

环境减灾卫星 CCD 影像精纠正方法研究

潘 励¹ 何 潇¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:针对环境减灾卫星配备的 CCD 传感器宽幅侧视观测特点,构建了一种在线阵传感器共线方程基础上的扩展几何模型。用多项式和分段 Hermite 插值拟合卫星外定向参数,用高次多项式拟合成像畸变,应用谱修正解法克服系统病态造成的不收敛问题。针对该模型对图像控制点分布的特殊要求,提出一种基于二分图匹配算法的控制点自动搜索策略。实验表明,本文模型对于环境减灾卫星 CCD 影像的几何纠正精度以及对求解所需条件数的要求,都优于现有的通用模型方法。

关键词:环境减灾卫星;大视场角侧视观测;控制点分布优化

中图法分类号:P237.3

现有的卫星数据几何纠正处理包括严格模型和通用模型 2 种方法。严格模型通常建立在共线方程基础上,需要严密的卫星参数作为初值^[1-5],或在小视场角下建立基于仿射变换的严格模型^[6];而通用模型主要为早期的多项式以及近年来广泛使用的有理函数模型,需要使用大量图像控制点或在严密模型已知的条件下求解^[3-4,7]。由于宽视角侧视观测的卫星影像受镜头、传感器拼接以及大气折光、地球曲率等影响,几何变形复杂,基于仿射变换^[8]等针对高分辨率小视场角的严格模型无法适用。同时,由于卫星严密星历等参数获取存在障碍,且元数据中只包含采样频率较低的简单星历,加之卫星稳定性不足,在实际应用中亦不易获取精确的卫星轨道参数与姿态变化参数。因此,实际作业中通常采用通用模型,且需对原始影像纵向分带,再对每个窄条带分别进行几何处理^[7]。该方法未充分利用已有数据,需要较多的图像控制点,增加了后续拼接处理的负担。

本文通过对环境减灾卫星元数据的分析,充分利用已有参数,对无法获取的参数使用替代方案,如采用等效焦距,且解算中直接以像元为解算单位,根据已有简单星历采用二次多项式拟合卫星飞行轨迹,引入 Hermite 插值方式拟合卫星姿态变化。为了满足解算参数对控制点分布的要求,设计了基于二分图相容匹配的图像控制点自

动搜索策略,从而实现了自动化水平较高且精度良好的几何精纠正方案。

1 针对大视场角侧视卫星的几何模型构建

1.1 坐标系统与模型结构的选择

为了缩短重访时间,环境减灾卫星过境的覆盖宽度较大,单个 CCD 传感器覆盖 360 km。同时采用主光轴与投影中心垂向夹角 φ_0 约 27° 的倾斜观测,地表曲率影响造成投影中心与影像边缘高差约 19 km。该成像条件使得其只能在真实的三维直角坐标系下使用严格的几何关系构建模型。

本文采用本体坐标系(惯性轨道坐标系)。其以卫星投影中心为原点,以卫星在惯性地心直角坐标系下的速度方向作为 X 轴,以卫星位置矢量与 X 轴所成平面的垂线方向作为 Y 轴,再按照右手定则确定 Z 轴^[2,4-5,9-10]。在 t 时刻将地面坐标系转入卫星本体坐标系的转换矩阵 $M_{orb}(t) = [X \ Y \ Z]^T$,可通过式(1)获得:

$$\begin{cases} X = \frac{V'_t}{\|V'_t\|}, Y = \frac{P_t \times V'_t}{\|P_t \times V'_t\|} \\ Z = X \times Y, V'_t = V_t - \Omega \times P_t \end{cases} \quad (1)$$

式中, P_t 为卫星的瞬时位置矢量; V_t 为卫星的瞬时速度矢量。因为环境减灾卫星 1A/1B 上记录的

收稿日期:2013-01-17。

项目来源:国家 863 计划资助项目(2009AA122002-4);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110141110044)。

速度矢量为地固坐标系下的速度,应根据地球自转瞬时速度 Ω 进行改正,转为惯性坐标系下的速度矢量后使用^[10]。

摄影测量中的严格成像模型一般是指共线方程模型^[2-5]。本文采用如下的线阵传感器共线方程作为基础构像模型:

$$\begin{cases} l_{\text{sample}} = f \frac{a_1 X_{\text{orb}} + b_1 Y_{\text{orb}} + c_1 Z_{\text{orb}}}{a_3 X_{\text{orb}} + b_3 Y_{\text{orb}} + c_3 Z_{\text{orb}}} - G(l_{\text{sample}}) \\ 0 = l_{\text{line}} = f \frac{a_2 X_{\text{orb}} + b_2 Y_{\text{orb}} + c_2 Z_{\text{orb}}}{a_3 X_{\text{orb}} + b_3 Y_{\text{orb}} + c_3 Z_{\text{orb}}} \end{cases} \quad (2)$$

其中, f 为等效焦距; $X_{\text{orb}}, Y_{\text{orb}}, Z_{\text{orb}}$ 为卫星本体坐标系下地面点的坐标; $a_i, b_i, c_i (i=1, 2, 3)$ 为共线方程的旋转矩阵元素; $G(x)$ 为畸变模型项。

1.2 畸变模型的改进

在考虑大视场角成像系统畸变时,常使用阶数较高的奇次多项式^[5,11]。环境减灾卫星特殊之处在于其短焦镜头与多段拼接的 CCD 线阵传感器的结合,同时采用侧视观测方式。大视场角的短焦镜头本身畸变严重,倾斜观测又使得地面曲率与大气折光造成的变形十分复杂,加之其 CCD 参数未公开,无法建立真实的物理模型。

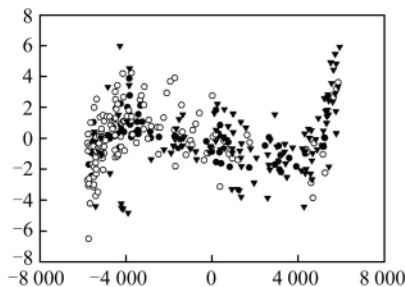


图1 无畸变模型下的 X 坐标方向残差分布示例
Fig. 1 Distribution of X-direction Residual Without Distortion Models

研究发现,当不考虑畸变模型时,所得到的控制点解算结果在卫星飞行方向残差较小且无明显规律,可忽略不计;而沿传感器延伸方向残差,如图1,明显呈类似对称曲线的规律分布。

$G(x) = g_0 + g_1 x^3 + g_2 x^5 + g_3 x^7$ 常用作仅考虑镜头径向畸变^[11]时的畸变模型。考虑到传感器弯曲畸变差以正余弦函数形式给出^[5],其进行泰勒展开后会出现偶次项,因而本文将模型补成次数连续的多项式。实验发现,超过6次的项对拟合精度几乎没有影响,因而删去,提出如式(3)的五次多项式作为畸变模型:

$$G(x) = \sum_{i=0}^5 g_i x^i \quad (3)$$

其中, x 为像元横向坐标; g_i 为畸变参数。

由于多项式本身没有具体物理含义,其在拟合了镜头与传感器弯曲畸变的同时,也能在一定程度上对大气折光等误差进行补偿。

1.3 轨道拟合及姿态角插值

由于环境减灾卫星数据存储和传输条件的限制,在境外地区不能获取长条带的影像数据,因此在构建其成像模型时使用元数据中的简单星历进行轨道与姿态角拟合更为恰当。通常,用简单星历进行拟合与插值的方法包括多项式拟合、拉格朗日插值、切比雪夫多项式拟合、Neville 插值、B-spline 方法等^[2,9,10,12]。为了简化,卫星运行平稳情况下可采用低阶多项式^[2,4]:

$$\begin{cases} X_t = X_0 + X_1 t + X_2 t^2 \\ Y_t = Y_0 + Y_1 t + Y_2 t^2 \\ Z_t = Z_0 + Z_1 t + Z_2 t^2 \end{cases}, \begin{cases} V_{X_t} = V_{X_0} + V_{X_1} t + V_{X_2} t^2 \\ V_{Y_t} = V_{Y_0} + V_{Y_1} t + V_{Y_2} t^2 \\ V_{Z_t} = V_{Z_0} + V_{Z_1} t + V_{Z_2} t^2 \end{cases} \quad (4)$$

单景影像内使用如式(4)的二次多项式分别拟合卫星的位置及速度矢量^[2,5],可根据元数据中提供的简单星历依最小二乘计算,对应轨道拟合后残差中误差小于1 m,相对卫星30 m分辨率影像影响不大。

而对于卫星姿态,由于环境减灾卫星自身平稳性较弱,单一多项式不能满足精度要求,应采用分段拟合。根据简单星历中给出的卫星姿态数据,测量记录的时间间隔约为8~9 s,每一数据点同时记录姿态角值与姿态角变化值。由于记录频率较低,为了充分使用测姿数据得到最优的姿态角度初值,本文提出使用如式(5)的二次 Hermite 插值,按照星历中记录姿态数据的自然分段划分,直接利用全部原始数据作为参数点初值进行插值计算,同时保证拟合曲线的光滑性:

$$\begin{aligned} \lambda_t = & \lambda_0 + \lambda_i \left(1 + 2 \frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}\right) \left(\frac{t-t_{i+1}}{t_i-t_{i+1}}\right)^2 + \\ & \lambda_{i+1} \left(1 + 2 \frac{t-t_{i+1}}{t_i-t_{i+1}}\right) \left(\frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}\right)^2 + V_{\lambda_i} (t-t_i) \cdot \\ & \left(\frac{t-t_{i+1}}{t_i-t_{i+1}}\right)^2 + V_{\lambda_{i+1}} (t-t_{i+1}) \left(\frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}\right)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

式中, $\lambda_0 \in \{\varphi_0, \omega_0, \kappa_0\}$ 和 $V_{\lambda_i} \in \{V_{\varphi_i}, V_{\omega_i}, V_{\kappa_i}\}$ 分别为 t 时刻的卫星姿态角度值; $\lambda_0 \in \{\varphi_0, \omega_0, \kappa_0\}$ 为传感器安放角度值,对于同一台传感器其为常数; λ_i 为第 i 次记录的姿态角值; V_{λ_i} 为第 i 次记录的姿态角变化速率 ($i=1, 2, \dots, n$)。

由于 Hermite 插值方法充分利用了已知参数,使得控制点不足或无控制条件下进行几何纠正能够取得最优的处理效果。实验显示,依照该

插值方式,在使用部分影像数据中求得的传感器安放角度与畸变模型参数均值作为已知条件,对其他影像进行无控制定位时,可以获得优于 25 像元的定位精度,即可得到卫星标称的无控制条件下 1 km 的定位精度。

1.4 模型参数解算

根据上文提到的坐标系、畸变模型与几何关系,可列误差方程如(6)、式(7):

$$v_{\text{sample}} = -l_{\text{sample}} + p^f df + \sum_{i=0}^5 p_i^g dg_i + p^e d\varphi_0 + p^w d\omega_0 + p^c d\kappa_0 + p^{q^i} dq_i + p^{w^i} d\omega_i + p^{c^i} d\kappa_i + p^{V_{q^i}} dV_{q^i} + p^{V_{\omega^i}} dV_{\omega^i} + p^{V_{\kappa^i}} dV_{\kappa^i} + \sum_{i=0}^3 (p_i^X dX_i + p_i^Y dY_i + p_i^Z dZ_i) \tag{6}$$

$$v_{\text{line}} = -l_{\text{line}} + q^f df + q^e d\varphi_0 + q^w d\omega_0 + q^c d\kappa_0 + q^{q^i} dq_i + q^{w^i} d\omega_i + q^{c^i} d\kappa_i + q^{V_{q^i}} dV_{q^i} + q^{V_{\omega^i}} dV_{\omega^i} + q^{V_{\kappa^i}} dV_{\kappa^i} + \sum_{i=0}^3 (q_i^X dX_i + q_i^Y dY_i + q_i^Z dZ_i) + \sum_{i=0}^3 (q_i^{YX} dX_i + q_i^{YZ} dZ_i) \tag{7}$$

p, q 分别为各项参数对观测值的偏导数; $\varphi_0, \omega_0, \kappa_0$ 为传感器相对于卫星本体的安放角度,其对于同一 CCD 相机(A、B 两颗卫星上共安置了 4 台 CCD 相机)为常数,只需解求一次; $\varphi_i, \omega_i, \kappa_i$ 以及 $V_{q^i}, V_{\omega^i}, V_{\kappa^i}$ 为卫星姿态分段拟合参数,须根据图像控制点所处时间段,由与对应区段相关的姿态角参数进行偏导数计算所得,且由于与传感器安放角度 $\varphi_0, \omega_0, \kappa_0$ 有完全线性关系,不可同时求解。参数 $X_k, Y_k, Z_k, V_{Xk}, V_{Yk}, V_{Zk} (k=0, 1, 2)$ 用于改正拟合卫星轨道的二次多项式,由于 GPS 的误差远小于标称的影像分辨率,且该误差不会在成像过程中被放大^[4],因而在大多数情况下可以直接使用 GPS 采集的原始数据而不对其进行改正,亦可以得到较好的精度。

由于所使用的轨道拟合插值方法以及所采用的畸变模型包含不同量级且可能存在不明晰相关性的参数,需在平差时同时解算,易出现法方程病态的情况。在此使用谱修正解法^[4,13],通过人为降低迭代收敛速度,使其无偏地收敛到参数的期望值。迭代方式如式(8):

$$\tilde{\Delta}_i = (A^T A + I)^{-1} (A^T L + \tilde{\Delta}_{i-1}) \tag{8}$$

式中, $\tilde{\Delta}_i$ 为每次迭代中第 i 次计算的改正数增量; I 为单位阵。

2 顾及分布的图像控制点生成方法

2.1 图像控制点灰度匹配

本文基于技术成熟的 Harris 特征点与最小二乘的相关系数灰度匹配方法进行灰度匹配,搜索环境减灾卫星和作为基准的 TM 影像中的同名点^[14],参考影像上 Harris 特征点与待纠正影像上某像元的最小二乘系数大于经验阈值时确认为同名点。但由此匹配得到的图像控制点除了存在粗差点需要剔除外,其分布可能不满足改正分段参数的解算条件,需要有目的地在关键位置增加相应数量的控制点。

2.2 自动改化控制点分布的搜索策略

当模型参数中含有分段插值的部分时,为了提供满秩的法矩阵,需在插值参数对应的作用范围内包含至少等量的控制条件以修正相应参数。但由于在插值多项式中不同参数对应的作用范围相互交叉,需要判定控制点如何分布才能满足解算条件,并在条件不足时添加控制点。为此,本文提出基于二分图最大的匹配优化策略,并通过以下方式自动添加少量控制点以保证充足的解算条件。

1) 使用已匹配到的置信水平较高的图像控制点解算全局有效参数(如本文模型参数中的 $f, g_0, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, \varphi_0, \omega_0, \kappa_0$),并得到此时图像控制点残差中误差 r_0 。

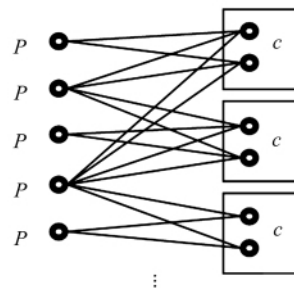


图 2 二分图:控制点与参数的关联关系

Fig. 2 Bipartite Graph: Relationship between the Control Points and Parameters

2) 依匈牙利算法(或最大网络流算法)搜索二分图 B 的最大匹配。若能搜索到 B 的相容匹配,则算法结束;否则,标记最大的匹配结果,其中 P 集中未找到匹配的节点集 P' ,在图像中标记 P' 中每个节点 P_k ,对应参数的影响范围 $R_k, R_k \subseteq I_1, k=1, 2, \dots, n', n'$ 为 P' 的元素数。

3) 使用文献[15]所述方法对区域 $R_k \in \{R_k\}$ 分块进行水体类别检测,计算区域内水体指数 NDWI-B,在阈值水平 N_0 以上判定为水体。当区

域内 85% 以上面积被判定为水体时,则认为该区域为水体等无纹理区域,将 R_k 从 $\{R_k\}$ 中剔除,将对应参数所对节点 $\{P_k\}$ 从 P 中剔除。

4) 在 $\{R_k\}$ 内降低灰度匹配的阈值水平至 t' , 搜索区域 R_k 内未标记的图像控制点。若仍无搜索结果,则继续降低阈值到 t' ,直到发现足够的图像控制点为止。

5) 使用已经初步改正的参数检验新增控制点,残差大于 r_0 的控制点认为可靠性不足,舍弃该类点并进行标记,将残差较小的控制点纳入已有控制点集,并跳至步骤 2),重复上述过程。

3 实验研究

3.1 实验一

选取位于印度尼西亚,由环境减灾 B 星 CCD1 相机在 2008-11 采集的数据(图像尺寸为 12 000 像元 \times 12 000 像元)以及同地区 Landsat 7 卫星于 2000 年采集并精纠正后 UTM 投影下的

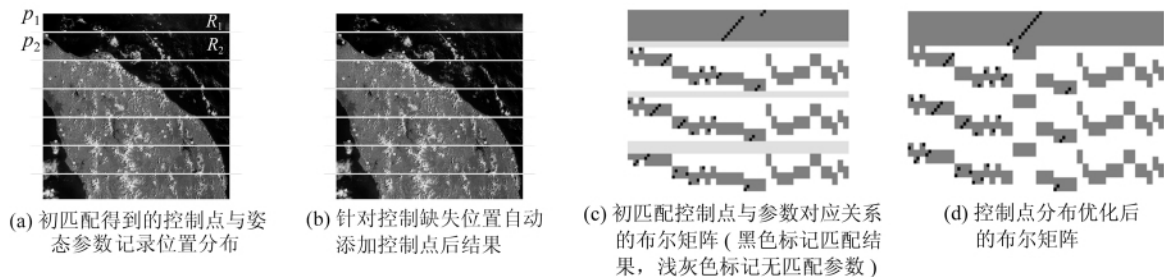


图 3 控制点分布优化前后对比

Fig. 3 Comparison Before and After the Optimization of Control Point Distribution

3.2 实验二

选取位于巴西中西部地区,由环境减灾 B 星 CCD2 相机在 2010-08-22 采集的数据(图像尺寸为 12 000 像元 \times 12 000 像元)以及同地区 Landsat 7 卫星于 2000 年采集并精纠正后 UTM 投影下的 TM 数据,验证本文几何模型的拟合精度和解算性能。该区域纹理丰富,可一次匹配得到 117 个较可靠的图像控制点;同时,图像在成像过程中卫星姿态角抖动比较有代表性。

将已有图像控制点分为两组,一组为固定控制点,另一组为检查点。使用对应位置的 SRTM 高程数据进行双线性插值获取高程作为大地高。通过调整控制点与检查点数量,研究模型拟合解算所需的控制点数量以及拟合精度,并选用通用的二次多项式模型与 RFM 模型进行参照。

其中二次多项式模型使用 TM 影像中同名点对应的 UTM 坐标与高程用最小二乘法直接求

解,而 RFM 模型参数使用 UTM 与高程坐标归一化,使用归一化后的二次多项式最小二乘解作为初值,并使用文献[4,13]中指出的迭代谱修正法求解。本文模型先将同名点 UTM 坐标转为大地经纬度,而后转入地固地心直角坐标系,结合地球自转角速度与 GPS 记录的简单星历,参照式(1)转换为卫星本体坐标进行解算。

对原图像以 1/20 比例重采样,使用 SIFT 算子匹配初始控制点,将匹配结果作为控制点初值得到环境减灾卫星到 TM 影像的大致仿射变换关系;在减灾卫星原始数据中使用 Harris 算子提取特征点,相关系数阈值 0.8 时匹配得到同名点 80 个,如图 3(a)所示。此时待解算参数 58 个。按照 § 2.2 中方法建立二分图 $B = \{P, C, E\}$, P 集包含节点 58 个, C 集包含节点 160 个,邻接关系如图 2。对二分图进行最大匹配,发现有 50 个参数解算条件充足,8 个参数无解算条件。

8 个条件不足的参数共包含两组:一组位于上端 P_1 ,超出影像范围,对应区域为 R_1 ;一组位于影像范围内 P_2 ,对应区域为 R_2 。分别计算区域 R_1 、 R_2 内的水体指数 NDWI-B,根据文献[15]中设定的阈值 0.4 检测, R_1 区域内 89.44% 为水体, R_2 区域内 76.07% 为水体。 R_1 区域不具有几何纠正意义,则根据算法将 R_1 对应的 6 个参数从待解参数剔除,并使后续操作不在 R_1 内匹配控制点。

解算结果精度如表 1 所示。其中二次多项式由于结构过于简单,无法拟合图像成像过程中的复杂变形,解算精度始终较差。由于 RFM 模型中参数较多,需要解算条件较强,虽然第三组条件数满足其解算条件,但由于模型内部参数间含有无法定量确定的相关关系,加之测量平差中的迭代解法解决非线性问题本身为爬山法搜索,在经过线性化后会因多余观测不足而收敛到解空间中的错误位置。当控制点数量较多,包含大量多余观测时,这种情况可以得到明显改善。

表 1 3 种几何模型的解算精度/像元

Tab. 1 Geometric Accuracy of the Three Models(pixel)

控制点个数/检查点个数	控制点精度/检查点精度		
	二次多项式模型	RFM 模型	本文模型
0/117			21.754
28/89	2.548/974.003		0.627/12.936
35/82	8.190/84.649		1.047/6.074
42/75	8.128/92.298	26.661/11544.871	1.552/10.977
48/69	21.170/71.417	43.791/32.923	1.633/4.959
56/61	38.329/124.009	4.048/14.229	1.810/3.740
64/53	49.063/182.036	4.243/9.964	1.488/2.153
72/45	21.542/19.840	3.801/7.125	1.562/1.726
80/37	43.385/20.462	8.083/3.025	1.535/1.288
88/29	17.780/13.418	3.165/5.145	1.517/1.048
96/21	24.936/14.181	2.619/4.578	1.466/1.056
104/13	26.131/11.984	2.498/5.669	1.424/1.136

由图 4 可以看出,作为通用几何模型,RFM 模型参数都缺乏实际的物理意义,只是由于模型本身结构与真实几何模型类似,可以取得一定的拟合效果,但不参与解算的检查点精度一般较控制点精度低。本文使用的几何模型相对参数独立性较高,随着控制点数量增多,控制点与检查点精度趋于一致,在满足分布要求的条件下,控制点数量大于 70 个时即可以得到较好的解算精度。同时,在没有控制点改善的情况下,仅使用简单星历以及传感器畸变参数的经验值进行无控制定位,也能够得到有意义的定位精度。为了讨论模型各方向的拟合精度,将分组 104/13 中控制点的残差分布绘制如图 5。

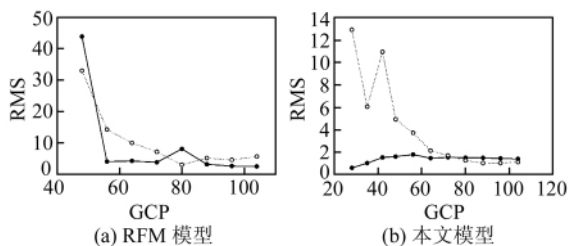


图 4 控制点与检查点精度变化
(实线:控制点残差,虚线:检查点残差)

Fig. 4 Accuracy of Control Points and Check Points

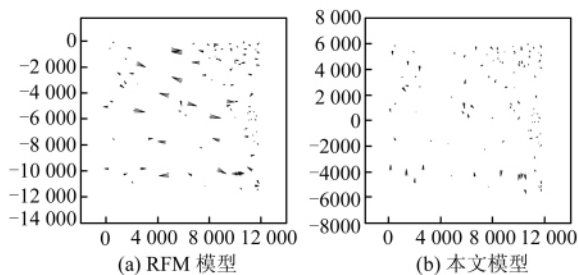


图 5 控制点残差分布

Fig. 5 Distributions of Control Point Residuals

分析残差分布结果可看出,由于卫星的线阵传感器为多段拼接式,包含弯曲畸变,加之镜头畸

变、大气折光以及卫星飞行中姿态变化等复杂影响,造成 RFM 模型尤其在卫星飞行的垂直方向上的拟合精度不佳。而本文提出的基于线阵传感器共线方程的近似严格的几何模型,由于独立考虑了传感器畸变与卫星姿态不稳定等因素,可将精度控制在较好的范围内。

4 结 语

1) 经实验验证,本文提出的环境减灾卫星 CCD 影像纠正方法可以保证控制点残差中误差小于 2 像元,大多数情况可以得到残差中误差小于 1 像元的解算精度。该纠正精度能够满足大多数地表覆盖及环境监测应用的精度要求。

2) 使用 Hermite 插值法拟合卫星姿态变化,能够充分利用卫星原始数据中包含的简单星历资料。在大量解算后对于 A、B 两颗卫星上的 4 套传感器分别设置较好的解算初值,用以弥补缺少传感器安放数据的缺陷,提高无控制或少控制条件下的定位精度。

3) 本文提出的控制点分布改善策略除了在 Hermite 插值时可以使用外,在 Lagrange 或分段样条曲线等分段插值拟合需要对数据点参数改化时也有应用价值。同时,在一些控制数据可能距离数据点较远的插值算法,如次数较高的 Lagrange 插值方法中,可根据控制数据与数据点距离作加权处理,将文章所述的一般二分图扩展为加权二分图,同时使用网络流算法搜索最大权匹配,以便在增加较少控制数据时可获得更有效的解算条件。

参 考 文 献

- [1] 刘睿,孙九林,王卷乐,等. 环境与灾害监测预报小卫星 CCD 数据质量评价[J]. 地球科学进展, 2011, 26(9):971-979
- [2] 程春泉,邓喀中,孙钰珊,等. 长条带卫星线阵影像区域网平差研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(2): 162-168
- [3] 巩丹超. 高分辨率卫星遥感立体影像处理模型与算法[D]. 郑州:信息工程大学, 2003
- [4] 张过. 缺少控制点的高分辨率卫星遥感影像几何纠正[D]. 武汉:武汉大学, 2005
- [5] Poli D. Modeling of Spaceborn Linear Array Sensors[D]. Zurich, Swiss; Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2005
- [6] 袁修孝,曹金山,姚娜. 顾及扫描侧视角变化的高分辨率卫星遥感影像严格几何模型[J]. 测绘学报,

- 2009, 38(2):120-124
- [7] 于冰洋, 严明, 伍菲, 等. 宽刈幅多光谱影像正射纠正技术研究[J]. 国土资源遥感, 2010(3):31-35
- [8] 张剑清, 张祖勋. 高分辨率遥感影像基于仿射变换的严格几何模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(6):555-559
- [9] 程春泉, 邓喀中, 张继贤, 等. 基于 ECR 与 ECI 星历数据的遥感影像定位[J]. 测绘科学, 2010, 35(2):13-15
- [10] Spotimaing. SPOT Satellite Geometry Handbook [EB/OL]. <http://www-igm.univ-mlv.fr/~riazano/publications/GAEL-P135-DOC-001-01-04.pdf>, 2012
- [11] 宣海燕, 张峰, 申功勋. 大视场短焦距成像系统的快速校正[J]. 测控技术, 2007, 26(6):28-30
- [12] 张如伟, 刘根友. 低轨卫星轨道拟合及预报方法研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2008, 28(4):115-120
- [13] 王新洲, 刘丁酉, 黄海兰. 谱修正迭代结果的协因数矩阵[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(4):429-431
- [14] 杨常清, 王孝通, 徐晓刚, 等. 基于特征空间的航空影像自动配准算法[J]. 测绘学报, 2005, 34(3):218-222
- [15] 曲伟, 路京选, 李琳, 李小文. 环境减灾小卫星影像水体和湿地自动提取方法研究[J]. 遥感信息, 2011(4):28-33

第一作者简介:潘励,教授,博士生导师。现从事遥感影像处理和
信息提取方面的研究,先后主持和参加国家级和省部级科研项目
多项,发表学术论文 40 余篇,获国家发明专利 2 项,软件注册登
记 1 项。

E-mail:panli@whu.edu.cn

Rectification Method of Linear CCD Image from HJ-1A/1B Satellites

PAN Li¹ HE Xiao¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: According to the character of the CCD sensors which set up on HJ-1A/1B satellites, a new imaging model which is extended from the collinear equation for linear sensor is built. In this model, quadratic polynomial and Hermite interpolation polynomial are employed for fitting the variation of the exterior orientation elements, and high-order polynomial is used as distortion model, plus engaging iteration method to solve the frequent problem, ill-conditioned system. Furthermore, we also present a method based on bipartite graph matching for correspondence points matching to meet the requirement of the distribution of control-points. The empirical results show that the proposed model compared with existing models such as quadratic polynomial and rational function model is able to achieve a higher accuracy, and requires for smaller condition number, that is sufficient for keeping pace with the demand of the research for global land cover.

Key words: HJ-1A/1B satellites; large field angle and side-looking observation; optimization of control-point distribution

About the first author: PAN Li, professor, Ph. D supervisor. She is concentrated on the research and education in remote sensing image processing and information extraction. She has hosted and participated in numbers of national and provincial research project. She has published more than 40 papers, and obtained two national invention patent and a software registration.

E-mail: panli@whu.edu.cn