

利用 WILD AVIOPLAN OR-1 对卫星 图像进行几何处理*

孟波 毛赞猷

(北京卫星信息工程研究所) (北京大学遥感技术应用研究所)

1988年1月23日收稿

摘 要

本文提出了一种在现有设备条件下可以在生产部门迅速得到推广的卫星图像几何处理方法,即将通用计算机与 OR-1 正射投影系统相结合,对图像负片进行模拟化数字纠正。

文中讨论了该方法的理论依据和具体试验结果,对影响处理精度的地形因素进行了分析,并研制了相应处理软件。

关键词 几何纠正 OR-1 正射投影系统 卫星图像

一、导 言

遥感图像的几何纠正,是遥感信息量化的前提。我国应用部门获得的卫星信息载体只有小部分是 CCT 资料,而大部分是粗加工的卫星负片。因此,研究对卫星负片进行经济快速地几何纠正,具有实用意义。

我国测绘部门已引进了多台瑞士 WILD 工厂生产的 AVIOPLAN OR-1 正射纠正装置,生产航空影像的正射像片。但还没有从外国购买解决卫星影像纠正的软件。本文在前人研究的基础上,提出了可对卫星资料(包括 MSS, RBV, TM, HRV 传感器所接收的图像)进行处理的方法。该方法的主要原理是,根据地面控制点资料和卫星传感器构像方程,在通用计算机上建立纠正模式,并计算出 OR-1 正射投影系统所需的控制数据,然后按照 OR-1 所要求的格式记录在磁带上,完成通用计算机与 OR-1 正射系统之间的数据接口,控制 OR-1 正射系统,完成影像的空间变换,获得纠正后的卫星影像硬拷贝。

实验证明,这种处理方法是经济易行的。

二、OR-1 正射投影系统的作业原理^[1]

Wild 厂生产的 OR-1 正射投影系统,是一种高效率的函数式自动控制正射微分纠正

* 本试验是在铁道部专业设计院 OR-1 装置上进行的,并得到航测处胡志贵副总工程师的指导与协作,谨致谢意。

仪,使用灵活,既可联机作业,又可脱机作业。脱机作业时,驱动 OR-1 的数据记在磁带上,它可以由外部计算机计算得出。正是由于这种灵活性,我们对卫星图像进行各种处理提供了可能性。

OR-1 主要由三大部分组成: 机械光学投影装置; 带有磁带机和计算机的电子箱 (NOVA); 电传打印机。

OR-1 正射投影系统的主要原理是它完成了两个图像之间的一个最基本的变换,即微分线段之间的平移、旋转和缩放。控制 OR-1 的原始数据是在输出图像(正射影像)上按一定规则排列 ($\Delta x = s$, $\Delta y = 1$ 毫米; s : 微分线段长度) 的一系列点在输入图像(原始图像)上所对应点的像平面坐标(图 1)。

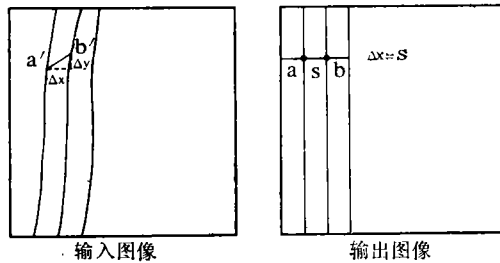


图 1 OR-1 作业原理示意图

Fig. 1 The basic principle of OR-1

设 a, b 为输出图像上微分线段 s 的两个端点, a', b' 为 a, b 两点在输入原始图像上的对应点,且 a', b' 的坐标为 $a'(x_1, y_1)$, $b'(x_2, y_2)$, 则有计算机控制相应的伺服系统,实现下列动作:

$$\text{平移: } x_0 = \frac{1}{2}(x_1 + x_2); \quad y_0 = \frac{1}{2}(y_1 + y_2)。$$

$$\text{旋转: } \alpha = \text{arctg}(\Delta y / \Delta x); \quad \Delta y = y_2 - y_1; \quad \Delta x = x_2 - x_1。$$

$$\text{缩放: } V = s / \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}; \quad s: \text{扫描缝隙长。}$$

因此,不管两个图像之间存在一个什么样的变换,只要其微分的线元素能用上述的基本变换(平移、旋转、缩放),那么不修改现有 OR-1 的任何软件系统,即可实现这两个图像之间的变换。而卫星图像的几何处理,实质就是完成原始图像与纠正后图像(正射影像)之间的一个图像变换,因此,利用 OR-1 对卫星图像进行几何处理是完全可行的。

三、纠正的基本原理^[2-4]

传统的图像数字纠正法,原则上是通过计算机对离散结构数字影像中的每个像元素进行逐个解析纠正; 而由 OR-1 正射投影系统与通用电子计算机相结合所进行的模拟数字纠正,则是对图像上的每个微小线元素(扫描缝隙) s 进行解析处理。对线元素的两个端点的坐标,使用严格的数字纠正模式由通用机得出; 而对线元素 s 的中间各像素,则是依据其两个端点的坐标关系,由 OR-1 正射投影系统经过线性变换得出,其处理精度,基本

与 s 端点处相同。线元素 s 的灰度重采样, 由于是借助于优质的光学系统完成, 而不是对整个线元素采用统一的灰度值, 因此, 可以得到影像质量很好的硬拷贝图像。

由于纠正线元素 s 的尺度是可以人为加以选择的, 因此, 对于不同的图像, 均可以在保证影像质量、提高效率的前提下, 较为严密和精确地改正动态扫描影像所具有的各种非正形和非线性的变形误差。至于 s 大小的选择, 主要取决于输出图像比例尺和精度要求, 无统一模式可循。

依据纠正的数学模型, 解析纠正法可分为参数法和非参数法两类。参数法, 即通过确定的函数模型, 对传感器成像时的几何形态进行数学模拟, 构成纠正变换表达式; 非参数法, 则回避传感器成像时的实际几何状态, 而立足于对变形的影像本身进行数学描述和纠正处理。

1. 参数法^[5,6]

在实际作业过程中, 为使方法更加实用, 在满足必要的纠正精度的前提下, 可以对模型本身进行简化, 以提高处理速度。为此, 我们首先假定:

- (1) 控制点为确定量, 即 $\Delta x_p = \Delta y_p = \Delta z_p = 0$ 。
- (2) 共线方程的定向参数 $x_i, y_i, z_i, \varphi, \omega, \kappa$ 用时间 t 的表征多项式表达, 但不单独列出误差方程式。 $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i, \Delta \varphi, \Delta \omega, \Delta \kappa$ 直接用相应的表征多项式表达。
- (3) 假定影像坐标为等精度观测值: $P_x = P_y = 1$ 。
- (4) 多光谱扫描影像中, 同一条扫描线上各像素所对应的传感器位置和姿态角度变化, 可以忽略不计, 即每条扫描线只对应一组传感器的定向参数。
- (5) 传感器姿态角 φ, ω 是小角, 但 κ 角由于卫星航向偏角的影响, 将不作为小角看待。
- (6) 由于扫描影像 x 和 y 方向取样间隔的不同, 而造成两个方向比例尺的不同, 因此, 将焦距 f 分解为两个分量 f_x, f_y 。
- (7) 由于影像纠正中残存的偶然误差, 难以用共线方程式模拟, 因此, 我们在后面的过程中, 用参数多项式加以改正。

依据上面的简化, 由扫描影像共线方程式

$$\begin{aligned} (x): 0 &= -f \cdot \frac{a_{11}(x_p - x_i) + a_{21}(y_p - y_i) + a_{31}(z_p - z_i)}{a_{13}(x_p - x_i) + a_{23}(y_p - y_i) + a_{33}(z_p - z_i)} \\ (y): f \cdot \operatorname{tg} \theta &= -f \cdot \frac{a_{12}(x_p - x_i) + a_{22}(y_p - y_i) + a_{32}(z_p - z_i)}{a_{13}(x_p - x_i) + a_{23}(y_p - y_i) + a_{33}(z_p - z_i)} \end{aligned}$$

可得误差方程式如下:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -\frac{f_x}{z_0} \cos \kappa_0 dx_i - \frac{f_x}{z_0} \sin \kappa_0 dy_i - f_x \cos \kappa_0 d\varphi \\ &\quad - f_x \sin \kappa_0 d\omega + \frac{f_x}{f_y} \cdot y \cdot d\kappa - l_x \\ v_y &= -f_y \sin \kappa_0 dx_i - f_y \cos \kappa_0 dy_i - \frac{y}{z_0} dz_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$+ \left(f_y + \frac{y^2}{f_y} \right) \sin \kappa_0 d\varphi - \left(f_y + \frac{y^2}{f_y} \right) \cos \kappa d\omega - l_y \Big\}$$

其中

$$\left. \begin{aligned} l_x &= f_x \cdot \frac{\bar{x}_{\text{趋近值}}}{\bar{z}_{\text{趋近值}}} \\ l_y &= f_y \cdot \frac{\bar{y}_{\text{趋近值}}}{\bar{z}_{\text{趋近值}}} + y \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_p - x_s \\ y_p - y_s \\ z_p - z_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

由于(1)式中 dx_s 与 $d\varphi$ 项, dy_s 与 $d\omega$ 项相关, 为避免最后法方程系数矩阵的奇异性, 我们设

$$dx_s = dy_s = 0$$

然后将 dz_s , $d\varphi$, $d\omega$, $d\kappa$ 用其表征定向参数变化的多项式表达, 便可得最后实用的误差方程式为:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -f_x \cos \kappa_0 (D_1 + D_2 x + D_3 x^2 + \dots) - f_x \sin \kappa_0 \\ &\quad \cdot (E_1 + E_2 x + E_3 x^2 + \dots) + \frac{f_x}{f_y} \cdot y \cdot (F_1 + F_2 x + F_3 x^2 \\ &\quad + \dots) - l_x \\ v_y &= -\frac{y}{z_0} (C_1 + C_2 x + C_3 x^2 + \dots) + \left(f_y + \frac{y^2}{f_y} \right) \cdot \sin \kappa_0 \\ &\quad \cdot (D_1 + D_2 x + D_3 x^2 + \dots) - \left(f_y + \frac{y^2}{f_y} \right) \cos \kappa_0 \\ &\quad \cdot (E_1 + E_2 x + E_3 x^2 + \dots) - l_y \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

设所有误差的权相等, 则误差方程式的矩阵形式为:

$$V = Ax - L \quad (5)$$

$$x = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (6)$$

通过以上的共线方程式, 我们可以近似地恢复卫星影像与所对应地面景观的投影变换关系。为了更精确地进行卫星图像的几何纠正, 我们必须把影像扫描过程中, 因平台的运动及姿态变化、地球转动、扫描镜旋转非线性、扫描速度不均匀等因素所引起的偶然误差和系统残差, 用对像点坐标加入多项式附加参数项的方法, 加以改正。公式为:

$$\left. \begin{aligned} dx &= A_0 + A_1 x + A_2 y + A_3 x^2 + A_4 xy + A_5 y^2 + A_6 x^3 \\ &\quad + A_7 x^2 y + A_8 xy^2 + A_9 y^3 \\ dy &= B_0 + B_1 x + B_2 y + B_3 x^2 + B_4 xy + B_5 y^2 + B_6 x^3 \\ &\quad + B_7 x^2 y + B_8 xy^2 + B_9 y^3 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

2. 非参数法^[5,6]

通过对星载传感器的几何形态、构像方程及成像过程中各主要误差来源的分析, 可以看出遥感影像的总体变形是平移、旋转、缩放、仿射、偏扭、弯曲以及其它更高次的基本变形的综合作用结果, 因而纠正前后影像相应点之间的坐标差(或它们坐标值之间的关系),

可以用一个适当的多项式来表示,即非参数法(多项式法)。

一般多项式的表示形式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots \\ y &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

在利用一般多项式时,有时由于控制点的点位分布不合理,而造成求解多项式系数的法方程系数矩阵($A^T A$)出现奇异现象,结果无法求逆而影响求解。为避免奇异阵的出现,我们采用 Legendre 正交多项式代替一般多项式。其公式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= a_0 + a_1P_1(\bar{x}) + a_2P_1(\bar{y}) + a_3P_2(\bar{x}) + a_4P_1(\bar{x})P_1(\bar{y}) + a_5P_2(\bar{y}) + \dots \\ y &= b_0 + b_1P_1(\bar{x}) + b_2P_1(\bar{y}) + b_3P_2(\bar{x}) + b_4P_1(\bar{x})P_1(\bar{y}) + b_5P_2(\bar{y}) + \dots \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

其中: $P_0(x) = 1$; $P_1(x) = x$; $P_{k+1}(x) = \frac{2k+1}{k+1}x \cdot P_k(x) - \frac{k}{k+1}P_{k-1}(x)$; \bar{x}, \bar{y} 为归化到 $[-1, 1]$ 区间坐标值。相应的误差方程用矩阵表示为:

$$V_x = A \cdot \Delta - L \quad (10)$$

其中: $V_x = [v_{x_1} v_{x_2} \dots v_{x_m}]^T$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & P_1(\bar{x}_1) & P_1(\bar{y}_1) & P_2(\bar{x}_1) \dots \\ 1 & P_1(\bar{x}_2) & P_1(\bar{y}_2) & P_2(\bar{x}_2) \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & P_1(\bar{x}_m) & P_1(\bar{y}_m) & P_2(\bar{x}_m) \dots \end{bmatrix}$$

$$\Delta = [a_0 \ a_1 \ \dots \ a_n]^T$$

$$L = \begin{bmatrix} l_{x_1} \\ l_{x_2} \\ \vdots \\ l_{x_n} \end{bmatrix}$$

$$\Delta = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (11)$$

Δ 的方差-协方差矩阵,可按式求得

$$\sigma_{\Delta}^2 = (A^T P A)^{-1} \sigma_0^2 \quad (12)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{V_x^T P V_x}{m - (n + 1)}$$

在实际应用中,我们可用 σ_{Δ}^2 和 σ_0^2 来对系数求解的精度进行评定,并对控制点观测值中是否有粗差进行检测。

四、数据接口

OR-1 的心脏是一台小型计算机 (NOVA 3/4), 它作为一个处理控制器和数据临时贮存的缓冲存储器。用汇编语言编制的操作程序,控制了所有的输入和输出、操作者和电传打印机之间的对话以及操作期间的实时计算,通用计算机与 OR-1 正射投影系统之间的数据传送,用磁带来完成,这就要求通用计算机的运算结果必须按 OR-1 所要求的格式记录在数据磁带上,以生成控制数据,完成设备之间的接口。这是利用 OR-1 对卫星图像进行几何处理的一个关键环节。

五、试验及结果

为了验证前述方法的可行性,选择了 5 幅地表状况各异的陆地卫星 MSS 图像,进行了几何处理。

在每幅图像上,我们选择了尽可能分布均匀的 16—20 个明显地物点作为纠正控制点和检查点,其影像坐标用 Wild 的 AC-1 解析测图仪量测;地图坐标在 1:10 万地形图上用日内瓦尺量取,并进行必要的图幅改正。

1. 作业时间

本试验的主要运算都是在 Honewell DPS8 中型计算机上完成的,其数据接口磁带的生成则是通过 DG 公司的 MV8000 和 NOVA4 完成的。以处理一幅 1:100 万卫星图像为例,其主要作业时间(终端时间)为:

模型及控制数据生成 (Honewell DPS 8 机)	2—3 分钟
OR-1 控制磁带生成 (MV8000 NOVA4)	15—20 分钟
OR-1 扫描作业	20—25 分钟
总计	37—48 分钟

作业时间长短与输出图像比例尺、扫描缝隙长度以及底片密度有直接关系,随这些参数的改变而改变,但对于大多数作业,均可控制在 60 分钟之内。

2. 非参数法纠正精度

选择了内蒙地区五种景观类型的像幅,分别以双线性、二次、三次多项式作为纠正的数学模型,进行处理,纠正面改算到高斯-克吕格坐标平面。它们的地理特征和纠正精度见表 1。

用多项式的正射纠正结果,受地面水平切割密度和垂直切割深度影响很大。图 2 的原始资料选自国家新编的 1:100 万地形图。图中以相等精度制图,综合表示了这五个地区的水网(水平切割)密度以及区域内地形起伏最大的一个剖面。通过将其与表 1 进行综合分析,可以看出:

(1) 在整幅卫星影像的范围内,影响影像精度的主要地形因素是垂直切割深度。122-30 幅的垂直切割深度最大,其纠正前影像精度最低。而水平切割密度对纠正精度影响很大,如 122-25 幅,其水平切割密度最大,大大影响了纠正后的影像精度。

(2) 相对高差大的地区,纠正前影像误差较大。121-27, 121-28, 121-29, 122-30 幅的相对高差都达到 1000—1200 米。它们的影像点位中误差均在 550—800 米之间。而对于高程低于 500 米的地区,影像的精度较高。121-28, 121-29 幅大部分地区的高程小于 500 米,纠正后影像精度最好。

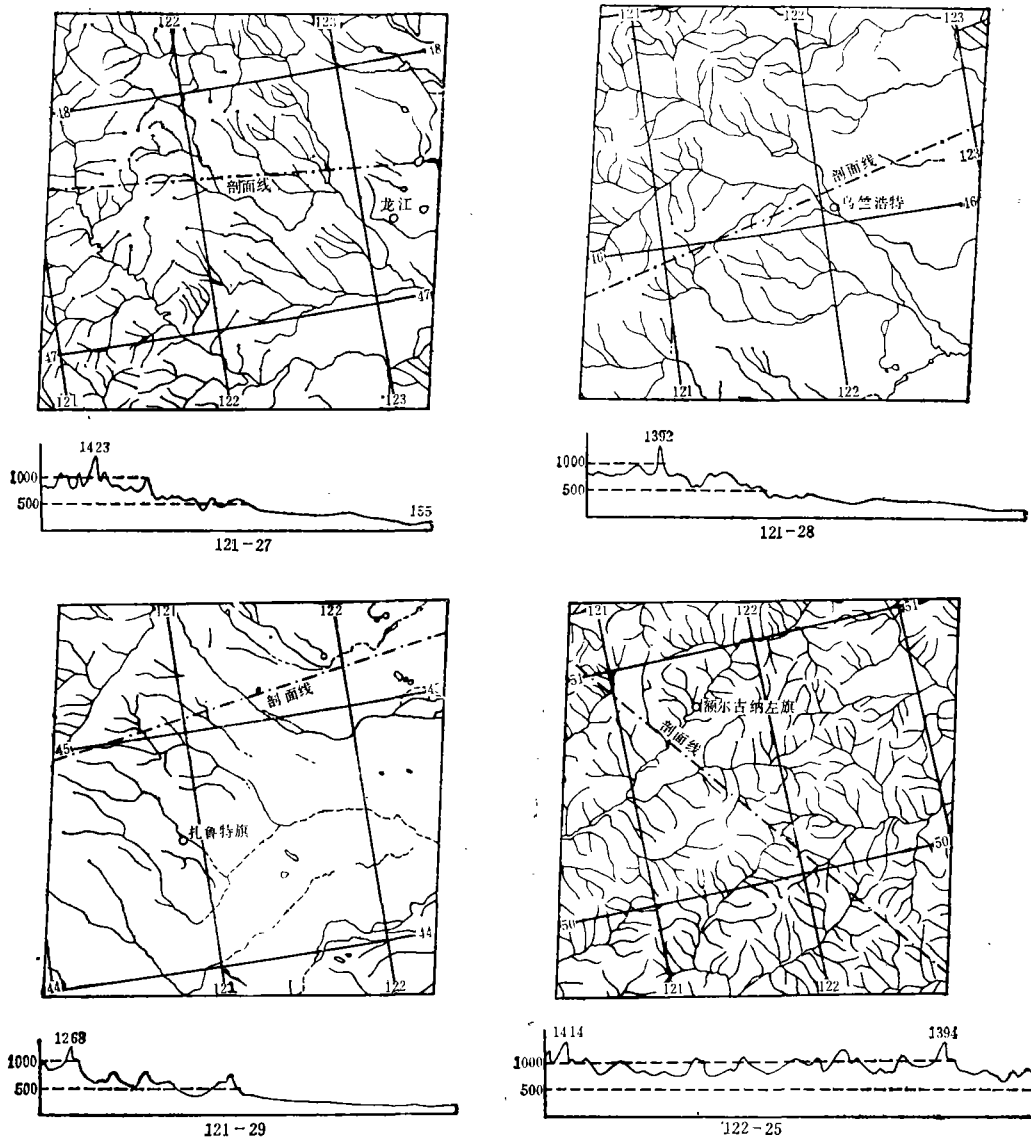
表 1 试验区地理特征及非参数法纠正精度
Table 1 The topographic characteristics of the test area and the precision of processing using polynomial method

像幅号	中心坐标	行政区划	地 势	地貌及景观特征	多项式次数	· 纠正前精度(米)						纠正后精度(米)													
						M_x	M_y	σ_x	σ_y	σ	M_x	M_y	σ_x	σ_y	σ										
122-25	N 50°22' E 121°45'	呼伦贝尔盟、额 左旗、鄂伦春旗、喜 桂图旗	最低 850 米, 最 高 1450 米, 大部分 地区为中山山地	本像幅由大兴安岭纵贯, 森林茂密, 河谷深切, 支流发 育, 切割密度较大, 根河、克 一河、甘河、伊敏河分流其 间。	双线性 二 次 三 次	1261.6	460.4	453.6	196.4	494.3	465.4	232.9	201.8	110.6	230.2	717.5	248.9	265.2	130.8	295.7					
						140.7	190.6	81.2	83.4	116.4	151.4	220.6	84.6	83.6	118.9	926.8	746.8	626.4	337.0	711.3	123.2	147.2	61.2	91.8	
						116.0	138.3	43.9	51.8	67.9	229.0	199.8	125.6	81.6	149.7	813.7	579.4	603.4	300.4	674.0	168.1	111.5	63.4	58.4	86.2
121-28	N 46°02' E 121°43'	兴安盟乌兰浩特 市、突泉县、吉林省 洮安县	最低 140 米, 最高 1392 米(老头山), 一半以上地区低于 500 米	本像幅由洮河及其支流横 贯, 西侧为平缓的中山, 河 谷较宽, 下切不深, 有广阔的 沼泽地带和平原区。	双线性 二 次 三 次	156.6	85.3	58.4	55.3	80.4	165.1	171.2	84.1	70.5	109.7	764.6	426.6	500.8	215.9	545.4	143.8	145.1	61.3	59.2	85.2
						112.8	83.2	48.6	44.3	65.7	361.6	375.4	138.1	141.3	197.6	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7
						165.6	252.5	88.3	96.6	130.8	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7	165.6	252.5	88.3	96.6	130.8
121-29	N 44°37' E 121°12'	哲里木盟扎鲁特 旗、科右中旗	最低 170 米, 最 高为 1268 米, 大部 分地区地势低于 500 米	西侧为缓倾斜的低山—中 山, 只有个别高于 1000 米的 山岭, 大部分地区为沼泽地, 低丘陵地东侧沼泽发育旺 盛。	双线性 二 次 三 次	361.6	375.4	138.1	141.3	197.6	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7					
						165.6	252.5	88.3	96.6	130.8	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7					
						165.6	252.5	88.3	96.6	130.8	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7					
122-30	N 43°01' E 118°08'	赤峰市、克什克 腾旗、林西县、巴林 右旗、翁牛特旗、	最低 600 米, 最 高 2000 米, 大部 分为山地, 东西两 侧为沙地	本像幅属大兴安岭的南 缘, 中山山地, 河谷深切, 西 拉木伦河上游横贯其间, 山 地占 2/3, 小腾格里沙地、科 尔沁沙地分布两侧。	双线性 二 次 三 次	361.6	375.4	138.1	141.3	197.6	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7					
						165.6	252.5	88.3	96.6	130.8	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7					
						165.6	252.5	88.3	96.6	130.8	1133.9	936.0	671.5	475.9	823.0	281.9	362.3	123.7	138.5	185.7					

3. 参数法纠正精度

由于受到时间、设备等诸多方面因素的限制，我们只选择 121-28 幅 MSS 图像，用参数法进行了处理，以验证方法的可行性。控制点高程从 1:10 万地形图上获取。由于一幅 MSS 卫星图像覆盖地表 185 × 185 平方公里，若建立 DTM，工作量太大，因此，在无现成 DTM 情况下，只要地形不太复杂，可以采用高程分带赋值或取平均值的办法，简化运算。其依据是因为卫星航高为 920 公里，地面较小的地形变化对成像带来的误差不大。但对水平切割密度及垂直切割深度较大的地区，由上节的分析可知，其地形因素对纠正精度影响是很大的，必须建立相应的 DTM，以消除地形因素的影响。

该像幅纠正后的影像精度如表 2 所示。



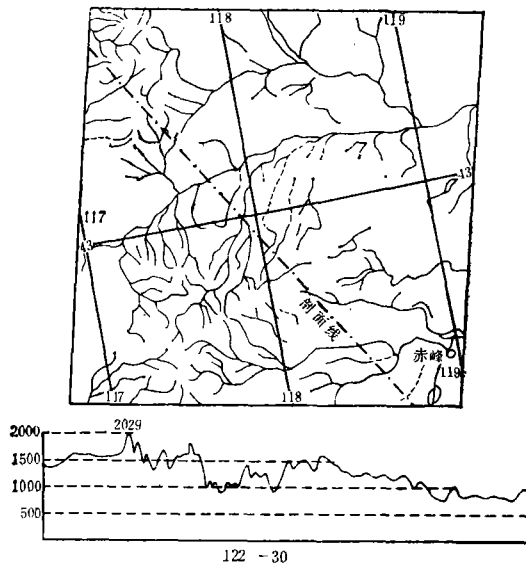


图 2 地面水平及垂直切割图

Fig. 2 Topographic conditions in the area covered

表 2 参数法纠正精度

Table 2 The precision of processing using model method

姿态变化多 项式次数	纠正前精度(米)					纠正后精度(米)				
	M_x	M_y	σ_x	σ_y	σ	M_x	M_y	σ_x	σ_y	σ
二 次						80.6	96.8	56.0	55.4	78.8
三 次	813.7	579.4	603.4	300.4	674.0	140.8	107.4	53.9	55.8	77.6
四 次						10686.2	195.9	4402.8	98.1	4403.9

显然, 在该试验区参数法的处理精度比非参数法略有提高, 但并不显著, 主要是由于卫星姿态变化难以用简单的多项式加以模拟、处理过程中的简化以及卫星航高太大、地表起伏影响不明显等造成。

由表 2 可知, 当表征姿态变化的多项式次数达到 4 次时, 其纠正结果的精度突然大幅度降低, 出现逆转, 特别是影像边缘点, 其误差非常之大。这主要是由于一般多项式不能正确反映姿态变化, 当多项式次数太高时, 在影像边缘处, 结果常常不稳定, 出现大幅度波动, 根本无法逼近卫星实际姿态变化, 甚至产生谬误。因此, 寻找一种新的表征定向参数变化的函数式就变得非常重要。

六、结 论

通过以上试验, 我们可以得出:

(1) 在纠正手段上,将 OR-1 正射投影系统与通用计算机相结合,借助建立的数学模型,对卫星图像进行快速几何处理,是一种既经济又实用的方法。它可以不借助于 CCT 磁带,仅利用图像胶片作业。该方法由于采用脱机作业,便于进行批处理,从而提高了仪器的利用率和工作效率。其纠正精度基本可以达到全数字化纠正的精度,产品有很好的影像质量,因此,预计可以在生产部门得到广泛的应用。

(2) 在纠正方法上,由于非参数法原理简明,运算速度快,处理简单易行。因此在地表状况不太复杂的地区,用非参数法处理即可。而对地表复杂、地形极不规则、起伏较大的地区,由于其影像畸变很难用一个简单的多项式来表达。因此,应考虑使用参数法,恢复成像瞬间物理过程。

(3) 该方法原则上适用于各种类型遥感图像的几何处理,只不过对纠正的数学模型加以修正即可。

参 考 文 献

- [1] 王之卓编著,摄影测量原理,测绘出版社,1979年。
- [2] G. Otepka, Practical Experience in the Rectification of MSS Images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 44, No. 4, 1978.
- [3] T. J. Keating, D. R. Boston Digital Orthophoto Production Using Scanning Microdensitometers, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45, No. 6, 1979.
- [4] G. Konecny, Methods and Possibilities for Digital Differential Rectification, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45, No. 6, 1979.
- [5] 王之卓编著,摄影测量原理续编,测绘出版社,1986年。
- [6] 杨凯等,资源遥感的方法与实践中的遥感影像的几何纠正及计算方法,科学出版社,1986年。

The Geometric Rectification of Satellite Images by WILD AVIOPLAN OR-1

Meng Bo

(Beijing Institute of Satellite Information Engineering)

Mao Zanyou

(Institute of Remote Sensing Technique and Application, Beijing University)

Abstract

A method of rectifying the satellite remote sensing images speedily and economically is brought forward which can easily be used in production department. The main point of the method is the combination of general digital computer and Wild AVIOPLAN OR-1 Orthophoto system.

The principle of the method and the results of the experiment is discussed here, and the factors which reduce the accuracy of the images are analyzed in the paper.

Key words Geometric rectification OR-1 Orthophoto system Satellite image