己的纠正变换,该变换由单元的顶点计算而来,单元内的数据按照单元自己的变换进行纠正,从而使单元内的数据纠正只与作为单元顶点的控制点有关,实现了数据纠正的局部化。当单元是三角形时,采用仿射变换模型。优点:在保持相应精度的同时,速度快。缺点:需要

较多均匀分布的控制点,块边界误差大。

由于塔河流域地形相对平坦,所以在对塔河流域 TM 影像几何精校正时采用的是多项式纠正法。

## 4 基于 ERDAS IMAGING 的塔河流域 TM 影像几何精校正实施方案

### 4.1 选择纠正坐标系

纠正坐标系:Albers 等面积制圆锥投影

首先利用 ERDAS IMAGING 的自定义坐标系功能,建立 Albers Of Xinjiang 自定义坐标系,参数如下:

投影类型:Albers

中央经线:85°0'0"E

坐标原点:0°0'0"

第一标准纬线:36°00'00"

第二标准纬线:46°00'00"

纬向偏移:0°

经向偏移:0°

参考椭球:Krasosky

### 4.2 确定几何精校正模型

本项工作采用二次完全多项式,即  $n = 2$ ,选取了  $m$  ( $m$  至少是 20) 个地面控制点,且满足  $m > (n + 1)(n + 2)/2$ 。原始影像位置以  $(x, y)$  表示,  $x$  为行号,  $y$  为列号,校正影像位置以  $(X, Y)$  表示,采用左手坐标系。

校正变换公式可表示为:

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \\ Y &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \end{aligned} \quad (1)$$

其中:  $a_i, b_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ) 为变换多项式的系数,用最小二乘法原理,可以求解出系数。因采用的是间接法进行影像校正,所以采用下式来建立校正模型公式:

$$\begin{aligned} x &= c_0 + c_1X + c_2Y + c_3X^2 + c_4XY + c_5Y^2 \\ y &= d_0 + d_1X + d_2Y + d_3X^2 + d_4XY + d_5Y^2 \end{aligned} \quad (2)$$

第  $i$  点误差方程形式为:

$$Vx_i = [1, x, y, x^2, xy, y^2] \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{bmatrix} - xi$$

$$Vx_i = [1, x, y, x^2, xy, y^2] \begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{bmatrix} - yi \quad (3)$$

对于  $m$  个控制点,可组成误差方程:

$$\begin{aligned} V_x &= A \times \Delta_1 - L_1 \\ V_y &= A \times \Delta_2 - L_2 \end{aligned} \quad (4)$$

其中:

$$V_x = [V_{x1} V_{x2} \cdots V_{xm}]^T$$

$$V_y = [V_{y1} V_{y2} \cdots V_{ym}]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & X_1^2 & X_1 Y_1 & Y_1^2 \\ 1 & X_2 & Y_2 & X_2^2 & X_2 Y_2 & Y_2^2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & X_m & Y_m & X_m^2 & X_m Y_m & Y_m^2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_1 = [c_0 \ c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4 \ c_5]^T$$

$$\Delta_2 = [d_0 \ d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4 \ d_5]^T$$

$$L_1 = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]$$

$$L_2 = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4 \ y_5]$$

设各地面控制点的精度相同,则权矩阵为单位阵。依据最小二乘原理,  $V^T V$  应该为最小,得到方程:

$$\begin{aligned} (A^T A) \Delta_1 &= A^T L_1 \\ (A^T A) \Delta_2 &= A^T L_2 \end{aligned} \quad (5)$$

由此得到多项式系数为:

$$\Delta_1 = A^{-1} \times L_1$$

$$\Delta_2 = A^{-1} \times L_2$$

其中  $N = (n + 1) \times (n + 2)/2$  为必需的控制点数,  $(m - N)$  为多余观测数。

### 4.3 影像校正

将塔河流域原始 TM 影像输入计算机内存,对于给定的  $(X, Y)$ ,可由(2)式得到相应的  $(x, y)$  值。几何校正过程中,位置计算完成后,要内插新像素的灰度值,常用三种方法。最邻近像元法,双线性内插法和三次卷积内插法。这三种重采样方法各有优缺点:最邻近像元法最大可产生 1/2 像元的位置误差,不破坏原来的像元值,处理速度快,但易产生“锯齿”效应;双线性内插法具有平均化滤波效果,不

会产生“锯齿”效应,但破坏了原来的数据;三次卷积内插法具有:图像均衡化和清晰化的效果,可得到较高的图像质量。但处理数据量大,处理速度慢,效率不高。

由于塔河流域 TM 影像的空间分辨率是  $30\text{m} \times 30\text{m}$ ,所以采用双线性内插法对塔河流域 TM 影像进行重采样。在双线性内插法中,校正像元的数据文件值是基于逆转换的坐标位置 ( $X_r$ ,  $Y_r$ ) 和输入原始影像上四个最邻近像元之间的距离(如图 2)。在此例中,相邻像元以序号 1,2,3 和 4 表示。如果已知栅格上这四个像元的数据文件值,就可以计算  $r$  的数据文件值( $V_r$ ), $r$  是逆转换坐标的位置。

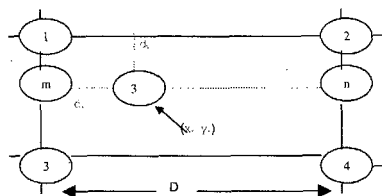


图 2 双线性内插

Fig. 2 Double linearity inner insertion

为了计算  $V_r$ , 首先应考虑  $V_m$  和  $V_n$ 。 $m$  的数据文件值( $V_m$ )是在像元 3 和 1 的数据文件值之间变化的方程。由  $V_1$  和  $V_3$  计算  $V_m$  的等式是:

$$V_m = \left[ \frac{V_3 - V_1}{D} \right] \times d_y + V_1 \quad (6)$$

式中:

$Y_i$  = 像元的  $Y$  坐标

$V_i$  = 像元的数据文件值

$d_y$  = 在原作标系统中  $Y_1$  和  $Y_m$  之间的距离

$D$  = 在原作标系统中  $Y_1$  和  $Y_3$  之间的距离

同理:

$$V_n = \left[ \frac{V_4 - V_2}{D} \right] \times d_y + V_2 \quad (7)$$

由  $V_m$  和  $V_n$ , 逆转换坐标所在的  $r$  的数据文件值可以用相同的形式计算

$$V_r = \left[ \frac{V_n - V_m}{D} \right] \times d_x + V_m \quad (8)$$

大多数情况下  $D=1$ , 原因是数据文件的坐标被用作原作标, 而数据文件坐标的增值为 1。

双线性内插法重采样的优点是:

(1) 输出图像更平滑, 没有最临近法可能出现的“锯齿”效应; (2) 比最临近法具有更高的空间位置精确性; (3) 这种方法常用于图像的网格大小改变的时候。

缺点是: 由于像元被平均, 所以双线性内插有低频、卷积滤波的效果。边缘被平滑, 一些数据文件值的极值会丢失。

## 5 精度分析

大多数情况下, 较好的拟合所有 GCP 要求很高的转换阶。所以用户可以允许一定量的误差, 而不必提高转换的阶。当转换矩阵算出后, 转换矩阵的逆矩阵可以用作将 GCP 的参考坐标转换回原作标系统。除非转换的阶达到了很完美的拟合, 否则在原作标和逆转换的参考坐标之间总有一些误差。RMS 误差(均方根)是 GCP 的输入(原)位置和逆转换的位置之间的距离或者说, 是在用转换矩阵对一个 GCP 作转换时, 所期望输出的坐标与实际输出的坐标之间的偏差。

$$\text{RMS 误差} = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$$

式中:

$x_i$  和  $y_i$  是输入的原作标

$x_r$  和  $y_r$  是逆转换后的坐标

ERDAS IMAGING GCP 工具中有关于  $X$  和  $Y$  残差的栏目。残差是某个方向上原作标和逆变换坐标之间的距离。每个 GCP 的残差都可以显示出来。 $X$  残差是原  $X$  坐标和逆变换的  $X$  坐标之间的距离,  $Y$  残差是原  $Y$  坐标和逆变换  $Y$  坐标之间的距离。为帮助用户计算 GCP 的值, 每个点的 RMS 误差都会给出, 由距离方程式计算:

$$R_i = \sqrt{XR_i^2 + YR_i^2} \quad (10)$$

式中:

$R_i$  = GCP 的 RMS 误差

$XR_i$  = GCP <sub>$i$</sub>  的  $X$  误差

$YR_i$  = GCP <sub>$i$</sub>  的  $Y$  误差

总 RMS 误差由残差确定, 表示如下:

$$\begin{aligned} R_x &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n XR_i^2} \\ R_y &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n YR_i^2} \\ T &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \end{aligned} \quad (11)$$

式中:

$$R_x = \text{XRMS 误差}$$

$$R_y = \text{YRMS 误差}$$

$$T = \text{RMS 误差}$$

$$n = \text{GCP 个数}$$

$$XR_i = \text{GCP}_i \text{ 的 } X \text{ 残差}$$

$$YR_i = \text{GCP}_i \text{ 的 } Y \text{ 残差}$$

相对于总 RMS 误差的单元 RMS 误差的平均值(即单元的误差贡献)也有 ERDAS IMAGING 系统给出,列在 GCP Tool 的 Contribution 一栏中。

$$E_i = R_i / T \quad (12)$$

式中:

$$E_i = \text{GCP 的误差贡献}$$

$$R_i = \text{GCP}_i \text{ 的 RMS 误差}$$

$$T = \text{总 RMS 误差}$$

在大多数情况下,允许一定数量的误差比用更高阶的转换更实用。所允许的 RMS 误差的值可以看作是每一个原作标上的一个窗口,落在这个窗口内的逆变换的点被认为是正确的。我们在对塔河流域 TM 影像做几何精校正时, RMS 误差的允许值是 1,也就是说在对塔河流域 TM 影像的几何精校正允许有一个像元的误差。每景 TM 影像的空间分辨率是  $30\text{m} \times 30\text{m}$ ,即影像上的一个像元代表地面上同一区域  $30\text{m} \times 30\text{m}$  的面积。

对每景影像,不仅验证每个地面控制点(GCP)的 RMS 误差  $R_i$ ,而且验证总的 RMS 误差  $T$ ,如果 RMS 误差没有达到所要求的精度,重复几何精校正的步骤,直至精度满足要求为止。这样保证了几何精校正的精度要求。塔河流域二十余景 TM 影像的每景影像的单个 GCP 的 RMS 误差  $R_i$  都在 0.5 左右,总 RMS 误差  $T$  也在 0.5 左右。保证了每景影像的几何精校正精度。

## 6 ERDAS IMAGING 软件进行几何精校正的优点

上述几何精校正的全过程在 REDAS IMAGING 8.4 中能迅速实现。ERDAS IMAGING 将上述过程形成模块,使得几何精校正的操作过程简单化了。ERDAS IMAGING 8.4 强大的模块化功能,使得复杂的几何精校正过程只需轻轻点击几个按钮,而不必知道几何精校正模型和重采样模型即可实现。ERDAS IMAGING 8.4 是一种方便快捷的遥感

图像处理软件。

## 7 结论

(1)本人在对塔河地区 TM 影像进行几何精校正时发现,在校准过程中,取地面控制点(GCP)时并不是越多越好。取得太多不仅不能保证精度,而且耗时、耗力。取 20~30 个控制点足以即保证速度又保证精度。

(2)多项式纠正法、共线方程纠正法、DELAUNEY 三角形法三种几何精校正方法各有优缺点。对不同的遥感影像进行几何精校正时可以根据研究区域和研究目的的不同采用不同的几何精校正方法。由于塔河流域地形起伏不是很大,用多项式纠正法可以满足精度要求。实践证明用这种方法在对塔河地区进行几何精校正时取得了很好的效果,同时加快了了几何精校正工作的处理速度。

(3)几何精校正过程中,位置计算完成后,要内插新像素的灰度值(即重采样),常用的有三种方法:最邻近元法、双线性内插法和三次卷积内插法。这三种重采样方法各有优缺点,应根据不同的遥感数据、不同的空间分辨率、不同的研究目的和要求来确定重采样方法。由于本项工作所使用 TM 影像空间分辨率是  $30\text{m} \times 30\text{m}$ ,要求校准精度在一个像元以内,所以本项工作采用双线性内插重采样法。

(4)选取地面控制点(GCP)进行几何精校正,使 TM 影像具有了地理坐标,有利于形成影像库;选取 GCP 时,在影像边缘相对密集地、均匀地多采集一些点,是遥感图像镶嵌时无缝连接的必备条件。

(5)几何精校正是在遥感影像的处理过程中处于重要的地位,它为影像预处理工作做了技术准备。它的精度直接影响到其他影像预处理工作的质量。对影像精确地定位有利于影像的定性、定量分析,有利于影像的分类和专题信息的提取。所以应投入适当力量做好准备,以保证遥感影像各种产品生产的顺利进行。

## 参 考 文 献

- [1] 冯钟寒,王文. 遥感图像预处理系统 GICS 在 TM 几何精校正方面的特点及应用[J]. 遥感技术应用, 1996, (9).
- [2] 木洪磊, 承继承. 一种 TM 图像的快速几何精校正方法[J]. 遥感信息, 1996, (1).
- [3] 杨清发, 王超. 干涉雷达图像配准与干涉仪图的增强[J]. 遥感学报, 1999, (5).

- [4] 肖永新, 李传荣. 一种匹配滤波结合 Chirp Scaling SAR 数字成像处理方法[J]. 遥感学报, 1998, (2).
- [5] 色音巴图, 任志远. TM 影像在内蒙古东北部土地资源开发利用调查与评价中的应用[J]. 中国草地, 1999, (6).
- [6] 刘慧平, 朱启疆. 应用高分辨率遥感数据进行土地利用与覆盖变化监测的方法及其进展[J]. 资源科学, 1999, (5).
- [7] 沙志刚. 数字遥感技术在土地利用动态监测中的应用概述[J]. 国土资源遥感, 1999, (6).

## DISCUSSION OF METHOD OF TM IMAGERY GEOMETRIC PRECISION CORRECTION SUPPORTED BY ERDAS IMAGING SOFTWARE ——TAKING TARIM RIVER BASIN AS AN EXAMPLE

LIU Zhi-li

CHEN Xi

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011)

### Abstract

Remote sensor imagery geometric precision correction is paid attention by people at all times. It is an indispensable step in the course of imagery processing. If its precision is low, the procession of imagery disposal of next phase will be influenced. However, in previous work, people found that the operation of imagery geometric precision correction is tedious and boring, its operational process is expatiatory, its efficiency is low, and it is difficult to make its precision up to the mustard. In this paper, a method of TM imagery geometric precision correction based on ERDAS IMAGING is discussed, which takes Tarim river basin as example. In this paper, a method of polynomial geometric precision correction is used. Because the topography of Tarim river basin is flat, this method is efficient. The precision can meet request, wherever the speed of correction is quicker. ERDAS IMAGING software used to correct image has many characteristics consisted in operational simpleness and convenience, practicality, speediness and high precision. Geometric precision correction provides technological preparation for TM imagery processing.

Keywords: ERDAS imaging; TM image; Tarim river basin; geometric precision correction